

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、令和4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行っております。

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4年目となる令和元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。

令和2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 福田 豊

目 次

第1部 総 説

1. 沿 革・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
予算及び定員の推移・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2. 組 織・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
3. 役職員数・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
4. 所 在・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
5. 建 物・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8

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・・・・・・・・・・・・・・・・	81
4. 研究所報告・・・・・・・・・・・・・・・・	136
5. 受託研究・・・・・・・・・・・・・・・・	137
6. 共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・	139
7. 研究発表・・・・・・・・・・・・・・・・	141
8. 知的財産権・・・・・・・・・・・・・・・・	158

第3部 現 況

1. 令和元年度に購入した主要機器・・・・・・・・	165
2. 主要施設及び機器・・・・・・・・	166
3. 刊 行 物・・・・・・・・	168
4. 行 事 等・・・・・・・・	168
5. 職員表彰・・・・・・・・	169

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。

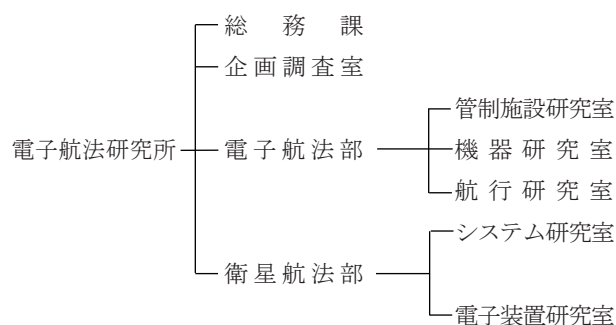
宇宙開発の一環として、人工衛星を航空機及び船舶の航法に利用しようとする開発研究は、我が国においても昭和38年に着手された。その結果をもとに、運輸省は昭和40年4月「人工衛星による航行援助方式の開発に関する基本方針」を決め、昭和41年度は衛星航法研究室 (3名) が新設された。

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。



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

昭和45、46年度には、電波無響室を整備し、また、研究所発足以来、昭和44年度までは人員、組織とも変化がなかったが、昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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、昭和50年10月にビーチクラフトB-99が引き渡された。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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、昭和54年1月には岩沼分室に分室長をおいた。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

昭和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。

令和元年度は、本所に国際標準化センターを設置した。

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	30	元			
定 員	60	57	57	57			

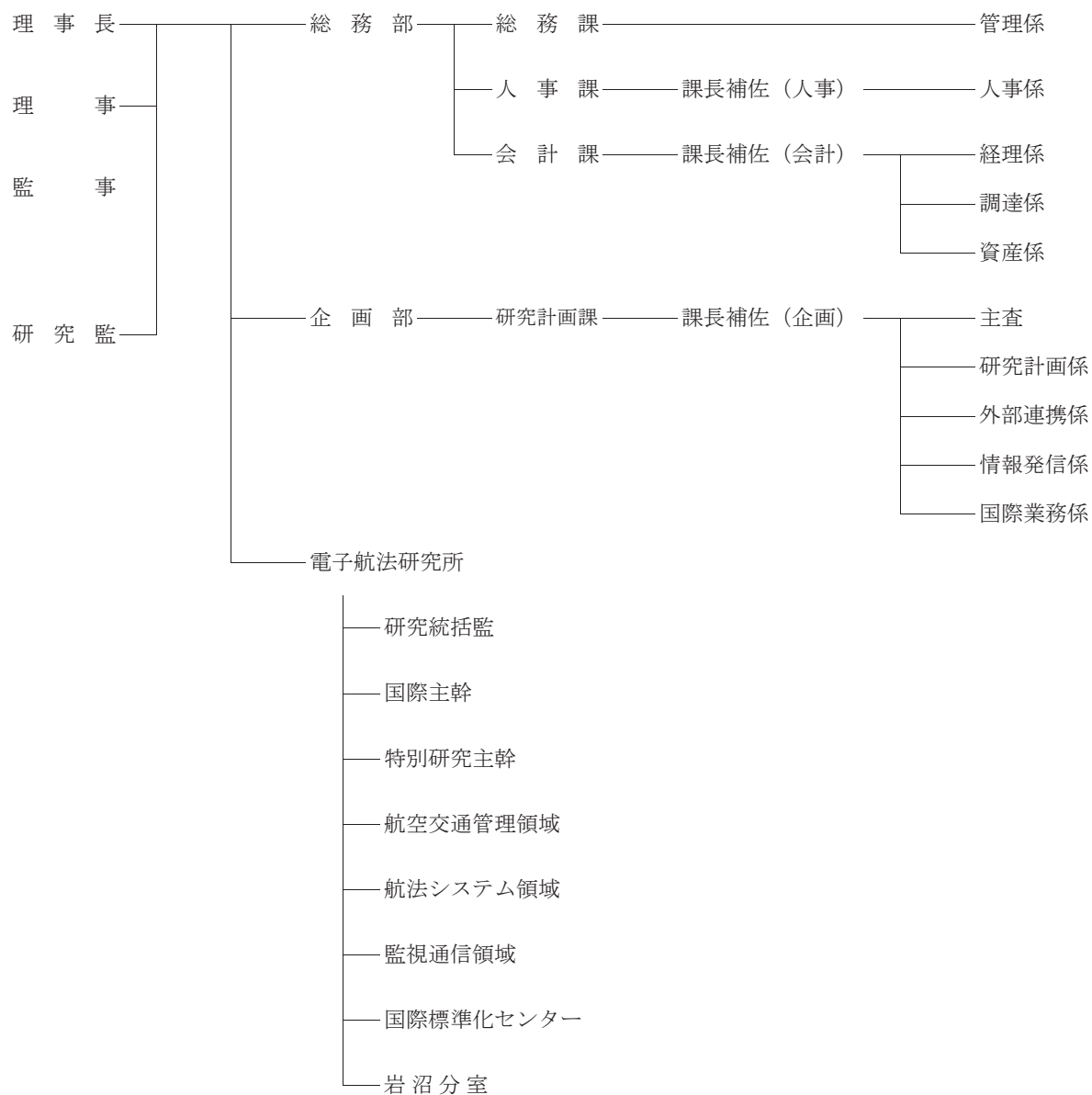
注 1：（ ）内は、空港整備特別会計で内数。平成20年度以降は区分経理の廃止に伴い、特別会計の予算は一般会計へ移管された。

注 2：平成18年度以降は年度末現在の職員数を掲載

注 3：役員の人数は含まない

2 組 織 (令和2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
研究統括監	1
事務職	13
研究職	43
計	58

(令和2年3月31日現在)

※役職員数には監事は含まない

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 7 m，高さ 5 m	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

(令和2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

令和元年度における研究は、社会・行政ニーズや技術分野の将来動向を考慮し、重点研究、指定研究、基盤研究、萌芽的研究および競争的資金として承認された下記の項目を計画した。

1. 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
2. 遠隔型空港業務支援システムの実用化研究
3. 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
4. 航空機の拡張型到着管理システムの研究
5. ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の研究
6. 気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する初期的研究
7. 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
8. レジリエンス概念に基づく航空管制官の状況認識に関する研究
9. AI・最適化技術の航空機運航への適用
10. 航空用データの管理手法に関する基礎研究
11. 空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究
12. 航空交通データの分析への機械学習の適用
13. 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
14. 次世代自動飛行システム研究開発
15. 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
16. 予防安全に向けたシステムの弾力性分析手法に関する実践的研究
17. 離陸機の運用最適化に関する研究
18. 簡易類似コンテキストを用いたチーム協調レジリエンス推定に関する実験的研究
19. 大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析

1から3は重点研究、4から6は指定研究、7から11は基盤的研究、12は萌芽的研究、13から19は競争的資金による研究である。

1 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。

2 は空港のタワーで行われている業務を、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、安全で効率的な運用が可能なシステムを開発

する研究である。

3 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。

4 は将来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ものである。

5 は提案するハザード解析手法の改良、ハザード解析支援ソフトウェアの構築および有効性の確認を目的とする研究である。

6 は気象（悪天）現象が航空機運航、航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約について可視化・定量化するための初期的な検討をする研究である。

7 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為に必要な技術を検討する。

8 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。

9 は羽田空港への到着管理システムの開発および航空機の不安定進入の要因推定について、AIや最適化技術を用いる研究である。

10 は航空交通データを利用した所内の様々な研究をより効率的に進めるため、電子航法研究所（以下、当所とする）の航空交通管理領域に航空局から提供されている航空交通に関する各種データを対象として、現状のデータの利用、管理、変換方法を把握し、データ管理に関わる課題を抽出し今後のより効率的な管理方法を提案するとともに、各種データに関する調査を行うことを目的とする。

11 は空港施設の整備において、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ことから、空港面の交通データおよびそれに基づくシミュレーション等のデータ解析技術に関する研究を行うものである。

12 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。

13 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。

14 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、引き続き進入が続けられるようなシステム技術を開発するものである。

15 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。

16 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韌性分析手法を提案するものである。

17 は離陸機における運用に焦点を当て、燃料消費量の削減方策についての検討を行うものである。

18 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。

19 は大規模災害時に発生し得る輸送システムの混乱について、ボトルネックを事前に発見できるようにシミュレーションを実施し、課題抽出を行うものである。

II 試験研究の実施状況

1 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、CDO実施判断支援ツールを使用した管制運用のリアルタイムシミュレーションを実施し、提案する方法で複数機のCDO運用が可能な交通量を示すとともに、運用拡大に必要な課題やFixed-FPA降下などの解決策を提案した。

2 の「遠隔型空港業務支援システムに関する研究」では、映像系システム構成を更新し操作性の向上を計るとともに監視センサの評価を行った。また、GUIなどの操作系HMIを考慮して包括的なデザインプロトタイプを製作した。さらにPTZカメラに同期するライトガンユニットを製作した。

3 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と仁川FIRとのフリールーティングに関する課題を抽出した。また、提案した「管制難度」の適用や便益バランスについて検討した。

4 の「航空機の拡張型到着管理システムの研究」では、羽田空港に到着する航空交通流のデータから定量的な到着遅延予測を実現するとともに、到着遅延時間を最小にするE-AMANの設計要件および運用戦略を提案した。また、ADS-Bを利用する新たな運用についてフライトシミュレータ実験を実施し、有効性を検証した。

5 の「ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の研究」では、ハザードの定量的評価手法を改良し、引き続きハザード解析支援ソフトウェアの改修を行った。また、RNP2経路の横間隔及びGNSS喪失時のレーダバックアップの検証のための安全性評価手法の開発や洋上航空路、アカラコリドー等の安全性解析を行った。

6 の「気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する初期的研究」では、航空機の悪天回避条件や回避領域の推定、回避方法のモデル化を検討するため、航空機軌道と気象レーダーエコーとの関係性を分析した。また、来年度以降実施予定である航空交通流の特徴量などを可視化できる研究用評価システムの開発に着手した。

7 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、国内外の無人機の運行方式、運用に関する情報を整理するとともに、無人機の運行高度に近い高度を飛行するVFR機の運航管理データを分析し、VFR飛行の飛行目的や飛行時間等について統計的な数値を明らかにした。

8 の「レジリエンス概念に基づく航空管制官の状況認識に関する研究」では、管制官の状況認識の特徴に関する調査および分析を行った。また、COMPASiをターミナルレーダー管制業務研修用としても利用できるように開発を行い、基本的機能についての操作および動作の評価を行い、概ね良好な結果が得られた。さらに、「熟練者の行動を真似すること」を訓練支援機能としてCOMPASiに実装した。

9 の「AI・最適化技術の航空機運航への適用」では、羽田空港で実施されている滑走路運用の工夫についての効果をシミュレーションにより定量的に示した。また、航空会社から提供されたフライトデータをもとに、不安定進入のフライト抽出を行った。

10 の「航空用データの管理手法に関する基礎研究」では、航空局のシステム移行に伴う変更等に伴うデータ内容を調査し、位置情報などのデータ抽出作業に着手した。また、所内のデータ管理方法について運用方法を検討した。

11 の「空港設計および地上走行時間管理に資する交通データ等活用技術の研究」では、誘導路交通量のパターン分析を行い、空港舗装の点検・補修との関連性を示すデータを得た。また、エプロンにおける混雑を評価するための指標を開発した。

12 の「航空交通データの分析への機械学習の適用」では、飛行時間予測誤差の分析およびATMパフォーマンス指標値の算出、実運航シミュレーション環境の構築を行った。

13 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、将来の航空交通流の運用コンセプトを設計した。特に到着管理システム、航空機の自律飛行であるFIM（Flight-deck Interval Management）、FPA（Fixed-flight Path Angle）降下について検討した。

14 の「次世代自動飛行システム研究開発」では、昨年度構築したGPS/ILSのシミュレーションモデルを使用して、画像センサを望遠として、滑走路を撮影した視覚情報から、

GPS 異常時においても、精度よく機体の位置推定が可能となることを示した。

15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、合流最適化アルゴリズムにレーシングホライズンと障害物配置法を組み合わせることで、現実的な航空機・空域モデルにおけるシミュレーションを実施した

16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、中部空港の現場観察および管制官インタビュー調査を実施し、業務の特徴を機能共鳴分析手法（FRAM：Functional Resonance Analysis Method）モデルを用いて記述した。そして、管制官による予備的な妥当性検証を行い、事例分析の支援として有用との評価を受けた。

17の「離陸機の運用最適化に関する研究」では、実際にTSATが運用されているフランスの空港におけるデータ分析、および、TSATを適用した場合の効果の検討を行った。また、上昇中の推力設定により、燃料消費量の削減が可能であるが、エンジン特性にも大きく左右され、B737/A320クラスより大きい航空機では概ね1フライトあたり10 lb以上の削減効果が見込まれることがわかった。

18の「簡易類似コンテキストを用いたチーム協調レジリエンス推定に関する実験的研究」では、マクロ認知コンテキストをモデル化するフレームワークを構築するための課題を抽出した。

19の「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」では、南海トラフ地震において大きな被害が想定される静岡県庁にて大規模災害の想定シナリオおよび災害対応の実施体制について調査を行った。また、当所の空港面交通シミュレータにヘリコプターの運航を模擬する初期的な機能追加を行った。

本年度は、上記の19件の研究に加えて、以下に示す6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) 洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業
- (2) 2019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
- (3) 羽田空港飛行場面可視化に向けた支援（その1）
- (4) 羽田空港飛行場面可視化に向けた支援（その2）
- (5) 令和元年度運航効率の業務指標作成に係るデータ計測調査 分析支援
- (6) ターミナル空域における空域処理能力の算出に関する調査の技術支援

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おり、航空局の主導する「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）」でも積極的に成果を発信している。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。

「遠隔型空港業務支援システムに関する研究」では、EUROCAE WG-100 に Core Team Member として参加し、リモートタワーのMASPS策定にフィードバック等の活動を行っている。

「航空機の拡張型到着管理システムの研究」では、ICAO監視パネルに参加しASASの成果を報告している。

「ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の研究」では、ICAO SASP（空域安全パネル）会議に参加し、短縮時間間隔の衝突危険度について、計算・報告をしている。

「航空交通データの分析への機械学習の適用」では、日・米・欧・星で構成するPerformance Benchmarking Work Groupで空港周辺での滞留に関する指標値の報告を行っている。

これらの成果は、ICAO, EUROCAE, 日米太平洋航空管制調整グループ会議（IPACG）などの国際会議、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）などの関連学会で積極的に発表している。

これらの中で、令和元年度は計測自動制御学会制御部門技術奨励賞を受賞している。

（航空交通管理領域長 福島幸子）

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, 瀬之口 敦, ビクラマシンハナヴィンダ, 虎谷 大地

研究期間 平成 28 年度～令和元年度

1. はじめに

航空機運航の降下過程において、エンジン推力を最小の状態ですべて連続的に降下する継続降下運航（CDO; Continuous Descent Operations）は、消費燃料が削減される効率的な降下であると同時に騒音低減にも効果があり、国際民間航空機関（ICAO; International Civil Aviation Organization）の世界航空交通計画（GANP; Global Air Navigation Plan）において優先的に導入が勧められている降下方式である。日本の将来の航空交通システムに関する長期ビジョンである 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、現状は交通量の少ない深夜早朝帯に CDO の運用は限られている。

本研究の目的は、CDO を実施できる飛行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

本研究においては、CDO 実施機をできるだけ増加させることを目的に、CDO 拡大に対する課題を整理し運用拡大へ有効な方策を検討した。

なぜ CDO 拡大は容易にできないのか、に対して三つの課題を想定した。「軌道予測の不確かさ」、「他機との間隔維持」、そして「管制官ワークロード」である。

令和元年度は本研究の最終年度であり、上記課題のうち、「他機との間隔維持」及び「管制官ワークロード」に対する方策として、CDO 実施判断支援ツールの機能拡張及びそれを使用した評価実験を実施した。CDO 実施判断支援には、初期的な到着管理により管制官の CDO 実施判断をサポートすること及び管制運用の工夫が有効であると想定した。本研究では CDO 実施判断支援ツールを開発し、管制経験者参加型のヒューマンインザループシミュレーション実験を実施することで、CDO 管制運用の課題を抽出するとともに、CDO 実施判断に有効な管制支援情報及び管制運用の工夫を提案することを目指した。

3. 研究成果

3.1 CDO 実施判断支援ツールの機能向上

本研究において開発した CDO 実施判断支援ツールは、支援情報を提供し、管制指示を模擬できる機能を有するものである。図 1 にツールの全体像を示す。ツールはレーダー模擬画面と支援情報提供画面で構成され、管制経験者に

より評価実験のために、管制官役がコマンドインプットにより管制指示を反映させることが可能である。令和元年度におけるツール開発では、前年度に実施したツールの評価実験において抽出された改善すべき項目に対応すべく機能拡張を実施した。機能拡張はより現実的な管制指示の反映を可能とすることを目的に実施した。具体的には、高度変更、速度指示等複数の管制指示を同時に発出可能とすること及びそれらの指示に対応した航空機の挙動を模擬することである。この機能拡張により、評価実験においてより現実的な管制指示発出が可能となった。

3.2 評価実験

CDO 実施判断支援ツールを使用し、CDO 運用実績の多い関西国際空港を対象とし、管制経験者によるヒューマンインザループシミュレーション実験を実施した。シナリオの範囲は、ターミナルレーダー管制空域とその周辺の航空路レーダー管制空域とした。評価実験では、いくつかのシナリオを用意し、管制官役は各シナリオにおいて規定の間隔を維持するよう管制指示を発出する。令和元年度は、3 名の管制経験者が 5 日間の実験に参加した。実験の様態を図 2 に示す。CDO における管制運用は、到着フェーズにおける航空路レーダー管制とそれに引き続くターミナルレーダー管制が関与するため、実験では、航空路レーダー管制席とターミナルレーダー管制席の 2 席を用意した。さらに、交通流調整席を設け、交通流に対するアドバイスと管制指示コマンドインプットの補助を実施した。

評価実験では、管制官役は到着機に対してできる限り変針することなく連続的な降下が可能となるよう速度調整を実施した。また、通常、航空路レーダー管制からターミナルレーダー管制への移管時は、同一地点からの到着機同士に対しては縦間隔の設定を実施するが、異なる地点から



図 1 CDO 実施判断支援ツール

の到着機同士の間には縦間隔を設定しない。実験では、通常の運用に加え、異なる地点からの到着機間においても、航空路レーダー管制において到着順序の決定及び速度調整を実施することで交通流を整えてからターミナルレーダー管制に移管する工夫を実施した（図3参照）。その結果、ある程度の交通量においてもスムーズな降下が可能となるケースが増加した。この時、航空路レーダー管制とターミナルレーダー管制が同じタイムラインを共有し、共通の状況認識を持つことが調整業務においても効果的であるとのフィードバックを得た。評価実験は空港から約200NM以遠の範囲を対象とした。速度調整による対象範囲の飛行時間の延伸は、全到着機に対し決められた高度でターミナルレーダー管制へ業務移管を実施する通常降下時は一機当たり平均0.6分、CDO降下を試みた場合は一機当たり平均0.3分であった。通常降下では巡航高度からの降下開始が早い段階で実施され、飛行時間がより延伸したと推察される。

一方、増便シナリオでは航空路レーダー管制空域内で速度調整を実施してもスムーズな降下が出来ないケースが多く発生した。複数回実施した実験結果から、航空路レーダー管制空域内における速度調整が有効な条件として、到着機交通量は10分値3機、30分値7機程度が上限値であることが示された。



図2 管制経験者によるヒューマンインザループシミュレーション実験

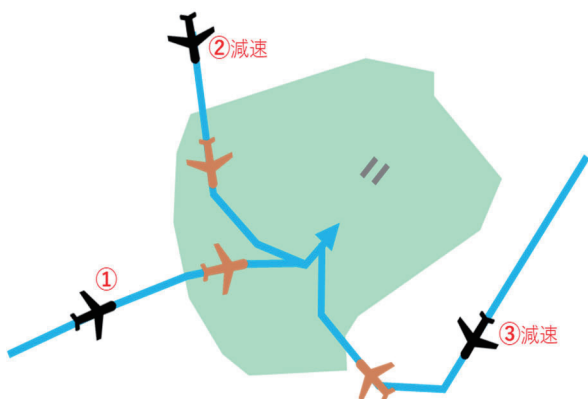


図3 異なる地点からの到着機間での航空路レーダー管制空域からの速度調整のイメージ

4. まとめ

交通量の多い大規模空港において、より多くの航空機が効率的な降下方式であるCDOを実施可能とさせることを目的に、CDO拡大に対する課題を整理し運用拡大へ有効な方策を検討した。三つの課題「軌道予測の不確かさ」、「他機との間隔維持」、そして「管制官ワークロード」を想定し、軌道予測の不確かさに対しては、予測軌道生成アルゴリズムの開発、他機との間隔維持及び管制官ワークロードに対してはCDO実施判断支援ツールの開発を進めた。

予測軌道生成アルゴリズムの開発においては、研究初期段階に積極的に取り組んだ。例として、CDO降下軌道の設計及びフルフライトシミュレーションの結果を使用した設計モデルの妥当性の確認、一定の飛行経路角で連続的に降下するFixed-FPA (Fixed-Flight-path angle) 降下の導入効果の示唆等があげられる。また、予測軌道の高精度化のために、いくつかの大学と連携することで、機械学習の応用等様々な側面から検討を実施した。

本研究の最終年度である令和元年度は、「他機との間隔維持」及び「管制官ワークロード」に対する方策として、CDO実施判断支援ツールの機能拡張及びそれを使用した評価実験を実施した。CDO実施判断支援ツールを使用した評価実験（ヒューマンインザループシミュレーション実験）では、管制官役は到着機に対してできる限り変針することなく連続的な降下が可能となるよう、速度調整を実施した。特に、航空路レーダー管制空域内での速度調整がCDO実施に有効であったが、その有効性は到着機交通量に依存しており、複数回実施した実験結果から、10分値3機、30分値7機程度が上限値であることが示された。

今後は、降下軌道数値シミュレーションに関しては燃料消費以外の環境問題も考慮する必要があると考え、後続研究のひとつとして騒音等を考慮した降下軌道生成に関する研究を実施する計画である。また、管制運用に関しては、今回の実験から管制支援情報の有効性が明らかになったことから、システムの自動化、コンピューター支援の発展とともに変化していく管制支援機能に焦点をあてた研究をもうひとつの後続研究として実施する計画である。

掲載文献

- (1) 福島幸子, 平林博子, 岡恵, 伊藤恵理, ビクラマシンハ ナヴィンダ: “関西空港への継続降下運航(CDO)の現状と改善点,” 第16回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.44-49, 2016年6月.
- (2) N. Wickramasinghe, S. Fukushima, H. Hirabayashi: “Benefits Assessment on Time-Based Oceanic Arrivals to the Tokyo Metropolitan Area,” 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences

- (ICAS2016), 2016-0475, September 2016.
- (3) 岡恵, 福田豊, 福島幸子, 瀬之口敦: “高密度空域への CDO 導入拡大を目指した飛行時間変動幅の分析,” 第 54 回飛行機シンポジウム講演集, JSASS-2016-5013, 2016 年 11 月.
 - (4) S. Fukushima, H. Hirabayashi, M. Oka, D. Toratani: “A Review on the Expansion of Restricted Continuous Descent Operations at Kansai International Airport,” Asia Pacific International symposium on Aerospace Technology (APISAT2017), G2-4, October 2017.
 - (5) S. Ueno, H. Hirabayashi: “Continuous Climb Operation using Stochastic Optimal Control Theory,” Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2017), G2-2, October 2017.
 - (6) 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講演集, JSASS-2017-5038, 2017 年 11 月.
 - (7) 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講演集, JSASS-2017-5037, 2017 年 11 月.
 - (8) N. Wickramasinghe, D. Toratani, S. Fukushima, H. Hirabayashi: “A Study on Modeling Techniques for Fuel Burn Estimation based on Flight Simulator Experiment Data”, Winter Simulation Conference 2017 (WSC2017), December 2017.
 - (9) D. Toratani N. Wickramasinghe, S. Fukushima, H. Hirabayashi: “Design Methodology to Simulate Continuous Descent Operations at Kansai International Airport,” Winter Simulation Conference 2017 (WSC2017), December 2017.
 - (10) 虎谷大地, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 平林博子: “継続降下運航の運用拡大検討のためのシミュレーション技術,” 第 18 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.15-20, 2018 年 5 月.
 - (11) 大野暉宙, 上野誠也, 平林博子: “航空機の軌道誤差を考慮した軌道最適化計算に関する検討,” 第 56 回飛行機シンポジウム講演集, JSASS-2018-5116, 2018 年 11 月.
 - (12) D. Toratani, N. Wickramasinghe, H. Hirabayashi, “Simulation Techniques for Arrival Procedure Design in Continuous Descent Operation,” Winter Simulation Conference 2018 (WSC2018), December 2018.
 - (13) 平林博子, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地: “管制経験者による CDO 運用拡大に必要な要件の検討,” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp. 63-69, 2019 年 6 月.
 - (14) ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地: “実験的アプローチによる固定飛行経路角降下の一検討,” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.71-78, 2019 年 6 月.
 - (15) 上野誠也, 平林博子, 虎谷大地: “安全間隔を考慮した CCO (継続上昇運航),” 第 19 回電子航法研究所研究発表会講演集, pp.79-82, 2019 年 6 月.
 - (16) 平林博子, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地: “航空管制官の管制指示判断を支援するための情報提供画面,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019, 5A2-1, 2019 年 9 月.
 - (17) 川岡瑠奈, 齊藤有紀, 井上正樹, 虎谷大地, 平林博子: “継続降下運航のもとでの航空機の到着時間予測,” 第 62 回自動制御連合講演会, 2D1-05, 2019 年 11 月.
 - (18) H. Hirabayashi, N. Wickramasinghe, D. Toratani: “A Human-in-the-Loop Simulation Study on the Requirements of Air Traffic Control Operations for expanding Continuous Descent Operations,” The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-A-14, November 2019.
 - (19) N. Wickramasinghe, D. Toratani, J. Westphal, T. Feuerle: “A Simulation Based Study for Performance Evaluation of Fixed Flight-Path Angle Descent,” The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-A-66, November 2019.
 - (20) M. Hasebe, D. Toratani, H. Hirabayashi, S. Ueno: “Study on Flight Time Variation of Continuous Descent Operation with Numerical Weather Prediction Wind Data,” Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2019), December 2019.
 - (21) 虎谷大地, ビクラマシンハ ナヴィンダ, 平林博子: “固定降下角運用を用いた到着航空機の手度制御,” 第 7 回 制御部門マルチシンポジウム, 2D1-2, 2020 年 3 月.
 - (22) 川岡瑠奈, 齊藤有紀, 原啓太, 井上正樹, 虎谷大地, 平林博子: “機械学習による CDO 機の到着時間予測,” 第 7 回制御部門マルチシンポジウム, PS1-18, 2020 年 3 月.

遠隔型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）、
研究期間 平成 29 年度～令和 2 年度

1. はじめに

遠隔型の空港管制支援システムであるリモートタワーでは従来の管制塔に代わり、主に光学センサ（カメラ）、監視センサや気象センサ等の機器を空港に設置し、高速ネットワークで空港から離れたリモート管制センターに設置された運用システムへ繋ぐことで管制業務を実施するものである。従来の管制塔と同様に空港の交通状況や監視業務を遠隔地の管制センターから実施できるようにオペレータの視覚を補助する支援機能や監視センサ情報などを統合した機能と共に安全性の向上と、効率的な運用が可能なシステムの開発を目指している。本研究では、リモートタワーの実用化に向けて、技術開発と試験システムでの評価を実施している。

2. システムの概要

リモートタワーでは従来の管制塔と同様の視界をパノラマディスプレイ上に表示するシステムとなる（図 1）。映像は空港側に設置された複数台のネットワークカメラからリアルタイムに伝送される。また、空港周辺や空港内の航空機及び移動体の位置情報は監視センサを通じて取得し、それらの情報をパノラマディスプレイ上に拡張現実（Augmented Reality：AR）型のラベル表示することができる。これらの視界拡張の支援機能はオペレータの業務負荷の軽減、安全性の向上や運航効率の向上にも寄与できる。

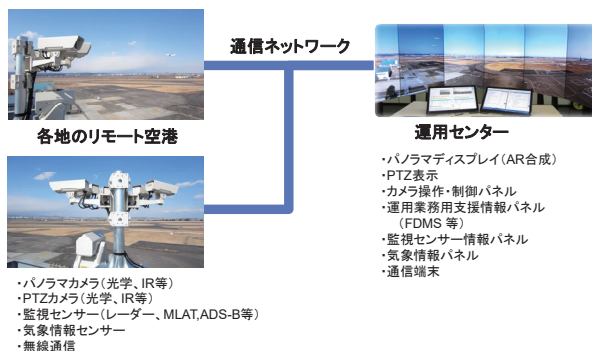


図 1 システム概念構成

また、いままで管制塔では特定の航空機や場所を拡大して見たい場合には双眼鏡を使用していたが、リモートタワーでは特定の視界領域を拡大するために PTZ カメラを備えている。PTZ カメラは、取得される映像情報

そのものや監視センサの情報と連動し、特定の目標を自動的に追尾することが可能で、オペレータのワークロードを減らしながら、効率的かつ安全性を担保した運用ができ、オペレータは空港から離れた運用センターからでも航空機を今までと同様に監視し、必要な情報提供や指示等の業務が可能となる。

3. システム開発状況

実験システムは仙台空港に隣接する岩沼分室にカメラ等のテストシステムを設置し、ネットワークを介して調布にある実験室を繋いで、開発したシステムの評価を実施している。今年度の開発状況について示す。

3. 1 映像系システム構成の更新

遠隔型の空港業務支援システム（以下、リモートタワー）は中小規模の空港から導入されることが想定されるが、小規模向けであってもコストバランスを保ちながら、システムの特徴である視覚的に業務を補助、支援するための機能を搭載し安全性に寄与できるような性能を持ち合わせている必要がある。そこでコンパクトであっても十分な性能を満たすために、ソフトウェアアルゴリズムの見直しおよび効率化を行うと同時に、今までのマルチなハードウェア構成から集約型の小型ハードウェア構成へと構成の変更を実施した。

今回の更新により、複数のカメラからの映像情報を一枚映像として合成し、処理できるようになったため、シームレスな情報表示やカメラ台数に依存しない表示画面に対応できるようにした。また、併せて PTZ の映像も手元の操作画面だけでなく必要に応じてパノラマ画面上に任意の大きさを拡大表示が可能となった（図 2）。



図 2 パノラマ画面上の拡大表示と自動追尾表示例

ハードウェアは 180° の視野角で 6 台のカメラの映像

を1台で処理するようにしているが、ハードウェアはワークステーション1台とコンパクトでありながら表示フレームレートやカメラ映像同期等性能はアップデート前と同じ性能を維持している。また図2にも示したように、AIによる画像認識および監視センサ情報を統合したPTZカメラの自動追尾機能をパノラマ画面上に組み込んだことで、オペレータの監視業務の自由度が上がり、操作性の向上も図っている。

3. 2 管制業務向けコンセプトHMIの設計

管制業務に対応したリモートタワーとするためには、業務運用に最適化された操作系HMIを検討する必要がある。本研究ではユーザ中心の設計（デザイン）手法を取り入れながら、ユーザである管制官の業務に必要な機能を有するよう業務分析とリモートタワー専用の機能コンセプトを基に、高ユーザビリティかつ系統立てたデザインを検討した。また、エラーの防止や安全性の向上にも配慮し、GUIなどの操作系HMIと合わせて管制卓の形状や配置についても検討を行い、包括的なデザインプロトタイプを製作した。GUIデザインは、直感的に操作でき、誤解が生じにくいように機能を明確化し、シンプルなデザインとしており、繰り返し評価を実施しプロトタイプ作成までにブラッシュアップを重ねている。GUIの操作画面は以前の2画面構成から、大型のタッチディスプレイ一枚とし、必要な機能はすべて1つの画面に集約したコックピットインタフェース型としていることも特徴である（図3）。さらに画面や操作系の配置も人間工学の考え方にに基づき、操作者のアクセス範囲等考慮した形状、配置の設計を行った。



図3 システムの表示系と統合型のHMI

3. 3 リモートタワー用PTZカメラ同期型LEDライトガンユニットの製作

リモートタワーでは空港から離れた場所で運用を行うため、現在、管制塔の内部に設置されている手動操作

のライトガンは使用できない。無線通信ができない緊急時においても遠隔地から操作できるライトガンが必要となるため、専用のLEDライトガンユニットをPTZカメラに搭載し、PTZカメラを操作することで、連動してライトガンを航空機に向けることができるよう軽量のLEDライトガンユニット付きのPTZカメラを製作した（図4）。性能評価については次年度に岩沼分室に設置し、機能評価試験を行う計画である。

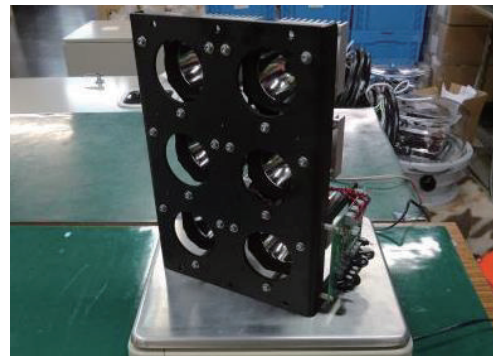


図4 評価試験用LEDライトガンユニット（ハードウェア単体）

3. 4 監視センサの評価

監視センサの情報はターゲット検知や追尾を行う際に、映像情報だけでは不十分な場合の精度の向上に非常に有効である。ただし、センサ情報の更新頻度の問題からセンサからの直値情報を表示するだけだと画面上では動きにブレが生じたり、ノイズにより不安定に見えて情報が見づらいものとなることがあるため、安定的に表示するためのフィルタリングや予測制御の処理を行うことが見易さには重要である。特に監視センサ情報の統合では映像情報とのシンクロは重要で、映像上のターゲットと監視センサ情報を違和感なくマッピングさせるために、キャリブレーションや動作の平滑化の処理を検討し、改良を実施している。また映像上ではターゲット検出が難しい距離においても、PTZカメラを正確に追尾、追跡することが可能で、これらをスムーズに機能させるために予測処理等の精度向上を図っている。

4. まとめ

本研究ではリモートタワーの実用化に向けて、これまで開発してきた映像系、監視センサ、HMIデザイン等のそれぞれの要素技術とそれらを合わせた総合的なシステム機能の開発及び、評価について実施した。今後も、機能や精度向上を引き続き実施していく予定である。また、研究・開発で得た知見をもとにEUROCAEにおけるリモートタワーのためのワーキンググループ（WG-100）にもCore Team Memberとして参加し、

MASPS 策定にフィードバック等の活動を行っており、
今後も継続参加し貢献していく。

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，監視通信領域
担当者	○ブラウン マーク，平林 博子、ピクラマシン ハ ナヴィン ダ，長岡 栄
研究期間	平成 29 年度～令和 2 年度

1. はじめに

航空交通管理（ATM：Air Traffic Management）では、国際交通量の増加に対して、安全性や定時制をはじ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、高度と自国で定義されている 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、運航者が希望する最短軌道や最適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」（CDM：Collaborative Decision Making）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（FIR：Flight Information Region）の高高度空域に適用することを想定して、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にあり、FIR を通過する複数の軌道を「エンド・ツー・エンド」で管理する必要がある。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示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。本研究では、このフリールーティングのコンセプトと必要な要素技術を調査し、適用性の向上を目指す。

3. 研究成果

3.1 運用コンセプト提案のための検討、調査

福岡 FIR の上空通過機の効率的な運航のためには、フリールーティングを用いる FIR 間の交通流の円滑化が重要である。福岡 FIR 上空通過機の多くは、西側に隣接する仁川 FIR と東側に隣接するアンカレッジ FIR、オークランド FIR の間を飛行する。韓国航空大との共同研究で、仁川 FIR

