

# ま え が き

電子航法研究所は、交通の安全の確保とその円滑化を図ることを目的に、電子航法（電子技術を利用した航法）に関する試験、調査、研究及び開発等を業務とする国立研究所です。当研究所は、昭和42年（1967年）7月に設立され、平成29年（2017年）7月に50周年をむかえました。平成13年4月1日に「独立行政法人」として改組され、17年度まで第1期中期計画、18年度から22年度まで第2期中期計画、23年度から27年度まで第3期中期計画を実施してまいりました。平成27年4月1日からは、わが国の研究開発成果の最大化を目的とする「国立研究開発法人」となり、さらに、平成28年4月1日からは、運輸産業の国際競争力の更なる強化などの課題解決を技術面から支えるべく、国立研究開発法人海上技術安全研究所及び国立研究開発法人港湾空港技術研究所と統合し、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所として、新たな一步を踏み出しています。この統合に伴い、平成28年度からは、平成34年度までに達成すべき中長期目標が定められ、その達成をめざして国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期計画に沿った事業を開始しました。

当研究所の研究活動は、社会ニーズに沿った研究課題を重点的に選定しています。特に、航空機運航の安全性とともに効率性や航空利用者の利便性の向上、航空交通量増大への対応、環境負荷低減等、航空交通の改善に資する研究を進めています。さらに、その成果を活用しつつ国の空港整備事業や国際民間航空機関等の国際標準策定作業を技術支援するなど、国内外において社会貢献の実績をあげています。それとともに、将来の技術需要を見通した基礎的、先導的な研究も実施し、電子航法に関する基盤技術の蓄積など学術への貢献にも努めています。

この電子航法研究所年報は、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期目標の2年目となる平成29年度に当研究所が行った業務の概要を収録したもので、研究所の運営に関する事項、各研究領域の研究業務を紹介しています。なお、別に刊行しております電子航法研究所報告及び電子航法研究所研究発表会講演概要には、より詳細な研究内容を記載しておりますので、あわせてご参照いただけますと幸いです。

当研究所は、国、産業界、大学等と連携し、国の担う航空交通管理に係る業務を支援する中核的な研究機関として、その使命を果たすべく努力してまいります。この年報を通じて当研究所の活動についてご理解いただき、あわせて忌憚のないご意見をいただけますよう、皆様をお願い申し上げます。

平成30年12月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
電子航法研究所

所長 小瀬木 滋

# 目 次

第1部	総 説	
1.	沿 革	2
	予算及び定員の推移	5
2.	組 織	6
3.	役職員数	6
4.	所 在	7
5.	建 物	7
第2部	試験研究業務	
1.	航空交通管理領域	11
2.	航法システム領域	53
3.	監視通信領域	87
4.	研究所報告	141
5.	受託研究	142
6.	共同研究	143
7.	研究発表	145
8.	知的財産権	162
第3部	現 況	
1.	平成29年度に購入した主要機器	168
2.	主要施設及び機器	169
3.	刊 行 物	171
4.	行 事 等	171
5.	職員表彰	173

第 1 部  
総 説



# 1 沿 革

我が国の航空技術研究再開の機運にのって昭和28年4月、運輸技術研究所に航空部が設置された。昭和33年に科学技術庁に長官の諮問機関として電子技術審議会が設けられ昭和34年8月、諮問第2号「電子技術に関する重要研究及びその推進措置について」に対する答申を行い、電子航法評価試験機関 (Evaluation Center) の新設が必要なことを指摘した。次いで、同審議会は昭和35年9月に、諮問第1号「電子技術振興長期計画について」に対する答申を行い、それに沿って、昭和36年4月、当時の運輸技術研究所航空部に電子航法研究室 (定員5名) が新設された。

電子技術審議会等の諸答申を背景として運輸省は昭和37年5月、運輸関係科学技術試験研究刷新要綱を決定した。これに基づき、船舶技術研究所、電子航法試験所などの新設組織ごとに設立準備室をつくり電子航法試験所設立計画の決定をみたが、最終的には、新設の船舶技術研究所の一つの部として電子航法部 (2研究室14名) が設けられた。

昭和39、40両年度の予算において、電子航法評価試験のため試験用航空機の購入が認められ、ビーチクラフトスーパーH-18双発機を購入した。また、昭和40年度は飛行試験要員として、1研究室9名の増員が認められた。一方、昭和41年度には、航空交通管制の自動化に関連する試験研究に必要な電子計算機の借上げが認められた。

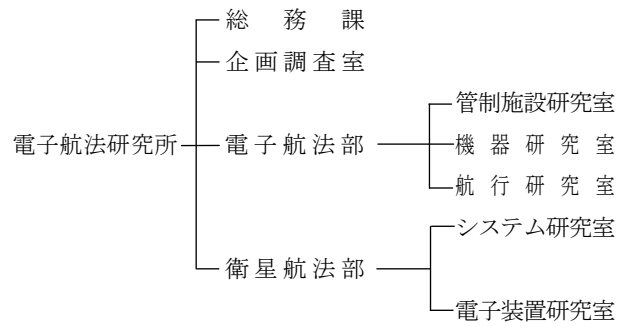
宇宙開発の一環として、人工衛星を航空機及び船舶の航法に利用しようとする開発研究は、我が国においても昭和38年に着手された。その結果をもとに、運輸省は昭和40年4月「人工衛星による航行援助方式の開発に関する基本方針」を決め、昭和41年度は衛星航法研究室 (3名) が新設された。

電子技術審議会は昭和39年6月、電子航法評価試験機関の拡充強化を建議し、さらに、昭和41年6月の諮問第5号「電子技術に関する総合的研究開発の具体策について」に対し、研究機能と評価試験機能をもつ電子航法研究所の設置を答申した。また、運輸省の航空審議会においても昭和41年10月、諮問第12号「航空保安体制を整備するため早急にとるべき具体的方策について」に対して同様の答申があった。

昭和41年度予算要求において、運輸省は電子航法研究所の設立を要求したが、認められず、翌42年度予算において再度設立要求を行った結果、昭和42年6月からの10か月分の予算として電子航法研究所の新設が認められた。

しかし、運輸省設置法の一部改正が7月10日になったため、昭和42年7月10日付けで電子航法研究所として設立されることになった。

当時の組織は下記のとおりであった。



43年度には、ATC実験棟を建設するとともに、46年度までにATCシミュレータを整備した。

45、46年度には、電波無響室を整備し、また、研究所発足以来、44年度までは人員、組織とも変化がなかったが、45年度に3名の増員が認められ、電子航法部を廃止し、電子航法開発部 (機器研究室) と電子航法評価部 (管制施設研究室、航行研究室) を設置し、総務課に総務係をおいた。

46年度には、1名の増員が認められ、電子航法開発部に援助施設研究室を設置するとともに主任研究官3名 (ILS、海上交通管制、データ処理) を発令した。

47年度は、3名の増員が認められ、企画調査室を廃止して研究企画官をおき、総務課に人事係をおいた。また、電子航法開発部建屋、衛星航法研究棟を建設した。

48年度には、3名の増員が認められ、電子航法評価部に管制システム研究室を設置し、同部に主任研究官1名 (飛行実験) を発令し、総務課に企画係をおいた。

49年度は、3名の増員が認められ、電子航法開発部に航法システム研究室を設置し、電子航法評価部に主任研究官1名 (ATCシミュレーション) を発令し、総務課に会計係をおいた。さらに、同年度には、実験用航空機の更新が認められ、50年10月にビーチクラフトB-99が引き渡された。

50年度は、2名の増員が認められ、電子航法開発部に着陸施設研究室を設置した。

51年度は、航空局からの要望研究、技術協力依頼等航空行政に直結する試験研究をさらに促進し、成果の活用をすみやかにするため、空港整備特別会計を導入するとともに所の定員・予算約1/4を特別会計に移管した。これに伴い、電子航法評価部を改組し、航空管制研究室、航空保安施設基準研究室及び海上交通管制研究室を設置した。また、飛行実験センターとして、宮城県岩沼市に岩沼分室を設置し、業務係をおき、飛行実験体制の整備に着手した。さらに、電子航法評価部に信頼性主任研究官をおいた。

52年度は、4名の増員が認められ、電子航法評価部航空保安施設基準研究室を航空施設基準研究室と航空機器標準研究室の2研究室とした。また、アンテナ試験塔を整備した。

53年度には、4名の増員が認められ、10月1日に電子航法



評価部の航空施設基準研究室, 航空機器標準研究室に新たに設置された運用技術研究室を加えて, 航空施設部が発足した。さらに, 54年1月には岩沼分室に分室長をおいた。

54年度には, 東北財務局より土地8,943㎡の所管換を受け, 岩沼分室を新築し, 屋上にレーダー塔を設置した。

55年度には, 海上保安庁より格納庫(建坪825㎡)の所管換を受けた。

この年から, 主任研究官の発令方法が変わり, 従来例えば信頼性主任研究官と呼んでいたのが, 単に主任研究官となった。

56年度は, 1名の増員が認められ, 新システム(MLS)の調査研究体制に着手した。また, 岩沼分室野外実験場の整備を行った。

57年度は, 1名の増員が認められ, 新システム(MLS)の調査研究体制の強化を図った。

58年度は, 1名の増員が認められ, 航空施設部に新着陸施設研究室を設置した。

59年度は, 1名の増員(専門官)が認められ, 岩沼分室での研究支援業務の強化を図った。

60年度は, 1名の増員(研究企画官付専門官)が認められ, 企画調整部門の強化を図った。

61年度は, 1名の増員が認められ, MLS研究体制の強化を図った。

62年度は, 1名の増員が認められ, 衛星航法部に搭載装置研究室を設置した。また, 管理庁舎兼衛星航法実験棟の建設工事に着手した。

63年度は, 管理庁舎兼衛星航法実験棟が竣工した。

平成元年度は, 1名の増員が認められ, 航空管制の研究体制の強化を図った。

平成2年度は, 1名の増員が認められ, 空地データリンクの研究体制の強化を図った。

平成3年度は, 1名の増員が認められ, 衛星データリンクの研究体制の強化を図った。

平成4年度は, 1名の増員が認められ飛行場管制の最適手法の研究体制の強化を図った。

平成6年度は, 1名の増員が認められ空港面航空機識別表示システムの研究体制の強化を図った。

また, 仮想現実実験施設を整備した。

平成7年度は, 1名の増員が認められVHFデジタルリンクの研究体制の強化を図った。

平成12年度は, 国土交通省設置法等関係法令の施行により, 平成13年1月6日をもって「国土交通省電子航法研究所」となった。

また, ATC シミュレーション実験棟が竣工した。

平成13年度は, 中央省庁等改革推進本部決定及び関係諸法

令の施行を受け, 4月1日をもって「独立行政法人電子航法研究所」が成立となった。

所長・研究企画官が廃止され, 役員として理事長・理事・監事が設置され, 総務課に企画室を設置した。また, 電波無響室が改装となった。

平成14年度は航空施設部, 電子航法評価部, 衛星航法部を航空システム部, 管制システム部, 衛星技術部と名称変更し研究室が廃止され研究グループを編成した。

平成15年度は, 研究プロジェクトチーム設置を規定し, 先進型地上走行誘導管制システム開発プロジェクトチーム及び高精度測位補正技術開発プロジェクトチームを設置した。

平成16年度は, 関東空域再編関連研究プロジェクトチームを設置した。

平成18年度は, 本所に研究企画統括を設置。企画室を廃止し, 企画課を設置。4研究部制を廃止, 3領域制(航空交通管理領域, 通信・航法・監視領域, 機上等技術領域)を導入, 関東空域再編関連研究プロジェクトチームを廃止した。

平成19年度は, 総務課に管財係を新設。会計第一係を経理係, 会計第二係を契約係に変更。航空機安全運航支援技術研究プロジェクトチームを設置した。

平成20年度は, 企画課に企画第三係を新設した。

また, 6号棟(旧管制システム部研究棟)の建替工事に着手した。

平成21年度は, 先進型地上走行誘導管制システム開発プロジェクトチームを廃止した。

平成22年度は, 6号棟(旧管制システム部研究棟)の建替工事が完了した。また, 高精度測位補正技術開発プロジェクトチーム及び航空機安全運航支援技術研究プロジェクトチームを廃止した。

平成23年度は, 企画課に主査を新設した。また, 4号棟(旧航空施設部研究実験棟)の改修工事が完了した。

平成24年度は, 通信・航法・監視領域, 機上等技術領域を廃止し, 航法システム領域, 監視通信領域を設置した。

平成25年度は, 東日本大震災で被災したビーチクラフトB-99の後継機として, 平成23年度第3次補正予算により購入したビーチクラフトB300(キングエア350)が, 平成25年5月に引き渡された。

平成26年度は, 平成25年12月24日に閣議決定された「独立行政法人等に関する基本的な方針」において講ずべき措置とされた「海上技術安全研究所」及び「港湾空港技術研究所」との統合について, 平成26年8月29日に開催された行政改革推進本部で実施時期は平成28年4月と決定された。

平成27年度は, 「独立行政法人通則法の一部を改正する法律」等関係諸法令の施行を受け, 国立研究開発法人に移

行し、「国立研究開発法人電子航法研究所」となった。

平成 28 年度は、平成 28 年 4 月 1 日に施行された「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所法」により、国立研究開発法人海上技術安全研究所及び国立研究開発法人港湾空港技術研究所と統合し、「国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所」となった。

平成 29 年度は、本所に特別研究主幹を設置した。

## 定員の推移

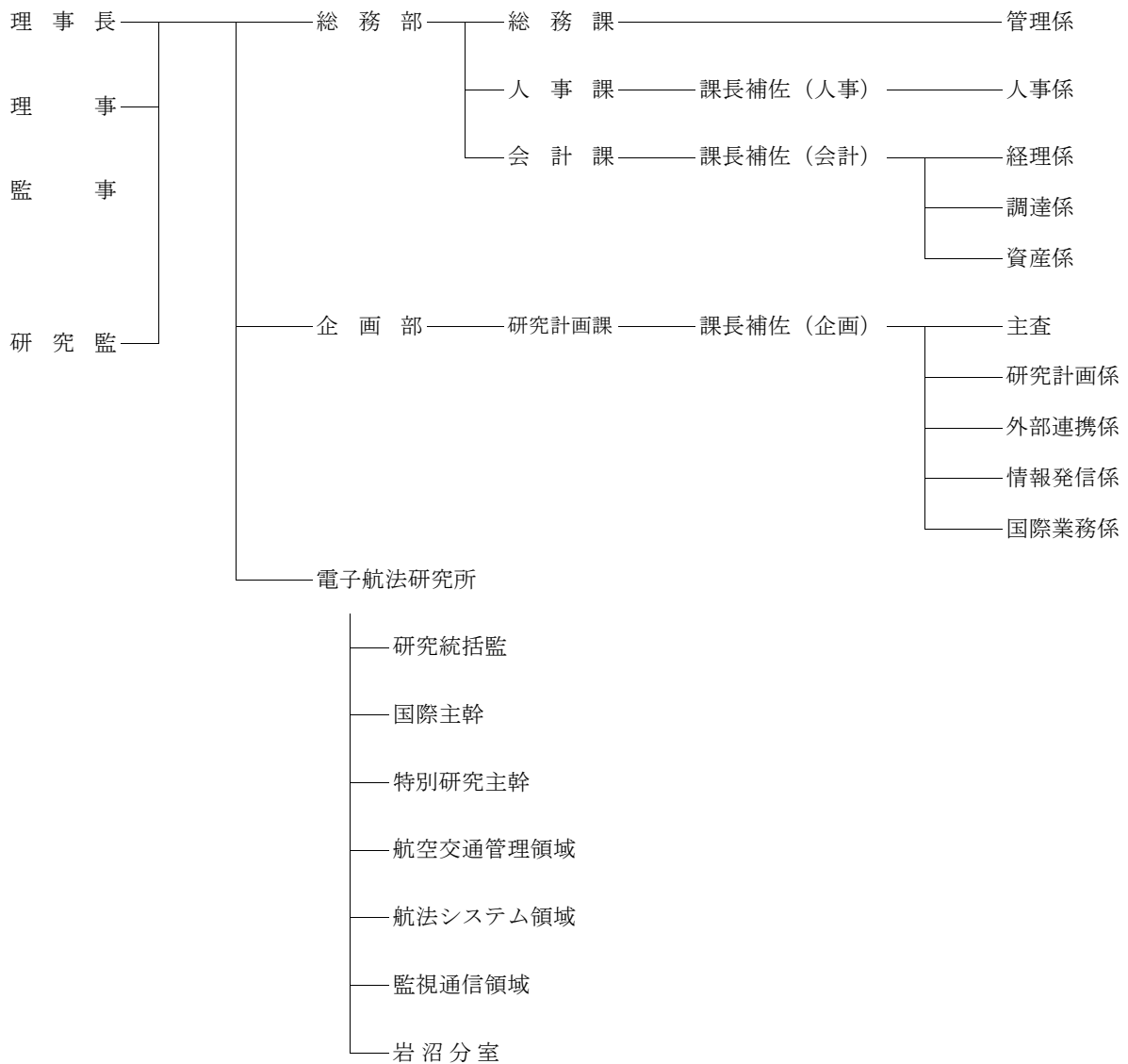
年 度	42	43	44	45	46	47	48
定 員	31人	31	31	34	35	38	41
年 度	49	50	51	52	53	54	55
定 員	44	46	48 (13)	51 (16)	55 (19)	58 (21)	59 (22)
年 度	56	57	58	59	60	61	62
定 員	59 (22)	59 (23)	60 (24)	61 (25)	62 (26)	63 (27)	64 (27)
年 度	63	元	2	3	4	5	6
定 員	63 (26)	64 (27)	64 (28)	65 (28)	65 (28)	65 (28)	66 (29)
年 度	7	8	9	10	11	12	13
定 員	66 (29)	66 (29)	65 (28)	65 (28)	65 (28)	64 (28)	64 (28)
年 度	14	15	16	17	18	19	20
定 員	64 (28)	64 (30)	63 (29)	60 (27)	60 (27)	60 (27)	60
年 度	21	22	23	24	25	26	27
定 員	60	60	60	59	59	60	63
年 度	28	29					
定 員	60	57					

注1：（ ）内は、空港整備特別会計で内数。平成20年度以降は区分経理の廃止に伴い、特別会計の予算は一般会計へ移管された。

注2：平成18年度以降は年度末現在の職員数を掲載

## 2 組 織 (平成30年3月31日現在)

※ 海上・港湾・航空技術研究所組織のうち、電子航法研究所に関する組織のみ掲載



## 3 役職員数

	一般勘定
理事	1
監事	1
研究統括監	1
事務職	13
研究職	43
計	59

(平成30年3月31日現在)

## 4 所 在

	所 在 地	電 話
電子航法研究所	〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7丁目42番地23	0422-41-3165
岩沼分室	〒989-2421 宮城県岩沼市下野郷字北長沼4	0223-24-3871

## 5 建 物

建 物	建 ・ 延 面 積	竣工年度
1号棟	鉄筋コンクリート2階建，建面積390㎡，延面積780㎡	昭和47年度 平成19年度改装 平成22年度改装
2号棟 (ATCシミュレーション実験棟)	鉄筋コンクリート2階建，建面積569㎡，延面積1,092㎡	平成12年度
3号棟	鉄筋コンクリート2階建，建面積232㎡，延面積465㎡	昭和43年度 平成22年度改装
4号棟	鉄筋コンクリート2階建，建面積490㎡，延面積980㎡	昭和53年度 平成23年度改装
5号棟	鉄筋コンクリート2階建，建面積630㎡，延面積1,160㎡	昭和63年度 平成22年度改装
6号棟	鉄筋コンクリート2階建，建面積355㎡，延面積653㎡	平成22年度
仮想現実実験棟	鉄筋コンクリート造一部鉄骨造2階建，建面積480㎡，延面積703㎡	平成6年度
電波無響室	鉄筋コンクリート2階建，建面積590㎡，延面積687㎡ 内装寸法：奥行32m，幅7m，高さ5m	昭和45年度 昭和48年度増築 平成13年度改装
アンテナ試験塔	鉄筋造，カウンタポイズ直径25m，奥行・幅13m，高さ19.5m 実験準備室：鉄筋造一部中2階建，建面積160㎡，延面積203㎡	昭和52年度 昭和53年度
岩沼分室建屋	鉄筋コンクリート2階建，建面積287㎡，延面積497㎡ 屋上にレーダー塔を設置	昭和54年度 平成24年度改修
岩沼分室格納庫	鉄骨造平屋建，面積825㎡	昭和55年度所属換 平成24年度改修

(平成30年3月31日現在)

# 第 2 部 試験研究業務



# 1 航空交通管理領域

## I 年度当初の研究計画とそのねらい

平成29年度における研究は、社会的要請、行政当局の要望などを考慮して、下記のように計画した。

1. 空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究
2. 陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究
3. 大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究
4. 遠隔型空港業務支援システムの実用化研究
5. フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究
6. 実験とハザード解析によるRNP-ARと従来方式との混合運用の導入支援に関する研究
7. 航空機の拡張型到着管理システムの研究
8. データリンクを活用した中期コンフリクト検出技術の研究
9. 予防安全のための状況認識支援に関する研究
10. 空港周辺における運航効率向上に関する研究
11. 無人機の円滑運行のためのシミュレーション技術の構築に関する研究
12. 性能向上型運航（PBO）と協調する到着スケジューリングの研究
13. 航空交通データの分析への機械学習の適用
14. 空港周辺に資する交通データ活用技術の予備的研究
15. 羽田空港への将来の航空交通を評価する航空管制シミュレーション環境の設計
16. チーム協調支援のためのチームレジリエンス指標・推定モデルの開発
17. 次世代自動航行システム研究開発
18. 将来の航空交通管理のための到着・出発機合流最適化アルゴリズムに関する研究
19. 予防安全に向けたシステムの脆弱性分析手法に関する基礎的研究
20. 堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現

1から5は重点研究、6と7は指定研究、8から11は基盤的研究、12から14は萌芽的研究、15から20は競争的資金による研究である。

1は空港面監視データ等から成田空港を地上走行する航空機の交通状況进行分析するとともに、ファーストタイムシミュレータを開発し、空港面の交通状況に応じて運用を効率化する交通管理手法およびその適用条件について検討する。

2は陸域（レーダー空域）へのUPR（User Preferred Route）を前提にした空域編成の可能性および意思決定支援手法をシミュレーションにより明らかにするものである。

3は国内において交通量の少ない時間帯を中心に実施されている継続降下運航を繁忙時に実施することを目指した研究である。

4は空港のタワーで行われている業務を、映像技術およびネットワーク技術等を活用し、離れた遠隔地に設置された施設にシステムを集約し、管制業務を実施するリモートタワー運用の実用化に向けて、システムに必要な技術開発やコンセプトモデルのシステムインテグレーションを実施する研究である。

5はフリールーティング及び協調的意思決定（CDM：Collaborative Decision Making）を取り入れた軌道ベース運用方式を福岡飛行情報区（FIR：Flight Information Region）の高高度空域を対象として戦略的軌道管理コンセプトを提案するものである。

6は単独では安全性が確認されているRNP-AR進入方式・従来方式を混合環境で実施する場合、単独に実施していたのでは顕在化しないハザード（危険因子）が顕在化する可能性があるため、RNP-AR適合機及び非適合機が混在する環境において同一滑走路への進入方式として従来方式とRNP-AR方式が混合で運用される混合運用のハザード解析をリアルタイムシミュレーション実験の結果を用いて実施する。

7は2020年以降の羽田空港への到着交通流を対象とし、航空機の到着順序づけと到着時刻のスケジューリングを自動化して管制官を支援する拡張型到着管理システムを提案する。

8は20分程度先までの航空機の軌道を予測して、潜在的なコンフリクトを検出する中期コンフリクト検出技術の、データリンクの活用による高度化の可能性について検討を行うものである。

9はこれまでの共同研究により開発したCOMPASiを利用して、レジリエンス能力の高い航空保安業務従事者にとって必須の「気づき」能力の支援を行うための手法を開発する。

10は羽田空港における地上滑走中の離陸機の燃料消費削減、着陸機の滑走路変更による空港処理容量の改善効果、効率的な上昇手法に関する検討を行う。

11は将来、無人機運用の需要が増加すると考えられる低高度から中高度における無人機と有人航空機の融合した安全かつ効率的な交通管理コンセプトにつなげるため、無人機・有人航空機の統合シミュレーション環境を構築するにあたり必要な技術を検討する。

12は機上監視応用システム（ASAS）を活用する間隔管理とFPA（Fixed-flight Path Angle）降下を羽田空港の到着に適用した場合の有効性評価と到着スケジューリングアルゴリズムの検討を行う研究である。

13は航空交通データの分析への機械学習の適用の一例

として、飛行時間の予測と到着機の順序付けのモデル化を行い、機械学習の適用が有効な課題の条件を考察する研究である。

14は関西国際空港を対象として、空港面交通データ分析をもとに地上走行の現状の課題を抽出し、対応策を検討するために、交通データ分析およびシミュレーション実験の環境構築、ならびに関西空港の空港面交通流における基礎的な知見のとりまとめを行うものである。

15は将来の航空管制システムを模擬して評価する実験施設の実現に向けて、発着枠の増大が見込まれる羽田空港への到着機を対象としたHITLシミュレーション実験を実施するための航空管制シミュレーション環境を設計するものである。

16は航空交通業務への適用を目指したチーム協調プロセスを監視、評価するための認知行動指標（チームレジリエンス指標）開発とそれに必要な基盤技術開発を行うものである。

17はGPSやILSが使用できなくなった場合に、航空機に搭載されたカメラから滑走路の相対位置をリアルタイムで検出し、引き続き進入を続けられるようなシステム技術を開発するものである。

18は上空での干渉を回避することができる合流最適化手法を開発することで、空港周辺空域の到着・出発航空機の軌道、及び到着・出発順序を同時に最適化することができる到着・出発合流最適化アルゴリズムの開発を行うものである。

19は航空管制業務を対象に日常的なオペレーションの安全性向上問題に対するSafety-II概念の適用方法論の確立を図るための強靱性分析手法を提案するものである。

20は航空機、列車、船舶といった計画に基づいて運行される大規模輸送システムの安全性と効率性を両立するモデルとシミュレーション手法を開発し、それぞれの輸送システムが互いに影響し合う効果を分析・予測する技術を構築するものである。

## II 研究の実施状況

1の「空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究」では、スポットと滑走路の位置関係を考慮した精度の高い基準時間をもとに、離陸時刻を予測することで、管制官によるスポット出発時刻調整による離陸待ち時間が一定以下になり、さらにばらつきを小さくすることができる可能性がシミュレーションにより示された。また、本研究で開発した空港面交通シミュレータや地上走行の分析手法は、成田空港のみならず、他空港へ展開・適用するこ

とが可能となった。

2の「陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究」では、実運航を再現する航空交通流モデルを構築し、実データとの比較を行い、誤差発生要因の検討とパラメータの修正により誤差の平均・ばらつきともに0.5分間程度の範囲に収めることを可能とした。また、円滑な運航を実現するためにクラスタ解析により風向・風速をパターン化し、それに基づくUPR経路の便益を推定した結果、4%程度の燃料削減の可能性が示された。

3の「大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究」では、航空機の性能モデルであるBADA（Base of Aircraft Data）を活用したCDOモデルを開発し、フルフライトシミュレータの結果を精度よく模擬できていることを確認した。また、管制官のCDO実施判断を支援するため、CDO実施機と関連する交通がタイムラインで表示できるCDO実施判断支援ツールを製作した。

4の「遠隔型空港業務支援システムに関する研究」では、開発したプロトタイプシステムの映像が国際的な技術仕様を満たしていることを確認した。また、映像データから航空機や航空面を移動する物体を検出できる映像検知機能を改良し90%程度の検知率を得ることができた。

5の「フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究」では、福岡FIRの国際交通流分析と、欧州の「Free Route Area (FRA)」導入に関する調査を実施した。また、ベンチマークとして利用するパフォーマンス指標を計算するツールのモジュール化、高速化、精度向上のための改良を行った。

6の「実験とハザード解析によるRNP ARと従来方式との混合運用の導入支援に関する研究」では、関西国際空港における混合運用のリアルタイムシミュレーション実験を実施し、少なくとも22時以降の交通流に対しては実験中に学習したRNP AR機とILS機との間隔を念頭に管制を行えば、滑走路近傍においても指定した管制間隔を保てることを確認した。

7の「航空機の拡張型到着管理システムの研究」では、ドイツ航空宇宙センター(DLR)と共同研究契約を締結し、日欧における拡張型到着管理システムの調査および相互運用性を考慮したコンセプト設計を実施した。また、ジェブセン社とブランシュワイク工科大学との国際共同研究においては、GBASと協調するFPA降下の運用コンセプトを提案し、これらの研究成果をボーイング社のB777型機エコデモンストレーターで実証した。

8の「データリンクを活用した中期コンフリクト検出技術の研究」では、DAPsによる風向・風速、温度（推定値）



を気象庁数値予報モデルのデータ同化に用いることで、発達した積乱雲分布やシアライン位置の予想が実況に近くなる等、数値予報の精度が向上することを確認した。

9の「予防安全のための状況認識支援に関する研究」では、稀ではあるが実際に起こり得る異常事象を模擬する機能をCOMPASiに実装し、教育機関のみならず、現場での訓練にも有効であることを確認した。

10の「空港周辺における運航効率向上に関する研究」では、管制官の着陸滑走路の指示のプロセスをニューラルネットワークによりモデル化し、深夜時間帯については高精度でのモデル化に成功した。また、最適上昇軌道の解析の結果、巡航高度手前から徐々に推力を減らすことで燃料消費量が削減できることが分かった。

11の「無人機の円滑運行のためのシミュレーション技術の構築に関する研究」では、シミュレーション環境の対象となる低高度における有人の航空機運航の把握のために、ヘリコプターの動態情報及び空港監視レーダーの情報を取得し、分析結果を交通密度として可視化した。また、小型無人航空機の動態モデルと電波伝搬を組み合わせたシミュレーションを実施し、小型無人機と受信局の距離が受信強度に大きく依存していることを確認した。

12の「性能準拠型運航（PBO）と協調する到着スケジューリングの研究」では、到着スケジューリングアルゴリズムの評価をシミュレーションを用いて行い、提案した手法で全ての到着航空機の燃料消費量の総和を最小化する軌道と順序を計算することができた。また、航空機の軌道と順序に加えて、平行滑走路への航空機割当ての最適化も行うことが可能な最適化手法を開発した。

13の「航空交通データの分析への機械学習の適用」では、機械学習による飛行時間の予測モデルを作成し、バイアス誤差と誤差のばらつきが大きく改善することが示された。

14の「空港設計に資する交通データ活用技術の予備的研究」では、ARTSデータから地上走行の分析に必要な航空機位置情報が取得できることを確認し、誘導路における滞留の定量的な可視化が可能であることを確認した。また、開発した空港面交通シミュレータにより地上走行の混雑について現状が模擬されていることを確認した。

15の「羽田空港への将来の航空交通を評価する航空管制シミュレーション環境の設計」では、ドイツ航空宇宙センター（DLR）と共同研究契約を締結し、将来の羽田空港に離着陸する航空交通を模擬できる航空管制シミュレーション環境の整備を共同で進めた。また、関連する研究成果を、書籍、メディア、講演会を通して発信し、広く社会に還元した。

16の「チーム協調支援のためのチームレジリエンス指標・推定モデルの開発」では、チームの表現を行うために、チームコンテキストモデルをチーム構造とチーム現象に分けて考えることで、チーム内の役割とエージェントの関係性を表現できることが分かった。

17の「次世代自動飛行システム研究開発」では、標準24衛星環境下におけるGPSシミュレーションモデルを構築し、単独測位時に比べて、SBAS使用時は誤差が小さくなっていることが示された。

18の「将来の航空交通管理のための到着・出発機合流最適化アルゴリズムに関する研究」では、干渉回避を考慮した合流最適化に関しては、繰り返しの最適化手法を用いた最適化手法を提案した。また、滑走路容量最大化合流最適化においては、疑似航空機を導入した解法を提案し、実際に合流最適化プログラムを作成して最適化問題を解くことに成功した。

19の「予防安全に向けたシステムの強靱性分析手法に関する実践的研究」では、管制官へのインタビュー調査およびインタビューデータの分析をもとに、機能共鳴分析手法（FRAM：Functional Resonance Analysis Method）を用いた飛行場管制業務の記述手法の開発を進めた。

20の「堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現」では、独自に開発した時間間隔調整アルゴリズムとスポットアサインモデルを用いて、東京国際空港の到着交通への速度制御適用の効果を京コンピュータによるシミュレーションで評価した。

本年度は、上記の20件の研究に加えて、以下に示す5件の受託業務を行った。これらは、上記の研究及びこれまでの研究等で蓄積した知見や技術を活用したものである。

- (1) 平成29年度将来の航空交通システムに関する長期ビジョンの実現のための計画の策定等に関する調査分析支援
- (2) 洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業
- (3) 増設平行滑走路に係る運用要件調査に関する実機における航路解析支援
- (4) 危機管理時における航空交通容量等に関する調査支援
- (5) 平成29年度運航効率の業績目標作成に係るデータ計測調査分析支援

### Ⅲ 研究の成果と国土交通行政、産業界、学会等に及ぼす効果の所見

当領域が実施している研究の成果は、新たな航空交通システムの導入や技術基準、運用基準の策定等への活用が期待できるものであり、国土交通行政と深く関わっている。特に重点研究の成果は航空行政に直接に反映されるもので、社会的貢献に繋がっている。

これらの成果は、日本航空宇宙学会、電子情報通信学会、日本航海学会、米国航空宇宙学会（AIAA）などの多くの学会や日米太平洋航空管制調整グループ会議（IPACG）、EUROCAE、RTCA、ICAO などの国際会議等においても発表している。

また、日本航空宇宙学会では航空交通管理部門を通じて積極的に研究発表の企画及び ATM に関する研究の啓蒙活動を行った。

（航空交通管理領域長 中島徳頭）

## 空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究【重点研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○住谷 美登里, 青山 久枝, 山田 泉, ブラウン マーク
研究期間	平成 26 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

日本で最も繁忙な国際空港の一つである成田空港では、出発便が多い時間帯に、滑走路手前で離陸待ちの行列が生じ、航空機の円滑な運航に影響を与えている。このような空港面の混雑を緩和し、かつ年々増加する航空交通に対応するため、より効率的な空港面での交通の実現を目指した交通管理手法の提案が要望されている。本研究では、成田空港を対象として、空港面を走行する航空機の交通状況を分析し、交通状況に応じた交通管理手法および適用条件を検討し、シミュレーションにより適用効果の違いを推定することを目的とする。

### 2. 研究の概要

本研究は 4 ヶ年計画であり、主に以下の項目を実施した。

- ・ 空港面における交通状況の把握・予測
- ・ 空港面交通管理手法アルゴリズムの開発
- ・ 適用条件・手法の選択条件の検討
- ・ シミュレーション評価

### 3. 研究成果

#### 3.1 空港面における交通状況の把握・予測

成田空港の地上走行の交通状況を把握するために、航空局ならびに成田国際空港株式会社から提供いただいた空港面地上交通データ等のデータをもとに地上走行に関するデータベースを作成し、分析してきた。

出発便の地上走行を把握するために、スポット出発準備完了時刻から離陸時刻までの所要時間について図 1 のように運航フェーズで分類した。そして各所要時間を求めてシミュレーション評価での検証項目であるスポット待機時間および離陸待ち時間をそれぞれ下記のように定義した。

①スポット待機時間：スポット出発準備完了からスポット出発までの時間

②基準時間：空港面の混雑によらず要する地上走行時間であり、各スポットと各滑走路の組合せ毎に算出した平均走行時間。成田空港では、空港レイアウトの関係上ス

ポットと滑走路の位置関係により各スポットで基準時間が大きく異なる。

③地上走行時間：スポット出発から離陸までの走行時間。

④離陸待ち時間：地上走行時間のうち基準時間を超えた時間。ただし、地上走行時間が基準時間より短い場合については、離陸待ち時間を 0 分と見なす。

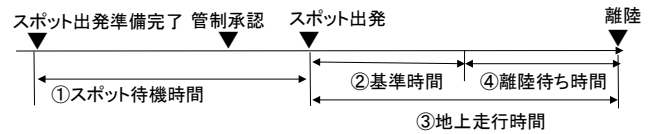


図 1 出発便の離陸までの所要時間

#### 3.2 空港面交通管理手法のシミュレーション検証

成田空港では、出発便が多い夕方の時間帯に、滑走路長が長く出発便が多く使用する A 滑走路の滑走路端で離陸待ちが生じているため、航空機の運航に影響を与えている。そこで滑走路端の離陸待ちを軽減するために、空港面を走行する機数がある一定以下にするために出発便がスポットで待機するスポット出発時刻調整が行われている。そのスポット出発時刻調整の効果を空港面交通シミュレータを用いて検証した。現状のスポット出発時刻調整を実施している場合と、スポット出発時刻調整をせずにスポット出発準備完了時刻に出発すると仮定した場合をシミュレーションした結果を比較した。その結果、出発便の滑走路端の離陸待ち時間の一部がスポット出発時刻調整したときのスポット待機時間にほぼ置き換わっていることがわかった。出発便がスポットで待機することで、到着便がスポットの空き待ちをする場合も想定されたが、今回のシミュレーションでは影響はほとんど無かった。出発便の滑走路手前での離陸待ちがその分軽減され、他の航空機の走行を妨げないようになりスポット出発時刻調整が空港面の混雑の緩和の効果があることを示した。

#### 3.3 空港面交通管理手法アルゴリズムの開発および適用条件の検討

成田空港では、平成 23 年度に、SPID (Simultaneous Parallel Independent Departure: 同時平行出発方式) と呼ばれる離陸方式が導入され 1 本の滑走路に集中していた出発便をもう 1 本の滑走路に振り分け 2 本の滑走路で同時に離陸することが可能となり、さらに、平成 27 年度より WAM (Wide Area Multilateration : 広域マルチラレーション) が導入されて、SPID 運用の日が増え、増便にも対応可能となった。このように SPID 運用が増え、交通管理手法による滞留軽減を必要とする日が少なくなったが、天候等により SPID 運用ができない日はまだあり、そのような日は夕方の時間帯に A 滑走路に出発便が離陸待ちで集中してしまうため、滞留軽減のため管制官が出発便にスポット出発時刻調整を行っている。このような日の夕方の時間帯を対象に、さらに各出発便の離陸待ち時間を一定以下かつ、ばらつきが小さくなるようあらかじめ分析した離陸時間間隔をもとに以下のような各スポット出発時刻調整の条件を検討した。

現状：現状のスポット出発時刻調整を模擬

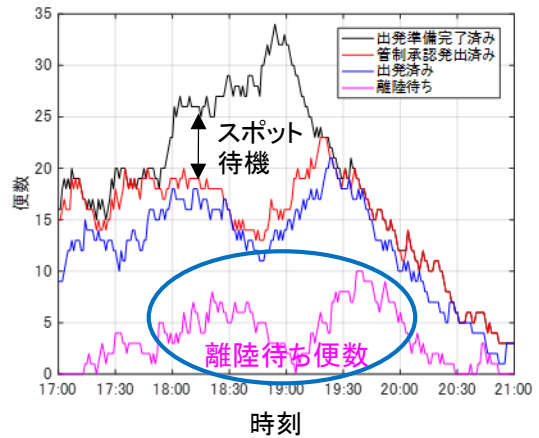
仮定 1：離陸時間間隔と同じペースでスポットを出発するようにスポット出発時刻を調整した場合

仮定 2：離陸時間間隔と同じペースで滑走路端での離陸待ちの行列に並ぶようにスポット毎の基準時間を考慮してスポット出発時刻を調整した場合

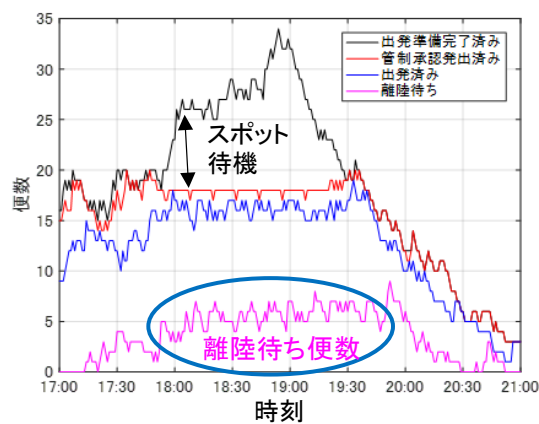
それぞれの仮定でシナリオを作成し、空港面交通シミュレータを用いてシミュレーションした結果について、交通量の時刻変化で比較する。交通量の時刻変化とは、A 滑走路を用いる出発便を、下記の 4 つの状態に仕分け、各時刻での各状態の機数を求め、折れ線で結んだものである。

- ① 出発準備完了済み：出発準備完了を通報済みであり、かつ、離陸していない状態。
- ② 管制承認発出済み：出発の管制承認を発出済みであり、かつ、離陸していない状態。
- ③ 出発済み：スポットを出発済みであり、かつ、離陸していない状態。
- ④ 離陸待ち：スポット出発後、基準走行時間だけ経ており、かつ、離陸していない状態。

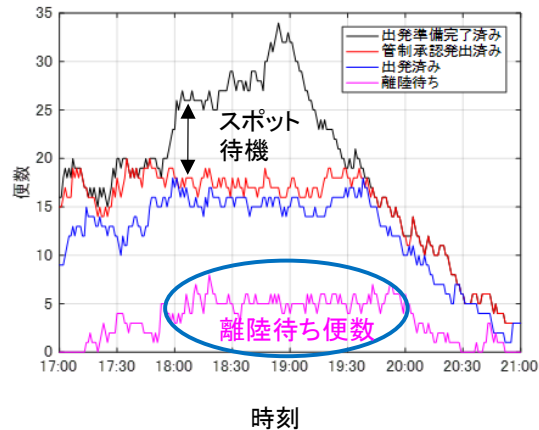
図 2 の交通量の時刻変化より、現状より仮定 1 で離陸待ち便数の時刻による変動が小さくなり、仮定 2 で離陸待ち便数がほぼ一定になっていることがわかる。図 3 に、この時間帯の各便の滑走路端の離陸待ち時間の相対度数分布および統計値を示す。離陸待ち時間の平均は変わらないが、ばらつきを示す標準偏差が小さくなったことが示された。



(a) 現状



(b) 仮定 1



(c) 仮定 2

図 2 交通量の時刻変化

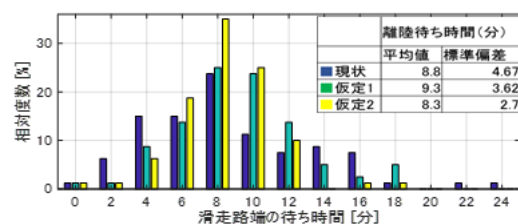


図 3 滑走路端の離陸待ち時間

#### 4. まとめ

本研究では、成田空港の地上走行の交通状況分析を行い、出発便が多い夕方の時間帯における、滑走路長が長く出発便が多く使用する A 滑走路の離陸待ち状況を把握した。そして成田空港で現在行われているスポット出発時刻調整について、スポット待機した分滑走路手前での離陸待ちが軽減され、他の航空機の走行に影響が少なくなり混雑緩和に有効であることをシミュレーションで示した。

さらに各出発便の滑走路端の離陸待ち時間を一定以下かつ、ばらつきを小さくするようスポット出発時刻調整の条件を離陸時間間隔との関係から検討した。離陸時間間隔と同じペースで滑走路端での離陸待ちの行列に並ぶような予測をもとに、スポットと滑走路の位置関係により大きく異なるスポット毎の基準時間を考慮してスポット出発時刻を調整する仮定をもとにシミュレーションしたところ、現状と比較して離陸待ち時間が一定以下かつばらつきが小さくなった。

今回は、離陸時間間隔のペースをあらかじめ既知としてシミュレーションしたが、これは出発便の精度の高い出発予定時刻を事前に把握できれば、基準時間をもとに、離陸時刻を予測することで、管制官によるスポット出発時刻調整により離陸待ち時間を一定以下にし、さらにばらつきを小さくすることができる可能性を示した。これは、成田空港で検討している空港面交通管理に関する検討への資料として提供できる。

本研究で開発した空港面交通シミュレータや地上走行の分析手法は、成田空港のみならず、他空港へ展開・適用することが可能となった。今後は、他の空港の空港面交通流分析や空港周辺関連の研究へ引き継いでいく。

#### 掲載文献

- (1) 山田泉, 住谷美登里, マークブラウン, 青山久枝, 森亮太. “成田空港出発便の地上走行時間に関する分析,” 平成 26 年度 (第 14 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2014 年 6 月, pp. 51-56.
- (2) 住谷美登里, 山田泉, 海津成男, 青山久枝, マークブラウン. “成田空港の空港面交通シミュレータの開発—機能の概要と性能検証—,” 電子情報通信学会技術研究報告. 2014 年 7 月, SANE2014-45, pp. 13-18.
- (3) 青山久枝, 住谷美登里, 山田泉, マークブラウン, 海津成男. “空港面の交通状況による滞留の傾向分析,” 第 52 回飛行機シンポジウム講演集. 2014 年 10 月, JSASS-2014-5009.
- (4) 山田泉. “成田空港における航空機の地上走行時間

に関する分析とその応用,” 第 4 回首都圏空港 CDM 勉強会, 資料 5, 2014 年 11 月.

- (5) 住谷美登里, 山田泉, 青山久枝, マークブラウン. “成田空港の地上走行時間の特性について,” 平成 27 年度 (第 15 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2015 年 6 月, pp. 19-24.
- (6) 山田泉, 住谷美登里, 青山久枝, マークブラウン. “出発時刻調整による空港面交通の滞留軽減効果の推定,” 平成 27 年度 (第 15 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2015 年 6 月, pp. 25-30.
- (7) 住谷美登里, 青山久枝. “基準時間による空港面交通シミュレータの精度検証,” 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会講演論文集. 2015 年 9 月.
- (8) 住谷美登里, 青山久枝, 山田泉. “成田空港出発便の地上走行時間に関する分析,” 航空交通管制協会誌 航空管制. 2015 年 9 月, 2015-No. 5, pp. 26-31.
- (9) 青山久枝. “空港面の交通状況に応じた交通管理手法の開発,” 国土交通省航空保安大学校 特別講義, 2015 年 12 月.
- (10) 山田泉, 青山久枝, マークブラウン, 住谷美登里. “成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証,” 平成 28 年度 (第 16 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2016 年 6 月, pp. 5-10.
- (11) 山田泉. “成田空港における空港面交通シミュレーション,” 日本航空との意見交換会資料, 2016 年 7 月.
- (12) 山田泉. “成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証,” 航空無線. 2016 年 9 月, 第 89 号, pp. 8-14.
- (13) 山田泉, 青山久枝, 住谷美登里. “空港面の航空機位置情報およびスポット出発時刻情報を用いた離陸時刻の予測に関する検討,” 第 54 回飛行機シンポジウム講演集. 2016 年 10 月, 1B14, JSASS-2016-5018.
- (14) 青山久枝. “空港面の交通流と空港舗装～空港面の交通流～,” 平成 28 年度電子航法研究所講演会資料, 2016 年 11 月.
- (15) 山田泉, 青山久枝, 住谷美登里. “航空機位置情報等を用いた出発走行時間の予測手法,” 平成 29 年度 (第 17 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2017 年 6 月, pp. 55-60.
- (16) 住谷美登里, 青山久枝, 山田泉. “成田空港の出発時刻調整による空港面交通の混雑緩和の検証,” 電子情報通信学会技術研究報告. 2017 年 8 月, SANE2017-32, pp. 21-26.
- (17) 山田泉, 青山久枝, 住谷美登里. “空港面の混雑緩和のためのスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察,” 第 55 回飛行機シンポジウム講演集. 2017 年 10 月, 2F12, JSASS-2017-5157.
- (18) 山田泉. “空港面の混雑緩和のためのスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察,” 第 5 回首都圏空港の協調的運用 WG 成田分科会 資料, 2018 年 2 月.

陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究【重点研究】

担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○蔭山 康太, 中村 陽一, 岡 恵, 宮津 義廣, 秋永 和夫  
 研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度

1. はじめに

航空需要の増加により2025年頃には現行運用の限界が予想される。これに対して、国土交通省では空域の抜本的再編により業務負荷低減などを図り、管制処理能力の向上を計画している。一方、現在使用されている固定経路に替わり、空域ユーザが気象条件などを考慮して飛行経路を決定するUPR(User Preferred Route)の陸域（レーダ空域）への導入により飛行効率の向上が期待される。管制処理能力と飛行効率の向上のために、UPR導入を考慮した我が国の陸域への空域編成手法の確立が必要とされる。

2. 研究の概要

本研究では、UPR やセクタ容量を考慮したシミュレーション・モデルを作成し、経路構成の変化に対応した空域編成を検討する。同時に、UPR 導入による便益やセクタ容量による制約を明らかにする。また、最適化などの意思決定支援手法の空域編成への適用を調査・研究する。

今年度はUPR 運航の要件調査として、UPR 導入に解決が必要とされる課題の項目出しを行うとともに、現実の運航に対する再現性の高い航空交通流モデルを構築した。また、UPR 経路の構成およびパターン化を行い、数理計画法の導入による空域編成手法の検討に着手した。

3. 研究成果

3.1 UPR 運航の要件調査

UPR 運航導入のために解決が必要とされる課題の項目出しを行った。課題の項目出しは、関連した研究を進めるためのガイドラインとして有用である。図1に抽出された課題を示す。導入には大きく高精度な交通流の予測、ユーザ・ニーズに合致した軌道計画、計画された軌道の実現の

3つの分野の課題を解決する必要がある。

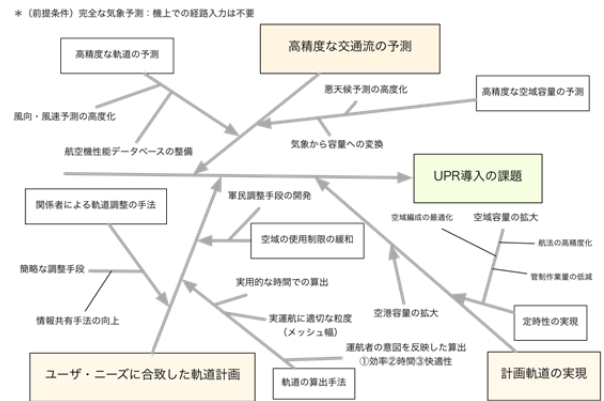


図1 UPR 導入時の課題の項目出し

3.2 再現性の高いシミュレーション・モデルの構築

信頼性のあるシミュレーション結果を取得するためには実運航を再現したモデルの構築が不可欠である。航空交通流モデルを構築し、セクタ内の飛行時間について再現性を検証した。実データと比較を行い、誤差発生要因の検討とともにパラメータを修正した結果、実データからの誤差を平均・ばらつきともに0.5分間程度の範囲に収めることを可能とした。図2にモデルにおける飛行時間の予測誤差の分布を示す。

再現性の高いシミュレーション・モデルの構築は航空交通流の安全性や円滑性の予測を容易にするため、例えば燃料消費を低減する運航方式の迅速な事前検討を可能とする。

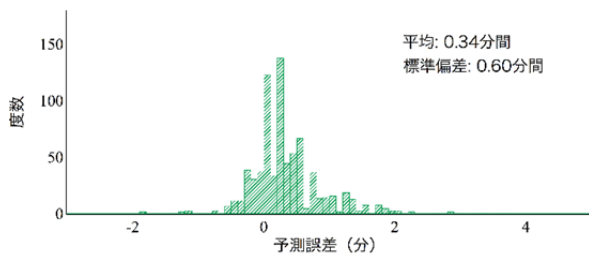


図2 飛行時間の予測誤差の分布

### 3.3 UPR 経路の便益推定およびパターン化

UPR では風向・風速を考慮して燃料消費あるいは飛行時間が最小となるように運航者が飛行経路を決定する。特に燃料消費を対象として UPR の便益を推定するとともに燃料消費削減の要因（経路長，方向，季節など）の特定を行った。便益推定からは最大で 4%程度の燃料削減の可能性が示された。

UPR では風向・風速に応じた多様な経路構成が想定されるが、円滑な運航には限定された経路構成の導入が好ましいと考え、クラスタ解析の手法により風向・風速をパターン化し、そのパターンに基づく飛行経路を算出した。図3に経路を示す。

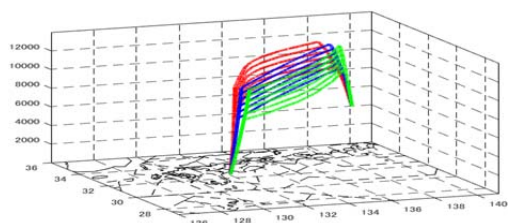
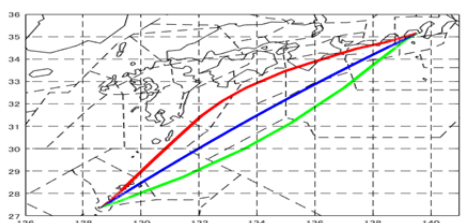


図3 経路構成のパターン化の例

### 3.4 空域編成

経路構成が可変となる UPR では特定のセクタに交通流

が集中する場合は考えられる。円滑な交通流の実現には交通流の集中を回避するような空域編成（セクタ構成）が不可欠であり、空域編成の意思決定支援手法の導入が必要とされる。

空域編成ならびに関連する研究領域の先行研究や事例の網羅的な調査および我が国の空域における考慮すべき条件の抽出・整理の結果に基づき、空域編成を数理モデル化（定式化）し、数理計画法による解の算出手法の概略を設計した。空域編成は多数の飛行や地点を対象とするため、実用的な時間で解を算出するためには効率的な算出手法が必要とされる。引き続き算出手法の検討および実装を進め、燃料消費などを削減した飛行を可能とする空域編成の実現を目指す。

本項目は公募型研究課題「空域編成への数理計画法の適用の研究」において、筑波大学の選定および研究の委託を行うことで実施した。

### 4. おわりに

次年度は、UPR導入要件のための課題項目の精緻化、シミュレーション・モデルを用いた空域編成の検討および数理計画法による空域編成の解の算出手法の実装などを実施する予定である。

### 掲載文献

- (1) 蔭山康太, 秋永和夫, 平林博子. “シミュレーション・モデルにおける航空管制セクタ滞在時間の検証,” 第55回飛行機シンポジウム, 2017年11月.
- (2) Y. Nakamura, K. Kageyama. “An Efficient Route Design Using Wind patterns,” AIAA Scitech: Modeling and Simulation Technologies Conference, January, 2018.
- (3) Y. Nakamura, K. Kageyama. “Wind Classification for Route Design,” 2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, November, 2017.



## 大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究【重点研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○平林 博子, 福島 幸子, 岡 恵, ナヴィンダ ビクラマシンハ, 虎谷 大地
研究期間	平成 28 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

継続降下運航（CDO：Continuous Descent Operations）は燃料や騒音を低減できる運航方式であり世界的に CDO 実施空港は増加している。国内でも交通量の少ない時間帯ではあるが CDO 運用空港は増加している。運航者からは実施空港の増加及び運用時間帯の拡大が求められている。

CARATS では CDO を混雑空港で繁忙時にも運用することを目標としているが、CDO 運用実績の多い関西国際空港（以下、関西空港）では CDO の運用が交通量の少ない深夜早朝帯に限られている。

本研究の目的は継続降下運航を実施できる航空機を増加させるために、実施空港及び運用時間の拡大を目指すことである。

### 2. 研究の概要

本研究は 4 年計画である。平成 29 年度の研究においては、以下を実施した。

- ・ CDO の現状調査及び分析
- ・ CDO モデル開発
- ・ CDO 実施判断支援ツールの製作

### 3. 研究成果

#### 3.1 CDO の現状調査及び分析

CDO 方式を管制機関から承認されると、航空機は CDO 方式の終了地点（初期進入フィックス：Initial Approach Fix, IAF, 中間進入フィックス：Intermediate Approach Fix, IF 等）まで個々の飛行の性能等に応じた降下が可能となるため、降下角は高度、速度指示に従って飛行する通常の運用とは異なる。CDO 実施機の軌道の分析ではいくつかの側面からのアプローチが考えられ、その中でも降下角はパイロットの操作性及び軌道予測にも影響を及ぼすことから、CDO 実施機の航跡を用いた降下角分析を実施した。

表 1 は関西空港レーダー航跡から算出した CDO 実施機の降下パスの統計値である。最も実績の多い KARIN 経路機を対象として、降下開始地点（Top Of Descent, TOD）からターミナルレーダー空域への移管地点、移管地点から CDO 方式の終了地点（IAF/IF）、及び TOD から IAF/IF までの降下角を算出した。通常、滑走路へ近づく進入降下角は 3 度が適正值とされるが、TOD からの降下では 2.2～2.5

表 1 CDO 実施機の降下角の統計値（度）

	TOD → 移管点 (KARIN)	移管点 (KARIN) → IAF/IF	TOD → IAF/IF
平均	2.5	2.2	2.3
標準偏差	0.4	0.3	0.3
最大	3.1	2.9	2.9
75%	2.6	2.4	2.4
中央	2.5	2.2	2.4
25%	2.2	2.1	2.0
最小	1.4	1.5	1.6
サンプル数	41	44	41

度と比較的浅めの角度で降下していることがわかる。また、より高度の低い移管点以降の方が浅い角度である。これらの結果は CDO モデル開発、シミュレーションのパラメータ値等への活用する計画である。

#### 3.2 CDO モデル開発

CDO 運用拡大のためには通常運用とは異なる CDO 機の将来位置を正確に把握することが重要となるため、CDO 実施機の正確な予測軌道を求めることを目的とし、航空機の性能モデルである BADA（Base of aircraft Data）を活用した CDO モデル開発に着手した。図 1 は BADA により計算された軌道から得られた燃料流量と、航空機の操縦や動作を高度に模擬できるフルフライトシミュレータから得られた燃料流量を比較したものである。横軸に示すフライトケース（48 ケース）ごとの燃料流量の二乗平均平方根（RMSE）を縦軸に示す。多くても  $0.3\text{kgs}^{-1}$  程度の RMSE 値という非常に小さい誤差であり、BADA を用いた CDO 軌道計算の有効性を示している。図 2 はフルフライトシミュレータ実験で得られた CDO 飛行の軌道（FFS）と、BADA を用いて数値計算により求めた、ファストタイムシミュレーション（FTS）の結果を比較したものである。飛行距離に対する高度（左上図）、飛行時間に対する速度（右上図）、上昇/降下角（左下図）及び燃料流量（右下図）である。いずれのパラメータにおいても、数値計算の結果がフルフライトシミュレータの結果を精度よく模擬できていることが示されている。

平成 30 年度は、CDO 実施機の QAR（Quick Access



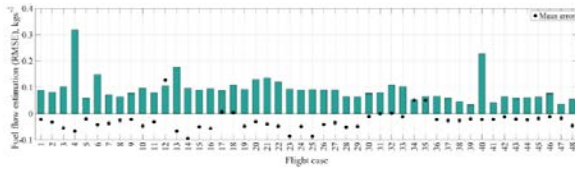


図1 燃料流量計算の誤差計算結果

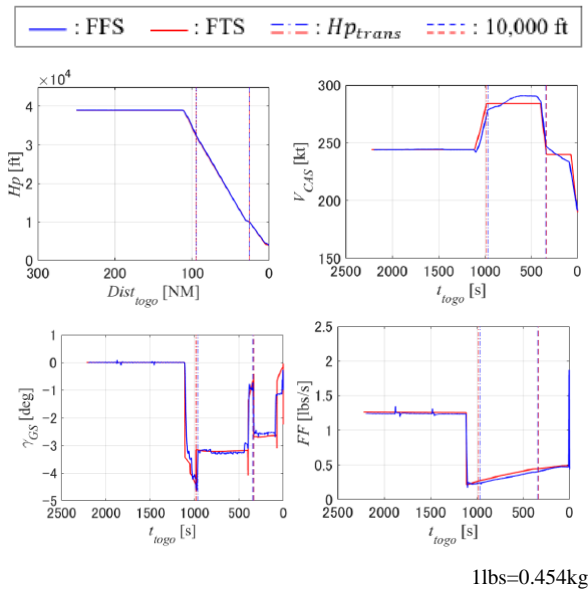


図2 フルフライトシミュレーター (FFS) とシミュレーション計算 (FTS) の比較

Recorder) データを使用し軌道予測の正確性の向上を目指す。

### 3.3 CDO 実施判断支援ツールの製作

管制官が CDO を承認するには、他の航空機との近接などを事前に検証する必要があり、交通量が多いときの CDO 実施判断は管制官にとって大きな負荷となる。初期的な到着管理を行い、CDO 拡大の可能性をシミュレーションし実施判断を支援するツールを製作した。平成 29 年度は CDO 実施機と関連する交通がタイムラインで表示できる機能を製作した。図 3 は表示画面のタイムラインを示す。到着機が通過する固定位置、到着滑走路が各タイムラインとして示され、各タイムライン上に到着機と、関連する空港からの出発機等が示されている。到着機同士の間隔及び出発機との関連、さらに速度調整等の調整前後の到着機同士の間隔が確認できることから、管制官の CDO 実施判断のための補助的役割を担う。平成 30 年度は、管制経験者に CDO 実施判断支援ツールを使用してもらい、ツールの評価を実施する計画である。

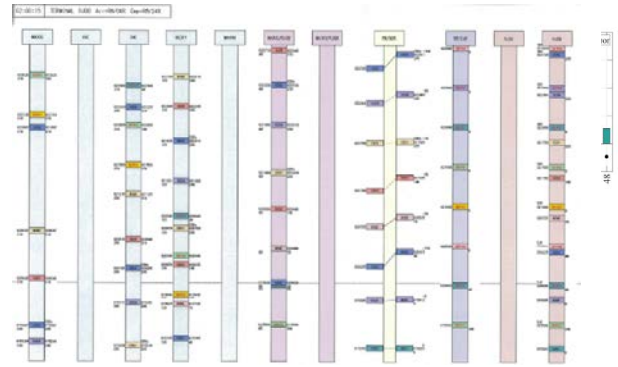


図3 CDO 実施判断支援ツールのタイムライン表示画面

## 4. まとめ

CDO 運用実績の多い関西空港の航跡データを用いて、降下角に着目した詳細な現状分析を実施するとともに、CDO 軌道予測のための CDO モデル開発に着手した。モデル開発においてはフルフライトシミュレータの軌道と比較して大きな誤差のない軌道計算の結果が得られている。今後は QAR データを用い軌道予測の正確性の向上を目指す。

CDO 実施判断支援ツールの製作においては、到着機同士の間隔及び出発機との関連、さらに速度調整等の調整前後の到着機同士の間隔が確認できるタイムライン表示を製作した。平成 30 年度は、管制経験者に CDO 実施判断支援ツールを使用してもらい、ツールの評価を実施する計画である。

## 掲載文献

- (1) S. Fukushima, H. Hirabayashi, M. Oka and D. Toratani. "A Review on the Expansion of Restricted Continuous Descent Operations at Kansai International Airport," APISAT2017, 2017 Oct.
- (2) 福島幸子, 平林博子, 岡恵, ビクラマシンハナヴィンダ, 虎谷大地. "継続降下運航実施に必要な間隔の設定方法の検討," 第55回飛行機シンポジウム, 2017年11月.
- (3) 平林博子, 福島幸子, 岡恵, ビクラマシンハナヴィンダ, 虎谷大地. "航跡データ解析を用いた関西国際空港における継続降下運航運用拡大の可能性に関する一考察," 第55回飛行機シンポジウム, 2017年11月.
- (4) N. Wickramasinghe, D. Toratani, S. Fukushima and H. Hirabayashi. "A Study on Modeling Techniques for Fuel Burn Estimation based on Flight Simulator Experiment Data," 2017 Winter Simulation conference, 2017 Dec.

- (5) D. Toratani N. Wickramasinghe, S. Fukushima, H. Hirabayashi. "Design Methodology to Simulate Continuous Descent Operations at Kansai International Airport," 2017 Winter Simulation conference, 2017 Dec.

## 遠隔空港運用支援システムに関する研究【重点研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○井上 諭, ブラウン マーク, 青山 久枝, 角張 泰之 (監視通信領域), 米本 成人 (監視通信領域), 宮崎 裕己 (監視通信領域)
研究期間	平成 29 年度～平成 32 年度

### 1. はじめに

リモートタワーは、現在、空港のタワーで行われている業務を、映像技術およびネットワーク技術等を活用し、離れた遠隔地に設置された施設にシステムを集約し、管制業務を実施するものである。空港の交通状況や監視業務を離れた場所にある運用センターから実施できるようにするためには、カメラ及び表示機能、監視センサーや情報通信技術を活用したシステムを用い、安全性の向上はもちろん、現在のタワー業務と比較しても、効率的な運用が可能なシステムとして行く必要がある。そのため本研究では、リモートタワーの実用化に向けて、それらシステムに必要な要素技術開発とコンセプトモデル構築、システムインテグレーションを実施し、日本のリモートタワーに必要な技術と仕様を導く。

### 2. システムの概要

リモートタワーでは図1に示すように、タワーで業務を行う際にオペレーターが見る窓の外の状況（Out of The Window view）と同様なタワーからの視界と同様のパノラマビューをカメラとディスプレイのシステムによって実現する。また、空港周辺や空港内の航空機の位置は監視センサー情報を基に、パノラマディスプレイ上に拡張現実（Augmented Reality : AR）型の支援情報を表示する。これらの機能はオペレーターの情報確認のためのルックダウンの時間を減らしたり、情報との照合のミス防止など、安全性の向上と同時に、効率にも寄与できる。



図1 システム概念構成

また双眼鏡を使うような特定の視界領域を拡大したい場合に対応するため、PTZ カメラを装備している。PTZ カメラは特定の場所を拡大、さらに位置センサー

の情報と連動して特定の目標を自動的に追尾する機能を持つ。これらの機能により、オペレーターは空港から離れた運用センターからでも航空機を監視し、必要な情報提供や指示等の業務が可能になる。

### 3. 実験システム

本研究では仙台空港に隣接する岩沼分室にテストシステムを製作、設置し性能検証を実施した。テストシステムは、タワーから見える状況と同様の映像を複数のマルチディスプレイに映し出す。（図2）このプロトタイプシステムでは、固定カメラ及び PTZ カメラは汎用のネットワーク HD カメラを使用した。



図2 プロトタイプシステム（ディスプレイ及び操作 HMI）

#### 3.1 カメラシステム

カメラからは 30fps で映像が配信され、シームレスになるように設置された HD のディスプレイ 6 台に 180° のパノラマ映像が出力される。カメラとマルチディスプレイ間は、メディアコンバーターを介した光回線で接続している。調布側の実験設備と岩沼分室の間は専用の光ファイバー回線を用いており、岩沼分室に設置しているカメラから映像を約 300 km 離れた調布側のディスプレイに映し出す遠隔環境の実験を実施した。配信される映像の技術基準は EUROCAE の ED-240 では 1 秒以内を満たすことが要求されるが、本実験では約 0.6 秒となっており、システムが国際的な技術要件を満たしていることも確認できた。また図3に示すように、夜間のカメラ性能の評価実験を実施するために 3 つの異なる仕様のカメラを評価に用いた。この評価では夜間の視認性を確認するためフォーカス、ゲインと色調のバランスを現地の肉眼の状況と照らし合わせながら評価を行った。ここまでの評価では、最低被写体照度の性能が高い場合

が必ずしも視認性が高いということではなく、暗部が多い中に強い光がある場合には、ゲインコントロールが強く効くと、ハレーションやノイズにより視認性には悪影響があることが分かった。

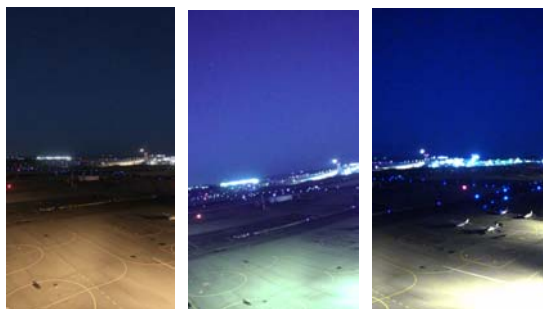


図3 固定カメラによる夜間映像の比較例

### 3.2 ターゲットトラッキング

リモートタワーではカメラ映像による視界を提供するため、映像に付加情報を載せることが可能となる。特に状況認識を補助することは見落としなど安全に関わる作業負荷を軽減することは有効と考えられており、新たに装備される機能の一つが航空機や移動体を検知、追尾することができるターゲットトラッキングがそれにあたる。この業務支援情報の表示は、視界が低下するような悪天候や夜間等の条件においても、航空機の位置情報がディスプレイ上に合成映像として表示されることで、オペレーターの負荷軽減に寄与する。この機能は将来的に、映像データを元にした映像検知情報と監視センサーから得た位置情報の2つを使用し、ディスプレイ上の航空機の位置に、便名や位置、またフライトプランなど、運用に必要な情報をタグとして表示することが可能である(図4)。映像検知では、基本的には映像データ内の動体の差分を検出することで、映像情報から航空機や空港面を移動する物体を検出できる。しかし、映像差分だけでは、すれ違いや重なり、ノイズ等の外乱情報に弱いため、検知率や検知の連続性では実用的な域にはならない。そのため補正の技術を付加することが必要となる。補正の仕方は差分情報を基にした予測を行うことになるが、これらの方法はカルマンフィルタ等の移動体のベクトル計算等、様々な方法がある。本研究ではいくつかの方法を試した結果、評価テストにおいては90%程度の検知率を得る事ができた。ただし、検知精度は天候や時間帯による環境の状態より明るさやコントラスト等の違いがあるため、単独の設定で一律の性能を確保することは現状では難しいことが分かっており、今後も精度向上に向けて、アルゴリズム改善や検知方式の見直しを行っている。ただし、システムとしては、レイテンシーを1秒以内に抑えることが最低技術要件としてあるため、検知においても処理時間をこれらの基準以内に抑えることが求められており、ハードウェア性能とソフ

トウェアのバランスを見極めることも実用化に向けては十分に考慮する必要があると考えている。



図4 ディスプレイ上のトラッキング表示例

また、可視光カメラによる視認性能に限界がある条件時においては、映像認識の機能が働かない場合が想定される。そのような場合には位置情報センサーからの情報を用いて航空機のいる位置を推定し、映像上表示することで、空港内のどの位置に航空機がいるのかを知ることができる。現在、本研究ではMLATからの情報を基に映像上に座標をマッピングすることで航空機の位置を把握することができるようにしており、評価においては、視界が悪い悪天候の状況や、遠方に小さく映る航空機をいち早く認識できることを確認できた。監視センサーにおいてもリアルタイム性は映像データとのシンクロに大きく影響するため、重要な要素で、精度と整合性の評価は今後引き続き実施していく。

### 3.3 統合型操作用HMI

新しいシステムでは、レディオ空港を想定として、人間中心設計の考え方にに基づき、業務分析から情報の配置や表示の仕方を検討し、HMIデザインを検討してきた。運用課の協力のもとユーザー評価を繰り返し行い、オペレーターにとって使いやすい統合型HMI(図5)を作成し、これらのHMIを設計するためのデザインガイドラインを作成した。

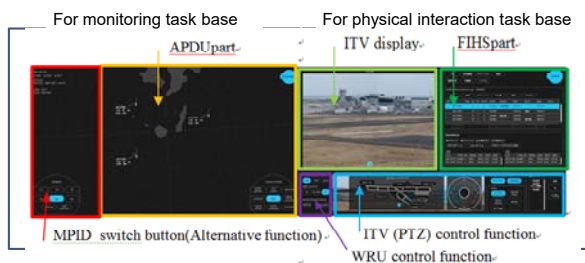


図5 操作用HMIデザイン例(カメラ操作機能及び、フライトプラン、気象情報の設定を統合した例)

## 4. まとめ

本研究ではリモートタワーの実用化を目指し、プロトタイプシステムを作成し、機能検証を実施した。今後も、機能や精度向上を引き続き行っていく予定である。

## フリールーティング空域における軌道ベース運用に関する研究【重点研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○ブラウン マーク, 平林 博子, ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ, 長岡 栄
研究期間	平成 29 年度～平成 32 年度

### 1. はじめに

航空交通管理（Air Traffic Management : ATM）では、国際航空交通量の増加に対して、安全性や定時性を始めとする航空交通の効率を保つため、軌道ベース運用（Trajectory-Based Operations : TBO）概念が提案されている。TBO において、航空機は水平位置、高度と時刻で定義される 4 次元の計画軌道に基づいて運航される。各フライトの最大便益を図り、運航者の希望軌道の制限を少なくする「フリールーティング」と、混雑時の空域や空港での資源を効率よく割り当てるために「協調的意思決定」（ Collaborative Decision Making : CDM）が必要である。今後、フリールーティングと CDM を取り入れた TBO に基づいた軌道管理方式を高高度空域に提供するコンセプトが必要である。

### 2. 研究の概要

本研究の目的は、フリールーティング及び CDM を取り入れた軌道ベース運用方式を福岡飛行情報区（ Flight Information Region : FIR）の高高度空域を対象として戦略的軌道管理コンセプトを提案するものである。福岡 FIR においては、国際交通量が継続的に増加する傾向であり、FIR を通過する複数の軌道を「エンド・ツー・エンド」で管理することが必要となる。また、軌道間干渉の解決や空港混雑時の交通流調整のために軌道変更が必要な場合は、CDM を支援するため、各関係者への影響を客観的に表すパフォーマンス指標を用い、各関係者への利益・不利益を評価し均衡を保つ必要がある。このフリールーティングのコンセプトと必要な「イネーブラー」技術を調査し、適用性の向上を目指す。

### 3. 研究成果

#### 3.1 運用環境及び運用方式の調査

「フリールーティング」を実現するため、現在の空域と航空路・ATS 経路の構成を見直す必要がある。そのため、平成 29 年度は、現状の福岡 FIR の国際交通流を分析し、課題を洗い出した。

図 1 は、福岡 FIR の主な国際交通流を示す。平成 28 年度の平均値 200 便/日以上交通量がある交通流を赤い線で、福岡 FIR の洋上空域と陸上空域（レーダー監視空域）の境界線を点線で示す。北太平洋の洋上空域は、固定経路（NOPAC）空域と可変経路が設定される空域（図では「PACOTS/UPR」）に分かれている。空域設計及び運用方式の変更が IPACG（Informal Pacific ATC Coordinating Group）において検討されている。その検討及び議論を支援するとともに、現状の運用状況を解析し、将来の経路編成等の可能性を定量的に示すためファスト・タイム・シミュレーションを行った。また、PACOTS/UPR 空域における動的飛行経路変更方式

（Dynamic Airborne Reroute Procedures : DARP）の便益を解析した。DARP とは、航空機が飛行中に最新の気象予報データを基に風を考慮した燃料効率の良い最適経路を再計算し、その先の飛行経路を変更する運用方式である。消費燃料において便益がある一方、運航者側の運航管理者及び機上のパイロットの業務負担が多くなることが課題となっている。DARP の概念は有効であるが、自動化や通信機能の改良も必要であると思われる。



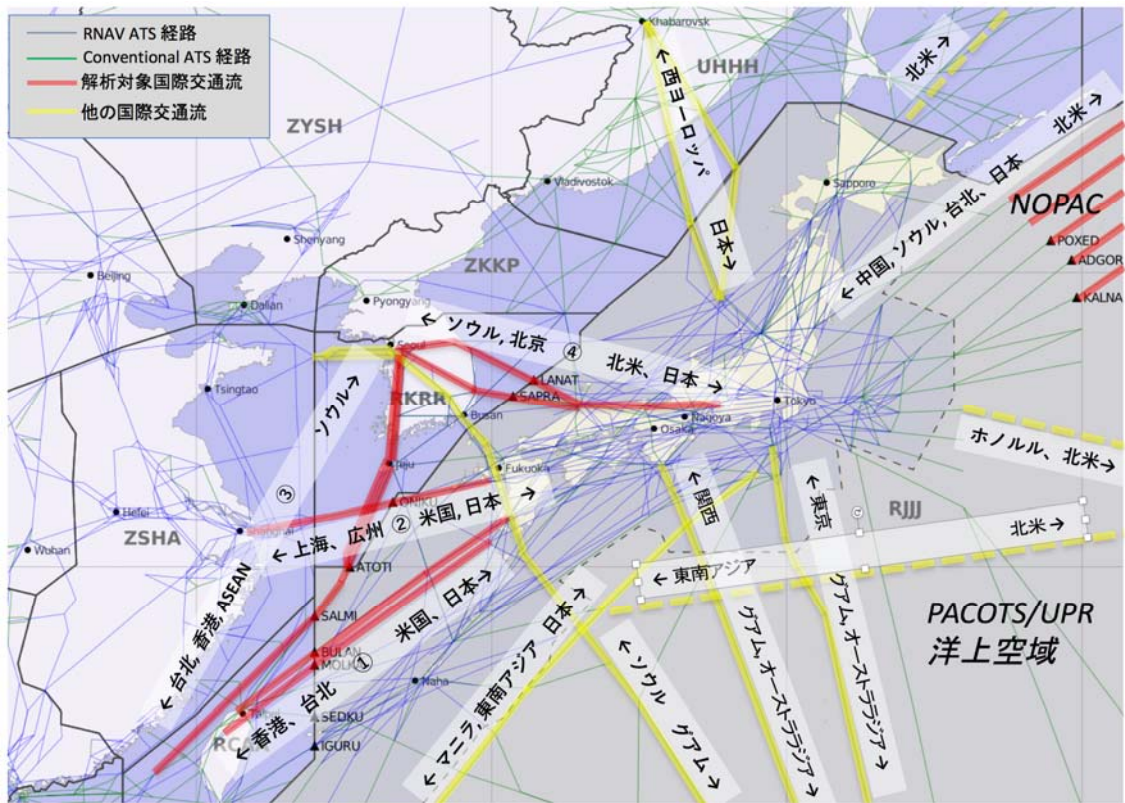


図1 福岡 FIR の主な国際交通流（ルート情報・FIR 境界線情報の提供：Jeppesen 社）

福岡 FIR の西側境界線を通過する交通流は、主にレーダーで監視されているため、交通容量は洋上空域より多い。日本と香港・台北を結ぶ二つの一方通行の固定経路（図1の①）の平成28年度における交通量は一日平均403便であった。日本～上海間のアカラ回廊（②）では一日平均315便であった。アカラ回廊のある経路はソウルと台北・香港・ASEANを結ぶ経路（③ 一日平均278便）と交差するため、選択可能な高度が制限されており、ボトルネックとなっている。ソウル・北京～日本・北米のルート（④）の交通量は一日平均314便であり混雑している。

### 3.2 運用方式の調査

ヨーロッパにおいて、EUROCONTROL に所属する国は飛行経路の効率化のために「Free Route Area」（FRA）を導入しつつある。

航空機の飛行計画上の経路が存在したとしても、実際の運用においては運用状況が許す限り航空管制官がレーダー誘導で経路の短縮「ショートカット」を支持する。その結果、飛行距離が短くなり効率的であるが、飛行計画経路と実運航経路が異なるため、軌道予測の精度は低くなる。このような課題に対応するため、

EUROCONTROL は FRA を導入している。FRA においては、航空機が固定経路と関係なく、FRA 空域の境界にある入域ポイントと出域ポイントの間に直接または幾つかのポイントを經由して飛行経路を計画できる。なお、隣接する国の FRA 空域も結合し、FIR 境界線を特定のポイントで通過する必要性を撤廃し、よりシームレスな空域構成の実現が見込まれている。

### 3.3 ATM のための「パフォーマンス指標」

現在、空域容量の制限は空域のセクターを担当している航空管制官の業務負担として考えられるが、TBO の運

用環境においては、航空管制の業務が変わり、「セクター」ではなく航空機の軌道を管理することから、新しい空域容量の指標が必要である。平成25年度～28年度に行なった軌道ベース運用の研究において、航空機の軌道情報から計算する「管制難易度」概念に基づいた指標を開発した。平成29年度は、その指標の評価を継続した。

複数の関係者が参加するCDM環境において、航空機軌道の「パフォーマンス」とその変更の影響を客観的に評価する必要がある。そこで、航空機の運用に利用されるKey Performance Indicators (KPI)の調査を行なった。調査結果により、航空機運用におけるKPIは、利用者の目的により異なってくる。例えば、運航者、民間航空の統制機関、航空管制機関、空港管理者、乗客等、それぞれの関係者が注目するKPIは異なる。また、指標によっては公開されていない運航情報に基づいて計算されている。ATMシステムの軌道管理においては、運航コストと環境への影響を代表する消費燃料、飛行時間、遅延に関する指標が有効であると考えられる。

軌道情報からパフォーマンス指標を計算する場合、共通のベンチマークを使用することが望ましい。本研究では、一つのベンチマークとして利用するために、軌道情報から飛行時間、飛行距離、消費燃料を計算するツールを開発している。平成29年度は、様々な軌道情報に対応可能とするためのモジュール化、計算時間の短縮化、及び気象予測情報の時間補間による精度の改良を行なった。

航空機の計画軌道の変更を必要とする場合、各関係者において利益・損失が生じる可能性がある。この事情について、CDMを適用した環境を前提に評価し、均衡を保つ必要があると考える。平成29年度に行なった調査の結果、「多目的最適化」という技術がこのような課題に妥当であることが分かった。

### 3.4 軌道の最適化

各航空機が「最適」な軌道を運航することが理想であるが、民間旅客機の場合、運航コストを抑えながらスケジュールを維持することが望ましいと考えられる。運航

コストの代表として「消費燃料」を利用し、平成25年度～平成28年度の「Full4D」の研究において風の影響を考慮する最小消費燃料の軌道を計算するツールを開発した。平成29年度においては、そのツールをより使いやすく、管理しやすくする目的で改良作業を行なった。

その軌道最適化ツールは動的計画法 (Dynamic Programming : DP) で理想的な4次元経路を計算する。しかし、実際の運用環境においては、制限空域や高度制限などの運航制限が存在し、計算された理想的な経路を運用に直接適用できない。また、軌道最適化プログラムが理想的な2次元経路、高度、速度の広範囲な探索空間を検索するため、国際便の長距離飛行においては、一飛行に対して数時間の計算時間が必要となる。運用に使える軌道最適化ツールにするためには、最適化の精度向上より計算速度を優先し、運用制限等が反映できるようにする必要がある。平成29年度は、これらの要件を満たす方法を検討した。

### 4. おわりに

平成29年度は福岡FIRと隣接FIRの間の国際交通流の状況と課題を把握し、さらにヨーロッパのFRA概念を調査した。平成30年度以降には、空域設計の前提条件を設定し、フリールーティングのコンセプト開発に着手する。ATMパフォーマンス指標については、ベンチマークとしての軌道パフォーマンス計算プログラムの公開に向けて改良作業を続ける。実用的な軌道最適化の検討を継続しつつ、多目的最適化をCDMの軌道管理に適用する方法を検討する。

#### 掲載文献

- (1) Hirabayashi, H. "Simulation Study for the Examination of the Operational Effect of the Reduced Separation Application between in Ocean Control Airspace," IPACG PM19, April, 2017.
- (2) Brown, M., Hirabayashi, H. "福岡FIRにおける2013年から2030年の航空需要予測," ENRI発表会2017, June 2017.
- (3) Hirabayashi, H., Brown, M., Fukushima, S. "洋上管制運用効率化のための経路設計に関する考察," ENRI発表会2017, June 2017.