～福岡 FIR 間の交通流分析を行い、FIR 間のフリールーティングに関する課題洗い出しに着手した。

図 1 は 2019 年 5 月のある一週間から抽出した仁川国際空港～北米間の交通を示す。太い線は飛行計画経路、細い線は福岡 FIR 内のレーダー航跡を示す。出発・到着空港の組み合わせごとに色分けを行う。また、紫色で示すエリアは福岡 FIR 内の訓練空域を示す。レーダー航跡と飛行計画経路を比較すると、管制官の指示によると思われる飛行軌道短縮（ショートカット）の傾向が明確である。これは、仁川 FIR との境界線と洋上空域の間のフリールーティングによる飛行距離の短縮の可能性を示す。共同研究の調査により、隣接 FIR からの予定に入域時刻の不確定性が両側の航空管制の共通課題であることが分かった。この不確定性の一つの原因は、実際に飛行した軌道と飛行計画経路の差で発生すると考えられる。フリールーティングと軌道ベース運用が実現すれば、以下のように不確定性が少なくなる。

図に示すエリア G は、訓練に利用されない夜間は、旅客機が計画可能な調整経路が設定され飛行計画距離の短縮になる。しかし、昼間、エリア G が訓練使用予定とされている時間は飛行計画経路として計画できない。実際は、例えば早めに訓練等が終了し旅客機のエリア通過が可能な場合は、訓練機関が当該エリアの管理者と調整のうえ、エリアを通過することが可能となる場合がある。その結果の表れが、飛行計画経路と実際に飛行した経路の間に発生

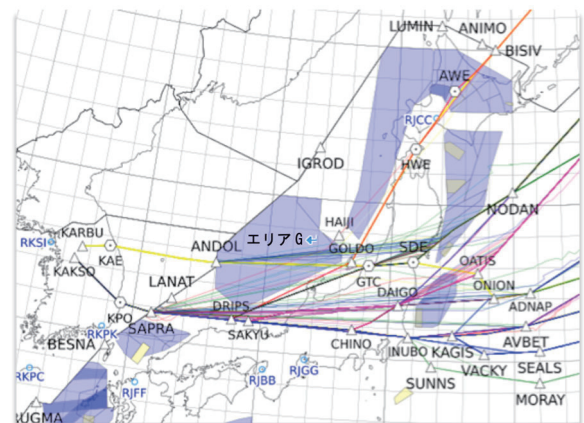


図 1 仁川国際空港～北米間の便の飛行計画経路（太い線）と福岡 FIR 内のレーダー航跡（細い線）

したギャップであり、予定軌道の不確実性が増えることとなる。フリールーティングの概念において、予測軌道の不確実性が増えることとなる。フリールーティングの概念において、FUA（Flexible Use of Airspace）でより効率的な訓練空域の利用が必要である。また、フリールーティングの導入段階は夜間がもっとも適切である。

3.2 軌道の ATM パフォーマンス指標

フリールーティングの運用環境において交通流が変わるため、航空管制の業務も変わる。飛行計画が ATS（Air Traffic Services）経路に基づいている場合、航空管制官が管制する空域（セクター）に特徴的な交通パターンがあり、コンフリクト（管制間隔欠如）の可能性がある「ホットスポット」が ATS 経路の交差点に集中する。一方、フリールーティング環境において、交通は空域に分散され、航空管制官の「ホットスポット」予測が困難になり業務負担が増える可能性がある。軌道ベース運用の環境において、航空機はできる限り飛行計画経路に沿って飛行することとなる。また、航空管制業務は瞬時の状況判断に基づいた戦術的な航空管制から、より計画的な軌道管理に移行する。従って、フリールーティングを実現するために新しい航空管制支援ツールが必要となる。

本研究では、先行研究で提案したレーダーや飛行計画の情報等を基に航空管制の難度を表す指標に基づいた管制官支援ツールを検討している。図 2 は管制官支援ツールの概念図を示す。対象セクターを飛行する航空機の飛行計画情報と監視情報（レーダー航跡）から軌道を予測し、「空域難度」のホットスポットを明らかにする。ホットスポットやコンフリクトが検出された場合、軌道変更の候補を航空管制官に提案する。なお、軌道変更案を空対地データリンクにより直接航空機に通信することもでき、航空管制官とパイロットの共通状況認識が高くなる。また、経路変更の軌道は予測が難しいレーダー誘導等（開ループ）ではなく、決められた（閉鎖）経路になるため、軌道の予測性を維持する。

「管制難度」の計算を様々な交通パターンで評価した結

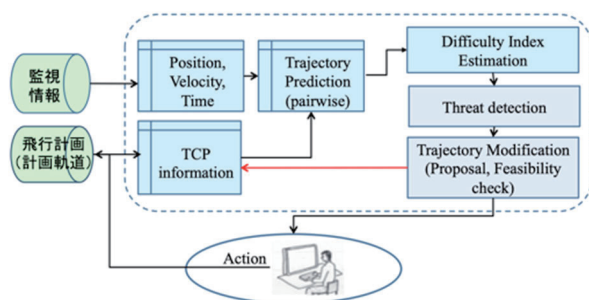


図2 管制支援ツールの概念図

果、計画軌道情報に基づいたコンフリクト検出機能に適用できると考える。今後、軌道変更案の生成機能を検討する。

3.3 便益バランシング方式の提案

電気通信大学との共同研究で、洋上空域に入域する上空通過便と日本出発便の巡航高度と入域時刻の組み合わせを遺伝的アルゴリズムで獲得できることが明らかになった。今後、便益バランシングのため、運航者の希望をトレードオフに反映する方法を検討する。

4. おわりに

平成 31 年度は、福岡 FIR の上空を通過する韓国～日本間、韓国～北米間の交通流を解析し、各々の FIR の国際交通流に関する課題を調査した。令和 2 年度は、上空通過機を集中した福岡 FIR 上空フリールーティング空域の設計案を作成し、課題を洗い出す。また、ATM パフォーマンス指標の管制官支援ツールへの適用とフィージビリティの検討を続ける。

掲載文献

- (1) N. K. Wickramasinghe, Y. Nakamura, H. Hirabayashi, M. Brown: “A Quantitative Evaluation on potential Benefits Assessment of Dynamic Airborne Reroute Procedures (DARP)”, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2019, June 2019.
- (2) S. Nagaoka, M. Brown, D. Delahaye: “Analyses on Error Propagation Characteristics of a Mathematical Model for Estimating Air Traffic Control Difficulty”, EURO2019, Dublin, Ireland, June 2019.
- (3) M. Brown, H. Hirabayashi, N. K. Wickramasinghe, D. Toratani: “グラフ探索理論に基づいた軌道最適化について”, ENRI 研究発表会 2019, June 2019.
- (4) A. Murata, K. Takadama, M. Brown, D. Toratani, H. Hirabayashi: “北米便に対する上空通過機と日本出発機のモデリング”, ENRI 研究発表会 2019, June 2019.
- (5) S. Nagaoka, M. Brown: “モデルパラメータの感度解析と入力誤差の影響 —航空管制の難度指標による例—” 日本航海学会 AUNAR 研究会, June 2019.
- (6) S. Nagaoka, H. Hirabayashi, M. Brown: “Towards Automatic Suggestions of Aircraft Trajectory Change for Mitigating High Traffic Complexity based on an Air Traffic Control Difficulty Index”, EURO2018, July 2018.
- (7) M. Brown, H. Hirabayashi: “A Simulation Study of Alternative Route Structures for NOPAC Airspace Reconfiguration”, APISAT 2019, Gold Coast, Australia, December 2019.
- (8) S. Nagaoka, H. Hirabayashi, M. Brown: “Towards Automatic Trajectory Modification for Reducing Air Traffic Complexity Using an ATC Difficulty Index”,

- (9) S. Nagaoka, M. Brown: “管制難度値の推定のための航空機軌道と飛行計画情報の関連付の方法の一考察”, 電子情報通信学会 技術研究報告 SANE2019-94, Jan. 2020.

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, 中村 陽一,
宮沢 与和, リーデル ティモ

研究期間 平成 29 年度～令和 2 年度

1. はじめに

ICAO は、今後 20 年間の世界の航空交通需要は約 2.5 倍に増加すると発表している。2020 年 5 月現在、COVID-19 の影響を受け、この需要予測は下方修正される可能性もあるが、長期的な視点にたてば、旅客と物の流れが途絶えることはない。日本にとっても、将来的な航空交通の増加を見越して、特に混雑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。このような状況を踏まえ、大規模空港に到着する航空機に対して、巡航・降下空域を含む広範囲にわたって、到着スケジューリングを行う航空管制官を支援する自動化システムである拡張型到着管理システム (E-AMAN: Extended-Arrival Management) の研究開発が世界規模で現在進行中である。

そこで本研究は、東京国際 (羽田) 空港に実装を目指す E-AMAN、シミュレーション実験等により、遅延時間や燃料効率などの観点から検証を行う。さらに、E-AMAN と協働する新しい運航についても有効性を検証する。三年目となった令和元年度は、2 年分の航跡および飛行計画データを利用して、ドイツ航空宇宙研究所 (DLR) およびデルフト工科大学と共同で、羽田空港に到着する航空交通流のデータ駆動型分析と待ち行列理論に基づく定量的な到着遅延予測を実現するとともに、到着遅延時間を最小にする E-AMAN の設計要件および運用戦略を提案した。また、ADS-B を利用する新たな運用として航空機の自律飛行で

ある FIM (Flight-deck Interval Management) の速度制御則を提案し、ブランシュバイク工科大学と共同でフライトシミュレータ実験評価を実施した。これらの研究成果を複数の学術論文[1-6]や解説記事[7,8]等で発表するとともに、ICAO や航空局における国際規格や CARATS 施策策定に知見を反映した[9-11]。さらに、ユーロコントロール実験研究所、東京理科大学、東京大学などの研究・学術機関と連携し、航空管制用ヒューマンインザループシミュレーション実験環境を日本に実現した。これらの研究概要を以下にまとめる。

2. 研究概要

2.1 拡張型到着管理システムの運用プロトコルおよびスケジューリング手法の設計

2016 年と 2017 年の奇数月における合計 71 日分の航跡および飛行計画データを利用し、今後さらなる航空交通量の増加が見込まれる南西方面からの到着流を対象にデータ駆動型分析と待ち行列理論を現実の管制運用に即して発展させた、到着管理戦略および拡張型到着管理システムの設計要件を提案した。成果の一例を図 1, 2, 3 に示す。

図 1 の左図のように、羽田空港を中心とした半径 20NM から 300NM の同心円を 10NM 毎に描き、内側の円と外側の円に囲まれたドーナツ状の空域において、南西方面から到着する航空交通流の到着遅延を待ち行列理論を用いて予測した。図 1 の右図のように、現状 (1 時間毎に 30 機が到着・各空域において 2 機の航空機の飛行を仮定 ($c=2$))

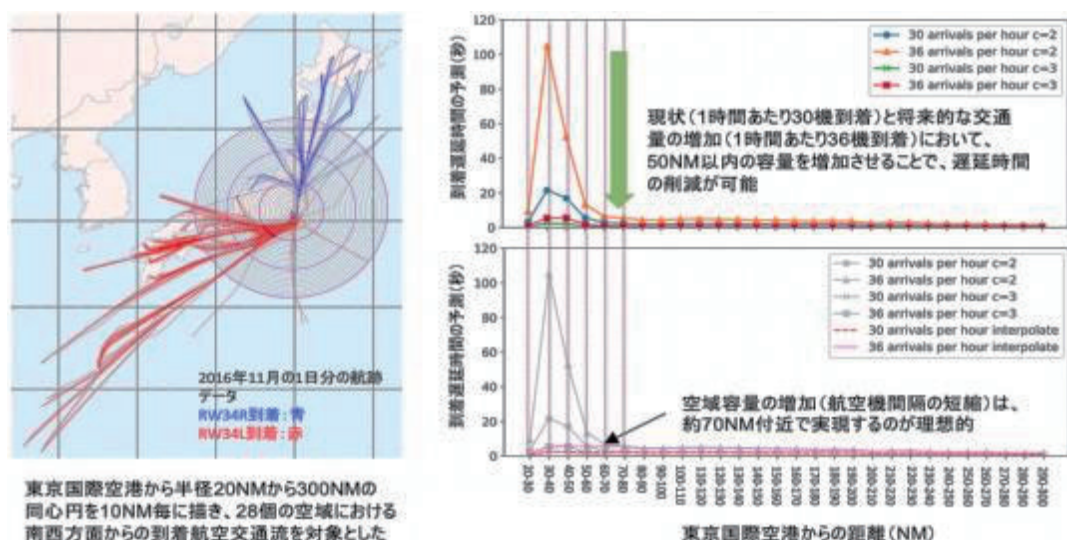


図 1 ターミナル空域における遅延予測と削減対策

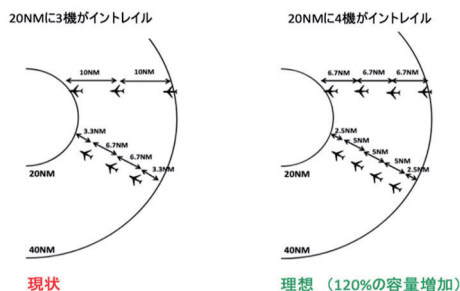
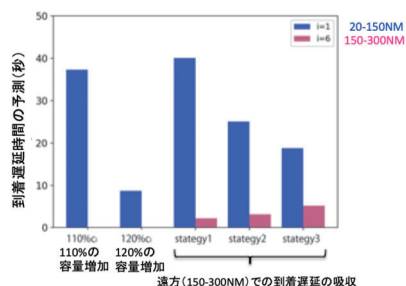


図 2 管制運用における提案



Airspace i	1 (20-150NM)	6 (150-300NM)	
Strategy 1	$E[B_i] - 100\text{sec}$	$E[B_i] + 100\text{sec}$	150-300NMで100秒の遅延を吸収
Strategy 2	$E[B_i] - 150\text{sec}$	$E[B_i] + 150\text{sec}$	150-300NMで150秒の遅延を吸収
Strategy 3	$E[B_i] - 180\text{sec}$	$E[B_i] + 180\text{sec}$	150-300NMで300秒の遅延を吸収

図 3 エンルート空域における遅延削減対策

では、東京国際空港から 30NM から 40NM、40NM から 50NM の間の空域において 20 秒程度の遅延が発生している。到着航空交通が 1 時間あたり 36 機に増加した場合では遅延時間が 110 秒以上に増加し、1 時間あたり 40 機を仮定すると航空交通流を安定に運用できないことがわかった。これを解決するためには、70NM 付近において現状よりも航空機間隔を小さくする RECAT の後方乱気流区分に基づいた到着間隔づけを達成すること(図 1 左図において $c=3$ に対応) が有効であることを示した。図 2 に示すように、20NM から 40NM の空域において許容する航空交通量を 20%増加すると遅延時間を削減することが可能であり、例えば 7NM の間隔をつけてターミナル空域に移管した運用を 6NM に短縮するだけでも遅延削減に効果的である。図 3 に示すように、東京国際空港周辺の到着遅延時間を 150NM 以遠の空域で吸収できた場合 (Strategy 1-3) の全体の到着遅延時間を分析したところ、空港周辺において 120%程度の容量増加の方が効果的であることがわかった。これは、空港から離れた空域において到着間隔のばらつきが大きいこと、到着時間管理を行っても遅延削減効果が小さいことを意味しており、改善するためには遠方におけるメタリングを実施する必要があることを示している。これらの研究成果に基づき、E-AMAN の設計要件を文献[5]にまとめた。今後は、2019 年 7 月以降の航空交通データに

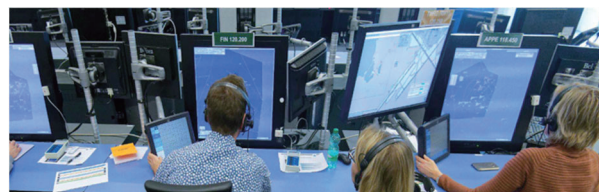


図 4 ESCAPE シミュレータ

基づいて検討を行い、E-AMAN 設計に反映する。

2.2 シミュレータ実験による検証

ユーロコントロール実験研究所と連携し、レーダー管制を模擬するヒューマンインザループシミュレータである ESCAPE Light を用いたシミュレーション環境を電子航法研究所に構築した。今後は、羽田空港への到着航空交通を模擬したシミュレーション実験を行う環境構築を継続する。また、ブランシュバイク工科大学と共同で、後述する新運航について、フライトシミュレータ実験による実証実験を実施し、有効性を評価した。

2.3 新運航の検証

従来の FIM の脆弱性を補完する新しい速度制御則を A* アルゴリズムを適用して提案し、ブランシュバイク工科大学のフライトシミュレータにアビオニクスを模擬して搭載して有効性を検証した。また、RNAV-RTA を利用した到着管理手法を提案し、データ分析・数値シミュレーションにより、有効性および社会実装への課題を検討した。

掲載文献

- [1] Eri Itoh and Mihaela Mitici, "Queue-based Modeling of the aircraft arrival process at a single airport", Aerospace, Topical Collection: Air Transportation-Operations and Management, 6(10), 103, 2019.
- [2] Timo Riedel, Masaki Takahashi and Eri Itoh, "Reducing Speed Commands in Interval Management with Speed Planning", The Aeronautical Journal, Volume 124, Issue 1272, pp.189-215, 2020.
- [3] Timo Riedel, Masaki Takahashi, Tomoaki Tatsukawa and Eri Itoh, "Evaluating Applied Flight-deck Interval Management using Monte Carlo Simulations on the K-Supercomputer", Transactions of JSASS, Volume 62, Issue 6, pp. 299-309, 2019.
- [4] Eri Itoh and Mihaela Mitici, "Evaluating the Impact of New Aircraft Separation Minima on Available Airspace Capacity and Arrival Time Delay", The Aeronautical Journal, Volume 124, Issue 1274, pp.447-471, 2020.
- [5] E. Itoh, Y. Miyazawa, M. Finke, and J. Rajat, "Macroscopic Analysis to Identify Stage Boundaries in Multi-Stage Arrival Management", Air Traffic Management and Systems IV, Springer nature (Accepted) .
- [6] 宮沢与和, 伊藤恵理, "東京国際空港における到着便の高密度な交通流制御に関する一考察", 第 57 回飛行機シンポジウム講演集, 2019 年 10 月.
- [7] 伊藤恵理, "羽田空港の遅延削減を目指した拡張型到着管理システムの研究開発", 航空管制セミナー, 2019 年 10 月.
- [8] 伊藤恵理, "羽田空港の遅延削減を目指した拡張型到着管理システムの研究開発", 航空管制, 2020 年 3 月.
- [9] 伊藤恵理, "航空機の拡張型到着管理システムと AMAN/DMAN/SMAN に関する検討状況", 航空局講演会, 2020 年 2 月.
- [10] Eri Itoh and Takuya Otsuyama, "Designing Ground-based Interval Management (GIM) for aircraft arrival traffic at Tokyo International Airport", ICAO Information Paper, SP-AIRB8-IP/05, September 2019.
- [11] Eri Itoh and Takuya Otsuyama, "International Civil Aviation Organization ICAO, "Manual on Airborne Surveillance Applications", Doc 9994, Chapter 3 Interval Management, 2020 in print.

ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の研究【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, 住谷 美登里, 山 康博, 松岡 猛

研究期間 平成 30 年度～令和 3 年度

1. はじめに

ICAO の安全管理マニュアル (SMS) で推奨されているハザード解析では、同定されたハザードに対してリスクマトリックスを作成して対応が必要かどうか等を判定する手法が推奨されている。しかし、この方式では、発生頻度や重大さに主観的要素が含まれる可能性が高いと考える。一方、欧米では航空もしくは航空管制に特化したヒューマンエラーの分類等が行われており、米国では Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)、欧州では Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS) が有名である。更に Computerized Operator Reliability and Error Database (CORE-DATA) を用いたヒューマンエラー確率も議論されている。

これらの状況を踏まえて、我々は同定されたハザードを定量的に評価してリスクを計算する手法を研究している。これまでの研究では、同定されたハザードに対してヒューマンエラーの種類を選択し、自動的にヒューマンエラー確率 (HEP) を与えるようにしている。同じ種類のヒューマンエラーでも状況の違いによってリスクが変わることを表現できるパフォーマンス・シェイピング・ファクター (PSF) も考慮して計算を行っている。ハザードの重大さに関しては、重大さを定量化している別の考え方 (保険) と比較し、ハザードマトリックスで扱われる曖昧な表現を定量化できるようにしている。

これまでの研究でのハザードの定量的評価によるリスク評価手法はリスク評価に特化したものであった。しかし、ハザードが起こる前提条件を考える必要があることが分かり、現在はハザード同定の部分も含めた手法を開発している。尚、高精度のリスク値の推定には本手法のキーパラメータである HEP や PSF を最新値に更新する必要がある。

本研究では、更に、航空局から要望される幾つかの定量的安全性評価に関する研究を行う。現在要望されているものは、北太平洋の洋上 (North Pacific: NOPAC) ルートと福岡と上海を結ぶアカラコリドーの安全性評価、そして CARATS の OI-10 としての陸上空域における経路での RNP (Required Navigation Performance: 航法性能要件) 2 での安全と見なせる横間隔基準の推定である。

2. 研究の概要

2.1 研究の目標

本研究では以下を行う。

1. ハザードの定量的評価手法の見直し
2. 航空会社、管制官等にご協力頂き、提案するハザード解析手法の有効性を確認する。
3. ハザード解析支援ソフトウェアの開発、改良
4. 航空局から要望された安全性評価手法の開発等
5. RNP2 経路における横間隔及びGNSS喪失時のレーダを用いたバックアップの検証のための手法の開発
達成目標は以下とする。

1. ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の構築
2. 上記リスク評価手法の有効性の確認
3. 定量的安全性評価 (洋上航空路、アカラコリドー等) の依頼の実施
4. ハザード解析支援ソフトウェアの作成および有効活用
5. RNP 2 運航に対する安全性評価の実施

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 ヒューマンエラー確率等に関する文献調査
- ② ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の見直し・改良
- ③ ハザード解析支援ソフトウェアの改修
- ④ ハザード解析支援ソフトウェアによるハザード同定・リスク評価の準備
- ⑤ RNP 2 運航の安全性評価手法の開発
- ⑥ 安全性解析による管制課への協力
- ⑦ ICAO 会議等への参画による国際貢献

3. 研究成果

①について。ハザードの定量的評価においてキーパラメータとなる HEP や PSF に対する最新の研究成果を文献等で調査した。ハザード解析自体の最新動向も調査した。また、論文を発表できたことにより、欧州で航空管制に対する数多くの HEP, PSF を発表している研究者と連絡を取ることができ、今後、協力していくことを確認

法を再確認した。「事象（条件）」と「出来事（イベント、ストーリー）」を考える手法を、ドローン等の例を考えて、より深く検討した。

③について。ハザード解析・リスク評価の支援ソフトウェアを検討中の評価手法を反映できるように改修した。しかし、手法の検討と並行して実装を行うことの難しさが分かり、解決策を検討中である。

④について。ハザード解析支援ソフトウェアを試用し、エアラインや航空局などの職員にハザード同定・リスク評価を実際に行ってもらうための準備をする予定であったが、ソフトウェア開発の遅れ等のため実施出来なかった。

⑤について。RNP2 経路の横間隔及び GNSS 喪失時のレーダバックアップの検証のための手法を開発した。FAA で用いられている手法を参考にしながら、ICAO の SASP 会議で開発中の ASEPS (Advanced Surveillance-Enhanced Procedural Separation) 衝突リスクモデルを用いて 8 NM 横間隔に可能性のついての理論的な検討を行った。図 1 に ASEPS 衝突リスクモデルの仮定シナリオのイラストを示す。航空機が何らかの原因で横方向にずれて、それを管制官が戻す状況が考慮されている。理論的検討の結果、大きな見積もりとなっているパラメータ値を再検討することで、横間隔は同航 8 NM, 反航 10 NM なら目標安全度を満たせそうであることが分かった。今後は、実データを用いてパラメータ値の妥当性を確認していく予定である。

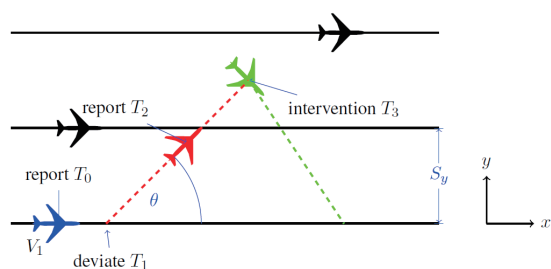


図 1 横間隔 ASEPS 衝突リスクモデルの仮定シナリオ

⑥について。航空局の要望に伴う洋上航空路、アカラコリドー等の安全性解析を行った。福岡と上海を結ぶ A593 経路については、日本、中国、韓国の 3 国に跨る経路となっており、現在は韓国の FIR（飛行情報区）内でも、安全性の観点から日本と中国のみでの運用が行われている。そして、衝突リスクの高い状況が続いている。これに対し、複線化により衝突リスクを軽減する案が示された。

案に従った場合の衝突リスクを実際の運航状況シミュレートすることにより推定した。このためのシミュレーションプログラムは新たに独自に開発した。その結果、衝突

リスクは交差点でのリスクが支配的であり、2019 年 12 月の交通量の多いデータを用いてシミュレーションをした結果、推定された衝突リスクは目標安全度を満たすことが分かった。現在、目標安全度を超えるのは、どれだけの交通量の状況かを解析中である。

⑦について。11 月に開催された ICAO SASP（空域安全パネル）会議に参加し、短縮時間間隔の衝突危険度の計算について発表した。

4. まとめ

令和元年度の研究の概要を示した。今年度は、特にハザードの定量的評価によるリスク評価手法の再確認、ハザード解析支援プログラムの改修、RNP2 運航での安全な横間隔基準推定手法の検討、およびシミュレーションによるアカラコリドーのリスク推定を行った。来年度は、これらを含め、RNP2 の研究では実データによるパラメータ推定を行う予定である。

掲載文献

- (1) 天井 治, 住谷 美登里, 松岡 猛. “ハザード解析における事前確率の効率的な推定方法について,” 2019 年電子航法研究所研究発表会講演概要, 2019 年 6 月.
- (2) 天井 治. “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 6 ～関西国際空港に向けて RNP AR 進入方式で飛行する航空機の飛行時間の短縮効果の推定～,” CARATS 高規格 RNAV 検討 SG 会議, 2019 年 8 月.
- (3) 天井 治, 住谷 美登里. “事象と出来事概念を用いたハザードの前提条件の特定,” 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 A-13-1, 2019 年 9 月.
- (4) 天井 治. “アカラコリドーにおける複線化による衝突リスク低減策の効果の解析,” 航空局管制課への報告, 2019 年 9 月.
- (5) 天井 治. “無人航空機と有人機との衝突に関するハザードの解析について,” 日本航空宇宙学会 第 57 回飛行機シンポジウム, 2G16, 2019 年 10 月.
- (6) R. Mori, “Analysis of Speed Prediction Error on Oceanic Flights”, Journal of Navigation, Vol.72, Nov. 2019.
- (7) R. Mori, “Calculation of collision risk for reduced time-based separation minima”, ICAO SASP-WG/33, Montreal, Nov. 2019.
- (8) 天井 治, 住谷 美登里. “インターネットを活用したハザード解析支援ソフトウェアの開発,” 2020 年電子情報通信学会総合大会 A-13-4, 2020 年 3 月.

気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する初期的研究【指定研究】

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○瀬之口 敦, 平林 博子, 中村 陽一
 研究期間 令和元年度

1. はじめに

CARATS 施策 EN-6「気象情報から運航情報、容量への変換」に係る研究開発が求められている。また、その研究開発の成果は OI-15「協調的な運航前の軌道調整」に必要とされている。具体的には、気象（悪天）現象が航空機運航、航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約について可視化・定量化し、航空交通流および航空機の運航管理の高度化を図るための研究開発が望まれている。

2. 研究の概要

本研究は1ヵ年計画であり、令和2年度より開始する重点研究のための基礎研究の位置付けである。そのため、今後の研究開発にあたって必要となる、①各種データ収集と初期解析、②研究用評価システムの仕様検討、③評価指標等についての動向調査、を実施した。

3. 研究成果

3.1 各種データ収集と初期解析

前述の研究開発にあたって必要となる航跡データ、航空交通流制御関連データおよび気象データを収集した。

また、初期解析として、航空機の悪天回避条件や回避領域の推定、回避方法のモデル化を検討するため、航空機軌道と気象レーダーエコーとの関係性を分析した（図1）。悪天の気象データとして気象庁が提供している全国合成レーダーGPV 計 144 日分、航空機軌道の航跡データとして CARATS オープンデータを用いて分析を行った。軌道については、特に羽田空港から福岡空港へ飛行する航空機、計 1,423 便に着目した。その結果、出発・到着フェーズではエコー領域を飛行する可能性があるものの、弱いエコー強度でも回避されており、総じて航空機はエコーの観測された領域を回避することがわかった。また、その回避基準や回避領域は大きくばらついていた。悪天の航空機運航への影響の定量的な把握に向けては、新たな気象データの活用やエコーに関する評価方法の検討（時間や強度の観点）、より多くの事例の取り扱いと詳細な場合分け（航空機型式、セクタ、他の交通流との関連性）等、さらなる解析が必要である。

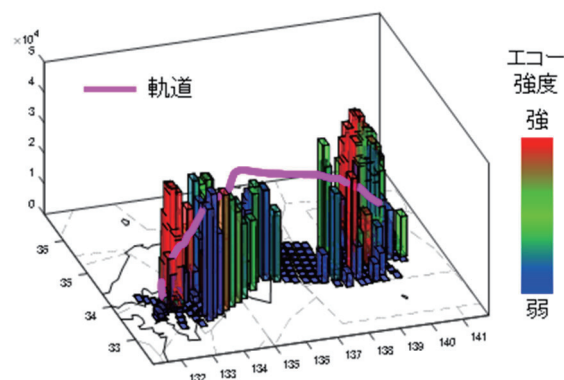


図1 軌道およびエコー強度の表示例

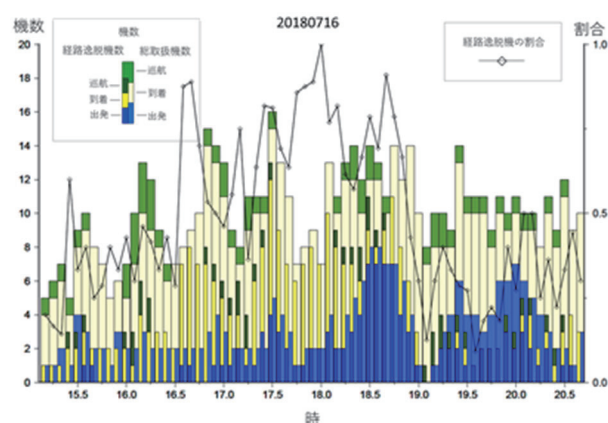


図2 悪天による経路逸脱機が特に多かった日（2018年7月16日）の時系列分析例

（横軸：時刻、左縦軸（棒グラフ）：分析対象セクタにおける5分間の取扱機数、右縦軸（折れ線グラフ）：取扱機数に対する経路逸脱機数の割合）

さらに、悪天による航空交通流管理への影響度の定量化を検討するため、悪天による経路逸脱機を航跡データから抽出し、分析した（図2）。北関東地域における夏場の悪天に着目し、2018年の5月、7月、9月、11月の計28日間における北関東地域を管轄するセクタ（羽田空港および成田空港からの上昇機／への降下機の取り扱いが多い）を対象として、悪天による経路逸脱機を航跡データから抽出した。多い日では午後の3時間程度の間に100機以上の経

路逸脱機が発生しており、その多くは上昇／降下中に悪天域を避ける経路逸脱であった。例えば、分析対象セクタにおける通常の夕刻時は羽田空港への降下機が多く、取扱機数も多いが、図2の事例では18時頃の取扱機数は比較的小さい一方、悪天による経路逸脱機の割合は高かった。特に降下機は安全な着陸のために縦間隔を設定する必要もあるため、悪天域と航空交通流全体の両要素を考慮した交通流の組み立てが有効であるとわかった。

3.2 研究用評価システムの仕様検討

航跡データから航空交通流の特徴量(セクタ毎の処理機数や航空機毎のセクタ内飛行時間など)を抽出する機能、航空交通流制御を再現する機能および各種データの相関をわかりやすく可視化する機能を備えた研究用評価システムの仕様検討を目的として、航跡データと気象レーダーエコーを同一画面上で3.5次元的にアニメーション表示可能な研究用評価システムの一部機能を先行して開発した(図3)。

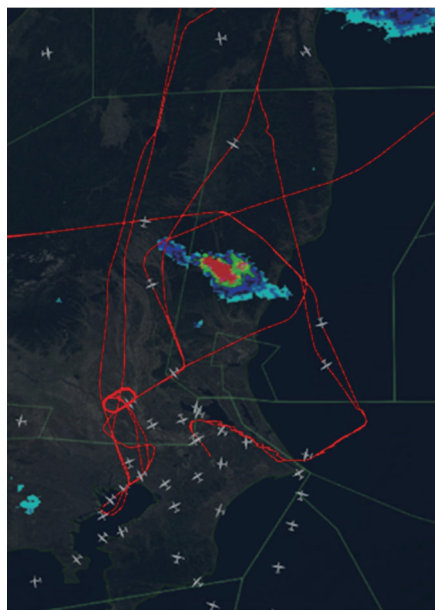


図3 研究用評価システムの表示例(2018年7月16日
15:50頃)

(白シンボル：航空機、赤線：一部航跡、カラスケール
領域：エコー強度)

3.3 評価指標等についての動向調査

気象と航空交通管理の情報を接続する評価指標等についての動向調査を目的として、米国の Strategic Traffic Flow Management について文献調査するとともに、航空局経由で米国連邦航空局と質疑応答を行った。また、我が国の航

空交通流管理で使用されている航空交通気象時系列予想について、気象庁関係者等と意見交換を行った。

4. 考察等

今後は、航跡データと気象データを用いた解析については事例を蓄積するとともに、他の気象データへの応用や航空交通流制御関連データを用いた解析への拡張を行う予定である。また、引き続き研究用評価システムの開発を進めるとともに、研究用評価システムを用いた具体的な解析手法等を検討する。さらに、国内外の動向調査を継続するとともに、諸外国で用いられている運用判断指標候補(文献調査した Permeability について)を我が国の条件下で実際に求め、空域容量に対する制約との相関を調べることを計画している。

掲載文献

- (1) 瀬之口敦, “気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究,” 航空交通気象センター首都圏班合同勉強会, 2019年6月.
- (2) 瀬之口敦, 吉原貴之, “EN-6「気象情報から運航情報, 容量への変換」に関する研究進捗報告,” CARATS 第38回ATM検討WG/第37回航空気象検討WG合同会合, 2019年10月.
- (3) 平林博子, 江口昌広, 瀬之口敦, 中村陽一, “航跡データを用いた悪天の影響を受ける交通流に関する分析,” 第57回飛行機シンポジウム, 2019年10月.
- (4) Y. Nakamura, A. Senoguchi, M. Oka, Y. Fukuda, “A study on factors affecting weather avoidance using actual track data,” 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), October 2019.
- (5) 中村陽一, 瀬之口敦, “航跡データとレーダーエコーデータを用いた悪天回避の解析結果,” 航空交通気象センター首都圏班合同勉強会, 2019年12月.

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【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域、監視通信領域
担 当 者 ○平林 博子、虎谷 大地、河村 暁子
研究期間 平成 29 年度～令和 2 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。

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（VFR; Visual Flight Rules）によ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され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

当初想定したよりも、低高度空域における国の施策等が重要視されてきている（空の移動革命に関する官民協議会の開催等）。空の移動革命に関する官民協議会では日本における低高度空域での新たな飛行物体を発展させるべくロードマップが示された。一方で比較的大型の無人機が想定される遠隔操縦航空機システム（RPAS; Remotely piloted aircraft system）の運用が現実的となってきた等、無人機運用に関する変化が大きい。国内外の動向を本研究で継続して注視していくことが有効であると考え、本研究を1年延長した。令和元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
- ・低高度から中高度における無人機運行のために求められる航空に関する情報の抽出

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

小型無人機に関する運用、技術、活用等に関する国際的な情報交換の場として、国際民間航空機関（ICAO; International Civil Aviation Organization）が主催するシンポジウムが 2017 年から開催されている。本シンポジウムにおいては、各国における小型無人機に関する取り組みや研究成果について Request For Information（RFI）として募集し、有効と思われるものに関してはパネル形式で発表する機会が得られる。本研究において進めていた高度計に関する分析結果及び高度計規正に関する RFI が採択され、11 月にモントリオールで開催された ICAO Third Unmanned Aircraft Systems Industry Symposium（DRONE ENABLE/3）へ、日本から初めてパネラーとして参加した（図 1）。多くの反響を受け、本シンポジウムをきっかけに米国の標準化団体である ASTM インターナショナル（American Society for Testing and Materials International）へ参加することとなった。今後は、標準化の視点において会議に参加し知見を提供予定である。



図 1 ICAO DRONE ENABLE/3

3.2 低高度から中高度における無人機運行のために求められる航空に関する情報の抽出

VFR に関する運航管理データ（ただし軍用は除く）の分析を実施した。運航管理データには、航空機型式、出発地及び到着地の名称、飛行予定地域、出発予定時刻、予定飛行時間、出発／到着時刻等、飛行目的等の情報が含まれており、VFR 飛行の実態を把握するのに有効である。

提供を受けたデータは、2018 年度の計 35 日分であり、対象期間に出発及び到着の時刻が取得可能な飛行計画は 25,981 件であった。日によるばらつきは大きい、一日平均 742.1 件、標準偏差は 194.0 件となる。図 2 に飛行目的別の飛行件数の割合を示す。最も飛行件数の多かったのは、救急医療のための飛行であり、次いで訓練飛行であった。このふたつを合わせると全体の飛行数の 49%と約半数を占める。実際には通報の義務のない航空機による飛行が存在していることに留意する必要があるが、日本における VFR 飛行の飛行目的や飛行時間等について統計的な数値が明確となり、その傾向をある程度把握することができた。

4. まとめ

高度計に関する分析結果及び高度計規正に関する研究成果を ICAO DRONE ENABLE/3 で発表した。これをきっかけに、米国の標準化団体である ASTM インターナショナルに参画していくこととなった。今後は、標準化の視点において会議に参加し知見を提供予定である。

VFR に関する運航管理データ分析では、日本における

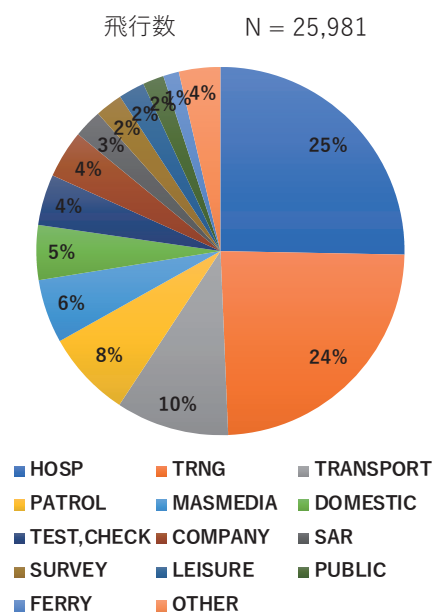


図 2 各飛行目的の割合（飛行数）

VFR 飛行計画に関する統計分析が実施された。VFR 飛行における飛行傾向が明らかになりつつあり、今後の低高度での航空交通管理における非常に有効な資料となった。

無人機運用に関する国内外の変化が大きく、本研究で継続して注視していくことが有効であると考え研究を 1 年延長した。最終年度である令和 2 年度は、継続研究の基礎となるようスコープを広げた情報収集に努めることにしたい。

掲載文献

- (1) 平林博子，虎谷大地：“低高度における救急医療用ヘリコプターの飛行傾向分析，” 第 50 期年会講演会 1D-05，4 月 2019 年。
- (2) 平林博子：“無人航空機の飛行が与える航空交通管理への課題，” 電子情報通信学会 安全性研究会，SSS2019-7，6 月 2018 年。
- (3) 虎谷大地，平林博子，河村暁子：“高度の計測方法の違いによる測定高度のずれと補正方法～有人航空機と小型無人航空機の位置情報共有の観点から～，” 電子情報通信学会 宇宙・航空エレクトロニクス研究会，SANE-2019-42，8 月 2019 年。
- (4) 福田豊，中島徳顕，平林博子：“低高度空域での運航管理技術，” 第 57 回飛行機シンポジウム 2C11，10 月 2019 年。
- (5) 中島徳顕，平林博子，河村暁子，虎谷大地，ニッ森俊一：“電子航法研究所における無人航空機研究への取り組み，” 第 57 回飛行機シンポジウム 1A07，10 月 2019 年。
- (6) D. Toratani, T. Koga, H. Hirabayashi, A. Kohmura : “Altitude Reference System for Small Unmanned Aircraft Systems to Resolve Altitude Discrepancies with Manned Aircraft,” ICAO’s DRONE ENABLE/3, November 2019.
- (7) 平林博子：“運航管理データを用いた有視界飛行方式の飛行傾向分析，” 航空局運用課への報告書，10 月 2019 年。

レジリエンス概念に基づく航空管制官の状況認識に関する研究【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 30 年度～令和元年度

1. はじめに

航空安全を第一目的とする航空管制業務は、高いレジリエンスを必要とする他に類似するものが少ない業務である。この業務を行う航空管制官（以下、管制官）は、訓練や経験によって時々刻々と変化する交通状況を常に認識し、その状況に応じて柔軟に対応するために必要な情報を能動的に獲得しているものと考えられる。管制官にとって状況認識は業務遂行上必要不可欠のものであり、これまでに Endsley の状況認識モデルに基づく分析研究などが行われているが、認知資源や時間の制約が存在し、動的に変化する環境下における管制官の状況認識プロセスを対象としたものは多くは存在していない。

本研究では、管制業務における管制官の動的な状況認識プロセスを分析すると共に、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) を利用して、動的環境下における管制官の状況認識能力の向上支援を行うための手法や訓練機能を開発していく。また、現場運用における様々な視点からの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。このような手法などの開発を通じて、高い安全性を要求される熟練者の技能について、業務内容の把握のみならず客観的な面から調査・分析を行って科学的知識として蓄積することにより、様々な産業分野へ応用可能な予防安全やリスク低減に生かす基本的方策について提案する。

2. 研究の概要

本研究では、以下の項目を実施した。

- ・管制官の状況認識の特徴に関する調査および分析
- ・COMPASi の機能向上検討および開発
- ・管制官の状況認識の特徴に関する調査結果に基づく

訓練支援機能の開発

3. 研究成果

3.1 管制官の状況認識の特徴に関する調査および分析

先行研究において行った航空路管制業務に関する認知

的実験の結果などに基づいて管制官の状況認識の特徴を調査、分析した。管制官は常に動的環境下において状況認識を行なっている。管制目標を達成可能な安全性が高く、より合理的な処理方法を選択し、指示のタイミングおよび内容を意思決定する。処理方法の決定は指示発出以前に行われるため、指示発出時には状況が変化している。管制官はその変化を認識しており、気象情報などある程度定期的に更新される情報は記憶し、なおかつ指示のタイミングにおける最新の状況に関する最適な情報を自発的に取り込むスキルを確保していることがわかった。さらに、管制官は包括的に交通状況を監視して交通整理をすることが業務であるため、取り扱う航空機のパイロットに対して現在の状況を交通情報として積極的に提供することでパイロットとの「情報共有」を図っていることについても知見が得られた。

東北大学との共同研究においては管制業務などの複雑システムを対象として状況認識支援のための注意喚起指針の提案および実験を行った。ここでは複雑システムにおける状況認識支援を注意喚起の有無や方法論の違いにより 3 つのカテゴリーに分類し、それぞれの有効性を評価・分析した。複雑システムの特徴とされるマルチタスクの遂行と状況の不確実性を要素として、管制業務を大幅に簡略化した実験用シミュレータを開発し、一般人の被験者を対象として実験を行い、その結果を踏まえて熟練者である管制官を支援対象とした場合の有効性に関して考察を行った。実験結果からは、通常の警報のみによる支援より、警報に加え被験者が気づき難いと思われる予期しない変動に対する注意喚起、通常の警報をより早期に提示するタイプの注意喚起を付加することが有効である可能性が示唆された。しかし、一般人の被験者の中にも技量の差があり、それによって有効な支援方法が異なる可能性を示唆する結果も得られた。警報をより早期に提示するタイプの注意喚起支援は技量の低い被験者には有効だが、技量の高い被験者には逆効果になる傾向がみられた。その理由として、技量の高い被験者からは「自分のタイミングを崩される」、「支援表示に気を取られて失敗した」などがあげられた。

このような結果から、熟練者である管制官の注意喚起

支援は、必要以上早期に警報を提示することは効果的ではないと考えられる。今後の課題として、長時間継続してタスクを行う場合や、ごく稀に発生し得る見落としなど、観点を変えてさらに評価を行うことが必要である。

3.2 COMPASi の機能向上検討および開発

航空路管制業務用として開発した COMPASi をターミナルレーダー管制業務研修用としても利用できるように開発を行った。航空保安大学校 岩沼研修センターのご協力を得て、基本的機能についての操作および動作の評価を行い、概ね良好な結果が得られた。現用の訓練シミュレータでは複数画面により情報表示を行っているが、今後 COMPASi での画面構成を検討していく。

ターミナルレーダー管制業務では、様々な気象情報の表示が必要となるが COMPASi では表示画面の制約を伴うため、これらの表示に関する検討を行い、試作した。その一例として、常に表示を行う WRU (Weather information Receiving Unit) と必要に応じて呼び出す飛行場内気象情報を試作した。これらは「遠隔型空港業務支援システムの実用化研究」において評価を予定している。

航空路管制業務では、管制官が取得する情報の多くは管制システムの画面に表示される情報であるため、管制官にタイミングよく、よりわかりやすく情報提供できることが安全性の向上に繋がる。また、空域形状や交通流の特徴に基づいた HMI (Human Machine Interface) の検討が重要な課題となる。これらの課題に対して、COMPASi の画面上で実際の交通流を模擬しながら情報表示に関するデザインの検討を簡易的に行う機能を開発した。

3.3 管制官の状況認識の特徴に関する調査結果に基づく訓練支援機能の開発

管制業務では安全性と効率の両面を満足する処理方法やマルチタスクの処理の優先順位などを的確に選び、かつ、実行できる技量が求められる。管制業務におけるレーダー誘導の訓練では、教官が指示のタイミングの取り方や指示内容を適宜訓練生にアドバイスしている。このような技量習得の訓練方法である「熟練者の行動を真似すること」を訓練支援機能として COMPASi に実装した。これは、COMPASi で同一のシナリオによる異なる 2 つの結果を同時に再生、表示することで各航空機の挙動等を比較することができる機能である。

4. 考察等

管制業務などの複雑システムでは、オペレータである

熟練者を対象とした状況認識を支援する機能の開発が求められる。その大前提には「業務の支障にならない」ことが挙げられ、業務の特徴を踏まえた様々な観点から熟練者の有効性評価が必要である。

掲載文献

- (1) 堀口聖友, 青山久枝, 狩川大輔, “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改良,” 日本人間工学会第 59 回大会, 1F4-3, 2018 年 6 月.
- (2) 青山久枝, 狩川大輔, “航空管制官の状況認識に関する分析とモデル化,” 日本人間工学会第 59 回大会, 1F4-2, 2018 年 6 月.
- (3) 中村陽一, 青山久枝, 狩川大輔, “航空管制レーダ画面の設計支援ツールの開発,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2018, pp.80-83, 2018 年 9 月.
- (4) 堀口聖友, 青山久枝, 狩川大輔, “ターミナルレーダー管制業務における気象情報の表示方法の検討,” ヒューマンインタフェース学会第 159 回研究会, 2018 年 11 月.
- (5) 青山久枝, “安全をつくる航空管制官の技能とトレーニング,” ヒューマンインタフェース学会第 159 回研究会, 2018 年 11 月.
- (6) 岩淵由華, 狩川大輔, 青山久枝, “レジリエンスの 4 つのコア能力に基づく航空路管制業務の分析,” ヒューマンインタフェース学会第 159 回研究会, 2018 年 11 月.
- (7) 川越佑太, 青山久枝, 狩川大輔, “航空管制レーダー画面のレーダ調整席支援ツールの開発,” 日本人間工学会第 60 回大会, 2C2-2, 2019 年 6 月.
- (8) 吉田悠, 青山久枝, 井上諭, 狩川大輔, 菅野太郎, 古田一雄, “航空管制における業務支援機能の表示デザイン検討 ～業務熟練度による影響の違いの分析～,” 第 170 回ヒューマンインタフェース学会研究会, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 2019 年 11 月.
- (9) 高橋信, 青山久枝, 芳賀清憲, 三浦直樹, 狩川大輔, 関口敦, 川島隆太, “管制官の空間情報処理の神経基盤: 機能的 MRI を用いた研究,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.22, No.1, pp.35-42, 2020 年 2 月.
- (10) 青山久枝, “レジリエントな航空管制官の技量とトレーニング,” 日本人間工学会東北支部研究会 2020, 2020 年 2 月.

AI・最適化技術の航空機運航への適用【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 30 年度～令和元年度

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、羽田空港への到着管理システムの開発、および、不安定進入の要因推定の 2 点について研究を行う。

2. 研究の概要

2.1 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。

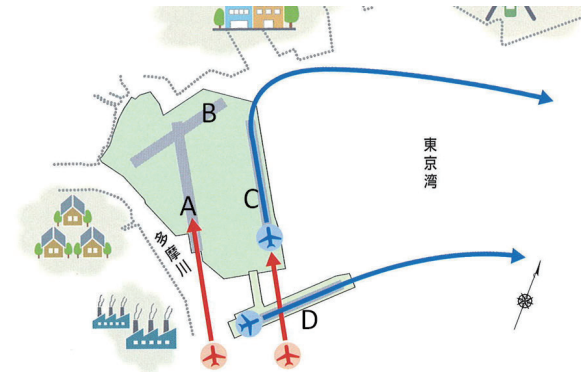


図 1 羽田空港の滑走路運用(北風時)

東京空港事務所パンフレットより抜粋

2.2 不安定進入の要因推定

AI は近年注目を浴びているが、航空業界への適用事例は多くない。本研究では、航空会社のニーズに基づき、AI を適用可能な事例について実際に AI を適用し、その効果を確認することを目的として研究を開始した。そのターゲットとして、不安定進入の要因推定を行うこととした。**Stabilized approach**(安定進入)とは、着陸前に航空機を安定させ、安全な着陸を行うためのコンセプトである。過去に不安定であったことが原因のインシデントや事故も報告されており、現在ではほぼすべての航空会社が安定進入による運航を推奨している。しかしながら、状況によっては不安定進入やそれに近い状況になることがあるため、本研究では不安定な状況を未然に防ぐ方法や、過去のパイロットの行動が他の多くのパイロットと比較してどうであったか、といったことを解明することを目的として実施する。

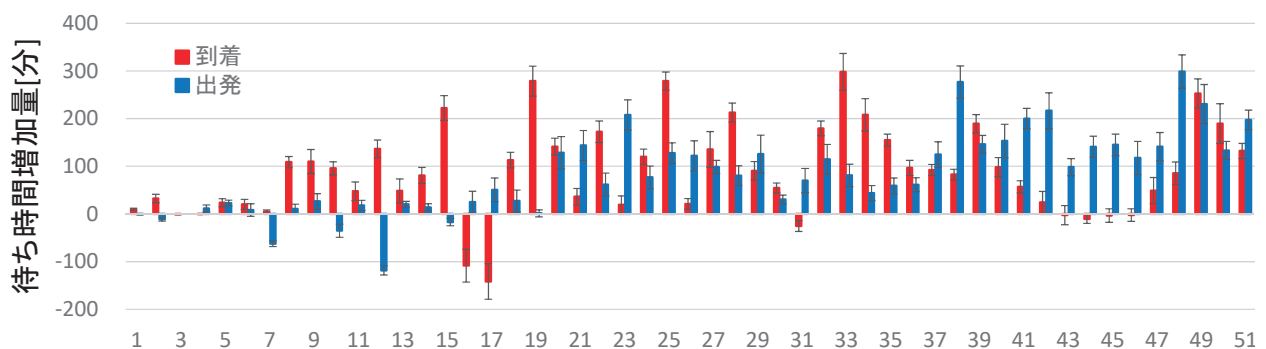


図 2 管制による滑走路変更を元に戻した場合の待ち時間の増加量
(=管制による滑走路変更による待ち時間減少量)

3. 研究成果

3.1 到着管理システムの開発

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管制運用が行われている。その効果を定量的に把握するため、その用途に適した羽田空港のシミュレーションモデルの構築を行った。そのシミュレーションモデルをもとに、仮に着陸機が本来の方面別運用を行った場合、どの程度待ち時間が増えるかについての計算を行った。その結果を図2に示す。

滑走路を変更した場合の、離陸、着陸両者の待ち時間増加量を別々に示しており、それぞれ1日ごとの結果を示している。正の待ち時間増加量は、管制による滑走路変更により、実際には待ち時間が減少したと想定されることを示している。データは時系列に並んでおり、左は過去のもの、右は比較的最近のものを示している。

図によると、基本的に正の値を示しており、管制官の滑走路変更がうまく機能していることがわかる。ただ、待ち時間の減少量は、初期は少ないのに対し、後半は多くなってきていることがわかる。滑走路変更の戦略が徐々に変化してきていることを示唆している。また、直近の場合は出発機の待ち時間の減少の割合が大きくなってきている。これも最近の戦略の変更を示唆するものである。

3.2 不安定進入の要因推定

不安定進入は、様々な要因により発生し、環境要因によるもの(主に風など)、他に、パイロット要因など多岐にわたる。しかし、不安定進入の原因が風による場合はその回避が根本的に難しいのに対し、パイロット要因や変更可能な環境要因の場合は、その対策を講じることができる。本研究では、回避の難しい環境要因として風を取り上げ、風による影響を打ち消したうえで、相対的に安定なもの、不安定なものを同定する手法を、ニューラルネットワーク(NN)により開発することとする。

不安定指標として、以下で定義されるトラック角変化量を用い、この値が大きいほど進入が不安定であることを示している。

$$\Omega = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} |\psi_{i+1} - \psi_i|}{t_N - t_0} \quad (1)$$

風やその他の変更不可能な環境要因を入力とし、トラック角変化量を出力することにより、これらの要因を加味した上で予測されるトラック角変化量を NN が出力することとなる。実際のトラック角変化量と NN の出力するトラック角変化量が大きく異なる場合、今回考慮した環境要因以外の要因によって不安定な進入となっていることが示

唆される。

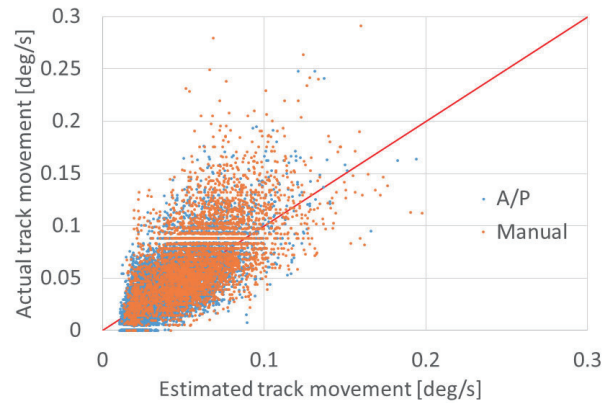


図3 トラック角の平均移動量の推定

航空会社から提供されたフライトデータをもとに、NNの学習を行い、その推定結果を図3に示す。赤線が実際と予測が一致した場合であり、赤線より上にある場合、予測に対して実際の進入が不安定であることを示す。マニュアル操舵時の一部に、大きく乖離しているデータが見られ、これらを詳細分析しても、風によるものではないと判明した。今後は、これらの不安定進入がどのような要因によるものかを分析し、その対策を講じていくことを予定している。

[掲載文献]

- [1] 森亮太(2018), “上昇経路変更による消費燃料削減手法の提案,” 第49期年会講演会.
- [2] R. Mori, (2019) “Fuel-Saving Climb Procedure by Reduced Thrust Near Top of Climb,” AIAA Scitech Forum 2019.
- [3] 森亮太(2019), “飛行中の速度更新タイミングの影響評価,” 第57回飛行機シンポジウム.
- [4] 森亮太(2019), “機械学習による不適切な進入の同定,” 第57回飛行機シンポジウム.
- [5] 中村陽一, 森亮太(2019), “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,” 第57回飛行機シンポジウム.
- [6] R. Mori, D. Delahaye, (2019), “Simulation-Free Runway Balancing Optimization Under Uncertainty Using Neural Network,” 9th SESAR Innovation Days.

航空用データの管理手法に関する基礎研究【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域
担 当 者 ○住谷 美登里
研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度

1. はじめに

電子航法研究所（以下、当所とする）では航空局からの要望等に基づいて各研究課題を実施するにあたり、各研究課題の担当者は研究に必要な各航空交通に関するデータの収集を航空局等に依頼している。そして毎年、各研究課題の担当者は、研究課題に応じて提供された航空交通に関するデータを保存・管理するとともに、研究に必要なデータの抽出やデータベースの作成を行ってきた。また新規に研究課題を立案する際には必要なデータについて検討したり、データ内容の更新の際にはデータベース作成プログラムを見直したりしている。各研究課題の担当者が各々行っているため、これら一連のデータ管理に関する作業は研究の効率を低下させている可能性がある。

内閣府が平成 30 年に「国立研究開発法人におけるデータポリシー策定のためのガイドライン」を公表し、国立研究開発法人に令和 2 年度末までにオープンサイエンスのためにデータポリシーを策定することを推進した。今後、学術的な論文のオープンアクセス（公開）だけでなく、研究データを管理・利活用していくことが必要となり、当所としての対応が必要となってきた。

航空局では平成 27 年度より統合管制情報処理システムが開発され移行しているところである。今後さらに当所が航空局等から提供される航空交通に関する様々なデータを利用するにあたり、各データの情報を横断的に整理し、一元的に管理して把握することが望ましい。航空局からの要望等に基づいて各研究課題を実施する時に必要なデータの情報を把握でき、研究が効率的に進められることが期待される。

本研究は、将来にわたり航空局等からのデータを利用した所内の様々な研究をより効率的に進めるため、まずは当所の航空交通管理領域に航空局から提供されている航空交通に関する各種データを対象として、現状のデータの利用、管理、変換方法を把握する。そしてシステム移行に伴う各種データに関する調査を行うとともにデータ管理に関わる課題を把握し今後のより効率的な管理方法を提案する。

2. 研究の概要

本研究はデータ管理に関わる課題を把握し今後のより効率的な管理方法を提案することを目的に 3 ヶ年計画で取り組んでいる。今年度は 2 年目である。以下の項目を実施した。

- ・ システム変更等に伴うデータ情報に関する調査
- ・ データの管理方法の検討と提案

3. 研究成果

3.1 システム変更等に伴うデータに関する調査

航空局システム室や各官署と調整し提供されたデータおよびシステム変更に伴う移行予定やデータフォーマット等記載のドキュメント等を当領域内で情報共有した。

各航空交通管制部の RDP（航空路レーダ情報処理システム）は 4 管制部ともに TEPS（航空路管制処理）へ移行した。各官署の TEPS から収集したデータを用いて各便の位置情報等を抽出すると、どの官署からのデータもほぼ日本全体の航空路での各便の航跡を網羅していることがわかった。ただ、各官署から抽出した同一便の航跡を比較すると、位置情報の誤差が生じている場合があるので今後調べる必要がある。また福岡、関西、東京、那覇空港事務所の ARTS（ターミナルレーダ情報処理システム）は TAPS へ移行した。各空港事務所で収集した TAPS からターミナルエリアおよび空港面での各便の位置情報等を抽出する作業に取り組んでいる。飛行経路等様々なトラジェクトリ情報が含まれている ICAP（管制支援処理）から出力されるシステムログも収集依頼している。ICAP は福岡管制部がメインとして運用しているが、時々東京管制部に拠点を変更して運用する場合がある。そこで、継続したデータが収集できるよう運用拠点に応じて 2 官署へデータ収集依頼を行っている。ICAP はデータ容量が大きいので、各官署では容量等に応じて分割して保存しているが、所内では共有して利用しやすいよう各日各時間でデータを区切って保存する等ファイル形式を統一する作業を行っている。その ICAP を利用してフライト情報に相当するデータを抽出する作業に取り組んでいる。TEPS, TAPS, ICAP 等から抽出した各便のデー

タはフライト ID で結合して利用することができることが分かった。また航空局と調整し FACE から抽出されるオリジナルフライトプランも入手し、データ調査に取り組んでいる。ATMC（航空交通管理センター）では、ATFM(航空交通流管理)や ODAP（スポット情報）等が令和 2 年 2 月に TEAM に移行されたが、抽出項目等で航空局や官署と調整を行っている。

システム変更等に伴う各データに関する調査の中間報告をデータ利用者に対して行った。今後のデータを利用した研究に反映できるものと思われる。

3.2 データの管理方法の検討と提案

昨年度までは各研究課題で必要なデータを精査し、各研究課題で航空局システム室へデータ収集依頼していた。複数の研究課題でデータを共有する場合もあり、事務手続きやデータ管理が煩雑になっていた。そこで航空局システム室担当者と事務連絡の記載内容等を相談し、システム室関連データについて所としてデータ管理責任者を設置し、そのデータ管理責任者が各研究課題が必要なシステム室関連の複数のデータをまとめて収集依頼することとした。各研究課題で各々データを管理するのではなく、データ管理責任者のもと一括してデータを管理することとし各研究課題は必要に応じてデータを共用して利用することとした。

現在航空交通管理領域で共用して利用する航空局システム室関連データは、当領域が利用しているサーバ室内の保管庫、およびサーバにて保存している。システム移行に伴い容量が想定以上に増加し（2019 年度は約 1.5TB）、サーバ容量が不足し、HDD 増設等で対応している。今後さらなる容量増加が想定されるので、対応策を検討する必要がある。

4. まとめ

本研究は、航空局から提供された航空局システム室関連データを必要な研究課題間で共有してより効率的に利用するために、現状の利用・管理状況把握およびデータ管理方法の検討するとともに、システム移行に係わる各種データに関する調査を行っている。

今年度はシステム変更等に伴うデータに関する調査を行い、各種データから位置情報等を抽出する作業に着手した。また航空局システム室関連データ管理の方法として各研究課題で各々データを管理するのではなく、データ管理責任者のもと複数のデータを管理することとし各研究課題は必要に応じてデータを共用して利用すること

とした。

令和 2 年度もシステム移行は続くので、引き続き航空局システム室から提供されたデータから航空機の位置情報等必要な情報を抽出するためのデータ調査に取り組んでいく予定である。

またデータ管理責任者のもとシステム室関連データを共有することとなり、今後所として様々なデータを管理する際の参考になるよう所内にてデータを管理する際の運用方法を検討をしていく。

掲載文献

[1]住谷美登里, “Data collection, storage and management at ENRI”, 韓国 KIAST との会合, May.2019

[2]住谷美登里, “航空管制に関する安全性評価に用いるデータの管理について”, 電子情報通信学会 2019 年ソサエティ大会基礎・境界/NOLTA 講演論文集 A-13-2, Sept.2019

担当領域 航空交通管理領域
担 当 者 ○山田 泉, 青山 久枝, マーク ブラウン
研究期間 平成 30 年度～令和元年度

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。このため、空港面の交通データ（マルチラレーションの位置情報等）およびそれに基づくシミュレーションは、よりの確な設計および維持管理のための一助として活用が期待される。

また、航空交通の時間管理においては、交通流の起点となる空港面地上走行の時間管理は重要な要素である。出発便の混雑に起因する地上走行の遅延を抑制するためには、滑走路の捌け方に応じたスポット出発の間隔付けが有効である。しかしながら、滑走路の捌け方は日ごと、時間帯ごとに異なるため、この違いに起因する間隔付けのパラメータの不確かさへの対処が求められる。

2. 研究の概要

本研究は 2 年計画であり、令和元年度は下記を実施した。

- ① 交通状況の理解に適したデータ構造の検討
- ② 地上走行のボトルネック解消に必要なレイアウト要件の検討
- ③ 地上走行時間の不確かさの管理技術の検討
- ④ とりまとめ

3. 研究成果

交通状況の理解に適したデータ構造の検討では、航空局などから提供を受けている航空機の地上走行に関するデータおよびスポットの運用実績データ等から、空港面の指定地点（誘導路の交差点等）における交通量を計測し、マップ上にプロットして誘導路による交通量の差や滞留地点等を判別し易く表記した交通量データを作成している。今年度は、誘導路交通量データにおいて前年度行ったデータ構造の整理の結果を活用して、誘導路交通量のパターン分析を行った。データ構造の整理において、

各地点の通過記録に使用滑走路および使用スポットの情報を付加したことにより、各地点の交通量について、使用滑走路および出発／到着エプロンによる仕分けが可能となった。羽田空港における北風運用（交通データ取得日 31 日分）の出発便を例に、各地点の交通量と、離陸滑走路および出発エプロンごとの仕分けの例を図 1 に示す。図 1 左から、使用滑走路ごとに走行経路に主要な動線があることが示され、また、図 1 左と図 1 右を対照することにより、動線ごとの交通量、および、出発エプロン別の内訳を知ることができる。

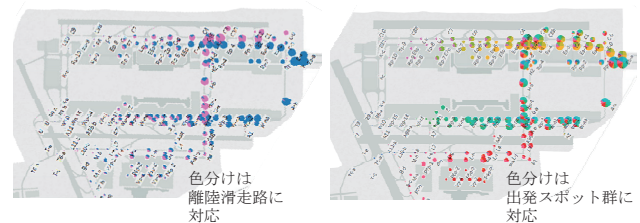


図 1 羽田空港の誘導路交通量パターン例：北風運用の出発便における誘導路交通量（パイグラフの円の大きさ）と離陸滑走路（左図）および出発エプロン（右図）ごとの内訳（パイグラフの扇形の大きさ）

各地点について滑走路運用方向ごとに交通データ取得期間の各日の交通量を集計したところ、主要な動線となる地点（図 1 において円の大きい箇所）については、交通量の日ごとのバラツキが小さく（ 1σ =数機程度）、ほぼ一定の交通量となることが示された。このため、滑走路運用方向ごとに集計した交通量の日ごとの平均値をもとに、主要な動線の各地点における 1 日あたりの交通量のパターンが得られる可能性が示された。このパターンをもとに、交通データ取得期間（隔月 1 週間）以外の日についても、滑走路運用方向の情報をを用いることにより、（通年）毎日の誘導路交通量が推定できると考えられる。この知見は、日々の交通量をもとにした空港舗装の点検・補修の優先順位付けに資するものと期待される。

地上走行のボトルネック解消に必要なレイアウト要件の検討では、エプロンにおける混雑を評価するための指標を開発した。エプロンにおいては、出発便がプッシュ

バックのため誘導路を長時間にわたって占有することから、当該エプロンを出発する出発便と、その他の航空機（到着便、通過するだけの出発便）とに異なる重みづけをして当該エプロンに滞在した機数を足し合わせることで混雑を定量的に評価するものである。本指標を関西空港の各エプロンを対象とした混雑の評価に適用した結果、本指標を用いることで出発便のプッシュバックがエプロンの混雑の引き金となることを評価できることが示された。

地上走行時間の不確かさの管理技術については、以下を検討した。出発便の混雑緩和のために行うスポットの出発における間隔付けのパラメータ（スポット出発時刻間の間隔）は、理想的には、出発便が滑走路端の待ち行列に到来する際の間隔が離陸滑走路における平均的な離陸間隔と完全に一致するように設定されれば、滑走路端の待ち行列の長さが一定となるため、地上走行時間の不確かさが最小となる。しかしながら、平均的な離陸間隔は気象条件等の影響を受けるため、間隔付けを行う当日時間帯における理想的なパラメータを事前に知ることは難しい。そこで、パラメータが誤差を含むことを考慮して、間隔付けを行っている間の走行機数の増加あるいは減少のトレンドからパラメータの誤差を把握し、誤差に起因する走行機数の増加分あるいは減少分に対応してスポット出発時刻間の間隔付けを随時に変更する（増加分に対しては、増加分に対応する時間間隔を付加し、減少分に対しては、減少分に対応する機数を前倒しで同時に出発させる）ことにより誤差の影響を低減する手法を考案した。成田空港の出発便を対象として、間隔付けパラメータが誤差を含んでいる場合について、本補償手法を適用しない場合と、適用した場合のシミュレーション結果の比較を図2に示す。図2左においては、スポットにおける間隔付けが過大となる誤差を含んだパラメータ設定のために、スポットにおける待機が増していく一方で滑走路端の待ち行列が枯渇する状況（滑走路に無駄な空きが生じる状況）に近づいていくのに対し、図2右においては、同じパラメータ設定であっても、本補償手法により、滑走路端の離陸待ち機数（図中、マジェンタの線）は一定値付近に安定させることができ、滑走路端の待ち時間を平準化することにより出発便の地上走行時間の不確かさを低減できる可能性が示された。

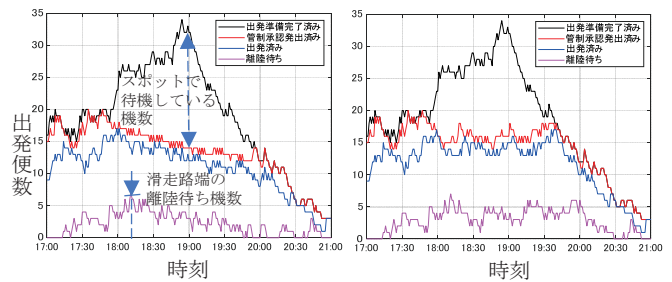


図2 成田空港における出発便の間隔付けにおいて、間隔パラメータが誤差を含んでいる場合（左）と、誤差補償手法を導入した場合（右）のシミュレーションにおける、1分ごとの機数の推移

4. 今後の見通し

交通状況の理解に適したデータ構造の検討においては、通年の交通量の推定等、空港施設整備に資する情報抽出のための交通データ分析技術の検討を進めていく。地上走行のボトルネック解消に必要なレイアウト要件の検討においては、所与の空港レイアウトにおいて許容されるエプロン等の局所的な交通量について検討することとしたい。地上走行時間の不確かさの管理技術の検討においては、本研究において検討した補償手法について、出発便の順序・間隔付けに用いられている管制システムにおいて実現可能となるための要件について考察することとしたい。

掲載文献等

- [1] 山田泉, 「成田空港のスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察」, 第19回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 37-42, 2019年6月。
- [2] 西澤優里, 青山久枝, 鳥居塚崇, 「非定常時における適切な空港運用を導くための方法論に関する研究」, 日本人間工学会第60回大会講演集, 2C2-1, 2019年6月。
- [3] 山田泉, “Japan’s Effort to A-SMGCS: Data-Driven and Simulation-Based Research Activities on Airport Surface Traffic Flow,” ICAO DGCA/56 IP04-09, 2019年8月。
- [4] 西澤優里, 青山久枝, 山田泉, 鳥居塚崇, 「空港面混雑量評価の方法論に関する検討」, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019 予稿集, 3C2-4, 2019年9月。

- [5] 山田泉, 「成田空港のスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察」, 航空無線, 101 号, pp. 22-28, 2019 年 9 月. ([1]の再掲)
- [6] 山田泉, 「空港面交通データの活用について」, CARATS オープンデータ活用促進説明会, 2019 年 9 月.
- [7] 青山久枝, 「航空機の地上走行情報の活用」, 第 12 回港湾空港技術講演会 in 横浜 2019, 2019 年 11 月.
- [8] 西澤優里, 鳥居塚崇, 青山久枝, 「交通管理のための空港面混雑量評価の検討」, 日本人間工学会関西支部大会, 2019 年 12 月.