- (4) Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M. “複雑性の指標について,” 日本航海学会/航空宇宙研究会, May, 2017.
- (5) Nagaoka, S., Brown, M. “管制官の近接認知閾値と飛行計画を用いた管制難度指標の比較,” 電子情報通信学会/安全性研究会(信学技報). June 2017, SSS2017-8.
- (6) Nagaoka, S., Brown, M. “Modeling an Air Traffic Control Difficulty Index Based on a Distance in Time-Space Domain of Aircraft Trajectory,” 21st Conference of Int'l Federation of Operational Research Societies (IFORS2017), July 2017.
- (7) Brown, M., Hirabayashi, H. “An Analysis of Major Cross-Border Air Traffic Flows in the Fukuoka FIR,” Proceedings of APISAT2017, Seoul, Korea, Oct. 2017.
- (8) Nagaoka, S. “航空輸送の安全向上の方法について－安全規格から安全管理への変遷－,” 電子情報通信学会, 基礎・境界ソサイエティ誌. Oct.2017, IEICE Fundamentals Review, Vol.11, No.2, pp.100-107.
- (9) Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M. “Tuning the Temporal Parameter of ATC Difficulty Metrics Using Controllers' Cognitive Thresholds and Trajectory Change Point Information,” Proceedings of APISAT2017, G-3, Seoul, Korea, Oct. 2017.
- (10) Nagaoka, S., Brown, M. “Predicting Trajectories with Course Change Points for Calculating Proximity-based Air Traffic Control Difficulty Indices,” ICSANE 2017 (信学技報) . Nov. 2017, SANE2017-79.
- (11) Brown, M., Hirabayashi, H. “An Analysis of ATM Resource Demand in Fukuoka FIR for 2030,” Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan. Nov. 2017, Vol. 15, No. APISAT-2016, pp. a89 - a98.
- (12) Nagaoka, S., Brown, M., Hirabayashi, H., Wickramasinghe, N. “軌道ベース運用に関する研究について－「Full 4D」と「フリールーティング空域」－”, ENRI 出前講座 NEC 玉川, Dec. 2017.
- (13) Nagaoka, S., Brown, M., Hirabayashi, H. “航空交通管理 (ATM) の性能指標に関する調査,” 電子情報通信学会 SANE 研究会 (信学技報) . Jan. 2018, SANE2017-103.
- (14) Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M. “航空交通管理における航空交通の複雑性指標について,” 日本航海学会誌「NAVIGATION」. April 2018, No.204, 2018年4月号.
- (15) Hirabayashi, H. “Data Analysis of RNP 4 Capable Aircraft Ratio in NOPAC Airspace of Fukuoka FIR,” IPACG PM21, Mar. 2018.
- (16) Brown, M. “Flight Altitude Distributions in NOPAC Airspace within Fukuoka FIR,” IPACG PM21, Mar. 2018.



## 実験とハザード解析による RNP AR と従来方式との混合運用の導入支援に関する研究【指定研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○天井 治, 森 亮太, 松岡 猛
研究期間	平成 28 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

近年、新しい計器進入方式として、航空機の優れた性能を生かせる RNP AR (Required Navigation Performance – Authorization Required: 特別許可を要する航法性能要件) 進入方式が開発され、日本でも効果の見込まれる空港から順次導入されている。RNP AR 進入方式は平成 30 年 5 月現在 26 以上の空港で導入されている。RNP AR 進入方式では自由度の高い経路設定が可能となり、その高い航法精度を活用して経路短縮による燃料削減や飛行時間の短縮、騒音を考慮した経路設定等が期待できる。RF (Radius to Fix) Leg と呼ばれる円弧旋回を用いて滑走路近傍での曲線進入が可能となる。

現在主流となっている ILS (Instrument Landing System) 進入方式では、原理上、航空機は滑走路手前で 5 NM (海里) 程の直線飛行を必要とする。航空管制官 (以後、管制官) は、航空機を物理的に一列に並べることにより、航空機同士の安全間隔 (管制間隔) を確保して安全を担保する。しかし、ILS 進入方式と RNP AR 進入方式による滑走路近傍での曲線進入とが同一滑走路に対して同時に実施される場合 (混合運用と呼ぶ)、各航空機を物理的に一列に並べることができない。このため、着陸までに時間的余裕が少ない滑走路近傍における平面的な思考が必要となり、管制の困難度が増すことが予想される。

我々は単一滑走路に対する、RNP AR 進入方式と ILS 進入方式との混合運用の安全性と実現方法を研究している。本研究では関西国際空港の空域を模擬した実験およびハザード解析等を行う。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 研究の目標

これまでの研究にて、RNP AR 機最優先 (Best-Equipped Best-Served 方式) の原則を適用した環境での混合運用の実現可能性が見えてきた。しかし、今までは出発機を表示しないなど条件付きの環境にて実験を行っていた。本研究では混合運用の導入対象空港を関西国際空港と定めて上記の制限を可能な限り取り払い、シミュレーション環境をより現実に近づけて実験を行うことにより、関西国際空港における混合運用導入の促進を目指す。

また、今までの簡略化した環境では気付かなかったハザードや関西国際空港固有の環境に起因するハザードも顕在化する可能性がある。そのため、これまでの研究にて作成してきたハザード解析手法を用いてこれらのハザードを取り込んでハザード解析を行うとともにハザード解析手法の有効性を確認する。

次の2項目の作成等を目標とする。

1. 関西国際空港での混合運用の可能性に関する資料の作成
2. 関西国際空港におけるハザード解析結果の取り纏め

#### 2.2 本年度の研究

本年度は下記の項目の実施を計画した。

- ① 関西国際空港における交通流・運用環境の調査
- ② シミュレーション・ソフトウェアの改修
- ③ リアルタイムシミュレーション実験 (冬季) の準備・実施
- ④ 関西国際空港での混合運用に関するハザードの解析
- ⑤ 結果のとりまとめ
- ⑥ ICAO 会議等への参画による国際貢献

①について。混合運用の導入対象とする関西国際空港における航空交通流や運用環境の調査を継続する。具体的にはレーダデータ等における航空交通流の把握や運用環境の現地調査等を行う。

②について。昨年度、関西国際空港に特化させた PC ベースの航空管制シミュレーション・ソフトウェアをより実環境に合わせられるように改修する。

③について。関西国際空港に混合運用を導入した場合について、②を用いて冬季 (北風等) 環境におけるリアルタイムシミュレーション実験を行い導入の可能性を調べる。また、ハザードとなり得る事象の抽出を行う。

④について。昨年度までの研究にて作成 & ブラッシュアップしたハザード解析手法を用いて関西国際空港における混合運用時のハザード解析を行い、安全性を評価する。

⑤について。実験結果およびハザード解析結果をとりまとめて航空局への提案を行う。

⑥について。ICAO SASP 会議等に参加してターミナル空域等における安全性評価手法の検討結果を発表し、併せ

て情報収集を行う。

### 3. 研究成果

①について。昨年度実施した実験の結果、関西国際空港のピーク時の交通流密度では運用が難しそうであることが判明した。そのため、飛行計画情報を用いて1時間毎の交通流密度を調べ、ピーク時を外せる時間帯を検討した。図1に結果を示す。一日に3回のピークがあることが分かった。最後のピークは21時台であるため、22時台の交通流密度の5ヶ月間の最大値18機/時を用いることにした。併せて22時以降の交通流密度の増減傾向を調べたところ、少なくとも増加傾向にはなかったため、この値を用いておけば数年後の交通流密度と見なせると考えた。また、23時以降はその時刻までと飛行経路が異なるため、こちらの経路でも実験を行うことにした。

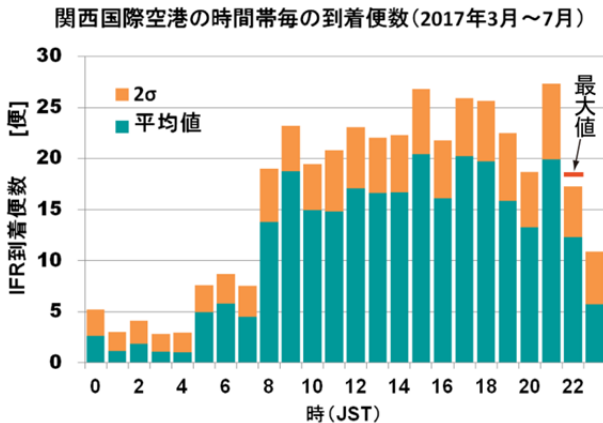


図1 関西国際空港の時間帯毎のIFR到着便数

②について。風の影響を入れられるようにシミュレータープログラムを改修した。風層は3層で、高度帯の境界となる高度および風向風速を自由に指定できるようになった。また、23時以降のDELTA, ECHO経路に対応できるようにプログラムを改修した。更に分離運用(RNP AR機は滑走路24R, ILS機は滑走路24Lに着陸)に対応できるように改修を行った。

③について。関西国際空港を対象とした航空管制リアルタイムシミュレーション実験を準備し、実施した。基本となるシナリオを2種類用意し、RNP AR機の選択の違いを3パターン作成し、混合率(RNP AR率)を概ね2種類で行い、更に風の影響を適宜変更して70回程の試行を行った。以下の3種類の状況を管制官役とパイロット役を立てたHuman-in-the-loopシミュレーション実験を実施した。飛行制限等には忠実に従った。

1) 22時台 (IFR到着機18便/時) AR率15% (2機)

～20% (3機)

2) 23時台 (IFR到着機15便/時 (かなり多め)) AR率15% (2機)～25% (3機)

3) 24RをAR到着機および出発機, 24LをILS到着機とした場合の運用(分離運用)(28便/時)。

1)および2)に関して、どの機体がAR機になるか、どの方向から来るか、連続したAR機の間隔値等により難しさが異なるが、かなり難しいと思われるシナリオでも管制が可能であった。3)に関して、完全同時運用に出来ないため結果として3NMのセパレーションが必要となり、滑走路を分ける意味があまりないことが分かった。但し、滑走路が異なるので安心感はあるとのコメントが管制官役からあった。全体として、トレーニング及び調整官役の重要性を再確認できた。そして、実験中に学習したRNP AR機とILS機との間隔(例えば、図2のLILAC付近で25NM等)を念頭に管制を行えば、滑走路近傍において指定した3NMの間隔をどの試行に対しても保てること分かった。この結果は関西国際空港へのRNP AR進入方式の導入に繋がると考える。

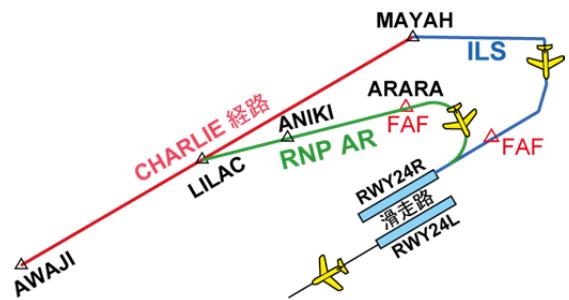


図2 23時以前の経路構成 (CHARLIE 経路)

④について。ハザード解析手法について論文誌へ投稿中である。実験状況の観察結果を踏まえて関西国際空港における混合運用におけるハザードを同定中である。ハザード解析に関しては来年度も引き続き実施する。

⑤について。現在、取りまとめ中である。特に関西国際空港におけるハザード解析に時間が掛かっている。

⑥について。ICAO SASP会議に12月に参加し、北太平洋航空路を飛行する航空機における経路逸脱角に関する日本の管轄空域内のデータの解析結果を発表し、意見交換を行った。解析結果は妥当そうであるとの意見を得た。

### 4. まとめ

平成29年度の研究の概要を示した。昨年度に引き続き関西国際空港における混合運用のリアルタイムシミュレーション実験を実施し、実現可能性を調べた。その結果、少なくとも22時以降の交通流に対しては実験中に学習し

た RNP AR 機と ILS 機との間隔を念頭に管制を行えば、滑走路近傍においても指定した管制間隔を保てることが分かった。この研究の成果が関西国際空港への RNP AR 進入方式の導入に繋がることを願ってやまない。

進入方式と ILS 進入方式との混合運用の可能性について,” 電子情報通信学会総合大会 A-18-2, 2018 年 3 月。

#### 掲載文献

- (1) R. Mori. “Speed Error Dependency and Associated Position,” ICAO SASP WG/28, May 2016.
- (2) 天井 治, 松岡 猛. “RNP AR 機最優先方式での従来機との混合運用の可能性,” 電子航法研究所第 16 回研究発表会講演概要, 2016 年 6 月.
- (3) 天井 治, 松岡 猛. “RNP AR と ILS 進入方式との混合運用における管制間隔に関する実験,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 A-18-1, 2016 年 9 月.
- (4) 天井 治, 松岡 猛. “RNP-AR と従来方式が混在する運用方式の実現可能性に関する研究の概要と進捗状況 その 4 ～仙台空域ベースの航空管制リアルタイムシミュレーション実験の結果と関西国際空港を対象にした実験の準備状況～,” CARATS 高規格 RNAV 検討 SG 会議, 2016 年 10 月.
- (5) 天井 治, 松岡 猛. “航空管制リアルタイムシミュレーション実験による RNP AR 機最優先方式での混合運用と従来運用との比較,” 日本航空宇宙学会 第 54 回飛行機シンポジウム, 3K09, 2016 年 10 月.
- (6) R. Mori. “Lateral Deviation and Occupancy in Fukuoka FIR,” ICAO SASP/1, Nov. 2016.
- (7) 天井 治. “同時平行進入における航空機対の占有率の推定,” 電子情報通信学会総合大会 A-18-4, 2017 年 3 月.
- (8) 天井 治, 松岡 猛. “RNP-AR と従来方式が混在する運用方式の実現可能性に関する研究の概要と進捗状況 その 5 ～関西国際空港を対象とした航空管制リアルタイムシミュレーションの実験結果～,” CARATS 高規格 RNAV 検討 SG 会議, 2017 年 5 月.
- (9) 天井 治. “航空管制リアルタイムシミュレーション実験による関西国際空港への RNP AR 進入方式導入可能性の調査,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 A-18-1, 2017 年 9 月.
- (10) 天井 治. “航空管制リアルタイムシミュレーション実験のための航空交通密度の解析,” 日本航空宇宙学会飛行機シンポジウム 2F05, 2017 年 11 月.
- (11) R. Mori. “Statistical Data of Deviation Angle,” ICAO SASP-WG/30, Canberra, Nov. 2017.
- (12) 天井 治. “関西国際空港への深夜便に対する RNP AR

航空機の拡張型到着管理システムの研究【指定研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○伊藤 恵理, 天井 治, 大津山 卓哉, 瀬之口 敦, 中村 陽一, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷 大地, リーデル ティモ
研究期間	平成29年度～平成32年度

1. はじめに

米国内空港の混雑およびフライトの遅延による国全体の損失は、2020年には340億ドルまで上昇すると試算されている。フライト数でスケールすると、日本の航空輸送に関する経済損失は年間数千億円を超えると思定される。特に、航空輸送のさらなる増加が見込まれる首都圏空港において、経済的効果に加え、安全性やステークホルダーからの信頼性の面での向上が必要である。このような世界規模の航空需要に対応するため、日本では、2019年度に初期的な機能を持つ拡張型到着管理システムの導入が予定されており、その後もCARATSにおいて統合システムを活用した高度化が将来的な施策にあげられている。

そこで本研究は、2020年以降の羽田空港への到着交通流を対象とし、航空機の到着順序づけと到着時刻のスケジューリングを自動化して管制官を支援する拡張型到着管理システムを提案する。そして、シミュレーション実験により、遅延時間や燃料効率などの観点から有効性の検証を行う。さらに、拡張型到着管理システムと協働する新しい運航について、シミュレーション実験による検証を行う。初年度となった平成29年度は、拡張型到着管理システムの調査および設計、FIM (Flight-deck Interval Management) とFPA (Fixed-flight Path Angle) 降下の検証と成果の還元を行った。研究概要は以下のとおりである。

2. 研究概要

2.1 拡張型到着管理システムの調査・設計

欧州では、SESAR Project 25 XSTREAMプロジェクトを実施し、シャルル・ド・ゴール空港、オルリー空港、チューリッヒ空港、ヒースロー空港、ガドウィック空港の5つの空港に到着する航空交通流を管理する拡張型到着管理システムの実現を目指しており、その評価をドイツ航空宇宙センター(DLR)が担当している。そこで、日欧における拡張型到着管理システムの調査と相互運用性を考慮した運用コンセプトとシステム設計、およびその評価を共同で実施するために、2017年11月にドイツ航空宇宙センター(DLR)と共同研究契約を締結し、2回の共同セミナーを開催した。XSTREAMプロジェクトでは、2017年から2018年にかけて、設計した拡張型到着管理システムの試験

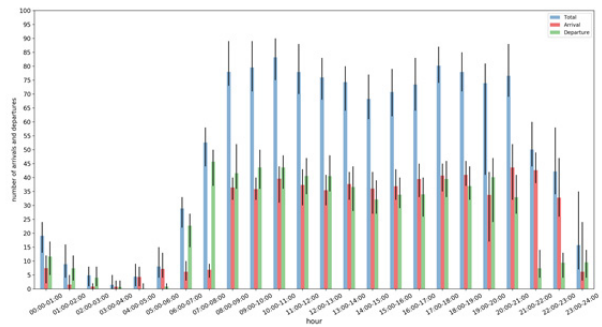


図1 羽田空港に離着陸する平均機数と最大最小値の比較 (2016年1月から2017年11月の統計値)

運用を行っており、2018年にはデータ分析を実施する予定である。対象とする5つの空港に導入されているAMAN (Arrival Manager)を開発したメーカーが異なり、内部構造やアルゴリズムが非公開であるため、SWIM (System Wide Information Management)を利用してAMANからのスケジューリングに関するアウトプットをエンルート空域と共有するなど、情報ネットワークの充実による設計を適用している。本研究では、DLRが実施する欧州の拡張型到着管理システムの性能分析方法を、羽田空港に導入するシステム設計やその性能分析の参考にする。また、欧州では航空交通データが不足しているため、CARATSオープンデータなどを活用し、羽田空港に到着する航空交通データに基づく統計モデルと分析結果を共有することで、双方に有意義な共同研究を継続する。

羽田空港に離着陸する航空交通流データ分析の初期的結果の一例を図1に示す。図1は、2016年1月から2017年11月にかけて羽田空港に離着陸した航空交通量の平均値と最大最小値を時間ごとに比較したグラフである。2016年は1日あたりの平均到着機数が611.7機であったのに対し、2017年は国際便の増加により平均到着機数は619.4機となった。この他に、離陸空港や機種などのデータ、飛行時間のばらつき、方面別運用やランウェイチェンジの影響などの分析を実施した。そして、BADAモデルを活用したトラジェクトリ予測や、スケジューリングの最適化手法の評価をシミュレーション実験で検証した。さらに、理化学研究所の京コンピュータを利用して航空交通シミュレーションを実施する研究『堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現』と連携し、2019年



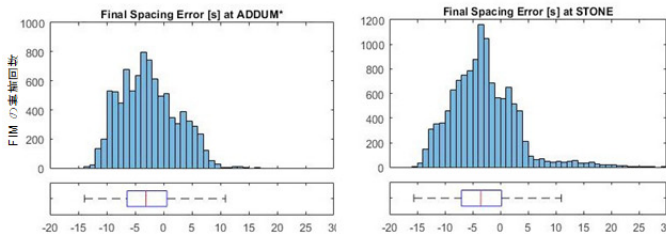


図2 羽田空港の到着航空交通にFIMを適用した性能

以降の羽田空港周辺における新しい空域・経路設計を模擬するシミュレーション環境を整えた。

## 2.2 FIM (Flight-deck Interval Management)

FIMとは、航空機が速度制御により先行機との時間間隔を自動的に調整しながら飛行するASAS応用方式である。米国では、拡張型到着管理システムとFIMを協働させる運用であるIM (Interval Management)を2028年に実用化する方針で研究開発を進めている。このような動向を受け、ICAOはIMの国際基準策定作業を行っている。日本でも、CARATS施策にIMを導入するため、2017年にCARATS監視アドホック2を開催し、個票の作成作業を行った。本研究は、これまでに電子航法研究所（以下当所とする）が実施したFIM研究の成果を監視アドホック2に還元し、CARATS施策決定に貢献した。さらに、ICAO AIRB会議に参画し、研究成果を国際基準策定に還元するとともに、ICAO ASA マニュアル (Doc9994) の作成に貢献した。

また、これまでに当所が研究開発したSPICAというFIMの評価シミュレータを理化学研究所のスーパーコンピュータ京に実装し、計算時間を大幅に短縮することができた。その結果、羽田空港に到着する航空交通流に適用した場合の制御性能を大規模シミュレーションにより評価することができた。図2に、シミュレーション結果の一部を示す。羽田空港の方面別運用を模擬し、エンルート空域において±60秒の範囲で先行機との時間間隔をばらつかせたシミュレーションを開始したところ、ターミナル空域に入城する地点(ADDUMとSTONEのウェイポイント)において中央値が5秒の誤差範囲に制御されたことがわかり、FIMの有効性が示された。研究成果を国内外の学会などで発表し、社会に還元した。

## 2.3 FPA (Fixed-flight Path Angle) 降下

当所がこれまでに提案した、大型旅客機が経路角を固定して継続的に降下するFPA降下が、航空機の改修をせずに運用可能であるか、パイロットのワークロードは許容されるか、従来の運用と比較して燃料効率のよいフライトを実現できるか、エアラインの所有するB777およびB787

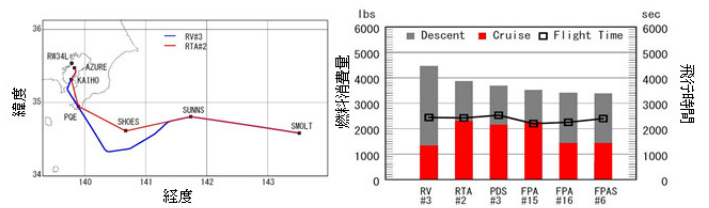


図3 羽田空港の到着航空交通にFPA降下を適用した場合の飛行経路と燃料消費量の比較



図4 エコデモンストレータ

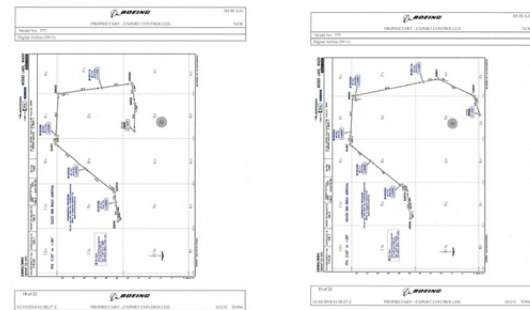


図5 FPA降下用のフライトチャート

型機のフライトシミュレータを利用して検証した。成果の一部を図3に示す。図3は、太平洋上にあるSMOLTというウェイポイントから羽田空港RW34Lに到着する経路を飛行する6パターンのフライト(RV#3: レーダーベクター, RTA#2: RTA機能の利用, PDS#3: 減速を加えた継続降下運用, FPA: FPA降下, FPAS: 減速を加えたFPA降下)を模擬したB787-8型機のフライトシミュレータ実験結果を示している。燃料消費量および飛行時間を比較したところ、FPA降下は遅延を調整しながら燃料効率のよい運航を実現することがわかった。

さらに、提案しているFPA降下が国際的に高い評価を受けたことにより、ジェプセン社とブランシュワイク工科大学との国際共同研究を実施してGBASと協調するFPA降下の運用コンセプトを提案するとともに、ボーイング社と連携してエコデモンストレータプロジェクトに参画することができた。エコデモンストレータプロジェクトは、環境に優しい新しい運航をボーイング製の試験機を利用して検証するものであり、ボーイングの厳正な審査を通った運航が採用される。2018年3月にB777型機のエコデモンストレータ(図4)によるFPA降下の実証実験が、モーゼスレイク空港で実現した。ジェプセン社と共同でFPA降下専用のフライトチャート(図5)を作成し、実運用を視野に入れた研究開発を実施することができた。

## データリンクを活用した中期コンフリクト検出技術の研究【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域  
担当者 ○瀬之口 敦, 平林 博子, 白川 昌之  
研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

CARATS ロードマップでは運行中のリアルタイムな軌道修正に関する施策が挙げられている。それによれば、航空交通量の増大に対応するため、飛行中における時間管理を導入するとともに、中期の航空機のコンフリクト検出・解決支援およびデータリンクによるリアルタイムな必要最小限の軌道修正を実現することが求められている。

本研究の目的は、20 分程度先までの航空機の 4 次元軌道を予測して潜在的なコンフリクトを検出し、その解決を支援する中期コンフリクト検出技術について、データリンクを用いた高精度の軌道予測によりコンフリクト検出部を高度化することである。

### 2. 研究の概要

本研究は当初 3 ヶ年計画としており、平成 29 年度は最終年次として、①軌道予測の精度と中期コンフリクトの検出閾値の分析、②気象変化の予測性向上に伴う軌道予測の精度評価、③DAPs 機能を利用した高精度な軌道予測に基づく中期コンフリクト検出技術の評価、の 3 点を実施して研究をとりまとめる予定であった。しかしながら、平成 29 年度の下半期にかけて具体化された後述の研究ニーズに対応するため、研究期間を 1 年延長し、平成 30 年度までの 4 ヶ年計画に変更した。なお、平成 29 年度の実施項目である前述 3 点に関しては変更していない。

### 3. 研究成果

#### 3.1 軌道予測精度と中期コンフリクト検出閾値の分析

レーダデータ（実航跡）および飛行計画情報を用いて 8 分先および 20 分先の軌道を予測し、予測誤差や予測軌道の影響範囲を検討した（図 1 等）。中期的な予測軌道は複数セクタに跨り、また直行指示の影響と思われる飛行計画経路に直交した予測誤差が少なからず発生することを確認した。さらに、予測軌道に基づく中期コンフリクトの発生数を見積もったところ、予測誤差の大きさゆえに相当数が確認された。

以上をもとにデータリンクの活用について考察した結果、DAPs/ADS-B の取得可能パラメータとして定義されている Next Waypoint 情報よりも先の軌道情報や飛行方向の

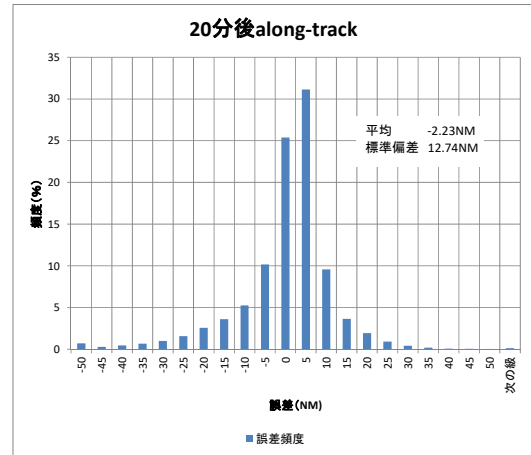


図 1 20 分先の予測軌道の飛行計画経路方向誤差分布

判定に係る情報（True Track Angle, Magnetic Heading 等）の取得が有効と考えられる。

#### 3.2 気象変化の予測性向上に伴う軌道予測精度評価

SSR モード S の DAPs 機能による風向・風速（推定値）の精度について、機上観測値そのものをダウンリンク可能な航空機を対象として推定値と機上観測値を比較した結果、品質管理の適用は必須であるが AMDAR の要求規格 [1] を満たしていることを確認した。

また、気象研究所との共同研究成果として、DAPs による風向・風速、温度（推定値）を気象庁数値予報モデルのデータ同化に追加して用いることで、発達した積乱雲分布やシアライン位置の予想が実況に近くなる等、数値予報の精度が向上することを確認できた。なお、数値予報の精度向上に伴う軌道予測精度については今後の課題である。

#### 3.3 DAPs 機能を利用した高精度な軌道予測に基づく中期コンフリクト検出技術の評価

コンフリクト発生確率を軌道予測誤差とコンフリクトの検出間隔から求められるようにモデル化し（図 2）、それらの関係を解析した。3.1 節で得られた結果をさせるよう、ここでは進行方向のみを考慮して、航空機は予測誤差の 2 乗を分散とする正規分布に従うと仮定した。そして、平均が検出間隔だけ離れた 2 つの分布が重なる面積を計算することで発生確率を得る。

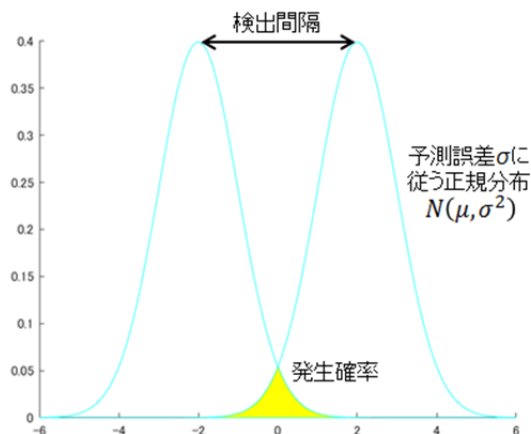


図2 予測誤差と検出間隔をパラメータとするコンフリクト発生確率の算出イメージ

横軸を検出間隔、縦軸を発生確率として、予測誤差をいくつか変化させたものを図3に示す。桃色の線は3.1節で得られた予測誤差（8分先：5.76NM、20分先：12.74NM）の場合、青色の線は文献[2]から得られた予測軌道の要求水準（8分先：1.6NM、20分先：4NM）の場合である。水色の線は参考として、予測誤差が1NM（内側）の場合から25NMまで2NM刻みに変化させた場合である。

3.1節で用いた検出間隔10NMの場合、要求水準下だと8分先ではほとんどコンフリクトが発生しないため、20分先のコンフリクトを解決することが重要になる。一方、現状の予測誤差では両方のコンフリクトを解決する必要がある。DAPs 気象データの活用による数値予報の精度向上は軌道予測誤差を減少させるため、要求水準下における軌道ベース運用の実現が期待できる。

#### 4. 考察等

予測精度、検出間隔とコンフリクト発生確率の関係を解析し、DAPs 機能を利用した場合について考察した3.3節の結果をもって、本研究の計画当初の目標を達成した。

一方、2章で言及したとおり、平成29年度の下半期にかけてTCAS-RAに係るデータ解析および気象と容量に係る研究ニーズが具体化された。これらに対しては本研究を通して得られた知見などを活用できると考えられたため、研究期間を1年延長して下記を調査し、問題の解決や後続の取り組みに寄与することとした。

- ① TCAS-RA ダウンリンクデータの活用に関する調査
- ② 気象予測から運航上の定量的な制約条件への変換に関する調査

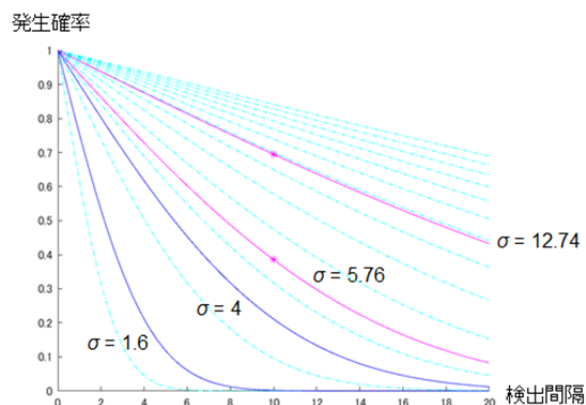


図3 予測誤差、検出間隔とコンフリクト発生確率の関係

#### 参考文献

- [1] “Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) Reference Manual,” WMO-No.958, p.21, 2003.
- [2] “EUROCONTROL Specification for Trajectory Prediction,” EUROCONTROL-SPEC-0143, Edition 2.0, pp.21-22, 2017.

#### 掲載文献

- (1) 平林博子. “中期コンフリクト検出技術の必要性と課題,” 航空管制誌. 2017年4月, 2017-No.2, pp.50-57.
- (2) 瀬之口敦, 吉原貴之, 古賀禎, 瀬古弘. “SSR（二次監視レーダ）モードSによる気象データのダウンリンク,” 日本気象学会機関紙「天気」. 2017年7月, Vol.64, No.7, p.519.
- (3) 白川昌之, 瀬之口敦. “羽田空港34L/R滑走路進入時のTCAS RAについての検討,” 羽田同時平行ILS進入時のRA発生状況報告会（主催：国土交通省航空局安全部航空交通管制安全室）, 2017年8月.
- (4) 瀬之口敦. “DAPsから推定した風向・風速の評価について（続報）,” 平成29年度CARATS監視アドホック1会議, 2017年10月.
- (5) 白川昌之, 瀬之口敦, 平林博子. “中期的軌道予測についての一考察,” 第55回飛行機シンポジウム, 2C02, 2017年11月.
- (6) 瀬之口敦, 白川昌之. “羽田空港RNAV同時平行進入（16L/R）時における進入機相互間の位置関係により生じるTCAS-RA動作の検討について,” 第3回羽田空港同時平行RNAV進入方式導入に係る検討会議, 2017年12月.
- (7) 瀬之口敦, 吉原貴之, 古賀禎, 瀬古弘, 小泉耕. “SSRモードSによる気象データの取得、評価および活用について,” 第12回航空気象研究会, No.8, 2018年2月.

## 予防安全のための状況認識支援に関する研究【基盤的研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○青山 久枝, 中村 陽一, 井上 諭
研究期間	平成 27 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

航空交通の安全性向上は最優先の課題とされ、その達成に向けた業務の自動化範囲の拡大等が検討されている。しかしながら、航空保安業務には人間の状況適応能力が必要不可欠であり、航空保安業務従事者である航空管制官（以下、管制官）も、業務経験を通じて獲得された技能を伝承し、維持・向上させていくことを通じた業務の一層の安全性向上を求められている。このような現状を踏まえ、ヒューマンファクターに関する分析とそれに基づく安全管理に対する支援が今後さらに必要である。

本研究では、予防安全の実現において重要な状況認識に関する技能の向上支援に向けて、二つの観点からアプローチする。まず、これまでに電子航法研究所、東北大学、東京大学が共同で基本的開発を行ってきた管制処理プロセス可視化ツール COMPASi (Cognitive system Model for simulating Projection-based behaviors of Air traffic controller in dynamic Situations in interactive mode) の教育・訓練支援ツールとしての実用性評価及び機能向上を、管制官養成機関の協力を得て行い、効率的な教育・訓練の可能性を模索する。また、現場運用における安全性と効率性を検討するための評価機能の開発を試みる。次に、様々な分野で重要視されている、変化する状況下における適切な状況認識のきっかけとなる「気づき」に注目し、「気づき」能力に関する基礎的な調査及びその支援について検討し、認知プロセスの分析に基づく状況認識能力向上に向けた教育・訓練支援手法を開発することにより、航空保安業務従事者の安全管理面からもリスク低減に繋げることを目指す。

### 2. 研究の概要

本研究は3ヶ年計画であり、以下の項目を実施した。

- ・COMPASi の教育現場における評価と機能向上
- ・COMPASi を用いた管制業務効率の可視化
- ・予防安全のための状況認識に関する調査およびその支援についての検討

- ・状況認識能力向上支援手法の開発

### 3. 研究成果

航空保安大学校のご協力により、COMPASi を副教材として試行していただき評価を行った。訓練シミュレー

タと操作性の統一、機能の追加が随時可能であることなどに関して、ご意見をいただいた。

状況認識に関する調査では、特定のスポーツの競技者、船員、鉄道指令室の担当者に、エラーのカバー方法やテクニカル/ノンテクニカルな技能を訓練と経験を通じて取得していることなど管制官との類似性が見られた。

状況認識能力向上支援として、Green Card Mode 機能を開発し、COMPASi に実装した。この機能は、シミュレーションを用いた訓練中、特定の変更入力に対して異常事象を発生させることにより、稀ではあるが実際に起こり得る異常事象の模擬体験を可能としている。そのような模擬体験を通じて得られた記憶・教訓は、現場において常に警戒心を維持させることに繋がると考えられる。教官からは、訓練に有効な機能であり、教育機関のみならず現場の訓練室でも利用価値があるとの評価をいただいた。また、電力中央研究所で開発されたソフトウェア (AtV) と COMPASi を組み合わせることにより、管制官の情報取得に関する高い詳細度の分析が可能となった。

### 4. 今後の見通し

後継研究において、COMPASi の操作性について検討し、航空保安大学校における試行及び評価を継続する予定である。また、管制官の「気づき」能力向上支援機能について、さらに検討および開発を行っていくと共に、他分野との状況認識について情報共有し、現場運用の安全に貢献していく。

#### 掲載文献

- (1) 青山久枝, 高橋信, 飯田裕康, 狩川大輔. “航空管制官の思考・判断プロセスの分析,” 日本人間工学会第 56 回大会, 2015 年 6 月, pp. 152-153.
- (2) 狩川大輔, 青山久枝, 中村陽一. “管制処理プロセス可視化インタフェースを用いた予防安全支援に向けて,” ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 2015 年 6 月, Vol. 17 No. 3, pp.19-22.
- (3) D. Karikawa, H. Aoyama. “Process Visualization of In-trail Spacing Tasks in En-route Air Traffic Control,” International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (STSS/ISSNP) 2015, pp.129-134, 2015 年 8 月.



- (4) D. Karikawa, H. Aoyama. "Visualization and Analysis of Controllers' Working Processes in En Route Air Traffic Control," 17<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2015). 2015年8月, pp. 388-398.
- (5) 狩川大輔. "航空管制における Safety-II," 電子情報通信学会 安全性研究会, 機械振興会館 (東京), 2015年8月.
- (6) 狩川大輔. "航空管制における安全の考え方," 日本人間工学会 東北支部研究会, 東北大学 (仙台), 2015年9月.
- (7) 狩川大輔, 青山久枝. "航空管制分野におけるヒューマンファクター研究(1)-到着間隔設定プロセスの可視化-, " ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015 論文集. 2015年9月, pp. 227-230.
- (8) 青山久枝, 狩川大輔, 飯田裕康. "航空管制分野におけるヒューマンファクター研究(2)-管制官チーム協調作業の分析-, " ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015 論文集. 2015年9月, pp. 231-234.
- (9) 中村麻見, 青山久枝, 田中健次. "航空管制分野におけるヒューマンファクター研究(3)-管制官チーム協調作業の効果の可視化-, " ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集. 2015年9月, pp. 235-238.
- (10) D. Karikawa, H. Aoyama, Y. Nakamura. "Attempts on air traffic flow analysis including human performance aspects using process visualization tool of ATC tasks," ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC) 2015, EN-I-061, 2015年11月.
- (11) 狩川大輔, 青山久枝, 石橋明. "航空安全におけるヒューマンインタフェース研究の役割と課題," ヒューマンインタフェース学会論文誌. 2015年11月, Vol. 17 No.4, pp. 285-288.
- (12) D. Karikawa, H. Aoyama. "Research on Visualization of Air Traffic Control Processes toward Supporting Controllers' Training," International Electronic Journal of Nuclear Safety and Simulation. 2015年12月, Vol. 6, Number 4.
- (13) 青山久枝, 狩川大輔. "航空管制官による能動的なエラー予防方策," ヒューマンインタフェース学会研究報告集. 2015年12月, Vol. 17 No. 11, pp. 33-36.
- (14) 狩川大輔. "新しい安全学を目指して ~最近の安全研究の動向と課題~, " 平成 27 年度航空無線技術交流会, アルカディア市ヶ谷 (東京), 2016年2月.
- (15) 狩川大輔, 青山久枝. "航空路管制業務における到着間隔設定プロセス可視化手法の機能評価," ヒューマンインタフェース学会論文誌. 2016年4月, Vol. 18 No.3, pp. 143-156.
- (16) 中村陽一, 青山久枝, 狩川大輔. "航空機の燃料消費の観点からの管制処理戦術評価ツール," 日本人間工学会第 57 回大会. 2016年6月, pp. 262-263.
- (17) H. Yoshida, H. Aoyama, D. Karikawa, S. Inoue, K. Furuta. "Analysing Effects of Visual Attention on Air Traffic Control Tasks," 32 European Association for Aviation Psychology, 2016年9月.
- (18) D. Karikawa, H. Aoyama. "Analysis of Controllers' Working Methods Supporting Safe and Efficient Air Traffic Operations," The 13<sup>th</sup> IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium HKS2016, ThuDTrack4.1, 2016年9月.
- (19) 青山久枝, 狩川大輔. "航空管制官の認知的能力に関する基礎的検討," 日本人間工学会第 58 回大会. 2017年6月, pp. 196-197.
- (20) 青山久枝. "産業現場と安全研究をつなぐために ~実務者と研究者の本音トーク~, " 第 145 回ヒューマンインタフェース学会研究会 研究報告集. 2017年6月.
- (21) 青山久枝. "航空管制にみるレジリエンス," 安全工学シンポジウム 2017 講演予稿集. 2017年7月, pp. 232-233.
- (22) 狩川大輔, 青山久枝. "航空管制業務における「動的な」信頼性と安全性," 日本信頼性学会誌. 2017年7月, Vol. 39 No. 4, pp. 1-6.
- (23) 堀口聖友, 青山久枝, 狩川大輔, 中村陽一. "航空管制業務における異常に対する気づき能力向上のための訓練ツールの開発," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 論文集. 2017年9月, pp. 231-234.
- (24) 青山久枝. "人が守る航空安全 -航空管制におけるレジリエンス-, " 電子航法研究所 安全に関する勉強会, 2017年10月.
- (25) H. Yoshida, H. Aoyama, D. Karikawa, S. Inoue, T. Kanno, K. Furuta. "Analysis of Positive and Negative Effects of Saliency on the ATC Task Performance," ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC) 2017, EN-A-022, 2017年11月.
- (26) 吉田悠, 青山久枝, 井上諭, 菅野太郎, 古田一雄. "情報の誘目性が航空管制タスクに与える影響," ヒューマンインタフェース学会論文誌. 2018年1月, Vol. 18 No. 1, pp. 125-134.

## 空港周辺における運航効率向上に関する研究【基盤的研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○森 亮太, 青山 久枝, 中村 陽一
研究期間	平成 28 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

世界の航空交通量は、今後も増大が見込まれており、それに伴い空港およびその周辺における混雑が深刻化している。一般に空港におけるボトルネックは滑走路であり、離着陸の際には安全のため最低限必要な離着陸間隔(通常1分半～2分程度)が定められているため、混雑空港においては離陸機・着陸機それぞれが滑走路待ちで列をなしているのが現状である。本研究では、地上走行中の離陸機の燃料消費削減、羽田空港への到着管理システムの開発、上昇経路の最適化の3点について検討を行う。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 離陸機の燃料消費削減

地上走行時の離陸機の燃料消費削減を行うためには、タキシング時間削減を行うことが有効である。離陸機は通常出発準備ができ次第スポットを出発し、滑走路手前まで地上走行(タキシング)を行う。滑走路が離着陸機で混雑している場合には、滑走路付近に着いても地上で待たされ、タキシング時間が通常より長くなり、必要以上の燃料消費を行うこととなる。これを避けるために、一定時間スポットで待機することでタキシング時間を削減する試みが行われており、各航空機に設定されたスポット出発時刻をTSAT(Target Start-up Approval Time:スポット出発承認時刻)と呼ぶ。しかしながら、実際には不確定性が存在し、事前に想定したシナリオ通りに事がすべて進むわけではない。そのため、不確定性を考慮した上でTSATを適切に設定しなければ、タキシング時間を減らすだけでなく、同時に本来離陸できた時間よりも離陸時刻が遅くなってしまうリスクが伴う。そのため、TSATをどのように設定すればよいかという点を本研究で取り扱うこととする。

#### 2.2 羽田空港への到着管理システムの開発

羽田空港は、4本の滑走路が存在し、離陸機、着陸機が各2本使用しているが、運用は相互に影響を与えるという特徴がある。(図1) 現行の運用においては、離着陸ともに使用する滑走路については、基本的に出発/到着方面別に分けて運用されている。離着陸数に関しては、平均的には各滑走路の処理容量を満たすように設定されているものの、実際には各航空機は日によって離着陸時間が前後するため、離着陸滑走路は柔軟に選んだ方が処理容量および滑走路待ちの時間は改善できるものと考えられる。本研究

では、着陸機に関して滑走路を変更できた場合に、どの程度の改善効果があるかどうかを試算し、実際にそれを実現するための方策を考えることを目的とする。

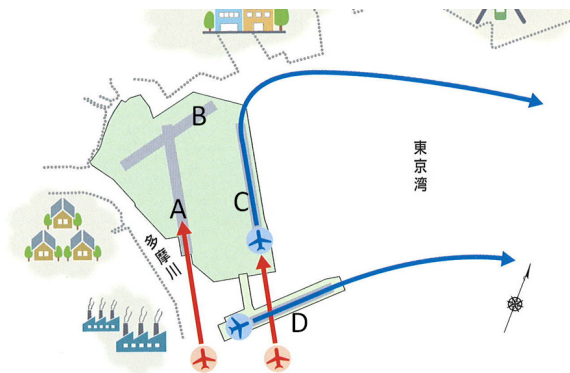


図1 羽田空港の滑走路運用(北風時)  
東京空港事務所パンフレットより抜粋

#### 2.3 上昇経路の最適化

上昇時においては、一般にできるだけ早く巡航高度に辿り着くことが燃料削減につながると言われており、上昇中にできるだけ水平飛行をなくす取り組みが行われている。このような運航をCCO(Continuous Climb Operations)と呼んで、国際民間航空機関(ICAO)においてもCCOによる運航が推奨されている。CCOが運航できない背景にあるのは、他の航空機との干渉であったり、管制・空域の問題であったりするケースが多く、これらの制約がない場合には、現状でもCCOによる運航は実施されている。現行の航空機は、巡航開始点(TOC/Top of Climb)に至るまでは、航空機に搭載されているFMS(Flight Management System)により計算された上昇プロファイルを飛行するが、その際TOCまで最大上昇推力を使用する。最大上昇推力による上昇は、最適解に近い上昇ではあるが、厳密に最適ではない。本研究においては、現行の最大上昇推力による上昇が純粋な最適解と比較してどの程度の乖離があるのかを明らかにし、現行の上昇より効率的な上昇手法の提案を行う。

### 3. 研究成果

#### 3.1 離陸機の燃料消費削減

過去の研究において、空港内の不確定性を考慮するためのシミュレーションモデルの構築を行ってきた。本研究では、そのモデルを使用して、実際にTSATの設定手法の提案を行った。具体的には、空港運用における2つの値を説

明変数として、TSAT を動的に切り替える手法である。これを組み合わせ最適化問題に落とし込み、タブーサーチという最適化手法を用いて、最適な TSAT 設定手法の探索を行った。また、TSAT 設定の際に必要な航空機の順番待ち手法についても改善を行った。その結果、ベースとなる一般的な TSAT 設定手法と比較したところ、従来手法と同等のタキシング時間削減を維持しながら、遅延が 20～80%程度も減少できることがわかった。[1]

### 3.2 効率的な着陸経路の設定

先に、滑走路は基本的に方面別運用が行われていると記したが、実際には一部の着陸機においては、本来の滑走路とは異なる滑走路に着陸させるような運用が行われている。これは、管制官が運用効率を上げるために指示していると考えられ、まず管制官が指示した滑走路運用を再現できるような管制官モデルの構築を行うことを目的とする。管制官は、レーダー画面における航空機の位置情報をもとに、どの航空機を他の滑走路へ着陸させるかを指示しているものと考えられる。これらのプロセスをニューラルネットワークによりモデル化を行った。その結果、深夜時間帯については高精度でのモデル化に成功したものの、日中時間帯にはそこまでの精度が得られなかった。その理由としては、管制官によって戦略が違うことが考えられるため、今後日中時間帯においても高精度な推定ができるよう改善を行っていく予定である。

### 3.3 上昇経路の最適化

今回、B777-300ER の航空機を仮定し、上昇時に最大推力による上昇と最適軌道による上昇でどの程度の違いがあるかどうかを明らかにした[3]。計算条件としては、表 1 の値を使用する。その結果が図 2 である。最大推力軌道においては、TOC に到達する直前まで最大推力で上昇するのに対し、最適軌道においては、およそ 18000ft あたりから、徐々に推力を減らし、緩やかに TOC へと遷移していつていることがわかる。この 2 つの軌道の燃料消費量の違いは 60 lb 程度である。この差は極めて大きいものではないものの、無視できるほど小さくはない。また、どのような航空機でも上昇フェーズが存在するため、潜在的には世界中のすべての航空機が適用できる可能性があるため、全体としての効果は大きいものと想定される。

表 1 計算条件

初期高度	10000 ft
終端高度	30000 ft
初期速度(CAS)	250 kt
終端速度(CAS)	300 kt
初期重量	700,000 lb
終端位置(飛行距離)	500 NM

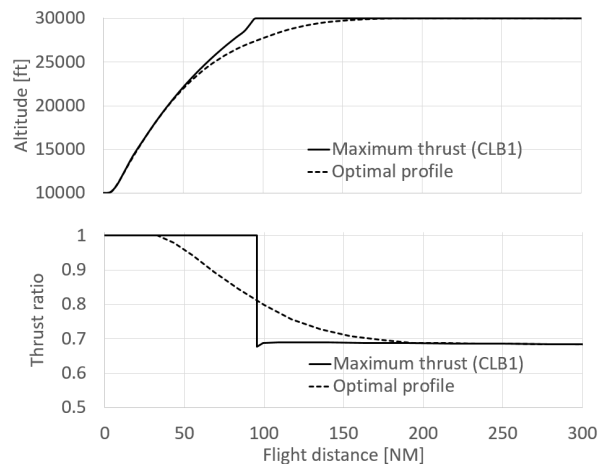


図 2 最大推力軌道と最適軌道の比較

[掲載文献]

- [1] Mori, R. "Development of a Pushback Time Assignment Algorithm Considering Uncertainty," *Journal of Air Transportation*, AIAA, 2017, Vol. 25, No. 2, pp. 51-60.
- [2] Nakamura, Y., Mori, R., Aoyama, H., Jung, H. "Modeling of runway assignment strategy by human controllers using machine learning," *IEEE Digital Avionics Systems Conference*, IEEE, 2017.
- [3] Mori, R. "Fuel Saving by Gradual Climb Procedure," 7<sup>th</sup> SESAR Innovation Days, EUROCONTROL, 2017.

## 無人機の円滑運行のためのシミュレーション技術の構築に関する研究【基盤研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○平林 博子, 虎谷 大地, 河村 暁子, 中島 徳頭, 宮津 義廣
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

無人航空機（無人機）の運用は、従来の農薬散布以外にも、測量、監視、インフラ維持・管理のための点検等、汎用の小型無人機の普及によりその活用が盛んになってきている。さらに、目視外の飛行を想定した輸送能力の活用に関して、その技術開発が本格的に開始されている。米国においては 2016 年に商用小型無人機の規制緩和がなされ、無人機のさらなる利活用が予測される。

上記のような無人機運用の需要空域は、管制空域とくらべ航空情報の管理があまり行われていない低高度の非管制空域にある。また、無人機の性能が向上するのに伴い、管制空域を含む中高度における需要も今後高まる可能性がある。低高度から中高度は有視界飛行方式（Visual Flight Rules: VFR）で飛行する有人の小型航空機等も飛行することから、無人機飛行空域との競合が発生する可能性があり、このような空域において多数の無人機が安全かつ円滑に運用することが求められている。

本研究の目的は、低高度から中高度における無人機と有人航空機の融合した安全かつ効率的な交通管理コンセプトにつなげるため、無人機・有人航空機の統合シミュレーション環境を構築するにあたり必要な技術を検討することである。

### 2. 研究の概要

本研究は 3 年計画である。平成 29 年度の研究においては、以下を実施した。

- ・国内外の無人機の運行方式、運用に関する情報整理
- ・低高度を飛行する有人航空機の動態情報取得
- ・小型無人機と電波環境シミュレーション

### 3. 研究成果

#### 3.1 国内外の無人機の運行方式、運用に関する情報整理

パイロットの遠隔操作により制御し、国をまたぐ計器飛行方式を実施する無人機について、国際民間航空機関（ICAO : International Civil Aviation Organization）のパネル会議（RPASP : Remotely Piloted Aircraft Systems Panel）で議論されている。他にも無人航空機運用に関する多くのシンポジウム、セミナーが国内外で開催されており、無人機

運行、運用に関する情報を収集した。議論の対象は無人機運用の活用に関する事、無人機同士の衝突防止に関する事、無人機操縦の資格に関する事、機体の登録・識別に関する事、運用カテゴリーに関する事、通信方式に関する事等様々である。その中でも ICAO において低高度でのドローン運用と交通管理に関するシンポジウム「Drone Enable, ICAO's UAS industry Symposium」が初めて開催されたことは、無人機の活用が世界で急速に進んでおり交通管理の必要性が出てきていること示唆している。本シンポジウムは平成 30 年度も継続して開催される予定である。議論のほとんどは進行形であり、平成 30 年度も引き続き情報収集に努める。

#### 3.2 低高度を飛行する有人航空機の動態情報取得

シミュレーション環境の対象となる低高度における有人の航空機運航の把握のために、低高度を飛行する航空機運用について分析した。低高度空域においては有視界飛行方式で飛行する小型航空機の運航が考えられることから、ヘリコプターの動態情報及び空港監視レーダーの情報を取得した。平成 30 年度では、ヘリコプター動態情報からヘリコプターが移動するときの速度・高度の傾向の把握の

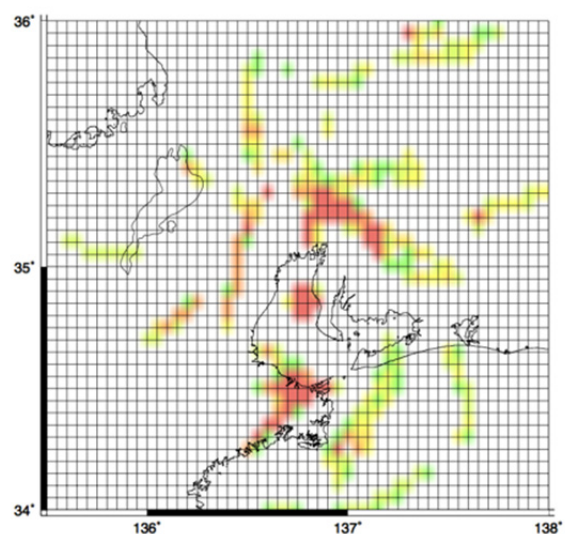


図 1 有視界飛行方式による飛行の交通密度の例

ための解析を実施する計画である。レーダー情報からは、

有視界飛行方式による小型航空機が飛行する空域の傾向分析を実施した。図1はレーダー航跡から有視界飛行方式による飛行を抽出し、交通密度を可視化したものである。平成30年度は引き続き分析を継続する。

### 3.3 小型無人機と電波環境シミュレーション

複数の小型無人機が同時に飛行した時の電波干渉を検討するため、小型無人航空機の動態モデルと電波伝搬を組み合わせたシミュレーションを実施した。図2にひとつの小型無人機の飛行コース、図3に5機の小型無人機の飛行位置関係及び受信局位置 (Receiving station) を示す。それぞれの小型無人機が発信した ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 信号の受信局での推定値を図4に示す。シミュレーション結果より、小型無人機と受信局の距離が受信強度に大きく依存していることがわかった。平成29年度は自由伝搬であることを前提にシミュレーションを実施した。平成30年度は、より現実的な電波モデル、

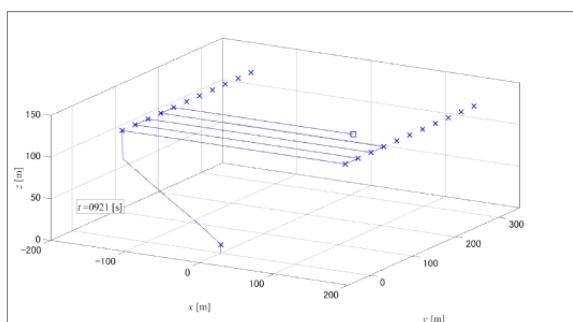


図2 飛行コース

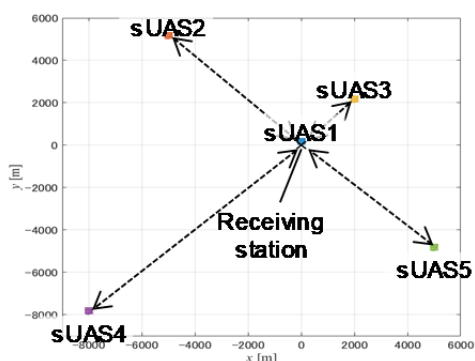


図3 小型無人航空機の飛行位置及び受信局位置

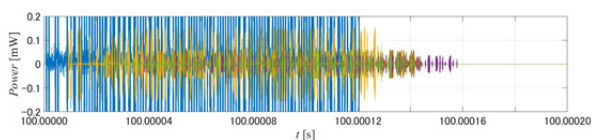


図4 受信局での ADS-B 信号の推定値

小型無人機の姿勢を考慮したシミュレーション等、さらに検討を進める。

### 4. まとめ

将来、無人機運用の需要が増加すると考えられる低高度から中高度を対象としたシミュレーション環境構築を目的に、国内外の無人機に関する動向調査、低高度における航空機の動態情報分析及び小型無人機と電波環境シミュレーションを実施した。低高度の有人の航空機動態情報として、空港監視レーダーを用いた分析に着手した。また、小型無人機の動態シミュレーションと電波環境シミュレーションを組み合わせた数値計算結果から、小型無人機と受信局の距離が受信強度に大きく依存していることがわかった。小型無人機の制御には電波による通信が確立していることが非常に重要となるため、さらに検討を進める計画である。

### 掲載文献

- (1) 平林博子. “無人航空機と航空機運航の融合の可能性について,” 第22回GPS/GNSSシンポジウム, 2017年11月.
- (2) 中島徳顕, 平林博子, 虎谷大地, 保理江裕己. “無人航空機運行に必要な情報の検討,” 第55回飛行機シンポジウム, 2017年11月.
- (3) D. Toratani, H. Hirabayashi and A. Kohmura. “Simulation Techniques for Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS) Trajectories including Signal Propagation,” ENRI Int. Workshop on ATM/CNS, 2017 Nov.



## 性能準拠型運航 (PBO) と協調する到着スケジューリングの研究【萌芽的研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○虎谷 大地, 伊藤 恵理, 中島 徳顕, 天井 治, ビックマンハ ナグィンダ
研究期間	平成 28 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

我が国では、近い将来に初期的な到着管理システムを導入する見込みであり、その後の継続的なシステムの発展が計画されている。将来的には、新旧の機材や運航が混在する飛行状況を想定し、機上の搭載品を活用する性能準拠型運航 (PBO: Performance-Based Operation) と協調する到着スケジューリングアルゴリズムが必要となる。またこの到着スケジューリングアルゴリズムは、管制官やパイロットが運用可能なプロトコルを備えなければならない。

そこで本研究では、近い将来の実用化に向けて研究開発が進められている新たな運航手法の調査・検討と、それらの新しい運航と協調可能な到着スケジューリングアルゴリズムの研究開発を実施した。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 新たな運航手法の調査・検討

本研究では主に、新たな運航手法として FIM (Flight-deck Interval Management) と FPA (Fixed-flight Path Angle) 降下の調査・検討を行った。FIM とは機上監視応用システム (ASAS: Aircraft Surveillance Applications System) を利用して、航空機同士が機上で間隔維持を行うことで、管制官のワークロードを低減することを目的としたシステムである。FPA 降下とは、経路角を固定した垂直経路に沿って航空機を飛行させる、CDO の一種である。これらの運航手法に関しては調査・検討の結果、より発展した研究の可能性が出てきたため、指定研究「航空機の拡張型到着管理システムの研究」へと引き継がれた。

#### 2.2 到着スケジューリング

到着スケジューリングのためのアルゴリズムとしては、到着順序最適化アルゴリズムが広く研究されてきた。これは主に、航空機の順序のみに着目した最適化アルゴリズムであった。一方、到着スケジューリングが PBO と協調するためには、最適化アルゴリズムが各航空機の性能を考慮することができる必要がある。そこで本研究では、到着順序だけでなく、図 1 に示すような、各航空機の軌道と順序を同時に最適化できるアルゴリズムである、軌道順序同時最適化手法 (SOM-TS: Simultaneous Optimization Method for Trajectory and Sequence) を用い、PBO と協調可能なスケジューリングアルゴリズムの開発を行った。SOM-TS は軌道と順序を同時に最適化することができるアルゴリズム

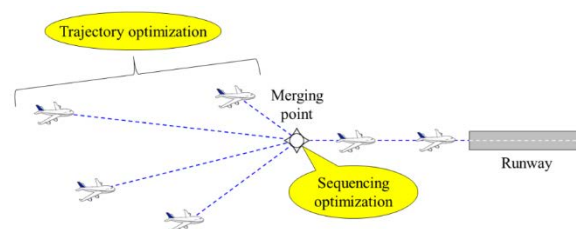


図 1 軌道と順序の同時最適化問題

であるが、一度に最適化可能な航空機数は限られているため、そのまま到着スケジューリングに応用することはできない。そこで、最適化の分野で無限時間の最適化に用いられるレシーディングホライズンを導入することで、航空機の軌道と順序を同時に最適化可能な到着スケジューリングアルゴリズムを構築した。

### 3. 研究成果

開発した到着スケジューリングアルゴリズムの評価を、初期的なシミュレーションを用いて行った。シミュレーションでは東京国際空港への到着流を模擬し、各航空機のモデルに BADA を用いることで、燃料消費量の推定を行った。その結果、提案した手法で、全ての到着航空機の燃料消費量の総和を最小化する、軌道と順序を計算することができた。また提案したアルゴリズムは、レシーディングホライズンを用いることで、最適化の対象となる航空機数の制限なく、スケジューリングを行うことができた。

また、より現実的な到着スケジューリングを行うために、SOM-TS を改良し、航空機の軌道と順序に加えて、平行滑走路への航空機割当ての最適化も行うことが可能な最適化手法を開発し、数値的な最適性の評価を行った。改良されたアルゴリズムを用いることで、燃料消費量に加えて、滑走路容量最大化も行うことができる到着スケジューリングが可能になると期待される。

本研究で得られた成果の発表を国内外複数の学会で行い、査読付き投稿論文も 1 件採択された<sup>[1]</sup>。

#### 掲載文献

- [1] D.Toratani, E.Itoh. "Effects on Optimal Merging Trajectories with Allocation Optimization from the Trade-off between Fuel Consumption and Flight Time," SICE JCMSI, 2018. (in press)

## 航空交通データの分析への機械学習の適用【萌芽的研究】

担当領域 航空交通管理領域  
担当者 ○岡 恵, 蔭山 康太  
研究期間 平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

人工知能の一研究分野である機械学習は現在様々な研究がなされているが、現実の課題に対する適用については試行錯誤の段階であり、とりわけ航空交通に適用した実績は少ない状況である。一方で、研究に使用できる航空交通のデータは IT 技術の発達等により、ここ数年で格段に増加している。

本研究の目的は課題の定義から改善案の策定までの一連の流れを、航空交通データの分析への機械学習の適用手法として開発する事である。適用の一例として、飛行時間の予測と到着機の順序付けのモデル化を行う。さらに、機械学習の適用が有効な課題の条件を考察する。

また、航空交通データから ATM パフォーマンス指標値を算出し、諸外国の手法との比較などを行うことで指標の算出手法の検討を進める。

### 2. 研究の概要

本研究は 3 年計画である。平成 29 年度の研究においては、以下を実施した。

- ・機械学習モデルの調査
- ・機械学習による飛行時間の予測
- ・ATM パフォーマンス指標値の算出

### 3. 研究成果

#### 3.1 機械学習による飛行時間の予測

航空交通流管理においては、航空機の到着時刻を高精度で予測することが効率的な運用につながる。本研究では、羽田空港西方面到着機を対象とし、空港周辺エリアに入域する時刻を機械学習のモデルを利用して予測した。

まず、航空機の性能データに基づいて入域時刻の予測を行い、次に、実際の飛行時間を教師データとした機械学習を行うことで入域時刻の予測精度改良を試みた。機械学習のモデルではニューラルネットワークを使用した。

機械学習の適用の有無による予測誤差の分布の変化を図 1 に示す。適用により予測のバイアス誤差がほぼ 0 となり、誤差のばらつきである RMSE が大きく改善した。機械学習の入力データの中で予測誤差に影響が大きい因子は、出発空港と入域地点であった。季節毎の誤差の試算では、夏に比べ冬の方が誤差が小さかった。

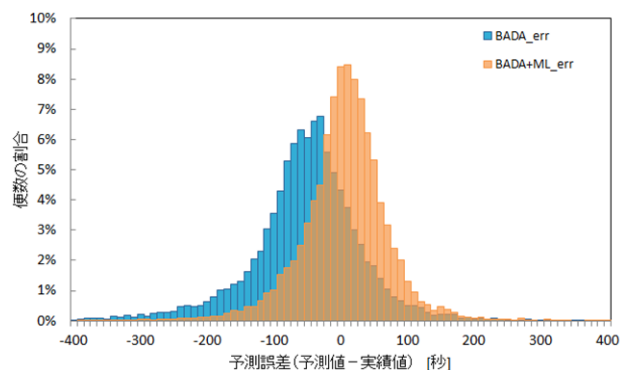


図 1. 航空機性能データに基づく予測の誤差（青）と機械学習適用後の予測の誤差（橙）の分布

#### 3.2 ATM パフォーマンス指標値の算出

本研究では、指標値の一つである、混雑により発生する空港周辺での滞留時間を算出した。羽田空港、成田空港を対象とし、空港を中心とした半径 150/100/40 海里の円内のエリアにおける 2015、2016 年の滞留時間を算出した。結果を図 2 に示す。算出ではまず、レーダーデータを元に飛行距離が短い便を非滞留機と定義し、その飛行時間を基準時間とした。そして、各便の飛行時間から基準時間を差し引いて各便の滞留時間を算出した。

羽田空港に比較して成田空港の方が空港に近い 40 海里以内のエリアでの滞留が大きいことがわかった。

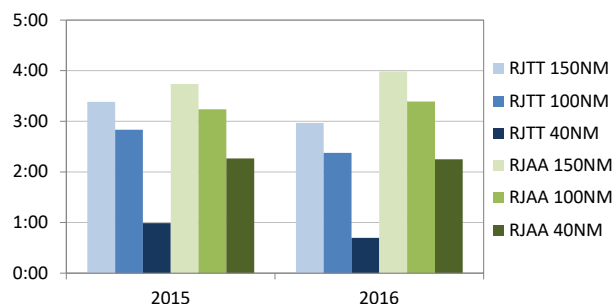


図 2. 空港周辺での滞留時間  
(羽田空港（青）、成田空港（緑）)

### 4. まとめ

機械学習による飛行時間の予測モデルを作成し、その適用による予測誤差の改善について分析を行った。また、ATM パフォーマンス指標値である空港周辺での滞留時間を算出した。

次年度は、飛行時間予測モデルの改善と、機械学習モデルによる実運用に即した到着機の順序付けのモデル化を行う予定である。

#### 掲載文献

- (1) M. Oka, K. Kageyama. “A Study for Additional-time in Japanese Terminal Airspace (KPI08),” Performance Benchmarking Work Group meeting, 2017.9.
- (2) 岡恵, 武市昇, 蔭山康太. “航跡データを使用した羽田空港到着機の飛行時間予測誤差の分析,” 第55回飛行機シンポジウム, 2017年11月.
- (3) 岡恵, 福田豊. “航空交通のオープンデータとその活用,” 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会, 2017年11月.
- (4) M. Oka, K. Kageyama. “A Study for Additional-time in Japanese Terminal Airspace (KPI08) – Updated,” Performance Benchmarking Work Group meeting, 2017.11.
- (5) 岡恵. “CARATS オープンデータの概要説明,” CARATS オープンデータ活用促進フォーラム, 2017年12月.
- (6) 岡恵. “航空交通データの分析への機械学習の適用,” CARATS オープンデータ活用促進フォーラム, 2017年12月.
- (7) 岡恵. “航空交通分野における運用データの活用,” 日本船舶海洋工学会 東部支部ワークショップ, 2018年3月.



## 空港設計に資する交通データ活用技術の予備的研究【萌芽的研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○山田 泉, 青山 久枝
研究期間	平成 29 年度

### 1. はじめに

空港における円滑な地上走行のためには、それを支える空港舗装などの施設の整備について、さらなる効率化が必要となっている。すなわち、近年の航空交通量増加により、航空機地上走行が空港施設に与える負荷が増していることから、空港施設の整備においては、交通の実態把握を踏まえた設計と維持管理が行われる必要が増している。しかしながら、現在の空港施設整備における交通の実態把握は主に目視による調査によっているため、日常の交通状況の現状および今後の見通しについて情報を得ることが困難であり、このことが空港施設の整備における不確かさとなっている。

空港面交通データでは、日常の航空機の地上走行について、位置情報や航空機型式など豊富な情報が記録されている。本データおよびそれに基づくシミュレーションは、空港設計および維持管理に活用することによって、よりの確な設計および維持管理のための一助になると期待される。

### 2. 研究の概要

本研究は、関西空港を対象として、空港面交通データ分析をもとに地上走行の現状の課題を抽出し、対応策を検討するために、交通データ分析およびシミュレーション実験の環境構築、ならびに関西空港の空港面交通流における基礎的な知見のとりまとめを目標として、本年度1年間で行った。

また、本研究においては、関西エアポート株式会社との間に共同研究契約「関西空港における航空機地上走行の課題に関するシミュレーション調査」を締結し、同社との連携により地上走行の課題抽出を進めた。

### 3. 研究成果

#### 3.1 データの取得と分析

関西空港の ARTS データを取得し、地上走行の分析に必要な航空機位置情報が漏れなく取得できることを確認した。滑走路 06 運用における出発便および到着便の動線を Google Earth によって描画した例を図 1 に示す。



図 1 出発便（上）および到着便（下）の動線の例

また、毎秒の航空機位置情報を平滑化して速度を算出することにより、誘導路における滞留の定量的な可視化を試みた。地上走行の速度が 10km/h 未満となった場合を滞留と定義し、空港面を 50m×50m の格子に区切って各格子における滞留時間（7 日分の累積）を表示した例を図 2 に示す。図 2 から観察されるとおり、滞留時間の総量は出発便の方が大きく、また、出発便では離陸滑走路付近の待ち行列において滞留が生じがちであり、一方で到着便において滞留は限定的ではあるものの、滑走路 06L/24R から J3 連絡誘導路を経由して第 1 ターミナル南ウイングへ至る動線において、到着スポットの空き待ちに起因する滞留が生じる傾向があることを見ることができる。

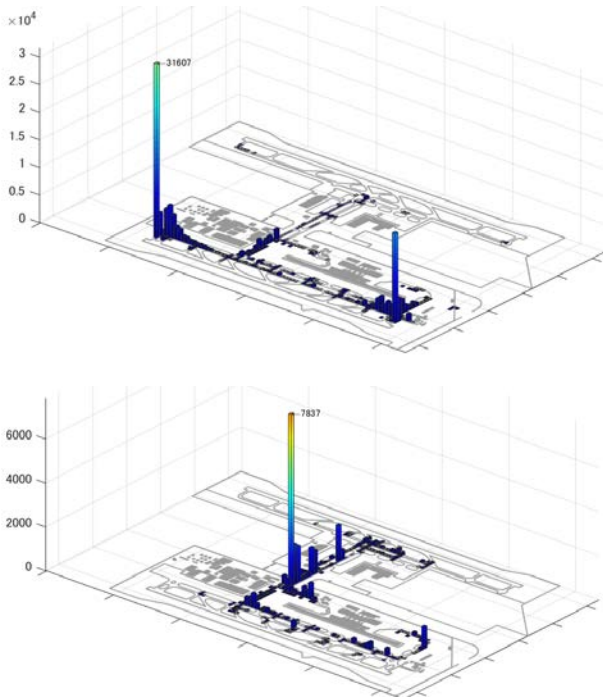


図 2 速度の履歴から求めた出発便（上）および到着便（下）の滞留時間のマッピング例（7 日分の累積。単位：秒）

### 3.2 関西空港のシミュレータ構築

地上走行の主要な動線をもとに空港面交通シミュレータの経路選択ルールを設定することにより、関西空港の空港面交通シミュレータを構築した。また、航空機位置情報から検出することの難しいスポットの出入りの時刻については、関西エアポート社よりスポットの運用実績データを用いてシナリオを構成し、本シミュレータを駆動することにより、地上走行の混雑について現状を模擬する本シミュレータの基本性能が確認された。

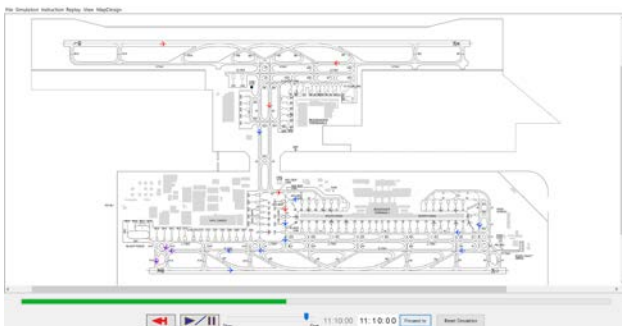


図 3 構築した関西空港の空港面交通シミュレータ

## 4. まとめ

本研究では、空港面交通データをもとに、関西空港の地上走行について課題を抽出するとともに、関西空港の空港面交通シミュレータを構築した。これらの成果は、関西空港の地上走行における現在および将来の課題への対応策についてシミュレーションを用いて検討するための基盤として活用していくことを予定している。

### 外部発表

- (1) 山田泉. “誘導路等の交通の実態把握のための航空機位置情報の活用,” 港湾空港技術振興会平成 29 年度第 2 回官民技術交流会, 2018 年 2 月.

## 羽田空港への将来の航空交通を評価する航空管制シミュレーション環境の設計【競争的資金】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○伊藤 恵理, 金谷 一郎 (長崎県立大学), 狩川 大輔 (東北大学)
研究期間	平成 27 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

ヒューマンインザループシミュレーション(以下, HITLシミュレーション)とは, 管制官が操作するレーダー卓やパイロットが操作するコックピットを模擬する環境を研究室に作り上げ, 実際に管制官やパイロットに操縦操作してもらって新システムが正常に動作するか, 期待通りの性能を発揮できるかなどを検証するシミュレーションである。次世代運航の安全性や効率を検証するために, HITLシミュレーション実験による検証評価が必要不可欠だが, 我が国はこのための実験環境を有していない。そこで本研究は, 将来の航空管制システムを模擬して評価する実験施設の実現に向けて, 学術的な視点から, 発着枠の増大が見込まれる羽田空港への到着機を対象とした HITLシミュレーション実験を実施するための航空管制シミュレーション環境を設計する。最終年度となった平成 29 年度に実施した研究概要は以下の通りである。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 将来の羽田空港を対象とした航空管制シミュレーション環境の設計

昨年度までの研究成果と海外調査の結果に基づき, フルスクラッチではなく, 既存の HITLシミュレーションエンジンの利用が必須であると結論づけ, オランダ航空宇宙研究所が研究開発した NARSIM を利用することとした。そこで, NARSIM を所有しているドイツ航空宇宙センター(DLR)と共同研究契約を締結し, 将来の羽田空港に離着陸する航空交通を模擬できる航空管制シミュレーション環境の整備を共同で進めた。具体的には, 2019 年度以降に段階的に再編成が予定されている空域形状や飛行経路を NARSIM シミュレータの入力フォーマットに整理する作業や, 羽田空港への将来の航空交通流を再現する入力データの作成を行った。来年度以降に, HITLシミュレーションによる評価が実現する予定である。

さらに, 将来に導入が検討されている航空機の拡張型到着管理システムや航空機監視応用システムなどの新しい運用を NARSIM で評価するために, DLR と共同で日欧の相互運用性を考慮したコンセプトの提案に着手した。詳細は次節でまとめるが, 航空機のメッシュ型ネットワークの提案は新しいコンセプトの一つであり, 初期検討結果をまとめた論文を国際学会や論文誌で発表した。



図 1 NLR が研究開発した NARSIM (<https://i.ytimg.com/vi/PwbQZVuNCBA/maxresdefault.jpg>)

#### 2.2 次期研究課題の創出

将来的な実運用が検討されている新しい管制運用について, 航空管制シミュレーション環境で評価するために, DLR と共同で日欧の相互運用性を考慮した効率的で安全かつ環境に優しい新しい管制運用の提案を開始した。

具体的には, 来年度以降に ConOps の提案やシステムの研究開発を予定しており, NARSIM を利用して航空管制シミュレーション環境を構築し, 新コンセプトやシステムの共同評価を実施する。電子航法研究所の指定研究「航空機の拡張型到着管理システムの研究」において継続した研究を実施する。このように, 本研究を通して, 次期研究課題を創出することができた。

#### 2.3 研究成果の社会発信

人間社会と AI (Autonomous Intelligent: 自律知能) が協働する次世代航空管制システムの基盤となる学際的研究および研究成果を, 書籍, メディア, 講演会を通して発信し, 広く社会に還元した。

書籍については, 昨年度に刊行した『空の旅を科学する』(河出書房新社刊)が中国語(繁体字)に翻訳され, 台湾を初めとするアジア諸国で出版された。また, 『みんなでつくる AI 時代』(CCC メディアハウス社)を刊行し, ハードウェア, ソフトウェア, 人間社会が協働する航空管制システムの設計方法などについて, 航空業界のみならず一般社会に向けて, 広く世界に発信した。さらに, Web 読売(大手小町), 日立ソリューションズ季刊誌(日経 BP), NewsPicks, Newsweek 日本版, ナレッジタイムズなどのメディアで多く取り上げられた他, JAXA オープンイノベーションワークショップ, 航空安全シンポジウム, 計測自動制御学会を初めとする学术界や企業などに向けた招待講演を通して, 研究成果を一般社会に発信することができた。

こうした努力が実り, 本研究の成果を含む航空管制システムの教科書の執筆が決定した。航空管制システムの入門書として日本初の教科書となるため, 2019 年脱稿を目指して執筆を継続する。



## チーム協調支援のためのチームレジリエンス指標・推定モデルの開発【競争的資金】

担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○井上 諭, 菅野 太郎 (東京大学大学院),  
 狩川 大輔 (東北大学大学院), 野々瀬 康平 (電力中央研究所)  
 研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

航空安全など高度な安全が求められるシステムの安全対策は、これまで事故・インシデントの発生予測とそれに対する多重防護に依ってきた(古典安全学: Safety I)。一方、近年、事故・インシデントは人-人工物システム-環境の複雑で動的な相互作用の結果として生じる創発現象であり、個別の事象を網羅的に予測することが困難なことから従来型の安全対策には限界があると指摘されている。この限界を克服するために提唱された新しい安全学 (Safety II) では、システムを運用する人間が様々な状況に対して実際にどのように適応的に行動しシステムの安全を維持しているかを理解し、それを支援・強化することが重要であると説いている。特に、航空管制をはじめとする多くの複雑システムの運用がチームによってなされることを考えると、大規模複雑技術システムと共存する先進社会のさらなる安全性を実現するためにはチーム協調・連携を対象とした Safety II 研究が必要不可欠である。航空交通分野の安全研究に目を向けると、近年、次世代管制システムの一環として情報支援技術を用いてより安全で効率の良い遠隔オペレーションにするためのシステム等の検討がされている。複雑でありながら効率化が進むこのような次世代管制システムの設計にも、従来の人間中心の設計原理をさらに進展させた、運用チームのレジリエンス特性を考慮する Safety II に基づくシステム設計やそのための知識基盤の確立が強く望まれる。しかし、Safety II や人間中心のレジリエンス工学はその重要性が広く認識されつつあるが、提案されてから未だ日が浅く実業務を対象とした具体的な研究方法が模索されているのが現状である。航空交通分野におけるヒューマンファクタ研究においても、ワークロード推定、状況認識評価、インタフェース設計・評価を中心に通常時の認知・行動に関してはこれまでも研究が行われてきたが、不測の事態・外乱への対応、適応過程や通常オペレーションへの回復過程の認知的側面に踏み込んだ研究は未だ無いのが現状である。

そこで、本研究では、航空交通業務への適用を目指したチーム協調プロセスを監視、評価するための認知行動指標(チームレジリエンス指標)開発とそれに必要な基盤技術開発を行う。

### 2. ミクロ、メゾ、マクロ認知

チーム協調プロセスを理解するうえでそれらのメカニズムを紐解くためには、認知環境のレベルを整理しておく必要がある。これらのレベルは大きくミクロ、メゾ、マクロに分類することができる。ミクロ認知とは実験室などの制約のある環境や限られた特定の条件下での認知活動のことである。通常、人工的な環境を設定し、実験が行われるものはこれに該当する。一方で、マクロ認知は、日常の業務や生活であったり行動など、通常の社会活動等の現実社会の環境下で起こるインタラクションで生じる状況を指す。マクロ認知を捉える方法として

エスノグラフィーなどのアプローチがあるが、実験などでの状況の精密なシミュレーションは複雑で難しく、コストもかかるためかなり難しい。メゾ認知とは、それらの中間にあたる。実験での課題は、実験室などでは現実環境との乖離が大きく、実験結果が現実社会に適用できなかったり、有効なものにならないことがしばしば起きる。このような問題をクリアするため、実験室の実験でありながらも、現実環境を意識したテスト環境や設定を施した状況を指す。チームレジリエンスの考えるにあたっては、アクターや人工物とのインタラクションやコミュニケーションの分析が重要となることから、メゾ認知の環境を構築することが重要なアプローチとなると考えている。

### 3. チームコンテキストモデル

チームの表現を行うために、まずチームコンテキストモデルの枠組みを検討した。表1に示すようにチームコンテキストはチーム構造とチーム現象に分けて考えることを行った。この表1では要素属性と要素間関係でコンテキストを特徴付けている。要素属性については今後、記述統計、要素関係はグラフ理論で形式化・定量化し、特徴指標とする。タスクは介入・操作(身体的・認知的)と対象システムに分離し、それぞれの属性を分けて考慮することとした。

表1 チームの関係性と構造

	Human	Task	Resource	Device etc.	Expertise	Authority	Place
Human	<ul style="list-style-type: none"> <li>命令系統</li> <li>コミュニケーション</li> <li>役割</li> <li>チーム構造・役割</li> <li>協同作業の確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タスク配分・役割</li> <li>分配</li> <li>役割/タスク</li> <li>コミットメント</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用可能なリソース</li> <li>利用可能性の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用可能な機器</li> <li>利用可能性の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保持技術・知識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保持権限</li> <li>役割・役職・地位</li> <li>権限の交代・変更</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業場</li> <li>配置</li> <li>移動</li> </ul>
Task		<ul style="list-style-type: none"> <li>目的・手段</li> <li>抽象-具体</li> <li>操作-プロセス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用リソース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要技術・知識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>判断・実行権限</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実施場所</li> </ul>
Resource			<ul style="list-style-type: none"> <li>使用・消費</li> <li>回復</li> <li>回復性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要技術・知識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用権限</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用場所</li> <li>設置場所</li> <li>移動</li> </ul>
Device etc.				<ul style="list-style-type: none"> <li>作業性</li> <li>必要性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要技術・知識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用権限</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用場所</li> <li>設置場所</li> <li>移動</li> </ul>
Expertise					<ul style="list-style-type: none"> <li>代償性</li> <li>回復性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要求権限</li> </ul>	-
Authority						<ul style="list-style-type: none"> <li>指揮系統</li> <li>チーム構造</li> <li>権限の交代・変更</li> <li>指揮系統の変更</li> </ul>	-
Place							<ul style="list-style-type: none"> <li>作業環境</li> <li>レイアウト</li> </ul>

これらの定義を用いて、チーム状況を記述、表現するテストを実施した。例えば3人が協力してツールを使って塔を作るゲームを行った場合のエージェントとインタラクションとコンテキストの関係をグラフに表現することで、チーム内の役割とエージェントの関係性を理解することができた(図1)。

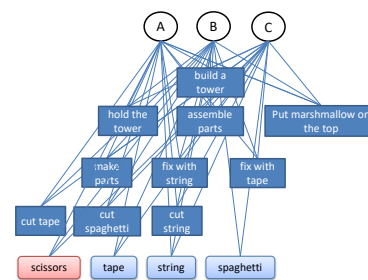


図1 エージェントに対するコンテキストエレメント分散

次世代自動飛行システム研究開発【競争的資金】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○森 亮太, 福島 荘之介(航法システム領域), 吉原 貴之(航法システム領域), 毛塚 敦(航法システム領域), 本田 純一(監視通信領域)
研究期間	平成 28 年度～平成 31 年度

1. はじめに

本研究は、欧州のプロジェクト(Horizon 2020)との共同プロジェクトである。欧州側は EU からの資金提供、日本側は NEDO からの資金提供を受け、共同で研究を実施する。

研究の主眼はカメラを用いたシステムとなっており、内容は大きく2つに分けられる。1つ目は、画像を航法に使用するもので、GPS や ILS が使用できなくなった場合に、航空機に搭載されたカメラから滑走路の相対位置をリアルタイムで検出し、引き続き進入を続けられるようなシステム開発である。2つ目は、航空機の舵面故障をカメラによる画像により検知し、故障時においても安定飛行の自動維持を可能とするシステムの研究開発である。両者ともに、実験用航空機を用いた飛行実証を行う。電子航法研究所(以下、当所とする)では、前者を担当し、その中でも主に GPS/ILS の航法に係る部分の担当を行う。

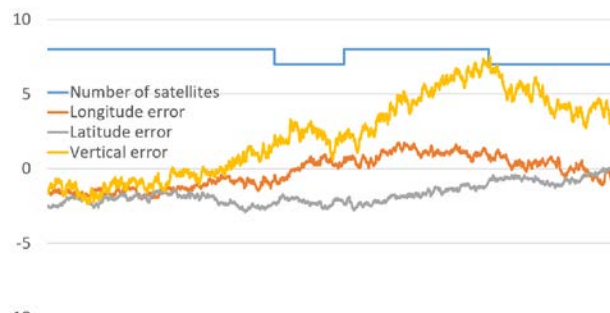


図 2 誤差の時間履歴(単独測位)



図 3 誤差の時間履歴(SBAS 補強時)

次年度は、ILS における誤差モデルの構築、および、実機試験時に使用可能な誤差モデルの構築を行う予定である。



図 1 H2020 の枠組み

2. 研究の概要

当所は、具体的には GPS/ILS のシミュレーションモデルの構築を担当した。標準 24 衛星環境下における、GPS シミュレーションモデルを構築し、関係機関に提供を行った。図 2 は、単独測位を仮定した場合の、垂直方向、水平方向の誤差の時間履歴、図 3 は SBAS 使用時を仮定した場合の同様の誤差の時間履歴を示している。単独測位時と比べて、SBAS 使用時は誤差が小さくなっていることがわかる。

担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○虎谷 大地  
 研究期間 平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

本研究では、将来の航空交通管理のための到着・出発機合流最適化アルゴリズムの開発を行っている。近い将来、我が国では到着管理システムの導入が検討されており、電子航法研究所では、そのコアとなるアルゴリズムの候補として、合流最適化手法の研究を行ってきた。合流最適化アルゴリズムとは、連続システムである航空機の軌道と、離散システムである到着・出発機の順序を同時に最適化する、混合システム最適化アルゴリズムの一種である。従来の合流最適化アルゴリズムは、軌道の干渉回避を考慮していなかったため、到着機の合流しか最適化することができなかった。しかしながら将来の到着管理システムでは、出発機や空港面のタキシングを管理するシステムとも連携することが期待されている。そこで本研究では、図 1 に示すような、上空での干渉を回避することができる合流最適化手法を開発することで、空港周辺空域の到着・出発航空機の軌道、及び到着・出発順序を同時に最適化することができる到着・出発機合流最適化アルゴリズムの開発を行う。

### 2. 研究の概要

軌道の干渉回避は、それ自体が一種の離散システムである。合流最適化アルゴリズムは、軌道という連続システムと、順序という離散システムを同時に扱う混合システム最適化アルゴリズムであり、干渉回避を考慮した合流最適化アルゴリズムとは、より多くの離散システムを含んだ混合システムの最適化アルゴリズムであるといえる。そのため、本研究の本質的な目的は、できるだけ多くの離散システムを扱うことができる混合システム最適化アルゴリズムを開発することであるといえる。そこで本研究では、まず空港周辺空域の交通流管理における、離散システムの検討、及び当該離散システムが最適化問題として定式化可能かの検討を行った。平成 29 年度は、前述の干渉回避を考慮した到着・出発機合流最適化問題に加えて、滑走路容量最

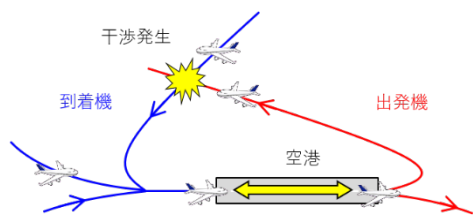


図 1 到着・出発機合流最適化問題と上空での干渉

大化合流最適化問題に焦点を当てた。限られた滑走路の容量を有効に活用するため、将来導入される到着管理システムには滑走路容量の最大化が求められるが、従来の合流最適化アルゴリズムでは滑走路容量最大化は扱われていなかった。これは、滑走路容量最大化も離散システムの一種であり、解くことが困難な問題であったからである。

干渉回避、滑走路容量最大化共に離散システムであり、それらを含んだ合流最適化問題を解くためにはアルゴリズムの改良が必要である。しかしながら、両者を併せて解くことで、到着・出発機の軌道と順序を、滑走路容量が最大となるように最適化できるようになり、将来の到着管理システムの目的と合致した最適化アルゴリズムを構築することができる。

### 3. 研究成果

平成 29 年度は、干渉回避を考慮した合流最適化問題と、滑走路容量最大化合流最適化問題に対して、定式化を行い、最適化手法が解を求めることができるかの検討を行った。

干渉回避を考慮した合流最適化に関しては、合流最適化問題を一度解くまで、どのように干渉が発生するか分からない点が、最適解を得る上での問題点であった。この問題を解決するために、繰り返し最適化手法を用いた最適化手法を提案した。繰り返し最適化の過程で、徐々に干渉回避の影響を反映することで、上記の問題点を解決できると期待される。

滑走路容量最大化合流最適化においては、最後に到着する航空機の到着時間を最小化することが求められる。しかしながら、最適化を行う前に最後に到着する航空機を決定することができないという問題があった。そこで図 2 に示すような、疑似航空機を導入した解法を提案し、実際に合流最適化プログラムを作成して最適化問題を解くことに成功した。次年度は繰り返しシミュレーションによる検証を行い、得られた解の最適性・応用性について検討する。

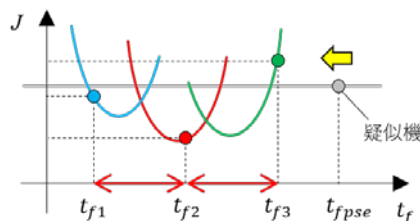


図 2 疑似航空機を用いた滑走路容量最大化

## 予防安全に向けたシステムの強靱性分析手法に関する実践的研究【競争的資金】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○青山 久枝
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

航空・鉄道・プラント等は多数の人・組織・技術システムによって構成される複雑システムであり、そこで発生する事故はその時の状況や構成要素間の相互作用によって生じる創発現象と考えられる。このようなシステムや事項生起メカニズムの複雑化に対して、安全性の向上を図るために新たな安全学（Safety-II）に高い関心が集まっている。しかしながら、Safety-II に関する既往研究は、稀に起こる大規模な外乱に対するレジリエンス向上に焦点を当てているものが多い。

そこで本研究では、日常的な安全マネジメントへの適用手法として、社会技術システムのモデル化と安全分析を意図して提案されている機能共鳴分析手法（Functional Resonance Analysis Method : FRAM）をベースとして、航空管制業務を対象に日常的なオペレーションの安全性向上問題に対する Safety-II 概念の適用方法論の確立を図る。航空管制業務はすでに高い安全性が維持されてきているが、今後の航空交通流のさらなる増大や複雑化に対する安全性向上は喫緊の課題であり、他産業システムにおいても重要な問題である。Safety-II の日常的な安全マネジメントへの適用手法として、航空管制業務を対象に高詳細度 FRAM モデルを用いた外乱に対するシステムの強靱性分析手法を提案していく。

### 2. 研究の概要

本研究は 3 ヶ年計画であり、本年度は以下の項目を実施した。

- ・管制官へのインタビュー調査およびインタビューデータの分析
- ・FRAM モデルを用いた飛行場管制業務の記述手法の開発
- ・FRAM モデルの可視化・分析支援ツールの開発および改良

本研究所では、主に管制官へのインタビュー調査およびインタビューデータの分析と FRAM モデルを用いた飛行場管制業務の記述手法の開発を担当した。

### 3. 研究成果

国土交通省大阪航空局中部空港事務所のご協力により、飛行場管制業務について現場観察および管制官へのイン

タビュー調査を行った。管制運用室における統括席管制官（以下、統括席）の業務の役割、重要性、理想像などについて複数の管制官にグループ形式でインタビューした。統括席の役割分担は規程に定められているが、実際には、パイロットとの交信はしないものの、業務を客観視しており、全体をバランスよく、冷静に見ていられる存在であることがわかった。また、統括席の支援により業務を滞りなく進行できた経験などの発言から、飛行場管制業務における意思決定や方針決定の中核となる席であることが明確になった。管制官にとって業務経験がいかに重要であるか、また、規程には定められていないが管制官相互の協力体制が業務遂行に必要不可欠であることもわかった。このようなインタビューデータの分析結果に基づき、人を含めた管制システムの強靱性を FRAM をベースとしたモデルに展開するための記述手法は検討中である。

インタビュー結果を参考にして、外部者による業務観察の結果として、管制官のマルチタスク能力を支える認知的技能として、タスクの認識、スケジューリング、時間の有効活用、限界の把握と対処など 7 項目について管制官にフィードバックした。これらは、業務の時間的分類からスケジューリング、時間的経過によるリスクスケジューリングなど、状況や外乱に応じた柔軟な対応を行える管制官の業務モデルであり、認知的な観点から管制官のタスクを分類した定性的指標の第一段階と言える。

### 4. 今後の見通し

熟練者である管制官からの知識抽出手法について検討し、インタビューデータに基づく管制業務のタスク指標を分類して FRAM モデルに展開していく。また、FRAM モデルの可視化・分析支援ツールも検討していく。

#### 掲載文献

- (1) 狩川大輔, 青山久枝, 高橋信, 大橋智樹. “Safety-II 概念に基づく飛行場管制業のモデル化と分析に向けた取り組み,” ヒューマンインタフェース学会研究会, 2017 年 6 月.
- (2) 青山久枝, 狩川大輔. “飛行場管制業務におけるレジリエンスの分析,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 論文集. 2017 年 9 月, pp. 227-230.



堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現【競争的資金】

担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○伊藤 恵理, ティモ リーデル  
 藤井 孝藏, 立川 智章, 長岡 慎介 (東京理科大学)  
 西成 活裕, 柳澤 大地, 都築 怜理 (東京大学)  
 安福 健祐 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
 研究期間 平成 28 年度 ~ 平成 31 年度

1. はじめに

航空機, 列車, 船舶といった計画に基づいて運行 (運航を含む) される大規模輸送システムは近年急速に複雑化し, これら社会を支える輸送システムにおける遅延は近年日常的になっている。この課題に対し, 個別事象に対する改善が図られてはいるが, 相互作用を有する全体問題として捉え, これを効率化する努力はほとんど見られない。

そこで本研究では, 安全性と効率性を両立する運行システムを策定するモデルとシミュレーション手法を開発, それを利用して社会の構成要素が互いに影響し合う効果を分析・予測する技術を構築する。主に航空機や首都圏の鉄道を対象に, 一定規模の地域を1つのシステムと捉え, 堅牢性を有する全体最適な運行方式策定に結びつける。これまでにないスーパーコンピュータの社会経済の基盤課題への適用により, 急速に複雑化する大量輸送システムの効率化に資することを最終目的とし, その萌芽的研究として当該プロジェクトでは, 東京国際空港への離着陸機を対象とした航空交通シミュレーションモデルの構築とそれを利用した将来の航空交通の評価に取り組んでいる。

東京理科大学がプロジェクトの総合的推進を実施し, 東京大学, 大阪大学, 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所と共同で研究開発を実施している。電子航法研究所は, 航空交通モデル適用と将来航空管制システムの設計を担当しており, 他の実施機関および指定研究「航空機の拡張型到着管理システムの研究」と密接に連携して当該研究を実施している。平成 29 年度の研究成果を, 以下にまとめる。

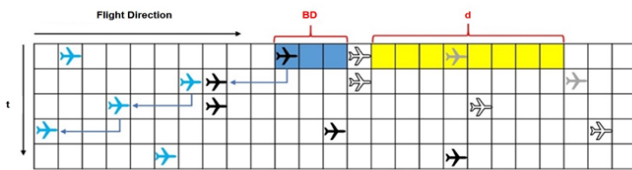


図 1. SBCA の時空図

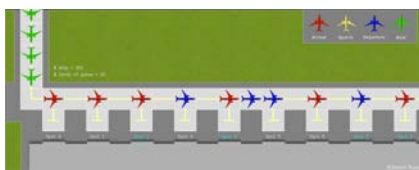
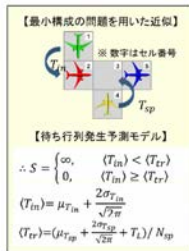


図 2. スポットアサイン分析のプロトタイプモデルとシミュレーションの一例



2. 平成 29 年度の実施内容

2.1 東京国際空港周辺の航空機渋滞モデルの構築  
 セル・オートマトン (Cellular Automaton: CA) にルール設定を与えて国内の航空交通を模擬する渋滞モデルを構築し, 現状の航空交通流を再現すると共に, 様々なパラメータを用いた最適化を実施した。解析手法には, 独自に開発した CA をベースに時間間隔調整アルゴリズムとしてステップバックを導入したステップバックセル・オートマトン (Step Back Cellular Automaton: SBCA) (図 1) を用いた。

2.2 空港内のタキシングとスポットアサインによる遅延に関する解析

空港面において平行誘導路に複数のスポットが隣接する系に対し, 毎時刻で空スポットに通し番号を割り振る, 完全非対称単純排他過程によるスポットアサイン解析のプロトタイプモデル (図 2) を考案し, 待ち行列発生解析的予測を実施した。

2.3 将来航空交通システムの設計指針の評価と課題抽出

航空機が先行機との到着時間間隔を速度制御によって調整する FIM (Flight-deck Interval Management) を東京国際空港への到着交通に適用する効果を, 京コンピュータによる大規模モンテカルロシミュレーションによって評価した (図 3)。さらに, 2016 年から 2017 年にかけて 2 年分の航空交通データを分析し, 航空交通を模擬するための統計モデルを作成した。

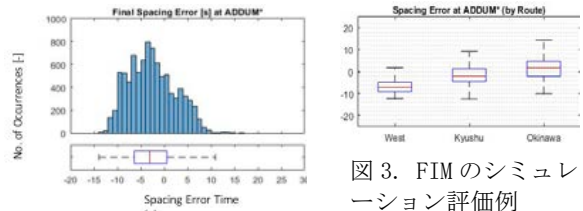


図 3. FIM のシミュレーション評価例

2.4 可視化ソフトウェアの開発

Unity ベースおよびフライスループログラムの可視化ソフトウェアを開発し, 地球の 3D モデル上を飛行する大量の航空機群を自由な視点で高いフレームレートで維持しながら確認することができた (図 4)。



図 4. フライトスループログラムの可視化ソフトウェア



## 2 航法システム領域

### I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

平成 29 年度においては、電子航法研究所（以下、当所という）の長期ビジョンを基に行政当局などの要望を考慮しながら下記の研究を計画・実施した。

1. GNSS を利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究
2. 次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究
3. 地上型衛星航法補強システムの運用性能評価に関する研究
4. 新たな後方乱気流管制方式の設定に関わる安全性評価と気象・運航データベースの構築
5. 我が国における GBAS 性能向上のための電離圏脅威モデルの最適化
6. GNSS 広域補強サービスのアジア地域における性能向上に関する研究
7. GNSS 障害時の代替（APNT）に関する研究
8. GNSS 監視に関する研究
9. 電離圏リアルタイム 3 次元トモグラフィーへの挑戦
10. 新・衛星=地上ビーコン観測と赤道大気レーダーによる低緯度電離圏の時空間変動の解明
11. 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発
12. ニューラルネットワーク推定電離圏モデルを用いた高精度津波即時予測
13. 多地点からの地上大気光観測を用いたプラズマバブル成長過程の解明

1 及び 2 は重点研究，3 から 5 は指定研究，6 から 8 は基盤的研究，9 から 13 は競争的資金による研究である。

1 は、曲線精密進入等の GLS (GBAS Landing System) による高度な飛行方式に関する技術開発を実施し、旅客機の PBN・GLS 機能で可能な飛行方式および GLS 曲線進入の実現を目指す研究である。

2 は、次世代 GNSS 環境への対応，補強システム間の連携による性能向上，宇宙天気情報の活用により，GNSS のアベイラビリティ向上を目指す研究である。

3 は、GBAS の運用性能評価手法および運用性予測技術の確立，ならびに大空港での運用に対する技術的課題の抽出と解決策の提示を行うことで，GBAS の円滑な導入への貢献を目指す研究である。

4 は、混雑空港の着陸容量の拡大に資するために，我が国の運航形態を踏まえた後方乱気流を考慮した離隔距離

の基準案（RECAT-Japan）の作成と安全性評価を行うために必要な気象・運航データベースの構築を目的とする研究である。

5 は、GBAS 性能向上のために ICAO アジア太平洋地域における GBAS 電離圏脅威モデルを日本の電離圏環境に対して最適化する研究である。

6 は、QZSS の利用による新サービスの創出を図るため，ASEAN 地域における L1-SAIF 補強方式の性能評価を行う研究である。

7 は、GNSS の脆弱性の対策として，代替システム（APNT）を構築する際の性能要件を明らかにし，国内に導入する場合の課題を抽出する研究である。

8 は、我が国における安全な GNSS 運航を提供するための GNSS 監視システム及び当該監視システムを用いた運用コンセプトの提案を目指す研究である。

9 は、衛星航法における誤差の低減や信頼性の向上のため，電離圏の密度変動のトモグラフィー解析を行い，電離圏 3 次元リアルタイムモニタリングシステムを開発する研究である。

10 は、衛星=地上ビーコン観測と赤道大気レーダーを組み合わせて，低緯度電離圏の変動の時間・空間構造を明らかにする研究である。

11 は，社会が必要とする宇宙天気情報と宇宙科学が提供できる情報のギャップを克服し，社会に「役に立つ」宇宙天気情報を提供する双方向システムを開発する研究である。

12 は，高精度な即時津波検知のために日本全国の GNSS 観測に対応できる電離圏変動参照ニューラルネットワークモデルの構築を目指す研究である。

13 は，小型暗視カメラを用いた大気光イメージャを磁気低緯度地域に多数設置し，プラズマバブルの空間構造の成長過程などの解明を目指す研究である。

### II 試験研究の実施状況

5 ヶ年計画の最終年度にあたる「GNSS を利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究」では，TAP 機上装置の表示機能を改良し，飛行実験で直線部から曲線部への不整合の解消を確認した。また，RNP to xLS 方式の浅い降下角を持つ中間セグメントを伴う新たな設計方式の提案をし，妥当性を検証した。さらに，GLS 衝突危険度モデル開発のためパイロット操舵モデルによるシミュレーションの実施により，逸脱量が ILS より減少することを確認した。

5ヶ年計画の3年度にあたる「次世代GNSSに対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究」では、次世代SBASのプロトタイプシステムによる実証実験を開始するとともに、次世代GBASの開発を進めた。また、補強システムの相互利用について検討を継続し、宇宙天気情報テストベッドの構築を開始した。

4ヶ年計画の3年度にあたる「地上型衛星航法補強システムの運用性能評価に関する研究」では、VDB覆域検証評価の電界強度計算アルゴリズムの改良と電波暗室でのスケールモデルによる評価を行った。また、運用性能評価ツールのソフトウェアの機能追加を実施し、さらに、羽田空港仮設GBASの動作確認に寄与した。

3ヶ年計画の2年度にあたる「新たな後方乱気流管制方式の設定に関わる安全性評価と気象・運航データベースの構築」では、羽田空港に設置したLiDARを用いて観測データを蓄積した。また、これら収集データを用いて後方乱気流の時間経過と循環強度に関する解析を実施した。

3ヶ年計画の初年度にあたる「我が国におけるGBAS性能向上のための電離圏脅威モデルの最適化」では、電離圏遅延量勾配の基本パラメータを高精度で推定する手法を確立した。また、大量データ解析に向けたソフトウェアの整備と、これを用いた電離圏脅威モデル基本パラメータの導出の検証を完了し、大量解析に着手した。

3ヶ年計画の最終年度にあたる「GNSS広域補強信号サービスのアジア展開に関する研究」では、電離圏嵐モニタを使用して推定に使用する観測データの調整を行う方式を開発した。また、複数コアシステムの利用について検討した。

4ヶ年計画の3年度にあたる「GNSS障害時の代替(APNT)に関する研究」では、飛行検査データを活用し、日本国内で問題となるマルチパスに焦点を当てて解析を行った。また、既存のDMEをRNP運航へ適用するためのEUROCAEの国際標準化作業に参加した。

2ヶ年計画の最終年度にあたる「GNSS監視に関する研究」では、国外での実態調査や我が国における問題点を整理し、我が国に適したGNSS監視システムを提案するとともに、試作機による性能評価を経て、運航者・管制官に対して適切に情報提供を行う運用コンセプトを提案した。

4ヶ年計画の最終年度にあたる「電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーへの挑戦」では、リアルタイム解析システムの運用を継続し、システムの改良を行うとともに、電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーの解析結果の検証、衛星航法への応用、及び過去データの大量解析を実

施した。

4ヶ年計画の3年度にあたる「新・衛星=地上ビーコン観測と赤道大気レーダーによる低緯度電離圏の時空間変動の解明」では、赤道大気レーダー周辺及びタイ・バンコクにおける電離圏勾配観測を継続的に実施し、電離圏東西大規模構造がプラズマバブル発生に果たす役割を明らかにした。

5ヶ年計画の3年度にあたる「次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発」では、電波伝播シミュレータの開発を行い、複雑な3次元構造を持つ電離圏の短波伝播シミュレーションを実現した。また、シンチレーションモデルについて、プラズマバブルの詳細数値シミュレーションにCNESの電波伝播モデルを結合していくこととした。

4ヶ年計画の最終年度にあたる「ニューラルネットワーク推定電離圏モデルを用いた高精度津波即時予測」では、日本全国のGNSS観測に対応できる電離圏変動参照ニューラルネットワークモデル構築に向けたデータ解析および入力検討を行い、モデルを提案した。

5ヶ年計画の初年度にあたる「多地点からの地上大気光観測を用いたプラズマバブル成長過程の解明」では、石垣島設置の試験用小型イメージャを最新型に更新した。また、来年度からの観測を計画している沖縄本島における観測場所の調査、検討を行った。

### III 試験研究の成果と国土交通行政、産業界、学会に及ぼす効果の所見

当領域の研究は、航空行政の支援などを通じて、航空交通の安全性、航空利用者の利便性向上、環境負荷の軽減などの達成に向けて行われている。

航空に使われる技術は国際的な調和が必要であるために、国際機関であるICAO、RTCA及びEUROCAEにおいて基準の作成、改訂のための活動が行われている。SBAS相互運用性検討ワーキンググループ会議(IWG)、IGWG(国際GBASワーキンググループ)会議などにおいても検討がなされている。当領域では、これらの国際会議に参加し、技術資料を提出して基準作成等の国際的な活動に寄与している。

当所の数多くの研究成果は、今後設置・運用する航空保安システムの技術基準、運用基準の策定等に必要な技術資料として、国土交通行政に直接貢献するとともに、米国航法学会、電子情報通信学会、日本航空宇宙学会、測位航法学会等における講演発表や論文として周知され、活用されている。(航法システム領域長 福田 豊)

## GNSS を利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究【重点研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○福島 莊之介, 齊藤 真二, 森 亮太, 毛塚 敦, 山 康博, 星野尾 一明
研究期間	平成 25 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

GNSS による精密進入着陸システムである GBAS (地上型衛星航法補強システム) は、カテゴリーI 運用の実用化フェーズに入り、海外では現在の ILS と同等な直線進入による GLS (GBAS Landing System) 運用が開始された。一方、ICAO (国際民間航空機関) は、ターミナル空域における PBN (性能準拠型航法) の展開を推進し、GLS 進入着陸の導入により運航の最適化を図るとともに、GLS を活用した運航効率の向上、環境負荷の低減、空港容量の拡大を目指している。この実現のため、現在直線に限定されている精密進入経路を曲線化するなど GLS の特徴を生かした高度な飛行方式を実現する技術の開発が強く望まれている。

### 2. 研究の概要

本研究では、曲線精密進入等の GLS による高度な飛行方式に関する技術開発を実施し、国際標準策定に必要な進入セグメントなどの定義、障害物間隔の課題を解決することを目的とする。

このために、(1) 機上実験装置を開発し、飛行実証を通して GLS 曲線セグメント (TAP) の実現方法に関する課題を解決する。また、(2) フライトシミュレータ実験により、ジェット旅客機の PBN・GLS 機能で可能な飛行方式を実現し、我が国での有効性を検証する。さらに、(3) GLS 誤差モデル、機体モデル、風モデルを組み込んだモンテカルロシミュレーションツール・人間操縦モデルを開発し、障害物との安全間隔を評価して飛行方式を設計する手法を確立する。

### 3. 研究結果

#### (1) TAP に対応した機上実験装置の開発と飛行実証

GLS では曲線的な進入パスなど現在の ILS より自由度の高い精密進入の実現が可能である。本研究は、GBAS 地上装置から TAP 経路を放送し、実験用機上装置で経路を表示して、飛行実証することを目的としている。開発した TAP に対応した実験用機上装置は図 1 に示すように、運航用 GBAS 受信機としても用いられている MMR (マルチモード・レシーバ) と制御・データ収集用 PC および TAP

処理・画面生成用 PC で構成される。このように外付けの PC に航空機の位置・姿勢・経路情報 (TYPE-4 データ) を入力し処理することで、現行の MMR では対応していない TAP に対応出来るようにした。また、コックピットディスプレイへの表示画面の生成機能を持たせ、パイロットに対する飛行経路指示を可能とした。TAP 経路処理における課題として、TF (直線) レグから RF (曲線) レグへの接続部における経路の不整合の問題があった。これは、経路情報に含まれる RF 旋回中心の座標の精度によるものが大きく、TAP 経路処理部を改良し RF 旋回中心座標を補正することでパスの接続部の不整合を解消した。

コックピットディスプレイへの表示画面に生成機能については、大型航空機でも用いられる PFD (プライマリ・フライト・ディスプレイ) を模した表示をベースとし、TAP 経路をトンネル形状の三次元で表示する形とした。最終的に、パイロットコメントに基づく表示機能の改良、フライトディレクター指示やフライトパスベクトルの表示機能を追加して完成とした。この実験用機上装置を用いて、当所実験用航空機で飛行実証を行い、TAP 経路による曲線進入を実現した。飛行実証は、仙台空港に既存の RNP AR 経路 (特別許可を必要とする性能準拠型航法による曲線経路) をオーバーレイ (重畳) するように TAP 経路を設計して GBAS 地上装置から放送データとして送信し、実験用機上装置で受信して、GBAS による TAP 経路の進入を実現した。なお、航空機の FMS (フライトマネジメントシステム) には、カスタム航法データを搭載して、自動操縦により曲線経路への追従を実現している。図 2 (左) は、曲線部を飛行中のコックピットディスプレイの表示 (三次元トンネル形状) である。

従来の装置では、直線部から曲線部への接合部に不整合が生じており、正常に自動操縦が動作しないことが懸念されていたが、飛行実証では不整合が解消されたことが確認できた。図 3 に開発した手法によるコース偏移の出力値 (ピンク色) を示す。従来法 (緑色) および実験用航空機に装備された FMS によるコース偏移 (青色) では値の飛びを生じているが、開発した手法ではスムーズに接続されていることが確認できた。

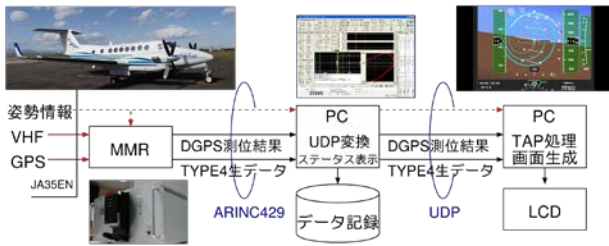


図 1：TAP に対応した実験用機上装置の構成

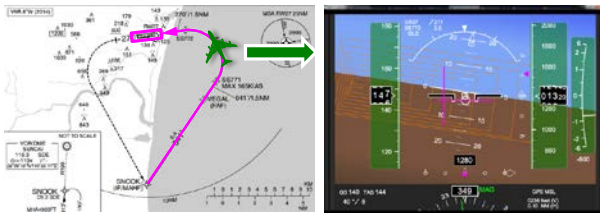


図 2：飛行実証で用いた GBAS-TAP 経路 (左) と RF レグ飛行中のコックピットディスプレイ表示 (右)

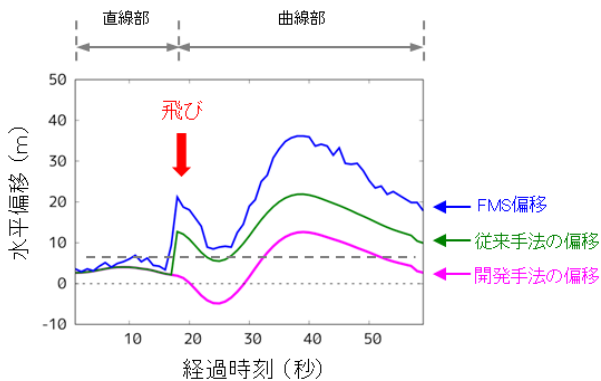


図 3：TF レグ-RF レグ接続部のコース偏差値

(2) PBN と GLS を接続する RNP to xLS 飛行方式の設計条件に関するフライトシミュレータ検証

本研究では、GBAS-TAP とともに、GLS による曲線進入のコンセプトとなっている RNP to xLS の実現を目的とする。次世代の技術である GBAS-TAP, に対し、RNP to xLS は、B737NG など新しい機材に対応しており、早期の導入が期待されている。実用化に向けての主要な課題は、飛行方式を設計するための基準が不明確なことであり、自動飛行制御システム (AFCS) の動作との関係を明らかにする必要があった。

図 4 に RNP to xLS と現在の ILS および RNP AR

(Authorization Required) 進入の特徴を示す。RNP to xLS 進入は RF 旋回と ILS/GLS のグライドスロープを接続する飛行方式であり、ILS 進入に比較して経路短縮効果により燃料消費や環境負荷を低減するメリットがある。また、

RNP AR 進入が特別許可を要する非精密進入であるのに対して、許可を必要とせず、ILS/GLS と同様の精密進入であるため、悪天候時にも利用可能な優位性を持つ。

精密進入は、初期進入セグメント、中間進入セグメント、最終進入セグメントなどから構成され、最終進入セグメントを構成するグライドスロープ (GS) に会合するためには、滑走路延長線上に一定高度の中間セグメントが設定されるのが通常である。本研究では、実用機材と同等の AFCS が使われている操縦士訓練用の高忠実度なフライトシミュレータを用いて飛行方式の設計手法の提案と検証を行った。研究初期には一定高度の中間セグメントによる方式設計を前提として、中間セグメントを気圧高度で航空機の真高度が高温時に高くなり、AFCS が ILS または GLS (xLS とする) のローカライザ (LOC) より先に GS にキャプチャ (捕捉) する課題に着目して、気温を可変する検証実験を実施した。この結果、B787・B737NG については、ILS 進入と同様の操作で RF 旋回から中間セグメントおよび最終進入セグメントに接続して進入可能であることを確認した。また、飛行方式を設計するための条件を検討し、航法データベース仕様 (ARINC424) やパイロットの操作手順に関する条件を満たし、1NM 程度のレベル区間を設けることにより、高温時でも RF (円弧) 旋回から最終進入セグメントへの接続が十分可能であることを示した。

次に、FAA の諮問機関である PARC (Performance-based Operation Aviation Rulemaking Committee) が提案した浅い降下角を持った区間 (Shallow Segment) による設計方法を検討した。この方法は、一定高度を飛行しないため、消費燃料や環境負荷が少ないメリットがある。本研究ではこの浅い降下角の中間セグメントを伴う RNP to xLS の飛行方式を検討して新たな設計手法を提案した。提案法では、国際標準大気 (International Standard Atmosphere, ISA) モデルを仮定して、地上気温による真高度の変化量を求め、球面上の幾何計算式から LOC および GS の捕捉位置を計算し、与えられた中間セグメント長と降下開始高度のもとで反復法により最大降下角を求める。

図 5 に通常気温 (ISA) と高温 (ISA+30°C) による LOC/GS 偏差と航空機の位置関係を示す。図 5 (右) において、航空機が LOC フルスケールを超えると LOC はキャプチャ (捕捉) され、図 5 (左) において LOC 偏差はゼロに向けて減少する。一方、GS 偏差は、気温が ISA の場合、航空機が緑パスを飛行 (図右) するため、2 ドット程度から減少する (図 5 右)。しかし、高温時 (ISA+30°C) は、真高度が高いパス (赤色) を飛行するため (図 5 右)、1 ド





(3) については本研究の中で作成, (4) については JAXA で所有している実験用航空機 MuPAL-a の機体モデルを, (5) については FAA でシミュレーション用の風として提案されているモデルを使用することで, シミュレーションの実現をはかった。その中でも, (3) のパイロットモデルは非常に重要な要素であり, 本研究で主な開発要素として実施した。

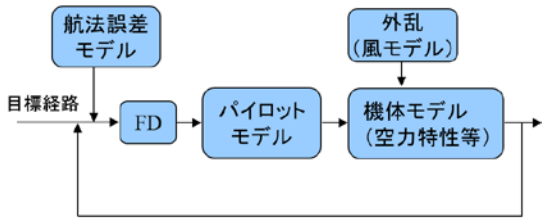


図 7 : シミュレーションの流れ

本研究の実施にあたり, まずパイロットのデータ取得のために, シミュレータの改修を実施した。東京大学・JAXA との共同研究契約を締結し, シミュレータの貸与, 機体モデルの貸与を受け, 本研究に必要な PFD (Primary Flight Display) /ND (Navigation Display) の改修を主として行った。また, (2) の FD についても, パイロット経験者の評価を交えながら, 構築を行った。

次に, 構築シミュレータによりデータ取得を行い, 新たなパイロットモデルの開発を行った。従来のパイロットモデルでは, パイロットの操縦特性が一定であり, 常に情報を取得し, 連続的な操縦ができることを仮定していたため, 一般に実際のパイロットの操縦よりも操縦性能がよいモデルが作られる傾向があった。本研究では, 実際のパイロット操縦の特徴である, 離散的, 確率的, 周期的な要素をモデルに組み込むことで, よりパイロット操縦に忠実なモデル構築を行った。提案するパイロットモデルの操縦の流れを図 8 に示す。

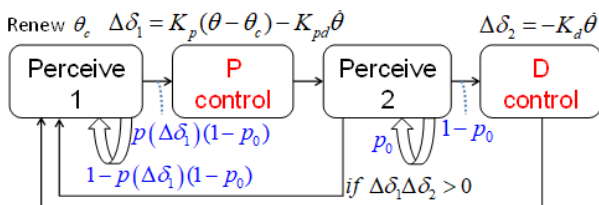


図 8 : 提案するパイロットモデル

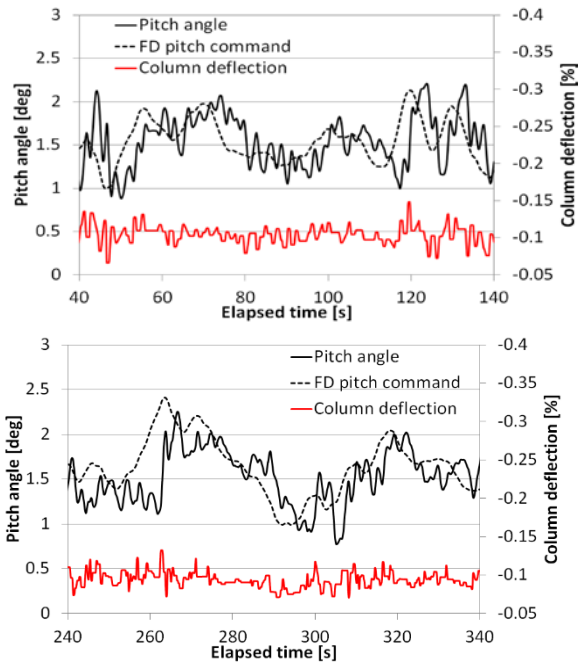


図 9 : 提案モデルによる操縦(上)と実際の操縦(下)

構築したパイロットモデルと, 実際の取得データの比較を図 9 に示す。パイロットの操縦は, 目標値に対して遅れ, 追従性能がそこまで高くないが, そのような特徴をパイロットモデルはよくとらえていることがわかる。これは, 縦方向の結果であるが, 横方向についても同様のモデルによりモデル化可能であることを確認した。

最後に, このシミュレーションを多くの回数実施することにより, CRM が規定する  $10^{-7}$  の確率における逸脱の計算を行った。図 10 は高度 600ft における, 現行基準 (CAT-D) と, 本研究による計算結果を比較したものである。概ね, 縦も横も 20~40% 程度の逸脱量の減少がみられる。さらなる検証を実施することにより, 将来的に障害物間隔基準が緩和されることが期待される。

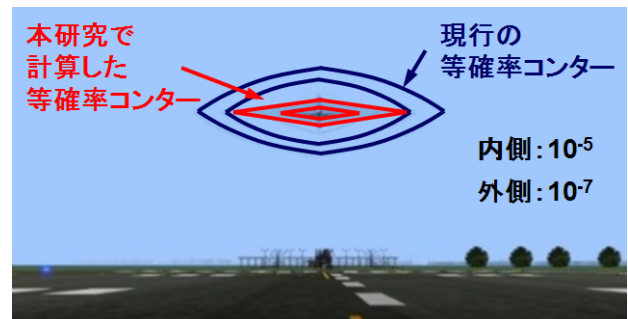


図 10 : 確率コンターの比較(高度 600ft)

#### 4. おわりに

本研究では, GBAS の特徴を生かした将来の曲線進入など 3 つの新しい飛行方式設計技術を研究対象とした。

第1の対象である GBAS-TAP は、RF 旋回から最終直線セグメントまで全てのパスを GBAS からデータベースとして放送するコンセプトである。本研究では研究開始時に課題であったレグ間の経路の不整合の課題に対応するため、実験用機上装置を開発し、計算処理部を改良することで課題を解決した。さらに、トンネル表示のコックピットディスプレイを開発して、実験用航空機により実証した。

第2の対象である RNP to xLS コンセプトは、RNP 航法による RF 旋回と GLS (または ILS) の最終直線セグメントを接続するコンセプトであり、B737 クラス以上の新しい機材では対応が可能である。このため、早期の実現が期待されているが、研究開始時は航空機の進入着陸経路の設計方法である ICAO の飛行方式設計基準が確定されていない課題があった。本研究では、オートパイロットが正常に動作し、スムーズな進入着陸が可能となる経路の設計手法を提案した。また、実機の動作を忠実に再現する操縦士訓練用のシミュレータを用いて設計手法が妥当であることを検証した。

第3の対象である障害物高度間隔の低減は、GLS の航法誤差が現在の ILS に比較して少ないにもかかわらず、ICAO の GLS と ILS の障害物間隔基準が、同様であり改善の余地を残していることに対する研究である。本研究では、航空機の経路追従誤差の要因を探究し、本検討に重要な要素であるパイロットの操縦モデルを新規に構築した。次に、モンテカルロシミュレーションにより外乱 (風モデル) を与え、多数回の試行 (パイロットモデルによる操縦) から経路逸脱量の等確率コンターを求め、現行の等確率コンターに比較して逸脱量が減少することを確認した。

本研究により、研究開始当初の課題を解決することができた。RNP to xLS 方式について、実用化に向けての課題は、保護区域を考慮した飛行方式の経路条件と空港への導入効果を分析することである。また、高度間隔基準については、多量の実機データ記録を用いて今回のシミュレーションによる結果の妥当性を検証することである。

#### 掲載文献

- (1) R. Mori, S. Fukushima, S. Saitoh. "Simulator Experiments and Problem Summary of RF Transition for xLS," ICAO IFPP 12-3, Mar. 2014.
- (2) S. Fukushima, S. Saitoh. "GLS path align performance evaluation with B787 flight trials," 14<sup>th</sup> International GBAS Working Group, June, 2013.
- (3) S. Fukushima, S. Saitoh. "787 GBAS landing system path align performance evaluation," 2<sup>nd</sup> KARI-ENRI Workshop on

GNSS, Nov. 2013.

- (4) 福島荘之介. "GBAS の研究開発と将来の GLS 運航," 平成 25 年度電子航法研究所講演会, 2013 年 11 月.
- (5) 福島荘之介, 他. "フライトシミュレータによる GLS パスアライン性能の評価," 第 51 回飛行機シンポジウム, 2013 年 11 月.
- (6) 齊藤真二. "GLS のパス追従性能とフライトシミュレータ評価について," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2013 年 9 月.
- (7) 齊藤真二, 福島荘之介. "飛行実験による GLS と ILS のコース・ディビエーションに関する比較," 電子情報通信学会, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2014 年 1 月.
- (8) S. Fukushima, R. Mori. "Simulator experiments on RF transition to xLS," 15<sup>th</sup> International GBAS Working Group, June, 2014.
- (9) 福島荘之介, 齊藤真二, 森亮太, 山康博. "GLS 装備機のパスアライン性能に関する検討," 第 14 回電子航法研究所研究発表会, 2014 年 6 月.
- (10) 福島荘之介, 齊藤真二, 森亮太, 山康博. "RNP から xLS に接続する進入方式のシミュレータによる検討," 第 52 回飛行機シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 2014 年 10 月.
- (11) 齊藤真二, 福島荘之介. "GLS と ILS の航法システム誤差に関する飛行実験による比較," 第 52 回飛行機シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 2014 年 10 月.
- (12) R. Mori. "Development of Pilot Model with Stochastic Periodical Discrete Movement," IEEE International Conference of Systems, Man, and Cybernetics, pp. 1532-1538, Oct. 2015.
- (13) S. Fukushima, R. Mori. "Simulator experiments of RNP to GLS with B787 full flight simulator," 16<sup>th</sup> International GBAS Working Group, June, 2015.
- (14) R. Mori. "Problem Summary for RNP to xLS procedure design," ICAO IFPP PBN WG virtual meeting, July, 2015
- (15) R. Mori. "Update of problem summary for RNP to xLS procedure design," ICAO IFPP 13-2, Sept. 2015.
- (16) 森亮太. "確率的離散的かつ周期的パイロット操舵モデルの提案," 日本航空宇宙学会第 46 期年会講演会, 2015 年 4 月.
- (17) 福島荘之介, 齊藤真二, 森亮太, 山康博. "RNP 進入と GLS を接続する進入方式の気圧高度差に関する検討," 電子航法研究所発表会, 2015 年 6 月.
- (18) 齊藤真二, 福島荘之介, 山康博. "長期 METAR データの解析と着陸進入システムの有用性," 電子情報通信

学会，総合大会，2016年3月.

(19) S. Fukushima, R. Mori, N. Fujiwara. "Flight simulator of transition from RNP to xLS final," 17<sup>th</sup> International GBAS Working Group, April, 2016.

(20) Yoshihara. "R&D activities for advanced procedures using GBAS in ENRI," Final approach operation symposium, Jan-Feb, 2017.

(21) 福島荘之介，齊藤真二，森亮太，山康博. "RNP から xLS に接続する進入方式の設計条件の検討," 第54回飛行機シンポジウム，日本航空宇宙学会，2016年10月.

(22) 福島荘之介. "GLSによる将来運航の進展(計器着陸システムの現状と将来)," 電子航法研究所講演会，2016年11月.

(23) R. Mori. "Novel Pilot Control Model with Stochastic and Periodical Movement," ICAS 2016, Sep. 2016.

(24) R. Mori. "Future Directions of CRM Activity," ICAO IFPP 14-1, Feb. 2017.

(25) R. Mori. "Pilot Control Modeling with Stochastic Periodical Discrete Movement," IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, Oct. 2017.

(26) S. Fukushima, R. Mori. "Shallow intermediate segment design for RNP to xLS navigation database," 18<sup>th</sup> International GBAS Working Group Meeting, April, 2017.

(27) S. Fukushima, R. Mori, S. Saitoh. "Geometric Approach for RNP Transition to xLS Procedure Design," IEEE/AIAA 36<sup>th</sup> Digital Avionics Conference, Sept. 2017.

(28) S. Fukushima, R. Mori, S. Saitoh. "A Flight Procedure Design Method for RNP to xLS with Shallow Segment," Japan-US Aviation Environmental Workshop, Nov. 2017.

(29) 齊藤真二. "TAPに対応した実験用GBAS機上装置," 第55回飛行機シンポジウム，2017年9月.

(30) 福島荘之介. "RNPとGBASを接続する新しい進入方式の研究動向," 航空無線，2018年3月.

(31) R. Mori. "CRM Evaluation in Japan," ICAO IFPP/14-3, Mar. 2018.



## 次世代GNSSに対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究【重点研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○坂井 丈泰, 齋藤 享, 吉原 貴之, 毛塚 敦, 麻生 貴広, 北村 光教, 伊藤 憲, 星野尾 一明
研究期間	平成27年度～平成31年度

### 1. はじめに

衛星航法システムGNSSは一般にインテグリティ（完全性）について十分な保証がなされておらず、そのままでは航空機の航法に利用するには安全上の問題がある。衛星航法システムのインテグリティを保証し、これを航空機の航法に利用可能とするのが補強システムである。航空機ユーザは、衛星航法システムと補強システムを併用することで、所要のインテグリティによる航法を得る。垂直誘導が可能な補強システムにはSBAS及びGBASがあり、前者は静止衛星を使用し、後者は地上施設から補強情報を放送する。

GNSSにおけるインテグリティ確保のうえで主要な脅威は上空にある電離圏の擾乱現象であるが、我が国を含む磁気低緯度地域ではその影響が大きい。このため、従前のシステムでは必ずしも十分なアベイラビリティが得られず、すなわち電離圏擾乱の発生時にGNSSを利用できなくなることがある。

本研究は、このようなGNSSの利用促進上の課題に対応するために実施することとしたものである。平成29年度は、5ヶ年計画の第3年度であった。

### 2. 研究の概要

補強システムを含む衛星航法システムのアベイラビリティ向上を図るため、本研究では次の方策について検討を実施する。

第一の方策は、次世代GNSS環境への対応である。近年は衛星航法システムの変革期であり、既存システム（米国のGPS及びロシアのGLONASS）については信号数の追加などの改良が、また一方では欧州（Galileo）や中国（BeiDou）による独自システムの構築が進められている。2012年に開催されたICAO AN-Conf/12ではこれら次世代のGNSS環境に対応する必要性が確認されており、複数周波数・複数システムの利用による性能向上が期待されている。現行の補強システム（SBAS及びGBAS）は、いずれも単一周波数・単一システムにしか対応していない。

いま一つの方策は、補強システム間の連携による性能向上である。現在のところSBASやGBASといった

補強システムはそれぞれが独立して稼働することとして開発されてきているが、例えばある補強システムが電離圏の異常を検出したならば、その情報は他の補強システムにとっても有用である。すなわち、補強システム同士の相互利用により、互いの性能向上を図ることが考えられる。

第三の方策は、宇宙天気情報の活用である。ICAO AN-Conf/12においては、電離圏擾乱を含む宇宙天気諸現象が航法システムに与える影響の適切な評価と回避策の開発についても必要性が指摘されたところである。数時間や数日先の予報を含む宇宙天気情報の利用により、アベイラビリティの高い航法システムを実現することが考えられるし、GNSSの利用ができない場合にあってはその旨を予報することが可能となる。

本研究では、これらの方策について、コンセプト及び技術的要件の検討とともに研究開発を実施する。研究の実施にあたり、GNSS及び航空システムの国際性に十分配慮することとしている。

### 3. 実施内容と成果

#### 3.1 次世代GNSS対応

次世代GNSS環境（複数システム・複数周波数）に対応した補強システムについて、プロトタイプシステムの開発を進めるとともに、規格化活動に参画した。

次世代SBASについては、前年度に開発したプロトタイプシステムのリアルタイム化対応を行うとともに、欧州Galileoに対応するよう改修した。あわせて準天頂衛星システムとの調整を行い、準天頂衛星2号機のL5S信号を使用して世界初となる実機による次世代SBAS実証実験を平成29年8月に開始した（図1～3）。また、ICAOにおける規格化会合に参画し、本実証実験によるデータを提供するとともに、次世代SBAS規格が準天頂衛星システムのL5S信号に適合するよう必要な改訂を提案し、受け入れられた。

次世代GBASについては、国際動向を調査するとともに、プロトタイプシステムの製作を実施した（図4）。また、機上側評価装置のソフトウェアについて詳細設計を行った。

### 3.2 補強システムの相互利用

補強システムの相互利用について、SBAS信号を利用してGBASの性能向上を図る方式について検討を継続した。利用形態としては、(i) SBAS衛星の距離情報の利用、(ii) SBASが放送している電離圏補強情報の利用、(iii) SBAS監視局の観測データの利用、が考えられる。このうち(ii)について検討を継続するとともに、(iii)による外部モニタの構成についてコンセプトを整理した。

### 3.3 宇宙天気情報の利用

宇宙天気情報の利用については、低磁気緯度地域で影響の大きい電離圏擾乱の対策として、情報通信研究機構(NICT)と協力して宇宙天気情報を利用するためのテストベッドの構築を開始した。今後、タイ・バンコク周辺を対象として、VHFレーダ及びGNSS観測網による宇宙天気情報テストベッドの試験を行う。また、ICAOにおいては、宇宙天気ジョブカードの改定を主導し、宇宙天気情報サービスの航法システムへの利用の検討を開始することとした。

### 3.4 公募型研究：準天頂衛星L5S信号の性能評価

研究課題「アジア・オセアニア地域における準天頂衛星L5S信号の性能評価」について公募を行い、台湾の国立成功大学を選定して研究を委託した。次世代SBAS規格に準ずる準天頂衛星L5S信号について必要な情報を提供し、ソフトウェア受信機によりこれを受信・評価したところ、台湾においても正常に受信できることを確認した。

## 4. まとめ

本研究ではGNSS補強システムのアベイラビリティ向上を目指しており、平成29年度は、前年度に開発した次世代SBASのプロトタイプシステムによる実証実験を開始するとともに、次世代GBASの開発を進めた。また、補強システムの相互利用について検討を継続し、宇宙天気情報テストベッドの構築を開始した。次年度以降はプロトタイプシステムによる実証実験を継続するとともに、研究活動の国際的な展開を充実させることとしたい。

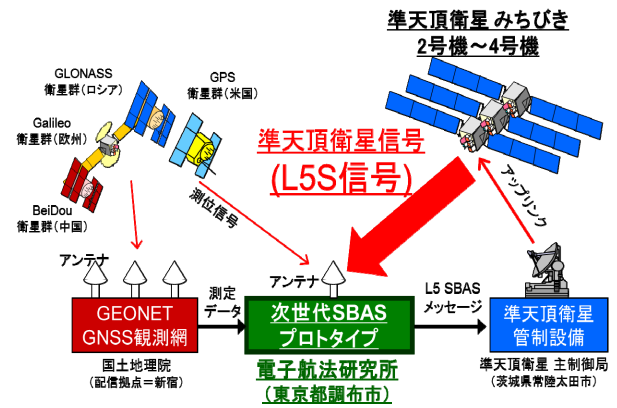


図1 準天頂衛星L5S信号による次世代SBAS実証実験の全体構成

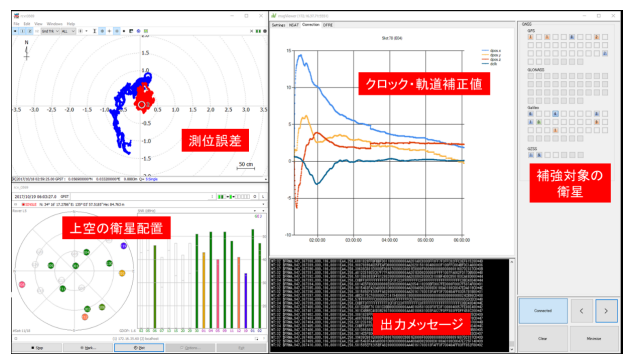


図2 次世代SBAS実証実験中の画面表示例

(左上) 補強なし(青)に対して、補強あり(赤)では測位誤差が低減されている。(中央上) 欧州Galileoの8番衛星の補正情報が時間の経過とともに収集している様子

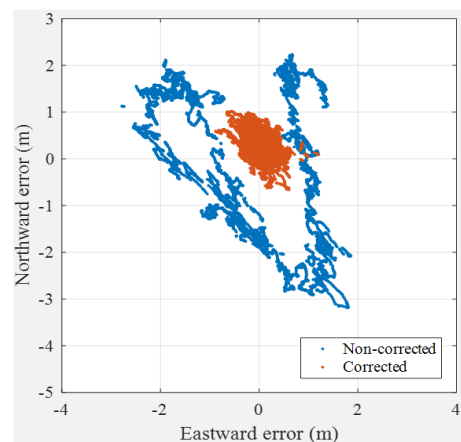


図3 次世代SBAS実証実験における精度評価例 (青)補正なし、(赤)補正あり。補正により測位誤差が低減されている

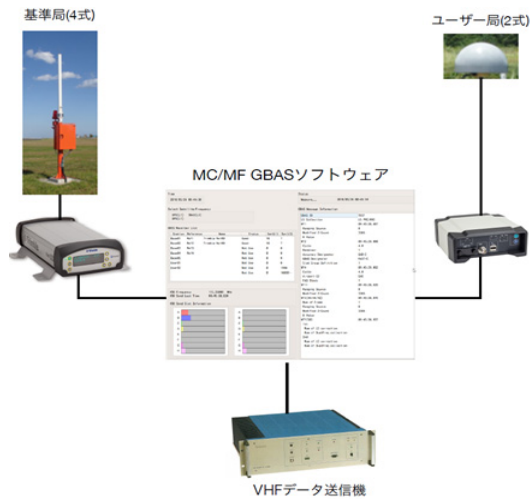


図4 次世代GBASプロトタイプシステムの構成

掲載文献

(1) 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, 星野尾一明. “次世代SBASで利用するGPS航法メッセージの検討,” 電子情報通信学会論文誌B, 2017年4月.

(2) Takeyasu Sakai. “Status of Japanese QZSS and SBAS programs,” APEC GIT/22, April 2017.

(3) M. Stanisak, Susumu Saito, T. Feuerle, Takayuki Yoshihara. “Comparison of GAST-D results from Ishigaki,” GBAS IGWG/18, April 2017.

(4) T. Feuerle, M. Stanisak, Susumu Saito, Takayuki Yoshihara, A. Lipp. “GBAS interoperability trials and multi-constellation/multi-frequency ground mockup evaluation,” GBAS IGWG/18, April 2017.

(5) Takeyasu Sakai, Satoshi Kogure, et.al. “Japan: The latest update on Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) program,” ION Pacific PNT 2017, May 2017.

(6) Susumu Saito, Mirko Stanisak, Takayuki Yoshihara, Thomas Feuerle, Andreas Lipp, Pierre Ladoux. “Results of GBAS interoperability trials in Ishigaki, Japan,” ICAO NSP JWGs/2, June 2017.

(7) P. Abadi, Yuichi Otsuka, Kazuo Shiokawa, A. Husin, H. Liu, Susumu Saito. “Equinoctial asymmetry in the zonal distribution of scintillation as observed by GPS receivers in Indonesia,” Journal of Geophysical Research: Space Physics, Aug. 2017.

(8) Mitsunori Kitamura, Takahiro Aso, Takeyasu

Sakai, Kazuaki Hoshinoo. “Development of prototype dual-frequency multi-constellation SBAS for MSAS,” ION GNSS+ 2017, Sept. 2017.

(9) Susumu Saito, S. Sunda, J. Lee, S. Pullen, S. Supriadi, Takayuki Yoshihara, M. Terkildsen, F. Lecat. “Ionospheric delay gradient model for GBAS in the Asia-Pacific region,” GPS Solutions, Oct. 2017.

(10) Susumu Saito, Keisuke Hosokawa, Ichiro Tomizawa, Jun Sakai. “Anomalous propagation of VHF NAV signals by sporadic E layer,” ICAO NSP/4, Oct. 2017.

(11) Takeyasu Sakai, Hideaki Tashiro. “SBAS ephemeris clock correction,” ICAO NSP/4 DS2SG, Oct. 2017.

(12) Takeyasu Sakai, Tetsuya Jo. “PRN assignment for non-GEO SBAS,” ICAO NSP/4 GSWG, Oct. 2017.

(13) Takeyasu Sakai. “The experiment on DFMC SBAS via QZSS L5S Signal,” ICG/12, Dec. 2017.

(14) Takeyasu Sakai. “The status of dual-frequency multi-constellation SBAS trial by Japan,” International Symposium on GNSS, Dec. 2017.

(15) Mitsunori Kitamura. “DFMC SBAS prototype system GPS, Galileo, and QZSS,” SBAS IWG/33, Jan. 2018.

(16) Mitsunori Kitamura, Takahiro Aso, Takeyasu Sakai, Kazuaki Hoshinoo. “Development of DFMC SBAS prototype system using L1 and L5 band signals of GPS, Galileo, and QZSS,” ION ITM 2018, Feb. 2018.

(17) Susumu Saito, Sabine Zureikat, Takayuki Yoshihara. “Preliminary results of impacts of ionospheric scintillations on GAST-D ground integrity monitors,” ION ITM 2018, Feb. 2018.

(18) Chiu-Mei Wu, Shau-Shiun Jan, Takeyasu Sakai. “Evaluation of Quasi-Zenith Satellite System L5S signal,” ION ITM 2018, Feb. 2018.

(19) 坂井丈泰. “次世代SBASのためのエフェメリスメッセージ,” 測位航法学会論文誌. 2018年2月.

(20) Takeyasu Sakai. “DFMC SBAS augmentation service from the zenith,” Munich Satellite Navigation Summit, March 2018.

## 地上型衛星航法補強システムの運用性能評価に関する研究【指定研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○齊藤 真二, 福島 荘之介, 毛塚 敦, 吉原 貴之, 齋藤 享
研究期間	平成 27 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

地上型衛星航法補強システム (GBAS) の CAT-I 地上装置は複数の国々で導入が開始され、我が国においても導入に向けた検討が行われており、近い将来に運用評価を経て、運用が開始される見込みである。GBAS の導入が進む米国では、GBAS 地上装置と独立して到着空港の GBAS 利用可能性を予測し運航者に提供するツールの開発・評価が行われている。我が国においても、GBAS の運用時には、利用可能性を予測し運航者に提供することが必要になる。さらに、地上装置、機上装置、GPS 等の各構成要素や外的要因を考慮した上で、運航者にとって運用に必要な性能が保たれているかの評価も必要である。このように GBAS の導入に向けて、運用性能評価手法の確立、運用性予測技術の確立が急務となっている。また、導入が見込まれる大空港での運用に対する技術的課題を明確化し解決方法を示す必要がある。

運用性能評価手法および運用性予測技術の確立、ならびに大空港での運用に対する技術的課題の明確化と解決策の提示を行うことで、運用評価への寄与および実運用機材の円滑な導入への貢献を目指し、本研究を開始した。

### 2. 研究の目的と実施項目

本研究の目的は CAT-I GBAS の実用化に向け、運用に必要な性能を評価する手法を確立することおよび運用時に必要となる運用性予測技術を確立すること、ならびに複数滑走路を有する大空港での運用に対する技術的課題を明らかとし解決策を示すことで、我が国における CAT-I GBAS の円滑な導入に貢献することである。

具体的には、次の項目を実施する。

- (1) 複数滑走路を有する大空港における GBAS の導入・運用に向けた技術的課題を明らかとし、解決策の検討を行う。(VDB 覆域、IFM アルゴリズム等)
- (2) 運用性能評価：地上装置と独立した評価が可能な運用性能評価の評価指標、評価手法を検討し、運用性能評価ツールの開発を行い、評価手法の検証を行う。
- (3) 運用性予測：運用性予測技術を検討し、予測ツールを開発し、予測技術の評価を行う。

### 3. 実施概要

#### (1) 大空港における技術的課題について

平成 29 年度は、VDB 覆域検証評価ツールの開発のため、昨年度に引き続き、青山学院大学と連携して研究を実施し、電界強度計算アルゴリズムの改良と、電波暗室を用いたスケールモデルにてアルゴリズムの評価 (図 1) を行った。図 2 に示した電波暗室での評価結果から提案法と測定結果がよく一致していることが分かる。また、覆域劣化とシステム性能の関係を検討するため受信電界強度とメッセージ受信失敗率 (Message Failure Rate) の関係を実験により明確化した (図 3)。この実験は図 4 に示した RF 信号記録再生装置とマルチ・モード・レシーバ (MMR) を用いて行った。さらに、複数 VDB 送信アンテナを用いた GBAS を想定し、スロット間・フレーム間に大きな強度変動が存在する信号 (図 5) を生成してメッセージ受信失敗率の評価を実施した。その結果、50dB の信号強度変動があっても許容値 ( $1E-3$  以下) を満たすことを確認した。

#### (2) 運用性能評価について

平成 29 年度は運用性能評価ツール (図 6) のソフトウェアの機能追加を行い、VDB で放送される複数の FAS に

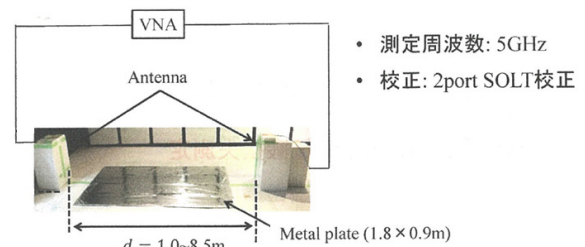


図 1 電波暗室でのスケールモデルによる評価

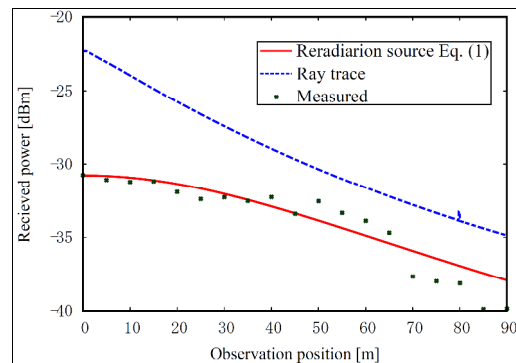


図 2 電波暗室での評価結果

(提案法 (赤)、レイトレース法 (青)、測定結果 (黒))



対応したプロテクションレベル算出機能や航空機搭載型 GPS 受信機の出力に対応した処理が追加された。また、本評価ツールを用いて平成 29 年 10 月に羽田空港仮設 GBAS の動作確認を行っている (図 7)。このように可搬型としたことで車両等に搭載して機動的に使用可能なツールとなっている。

### (3) 運用性予測技術について

平成 29 年度は予測ツールの仕様について検討を行った。ハードウェアは(2)で開発している運用性能評価ツールと共用とし、運用性能評価ツールの出力を用いてプロテクションレベル値の予測をすることとした。予測プロテクションレベル値は VDB で放送される各 FAS に対応した複数の評価点に対し出力することとした。

### 4. おわりに

VDB 覆域評価については、昨年度に引き続き外部と連携して行い、アルゴリズム改良や電波暗室を用いたアルゴリズム評価等が効率よく実施できた。また、昨年度導入した RF 信号記録再生装置を用い、複数 VDB 送信アンテナを想定した強度変動についての評価および覆域劣化時の性能評価を実施した。運用性能評価ツールについては、ソフトウェアの機能追加を実施し、さらに、羽田空港仮設 GBAS の動作確認に寄与することができた。

### 所外発表等

[1] Shinji Saitoh, Susumu Saito, Takayuki Yohihara, “GBAS ground performance evaluation tool,” 18<sup>th</sup> International

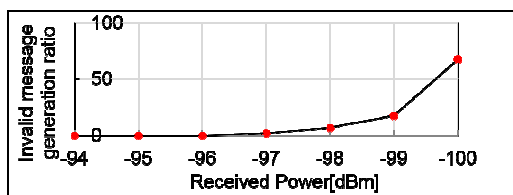


図 3 受信電力とメッセージ受信失敗率



図 4 RF 信号記録再生装置と MMR

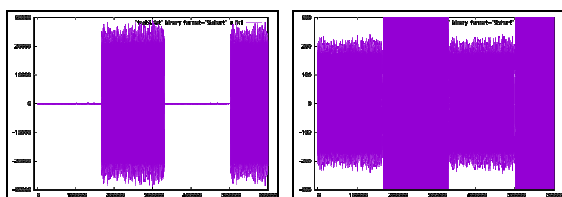


図 5 スロット間で強度変動する信号例

GBAS Working Group, Apr. 2017.

- [2] 加藤 涼, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “VHF 帯空港面電磁界解析手法の提案,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J100-C, pp.236-238, 2017 年 5 月
- [3] 齊藤 真二, 齋藤 享, 吉原 貴之, 福島 荘之介, 毛塚 敦, “地上型衛星航法補強システムの可搬型評価装置,” 第 17 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.65-70, 2017 年 6 月
- [4] 阿部 優樹, 黒田 哲史, 須賀 良介, 平井 翔太郎, 毛塚 敦, 橋本 修, “VHF 帯空港面電磁界解析手法の有効性の測定評価,” 信学ソ大, C-15-3, 2017 年 9 月
- [5] 平井 翔太郎, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “空港面における波長に対して小さな建物間からの放射電磁界解析,” 信学総大, C-15-7, 2018 年 3 月
- [6] 齊藤 真二, “GBAS 運用性能評価装置について,” 日本航海学会誌 NAVIGATION, Vol.204, pp.25-30, 2018 年 4 月
- [7] Yuki Abe, Satoshi Kuroda, Ryosuke Suga, Shotaro Hirai, Osamu Hashimoto, Atsushi Kezuka, “Measurement Validation of Hybrid Electromagnetic Field Analysis Method for Airport Surface in VHF Band,” IEEE AP-S/URSI, MO-A3.1A.8, July 2018.