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、中村 陽一、虎谷 大地

研究期間 平成 29 年度～令和 2 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。さらに、運用方式の改善による効率性向上を検証するための、軌道生成技術を活用した実運航シミュレーション環境を構築する。

2. 研究の概要

本研究は 4 年計画である。令和元年度の研究においては、以下を実施した。

- ・飛行時間予測誤差の分析
- ・ATM パフォーマンス指標値の算出
- ・実運航シミュレーション環境の構築

3. 研究成果

3.1 飛行時間予測誤差の分析

福岡 FIR 外から羽田空港に到着する便を対象に、管制情報処理システムにおける FIX 通過時刻予測精度の分析を行なった。福岡 FIR 入域点および入域後の通過点における、合流点の通過予定時刻を実績時刻と比較し、飛行時間の経過により予測誤差がどのように変化するか分析した。また、航空機の出発時刻、FIR 入域時刻のばらつきの特性を機械学習でモデル化するための教師データとして、予定時刻・実績時刻のデータベースを作成した。

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日・米・欧・星で構成する Performance Benchmarking Work Group で報告を行ってい

る。これまで羽田空港、成田空港を対象とし、空港周辺のエリアにおいて、方角を 8 つに等分に区切り滞留時間の算出を行ってきたが、米国 (FAA) で行われている交通量による方角の設定方法でも算出を行い、両者の結果を比較した。結果を図 1 に示す。以前の方法 (青線) より米国の方法 (緑線) の方が計算の対象となる便の割合が少ない関係があるが、滞留時間の増減は概ね同様の傾向となることが確認できた。

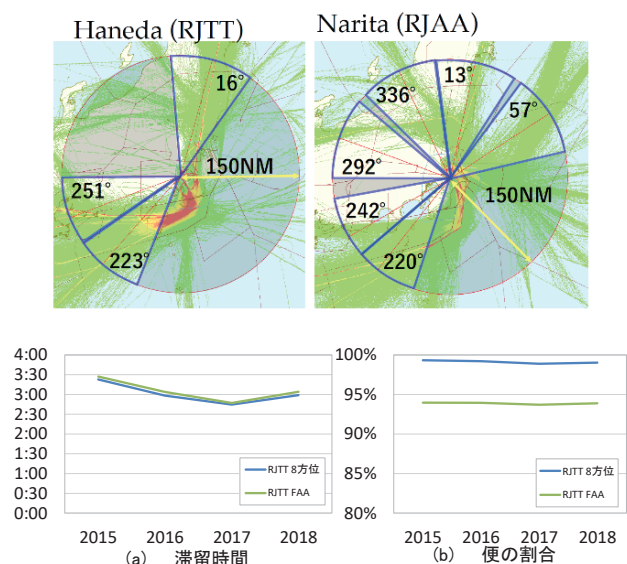


図 1 空港周辺での滞留時間

(上段：計算対象となった方角、
下段：羽田空港の滞留時間と便の割合)

3.3 実運航シミュレーション環境の構築

運用方式の改善による効率性向上を検証するため、ポイントマージシステムを含む進入管制区とその周囲の到着セクタとの接続シミュレーションが可能となる到着交通流シミュレータおよび到着セクタへの入域時刻を調整する航空交通流管理シミュレータを構築した。初期的なシミュレーションを行い出発時刻誤差による滞留時間発生状況の確認を行なった。

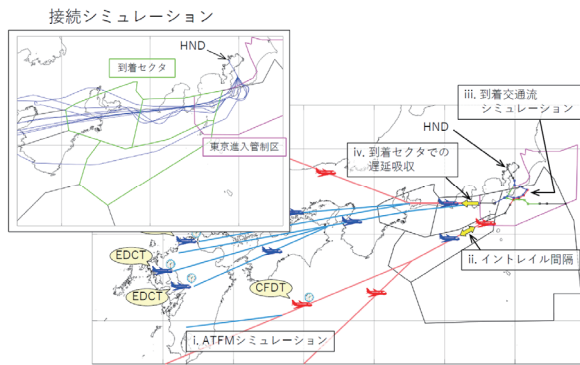


図2 実運航シミュレーション環境の機能の概要

4. まとめ

令和元年度は、飛行時間予測誤差の分析および ATM パフォーマンス指標値の算出、実運航シミュレーション環境の構築を行った。次年度は、出発時や巡航時など飛行フェーズに着目した飛行時間予測モデルの構築と、様々な航空交通管理の課題に対する機械学習の適用の検討を行う予定である。

掲載文献

- (1) 岡恵、福田豊、中村陽一、上島一彦：“航空交通の運用データの一般公開と活用（その3）”、日本航空宇宙学会 第50期年会講演会、2019.4
- (2) 岡恵：“航空交通データの提供と研究開発促進の取組について”、日本航海学会 第140回講演会、2019.5
- (3) 虎谷大地、武市昇、岡恵：“航空交通流管理と到着間隔づけの相互運用性の検討”、電子航法研究所研究発表会、2019.6
- (4) M. Oka, K. Kageyama: “Additional-time in Terminal Airspace (KPI08)”, Performance benchmarking work group, Bangkok, Thailand, Jun. 2019.
- (5) 中村陽一：“ADS および ICAP の誤差に関する初期的解析”、CARATS 航空交通流時間管理検討 WG、2019年6月
- (6) 岡恵：“SCAS 試行再開後の評価について”、CARATS 航空交通流時間管理検討 WG、2019年6月
- (7) 岡恵：“Stream4 の CFDT 変更量”、CARATS 航空交通流時間管理検討 WG、2019年6月
- (8) 中村陽一、岡恵：“CARATS オープンデータ概要説明”、CARATS オープンデータ活用促進説明会、2019年9月
- (9) D. Toratani, M. Oka, N. Takeichi: “Simulation Study on the Interoperability between Air Traffic Flow Management and Tactical Arrival Management”, EIWAC 2019, Tokyo, Japan, Oct. 2019.
- (10) 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、2019年11月

- (11) 虎谷大地、岡恵、武市昇：“ATFM と到着間隔づけの連結シミュレーション”、CARATS 航空交通流時間管理検討 WG、2019年12月
- (12) M. Oka, K. Kageyama: “Additional time in Terminal Airspace(KPI08)”, Performance benchmarking work group, Brussel, Belgium, Dec. 2019.

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, リーデル ティモ

研究期間 平成 28 年度～令和元年度

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。

東京理科大学が本プロジェクト（萌芽研究「ポスト「京」」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発（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）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（以下、当所とする）と共同で研究開発を実施した。当所は、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た。最終年度となった令和元年は、これまでの研究成果の総括と社会発信、および社会実装を目指した次期研究課題を検討した。概要を以下にまとめる。

2. 研究概要

2.1 研究成果の総括と社会発信

これまでに、図1に表すように、4つの機関が役割を分担して連携しながら本研究プロジェクトを実施した。当所は、将来の航空交通を模擬するシミュレーションを実施するために、航空交通流の運用コンセプトの設計を担当し、主に拡張型到着管理システム、FIM（Flight-deck Interval Management）、FPA（Fixed-flight Path Angle）降下を実装し

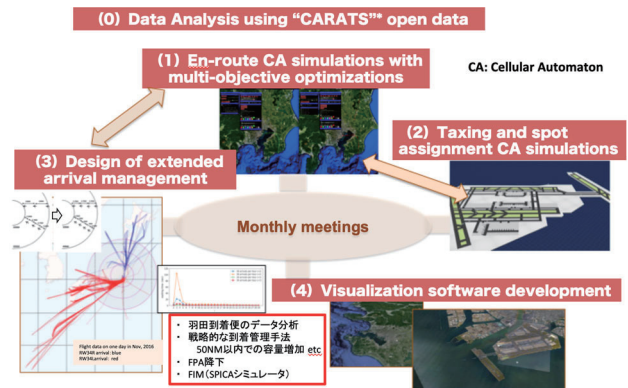


図1 それぞれの研究機関の役割分担と連携

た到着航空交通流を模擬する知見を提供した。FIMについては、当所が研究開発した SPICA シミュレータを京コンピュータに実装して大規模シミュレーションを実施し、羽田空港に導入した際の有効性を検証した。これらの運用コンセプトは、エンルートおよびターミナル空域の航空交通シミュレーションを担当した東京理科大学および空港面を担当した東京大学と共有し、出発から到着までの航空交通シミュレーション評価を可能にした。これらの研究成果は、2019年8月28日に国土交通省 航空局で開催した報告会で発表するだけでなく、2020年2月3日には南洋理工科大学で開催された国際会議“The 1st Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics for Air Transportation (AIDA-AT)”での基調講演に招待され、代表で藤井孝蔵教授（東京理科大学）にご講演頂くなど、研究成果を総括し、国内外に広く発信した。さらに、大阪大学サイバーメディアセンターが研究開発した航空交通流の可視化ツールは、ドレスデン工科大学や東京大学で活用されており、研究分野の発展に貢献している。

2.2 社会実装を目指した次期研究課題の検討

本研究プロジェクトで研究開発した航空交通シミュレーション環境を発展させ、未来の航空交通データを生成して機械学習用のオープンデータとして公開するなど、次期研究課題を創出した。今後も研究成果を発展させ、継続的な研究開発の実施を計画している。

謝辞

本研究は、科学技術試験研究委託事業 ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発「複数の社会経済現象の相互作用

のモデル構築とその応用研究(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)」(Project
ID: hp180188) の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] Timo Riedel, Masaki Takahashi and Eri Itoh, “Reducing Speed Commands in Interval Management with Speed Planning”, The Aeronautical Journal, Volume 124, Issue 1272, pp.189-215, 2020.
- [2] Timo Riedel, Masaki Takahashi, Tomoaki Tatsukawa and Eri Itoh, “Evaluating Applied Flight-deck Interval Management using Monte Carlo Simulations on the K-Supercomputer”, Transactions of JSASS, Volume 62, Issue 6, pp. 299-309, 2019.

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～令和元年度

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。

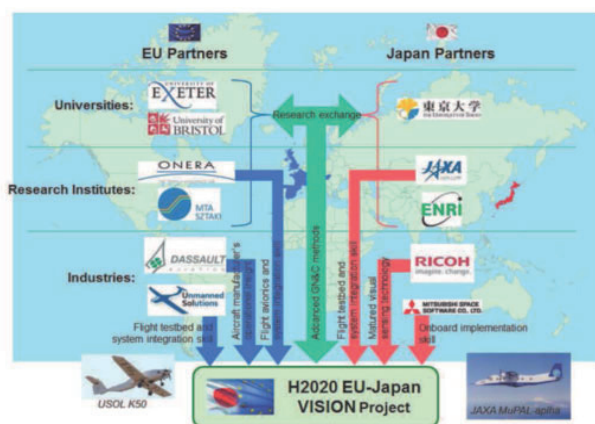


図 1 H2020 の枠組み

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。昨年度までに、実飛行時のリアルタイム GPS 受信データに、故障を模擬する信号を付加することにより、故障を模擬した飛行実験ができるモデル構築を行った。

本年度は、このモデルを使用して、共同研究機関である ONERA と共同で、画像によるデータにより、どの程度位置精度の信頼性が向上できるかについての試算を行った。ONERA が開発した、画像データやその他 GPS 等のセンサーデータを融合し、尤もらしい位置を推定するカルマンフ

ィルタを用いて、どの程度の位置推定が可能かどうかを計算した。

図 2 に結果を示す。上の図は、GPS が通常の場合で、赤が画像センサーを使用しない場合、青、緑は画像センサーを使用した場合の結果を示している。通常の場合でも、画像センサーを併用したほうが精度がよいことがわかる。下の図は、GPS 異常を模擬した場合であるが、こちらは画像センサー併用の効果がさらに際立つ。GPS が異常の場合、画像センサーを使用しないと、どうしても GPS の異常信号に全体の結果が引っ張られるが、画像センサーを使用することで GPS が異常であることを認識し、他のセンサーからの情報を有効に使用できていることがわかる。

本研究により、画像センサーを望遠として、滑走路を撮影した視覚情報から、GPS 異常時においても、精度よく機体の位置推定が可能となることを示した。

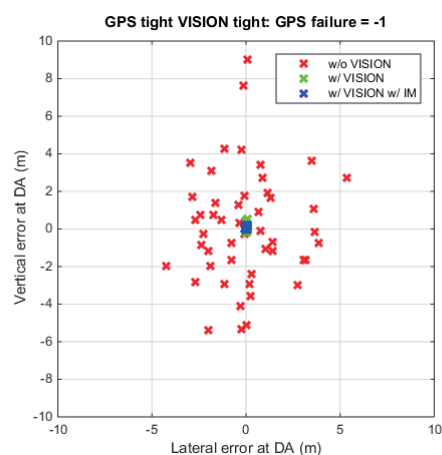


図 2 位置精度の比較(上: 通常、下: 異常時)

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～令和元年度

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・出発合流最適化アルゴリズムの開発を行っている。近年、我が国では到着管理 (Arrival Management: AMAN) システムの導入・あり方が議論されており、本研究は当該システムの基礎技術と位置付けられる。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。従来の手法では、1つの滑走路に着陸する到着機しか考慮されていなかったが、現実の運用においては、出発機や平行滑走路への割当て等を考慮することが求められる。本研究では、これらの要求に対応する到着・出発合流最適化アルゴリズムの開発を行う。

2. 研究の概要

本研究では、以下の機能を有する合流最適化アルゴリズムの開発を行った。

- i. 出発機と到着機の順序を同時に最適化可能
- ii. 平行滑走路への割当ても最適化しつつ、滑走路処理容量を最大化可能
- iii. 現実的なシミュレーション環境においても最適化可能

i 及び ii は、元の合流最適化アルゴリズムで用いられていた評価関数曲線を拡張することで実現した。図 1 に出発機も考慮した評価関数曲線のイメージを示す。ii に関しては、拡張したアルゴリズムで滑走路の割当ても最適化することで処理容量を最大化できることを確認した (図 2)。iii は、合流最適化アルゴリズムにレーシングホライズンと障害物配置法を組み合わせることで、現実的な航空機・空域モデルにおけるシミュレーションを実施した (図 3)。

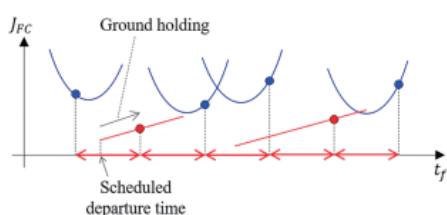


図 1 出発機を考慮した評価関数曲線のイメージ
(青：到着機，赤：出発機)

3. 研究成果

令和元年度は研究成果の公表を行うために、主に学術論文の執筆を行った。その結果 2 本の論文が学術誌に掲載された^[3,4]。特に[3]が掲載された学術誌は関連分野におけるトップジャーナルのひとつであり、本研究の成果が学術的にも認められたことを示している。

4. 今後の展望

本研究により現実的な問題に対応可能な到着・出発合流最適化アルゴリズムを開発することができた。今後は開発したアルゴリズムを、現実の航空交通システムに実装するための研究開発を継続していく予定である。

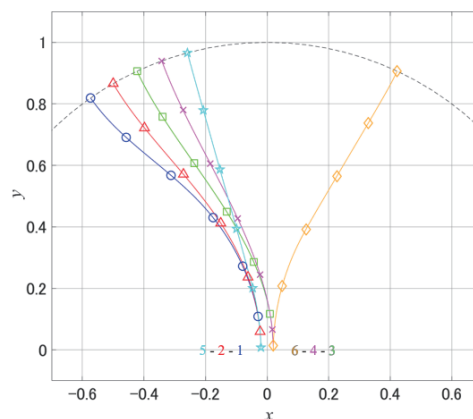


図 2 滑走路割当て最適化を用いた処理容量最大化のシミュレーション結果例

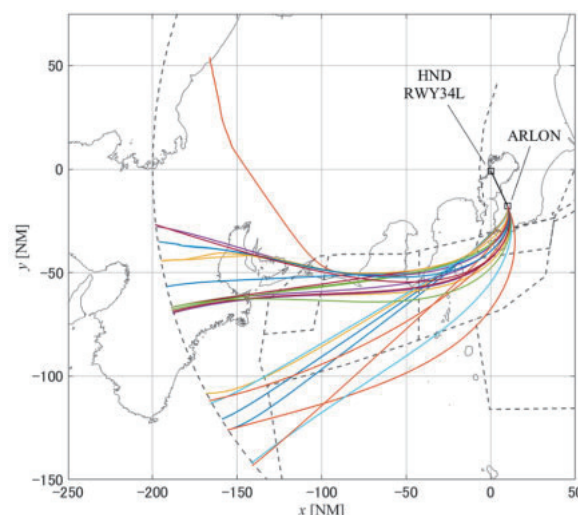


図 3 現実的なシミュレーション結果の例

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K14746 の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] D. Toratani, "Merging Optimization Method with Runway Allocation Optimization maximizing Runway Capacity", AIAA SciTech Forum, AIAA 2019-0353, 2019.
- [2] 虎谷大地, "障害物配置法を用いた航空管制のための到着軌道最適化手法," 第 7 回制御部門マルチシンポジウム, 2019.
- [3] D. Toratani, "Application of Merging Optimization to an Arrival Manager Algorithm considering Trajectory-based Operations", Transportation Research Part C, pp. 40-59, 2019.
- [4] 虎谷大地, 平林博子, 中村陽一, "障害物配置法を用いた航空管制のための到着軌道最適化手法 -セクタを考慮したベクタリング軌道最適化-", 計測自動制御学会論文集, vo. 56, no. 3, pp. 124-131, 2020.

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～令和元年度

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發現象と考えられる。このようなシステムや事項の発生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。

本研究は JSPS 科研費 JP17H02045 の助成を受けたものである。

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。

- ・管制官へのインタビュー調査および分析
- ・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
- ・高詳細度 FRAM モデルの構築および改良
- ・協働を通じた熟練者からの知識抽出手法の開発
- ・FRAM モデルを用いたシステムの強靱性分析の実施と有効性評価

3. 研究成果

本研究では国土交通省大阪航空局中部空港事務所の管制官のご協力により、現場観察およびインタビュー調査を通じて飛行場管制業務を把握すると共に、日常的な業務として同じ状況を複数の管制官が同時に監視し、複数の管制官同士のみならずパイロットも含めたチームとして協調作業を行っており、さらに管制官個人あるいはチームでの工夫や管制官個人の安全と考えるバッファをもつことにより安全かつ円滑な運用を維持していることがわかった。

業務の特徴を FRAM モデルを用いて作成した（図 1）。

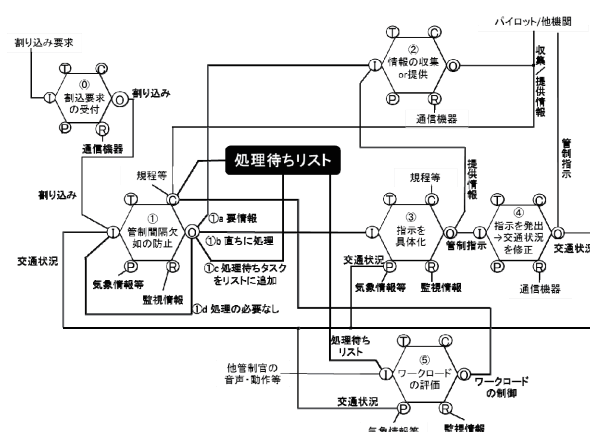


図1 管制業務のFRAMモデル

管制官は管制間隔を設定することを主とし、そのために様々な情報の収集や提供、割り込み業務への対応、指示の発出などを行っている。業務において管制官は、処理のタイミングが異なるタスクを多く持ち、常に状況に応じたタスクの優先順位付けや割り込みタスクへの対応を行うため、個人あるいはチームでワークロード評価を行って、業務量などを制御している。このような業務の特徴を FRAM モデルの 6 つの機能とした。状況に応じて変化する処理タイミングを待つタスクは業務遂行上重要な役割となるため「処理待ちリスト」として機能とは別に表記した。機能「管制間隔欠如の防止」の出力は「タスクを直ちに処理する」、「処理を待つ」など管制官の判断や規程などの条件によるものとして 4 つに分類

した。

作成したモデルは管制官による予備的な妥当性検証を行い、事例分析の支援として有用との評価を受けた。また、先行研究による実験結果や事例を用いた妥当性検証を行った。

4. 考察等

今後、様々な事例によりモデルの検証を続けると共に、管制官が使いやすいモデルとしての改良を行っていく。

また、他分野においても管制業務と類似したマルチタスクを行う業務のモデルとしての活用も検討する。

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務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, pp.227-230, 2017 年 9 月.
- (3) 狩川大輔, 青山久枝, 大橋智樹, 高橋信, “飛行場管制業務におけるマルチタスク能力指標に関する基礎的検討,” 日本人間工学会第 59 回大会講演集, pp.1F4-1, 2018 年 6 月.
- (4) 青山久枝, 飯田裕康, 狩川大輔, “航空管制業務のタスク処理プロセスにおける処理待ちタスクの影響,” 日本人間工学会第 60 回大会講演集, pp.1B3-6, 2019 年 6 月.
- (5) Daisuke Karikawa, Hisae Aoyama, Tomoki Ohashi, Makoto Takahashi, Masaharu Kitamura, “RESILIENCE OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS IN CONTROL TOWER,” 8th Resilience Engineering Association’s Symposium, Kalmar, Sweden, June, 2019.
- (6) 狩川大輔, 青山久枝, 大橋智樹, 高橋信, 北村正晴, “機能共鳴分析手法を用いた航空管制業務のモデル化(1) 状況変化に対処する航空管制官のパフォーマンス調整のモデル化,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019 論文集, pp.112-116, 2019 年 9 月.
- (7) 青山久枝, 飯田裕康, 狩川大輔, “機能共鳴分析手法を用いた航空管制業務のモデル化(2) 処理待ちタスクと航空管制官のワークロードの関係性に関する考察,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019 論文集, pp.117-120, 2019 年 9 月.

離陸機の運用最適化に関する研究【競争的資金】

担当領域 航空交通管理領域

担 当 者 ○森 亮太

研究期間 令和元年度～令和3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、それに伴い燃料消費量の削減は喫緊の課題となっている。本研究では、離陸機における運用に焦点を当て、燃料消費量の削減方策についての検討を行う。

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、実際には不確実性が存在し、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、不確実性を考慮した上で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いうリスクが伴う。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 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 Operation)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

本研究では、過去の研究の延長として、提案するTSAT設定手法が普遍的に適用可能であることの確認を行う。それに伴い、AMAN/DMANのソフトウェアを実際に開発・運用しているフランスのTHALES社と共同研究を行い、その運用データを用いながら、より現実に近い環境でのシミュレーションを行う。本年度は、実際にTSATが運用されているフランスの空港におけるデータ分析、および、TSATを適用した場合の効果の検討を行った。その結果、TOBT(航空会社提供のスポットアウト可能予想時刻)の精度は想像以上に悪く、当該空港におけるTSAT運用の効果は極めて限定的であり、むしろTSATによる離陸遅れが発生している可能性が高いという結論となった。過去、TSATの設定アルゴリズムの高度化を行ったものの、TOBTの精度向上も必要であることを示唆している。今後は、TOBTの通報履歴を用いて、TOBT自体の精度の向上が見込めるか、そしてそれがTSAT設定にどのように影響するかを検証する予定である。

3.2 上昇経路の最適化

過去の研究において、上昇中の推力設定により、燃料消費量の削減が可能であることがわかったため、本年度は様々な機体において、どの程度の効果が見込めるかの試算を行った。その結果、機体サイズの大きな航空機が効果が大きいことは予想通りであったが、エンジン特性にも大きく左右されることがわかった。B737/A320クラスより大きい航空機では概ね1フライトあたり10lb以上の削減効果が見込まれるため、実運用としても意味のあることが示唆された。

謝辞 本研究はJSPS科研費 JP19K15119の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] R. Mori, (2019) "Evaluation of Departure Pushback Time Assignment Considering Uncertainty Using Real Operational Data," 9th SESAR Innovation Days.
- [2] R. Mori, (2020) "Fuel-Saving Climb Procedure by Reduced Thrust Near Top of Climb," Journal of Aircraft, in press.

担当領域 航空交通管理領域
 担 当 者 ○井上諭、菅野太郎、浅谷公威（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 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

航空交通や医療、大規模プラント運用など高度な安全が求められる領域における安全対策は、これまで主に、原因－結果の線形的因果関係を想定した事故モデルに基づく事故・インシデントの発生予測とそれに対する多重防護に拠ってきた（従来型安全学：Safety-I）。一方、近年、事故・インシデントは人－人工物－環境の動的で複雑な相互作用から生じる創発現象であり、それゆえ網羅的な個別事象予測は困難であることから従来の安全対策には限界があることが指摘されている。この問題意識から提唱された新しい安全学（Safety-II は、従来の安全対策に加えて、現場で働く人々が様々な状況変化に対して実際にどのように適応的に行動し安全を実現・維持しているかを理解し、それを支援・強化することの重要性を強調している。高度な安全が求められる多くの業務がチームによってなされていることを考えると、社会のさらなる安全を実現するためには、チーム協調を対象とした Safety-II 研究が必要不可欠である。一方で“チーム協調”における適応性に関する実験研究、特に、現場指向かつ十分なデータに基づく信頼性、汎用性の高い研究例や研究手法の提案は未だ無い。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. チーム協調研究の必要性

航空交通や医療などの高度な安全が求められる業務領域を想定し、タスク要求や作業条件の変化などの外乱に対する作業チームの適応度（チーム協調レジリエンス）をチーム協調プロセスの変動の監視によって推定する方法の開発、および、そのために必要な理論・技術開発、基礎知見の獲得・蓄積を目的とする。チーム協調プロセスを理解するために、認知環境を整理すると、これらのレベルはミクロ、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。これらを踏まえ、ミクロとマクロの中間にあたるメゾ認知という定義を考えることができる。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環境や設定を施した環境下で状況をさす。チームレジリエンスを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. コンテキストの構造とフレームワーク

この研究ではマクロ認知コンテキストをモデル化するためのフレームワークを作り上げることを目的の一つとしている。コンテキストの理論研究では人間の認知や行為はコンテキスト（文脈、状況や状況認識）に依存しているといわれているが、この研究においてのコンテキストの定義は「人間の認知や行為が依存するもの全て」と考えコンテキストを記述する方法を検討する。現実世界の形式においては、人間自身の活動も含めた人間の認知と行動に影響を及ぼす様々な要素があり、私たち人間は、自分たちが認識するすべての要因の影響を受ける可能性がある。したがって、コンテキストのためのフレームワークは、私たちの世界の認識を表すことができる必要があると考えることができる。

このフレームワーク構築は対象となる業務やその環境を、物理空間に分散されたサブシステムで構成されるシステムとして想定することを起点としているが、さらにサブシステムもサブサブシステムで構成され、論理的には、この分解は無限に進行することが可能である。

しかし、これらの無限システムに対処することは不可能であるため、特定のレベルのシステムは要素として焦点を当てる必要があり、実際には要素の範囲は特定の空間境界に制限する必要がある。

要素とその内部状態を定義した後、それらの「相互作用」をモデル化することができる。インタラクションは、時間中に分散されるイベントと考えられ、相互作用だけでなく、要素とその内部状態も時間とともに変化する。

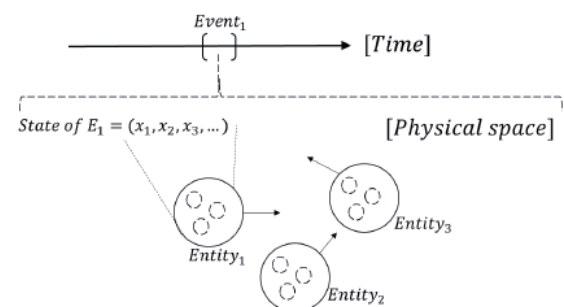


図1 コンテキストフレームワークの構造

図1は、要素、その内部状態、および要素間の相互作用を示している。しかしながら、一方で実際にはこれらの要素、内部状態、相互作用、および境界は、選択するアナリストに任されていることも課題の一つとなる。

作業現場や実験室での観察は、これらの方法で記録できるが、分析者は、最初にどの要素、内部状態、相互作用を検討する必要があるかを決定する必要があるといえる。今後は、具体的にモデルの検証を行うためケーススタディに取り組んでいく予定である。

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 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

わが国は災害大国である。近年で言えば、2011年に発生した東日本大震災をはじめ、2016年熊本地震、2018年西日本豪雨など地震に限らず、水害や台風等あらゆる災害が起きている。過去に発生した大規模災害では、自衛隊をはじめ消防や警察、海上保安庁などあらゆる組織が被災自治体に入り、救援活動を行っている。特に東日本大震災のように被災範囲が広域に及んだ場合、傷病者・孤立者等の救援需要に対して供給が追いつかない状況が発生する。そのため、陸・海・空が連携をして救助・救援活動に当たる必要がある。

本研究は、過去の災害の教訓を活かせるように、大規模災害時に発生し得る輸送システムの混乱など様々なシナリオ群を事前に確認して知見を蓄積し、将来への備えが十分か、どのようなボトルネックが発生しそうかを事前に発見できるシミュレータの開発を目的とする。これを基に、訓練担当者等と意見交換を通じて、検討すべき要件、課題や問題点について整理を行い、防災計画に反映させることを最終目標とする。

2. 研究の概要

本研究は、海上・港湾・航空技術研究所を構成する3研究所（海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所、電子航法研究所（以下、当所とする））が連携して行うプロジェクトである。当所は分担機関として、当所の開発している空港面交通シミュレータを活用して、大規模災害対応における防災ヘリコプター等の運用に関する空港オペレーションのシミュレーション評価を担当する。

シミュレーションの対象は、南海トラフ地震において大きな被害が想定される静岡県および高知県とする。

本研究は3年計画であり、令和元年度は下記を実施した。

- ① 過去の大規模災害時の救助・救援活動の実態調査
- ② 大規模災害時における航空輸送に関わる組織での支援体制調査
- ③ 大規模災害時における空港面運用シミュレータのフレームワークの検討

3. 研究成果

過去の大規模災害時の救助・救援活動の実態調査では、主に2011年3月の東日本大震災における防災ヘリコプターの活動について文献調査を行った。

大規模災害時における航空輸送に関わる組織での支援体制調査では、本研究において対象とする静岡県および高知県について、南海トラフ地震をはじめとする大規模災害時における航空輸送体制の文献調査を行った。また、それぞれの県庁における防災担当者にヒアリング調査を行うとともに、それぞれの県において実施されている防災訓練を見学し（図1参照）、大規模災害の想定シナリオおよび災害対応の実施体制について調査を行った。



図1 見学した防災訓練の例：静岡県庁の大規模図上演習（静岡県地震対策オペレーション2020）の様子

大規模災害時における空港面運用シミュレータのフレームワークの検討では、海上技術安全研究所の有する災害時物資輸送シミュレータを土台として、当所が開発している空港面交通シミュレータ、および、港湾空港技術研究所の実施している港湾施設の利用性評価を組み合わせることで大規模災害時の傷病者輸送シミュレーションを行うスキームを検討した。また、空港面交通シミュレータでは、これまで固定翼の旅客機等の地上走行を模擬していたが、本研究において、ヘリコプターの運航を模擬する初期的な機能追加を行った（図2参照）。今後、大規模災害時に想定される出発・到着機数に対応したシミュレーションにおいて、現実的なシミュレーションを行うために必要となる機能追加を検討することとしたい。

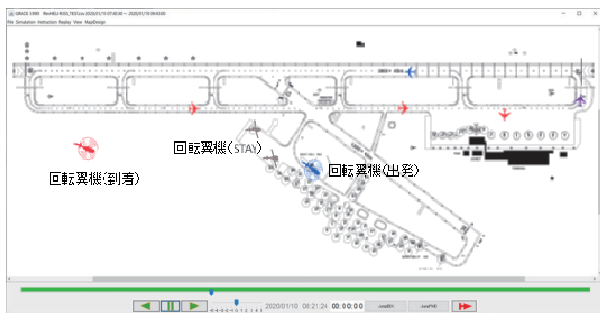


図 2 空港面交通シミュレータにおいてヘリコプターの運航を模擬した例（仙台空港の例）

4. 今後の見通し

令和 2 年度は、傷病者輸送シミュレータの本開発を行い、開発したシミュレータの有効性を明らかにする予定である。具体的には、空からの活動においては、固定翼機、回転翼機の混在する空港における大規模災害時のような非定常時の混雑した空港運用を模擬できるよう改修を行い、現実的な挙動が可能となるシミュレータを作成する予定である。これらの結果を取り込み、自治体における被害想定をもとに陸・海・空の連携した傷病者輸送シミュレータの開発を行い、シミュレーション結果を用いた自治体等との議論を通じて、開発したシミュレータの課題点を明らかにすることによって、より現実的なシ

ミュレーションを行えるようにする。

謝辞

本研究は、国土交通省の交通運輸技術開発推進制度（課題名：大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析—マルチエージェントシステムによるシミュレータ開発—）の助成を受けたものです。関係各位に感謝申し上げます。

掲載文献等

- [1] 荒谷太郎，山田泉，青山久枝，間島隆博，「大規模災害時における空港面交通シミュレータの活用に向けた検討」，土木計画学研究・講演集，Vol.60，2019 年 11 月．
- [2] 山田泉，「空港面運用シミュレータを用いたシミュレーションについて」，令和元年度第 1 回災害時輸送計画支援システム開発委員会配布資料，2020 年 2 月．
- [3] 「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」，令和元年度交通運輸技術開発推進制度研究成果報告書，2020 年 3 月．

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

令和元年度においては、電子航法研究所（以下、当所とする）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. 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
2. PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究
3. 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
4. 地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究
5. 気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究
6. GNSS 代替（APNT）のための地上系航法システムのインテグリティ保証
7. 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
8. 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発
9. 多地点からの地上大気光観測を用いたプレズマバブル成長過程の解明
10. ノイバイ空港の GBAS 実証実験に向けた「ベトナム電離圏調査」の技術支援
11. 衛星測位及び測位補強サービスの性能評価に係る評価手法の指導及び検証

1 及び 2 は重点研究，3 から 6 は指定研究，7 から 9 は競争的資金，10 及び 11 は受託による研究である。

1 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。

2 は、RNP の RF レグと GLS/ILS の最終進入セグメントを接続した RNP to xLS 方式に関して，空港環境における制約等の条件と導入便益を明確にするとともに，衝突危険度モデルを改良する研究である。

3 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。

4 は、GBAS 基準局の離着陸機等による GPS 信号の遮蔽の影響を緩和する方策を提案し，剰余敷地の少ない空港における整備候補地を拡大して，我が国空港への GBAS の

円滑な導入への貢献を目指す研究である。

5 は、後方乱気流に関する最低距離間隔の見直し（RECAT）により混雑空港の着陸容量の拡大に資するため，時間ベースの管制間隔運用を我が国の混雑空港に導入する際の課題と要件を明確にし，将来のダイナミック・ペアワイズや同一滑走路に複数着地点を設定するコンセプトの実現可能性の検討を目的とする研究である。

6 は、GNSS の短期代替システム（APNT）を構築する DME/DME 測位を RNP 運航に適用するため，マルチパス誤差や地上 DME 装置のモニタロジックを検討しインテグリティ（完全性）を保証する。また，欧州と連携して中～長期的 APNT の実現を検討する研究である。

7 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。

8 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。

9 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。

10 は、ベトナム国における GBAS 導入のための電離圏観測システムの構築，電離圏脅威モデルパラメータの決定，ベトナム側の技術者への電離圏解析技術の提供などを行う研究である。

11 は、準天頂衛星システム（QZSS）の測位サービスの電離層補正モデル精度，補強サービスのサブメータ級測位補強サービス（SLAS）及びセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）の性能を評価するための研究である。

II 試験研究の実施状況

5 ヶ年計画の最終年度にあたる「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，前年度までに開発した次世代 SBAS 及び GBAS のプロトタイプシステムを使用して八丈島及び石垣島にて飛行実験を実施し，ICAO の標準化策定作業に参画した。次世代 GBAS については GPS/Galileo に加えて準天頂衛星システムに対応したプロトタイプを完成させ，VHF レーダーから得られる宇宙天気情報を利用するシミュレーションをインドネシア航空宇宙庁と実施し有効性を確認した。

4 ヶ年計画の 2 年度にあたる「PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究」では，モデル空港を

た高度な計器進入方式に関する研究」では、モデル空港を選定して出発経路との交差を考慮して計器飛行方式を完成させるとともに、フライトシミュレータによる飛行検証実験を開始した。飛行実証のための可搬型プロトタイプのシステムについては、詳細設計を完了しハードウェアとソフトウェアを製作した。また、ICAOの衝突危険度モデルを定式化し、シミュレーションで衝突確率を評価した。

3ヶ年計画の最終年度にあたる「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、2014年度以降のデータを用い、大きな電離圏勾配の緯度分布、受信機から見た衛星の方向と観測される電離圏勾配の関係を明かにした。これにより東京国際空港GBAS電離圏脅威モデルを検証し、解析期間に検出された電離圏遅延勾配がすべて脅威モデルに包含される。さらに、アジア太平洋地域における情報共有を進めるため香港航空局、台湾國立成功大と意見交換し、ICAOアジア太平洋地域SBAS/GBASタスクフォース会議の設立に貢献した。

4ヶ年計画の初年度にあたる「地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究」では、新千歳空港のGBAS基準局データおよび擬似ユーザ局データから、着陸機通過に伴うGPS信号瞬断の現状とその影響を調査し、地上処理アルゴリズムの改良の方針を検討した。また、VDBの設置環境条件について実験および評価を行った。

4ヶ年計画の初年度にあたる「気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究」では、時間ベースの管制間隔運用の技術要件を明確にするため、後方乱気流の減衰特性、滑走路占有時間などの調査を開始した。また、時間ベース管制間隔運用の便益を評価する解析手法の基礎検討を行い、到着交通流のシミュレータを開発した。

3ヶ年計画の初年度にあたる「GNSS代替（APNT）のための地上系航法システムのインテグリティ保証」では、欧州で提案されたマルチDMEによるRNP運航（短期APNT）の国内での実現性を検討し、トランスポンダ装置の故障検出モニタによるインテグリティ保証の可能性を検討した。本年度は、欧州で採用される検出モニタのORロジックと国内で採用されるANDロジックを定量比較し、国内メーカーの意見をEUROCAEに提示した。また、山岳地形が引き起こすマルチパス誤差・気象条件に依存する対流圏誤差を解析した。

5ヶ年計画の最終年度にあたる「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解明」では、東西空間スケールの電離圏特性を解明するため、赤道大気レーダーと複数周波数・複数衛星に対応

したシンチレーション受信機の同時観測結果からプラズマバブルの3次元構造と電離圏シンチレーションの比較解析を実施した。

5ヶ年計画の最終年度にあたる「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、電離圏シミュレータの開発と宇宙天気ハザードマップを策定し、電離圏観測技術の航空航法への応用について検討を進め、3次元レイトラッキング法による電離圏電波伝搬シミュレータのリアルタイム化サービスを開発し、極域航路の被曝量低減のための運航経路変更に伴う経済的影響を示した。

5ヶ年計画の3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、電通大により小型イメージャをフィリピンに設置し、石垣、タイ、台湾の4点の観測網が完成した。本年度は太陽活動度が低かったが、石垣においてプラズマバブルの観測例があり、成長過程の解析を開始した。

単年度計画の「ノイバイ空港のGBAS実証実験に向けた「ベトナム電離圏調査」の技術支援」では、ベトナム・ハノイにおいて電離圏環境調査を行うため、ベトナム科学技術アカデミー地球物理研究所（IGP-VAST）が保有する観測点にGNSS観測網を構築し、1年間の観測データからプラズマバブルの特徴を持つ電離圏擾乱を検出した。

単年度計画の「衛星測位及び測位補強サービスの性能評価に係る評価手法の指導及び検証」では、評価期間（2019年10月から2020年3月）において複数の電子基準点で観測した擬似距離観測値から推定した電離圏遅延量に基づきGPS及びQZSSが放送する電離圏補正モデルの性能を評価し、QZSSの性能がGPSより高いことを示した。SLASとCLASの測位誤差（95%値）を評価し、有効性を示した。

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、航空行政での活用などを通じて、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）、国際GBASワーキンググループ（I-GWG）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（ION）、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査読論文や講演発表として周知され、活用されている。

（航法システム領域長 福島 莊之介）

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, 渡邊 浩志, 北村 光教, 伊藤 憲

研究期間 平成27年度～令和元年度

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。令和元年度は、5ヶ年計画の最終年度であった。

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。

第二の方策は、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 平成27年度

本研究課題の開始にあたり、次世代GNSS環境に対応した補強システムについて調査を実施するとともに規格化活動に参画した。次世代SBASについては、関係各国によるSBAS相互運用性会合において規格案に対する議論を行った。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構築に向けた調整等を行い、仙台空港のGBASテストベッドの改修を開始した。

補強システムの相互利用については、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した。利用形態として、(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。

宇宙天気情報の利用については、ICAOにおいて運用コンセプトの検討が開始され、NICT及び気象庁を通じて我が国における観測データの提供等を行った。

また、特にアジア地域における電離圏擾乱のモデル化等を目的として設置されているISTF(電離圏研究作業部会)には議長として参加した。

3.2 平成28年度

次世代GNSS環境に対応した補強システムについて、規格化活動に参画するとともに、プロトタイプシステムの開発を進めた。次世代SBASについては、関係各国によるSBAS相互運用性会合において規格案に対する議論を行った。また、次世代SBASのプロトタイプシステムを開発し、複数システム(GPS及びGLONASS)・複数周波数に対応した補強処理が正常に行われることを確認した。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基本設計を実施した。また、次世代GBASについてフランスにて国際共同実験を行い、欧州機材の次世代GBAS信号を収集するとともに電子航法研究所既存ソフトウェアによる評価を行った(図1)。

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の検討を継続した。SBAS衛星の距離情報の利用については、現行MSASでは測距精度が十分ではないことがわかった。

宇宙天気情報の利用については、宇宙天気の影響と宇宙天気情報の活用法をまとめた文書をICAOにおける運用コンセプトの検討のために提供した。また、ISTFには引き続き議長として参加し、アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル(図2)を構築するとともに、SBAS及びGBASを対象とした電離圏脅威対策のガイダンス文書(API51/16)を策定した。

さらに、公募型研究「スプラディックE層がVHF航空通信・航法に与える影響の評価」により、電気通信大学が過去3ヶ年分のスプラディックE層(しばしば発生する電離圏E層の擾乱現象)における異常伝搬観測データを解析したところ、搭載受信機で問題となるレベルの混信が比較的頻繁に発生する可能性があることが明らかとなった。

3.3 平成29年度

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。

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。

公募型研究「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」により、次世代SBAS規格に準ずる準天頂衛星L5S信号に対応したソフトウェア受信機を台湾・国立成功大学が製作し、台湾においても正常に受信できることを確認した。

3.4 平成30年度

前年度までに開発した次世代GNSS対応のSBAS・GBASプロトタイプを使用して、仙台空港にて2回の地上実験を実施した。

次世代SBASの規格化活動においては、準天頂衛星L5S信号による実証実験により得られた情報を提供して規格案の検証に大きく貢献した。準天頂衛星による高緯度地域におけるSBASサービスの実現にはドップラ周波数等について規格案の改訂が必要だったことから、これを提案し、採用された。また、高緯度地域における準天頂衛星システムの有効性を評価するため、ブラハにて受信実験を実施し、準天頂衛星L5S信号を正常に受信できることを確認した(図4)。

次世代GBASについては、前年度までに構築したプロトタイプシステムに対して、準天頂衛星システム対応等の改修を行った。低緯度地域で影響の大きい電離圏擾乱の対策として、VHFレーダーによる効果のシミュレーションをインドネシア航空宇宙庁との連携により開始した。また、宇宙天気情報テストベッドにこのレーダーを組み入れて実証実験を行うため、NICTとの連携を開始した。

3.5 令和元年度

次世代GNSS対応のSBAS・GBASプロトタイプを使用して、八丈島及び石垣島にて飛行実験を実施した。所期の機能及び補強性能が得られることを確認したほか、機体の一部による測位信号の遮蔽が予想より多いことが判明した。

次世代SBASの規格化活動においては、高緯度地域におけるSBASサービスの実現を念頭に規格案の改訂活動に参画した。次世代SBASによるアベイラビリティの改善効果を試算し、現行システムに対して大幅な

性能向上が期待できることを確認した（図5）。

次世代GBASについては、GPS/Galileoに加えて準天頂衛星システムに対応したプロトタイプを完成した。VHFレーダーにより得られる宇宙天気情報を利用する効果のシミュレーションをインドネシア航空宇宙庁と実施し、有効との見通しを得た。

公募型研究「SBAS L5信号によるGNSS信号認証に関する研究」では、次世代SBAS規格の拡張仕様として議論されているGNSS信号認証機能について東京大学がICAO会議に情報提供するとともに、準天頂衛星L5S信号を使用した実証実験を実施した。

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標として、次世代SBAS及びGBASのプロトタイプシステムを開発して飛行実験を実施するとともに、ICAOにおける標準規格策定作業に参画した。所期の目標を達成するとともに、ICAOにおいては特にアジア太平洋地域共通電離圏モデルの策定や次世代SBAS規格の改訂提案等により国際的な貢献をしてきた。本研究による研究ポテンシャルの向上は著しく、後続の研究においても国際的な展開をさらに充実させることとしたい。

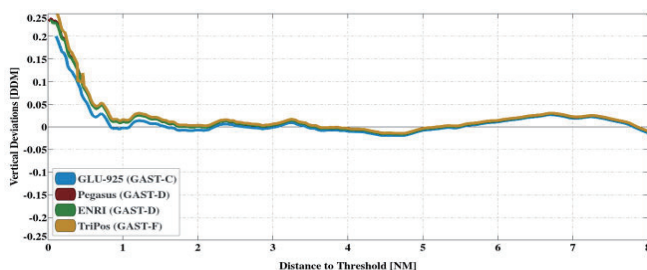


図1 GBAS相互運用性国際実験
各国機材による垂直偏位の比較

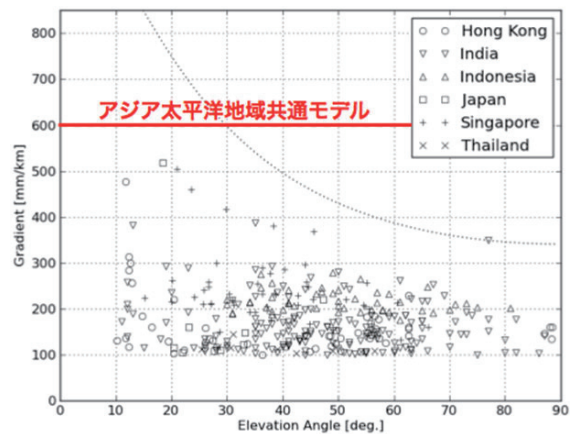


図2 ISTFにて策定した
アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル



図3 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）では測位誤差を低減，（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束

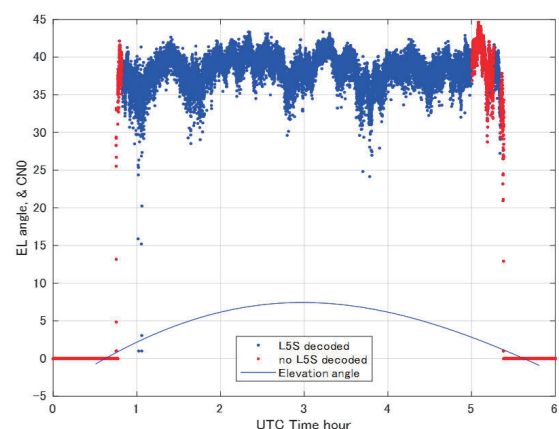


図4 欧州における受信実験例
（青）正常に受信，（赤）受信電力不足

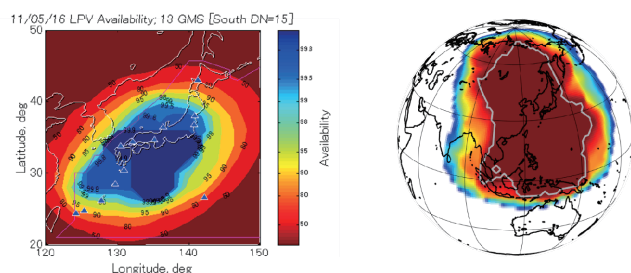


図5 次世代SBASのアベイラビリティ試算例

(左) 現行SBASに対して性能向上を図ってもアベイラビリティ改善は限定的, (右) 次世代SBASでは広範囲で高いアベイラビリティを達成

掲載文献

○平成27年度

- [1] S. Saito, “Ionospheric threat and its mitigation for GNSS implementation in the APAC region,” ICAO APANPIRG PBN Symposium, Bangkok, Thailand, June 2015.
- [2] S. Saito, “Publication and intellectual properties of ionospheric threat models,” ICAO APANPIRG CNS-SG/19, Bangkok, Thailand, July 2015.
- [3] 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, 星野尾一明, “次世代SBAS規格の検討状況,” 第59回宇宙科学技術連合講演会, 鹿児島市, 平成27年10月
- [4] S. Rungraengwajiake, P. Supnithi, S. Saito, N. Siansawasdi, and A. Saekow (Oct. 2015), “Ionospheric delay gradient monitoring for ground-based augmentation system (GBAS) by GPS stations near Suvarnabhumi airport,” Radio Science, vol.50, pp.1076-1085.
- [5] S. Saito, “Incoherent Scatter Radar,” COSPAR Capacity Building Workshop / IRI workshop, Thailand, Nov. 2015.
- [6] T. Sakai, “Ionosphere Threat Model for SBAS,” ICAO ISTF/6, Bangkok, Thailand, Jan. 2016.
- [7] T. Yoshihara and S. Saito, “Ionosphere Threat Model for GBAS,” ICAO ISTF/6, Bangkok, Thailand, Jan. 2016.

○平成28年度

- [8] F. Lin, C. Wang, C. Su, K. Shiokawa, S. Saito, and Y. Chu (April 2016), “Coordinated observations of F region 3-m field-aligned plasma irregularities associated with medium-scale travelling ionospheric disturbances”, Journal of Geophysical

Research: Space Physics, vol.121, pp.3750-3766.

- [9] S. Saito, T. Pocathikorn, and Y. Limpanamvadee: “Preliminary results of ionospheric gradient evaluation around Bangkok International Airport,” IGWG/17, Oslo, Norway, April 2016.
- [10] 齋藤享, 吉原貴之, 坂井丈泰, “アジア太平洋地域電離圏脅威モデルの開発,” 電子航法研究所研究発表会, 平成28年6月
- [11] 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, “GPS L5信号の新航法メッセージの利用可能性,” 電子航法研究所研究発表会, 平成28年6月
- [12] S. Pullen, S. Saito, and J. Lee, “Modifications to Example SARPs Ionospheric Gradient Threat Model to Represent Plasma Bubbles in Equatorial Regions,” WP/7, ICAO NSP JWGs/1, Montreal, Canada, June 2016.
- [13] S. Saito, T. Sakai, T. Yoshihara, S. Pullen, J. Lee, M. Ishii, and F. Lecat, “Report of ionospheric studies task force activities,” APANPIRG CNS-SG/20, Bangkok, Thailand, July 2016.
- [14] S. Saito, T. Yoshihara, T. Sakai, S. Sunda, J. Lee, S. Pullen, S. Supriadi, and F. Lecat, “Regional ionospheric threat model for GBAS,” ICAO APANPIRG/27, Bangkok, Thailand, Sept. 2016.
- [15] 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, 星野尾一明, “次世代SBASにおける準天頂衛星軌道の利用,” 日本航空宇宙学会第60回宇宙科学技術連合講演会, 函館市, 平成28年9月
- [16] M. Kitamura, “Performance Comparison of LNAV and CNAV,” SBAS IWG/31, Dakar, Senegal, Nov. 2016.
- [17] S. Saito, T. Yoshihara, and S. Zureikat, “GBAS Ionospheric threat assessment for GBAS in the Asia-Pacific region by the Ionospheric Studies Task Force (ISTF),” ICAO NSP/3, Nov. 2016.
- [18] S. Saito and T. Yoshihara, “Initial Experiences with GAST-F Interoperability and Performance,” ICAO NSP/3, Dec. 2016.
- 平成29年度
- [19] 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, 星野尾一明 (2017年4月), “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, vol.J100-B, no.4, pp.344-353.
- [20] T. Sakai, “Status of Japanese QZSS and SBAS

programs,” APEC GIT/22, April 2017.

- [21] 齋藤享, 吉原貴之, 坂井丈泰, “アジア太平洋地域 GBAS 電離圏脅威モデル,” 電子航法研究所研究発表会, 平成 29 年 6 月
- [22] 細川敬祐, 富澤一郎, 坂井純, 齋藤享, “スボラディック E 層が航空通信・航法に与える影響の評価,” 電子航法研究所研究発表会, 平成 29 年 6 月
- [23] S. Saito, M. Stanisak, T. Yoshihara, T. Feuerle, A. Lipp, and P. Ladoux, “Results of GBAS interoperability trials in Ishigaki, Japan,” ICAO NSP JWGs/2, June 2017.
- [24] P. Abadi, Y. Otsuka, K. Shiokawa, A. Husin, H. Liu, and S. Saito (Aug. 2017), “Equinoctial asymmetry in the zonal distribution of scintillation as observed by GPS receivers in Indonesia,” *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol.122, pp.8947-8958.
- [25] S. Saito, S. Sunda, J. Lee, S. Pullen, S. Supriadi, T. Yoshihara, M. Terkildsen, and F. Lecat (Oct. 2017), “Ionospheric delay gradient model for GBAS in the Asia-Pacific region,” *GPS Solutions*, vol.21, pp.1937-1947.
- [26] S. Saito, K. Hosokawa, I. Tomizawa, and J. Sakai, “Anomalous propagation of VHF NAV signals by sporadic E layer,” ICAO NSP/4, Oct. 2017.
- [27] T. Sakai, “SBAS ephemeris clock correction,” ICAO NSP/4 DS2SG, Oct. 2017.
- [28] T. Sakai, “PRN assignment for non-GEO SBAS,” ICAO NSP/4 GSWG, Oct. 2017.
- [29] T. Sakai, “The experiment on DFMC SBAS via QZSS L5S Signal,” ICG/12, Dec. 2017.
- [30] M. Kitamura, “DFMC SBAS prototype system GPS, Galileo, and QZSS,” SBAS IWG/33, Jan. 2018.
- [31] C.M. Wu, S.S. Jan, and T. Sakai, “Evaluation of Quasi-Zenith Satellite System L5S signal,” ION ITM 2018, Feb. 2018.
- [32] 坂井丈泰 (2018 年 2 月), “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, vol.9, no.1, pp.1-6.

○平成30年度

- [33] T. Sakai, “PRN assignment for IGSO satellites,” ICAO NSP JWGs/3, April 2018.

- [34] T. Sakai, M. Kitamura, and T. Aso, “The IGSO SBAS: Signal availability in the Polar regions,” European Navigation Conference 2018, May 2018.
 - [35] S. Saito, “Use of SBAS ranging source for GBAS,” IGWG/19, May 2018.
 - [36] 北村光教, 麻生貴広, 坂井丈泰, “次世代SBAS 開発と準天頂衛星による放送実験,” 電子航法研究所研究発表会, 平成30年6月
 - [37] 齋藤享, 山本衛, 齊藤昭則, “衛星航法のための電離圏リアルタイム監視, 電子航法研究所研究発表会,” 平成30年6月
 - [38] T. Aso and T. Sakai, “Requirements for SBAS IGSO,” EUROCAE WG-62, June 2018.
 - [39] T. Sakai, “Doppler range for non-GEO SBAS satellites,” ICAO NSP DS2SG, June 2018.
 - [40] M. Kitamura, “Performance of DFMC prototype using global monitoring stations,” SBAS IWG/34, Sept. 2018.
 - [41] S. Saito, “Facilitating interactions between space weather information service provides and aeronautical users,” ICAO NSP/5, Nov. 2018.
 - [42] T. Sakai, “The IGSO SBAS: DFMC Seamless and Robust Navigation,” ICG/13, Nov. 2018.
- 平成31年度
- [43] 齋藤享, 吉原貴之, “MC/MF GBAS実験用装置の開発,” 電子航法研究所研究発表会, 令和元年6月
 - [44] 坂井丈泰, 北村光教, 麻生貴広, 星野尾一明, “準天頂衛星システムによるSBASサービス,” 電子航法研究所研究発表会, 令和元年6月
 - [45] T. Sakai, “Status of DFMC SBAS Experiments with the QZSS Constellation,” DFMC SBAS JWT, 令和元年6月
 - [46] T. Yoshihara, S. Saito, and A. Kezuka, “Development of MC/MF GBAS testbed in Japan and initial experiments for evaluating its performances,” EIWAC/6, Oct. 2019.
 - [47] S. Saito, S. Supriadi, T. Tsugawa, K. Hozumi, M. Ishii, P. Jamjareegulgarn, P. Supniti, and Y. Otsuka, “Monitoring of plasma bubbles by VHF radar for GBAS,” EIWAC/6, Oct. 2019.

PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究【重点研究】

担当領域 航法システム領域

担 当 者 ○福島荘之介，齊藤真二，森亮太，中西善信（客員研究員），
藤田 雅人（客員研究員），上島一彦（客員研究員）

研究期間 平成 30 年度～令和 3 年度

1. はじめに

ICAO（国際民間航空機関）は，PBN（性能準拠型航法）概念による航法を促進し，GBAS（地上型衛星航法補強システム）等の新しい進入着陸システムを導入して，安全で効率的な進入方式を実現し，運航の最適化を図る計画である。このため，現在 RNP の RF レグ（円弧旋回）による中間進入と GLS（GBAS Landing System）等による最終進入経路を接続する新しい進入方式（RNP to xLS）の国際基準が検討されている。

近年，我が国ではPBNによるRNAV/RNP進入方式が多く空港に展開され，RF レグを使った RNP AR 進入が普及段階にある。また，東京国際空港へ GBAS の導入が進んでいる。この様な状況で，近い将来 RNP to xLS の国内展開が期待され，我が国の空港環境をふまえた実現可能性と将来の便益の明確化が要望されている。併せて，航法機器の高性能化に対応して障害物評価表面を緩和するため，衝突危険度モデルの改善が国際的な課題となっている。

2. 研究の概要

本研究の目的は，RNP の RF レグと GLS/ILS の最終進入セグメントを接続した RNP to xLS 方式に関して，実現性と導入便益を明確にするため，飛行方式設計の空港環境における制約や要求等の条件を明かにすることである。また，衝突危険度モデルを改良して，新たな障害物間隔高度の評価手法を考案することである。

このため，(1) 国内空港の経路設計を調査してモデル空港を選定し，将来の飛行方式を設計する。さらに，飛行方式に基づいて航法データベースを構築して，フルフライトシミュレータ（FF シミュレータ）検証を実施し，(2) 可搬型 GBAS プロトタイプ装置を開発して，実験用航空機による飛行実証を実施する。さらに，(3) 飛行データを活用して ICAO の衝突危険度モデルを改良し，妥当性を検証する。

3. 研究成果

(1) モデル空港の方式設計。

現在，RNP の RF レグを使った航法には，RNP AR 方式があり，国内ではこれまで 30 空港に導入されている。RF レグの利用は，保護区域の狭い自由度の高い経路を設計できることにあり，これまで複数の空港で経路短縮による燃料消費や環境負荷低減の便益が報告されている。これに対して RNP to xLS 方式は，この RF レグを中間進入セグメントに使い GLS または ILS の最終セグメントに接続する精密進入方式である。RNP to xLS は，RNP AR 方式が APV（Approach Procedure with Vertical guidance）に区分され，非精密進入と同様な最低気象条件となることに対して，最終進入の限界点の高度を低く設定して低視程時の着陸が可能とし，加えて RF レグによる便益を享受できる。ただし，現在の GLS/ILS 装備は，中間進入セグメントから最終進入セグメントへの会合動作を必要とするため，RNP AR 方式よりは最小経路長が数 NM 長い設計基準となる予定である。本研究では RNP to xLS 方式を国内空港へ適切に展開するため，空港周辺の山岳など障害物件の制約を考慮して国内空港へ導入した場合の導入効果を検討し，将来の飛行方式を設計して検証する計画である。

本年度は，研究初年度に選定したモデル空港（3 空港）に設計した 4 方式について，現地官署を訪問して管制官と意見交換し，出発機との交差などの課題を抽出して，詳細設計のうえ経路設計を完成させた。この設計経路に基づいて民間航空機の FMS に登録する航法データベースを作成し，民間航空機と同等の機能を高い忠実度で再現したフルフライトシミュレータ（操縦士訓練用途での利用が一般的）にインストールして検証実験を行った。実験では操縦士が通常の運航とほぼ同様にオートパイロットを使って航法データベースの設計経路を飛行し，操縦士が過大なワークロードに陥らないことや GPWS（対地接近警報）が動作しないことなどフライアビリティ評価を開始した。

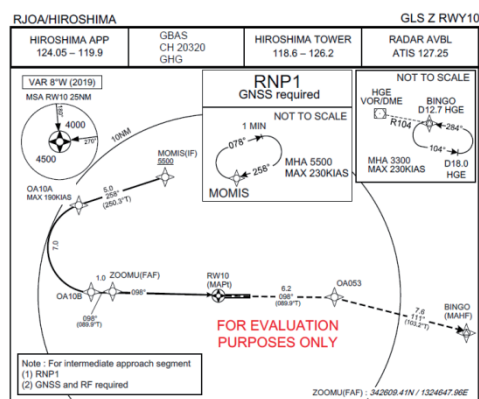


図 1：研究用 RNP to xLS 進入方式の例
(経路短縮効果・環境負荷軽減)

この結果、RF レグにより飛行距離を短縮して燃料効率や環境負荷を低減可能な飛行方式、オフセット ILS をオンセット化し低視程運航時に進入限界点の高度を低く設定できる飛行方式について効果を検証し、高い評価と期待を頂いた。さらに、降下角を調整し、オフセット進入により滑走路延長線付近の山岳地形を回避して精密進入経路を新たに設計する方式については、初回の検証実験を実施した。この結果、GBAS の障害物評価表面 (OAS) は ILS よりオフセット角を小さく有利な設計ができると着想し、検討の結果高い効果を確認した。

さらに、最終進入経路付近に山岳などの障害物件が存在する飛行方式を検討するため、ICAO が標準とする OAS (障害物評価表面) を生成するソフトウェアを内製で開発した。OAS は障害物件を含まない進入経路周囲の空域を形成する複数の表面である。ICAO は OAS の計算法をソフトウェア (PANS-OPS Software) で定義し、国際標準に附属するツールとして配布している。しかし、ソースコードを消失しているため、この継続は IFPP における長年の課題であった。今回開発したソフトウェアを IFPP で発表したところ高く評価され、国際標準の附属ツールとして採用される方向で進んでいる。

(2) 可搬型プロトタイプの構築

選定したモデル空港において飛行実証を実施



図 2：フライトシミュレータによる検証実験

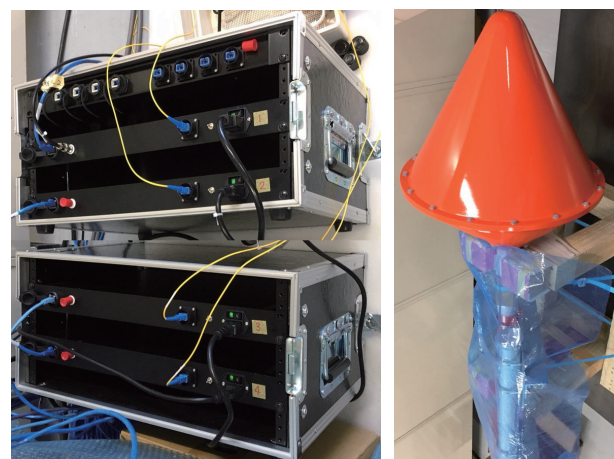
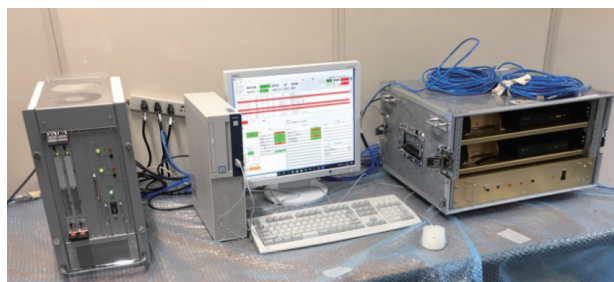


図 3: 可搬型プロトタイプのハードウェア

(上) データ処理生成部・制御端末、
(左下) 基準受信機部、(右下) VDB 送信空中線

するために、GBAS プロトタイプ装置を構築する。ここで構築するプロトタイプ装置は、飛行実証時にモデル空港まで実験用車両で運搬し、実験用車両に搭載したまま運用することを想定し可搬型とした。

本年度は、昨年度実施した可搬型プロトタイプ装置の基本システム設計に基づきソフトウェア部の詳細設計を行い、ソフトウェアの要素毎の動作確認を実施した。また、ハードウェア部についても、詳細設計に基づき構築を行った。さらに、

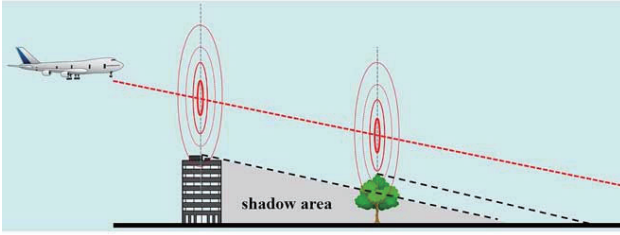


図4：衝突危険度計算のイメージ

飛行実証を実施する2箇所のモデル空港において現地調査を行い、可搬型プロトタイプ装置を設置可能な候補地を選定した。

今後、システムインテグレーションを実施し、RNP to xLSの飛行実証に用いる計画である。

(3) 衝突危険度モデルの改善提案

本研究においては、衝突危険度モデルの構成要素のうち、現状に比べてより正確な衝突確率を求めることができる数学モデルの開発に取り組む。昨年度までは、現行の計算モデルをもとに、どのような計算を行うことで、潜在的に結果が改良されるかについて検討を行った。本年度は、その検討結果をもとに、数学的に定式化を行い、その効果の検証を行った。

過去の研究で構築したパイロット操舵モデルからシミュレーション上で 10^6 回の着陸航跡を生成し、障害物と衝突する回数を生成した航跡を用いてカウントすることにより、提案手法がどの程度正確に衝突確率を計算できているかを評価した。その結果、提案手法は障害物の形にもよるが、現行の衝突危険度モデルと比較して、衝突確率の過大評価を平均90%程度抑えられていることがわかった。本結果については、IEEE論文誌(9)に掲載された。

4. おわりに

本年度の主な成果は、

- (1) モデル空港を対象に研究用のRNP to xLS経路(4方式)を完成し、フルフライトシミュレータで飛行検証したこと、
- (2) 飛行実証のための可搬型プロトタイプを詳細設計し、ハードウェアとソフトウェアを製作して、設置候補地を選定したこと、
- (3) ICAOの衝突危険度モデルを改良するため、数学モデルを定式化し、シミュレーションで衝突確率を評価したことである。

掲載文献

- (1) S.Fukushima, et al, "ENRI Status Report", 19th International GBAS working group(I-GWG19), May 2018.
- (2) S.Fukushima, R.Mori, S.Saitoh, "A Feasibility Study of Short Final RNP to xLS Procedure", 19th International GBAS working group(I-GWG19), May 2018.
- (3) 福島, 森, 齊藤真, 「浅い降下角を伴う RNP to xLS 進入方式の設計条件」, 平成30年(第18回)電子航法研究所発表会, 2018年6月.
- (4) 福島, 「第19回国際GBAS WG会議の概要」, 航空輸送研究センター(ATEC)新進入・出発に関するWG会議, 平成30年6月.
- (5) 福島, 「A320シミュレータによるRNP to xLS進入方式の検討」, 航空輸送研究センター(ATEC)新進入・出発に関するWG会議, 平成30年11月.
- (6) S.Fukushima, et al, "Lessons Learned from A320 RNP to xLS Flight Sim Experiments", 20th International GBAS working group(I-GWG20), June 2019.
- (7) 福島, 森, 齊藤真, 「円弧旋回を伴う精密進入方式の設計法」, 第57回飛行機シンポジウム, 2019年10月.
- (8) R. Mori, M. Fujita, "Calculation of Ground Obstacles Collision Probability under ILS Approach," EIWAC 2019, November 2019.
- (9) R. Mori, M. Fujita, "Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability During ILS Approach," IEEE Access, Vol. 8, pp. 66662-66671, 2020.

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～令和元年度

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、令和元～令和 2 年度に運用評価を行った後にカテゴリ 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 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 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 GBAS 導入の意思決定を令和 2 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

本年度は、研究最終年度として 2014 年以降のデータを用い、大きな電離圏勾配の緯度分布、受信機から見た衛星の方角と観測される電離圏勾配の関係を明らかにした。これにより羽田空港 GBAS 電離圏脅威暫定モデルを検証し、技術検討会議に報告した。概要は以下の通りである。

- 解析期間において検出された視線方向最大電離圏勾配は、羽田暫定モデルにおける磁気低緯度擾乱に対する最大電離圏勾配 (600 mm/km) を下回り、十分包含される。
- 磁気低緯度電離圏擾乱に伴う電離圏勾配の発生場所の北限は、羽田暫定モデルにおいて磁気低緯度電離圏擾乱のパラメータが適用される北限緯度 (36°) よりも十分南方であり、十分包含される。
- 電離圏遅延量変動幅の最大値は、羽田暫定モデルの最大値 (15 m) よりも小さく、十分包含される。
- 電離圏勾配の幅の最小値は羽田暫定モデルにおける磁気低緯度電離圏擾乱に対する電離圏勾配の幅の最小値 (6 km) よりも大きい。
- 一方で、電離圏勾配の幅の最大値は、羽田暫定モデルにおける最大値 (30 km) よりも大きい。しかしながら、この電離圏勾配幅を与える電離圏勾配の諸パラメータは、磁気中緯度型の電離圏勾配パラメータの範囲に包含される

以上のことから、本解析期間の間に検出された電離圏遅延量勾配は、すべて羽田暫定モデルにおいて包含されるものであった。

アジア太平洋地域電離圏脅威モデルへの融合については、ベトナム・ハノイにおける総務省 GBAS 実証実験に参画し、ベトナム・地球物理研究所 (IGP) と協力して電離

圏観測及び勾配解析を実施した。さらに GBAS 電離圏脅威評価のための電離圏観測の海外展開について、2020 年度からの開始に向けて総務省と調整を行うとともに、インドネシア、ミャンマー等の研究者とも調整を行った。詳細は受託研究「ノイバイ空港 GBAS 実験に向けた「電離圏調査及び電離圏脅威モデルの構築」の技術支援」において報告している。

さらに、アジア太平洋地域における情報共有を進めるため、香港航空局、台湾國立成功大からそれぞれ GBAS 見学を受け入れ、特に電離圏脅威対策について意見交換を行なっている。香港航空局との情報共有の結果として、APANPIRG CNS-SG 会議において、電離圏を含む GBAS, SBAS 導入に関する情報共有を行う SBAS/GBAS Implementation Task Force が設立されることになり、日本が主導的な役割を果たす見込みである。

4. 考察等

本研究を通して、本研究としては十分な成果を出すことができたと言える。本研究の発展として、以下のような方向で研究を進めていく。

- さらに過去のデータの解析を進め、電離圏脅威モデルの信頼度を向上させることにより、合理的な脅威空間の削減を目指す。
- 引き続きデータ収集に努め、電離圏脅威モデルを継続的に検証する。継続的な検証については、航空局への技術移転を視野に入れる必要。
- ICAO アジア太平洋地域 SBAS/GBAS Implementation Task Force を通した海外との協力を進め、日本の技術の優位性を示し、海外展開を支援する。

掲載文献

- [1] S. Saito, T. Yoshihara, Spatial gradients in the ionospheric delays (TECs) and scintillations associated with plasma bubbles, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉、2019 年 5 月
- [2] M. Nakamura, S. Saito, T. Yoshihara, Durations of ionospheric gradients and plasma bubbles as ionospheric threats to GBAS, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉、2019 年 5 月
- [3] M. Nakamura, S. Saito, T. Yoshihara, Ionospheric gradient characterization in the transition region from low to mid-latitude, 20th International GBAS Working Group, Denver, US, June 2019.
- [4] 中村、齋藤、吉原、GBAS 電離圏脅威モデルのためのプラズマバブルに伴う電離圏勾配の視線方向依存性解析、

地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究【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, 齋藤 享, 吉原 貴之, 毛塚 敦
 研究期間 令和元年度～令和4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ている。我が国においても羽田空港への設置が開始され、今後、各地の空港への導入が見込まれている。我が国の空港においては、諸外国の空港に比較して滑走路周辺に十分な剰余敷地が存在しておらず、周辺障害物や離着陸航空機等の影響によるアベイラビリティの劣化を避けて GBAS 基準局を最適に配置することが難しいことが懸念されている。これまで、電子航法研究所において空港内で取得した GPS 信号の解析結果からも、滑走路近傍における GPS 信号の受信において、離着陸航空機の影響があることが判明している（図1）。欧米においても、滑走路延長上に設置した GBAS 基準局での上空通過機の影響が報告され、航空機を用いた評価等も行われている。

本研究は、GBAS の基準局等の地上機器の設置環境条件の緩和方策を提案することで、滑走路近傍に十分な剰余敷地が存在しない空港における GBAS 整備候補地の拡大を目的として開始した。

2. 研究の目的と実施項目

本研究の目的は、基準局等の設置環境条件の緩和方策を検討し、GBAS 設置空港における整備候補地の拡大を実現することである。

具体的には、離着陸機による GPS 衛星信号の遮蔽等の影響を軽減する地上処理アルゴリズムの開発、空港環境で

取得したデータによる検証、基準局等の GBAS 地上機器の実現可能な設置環境条件の検討、基準局配置に対するアベイラビリティの評価などを実施する計画である。

3. 実施概要

令和元年度は、新千歳空港の GBAS 基準局データおよび擬似ユーザ局データから、現状の地上処理アルゴリズムにおいて問題が発生する事象を調査し、地上処理アルゴリズムの改良の方針を検討した。また、VDB の設置環境条件について実験および評価を行った。

着陸機通過に伴う GBAS 基準局における GPS 受信断による擬似ユーザ局での測位中断の発生について 2017～2018 年のデータを用いて調査を行った。中断の継続時間（図2）は、擬似距離平滑処理のフィルタ安定化の待ち時間である 200 秒が最頻値となった。また、測位不能となる時間の割合（図3）は最も高い月で 0.067%，解析

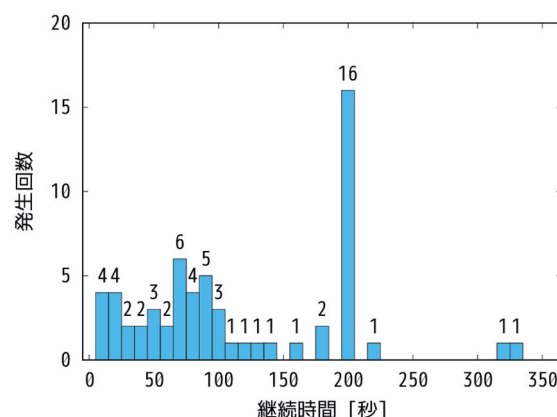


図2：中断の継続時間と発生回数

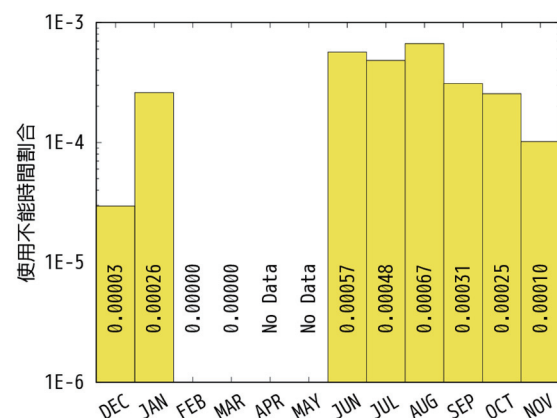


図3：月毎の測位不能時間割合

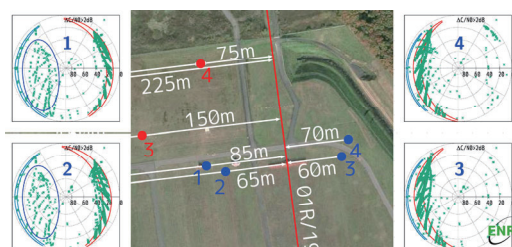


図1：新千歳空港 GBAS の基準局配置と離着陸機による影響（2dB 以上の変動箇所）

- ・ 2018 年 6 月の 1 ヶ月の基準局 GPS データの解析結果
- ・ 赤線のエリア：19L 着陸機が遮る範囲
- ・ 青線のエリア：19R 着陸機が遮る範囲
- ・ 青円のエリア：01L 離陸機の影響と考えられる変動