**特長**

- GAST-C/D に対応
- リアルタイム処理 / 後処理による評価
- 固定点 / 移動体での評価
- 可搬型による優れた機動性

性能評価ソフトウェア画面

装置外観

**データ表示**

- 測位モードステータス
- 捕捉衛星 / 使用衛星ステータス
- 測位結果, 航跡
- FASデータ / 仮想FASからのコース偏位
- 測位誤差, プロテクションレベル
- スタンフォードチャート
- VDB信号ステータス
- VDB受信強度
- VDBスペクトラム
- 各種データの時系列表示

図 6 運用性能評価ツール概要



図 7 羽田空港仮設 GBAS 動作確認の様子

## 新たな後方乱気流管制方式の設定に関わる安全性評価と気象・運航データベースの構築【指定研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○吉原 貴之, 藤井 直樹, 瀬之口 敦 (航空交通管理領域)
研究期間	平成28年度～平成30年度

### 1. はじめに

航空機の着陸進入時においては、先行機によって発生する後方乱気流が後続機の安全運航に影響を与えないようにするために、管制方式基準では先行機と後続機の組み合わせに応じた離隔距離が設定されている。これらの離隔距離は空港の着陸容量と密接な関係にあることから、空港着陸容量の向上のために現在の離隔距離の区分 (Category) を見直すRECAT (Recategorization) の計画が進んでいる。

ICAO (国際民間航空機関) がまとめた将来構想であるASBU (Aviation System Block Upgrades) では、空港の離着陸容量を増加させるRECAT導入を3つの段階に分けて実施する計画である。その第1段階としては、現在の管制方式基準では航空機の重量によって分類された4つの機種グループの組合せに応じて区分されている離隔距離を、6~7つに細分化することにより管制間隔を短縮することを目的とするRECATフェーズ1 (RECAT 1) の導入である。このRECAT 1は、すでに欧米を中心に基準が策定され導入されつつあるが、地域や空港毎で運航形態の特徴 (航空機型式の比率、交通流の特徴等) が異なるため、米国と欧州におけるRECATの機種区分と離隔距離の基準は差があり、それぞれがRECAT-US, RECAT-EUと呼ばれている。我が国においても、運航形態などの違いに加えて、滑走路配置の複雑性や狭隘性などに起因する地理的環境の違いも存在するため、RECAT 1の導入に際しては、我が国に適した機種区分とその導入効果及び安全性の評価が必要である。

### 2. 研究概要

航空機間の縦方向の安全な離隔距離の設定においては、最悪ケースとなる地表近くで後方乱気流が時間的に最も長く持続する状況下で、後続機に確実に影響を与えない程度に減衰・消滅するのに必要な時間を導出、検証することが必要となる。そのため、図1に示すLiDAR (Light Detection And Ranging) を用いて航空機の通過経路に直交する垂直断面の風速パターン等から後方乱気流の強さを計測するとともに、その時間的推移から乱流の減衰、消滅する過程を観測する。更に、後方乱気流の消滅には周囲の風況や大気の安定度等といった気象条件も重要なパラメータとなることから、これらの気象同時観測データも合わせて収集

する。一方、後方乱気流の減衰、消滅過程の解析には、後方乱気流生成時の情報として、航空機のLiDAR観測断面の通過時刻が必要となる。そのため、航空機監視レーダーやADS-Bの航跡や機上記録データ等の運航データを組合せた解析が必要となる。とりわけ、生成される後方乱気流の強さの初期値の推定には、大気密度といった気象情報に加えて航空機型式等の機体情報とともに実際の対気速度、重量等が重要となる。さらに、このような運航データは対象空港における交通流の特徴、例えば混雑時間帯における機種構成や、実際の着陸間隔といったRECAT 1導入前の現状把握と、RECAT 1における新たな機種区分の検討、その導入効果を評価するために必要となる交通流のモデル化 (シナリオ作成) に必要な情報である。

本研究では、羽田空港や成田空港などの混雑空港の着陸容量の拡大に資するため、我が国の運航形態を踏まえたRECAT 1の導入効果及び安全性評価を行うとともに、必要となる気象・運航データベースを構築する。特に、我が国独自の欧米とは異なる運航形態や、空港が海に面している立地条件による気候学的な差異を考慮して実施する。構築した気象・運航データベースは将来予想される気象状況等に応じて離隔間隔を変化させるRECATフェーズ2, 3を検討する際の基盤的知見として重要な役割を果たすことが期待される。なお、本研究は宇宙航空研究開発機構との共同研究により実施する。

### 3. 研究成果

平成29年度は、国土交通省航空局の協力のもと、図2のように平成28年度に羽田空港に設置したLiDARを用いて観測データを蓄積した。なお、本装置は電子航法研究所と三菱電機株式会社の共同研究により運用され、連続運転により観測データ収集をしている。平成29年6月下旬から11月下旬の間は構成品の故障のため、観測データが取得できなかったが、それ以外の期間ではほぼ連続データを取得できた。航空機が観測断面を通過した時刻の導出については、航空局交通管制部から提供を受けた期間についてはARTS (Automated Radar Terminal System : ターミナルレーダー情報処理システム) データ、それ以外の場合には電子航法研究所が設置したADS-B受信機の収集データから計

算した。これら収集データを用いて後方乱気流の時間経過と循環強度に関する解析を実施した(図3参照)。具体的には、解析手法の検証も含めて後方乱気流が比較的長く残存すると考えられる周囲の風が弱かった2018年1月30日、31日の観測データについて事例解析を行い、消滅時間が100秒以上であった合計12例について後方乱気流に関わるパラメータ抽出とそれらの時間変化を調査した。今後は、観測データの存在する全期間を対象として同様の手法により、以下に着目した解析を継続実施する予定である。

- 後方乱気流が残存する可能性が高い、風が弱い日を中心に解析を進め、消滅時間が長い事例をリスト化する
  - 上記リスト化された後方乱気流の乱流強度について、生成直後の初期値との関係、同時観測結果との比較による推定精度及びLiDAR装置の検出能力を検証する
  - LiDAR装置の特性を踏まえて、これまで報告されている観測事例や乱流消滅モデルと比較検証する
  - 進入経路直下にある進入灯火(橋脚)の影響を受けない領域での海面付近における観測データを解析する
- なお、平成29年10月に航空局交通管制部とEUROCONTROLが東京で開催したRECAT 1に関わる機会にも出席し、具体的なデータ解析手法、安全性評価手順、並びに今後の協力関係の構築について議論した。

将来の課題に向け、航空機周囲の気象情報を得る手段としてSSR(二次監視レーダー)モードSの航空機動態情報から風向、風速及び大気温度を推定する手法が期待されている。とりわけ、これら気象情報は将来のRECATフェーズ2,3の実現に向けて有用な情報と考えられ、誤差特性や推定精度の検証が重要である。そこで、京都大学生存圏研究所のMUレーダー(滋賀県信楽町)の2016年の観測データを用いて、信楽上空100kmの水平範囲について航空機動態情報から算出した風向、風速を比較し、エンルートにおける定量評価を実施した。今後、解析期間を2008~2018年に拡張してデータ数を増加させた統計解析と、アプローチ中に得られた気象情報についても空港周囲における他の比較観測データを用いた定量評価を実施予定である。

#### 4. 今後の課題

平成29年度の結果を踏まえ、最終年度である平成30年度は引き続き、宇宙航空研究開発機構と協力して羽田空港での観測結果をこれまで欧米で報告されている結果と比較検証して安全性評価に関わる解析を完了する予定である。また、RECAT 1の導入効果の評価については、現在ICAOで議論が進められているRECAT-USとRECAT-EUを融合した新しいRECAT案を中心に、空港面交通管理の視点を

考慮した離着陸容量値による定量評価も予定している。これらにより、気象・運航データベースの構築、高度化とともに、日本におけるRECAT 1導入について総合的に評価する予定である。

#### 掲載文献

- (1) T. Yoshihara, et al. "ENRI's R&D topics related to air traffic flow and meteorological conditions," MET/ATM Seminar, SP/07, 福岡市, 2017年5月.
- (2) 吉原他, "進入経路上における管制間隔の気象の影響評価," 第17回電子航法研究所発表会, 2017年6月.
- (3) 吉原他, "航空機監視レーダ(SSRモードS)から得られる気象観測情報の特性評価について," 京都大学生存圏研究所 第11回MUレーダー/赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治市, 2017年9月.

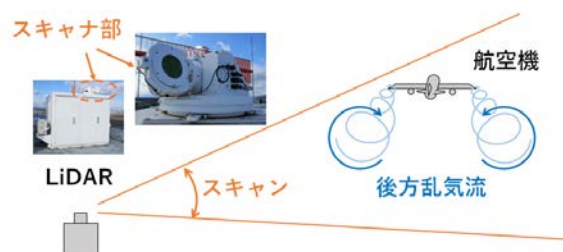


図1. LiDARによる後方乱気流の観測

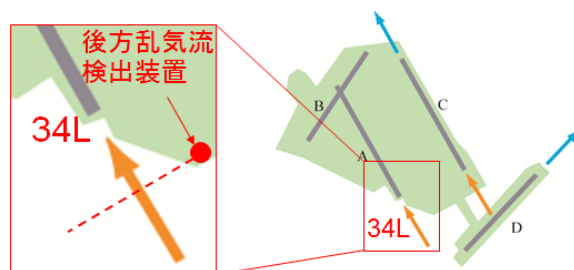


図2. 羽田空港におけるLiDAR装置の設置場所

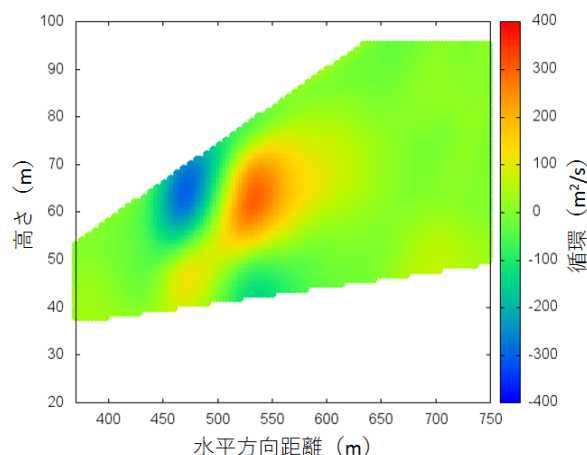


図3. A330-200の後方乱気流の循環強度に対応する鉛直断面分布図の例(2018年1月31日20:51:24.8~20:51:35.4のスキャン結果)



## 我が国における GBAS 性能向上のための電離圏脅威モデルの最適化 【指定研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享, 中村 真帆
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

我が国では CARATS において GBAS 導入が意思決定され、日本の電離圏環境に対応した GBAS 装置を平成 28～30 年度に整備し、平成 31～32 年度に運用評価を行った後にカテゴリー I 運航を開始する予定である。一方、平成 28 年の ICAO アジア太平洋地域航空航法計画実施グループ (APANPIRG) において、電離圏問題検討タスクフォース (Ionospheric Studies Task Force: ISTF) の成果として、アジア太平洋地域共通の電離圏脅威モデルが報告された。

アジア太平洋地域モデルは現在日本の GBAS 装置に適用を想定している電離圏脅威モデルよりも広い脅威空間を有しているが、日本では考えにくい脅威空間を含んでいると考えられることから、過去のデータの解析による合理的な脅威空間の最適化が、日本における GBAS の性能を最大限発揮させるために必要である。

また、高カテゴリー GBAS の SARP が 2018 年に策定されたことから、今後、世界では高カテゴリー GBAS の導入が推進されることとなり、日本においても CARATS における高カテゴリー GBAS 導入の意思決定を平成 32 年度に行う予定としているが、導入に際しては最適化された電離圏脅威モデルが不可欠となる。さらに、アジア太平洋地域では多くの国で GBAS 導入が計画されており、各国の GBAS 導入に際して電離圏評価情報が蓄積されていくことが予想される。

### 2. 研究の概要

本研究では、電子航法研究所（以下、当所とする）が主導して構築した ICAO アジア太平洋地域における GBAS 電離圏脅威モデルに基づき、これを日本の電離圏環境に対して最適化するとともに、各国の GBAS 導入に際して得られる電離圏評価情報を含む知見を共有し、我が国の電離圏脅威モデルとの可能な範囲において最大限の共通化を行うことを目的とする。またこの中で、アジア太平洋地域電離圏脅威モデルの最適化に向けた活動を行う。

これらの活動を通して、アジア太平洋地域電離圏脅威モデルを元に日本における電離圏環境に最適化した脅威モデルを開発するとともに、成果をアジア太平洋地域電離

圏脅威モデルに反映し、これをより成熟したものとする。

最適化された電離圏脅威モデルにより、日本において GBAS の性能が最大限発揮されることが期待されることに加え、GNSS に影響を与える電離圏擾乱の物理的理解に寄与することが期待される。さらに当所及び日本発の技術のアジア太平洋地域における利用拡大とそれに伴う日本及び当所の国際的な地位の向上が期待される。

### 3. 研究成果

まず電離圏遅延量勾配の基本パラメータ（傾きの大きさ、向き、深さ、移動速度、空間スケール）を高精度で推定する手法を確立した [1]。

ICAO アジア太平洋地域 GBAS 電離圏脅威モデルの日本の電離圏環境に対する最適化のため、国土地理院 GEONET のデータを用いた大量データ解析に向けたソフトウェアの整備と、これを用いた電離圏脅威モデル基本パラメータの導出の検証を完了した。

磁気低緯度から中緯度にかけて位置する日本付近の電離圏環境の評価のため、低緯度地域の代表として沖縄付近、低緯度から中緯度への遷移領域の代表として関東付近を選定し、それぞれにおいて、受信機配置を考慮して解析対象受信機群（各群 3 受信機構成）を決定し、大量解析に着手した [2]。

図 1 は、沖縄で検出された電離圏遅延量勾配の一例である。夜間に当たる GPS 時刻 13 時付近において、2 受信機間の電離圏遅延量差が大きく増大していることが見て取れる。

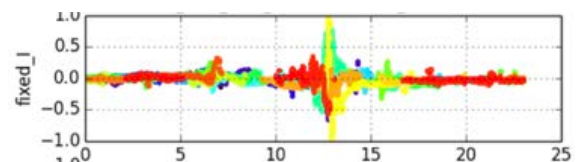


図 1. 沖縄で観測された 2 受信機間の電離圏遅延量 [m]。横軸は GPS 時刻 [hour]。異なる色は異なる GPS 衛星の結果を示す [3]。

3 受信機間の電離圏遅延量差から電離圏遅延量勾配の 2 次元ベクトルを再構成したものが図 2 である。この例

では、最大の電離圏遅延量勾配は東北東向き 114 mm/km であった。これは、磁気低緯度地域の電離圏遅延量勾配の主な原因であるプラズマバブルと呼ばれる現象が、南北に長く伸びた構造を持ち、電離圏遅延量勾配が東西方向に大きくなりやすいという特性と一致する。

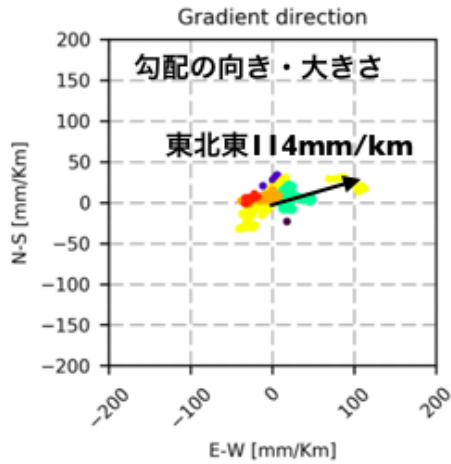


図2. 3受信機間の電離圏遅延量差から再構成した電離圏遅延量勾配の2次元ベクトル。異なる色は異なるGPS衛星の結果を示す [3]。

さらに、各受信機の電離圏遅延量変動に対して文献[1]で開発した手法を適用することにより、電離圏遅延量勾配の移動速度及び空間スケールの導出を行った。図3は、図2で検出された電離圏遅延量勾配に伴う、各受信機の電離圏遅延量（2周波観測によるもの、周波数間バイアス未補正）である。3受信機の電離圏遅延量変動の特徴点の時間ずれから移動速度を導出したところ 101 m/sec を、この移動速度と電離圏遅延量変動の落ち込みの時間変化から空間スケール 51 km を得た。これらは、プラズマバブルに伴う電離圏遅延量勾配の移動速度、空間スケールとして妥当な値といえる。

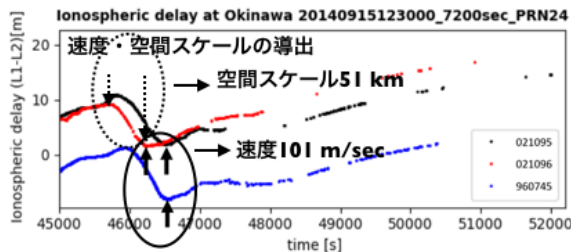


図3. 2周波観測により導出した3受信機の電離圏遅延量変動（周波数間バイアスは未補正）。横軸はGPS時刻 [sec] [3]。

アジア太平洋地域 GBAS 電離圏脅威モデルの改良については、ICAO 航法システムパネル(NSP) GBAS ワーキンググループ(GWG)における電離圏勾配対策アドホック(IGM ad hoc)グループにおいて、電離圏シンチレーションの影響がGBASのインテグリティモニタに与える影響の解析を主導的に行っており、電離圏脅威モデルの改良に向けて予定を前倒しして進行している。

アジア太平洋地域 GBAS 電離圏脅威モデルの改良においては、アジア太平洋地域各国との情報共有、協力が不可欠であり、ICAO が提供する ISTF Forum を活用した情報共有を進めるとともに、NSP メンバーであるインド、シンガポールと情報共有を強化している。

#### 4. 考察等

本研究は、初年度としてほぼ予定通り進行している。確立した解析手法は、発表論文が Radio Science 誌のハイライト及び American Geophysical Union の四半期注目論文に選出されるなど、高い評価を得たことは特筆すべき点である。

平成 30 年度は、大量データ解析システムを用いてデータの解析を進め、日本向け脅威モデルを策定する予定である。アジア太平洋地域 GBAS 電離圏脅威モデルの改良については、電離圏シンチレーションのインテグリティに対する脅威の解析を進めるとともに、日本における解析結果を検討し、アジア太平洋地域モデルの改良に着手する予定である。

#### 掲載文献

- [1] S. Saito, T. Yoshihara. “Evaluation of extreme ionospheric Total Electron Content (TEC) gradient associated with plasma bubbles for GNSS Ground-based Augmentation System (GBAS),” Radio Science, 52, 951–962. doi:10.1002/2017RS006291, 2017. (Journal Highlight)
- [2] 中村他. “日本における電離圏脅威モデル最適化のための電離圏勾配解析,” 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2017年10月.
- [3] M. Nakamura, et al. “Study of the spatial scale of plasma bubbles for ionospheric threat model for GBAS,” Proc. ION ITM 2018, 2018年1月.

## GNSS広域補強サービスのアジア地域における性能向上に関する研究【基盤的研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○坂井 丈泰, 吉原 貴之, 麻生 貴広, 北村 光教, 伊藤 憲
研究期間	平成27年度～平成29年度

### 1. はじめに

GNSSの測位精度を向上させる広域補強サービスについては我が国ならびにアジア諸国における関心が高いが、アジア地域を中心とする磁気低緯度地域では電離圏伝搬遅延による影響が大きく、ディファレンシャル補正を行っても十分な測位精度が得られない場合がある。こうした理由から、例えば内閣府が整備中の準天頂衛星システムではディファレンシャル補正サービスのサービスエリアを当面は我が国の周辺に限る方向である。次の段階の課題として経済的成長の著しいアジア地域に対するサービス拡大が模索されており、当該地域におけるディファレンシャル補正の精度向上を図ることが求められている。

電離圏に関する環境が欧米と異なる我が国は、磁気低緯度地域で導入可能な広域補強技術の開発を行い、我が国におけるGNSSの普及に資するのみならず、同じく磁気低緯度地域に属するアジア諸国におけるGNSSの導入促進に貢献すべきである。以上の課題を踏まえ、平成27年度より3ヶ年計画にて本研究を実施した。

### 2. 研究の概要

磁気低緯度地域における衛星航法システムの性能向上を図るため、本研究では次の方策について検討を実施する。

第一の方策は、磁気低緯度地域向けの電離圏伝搬遅延推定・補強方式の開発である。既存システムの電離圏伝搬遅延補強方式は米国において開発されたものであり、我が国の電離圏環境には適合していないことが明らかになっている。我が国を含む磁気低緯度地域に適合した補強方式を開発することで、アジア地域におけるディファレンシャル補正の精度向上が図られる。

いま一つの方策は、地上監視局の追加並びに複数コアシステムの利用である。地上監視局を追加したり、GPSに加えて準天頂衛星システム(QZSS)、GLONASSやGalileoといった別のコアシステムを使用することで、補強情報を生成するための観測データを増加する

ことができる。データが多いほど推定精度を向上させ、広域補強サービスが提供する性能を改善することができる。

本研究においては、こうした方策を中心としてGNSS広域補強サービスの性能向上を図る。いずれの方策も、サービスプロバイダ側の性能向上方策であって、ユーザ側の既存機器の改修を必要としないことが特徴である。

### 3. 実施内容と成果

#### 3.1 磁気低緯度地域向け補強方式

南西諸島における既存補強方式の動作状況を調査したところ、現実の電離圏伝搬遅延の分布に対して、現状の補強方式が適用している電離圏モデルでは対応しきれていないことがわかっている。こうした状況の対策として、電離圏嵐モニタアルゴリズムを使用してモデル適合性を評価し、モデルが現実の電離圏に適合していないと判断された場合には電離圏嵐の影響を受けていると思われる観測データを排除することで適切な補強情報を生成する方式を検討した。

当該方式について性能評価を行ったところ、従前は電離圏遅延推定値の不確かさをあらわすGIVEIが最大値の14であった場合に（GIVEI=15は推定不可をあらわす）、これを減少させる効果があることがわかった（図1）。また、MSASに組み込んだ場合にユーザ側で期待できるアベイラビリティを試算したところ、顕著な改善効果があることを確認した（図2）。

#### 3.2 複数コアシステムの利用

複数コアシステムの利用による性能向上について検討するため、各コアシステムの開発状況を調査した。我が国のQZSSについては、7機体制が整備された場合の測位性能の予測を行った（図3）。

観測データの増加のためには、地上監視局の増設が考えられるが、整備中の次期MSASにおいては13局の地上監視局が設置される予定であり、さらなる追加による効果は見込めない。このため、さらに観測データを増加させるためには、複数コアシステムに対応した監視局受信機を使用する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、磁気低緯度地域における広域補強サービスの性能向上を目的とした研究を行った。このためには適切な電離圏伝搬遅延推定・補強方式が必要であり、電離圏嵐モニタを使用して推定に使用する観測データの調整を行う方式を開発した。性能評価の結果、アベイラビリティを改善する顕著な効果があることを確認した。また、複数コアシステムの利用について検討し、準天頂衛星システムを7機体制とした場合の性能評価を行った。アジア地域においては準天頂衛星システムの各衛星の仰角が高く、ユーザ受信機における衛星数の増加に大きく寄与できる。

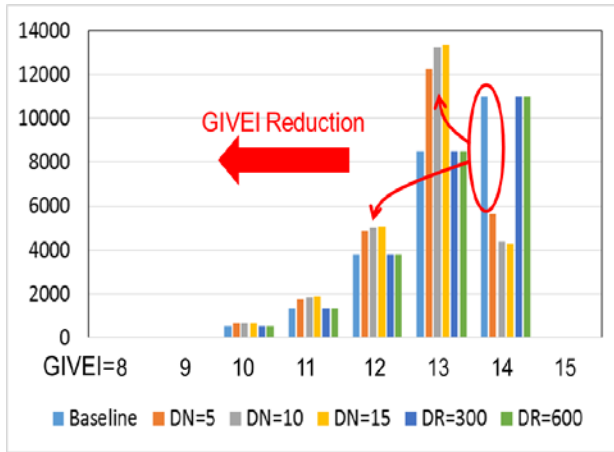
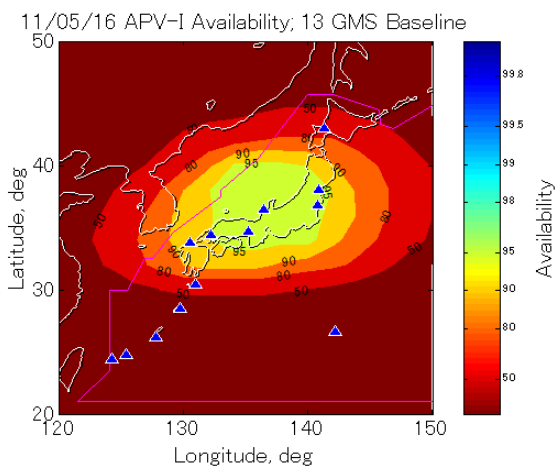
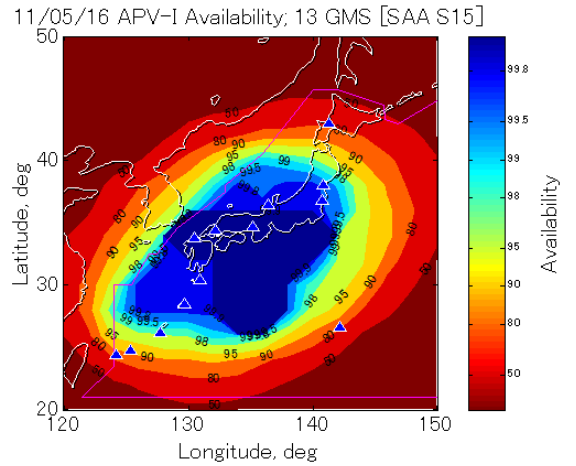


図1 提案アルゴリズムの性能評価例：現行方式（青棒）に比べて改良方式ではGIVEIが低下している



(a) 現行方式



(b) 提案方式

図2 提案アルゴリズムによるMSASアベイラビリティの評価例：現行方式では本州中央部で95%程度だが、提案方式では99.9%以上に改善されている

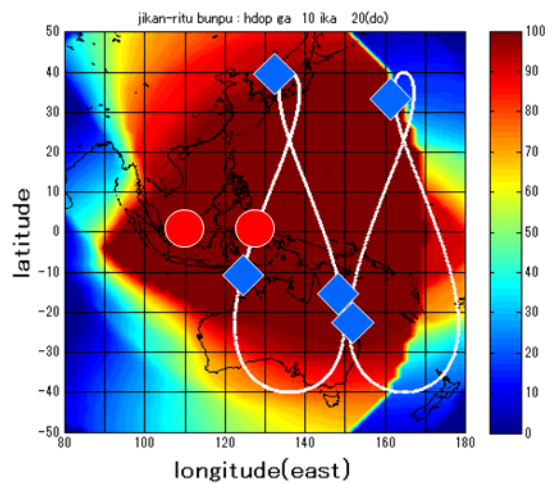
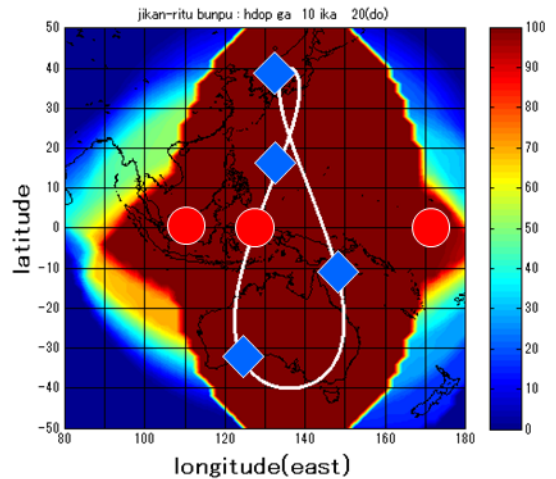


図3 準天頂衛星システム（QZSS）の測位精度評価例：静止衛星や8の字軌道の数を変えてHDOPを評価した結果

掲載文献

- (1) Takeyasu Sakai, Satoshi Kogure, Ken Ito. "Generation of the QZSS L1-SAIF Message from the MADOCA Realtime Products," ION Pacific PNT Conference, April 2015.
- (2) 麻生貴広, 坂井丈泰, 北村光教. "日本におけるインド SBAS の性能評価," 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2015年7月.
- (3) 麻生貴広. "インド SBAS (GAGAN) の受信状況及び性能について," 航空保安システム技術委員会航法小委員会, 東京都, 平成27年8月.
- (4) 伊藤憲, 坂井丈泰. "オーストラリアにおけるQZSSを用いたGNSS補強サービス," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 仙台市, 2015年9月.
- (5) 伊藤憲, 坂井丈泰. "QZSSによるGNSS補強サービスのオーストラリアでの利用," 宇宙科学技術連合講演会, 鹿児島市, 2015年10月.
- (6) 坂井丈泰, 北村光教, 伊藤憲. "L1-SAIF信号における電離圏補強情報の調整," 宇宙科学技術連合講演会, 鹿児島市, 2015年10月.
- (7) Takeyasu Sakai, Takahiro Aso, Mitsunori Kitamura, Kazuaki Hoshinoo, Ken Ito. "Expanding the Coverage of Local Area Differential Correction," ION ITM, Jan. 2016.
- (8) 伊藤憲, 坂井丈泰. "7機体制QZSSの測位性能に関する基礎検討," 宇宙科学技術連合講演会, 函館市, 平成28年9月.
- (9) Takeyasu Sakai. "Test of QZSS L1-SAIF Based on the MADOCA Real-Time Products," MGA/8, Nov. 2016.
- (10) Takeyasu Sakai, Mitsunori Kitamura, Takahiro Aso, Kazuaki Hoshinoo. "SBAS Ionospheric Correction with Minimalization of the Ionospheric Threat," ION ITM 2017, Jan. 2017.
- (11) 伊藤憲, 坂井丈泰. "7機体制QZSSの衛星配置についての初期検討," 電子情報通信学会総合大会, 名古屋市, 平成29年3月.
- (12) 伊藤憲, 坂井丈泰. "7機体制QZSSの測位精度性能に関する基礎検討(その2)," 宇宙科学技術連合講演会, 2017年10月.
- (13) Takeyasu Sakai, Mitsunori Kitamura, Takahiro Aso, Kazuaki Hoshinoo. "Avoiding Improper

Modeling in SBAS Ionospheric Correction with Shrunk Observations," ION ITM 2018, Feb. 2018.

- (14) 伊藤憲, 坂井丈泰. "7機体制QZSSの衛星配置についての初期検討(その2)," 電子情報通信学会総合大会, 2018年3月.



## GNSS 障害時の代替(APNT)に関する研究【基盤的研究】

担 当 部 航法システム領域  
担 当 者 ○毛塚 敦, 齊藤 真二, 福島 荘之介, 吉原 貴之, 齋藤 享  
研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

航空航法では GNSS の利用が広がっており、GNSS の装備が必須となる RNAV 経路が急速に普及している。また、その認証を持つ機体数も増加し、実際の運航においても使用実績が増えている。一方で、GNSS 信号は高度約 2 万 km の衛星から到来するため、微弱であり、脆弱性を有する。これまで、衛星故障、航法メッセージ異常、干渉、ジャミングなどによる障害が多数報告されている。そこで、GNSS が使用不可能になった場合においても航空機の安全と航空交通容量を維持できるよう、代替測位(APNT: Alternate Positioning, Navigation, and Timing)を構築する必要があり、ICAO NSP(航法システムパネル)での検討課題となっている。

### 2. 研究の概要

現在、我が国において GNSS を使用するにあたっては、疑義が生じた場合に DME 等 GNSS に依存しない航法(従来航法)や慣性航法装置又は精密ドプラーレーダー装置を使用した航法に移行できる場合に限り認められている。すなわち、現状の GNSS のバックアップには DME 等が用いられることになる。DME は RNP0.3 に適用する精度を有していないが、長い年月の運用により開発当初の仕様に比べて高性能化されていることが知られている。そこで我々は、まずは短期的な APNT 構築のために既存の DME に着目し、国内に設置されている DME の実力性能を把握することにより、GNSS 障害時の現時点での RNAV 航法への適用性能を明らかにする。また、長期的な APNT 方式の候補の一つとして、既存の DME を拡張(性能改善)した拡張 DME 方式が各国で着目されている。そこで、既存の DME の性能調査データを活用し、拡張 DME が RNP0.3 および 0.1 に対応するために必要な開発要件を明らかにするとともに、拡張 DME 方式開発に向けた要素技術を提案する。本研究は 4 年計画であり、本年は 3 年目となる。

### 3. 国際動向

欧州では、これまで DLR(ドイツ航空宇宙センター)により LDACS(L 帯デジタル航空通信システム)に測位機能を付加した LDACS-NAV を APNT とする検討が行われてきたが、短期的な視点での APNT 構築のため、EUROCAE

で Working Group - 107 が平成 29 年 11 月に発足された。本 WG の目的は、GNSS 障害時に DME によって RNP1,2 運航を継続できるようにするため、MOPS(ED57)を改訂すること、および新たな MASPS を作成することである。さらに、長期的 APNT 構築に向けた DME 航法改良のためのガイダンス提供を視野に入れている。本研究では WG-107 に参加し、協調しながら研究を進めている。

### 4. 研究成果

DME の現状性能調査にあたっては、国土交通省航空局が実施する飛行検査のデータを活用してきた。ボンバルディア DHC-8-300 およびセスナ CJ4 で取得したデータの中から、平成 29 年度は高知局、玖珂局、新島局、美保局、雄山局、仙台局、石垣局、熊本局、松本局、能登局、庄内局、笠利局、帯広局(計 13 局)の DME 検査データを解析した。今後、日本国内において RNP1,2 に DME を適用する場合には、諸外国と比較してマルチパス誤差による性能劣化が考えられる。そこで、特にマルチパス誤差について焦点を当て解析を行った。一例として図 1 に雄山局のラジアル飛行検査データを示す。青線は飛行検査データであり、DME 雄山局から 15~18NM の距離において変動する誤差が観測される。なお、この誤差は複数回の検査データにおいて観測されている。この誤差の発生原因を特定するため、図 2 に示す位置にマルチパス源が存在するとした場合の DME の誤差をシミュレーションした結果を図 1 赤線で示している。これより、シミュレーション結果が飛行検

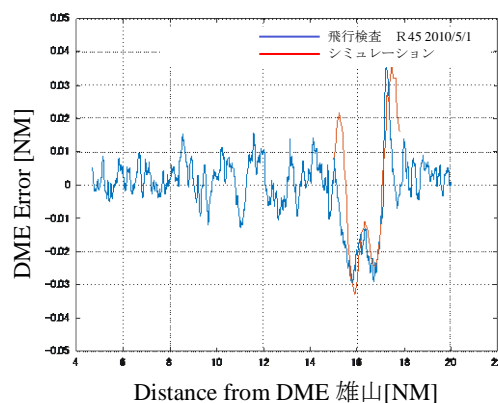


図 1 DME 雄山局 DME 誤差データ



図2 DME雄山局

査データとよく一致していることから、15～18NMにおいて変動する誤差はマルチパス誤差であると考えられる。本年において解析した13局の飛行検査データにおいて、測距誤差は最大で0.05NM程度であり、仕様値(0.2NM)に比べて高性能であることが分かった。

## 5. まとめ

平成29年度は、短期的APNTとして既存のDMEをRNP運航へ適用するための国際標準化がEUROCAEで始まった。そのような状況を鑑み、日本国内で特に問題となるマルチパスに焦点を当てて解析を行った。平成30年度は解析データをまとめ、国内においての既存のDMEの性能を明らかにするとともに、拡張DMEの開発に向けた方式提案を行う予定である。

## 掲載文献

- [1] 毛塚 他. “飛行検査データを活用したDMEの誤差解析,” 平成29年度電子航法研究所発表会, 15, 2017年6月.
- [2] 毛塚. “飛行検査データを活用したDMEの誤差解析,” 航空無線.2017年, 第93号(秋期), pp.15-19.
- [3] 毛塚 他. “DMEの誤差解析における飛行検査データの活用,” 平成29年度航法小委員会, 2017年8月.
- [4] 毛塚. “DMEの誤差解析における飛行検査データの活用,” 航空振興. 2017年, No.51(2), pp.4-9.
- [5] 毛塚. “Raytracing analysis of DME ranging error variation due to atmospheric change,” Proceedings of ISAP2017, Phuket, Thailand.
- [6] メイイ シャー他. “Analysis of DME Ranging Error due to Multipath using Flight Inspection Data,” Proceedings of ICSANE2017, Sarawak, Malaysia, Nov. 2017.



## GNSS監視に関する研究【基盤的研究】

担当領域 航法システム領域  
担当者 ○麻生 貴広, 坂井 丈泰, 齊藤 真二, 毛塚 敦, 北村 光教  
研究期間 平成28年度～平成29年度

### 1. はじめに

GPSを用いた衛星航法システムは、地上無線航法に代わる新たな航法システムとして利用が増加しているものの、必ずしもサービスプロバイダによるGPSの監視が実施されているわけではない。一方、飛行中におけるGPS受信障害（GPSアウトエージ）が世界中で多く報告されている。このような背景を受け、ICAOはサービスプロバイダに対して、GNSSを用いた航法サービスの性能監視及びGNSSの欠点でもある電波干渉に対する脆弱性への対策を求めている。そのため、我が国においても早急なGNSS監視の構築が必要となっている。

### 2. 研究の概要

安全なGNSS運航を提供するため、我が国におけるGNSS監視システム及び運用コンセプトの提案を行う。本研究では以下について順に検討を実施する。

まず、国外におけるGNSS監視の現状及び国内におけるGNSS運航における問題点を明らかにする。次に、これらの状況を踏まえ、我が国に適したGNSS監視のシステム要件を明らかにする。最後に、試作機の製作及び評価を通して我が国のGNSS監視の運用コンセプトを確立する。

### 3. 実施内容と成果

#### 3.1 国外における現状及び我が国における問題点

米国においては、GPSアウトエージを引き起こす電波干渉の干渉源を特定するため、特別な装置が用意されている。運航者からの通報があれば、飛行検査機を用いて上空から干渉源の範囲を絞り、その後車両及びポータブル測定装置で干渉源を特定するという手法が用いられている。欧州においては、広域に渡る地上監視ネットワークを構築したうえで、常時GNSSの信号を監視するとともに、航法性能を劣化させる要因となる宇宙天気についても監視している。

このように、米国における装置では電波干渉の発生源特定が行えるが、リアルタイムにおける性能劣化の影響把握は難しく、欧州における装置では電波干渉の

特定には至らないものの、広域に渡るリアルタイムのGNSS監視が可能という特徴がある。我が国においてもGPSアウトエージに至る事象は報告されているが、電波干渉などGPSアウトエージ発生時にしか判明できない環境の変化などもあり、事後での原因特定は困難な状況にある。

このような国外の状況や我が国における運航者の要望を踏まえ、我が国におけるGNSS監視においては、次の方針を提案する。

- ① GNSS自体の健全性及びGNSSを用いた測位性能は、PBN運航を支えるための主軸であることから、リアルタイムに性能監視を行う。
- ② 実際に航空機から放送される性能情報をリアルタイムに監視すると共に、GPSアウトエージの機体を識別し原因をリアルタイムに判別する。

#### 3.2 GNSS監視装置のシステム要件

上記の方針に従い、GNSS監視の機能要件を以下の3つに大別した。

- 1) GNSSコア衛星の信号品質や宇宙天気の監視
- 2) GNSS補強システムの性能監視
- 3) 機上航法性能及びGPSアウトエージの監視

磁気低緯度に位置する我が国においては、GNSSの信号品質や信号品質の劣化を引き起こす宇宙天気の監視は必要と考える。また、本邦航空機においても、GPSアウトエージが増加していることから、機上データを地上で監視することは有益と考える。

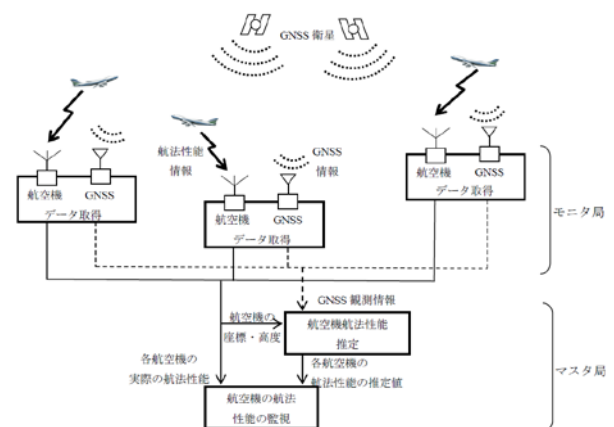


図1：GNSS監視システム構成案

本機能を実現するための監視システム構成案を図1に示す。空港周辺等にGNSS受信機を設置し、GNSSコア衛星の信号品質や補強システムの性能を監視する。また、機上における航法性能を監視するために、航空機からのADS-B信号を取得する。ADS-Bには、航空機の位置や高度の他にNUC/NIC/NACと呼ばれる実際の航法性能値が含まれている。

仮に、機上の航法性能値の劣化が認められた場合は、周辺航空機のADS-B情報と比較することで、電波干渉の有無及び干渉エリア等の推定を行うことができる。

### 3.3 GNSS監視装置の評価及び運用コンセプト

GNSS監視装置の試作機を用いて、ADS-Bからの航法性能値を取得し評価を行った中で、機上のGPSアウトエージを検出したものが図2の航空機-Bで示した赤枠である。図2は同時刻に空港へ降下中の2つの機体A, Bについて航法性能を示したものである。航空機-Aは正常値を推移していたことから空港周辺に電波干渉があったとは考えにくく、航空機-B自体の不具合の可能性が高いと推測できる。これら試作機の評価結果を踏まえ、我が国の運用コンセプトを次のように提案する。

パイロット・レポートのみに頼らず、サービスプロバイダ自ら航空機の航法性能を監視し、航法性能劣化が認められた際は、その原因を自動で識別し、プロバイダ関係者及び運航者への情報提供を図る。

- ・電波干渉等の電波環境と認められる場合は、状況が長期化する可能性が高いことから、運航者・管制官に情報提供を行うことで、運航・運用方針検討の材料として用いられる。なお、電波干渉の場合は干渉源のエリアを推定し管轄省庁である総務省に報告する。

- ・機体搭載機器の故障と認められる場合は、当該運航者へ情報を提供することで、運航者が整備計画を検討する情報として用いられる。

- ・GNSSコア衛星の不具合と認められる場合は、NOTAM等で運航者に周知することで、運航・運用方針検討の材料として用いられる。

## 4. おわりに

本研究では、国外での実態調査や我が国における問題点を整理し、我が国に適したGNSS監視システムを提案するとともに、試作機による性能評価を経て、運航者・管制官に対する適切な情報提供を運用コンセプトとして提案した。

本システムの特徴は、機体からのADS-B情報を用い

ることで、地上にしながら航空機のGPSアウトエージを監視できることと、アウトエージに至った原因を推定できることにある。これにより、実際にGNSS運航に影響ある機体・エリアを特定でき、運航者及び管制官に対し、その後の運航のための有益な情報を提供できると考える。これらは、GNSSを必須とするような飛行フェーズにおいて、高い監視能力を確保できるだけでなく、GNSSに対する電波干渉を早期発見し干渉源を排除することにも役立てることができることから、プロバイダとして最適な監視システムと言える。

本研究の成果の一部は、現在航空局が整備を進めているGNSS性能予測・監視装置に導入される予定である。機上の情報を取得するメリットは、GNSSが適切に提供できているかを、実際の航空機の立場で確認できることにある。電子航法研究所が提案するGNSS監視が、安全で安定したPBN運航に供することを期待するものである。

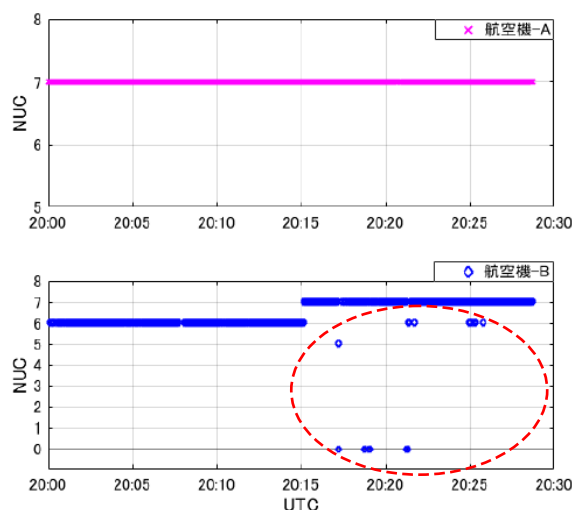


図2：2機の航法性能値とGPSアウトエージ検出

### 掲載文献

- (1) 麻生貴広, 坂井丈泰, 齊藤真二, 毛塚敦, 北村光教. “航空機の航法における GNSS モニタリングの取組み,” GPS/GNSS シンポジウム, 平成 28 年 10 月.
- (2) Takahiro ASO, Mitsunori KITAMURA, Takeyasu SAKAI, Atsushi KEZUKA. “Assessment of the Ground Monitoring for Onboard ABAS Performance,” KGS, Nov. 2016.
- (3) 麻生貴広, 北村光教, 毛塚敦, 齊藤真二, 坂井丈泰. “地上における航空機の航法性能監視,” 第 55 回飛行機シンポジウム, 平成 29 年 11 月.

## 電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーへの挑戦 【競争的資金研究】

担当領域 航法システム領域  
担当者 ○齋藤 享  
研究期間 平成26年度～平成29年度（当初予定より1年延長）

### 1. はじめに

本研究は、京都大学生存圏研究所山本衛教授が代表者の科学研究費補助金挑戦的萌芽研究に、研究分担者として参画して行うものである。

電離圏は人工衛星が飛ぶ領域であり、衛星通信にとっては電波の通過域である。高度化した衛星システムの維持管理にとって電離圏の状態計測は非常に重要であり、「宇宙天気予報」が必要とされている。特にGPS測位を利用した次世代の航空管制システムにおいては、電離圏の急激な変動による測位精度の低下が致命的な問題となりうるため、その検知が必要不可欠である。電離圏の3次元密度変動をリアルタイムで検知することにより、衛星航法の誤差の低減や信頼性の向上が期待できる。

電離圏の3次元構造を観測するために、これまでに2つのアプローチを行ってきた。1つは低軌道衛星を用いたトモグラフィーであり、科研費「衛星ビーコン観測とGPS-TECによる電離圏3次元トモグラフィーの研究開発」として平成24年度まで電子航法研究所（以下、当所とする）も参加して研究を行った。もう1つはGEONETの高密度GPS受信機網から得られる全電子数(GPS-TEC)を用いた3次元トモグラフィーであり、拘束付き最小二乗法を改良した手法を開発し、より安定的なトモグラフィー解を得られるように改良を行っている。また、科研費「ロケット・地上連携観測による中緯度電離圏波動の生成機構の解明」で、電離圏変動の2次元リアルタイムモニタを開発してきている。

### 2. 研究の概要

本研究では、GEONETから得られるGPS-TECに基づく3次元トモグラフィー解析を実用化する。過去の全データに基づく電離圏3次元構造のデータベースを構築し、さらにリアルタイムモニタリングを実現する。そのために、具体的に以下の3つの課題について取り組む。

- (1) 3次元トモグラフィー解析法として、これまでに開発してきた拘束付き最小二乗法の改良と計算の効率化
- (2) 過去10年以上のGPS-TECデータを用いたトモグラフィー解析による3次元電離圏構造のデータベース化
- (3) トモグラフィー解析をGEONETリアルタイムデータ取得システムと組み合わせた、時間遅れ15分程度の電離圏3次元リアルタイムモニタリングシステムの開発

当所では主に課題3を、また課題2も一部担当する。

### 3. 研究成果

平成27年度までに、電離圏リアルタイムトモグラフィーシステムを実装し、運用を開始した [1-3]。平成28年度にはシステムの速度と安定性について改良を進め、15分ごとに時間遅れ約6分で、日本上空の電離圏電子密度の3次元分布が導出可能となった(図1) [9]。

平成29年度は、平成27年度に実装したリアルタイム解析システムの運用を継続し、システムの改良を行うとともに、電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーの解析結果の検証、衛星航法への応用、及び過去データの大量解析を実施した。

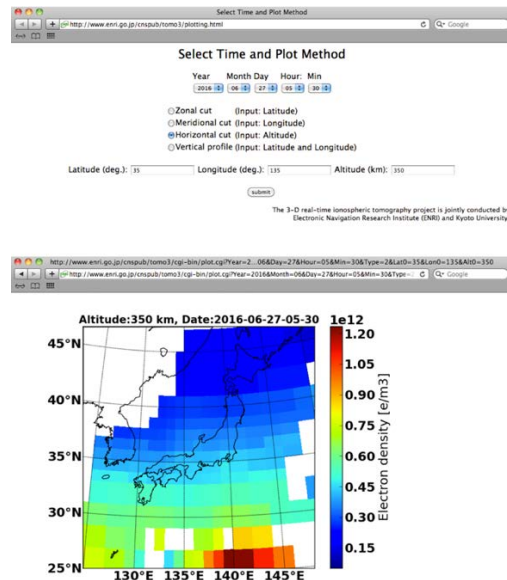


図1. 電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーのWeb (<http://www.enri.go.jp/cnspub/susaito/tomo3/plottng.html>) インターフェイス及び表示例。

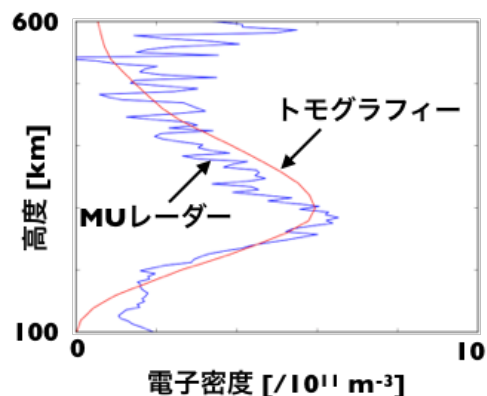


図2. 電離圏3次元トモグラフィーとMUレーダーによって導出された電離圏電子密度分布 [7]。

図2は、京都大学信楽 MU レーダーの非干渉散乱観測によって得られた電子密度の高度分布と、電離圏3次元トモグラフィーによって得られた MU レーダー上空の電子密度の高度分布を比較したものである [7]。ピーク高度だけでなく、高度分布の形状もよく一致しており、電離圏3次元トモグラフィーの結果が妥当であることがわかる。

さらに、電離圏3次元トモグラフィーの結果から、任意の地点における衛星の電離圏遅延量を推定し、衛星測位の補強に用いる方法について性能評価を行った [7]。現在の電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーの解析所要時間(約6分)と解析間隔(15分)を考慮し、最大21分前の電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーの結果を用いて電離圏遅延による誤差を推定し補強することとした。トモグラフィー解析に用いない IGS MTKA 観測点(東京都調布市)の地磁気擾乱時(2016年10月16日、最大 Kp 指数 6+)のデータに対して電離圏トモグラフィー補正を用いた1周波単独測位の測位誤差を導出し、同じデータに対して2周波補正単独測位を行った場合の測位誤差と比較した(図3)。その結果、電離圏トモグラフィー補正を用いた1周波単独測位では、垂直方向の平均誤差はほぼ消失(0.05 m)し、誤差の標準偏差は1.8 m となった。垂直誤差の標準偏差は1周波無補正単独測位のもの(2.1 m)と同等であり、2周波補正単独測位のもの(3.2 m)よりも優れていた。これは、電離圏トモグラフィー補正を用いた1周波単独測位では、2周波補正に伴う雑音の増加が避けられるためであると考えられる。

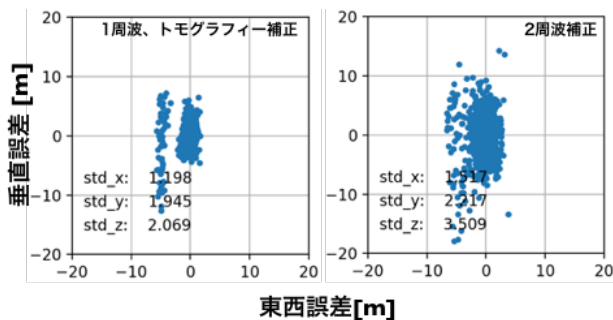


図3. IGS MTKA 観測点(調布市)における地磁気擾乱時(2016年10月16日、最大 Kp 指数 6+)における測位誤差。左:電離圏トモグラフィー補正を用いた1周波単独測位, 右:2周波補正単独測位 [8]。

京都大学では、大型計算機における解析速度の高速化に成功し、大量データの解析を進めている。これらのデータを用いた、電離圏3次元電子密度分布のデータベース化を進めるとともに、電離圏3次元トモグラフィーの性能の評価を季節、太陽活動等の条件の違いに着目して進めているところである。

#### 4. 考察等

本研究は平成 29 年度をもって終了するが、電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーの解析と結果のリアルタイム公開を継続するとともに、得られた結果を随時データベース化していく予定である。また、京都大学においては過去データの大量解析を継続し、結果の検証とデータベース化を進めていく予定である。

応用面としては、測位補強システムとしての利用方法を検討するとともに、情報通信研究機構が進めている短波電波予測システムと結合したリアルタイム短波伝播予測システムの構築を進める予定である。

電離圏トモグラフィーにおいては、異なる視線からのデータを多く使用することが重要であるため、使用する地上データの範囲を広げ、韓国、台湾のデータを利用することを検討中である。さらに、低軌道衛星による掩蔽観測データを用いた水平方向の観測データを加えることも計画している。

#### 掲載文献

- [1] 鈴木他. “GPS-TEC 3 次元トモグラフィーのリアルタイム化,” 大気圏シンポジウム, 宇宙科学研究所, 2014 年 12 月.
- [2] S. Suzuki, et al. “Development of real-time GPS-TEC monitoring system incorporating ionospheric 3D tomography over Japan,” International Reference Ionosphere 2015 Workshop, Bangkok, November 2015.
- [3] S. Saito, et al. “Real-time ionospheric monitoring by three-dimensional tomography over Japan,” Proc. ION GNSS+2016, 2016 年 9 月.
- [4] 齋藤他. “電離圏リアルタイムトモグラフィーとその応用,” 地球電磁気・地球惑星圏学会, 九州大学, 2016 年 11 月.
- [5] 齋藤他. “Real-time ionospheric 3-D tomography and its applications,” PSTEP 研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」, 名古屋大学, 2017 年 1 月.
- [6] S. Saito, et al. “Application of real-time ionospheric tomography for GNSS correction,” 2nd GEOLab-RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, 京都大学, 2017 年 3 月.
- [7] S. Saito, et al. “Realtime three-dimensional ionospheric tomography and validation by MU radar,” 15th International Workshop on Scientific and Technical Aspects of MST Radar, 国立極地研究所, 2017 年 5 月.
- [8] S. Saito, et al. “Ionosphere Monitoring and GNSS Correction by a Real-time Ionospheric Tomography System in Japan,” Proc. ION GNSS+ 2017, 2017 年 9 月.
- [9] S. Saito, et al. “Real-time ionospheric monitoring by three-dimensional tomography over Japan,” NAVIGATION, 64, 495–504, 2017.



担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享
研究期間	平成 27 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

本研究は、京大生存圏研究所山本衛教授が代表者の科学研究費補助金基盤 A 研究に、研究分担者として参加して行うものである。

これまでに赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)を中心として 2001 年以来低緯度電離圏の研究が継続的に行われてきている。EAR を用いた観測研究では、プラズマバブルに対応する赤道スプレッド F 現象(Equatorial Spread-F; ESF)の空間・時間変動を明らかにするとともに、数 100km 間隔で東西に並ぶ性質があることが示されている。

一方で、デジタル受信機技術を活用した衛星ビーコン受信機網の観測により、ESF に関連した電離圏の東西・南北構造、赤道異常の発達特性が明らかになってきている。(関連研究「衛星ビーコン観測と GPS-TEC による電離圏 3 次元トモグラフィの研究開発」) 今後 1~2 年の間に米国により複数のビーコン衛星が打ち上げられる予定であり、デジタルビーコン受信機網による高頻度観測が可能になる見込みである。

また、情報通信研究機構等を中心に開発されてきた全球大気モデルである GAIA シミュレーションモデルにより、観測とシミュレーションの比較研究による電離圏変動の発生機構の検討が可能になってきている。

### 2. 研究の概要

本研究はこれまでの実績に立脚した上で、EAR による長期間の多ビーム観測と、今後数年間に集中的に打ち上げられる新しい衛星を用いた衛星=地上ビーコン観測を組み合わせ、低緯度電離圏の変動の時間・空間構造を明らかにすることを目的とする。この目的を達成するために、本研究では以下の 4 項目に関する研究を実施する。

(1) 今後 2 年以内に、合計 11 機のビーコン衛星の打ち上げが計画されており、これまでよく用いられてきた 150, 400MHz の他に 965, 1067, 2340MHz が用いられる予定であり、これらに対応したアンテナ、デジタル受信機を開発する。

(2) ビーコン衛星と EAR を用いて東西方向空間スケール数百 m~数千 km の電離圏構造の特性を解明する。

(3) EAR の長期データを用いて太陽活動度変動に対す

る電離圏構造の変動解析を行う。

(4) 観測データに基づき ESF に関連する電離圏構造の特性を明らかにし、GAIA シミュレーションモデルとの比較研究により、ESF の発生機構の検討を行う。

電子航法研究所では(2), (3)を担当する。

### 3. 研究成果

赤道大気レーダー周辺及びタイ・バンコクにおける電離圏勾配観測を継続的に実施した。赤道大気レーダー及びバンコクにおいては、複数周波数・複数衛星系(MC/MF)に対応したシンチレーション受信機による観測を新たに開始した。

バンコクにおける電離圏勾配の特性については、モンクット王工科大学ラカバン(KMITL)と協力して解析を進め、静穏時の勾配特性、プラズマバブルの発生の空間間隔特性について、それぞれ論文誌に成果を投稿中である。

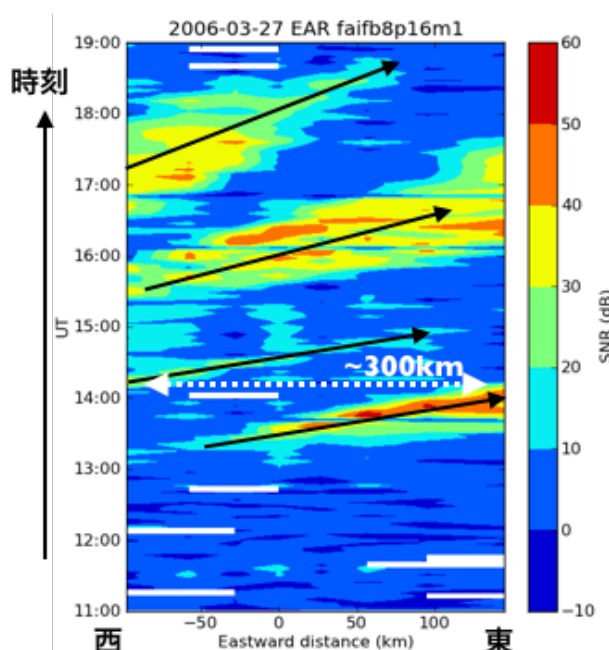


図 1. 赤道大気レーダーによるプラズマバブル発生間隔と東西方向移動の観測例 [1]。

電離圏東西大規模構造がプラズマバブル発生に果たす役割については、米国 SRI International の Roland Tsunoda 博士と協力し、東西大規模構造(数 100km)の発達がプ

ラズマバブルの発生に重要な役割を果たし、この大規模構造を元にプラズマバブルが発生することを明らかにした [1]。図 1 は、赤道大気レーダーが観測した、300 km 程度の間隔で連続して発生したプラズマバブルの様子を示している。

新ビーコン衛星の新周波数に対応した 4 周波受信アンテナ及び受信機（ソフトウェア受信機）の開発については、東京工業大学、京都大学を中心に安定動作のための開発を継続している。ビーコン受信機についてはデジタル受信機と、実際に衛星に搭載されるものと同型のビーコン送信機との接続試験を行うなど、着実に開発が進められている。米国によるビーコン衛星の打ち上げはロケットの問題により遅れているが、平成 30 年後半に実施されることが予定されている。

#### 4. 考察等

平成 30 年度は、赤道大気レーダー周辺及びタイ・バンコクにおける電離圏勾配観測と解析をさらに進めるとともに、MC/MF 対応受信機によるシンチレーション観測を進め、プラズマバブルの東西構造と MC/MF 衛星航法への影響評価を進める。

新ビーコン衛星による電離圏東西構造の観測については、東京工業大学、京都大学を中心として新ビーコン衛星の新周波数に対応した 4 周波受信アンテナ及び受信機を完成させ、東南アジア地域に設置し、平成 30 年後半に予定されている米国のビーコン衛星打ち上げを待つて観測を行う予定である。

#### 掲載文献

[1] R. Tsunoda, S. Saito, T. T. Nguyen. “Post-sunset rise of equatorial F layer -- or upwelling growth?,” Progress in Earth and Planetary Science, in press.



## 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発 【競争的資金研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享
研究期間	平成 27 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

本研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所草野完也教授が領域代表の科学研究費補助金新学術領域研究の一部として、情報通信研究機構石井守室長が代表者の計画研究(A01)に、研究分担者として参画して行うものである。

太陽活動を主な源とする「宇宙天気」は通信・放送・測位等の使用や人工衛星の運用に対する影響、電力網への被害、航空機乗務員や宇宙飛行士への宇宙線被曝など、我々の生活に深く関わっている。近年、ICAO で宇宙天気情報の利用に向けた運用コンセプトと宇宙天気情報の提供に関わる国際標準案が検討されるなど、宇宙天気情報の現業利用に向けた国際的な活動が活発化しており、そのニーズは確実に増大している。一方で、我が国の宇宙天気の議論は学術的議論が主であり社会ニーズに必ずしも応えられていない。

名古屋大学(名大)・草野教授を領域代表とした科学研究費補助金新学術領域研究「太陽地球圏環境予測」においては、我々が生きる宇宙環境を正確に理解すると共に、その変動に社会が正しく対応するための信頼性の高い予測技術を獲得することを目的としており、本研究はその計画研究の一つとして社会とのインターフェースに重点をおいた研究を担当する。

電子航法研究所(以下、当所とする)では、宇宙天気情報の利用を衛星航法ベースの航法システムのアベイラビリティ向上のための有用な手段として捉えており、重点研究「次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究」において、宇宙天気情報の利用をサブテーマの一つとして実施している。

### 2. 研究の概要

本研究では、社会が必要とする宇宙天気情報と宇宙科学が提供できる情報のギャップを克服し、社会的ニーズを宇宙天気研究にフィードバックするとともに、社会に「役に立つ」宇宙天気情報を適切に提供するための双方向システム開発を行うことを目的とする。具体的には

- (1) 短波～マイクロ波に至る電波伝搬
- (2) 衛星帯電
- (3) 人体被曝

### (4) 地磁気誘導電流

に対する影響を評価するとともに予測ツールを開発する。さらに以下の項目を実施する。

(5) 宇宙天気現象から各利用までのいくつかのフェーズに分かれて存在するモデルの結合

### (6) 宇宙天気ハザードマップの作成

当所では、上記目的(1)をサブグループリーダーとして主に担当する他、(2)～(6)について特に航空航法、通信等に関連する事項について助言を行う。

(1)については、観測に基づく電波伝搬の現況のユーザーフレンドリーな可視化を行うとともに、電離圏擾乱による長波・短波・マイクロ波を中心とした電波障害の予測推定のための電波伝搬シミュレータを開発する。観測に基づき、電波伝搬シミュレータの実際の利用方法に即した検証を行う。特に、航空航法で用いられ、宇宙天気現象の影響を大きく受ける短波及び衛星航法に着目することとする。

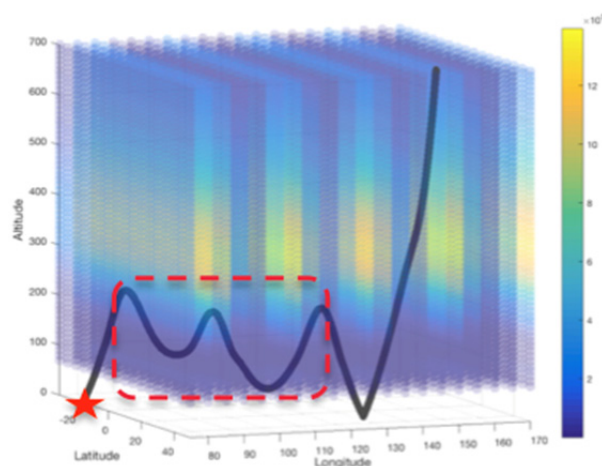


図 1. 3 次元電離圏擾乱中の短波伝播シミュレーション [1]

### 3. 研究成果

平成 29 年度は、情報通信研究機構(NICT) Hozumi 氏を中心に電波伝播シミュレータ開発を行い、当所では研究の方向性、結果の解釈などの指導を主として貢献した。

本年度の開発により、レイトレーシングを用いた3次元短波伝播解析が可能となり、複雑な3次元構造を持つ電離圏中の短波伝播シミュレーションを実現した [1]。さらに、シミュレーション結果を検証するため、過去に当所が実施した短波伝播距離測定実験を元に、複数地点間の短波到達時間差を測定しシミュレーション結果と比較する実験を計画し、実験装置の開発を開始した。

また、衛星航法に関しては、シンチレーションモデルについて仏・CNES と協力を開始し、プラズマバブルの詳細数値シミュレーション(NICT)に CNES の電波伝播モデルを結合していくこととした。本研究は、NICT-CNES の共同研究として進められる予定であり、当所は本科研究費及び NICT、名大、京大(京都大学)との共同研究を通して関与する。

宇宙天気情報と社会ニーズとの関係においては、ICAO における宇宙天気情報提供の国際標準策定とその利用促進に注力している。NICT では ICAO 気象パネル(METP)の議論に継続的に参加しており [2]、当所ではユーザーとしての立場から航法システムパネル(NSP)において利用方法の議論を主導している。これらの情報を国内で広く共有するため、ICAO 宇宙天気勉強会の開催、学生、若手研究者への宇宙天気の物理と応用の理解促進のためのサマースクールにおける講義 [3]などを行っている。

#### 4. 考察等

平成 30 年度は、電波伝搬シミュレータの開発を継続するとともに、障害発生が予測される領域の可視化を行う。観測データとの比較による検証を進め、電離圏電波伝搬シミュレータを成熟させる。

シンチレーション予測、GNSS への影響評価手法の開発については、NICT-CNES の研究協力を中心として進める。

本研究の重要な要素である「役に立つ」宇宙天気情報提供については、航空 CNS システムに対する宇宙天気現象の影響について、宇宙天気情報提供の国際標準化を踏まえ、宇宙天気情報提供者とユーザーの両面から検討を進め、必要な情報の内容について、ICAO METP、NSP などの議論を主導していく予定である。これについては、当所の重点研究である「次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究」とも連携して進めていく。

#### 掲載文献

[1] K. Hozumi, et al. "HF-START: Application in aid of radio

communications / navigation," EIWAC2017, 2017 年 11 月.

[2] M. Ishii, et al. "Discussion of Space Weather in ICAO and Related Research Activity in Japan EIWAC2017," 2017 年 11 月.

[3] 齋藤. "PSTEP サマースクール陸別 2017-航空航法システム,"PSTEP サマースクール陸別 2017, 2017 年 8 月.

担当領域 航法システム領域  
 担当者 ○中村 真帆  
 研究期間 平成26年度～平成29年度(当初予定より1年延長)

### 1. はじめに

本研究は平成26年度に東京学芸大学 鴨川研究室在籍時に鴨川仁准教授から指導を受け、中村が代表者として獲得した科学研究費補助金挑戦的萌芽研究として行うものである。その後平成27, 28年度には電気通信大学 稲葉研究室に在籍しこれを継続、平成29年度より電子航法研究所にて研究を1年延長し継続した。

2011年東北地方太平洋沖地震の津波発生約 9 分後に電離圏F領域(高度250-300 km)電子数の減少(津波電離圏ホール)が発見された。大津波が発生した時に励起された音波・大気重力波により電離圏が擾乱されていると考えられている[1]。この現象の検知により津波即時予測が可能になると期待される。電子数の測定は、GPSを含む測位衛星と受信点間の全電子数(Total electron content: TEC)から知ることができる。電子の減少量は発生した津波の規模に関連しているとみられ、実用的な技術に結びつけるためには、津波電離圏ホール起因の電子数変動を正確に検知する必要がある。電子数の減少量を求めるためには、津波電離圏ホールが発生しない場合の参照値が不可欠だが、電子密度は太陽活動とともに日々ダイナミックに変動しており、局所的参照値の推定は難しいという課題があった。

### 2. 研究の概要

電離圏電子密度は太陽活動起因による局所的な変動があり、磁気擾乱や中性大気の変動に起因して変化する。津波起因の擾乱は、他の電離圏擾乱に比較して振幅や時間スケールが小さく、2011年東北地方太平洋沖地震発生後に発生した電離圏擾乱変動は1~2TECと小さいものであった。

日々、季節、太陽活動度等極端紫外線強度に伴う周期変動や宇宙環境起因の擾乱についてはある程度その物理過程が明らかになっている。これを物理シミュレーション等で予測するには膨大な観測データなどが必要となるが、変動要因をうまく入力に取り入れたニューラルネットワーク(NN)などでモデル化できれば、津波起因の電離圏擾乱を分離する事が可能となる。宇宙環境起因の変動を入力とする正確な電離圏変動予測モデルを作成することで、リ

アルタイム観測値との差分をモニタリングし、地震発生時に、津波起因と考えられる電離圏ホール及びこの現象に伴う伝播性電離圏擾乱の検知を行い津波の規模や到達時刻の予測に役立てる。

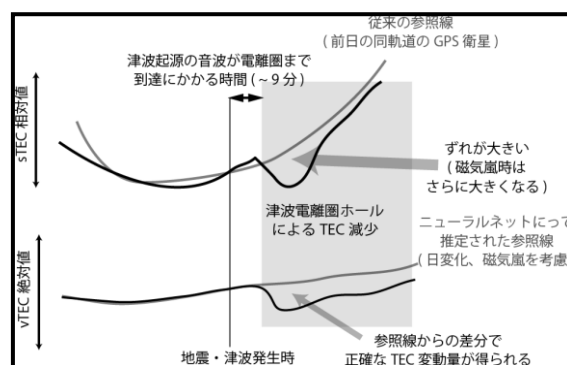


図1. 目標とする電離圏変動参照モデル

中村[2]他の先行研究により、太陽活動起源の電離圏変動は磁気中緯度についてNNを用いてある程度モデル化できることが示されたが、磁気低緯度の電離圏変動を再現できる入力は考慮されていなかった。

これまでに開発したモデルは太陽活動、地磁気指数等を入力し、F2層下部の電離圏変動(foF2:F2層臨界周波数)を出力する3層パーセプトロンNNを用いている。入力に用いる地磁気擾乱から電離圏嵐発生までの1-2日のタイムラグを利用し、24時間先までの予測を行う。2ソーラーサイクル分のデータを学習し、評価には1ソーラーサイクルのデータを用いた。

本研究では、この先行研究のモデルを日本全体に拡大するために出力をTECに変更し、新たに適切な入力を加えることにより低緯度電離圏の変動も予測可能なNN 推定によるモデルの作成を目指す。TEC観測は高々十数年程度と、NNの学習のためにはやや短い。そのため、60年以上に及ぶ長期的なデータが存在するfoF2を用いて、年間数日~数十日程度発生する電離圏擾乱の予測精度を向上させる新たな入力の検討のためのデータ解析を行った。

### 3. 研究成果

平成26年～平成27年にかけては、主に日本の長期データを用いた統計解析（電離圏嵐の継続日数など）及び過去の電離圏嵐について地磁気擾乱指数の変動との対応について比較解析を行った。その結果、

- ・特に磁気低緯度では必ずしも典型的な地磁気擾乱に対応しない電離圏嵐が同数程度発生している
- ・NNへの地磁気指数の入力データを3日～1週間程度に拡大して入力すると予測が改善することなどを確認し、統計的に検証を行った。

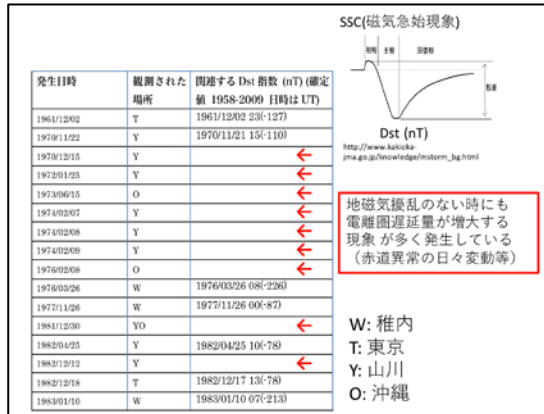


図2. Dst指数と電離圏変動の比較解析結果の一例

地磁気擾乱のない時にも電離圏遅延量が増大する現象が多く発生しているのは、赤道異常の日々変動等の影響であると考えられるが、この日々変動のメカニズムについてはまだ完全には明らかになっていない。そこで日々変動に影響を与える可能性のある赤道エレクトロジェット電流の変動を示すと考えられる磁気赤道域の磁力計データを九州大学より提供を受けるなどした。磁力計データの解析を進めることで有効な入力を見出すために、研究を一年延長した。

平成 29 年度は、電離圏擾乱が発生した日について、提供を受けた磁気赤道域の磁力計データを用いた比較解析を行ない、その結果を踏まえてNNモデルを検討した。また、ここまでの解析を振り返り、今後の課題をまとめる形で研究発表（GPS/GNSSシンポジウム）[3]を行った。

新たな電離圏変動モデルの主な入力として、地磁気指数の入力日数の拡大が有効であることや赤道異常の原因と考えられるグローバルな風や電場の変動を表すような新たな入力変数の長期観測データ（せめて1ソーラーサイクル程度）が必要であることがわかってきた。熱圏の風や電場の観測は困難であるため、風や電場の影響で変動する電離圏高度変動（イオノゾンデによる電離圏プロファイル等、

電子密度変動の一因となる入力)を新たな入力とすることで電離圏嵐の予測精度を高められると考えた。図3に提案するNNモデルを示す。

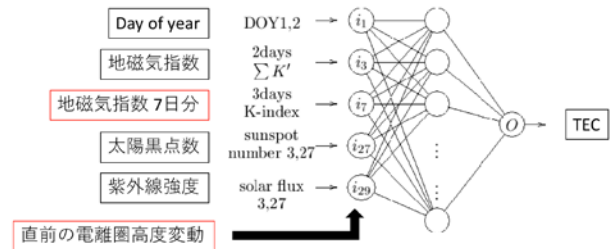


図3. NNモデル

本NNモデルについて、検証すべき項目は以下の通りである。

- ・異なる影響を持つ低～高緯度について統一的な入力で可能かの検証
- ・電離圏高度変動の入力の検証（高度変動と電離圏嵐の発達に関係性があるため）

#### 4. 考察等

高精度な即時津波検知を目指して日本全国のGNSS観測に対応できる電離圏変動参照NNモデル構築に向けたデータ解析および入力検討を行い、モデルを提案した。本研究により将来的に電子基準点観測（GEONET）を用いた日本上空の電離圏モデルを構築し、津波による変動の検出を可能とすることで我が国の津波即時予測への貢献が期待できる。また、本研究の応用として、電離圏嵐(電子密度の増減)の数時間程度の短期予測が可能となり磁気低緯度付近の電離圏遅延量の変動予測に使用できるため、GNSS航法の安全性、アベイラビリティ向上への寄与が期待できる。

#### 掲載文献

[1] Y. Kakinami, M. Kamogawa, et al. “Tsunamigenic ionospheric hole,” Geophys. Res. Lett., 39, 2012.

[2] M. Nakamura, T. Maruyama, Y. Shidama. “Using a neural network to make operational forecasts of ionospheric variations and storms at Kokubunji, Japan,” Earth Planets Space, 59, 1231–1239, 2007.

[3] 中村真帆. “GPS/GNSS 観測から得られる電離圏変動データを用いた地震起因の津波即時検知の可能性と課題について,” GPS/GNSS シンポジウム, 東京海洋大学, 2017.

担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享
研究期間	平成 29 年度～平成 33 年度

## 1. はじめに

本研究は、電気通信大学細川敬祐准教授が代表者の科学研究費補助金基盤 B 研究に、研究分担者として参画して行うものである。

近年の冷却 CCD カメラの普及により、磁気低緯度地域の衛星航法に深刻な影響を与えるプラズマバブルの微弱な夜間大気光を用いた 2 次元観測が精力的に行われているが、観測視野の制限、気象条件による観測の制限により、広域観測を地上観測で実現することは難しかった。近年、市販の小型暗視カメラを活用したオーロラ観測が行われるようになっており、これを大気光観測に活用することにより、プラズマバブルの観測が可能であることがわかってきている(電気通信大学と電子航法研究所(以下、当所とする)の共同研究)。安価な大気光イメージャシステムを用いることにより、多地点での観測が可能となり、広域撮像、気象条件に対する空間冗長性の確保が可能となると期待されている。

プラズマバブルは磁気低緯度・赤道域における Rayleigh-Taylor 不安定と呼ばれるプラズマ不安定によって生成されることがわかっているが、その発生の日々変動を支配する物理過程、発生後の時間発展を支配する成長過程、小スケールプラズマ不規則構造の成長過程など、未解明問題が多く残されている。プラズマバブルを広域撮像観測することにより、プラズマバブルの発生に至る電離圏大規模構造の解明、プラズマバブルの成長過程の詳細な時間追尾による解明が可能となると期待されている。

## 2. 研究の概要

本研究では、市販の小型暗視カメラを用いた安価な大気光イメージャ(図 1)を磁気低緯度地域に多数設置し、プラズマバブルの空間構造の成長過程、小スケール電離圏不規則構造の成長過程を解明することを目的とする。そのために、小型大気光イメージャシステムを製作、較正し、当所の石垣観測点を含む南西諸島、台湾、東南アジアに設置し、広域観測を行う。また、光学観測条件の良いハワイ・ハレアカラに小型大気光イメージャを設置し、プラズマバブルの鉛直構造のリム観測を行う。得られた

データを総合し、プラズマバブルの空間構造の成長過程を明らかにする。また、GNSS 観測と合わせて、プラズマバブルの詳細な空間構造と衛星航法への影響の関係を明らかにする。

さらに、小型イメージャシステムを統合した広域観測システムへ発展させるとともに、小型、安価、簡易な機器である特性を生かし、理科教育用や環境モニタリング用としての普及のための情報発信を行う。

これにより、プラズマバブルに関わる物理過程のうち、プラズマバブルの発生・成長に関わる未解明の問題の解明、プラズマバブルの詳細構造と衛星航法信号への影響の解明による低緯度における衛星航法のより正確な性能評価、プラズマバブルの広域監視情報の衛星航法に役立つ宇宙天気情報としての利用、小型大気光イメージャの理科教育機材、環境モニタリング機材への応用とそれを用いた超多点観測への道が開けることなどが期待される。

当所においては、南西諸島における観測とデータの解析、海外への機器設置(台湾、東南アジア)とプラズマバブル広域撮像データの解析、プラズマバブルの広域監視システムの構築、及びイメージャシステムの開発・運用に関する情報提供・発信について担当する。



図 1. 小型イメージャ外観

## 3. 研究成果

これまで試験観測を行ってきた、石垣島設置の試験用小型イメージャを最新型に更新した。これにより、最新型の小型イメージャと、当所が保有する大型・高感度



大気光イメージャとの比較検討が可能となった。

南西諸島の第2の観測点について、沖縄本島における観測場所の検討を行い、情報通信研究機構の施設（大宜味、恩納）を候補地として調査を行い、大宜味観測施設に設置することを決定した。小型イメージャの収納箱設計、取り付け位置などを決定し、平成30年度初頭に設置作業を行うこととした。

台湾・東南アジアへのイメージャ設置については、電気通信大学が台湾国立成功大への設置を進めており、こちらも平成30年度初頭に観測開始予定である。これにより、台湾、石垣、大宜味の3ヶ所で、重なる視野で空間的な連続観測が可能になる予定である。

さらに、タイ・モンクット王工科大学ラカバン(KMITL)と協力し、タイ中南部の磁気赤道付近の Chumphon キャンパスに設置することとした。KMITL において独自の展開ができるように技術協力を行い、タイ・バンコクにおいて試験観測を開始した(図2)。平成30年度には Chumphon へ移設し、観測を開始する予定である。

#### 掲載文献

[1] 齋藤. “広域大気光観測によるプラズマバブル研究, 低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会,” 国立極地研究所, 2018年2月.



図2. タイ・バンコク(KMITL)における動作試験の様子

#### 4. 考察等

平成30年度には、石垣島の小型イメージャ観測を継続するとともに、沖縄、台湾、東南アジアへの小型イメージャの設置を進める予定である。石垣島においては、当所設置の大型イメージャ（石垣）と小型イメージャの観測結果を比較し、性能評価を行うとともに、台湾、石垣、大宜味3ヶ所のイメージ合成解析を行う予定である。加えて、石垣島、タイ・バンコクに当所が設置したGNSSシンチレーション受信機の観測結果との比較により、プラズマバブルの衛星測位への影響の分析を進める予定である。



### 3 監視通信領域

#### I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

平成 29 年度の研究は、社会・行政ニーズや技術分野の将来動向を考慮し、下記の項目を計画した。

1. マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究
2. SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価に関する研究
3. 空地通信技術の高度化に関する研究
4. 監視システムの信号環境と将来予測に関する研究
5. 空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究
6. ADS-B 方式高度維持性能監視の研究
7. 従属監視補完技術に関する研究
8. 滑走路上の異物検出率向上等要素技術に関する研究
9. 受動型レーダを用いた近接航空機測位システムの研究
10. 無人航空機を含む飛行環境形成の要素技術に関する研究
11. ヘリコプタ全周監視支援技術に関する研究
12. 航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究
13. ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発
14. 新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証
15. 樹脂系複合材料を用いた次世代航空機における電磁環境両立性解析技術の研究
16. 次世代航空通信向けマルチユーザ MIMO 信号処理技術の開発及び航空機縮尺モデルを用いた評価
17. 携帯端末の電波直接探知による海上衝突予防に関する基礎的研究
18. ハイブリッド簡易高速電磁界計算による電磁波可視化と実証実験による民間航空解析支援
19. 航空需要に対応する海上設置型ローライザーの設置条件に関する研究
20. 新しい空地伝搬測定手法としての航空機監視情報放送の活用
21. 海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究
22. 広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼 UAV 向け映像伝送システムの研究開発

#### 23. 90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダシステムの研究開発

1～3 は重点研究である。

1 は、現行一次レーダ (PSR; Primary Surveillance Radar) と同等以上の分解能、捕捉率等の性能を有するマルチスタティックレーダ (MSPSR; Multi Static Primary Surveillance Radar) の性能要件の検討及び実装に必要な要素技術を開発する研究である。

2 は、異なる SWIM (System Wide Information Management) システム間でシームレスな情報交換と異種サービス連携を実現する技術を提案するとともに、その技術の評価する SWIM の情報共有テストベッドを構築する研究である。

3 は、既存の空港用航空移動通信システム (AeroMACS; Aeronautical Mobile Airport Communications System) プロトタイプを活用して、航空機、車両、地上間で接続可能な航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築するとともに、AeroMACS の利用技術の開発や AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性を評価する研究である。

4～8 は指定研究である。

4 は、監視システムに使用される周波数帯域において地上及び上空での信号量を測定し評価することにより、監視システム全体の性能を評価することを目指している研究である。

5 は、モード S トランスポンダを装備していない航空機に対応したマルチラレーションの開発・評価を中心に、空港面から空港の近傍空域までを一元的にカバーする監視システムを実現する研究である。

6 は、短縮垂直間隔 (RVSM; Reduced Vertical Separation Minimum) の運用時に、放送型自動従属監視 (ADS-B; Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) を高度監視に用いる場合の性能評価を行うとともに RVSM 非適合機を判定するツールの開発を行う研究である。

7 は、将来 ADS-B/WAM (Wide Area Multilateration) による航空機監視を運用する際に ADS-B の運用に必要な脆弱性対策と、WAM を補完監視センサとして利用するための技術を開発・検証する研究である。

8 は、滑走路上の異物を監視・検出するにあたり特殊な条件下で発生する検出率低下の原因を明らかにし、その影響を低減する技術開発を行う研究である。

9～11 は基盤的研究である。

9 は、受動型二次監視レーダ (PSSR; Passive Secondary Surveillance Radar) と無指向性 SSR とを組み合わせるこ

とで、楕円測位原理によるレーダ近接地域を対象とした航空機測位システムを構築する研究である。

10 は、有人航空機と無人航空機の調和がとれた飛行を実現するために、無人航空機の位置の把握方法の要素技術を開発する研究である。

11 は、ヘリコプタの機体全周の近距離障害物をリアルタイムで検出する機上搭載用複数送受信レーダシステムを開発する研究である。

12 は萌芽的研究で、4 GHz 帯を用いた航空機内データ通信 (WAIC; Wireless Avionics Intra-Communications) の無線化を実現するために EMC (Electromagnetic Compatibility) 評価技術を確認する研究である。

13~23 は競争的資金による研究である。

13 は、ミリ波と光無線通信の技術を活用して、200km/h 以上の高速列車等との間で Gbps 級の通信を実現する技術の研究開発を他機関との連携により目指しており、当研究所は光通信による通信技術の開発を分担している。

14 は、欧州と欧州外諸国との間で共同研究を実施するために準備された制度 Horizon2020 に基づく日欧共同研究である。航空分野への応用も期待される将来のネットワーク基盤を構築するための基礎技術として、ミリ波帯と光無線通信を連携させるための研究開発や実証支援を当研究所が分担している。

15 は、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を主要構造材とする次世代航空機等への電磁干渉影響の数値解析推定技術を開発する研究である。

16 は、マルチユーザ MIMO (Multiple Inputs and Multiple Outputs) システムの航空通信への適用を検討するための、信号処理技術、空地でのアンテナ配置の検討、ソフトウェア無線システムと航空機縮尺モデルを用いた全体性能評価に関する研究である。

17 は、主に小型船舶を対象に、船舶乗車者の携帯端末から発信される電波を活用し、船舶の位置特定技術の開発及び船舶衝突予防への適用評価に関する研究であり、電子航法研究所 (以下、当所とする) は主に携帯電波探知装置の製作を分担している。

18 は、航空分野で利用される、もしくは利用を期待される無線システムについて、環境に応じたハイブリッド計算手法を開発し、運用者に電波の振る舞いを可視化支援する研究である。

19 は、計器着陸装置 (ILS) のローカライザを海上に設置する場合において、海面や海上構造物を考慮した電波伝搬を解析し、設置条件を検討する研究である。

20 は、ADS-B を受動測定することで新たな空地伝搬損

失モデルを検討・提案する研究である。

21 は、海洋分野の点検においてドローンを効果的に活用し、総合的な海洋インフラ維持管理の高度化に寄与する研究である。

22 は、広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼自律 UAV を用いて、映像伝送技術を確認する研究である。

23 は、電波発射技術、ビーム制御技術、スペクトラム制技術の開発により、同一施設内で複数の 90GHz 帯のレーダシステムの共用を実現する研究である。当研究所は離れた場所にある複数の受信設備で得られたデータをもとに、物体の 2 次元的な位置を精度よく計算する信号処理技術を確認するための研究を分担している。

## II 試験研究の実施状況

「マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究」は最終年度であり、仙台空港内に設置した実験システムを使用し、飛行実験を実施した。MSPSR に必要な、複数受信機による受信信号の処理やクラッタ処理といった要素技術を確認した。また、航空用電波ではない地上デジタル放送波信号を用いても MSPSR が実現可能であることを確認した。

「SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価」では、SWIM に基づいた将来の運用方式の一つである FF-ICE 運用方式 (Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment) の離陸前段階における実証実験に参加し、情報共有や運用プロセスなどの検証を行った。また、離陸後についても空地統合 SWIM 検証実験を実施し、各航空機がセキュアな通信方式によりデータ受信ができることを確認した。さらに、AeroMACS を空地通信媒体として地上車両を使った走行実験を実施し、地上車両から SWIM 情報にアクセスできることを確認した。

「空地通信技術の高度化に関する研究」では、東京国際空港において通信事業者と地上車両を用いた共同実験を実施し、AeroMACS が十分な通信速度を担保できることを検証した。また、当所内の SWIM 研究と連携し SWIM 情報の通信に成功した。

「監視システムの信号環境と将来予測に関する研究」では最終年度であり、飛行実験により信号環境を測定するとともに、スペクトルアナライザのみで信号占有率を求める方法を実装した。

「空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究」では、光ファイバ接続型受動監視システム(OCTPASS)

を改修し、仙台空港周辺において実証実験を行った。モード S 信号がなく、モード A/C 信号のみの受信でも十分な測位ができかつ、監視覆域の拡大も可能であることを検証した。

「ADS-B 方式高度維持性能監視の研究」は最終年度であり、開発した気圧高度計の誤差 (ASE; Altimetry System Error) 評価ツールを用いて、収集した航空機からの ADS-B データを解析した。また、航空機により異なる GNSS 幾何高度の基準を判定する方法と条件を検討し、ツールに実装することで課題を抽出した。

「従属監視補完技術に関する研究」では、ADS-B 脆弱性対策や WAM 補完のための要素技術を検証するとともに、アンテナ測角精度を向上するために実験装置を改修した。

「滑走路上の異物検出率向上等要素技術に関する研究」では、W 帯の RCS (レーダ断面積) 測定システムを構築し、代表的な RCS 測定を実施した。また、波長制御型ミリ波分配回路を開発した。

「受動型レーダを用いた近接航空機測位システムの研究」では、近接航空機測位システムの受信機部分を製作するとともに、従来型 PSSR の取得データを解析しノイズ除去方法を検討した。

「無人航空機を含む飛行環境形成の要素技術に関する研究」では、テレメトリ信号を利用した位置把握技術を開発した。

「ヘリコプタ全周監視支援技術に関する研究」では前方監視用のレーダを用いた飛行実験により送電線鉄塔で 2km 以上、送電線で 1.6km 以上の探知距離を確認できた。また、全周監視に必要な要素技術を検討した。

「航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究」は最終年度であり、WAIC 周波数帯における航空機内外電磁界分布特性を推定した。

「ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発」では、副搬送波の 1 波を模擬して、光通倍方式を用いた 90GHz 帯の通信に成功した。

「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証」は最終年度であり、中央集約型の構造を持つ光ファイバ無線ベース 60GHz 無線機を構築した。スタジアム等で実証試験を行った結果、1Gbps の通信速度でスタジアム屋根から座席へ向けて 10cm 未満の精度で無線機へのサービスが可能であることが示された。

「樹脂系複合材料を用いた次世代航空機における電磁環境両立性解析技術の研究」では、樹脂系複合材料で構

成された構造体の電磁界特性を定量化し、また電磁界数値解析を行い、GPS への干渉経路損失および材料定数変更の影響を検討した。

「次世代航空通信向けマルチユーザ MIMO 信号処理技術の開発及び航空機縮尺モデルを用いた評価」では、連続位相変調方式 (CPM: Continuous Phase Modulation) と MIMO を組み合わせた方式について、従来よりも送信アンテナ数を増やした場合を評価し、より短い符号ブロック長で周波数利用効率を改善できることをシミュレーションにより示した。

「携帯端末の電波直接探知による海上衝突予防に関する基礎的研究」は最終年度で、携帯電波源の探知について屋外海上実験を実施し、方位分解能 16 方位以上、対地距離 250m 以上の結果が得られた。

「ハイブリッド簡易高速電磁界計算による電磁波可視化と実証実験による民間航空解析支援」では、簡易レイ・トレーシング法による ILS への応用を進めるとともに、他の電磁界解析手法も含めた選定を進めた。また、空港内で ILS の電波測定を実施し、測定方法を見直す必要性などの課題を抽出した。

「航空需要に対応する海上設置型ローカライザの設置条件に関する研究」では、ローカライザの電波干渉や、遮蔽フェンス等の影響低減策について数値計算を実施した。

「新しい空地伝搬測定手法としての航空機監視情報放送の活用」では、在空機の ADS-B 信号から測定可能な電波特性を抽出しソフトウェア無線による有効性評価基盤を整備した。

「海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究」では、ドローンの飛行申請やインフラ点検に関する情報を収集した。

「広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼 UAV 向け映像伝送システムの研究開発」では、無響室での実験によりアンテナ搭載方法を検討した。また、映像伝送システムの基本設計を行った。

「90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダーシステムの研究開発」では、2 つの送信機と 2 つの受信機間の伝搬特性から二次元座標を算出する手法を検証した。

本年度は、以上の 23 件の研究・調査に加えて、以下に示す 5 件の受託研究を行った。これらは上記の研究やこれまでの研究で蓄積した知識・技術を活用している。

1. AS365 搭載機器の経路損失試験
2. KODIAK100 水陸両用機搭載機器の経路損失試験

3. JA21RH 機搭載機器の経路損失試験
4. 広域マルチラレーション (WAM) 整備の技術支援
5. 火山観測用可搬型レーダ干渉計実験

### Ⅲ 試験研究の成果と国土交通政策、産業界、学会等に及ぼす効果の所見

「マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究」では、実験結果を取りまとめ ICAO SP (監視パネル) に参加した。ASWG (Aeronautical Surveillance Working Group) では機上監視マニュアルの改定作業を行った。また、PBSSG (Performance Based Surveillance Sub-Group) では性能準拠監視に関するマニュアルのアウトラインを作成した。AIRBWG (Airborne Surveillance Working Group) では機上監視マニュアル (Doc9994) の改訂作業を行った。

「SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価」では、FF-ICE 運用方式の実証実験に参加した。また、ICAO APAC の SWIM タスクフォースを主導しアジアの標準化作業に参加している。

「空地通信技術の高度化に関する研究」では AeroMACS の航空通信システム規格として、ICAO CP (通信パネル) の DCIWG (データリンク通信インフラ作業部会) や、ICAO FSMP (周波数管理パネル) の WG (作業部会) に積極的に参加している。

「監視システムの信号環境と将来予測に関する研究」では RTCA と EUROCAE の合同監視委員会 (Combined Surveillance Committee) や機上監視 MOPS の作成を行っている SC186-WG3 や WG4 に出席している。また EUROCAE WG-103 に出席し、INCS (従属非協調監視) の技術マニュアルの作成に貢献している。

「滑走路上の異物検出率向上等要素技術に関する研究」では、EUROCAE WG-83 に参加し、FODDS (Foreign Object Debris Detection System) の運用設置に関するドキュメントの作成に貢献している。

「航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究」では、EUROCAE WG-96/RTCA SC 236 Joint Plenary に参加し WAIC の基準策定に関する MASPS や MOPS 作成に貢献している。

各研究課題の研究成果は、ICAO, EUROCAE, RTCA, CARATS, 当研究所の研究発表会, 関連学会, 国際研究集会等に積極的に発表している。また、ICAO 等国际会議にて、航空局への技術アドバイザーなどとして協力を続

けている。これらのなかで、平成 29 年度は 2017 Integrated Communication, Navigation, & Surveillance Conference のベストセッション賞, 2017 IEEE AP-S (Antennas and Propagation) Japan の若手技術者賞, 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ活動功労賞, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会の若手奨励賞を受賞している。

担当領域	監視通信領域
担当者	○大津山 卓哉, 本田 純一, 渡邊 優人, 牧田 芳男
研究期間	平成 26 年度～平成 29 年度

## 1. はじめに

航空機の地上監視には、一次監視レーダ（PSR：Primary Surveillance Radar）及び二次監視レーダ（SSR：Secondary Surveillance Radar）が使用されている。これまでに、SSR の監視性能（精度・分解能・更新レート等）を向上するために、ADS-B やマルチラテレーション等の新しい監視技術の研究が進み実用化されている。一方、通常の航空管制では PSR の使用頻度は低いものの、非常時等の安全性を確保するために欠かすことのできない重要な装置である。PSR は、航空機搭載のトランスポンダに依存しない監視手段であるため、トランスポンダの故障や意図的に停止させた場合でも地上監視が可能である。しかしながら、現在の PSR は使用頻度に対して維持管理コストが嵩むと言った課題を抱えており、安全性を確保した上で低コストかつ同等以上の性能を有する次世代 PSR が求められている。

次世代 PSR については欧米では研究開発が進められているが、これまでのところ運用に資する決定的な代替装置はない。PSR 代替装置として複数の受信局を持つマルチスタティックレーダ（MSPSR：Multi Static Primary Surveillance Radar）が有力候補として一部で検討されているが、当該装置においてどのような要件が必要であるかは分かっていない。さらに、MSPSR のような受動型レーダはその地域での電波信号環境が監視性能に影響を与えるため、諸外国等で行われた検討結果が我が国においてそのまま利用できる保証はない。そのため、MSPSR の導入を判断できる技術基準や性能要件の作成が求められている。

本研究の目的は、現行 PSR と同等以上の分解能、捕捉率等の性能を有する新型 PSR の性能要件の検討及び実装に必要な要素技術の開発を行うことである。特に MSPSR に注目して受動型レーダによる監視システム構築に必要な信号処理方法やアンテナ等の要素技術の開発を行い、評価手法を確立するとともに、現在の PSR を拡張して低高度や山影などのブラインドエリアでの監視能力向上を目指す。

## 2. 研究の概要

本研究は 4 カ年計画であり、最終年度の平成 29 年度は次のことを行った。

- ① MSPSR の要件・動向調査
- ② MSPSR 実験システムによる測位実験
- ③ MSPSR 監視導入に必要な要素技術の開発

## 3. 研究成果

平成 29 年度は ICAO 監視パネル等に提出された、MSPSR 関係の文献を調査するとともに、電子航法研究所（以下、当所とする）で得られた実験結果を取りまとめ同パネルの ASWG（Aeronautical Surveillance Working Group）に報告した。また各国で行われている MSPSR 関連技術開発状況を取りまとめ、ASWG に報告した。これらの調査と並行して昨年度までに整備した MSPSR 実験システムによる航空機の測位実験を行うとともに、マルチスタティック処理のための実験システムの拡張を行った。

### 3. 1 MSPSR の要件・動向調査

今年度も引き続き、ICAO 監視パネル等に提出された MSPSR 関係の文献調査等を行った。また、複数の国際学会に論文を投稿し発表を行うとともに、パッシブレダを含む関連技術の最新動向調査を行った。MSPSR を航空管制システムに導入するための研究開発は、これまで欧州を中心に行われていたが、近年、中国や南アフリカといった国もそれぞれ特徴ある開発を進めている。これらの開発状況も含めて関連する技術が様々に表れたことから、監視マニュアルへの反映を見据えて、現在の開発状況について取りまとめを行っている。このアクションアイテムに対してこれまで MSPSR の研究開発を進めてきた日本とドイツで各国の技術開発状況を取りまとめ ASWG に MSPSR 関連技術開発状況として報告を行った。

### 3. 2 MSPSR 実験システムによる測位実験

本研究では PSR 送信情報を使用する MSPSR 実験用システムを仙台空港内に構築した。この実験システムは、送信情報として航空保安大学校岩沼研修センターの研修用レ

ーダから送信信号のモニタ波形を分配し、それを電気信号から光信号に変換して送受信する光ファイバ無線技術(RoF)を使うパッシブレダとなっている(OFC-PPSR：光ファイバ接続型パッシブ一次監視レーダ)。

本年度は、これまでの検証実験において受信機1局の動作について良好な結果が得られており、MSPSR 本来の構成である複数受信機での受信および信号処理が可能となるようにシステム全体に改良を行った。受信機を3台使用する構成として反射波の同時受信を行うとともに、反射信号の受信時刻差を使用して目標を検知する測位実験を行った。固定目標および実験用航空機による移動目標に対してこれらの実験を行い、実験システムの測位性能を検証した。図1は開発した装置による測定結果を示す。本結果は、取得したデータに対して運用レーダで使われている信号処理を適用して移動目標の検出精度を向上させた結果となる。ターゲットとノイズを効果的に分離することでターゲットの検出精度が向上したことにより、その効果として散乱信号データの圧縮が容易となった。広域のMSPSRを実現するためには散乱信号を短時間に通信する必要があり、本研究で得られた成果はこれらの足掛かりとなるものといえる。

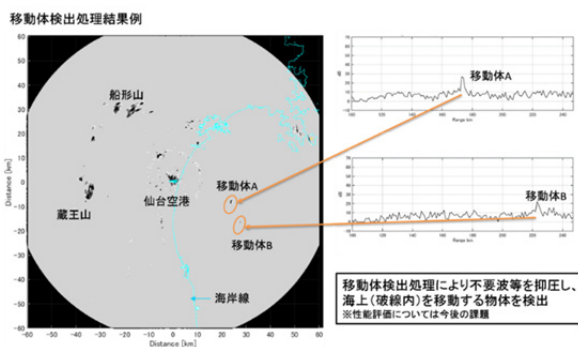


図1：MSPSR 実験システムによる複数局での信号検出結果

当所で開発した、航空用に整備した電波ではない地上デジタル放送波の遅延プロファイルを使ったパッシブレダ(DTTB-PPSR：地上デジタル放送波によるパッシブ一次レーダ)は、これまでの検証の結果で、ほぼリアルタイムで高い更新頻度を持つレーダ画像を得ることができ、また同時に着陸する複数の航空機を分離して表示可能であることが明らかになっている。本方式によるバイスタティックレーダの検証が進んだことから、マルチスタティックレーダを検討するため、複数の地点で遅延プロファイル測定を使った散乱源推定の検討を開始した。図2は千葉県で実施した2局構成の実験システムによる実験結果を示す。図に示すように2か所の観測点で得られた同時刻の遅

延プロファイルを用いて、遅延時間に相当する楕円を地図上に描くと2つの交点を得られる。このどちらかが、移動体となるが、本実験では指向性アンテナを用いているため、アンテナの方向から地図上の1点が移動体の位置であると推定した。この点は、羽田空港の着陸コース上に位置することから、航空機であると推測できる。本手法には、測定器を使って計測しているものをシステム化する等の課題は存在するが、DTTB-PPSR システムによる MSPSR が実現可能であることが示された。

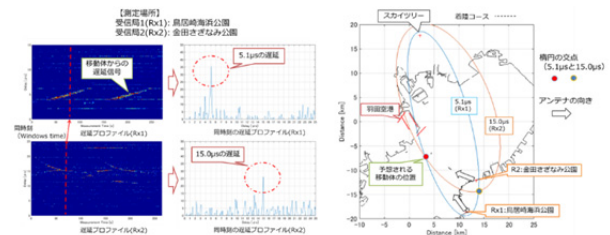


図2：2局構成の実験システムから推定された移動体の位置

### 3. 3 MSPSR 監視導入に必要な要素技術の開発

要素技術の開発としては、レーダにおける地面、海面、雨、雲などからの不要反射信号であるクラッタを抑圧する手法として、クラッタ抑圧デジタルフィルタと受信クラッタの統計的性質を利用する一定誤警報確率(CFAR; Constant False Alarm Rate)を複合するマルチドップラーフィルタ方式のOFC-PPSR 実験システムへの適用を検討し、取得した実験データに対して検証可能な状態にした。マルチドップラーフィルタ方式は、目標である航空機と地面、雨、雲などのクラッタから得られるドップラー周波数が異なることに注目し、これらをドップラーフィルタにより分離し、各チャンネルにLog/CFARを適用し、選択出力することでクラッタを抑圧する方式である。今回はクラッタ振幅の統計的性質を仮定して処理を行うパラメトリックCFARを採用した。そのため今後、本実験システムにて取得されるクラッタ分布について詳細な検証を行う。

また、バイスタティックレーダに関してはモノスタティックレーダと異なり、レーダ反射面積(レーダ断面積: RCS)が航空機の姿勢と送受信機間の関係によって複雑に変化する。レーダシステム的设计にはRCSを正確に見積もる必要があるが、これらの解析には多くの課題があり、それらの解決のため昨年度より大学との共同研究を開始した。本年度は、数値解析と測定の両面からアプローチするべく、スケールモデルを用いたRCS測定方法の検討を実施した(図3)。当所の電波無響室で実施した単純形状のRCS測



定を通して、測定方法ならびに構築した数値解析との比較についての課題を明らかにした。

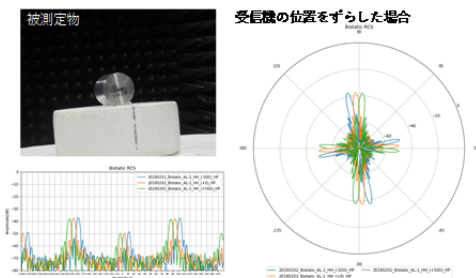


図3：バイスタティック RCS 測定

#### 4. まとめ

今後、仙台空港内に設置した実験システムを使用して、飛行実験や現行 PSR との比較等により光ファイバ接続型パッシブレダの性能評価を継続して行う。また、複数の受信機による信号分離手法の実装や捕捉性能の向上についての検証も引き続き行う。さらに、本研究で構築したシステムを基に、リアルタイム処理システムへと発展させる。

光ファイバ接続型パッシブレダや地上デジタル放送波等の複数の無線周波数を使ったパッシブレダでは、捕捉性能の向上やブラインドエリアの解消が期待される。本研究の成果が、既存のレーダより安価で且つ測位精度や更新頻度が向上した高性能レーダシステムの構築検討に資すると期待される。

#### 掲載文献等

- (1) K. Shiomi, H. Miyazaki. "Status Update on ENRI MSPSR Development," ICAO/ASP/WG, April 2014.
- (2) J. Honda, T. Otsuyama. "Rapid Computation Algorithm for Radio Propagation Characteristics on Airport Surface," Proc. of the 8th Intr. Conf. on Complex Intelligent and Software Intensive System, July 2014.
- (3) K. Shiomi, S. Aoyama. "Development of Passive Surveillance Radar," ICAS2014, September 2014.
- (4) J. Honda, T. Otsuyama. "Experimental result of aircraft positioning based on passive primary surveillance radar," Proc. Inter. Sym. on Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (ESAV 2014), September 2014.
- (5) 塩見格一, 青山秀次. "受動型レーダの開発の現状と展望," 日本航海学会, 2014年10月.
- (6) K. Shiomi, S. Aoyama, A. Noda, Y. Matsui. "Development and Functional Evaluation of Passive Surveillance Rader System," Proc. of ICSANE 2014, October 2014.
- (7) T. Otsuyama, J. Honda. "A Study of Direction Finding

Method for Passive Airport Surveillance Radar," Proc. on ISAP 2014. December 2014.

- (8) 大津山卓哉, 本田純一. "マルチスタティックレーダによる航空機監視の可能性," 電子情報通信学会技術報告. 2015年1月.
- (9) 本田純一, 大津山卓哉. "地上デジタル放送波による航空機測位の一検討," 映像情報メディア学会技術報告. 2015年1月.
- (10) 塩見格一. "受動型レーダの開発の経緯と展望," 航空環境研究, 2015年3月.
- (11) J. Honda, T. Otsuyama. "Preliminary Experimental Result of Aircraft Positioning by Using ISDB-T Delay Signal," Proc. of IEEE AP-S/URSI, July 2015.
- (12) T. Otsuyama, Y. Hamanaka, J. Honda, K. Shiomi, M. Minorikawa. "Performance Evaluation of Passive Secondary Surveillance Radar for Small Aircraft Surveillance," Proc. The 12th European Radar Conference, Sep. 2015.
- (13) T. Otsuyama, J. Honda. "A Study of Passive Aircraft Surveillance Using Signal Delay Profile," Proc. on ISAP2015, Nov. 2015.
- (14) 本田純一, 大津山卓哉. "ISDB-T パッシブ測位における固定物体抑圧の実験結果," 映像情報メディア学会技術報告. 2016年1月.
- (15) J. Honda, T. Otsuyama. "Aircraft Surveillance System using Signal Delay of Digital Terrestrial Television Broadcasting," ICAO SP-TSG/2 WP, April 2016.
- (16) J. Honda, T. Otsuyama. "Position Estimation of Obstacles and Aircraft by Using ISDB-T Signal Delay," Proc. of the 30th IEEE-AINA, Mar. 2016.
- (17) J. Honda, T. Otsuyama. "Feasibility Study on Aircraft Positioning by Using ISDB-T Signal Delay," IEEE AWPL. Mar. 2016.
- (18) J. Honda, T. Otsuyama. "Experimental Study of Aircraft Positioning by DTTB Signal Delay," Proc. Int. Sym. on Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications (ESAVS). 5-1, Berlin, Germany, April 2016.
- (19) J. Honda, T. Otsuyama. "Status Update on MSPSR Development," ICAO SP-ASWG/3, SP-ASWG3-WP/14, London, the United Kingdom, April 2016.
- (20) J. Honda, T. Otsuyama. "Status Update on MSPSR Development," ICAO SP-ASWG TSG, ASWG TSG WP03-18, Paris, France, June/July 2016.
- (21) 大津山卓哉, 本田純一. "光ファイバ接続型パッシブ

- レーダによる航空機検出,” 信学技報. July 2016, vol.116, no.143, SANE2016-23, pp.11-13.
- (22) T. Otsuyama, J. Honda. “Study of Passive Aircraft Surveillance Radar using DTTB Signal Delay,” Proc. the 2016 Int’l Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), pp.869-871, Cairns, Australia, Sep. 2016.
- (23) J. Honda, T. Otsuyama. “Preliminary Experimental Result of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar,” Proc. Int’l Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), POS2-71, Okinawa, Japan, Oct. 2016.
- (24) J. Honda, T. Otsuyama. “Status Update on MSPSR Development,” ICAO SP-ASWG/4, SP2-ASWG4-WP/18, Montreal, Canada, Oct. 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (25) T. Otsuyama, J. Honda, “A Study of Aircraft Detection by Passive Radar System,” 信学技報. Nov.2016, vol.116, no.319, SANE2016-55, pp.21-24.
- (26) J. Honda, T. Otsuyama. “Feasibility Study on Aircraft Positioning by ISDB-T Signal Delay,” IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, Vol.15, pp.1787-1790, DOI 10.1109/LAWP, 2016.
- (27) 本田純一, 大津山卓哉. “地上デジタル放送波を応用した航空機監視システム,” 映情学技報. Jan. 2017, vol.41, no.1, BCT2017-21, pp.81-84.
- (28) J. Honda, T. Otsuyama. “Coverage Area of Passive Bistatic Radar Using DTTB Signal Delays,” Proc. 2017 IEEE Int’l Conf. on Computational Electromagnetics (ICCEM), pp.362-364, Kumamoto, Japan, March 2017.
- (29) J. Honda, T. Otsuyama. “Introduction of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar,” ICAO SP-ASWG/5, SP-ASWG5-WP/30, Tokyo, Japan, March 2017.
- (30) J. Honda, T. Otsuyama. “Optical-fiber-connected passive primary surveillance radar for aeronautical surveillance,” IEICE Communications Express. Dec.2017, vol.7, no.3, pp.65-70.
- (31) J. Honda, H. Miyazaki, T. Otsuyama. “Status Update on ENRI MSPSR Development,” SP-ASWG6-WP-28, Montreal, Oct. 2017.
- (32) J. Honda, T. Otsuyama. “Status Update on Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar,” SP-ASWG6-WP-29, Montreal, Oct. 2017.
- (33) J. Honda, M. Watanabe, T. Makita, T. Otsuyama. “Relationship between Receiving Antenna Pattern and Aircraft Position using DTTB Signal Delays,” Proc. 2017 IEEE Conf. Antenna Measurements & Applications (IEEE CAMA), TD1.1, pp.164-166, Ibaraki, Japan, Dec. 2017.
- (34) M. Watanabe, J. Honda, T. Otsuyama. “Passive Aircraft Surveillance by Two Optical-Fiber-Connected Passive Radars,” 信学技報. Nov. 2017, vol.117, no.321, SANE2017-69, pp.33-37.
- (35) J. Honda, M. Watanabe T. Otsuyama. “Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar using Two Receiver Units,” Proc. Int. Symp. On Antennas and Propagation, 3C3-1383, Phuket, Thailand, Oct.-Nov. 2017.
- (36) T. Otsuyama, J. Honda. “A Study of Aircraft Detection Using DTTB Signal Delay Profile,” Proc. the 2017 11th European Conf. on Antennas and Propagation, pp.276-277, Paris, France, March 2017.
- (37) 本田純一, 大津山卓哉, 渡邊優人, 牧田芳男. “2つの受信機から構成された DTTB 遅延信号を用いた航空機監視システム,” 映情学技報. Jan. 2018, vol.42, no.1, BCT2018-20, pp.77-80.
- (38) 大津山卓哉, 本田純一, 渡邊優人. “光ファイバ無線を用いた受動型一次監視レーダの開発,” 信学技報. Sep.2017, PEM2017-6, pp.7-10.
- (39) 渡邊優人, 本田純一, 大津山卓哉. “光ファイバ接続型パッシブレーダにおけるクラッタ抑圧に関する実験的検討,” 2017 ソ大講演論文集. Sep. 2017, B-2-14, p.175.
- (40) 本田純一, 渡邊優人, 大津山卓哉. “光ファイバ接続型一次レーダによる航空機監視手法,” 信学技報. Aug. 2017, vol.117, no.182, SANE2017-37, pp.49-53.

## SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価【重点研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○呂 暁東, 古賀 禎, 住谷 泰人
研究期間	平成 28 年度～平成 32 年度

### 1. はじめに

近年, 国際民間航空機関 (ICAO) では, SWIM (System Wide Information Management) という次世代の情報共有基盤の概念を提案, 推進している。SWIMの導入により, 運航に係る多種多様な情報を, 様々なユーザで提供・利用・管理が可能となる。CARATSでも, 情報共有基盤の導入は重要なミッションとしてあげられている。

しかし, SWIMに求められる効率性, 信頼性, 安全性及び環境は国や地域によって異なる。例えば, 各SWIMシステムの構造, ネットワークインフラ, メッセージングインフラなどが, 各地域によって異なる。このため, 異種SWIMシステム間を連携する技術が必要とされている。

### 2. 研究概要

本研究では, 運用面や技術面での課題を明らかにした上で, 異なるSWIMシステム間でシームレスな情報交換と異種サービス連携を実現する技術を提案する。さらに, SWIMの情報共有テストベッドを構築し, 提案技術を評価する。これにより, 将来の航空交通管理の運用における情報共有と協調的意思決定を支援する技術の開発を目指す。本年度は5カ年計画の2年目であり, 主に以下の研究開発を行った。

- ・ SWIMに基づいた新たな運用方式を導入するため, 国際検証実験の実施
- ・ SWIMによる空地情報共有システムアーキテクチャと情報交換技術の提案

### 3. 研究成果

#### 3.1 国際検証実験

現在, ICAOでは, 様々な情報を利用して運航効率を向上するFF-ICE運用方式 (Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment) の検討が進められている。FF-ICEは, 離陸前の段階 (Pre-Departure Phase, FF-ICE/1) と離陸後の段階 (Post-Departure Phase, FF-ICE/2) に分けられる。ICAOでは, 2020年以後適用可能な国からFF-ICE/1を導入することを目指しており, 関連する規定

の改訂が予定されている。一方, 改訂により, 隣接FIR間での管制機関間での連携, 関係者に与える影響, 並びに新旧システム混在への対応などが懸案事項としてあがっており, 事前検証が必要となっている。

平成29年度は, 米国連邦航空局 (FAA) と共同でFF-ICEの検証実験 (FF-ICE/1検証実験と空地統合SWIM検証実験) を実施した。電子航法研究所は, 航空局の支援の元, 参画し, 日本側の実験システムを開発して, 新たな運用方式の検討や標準情報交換モデルの改善を行った。FF-ICE/1検証実験は平成29年8月, 空地統合SWIM検証実験はFF-ICE/2の基本試験であり, 平成30年3月に実施された。両実験とも, 米国フロリダにあるFAAの試験施設と我が国を含む参加各国の実験システムとを接続し, 検証実験が実施された。

#### (1) FF-ICE/1検証実験

本実験では, 主としてネットワークインフラ検証とサービス検証を行った。ネットワークインフラ検証では, SWIMによるFF-ICE運用環境で重要な役割を果たすメッセージングインフラや標準情報交換モデルなどの検証を行った。また, 日本電気株式会社と共同開発したクラウドサービスに基づいたSSL VPN (Secure Sockets Layer Virtual Private Network) を検証した。異なるユーザの運用環境に対して柔軟な接続サービスを提供することが可能となり, 現状よりも情報セキュリティを向上させながら多くの利用者 (ステークホルダー) と情報共有できることを確認した。サービス検証では, FF-ICE運用方式の導入に向けて, FAAとの連携により, 必要なSWIMサービス, FF-ICE飛行計画の作成ルール, 離陸前ATMサービス提供者と空域ユーザ間の運用プロセス, 飛行計画に関するメッセージの処理手順などの実環境下での運用シナリオを検討し, その機能を検証した (図1)。これらの検証結果は, ICAOにおけるFF-ICE/1 Implementation Guidanceの作成に貢献し, 航空運航サービスの発展に寄与する。

#### (2) 空地統合SWIM検証実験

本実験では, 離陸後の飛行機と地上SWIMの間で情報を共有するため, 空地情報交換の基本機能や性能を検討し, 模擬システムにより検証実験を行った。AAtS (Aircraft

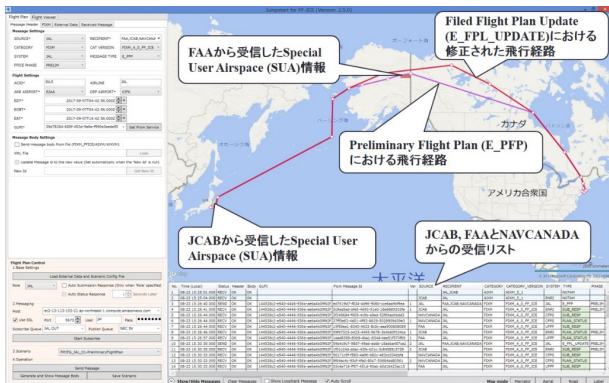


図1 空域ユーザ用Simulatorによる離陸前の情報共有

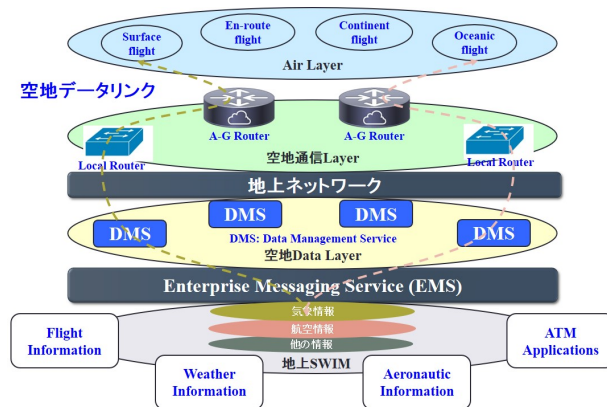


図3 空地情報統合システムアーキテクチャ



図2 パイロット用情報端末Simulatorによる離陸後の情報共有

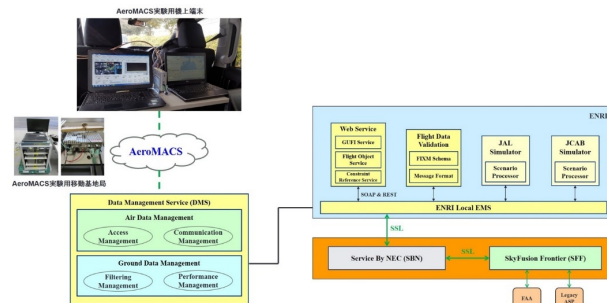


図4 AeroMACSによる地上走行実験

Access to SWIM) による空地情報交換を実現するため、航空機ごとの関連情報を管理・提供できるデータ管理サービス (DMS: Data Management Service) と機上から地上のDMSにアクセスできるパイロット用情報端末Simulatorを開発した。これにより、各航空機がセキュアな通信方式により、様々な情報の中から、自分に関係する情報のみ受信できることを検証した (図2)。今後、軌道ベース運航 (TBO: Trajectory Based Operation) を実現する際に、高精度な情報制御を提供することが可能となる。

### 3.2 空地情報共有

SWIMの導入により、地上システム間だけではなく、空地間で様々な情報を共有することが可能となる。これらの情報共有により、より高精度かつ高安全な運航が可能となる。

一方、機上と地上システム間でシームレスな情報交換を実現するため、異なる通信環境や情報種類に対して、適切な通信方式やサービス品質やセキュリティの自律的

な判断が求められている。

本研究では、サービス指向型空地情報統合システムアーキテクチャと情報交換技術を提案した。また、提案技術の有効性を確認するため、広域メッセージングサービス (EMS: Enterprise Messaging Service) の概念に基づいて空地データレイヤを構築した (図3)。これにより、データリンク機能のサービス化、航空機ごとの高精度な情報制御が容易に実現できる。平成29年度は、空港面通信システム・AeroMACSを空地通信媒体として地上走行実験を実施し、AeroMACSを用いたAAISの有効性を確認した (図4)。

### 4. まとめ

本研究では、運航に係る多種多様な情報が異なるシステム間で共有できる相互運用性の向上を目的としており、このためにはSWIMによるシステム間でシームレスな情報交換とサービス連携を実現する技術が必要となる。本年度は、新たな運用方式であるFF-ICEの導入に向けて、FAAとの連携により、検証実験を実施し、運用上の基本機能や技術面の性能要件を明らかにした。また、この実

験システムに基づいて、空地統合SWIMアーキテクチャと情報交換技術を提案した。次年度は、アジア太平洋地域におけるICAO SWIM Task Forceにおいて、今までの研究成果を生かして、当該地域に適用できるSWIMアーキテクチャを提案する予定である。

#### 掲載文献

- (1) X.D. Lu. “International and Regional Coordination for FF-ICE/1 Validation,” ICAO APAC SWIM TF/1, Bangkok, Thailand, May 2017.
- (2) 呂曉東, 古賀禎, 住谷泰人, 塩見格一. “SWIMのコンセプトによる監視情報ドメイン構築に関する検討,” 電子航法研究所研究発表会, 2017年6月.
- (3) 呂曉東. “FF-ICE/1検証実験の進捗状況,” CARATS第27回情報管理検討WG, 2017年7月.
- (4) X.D. Lu. “IIH&V Validation #1 Lab Exercise - Report from Japan,” IIH&V Validation #1 Lab Exercise, NextGen Test Bed, USA, Aug. 2017.
- (5) 呂曉東. “FF-ICE/1検証実験の報告,” CARATS第28回情報管理検討WG, 2017年9月.
- (6) X.D. Lu, T. Koga. “SWIM Concept-Oriented Information Integration for Air Traffic Surveillance,” IEEE Proc. of GCCE2017, Nagoya, Japan, Oct. 2017.
- (7) X.D. Lu, T. Koga, Y. Sumiya. “Coordinated Validation for SWIM Concept-Oriented Operation to Achieve Interoperability,” EIWAC 2017, Tokyo, Japan, Nov. 2017.
- (8) T. Nakada, X.D. Lu. “R&D Challenges Toward Integrated ATM Information Management,” GANIS 2017, Montreal, Canada, Dec. 2017.
- (9) 呂曉東. “SWIMによる航空交通情報システムの研究開発について,” NEC出前講座, 2017年12月.



## 空地通信技術の高度化に関する研究【重点研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○住谷 泰人, 米本 成人, 森岡 和行, 河村 暁子, 呂 暁東, 金田 直樹, 長縄 潤一, ニッ森 俊一
研究期間	平成28年度～平成31年度(4カ年)

### 1. はじめに

近年、航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し、より安全かつ効率的な運用改善が検討されている。また、航空交通量の増加やより綿密な航空機運航のニーズに伴い、特に航空機密度の高い空港周辺を中心に航空通信量の増加が懸念されている。これらに対応するため、ICAO等は既存の航空通信システムと併用可能な次世代の航空通信システムとして、汎用高速通信のモバイルWiMAX (IEEE 802.16e) 技術に基づく航空専用標準規格 AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System) の策定作業と研究開発、並びに次世代の航空通信システムに対応するIP(インターネットプロトコル)基準のICAO文書改訂作業を行ってきた。

今後、これらのニーズや進捗する策定作業に対応するため、AeroMACS技術の適用範囲拡大の可能性を検討する必要がある。また、AeroMACSに代表される次世代空地通信システムの利用技術を開発し、監視や航法など他のシステムから得た情報を共有できる航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築した上で、航空機や車両等と接続実験し、性能評価する必要がある。

### 2. 研究の概要

本研究では、既存のAeroMACSプロトタイプを活用して、航空機、車両、地上間で接続可能な航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築する。また、AeroMACS利用技術の開発やAeroMACS技術の適用範囲拡大の可能性について性能評価する。本年度は4カ年計画の2年目であり、以下の内容を中心に実施した。

- ・ AeroMACS利用技術の開発、性能評価
- ・ 空地通信技術の適用範囲拡大システム開発
- ・ AeroMACS等航空通信システムの規格策定活動

### 3. 研究成果

#### 3.1 AeroMACS利用技術の開発、性能評価

AeroMACS利用技術の開発及び性能評価にあたっては、

実用化を推進するため、通信事業者と共同研究を実施している。昨年度に引き続き、東京国際空港における共同研究はCARATS通信施策と関連しており、実際の大規模空港環境下におけるプロトタイプの性能確認と共に、その利用技術及び利用可能性を検討するための基礎性能評価試験を実施した。試験結果は、通信事業者と共著で様々な学会・講演会において公表されている。図1は、東京国際空港の国際線ターミナルに2基、同ターミナルを見渡せる国内線ターミナルに1基の計3局のAeroMACS基地局と専用アンテナを配置し、地上車両にAeroMACS端末を搭載して走行の実証実験を行った結果、得られた通信速度の一例である。図中の青色は通信速度が速く、赤色は通信速度が遅いことを示しており、最大のダウンリンク(グラフ中DL)速度は7Mbps以上、アップリンク(グラフ中UL)速度は最大3Mbps以上であることがわかる。今回の実験より、空港建物に近いボーディングブリッジ直下に通信し難いスポットが何箇所かあることを確認でき、この対策を今後検討する予定である。

また、電子航法研究所(以下、当所とする)内のSWIM研究と連携したアプリケーションの評価・実証にも着手した。図2は実験室内の環境下において弊所のAeroMACSプロトタイプと実験用SWIMシステムを配置、接続し、SWIM情報(飛行情報交換メッセージ)との通信実験に成功した一例である。図の右側がAeroMACS端末であり、当所内に配置したAeroMACS基地局経由でSWIM情報を

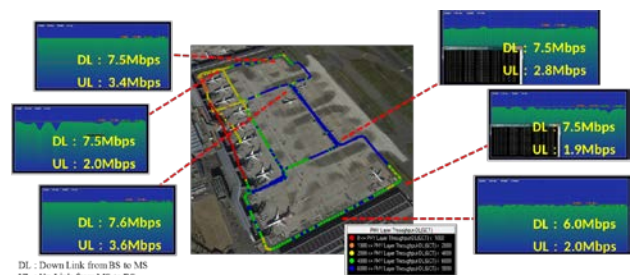


図1 東京国際空港における通信事業者との共同実証実験の性能評価例





図2 AeroMACSプロトタイプと実験用SWIMシステムの接続によるSWIM情報の表示例  
(PC画面表示：飛行情報交換メッセージ)

取得している。端末と接続した左側のPC画面にはSWIM実験システムから提供しているリアルタイムの飛行に関する情報を取得、表示できていることを確認した。

### 3.2 空地通信技術の適用範囲拡大システム開発

新たな適用範囲拡大として、上空を含む航空機上におけるAeroMACS技術の利用をめざし、通信距離を延長するための指向アンテナを含むシステム開発を行った。これと並行して、飛行中の航空機においてAeroMACSを利用した性能評価を行うための実験試験局免許取得に向けた調整を行った。平成30年度には実験試験局免許が発行され、その後、性能評価を行う予定である。

さらに、LTE商用通信技術を実験用のVHF帯周波数に適用して飛行中に利用した場合の性能評価を、実験用航空機「よつば」を用いて、通信事業者との共同研究で行った。これにより、上空における一般商用向け通信性能の基礎技術資料を取得できた。この結果は学会等において、通信事業者と共著で報告した。

### 3.3 AeroMACS等航空通信システムの規格策定活動

AeroMACS等の航空通信システムの国際標準規格策定会議であるICAO CP（通信パネル）やFSMP（周波数管理パネル）の技術作業部会に参画し、実験解析結果を報告した。また、様々な航空通信システムについての技術及び運用上の課題や現状について議論や調査を行った。

## 4. おわりに

平成29年度は、AeroMACS利用技術の開発と性能評価を中心に、SWIM研究と接続したアプリケーション評価

と実証に着手した。また、実用化を推進するため、通信事業者との共同研究として、これまでに実施してきた東京国際空港における実環境下での性能評価試験結果に関し、国内外で公表した。さらに、上空を含む航空機上におけるAeroMACS技術の利用をめざした空地通信技術の適用範囲拡大に関するシステム開発を行った。

## 掲載文献

- (1) 住谷泰人. “航空用無線通信システムの現状,” 電子情報通信学会技術報告. 2017年4月.
- (2) Y. Ouchi, et.al. “AeroMACS Field Trial at HANEDA Airport,” 2017 Integrated Communications, Navigations and Surveillance (ICNS) Conference, Virginia, USA, April 2017.
- (3) S. Hanatani, et.al. “AeroMACS Field Trial at Haneda Airport for Next Generation Mobile IP-data Network,” ICAO CP WGI, Montreal, CANADA, May 2017.
- (4) 森岡和行他. “実験用航空機とAeroMACSプロトタイプシステムを用いた高速移動時における基本通信性能評価,” 電子情報通信学会技術報告, 2017年7月.
- (5) Y. Ouchi, et.al. “AeroMACS Field Trial at Haneda Airport,” データリンクフォーラム東京, 2017年7月.
- (6) J. Naganawa, et.al. “Antenna Configuration Mitigating Ground Reflection Fading on Airport Surface for AeroMACS,” IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, Tsukuba, JAPAN, December 2017.
- (7) T. Yada, et.al. “Field Trials for Air-to-Ground Direct Communication Using LTE on VHF Band,” IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, Tsukuba, JAPAN, December 2017.
- (8) K. Morioka, et.al. “5GHz Ground-to-Air Communication Link by AeroMACS in High-speed Movement Scenarios,” IEEE Asia Pacific Conference on Communications, Perth, AUSTRALIA, December 2017.
- (9) N. Yonemoto, et.al. “Mitigation Criteria of AeroMACS against the interference signal level from the various radio system using co- or adjacent channel in 5GHz band,” ICAO FSMP WG, Mexico City, MEXICO, February 2018.
- (10) 森岡和行他. “プログラマブルSoCと広帯域トランシーバを用いた再構成可能な統合型航空通信端末に関する一検討,” 電子情報通信学会2018年総合大会, 2018年3月.

## 監視システムの信号環境と将来予測に関する研究 【指定研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○大津山 卓哉, 本田 純一
研究期間	平成 26 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

現在の航空機監視システムは、周波数帯域を共有するためにランダムアクセス方式のパルス通信を使っている。ランダムアクセス方式のシステム性能は帯域内信号量に依存している。そのため監視性能を正確に見積もるためには、帯域内の信号量を正しく評価することが重要となる。一方、現在の信号量や運用環境から将来の信号環境を予測することによって新規に導入される監視システムの性能も推定可能となる。これらの信号量測定・信号量推定については ICAO 監視パネル等でも注目されている。

本研究では航空機監視システムに使用される帯域の地上および上空での信号量を測定し、その評価を行う。これによって交通量の変化による信号量変化が得られ、また、新たに導入された監視システムの信号環境の観点からの性能評価が可能となる。

### 2. 研究の概要

本研究は 4 カ年計画であり、最終年度である平成 29 年度は次のことを行った。

- ① 監視システム動向調査
- ② 実験による信号環境取得・評価
- ③ 信号環境測定装置 評価・検証

### 3. 研究成果

平成 29 年度はこれまでに ICAO の監視パネル等に提出された、1030/1090MHz 信号環境関係の文献を調査するとともに、これまでに電子航法研究所（以下、当所とする）で行ってきた実験データ等の整理を行った。これらの調査と既存の信号環境測定装置等の調整・改良や新たな手法の検討を行い、実験結果に基づく信号環境の現状を ICAO 監視パネルに報告した。

#### 3.1. 監視システム動向調査

ICAO 監視パネル等に提出された信号環境、トランスポンダ関係の文献調査を行うとともに、RTCA と EUROCAE の合同監視委員会(Combined Surveillance Committee)や機上監視 MOPS の作成を行っている SC186WG4 に出席し、

信号環境に大きな影響を与える将来の運航方式やトランスポンダについて調査を行った。RTCA の 2 つの委員会ではともに 2020 年に新しい MOPS を出版することを目標にしており、どちらも監視信号環境における効率的な使い方について盛んに議論がされている。

さらに、ICAO においても性能要件に基づく監視システムのあり方について専門のサブグループが設置され、それに参加し性能要件ベースの監視システムに関するマニュアル作成に加わった。また、これまで当所が深くかかわってきた ICAO の機上監視マニュアルの改訂作業が開始され、IM (インターバルマネージメント) 等に関するマニュアル案を提案し、改訂原稿案として多く採用されている。

#### 3.2. 実験による信号環境取得・評価

信号量を推定するための手段として、(1) 対象とする帯域内に含まれる信号の種類とそれぞれの信号毎の発生数を求める方法、(2) 発生した信号の種類とは無関係にある単位時間内に任意の信号強度レベルを超える占有時間を求める方法の 2 通りが考えられる。どちらにもそれぞれ長所、短所があり、希望する測定対象によって必要な手法をとる必要がある。実験用航空機に搭載した信号環境記録装置はどちらの解析も可能であるため、これまでの飛行実験に引き続き、国内のほぼすべての空域を飛行するルートを検討し、多くのデータを取得した。これらの飛行経路は毎年、同じシーズンに同じ経路を飛行できるように調整をしているため、信号環境の変化が把握できる。今年度は実験用航空機の不具合等により十分なデータを取得することが困難であったため、データ取得と並行してこれまでに取得したデータを使用し、前述の信号発生数と占有時間との関係等の検討を行った。信号発生数は受信した信号をデコードできた場合にのみカウントされる。そのため信号量が十分多いエリアにおいては、計数されないメッセージが増えることとなる。図 1 に示すように、東京周辺など信号量の多いエリアでは直接求めた信号占有率と信号数から求めた占有率では大きな差が見られる。この結果は、トランスポンダの信号環境を検討する時に、これまで行われてきたトランスポンダの動作状況だけを考えるだけでは

不十分であり、検討帯域内の信号環境を測定する必要があることを示している。

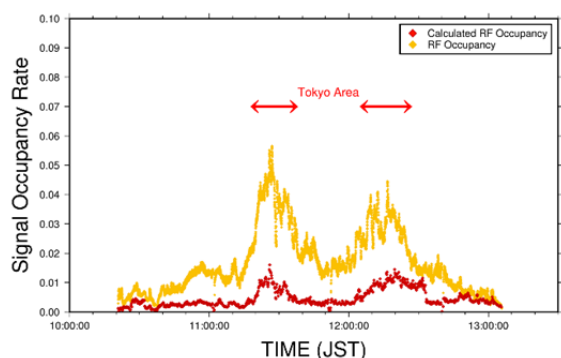


図 1: 直接求めた信号占有率 (黄線) と信号数より求めた占有率 (赤線) の時間変化

### 3.3. 信号環境測定装置 評価・検証

信号環境は直接的に測定されるのではなく、一度帯域内の全てを記録し、その記録信号を再生する方法を用いている。また、取得したデータは、計算処理による統計解析や既存受信機をつかった統計処理のほかに、機上トランスポンダや地上受信機と同等の動作をする受信機によって環境測定できる。このような測定に加えて MLAT(マルチラテレーション)を活用した信号環境測定手法を提案した。空港面の信号環境を推定のため、仙台空港に設置した OCTPASS(光ファイバ接続型受動監視システム)の出力を使用した。OCTPASS は、複数の受信局で得られた信号を、全て中央処理装置に集めて信号処理を行う。そのため、同時刻に各センサーがどのような受信状態であったか把握する事が可能であり、マルチパス等の信号干渉に強い MLAT システムとなっている。この特徴を利用することで、空港全体として受信される信号量を把握し、また各受信局のデータを比較することによって、空港面のマルチパス等が起因した信号歪の発生状況を把握できるようになった。図 2 及び図 3 にこれらの信号処理結果を示す。解析の結果、ATCRBS(モード A/C)はモード S の信号数の 30 倍程度となっていることが判明した。また、仙台空港のターミナル付近においてはマルチパス等による信号歪が確認でき、受信された信号の約 30%については何かしらの干渉を受けていることが分かった。今後はマルチパス等の干渉が原因で発生したと考えられる波形をそれぞれ区分・判別することにより、1090MHz 帯の信号受信状況を明らかにし、当該周波数帯を用いた監視システムの検出率等の性能要件の算出に繋げたいと考えている。

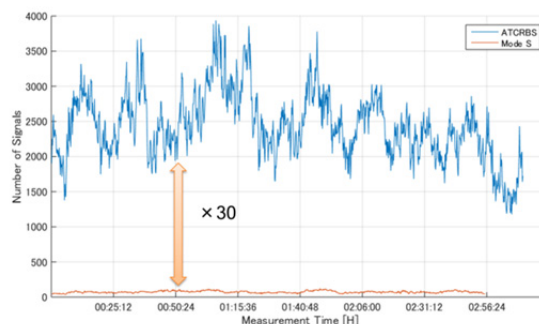


図 2: ATCRBS (青線) とモード S (赤線) の信号数の推移

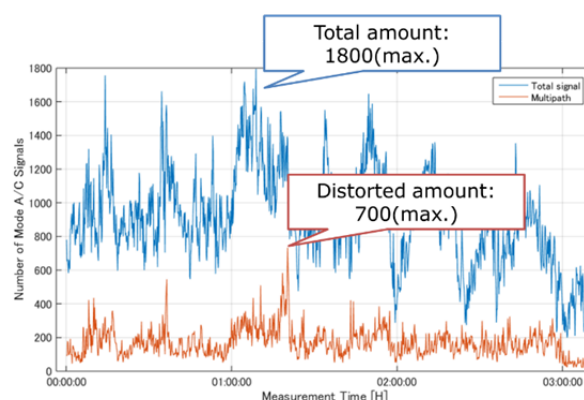


図 3: ターミナルビル付近における ATCRBS の全受信信号 (青線) に占める歪信号 (赤線) の割合

## 4. まとめ

本年度は信号環境測定装置の開発および実際に計測した結果を過去の測定データと比較して、信号測定手法の有効性を確認した。現在行っている測定手法は、信号占有量と信号毎の発生数との間の関係を求め検証する必要があるものの、得られた結果は地上のレーダサイト数や付近の航空機数から推測される結果と比較して妥当であると考えられる。測定結果の精度を上げるために、今後推定方法や計測方法についてより詳細な検討が必要である。

### 掲載文献等

- (1) S. Ozeki. Amendments to 3.4.2.8.c) on draft Doc. 9994, ICAO ASTAF, April 2014.
- (2) S. Ozeki. draft Doc. 9994, ICAO ASTAF
- (3) T. Otsuyama, S. Ozeki, "A Study of Evaluation Method for Aeronautical L-band Signal Environment during Flight Experiments", Proc. EMC Europe 2014, Gothenburg, Sweden, September 2014.
- (4) T. Otsuyama, H. Miyazaki, J. Honda, S. Ozeki. "Report on Preliminary Analysis of 1030/1090 RF Measurement

- in Japan,” ICAO SP-ASWG/1, Apr. 2015.
- (5) T. Otsuyama, J. Kitaori, S. Ozeki. “Evaluation of New Radio Equipment using SDR,” LINK16-MNWG, May 2015.
  - (6) T. Otsuyama, H. Miyazaki, J. Naganawa. “Updates on Preliminary Analysis of 1030/1090 RF Measurement in Japan report in SP1-ASWG1-WP/31,” ICAO SP-TSG, July 2015.
  - (7) T. Otsuyama, H. Miyazaki, J. Naganawa. “Updates on Preliminary Analysis of 1030/1090 RF Measurement in Japan reported in SP1-ASWG1-WP/31,” ICAO SP-ASWG/2, Oct. 2015.
  - (8) 大津山卓哉, 長縄潤一, 宮崎裕己. “飛行実験による監視信号環境の測定,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2016年1月.
  - (9) 大津山卓哉, 長縄潤一, 本田純一, 宮崎裕己. “航空機監視信号環境に関する一検討,” 電子情報通信学会 2016 総合大会. 2016年3月.
  - (10) T. Otsuyama, J. Honda. “Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment,” ICAO SP-ASWG TSG, June 2016.
  - (11) 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉. “空港面の 1090MHz 信号量の測定結果,” 電子情報通信学会 2016 ソサイエティ大会, 2016年9月.
  - (12) T. Otsuyama, J. Honda. “Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment,” ICAO SP-ASWG/4, Oct. 2016.
  - (13) 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉. “空港面の 1090MHz 信号量及び信号占有率について,” 電子情報通信学会 2017 総合大会, 2017年3月.
  - (14) 大津山卓哉. “ICAO, RTCA/EUROCAE における IM 検討状況,” CARATS ATM 検討 WG H29 第1回監視アドホック2会合, 2017年6月.
  - (15) 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉. “マルチラレーションシステムを利用した 1090MHz 帯信号環境の評価手法,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2017年7月.
  - (16) 大津山卓哉, 本田純一. “航空機監視信号の飛行実験による測定結果,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2017年8月.
  - (17) T. Otsuyama, J. Naganawa, J. Honda, H. Miyazaki. “An Analysis of Signal Environment on 1030/1090MHz Aeronautical L-band Systems,” 2017 International Symposium on Antennas and Propagation, Oct 2017.
  - (18) T. Otsuyama, J. Honda. “A Study of Signal Environment for 1030/1090MHz Aircraft Surveillance Frequency during flight experiments,” The 39th Progress In Electromagnetics Research Symposium, Nov. 2017.
  - (19) 大津山卓哉, 本田純一, 長縄潤一, 宮崎裕己. “監視システムの信号環境と測定,” 航空振興財団 航空管制システム小委員会, 2018年2月.
  - (20) J. Honda, Y. Kakubari, T. Otsuyama. “Estimation of 1090 MHz Signal Environment on Airport Surface by using Multilateration System,” Applied Computational Electromagnetics Society, March 2018.

空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○角張 泰之, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 松永 圭左, 本田 純一, 田嶋 裕久  
 研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度

1. はじめに

空港面交通の安全性及び運航効率の向上に資する空港面監視システムである「マルチラレーション (MLAT)」について、電子航法研究所は、従前の MLAT の課題であった空港内エプロン近傍等におけるマルチパス信号干渉の改善と整備・維持管理コストの低廉化を図るべく「光ファイバ接続型受動監視システム (OCTPASS)」の提案・開発を行ってきた。本研究ではこれを元に、空港面から近傍空域までを一元的にカバーするモード A/C 機対応監視システムの実現を図る。

2. シームレスな全機監視

MLAT は、通常、航空機のモード S トランスポンダから送信される電波 (モード S スキッタ信号やモード S 応答信号) を利用して測位を行う受動監視システムであり、原理上は、航空機への質問送信を必要としない。しかしながら、実運用を視野に入れた場合、周辺を飛行する航空機のビーコンコード情報や気圧高度情報の取得を行う能動的な質問信号の送出が不可欠であり、システムの構成要素として送信処理部が必要である。

開発を進めてきた OCTPASS もまた、送信処理部を備え、航空機のトランスポンダに向けた質問送信が可能である。装置の構成を図 1 に示す。OCTPASS 送信処理部は、機器室内に設置する「変調部」と空港内の送信サイトに設置する「送信ステーション」から構成され、両者の間は光ファイバによる無線伝送技術 (RoF) を使用しており、複雑な処理は全て機器室側の変調部で行っている。これにより、マルチラレーション測位に必須である時刻測定を行う

「信号処理部」と、送信電波を生成する「変調部」とが、クロックを共有することができる。OCTPASS の場合、送信局の設置位置と受信局の設置位置が異なるが、上記のクロックの共有により、質問信号の送信から応答信号の受信までの時間を極めて正確に計測することが可能である。

このような時間計測によるレンジング(測距)を行うと、送信局・受信局と航空機との間に楕円を作図でき、これらを複数描くことにより、交点部分に航空機位置を算出することができる(図 2)。レンジングによる楕円測位を行うと、空港内に設置された複数の受信局に囲まれた内側に限らず、その外側においても航空機位置の算出が安定する。空港周辺を対象とした監視覆域の広域化により、空港面から空港周辺までのシームレスな監視が可能となる。特に OCTPASS の場合、受信局の設置箇所は空港内を基本とすることから、設置に係る制約等を受けにくく、整備・維持の低コスト化が期待できる。

一方、空港周辺を飛行する航空機には、未だモード S トランスポンダを装備していないもの(以下、「モード A/C 機」と称する)も存在するため、空港用監視システムとしてはモード A/C 機への対応が不可欠である。

マルチラレーションをモード A/C 機対応とするためには、送信機及び受信機の両者をモード A/C 信号に対応させなくてはならない。モード A/C 信号の受信は、モード S の信号形式に比べて複雑ではないが、それ故、信号数が輻輳する環境において、一般的には信号の検出や信号毎の識

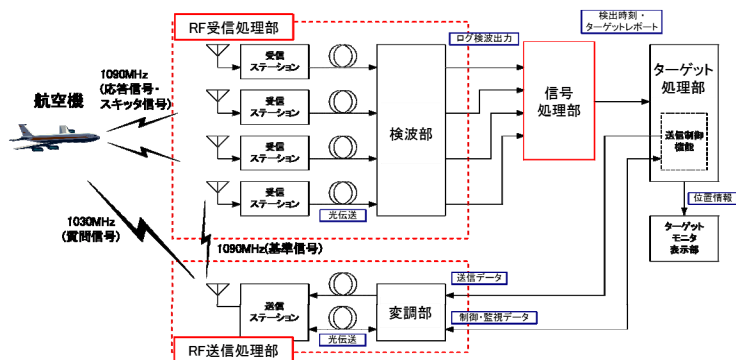


図 1 OCTPASS 装置の構成概要

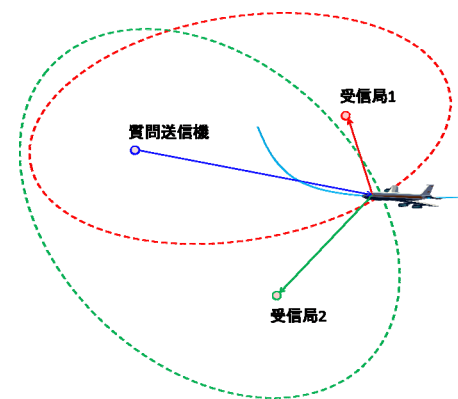


図 2 送信局と受信局の位置が異なる場合のレンジング(測距)による楕円測位の原理



別が困難になる。また送信側におけるモード A/C 質問は、モード S 質問のように航空機毎に個別に質問信号を送信することが出来ないため、一度の質問信号の送信に対して、周囲の航空機が一斉に応答を返す。このことも受信信号毎の識別を困難にする一因となる。受信信号を RF レベルで直接光伝送する方式を採用した OCTPASS の場合、複数の受信局で得られる同一送信元の信号をグループ化する処理に優れており、このような状況でも比較的容易にモード A/C 信号の識別が可能である。このため、空港用 WAM で特に課題とされている、モード A ファミリービーコンコード(FBC)の送信元識別を比較的正確に実現可能であると考えられる。

本研究ではこれを実現するモード A/C 機対応マルチラテレーションの開発・評価を中心に、空港面から近傍空域までを一元的にカバーする監視システムの実現を図る。

### 3. 本年度の研究の概要

OCTPASS 装置のモード A/C 信号対応化として、受信側の信号処理部におけるモード A/C 応答信号の処理機能の追加、送信側の変調部におけるモード A/C 質問信号の生成機能の追加を前年度までに実施しており、本年度は主に送信処理部において追加の無線局免許を取得し、仙台空港内の評価環境を用いたモード A/C 機監視において、楕円測位による評価を実施し、監視覆域の広域化の検証を行った。

### 4. 研究成果

新たな機能追加の結果として得られた、仙台空港から南西方向に出発したある航空機におけるモード A およびモード S の楕円測位航跡を図 3 に示す。従来同一送信元の信号のグループ化が困難であったモード A/C 質問に対する応答の受信においても航空機毎に適切に識別し、楕円測位航跡の計算が可能となっている。モード S による楕円測位航跡と比較すると、ほぼ同等の性能で空港周辺の監視が可能であることが確認できた。

### 5. 今後の見通し

これまでに装置に実装した機能に加え、楕円測位に際して周囲の信号環境を悪化させない技術の実装を行う予定であり、これを用いて実環境において実験・評価を進め、モード A/C 機を対象とした空港周辺における監視性能を引き続き確認する予定である。

#### 掲載文献等

- (1) 角張, 古賀. “航空機監視システムと光ファイバ無線の応用,” 電子情報通信学会技術研究報告(光応用電磁界計測研究会), 2017年9月.
- (2) 角張, 古賀, 本田, 松永, 宮崎. “光ファイバ無線を用いた航空機監視システムの楕円測位実験,” 平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS7-4, 2017年9月.
- (3) Y. Kakubari, Y. Kosuge, T. Koga. “ADS-B latency estimation technology for surveillance performance assessment,” ENRI International Workshop on ATM/CNS, EN-A-60, 2017年11月.
- (4) 角張. “航空機監視システムとその高度化事例,” 自動化技術(韓国誌), 2017年12月, vol.33, sn.395, pp.65-70.
- (5) 角張. “Development of Enhanced MLAT Prototype in Sendai Airport,” 第 2 回日・ベトナム航空セミナー, 2018年3月.

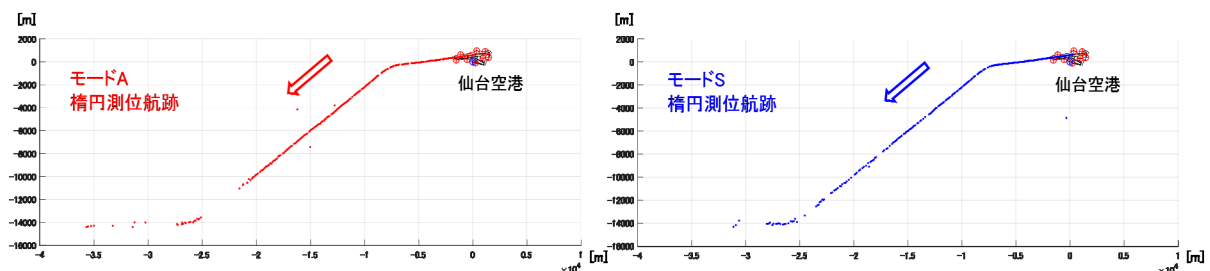


図 3 南西方向への出発航空機のモード A およびモード S 楕円測位航跡



## ADS-B 方式高度維持性能監視の研究【指定研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○松永 圭左, 宮崎 裕己
研究期間	平成 27 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

国際民間航空機関（ICAO）において、高度29,000から41,000フィートの空域にて、航空機の垂直方向の管制間隔を従来の2,000フィートから1,000フィートに短縮する短縮垂直間隔（RVSM; Reduced Vertical Separation Minimum）方式が制定されており、日本の管制空域では平成17年から運用が始まっている。RVSM運用の導入による効果として、空域容量の増加、消費燃料・飛行時間の節減、航空路交差点での高度変更クリアランスの減少等がある。

RVSM運用を導入した場合は、地域監視機関（RMA; Regional Monitoring Agency）が、担当する空域を飛行する航空機の高度維持性能の監視を含む継続的な安全性評価を行うこととなっている。日本においては、地域監視機関として国土交通省航空局（以下、航空局）が地上設置型高度監視装置（HMU; Height Monitoring Unit）を高松、仙台、新潟の3箇所に整備し、高度維持性能監視を実施している。

航空機の高度維持および航空管制は、気圧高度情報に基づいているため、航空機の高度維持性能監視では気圧高度計の誤差を測定する必要がある。誤差の測定には、別途計測された幾何高度を用いる。現在、航空局が整備しているHMUでは、航空機のレーダ応答装置からの信号を地上に複数配置された受信局で受信し、各受信局間の受信時刻差から幾何高度を計測している（マルチラレーション方式）。一方、航空機からのADS-B（Automatic Dependent Surveillance - Broadcast; 放送型自動位置情報伝送・監視機能）データに含まれるGNSS幾何高度情報を用いる高度監視（ADS-B方式）が、豪州等により開発・運用されている。ADS-B方式高度監視システム（HMS; Height Monitoring System）は、マルチラレーション方式に比べて広い空域を飛行する航空機のデータを収集でき、また整備・運用コストが低くなるが見込まれる。

上記の状況を踏まえ、電子航法研究所（以下、当所とする）において、平成26年度にADS-B方式HMSの誤差要因調査を実施した。本調査の結果、主要な誤差要因として、高度維持性能監視に必要な幾何高度の基準面（ジオ

イド高または楕円体高)の判別の誤り、気象データ誤差、および高度情報の量子化誤差があることが判明した。特に幾何高度の基準面判別および気象データは地域的な特性があるため、我が国においてADS-Bを用いた高度監視を実施するには、日本においてADS-B方式高度監視システムを導入した場合の性能評価を行う必要がある。

上記の調査結果を踏まえて、本研究では、試験システムを整備し、誤差の評価および高度監視に必要なデータの誤差分布特性に応じた対応策の導出、RVSM非適合機を判定するツールの開発を行った。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 ADS-B方式HMSの処理概要

航空機から周期的に放送されるADS-Bデータには、航空機の緯度・経度、気圧高度、およびGNSS幾何高度等が含まれている。

図1に、気圧高度計の誤差（ASE; Altimetry System Error）算出処理説明図を示す。航空機の気圧高度は、ICAOの標準大気モデルを用いて、気圧値に変換される。この気圧値を幾何高度に変換するために気象データを用いる。変換された高度は、地球のジオイド面からの高度（ジオイド高; Geoid Height）である。これを、GNSSの座標系で使用されている回転楕円体からの高度（楕円体高; Ellipsoid Height）に変換するために、ジオイド高データを用いる。

上記の処理により得られた幾何高度値と、GNSS幾何

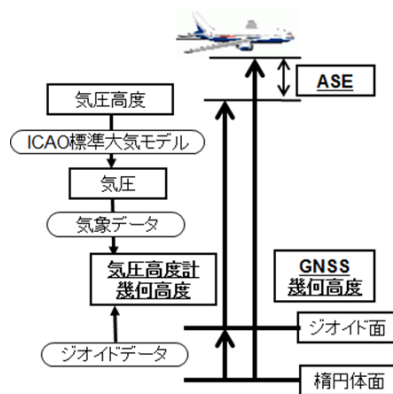


図 1. ASE 算出処理説明図

高度値の差が、ASEとして算出される。

高度維持性能監視では、ICAOの基準にもとづき、ASEが245フィートを超える航空機をRVSM非適合機として判定する。

なお、ADS-Bデータに含まれるGNSS幾何高度は、航空機の装置により、ジオイドからの高度（HAG; Height Above Geoid）と楕円体からの高度（HAE; Height Above Ellipsoid）の2種類がある。各々の航空機がどちらを採用しているが、ADS-Bデータではわからないことが主要な誤差要因として考えられたため、これをHMSで判別する必要がある。

## 2.2 ADS-B方式HMS試験システム

ADS-B方式HMS（AHMS）の性能評価を行うため、平成27年度から試験システムを整備した。当所の本所（調布）および岩沼分室（岩沼）、大阪航空局高松空港事務所の3箇所にADS-B受信システムを設置し、飛行している航空機からのADS-Bデータ収集ツール、誤差評価ツールおよび高度維持性能監視ツールを開発した。

## 3. 研究成果

平成29年度は、誤差評価ツールの機能追加および高度維持性能監視ツールを開発した。誤差評価ツールの機能追加として、GNSS幾何高度のHAG/HAE判別を実装した。GNSS幾何高度基準を判別するため、各航空機のASEは概ね一定値であることを利用し、ジオイド高の異なる地点のASE値を、条件式を用いて判別する手法を用いた[7]。長期間（13ヶ月）のデータを用いて機体毎に判別を実施したところ、機体の約2割が判別できる結果となった。

高度維持性能監視ツールの開発においては、上記GNSS幾何高度が判別された機体について、航空機監視

グループ毎の表示、および航空機グループ全体のASE値の分布と各機体のASE値結果から、RVSM非適合機の候補を抽出する機能、および結果データファイルの出力および描画機能を実装した。図2に、本ツールの出力画面を示す。本ツールでは、運用中のツールと同様の内容の出力に加え、RVSM非適合機候補抽出の自動化処理が可能である。

## 4. まとめ

本研究において、誤差評価ツールおよび高度維持性能監視ツールを開発した。収集データの解析結果から、主要な誤差要因の一つであるGNSS幾何高度の判別が困難な機体があるという結果が出ているため、日本においてAHMSを導入するための判別手法の改善を行う必要があり、AHMSを導入しているRMAが参加している国際会議においても議論を行い、継続した検討を実施している。

## 掲載文献

- (1) 松永, 宮崎. “ADS-B データを用いた航空機の高度維持性能監視,” 日本航空宇宙学会第46期年会講演会講演集. 2015年4月, JSASS-2015-1025.
- (2) 松永, 宮崎. “ADS-B データを用いた航空機高度維持性能監視の試験システム,” 2016年電子情報通信学会総合大会講演論文集. 2016年3月, B-2-24.
- (3) 松永, 宮崎. “ADS-B データを用いた航空機高度維持性能監視の初期評価,” 電子情報通信学会2016年ソサエティ大会, 2016年9月.
- (4) 松永, 宮崎. “ADS-B 方式高度維持性能監視の評価結果,” 電子航法研究所研究発表会, 2017年6月.
- (5) 松永. “ADS-B 方式高度維持性能監視の評価結果,” 航空管制. 2017年10月, 第56巻第4号, 航空交通管制協会.
- (6) K. Matsunaga. “Experimental System of ADS-B Height Monitoring in Japan,” ASE workshop 2017, The FAA William J. Hughes Technical Center, USA, Oct. 2017.
- (7) K. Matsunaga. “ADS-B GNSS Geometric Height Reference Determination,” RASMAG-MAWG/5, Canberra, Australia, Jan. 2018.
- (8) 松永, 宮崎. “ADS-B データを用いた航空機高度維持性能監視の誤差要因分析,” 電子情報通信学会2018年総合大会, 2018年3月.
- (9) 松永. “ADS-B データを用いた航空機高度維持性能監視の評価,” 日本航海学会誌 NAVIGATION. 2018年4月, 第204号, 日本航海学会.