図 4：実験の様子

した 10 ヶ月の平均で 0.027% となり、アベイラビリティ換算でそれぞれ 0.99933, 0.99973 となった。CAT-I GBAS のアベイラビリティ要求 (0.99~0.99999) を満足するためには、着陸機の影響は無視できない大きさであるといえる。

このような測位の中断は、基準局 GPS 受信機において着陸機の影響により搬送波位相にサイクルスリップが発生し、擬似距離平滑化フィルタが初期化され、共通衛星数が減少することで生じている。そのため、ある基準局でサイクルスリップが検出されたとき、近傍の他の基準局の出力によりスリップ量を補完する方法を、改良アルゴリズム案として検討することとした。この方式が実現されることにより擬似距離平滑化フィルタの初期化頻度が低減され、ユーザ側で使用不能となる時間が減少することが期待される。

VDB の設置環境条件に関しては、建物や航空機などの遮蔽物の寸法および距離条件から GBAS 機上装置における警報の発生率を定式化し、実験により確認した (図 4)。これにより、GBAS 運用中において遮蔽物によるシステムへの影響を定量的に見積もることが可能となった。

4. おわりに

新千歳空港 GBAS 取得データから、着陸機の通過が基準局における GPS 信号受信に影響した事象を抽出し、ユーザ側への影響を調査した。その結果、共通衛星数の減少等により測位不能となり、アベイラビリティが低下する可能性が示された。

今後、改良アルゴリズムを組み込んだ地上処理評価ツールの作成を行い、アルゴリズム改良効果の検証を行う予定である。

また、滑走路と基準局の位置関係による着陸機の影響の評価を行い、基準局配置パターンと改良アルゴリズムに基づく設置環境条件について検討を行う予定である。

謝辞

本研究で使用している新千歳空港 GBAS のデータは、国土交通省航空局技術管理センターが実施している GBAS 設置環境評価において取得したものです。データの取得および提供のご協力を頂いた航空局技術管理センターおよび東京航空局新千歳空港事務所の関係各位に感謝いたします。

掲載文献等

- [1] 毛塚 敦, 齊藤 真二, 須賀 良介, 平井 翔太郎, 黒田 哲史, 橋本 修, “GBAS VDB の覆域評価手法に関する検討,” 電子航法研究所研究発表会, 2019 年 6 月
- [2] 毛塚 敦, 齊藤 真二, “GBAS VDB の覆域劣化とシステムへの影響評価,” 信学技報 EST 2019-14, 2019 年 7 月
- [3] 黒田 哲史, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “アンテナ後方の建物を考慮した VHF 帯における空港面電磁界解析手法の有効性の測定評価,” 信学ソ大, 2019 年 9 月
- [4] 毛塚 敦, 齊藤 真二, 須賀 良介, 平井 翔太郎, 黒田 哲史, 橋本 修, “GBAS VDB の覆域評価手法に関する検討,” JRANSA 航空無線第 101 号, 2019 年 9 月
- [5] 齊藤 真二, 福島 莊之介, “離着陸航空機による GBAS 基準局への影響,” 日本航空宇宙学会 第 57 回飛行機シンポジウム講演集 3D09, JSASS-2019-5184, 2019 年 10 月
- [6] 齊藤 真二, “着陸機通過に伴う GBAS 基準局における GPS 信号瞬断による測位への影響,” 信学技報 SANE 2019-86, 2020 年 1 月
- [7] 黒田 哲史, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “Proposal on Hybrid Propagation Analysis of Aperture Field Integration Method and Ray Tracing Method Suitable for Airport Surface in VHF Band,” Proceedings of EuCAP2020, 2020 年 3 月
- [8] 毛塚 敦, 齊藤 真二, “GBAS VDB の覆域劣化とシステムへの影響評価,” 信学論 C, Vol. J103-C, No.05, 2020 年 5 月

気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究【指定研究】

担当領域 航法システム領域

担当者 ○吉原 貴之, 藤井 直樹, 瀬之口 敦*, 山田 泉*, 虎谷 大地* (*航空交通管理領域)

研究期間 令和元年度～令和4年度

1. はじめに

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、管制方式基準では航空機を重量によって区分し、先行機と後続機の航空機区分(Category)の組合せに応じた最低離隔間隔が設定されている。空港周辺の出発経路、到着経路において、このような最低離隔間隔は、滑走路占有時間等とともに時間あたりの離着陸回数(空港処理容量)と密接な関係にあることから、欧米を中心に後方乱気流に係る現在の航空機区分と最低離隔距離を見直すRECAT (Recategorisation)の導入が進んでいる。

ICAO(国際民間航空機関)がまとめた将来構想であるGANP(Global Air Navigation Plan)においても、RECATは3段階のASBU(Aviation System Block Upgrades)として記述されている。その第1段階であるB0-WAKEは、現在の4つの航空機区分を6～7つに細分化することにより、従来よりも最低離隔間隔を短縮可能な航空機の組み合わせが生じる利点を活用したRECATフェーズ1(RECAT-1)の導入が進んでいる。また、航空機の最低離隔間隔を距離で保つ管制方式においては、向い風が強い場合においては時間間隔は大きくなるために、空港処理容量の低下をもたらす。このため、Time-based Separation(TBS)と呼ばれる航空機の最低離隔間隔を時間で保つように運用することによって空港処理容量の低下を防ぐ新しい管制方式も英国ヒースロー空港で導入されている。将来的には、さらに段階的にASBU B1-WAKE, B2-WAKEを導入するロードマップが描かれ、最終形態としては時々刻々と変化する周囲の気象条件に応じて、空港・空域の条件を考慮しつつダイナミック・ペアワイズ(D-PWS)と呼ばれる航空機機種毎の最低離隔間隔を設定する管制方式が期待されている。

2. 研究概要

本研究では、後方乱気流に係る最低離隔間隔の見直しであるRECATに関して、研究期間の前半及び後半に分けて2つの課題に取り組む。まず前半2年間で実施する1つ目の課題は、英国ヒースロー空港に導入されているようなTBS運用を東京国際空港や成田国際空港といった我が国の混雑空港に導入する際の課題と要件の明確化である。このとき、

それぞれの空港・空域条件を考慮しつつ、導入判断に必要な周辺空域を含めた最低離隔間隔の設定と安全性及び導入効果の評価方式を確立する。具体的には、後方乱気流特性から導出される安全な最低離隔間隔の評価に加えて、離着陸間隔の制約となっている滑走路占有時間、周辺空域での管制間隔(レーダー性能も検討)などの要因に着目して現状の航空機間隔を定量的に解析し、滑走路配置、空港内交通流及び空域条件との関係も考慮した上で、TBSの導入効果を得るための諸条件を明確化する。

次に本研究期間の後半で取り組む2つ目の課題としては、周囲の気象条件に応じたD-PWSによる運用や、近年、GBAS等の新しい着陸システムを活用した先進的な運航コンセプトとして着目されている、同一滑走路に複数着地点を設定した運用を対象とした技術検討を行う。そこでは、それら運用を導入するにあたって必要となる技術的要件の明確化とその解決手法の提示、並びに実現可能性についての見通しを得ることを目的としている。具体的には、安全性評価の視点から後方乱気流の特性のリアルタイムの計測及び監視技術、ダイナミックな最低離隔間隔の設定手法の手順、管制間隔の自動指示情報の特定、及び運用を中断した場合の対処手法のガイダンス等を提示するとともに、それら新方式の導入効果を評価するためのシミュレーション解析を行う。また、それらの先進的な運用を支援するために要求される通信・航法・監視装置の性能要件や、航空管制官への支援情報の信頼性も評価対象として、管制間隔指示の自動化コンセプトなどのトップレベルから末端までの概念的な安全性設計評価を行う。

3. 研究成果

電子航法研究所(以下、当所とする)は、国土交通省航空局のご協力のもと、平成28年度から三菱電機株式会社との共同研究で運転するLIDAR装置を東京国際空港に設置し、着陸機(滑走路34L)が生成する後方乱気流の観測データを収集、蓄積している。本年度はこの観測を継続するとともに、TBS運用の導入検討のために必要となる安全な最低離隔間隔に関する後方乱気流の減衰特性の調査を実施した。具体的には、過去に同装置と隣接して同時観測した宇宙航空研究開発機構(JAXA)のLIDAR装置による

観測結果と相互比較検証を行い、当所の後方乱気流解析手法の妥当性ととも、JAXA 結果との互換性を確認した。また、TBS 運用の導入検討に必要な安全性評価の課題について、RECAT-1における安全性評価手順を参照して調査した。TBS 運用の導入にあたって、空港毎に異なる制約条件となると考えられる滑走路占有時間や、空港周辺空域での航空機の間隔については、様々な気象条件下において離着陸間隔に影響する主要な要因の特定と、定量評価を行うための交通流解析に着手した。なお、将来的に向い風の強さといった離着陸路上の気象情報を SSR モード S のダウンリンク信号に含まれる航空機の動態情報 (DAPs) から抽出して利用するため、第1段階としては高高度での比較検証となるが大型大気観測レーダーによる上空の風向風速観測と比較して精度評価を行った。

次年度に実施予定の TBS 運用の導入によって得られる便益の評価については、2つの視点からシミュレーションを実施するための作業に着手した。まず、1つ目のシミュレーションは空港面交通管理に着目した空港面交通管理シミュレータ (GRACE) を用いた解析であり、滑走路配置、空港内交通流、周辺空域と離着陸間隔の関係性をどのようにシナリオに盛り込むかといった基礎検討等を行った。また、2つ目のシミュレーションとして、到着機に係る空港処理容量のターミナル空域との接続に着目し、到着交通流を考慮した導入評価シミュレータを用いた解析を実施する計画である。これについては、本年度、東京国際空港における到着交通流のシミュレータを開発し、まずは RECAT-1導入効果について到着機の平均飛行時間・距離の短縮、遅延時間の早期解消を定量的に示すことができた。

4. まとめ

本研究は、研究期間の前半及び後半に分けて主に2つの課題に取り組むこととしているが、初年度である令和元年度は、TBS 運用の導入に係る技術要件を明確にするため、安全な最低離隔間隔に関する後方乱気流の減衰特性の調査を行うとともに、空港や空域条件によって異なる滑走路占有時間や、空港周辺空域での航空機の間隔調査を開始した。また、令和2年度に実施する予定である TBS 運用の導入によって得られる便益を評価するためのシミュレーション解析のため、空港面交通管理シミュレータを活用した解析手法の基礎検討を行うとともに、ターミナル空域との接続に着目した東京国際空港における到着交通流のシミュレータを開発した。これらをもとに、令和2年度は TBS 運用における安全性評価と検証、導入効果シミュレーションを行う予定である。

最後に、共同研究を実施した JAXA の関係各位、三菱電機株式会社の関係各位、LIDAR 設置場所や航跡データなどのご提供等をしていただきました国土交通省航空局交通管制部の関係各位に感謝の意を表します。

掲載文献

- (1)吉原ほか、“航空管制における新たな後方乱気流区分の導入に係る動向,” 日本信頼性学会誌, 2019 年 5 月.
- (2)吉原ほか、“後方乱気流管制間隔の詳細化と安全性及び導入効果の評価”, 電子研究発表会, 2019 年 6 月.
- (3)吉原ほか、“航空機トランスポンダの受信信号から得られる高頻度水平風の特性評価と気象観測データとしての活用,” 第 13 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 2019 年 9 月.
- (4)吉原, 虎谷, 山田, “電子航法研究所において実施した RECAT 導入効果の評価について”, 第 2 回 RECAT 導入検討 WG, 2019 年 9 月.
- (5)虎谷ほか, “ポイントマージシステムシミュレータを用いた東京国際空港への RECAT 導入効果に関する一考察,” 飛行機シンポジウム, 2019 年 10 月.
- (6)藤井ほか, “航空機の進入時の後方乱気流に対する LIDAR 観測データの解析について,” 電子情報通信学会 SANE 研究会, 2020 年 1 月.

GNSS 代替(APNT)のための地上系航法システムのインテグリティ保証【指定研究】

担 当 部 航法システム領域

担 当 者 ○毛塚敦, 斉藤真二, 吉原貴之, 田嶋裕久, 藤井直樹

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

GNSS は航空航法において広く用いられているが、干渉等により利用できなくなった事例が多数報告されている。このような場合においても、航空の安全と効率化を維持するためにバックアップが必要であり、APNT (Alternate Positioning, Navigation and Timing) と呼ばれ、ICAO 航法システムパネル (NSP) で検討されている課題の一つとなっている。近年、航空航法における APNT の構築は、欧州・米国とも短期的な処置と長期的な処置に分かれた。短期的 APNT では、現在運用されている DME/DME 測位を用いて GNSS 障害時の RNAV をサポートし、長期的 APNT では enhanced DME など新たな非衛星系航法装置を開発し、RNP0.3 以下の高規格な航法までをサポートすることが考えられている。

欧州では、短期的 APNT として、これまで GNSS 機上装置のみでしか飛行できなかった RNP1 および RNP2 経路を DME/DME 測位により飛行可能とすることが考えられており、EUROCAE において 2017 年から標準化活動が開始された (WG-107: RNP Reversion based on DME/DME)。欧州では大規模空港の出発・到着経路への RNP1 の導入が計画されているが、日本国内においても RNP 経路の拡大が検討されており、我が国においても DME/DME 測位による RNP 運航が導入されれば、GNSS 障害時のバックアップを強化することが可能となる。

長期的 APNT 構築については、欧州・米国とも精度改善に関する研究開発が実施されている状況である。

2. 研究の概要

RNP 経路の飛行には、航法装置を使用すべきでない場合にパイロットへその旨を通知する能力 (インテグリティ) が要求される。このため、RNP1,2 を飛行可能な GNSS 機上装置は異常時に警報を発出する機上性能監視警報 (OPMA: Onboard Performance Monitor and Alert) 機能を有する。しかし、現行の機上 DME はその機能を有していない。ただし、そもそも機上性能監視機能が必要なのは、GNSS 衛星が故障により異常電波を発出した際、送信を自動的に遮断する機能がないためである。一方で、DME を考えた場合、地上 DME 局が異常電波を発出した際に検出

し、送信を遮断する機能があれば機上性能監視機能は不要であると理解することができる。すなわち地上性能監視警報 (GPMA: Ground Performance Monitor and Alert) が機上性能監視を補間できるものと考えられる。そこで、EUROCAE WG-107 では、DME の地上局における故障検出と送信断の能力、すなわちインテグリティを保証し、DME/DME 測位を RNP 経路へ適用することが検討されている。

DME の誤差要因の最も大きなものとしてマルチパス誤差があり、インテグリティ保証における検討課題の一つとして扱われている。我が国においても、現在運用中の DME 地上局は、日本特有の山岳地形に設置されているものが多いため、マルチパス誤差が発生しやすい環境であり、国内導入を考えた場合に重要な検討課題であると考えられる。

また、各国で一般に運用している DME 地上局にはトランスポンダ装置の故障を検出するモニタが 2 つ用意されており、欧州では OR ロジック (片側検出のみで送信断) でのインテグリティ保証が考えられている。一方、日本では AND ロジック (両側検出で送信断) のみが採用されており、OR ロジックに比べてインテグリティ保証の点において不利である。一方で、サービス品質にかかわるコンテニューイティやアベイラビリティは AND ロジックの方が高いため、国内導入の際に不都合が生じないように AND ロジックでのインテグリティ保証の可能性について検討する。

中～長期的な APNT については、欧州と連携して DME の高精度化・高性能化方法等を検討する。

本研究 3 年計画であり、本年は初年度である。

3. 研究成果

WG-107 でのインテグリティ計算方法が定まりつつあるため、OR ロジックで提示された計算結果に対し、我が国が採用している AND ロジックを適用した場合の解析を行った。モニタロジックによるインテグリティの差を高精度に比較するためには、本来トランスポンダに実装されるコンポーネントをすべて考慮した解析が必要である。今回はまず 3 コンポーネント (トランスポンダ、モニタ×2) での定性的な比較を行った。運用経過時間に対する故障率の計算結果を図 1 に示す。地上装置に割り当てられるイン

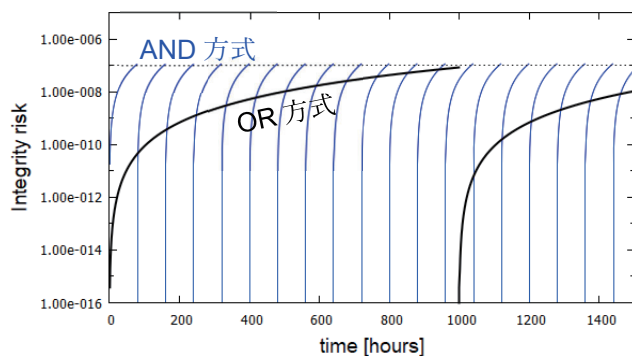


図1 モニタロジックによるインテグリティの差
(3コンポーネント)

テグリティは 10^{-7} [h] が考えられているため、この値を超えないように ETE (End-To-End) テストを実施し、装置が正常であることを確認する。この動作によりインテグリティ計算における運用経過時間をリセットすることができる。図1より、OR ロジックに比べて AND ロジックではより早い ETE テストが必要であり、1 桁以上の時間差があることが分かった。今後は、モニタチェック、制御ユニットおよび遮断経路までを含めた解析により定量的に比較するとともにインテグリティの改善方法について検討する。また、WG-107 で議論されているインテグリティ計算方法について国内メーカーからの意見を取り纏め、EUROCAE WG-107 で提示した。

マルチパス誤差の課題については、2018 年度まで行った先行研究と同様に、航空局が実施している飛行検査データを引き続き活用した。これまで検証してきたラジアル検査データに加え、RNAV の到着および出発経路で発生するマルチパス誤差を解析した。この結果、主に旋回時に誤差が発生していることが分かった。出発・到着経路へ DME を適用する際には考慮すべき課題であると考えられ、誤差の発生メカニズムについて解析中である。

DME で発生する伝搬部分の誤差には、マルチパス以外にも対流圏遅延誤差が含まれる。そこで、この誤差がワースト値としてどの程度考慮すべきであるかを明らかにするため、世界37都市における高層大気情報(気温・気圧・

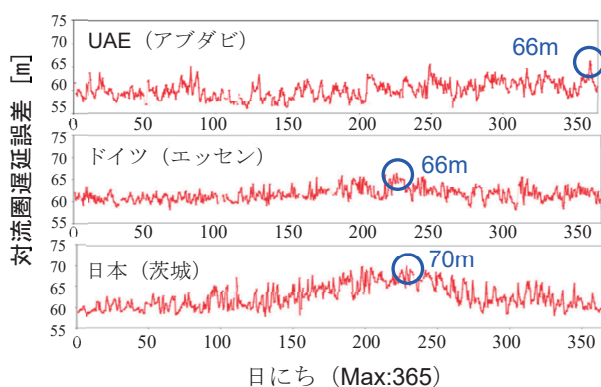


図2 各地の対流圏遅延誤差

湿度) を考慮したレイトレース解析を行った。結果の一例を図2に示す。これより、各地域でさほど差がないものの、アジア地域ではワースト値が大きいことが分かり、高湿であるためであると考えられる。その他の誤差ワースト値と合わせてインテグリティ保証において配慮すべきであり、本成果を WG-107 で提示した。

中～長期的 APNT として、マルチ DME の国内での実現性を飛行検査データにより検証した。その結果、DME が周辺に多く存在する空港では到着・出発経路において3箇所以上の利用可能な DME が存在することを確認した。マルチ DME のアルゴリズムについて今後検討する。さらに、誤差の再現性等を含めた詳細な検討を行うため、DME パルスアナライザを電子航法研究所の実験用航空機「よつば」に搭載するための準備として実験局免許申請等を行った。

研究に付随し、WG-107 では DME 地上装置パルス立ち上がり時間の変更について検討しているため、国内メーカーからの意見を集約して EUROCAE WG-107 で提示した。

4. まとめ

欧州で提案された短期的 APNT の国内における利用可能性を明らかにするにあたり、初年度はインテグリティ保証におけるモニタロジックとマルチパスの課題を抽出した。次年度は、これらの課題について対策方法を検討するとともに、中～長期的 APNT で考えられているマルチ DME のアルゴリズムの開発を進める。さらには、実験用航空機での飛行実験に向けた DME パルスアナライザの実験局免許取得と搭載改修を実施する計画である。

掲載文献

- [1] 毛塚敦, “DME SIS Accuracy in Japan,” EUROCAE WG-107 PPT-8 Brussel, 2019 年 10 月
- [2] 毛塚敦, 上林篤史, 吉原貴之, 藤井直樹, “Worst Case Analysis of DME Tropospheric Propagation Delay,” EUROCAE WG-107 PPT-12, Brussel, 2019 年 10 月
- [3] 毛塚敦, 横田豊八, “短期的 APNT 構築のための DME のインテグリティ保証その2～ EUROCAE 提案手法の確認と国内課題～,” CARATS GNSS アドホック会合 2019 年 12 月
- [4] 毛塚敦, 上林篤史, 吉原貴之, 藤井直樹, “DME の対流圏遅延誤差のワーストケース解析,” 信学技報 Vol.119 No. 407, pp.59-62, 2020 年 1 月
- [5] 毛塚敦, 上林篤史, “DME SIS Error on RNAV Route,” EUROCAE WG-107 PPT-8, Webex, 2020 年 3 月
- [6] 毛塚敦, 横田豊八, “Difference of Integrity risk between OR and AND Logic in system using dual monitor,” EUROCAE WG-107 PPT-13, Webex, 2020 年 3 月

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～令和元年度

1. はじめに

本研究は、京大生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画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(以下当初とする)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、2018 年 3 月に設置した、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継続的に実施するとともに、赤道大気レーダーによるプラズマバブルの同時観測データを用い、プラズマバブルの 3 次元構造と、電離圏シンチレーションとの比較解析を行った。図 1 は、赤道大気レーダーのマルチビーム観測によるプラズマバブルの空間構造と、赤道大気レーダーサイトに設置した受信機と衛星のパス (高度 250～450 km)、および対応するシンチレーション指数の大きさを、プラズマバブルが地球磁力線に沿って発達することを利用して磁力線に沿って一定高度に投影したものである。これにより、プラズマバブルのどの部分でシンチレーション指数が増大するかを 3 次元的に調べることが可能となった。なお、この解析では、共同研究相手先であるタイ・モンクット王工科大学ラカバンの研修生を活用した。

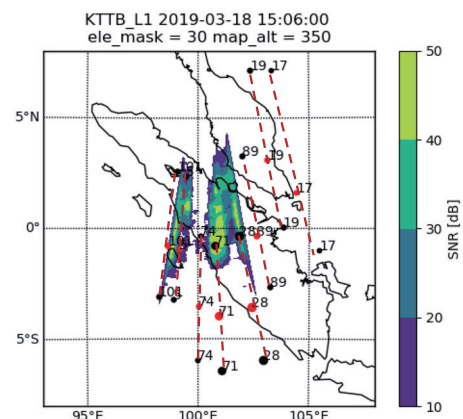


図 1. レーダーエコーと衛星-受信機パス、シンチレーション指数 (磁力線に沿って高度 350km に投影)

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による観測については、米国によりビーコン衛星(COSMIC-2)が2019年6月25日に無事打ち上げられ、観測が開始された。

4. 考察等

本年度は、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3次元構造とMC/MF衛星航法への影響評価を進めた。ビーコン衛星は無事打ち上げが行われ、電離圏東西構造の観測が開始された。

これらを受けて、令和2年度から 京都大学・山本教授(本研究代表者)を代表とした、科学研究費補助金基盤研究(A)「レーダー観測網・複数衛星・モデル計算を総合した赤道域電離圏変動特性の国際共同研究」(科研費基盤 A)が発足し、当所も研究分担者として参画する。この新規研究では、(1) VHF レーダー、衛星による直接観測を用いた電離圏観測、(2) GNSS、衛星ビーコン、光学観測を用いた電離圏観測、(3) 数値モデルとの比較によるプラズマバブル発生機構の解明、および(4)衛星航法に対するプラズマバブルの影響低減への応用などの応用研究を予定しており、当所では(2)、(4)を担当する予定である。

従って、当所においても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、ビーコン衛星、赤道大気レーダーとの同時観測を行い、プラズマバブルの発生メカニズムにおける電離圏東西構造の役割の解明、またプラズマバブルが MC/MF GNSS に与える影響の評価を引き続き実施する予定である。

掲載文献

[1] 齋藤、山本、齊藤、Chen、Real-time 3-D ionospheric tomography over Japan with GNSS observations、URSI-Japan Radio Science Meeting 2019、東京、2019年9月

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～令和元年度

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・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播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播シミュレータを開発する。観測に基づき、電波伝播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。

3. 研究成果

本年度は、電波伝播シミュレータ開発と、宇宙天気ハザードマップの策定中心として研究を進めるとともに、電離圏観測技術の航空航法への応用について検討を進めた [1,2]。

図1は、VHF レーダーによりプラズマバブルを検出し、地上型衛星航法補強装置(GBAS)において影響を受けるおそれのある衛星を排除した場合に期待できる垂直誤差低減効果をシミュレーションにより求めたものである。効果は空港の場所によって異なるが、VHF レーダーと同じ経度帯において顕著であり、南北にわたり広い範囲で効果が期待できることがわかる。

電波伝播シミュレータの開発においては、情報通信研究機構(NICT)、千葉大学と協力し、レイトレーシングを用いたリアルタイム3次元短波電波伝播解析システムを開発した。NICT、千葉大学で開発された短波伝播解析システムと、当所が運用する電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーシステムを結合し、Web サービスとして構築した。このサービスは NICT 内部ネットワークにおいて試験中であり、近日公開される予定である。

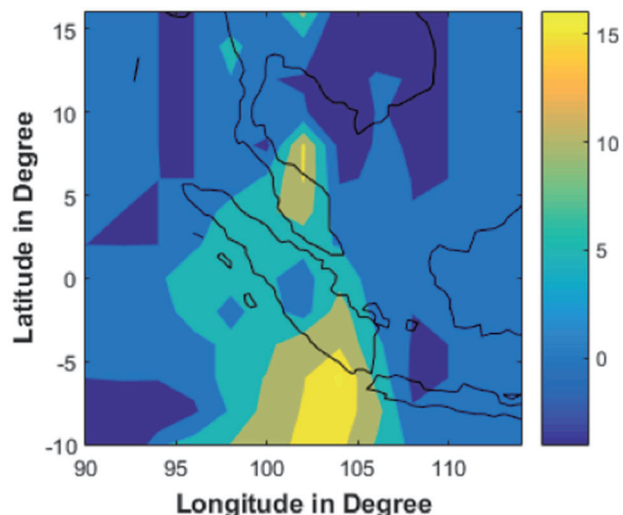


図1. VHF レーダー(0.2°S, 100.3°E)によるGBAS垂直誤差低減のシミュレーション結果 [2]。

宇宙天気情報と社会ニーズとの関係においては、宇宙天気現象が社会システムに与える影響を取りまとめた宇宙天気ハザードマップを、NICT 他と協力して構築した。社会システムとしては、送電網、衛星運用、通信・放送、測位、航空運用、有人宇宙活動、地上生活を対象とし、当所では測位、航空運用の分野について担当した。

この中で、測位、航空運用に関し、非常に大きい電離圏遅延量の発生頻度分布、短波伝播に影響を与える太陽 X 線フレアの発生頻度分布、太陽光エネルギー粒子による極域航路における被曝量低減のための運行経路変更に伴う経済的影響の検討を行った。

図2は、NICT が運用する、太陽光エネルギー粒子による被曝線量率予測システム(<https://wasavies.nict.go.jp>)の出力と、これを用いた通常飛行経路上における線量率の予測値である。これらの情報を元に、航空交通管理領域の知見を活用し、飛行高度および飛行緯度に制限を加えた場合に増加する飛行時間と燃料消費量を推定することができる。具体的な成果については、宇宙天気ハザードマップに取り入れるとともに、国際査読論文誌に投稿準備中である。

4. 考察等

本年度は、研究の最終年度として、3次元レイトレーシング法による電離圏電波伝搬シミュレータのリアルタイムサービス化、宇宙天気ハザードマップの策定など、研究の取りまとめとなる成果を出すことができたと言える。

社会ニーズに対応した宇宙天気情報の提供については、今後も、測位・航空分野における社会ニーズを取り上げ、ICAO 宇宙天気情報サービスの活用、ユーザー視点からの改良などに取り組んでいく予定である。

線量率予測システム(WASAVIES)による推定値

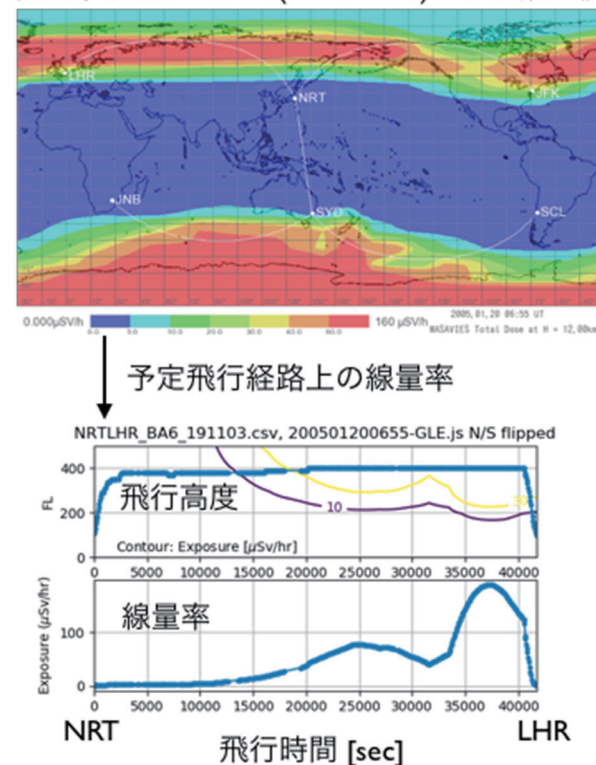


図2. 線量率予測システム(WASAVIES)による被曝線量率推定値と、予定飛行経路上で予測される線量率。

掲載文献

- [1] J. Sakai, K. Hosokawa, I. Tomizawa, S. Saito, A statistical study of anomalous VHF propagation due to the sporadic-E layer in the air-navigation band, Radio Sci., 54, 426–439. <https://doi.org/10.1029/2018RS006781>, 2018. (査読付論文誌)
- [2] S. Supriadi, S. Saito, Simulation study of mitigation of plasma bubble effects on GBAS using a VHF radar, NAVIGATION, 2019;66:845–855, DOI: 10.1002/navi.330, 2019. (査読付論文誌)
- [3] S. Saito, Ionospheric effects on GNSS for aviation, International Symposium on Space Sciences, Bandung, Indonesia, 2019年9月(招待講演)
- [4] IP15, Anomalous propagation of VOR/ILS LOC signals by the sporadic E layer, ICAO NSP JWGs/5, Montreal, Canada, 2019年10月

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～令和 3 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や、そ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、校正し、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。

3. 研究成果

本年度は、平成 29～30 年度に設置した 4 ヶ所（石垣、大宜味、タイ・Chumphon、台湾・台南）の観測を継続するとともに、電気通信大学によりフィリピン Iroiro 島に新たな小型イメージャシステムが設置され、プラズマバブルの成長・伝播過程観測網が完成した（図 1）。

また、取得されたデータのウェブ公開システムが電気通信大学において構築され、リアルタイムデータがウェブ上で確認できるようになっている（図 2）。

本年度は太陽活動が非常に低く、プラズマバブルの観測例は少なかった。しかしながら 2020 年 2 月 20 日には石垣においてプラズマバブルが観測されており、台南、大宜味と合わせて、太陽活動極小期のプラズマバブル成長過程の解析を行っているところである。



図 1. 小型イメージャ観測網

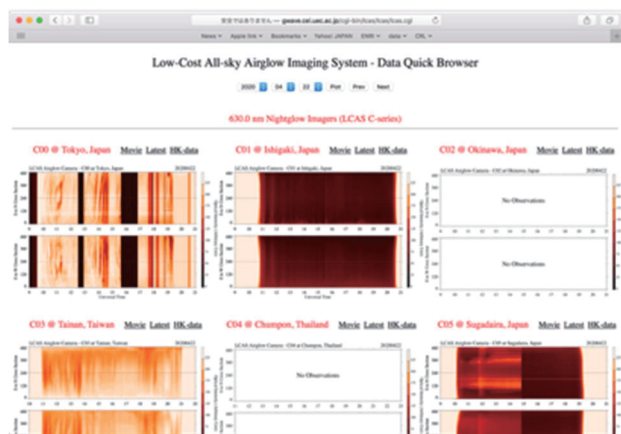


図 2. 小型イメージャデータのリアルタイムデータ公開システム(<http://gwave.cei.uec.ac.jp/cgi-bin/lcas/lcas/lcas.cgi>)。

4. 考察等

令和 2 年度には、これまでに設置した小型イメージャの連続観測を継続するとともに、2020 年 2 月 20 日に観測されたプラズマバブルについて、台湾、石垣、大宜味の 3 点で観測された画像の合成解析を進める。さらに、石垣では、当所が同時に行っている電離シンチレーション観測との比較解析を進め、複数衛星系・複数周波数 GNSS の観点から、GNSS への影響解析を行う予定である。

掲載文献

- [1] K. Hosokawa, N. Kusuyama, Y. Hozumi, K. Takami, S. Saito, Y. Ogawa, M. Ishii, Y. Otsuka, T. Tsugawa, Observations of ionospheric and mesospheric wave structures by a low-cost airglow imaging system、日本地球惑星科学連合大会、千葉、2019 年 5 月
- [2] K. Hosokawa, K. Takami, S. Saito, Y. Ogawa, Y. Otsuka,

K. Shiokawa, C.-H. Chen, J.-H. Lin, Observations of equatorial plasma bubbles using a low-cost 630.0-nm all-sky imager in Ishigaki Island, Japan、Submitted to Earth, Planets and Space.