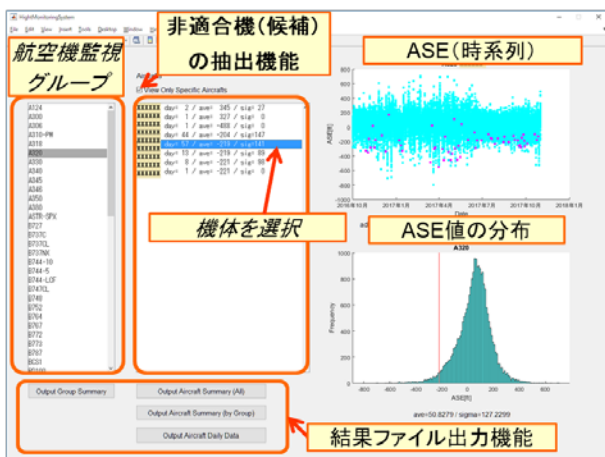


図2. 高度維持性能監視ツール表示例

## 従属監視補完技術に関する研究【指定研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○宮崎 裕己, 古賀 禎, 大津山 卓哉, 松永 圭左, 角張 泰之, 本田 純一, 長縄 潤一, 田嶋 裕久
研究期間	平成 29 年度～平成 32 年度

### 1. はじめに

我が国の航空交通システムの長期ビジョン(CARATS)では、航空交通需要の増大に対応するために、航空交通管理(ATM)運用概念や通信・航法・監視(CNS)基盤技術に関する変革の方向性が示されている。このうち、航空機監視技術については、地上・機上での状況認識能力の向上が挙げられている。このため現在、広域マルチラテレーション(WAM)の導入が進められており、今後は衛星航法システム(GNSS)をベースとした自動位置情報伝送監視(ADS-B)への移行が計画されている。このADS-Bは、航法システムを位置情報源とする従属監視方式であるため、非意図的な誤位置情報発生や意図的な偽位置情報への脆弱性対策が必要である。また、航法システムの障害や機上航法装置の不具合が発生した場合の補完監視センサも必要であり、ADS-B用信号に基づく測位も可能なWAMが候補システムとして位置づけられている。補完センサとしてのWAMに対しては、GNSS障害発生時の時刻同期や、受信局数の削減を可能とする技術開発が求められている。これらの対策を実現する技術は、欧米においても評価が進められている情報はありますが、検証結果は公表されない状況である。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 ADS-BとWAMの測位原理

図1にADS-BとWAMの測位概要を示す。ADS-Bでは、航空機が自機の位置情報を、GNSSを用いて算出し、航空機が搭載するトランスポンダから放送される。放送された位置情報は、地上に設置されたADS-B受信局で受信され、この情報をもとに監視が行われる。一方WAMでは、トランスポンダが送信する信号を、地上に配置された複数の受信局で検出して到達時刻を測定し、受信局間の到達時刻差から、航空機と各受信局との距離差を導出する。そして、距離差が一定との条件からなる双曲線同士の交点を求めることで航空機の位置を算出する。ADS-BとWAMは、トランスポンダから送信される同じ形式の信号を利用するため、同時運用が可能となる。

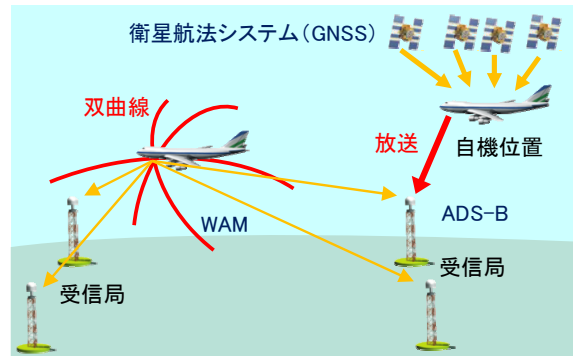


図1 ADS-BとWAMの測位概要

#### 2.2 ADS-B脆弱性対策技術の開発・評価

従属監視方式であるADS-Bは、地上側設備をシンプルに構成できる一方、監視情報を航空機からの自己申告に頼ることから、機上装置不具合による不正確な情報に加えて、悪意のあるグループによる妨害電波や偽情報に弱いとの課題(脆弱性)がある。本課題への対策として、トランスポンダが送信する信号の到来方向等を測定して、信号に含まれるADS-B位置情報を検証する手法が挙げられる。本研究では、セクタ型アンテナやアレーアンテナを利用した位置情報の検証手法を開発・評価するとともに、評価結果をICAO技術資料に反映させる。

#### 2.3 補完用 WAM 技術の開発・評価

WAM では、受信局間の信号検出時刻差から航空機の位置を算出するため、受信局間で精密な時刻同期を得ることが必要であり、一般的に GPS が時刻同期に利用される。しかしながら、GPS 障害が発生した場合、ADS-B に加えて、補完センサである WAM にも障害が発生する。このため、GPS 以外で時刻同期を得る方式が必要であり、本研究ではルビジウム発振器を時刻同期に利用する方式を開発・評価する。一方、前項で述べたように、信号到来角が測定できた場合、この情報は幾何学的にみると直線に相当するため、信号検出時刻差による双曲線と同様(受信局 1 局分)の効果を得られる。本研究では、WAM 測位に信号到来角を活用した受信局数の削減を評価する。

### 3. 研究成果

初年度である平成 29 年度は、ADS-B 脆弱性対策技術については、セクタ型アンテナやアレーアンテナを利用した対策技術の基礎試験を実施した。一方、補完用 WAM 技術については、ルビジウム発振器を利用した時刻同期の基礎試験を行うとともに、実験装置の改修を行った。

#### 3.1 ADS-B 脆弱性対策技術の開発・評価

##### (1) セクタ型アンテナを利用した対策技術

ADS-B 信号の到来方向を推定できる場合、これを ADS-B 信号が含む航空機位置と比較することで、信号内容が正しいかの検証が可能となる。さらに、地上受信局から航空機までの距離を推定できる場合も、ADS-B 信号の正しさを判定できる。電子航法研究所の ADS-B/WAM 実験装置は、セクタ型アンテナを具備しており、受信信号に振幅比較モノパルスと同様な処理を適用することで、信号到来角の推定が可能となる。また、実験装置は質問信号の送信機能を持つため、応答までの時間を測ることで距離の推定も可能である。基礎試験では、飛行実験時に収集した信号データをオフライン処理することで、到来角推定と距離推定を行った。図 2 と図 3 に到来角及び距離推定の誤差分布を示す。試験の結果、おおまかな到来角と距離が推定できており、これらの方式による ADS-B 信号検証の可能性が確認できた。

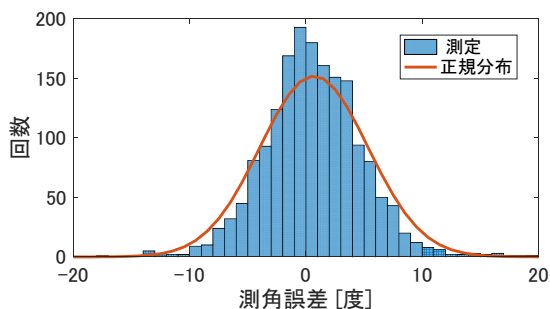


図 2 到来角推定の誤差分布

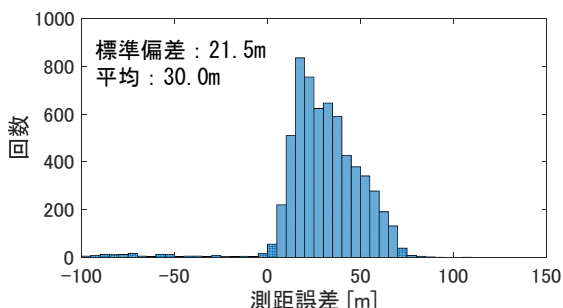


図 3 距離推定の誤差分布

##### (2) アレーアンテナを利用した対策技術

アレーアンテナでは、アンテナの指向性を動的に制御することが可能である。この特徴を活用して、妨害電波の方向にヌルを向ける（アンテナ指向性の落ち込む方向を各アンテナ素子の重み付けで制御する）ことで、妨害電波がある場合にも ADS-B 信号を継続して受信できるようになる。試験方法として、電波無響室に実験装置を構築して、妨害電波と ADS-B 信号を同時に送信し、それを 4 素子アレーアンテナで受信させた。図 4 に実験装置の外観を示す。また、図 5 に妨害電波と ADS-B 信号が混信して解読不能となった波形を示す。ジャミング信号の特性を推定した後、その到来方向に対して信号強度に比例したヌルを形成する対策手法（Power Inversion）を適用した。図 6 に対策手法適用後の信号波形を示す。赤色は ADS-B 信号と判定された部分であり、先頭のモード S プリアンプルが確認できるなど、波形の復元に成功していることが分かる。



図 4 実験装置の外観

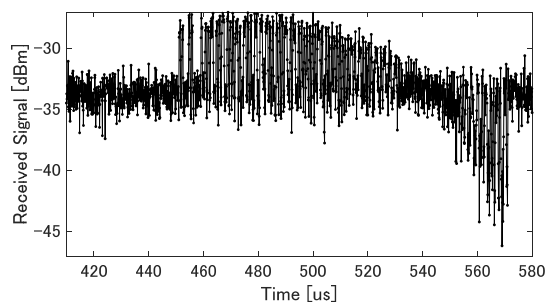


図 5 混信して解読不能となった波形

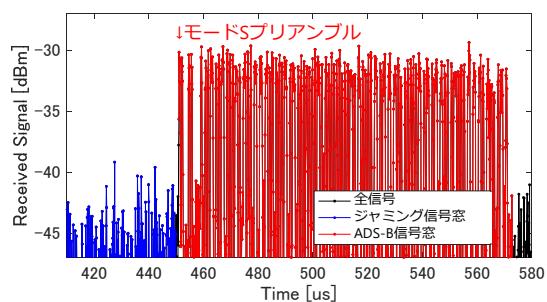


図 6 対策手法適用後の信号波形



また、同様の環境において ADS-B 送信源のみを用い、信号到来角推定の評価を実施した。到来角推定には、到来角毎に信号強度を調べる Capon 法を適用した。図 7 に到来角推定の誤差分布を示す。理想的な分布ではないが、信号到来角の推定ができており、本方式による ADS-B 信号検証の可能性が確認できた。

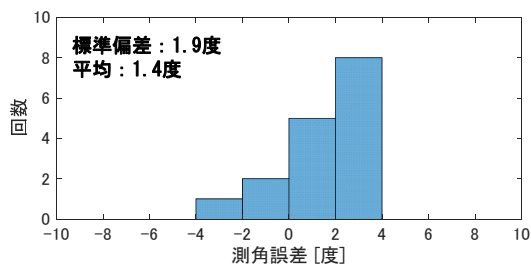


図 7 到来角推定の誤差分布

### 3.2 補完用 WAM 技術の開発・評価

#### (1) ルビジウム発振器を利用した時刻同期

ルビジウム発振器は、高精度なクロックを提供できる特徴を持つ一方で、単独で利用した場合は、クロックにドリフト（バイアス）が発生する。このため基礎試験では、ルビジウム発振器のドリフト発生状況を評価した。試験方法として、ルビジウム発振器 2 台を GPS で同期を取り、同期を外した後の時間差の変化を計測した。図 8 にルビジウム発振器の外観を示す。また、図 9 に時間差変化の試験結果を示す。試験の結果、10 時間後の時間差は 30 ナノ秒（バイアス）となった。この値は GPS を用いた時刻同期誤差の 2 倍程度であるため、本方式による WAM 時刻同期の可能性が確認できた。



図 8 ルビジウム発振器の外観

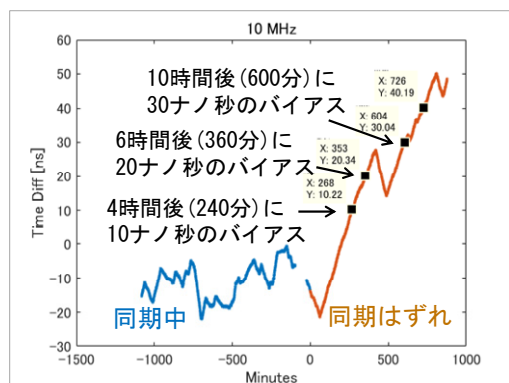


図 9 時間差変化の試験結果

#### (2) セクタ型アンテナの改修

前項で述べたとおり、セクタ型アンテナを利用して、信号到来角を推定することが可能であり、信号到来角の情報は受信局 1 局分と同様の効果が得られる。しかしながら、この効果を得るには高い精度の信号到来角推定が要求される。このため、セクタ型アンテナに、推定精度を向上させる改修を加えた。図 10 にセクタ型アンテナの外観を示す。

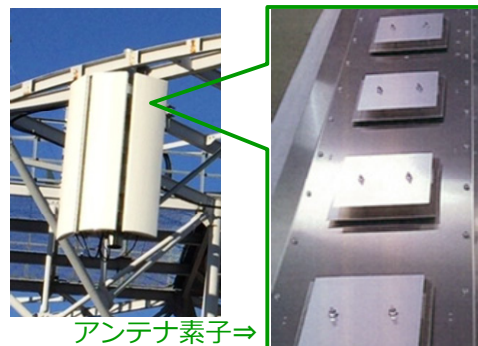


図 10 セクタ型アンテナの外観

### 4. 考察等

平成 29 年度は、ADS-B 脆弱性対策技術については、セクタ型アンテナやアレーアンテナを利用した対策技術の基礎試験を行い、ADS-B 信号検証や妨害電波除去の可能性が確認できた。来年度は、セクタ型アンテナ方式では偽情報判定の評価を進める。また、アレーアンテナ方式では推定精度を高めるためのアルゴリズムの検討等を進める計画である。一方、補完用 WAM 技術については、ルビジウム発振器を利用した時刻同期の基礎試験を行い、WAM への適用の可能性が確認できた。来年度は、発生したバイアス時間差を判定する手法を評価する。また、セクタ型アンテナに測角精度を向上させるための改修を加えたので、今後は、本改修適用後の到来角の推定精度を評価する計画である。

#### 謝辞

実験装置の設置及び評価試験の実施にご協力を頂いている国土交通省の関係各位に感謝の意を表します。

#### 掲載文献

- (1) J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima. "Detection Probability Estimation Model for Wide Area Multilateration," Integrated Communication Navigation and Surveillance Conference 2017, pp. (2B1-1)-(2B1-15), Herndon, VA, Apr. 2017.

- (2) 長縄, 宮崎, 田嶋. “WAM 受信局配置設計に向けた検出率予測モデル,” 平成 29 年度 (第 17 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要. 2017 年 6 月, pp.1-4.
- (3) H. Miyazaki. “Evaluation Results of Passive Acquisition Technique,” ICAO APANPIRG SURICG/2, SURICG/2-IP24, Ulaanbaatar, Mongolia, Jun. 2017.
- (4) H. Miyazaki, T. Otsuyama. “Status Update on Measurements Based on RF Measurement Guidance Material,” ICAO SP ASWG TSG/5, ASWG TSG WP05-13.2, Paris, France, Jun. 2017.
- (5) 長縄, 宮崎, 田嶋. “広域マルチラテレーションにおける信号検出状況を考慮した測位誤差分布のモデル化,” 電子情報通信学会 技術研究報告. 2017 年 8 月, SANE2017-36, pp.43-48.
- (6) 長縄, 宮崎, 田嶋. “WAM 受信局配置設計に向けた性能予測モデル,” 航空保安システム技術委員会 航空交通管制システム小委員会, (一財)航空振興財団, 2017 年 8 月.
- (7) 長縄, 宮崎, 田嶋. “WAM 受信局配置設計に向けた性能予測モデル,” 航空無線. 2017 年 9 月, (一財)航空保安無線システム協会, Vol.93, pp.26-32.
- (8) 長縄, 田嶋, 宮崎, 古賀. “セクタ型アンテナを用いた測角による ADS-B 偽航跡対策の検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-12, 2017 年 9 月.
- (9) 宮崎, 小菅, 田中. “バイアス誤差を同時推定する TDOA 測位方式の評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-24, 2017 年 9 月.
- (10) H. Miyazaki, T. Otsuyama. “Update on Measurements Based on RF Measurement GM,” ICAO SP ASWG /6, SP-ASWG6-WP11, Montreal, Canada, Oct. 2017.
- (11) C. Chomel, J. Naganawa, T. Koga, H. Miyazaki, Y. Kakubari. “Jamming and Spoofing Protection for ADS-B Mode S Receiver through Array Signal Processing,” ENRI Int. Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2017), Tokyo, Japan, Nov. 2017.
- (12) J. Naganawa, H. Tajima, H. Miyazaki, T. Koga, C. Chomel. “ADS-B Anti-Spoofing Performance of Monopulse Technique with Sector Antennas,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, pp.87-90 Tsukuba, Japan, Dec. 2017.
- (13) 宮崎, 小菅, 田中. “TSOA 及び TDOA 測位間での監視覆域拡大の比較,” 電子情報通信学会 技術研究報告. 2018 年 1 月, SANE2017-98, pp.71-76.
- (14) H. Miyazaki, T. Otsuyama, J. Naganawa. “Investigation of RF Measurement Methods Which Should Be Included in GM,” ICAO SP ASWG TSG/6, ASWG TSG WP06-20, Fort Lauderdale, FL, Jan. 2018.
- (15) 宮崎, 小菅, 田中. “バイアス誤差を同時推定する TDOA 測位方式,” 電子情報通信学会論文誌 B.2018 年 3 月, Vol. J101-B No. 3, pp. 264-275.
- (16) H. Miyazaki, K. Matsunaga, A. Senoguchi, T. Koga. “SSR Mode-S DAPs Validation and Evaluation conducted by ENRI,” ICAO APANPIRG SURICG Mode-S DAPs WG/1, DAPs WG/1-IP/10, Chendgu, China, Mar. 2018.



滑走路上の異物検出率向上等要素技術に関する研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行  
 研究期間 平成 29 年度～平成 30 年度

1. はじめに

2000 年の仏国シャルルドゴール空港で発生した、直前に離陸した航空機から脱落した金属片を原因とするコンコルドの事故以来、滑走路等上の異物 (FOD) は非常に重要な空港安全の課題の一つとして認識が高まっている。また、バードストライクなどの突発的な事象は、異物の除去や滑走路の安全確認までに多大な手間と点検時間を発生させることになる。こうした事態は、航空機の離着陸を制限することから、空港の処理能力や運用効率を低下させる重大な要因となっている。このような背景の下、異物等空港面の状態を監視するシステムへの要望が高くなってきている。これらのシステムは滑走路の安全性と利用率に関わる重要な設備であるため、公的機関による評価への要望が高い。

電子航法研究所では、空港運用に係る安全性の向上、処理能力の維持、運用効率の向上等に資するため、運用者のニーズに対応すべく、実用化を念頭に置いた空港面異物監視システムの開発・評価を行うことを目的としている。具体的には、特殊な条件下で発生する検出率低下の原因を明らかにし、その影響を低減する技術開発を行うことで、さらなるシステムの性能、機能、および信頼性を高めるための技術要件を抽出する。

2. 研究の概要

本研究は 2 年計画であり、平成 29 年度は初年度である。また、当該研究期間の主たる実施事項は以下のとおりである。

- 平成 29 年度 各種異物の反射特性の評価  
 ミリ波送信素子の試作
- 平成 30 年度 悪天候時の性能低下の評価  
 送信信号走査の基礎評価

3. 研究成果

3.1 各種異物の反射特性の評価

昨年までの重点研究においては、1 インチ高さ 1 インチ直径の金属円柱を 450m 離れていても検出可能な性能であることが示されていた。しかしながら、EUROCAE MASPS に記載の FOD 例の物体の検出試験を行ったところ、ほとんどの物体はどの向きであっても検出可能であった。とこ

ろが、図 1 写真に示すような単純な形状の金属片において、折れ線グラフに示されるように、特定の向きでレーダーの受信電力が小さくなるため、検出確率が低下することが示された。

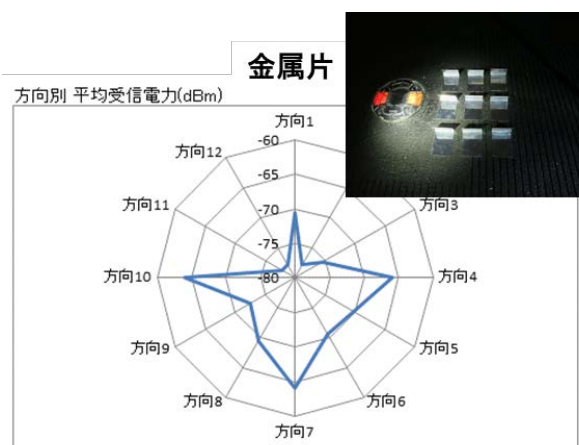


図 1 折り曲げた金属片の向きによる反射強度

このような物体の検出確率を向上させ、各種異物の反射特性を正確に測定するため、反射断面積測定 (RCS) システムを構築した。図 2 にシステムブロック図を示す。長いアンテナ間距離を確保し、送受信アンテナの位置を移動可能とし送受信方向を自在に変化できる構造とした。また、このシステムは W 帯において理論距離分解能が約 0.8cm と細かいため、異物の反射点を正確に抽出することが可能となっている。一例として、10m 離れた場所に配置した翼が回転する 1/144 の金属風車模型の反射断面積を測定した。測定結果を図 3 に示す。このシステムにより、従来利用していたシステムと比べて高い S/N 比でレーダー反射断面積の測定が可能となった。

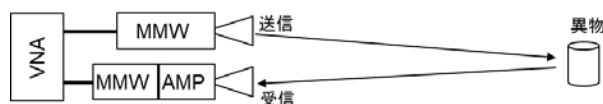


図 2 ミリ波 RCS 測定システムのブロック図

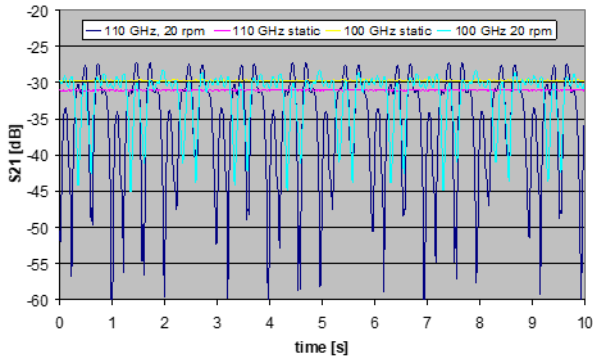


図3 回転する風車模型のRCS測定例

### 3.2 ミリ波送信素子の試作

ミリ波ビームの電子的走査を実現するための基礎技術として、ミリ波送信モジュール、およびモジュールに供給する光信号を自在に制御する光回路を試作した。無線信号が重畳された光信号を受けて生成した微弱なミリ波信号を増幅するため、無線チップへ入出力できる送信用増幅器を試作した。試作した増幅器はレーダーで使用する90GHz帯で、図4に示すように、ほぼ一定の利得が得られることが確認された。また、電子走査のために複数のミリ波送信機の出力を任意にするための光回路を構築した。図5に回路の外観を、図6に光出力特性を示す。アレイ型光導波路素子を用いて、4つの出力ポートのON/OFF状態を16波長に対して割り当てることで自在に無線出力を分配できる光回路を開発した。

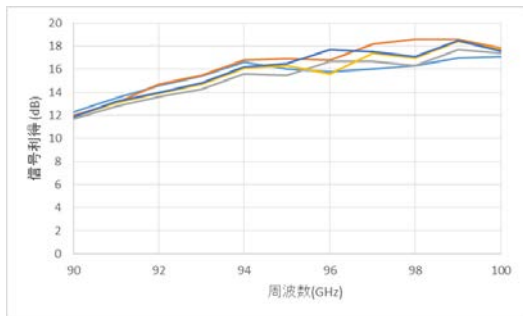


図4 試作したミリ波増幅器の周波数特性

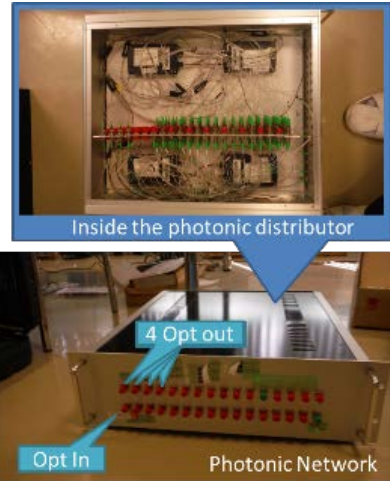


図5 1入力、4出力のミリ波分配用光回路外観

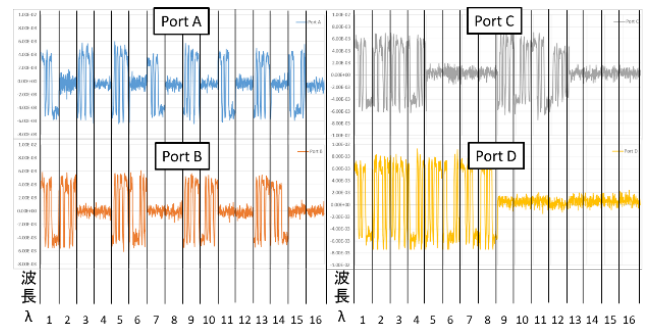


図6 4出力端子における無線出力例

### 4. まとめ

今年度のRCS評価装置によって、異物の反射特性を詳細に分析できることが示された。また、ミリ波送信用のモジュール、分配用の光回路を開発した。今後は、レーダーで捕捉できなかった物体のRCSの分析、および大量のフィールド試験データから悪天候時のデータを抽出し、その性能劣化の度合いを分析する。また、ミリ波送信機に位相制御機能を付加して、電子走査のための基礎実験を実施する。

本研究はミリ波レーダー技術及び、画像処理技術を基盤とする研究であり、競争的資金研究と連携し、また、研究機関、国内外の大学、およびメーカーとの共同研究として実施している。

### 掲載文献等

- (1) Naruto Yonemoto. "FOD Detection System for Runway - A New Hybrid Sensor System," Executive Workshop on the FOD Detection system and RoF technology, Bangkok, Thailand, May 3, 2017.
- (2) Naruto Yonemoto. "Evaluation of FOD detection systems in Narita International Airport and future aspect," Workshop on the FOD Detection system for Kuala Lumpur International Airport, Kuala Lumpur, Malaysia, July 25,

2017.

- (3) 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行. “空港面異物監視システムの異物検知性能評価,” 平成 29 年度電子航法研究所研究発表会講演概要. pp. 18-23.
- (4) Naurto Yonemoto. “Millimeter Wave Radar Connected By Radio Over Fiber For Foreign Objects And Debris Detection On Airport Surface,” The 12th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, Oral 3-1S-3 (Invited talk), Singapore, Singapore, 31 July - 4 August, 2017.
- (5) Tetsuya Kawanishi, Atsushi Kanno, Naokatsu Yamamoto, Naruto Yonemoto, Nobuhiko Shibagaki, Kenichi Kashima. “Optical fiber network-connected distributed mm-wave radar system,” 2017 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (SUM), pp. 197-198.
- (6) Shunichi Futatsumori, Nobuhiko Shibagaki, Yosuke Sato, Kenichi Kashima, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura Naruto Yonemoto. “Airport Field Evaluations of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Runway Foreign Object Debris Detection,” 2017 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), pp. 1-3, Can Cun, Mexico, August 27-September 1, 2017.
- (7) Robert Geise, Naruto Yonemoto, Bjorn Neubauer, Georg Zimmer, Achim Enders. “An Overview of Scattering Measurements of Scaled Dynamic Wind Turbines in the Context of Navigation Systems,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, MB2.2.
- (8) 米本成人. “滑走路異物検出システムの研究 -ハイブリッドセンサーシステム-, ” 電子航法研究所出前講座, 鹿児島空港事務所, 2019 年 2 月 20 日.

## 受動型レーダを用いた近接航空機測位システムの研究【基盤的研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○北折 潤, 塩見 格一 (客員研究員)
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

Passive Secondary Surveillance Radar (PSSR: 受動型二次監視レーダ) は、自らは電波を発することなく、近傍にある SSR からの質問信号及びトランスポンダからの応答信号を受信することによって、航空機を識別し測位できるシステムである。PSSR 第 1 号機が 1990 年代初頭に電子航法研究所で試作されて以降様々な改良が重ねられ、現在ではモード A/C 受信であれば消費電力 3W、弁当箱サイズ程度の PSSR が実現している。PSSR は安価に設置・運用できるため、航空機騒音等の空港環境評価の際に航空機測位センサとして用いられており、また様々な用途への活用が期待されている。

現在、航空管制運航情報官により飛行場対空援助業務が実施されている交通量の少ない空港 (ラジオ空港) 等は SSR が未設置のため、アプローチ時の航空機の監視を目視に頼らざるをえない。これを遠隔地からの監視システムに置き換え (リモートラジオ化) できれば、安全性の維持・向上とともに地上施設の集約等による業務の効率化が期待できる。一方、現在我が国でも検討がなされている類似の遠隔業務構想としてリモートタワーが挙げられるが、その航空機測位システム候補としては、精密な時間計測、双曲線測位・楕円測位の組み合わせ、大規模なネットワーク構成等により、周辺受信局の外側でも航空管制に十分な測位精度を提供するマルチラレーションが考えられており、国内外において活発に研究・開発が行われている。しかし、ラジオ空港は航空管制官が飛行場管制業務を行う空港に比して離着陸回数が少ないことから、運用者側としては空港周囲半径 30NM 程度にあるターゲットを簡易に監視可能なシステムにより対応する技術方策を模索、検討している。

本研究では、既開発の PSSR 技術をさらに発展させるべく、無指向性 SSR 局と PSSR 局を組み合わせることで、楕円測位原理によるレーダ近接地域を対象とした (安価な) 航空機測位システムの構築を行うこととした。

### 2. 研究の概要

本研究の近接航空機測位システムの測位原理を図 1 に示す。無指向性 SSR 局 (T) が質問信号送信局となり、その周辺に最低 3 台以上の PSSR 局 (R1, R2, R3) を配置する構成を取る。各 PSSR 局でターゲットとなる航空機 (A)

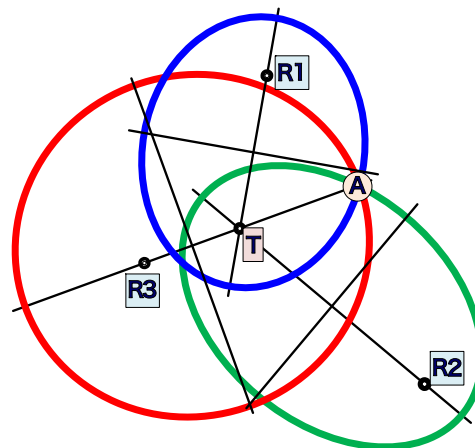


図 1 測位原理

からの応答信号を受信すると、質問信号発出時刻との時間差を利用して無指向性 SSR 局及び PSSR 局を焦点とする楕円体を PSSR 局の数だけ計算できる。これらの楕円体の交差部分がターゲットの測位位置を表す。なお、本システムでは質問信号送信局を 3 局、PSSR 局を 1 局とする等の他の形態での運用も可能である。

本研究では、近接航空機測位システムの構成要素である無指向性 SSR 局及び PSSR 局を製作し、実験等によりその効用について検証する。また、既に実用化されている PSSR から得られる航跡データの処理方法についても研究する。

### 3. 研究成果

#### 3.1 近接航空機測位システム製作

初年度は受信専用である PSSR 局を製作した。図 2 に PSSR 局外観を示す。また電子航法研究所内外の協力を得て、仙台空港において PSSR 局を用いた測位実験及び電波強度測定を行った。図 3 に測定結果例を示す。十字の中心



図 2 製作した PSSR 局外観

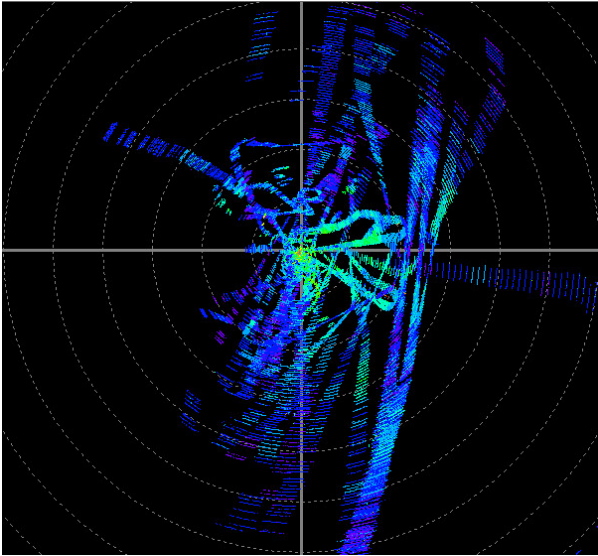


図 3 電波強度測定例

が空港 SSR で、東西約 120km、南北約 110km の範囲をプロットしている。PSSR 航跡の色が明るいほど受信強度が高いことを示す。

### 3.2 航跡データ処理

従来、PSSR は近傍にあるアンテナ回転型 SSR を親局として質問信号のタイミング、方向、モードといった SSR 運用プロファイルを常時監視しつつ、任意の方向からやって来る航空機からの応答信号も受信する。ただしケーブルや電波反射等の影響によって、対象航空機の本来の位置と大幅に異なる偽像（架空の目標、ゴースト）が発生することがある。特に空港周辺の空域は空港隣接の SSR 親局に近いためゴーストが連続して発生しやすく、ゴーストと本来の航跡とを区別することは困難である。

航跡の平滑化処理等の支障となるため、前処理としてゴースト等のノイズデータを除去し適切な航跡を抽出する必要がある。我々はグラフ理論で Directed Acyclic Graph (DAG: 有向非巡回グラフ) と呼ばれる構造及び DAG 内での最長経路を求めるアルゴリズムを利用して、受信データが少々欠落しても時系列順に適切な距離間隔で受信点が並ぶ航跡抽出法を開発した。<sup>(1)</sup>

## 4. まとめ

近接航空機測位システムは、マルチラレーションほどの広域監視範囲及び測位精度を要求されない代わりに、空港周囲半径 30NM 程度にあるターゲットを簡易に監視可能なシステムとして有用と考えられる。本年度は近接航空機測位システムの受信局側を製作した。来年度は送信局側の製作を予定している。なお本システムは日本において特許出願中（特願 2016-182464）である。

また提案した航跡抽出法は航跡に含まれるノイズデータ除去に有効であり、航空機位置推定精度の向上に役立つ。

### 掲載文献

- (1) 北折潤，塩見格一．“受動型二次監視レーダ受信データからの航跡抽出法，” 電子情報通信学会技術研究報告 SANE. Jan.2018, Vol. 117, No. 403, pp. 95-100.



## 無人航空機を含む飛行環境形成の要素技術に関する研究【基盤的研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○河村 暁子, ニッ森 俊一, 米本 成人, 森岡 和行
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

近年の急速な小型無人航空機の利用拡大に伴い、国内外で小型無人航空機と有人航空機のニアミス事案が多数発生している。こうした背景から、有人航空機と無人航空機の調和がとれた飛行を実現する技術として、同一空域を飛行する有人/無人航空機の位置を一元的に把握できる技術に期待が集まっている。本技術は、世界的に研究が進められている、UTM(Unmanned Aircraft System Traffic Management: 無人航空機運航管理)の概念を実現するためにも有効である。

先行研究では、無人航空機の位置推定技術に関する基礎研究を実施し、様々な手法を模索する中で無人航空機が発するテレメトリ波が位置推定に有効である可能性を明らかにした。本研究では、機体位置の把握技術をさらに深く、多面的に検討する。

### 2. 研究の概要

本研究の目的は、従来の有人機システムに親和性の高い無人航空機向け技術を開発することにより、無人航空機と有人航空機の安全で調和した飛行環境の実現に資することである。具体的には以下の2課題を柱とし、無人航空機の位置を把握する方法の要素技術の開発検討を実施する。

#### (1) 無人航空機が発するテレメトリ信号を用いた機体位置把握技術の開発

先行研究から、無人航空機が操縦者へ発する機体のセンサ情報であるテレメトリ信号を利用することが有効である可能性が明らかになっている。本研究では、当該信号波形の特徴解析等を通し位置把握技術の高度化およびさらなる開発検討を行う。

対象とする手法は、機体運航の関係者以外も、無人航空機が発する信号の外形を受信することで位置を推定できるため、空港等の重要施設の保護に効果が見込まれる。

#### (2) 既存の監視技術を無人航空機へ応用した際に生じる技術課題の検討

前述の UTM を実現する技術の候補として、有人航空機向け監視システムである ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) を無人航空機へ応用することへの期待が一部の小型無人航空機関係者へ広がっている。しかし

ながら、ADS-B の小型無人航空機における利用の効果や、特に有人航空機へ与える影響について、これまで全く検証が行われておらず明らかでないため、総合的な検討を行う。

また、無人航空機を取り巻く世界情勢は急速に変化していることから、上記の研究課題と並行して、機体の大きさに関わらず無人航空機全般の情報収集・分析に努める。

### 3. 研究成果

#### (1) 無人航空機が発するテレメトリ信号を用いた機体位置把握技術の開発

到来時間差を基本とし、飛行中の無人航空機が発するテレメトリ波を地上の同期した複数点で受信し、その時刻差から双曲線測位計算を行う。この手法は時刻差を検出するための信号波形の立ち上がり時間が、結果である位置の精度に大きく影響する。よって小型無人航空機でよく利用される6種のテレメトリ信号波形の特徴解析を実施し、Xbee Wifi, DJI 2.4GHz 帯・5.8GHz 帯通信機, WiMAX において同手法を精度良く適用できる可能性があることがわかった。

電波無響室にて、このうち Xbee Wifi 2.4GHz テレメトリ波を対象とした位置推定の構成と結果をそれぞれ図 1, 図 2 に示す。E/O は電気光変換、測定器はオシロスコープを用いている。図 2(a)は4本の受信アンテナ(★印)の中心に置かれた機体(送信機)の位置を(0,0)座標における点のばらつき程度の位置精度で推定できることを意味する。図 2(b)は機体を中心から左方向/右下方向へ移動したときの位置推定結果をそれぞれ●印と▲印で示している。これより比較的精度よく位置を推定できる可能性があることがわかる。

今後は、屋外のノイズ環境での測定による信号抽出方法や、複数機体からの信号の識別方法について検討を行う。

#### (2) 既存の監視技術を無人航空機へ応用した際に生じる技術課題の検討

今年度は、既存技術の無人航空機への導入によって生じる課題の抽出の後、ソフトウェアラジオを用いた ADS-B 干渉信号を生成する装置を開発した。今後、生成した干渉信号を様々なシナリオに従って加工したうえで実際の ADS-B In/Out 受信機へ混入させ、復調可否を判断するシステムを製作する。



く行い、特に国内産業界、国外の法整備を担当する行政機関との情報交換を密に行った。また、各種会議において無人機関係者に対し有人航空機の安全への啓発活動に努めた。

掲載文献

(1)河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行, 米本成人. “小型無人航空機の現状と監視通信における今後の展望,” H29 年度電子航法研究所発表会, 2017 年 6 月.

(2)河村暁子, 角張泰之, 森岡和行, ニッ森俊一, 米本成人. “小型無人航空機の RoF を用いた位置推定の基礎検討,” IEICE ソサイエティ大会, A-9-10, 2017 年 9 月.

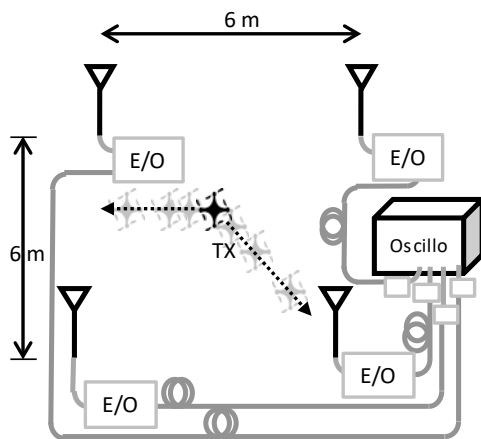
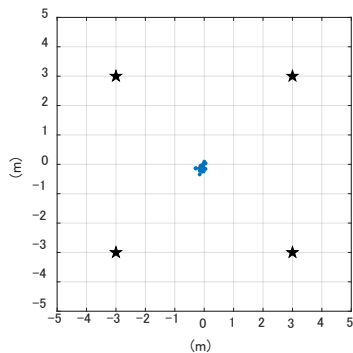
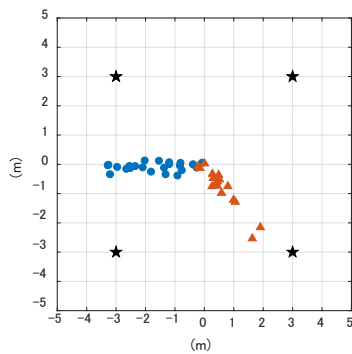


図 1 テレメトリ信号を用いた無人機の機体位置測定構成



(a) 4 受信点中央で機体を固定したとき



(b) 機体が移動しているとき

図 2 テレメトリ信号を用いた無人機の機体位置把握結果

4. まとめ

本研究は無人航空機と有人航空機の調和がとれた飛行に資する技術開発を目的とし、今年度より3年計画で開始した。初年度は、到来位相差を用いた位置推定および既存の有人航空機向け監視システムの無人航空機への応用に関する課題抽出、検証装置の開発を実施した。

さらに、UAS の国内外における情報収集や動向分析も広

## ヘリコプタ全周監視支援技術に関する研究【基盤的研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	〇ニッ森 俊一, 米本 成人, 河村 暁子, 森岡 和行
研究期間	平成29年度～平成31年度(3カ年)

### 1. はじめに

近年、自動車事故防止のための安全システムへの適用を中心に、ミリ波レーダ等を用いた運輸安全技術に関する議論や関連する安全システムの研究開発が国内外で活発に行われている。航空機の中でも比較的低高度を有視界飛行するヘリコプタの場合、気象や周囲構造物の影響で障害物等の発見に支障が生じ、事故等の危険な状況が発生する恐れがある。最近の機種別事故統計によれば、ヘリコプタは全体に占める事故割合が高く、それらの事故原因のうち、乗員の周囲の障害物に対する状況認識に起因すると考えられるケースが少なくはない。これら障害物等の事前察知及び周囲監視のための操縦者支援システムとして、可視・赤外カメラやレーダ等の様々なセンサを組み合わせたシステム等の研究がこれまで行われている。さらに、近年では、送電線鉄塔等の障害物データベースと自機位置のGPS情報に基づき接近警報を発生するシステムも検討されている。

こうした背景の中、電子航法研究所では、これまで76 GHz帯ミリ波レーダを中心センサデバイスとして、ヘリコプタ前方1マイル程度に存在する送電線等の障害物を探知するための前方監視用ミリ波レーダを開発してきた。近年、今後運航需要増が見込まれているヘリコプタの運航安全の維持及び向上を確保するため、遠方前方のみならず、近距離で全周囲の障害物を監視可能とする技術に対するニーズが高まりつつある。

### 2. 研究の概要

本研究の目的は、ヘリコプタの運航安全に資するため、これまでの研究成果を踏まえ、ヘリコプタ運用者側のニーズに沿った性能および機能を有する航空機周辺状況監視システムを研究開発することである。具体的には次の3項目である。

- (1) これまでの研究開発では比較的遠方の1マイルを監視する技術開発を行ったが、低高度においてヘリコプタの機体周辺の全周を監視することで、パイロットの死角を減少させ、障害物認知度を向上する。図

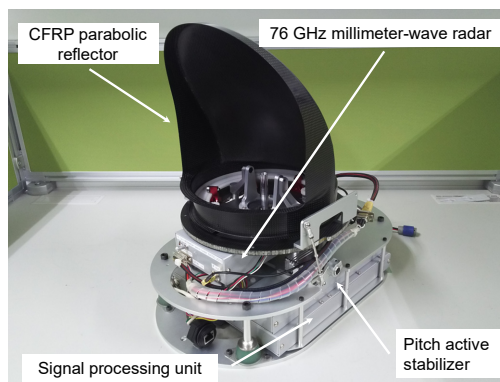


図1. 76 GHz 帯前方障害物探知ミリ波レーダの概観



図2. 76 GHz 帯前方障害物探知ミリ波レーダの飛行試験用ヘリコプタへの搭載状況

1および図2に、それぞれ試作した76 GHz帯前方障害物探知ミリ波レーダの概観およびヘリコプタ搭載状況を示す。

- (2) 死角を減少させるためには、3次元移動を行うヘリコプタでは全周を覆域とする必要があるため、高速ビーム走査技術やミリ波信号処理技術等を新たに適用し、機上搭載用レーダに適したシステムを開発することにより、従来にない優れた安全運航支援監視技術を提供する。
- (3) 上記2点を達成することで、航空局のCARATS研究開発ロードマップで示されている研究開発テーマ(OI-12, OI-31)に対して適切な研究開発成果を提供し、今後の我が国における航空安全技術や安全施策の検討に資する。

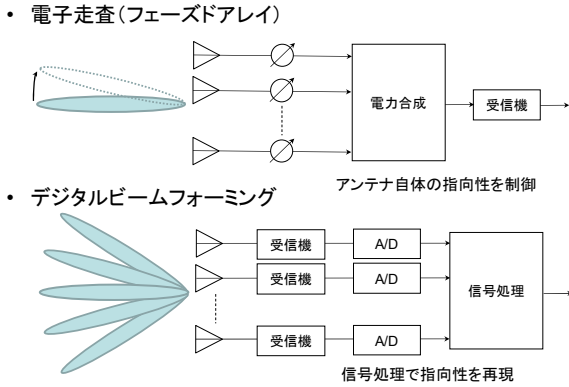
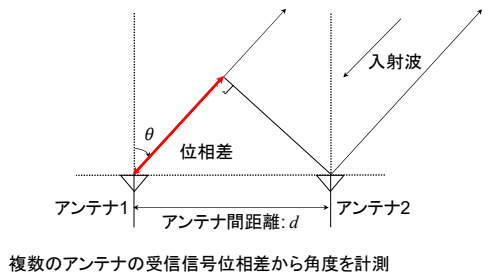


図3. 電子走査(フェーズドアレイ)とデジタルビームフォーミングの動作ブロック図



図4. レーダ信号処理回路の概観

- 位相モノパルス



$$\Delta\phi: 2つのアンテナの受信信号位相差 \quad \theta = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta\phi}{2\pi d}\right)$$

図5. レーダ信号処理回路の概観

### 3. 研究成果

1年目の平成29年度においては、主として下記の3項目について検討を行った。

- 複数送受信機能を有する76 GHz帯ミリ波レーダ用フロントエンド回路の原理確認  
COTS製品を用いた回路構成を適用し、レーダフロントエンド回路の原理確認を実施した。図3に、電子走査(フェーズドアレイ)および適用を検討しているデジタルビームフォーミングの動作ブロック図を示す。
- 機体全周監視に適したミリ波レーダデジタルビームフォーミング方式の基本検討と原理確認

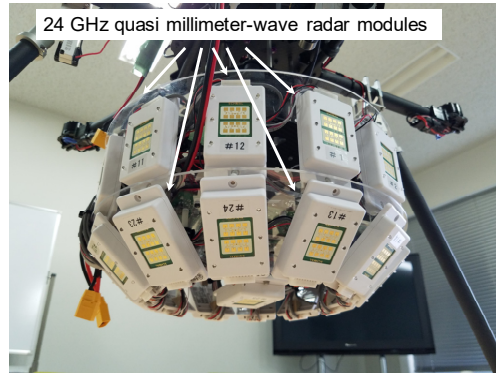


図6. ヘリコプタ全周監視支援システムの基礎実験用24 GHz 帯準ミリ波レーダシステムの概観



図7. 無人航空機を用いたヘリコプタ全周監視支援システムの基礎実験状況

FPGAとリアルタイムOSを用いた信号処理回路の動作確認を実施した。レーダ信号処理回路の概観を図4に示す。また、探知対象物測角方式として検討を行っている、位相モノパルス方式の概要を図5に示す。

- 24 GHz帯準ミリ波レーダを用いた全周監視・障害物情報表示法の検討

全周監視支援用24 GHz準ミリ波レーダおよび無人航空機を用い、探知試験を実施した(図6および図7)。なお、フィールド実験および電子航法研究所敷地内(飛行許可申請済)実験を継続中である。

さらに、宇宙航空研究開発機構および北海道放送との共同研究において、76 GHz帯前方障害物探知用ミリ波レーダを用いた送電線探知試験を山梨県大菩薩峠付近で実施した。図8に山梨県大菩薩峠付近における実験環境を示す。また、図9にレーダ探知結果と送電線データベースの合成画面例を示す。図左側が地図上にレーダ探知結果と送電線铁塔データベースを描画している。緑点がデータベース上の送電線铁塔位置であり、赤線が送電線铁塔間の送電線である。また、黄点がレーダで探知した障害物の位置である。

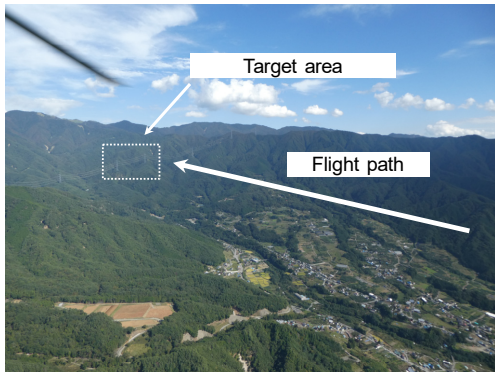


図 8. 山梨県大菩薩峠付近における実験環境

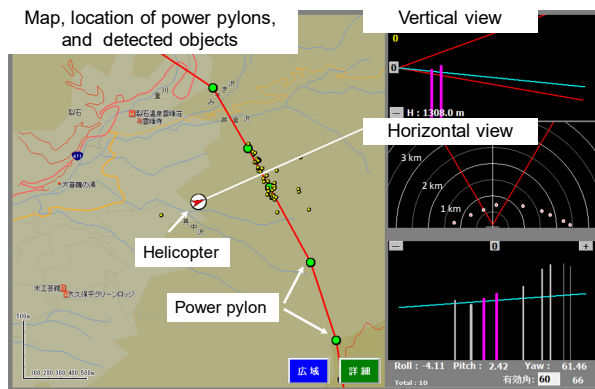


図 9. レーダ探知結果と送電線データベースの合成画面

また、右側の図では送電線鉄塔データベースにおける送電線鉄塔の位置を、垂直面および水平面において表示している。これらの図から、送電線鉄塔および送電線から40点以上の反射を取得し、探知していることが確認できる。送電線鉄塔で2 km以上、送電線で1.6 km以上の探知距離を確認し、2011年に実施した際よりも4倍以上の探知距離を達成した。

#### 4. まとめ

平成29年度は、全周監視が可能となるセンサシステムを実現するため、デジタルビームフォーミング方式等の要素技術の検討を実施した。また、これまでに試作した76 GHz帯前方障害物探知用ミリ波レーダのヘリコプタ実機搭載試験を実施し、従来に比べて大幅な性能向上を確認した。また、76 GHz帯前方障害物探知用ミリ波レーダの追加実験実施および全周監視支援用レーダ搭載実験のため、宇宙航空研究開発機構および北海道放送との共同研究継続を検討中である。

#### 掲載文献

(1) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 小林 啓二, 桂 信生. “ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダの研究開発,” 平成29年度 (第17回)

電子航法研究所研究発表会講演概要集, pp.1-4, Jun. 2017.

(2) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 坂本 信弘, 曾我 登美雄, 米本 成人. “3Dプリンタを用いて構築するW帯ミリ波レーダ用高利得リフレクトアレイアンテナの電磁界数値解析および特性評価,” 電子情報通信学会技術研究報告. Jul. 2017, EST2017-26, pp. 95-100.

(3) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 宮崎 則彦, 米本 成人. “ミリ波レーダ技術を用いたヘリコプタ障害物監視支援システムの研究開発,” 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会, BI-1-3, pp. SS41-SS42, Sept. 2018.

(4) S. Futatsumori, C. Amielh, K. Morioka, A. Kohmura, N. Miyazaki, and N. Yonemoto. “Investigation of circular polarization for 76 GHz helicopter collision avoidance radar to improve detection performance of high-voltage power lines,” Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Radar Conference 2017 (EuRAD2017), pp. 295-298, Oct. 2017.

(5) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 塩地 誠, 米本 成人. “準ミリ波レーダを用いたヘリコプタ全周監視支援技術の基礎実験,” 第55回飛行機シンポジウム講演集, 1F12, JSASS-2017-5087, Nov. 2017.

(6) S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Miyazaki and N. Yonemoto. “Fundamental investigations on helicopter all-around obstacle detection using quasi millimeter-wave radar system -experiments based on a low-transmitting power radar system and a multicopter-,” Proceedings of the International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2017 (ICSANE2017). Nov.2017, SANE2017-82, vol. 117, no. 321, pp. 101-104.

(7) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 宮崎 則彦, 米本 成人. “76 GHz小電力ミリ波レーダを用いた森林環境における超高压送電線の反射電力特性測定,” 2018年電子情報通信学会総合大会, B-2-32, p. 191, Mar. 2018.

(8) S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Sakamoto, T. Soga and N. Yonemoto. “Feasibility evaluations of three-dimensional-printed high-gain reflectarray antenna for W-band applications,” IEICE Communications Express. Apr.2018, vol. 7, no. 6, pp. 230-235.



## 航空機内データ通信（WAIC）における電磁環境評価に関する基礎研究【萌芽的研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	〇ニッ森 俊一，米本 成人，河村 暁子，森岡 和行
研究期間	平成28年度～平成29年度（2カ年）

### 1. はじめに

乗客が持ち込むスマートフォン等の電波を発する電子機器や航空機内での業務遂行のためにタブレット等の電子機器の航空機内での利用に対するニーズが高くなっている。これらのニーズに応えるべく我が国においても、国際基準に準拠しつつ、電子機器の使用や電子機器を用いたサービスに対する安全性の評価方法を策定してきたところである。このような評価を行う場合、航空機固有の電波伝搬特性が重要なファクタとなっており、個別の航空機毎に実測値を用いて安全性を評価している。また、新しい航空機に対しては航空機設計プロセスの過程で様々な電波に対する電磁干渉の可能性について事前検討、あるいは実機による評価が求められている。

こうした状況の中、近年近い将来機を視野に航空機内のセンサ等の情報通信が4 GHz帯を用いた航空機内データ通信（Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC）を用いて無線化することが世界的に検討されており、現在とは異なるより高い周波数帯での電磁環境両立性を検討する必要がある。そのためには上記の通り、事前検討もしくは実機評価が必要であるが、それらの評価法に対して有効なEMC評価技術の規格化が進められている。

### 2. 研究の概要

本研究の目的は、今後の新たなWAIC帯域を用いた無線通信機器と航空機のEMC評価技術の確立および国際規格策定に資することである。具体的には、次の3項目について研究を進めた。

- (1) WAIC周波数帯域（4 GHz帯）において、以前から実施しているスーパーコンピュータを用いた大規模電磁界数値解析法を用い、大型航空機へ適用可能な航空機電磁干渉数値解析技術を確立する。
- (2) EUROCAE WG-96/RTCA SC-236等に参加し、WAICおよび航空機電磁干渉に関する国際規格化に参加することで、新たなEMC規格の策定に貢献する。
- (3) 電磁干渉報告書調査および分析を継続することで、航空機EMCの現状について最新干渉経路損失および

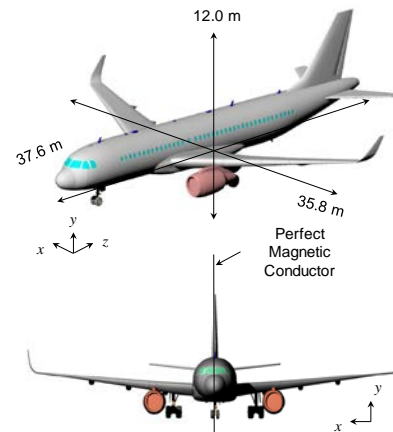


図1. WAIC周波数帯大規模電磁界数値解析のために構築したA320-200型機の三次元数値モデル

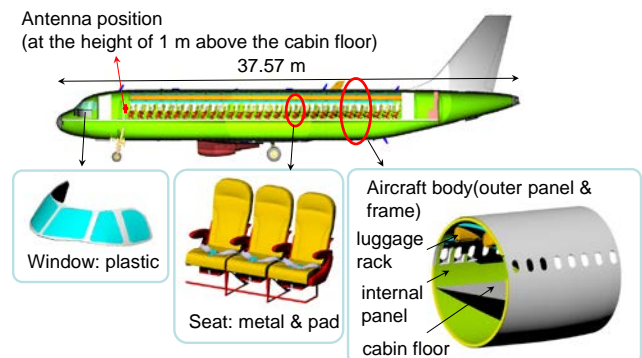


図2. A320-200型機の三次元数値モデル内部構造

干渉発生報告等のデータを保有し、航空機運航・製造メーカーおよび電子機器メーカー等へ情報提供を行う。

### 3. 研究成果

WAIC周波数帯域におけるEMC適合性評価技術の検討については、WAIC帯域における大型航空機電磁界推定技術の適用可能性を確認した上で、航空機内外の詳細電磁界分布推定を実現した（図1および図2）。

また、EUROCAE WG-96/RTCA SC-236に参加し、電子航法研究所での成果を報告することで標準規格策定に貢献した。さらに、国際規格策定会議での動向や各国状況について、航空局、総務省および民間各社と随時情報交

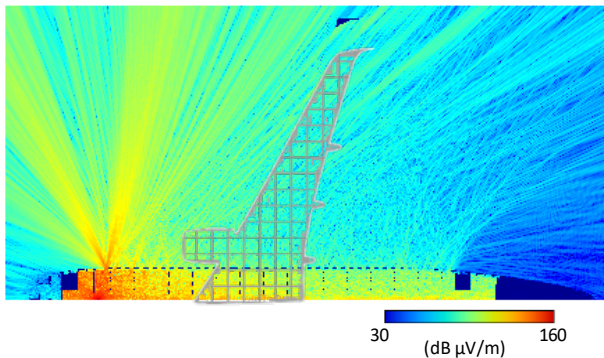


図3. A320-200型機におけるWAIC周波数帯  
2次元電磁界分布解析結果例

換を行い、最新動向の共有や今後の協力関係確認を実施した。

#### 4. まとめ

予定通りWAIC周波数帯におけるEMC評価技術を新たに提案するための研究を実施した。なお、WAIC機器と電波高度計および隣接帯域を用いる通信機器との共用条件の検討等、新たな課題が発生したため本萌芽的研究の研究期間を短縮し、継続して新規指定研究を提案した。

#### 掲載文献

- (1) T. Hikage, K. Yahagi, M. Shirafune, T. Nojima, S. Futatsumori, A. Kohmura, and N. Yonemoto. "Numerical estimation of WAIC-band propagation characteristics in aircraft cabin using large-scale FDTD analysis," Proceedings of 2016 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting, TH-UB.5P.6, June, 2016.
- (2) 矢萩幹人, 白船雅巳, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "A320型航空機モデルを用いたWAIC周波数帯機内電波伝搬特性の推定," 2016年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-24, p. 24, Sept. 2016.
- (3) K. Yahagi, M. Shirafune, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Narahashi, S. Futatsumori, A. Kohmura and N. Yonemoto. "Large-scale FDTD analysis of 4.4 GHz-band propagation characteristics in aircraft cabin," Proceeding of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2016), 3B1-3, pp.566-567, Oct. 2016.
- (4) 白船雅巳, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "大規模FDTDシミュレーションを用いた航空機GPS装置への干渉経路損失推

定," 2016年電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.123, Nov. 2016.

- (5) 矢萩幹人, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "Wireless Avionics Intra-Communication周波数帯における航空機内伝搬特性の数値解析," 2016年電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.124, Nov. 2016.
- (6) S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, T. Hikage, K. Yahagi, M. Shirafune, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Narahashi. "Aircraft electromagnetic field estimation for Wireless Avionics Intra-Communication band using large-scale FDTD Analysis," Proceedings of the 2017 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium, pp. 1-2, March, 2017.
- (7) T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Futatsumori, A. Kohmura, N. Yonemoto. "FDTD analysis of cross polarization characteristics for 4.4 GHz-band radio propagation inside aircraft cabin," Proceeding of the 2017 Asian Workshop on Antennas and Propagation (AWAP2017), pp.61-62, Jun. 2017.
- (8) 関口徹也, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "大規模 FDTD 解析を用いた機外 WAIC システムの 4.4 GHz 帯電波伝搬特性推定," 2017 年電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.123, Oct. 2017.
- (9) 関口徹也, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "大規模 FDTD 解析を用いた 4.4GHz 帯 WAIC システムのための機内-機外伝搬特性推定," 電子情報通信学会技術研究報告. Jan.2018, vol. 117, no. 382, AP2017-172, pp. 121-124.
- (10) S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, T. Hikage, T. Sekiguchi, M. Yamamoto, T. Nojima. "Analysis of radar altimeter interference due to Wireless Avionics Intra-Communication Systems by Using Large-Scale FDTD Method - Investigation on Airbus A320 class passenger aircraft-," Proceedings of the 2018 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium, pp. 1-2, March, 2018.
- (11) 関口徹也, 日景隆, 山本学, 野島俊雄, ニッ森俊一, 河村暁子, 米本成人. "大規模 FDTD 解析を用いた 4.4 GHz 帯機外 WAIC システム設計のための伝搬特性推定," 2018 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, Mar.2018, p.5.



## ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発【競争的資金】

担当領域	監視通信領域
担当者	○米本 成人, 金田 直樹, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行
研究期間	平成 26 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

現行の新幹線や、近い将来導入が予定されているリニアモーターカーは移動速度が大きく、1000 人程度の乗客が一列車に集中することから、公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足する回線速度を実現することは困難である。今後、スマートフォンやクラウドコンピューティングが社会基盤として益々重要性を増してくるため、高速鉄道の車中でも安定したブロードバンド環境の需要は非常に高い。

そのためには車内の通信をまとめて、高速鉄道と地上を接続するためのバックホール回線が重要となる。この回線として、Gbps (bit per second)級の高速通信を実現するために、マイクロ波帯に比較して広帯域な周波数割り当てが行われているミリ波帯の利用が検討されている。一方で周波数が高い分、伝搬減衰が大きくなるため、それらを補償する技術が求められている。

本研究ではミリ波と光無線の技術を活用して、200km/h以上の高速鉄道に対して Gbps 級の通信を実現する技術を複数の研究機関で分担して研究開発する。その中で、電子航法研究所では光通信による通信技術の開発を担当している。

### 2. 研究の概要

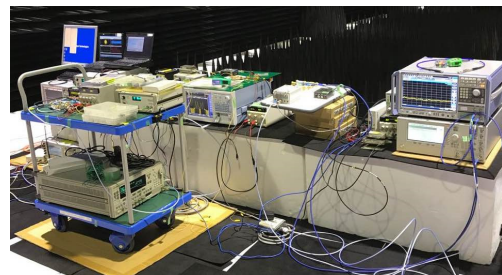
本研究は総務省の「電波資源拡大のための研究開発」の一環として実施され、平成 26 年度から平成 30 年度までの 5 年計画である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

平成 26 年度	逡倍に適したミリ波帯位相変調信号生成の技術開発
平成 27 年度	逡倍に適したミリ波帯多値変調信号生成の技術開発
平成 28 年度	光逡倍を用いた通信方式の検証
平成 29 年度	光逡倍器によるミリ波通信システムの構築試験
平成 30 年度	光逡倍ミリ波通信システムの実証試験

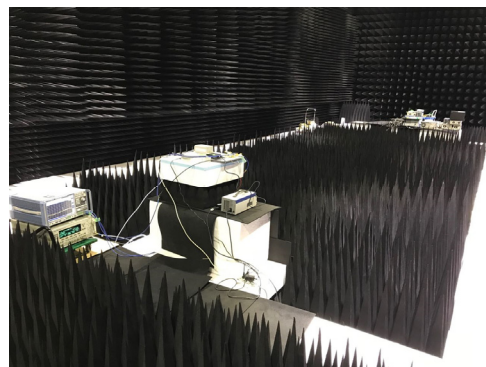
### 3. 研究成果

平成 29 年度の実施事項は、90GHz 帯で光逡倍方式を使

用した場合の実パケット送受可能な通信システムの構築である。光逡倍型のファイバー無線にソフトウェア無線機を接続し通信試験を行った。図 1 に基地局側と車上局側のシステム外観を示す。BPSK 変調で UDP パケットを生成し、10mW の送信出力で送信した。送受信アンテナには標準ホーンアンテナを用いて、10m 伝搬後のパケット誤り率を測定したところ、 $2.47 \times 10^{-4}$ であった。これらシステムにエラー訂正機能を付加すれば、エラーフリー通信が可能なレベルの誤り率であり、本方式を用いてパケット通信ができることを実証した。



a) ファイバー無線接続型基地局



b) 10m 離れたところに配置した車上局

図 1 通信試験装置の外観

本研究は株式会社日立国際電気、国立研究開発法人情報通信研究機構、公益財団法人鉄道総合技術研究所、株式会社 KDDI 研究所、早稲田大学との共同研究として実施された。

#### 掲載文献

- (1) 金田直樹, 米本成人, 川西哲也. “光 2 逡倍により生成した 96GHz 信号のシンボルレートと信号品質の関

係, ” 信学技報. 2017 年 5 月, vol. 117, no. 23, MWP2017-7, pp. 37-41.

- (2) Atsushi Kanno, Pham Tien Dat, Naokatsu Yamamoto, Tetsuya Kawanishi, Naruto Yonemoto, Vo Nguyen Quoc Bao, Tan Hanh, Le Quoc Cuong, Kenichi Kashima, Nobuhiko Shibagaki. “Radio Over Fiber Signal Generation And Distribution And Its Application To Train Communication Network,” The 12th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, P4-017, Singapore, 31 July - 4 August, 2017.
- (3) Naoki Kanada, Naruto Yonemoto, Tetsuya Kawanishi. “EVM Evaluation For Wideband Radio Over Fiber System At 96GHz,” The 12th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, P4-010, Singapore, 31 July - 4 August, 2017.
- (4) 金田直樹, 米本成人, 川西哲也. “光 2 週倍による 1G シンボル/秒伝送時の位相誤差評価, ” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, C14-4, 2017 年 9 月.
- (5) Naoki Kanada, Naruto Yonemoto, Tetsuya Kawanishi. “Vector Signal Generation by Optical Frequency Doubler for MMW Train Communication Systems,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, MB1.3, Tsukuba, Japan, December 4-6, 2017.
- (6) Naoki Kanada, Naruto Yonemoto, Tetsuya Kawanishi. “Vector Signal Generation and Transmission by Radio over Fiber System with Frequency Doubling at 96 GHz,” SPIE Photonics West, Paper 10559-12, January, 2018.

新世代ネットワーク実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証【競争的資金】

担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○米本 成人, 角張 泰之, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行  
 研究期間 平成 26 年度～平成 29 年度

1. はじめに

次世代 (5G) 無線通信においては, Gbps (bit per second) を超える伝送速度が要求されることから, 無線信号のキャリア周波数をミリ波帯とすることが有望な候補となっている。高密度ユーザー集中環境では, 多数の端末への無線信号の競合・干渉や不要反射の影響が生じ, 現在のマイクロ波 800MHz~2GHz を用いた無線通信では, これらの影響を抑えることが難しい。しかし, 5G 無線の本命であるミリ波帯では, 自由空間伝搬減衰が大きいものの, 回折が少なく直進性が高いため, 高利得アンテナ等で電波を集中させることが比較的容易となる。しかしながら, このような通信システムを構築するとき, 従来のマイクロ波無線通信システムにはない新しい空間的な電波管理機能が必要とされている。

本研究ではミリ波と光無線の技術を活用して, スタジアム等の高密度に多数の通信ユーザーが集中している環境で Gbps 級の通信を実現する技術を日本と欧州の 13 機関が連携して研究開発する。その中で, 電子航法研究所はミリ波端末の位置を推定し, 高利得アンテナで端末にピンポイントに電波を送信するための 60GHz 帯 RoF トランシーバーの開発と端末位置推定技術の開発を担当している。

2. 研究の概要

本研究は欧州連合の共同研究開発プロジェクト (Horizon 2020) の日欧共同研究の 1 課題であり, 平成 26 年 10 月から平成 29 年 9 月までの 36 カ月計画である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

- 平成 26 年度 利用シナリオの検討
- 平成 27 年度 60GHz RoF レシーバーの技術検討
- 平成 28 年度 60GHz 端末の位置推定
- 平成 29 年度 通信評価試験

3. 研究成果

平成 29 年度の実施事項は, 通信評価実験である。60GHz の端末と通信可能なファイバー無線接続型基地局を構築し, 通信試験を行った。実験機器の概要を図 1 に示す。通信機は 1000base-X のデジタル信号で ASK 変調した光信号にさらに 30GHz の周波数で強度変調をかけて, 光領域で無線周

波数を 2 通倍することで 60GHz の ASK 信号を生成する仕組みとした。中央装置で生成した光信号を遠隔アンテナ局で電波に変換した場合の無線スペクトルを図 2 に示す。全 4 組の基地局を製作し, 電波無響室, 吹田スタジアム等にて実証試験を行った。これらの機器を用いて通信実験を行った結果, 実スループットとして 940Mbps の速度で通信可能となった。また, これらの信号を活用した端末の位置推定試験を行った。WiFi や携帯電話等に比べて広帯域の無線信号を用いることで, スタジアムを模擬した空間において 10cm 以下の精度で位置が推定できることも実証した。

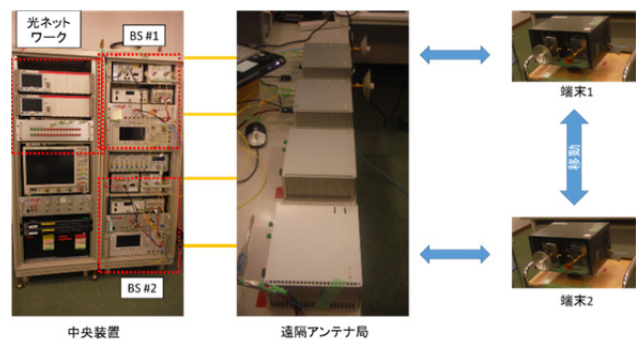


図 1 60GHz ファイバー無線接続型通信機概要

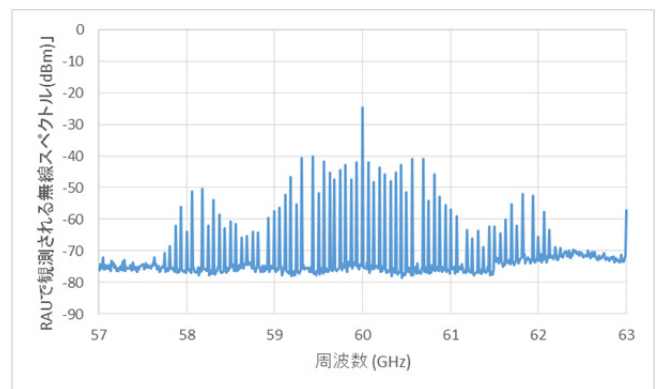


図 2 60GHz 送信時の無線スペクトル

掲載文献

- (1) Naruto Yonemoto. “ENRI’s contribution in RAPID,” RAPID kick-off and 1st project meeting, Brussels, Belgium, Oct. 2014.
- (2) Naruto Yonemoto. “RAPID 5G,” MWP/APMP2014 brochure, Oct. 2014.

- (3) 角張泰之, 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行. “60GHz 信号を用いた移動端末位置推定の基礎検討,” 信学技報. 2015 年 1 月, vol. 114, no. 434, MWP2014-84, pp.229-232.
- (4) 角張泰之, 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行. “60GHz 信号による TDOA 測位の検討,” 2015 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, C-14-18, 2015 年 3 月.
- (5) 池田研介, 角張泰之, 戸田裕之, 米本成人, 井上敏之, 塩見英久, 村田博司, 柴垣信彦, 眞野浩. “マイクロ波・ミリ波融合通信のためのフォトニックベース無線リンクの基礎検討,” 信学技報. 2015 年 7 月, vol. 115, no. 145, MWP2015-39, pp. 159-164.
- (6) 村田博司, 井上敏之, 塩見英久, 池田研介, 角張泰之, 戸田裕之, 米本成人, 柴垣信彦, 眞野浩. “高密度ユーザ集中環境下における次世代無線通信のためのフォトニックベースミリ波リンクの基礎検討,” 2015 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, C-14-7, 2015 年 9 月.
- (7) 角張泰之, 米本成人. “60GHz 信号による TDOA 測位の検討(2),” 2015 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, C-14-12, 2015 年 9 月.
- (8) 米本成人, 角張泰之. “60GHz 端末位置推定のための RoF 受信システムの構築,” 信学技報. 2015 年 11 月, vol. 115, no. 336, MWP2015-54, pp. 11-14.
- (9) 井上敏之, 村田博司, 池田研介, 角張泰之, 米本成人, 戸田裕之. “5G 無線通信のためのフォトニック技術を用いたミリ波信号の生成と空間多重信号の分離・検出,” 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, BCS-1-6, 2016 年 9 月.
- (10) Toshiyuki Inoue, Kensuke Ikeda, Yasuyuki Kakubari, Naruto Yonemoto, Nobuhiko Shibagaki. “Millimeter-Wave Wireless Signal Generation and Detection Using Photonic Technique for Mobile Communication Systems,” 2016 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), TuM1.8, Long Beach, CA, USA, 31 Oct.-3 Nov. 2016.
- (11) 井上敏之, 村田博司, 角張泰之, 米本成人, 池田研介, 柴垣信彦, 戸田裕之, 眞野浩. “アレイアンテナ電極電気光学変調器を用いたミリ波無線 Gb/s データ伝送,” 信学技報. 2017 年 1 月, vol. 116, no. 391, MWP2016-86, pp. 219-222.
- (12) 池田研介, 村田博司, 井上敏之, 米本成人, 角張泰之, 柴垣信彦, 戸田裕之, 眞野浩. “マイクロ波・ミリ波融合のためのフォトニックベース無線リンク,” レーザ一学会学術講演会第 37 回年次大会, 光通信 4, 光ファイバ無線技術, 2017 年 1 月.
- (13) 角張泰之, 米本成人. “RoF 接続型リモートレシーバを使用した移動端末位置推定の基礎実験,” 信学技報. 2017 年 5 月, vol. 117, no. 23, MWP2017-6, pp. 31-36.
- (14) 村田博司, 井上敏之, 池田研介, 角張泰之, 米本成人, 戸田裕之, 柴垣信彦, 眞野浩. “スタジアムにおける 5G 無線通信のためのフォトニックベースヘテロジニアス無線システム,” 信学技報. 2017 年 7 月, vol. 117, no. 143, MWP2017-20, pp. 65-69.
- (15) 米本成人, 角張泰之. “複数セルの動的割当のための波長制御光ネットワークの検討,” 信学技報. 2017 年 7 月, vol. 117, no. 143, MWP2017-22, pp. 75-79.
- (16) Naruto Yonemoto, Yasuyuki Kakubari, Yui Otagaki, Hiroshi Murata, Kensuke Ikeda. “MMW Remote Antenna System of Vector Network Analyzer for Propagation Measurement in Stadium,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, TB3.3.
- (17) Yasuyuki Kakubari, Naruto Yonemoto. “MMW Mobile Terminal Positioning using Remote Receivers,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, MB1.4.
- (18) Hiroshi Murata, Yui Otagaki, Naruto Yonemoto, Yasuyuki Kakubari, Kensuke Ikeda, Nobuhiko Shibagaki, Hiroyuki Toda, Hiroshi Mano, Usman Habib, Nathan Gomes. “Millimeter-Wave Communication System Using Photonic-Based Remote Antennas for Configurable Network in Dense User Environment,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, TC3.5.
- (19) Mattias Steeg, Naruto Yonemoto, Jonas Tebart, Andreas Stohr. “Substrate-Integrated Waveguide PCB Leaky-Wave Antenna Design providing Multiple Steerable Beams in the V-band,” Electronics, 6, 107, MDPI, 2017.
- (20) 米本成人, 角張泰之. “動的セル配置が可能な RoF 波長制御型ミリ波通信システム,” 信学技報. 2018 年 1 月, vol. 117, no. 409, MWP2017-94, pp. 251-255.
- (21) 角張泰之, 米本成人. “RoF 接続型リモートレシーバを使用した移動端末位置推定実験,” 信学技報. 2018 年 1 月, vol. 117, no. 409, MWP2017-91, pp. 235-240.
- (22) Hiroshi Murata, Hiroyuki Toda, Naruto Yonemoto, Yasuyuki Kakubari, Nobuhiko Shibagaki, Kensuke Ikeda, Hiroshi Mano. “Photonic-based heterogeneous wireless

links for 5G network in dense user environment,” SPIE  
Photonics West, Paper 10559-9.