担当領域 航法システム領域

担 当 者 ○齋藤 享、吉原 貴之、福島 荘之介

研究期間 令和元年度

1. はじめに

本研究は、総務省による「GBAS の海外展開を通じた周波数の国際協調利用促進にかかる調査研究」に関し、航空保安無線システム協会からの受託研究として行う。

総務省と航空局は、ベトナムから実証実験の受け入れ表明を受けて、実証実験をベトナムにおいて実施することとし、2018 年度には、実証実験に先立ってベトナムにおける電離圏環境の調査、GBAS に関連する制度の調査が行われた。2019 年度は、2018 年度に構築した電離圏観測装置を用いたデータ収集と解析を、ベトナム科学技術アカデミー地球物理研究所(IGP-VAST)と協力して行った。

2. 研究の概要

本研究では、電離圏静穏時勾配特性パラメータ及び電離圏擾乱時脅威モデルパラメータの決定、及びベトナム側の技術者への GBAS 用電離圏解析技術の提供を行う。



図 1, GNSS 受信機の配置

3. 研究成果

2018 年度に構築した、IGP-VAST が保有する観測点、ハノイ理工大学(HUST)が運用し IGP-VAST がデータ提供を受ける観測点、当所保有の GNSS 受信機 2 台を設置した 2 点の計 4 台による GNSS 電離圏観測網(図 1)を用いた。

本研究では、2019 年 2 月 12 日から 2020 年 2 月 16 日の間に収集されたデータを、電子航法研究所が開発した電離圏勾配精密解析ソフトウェア群を用いて解析した。この期間のうち、12 日において明瞭な電離圏擾乱が見られ、そのうち 3 日についてプラズマバブルの特徴をもつ電離圏擾乱が検出された。3 例のうち 2 例については、

観測データの異常により有効な電離圏勾配推定値が得られなかったが、2020 年 2 月 3 日については有効な電離圏勾配推定値を得た。

このとき、PRN07 及び PRN30 衛星がプラズマバブルの影響を受けており、最大勾配はそれぞれ 54 及び 41 mm/km であった。最大勾配の方向(北から時計回り)はそれぞれ 36°、-130°であった。いずれの衛星、受信機においても 0.5~1.0 m 程度の減少が共通して見られ、変動の総量は最大 1 m 程度であったといえる。電離圏遅延量変動の特徴点を用いた解析により、電離圏勾配の移動速度は、PRN07, 30 衛星について、それぞれ 67.7°の方角に 55.6 m/sec、84.4°の方角に 57.2 m/sec と導出された。電離圏勾配の幅を推定したところ、PRN07, 30 衛星についてそれぞれ 56.8 km、23.1 km の値を得た。これらの値は ICAO アジア太平洋地域共通 GBAS 電離圏脅威モデルの範囲内であった。

電離圏静穏時の電離圏勾配特性パラメータ(σ_{vig})については、2020 年 2 月 12 日~2020 年 2 月 16 日のそれぞれ 00-09 GPST (07-16 LT) のデータを解析した。目視により明らかに電離圏異常ではなく受信環境等に起因すると考えられる異常データを含む日を排除した、94 日のデータを用い、 σ_{vig} として 3.23 mm/km 得た。

また、2020 年 2 月 18 日~19 日の間、IGP-VAST において Le Huy Minh 博士、Nguyen Chien Thang 博士に対して GBAS 用電離圏解析技術の提供を行った。

4. 考察等

今回の解析で、1 年間の連続データを用いた解析を行うことができた。しかし、2019 年度途中にベトナム側が GBAS 受け入れを延期することしたため、2020 年度からは受け入れ国をタイに変更して GBAS 実証実験を行う方向となった。ベトナムにおける電離圏環境調査については、将来の GBAS 導入に備えて IGP-VAST との協力関係を維持し、引き続きデータ収集・解析を行っていく予定である。

掲載文献

[1] S. Saito, Ionospheric data analysis in Bangkok, バンコク

GBAS キックオフ会議、Bangkok, 2020 年 1 月

[2] S. Saito, S. Fukushima, T. Yoahihara, Considerations on the GBAS reference stations at Suvarnabhumi Airport based on the 1st site survey, バンコク GBAS キックオフ会議、Bangkok, 2020 年 1 月

担当領域 航法システム領域
担 当 者 ○北村 光教, 坂井 丈泰
研究期間 令和元年度

1. はじめに

現在、我が国の衛星測位システムである準天頂衛星システム（QZSS）の開発・整備・運用事業において、2018年11月1日より衛星4機体制による準天頂衛星システム「みちびき」のサービスが行われているが、当該サービスは、将来の7機体制構築を含む準天頂衛星システム事業全体の成否を左右する重要なものである。そのため、サービスの品質を維持・改善するためにサービス実施主体から独立した品質評価を行い、品質改善を実施していく必要がある。

2. 研究の概要

内閣府による令和元年度「衛星測位及び測位補強サービスの性能評価支援」は上記評価のための業務であり、その一部として電子航法研究所では一般財団法人日本宇宙フォーラムから本研究を受託した。

本受託研究では、QZSSの衛星測位サービスにおける電離層補正モデルの精度と、測位補強サービスにおけるサブメータ級測位補強サービス（SLAS）及びセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）の性能を評価する。評価期間は2019年10月1日から2020年3月13日である。

3. 研究成果

3.1. 電離層補正モデルの精度評価

電離層補正モデルとは、衛星測位システム（GNSS）を用いた単独測位において、信号が電離層を通過する際に発生する遅延量をモデル化し、測位誤差を低減するために用いられる。米国のGNSSであるGPSは全世界的に最適化したモデルを生成・放送しているのに対し、QZSSは日本周辺に最適化しているため、日本周辺において比較的高性能であることが期待されている。本研究では、複数の電子基準点で観測した擬似距離観測値をもとに推定した実際の電離層遅延量をリファレンスとして、GPS及びQZSS

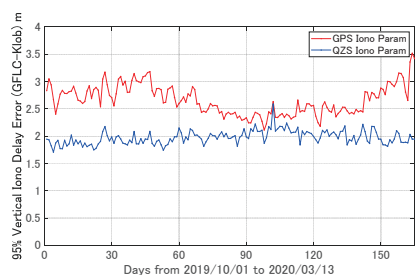


図1 電離層補正モデルの
垂直遅延誤差(95%)の推移

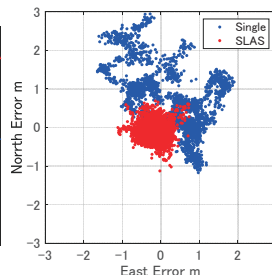


図2 SLASと単独測位の
水平測位誤差

がそれぞれ放送する電離層補正モデルの補正性能を比較評価した。評価の結果、図1に示す通り、日本周辺領域において、QZSSの電離層補正モデルの性能は半期を通してGPSのものより良い性能を持っていることが示された。

3.2. サブメータ級測位補強サービス（SLAS）性能評価

SLASは13局の地上監視局を有し、その周辺におけるGNSS測位の測位精度を向上させる補強情報を放送する狭域Differential GPS（DGPS）サービスである。本研究における評価では、日本全域の代表地点として13局の電子基準点を選定し、測位精度評価を行った。その結果、測位誤差の95%値として水平：0.8m、垂直：1.2mという結果が得られ、SLASの有効性が示された。図2はSLASを用いた測位と単独測位の水平測位誤差比較の様子である。

3.3. センチメータ級測位補強サービス（CLAS）性能評価

CLASはPPP-RTKと呼ばれる高精度測位補強情報を放送するサービスである。日本全域に対して13局を選定し評価を実施したところ、静止体測位モードにおける95%誤差は水平：4.0cm、垂直：3.9cm、移動体測位モードにおける95%誤差は水平：6.4cm、垂直：11.5cmという結果が得られた。CLASの有効性が示された。図3はCLASを用いた静止体及び移動体測位モードにおける水平測位誤差の様子である。

4. おわりに

本研究では、準天頂衛星システムの衛星測位サービスにおける電離層遅延モデルの評価と衛星補強サービスにおけるSLAS及びCLASの評価を実施し、いずれも有用なサービスであることを示した。電離層環境等、衛星測位サービスを取り巻く環境は刻一刻と変化し得るので、今後も継続的な評価の実施が必要である。

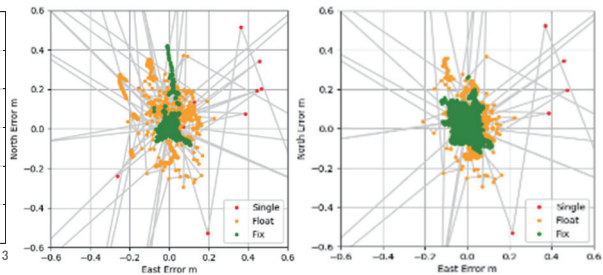


図3 CLASの水平測位誤差
静止体測位モード 移動体測位モード

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

令和元年度の研究は、社会・行政ニーズや技術分野の将来動向を考慮し、重点研究、指定研究、基盤的研究等として承認された下記の項目を計画した。

1. 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
2. 空地通信技術の高度化に関する研究
3. 滑走路異物監視システムの高度化に関する研究
4. 従属監視補完技術に関する研究
5. 空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究
6. 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
7. ADS-B を用いた監視能力向上の研究
8. 航空分野に適用可能な電磁界シミュレーション手法に関する研究
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. 監視信号環境と性能要件に関する研究
13. 3 次元形状測定のための高精度距離測定技術に関する基礎的研究
14. 地上監視装置を用いたトランスポンダ装置の性能推定手法の研究
15. 電磁界計算アルゴリズムの開発と NAV 関連実験データとの比較
16. アシユアランス航空交通情報共有基盤の構築に関する研究
17. 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
18. 航空需要に対応する海上設置型ローカライザーの設置条件に関する研究
19. 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
20. 交通阻害要因の予測に向けた異種情報のナレッジグラフ化と転移学習手法に関する研究
21. 解釈可能な AI システムの実現に向けたナレッジグラフに基づく推論・推定技術の体系化
22. 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

23. 広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼自律 UAV 向け映像伝送システムの研究開発

24. 90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダシステムの研究開発

25. セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発

26. 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発

1～3 は重点研究、4～8 は指定研究、9～14 は基盤的研究、15～16 は在外派遣研究、17～26 は競争的資金による研究である。

1 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。

2 は、空港用航空移動通信システム（AeroMACS; Aeronautical Mobile Airport Communications System）の既存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を構築するとともに、AeroMACS の適用範囲拡大の可能性を評価し、利用技術を開発する研究である。

3 は、滑走路の異物を監視・探知するシステムの実用化と高度化および導入に際して、空港環境や悪天候時に対応し、低い電波反射量の対象物の探知技術を中心とした探知率向上および確実性に対する課題を踏まえた技術開発を行う研究である。

4 は、将来 ADS-B/WAM（Wide Area Multilateration）による航空機監視を運用する際、ADS-B（航空機従属監視）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。

5 は、航空用及び航空用途以外の信号を活用して、空港面及び空港近傍における移動体を検出する独立非協調監視システムの開発を行い、高い検出率を達成するマルチスタティックレーダに求められる性能要件を明らかにする研究である。

6 は、4 GHz 帯を用いた航空機内データ通信（WAIC; Wireless Avionics Intra- Communications）機器と電波高度計および隣接帯域の機器との相互運用性を確保するための共用条件を検討する研究である。

7 は、ADS-B データの信頼性情報を用いた監視性能評価及び安全性評価を実施する研究である。

8 は、航空分野に適用可能な各種電磁界問題について、適切な電磁界解析のプログラミングを行い、視覚的に理

解しやすいシミュレーションソフトの解析エンジンを開発する研究である。

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、監視システムで使用する信号環境について継続的に測定・蓄積し、将来の運航方式に必要な監視システムの性能要件を明らかにする研究である。

13 は、冬季に積雪の多い空港の安全性、運用効率の向上のために、将来的な 3 次元積雪モニタリングシステムを検討する研究である。

14 は、運航中の航空機に対する ATC トランスポンダの応答遅延特性や ADS-B レイテンシの計測手法を開発し、実際に計測した統計データから監視性能の定量的な指標を提示する研究である。

15 は、航空分野に適用可能な電磁界計算プログラムを組み合わせたハイブリッド計算手法のアルゴリズムを構築し、計算と実験の妥当性検証や海外連携の構築、今後の共同研究等を進める研究である。

16 は、FF-ICE（Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment）運用コンセプトの導入に必要な技術的性能要件や開発課題を明らかにし、空地システムにセキュアで高信頼の情報交換を保証できるアシュアランス技術を検討し、FF-ICE 検証実験システムの開発を進める研究である。

17 は、航空分野での利用、もしくは利用を期待される無線システムの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。

18 は、計器着陸装置（ILS）のローカライザ（LOC）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。

19 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。

20 は、オントロジーに基づき蓄積したナレッジグラフを入力として、転移学習により、交通問題の予測に必要な異種データの統合手法、および統合データに基づく予

測手法を開発する研究である。

21 は、解釈可能・説明可能な AI システム向け評価セットとして、現実世界の様々な関係性を含んだ広範な知識とデータをナレッジグラフ群として構築・公開し、様々な推論・推定技術のアプローチを探索する研究である。

22 は、海洋分野にドローンを活用した効果的な点検を実施するための課題抽出と、インフラ維持点検に役立てるガイドライン策定を行うための研究である。

23 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立する研究である。

24 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 帯のレーダーシステムの共用を実現する研究である。電子航法研究所（以下、当所とする）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立するための研究を分担している。

25 は、公共スペースのセキュリティ対策強化のため、人が隠し持つ危険物の遠方からの可視化や不審物認識システムの基盤となるセンシング・イメージング技術を複数の W 帯周波数を用いて開発する研究である。当所は、センシング・イメージング技術のうち 2 周波対応アクティブ型イメージャの研究開発を分担している。

26 は、多数の機体が高密度に飛行する際、無人航空機と有人航空機の空域共有に必要な安全確保を図るための情報共有システムについて開発する研究である。当所は、マルチラテレーション技術を応用した有人航空機の位置探知システムの研究開発を分担している。

II 試験研究の実施状況

「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、空地 4 次元軌道同期方法によるオンライン評価技術を提案し、開発した空地統合 SWIM 実験システムを用いて世界初の FF-ICE に基づく飛行実証実験を行った。また、ASEAN SWIM 実証実験に参加し、異なる運用方式間での連携を実証した。

「空地通信技術の高度化に関する研究」では、2 つの離れた基地局による覆域補完と、基地局と調布本所の SWIM サーバー接続下で、航空機局と飛行通信実験を行い、覆域限界を見極める適用範囲拡大と SWIM 接続による利用技術の評価した。機内の有線接続端末との双方向通信で SWIM や空港の気象情報等を表示し、QoS（Quality of Service）機能による特定通信の優先権を実証した。

「滑走路異物監視システムの高度化に関する研究」で

は、FOD 探知システム高度化に向けた要素技術開発と空港環境評価、試験システムの設置検討等を行い、空港環境下での異物回収ユーザインターフェースの有効性を実験確認した。

「従属監視補完技術に関する研究」では、偽位置信号と在空機の ADS-B 信号の到達時間差による不正信号の除去を実証した。また、ADS-B 信号とジャミング（通信妨害）信号を合成し、将来の受信局配置やアンテナパターンの組み合わせを想定した信号検出率評価を行った。さらに、GPS が利用できない場合に、ルビジウム発信器を用いて時刻同期誤差を 1/100 以下まで抑制した。

「空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究」では、空港近傍で使用可能な光ファイバ接続型パッシブ一次レーダの優位性をまとめ、ICAO 関連会議に提案した。また、SDR を用いたリアルタイム処理が可能なパッシブ監視システムを開発した。

「航空機内データ通信（WAIC）における電磁環境評価に関する研究」では、大学との共同研究の知見を活かし、WAIC 機器認証に必要な機体を含む球面の詳細電磁界分布取得に世界で初めて成功した。また、実験用航空機を用いた航空機干渉経路損失試験や放射電磁界測定を実施するとともに、WAIC 周波数帯の通信特性測定評価システムを COTS 製品により構築した。

「ADS-B を用いた監視能力向上の研究」では、当所で収集中の ADS-B データに含まれる信頼性情報を用いた監視性能評価手法向けプログラムを開発した。また、ADS-B 方式高度基準面判別プログラムを開発し、実際のデータを用いた解析に着手した。

「航空分野に適用可能な電磁界シミュレーション手法に関する研究」では、電磁界シミュレーション用のプログラミング及び ILS 解析エンジンを開発し、空港内での ILS 信号の測定試験を実施した。

「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、航空機測位システムを用いた検出・測位性能の評価実験を昨年度と異なる場所で比較検証し、送受信機配置による検討を行った。

「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、機体位置推定手法について、電波無響室で実験検討し、最も広く普及しているドローンのテレメトリ信号でも位置推定が行える可能性を明らかにした。

「ヘリコプタ全周監視支援技術に関する研究」では全周監視を可能とするレーダ回路の詳細設計を実施し、電磁界数値解析ソフトウェアを用いた専用アンテナの設計試作を行った。また、前方監視用のレーダの探知試験に

向けた事前試験を行い、必要な性能を確認した。

「監視信号環境と性能要件に関する研究」では、飛行実験による信号環境測定を行い、質問/応答信号量や質問信号数、信号占有率等の統計的な解析評価に着手した。電波伝搬モデル等の検討として、重要な技術性能要件の一つである測位誤差の分布検証に着手した。

「3 次元形状測定のための高精度距離測定技術に関する基礎的研究」では、広帯域変復調信号のデバイスを開発するとともに、不可視の赤外線レーザーを用いて、水や氷等の物体により異なることを実証した。

14「地上監視装置を用いたトランスポンダ装置の性能推定手法の研究」では、光ファイバ接続型受動監視システム（OCTPASS）装置を活用し、運航中の航空機における ATC トランスポンダの応答遅延特性の抽出ソフトウェア開発と、推定誤差の妥当性を検証した。

15「電磁界計算アルゴリズムの開発と NAV 関連実験データとの比較」では、在外派遣研究として、ハイブリッド簡易計算手法の開発と改良を行い、所内 ILS 解析エンジンの開発に応用する成果を得るとともに、ドローンを用いた無線施設の検査方式に関する研究を実施した。

16「アシュアランス航空交通情報共有基盤の構築に関する研究」では、在外派遣研究として、FF-ICE と TBO を実現するにあたっての課題に対する基本的な考え方と方向性を検討し、FAA との協力体制を調整した。また、FF-ICE における離陸後の運航管理実現のための連携検証実験システムの構成案や仕様を開発した。

「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・トレーシング法の ILS への応用として LOC とグライドスロープ（GS）に応用し、三次元（3D）形状の障害物等への適用を進めた。

「航空需要に対応する海上設置型ローカライザーの設置条件に関する研究」では、海上からの不要散乱波を遮蔽するフェンスの最適な設置方法をシミュレーションとスケールモデル実験により明らかにした。

「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 信号を活用した手法の有効性評価や、覆域設計に利用可能な受信電力の統計モデルの改良と検証を行い、既存モデル評価と伝搬メカニズム分析を実施した。

「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、航空法に係る法的根拠や制度、規則等の調査及び整理を分担し、総合的な海洋インフラ維持管理の高度化に寄与した。

「広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼自律 UAV 向け映像伝送システムの研究開発」では、映像伝送システムの地上装置を開発し、予備実験により安定したデータ送受信を確認した。

「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 4 つのアンテナ局で同時に複数個所で受信した信号を元にレーダー画像を生成するシステムを構築し、位置推定の実証を行った。

25「セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発」では、W 帯広帯域受信機を用い 2 周波対応アクティブ型イメージャの原理検証を行い、3 次元的な W 帯のイメージ画像を取得した。

26「遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発」では、モード S トランスポンダ搭載機の位置を感知する実験システムを構築し、データ収集と基本評価を実施した。

本年度は、以上の 26 件の研究・調査に加えて、以下に示す 14 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. 空港面監視用マルチラテレーションの追尾処理性能評価支援業務
2. 全機地上 IPL 試験（その 1）委託作業
3. アンテナ計測実験
4. AW169 搭載機器の経路損失試験
5. SWIM, FIXM, AIXM, IWXXM に関する国際技術動向に係る委託
6. ミリ波アンテナの測定支援（電波無響室）
7. MVR 受託研究
8. 航空機搭載気象レーダーの干渉測定
9. SWIM, FIXM, AIXM, IWXXM に関する技術動向に係る委託
10. 高高度無人機による制御用通信中継技術に関するアドバイザ
11. 目標計測作業支援
12. LX バンドパラボラアンテナパターン測定
13. IPL 測定立ち会いおよび機器サポート
14. アンテナ特性測定支援

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

当領域が行う研究は、航空交通の安全性や航空利用者の利便性向上等に関連して航空行政を支援するための基盤技術が多く、ICAO, EUROCAE, RTCA をはじめとする技術・運用基準や国際標準策定等に携わる活動が多く、

航空局への技術アドバイザなどとして参加している。

通信、情報系では「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」において、ICAO APAC SWIM Task Force を主導しアジアの標準化作業に参加し、研究成果の中から CARATS の SWIM 初期サービスのうち、飛行計画のデジタル化及び格納情報の拡張の導入が、意思決定された。「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を通じ、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）、ICAO RPASP（遠隔操縦航空機システムパネル）の WG（作業部会）に積極的に参加している。また、「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」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。一方、監視系では「従属監視補完技術に関する研究」や「空港面及び空港近傍の独立非協調監視システムに関する研究」、「監視システムの信号環境と将来予測に関する研究」における実験結果を取りまとめ、ICAO SP（監視パネル）に参加し、傘下の各種 WG 等において ICAO 技術マニュアルへの反映や改訂作業を行っている。

「ADS-B を用いた監視能力向上の研究」では、ICAO の RMACG（地域監視機関調整グループ会議）の高度監視に関する監視システム標準サブグループ（Monitoring Systems Standards Subgroup）に参加し、高度監視システム間の差異の分析作業を行い始めた。「滑走路異物監視システムの高度化に関する研究」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。「3 次元形状測定のための高精度距離測定技術に関する基礎的研究」では、EUROCAE WG-109 に出席し滑走路気象情報システムの MASPS 作業班に参加している。

このように、各研究課題の研究成果は、今後の新たな航空保安システムの技術基準や国際標準等の技術資料として、システムの性能向上や方針策定に貢献している。また当所の研究発表会、電子情報通信学会や日本航空宇宙学会、日本航海学会等の国内各種学会、IEEE 等の国際学会や研究集会等においても、積極的な公表を継続している。日本航空宇宙学会では機器・電子情報システム部門をはじめとする複数の部門との連携の中で、積極的に研究発表の企画や航空技術に関する研究の啓蒙活動も実施した。令和元年度は、電子情報通信学会ソサイエティ論文賞、優秀論文発表賞を受賞している。

（監視通信領域長 住谷 泰人）

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 曉東, 古賀 禎, 森岡 和行, 江上 周作, 北折 潤, 住谷 泰人, 小菅 義夫 (客員研究員)

研究期間 平成 28 年度～令和 2 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は、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. 研究の概要

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、提案技術の評価する。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ヶ年計画の4年目であり、主に以下の研究開発や国際活動を行った。

- ・ 空地4次元軌道同期によるオンライン評価技術の提案
- ・ 開発した空地統合SWIM実験システムを用いた飛行実証実験の実施
- ・ APAC SWIM Task ForceにおけるASEAN SWIM 実証実験の実施

3. 研究成果

3.1 オンライン評価技術の提案

現在、ICAOでは、SWIMを利用して、様々な情報の共有により運航効率を向上するFF-ICE運用方式 (Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment) の導入を推進している。4次元軌道情報 (4DT : 4 Dimension Trajectory) を中心としたFF-ICEの運航管理を実現するため、運航前の協調的な軌道調整だけではなく、離陸後の高

精度な軌道管理も求められている。SWIMに基づいたFF-ICE運用方式を評価するためには、従来の安全性、効率性、定時性や予測精度の向上などの事後評価に加え、離陸後の段階における高精度な飛行軌道の維持について、リアルタイムに飛行軌道进行评估することも必要となる (図1)。

本年度は、空地統合SWIMに基づく離陸後の運用に対して、新たなFF-ICE運航管理を実現できるSWIMサービスと既存の航空管制・交通流管理システムや機上飛行管理システムなどとの連携手法を検討し、空地4次元軌道同期方法を提案した。また、開発した機上SWIM用情報端末を用いて、動的な変化に対応できる継続的なモニタリングサービスを開発し、飛行軌道の精度を定量的に計算できるオンライン評価技術も提案した。令和2年度においては、米国航空局 (FAA) との連携検証実験により、提案技術を用いて具体的な評価を実施する予定である。

3.2 テストベッドの構築と飛行実証実験

SWIMに基づく運用の実現技術进行评估するため、離陸前の地対地情報共有を含め、離陸後の空対地情報交換にも対応できる空地統合SWIM実験システムをこれまでに提案した技術を組み込んで開発し、仙台空港においてAeroMACSを用いた世界初のFF-ICEに基づいた飛行実証実験を実施した。図2に飛行実証実験システムの概要を示す。実験では、機上SWIM用情報端末を用いて、飛行中の実験用航空機と地上SWIM実験システム間で様々な情報交換を行い、監視、通信、情報システムの連携による総合評価用テストベッドの機能を検証した。これにより、異種サービス間での連携、及びリアルタイムでの情報共有が実現できることを確認した。

3.3 国際活動について

航空交通の増加が見込まれるASEAN地域におけるSWIMの有効性と運用効果を示すため、2019年11月にASEAN SWIM 実証実験が行われた。電子航法研究所はタイとシンガポール航空局からの支援要請を受け、CARATS体制の下で日本側の実験システムを開発し、中国香港と米国航空局と連携して、バンコクとシンガポールそれぞれで

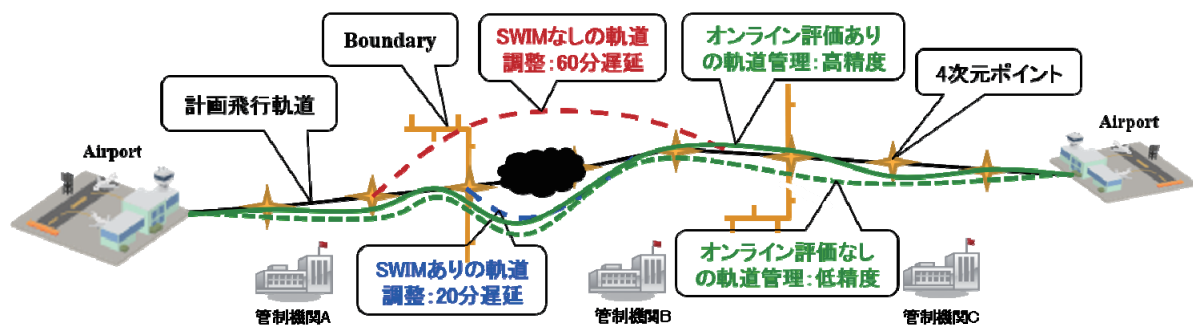


図1 SWIMによる離陸後の飛行軌道調整・管理のイメージ

AeroMACS実験システム@仙台空港



機上SWIM用情報端末



- FF-ICE Flight PlanとTrack Messageのリアルタイム受信により空地Trajectory同期を実現
- AIXM NOTAM Messageの受信によりTaxiwayの閉鎖部分を地図上に表示
- リアルタイムの気象情報により機上で生成されたDeparture ReportとArrival Reportを地上に送信
- FIXM Messageに変換された離陸と着陸Clearance情報を機上で受信
- 監視システムとの連携により正確な離陸・着陸時間と位置情報を共有

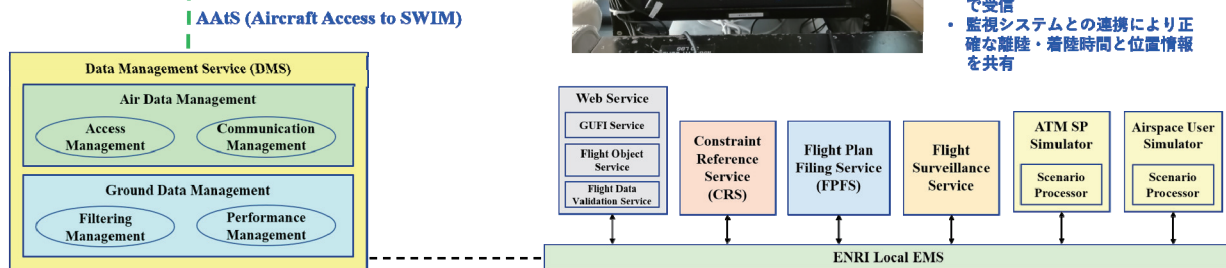


図2 監視、通信、情報システムの連携をめざした飛行実証実験システムの概要

二つのシナリオを実演した。これにより、地域SWIM導入の技術基準の策定に貢献した。

また、前年度に引き続き、ICAO APAC SWIM Task Forceのタスクリーダーとして、担当しているタスクの遂行状況を定期的に行われるタスクリーダー間の連携推進会議で報告している。さらに、新旧システム共存段階とFull SWIM段階に対して地上と空地システムの間にセキュアで高信頼の情報交換を保証できるアシュアランス技術については、関連する在外研究において米国の研究者と検討した結果を本研究に反映させた。この結果、今後、本研究で行う予定のFF-ICEの実現に向けて米国大学との技術連携や米国航空局との検証実験などを継続的に行う基盤となった。

これらの国際活動により、総合評価用テストベッドを通して、運航前の協調的な軌道調整（FF-ICE/R1）を実現するメッセージングインフラの構築技術、標準情報交換モデルでのメッセージ解析方法やサービス間の連携モデルを検証し、航空局が主導する産学官の長期ビジョン

（CARATS）におけるFF-ICE初期導入の意思決定に貢献した。

4. まとめ

本研究では、運航に係る多種多量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、開発した機上SWIM用情報端末を用いて、空地4次元軌道同期によるオンライン評価技術を提案した。そして、開発した空地統合SWIM実験システムを用いて世界初のFF-ICEに基づいた飛行実証実験、また、ASEAN SWIM実証実験において、中国香港と米国と協力して、異なる運用方式間での連携が可能である実証実験を実施した。次年度は、国際連携実験により、総合評価用テストベッドの機能を改善しながら、本研究課題に関する総合評価を行う予定である。

掲載文献

- [1] X.D Lu, K. Morioka, T. Koga and Y. Sumiya, “Collaborative Flight and Flow Information Exchange to Achieve Seamless Air Traffic Management Operation,” IEEE ISADS2019, April 2019.
- [2] X.D. Lu, “Asia/Pacific Regional SWIM Implementation Options,” ICAO APAC SWIM TF/3, Bangkok, Thailand, May 2019.
- [3] X.D. Lu, “Report of Status and Activities for Task 2-1-3,” ICAO APAC SWIM TF/3, Bangkok, Thailand, May 2019.
- [4] 呂 曉東, 森岡 和行, 住谷 泰人, 長縄 潤一, 米本 成人, “空地統合SWIMに関する研究開発,” 電子航法研究所研究発表会, June 2019.
- [5] 江上 周作, 呂 曉東, 古賀 禎, 住谷 泰人, “オントロジー技術を用いた航空交通情報共有の高度化,” 人工知能学会 第48回セマンティックウェブとオントロジー(SWO)研究会, August 2019.
- [6] 江上 周作, 呂 曉東, 古賀 禎, 住谷 泰人, “航空交通情報共有の高度化に向けたオントロジーの構築と応用,” JAWS2019, September 2019.
- [7] S. Egami, X.D Lu, T. Koga and Y. Sumiya, “Enriching Geospatial Representation for Ontology-based Aviation Information Exchange,” IEEE GCCE2019, Osaka, Japan, October 2019.
- [8] X.D. Lu, K. Morioka, S. Egami, T. Koga, Y. Sumiya, J. Naganawa, and N. Yonemoto, “Air/Ground SWIM Integration to Achieve Information Collaborative Environment,” EIWAC2019, Tokyo, Japan, October 2019.
- [9] 小菅 義夫, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 呂 曉東, 秋田 学, 稲葉 敬之, “マルチパス環境下の距離とドップラーを観測値とするTaylor級数推定法による位置及び速度推定,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J102-B, No.11, pp.936-947, November 2019.
- [10] 小菅 義夫, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 呂 曉東, 稲葉 敬之, “Taylor級数推定法によるTOA測位における初期値,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J102-B, No.11, pp.926-935, November 2019.
- [11] X.D Lu, “Development Overview and Discussion for FF-ICE/Execution,” FF-ICE/X Tabletop Meeting, FTB, USA, January 2020.
- [12] S. Egami, X.D Lu, T. Koga and Y. Sumiya, “Ontology-Based Data Integration for Semantic Interoperability in Air Traffic Management,” IEEE ICSC2020, San Diego, USA, February 2020.

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 ○河村 暁子, 森岡 和行, 呂 暁東, 長縄 潤一, 米本 成人, 住谷 泰人

研究期間 平成28年度～令和元年度

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

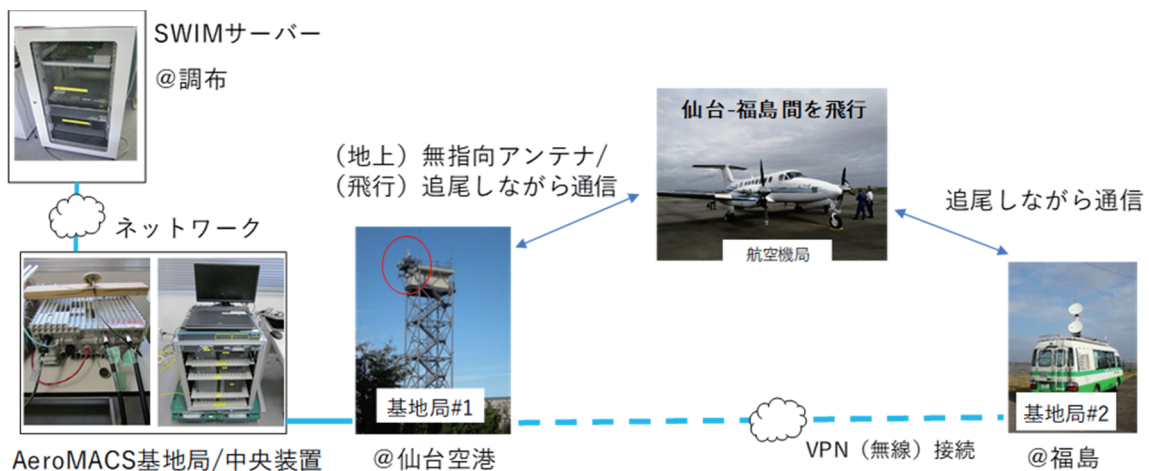


図1 AeroMACS-SWIM接続飛行実験の概要

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ヵ年計画の最終年であり、以下の内容を中心に実施した。

- AeroMACS利用技術及び空地通信技術適用範囲拡大の最終性能評価
- 空地通信技術の適用範囲拡大評価
- AeroMACS等航空通信システムの規格策定活動

3. 研究成果

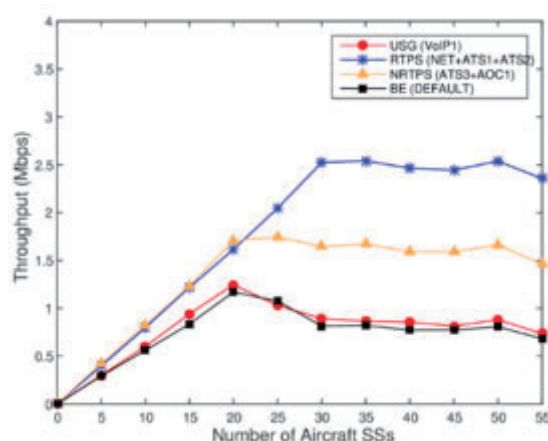
3.1 AeroMACS利用技術および適用範囲拡大の最終性能評価

今年度は、AeroMACS技術の利用を目指してこれまで個別に開発してきた技術を統合し、実験用航空機の飛行を伴う実用に近い形での実験評価を実施した。図1に仙台空港で実施した実験の概要を示す。本実験では、AeroMACSの地上基地局2局と航空機局の間の通信を通して、覆域の限界を見極める適用範囲の拡大とSWIM接続による利用技術の評価を行った。

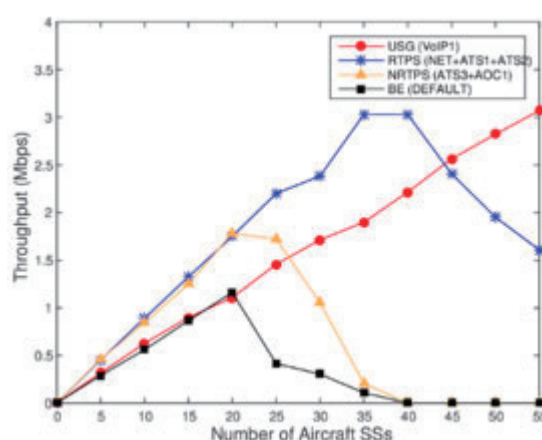
AeroMACS技術は通信を行うための土台であり、本研究ではその利用技術として航空情報共有基盤であるSWIMとの接続を検討してきた。そのため、東京のSWIMサーバーと飛行中の航空機局の間の通信を適切に行うことを目標とし評価を実施した。本実験では、当初AeroMACS標準において想定した空港面の移動だけでなく飛行中の航空機上におけるAeroMACS技術の利用を見据え、基地局-航空機局間の通信適用範囲拡大に関しても検討を行った。つまり、空港内設置の無指向アンテナのほかに、電波法上限られた出力のなかで最大限の覆域拡大を試み、高利得な指向性アンテナを基地局に設置し、利得の代償として狭まった指向性を補うためADS-B情報をもとに航空機局を追尾するシステムの併用も試みた。空港敷地内高さ30mに設置した無指向アンテナでは、空港面においてTaxing中は常に接続可能であること、また飛行中は海側から空港滑走路へ進入する際に空港の2.3km手前から接続可能となることがわかった。指向性アンテナを用いた実験では、仙台と福島各基地局から16kmの地点まで通信できることを明らかにした。さらに、図1が示すように、覆域補完のための基地局（図中基地局#2）は、主となる基地局（#1）とVPNにより無線接続され、地上ネットワークが存在しない場所にも簡易に基地局が設置できることを確認した。飛行中は常にSWIMサーバーとの接続を試み、機内のパイロットが利用するEFB（Electronic Flight Bag）を模擬した有線接続のタブレット端末上にSWIM情報が表示され、空港の気象や設備等の情報を双方向にやり取りできることも実証した。

本年度末には、実験用航空機内にEFB（タブレット端末）を無線利用するための機内WiFiを設置する修理改造を実施した。しかし、COVID-19感染拡大予防対応のため、予定していたSWIM情報を機内で無線接続した模擬EFB端末に表示する確認実験は実施できなかった。

また、AeroMACSを航空通信に用いた場合、技術的にQoS（Quality of Service：優先制御）機能を実装できる。例えば、サービスクラスをVoIP（音声管制通信）、ATS（データ管制通信）、AOC（運航用通信）、DEFAULT（その他）と設定すると、パイロット-管制機関間の通信であるVoIP、ATSは特に優先度が高く、地上作業員が用いるDEFAULTは比較的優先度は高くない。このような、AeroMACSにおける航空サービス間の優先度の傾斜配分法を提案し、効果をネットワークシミュレーションによって評価した。図2(a)に示すQoS非実装状態では同じ通信を共有する機数が増えるとすべてのサービスの通信速度が低下するのに対し、図2(b)ではQoSの実装により機数が増



(a) QoS機能が無効の場合の通信速度



(b) QoS機能が有効の場合の通信速度

図2 AeroMACS上にQoS機能を実装した際のサービスごとの通信速度比較結果

えてもVoIPとATSの通信速度は他のサービスに比べ低下しないことが確認できた。よって航空安全上の重要な通信に関して優先権を与えることで、信頼性の高い通信を行えることが明らかになった。

3.2 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）、RPASP（遠隔操縦航空機システムパネル）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

令和元年度は本研究の最終年度として、AeroMACS技術

の利用を目指し、SWIM研究との接続をより実用に近い形で、これまで要素別に開発した技術を統合し実験用航空機を用いた飛行実験を伴う通信評価を実現した。この評価試験では、従来空港面での利用を想定していたAeroMACSが、空港滑走路への進入飛行中でも利用可能であること、基地局に追尾アンテナを用いればさらに遠方を飛行中でも利用可能であることを、SWIMの接続とともに明らかにした。

さらに、AeroMACS等次世代航空通信システムではQoSを実装することが可能になるため、その効果をシミュレーションによって検証した。

掲載文献

- [1] J.Naganawa, et.al, “An Experimental Evaluation on Handover Performance of AeroMACS Prototype,” 2016 Integrated Communications, Navigations and Surveillance (ICNS) Conference, Verginia, USA, Apr. 2016.
- [2] Y.Sumiya, “Status of ENRI’s Communication R&D Program for RTCA SC223,” RTCA SC223, Washington DC, USA, Apr. 2016.
- [3] K.Morioka, et.al, “AeroMACS Prototype Base Station Coverage and Handover Performance,” ICAO Communication Panel WG-Surface”, Montreal, Canada, May. 2016.
- [4] 森岡 和行他, “AeroMACSの基地局配置及びハンドオーバーに関する検討,” 電子航法研究所研究発表会講演概要, Jun. 2016.
- [5] 住谷 泰人他, “AeroMACS利用技術における揭示情報共有の実験検討,” 電子情報通信学会2016年ソサイエティ大会, Sep. 2016.
- [6] 森岡 和行他, “実験用航空機を用いたアンテナ追尾システムの基本性能評価,” 電子情報通信学会2016年ソサイエティ大会, Sep. 2016.
- [7] 住谷 泰人, “空港面向け航空移動通信システム (AeroMACS) の国際標準規格動向,” 第54回飛行機シンポジウム, Oct. 2016.
- [8] 住谷 泰人, “AeroMACS詳解その1, その2, その5,” データリンク講習会「AeroMACS詳解」講演予稿, Nov. and Dec. 2016.
- [9] 森岡 和行他, “実験用有人航空機と追尾アンテナシステムを用いた無人航空機向けCバンド空地通信システムの基礎実験,” 電子情報通信学会技術報告, Jan. 2017.
- [10] 住谷 泰人, “AeroMACSの研究開発～航空用通信システムの最新動向,” (一財)航空保安無線システム協会技術交流会技術講演会予稿, Feb. 2017.
- [11] 住谷 泰人, “航空通信システムの標準化の現状と課題,” 電子情報通信学会2017年総合大会, Mar. 2017.
- [12] K.Morioka, et.al, “Onboard Antenna Placement Studies for CNPC links of UAS using AeroMACS,” Second International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Management, Bangkok, Thailand, Mar. 2017.
- [13] 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, Apr. 2017.
- [14] Y.Ouchi, et.al, “AeroMACS Field Trial at HANEDA Airport,” 2017 Integrated Communications, Navigations and Surveillance (ICNS) Conference, Virginia, USA, Apr. 2017.
- [15] S.Hanatani, et.al, “AeroMACS Field Trial at Haneda Airport for Next Generation Mobile IP-data Network,” ICAO CP WGI, Montreal, CANADA, May 2017.
- [16] 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, Jul. 2017.
- [17] Y.Ouchi, et.al “AeroMACS Field Trial at Haneda Airport,” データリンクフォーラム東京, Jul. 2017.
- [18] J.Naganawa, et.al, “Antenna Configuration Mitigating Ground Reflection Fading on Airport Surface for AeroMACS,” IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications, Tsukuba, JAPAN, Dec. 2017.
- [19] 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, Dec. 2017.
- [20] 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, Dec. 2017.
- [21] 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, Feb. 2018.
- [22] 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, Mar.2018.