担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○ニッ森 俊一  
 研究期間 平成27年度～平成29年度(3カ年)

1. はじめに

樹脂系複合材は、アルミニウム合金と比較して比強度が高く、高性能かつ機体の軽量化による運用コスト低減が達成できるため、民間航空機分野においてもその応用が進んでいる。航空機の内外における電磁環境特性について、アルミニウム合金を主要構造材として用いた従来の航空機では、これまでの膨大な測定実験結果に基づき、携帯電話およびスマートフォン等の機内持ち込み携帯電子機器（PED）の影響評価手法および機内使用ガイドライン等が確立され、実施主任者らは既存の航空機に対する電磁環境両立性（EMC）の評価を実施している。

しかし、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）積層板等の樹脂系複合材を主要構造として用いた航空機における電磁環境特性は、詳細な電磁界伝搬特性等が明らかとなっていないため、詳細な調査検討が必要である。また将来、樹脂系複合材およびPED等の無線機器の使用は航空宇宙分野のみならず、自動車、鉄道など多くの分野での応用が期待されている。これまでに樹脂系複合材の電磁界特性の測定評価を行っているが、さらに、CFRP積層板で構成された構造体の電磁環境の高精度推定法とEMC評価手法が必要となっている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、CFRP積層板等（図1）の樹脂系複合材を主要構造として用いた構造体において、航空機等を具体例として、電磁干渉（EMI）影響を定量的に評価するための数値解析基礎技術と、将来の樹脂系複合材の広範な利用に向けたEMC技術を確立することである。本研究は3カ年計画であり、平成27年度から平成29年度まで、次の3項目について研究を進めた。

- (1) 統計的均一電磁界評価系を用いたCFRP積層板電磁界特性の詳細評価・定量化技術  
 CFRP構造体内部で、統計的均一電磁界環境を実現可能なリバレーションチャンバ（図2）を用いた内部電磁界分布評価および構造体Q値等、その詳細特性の定量化を行う。

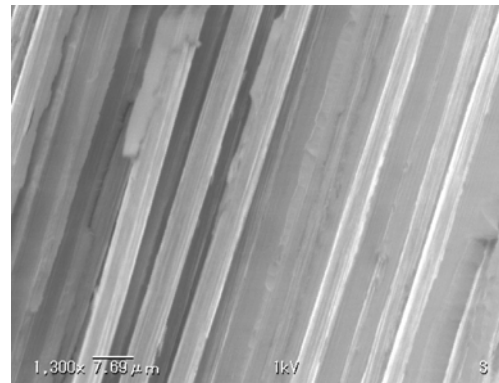


図1. CFRP 繊維電子顕微鏡写真（1,300倍）



図2. 電磁界特性評価のためのリバレーションチャンバを用いた測定系概観

- (2) 小型航空機干渉経路損失測定および数値モデル化  
 電子航法研究所の小型双発航空機ビーチクラブトB300型機を用いた干渉経路損失測定から、実航空機の機内外電磁界特性およびEMI特性を取得する。測定結果から、従来アルミニウム金属製航空機の数値解析モデルを構築し、時間領域差分法（FDTD）を用いた数値解析推定技術の確立を目指す。
- (3) CFRP積層板を主要構造とした航空機の電磁環境および干渉経路損失の数値解析推定技術  
 CFRP積層板を主要構造材として用いた航空機内において、機内のPEDから放射される電磁波について、小型航空機を数値モデル化しFDTD法に基づく数値解析を行う。これらの結果を用い、EMI定量化に向けた解析技術確立を目指す。

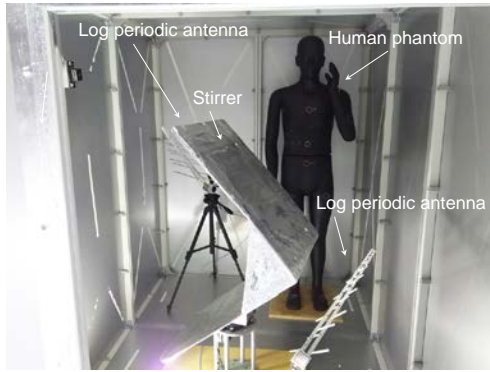


図 3. 負荷装加リバレーションチャンバの内部状況

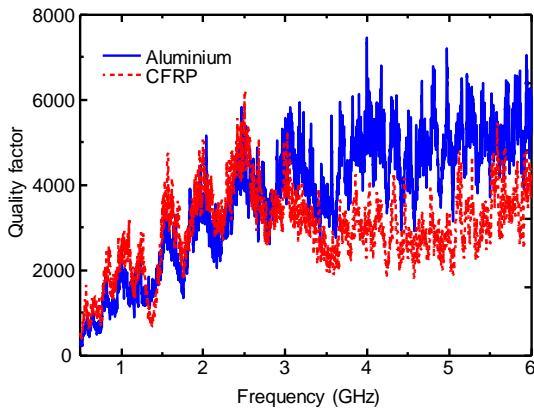


図 4. 無負荷リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (全金属製と 5 面 CFRP 積層板の比較)

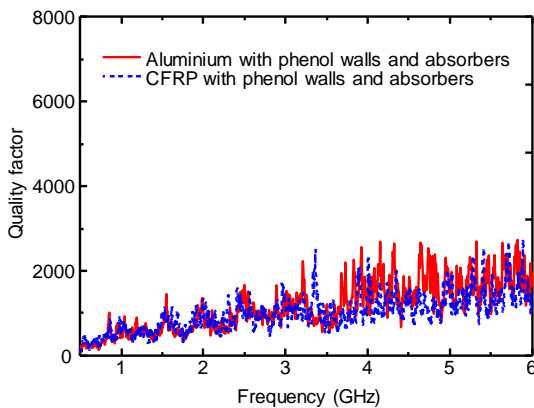


図 5. 負荷装加リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (内部フェノール材および電波吸収体設置の比較)

### 3. 研究成果

実験と数値解析の両面から検討を行い、CFRP構造体について従来金属製構造体と同等の電磁界特性となる条件および異なる電磁界特性となる条件を明らかにした (図 3)。具体的には、平織材および擬似等方性CFRP積層板では、厚みが0.3 mm程度でもアルミニウム板と同等の遮蔽特性 (50 dB程度) となることを確認した。また、壁面の一部をCFRP積層板で構成した構造体内部に蓄えられる電磁界エネルギー (Q値) を測定評価し、3 GHz以下ではアルミニウム製構造体内部の電磁界特性とほぼ同等で

あることを確認した。一方、内部に電磁界損失媒体が存在しない場合、3 GHzを超えるとQ値はCFRP積層板の面積に比例して減少する (図4) が、電磁界損失媒体が存在する場合は、CFRP積層板による影響はほぼ観測されなかった (図5)。さらに、ビーチクラフトB300型機を用いた干渉経路損失測定および電磁界数値解析を実施した。

### 4. まとめ

樹脂系複合材を用いた次世代航空機における電磁界特性を明らかにするための検討を行い、CFRP構造体の詳細な電磁界特性を明らかにした。

### 掲載文献

- (1) S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto. "Investigation of microwave electromagnetic field characteristics inside carbon fiber reinforced plastic structures -fundamental electro- magnetic characteristics of composite materials for aircrafts-," Proceedings of the International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016 (ICSANE2016), SANE2016- 88, pp. 195-198, Nov. 2016.
- (2) ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人. "電磁界損失媒体が航空機内部電磁界特性に与える影響-人体ファントムを設置した電波反射箱の構造体 Q 値測定評価-, " 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-4-40, p. 318, 2017 年 3 月.
- (3) S. Futatsumori. "Measurement of microwave electromagnetic field characteristics inside the reverberation chamber based on carbon fiber reinforced plastic structure," Proceedings of the 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017), 4A\_11, p.1733, May. 2017.
- (4) S. Futatsumori. "Comparison of stored electromagnetic field energy between carbon fiber reinforced plastic and all-metallic structures -evaluation of microwave quality factors using a reverberation chamber-, " Proceedings of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2017), pp.1-4, Sept. 2017.
- (5) S. Futatsumori, T. Hikage. "Microwave electromagnetic field characteristic evaluations in aircrafts containing lossy materials based on quality factor of a reverberation chamber," Proceedings of the 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2017), pp. 1-2, Nov. 2017.

【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○森岡 和行  
 研究期間 平成27年度～平成30年度

1. はじめに

マルチユーザ MIMO (Multiple Inputs and Multiple Outputs)システムは、複数の端末と基地局の間で同時に無線伝送を行うことにより、システム全体の周波数利用効率を向上させる技術であり、近年盛んに研究が行われている。商用システムではLTE-Advanced, WiMAX2等において本技術の導入が行われている。航空通信分野においても、WiMAX規格に基づく次世代航空通信技術 AeroMACS(Aeronautical Mobile Airport Communications System)の検討が行われており、将来的にマルチユーザ MIMO技術の導入も期待される。

2. 研究の概要

本研究はJSPS科研費 15K18073の助成により行われている。平成28年度は、高い信頼性が求められる航空無線通信に適したMIMO方式である、Continuous Phase Modulation-Multiple Inputs Multiple Outputs (CPM-MIMO)方式を提案し、送信アンテナ数が2及び4の場合について評価を実施した。平成29年度は、CPM-MIMO方式を8送信アンテナの場合に拡張するとともに、MIMOの符号化方式として非直交符号を適用することによって周波数利用効率を改善できることを示した。

3. 研究成果

CPM-MIMO方式の8送信アンテナの場合についてシミュレーションを実施し、MIMO符号化として用いる符号の直交性を犠牲にすることで送信レートを向上し、結果として周波数利用効率(NSE: Normalized Spectral Efficiency)が改善されることを確認した。図1に周波数利用効率の比較結果を示す。図中の「OSTBC」はMIMO符号化として用いる符号が直交符号の場合を示しており、その他比較として準直交符号である「Toeplitz Code」を用いた場合、その発展形である「GOTC-O (Group Orthogonal Toeplitz Code)」を用いた場合を示している。なお、図中「GOTC-O」の後の数値は、符号作成の際のグループ化率を示している。また、「Q-GOTC」は提案する非直交符号を用いた場合の結果を示している。図より、提案方式

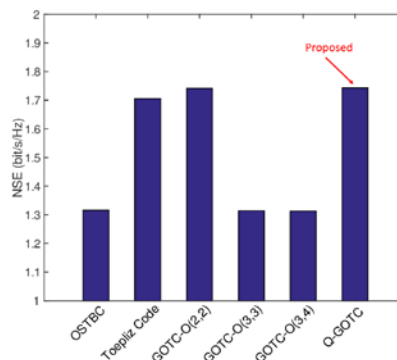


図1. 様々な符号を用いた周波数利用効率評価

を用いることにより、直交符号を用いた場合に比べて周波数利用効率が大幅に改善している様子が分かる。さらに、提案方式は、同程度の周波数利用効率を実現できる「Toeplitz Code」や「GOTC-O(2,2)」と比較してブロック長が短いという特徴があり、復号遅延を小さくできるという利点がある。

4. おわりに

今年度は、送信アンテナ数が8の場合のCPM-MIMOについて検討し、非直交符号を適用することによって周波数利用効率を改善できることを示した。次年度は、ソフトウェア無線を用いた評価システムを構築し、提案方式の有効性評価等を実施する予定である。

掲載文献

- (1) K.Morioka, S.Yamazaki, D.Asano. “Study on Spectral Efficiency for STBC-CPM with Two and Four Transmit Antennas,” Proc. of the IEEE International Symposium on Signal and Information Technology (ISSPIT 2017), 2017.
- (2) 山崎, 森岡. “マルチアンテナシステムの基礎と動向,” 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2017.
- (3) 森岡, 金田, ニッ森, 河村, 米本, 住谷. “プログラマブルSoCと広帯域トランシーバを用いた再構成可能な統合型航空通信端末に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, 2018.



担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○古賀 禎  
 研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

### 1. はじめに

近年これまでの海上における航行安全に関する施策や、レーダ・AIS (Automatic Identification System)・ECDIS (Electronic Chart Display and Information System：電子海図情報表示装置)・BNWAS (Bridge Navigational Watch Alarm System：船橋航海当直警報装置)等の航海支援機器の義務化、登録船舶数及び輻輳海域交通量の減少もあり、船舶の事故は漸減の傾向である。一方、衝突事故に関しては、下げ止まりの傾向であり平成 25 年度の事故隻数は前年より増加に転じた。衝突事故を起こしている船種としては、大半が 20 総トン未満の小型船舶である漁船とプレジャーボートで約 6 割弱を占めている。

AIS の搭載が義務化されているのは、例えば内航船では 500 総トン以上の船舶(外航船 300 総トン以上、旅客船は全て)のみであり、約 6,000 隻の内航船に占める割合は 2 割以下に過ぎない。また、約 36 万隻にのぼる小型船舶は AIS 搭載義務の対象外である。小型船舶は電波を透過しやすい FRP 製であることが多く、荒天時等の海面反射や雨雪反射によって、船体からのレーダエコーが埋没してしまうことがある。

### 2. 研究の概要

本研究では、広く普及している携帯端末に着目した。小型船舶では、より大きな商船等に装備される国際 VHF 無線電話は一般的では無いが故に、唯一の通信手段として操船者自身が携帯端末を所持することが非常に多い。携帯端末での交信中の発信電波や、移動中に複数の基地局セルから構成される位置エリアを越えた際、及び一定時間毎、また電波が弱まったときに発信される「位置登録」電波を受信し、電波の到来方位を探知する。電波の強度や、複数位置からの方角等から、電波発信源の位置範囲を特定、PC の地図上にマッピングし、航行中の見張り支援に資する。

また、探知した携帯端末の位置範囲を周辺の船舶と共有して目標の位置精度を上げることや、仮想の AIS ターゲットとして、レーダや ECDIS 上に重畳して表示し、航海機器が増えることによる船員の方々の見張りの負担を減らすことについても、検討を行う。

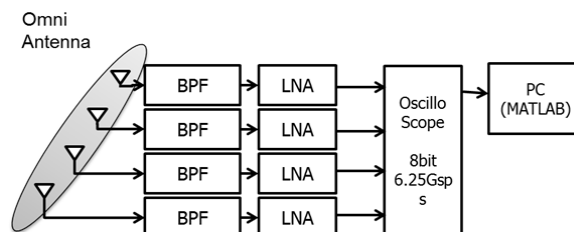


図 1. 電波発信源探知システムの構成

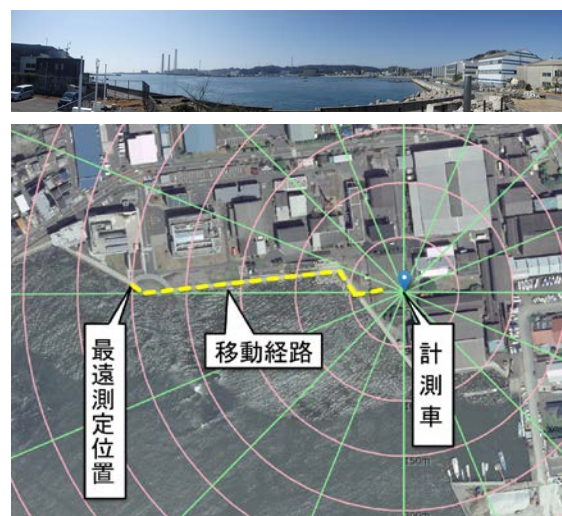
### 3. 研究成果

平成 29 年度は、平成 28 年度までに構築した携帯電波源探知システムの構築およびフィールド実験を行った。

#### (1) システムの構築

現在の携帯電話は、複数の周波数帯の電波を並行して利用している。本研究では周波数帯は、伝搬損失が少なく、移動体通信の海岸付近で広く使用されている 800MHz 帯を選択した。800MHz は 2 つの通信方式、第 3 世代移動通信システム (W-CDMA, 3G) および LTE (Long Time Evolution, 3.9G/4G) が存在する。

試作した電波発信源探知システムの構成を図 1 に示す。800MHz の信号をバンドパスフィルタ (BPF)、ローノイズアンプ (LNA) によって増幅後、オシロスコープに入力する。RF 信号を 6.25Gsp/s で AD 変換し、PC に転送する。



※ 国土地理院「地理院地図」を使用

図 2. 実験フィールド



図 3. 受信アレイアンテナ

PC 上では、MATLAB を利用して、複数アンテナの受信信号から電波の到来方位を導出する。到来方向推定は、Beam Former アルゴリズムを実装した。

#### (2) フィールド実験

電波発信源探知システムの性能を評価するため、フィールド実験を実施した。実環境により近い環境とするため、海に隣接する港湾空港技術研究所の敷地内で実験を行った。図 2 に実験フィールドの写真を示す。

図 2 上の写真は計測車の受信アンテナから携帯端末の発信源(目標)の方向を見たパノラマ写真、下は航空写真である。放射線の中心に計測車を配置した。等距環の間隔は 50m である。

携帯電話を、海岸線に沿って西方(画像左側)に移動し、その到来方向を計測車に設置した到来方向推定システムにより測定した。

フィールド実験に用いたアレイアンテナを図 3 に示す。6本のモノポール(ホイップ)アンテナが確認できるが、実際に受信信号の処理に利用したものは4本である。アンテナ高さは、地上面からアンテナ基部まで4.7m、標高は2.5mであった。

LTE 携帯端末の結果について記述する。計測車から携帯電話を移動して計測を行った。距離が 250m 地点までの信号を検出可能であった。次に、250m の位置において、受信信号から方位を導出した。携帯電話は静止し、受信側アンテナを水平回転(0~72 度、12 度毎)させ、到来方位を推定した。結果を図 4 に示す。グラフの横軸が目標の真方位、縦軸が測定方位となる。0 度付近では、真方位と測定方位は一致する。一方、アンテナの正面から目標方位が離れていくと、バイアス方位誤差およびジッタ誤差が大きくなる。72 度付近では、バイアス誤差 5.2 度、ジッタ誤差の標準偏差 2.5 度となるが、全ての方位

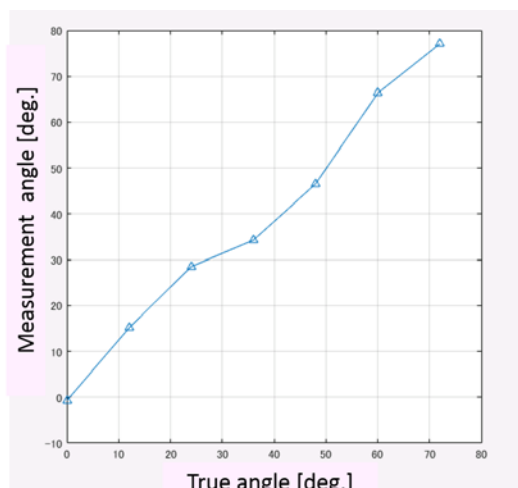


図 4. 角度測定実験の結果

において目標値の 16 方位(22.5 度)以内に収まった。

3G (W-CDMA) 携帯端末についても同様の手順で実験を試みたが、目標の電波を安定して受信することができなかった。W-CDMA では、携帯基地局の近傍の携帯電話出力により、遠方にある携帯電話の信号の抑圧を防ぐため、“遠近問題”と呼ばれる)、携帯基地局近傍に携帯電話がある場合、送信出力を低下させる。実験場所付近には、携帯基地局が存在するため、携帯からの電波出力が弱かったものと推定される。

#### 4. まとめ

本研究では、通信中の携帯端末の電波を、受信装置単独で探知し、船舶同士の衝突を予防するための基礎的な実験を行った。そして、LTE 端末の場合、距離 250m (12kt で 40sec.)において、方位精度 $\pm 10^\circ$  で携帯端末からの電波の到来方位を導出できることを確認した。方位精度は目標値である 16 方位を満たした。探知距離は目標値 370m に対し 67% 程度達成した。

今後は、受信アンテナの配置や、海上での出力等を考慮し、より遠距離で目標の位置も含めて探知できる様、検討を深めたいと考えている。

#### 掲載文献

- [1]古賀禎, 疋田賢次郎. “海上における電波発信源探知システムの基礎実験,” 2018 年電子情報通信学会総合大会, 2018.
- [2]疋田賢次郎. “海上における携帯端末の電波探知による衝突予防の可能性について,” マリン IT ワークショップ 2018 にいがた, 2018.



担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○本田 純一  
 研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

1. はじめに

電磁波散乱を含めた電波伝搬特性の解析は、無線システムの構成や機器性能要件等の算出のみに関わらず、すでに構築されたシステムで発生する検出率低下等の原因を突き止め、その解決方法を提示する上でも重要な研究に位置づけられる。航空分野では様々な無線システムが利用されており、またマルチパス等による機器性能低下が散見されるが、運用者には目に見えない電波を直観的に把握することが難しく、物理的な観点からの解決が後手に回ることが多い。

本研究は、航空分野で利用される、もしくは利用を期待される無線システムについて、環境に応じて解析手法を選択もしくは組み合わせたハイブリッド計算手法を開発し、運用者に電波の振る舞いを把握できるように可視化することを目的とする。また、精度の検証を行うために、他の研究テーマによる実験結果等を参照して、提案手法の妥当性についても検証する。

2. 研究の概要

本研究は三カ年計画であり、本年度は下記を実施した。

- ① 簡易レイ・トレーシング法の計器着陸システム (ILS) への解析応用
- ② FDTD 法, PO 法の基本プログラミングの実施
- ③ ローカライザー電波の測定

3. 研究成果

3.1 計器着陸システムへの応用

前年度に引き続き、簡易レイ・トレーシング法の ILS への応用を試みた。今年度はグライドスロープ (GS) への適用を進めた。性能検証も同時に進めており、国内外の当該システム解析用のソフトウェアと計算結果を比較しながら精度検証を行った。本分野では GS アンテナ前方の地形を二次元に限定した解析が多いが、本研究では二次元の解析精度を検証しつつ三次元モデルへの適用を目指した改良を進めている。

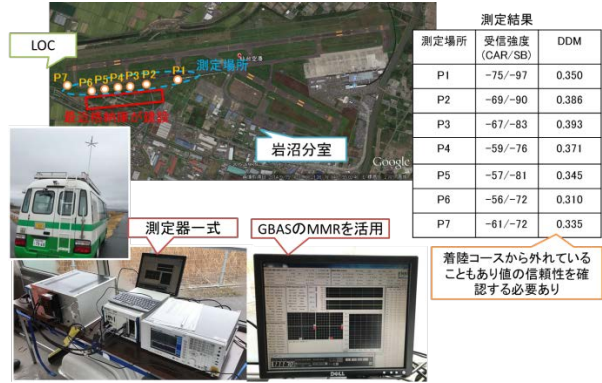


図 1：測定の様子と結果

3.2 ローカライザー電波の測定

LOC 電波の実環境における特性を確認するために、信号測定を行った。実験にはスペクトラムアナライザーと GBAS 用の受信機を用いた簡易な測定系とした。本測定では、LOC のメインビームの外側で測定したこともあり、受信した信号が安定していなかった。このため、測定系を見直した上で次年度に再測定とし、改めて計算結果との比較を行う予定である。

4. まとめ

本年度は、ハイブリッド簡易高速電磁界計算アルゴリズムの開発継続と ILS LOC について実環境で信号測定を実施した。数値計算では、レイ・トレーシング法の GS への適用を目指した。計算精度については引き続き検証を進める予定である。測定は所内の資産を活用したが、値の安定性等に疑問が残るため、測定系を見直した上で次年度に再実験とする。

この研究は、日本学術振興会における科学研究費助成事業若手(B)(16K18072)の資金助成を受けて実施された。

所外発表

- (1) J. Honda, H. Tajima, H. Yokoyama. "Influences of ILS Localizer Signal over Complicated Terrain," Proc. the 2017 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Complex, Intelligent, and Software Intensive System (CISIS), pp.128-138, Torino, Italy, July 2017.

担当領域	監視通信領域
担当者	○本田 純一, 田嶋 裕久
研究期間	平成 28 年度～平成 30 年度

### 1. はじめに

計器着陸装置 (ILS) は、航空機が空港に安全に着陸するために重要な役割を果たしている。その中でも、ローカライザ (LOC) は、航空機に滑走路中心線からの左右の誤差を知らせる装置として多くの空港で運用されている。しかし、日本のように地形的・経済的に空港内への施設の用地確保が困難になる場合には、沿岸部の空港では、海上に用地を確保し LOC を設置することも今後考えられる。本研究は、このような将来構想を想定し、海上設置型の LOC について、その設置条件に関する研究を実施する。

### 2. 研究の概要

本研究は三カ年計画であり、本年度は昨年同様に下記について実施した。

- ① 関連研究の動向調査
- ② 電磁界解析手法の取りまとめ
- ③ 遮蔽フェンスによる電磁波散乱解析

### 3. 研究成果

海上設置型 LOC では、機体や建物だけでなく海上からの散乱波成分も干渉の要因として考えられる。そこで、不要な電波を遮蔽するための一措置として考えられる遮蔽フェンスの最適な設置方法について検討した。本件については、モーメント法を使って遮蔽フェンスによる電磁界散乱の計算を実施した。図1は遮蔽フェンスのモデルになる。左図はワイヤーモデルを採用した通常の配置を想定したフェンスのモデルで、右図は配置を変化させたときのモデルとなる。

図 2 は  $x=20\text{m}$  としたときの電界強度のハイトパターンを示す。この計算は、LOC が  $x=20\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$  とフェンスに正対して離れた状況を想定し、 $z=-2.5\text{m}$  で電界強度が最小となるようにワイヤの高さを最適化した結果である。本結果のように、フェンスの設置方式によって、干渉をどのように抑えることができるか計算から明らかにすることができる。

### 4. まとめ

海上設置型 LOC について、その設置条件に関する研究

を実施した。昨年度に引き続き、関連研究の動向調査と遮蔽フェンスによる回折波の解析を実施した。今後も、海面からの影響について数値解析を実施する予定である。

この研究は、日本学術振興会における科学研究費助成事業基盤研究(C)(16K06364)の資金助成を受けて実施された。

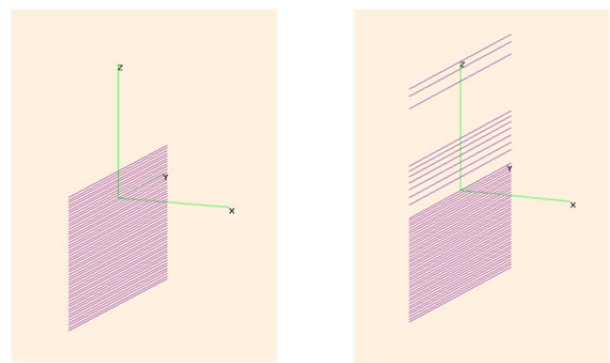


図 1 : 遮蔽フェンスの最適配置に関するモデル図。

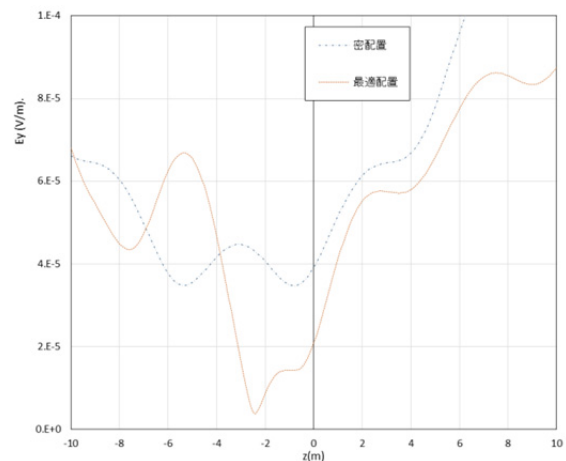


図 2 : 電界強度のハイトパターンの例。

## 新しい空地伝搬測定手法としての航空機監視情報放送の活用【競争的資金】

担当領域	監視通信領域
担当者	○長縄 潤一
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

空地電波伝搬メカニズムの解明およびモデル化は航空機監視システムを下支えする研究課題である。例えば、放送型自動従属監視（ADS-B）や広域マルチラテレーション（WAM）の受信局配置を決める際（覆域設計）には、受信電力を予測するために適切な伝搬損失モデルが求められる。従来、空地電波伝搬の測定には実験用の航空機を用いた飛行実験が行われてきた。飛行実験は精度の高いデータが得られる一方で、コストが高く、実験条件が限られるという課題があった。一方、ADS-B対応の航空機が近年増加しており、それらが放送するADS-B信号を地上で受信して、空地伝搬研究に活用することが期待される。これにより、低コストで多様な飛行経路や機体のデータが得られ、従来の飛行実験を補完することができる。特に電子航法研究所の整備しているADS-B/WAM実験システムではADS-B信号を長期間収集しており、電波伝搬の観点からの分析が待たれる。

### 2. 研究の概要

本研究では新たな電波伝搬測定的手法として在空機ADS-B信号の活用を提案し、提案手法の有効性を評価するとともに、その応用を通じて実用的・学術的な知見を得ることを目指す研究である。JSPS科研費17K14688の助成により、平成29年度から平成31年度までの3ヶ年計画で、以下の項目について研究を進めている。

- (1) 測定可能な伝搬特性とその精度評価を通じた提案手法の有効性の評価
- (2) 各種伝搬損失モデルの評価および新たなモデルの提案を通じた覆域設計に適する知見の導出
- (3) 各種モデルの評価に基づく伝搬メカニズム上の考察を通じた伝搬メカニズムに関する知見の導出

### 3. 研究の成果

平成29年度は主に前述の(1)および(2)の項目について以下の検討を行った。

#### 3. 1 測定・評価環境の構築

ソフトウェア無線機(SDR)を用いたADS-B信号受信機

を実装した。本受信機は標準化された信号解読方式を実装している。また、定性的な議論に基づき測定対象の伝搬特性として受信電力強度に着目した。

#### 3. 2 SDRとADS-B/WAM実験システムの比較

前述のSDRおよびADS-B/WAM実験システムが収集したデータを比較して、信号解読方式や回路構成が受信電力測定に与える影響を調べた。

#### 3. 3 受信電力のモデル化の基礎検討

受信電力変動のモデル化方法の基礎検討を行った。図1の到着機の受信電力変動（自由空間からの変化量）について仲上ライス分布およびdB値の正規分布をあてはめた結果を図2に示す。測定結果との良好な一致を確認できた。引き続き、その他の航空機へモデルを適用し、パラメータ分布推定を進める。

### 4. まとめ

ADS-B信号を活用した電波伝搬測定に向けて、今年度は測定・評価環境の構築、実験システムとの比較、モデル化の基礎検討を行った。今後は、さらなる提案手法の有効性評価と電波伝搬モデルの評価・検討を進める予定である。

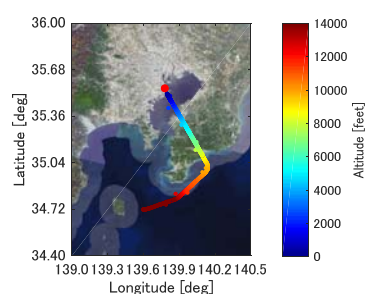


図1 測定対象の航跡

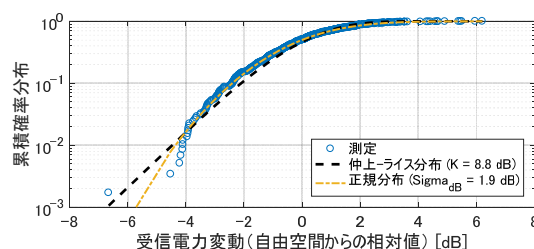


図2 受信電力変動の分布

## 海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究【競争的資金研究】

担当領域	監視通信領域，航空交通管理領域
担当者	○河村 暁子，平林 博子
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

本研究は、国土交通省総合政策局技術政策課が公募し委託する交通運輸技術開発推進制度において、一般財団法人日本海事協会を研究代表者とし、株式会社 ClassNK コンサルティングサービス、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所、ブルーイノベーション株式会社が共同研究機関として参画するものである。

電子航法研究所（以下、当所とする）は、平成 28 年に運輸系の 3 研究所の統合により発足した海上・港湾・航空技術研究所の一部として、本競争的資金研究に参画する。このような 3 研究所にまたがる合同の研究プロジェクトは、統合以来 初の取り組みである。

当所では、平成 22 年度から所内研究において実験用無人航空機の研究テーマを実施し、ICAO における RPAS( Remotely Piloted Aircraft System: 遠隔操縦航空機システム) のための規格策定にも関わってきた。近年は、特にドローンをはじめとする小型航空機の急速な普及に伴い、監視通信領域において「無人航空機を含む飛行環境形成の要素技術に関する研究」、航空交通管理領域では「無人機の円滑運行のためのシミュレーション技術の構築に関する研究」（いずれも基盤的研究）を実施しており、監視通信および航空交通管理の両面から小型無人航空機の運行を支える技術を研究している。

### 2. 研究の概要

加速する人口減少による人手不足のなかで、新しいインフラ維持管理ツールが求められている。ドローンは GNSS を利用することであらかじめ設定した飛行経路を自動で飛行でき、安価に導入・運用できる等のメリットがあり、物流、災害対応、インフラ維持管理等の分野で利活用が検討されている。インフラ維持管理分野では、一部の橋梁やトンネルの点検においてドローンが活用され始めており、他の構造物・施設でもドローンによる点検への期待が高まっている。本課題では、船舶、海洋風車、港湾施設におけるインフラ維持点検について検討を行う。

本研究の目的は、わが国でも今後、ドローンを用いた海洋・港湾分野でのインフラ維持管理の課題を明らかにし、手法を規定することにより、人口減少社会における海洋・

港湾のインフラ点検効率化の実現に資することである。その目的達成のため、具体的には、以下の 3 つの施設においてドローンを用いた点検および効果と課題抽出を実施する。

- 大型貨物船の貨物タンク・貨物倉の内部点検への応用検討
- 海上風車の風車ブレードの点検への応用検討
- 防波堤全面に設置される消波ブロックの沈下量測定への応用検討

本研究は、上記 3 施設におけるドローンを用いた点検の検討および効果と課題の抽出のうち、点検用ドローンに求められる運用方法案や機体機能要件の策定を経て、点検事業者向けのガイドライン策定を達成目標としている。

当所は、小型無人航空機の利用に関する社会的枠組みを決定する数多くの会議メンバーである専門家の立場から、a ~ c 研究全体を通じ、航空法等制度の観点から調査及び整理を実施する。

### 3. 研究成果

当所は、今回提案する点検手法が航空法上許可承認を必要とする飛行であるかについて a ~ c それぞれのケースについて検証を行った。特に洋上風車ブレードの点検においてドローン本体と操縦者の距離が離れている場合には目視内飛行とならないことなどに注意が必要であるという課題が見つかった。

### 4. まとめ

本研究はドローンを用いた船舶、海洋風車、港湾施設におけるインフラ維持点検について検討を行い、次年度の実証実験のうち最終年にガイドライン策定を予定している。

## 広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼自律 UAV を用いた映像伝送技術の研究開発【競争的研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○古賀 禎, 本田 純一, 上羽 正純 (国立室蘭工業大学), 北沢 祥一 (国立室蘭工業大学)
研究期間	平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

近年,農業分野においては, ICT 技術を用いた効率化, 省力化, 軽労化の検討が進んでいる。ここでは, マルチコプタ型ドローンを用いた生育状況の監視が行われており, 無人機の農地監視は今後も拡大が予想される。マルチコプタ型ドローンは容易に利用できる一方, 速度や飛行時間の制限により, 広い農地を効率的に監視することが難しい。広大な農地を抱える地域では, 短時間で効率良く監視可能なシステムが求められている。特に, 北海道は一農家あたりの農地が全国平均の 14 倍以上もあることから, 効率的な監視が必要となる。

広大な農地の監視には固定翼 UAV による監視が有効であるが, これを実現するためには, 固定翼 UAV を自律的に飛行する技術, および遠距離を飛行する固定翼 UAV から安定的に画像を伝送する技術が必要となる。

電子航法研究所 (以下, 当所とする) では, 前述の課題に検討するため, 国立大学法人室蘭工業大学と共同で総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) による研究を開始した。

### 2. 研究の概要

本研究開発では, 総重量 10 kg 以下, 定常速度 25 m/s の固定翼自律 UAV を用いて, 最大伝送距離 1.5km, 情報伝送速度 10 Mbps の映像伝送システムの実現を目指す。

### 3. 研究成果

平成 29 年度は, 3 つの基礎的な技術課題 (5.7 GHz 帯映像伝送技術, 安全飛行のための遠隔監視制御技術, 総合実証実験) の研究を実施した。当所は, 5.7 GHz 帯映像伝送技術を分担している。ここでは, RF 伝搬特性の解析およびシステム設計を行った。

#### 3.1 RF 伝搬特性解析

固定翼 UAV は, 飛行状態の変化などにより, RF 伝搬特性が大きく変化することが予想される。安定的な画像伝送のためには, 伝搬特性の把握が重要となる。そこで, 電波無響室での測定およびシミュレーションを実施し 5.7GHz の RF 伝搬特性を解析した。

##### 3.1.1 電波無響室における測定

当所の電波無響室において実寸大 UAV に

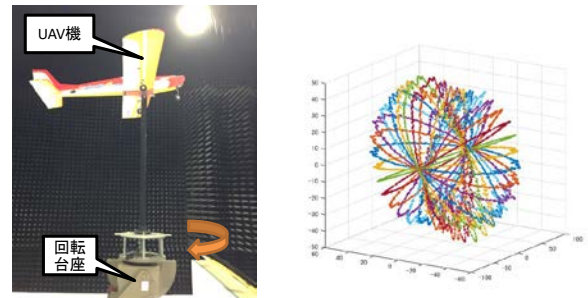


図 1 測定状況と結果

複数の 5.7 GHz のアンテナを設置してアンテナパターンを測定した。図 1 左に測定状況, 図 1 右に 3 次元的アンテナパターンの測定結果を示す。測定の結果, 安定的に送信できるアンテナの設置位置が明らかになった。

#### 3.1.2 シミュレーション

電波無響室における測定は確度の高い検証ができる一方, 測定に時間を要する。伝搬特性の解析を効率的に行うため, シミュレーションによる精度の高いパターン算出方法について検討した[1]。レイ・トレーシング法を用いた数値解析を実施し, 実験結果と比較した。その結果, 概ね振幅の変動については測定と類似する結果が得られた。一方, 機体に搭載された金属部品の影響については, 今後, 精度を高める必要がある。

### 3.2 5.7 GHz 映像伝送システムの設計

5.7 GHz 映像伝送システムの設計を行った。通信方式は, 当所で開発した 5.1 GHz AeroMACS 技術を参考とした。また, ソフトウェア受信機を用いたシステムを構築し, 実装や改良を容易にする。

### 4. まとめ

平成 29 年度は, 5.7 GHz 帯映像伝送技術として, RF 特性の解析およびシステム設計を行った。平成 30 年度は, 映像伝送システムの試作予定である。

#### 掲載文献

[1] 本田他. “固定翼 UAV からの放射パターンの計算結果,” 電子情報通信学会総合大会, 2018 年 3 月.

[2] 古賀他. “追尾アンテナ, 飛翔体, 追尾アンテナ装置,” 特許願 2018-001478



## 90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダーシステムの研究開発【競争的資金】

担当領域 監視通信領域  
担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 金田 直樹  
研究期間 平成 29 年度～平成 31 年度

### 1. はじめに

近年、航空機の安全な離発着を実現するために、滑走路面に落下したボルトなど異物を監視するためミリ波帯レーダーを用いた異物検知システムの検討が欧米を中心に進んでいる。ミリ波帯レーダーにおいて、微小な対象を高精度で検知するためには広い周波数帯域が必要となる。ところが、複数の滑走路を有する拠点空港では、このような異物検知システムを複数台同時に運用する必要がある。さらには、主要鉄道ターミナルやその他の重要インフラにも 90GHz の電波を使用するシステムの適用が検討されている。そのような背景の中、既存の距離分解能は維持しつつ小規模なエリアで複数の同一レーダーシステムを運用する際の相互の干渉抑制を実現する技術が望まれている。加えて、空港外その他業務と周波数帯域の共用を可能とする技術の開発が不可欠となっている。

本研究開発では、精密に同期がとれた電波発射技術、機械可動部によらない電子的な手法による高度なビーム制御技術、スペクトラム制御技術を開発し、同一施設内で複数の 90GHz 帯のレーダーシステムの共用を実現する。これにより、3cm 程度の距離分解能力を維持するための限られた周波数帯域の中で、同一施設内で、複数の異物検知や監視のためのシステムの共用を可能とし、電波の有効利用に資することを目的とする。

電子航法研究所は、離れた場所にある複数の受信設備で得られたデータをもとに、物体の 2 次元的位置を精度よく計算する信号処理技術を確立するための研究開発について担当する。これらの技術を実現するため、滑走路上の重要部分を取り囲むように複数個配置されたアンテナ装置を用いて、異なる角度で取得した情報を複合処理し、二次元的な位置精度を向上させる技術を開発する。

### 2. 研究の概要

本研究は総務省の「電波資源拡大のための研究開発」の一環として実施され、平成 29 年度から平成 31 年度までの 3 年計画である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

平成 29 年度 同時複数受信処理機構の開発  
複数レーダーデータによる 2 次元位置推定

アルゴリズムの開発

平成 30 年度 2 次元位置推定精度向上のためのアンテナ装置設計、試作  
複数レーダー信号処理アルゴリズムの実装

平成 31 年度 協調型リニアセルシステムの性能評価  
2 次元位置推定精度の評価

### 3. 研究成果

平成 29 年度は、同時に複数個所で信号受信ができる機構の構築と、異なる場所に設置した複数のアンテナ局のデータを処理して異物の 2 次元位置を算出するアルゴリズムの構築を行った。検証システムを図 1 に示す。2 つのアンテナ局を用いて測定される 3 つの伝搬パラメータを用いて伝搬距離を計算した。この得られた距離を用いて、連立方程式から交点を算出し、2 次元位置を推定した。図 2 に 9 か所で測定した異物の位置の推定結果を示す。物理的に電波を走査することなく、異物の 2 次元位置が算出できること

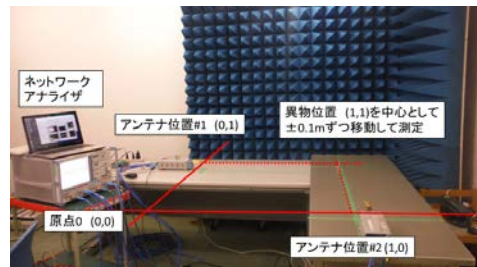


図 1 原理検証システムの外観

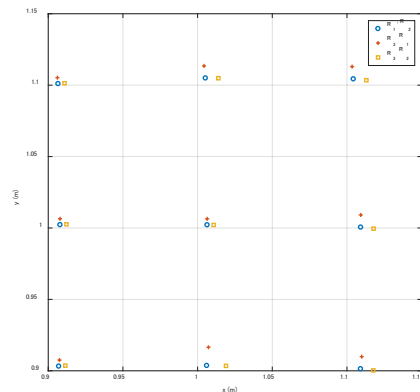


図 2 9 か所に配置した異物の 2 次元位置推定値

を原理的に確認した。

本研究は株式会社日立国際電気，国立研究開発独立行政法人情報通信研究機構，早稲田大学との共同研究として実施された。

#### 掲載文献

- (1) 米本成人，河村暁子，ニッ森俊一，森岡和行，金田直樹. “90GHz 帯を活用した高精度異物検出レーダー，” 信学技報. 2017年10月，vol. 117，no. 246，RCS2017-201，pp. 181-185.
- (2) Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Moroika, Akiko Kohmura, Norihiko Miyazaki, Naruto Yonemoto. “Feasibility Evaluation of Interference Mitigation Methodology for Optically-Connected Millimeter-Wave Radar Based on Common Transmission Signal,” 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, TA1.5, Tsukuba, Japan, December 4-6, 2017.
- (3) Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Naoki Kanada. “90 GHz Foreign Objects and Debris Detection Radar Connected by Radio over Fiber,” The 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2017), Yogyakarta, Indonesia, December 17-20, 2017.
- (4) 米本成人，河村暁子，ニッ森俊一，森岡和行，金田直樹. “散乱信号受信による異物の2次元座標推定，” 信学技報. 2018年1月，vol. 117，no. 409，MWP2017-95，pp. 257-261.
- (5) 米本成人，河村暁子，ニッ森俊一，森岡和行. “滑走路異物検知用光ファイバ接続ミリ波レーダシステム，” 電子情報通信学会誌. 2018年2月，Vol. 101，No.2，pp146-152.
- (6) 米本成人，河村暁子，ニッ森俊一，森岡和行，金田直樹. “90GHz 帯光ファイバ接続型ミリ波レーダーを用いた滑走路上の異物探知システム，” 信学技報. 2018年2月，vol. 117，no. 458，SRW2017-71，pp. 31-36.

## 4 研究所報告

当研究所の平成29年度における研究所報告は、発行されなかった。

No	発行年月	論文名	領域名	著者
		発行なし		

## 5 受託研究

当研究所の平成29年度における受託研究は下記のとおりである。

件名	委託元	実施主任者
成田国際空港向け「GBAS導入要件調査」に係る技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	福島 荘之介
AS365搭載機器の経路損失試験	(株) ウェザーニューズ	河村 暁子
KODIAK100水陸両用機搭載機器の経路損失試験	(株) ウェザーニューズ	河村 暁子
平成29年度運輸多目的衛星の航空安全通信サービス及び運用の管理に係る作業におけるMSASサービスの性能保証に係る作業支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
準天頂衛星を利用したS B A S整備に係る認証作業における安全性評価技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
平成29年度将来の航空交通システムに関する長期ビジョンの実現のための計画の策定等に関する調査分析支援	(株) 三菱総合研究所	岡 恵
洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業	(一財) 航空交通管制協会	森 亮太
RNAV運航に求められる衛星航法補強システムに関する要件調査の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
JA21RH機搭載機器の経路損失試験	ナビコムアビエーション (株)	河村 暁子
広域マルチラテレーション (WAM) 整備の技術支援	(株) 三菱総合研究所	宮崎 則彦
増設平行滑走路に係る運用要件調査に関する実機における航跡解析支援	(一財) 航空交通管制協会	天井 治
危機管理時における航空交通容量等に関する調査支援	(株) レイメイ	平林 博子
平成29年度運航効率の業績指標作成に係るデータ計測調査分析支援	(一財) 航空保安研究センター	岡 恵
火山観測用可搬型レーダー干渉計実験	アルウェットテクノロジー (株)	二ッ森 俊一

## 6 共同研究

当研究所の平成29年度における共同研究は下記のとおりである。

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
監視通信領域	日本電気株式会社	WAMにおけるモードA/C機測位に関する共同研究	H24. 2. 24 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	ヘリコプタの障害物警報システムに関する共同研究 (その2)	H26. 4. 1 ~ H30. 3. 31
	北海道放送株式会社		
監視通信領域	金沢工業大学	ステルス技術の研究	H26. 6. 10 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発	H26. 8. 22 ~ H31. 3. 31
	公益財団法人鉄道総合技術研究所		
	株式会社KDDI 研究所		
	株式会社日立製作所		
監視通信領域	大阪大学	高密度ユーザ集中環境下におけるフォトニックネットワーク技術を用いた次世代無線技術の研究	H26. 10. 1 ~ H29. 9. 30
	学校法人同志社大学		
	一般財団法人電力中央研究所		
	株式会社日立製作所		
	コーデンテクノインフォ株式会社		
航法システム領域	電気通信大学	プラズマバブルの衛星航法への影響に関する共同研究	H26. 11. 12 ~ H30. 3. 31
航法システム領域	(国研) 情報通信研究機構	宇宙天気現象が衛星航法に与える影響に関する共同研究	H27. 4. 1 ~ H30. 3. 31
	京都大学		
	名古屋大学		
航法システム領域	タイ王国モンクット王工科大学ラカバン	Ionospheric TEC Characterization Program 2015	H27. 3. 31 ~ H32. 3. 31
監視通信領域	琉球大学	低緯度域におけるADS-B信号伝搬に関する研究	H27. 5. 1 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	名古屋大学	ADS-Bを用いた航空交通管理に関する研究及び電離圏擾乱がADS-B放送位置に与える影響の研究	H27. 7. 1 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	釧路工業高等専門学校	ADS-B信号の高性能受信技術の研究	H27. 7. 29 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	東北大学	予防安全のための状況認識支援に関する研究	H27. 8. 20 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	室蘭工業大学	高速無人航空機監視システムの研究	H27. 8. 4 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	新潟大学	バイスタティック測位方式による航空機監視技術の基礎的研究	H27. 9. 16 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	東京大学	目立ちやすさの定量化とユーザーインターフェース評価への応用	H27. 10. 8 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	北海道大学	アレーアンテナを用いた航空機発信情報の整合性検証技術の研究	H27. 10. 19 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	首都大学東京	ADS-B情報を用いた航空機における軌道予測精度の向上技術の研究	H27. 10. 26 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	金沢工業大学	航空機監視情報を用いた飛行特性の抽出分析技術の研究	H27. 10. 28 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	海上保安大学校	海上保安業務に資する航空機監視データ利用法に関する研究	H27. 11. 5 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	鹿児島大学	火山噴火が航空機監視システムに与える影響についての研究	H27. 11. 17 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	(国研) 防災科学技術研究所	GNSS受信信号から得られる積雪観測の長期評価と利用に関する研究	H27. 11. 27 ~ H29. 6. 30
監視通信領域	早稲田大学	光通信による無線通信の高速化に関する研究	H27. 12. 8 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	京都大学	航空機の安全運航に資する次世代気象センサーに関する研究	H27. 12. 18 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	気象研究所	SSRモードS気象データによる数値予報の精度向上と航空機の安全運航に関わる気象予測情報の高度利用に関わる研究	H27. 12. 24 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	GBASの利用性向上に係わる研究開発 (その3)	H28. 4. 1 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	日本無線株式会社	光ファイバ接続型受動型監視システムの遠隔クロック同期技術の基礎的研究	H28. 5. 25 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	レーダー反射断面積の高精度測定に関する研究	H28. 5. 27 ~ H33. 3. 31
航空交通管理領域	東京大学	最適な飛行方式設計に関する研究	H28. 6. 1 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	福岡工業大学	地上デジタル放送波を利用したバイスタティックレーダシステムに関する研究	H28. 7. 21 ~ H33. 3. 31



実施領域	相手方	研究課題	契約期間
航空交通管理領域	気象庁気象研究所	避雷飛行支援システムの研究開発	H28. 8. 1 ~ H30. 3. 31
	(国研) 宇宙航空研究開発機構		
航法システム領域	東北大学	受信型航空機動態情報を用いた短期気象予測精度の向上技術の研究	H28. 8. 17 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	日本電気株式会社	準天頂衛星システムを用いた高精度衛星測位補強技術の開発及び実証実験	H28. 10. 31 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	アビコム・ジャパン株式会社	AeroMACS実験	H28. 12. 13 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	三菱電機株式会社	後方乱気流検出装置による高頻度かつ複合的な観測データ収集に関する研究	H28. 12. 15 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	90GHz帯リニアセルによる高精度イメージング技術の実証研究	H29. 3. 31 ~ H30. 3. 31
	公益財団法人鉄道総合技術研究所		
	早稲田大学		
	株式会社日立国際電気		
監視通信領域	株式会社NTTドコモ	航空機内WiFi用VHF帯空地通信に関する研究	H29. 4. 3 ~ H31. 3. 31
航空交通管理領域	関西エアポート株式会社	関西空港における航空機地上走行の課題に関するシミュレーション調査	H29. 4. 25 ~ H32. 3. 31
航法システム領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	日本の空港における航空機着陸時の安全管理間隔基準の策定に関する研究	H29. 4. 21 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	首都大学東京	機械学習を用いた航空交通データ分析の研究	H29. 5. 25 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	日本電気株式会社	FF-ICE/1の導入に向けた国際検証実験に関する研究開発	H29. 5. 10 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	日本無線株式会社	高性能気象レーダ情報の情報共有基盤 (SWIM) での利用技術についての研究	H29. 6. 5 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	古野電気株式会社	準天頂衛星システムL5S信号に対応したGNSS受信装置に関する研究	H29. 3. 14 ~ H32. 3. 31
監視通信領域	有限会社アイ・アール・ティー	ドローンの受動型検知技術に関する基礎研究	H29. 7. 24 ~ H32. 8. 31
監視通信領域	北海道大学	航空機データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究	H29. 10. 6 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	電気通信大学	Es層によるVHF帯異常伝播による航空航法・通信への影響に関する研究	H29. 8. 22 ~ H32. 3. 31
航空交通管理領域	早稲田大学	注意喚起の画面表示色が航空管制業務における気づきに与える影響	H29. 11. 1 ~ H30. 3. 31
	東北大学		
航法システム領域	日本電気株式会社	GBAS電波共用のための屋外検証に関する研究	H29. 10. 12 ~ H30. 3. 20
監視通信領域	金沢工業大学	導電性皮膜を施したプラスチック材料の電波特性評価	H29. 11. 8 ~ H33. 3. 31
	株式会社フジワラ		
監視通信領域	はこだて未来大学	滑走路監視のための信号処理に関する研究	H29. 12. 7 ~ H33. 3. 31
監視通信領域	高知工科大学	超広帯域光変調器を用いた計測システムの研究	H29. 12. 22 ~ H35. 3. 31
監視通信領域	株式会社高田RF技術研究所	薄膜基板による高性能ベースバンドモジュール設計製造技術の研究開発	H30. 2. 7 ~ H32. 3. 31

## 7 研究発表

(1) 第17回研究発表会（平成29年6月8日9日）

- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. WAM受信局配置設計に向けた検出率予測モデル       | 9 関西国際空港へのRNP AR進入方式導入の可能性    |
| 監視通信領域 長縄 潤一                    | 航空交通管理領域 天井 治                 |
| 宮崎 裕己                           | 松岡 猛                          |
| 田嶋 裕久                           |                               |
| 2. ADS-B方式高度維持性能監視の評価結果         | 10 航空機位置情報を用いた出発走行時間の予測手法     |
| 監視通信領域 松永 圭左                    | 航空交通管理領域 山田 泉                 |
| 宮崎 裕己                           | 青山 久枝                         |
|                                 | 住谷 美登里                        |
| 3 SWIMのコンセプトによる監視情報ドメイン構築に関する検討 | 11 進入経路上における管制間隔の気象影響評価       |
| 監視通信領域 呂 暁東                     | 航法システム領域 吉原 貴之                |
| 古賀 禎                            | 藤井 直樹                         |
| 住谷 泰人                           | 航空交通管理領域 瀬之口 敦                |
| 塩見 格一                           |                               |
| 4 空港面異物監視システムの異物検知性能評価          | 12 地上型衛星航法補強システムの可搬性能評価装置     |
| 監視通信領域 米本 成人                    | 航法システム領域 齊藤 真二                |
| 河村 暁子                           | 齋藤 享                          |
| 二ッ森 俊一                          | 吉原 貴之                         |
| 森岡 和行                           | 福島 荘之介                        |
|                                 | 毛塚 敦                          |
| 5 ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダの研究開発      | 13 アジア太平洋地域GBAS電離圏脅威モデル       |
| 監視通信領域 河村 暁子                    | 航法システム領域 齋藤 享                 |
| 二ッ森 俊一                          | 吉原 貴之                         |
| 森岡 和行                           | 坂井 丈泰                         |
| 米本 成人                           |                               |
| 6 小型無人航空機の現状と監視通信における今後の展望      | 14 スポラディックE層が航空通信・航法に与える影響の評価 |
| 監視通信領域 河村 暁子                    | 電気通信大学大学院情報理工研究科 細川 敬祐        |
| 二ッ森 俊一                          | 電気通信大学 宇宙・電磁環境研究センター 富澤 一郎    |
| 森岡 和行                           | 電気通信大学 宇宙・電磁環境研究センター 坂井 純     |
| 米本 成人                           | 航法システム領域 齋藤 享                 |
| 7 洋上管制運用効率化のための経路設計に関する考察       | 15 飛行検査データを活用したDMEの誤差解析       |
| 航空交通管理領域 平林 博子                  | 航法システム領域 毛塚 敦                 |
| マーク・ブラウン                        | 齊藤 真二                         |
| 福島 幸子                           | 麻生 貴広                         |
|                                 | 福島 荘之介                        |
| 8 福岡FIRにおける2013年から2030年の空港需要予測  |                               |
| 航空交通管理領域 マーク・ブラウン               |                               |
| 平林 博子                           |                               |

## (2) 所外発表

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Development of MC/MF GBAS ground experimental system (複数衛星系・複数周波数対応GBASの開発)	齋藤享 吉原貴之	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
GBAS ground performance evaluation tool (GBAS地上性能評価装置)	齋藤真二 齋藤享 吉原貴之	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
Measurement Results of the Compatibility between V-Low Multimedia broadcast and GBAS VDB (マルチメディア放送とGBAS VDBの共用性に関する計測結果)	福島荘之介 齋藤真二	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
Shallow intermediate segment design for RNP to xLS navigation database (RNP to xLS航法データのための緩く降下する中間セグメントの設 計)	福島荘之介 森亮太 井出祐 (ANA) 田村恵一 (ANA) 中西善信 (長崎大学)	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
GBAS interoperability trials and multi-constellation/multi- frequency ground mockup evaluation (GBAS相互運用性試験及び複数衛星系・複数周波数GBAS地上モック アップの評価)	T. Feuerle ( Braunschweig工 科大) M. Stanisak ( Braunschweig工 科大) 齋藤享 吉原貴之 A. Lipp (EUROCONTROL)	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
GBAS ionospheric threat model for ICAO APAC region (ICAOアジア太平洋地域GBAS電離圏脅威モデル)	齋藤享 ICAO APEC ISTF	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
ENRI STATUS REPORT (電子航法研究所のステータス報告)	福島荘之介 齋藤享 齋藤真二 吉原貴之 毛塚敦	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
Comparison of GAST-D results from Ishigaki (石垣におけるGAST-D試験結果の比較)	M. Stanisak ( Braunschweig工 科大) 齋藤享 T. Feuerle ( Braunschweig工 科大) 吉原貴之	平成29年4月	18th International GBAS Working Group
A Forecast of Airport Demand in Fukuoka FIR from 2013 to 2030 (福岡FIRにおける2013年から2030年の空港需要予測)	マーク・ブラウン 平林博子	平成29年4月	Airside Simulation and Performance Assessment Group (ASPAG)
Status of Japanese QZSS and SBAS Programs (日本のQZSS及びMSASの現状)	坂井丈泰	平成29年4月	APEC GIT/22 (アジア太平洋経済協力 第 22回GNSS整備会合)
中期コンフリクト検出技術の必要性と課題	平林博子	平成29年4月	航空交通管制協会 「航空管制」2017年第 2号
Simulation Study for the Examination of the Operational Effect of the Reduced Separation Application between in Ocean Control Airspace (洋上管制空域において短縮航空機間隔適用の運用効果を検討する ためのシミュレーション)	平林博子	平成29年4月	IPACG PM19
空港周辺空域における上昇機のための最適な回避軌道に関する研究	虎谷大地 上野誠也 (横浜国立大学) 樋口丈浩 (横浜国立大学)	平成29年4月	日本航空宇宙学会 第48期年会講演会
R T C Aの活動に参加して	小瀬木滋	平成29年4月	日本航空宇宙学会 第48期年会講演会
CARATS and CNS Upgrade in Japan (日本におけるCNSへの取り組み)	中島徳顕	平成29年4月	IEEE Integrated Communications Navigation and Surveillance
AeroMACS Field Trial at Haneda Airport (羽田空港におけるAeroMACS地上試験について)	大内康博 (アビコムジャパン) 川口英文 (アビコムジャパン) 稲垣敏幸 (アビコムジャパン) 森岡和行 米本成人 住谷泰人	平成29年4月	IEEE Integrated Communications Navigation and Surveillance
Detection Probability Estimation Model for Wide Area Multilateration (広域マルチラテレーションのための検出率推定モデル)	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	平成29年4月	IEEE Integrated Communications Navigation and Surveillance
航空用無線通信システムの現状	住谷泰人	平成29年4月	電子情報通信学会 無線通信システム (RCS)研究会
次世代SBASで利用するGPS航法メッセージの検討	北村光教 麻生貴広 坂井丈泰 星野尾一明	平成29年4月	電子情報通信学会 論文誌 B
指尖脈波データの解析から導き出す精神健康度とその応用	雄山真弓(カオテック) 海津成男(CDC) 丹羽時彦(関西学院大学) 苗鉄軍(CCI) 塩見格一 今西明(いすゞ自動車)	平成29年4月	サイエンス・テクノロジー社

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
AeroMACS Field Trial at Haneda Airport for Next Generation Mobile IP-data Network (次世代モバイルIPネットワークに向けた羽田空港におけるAeroMACSフィールド実験)	花谷昌一 (アビコムジャパン) 大内康廣 (アビコムジャパン) 川口英文 (アビコムジャパン) 稲垣利幸 (アビコムジャパン) 森岡和行 米本成人 住谷泰人	平成29年5月	ICAO Communication Panel Working Group(I) -Internetworking
Concern of Current ASEPS Lateral Model (現行のASEPS横方向モデルに関する懸念)	森亮太	平成29年5月	ICAO SASP-WG/29
Further Investigation of Gross Navigation Error (GNEに関するさらなる分析)	森亮太	平成29年5月	ICAO SASP-WG/29
International and Regional Coordination for FF-ICE/1 Validation (国際・地域連携によるFF-ICE/1の検証)	呂曉東	平成29年5月	ICAO SWIM Task Force/1
VHF帯空港面電磁界解析手法の提案	加藤涼(青山学院大) 須賀良介(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成29年5月	電子情報通信学会 論文誌 C
Japan: The Latest Update on Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) Program (日本: 準天頂衛星システム計画の最新の状況)	坂井文泰 小暮聡(内閣府) 他9名(いずれも内閣府)	平成29年5月	ION Pacific PNT 2017 (2017年米国航法学会太平洋PNT会議)
Long baseline precise ionospheric gradient measurements and its application to GBAS (長基線精密電離圏空間勾配の計測とGBASへの応用)	吉原貴之 齋藤享 齋藤真二	平成29年5月	ION Pacific PNT 2017 (2017年米国航法学会太平洋PNT会議)
FOD Detection System for Runway-A Hybrid Sensor System- (滑走路用異物検出システム-ハイブリッドセンサーシステム)	米本成人	平成29年5月	日立国際電気主催専門セミナー
RoF接続型リモートレーザを使用した移動端末位置推定の基礎実験	角張泰之 米本成人	平成29年5月	電子情報通信学会 MWP研究会
光2通倍により生成した96GHz信号のシンボルレートと信号品質の関係	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成29年5月	電子情報通信学会 MWP研究会
Applying Merging Optimization Method to Extended AMAN (合流最適化手法のE-AMANへの応用)	虎谷大地 ナヴィンダ・キマル・ビクラマシンハ 伊藤恵理	平成29年5月	DLR-ENRI Collaborative Research Meeting
Extended Arrival Management Collaborating with 4 Dimensional Trajectory Management (4次元軌道管理と協調した拡張型到着管理システムに関する研究)	伊藤恵理 ナヴィンダ・キマル・ビクラマシンハ 虎谷大地	平成29年5月	DLR-ENRI Collaborative Research Meeting
Flight Trajectory Optimization for 4-D Trajectory Based Operations (4次元軌道ベース運用を目指した航空機の軌道最適化)	ナヴィンダ・キマル・ビクラマシンハ	平成29年5月	DLR-ENRI Collaborative Research Meeting
ENRI's R&D topics related to air traffic flow and meteorological conditions (航空交通流と気象状況に関連したENRIの研究開発トピック)	吉原貴之 瀬之口敦 藤井直樹	平成29年5月	ICAO APAC事務所 MET/ATMセミナー
A Study on Phase Improvement of Focusing Dielectric Lens Horn Antenna Using Dielectric Slab (誘電体スラブを用いた集束型レンズホーンアンテナの位相特性の改善)	須賀良介(青山学院大) 阿部優樹(青山学院大) 加藤涼(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成29年5月	IEEE MTT-S
Flight Trajectory Optimization for Potential Benefits Estimation in a Future Japanese ATM System (軌道最適化を用いた日本の将来の航空交通システムにおける潜在的便益推定)	ナヴィンダ・キマル・ビクラマシンハ マーク・ブラウン	平成29年5月	BADA User Conference 2017
RNP to xLSのための中間セグメントの設計法に関する検討	福島荘之介	平成29年5月	CARATS PBN検討WG会議
RNP-ARと従来方式が混在する運用方式の実現可能性に関する研究の概要と進捗状況その5 ~関西国際空港を対象とした航空管制リアルタイムシミュレーションの実験結果~	天井治	平成29年5月	CARATS 高規格RNAV検討SG会議
航空管制における航空交通の複雑性の指標について	長岡栄 平林博子 マーク・ブラウン	平成29年5月	日本航海学会 航空宇宙研究会
Measurement of Microwave Electromagnetic Field Characteristics inside the Reverberation Chamber based on Carbon Fiber Reinforced Plastic Structure (炭素繊維強化プラスチック製リバレーションチャンバ内のマイクロ波電磁界特性の測定)	二ツ森俊一	平成29年5月	38th Progress In Electromagnetics Research Symposium
Study of scale-sizes of ionospheric TEC gradients associated with plasma bubbles (プラズマバブルに伴う電離圏勾配の空間スケールに関する研究)	齋藤享 吉原貴之	平成29年5月	JPGU-AGU Joint Meeting 2017

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Overview and Status Goals for Collaborations (協調のための状況とゴールの概要)	平林博子 河村暁子	平成29年5月	NASA幹部-空域統合情報交換
アカラコリドー複線化による衝突リスク低減効果の確認結果	天井治	平成29年5月	航空局 空域調整準備室
航空関連情報共有ワーキンググループ2016年度活動概要	中島徳顕	平成29年5月	JUTM研究会
関西空港でのContinuous Descent Operations(CDO)拡大のための到着管理	福島幸子	平成29年5月	土木学会土木計画学研究委員会 航空交通データ活用ワークショップ
Realtime three-dimensional ionospheric tomography and validation by MU radar (リアルタイム3次元電離圏トモグラフィとそのMUレーダーによる検証)	齋藤享 山本衛(京大大学生存権研究所) 齊藤昭則(京大大学院理学部)	平成29年5月	15th International Workshop on Scientific and Technical Aspects of MST Radar
航空管制官の認知的能力に関する基礎的検討	青山久枝 狩川大輔(東北大学大学院工学研究科)	平成29年6月	日本人間工学会第58回大会
ASPA-IMトライアル報告	伊藤恵理	平成29年6月	CARATS ATM検討WG H29第1回監視アドホック2会合
ASPA-IMの研究開発動向	伊藤恵理	平成29年6月	CARATS ATM検討WG H29第1回監視アドホック2会合
ASPA-IMの実用化に向けて	伊藤恵理	平成29年6月	CARATS ATM検討WG H29第1回監視アドホック2会合
ICAO, RTCA/EUROCAEにおけるIM検討状況	大津山卓哉	平成29年6月	CARATS ATM検討WG H29第1回監視アドホック2会合
Development of a Pushback Time Assignment Algorithm Considering Uncertainty (不確定性を考慮した上でのプッシュバック時間指定アルゴリズムの構築)	森亮太	平成29年6月	Journal of Air Transportation
DFMC SBAS Experiment Using Quasi-Zenith Satellite System(QZSS) (準天頂衛星システムを用いたDFMC SBASの実験)	坂井文泰	平成29年6月	SBAS Interoperability Working Group (IWG) 32nd Meeting
Status of DFMC SBAS prototype system (DFMC SBASプロトタイプシステムの開発状況)	北村光教	平成29年6月	SBAS Interoperability Working Group (IWG) 32nd Meeting
FOD Detection System for Runway-A Hybrid Sensor System- (滑走路用異物検出システム-ハイブリッドセンサーシステム)	米本成人	平成29年6月	クアラルンプール国際空港セミナー資料
MC/MF GBAS development in JAPAN (日本におけるMC/MF GBASの開発について)	齋藤享 吉原貴之	平成29年6月	ICAO NSP 第2回合同ワーキンググループ会議 (JWG <sub>s</sub> /2)
Results of GBAS interoperability trials in Ishigaki, Japan (石垣におけるGBAS相互運用性試験結果)	齋藤享 Mirko Stanisak(Braunschweig工科大) 吉原貴之 Thomas Feuerle(Braunschweig工科大) Andreas Lipp(EUROCONTROL) Pierre Ladoux(仏・DSNA)	平成29年6月	ICAO NSP 第2回合同ワーキンググループ会議 (JWG <sub>s</sub> /2)
Actions of NSP for Space Weather Information Service (宇宙天気情報サービスに対する航法システムパネルの対応について)	齋藤享 石井守(情報通信研究機構)	平成29年6月	ICAO NSP 第2回合同ワーキンググループ会議 (JWG <sub>s</sub> /2)
MSAS Status and Future Plan (MSASの状況と将来計画)	坂井文泰 田代英明(航空局)	平成29年6月	ICAO NSP 第2回合同ワーキンググループ会議 (JWG <sub>s</sub> /2)
Evaluation Results of Passive Acquisition Technique (受動捕捉技術の評価結果)	宮崎裕己	平成29年6月	ICAO APANPIRG SURICG第2回会合
Status Update on Measurements Based on RF Measurement Guidance Material (無線信号計測ガイダンスマテリアルに基づいた計測の更新)	宮崎裕己 大津山卓哉	平成29年6月	ICAO監視パネル(SP)第5回TSG会議
H29年度のATM検討WG関連研究紹介	福島幸子 岡恵	平成29年6月	第28回CARATS ATM検討WG
第18回国際GBAS WG会議 (I-GWG18) の概要報告	福島荘之介	平成29年6月	ATEC 新進入方式WG会議
産業現場と安全研究をつなぐために ～実務者と研究者の本音トーク～	青山久枝	平成29年6月	第145回ヒューマンインタフェース学会研究会
次世代着陸システム (GBAS) の概要	毛塚敦 福島荘之介 吉原貴之 齋藤享 齊藤真二	平成29年6月	NPO法人 航空・鉄道安全推進機構
DISHA2016全インドセミナー参加記	小瀬木滋	平成29年6月	(財) 航空保安無線システム協会
管制官の近接認知閾値と飛行計画を用いた管制難度指標の比較	長岡栄 平林博子 マーク・ブライアン	平成29年6月	電子情報通信学会 安全性(SSS)研究会
飛航管制的秘密世界 (航空管制の秘密の世界(日本語版「空の旅を科学する」の中国語繁体字版))	伊藤恵理	平成29年6月	飛航管制的秘密世界



表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
日本における航空管制と交通ネットワークの現状と展望について	古賀禎	平成29年6月	室蘭工業大学大学院博士前期課程 生産システム工学系専攻 航空宇宙総合コース講義「生産システム工学概論」
Influences of ILS Localizer Signal over Complicated Terrain (複雑地形上におけるILSローカライザー信号の影響)	本田純一 田嶋裕久 横山尚志 (日本航空コンシェルD&T)	平成29年7月	The 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems
実験用航空機とAeroMACSプロトタイプシステムを用いた高速移動時における基本通信性能評価	森岡和行 長縄潤一 金田直樹 二ツ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成29年7月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
GPSのセキュリティ	坂井丈泰	平成29年7月	日本信頼性学会誌 7月号
洋上における航空機の管制間隔とその安全性評価	森亮太	平成29年7月	日本信頼性学会誌 7月号
航空管制業務における「動的な」信頼性と安全性	狩川 大輔(東北大学大学院工学研究科) 青山 久枝	平成29年7月	日本信頼性学会誌 7月号
管制側の保有データとENRIの取り組み	森亮太	平成29年7月	第3回OIS研究会
航空管制にみるレジリエンス	青山久枝	平成29年7月	日本学術会議総合工学委員会
FF-ICE/1検証実験の進捗状況	呂曉東	平成29年7月	CARATS第27回情報管理検討WG
AeroMACS Field Trial at HANEDA Airport (AeroMACS 羽田空港での実証実験について)	大内康廣 (アビコムジャパン) 川口英文 (アビコムジャパン) 稲垣敏幸 (アビコムジャパン) 森岡和行 米本成人 住谷泰人	平成29年7月	データリンク・フォーラム東京2017
Anomalous propagation of VOR/ILS LOC by Sporadic E layer (スボラディックE層によるVOR/ILS LOCの異常伝播)	齋藤享 細川敬祐 (電気通信大学) 富澤一郎 (電気通信大学) 坂井純 (電気通信大学)	平成29年7月	第21回APANPIRG CNS-SG会議
Further analysis of ionospheric gradient for GBAS in Japan (日本におけるGBASのための更なる電離圏勾配解析)	齋藤享 中村真帆	平成29年7月	第21回APANPIRG CNS-SG会議
Status of ISTF technical paper publication (電離圏問題検討タスクフォースの技術論文出版状況について)	齋藤享 吉原貴之	平成29年7月	第21回APANPIRG CNS-SG会議
Modeling an Air Traffic Control Difficulty Index Based on a Distance in Time-Space Domain of Aircraft Trajectory (航空機軌道の時空間距離に基づく航空管制難度指標のモデル化)	長岡栄 マーク・アラウン	平成29年7月	21st Conference of the In'l Federation of Operational Research Societies (IFORS2017)
複数セルの動的割当のための波長制御光ネットワークの検討	米本成人 角張泰之	平成29年7月	電子情報通信学会 MWP研究会
Designing the Remote Aerodrome Flight Information Service Systems Interface based on Human Centred Design Approach (人間中心設計に基づく遠隔型飛行場援助業務システムインタフェースの設計)	井上諭 福地悠人 (千葉工業大学) 山崎和彦 (千葉工業大学)	平成29年7月	Applied Human Factor and Ergonomics
3Dプリンタを用いて構築するW帯ミリ波レーダ用高利得リフレクタアンテナの電磁界数値解析および特性評価	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 坂本信弘 曾我登美雄 米本成人	平成29年7月	電子情報通信学会 エレクトロニクス シミュレーション研究会
マルチラテレーションシステムを利用した1090MHz帯信号環境の評価手法	本田純一 角張泰之 大津山卓哉	平成29年7月	電子情報通信学会技術研究報告
SSR (二次監視レーダ) モードSによる気象データのダウンリンク	瀬之口敦 吉原貴之 古賀禎 瀬古弘 (気象庁気象研究所)	平成29年7月	日本気象学会機関紙「天気」
民間航空分野における先進的な無線システムの研究開発	二ツ森俊一	平成29年7月	生体電磁環境に関する検討会 先進的な無線システムに関するワーキンググループ (第6回)
GNSS Summer School Class B: GNSS Positioning Program (GNSSサマースクール クラスB: GNSS測位プログラム)	坂井丈泰	平成29年8月	GNSS Summer School 2017(主催: 測位航法学会)

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
距離和とドップラー和を観測値とするマルチスタティックレーダによる位置及び速度推定	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 秋田学(電気通信大学) 稲葉敬之(電気通信大学)	平成29年8月	電子情報通信学界論文誌B
EVM Evaluation for wideband radio over fiber system with frequency doubling at 96GHz (光2通倍による96GHz広帯域システムのEVM評価)	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成29年8月	Conference on Lasers and Electro-Optics/Pacific Rim(CLEO-PR)
PSTEPサマースクール陸別2017航空航法システム	齋藤享	平成29年8月	PSTEPサマースクール陸別2017
DMEの誤差解析における飛行検査データの活用	毛塚敦 齋藤真二 麻生貴広 福島荘之介	平成29年8月	一般財団法人 航空振興財団 航法小委員会 航空保安システム技術委員会平成29年度調査報告書
羽田空港34L/R滑走路進入時のTCAS RAについての検討	白川昌之 瀬之口敦	平成29年8月	航空局安全部航空交通管制安全室主催 羽田同時平行ILS進入時のRA発生状況報告会
Investigation on Circular Polarization for 76GHz Helicopter Collision Avoidance Radar to Improve Detection Performance of High-Voltage Power (円偏波を用いた76GHzヘリコプタ衝突防止レーダの高圧送電線検出能力向上)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人 Capucine Amiel (Ecole Nationale de l'Aviation Civile)	平成29年8月	European Microwave Week 2017
Evaluation of extreme ionospheric Total Electron Content (TEC) gradient associated with plasma bubbles for GNSS Ground-based Augmentation System(GBAS) (プラズマバブルに伴う極めて大きな電離圏全電子数勾配のGBASのための評価)	齋藤享 吉原貴之	平成29年8月	American Geophysical Union
Equinoctial asymmetry in the zonal distribution of scintillation as observed by GPS receivers in Indonesia (インドネシアにおけるGPS受信機観測によるシンチレーションの東西分布の春秋非対称性について)	P. Abadi(名大・インドネシア航空宇宙庁) 大塚雄一(名古屋大学) 塩川和夫(名古屋大学) A. Husin(インドネシア航空宇宙庁) H. Liu(九州大学) 齋藤享	平成29年8月	American Geophysical Union
IIH&V Validation #1 Lab Exercise-Report from Japan (FF-ICE/1検証実験の報告)	呂曉東	平成29年8月	IIH&V Validation #1 Lab Exercise
光ファイバ接続型受動型一次レーダによる航空機監視手法	本田純一 渡邊優人 大津山卓哉	平成29年8月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
成田空港の発着時刻調整による空港面交通の混雑緩和の検証	住谷美登里 青山久枝 山田泉	平成29年8月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
広域マルチラテレーションにおける信号検出状況を考慮した測位誤差分布のモデル化	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	平成29年8月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
航空機監視信号環境の飛行実験による測定結果	大津山卓哉 本田純一	平成29年8月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
Airport Field Evaluation of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Runway Foreign Object Debris Detection (滑走路異物探知用光ファイバ接続型96GHzミリ波レーダの空港環境評価試験)	二ツ森俊一 柴垣信彦(日立国際電気) 佐藤洋介(日立国際電気) 加島謙一(日立国際電気) 森岡和行 河村暁子 米本成人	平成29年8月	42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves
WAM受信局配置に向けた性能予測モデル	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	平成29年8月	航空保安システム技術委員会 航空交通管制システム小委員会
DFMC SBAS Experiment Using Quasi-Zenith Satellite System(QZSS) (準天頂衛星システムを用いたDFMC SBASの実験)	坂井丈泰	平成29年8月	GSA訪問調査
Stored Electromagnetic Field Energy Comparison Between Carbon Fiber Reinforced Plastic Structures and All Metallic Structures -Evaluation of Microwave Quality Factors Using a Reverberation Chamber- (炭素繊維強化プラスチック製構造体と全金属製構造体における蓄積エネルギーの比較 -リバレーションチャンバを用いたマイクロ波Q値の評価-)	二ツ森俊一	平成29年9月	EMCEurope2017
平成29年度(第17回)電子航法研究所研究発表会の概要について	小瀬木滋	平成29年9月	航空無線第93号

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
WAM受信局配置設計に向けた性能予測モデル	長縄潤一	平成29年9月	航空無線第93号
小型無人機の現状と監視通信における今後の展望	河村 暁子	平成29年9月	航空無線第93号
飛行検査データを活用したDMEの誤差解析	毛塚敦	平成29年9月	航空無線第93号
洋上管制運用効率化のための経路設計に関する考察	平林博子	平成29年9月	航空無線第93号
航空業務用無線通信システム	北折潤 山康博	平成29年9月	電子情報通信学会通信ソサイエティマガジンNo. 42
Report on ISADS 2017 (第13回自律分散システム国際会議への報告)	呂曉東	平成29年9月	IEICE Communications Society GLOBAL NEWSLETTER
A Study for Additional-time in Japanese Terminal Airspace (KPI08) (日本のターミナル空域における滞留時間の検討)	岡恵 蔭山康太	平成29年9月	パフォーマンス・ベンチマークWG
光ファイバ無線を用いた受動型一次監視レーダの開発	大津山卓哉 本田純一 渡邊優人	平成29年9月	電子情報通信学会 光応用電磁界計測研究会
航空機監視システムと光ファイバ無線の応用	角張泰之 古賀禎	平成29年9月	電子情報通信学会 光応用電磁界計測研究会
An Analysis of ATM Resource Demand in Fukuoka FIR for 2030 (福岡FIRにおけるATM資源の需要の分析について)	マーク・ブラウン 平林博子	平成29年9月	APISAT 2016 Special Issue of Aerospace Technology Japan
航空管制業務における異常に対する気づき能力向上のための訓練 ツールの開発	堀口聖友 青山久枝 中村陽一 狩川大輔 (東北大学大学院工学 研究科)	平成29年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017
飛行場管制業務におけるレジリエンスの分析	青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学 研究科)	平成29年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017
光ファイバ無線を用いた航空機監視システムの楕円測位実験	角張泰之 古賀禎 本田純一 松永圭左 宮崎裕己	平成29年9月	電気学会 2017年電子・情報・システム 部門大会
マルチアンテナシステムの基礎と動向	山崎悟史 森岡和行	平成29年9月	電気学会 2017年電子・情報・システム 部門大会
航空機監視レーダ (SSRモードS) から得られる気象観測情報の特性評価 について	吉原貴之 瀬之口敦 毛塚敦 齋藤享 古賀禎 古本淳一 (京都大学生存圏研究 所)	平成29年9月	第11回MUレーダー/赤道大気レーダーシ ンポジウム
リアルタイム電離圏トモグラフィーのMUレーダー非干渉散乱観測に よる検証	齋藤享 山本衛 (京都大学生存圏研究 所) 齋藤昭則 (京都大学)	平成29年9月	第11回MUレーダー・赤道大気レーダーシ ンポジウム
航空交通管理のための合流最適化手法	虎谷大地	平成29年9月	計測自動制御学会 制御理論合宿2017
セクタ型アンテナを用いた測角によるADS-B偽航跡対策の検討	長縄潤一 田嶋裕久 宮崎裕己 古賀禎	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
光2通倍による1Gシンボル/秒伝送時の移送誤差評価	金田直樹 米本成人 川西哲也 (早稲田大学)	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
光ファイバ接続型パッシブレーダにおけるクラッタ抑圧に関する実 験的検討	渡邊優人 本田純一 大津山卓哉	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
ドップラー及びバイアス誤差を有する距離観測値からの測位・測速	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 秋田学 (電気通信大学) 稲葉敬之 (電気通信大学)	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
バイアス誤差を同時推定するTDOA測位方式の評価	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸 (長崎大学)	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
小型無人航空機のRoFを用いた位置推定の基礎検討	河村暁子 角張泰之 森岡和行 二ツ森俊一 米本成人	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
VHF帯空港面電磁界解析手法の有効性の測定評価	阿部優樹 (青山学院大) 黒田哲史 (青山学院大) 須賀良介 (青山学院大) 平井翔太郎 (青山学院大) 毛塚敦 橋本修 (青山学院大)	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
帯状ゾーニングによる集束型誘電体レンズホーンアンテナの集束性に関する一検討	阿部優樹 (青山学院大) 須賀良介 (青山学院大) 毛塚敦 橋本修 (青山学院大)	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
ミリ波レーダを用いたヘリコプタ障害物監視支援技術の研究開発	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
航空管制リアルタイムシミュレーション実験による関西国際空港へのRNP AR進入方式導入可能性の調査	天井治	平成29年9月	電子情報通信学会 2017年ソサイエティ大会
第2部：100年史「電子情報通信技術100年間の発展」(B)6.1電波航法	小瀬木滋	平成29年9月	電子情報通信学会100年誌
Effects on Optimal Merging Trajectories due to Trade-off Between Criterion and Terminal Time (評価関数と終端時間の間のトレードオフが合流最適化に及ぼす影響)	虎谷大地 伊藤恵理	平成29年9月	SICE Annual Conference 2017
Geometric Approach for RNP Transition to xLS Procedure Design (RNP to xLS飛行方式設計のための幾何的アプローチ)	福島荘之介 森亮太 齋藤真二	平成29年9月	The 36th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (DASC2017)
Feasibility Study on Efficient Arrival Operations via the Integration of Fixed-Flight Path Angle Descent and GBAS Landing System (固定降下角運用とGBAS着陸システムを統合した高効率な到着方式に関する一検討)	ナウ・インダ・キトマル・ビ・クラマシハ 伊藤恵理 虎谷大地 Jendrick Westphal (Jeppesen GmbH) Hendrik Schoniger (Jeppesen GmbH) 福島荘之介 齋藤亨 吉原貴之 Thomas Feuerle (Tech. Uni. of Braunschweig) Mirko Stanisak (Tech. Uni. of Braunschweig) Per M. Schachtebeek (Tech. Uni. of Braunschweig)	平成29年9月	The 36th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (DASC2017)
Modeling Runway Assignment Strategy by Human Controllers using Machine Learn (管制官による滑走路割り当てのモデル化に関する一検討)	中村陽一 森亮太 青山久枝 Hyuntae Jung (Korea Aerospace University)	平成29年9月	The 36th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (DASC2017)
電離圏と航空CNS	齋藤亨	平成29年9月	ICAO宇宙天気情報勉強会
MMBB Method for the ATCOs' Workload Measurement (航空管制官作業負担計測のためのMMBB法)	平林博子 蔭山康太	平成29年9月	ATFM Workshop
Development of Prototype Dual-frequency Multi-constellation SBAS for MSAS (2周波マルチコンステレーションSBASのプロトタイプ開発)	北村光教 麻生貴広 坂井文泰 星野尾一明	平成29年9月	ION GNSS+ 2017
Ionosphere Monitoring and GNSS Correction by a Real-time Ionospheric Tomography System in Japan (日本におけるリアルタイム電離圏トモグラフィシステムを用いた電離圏監視及びGNSS補正)	齋藤亨 山本衛 (京大大学生存圏研究所) 齋藤昭則 (京大大学院理学部) C. H. Chen (台湾国立成功大)	平成29年10月	ION GNSS+ 2017
Proposal of Necessary Processes for Route Configuration Change of NOPAC (NOPACの経路再編へ向けての必要なプロセスの提案)	マーク・ブラウン 平林博子	平成29年9月	IPACG43 (Informal Pacific ATC co-ordinating group)
FF-ICE/1検証実験の報告 (電子航法研究所)	呂曉東	平成29年9月	CARATS第28回情報管理検討WG
Ionospheric delay gradient model for GBAS in the Asia-Pacific region (アジア太平洋地域GBAS電離圏勾配モデル)	齋藤亨 S. Sunda (印・AAI) J. Lee (韓・KAIST) S. Pullen (米・Stanford大) S. Supriadi (インドネシア航空宇宙庁) 吉原貴之 M. Terkildsen (豪・気象局) F. Lecat (ICAO) ICAO APANPIRG ISTF (ICAO)	平成29年10月	GPS Solutions

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
ICAO Manual on Airborne Surveillance Applications(3 sections on the description, environment, benefit of A-IM) (ICAO機上監視マニュアル(A-IMの定義、環境、便益の3セクション))	伊藤恵理 大津山卓哉	平成29年10月	ICAO AIRB WG
Status Update on ENRI MSPSR Development (ENRIのMSPSR開発におけるステータスアップデート)	本田純一 宮崎裕己 大津山卓哉	平成29年10月	ICAO SP-ASWG/6
Status Update on Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar (光ファイバ接続型受動型一次レーダのステータスアップデート)	本田純一 大津山卓哉	平成29年10月	ICAO SP-ASWG/6
Measurement-Based Evaluation on Detection Probability of Extended Squitter for Air-to-Ground Surveillance (空地監視のための拡張スキッタ検出確率の測定評価)	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	平成29年10月	IEEE Transactions on Vehicular Technology
Pilot Control Modeling with Stochastic Periodical Discrete Movement (確率的周期的離散的パイロット操舵のモデル化)	森亮太	平成29年10月	IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems
航空輸送の安全向上の方法について --安全規格から安全管理への変遷--	長岡栄	平成29年10月	IEICE Fundamentals Review, Vol. II, No. 2, pp. 103-109
Regional Demonstration and Validation for B1-SWIM (B1-SWIM実現のための地域実証実験について)	呂曉東	平成29年10月	ICAO Interregional Workshop on Service improvement through integration of ATM, MET and ATM Informations Services
人が守る航空安全 --航空管制におけるレジリエンス--	青山久枝	平成29年10月	電子航法研究所 安全に関する勉強会
DFMC SBAS Trial with QZSS L5S Signal (準天頂衛星L5S信号によるDFMC SBAS実験)	坂井丈泰	平成29年10月	9th Multi-GNSS Asia Conference(第9回マルチGNSSアジア会議)
Anomalous propagation of VHF NAV signals by sporadic E layer (スボラディックE層によるVHF NAV信号の異常伝播)	齋藤享 細川敬介(電気通信大学) 富澤一郎(電気通信大学) 坂井純(電気通信大学)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議
ILS LOC measurements for simultaneous transmission of ILS localizers at both ends of runways and GBAS VDB (ILSローカライザ双方向送信とGBAS VDB の同時供用のためのシミュレーションのためのILS LOC電界強度測定)	齋藤享 堀本大(航空局)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議
Actions of NSP for Space Weather Information Service (宇宙天気情報サービスに対するNSPの対応について)	齋藤享 石井守(NICT)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議
PRN Assignment for non-GEO SBAS (非静止衛星SBASへのPRN割当て)	坂井丈泰 田代英明(航空局)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議 NSP/4 DS2会合
SBAS Ephemeris Clock Correction (SBASエフェメリスのクロック補正)	坂井丈泰 田代英明(航空局)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議 NSP/4 DS2会合
PRN Assignment for non-GEO SBAS (非静止衛星SBASへのPRN割当て)	坂井丈泰 城哲也(航空局)	平成29年10月	第4回ICAO航法システムパネル会議 NSP/4
Update on Measurements Based on RF Measurement GM (無線信号計測ガイダンスマテリアルに基づいた拡張スキッタ計測結果)	宮崎裕己 大津山卓哉	平成29年10月	ICAO監視パネル(SP)第6回ASWG会議
ICAO Doc9994 参考文献 リスト	大津山卓哉	平成29年10月	ICAO Surveillance Panel Airborne Surveillance Working Group
A Review on the Expansion of Restricted Continuous Descent Operations at Kansai International Airport (関西国際空港における制限付き連続降下運航の拡大について)	福島幸子 平林博子 岡恵 ナウイング・キマル・ビ・クランシハ 虎谷大地	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology
An Analysis of Major Cross-Border Air Traffic Flows in the Fukuoka FIR (福岡FIRにおける主なFIR間航空交通流の分析について)	マーク・ブライアン 平林博子	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology
Continuous Climb Operation using Stochastic Optimal Control Theory (確率論的最適制御理論を用いた継続上昇運航)	上野誠也(横浜国立大学) 平林博子	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology
Investigating Aircraft Speed Control Logics for Interval Management targeting Arrival Traffic to Tokyo International Airport (IM速度制御測の東京国際空港に到着する航空交通流への適応に向けた検討)	リーデル・ティモ 伊藤恵理 高橋正樹(慶應義塾大学)	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology
Tuning the Temporal Parameter of ATC Difficulty Metrics Using Controllers' Cognitive Thresholds and Trajectory Change Point Information (管制官の認知閾値と軌道変更点情報を用いたATC難度測定基準の時間パラメータの調整)	長岡栄 平林博子 マーク・ブライアン	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology
Wind Classification for Route Design (効率的な飛行経路のための気象パターン分類)	中村陽一 蔭山康太	平成29年10月	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Experimental System of ADS-B Height Monitoring in Japan (日本でのADS-B高度監視用試験システム)	松永圭左	平成29年10月	Altimetry System Error (ASE) Workshop
日本における電離圏脅威モデル最適化のための電離圏勾配解析	中村真帆 齋藤享 吉原貴之	平成29年10月	地球電磁気・地球惑星圏学会 第142回総会及び講演会
90GHzを活用した高精度異物検出レーダー	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行 金田直樹	平成29年10月	電子情報通信学会 RCS研究会
ADS-B方式高度維持性能監視の評価結果	松永圭左	平成29年10月	航空交通管制協会機関紙『航空管制』(2017-No. 4)
SWIM Concept-Oriented Information Integration for Air Traffic Surveillance (航空監視のためのSWIMによる情報融合)	呂曉東 古賀禎	平成29年10月	IEEE GCCE 2017
Dual-Frequency Multi-Constellation SBAS Experiment Using QZSS (QZSSを使用したDFMC SBASの実験)	坂井丈泰	平成29年10月	第3回日EU包括的宇宙対話
Research on the Energy-saving Arrivals targeting to Tokyo International Airport (東京国際空港におけるエネルギー効率のよい到着の研究)	伊藤恵理 ナウイング・キトマル・ヒクマシノハ 虎谷大地 リーデル・ティモ	平成29年10月	ASPAG会議
Robust Transportation System Model and Optimization in Social System (堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現)	長岡慎介(東京理科大学) 伊藤恵理 都築怜理(東京大学)	平成29年10月	ASPAG会議
7機体制QZSSの測位精度性能に関する基礎検討(その2)	伊藤憲 坂井丈泰	平成29年10月	日本航空宇宙学会 第61回宇宙科学技術連合講演会
次世代SBASの規格化動向	坂井丈泰 麻生貴広 北村光教 星野尾一明	平成29年10月	日本航空宇宙学会 第61回宇宙科学技術連合講演会
次世代SBASのプロトタイプ開発状況	北村光教 麻生貴広 坂井丈泰 星野尾一明	平成29年10月	日本航空宇宙学会 第61回宇宙科学技術連合講演会
次世代SBASのプロトタイプを用いた初期的評価	麻生貴広 北村光教 坂井丈泰 星野尾一明	平成29年10月	日本航空宇宙学会 第61回宇宙科学技術連合講演会
An Analysis of Signal Environment on 1030/1090 MHz Aeronautical L-band Systems (航空用Lバンドシステムに使われる1030/1090MHz信号環境の解析)	大津山卓哉 長縄潤一 本田純一 宮崎裕己	平成29年10月	2017 International Symposium on Antennas and Propagation
Microwave Electromagnetic Field Characteristic Evaluations in Aircraft Containing Lossy Materials Based on a Quality Factor of a Reverberation Chamber (リバレーションチャンバQ値を用いた電磁界損失媒体存在時の航空機内におけるマイクロ波電磁界特性評価)	二ツ森俊一 日景隆(北海道大学大学院情報科学研究科)	平成29年10月	2017 International Symposium on Antennas and Propagation
Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar using Two Redeiver Units (2受信機を使用した光ファイバ接続型受動型一次レーダ)	本田純一 渡邊優人 大津山卓哉	平成29年10月	2017 International Symposium on Antennas and Propagation
DAPsから推定した風向・風速の評価について(続報)	瀬之口敦	平成29年10月	平成29年度CARATS監視アドホック1会議
複数衛星系・複数周波数GNSS信号に対するプラズマバブルの影響評価	齋藤享 吉原貴之 坂井丈泰 大塚雄一(名古屋大学) 細川敬祐(電気通信大学) Ednofri(インドネシア航空宇宙庁)	平成29年10月	2nd GEOLab-RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing
DMEの誤差解析における飛行検査データの活用	毛塚敦	平成29年10月	航空振興2017年秋号
A Study of Signal Environment for 1030/1090 MHz Aircraft Surveillance Frequency during Flight Experiments (飛行機実験による1030/1090MHz航空監視周波数の信号環境測定)	大津山卓哉 本田純一	平成29年11月	Progress In Electromagnetics Research Symposium
An Ad-Hoc Mesh Network for Flight-deck Interval Management of Airplanes (FIMのためのメッシュネットワーク)	金谷一朗(長崎県立大学シボル校) 伊藤恵理	平成29年11月	The 4th International Conference on Internet (IOV2017)
航空機監視応用システム(ASAS)と地上の連携による到着管理について	伊藤恵理 大津山卓哉	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム



表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
航跡データ解析を用いた関西国際空港における継続降下運航運用拡大の可能性に関する一考察	平林博子 福島幸子 岡恵 ナヴィンダ・キマル・ヒ・クラマシハ 虎谷大地	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
中期的軌道予測についての一考察	白川昌之 瀬之口敦 平林博子	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
Preliminary Study on Interval Management for Improving Aircraft Speed Command Behavior (IM速度制御則の改善を向かい先行研究)	ティモ・リーデル 伊藤恵理 立川智章(東京理科大学) 高橋正樹(慶應義塾大学)	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
TAPに対応した実験用GBAS機上装置	齊藤真二	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
継続降下運航実施に必要な間隔の設定方法の検討	福島幸子 平林博子 岡恵 ナヴィンダ・キマル・ヒ・クラマシハ 虎谷大地	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
航跡データを使用した羽田空港到着機の飛行時間予測誤差の分析	岡恵 蔭山康太 武市昇(首都大学東京)	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
準ミリ波レーダを用いたヘリコプタ全周監視支援技術の基礎実験	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
地上における航空機の航法性能監視	麻生貴広 北村光教 毛塚敦 齊藤真二 坂井丈泰	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
空港面の混雑緩和のためのスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察	山田泉 青山久枝 住谷美登里	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
航空管制リアルタイムシミュレーション実験のための航空交通密度の解析	天井治	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
航空交通管理部門委員会の10周年について	福田豊 長岡栄 中島徳顕 福島幸子 張替正敏(JAXA) 又吉直樹(JAXA)	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
シミュレーション・モデルにおける航空管制セクタ滞在時間の検証	蔭山康太 秋永和夫 平林博子	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
無人航空機運行に必要な情報の検討	中島徳顕 平林博子 虎谷大地 保理江裕己(ANAホールディングス)	平成29年11月	第55回飛行機シンポジウム
Passive Aircraft Surveillance by Two Optical -Fiber- Connected Passive Radars (2基の光接続型パッシブレダによる航空機監視に関する研究)	渡邊優人 本田純一 大津山卓哉	平成29年11月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
高距離、高ドップラー分解能レーダにおける複数反射点目標の速度、位置推定	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 稲葉敬之(電気通信大学) 秋田学(電気通信大学)	平成29年11月	電子情報通信学会 論文誌B
Raytracing analysis of DME ranging error variation due to atmospheric change (大気の変化によるDMEの測距誤差変動のレイトレーシング解析)	毛塚敦 吉原貴之 藤井直樹	平成29年11月	2017 International Symposium on Antennas and Propagation
A Study for Additional-time in Japanese Terminal Airspace (KPI08)-Updated (日本のターミナル空域における滞留時間の検討-続報)	岡恵 蔭山康太	平成29年11月	パフォーマンス・ベンチマークWG
情報の誘目性が航空管制タスクに与える影響	吉田悠(東京大学大学院) 青山久枝 井上諭 菅野太郎(東京大学大学院工学系研究科) 古田一雄(東京大学大学院工学系研究科)	平成29年11月	ヒューマンインタフェース学会
無人航空機と航空機運航の融合の可能性について	平林博子	平成29年11月	第22回 GPS/GNSSシンポジウム2017
DFMC SBASの規格化動向	坂井丈泰 麻生貴広 北村光教	平成29年11月	第22回 GPS/GNSSシンポジウム2017

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
準天頂衛星L5S信号によるDFMC SBAS実験	坂井丈泰 麻生貴広 北村光教	平成29年11月	第22回 GPS/GNSSシンポジウム2017
GPS/GNSS観測から得られる電離圏変動データを用いた地震起因の津波即時検知の可能性と課題について	中村真帆	平成29年11月	第22回 GPS/GNSSシンポジウム2017
1.5GHz帯の携帯電話基地局によるGPS L1への電波干渉の経験と干渉メカニズムの考察	福島荘之介 齊藤真二	平成29年11月	第22回 GPS/GNSSシンポジウム2017
The perspective of the role of R&D toward the future sky (将来の航空に向けた研究開発の役割に関する展望)	工藤正博	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
A Conceptual Approach for Efficient Arrival Operations Via the Integration of Fixed-Flight Path Angle Descent and GBAS Landing System (固定降下角運用とGBAS着陸システムを統合した高効率な到着方式の概念検討)	ナウイング・キマル・ヒクラマシハ	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
ADS-B latency estimation technology for surveillance performance assessment (監視性能評価のためのADS-Bの遅延推定技術)	角張泰之 小菅義夫 古賀禎	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Analysis of Positive and Negative Effects of Salience on the ATC Task Performance (誘目性が航空管制タスクのパフォーマンスに与える影響の分析)	吉田悠(東京大学大学院)	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Coordinated Validation for SWIM Concept-Oriented Operation to Achieve Interoperability (相互運用性を実現するためのSWIMコンセプトに基づいた連携検証実験)	呂曉東	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Development of a CAT-III GBAS(GAST-D)ground subsystem prototype and its performance evaluation with a long term-data set (カテゴリーIII GBASの地上サブシステムの開発と長期データを用いた性能評価)	吉原貴之	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Discussion of Space Weather in ICAO and Related Research Activity in Japan (ICAOにおける宇宙天気に関する議論と日本における関連研究活動)	齋藤享	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
GBAS Interoperability and Multi-Constellation / Multi-Frequency Trials (GBASの相互運用性とマルチコンステレーション/多周波への試み)	齋藤享	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
HF-START : APPLICATION in aid of r a d i o communications / Navigation (HF-START : 無線通信/航法援助への応用)	齋藤享	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Interoperability of ENRI GAST-D Prototype with Different Airborne Software Implementations (ENRIのGAST-Dプロトタイプと異なる機上ソフトウェアの相互運用性)	齋藤享	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Jamming and Spoofing Protection for ADS-B Mode S Receiver Through Array Signal Processing (ADS-BモードS受信機に向けたアレー信号処理によるジャミングおよび成りすましの防護)	長縄潤一	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Simulation Techniques for Small Unmanned Aircraft Systems(sUAS)Trajectories Including Signal Propagation (小型無人航空機のための通信を考慮した軌道シミュレーション技術)	虎谷大地 平林博子 河村暁子	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Estimation of 3-dimensional Location and Velocity Using Range with Bias Error and Doppler Measurement (ドップラーとバイアス誤差を有する距離を観測地とする3次元の位置、速度推定)	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東	平成29年11月	The 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
航空交通のオープンデータとその活用	岡恵 福田豊	平成29年11月	電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
Study on Focusing Property of Centrally Grooved Focusing Type Dielectric Lens Horn Antenna (グルービングを有する集束型誘電体レンズホーンアンテナの集束性能に関する検討)	阿部優樹(青山学院大) 須賀良介(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成29年11月	Progress In Electromagnetics Research Symposium
Fundamental investigations on helicopter all-around obstacle detection using quasi-millimeter-wave radar system - Experiments based on a low-transmitting power radar system and a multicopter- (準ミリ波レーダを用いたヘリコプタ全周監視技術の基本検討-小電力レーダシステムとマルチコプタを用いた基礎実験-)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成29年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2017
Analysis of DME Ranging Error due to Multipath using Flight Inspection Data (飛行検査データを用いたDMEのマルチパス誤差解析)	夏美儀 毛塚敦 齊藤真二	平成29年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2017
Predicting Trajectories with Course Change Points for Calculating Proximity-based Air Traffic Control Difficulty Indices (近接に基づく航空管制難度指数の計算のためのコース変更点のある軌道の予測)	長岡栄 マーク・ブラウン	平成29年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2017
Advanced Multilateration System OCTPASS (先進型マルチラテレーションシステムOCTPASS)	角張泰之 宮崎裕己	平成29年11月	DSHA2017(CNSセミナー) /Airports Authority Officers Association India

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
DFMC SBAS Experiment via QZSS L5S Signal (準天頂衛星システムL5S信号によるDFMC SBAS実験)	坂井丈泰	平成29年11月	EUROCAE WG-62 (欧州民間航空電子機器機構第62作業部会)
PRN Assignment for SBAS IGSO (傾斜地球同期軌道衛星によるSBASに対するPRNの割当て)	坂井丈泰	平成29年11月	EUROCAE WG-62 (欧州民間航空電子機器機構第62作業部会)
A Flight Procedure Design Method for RNP to xLS with Shallow Segment (緩い降下セグメントをもつRNP to xLS飛行方式の設計法)	福島荘之介 森亮太 齊藤真二	平成29年11月	航空と環境ワークショップ
Fuel Saving by Gradual Climb Procedure (低い上昇率による燃料消費削減)	森亮太	平成29年11月	SESAR Innovation Days
DAPsデータの信頼性評価	松永圭左	平成29年11月	航空交通管制システム小委員会
5GHz Ground-to-Air Communication Link by AeroMACS in High-speed Movement Scenarios (高速移動シナリオにおける5GHz帯地対空通信リンクの評価)	森岡和行 長縄潤一 金田直樹 二ツ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成29年12月	IEEE Asia-Pacific Conference on Communications
Feasibility Evaluation of Interference Mitigation Methodology for Optically-Connected Millimeter-Wave Radar Based on Common Transmission Signal (共通送信信号を用いる光ファイバ接続型ミリ波レーダにおける相互干渉回避法の実現可能性評価)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Relationship between Receiving Antenna Pattern and Aircraft Position using DTTB Signal Delays (地上デジタル放送波遅延信号による航空機位置と受信アンテナ特性の関係)	本田純一 渡邊優人 牧田芳男 大津山卓哉	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Vector Signal Generation by Optical Frequency Doubler for MMW Train Communication Systems (光2通倍によるミリ波帯列車無線用のベクトル信号生成)	金田直樹 米本成人 川西哲也 (早稲田大学)	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
ADS-B Anti-Spoofing Performance of Monopulse Technique with Sector Antennas (セクタ型アンテナによるモノパルス測角を用いたADS-B成りすまし対策の性能)	長縄潤一 田嶋裕久 宮崎裕己 古賀禎 Camille Chomel (ENAC)	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Antenna Configuration Mitigating Ground Reflection Fading on Airport Surface for AeroMACS (AeroMACSのための空港面における大地反射フェージングを低減するアンテナ構成)	長縄潤一 森岡和行 本田純一 金田直樹 米本成人 住谷泰人	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
MMW Mobile Terminal Positioning using Remote Receiver (リモート受信機を使用したミリ波携帯端末測位の検討)	角張泰之 米本成人	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
An Overview of Scattering Measurements of Scaled Dynamic Wind Turbines in the Context of Navigation Systems (航法システム状況における縮小可動風力発電機の散乱測定の概要)	Robert Geise (IEMC/TUBS) Achim Enders (IEMC/TUBS) 米本成人	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Field Trials for Air-to-Ground Direct Using LTE on VHF Band (VHF帯LTEを用いた空対地直接通信のフィールド試験)	矢田達郎 (NTTコム) 山本吉亮 (NTTコム) 君島健太 (NTTコム) 大西亨明 (NTTコム) 米本成人 森岡和行 住谷泰人	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
MMW Antenna Remoting System of Vector Network Analyzer for Propagation Measurement in Stadium (スタジアムの伝搬測定のためのベクトルネットワークアナライザのミリ波アンテナ遠隔システム)	米本成人 大田垣祐衣 (大阪大学) 角張泰之 (電中研) 池田研介 (電中研) 村田博司 (大阪大学)	平成29年12月	2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Study on Spectral Efficiency for STBC-CPM with Two and Four Transmit Antennas (STBC-CPMシステムの周波数利用効率に関する一検討)	森岡和行 山崎悟史 (沼津高専) アサノ・デービッド (信州大学)	平成29年12月	IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology
An Ad-Hoc Mesh Network for Flight-deck Interval Management of Airplanes (FIMのためのメッシュネットワーク)	金谷一朗 (長崎県立大学シボルト校) 伊藤恵理	平成29年12月	Springer nature
항공기 감시 시스템과 그 고도화 사례 (航空機監視システムとその高度化事例)	角張泰之	平成29年12月	先端社 自動化技術 (Automation Systems)
A Study on Modeling Techniques for Fuel Burn Estimation based on Flight Simulator Experiment Data (フライトシミュレータ実験データに基づいた燃料消費量の推定方法に関する一検討)	ナヴィンダ・キマル・ヒクラマシハ 虎谷大地 福島幸子 平林博子	平成29年12月	Winter Simulation Conference 2017

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Design Methodology to Simulate Continuous Descent Operations at Kansai International Airport (関西国際空港における継続降下運航シミュレーションの設計手法)	虎谷大地 フウタキ タカシ フクイマシノハ 福島幸子 平林博子	平成29年12月	Winter Simulation Conference 2017
The Experiment on DFMC SBAS via QZSS L5S Signal (準天頂衛星システムL5S信号によるDFMC SBASの実験)	坂井丈泰	平成29年12月	12th International Committee on GNSS 2017 (国連ICG/12)
CARATSオープンデータの概要説明	岡 恵	平成29年12月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
施策検討での活用事例②CARATS Open Dataを用いた機械学習による軌道予測	岡 恵	平成29年12月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
Statistical Data of Deviation Angle (逸脱角の統計データ)	森亮太	平成29年12月	ICAO SASP-WG/30
民間航空分野における先進的な無線システムの研究開発 (まとめ)	二ツ森俊一	平成29年12月	生体電磁環境に関する検討会 先進的な無線システムに関するワーキンググループ (第8回)
遠隔型空港業務支援システムの開発	井上諭 マク・ブ・ラウ 角張泰之	平成29年12月	日本機械学会 交通・物流部門
Substrate-Integrated Waveguide PCB Leaky-Wave Antenna Design providing Multiple Steerable Beams in the V-band (V帯の複数ビーム走査可能な基板内蔵導波管プリント基板漏波アンテナ設計)	Mattias Steeg(デュイスブルグ エッセン大学) 米本成人 Jonas Tebert ( " ) Andreas Stohr( " )	平成29年12月	MDPI
PRN Assignment for SBAS IGS0 (傾斜地球同期軌道衛星によるSBASに対するPRNの割当て)	坂井丈泰	平成29年12月	日米GPS会合TWG (技術作業部会)
小型無人航空機の監視に関する現状とこれから	河村暁子	平成29年12月	航空振興財団 第2回航法小委員会
R&D Challenges Toward Integrated ATM Information Management (統合ATM情報管理に向けた研究開発への挑み)	仲田貴文 呂曉東	平成29年12月	The Second Global Air NAVIGATION Industry Symposium
The Status of Dual-Frequency Multi-Constellation SBAS Trial by Japan (日本によるDFMC SBAS実験の状況)	坂井丈泰	平成29年12月	International Symposium on GNSS 2017 (2017年国際GNSSシンポジウム)
羽田空港RNAV同時平行進入(16L/R)時における進入機相互間の位置関係により生じるTCAS-RA動作の検討について	瀬之口敦 白川昌之	平成29年12月	第3回羽田空港同時平行RNAV進入方式導入に係る検討会議
Real-time ionospheric monitoring by three-dimensional tomography over Japan (日本上空における3次元トモグラフィーによる電離圏リアルタイム監視)	齋藤享 鈴木翔大(京大生存圏研) 山本衛(京大生存圏研) Chia-Hun Chen(台湾国立成功大) 齋藤昭則(京大理)	平成29年12月	Institute of Navigation
2周波SBASについて	坂井丈泰	平成29年12月	QBIC海外展開WG
次世代SBASの実証実験	坂井丈泰	平成29年12月	航空無線
90 GHz Foreign Objects and Debris Detection Radar Connected by Radio over Fiber (ファイバー無線で接続された90GHz異物検出レーダー)	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行 金田直樹	平成29年12月	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications
航空技術・政策・産業特論 ENRIでの研究(航空管制・通信) ATM/CNS	小瀬木滋	平成29年12月	東京大学 航空技術・政策・産業特論
Optical-fiber-connected passive primary surveillance radar for aeronautical surveillance (航空監視のための光ファイバ接続型パッシブ一次レーダ)	本田純一 大津山卓哉	平成29年12月	電子情報通信学会 IEICE Communications Express
SBASの最近の状況について	坂井丈泰	平成29年12月	アドバンスト・コックピット研究会
An Efficient Route Design using Wind Patterns Classification (気象パターン分類を利用した効率的な運用に関する一検討)	中村陽一 蔭山康太	平成30年1月	AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference
Merging Optimization Method Considering Minimum Time Separation Based on Wake Turbulence Category (後方乱気流カテゴリに基づく最小時間間隔を考慮した合流最適化手法)	虎谷大地 伊藤恵理	平成30年1月	AIAA SCITECH
Propagation Analysis For Hotspot Service from Ceiling in Stadium (スタジアムの天井からのホットスポットサービスのための伝搬解析)	米本成人 村田博司(大阪大学) 眞野浩(コア・テクノロジー)	平成30年1月	IEEE 802.11ay study group
DFMC SBAS Prototype System GPS, Galileo, and QZSS (GPS, Galileo, QZSSに対応したDFMC SBASのプロトタイプ機)	北村光教	平成30年1月	SBAS Interoperability Working Group (IWG) 33rd Meeting
PRN Assignment for SBAS IGS0 (傾斜地球同期軌道衛星によるSBASに対するPRNの割当て)	坂井丈泰	平成30年1月	SBAS Interoperability Working Group (IWG) 33rd Meeting
2つの受信機から構成されたDTTB遅延信号を用いた航空機監視システム	本田純一 大津山卓哉 渡邊優人 牧田芳男	平成30年1月	映像情報メディア学会放送技術研究会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Study on observations of Earth's atmosphere to support civil aviation operation (民間航空機の運航を支援するための地球大気観測に関する研究)	吉原貴之	平成30年1月	京都大学情報学研究科通信情報システム専攻2017年度7回談話会
Introduction of our R&D in Japan (日本での研究開発の紹介)	麻生貴広	平成30年1月	ユーロコントロール及びDSNA
航空保安大学校 第67回総合特別研修講義 技術開発と評価試験	住谷泰人	平成30年1月	国土交通省航空局
CARATS これまでの施策の意思決定・実現にかかる研究開発成果 (動的ターミナル空域の運用・ポイントマージ)	蔭山康太	平成30年1月	CARATS研究開発推進分科会
CARATS これまでの施策の意思決定・実現にかかる研究開発成果 (精密かつ柔軟な出発及び進入方式・衛星航法による(曲線)精密進入)	福島荘之介	平成30年1月	CARATS研究開発推進分科会
CARATS これまでの施策の意思決定・実現にかかる研究開発成果 (平行滑走路における監視能力の向上)	宮崎裕己	平成30年1月	CARATS研究開発推進分科会
[招待講演]RoF接続型リモートレーザを使用した移動端末位置推定実験	角張泰之 米本成人	平成30年1月	電子情報通信学会 MWP研究会
散乱信号受信による異物の2次元座標推定	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行 金田直樹	平成30年1月	電子情報通信学会 MWP研究会
動的セル配置が可能なRoF波長制御ミリ波通信システム	米本成人 角張泰之	平成30年1月	電子情報通信学会 MWP研究会
ドップラーとバイアス誤差を有する距離観測値によるTOA測位、測速	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 稲葉敬之(電通大)	平成30年1月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
航空交通管理(ATM)の性能指標に関する調査	長岡栄 マーク・ブライアン	平成30年1月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
受動型二次監視レーダ受信データからの航跡抽出法	北折潤 塩見格一(福井医療大学)	平成30年1月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
TSOA及びTDOA測位間での監視覆域拡大の比較	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸(長崎大学)	平成30年1月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
準天頂衛星による次世代SBAS実証実験	坂井丈泰	平成30年1月	第7回測位技術懇話会
Evaluation of Quasi-Zenith Satellite System L5S Signal (準天頂衛星システムL5S信号の評価)	Chiu-Mei Wu (National Cheng Kung University, Taiwan) 坂井丈泰 Shau-Shiun Jan (National Cheng Kung University, Taiwan)	平成30年1月	Institute Of Navigation, International Technical Meeting (ION ITM 2018)
Avoiding Improper Modeling in SBAS Ionospheric Correction with Shrunk Observations (SBAS電離圏補強における観測データの縮小による不適切な電離圏モデルの回避)	坂井丈泰 北村光教 麻生貴広 星野尾一明	平成30年1月	Institute Of Navigation, International Technical Meeting (ION ITM 2018)
Study of the spatial scale of plasma bubbles for ionospheric threat model for GBAS (日本における電離圏脅威モデル最適化のための電離圏勾配空間スケール解析)	中村真帆 齋藤亨 吉原貴之	平成30年2月	Institute Of Navigation, International Technical Meeting (ION ITM 2018)
Preliminary results of impacts of ionospheric scintillations on GAST-D ground integrity monitors (GAST-D地上インテグリティモニタに対する電離圏シンチレーションの影響に関する初期解析結果)	齋藤亨 Sabine Zureikat (ENRI/ENAC/Swift) 吉原貴之	平成30年2月	Institute Of Navigation, International Technical Meeting (ION ITM 2018)
Development of DFMC SBAS Prototype System Using L1 and L5 Band Signals of GPS, Galileo, and QZSS (GPS, Galileo, QZSSに対応したDFMC SBASのプロトタイプ機の開発)	北村光教 麻生貴広 坂井丈泰 星野尾一明	平成30年2月	Institute Of Navigation, International Technical Meeting (ION ITM 2018)
ADS-B GNSS Geometric Height Reference Determination (ADS-BのGNSS幾何高度基準の判別)	松永圭左	平成30年1月	RASMAG-MAWG/5(監視機関第5回作業部会会合)
Vector Signal Generation and Transmission by Radio over Fiber System with Frequency Doubling at 96 GHz (光2重倍による96GHzベクトル変調信号の生成と伝送)	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成30年1月	SPIE Photonics West
Investigation of RF Measurement Methods Which Should Be Included in GM (ガイダンスマテリアルに含むべきRF計測方法の調査)	宮崎裕己 大津山卓哉 長縄潤一	平成30年1月	ICAO監視パネル(SP)第6回TSG会議
滑走路異物検知用光ファイバ接続ミリ波レーダシステム	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行	平成30年2月	電子情報通信学会誌 Vol.101 No.2
PRN Assignment for IGS0 SBAS (IGSO SBASへのPRN割当て)	坂井丈泰 城哲也(航空局)	平成30年2月	ICAO DS2(ICA0 DS2会合)
空港周辺空域における上昇機のための最適な回避軌道に関する研究	虎谷大地	平成30年2月	日本航空宇宙学会誌 2月号
監視システムの信号環境と測定	大津山卓哉 本田純一 長縄潤一 宮崎裕己	平成30年2月	航空振興財団 航空管制システム小委員会
EIWAC ; その位置づけと第5回(2017年)のトピックから	小瀬木滋	平成30年2月	(一社)航空保安無線システム協会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
SSRモードSによる気象データの取得、評価および活用について	瀬之口敦 吉原貴之 古賀禎 瀬古弘(気象研究所) 小泉耕(気象研究所)	平成30年2月	第12回航空気象研究会
Mitigation Criteria of AeroMACS against the interference signal level from the various radio system using co-ro adjacent channel in 5 GHz Band (5GHz帯域の同一チャンネルまたは隣接するチャンネルを使用する AeroMACSのさまざまな無線システムからの干渉信号レベルに対する軽減基準)	米本成人 森岡和行 金田直樹 河村暁子 住谷泰人	平成30年2月	ICAO FSMP WG
Coordinates誌からのインタビューへの回答	坂井丈泰	平成30年2月	Coordinates(雑誌)
Fixed Flight Path (FPA) Descent Procedures (固定降下角運用方式(Boeing テストパイロットブリーフィング))	ナヴィンダ・キマル・ビクラシハ 虎谷大地 伊藤恵理	平成30年2月	Boeing ecoDemonstrator プログラム進歩報告会議
到来電波測定による位置推定技術の応用	角張泰之	平成30年2月	IEEE MTT-S 関西支部「マイクロ波/ミリ波センシング技術の最新動向-ITS, IoT 分野を軸とした測位技術」セッション 2017年(主催:日本ネットワークセキュリティ協会)
GPSハッキング:GPSのセキュリティ	坂井丈泰	平成30年2月	(主催:日本ネットワークセキュリティ協会)
電子航法研究所における航空航法・気象のためのMUレーダーの利用	齋藤亨 吉原貴之	平成30年2月	京大大学生存圏ミッションシンポジウム
GPS運用状況の分析:故障及びメンテナンスの傾向	三宅千華 坂井丈泰 麻生貴広	平成30年2月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
空港面の混雑緩和のためのスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察	山田泉	平成30年2月	第5回首都圏空港の協調的運用WG成田分科会
広域大気光観測によるプラズマバブル研究	齋藤亨	平成30年2月	低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会
次世代SBASのためのエフェメリスメッセージ	坂井丈泰	平成30年2月	測位航法学会
Aircraft Electromagnetic Field estimation for Wireless Avionics Intra-Communication Band Using Large-Scale FDTD Analysis (大規模FDTD数値解析に基づく航空機内データ通信機器から放射される電磁界分布推定)	二ツ森俊一 日景隆(北海道大学大学院情報科学研究科)	平成30年2月	EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #7
みんなで作るAI時代	伊藤恵理	平成30年2月	CCCメディアハウス
誘導路等の交通の実態把握のための航空機位置情報の活用	山田泉	平成30年2月	港湾空港技術振興会 平成29年度第2回 官民技術交流会
90GHz 帯光ファイバー接続型ミリ波レーダーを用いた滑走路上の異物探知システム	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行 金田直樹	平成30年2月	電子情報通信学会 短距離無線通信(SRW)研究会
軌道予測における誤差要因の検討	岡恵	平成30年3月	CARATS 航空交通流時間管理WG
準天頂衛星みちびきによる高精度衛星測位システム	坂井丈泰	平成30年3月	応用科学学会 講演会
バイアス誤差を同時推定するTDOA測位方式	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸(長崎大学)	平成30年3月	電子情報通信学会 論文誌B
Analysis of Radar Altimeter Interference due to Wireless Avionics Intra-Communication System by Using Large-Scale FDTD Method -Investigation on Airbus A320 Class Passenger Aircraft- (大規模FDTD数値解析を用いた航空機内データ通信機器から航空機電波高度計への干渉解析-A320型航空機における検討-)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人 日景隆(北海道大学大学院情報科学研究科) 関口徹也( ) 山本学( ) 野島俊雄( )	平成30年3月	2018 International Applied Computation Electromagnetics Society Symposium
DFMC SBAS Experiments and Potential Applications (DFMC SBASの実験及び潜在的な応用)	坂井丈泰	平成30年3月	ICG WG-B APP-SG(国際ICG 作業部会B アプリケーションサブグループ)
到来電波測定による位置推定技術とRadio over Fiberの利用	角張泰之	平成30年3月	(株)情報機構次世代「5G」無線通信技術動向セミナー
DFMC SBAS Augmentation Service from the Zenith (DFMC SBASによる天頂からの補強サービス)	坂井丈泰	平成30年3月	Munich Satellite Navigation Summit (ミュンヘン衛星航法サミット)
DFMC SBAS Experiment Status (DFMC SBAS実験の状況)	坂井丈泰	平成30年3月	日欧政府間会合
DFMC SBAS Proposal for Joint Experiment (DFMC SBASに関する共同実験の提案)	坂井丈泰	平成30年3月	日欧政府間会合
Data Analysis of RNP 4 Capable Aircraft Ratio in NOPAC Airspace of Fukuoka FIR (福岡FIR NOPAC空域におけるRNP4許可機率のデータ分析)	平林博子	平成30年3月	IPACG PM21
Flight Altitude Distributions in NOPAC Airspace within Fukuoka FIR (福岡FIR NOPAC空域における飛行高度分布)	マーク・ブラウン	平成30年3月	IPACG PM21
航空機搭載レーダーとX帯気象レーダーの共用検討方針提案	米本成人 二ツ森俊一	平成30年3月	総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会陸上無線通信委員会気象レーダー
DFMC SBAS Experiment Status (DFMC SBAS実験の状況)	坂井丈泰	平成30年3月	RTCA SC-159 (RTCA特別委員会159)



表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
PRN Assignment for SBAS IGSO (傾斜地球同期軌道衛星によるSBASに対するPRNの割当て)	坂井丈泰	平成30年3月	RTCA SC-159 (RTCA特別委員会159)
Development of Enhanced MLAT Prototype in Sendai Airport (仙台空港における改良型MLATプロトタイプの開発)	角張泰之	平成30年3月	日・ベトナム航空セミナー
EIWAC ; その位置づけと第5回(2017年)のトピックから	小瀬木滋	平成30年3月	航空無線第95号
CAT-III GBASと国際動向	吉原貴之	平成30年3月	航空無線第95号
RNPとGBASを接続する新しい進入方式の研究動向	福島荘之介	平成30年3月	航空無線第95号
航空交通分野における運用データの活用	岡恵	平成30年3月	日本船舶海洋工学会 東部支部ワークショップ
CRM EVALUATION IN JAPAN (日本におけるCRMの評価)	三上賢司(航空局管制課) 森亮太	平成30年3月	ICAO IFPP/14-3
関西国際空港への深夜便に対するRNP AR進入方式とILS進入方式との混合運用の可能性について	天井治	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
7機体制QZSSの衛星配置についての初期検討(その2)	伊藤憲 坂井丈泰	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
ADS-Bデータを用いた航空機高度維持性能監視の誤差要因分析	松永圭左 宮崎裕己	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
海上における電波発信源探知システムの基礎実験	古賀禎 疋田賢次郎(海上技術研究所)	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
計器着陸システムと隣接デジタル放送の共用検討	福島荘之介 齊藤真二	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
固定翼UAVからの放射パターンの計算結果	本田純一 古賀禎	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
電子情報通信学会総合大会Welcome Partyにおける電子航法研究所紹介	二ツ森俊一 小瀬木滋	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
ドップラー併用の速度初期値が不要なTDOA	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂東暁 稲葉敬之(電気通信大学)	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
プログラマブルSoCと広帯域トランシーバを用いた再構成可能な統合型航空通信端末に関する一検討	森岡和行	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
76GHz小電力ミリ波レーダを用いた森林環境における超高压送電線の反射電力特性	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
空港面における波長に対して小さな建物間からの放射電磁界解析	平井翔太郎(青山学院大学) 須賀良介(青山学院大学) 毛塚敦 橋本修(青山学院大学)	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
QZSS L5S信号による次世代SBASの実験	坂井丈泰 北村光教 麻生貴広	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
無人航空機運行に必要な情報の検討	中島徳顕	平成30年3月	Japan Drone 2018
Estimation of 1090 MHz Signal Environment on Airport Surface by using Multilateration System (マルチラテレーションシステムを利用した空港面1090MHz信号環境の推定)	本田純一 角張泰之 大津山卓也	平成30年3月	電子情報通信学会 2018年総合大会
SSR Mode S DAPs Validation and Evaluation conducted by ENRI (電子航法研究所で実施された二次監視レーダモードSDAPsの評価及び検証)	宮崎裕己 松永圭左 瀬之口敦 古賀禎	平成30年3月	ICAO APANPIRG SURICG Mode S DAPs WG/1
海洋分野の点検におけるドローン技術活用に関する研究	河村暁子 平林博子	平成30年3月	国土交通省技術政策課
ミリ波応用技術	米本成人	平成30年3月	S&T出版株式会社
90GHz帯協制御型リニアセルレーダシステムの研究開発成果報告書	米本成人 森岡和行 金田直樹 河村暁子 二ツ森俊一	平成30年3月	総務省総合通信基盤局基幹・衛星移動通信課
ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発 平成29年成果報告書	金田直樹 米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行	平成30年3月	総務省総合通信基盤局電波部移動通信課 新世代移動通信システム推進室

## 8 知的財産権

当研究所の平成28年度末(H29. 3. 31)において有効な知的財産権は下記のとおりである。

(1) 登録済

①日本国内

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
地形表示機能を備えた搭載用航法装置	田中修一 二瓶子朗	H9. 6. 5	3054685	H12. 4. 14
滑走路予約システム	塩見格一	H9. 6. 9	2892336	H11. 2. 26
航空交通シミュレータ	塩見格一	H9. 12. 22	3899391	H19. 1. 12
管制用通信システム	塩見格一	H10. 12. 18	3041284	H12. 3. 3
無線通信ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H10. 6. 4	3474107	H15. 9. 19
音声による疲労・居眠り検知装置及び記録媒体	塩見格一	H10. 10. 5	3151489	H13. 1. 26
飛行場管制支援システム	塩見格一	H11. 12. 17	3086828	H12. 7. 14
受動型SSR装置	塩見格一	H10. 10. 30	3041278	H12. 3. 3
SSR装置及び航空機二次監視網	塩見格一	H10. 10. 30	2991710	H11. 10. 15
空港管制用操作卓 意匠登録	塩見格一	H10. 7. 31	1075354	H12. 4. 7
空港管制用操作卓 類似意匠登録	塩見格一	H10. 7. 31	1075354(1)	H12. 6. 16
レーダ受信画像信号のクラッタ抑圧方法及び装置	加来信之	H11. 4. 8	3091880	H12. 7. 28
管制通信発出システム	塩見格一	H11. 3. 19	3300681	H14. 4. 19
航空機等の進入コースの変動を防止する積層構造体	横山尚志	H11. 9. 17	3588627	H16. 8. 27
管制装置システム	塩見格一	H11. 12. 8	3783761	H18. 3. 24
受動型SSR装置	塩見格一	H11. 11. 10	3277194	H14. 2. 15
航空管制用ヒューマン・マシン・インターフェース装置	塩見格一	H11. 12. 7	3646860	H17. 2. 18
CPDLCメッセージ作成システム	塩見格一	H12. 3. 30	4210772	H20. 11. 7
航空路管制用航空機順序・間隔付けヒューマン・インタフェース	塩見格一	H12. 3. 30	4192252	H20. 10. 3
CPDLC/AIDC共用管制卓及び同ヒューマン・インタフェース	塩見格一	H12. 3. 30	4192253	H20. 10. 3
航空管制用管制指示入力装置	塩見格一	H12. 3. 30	4390118	H21. 10. 16
ターゲット選択操作装置	塩見格一	H12. 3. 24	3743949	H17. 12. 2
無線ネットワーク測位システム	田中修一 二瓶子朗	H12. 6. 6	3453547	H15. 7. 18
無線ネットワーク制御システム	田中修一 二瓶子朗	H12. 6. 6	3428945	H15. 5. 16
GPS及びその補強システムを用いた航法システムにおけるアベイラビリティ取得方法及びその装置	福島荘之介	H12. 7. 26	3412011	H15. 3. 28
複数チャンネルを利用した無線ネットワークシステム及びその制御装置	田中修一 二瓶子朗	H12. 11. 13	3462172	H15. 8. 15
心身診断システム	塩見格一	H13. 9. 14	3764663	H18. 1. 27
無線ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4716472	H23. 4. 8
無線通信ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4716473	H23. 4. 8
無線ネットワークを利用した移動局測位システム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4640720	H22. 12. 10
無線ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4640721	H22. 12. 10
音声処理装置	塩見格一	H13. 9. 25	3512398	H16. 1. 16
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法	塩見格一	H13. 10. 24	3579685	H16. 7. 30
目標検出システム	加来信之	H13. 12. 10	3613521	H16. 11. 5
誘電率の測定方法及び誘電率測定装置	横山尚志	H13. 9. 6	3680113	H17. 5. 27
ILSのグライドパスのGP進入コース予測方法及びILSのグライドパスのGP進入コース予測装置	横山尚志	H13. 9. 6	3752169	H17. 12. 16
移動体測位方法及び移動体誘導方法	岡田和男 白川昌之 塩見格一 小瀬木滋 田嶋裕久 住谷泰人 米本成人	H14. 3. 29	3826191	H18. 7. 14
電波反射体を用いた測定装置	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3623211	H16. 12. 3
操作卓 意匠	塩見格一	H14. 10. 15	1189989	H15. 9. 26
画面情報表示方法、システム及びコンピュータプログラム	塩見格一	H15. 1. 24	4412701	H21. 11. 27
無線ネットワークシステム、移動局および移動局の制御方法	二瓶子朗	H14. 11. 19	4097254	H20. 3. 21
無線通信ネットワークシステム	二瓶子朗	H15. 3. 28	4141876	H20. 6. 20
無線通信ネットワークシステムおよび無線ネットワークシステムの制御方法	二瓶子朗	H14. 11. 19	4097133	H20. 3. 21
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム	金田直樹 塩見格一	H15. 6. 3	3746773	H17. 12. 2
就寝中の身体反応情報検出システム	塩見格一	H15. 8. 25	3780273	H18. 3. 10

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
操作卓 意匠	塩見格一	H15. 11. 18	1226782	H16. 11. 19
脳机 意匠	塩見格一	H15. 11. 18	1221366	H16. 9. 17
カオス論的指標値計算システム PCT出願(日本国内)	塩見格一	H15. 12. 26	4317898	H21. 6. 5
カオス論的指標値計算システム PCT出願(日本国内分割)	塩見格一	H15. 12. 26	4989618	H24. 5. 11
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局通信制御方法及び通信システム	金田直樹 塩見格一	H16. 3. 3	4107432	H20. 4. 11
電波装置	米本成人	H16. 5. 18	3845426	H18. 8. 25
航空管制用インタフェース装置、その表示制御方法およびコンピュータプログラム	塩見格一	H16. 3. 29	3888688	H18. 12. 8
大脳評価装置 PCT出願(日本国内)	塩見格一	H16. 4. 28	4500955	H22. 4. 30
航空管制業務支援システム、航空機の位置を予測する方法及びコンピュータプログラム	塩見格一 金田直樹	H18. 10. 13	4355833	H21. 8. 14
誘電率の測定方法及び誘電率測定装置(分割出願)	横山尚志	H13. 9. 6	3988828	H19. 7. 27
心身状態判定システム PCT出願(日本国内)	塩見格一	H16. 2. 23	4505619	H22. 5. 14
電波反射体を用いた測定装置(分割出願)	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3772191	H18. 2. 24
電波反射体を用いた移動体の航法方法(分割出願)	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3840520	H18. 8. 18
航空管制卓(意匠)	塩見格一	H16. 5. 20	1242705	H17. 4. 28
全方向性を有する誘電体レンズ装置。	米本成人	H16. 8. 19	3822619	H18. 6. 30
高周波信号のデジタル I Q 検波方法	田嶋裕久 古賀禎 小瀬木滋	H16. 9. 15	3874295	H18. 11. 2
航空管制支援システム	塩見格一	H17. 2. 4	4148420	H20. 7. 4
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム(分割出願)	金田直樹 塩見格一	H15. 6. 3	3997549	H19. 8. 17
誘電体レンズを用いた電磁波の反射器、発生器及び信号機	米本成人	H17. 1. 18	3995687	H19. 8. 10
ドライバーの発話音声収集システム	塩見格一	H16. 12. 13	4296300	H21. 4. 24
移動体の測位方法及びその測位装置	古賀禎 田嶋裕久	H17. 2. 21	4736083	H23. 5. 13
航空管制システム及び航空管制システムで用いられる携帯情報端末	塩見格一 金田直樹	H17. 6. 21	4625954	H22. 11. 19
航空路管制用管制卓における順序・間隔付けヒューマンインタフェース装置	塩見格一 金田直樹	H17. 6. 21	4590559	H22. 9. 24
移動局監視システムのための監視連携装置およびその方法	二瓶子朗	H17. 12. 15	4703390	H23. 3. 18
飛行計画表示装置	三垣充彦	H18. 2. 9	4193195	H20. 10. 3
飛行計画表示装置(分割出願)	三垣充彦	H18. 2. 9	4736103	H23. 5. 13
音声の中非発話音声の判別処理方法	塩見格一	H18. 3. 30	4752028	H23. 6. 3
無線航法システムにおける信頼性指示装置	坂井丈泰	H18. 12. 11	4348453	H21. 7. 31
衛星航法システムにおける衛星軌道情報の伝送方法及びそれらの装置	坂井丈泰	H18. 12. 13	4613334	H22. 10. 29
リフレクトアレイ及びミリメートル波レーダー(アレイ型反射板とミリ派レーダ) PCT出願(日本国内)	山本憲夫 米本成人 山田公男	H20. 10. 27	5023277	H24. 6. 29
外部雑音改善型発話音声分析システム	塩見格一	H19. 3. 30	5050180	H24. 8. 3
天頂対流圏遅延量の推定値の算出方法	武市昇 坂井丈泰 福島荘之介 伊藤憲	H20. 7. 9	5419031	H25. 11. 29
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ	米本成人 河村暁子	H22. 5. 11	4919179	H24. 2. 10
衛星航法システムにおける電離層遅延量の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H19. 9. 25	4644792	H22. 12. 17
全方向性を有する誘電体レンズ装置を用いた電磁波の反射器を有するアンテナ	米本成人 河村暁子	H20. 10. 28	4812824	H23. 9. 2
作業適正判定システム	塩見格一	H20. 10. 31	5035567	H24. 7. 13
作業監視システム	塩見格一	H20. 10. 31	4936147	H24. 3. 2
G P S 衛星信号の品質監視機能を有する G P S 衛星信号品質監視方法及び G P S 衛星信号の品質監視機能を備えた G P S 衛星信号品質監視装置	齊藤真二	H21. 6. 4	5305395	H25. 7. 5
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H22. 3. 25	5305413	H25. 7. 5
衛星航法システムにおける電離圏異常を検出する方法及びその装置	藤田征吾	H22. 8. 20	5305416	H25. 7. 5
直線偏波の制御方法及びその装置	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一	H23. 4. 26	5376470	H25. 10. 4
直線偏波の制御方法及びその装置(分割出願)	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一	H23. 4. 26	5376470	H26. 8. 22
RTK測位計算に利用する衛星の選択方法及びその装置	山田英輝	H23. 10. 18	5013385	H24. 6. 15
自律神経の状態評価システム	塩見格一	H23. 7. 20	5812265	H27. 10. 2

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H26. 1. 25	5818178	H27. 10. 9
レーダー装置における相互干渉を回避する方法及びこの方法を用いた監視装置	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行	H27. 6. 11	6195278	H29. 8. 25
G N S Sを用いて航法を行う機能を有する航空機の航法性能の推定方法及び推定装置、並びに航空機の航法性能の劣化を検出する方法及び航空機の航法性能の監	麻生 貴広	H29. 4. 7	6288745	H30. 2. 16

②海外

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
飛行場管制支援システム：アメリカ	塩見格一	H10. 3. 25	6, 144, 915	H12. 11. 7
自動従属監視環境下における進入管制区航空機個別誘導システム：アメリカ	塩見格一	H10. 2. 24	6, 064, 939	H12. 5. 16
自動従属監視環境下における進入管制区航空機個別誘導システム：韓国	塩見格一	H10. 2. 26	538960	H17. 12. 20
滑走路予約システム：アメリカ	塩見格一	H9. 6. 9	US 6, 282, 487 B1	H13. 8. 28
受動型 S S R 装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H11. 10. 29	US 6, 344, 820 B1	H14. 2. 5
S S R 装置及び航空機二次監視網 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H11. 10. 29	US 6, 337, 652 B1	H14. 1. 8
管制装置システム：アメリカ	塩見格一	H12. 12. 7	US 6, 573, 888 B2	H15. 6. 3
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 P C T 出願(韓国)	塩見格一	H14. 4. 10	10-722457	H19. 5. 21
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H14. 4. 10	158325	H24. 3. 30
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法(EP国内)	塩見格一	H14. 10. 23	1450331	H17. 12. 28
心身診断システム P C T 出願(韓国)	塩見格一	H14. 11. 11	10-0596099	H18. 6. 26
心身診断システム PCT出願(インド国内)	塩見格一	H14. 11. 11	249868	H23. 11. 17
心身診断システム PCT出願(シンガポール国内)	塩見格一	H14. 11. 11	104430	H19. 7. 31
心身診断システム PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 4. 28	US 7, 363, 226 B2	H20. 4. 22
カオス論的脳機能診断装置 P C T 出願(韓国)	塩見格一	H16. 5. 10	10-0699042	H19. 3. 16
カオス論的脳機能診断装置 P C T 出願(シンガポール)	塩見格一	H14. 11. 12	104553	H18. 11. 12
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H14. 11. 12	202992	H18. 11. 6
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H14. 11. 12	US 7, 678, 047 B2	H22. 3. 16
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(シンガポール国内)	塩見格一	H15. 2. 26	106483	H18. 10. 31
大脳評価装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 4. 28	US 7, 988, 629 B2	H23. 8. 2
心身状態判定システム PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 2. 23	US 7, 737, 859 B2	H22. 6. 15
心身状態判定システム PCT出願(EP国内)	塩見格一	H16. 2. 23	1607043	H24. 9. 26
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び装置通信システム PCT出願(EP国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 8. 17	1722587	H23. 5. 11
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び装置通信システム PCT出願(アメリカ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 8. 17	US 7, 974, 600 B2	H23. 7. 5
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(アメリカ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	US 7, 640, 014 B2	H21. 12. 29
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(カナダ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	2, 526, 734	H21. 12. 29
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(インド国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	224596	H20. 10. 21
画面情報表示方法、システム及びコンピュータプログラム(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 1. 26	US 7, 091, 994 B2	H18. 8. 15
電波装置 アメリカ	米本成人	H17. 3. 9	US 7, 446, 730 B2	H20. 11. 4
誘電体レンズを用いた装置 PCT出願(アメリカ国内)	米本成人	H17. 7. 27	US 8, 471, 757 B2	H25. 6. 25
アレイ型反射板とミリ波レーダ PCT出願(アメリカ国内)	山本憲夫 米本成人 山田公男	H18. 10. 27	US 7, 719, 463 B2	H22. 5. 18
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ	米本成人 河村暁子	H22. 5. 11	US 8, 803, 728	H26. 8. 12

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
天頂対流圏遅延量の算出方法及び衛星測位信号の対流圏遅延量の補正方法 PCT出願(アメリカ国内)	武市昇 坂井文泰 福島荘之介 伊藤憲	H19. 12. 28	US 8, 665, 146 B2	H26. 3. 4
RTK測位計算に利用する衛星の選択方法及びその装置	山田英輝	H24. 4. 9	US 9, 417, 327 B2	H28. 8. 16

## (2) 出願中

## ①日本国内

発明の名称	発明者	出願年月日	出願番号
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H28. 1. 23	2016-011162
探索システム、探索演算装置及び探索方法	塩見格一	H28. 9. 19	2016-182464
無線技術を利用した人文字、サイネージ	米本成人 角張泰之	H29. 9. 28	2017-188308
衛星航法システムの誤差補正の方法及び装置	坂井 丈泰	H29. 10. 3	2017-170437

## ②海外

発明の名称	発明者	出願(国際)年月日	出願番号
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H14. 4. 10	020717089. 3
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H15. 10. 15	1634/CHENP/2003
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H16. 5. 20	161892
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H16. 5. 20	020780070
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H15. 2. 26	2094/CHENP/2004
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H15. 2. 26	10/508785
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H15. 2. 26	164174
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H15. 2. 26	03744980. 8
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(EPC加盟国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	040745474. 9
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(インド国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	03239/CHENP/2005



# 第 3 部 現 況



# 1 平成29年度に購入した主要機器

CDO実施判断支援ツール 1式
高精度基準FM信号生成装置およびリモート受信装置 1式
映像処理用高速サーバ 1式
航空機追尾アンテナ 1式
遠隔型空港業務支援システム評価装置(調整作業) 1式
ベクトル信号発生器 1式
GNSSシミュレータ 1式
岩沼分室ASDEタワーマルチパノラマカメラ 1式
オシロスコープ 1式
広域マルチラテレーション実験装置セクタ型空中線(測角精度向上に関する改修) 1式
航法信号解析器 1式
近接航空機検出システム用受信機 1式
複数衛星系・複数周波数対応GNSSシンチレーション受信機 1式
後方乱気流検出装置の更新用水冷装置 1式
光ファイバ無線接続型1090MHzリモート受信処理部(構成品) 受信検波部 4式
コックピットディスプレイ(経路表示機能改修) 1式
マルチディスプレイ用スタンド 1式
D-band Photomixer 1式
シグナルジェネレータ 1式
ソフトウェア無線受信機 1式
26.5GHz Comb Generator 1式
深層学習用ワークステーション 1式
気象・運航データベース用ファイルサーバ 1式
ボードCPU 1式
光ファイバ無線接続型1090MHzリモート受信処理部(構成品) 受信ステーション 4式
複数衛星系・複数周波数対応GNSS受信機 2式
ソフトウェア無線機 1式
ハーモニックミキサ 3式

## 2 主要施設及び機器

### 1 電波無響室

電子航法の分野では、電波を送受信するアンテナの性能や空間中の電波伝搬特性が機器の性能に大きく影響する。このため、アンテナおよび電波伝搬に関する試験研究が重要になっている。当研究所では、これらの試験研究のための実験施設として、電波無響室を整備した。

電波無響室はシールド壁内部を電波吸収材で被覆した構造を持っている。シールド壁により電波が遮蔽されるため、外来電波の影響を受けず研究所周辺への干渉を防止することができる。さらに、電波吸収材により電波の反射を抑制できるため、電波無響室内は広大な自由空間と同様な伝搬特性を実現できる。

電波無響室内では、アンテナの送受信特性測定や空港モデルを用いた着陸進入コースの電波伝搬特性測定などが行われてきている。また、各種の干渉妨害に関する測定実験も行われている。

〔要目概要〕

内装寸法： 32.0 m×6.2 m×4.2 m

周波数範囲： 1～110 GHz

無反射範囲： 23m 以上

反射減衰量： 50dB 以上

遮蔽減衰量： 90dB 以上

付属設備： 計測室、空調設備、空中線特性試験装置、  
アンテナ回転台移動装置、計測機器ピット、各種無線計測機器、非常照明

### 2 アンテナ試験塔

アンテナ試験塔は、昭和52年に建設され、VORの研究などで使用されてきた。

平成17年度には、二次監視レーダー（SSR）モードSの高度運用技術の研究で使用するため、レーダー設置台を設置するなどの改修を行った。平成19年度には、回転式アンテナを含むSSR装置が設置された。

このほかに、屋上には、実験などに利用するためのスペースが確保されており、GPSアンテナなどが設置されている。

〔要目概要〕

高さ： 19.15 m

### 3 ネットワークシステム

当研究所のネットワークシステムは、共用電子計算機システムの一部として昭和50年台に所内LANが整備されたものに端を発するが、当初は外部組織とのネットワーク接続はなかった。平成5年、研究を効率的に進める上での電子メールの必要性が研究所内で認識され、日本のインターネットの草分けであるJUNET(Japan University Network)に接続し、電子メール及びネットニュースの利用を開始した。その後、平成7年に当時の科学技術庁の管理下にあった省際研究情報ネットワーク(IMnet: Inter-Ministry Research Information Network)に光ケーブル専用線で接続し、電子メールとネットニュースの他、www や ftp, telnet 等の現在のインターネットの基礎となるサービスを楽しむようになった。当時の光ケーブル専用線のデータ転送帯域は、192kbps であった。現在は、国立情報学研究所が提供する学術情報ネットワーク(SINET: Science Information Network)を利用して、1Gbpsの帯域で外部とのネットワーク接続を行っている。

一方、所内LANの構成に目を向けると、IMnetに接続を始めた頃に所内の各建屋毎にサブネットを割り振る形態を採用した。現在はVLANという形で研究グループ毎にサブネットを分けているが、当時の形態が現在の所内LAN構成の基礎となっている。

現在の所内回線は、平成20年に実施した構内光ケーブル布設(増設)により、計算機室～各建屋間において10GBASE-LRのイーサネット通信を実現している(調布本所～岩沼分室間を除く)。また、各建屋内においては、各端末(パソコン)は主に1000BASE-Tのイーサネットにより所内LANに接続されている。

現在、ネットワークシステムを構成するサーバ群は、電子メール、www、ファイル共有、グループウェア、VPN、無線LAN等のサービスを提供し、研究及び事務に不可欠なシステムとして運用されている。

#### 4 実験用航空機

電子航法の実験や試験のために航空機をもつことは、当研究所の特色である。

昭和40年7月より、米国のビーチクラフトスーパーH-18型機を使用した。その後、使用10年を経過し、部品入手が困難になったため当機の更新を計画し、昭和49、50年度に米国のビーチクラフトB-99を購入し、昭和50年10月に当研究所に引き渡された。昭和51年1月から運用を開始したが、調布における運用制限のため、同年10月当研究所岩沼分室が宮城県岩沼市に設置されたことにより仙台空港を定置場とした。

ビーチクラフトB-99は、平成23年3月11日に発生した東日本大震災による津波にて被災、全損となったため、平成24、25年度にビーチクラフトB300を購入した。同機は平成25年5月に引き渡され、同年7月から運用を開始した。

[更新機の諸元・性能]

登録番号：JA35EN

型式：Beechcraft B300 (KingAir350)

全長：14.23 m

全幅：17.65 m

全高：4.36 m

全備重量：6.8 t

最大巡航速度：263 kt

最大航続距離：3,268 km

離陸滑走路長：1,006 m

着陸滑走路長：821 m

発動機：Pratt & Whitney Canada PT6A-60A

プロペラ：Hartzell HC-B4MP-3C

アビオニクス：Collins Pro Line 21

### 3 刊行物

当研究所の発行する刊行物は、下記のとおりである。

電子航法研究所報告（不定期刊行）  
電子航法研究所 研究長期ビジョン報告書（不定期刊行）  
電子航法研究所研究発表会講演概要（年刊）  
電子航法研究所年報（年刊）  
電子航法研究所要覧〈案内〉（年刊）

### 4 行事等

当研究所の平成29年度における行事等は、下記のとおりである。

研究施設一般公開〔平成29年4月23日（日）〕

平成29年度科学技術週間に基づき、当研究所の各施設を公開した。（来場者数延べ7,677名）

第1回研究交流会 『DSNA/DTIおよびNASAとの研究交流会』〔平成29年5月17日（水）〕

DSNA/DTI（フランス民間航空総局航空航法局研究開発部）の Jean-Marc Loscos氏 に  
“DSNA & DTI the French Air Navigation Services Provider” について、NASA（アメリカ航空宇宙  
William C. Johnson氏 “Cohesive ARMD Full UAS Integration Strategy” について講演いただき、  
航空交通管理および無人機の空域統合について討議を行った。

研究発表会〔平成29年6月8日（木）～9日（金）〕

平成29年度（第17回）電子航法研究所研究発表会を海上技術安全研究所講堂において開催した。  
（2日間来場者数延べ432名）

第80回出前講座〔平成29年6月17日（土）〕 NPO法人 航空・鉄道安全推進機構

1. 次世代航空機着陸システム（GBAS）の概要  
（電子航法研究所 航法システム領域 主幹研究員 毛塚 敦）

第5回ATM/CNSに関する国際ワークショップ（EIWAC2017）〔平成29年11月14日（火）～16日（木）〕

コンgresクエア中野にて開催し、3日間でのべ約592名が来場した。

第81回出前講座〔平成29年12月11日（月）〕 日本電気株式会社

1. 電子航法研究所研究長期ビジョン  
（海上・港湾・航空技術研究所 企画部 研究計画課 金原 章夫）
2. 「FULL 4D」の運用方式ならびにフリールーティング空域における  
軌道ベース運用に関する研究  
（電子航法研究所 航空交通管理領域 契約研究員 長岡 栄）
3. SWIMによる航空交通情報システムの基礎技術の研究  
（電子航法研究所 監視通信領域 主幹研究員 呂 暁東）
4. 遠隔型空港業務支援システムの実用化研究  
（電子航法研究所 航空交通管理領域 主幹研究員 井上 諭）

第82回出前講座〔平成30年1月15日（月）〕 国土交通省 航空保安大学校

1. 電子航法研究所の概要  
（海上・港湾・航空技術研究所 企画部 研究計画課 金原 章夫）
2. マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究  
（電子航法研究所 監視通信領域 主幹研究員 大津山 卓哉）
3. 無人航空機について  
（電子航法研究所 監視通信領域 主幹研究員 河村 暁子）

第83回出前講座〔平成30年2月20日（火）〕 国土交通省 大阪航空局 鹿児島空港事務所

1. 電子航法研究所の概要  
(海上・港湾・航空技術研究所 企画部 研究計画課 岩元 崇宏)
2. 滑走路異物検出システムの研究 –ハイブリッドセンサーシステム–  
(電子航法研究所 監視通信領域 上席研究員 米本 成人)
3. GBASの動向と技術  
(電子航法研究所 航法システム領域 上席研究員 福島 荘之介)
4. SBAS –GNSSを用いた運航–  
(電子航法研究所 航法システム領域 主任研究員 麻生 貴広)

平成29年度評議員会〔平成30年3月5日（月）〕

評議員会において下記課題に関する外部評価を実施した。

事後評価課題 「空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究」  
「マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究」  
「GNSSを利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究」

事前評価課題 「PBNとGBASを活用した高度な計器進入方式に関する研究」

中間評価課題 「次世代GNSSに対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究」



## 5 職員表彰

### ◎ 理事長表彰（平成29年12月7日）

特 別

齋藤 享（航法システム領域）

坂井 丈泰（航法システム領域）

吉原 貴之（航法システム領域）

「国際民間航空機関（ICAO）アジア太平洋地域（APAC）電離圏問題検討タスクフォース（ISTF）における「電離圏脅威モデルの策定」について、主導的に活動」

ニッ森 俊一（監視通信領域）

「『LabVIEWとNI FlexRIOを用いた滑走路異物探知用ミリ波レーダの研究開発』で“ナショナルインスツルメンツ Engineering Impact Award2016 (Aerospace and Defence)”を受賞。また『ヘリコプタ衝突防止用小電力76GHzミリ波レーダシステム -研究進捗と飛行実験に向けた性能評価-』を発表し“ICSANE2015 Young Scientist Award”及び『ヘリコプタ障害物探知用76 GHz帯小電力ミリ波レーダにおける送電線探知性能向上のためのアンテナ偏波特性検討 ～ 円偏波による送電線レーダ反射断面積特性評価 ～』で“電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会若手奨励賞”を受賞」

本田 純一（監視通信領域）

「IEEE AINA (International Conference on Advanced Information Networking and Applications) において『Positional Estimation of Obstacles and Aircraft by Using ISDB-T Signal Delay』を発表し“Best Paper Award”を受賞。また「映像情報メディア学会において『ISDB-Tパッシブ測位における固定物体抑圧の実験結果』を発表し“優秀研究発表賞”を受賞」

ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル（航空交通管理領域）

「日本航空宇宙学会において『軌道最適化による旅客定期便の運航効率に関する検討』を発表し“論文賞”を受賞」

### ◎ 電子航法研究所所長表彰（平成30年3月17日）

特 別

中村 陽一（航空交通管理領域）

「日本航空宇宙学会において『A Self-separation Algorithm using Relative Speed for a High-density Air Corridor』を発表し“奨励賞”を受賞」

長縄 潤一（監視通信領域）

「2017 Integrated Communication, Navigation, & Surveillance Conferenceにおいて『Detection Probability Estimation Model for Wide Area Multilateration』を発表し“Best Paper in Session 2B - Navigation Systems”を受賞」