[23] 森岡 和行他, “AeroMACSを用いたSWIMアクセスのための地上走行実験,” 電子情報通信学会技術報告, May 2018.

[24] N. Yonemoto, et al., “AeroMACS trial for air-to-ground communication and connectivity to SWIM,” ICAO CP WG-I, Montreal, CANADA, May 2018.

[25] 住谷 泰人, “AeroMACS詳解 その5 日本の研究開発,” データリンク講習会「AeroMACS詳解」講演予稿, Jul. 2018.

[26] Y.Sumiya, “Trends of Aeronautical Mobile Airport Communications System,” MWP Symposium, Aug. 2018.

[27] K.Morioka, et.al, “Field-Taxiing Experiments of Aircraft Access to SWIM over AeroMACS,” The International Conference on Antenna Measurement and Applications, Vasteras, SWEDEN, Sep. 2018.

[28] N. Yonemoto, “Consideration to allocate to the satellite service (Space to Earth) from 5030MHz to 5090 MHz,” ICAO FSMP FSMP-WG/7, Johannesburg, SOUTH AFRICA, Sep. 2018.

[29] K. Ishige, et.al, “AeroMACS Development and implementation Strategy in Japan,” ICAO CP DCIWG2, Oct. 2018.

[30] 住谷 泰人, “CARATS重点施策に係わる研究開発: 監視通信分野の研究開発,” 第56回飛行機シンポジウム, Nov. 2018.

[31] N. Yonemoto, et.al, “Experimental investigation for

radiation pattern of onboard radio altimeter,” ICAO FSMP WG/8, Montreal, CANADA, Jan. 2019.

[32] 森岡 和行他, “AeroMACSを用いたSWIMアクセスのためのQoS検証実験,” 電子情報通信学会技術報告, Jan. 2019.

[33] 長縄 潤一他, “空港面において大地反射フェージングを低減する基地局アンテナ構成の実験的検証,” 電子情報通信学会技術報告, Feb. 2019.

[34] K. Morioka et al., “QoS Validation tests for Aircraft Access to SWIM by Ground Taxiing Experiments,” The Third International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Management, Apr. 2019.

[35] 住谷 泰人, “安全にかかわる航空通信システムの動向,” 日本信頼学会学会誌「信頼性」, Vol.41 No.3 2019.5月号, May 2019.

[36] N. Yonemoto, “Consideration of AeroMACS interference from satellite C2 link,” ICAO RPASP WG2 Working Paper, Jun. 2019.

[37] K. Moarioka et al., “Demonstration results of Aircraft access to SWIM by experimental Aircraft,” International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019, Nov. 2019.

[38] K. Morioka, et.al, “Service assurance packet-scheduling algorithm for a future aeronautical mobile communication system,” Elsevier, Simulation Modelling Practice and Theory, Mar. 2020.

滑走路異物監視システム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 ○ニッ森 俊一，米本 成人，河村 暁子，森岡 和行

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

2000年に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、安全上の問題に加え、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、電子航法研究所では、主に金属物体を対象に滑走路異物検出システムの研究開発を実施しており、FOD探知システムの探知性能の基準となる滑走路上の1インチ程度の金属片を450 m程度離れたところで検出できる性能を達成したところである。

2. 研究の概要

本研究の目的は、FOD探知システムのR2年度以降の空港滑走路への導入に向けて、実運用に向けた未検知率の低減、探知困難形状FODへの対応、悪天候時の対策等のための研究開発を行うことである。このため、本研究は非金属材料等の低レーダ反射断面積（RCS）対象物および探知困難形状を有する対象物について、反射特性の評価およびこれまでに実証試験を実施しているリニアセル方式レーダシステムに実装する検出技術を提案・開発する。

また、FOD探知システムの運用基準策定に向けた空港環境における探知状況の評価および悪天候時の性能変化評価を実施し、環境が理想的でない条件においても探知能力を確保可能な技術の開発・システム実装を行う。

本研究はこれらに対応する新たな要素技術を開発する必要がある、下記3つの項目を達成目標としている。

- (1) FOD探知システムの導入に向けたFOD探知率向上および確実性に対する課題を踏まえた実用化・システム高度化を実現する。
- (2) 低RCS対象物探知技術、空港環境および悪天候時対応技術を実現し、システム実装を行う。
- (3) 空港環境および悪天候状況における性能評価を行い、運用要件策定に寄与する。

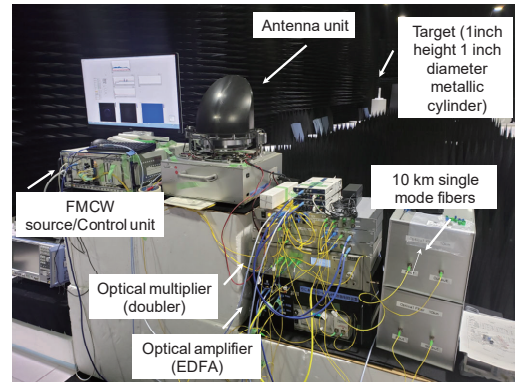


図 1. 電波暗室内における感度改善のための要素技術確認試験状況

3ヶ年計画の1年目である令和元年度においては、主として下記の4項目について検討を行った。

- ・低RCS対象物探知技術の提案、基本原理確認および実験系構築
- ・異物回収端末ユーザインターフェース（UI）の設計および構築
- ・空港環境および悪天候時の性能評価
- ・実空港への配置計画・システム設計

3. 研究成果

3.1 低RCS対象物探知技術の提案，基本原理確認および実験系構築

滑走路上的様々な異物の中には、電波反射率が低い材質で構成される異物、また、電磁波散乱特性について主たる反射方向が入射波と異なる異物等が存在し、現状のFOD探知システムの性能では探知不可能な場合がある。これらの探知が困難な異物を探知するための技術として、感度を20 dB以上改善するための信号処理技術（リニアセル方式レーダシステムに適用可能な位相・振幅積分法）を提案し、要素技術確認試験を実施した。図1および図2に、それぞれ電波暗室内における試験状況および感度改善状況（1次元スペクトラム）を示す。

3.2 異物回収端末ユーザインターフェース（UI）の設計および構築

FOD探知システムによる異物検出時に、空港運用者（異物回収者）が広大な滑走路において探知異物を効率よく回

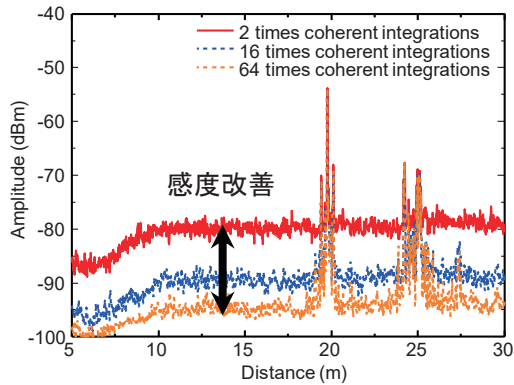


図 2. 電波暗室内における感度改善状況



図 3. 構築した異物回収端末 UI

収可能となる仕組みとして、異物回収端末UIを新たに設計・構築した(図3)。本異物回収端末UIは、FOD探知装置で検出した異物の位置・画像等の情報を、携帯型タブレット端末に無線通信回線で送信し、回収者からFODまでの距離・方角等を地図上に表示および音声通知し、迅速なFOD回収を行うためのツールである。

3.3 空港環境および悪天候時の性能評価

成田国際空港に設置している評価用FOD探知システムを用いた空港環境試験およびデータ収集を実施した。図4に試験用サンプルの概観を示す。距離別にFOD探知装置での探知可否を評価し、FOD探知装置の性能要件の検討のため、FODの反射電力および反射角度依存性等の定量的データの取得を実施した。また、空港運用者が、開発した異物回収端末を用いてFOD回収を実施するシナリオ評価を行い、開発した異物回収端末を用いることで従来よりも大幅な回収効率の改善に寄与することを確認した。

3.4 実空港への配置計画・システム設計

感度改善や異物回収端末UI等の機能追加を実施した最新の評価用FOD探知システムの設置空港を検討した。FOD探知システムは中央局+アンテナ局1局の基本システムで

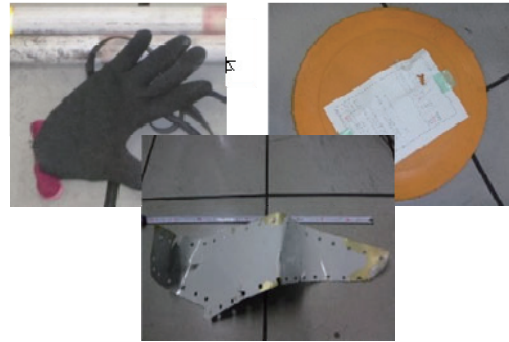


図 4. 試験用異物サンプルの概観

あり、空港環境において継続してデータを取得する予定である。このシステムは、FOD探知感度向上機能を実装し、異物回収端末UIにより、リアルタイムで覆域内のFOD探知情報表示および異物回収が可能なシステムである。

4. まとめ

令和元年度は、FOD探知システム高度化に向けた要素技術開発と空港環境評価、試験システム設置検討等を並行して実施した。新たに開発した異物回収UIは空港環境での異物回収に有効であることを実験確認した。

掲載文献

- [1] S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, and N. Yonemoto, "Long-Distance Coherent Signal Transmission and Reception Of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System For Runway Foreign Object Debris Detection," Proceedings of the 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2019), We-Po3-49, pp.1-2, Sep. 2019.
- [2] S. Futatsumori, N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, "Research and Development of Airport Surface Foreign Object Debris Detection System," Proceedings of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-E-2, pp.1, Oct. 2019.
- [3] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 加島 謙一, "滑走路異物探知システム," 2019 Microwave Workshop & Exhibition (2019), Nov. 2019.
- [4] ニッ森 俊一, "空港滑走路異物探知システムの研究開発," 日本機械学会 交通・物流部門ニュースレター, No. 59, Mar. 2020.

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 ○長縄 潤一、宮崎 裕己、大津山 卓哉、角張 泰之、本田 純一、田嶋 裕久、三木 幸寿

研究期間 平成 29 年度～令和 2 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、変革の方向性の1つとして地上・機上での状況認識能力の向上が掲げられている。これに向け、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GPS等の衛星航法システム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。しかしながら、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、意図的な偽位置情報攻撃（成りすまし）、機上装置不具合等による誤位置情報発生、妨害電波（ジャミング）といった脆弱性への対策が必要である。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用信号を利用した測位が可能な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、GPS障害発生時の時刻同期や受信局数削減を可能とする技術の開発が求められている。

2. 研究の概要

本研究は平成29年度から4ヶ年計画でADS-B脆弱性対策技術と補完用WAM技術を開発・評価する。

2.1 ADS-B脆弱性対策技術の開発・評価

我が国では、現在導入を進めているWAMシステムにADS-B機能も持たせ、機上側ADS-B搭載装置の装備状況を踏まえて、ADS-Bに移行する計画を取っている。この状況に基づいて費用対効果を踏まえた脆弱性対策を考えると、誤位置・偽位置（以下、不正位置）には信号到

達時間差（TDOA）によるADS-B位置検証、ジャミングには受信局冗長配置やセクタアンテナによる対策が最適な方式として考えられる。本研究では、このような脆弱性対策技術を開発・評価する。また、評価結果のICAO技術資料への反映を目指す。

2.2 補完用 WAM 技術の開発・評価

GPS 障害時に時刻同期を継続する技術として、本研究ではルビジウム（Rb）発振器を利用する方式を開発・評価する。また、ADS-B 補完センサとしての WAM においては受信局削減が好ましい。その方法の1つに信号到来角を利用するなどの測位手法の改良が挙げられる。信号到来角が測定できた場合、この情報は幾何学的に見ると直線に相当するため、信号到達時刻差による双曲線と同様（受信局1局分）の効果が得られる。

3. 研究成果

3 年目である令和元年度は ADS-B/WAM 実験装置の改修と機能試験・検証試験を実施した。

3.1 ADS-B 脆弱性対策技術

TDOA による ADS-B 位置検証の機能・検証試験では、成りすましを模擬した信号源を用意し、生成した不正信号と在空機の ADS-B 信号を同時に実験システムに入力した。ターゲット処理装置において提案手法を適用することで不正な信号を除去した。

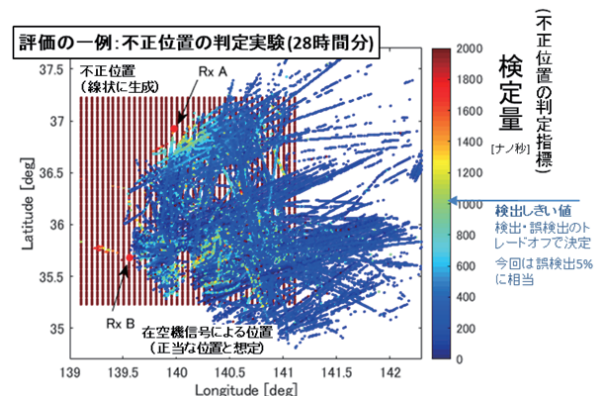


図1 TDOAによるADS-B位置検証の試験結果

機能試験の結果、リアルタイムに正常な航跡のみ表示できることを確認した。また、検証試験として 28 時間分のデータを用いた性能評価を行った。図 1 はその結果である。図中では不正信号による位置（主に茶色のプロット）に在空機信号（主に青色のプロット）が重畳しており、色は検定量（不正位置の判定指標）を示している。不正信号のみが高い検定量を持っており、しきい値処理により不正位置を検出することができた。今回の評価条件では検出率 99.8%、誤検出率 5%（事前設定値）を達成した。

ジャミング対策の検証試験として、本年度は図 2 に示す検証試験環境を構築し、ジャミングを受けた場合の信号検出率を実験的に測定した。ADS-B 信号とジャミング信号を合成し、条件を変えながら受信機に入力して実験することで、様々な ADS-B 信号電力とジャミング信号電力の条件下における信号検出率を信号受信結果として取得し、分析できる。この結果を受信局配置やセクタアンテナのパターンと組み合わせることで、今後のジャミング対策実施時の信号検出率を評価し、検討を進める計画である。

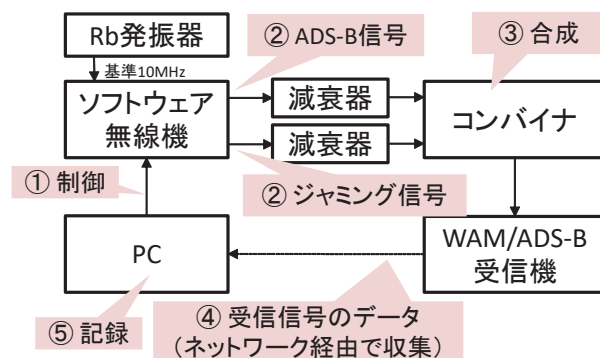


図2 ジャミング対策の試験環境

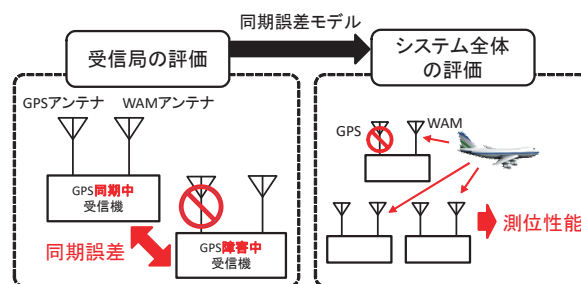


図3 Rb発振器によるGPS障害対策の試験手順

3.2 補完用 WAM 技術

Rb 発振器を用いた GPS 障害対策について、本年度は機能・検証試験の手順を検討した。これを図 3 に示す。具体的には、まず受信局を対象に GPS 障害中の時刻同期維持性能を実験的に評価し、同期誤差モデルを得る。それを基にシステム全体の測位機能・性能をシミュレーションやオフライン計算により評価する。図 4 には受信局評価の結果の一例を示す。模擬的な GPS 障害発生からの経過時間に対する同期誤差の増加を示している。右側の図（Rb 発振器がある場合）はスケールが 1/100 となっている。Rb 発振器を用いることで同期誤差を 1/100 以下まで抑制することができた。さらに、システム全体の測位機能・性能の評価にも着手した。

受信局数削減技術に関して、本年度は信号到来角をより高精度に測定するため、実験装置のセクタアンテナを改修した。また、信号到来角と TDOA を併用したアルゴリズムにより位置推定が可能であることをシミュレーションにより確認した。

4. おわりに

本年度は、機能・検証試験を通じて TDOA による ADS-B 位置検証の高い性能を示すことができた。今後は、様々な条件下での評価が必要と考えている。また、

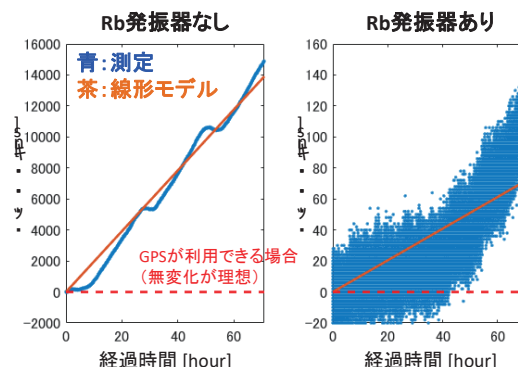


図4 同期維持性能評価の結果例

ジャミング対策については、必要な実験データが得られ、今後の定量的な性能評価に向けた目途をつけることができた。補完用 WAM 技術については、Rb 発振器を利用した受信局の評価を行い、システムの測位性能評価を行う手法を確立した。本手法により、実験とオフライン計算・シミュレーションを併用することで費用対効果の高い評価ができるため、今後は測位性能評価を進める計画である。受信局数削減技術については、セクタアンテナの改修および信号到来角を利用した測位方式のシミュレーションを実施した。今後は、改修したセクタアンテナの効果を踏まえて、評価を行う計画である。

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。

ベトナム国との MLAT 連携会議, Jul. 2019.

掲載文献

- [1] 宮崎 裕己, 小菅 義夫, 田中 俊幸, “目標距離観測値を使用した TDOA 測位精度の改善,” 電子情報通信学会論文誌 B, Mar. 2020.
- [2] J. Naganawa, H. Miyazaki, “Experimental Evaluation on TDOA-based Aircraft Position Verification,” in Proc. 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020), Copenhagen, Denmark, Mar. 2020.
- [3] J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima, “A Research Activity on ADS-B Vulnerability Countermeasures,” ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2019), Tokyo, Japan, Oct. 2019.
- [4] 長縄 潤一, K. Wangchuk, Sangay, 宮崎 裕己, “在空中機を利用した覆域シミュレータ検証法の基礎検討,” 信学技報, SANE2019-36, pp.7-12, Aug. 2019.
- [5] 長縄 潤一, 宮崎 裕己, “TDOA を用いた航空機位置検証法の実験的評価,” 信学技報, SANE2019-75, pp.29-34, Nov. 2019.
- [6] 宮崎 裕己, 小菅 義夫, 田中 俊幸, “目標距離観測値の使用による TDOA 測位誤差の改善,” 信学技報, SANE2019-88, pp.21-26, Jan. 2020.
- [7] H. Miyazaki, “Performance of Surveillance System Depending on the Signal Environment,” ICAO APANPIRG 4th Surveillance Implementation and Coordination Group, Apr. 2019.
- [8] H. Miyazaki, O. Shloosh, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO 監視パネル(SP)第 9 回 TSG 会議, Jun. 2019.
- [9] H. Miyazaki, O. Shloosh, “Update of Surveillance Manual in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 ASWG 会議, Sept. 2019.
- [10] H. Miyazaki, O. Shloosh, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 TSG 会議, Feb. 2020.
- [11] J. Naganawa, H. Miyazaki, T. Otsuyama, “Example of Position Error for WAM and ADS-B,” ICAO 監視パネル(SP)第 10 回 TSG 会議, Feb. 2020.
- [12] 長縄 潤一, 宮崎 裕己 (2019 年), “ADS-B 位置検証の技術,” 航空無線, 第 101 号, pp.18-21.
- [13] H. Miyazaki, “Update Status of SMGCS Standards,”

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

研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度

1. はじめに

空港面及び空港近傍の航空機監視に利用される二次監視レーダ (SSR) やマルチラテレーション (MLAT) 等は、高精度、高検出率かつ高更新率を備えた監視システムである。しかし、監視対象にトランスポンダを必要とし、トランスポンダが搭載されていない、もしくは正常に動作していない場合の監視はできない。そのため、トランスポンダに依存しない一次監視レーダ PSR(ASR, ASDE 等)は、監視対象空域における航空交通の安全性を担保する上で重要な役割を果たす。しかし、PSR 等は大型の回転型空中線及び高出力送信機を必要とするため、整備及び維持の面で課題を有する。このような観点から PSR の代替もしくは覆域拡張のため、新しい監視システムの導入が期待されているが、新たな周波数帯の割り当ては困難であるため、既存の周波数資源を有効活用した新しい監視システムが求められている。

本研究では、航空用信号だけでなく航空用途以外の信号も活用して、空港面及び空港近傍における移動体を検出する独立非協調監視システムの開発を行う。そして、既存の空港面および空港監視レーダに比べて高検出率、高更新率を達成するマルチスタティックレーダ (MSPSR) に求められる性能要件を明らかにする。

2. 研究の概要

本研究は 3 カ年計画であり、2 年目の令和元年度は次のことを行った。

- ① ICAO 等への技術資料提供、MSPSR 動向調査
- ② MSPSR に必要な要素技術の開発
- ③ リアルタイムパッシブ監視システムの製作と実験

3. 研究成果

令和元年度は 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、MSPSR 関連技術について ASWG (Aeronautical Surveillance Working Group) に報告した。また、本研究に先行する重点研究にて整備を行った MSPSR 実験システムによる航空機の測位実験を行うと

もに、マルチスタティック処理に向けた実験システムの拡張およびリアルタイム処理システムの開発に着手した。

3.1. MSPSR の要件・動向調査

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。そして、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。

3.2. MSPSR に必要な要素技術の開発

仙台空港内に構築した MSPSR 実験システムは、送受信機それぞれを光ファイバ無線技術(RoF: Radio over Fiber)にて接続する OFC-PPSR(Optical-Fiber Connected Primary Surveillance Radar :光ファイバ接続型パッシブ一次監視レーダ)となっている。電子航法研究所にて開発を行っている RoF を使った監視システムについて、既存システムに対する技術の優位性をまとめ、航空機監視マニュアル(Doc 9924)の改訂提案として同パネルの ASWG に報告した。今後マニュアルの記載内容についての調整が行われ、光接続型監視システムがマニュアルに追記されることとなっている。

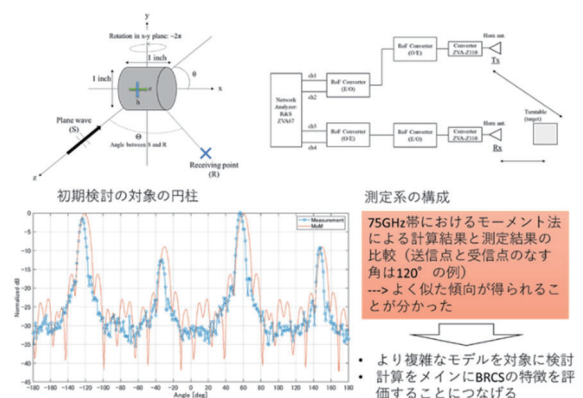


図 1 : バイスタティック RCS の測定とシミュレーションによる評価

また、パッシブレーダでは微弱な反射信号を使って目標を検出するため、受信位置やその配置が重要な問題となる。これらを検討するためにはバースタティック構成となるレーダ散乱断面積(RCS)から任意の地点での推定受信強度を求め、最適な配置を得る必要がある。しかしながら地デジ放送で使用される電波の波長と航空機のサイズの関係性を考えると、数値解析には計算リソースや計算精度等に多くの課題があることが知られている。これらの問題を解決するために理論的な解釈に必要なバースタティックRCS(BRCS)について大学との共同研究を実施し、縮小モデルによるBRCSの評価を開始した。今年度までに、基本となる円柱に対して75GHz帯でのBRCSの数値解析と実際のモデルによる測定を行い、両者の傾向はよく合うことが確認できた。(図1)

3.3. リアルタイムパッシブ監視システムの製作と実験

先行研究にて構築したMSPSR実験システムは、信号処理手法や機材構成の確認を主目的として開発したため、システムの自由度はあるが信号処理等に時間がかかり、運用システムとは大きく異なる。したがって、本研究では、運用を見据えたレーダシステムとして評価可能となるリアルタイム処理が可能なMSPSR実験システムの開発と性能評価を目標としている。システム構築には様々な手法が考えられるが、既存の実験システムで評価した信号処理手法を容易に導入するため、SDR(Software Defined Radio:ソフトウェア無線機)を使ってシステムの構築を行った。開発には実環境でのデータだけでなく、既存の実験システムで得られた信号データを再生してそのデータ処理を行い、同等の性能が得られるようにしてこれまでの検証結果が十分生かせるような工夫を行っている。(図2)

4. まとめ

今後、岩沼分室および福岡工業大学に設置したMSPSR実験システムを使用して、パッシブレーダで有効な要素技術の開発を継続して行う。また、開発した技術はリアルタイム処理システムに適用し、MSPSRシステムのプロトタイプへと発展させる。

本研究で開発・検証を行っているパッシブレーダは、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

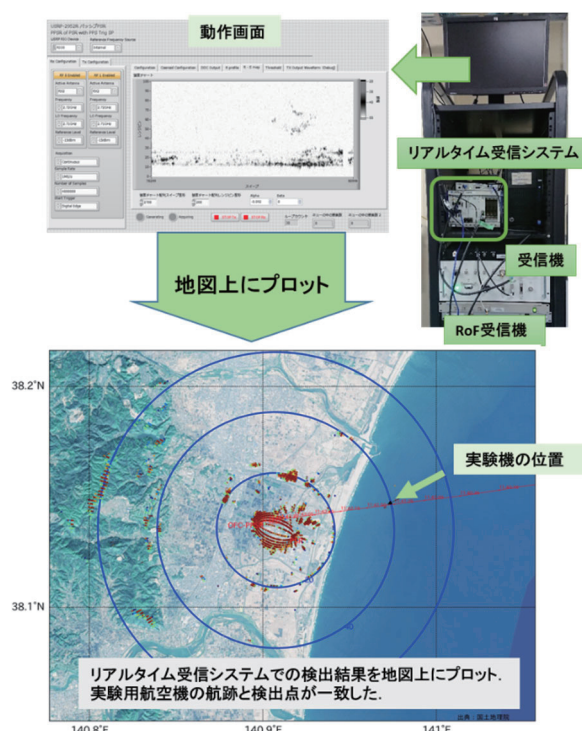


図2：リアルタイム処理が可能になった実験システムと実験用航空機による検証の初期解析結果

- [1] J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, "Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture," ICAO SP-ASWG/TSG/9, June 2019.
- [2] 渡邊優人, 本田純一, 大津山卓哉 (2019), "OFC-PPSRにおけるバースタティッククラッタに関する一検討," 電子情報通信学会和文誌, Vol. J102-B, No. 8, pp. 627-630, August 2019.
- [3] 渡邊優人, 本田純一, 大津山卓哉, "OFC-PPSRを用いた空港近傍監視に関する実験的検討〜一次監視レーダとのレンジプロファイル比較〜," 電子情報通信学会 SANE 研究会, August 2019.
- [4] 渡邊優人, 本田純一, 大津山卓哉, "空港近傍および空港面監視型 OFC-PPSR 実験システム," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, September 2019.
- [5] J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, "Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture," ICAO SP-ASWG/10, September 2019.
- [6] J. Honda, H. Miyazaki, Y. Kakubari, T. Koga and T. Otsuyama, "Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture," ICAO SP-ASWG/TSG/10, February 2020.
- [7] 大津山卓哉, 渡邊優人, 本田純一, "地デジ信号を使

ったパッシブレーダによる移動体検出,” 電子情報通信学会 総合大会, March 2020.

航空機内データ通信（WAIC）における電磁環境評価に関する研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○ニッ森俊一，米本成人，河村暁子，森岡和行

研究期間 平成30年度～令和3年度

1. はじめに

2015年に開催された世界無線通信会議（WRC-15）において、電波高度計に配分されている4 GHz帯（4,200 MHz-4,400 MHz）を航空機内データ通信（Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC）に配分することが決議された。これを受け、WAIC機器間およびWAIC機器と電波高度計間で混信を与えないよう、EUROCAE WG-96/RTCA SC-236では国際標準規格の策定が、また、ICAO周波数管理パネル（FSMP）においてはWAICの標準および勧告方式（SARPs）の作成が進められている。これらの活動には航空機製造メーカーおよびアビオニクスメーカー等も参加して、WAIC機器の通信方式やネットワーク方式に関する議論が行われている。

我が国ではWAIC機器と電波高度計との相互運用性の検討において、電波環境特性に関する有効な評価技術に基づく測定評価法および解析評価法の確立が求められている。一方、国際的には4,200 MHz-4,400 MHz 帯の隣接周波数を次世代携帯電話システム等に割り当てる検討が行われており、それらの周波数帯に携帯電話システムが導入された場合、隣接雑音および相互変調ひずみ等の発生により、より厳しい条件にてWAIC機器及び電波高度計の運用を強いられる可能性がある。

2. 研究の概要

研究の目的は、WAIC周波数帯における電波環境評価技術を実現することで、WAICに係る国際規格化およびSARPsの作成に寄与し、円滑なWAIC機器の導入と電波高度計および隣接帯域を用いる通信機器との相互運用性の確保を行うことである。

本年度は4カ年計画の2年目であり、次の3項目について並行して研究を進めた。

- (1) WAIC機器、電波高度計、隣接帯域を用いる通信機器との共用条件およびWAIC機器認証法を検討する。
- (2) WAIC機器の搭載を想定した航空機の通信特性測定系構築を実施する。
- (3) WAICおよび航空機電磁干渉に関する国際標準化活動を実施する。

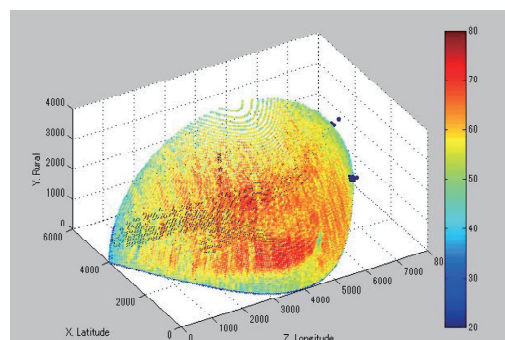


図1. 大規模電磁界数値解析技術を用いたWAIC周波数帯における大型航空機球面電磁界解析推定結果例



図2. ビーチクラフト B300 型機干渉経路損失測定状況

3. 研究成果

WAIC機器、電波高度計、隣接帯域を用いる通信機器との共用条件およびWAIC機器認証法の検討については、北海道大学との共同研究によりWAIC機器認証に必要な機体を含む球面における詳細電磁界分布取得に世界で初めて成功した（図1）。ビーチクラフトB300型機を用いたWAIC機器から電波高度計への干渉経路損失（IPL）測定および放射電磁界測定を実施した（図2）。

また、WAIC機器の搭載を想定した航空機の通信特性測定系として、ソフトウェア無線機を利用してWAIC周波数帯にて電波伝搬特性評価・通信特性評価が可能なCOTS製品を用いた測定系を構築した。

さらに、WAICおよび航空機電磁干渉に関する国際標準化活動として、EUROCAE WG-96/RTCA SC-236およびICAO FSMPに参加し、電子航法研究所および我が国での取り組みを随時報告することで標準規格策定に貢献した。

現在、標準規格の策定ではWAIC機器の放射電力制限やスペクトルマスク等について活発な議論が行われている。これら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換を実施した。

4. まとめ

WAIC周波数帯において大型航空機を含む球面電磁界分布評価技術を新たに実証し、実験用航空機を用いたIPL等の電磁界特性評価を行い、実験と測定の両面から研究を実施した。さらに、国際標準化活動についてもEUROCAE/RTCA, ICAO等で積極的に活動を実施した。

掲載文献

- [1] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Point Source Transmitting Power Estimation of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Using the Large-Scale FDTD Method," Proceedings of 2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES2019), Apr. 2019.
- [2] T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura and N. Yonemoto, "Numerical Estimation of Propagation Path Loss for Wireless Link Design of WAIC Systems Installed on outside Aircraft Cabin Based on Large-Scale FDTD Simulation," IEICE Communications Express, vol. 8, no. 5, pp.129-134, May 2019.
- [3] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 日景 隆, 関口 徹也, 野島 俊雄, "航空機内データ通信における国際標準化動向および電磁環境評価," 令和元年度(第19回)電子航法研究所研究発表会講演概要集, pp.25-28, Jun. 2019.
- [4] S. Futatsumori, N. Miyazaki, T. Sekiguchi, and T. Hikage, "Measurement of Radiation Power from an Aircraft FMCW Radar Altimeter for Investigating Spectrum-Sharing Conditions with Wireless Avionics Intra-Communication Systems," Proceedings of 2019 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2019), WE-UE.1P.2, Jun. 2019.
- [5] T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Futatsumori, A. Kohmura, N. Yonemoto, "A Large Scale FDTD Analysis of Cross Polarization Characteristics for Wireless Link Design of 4.4 GHz-band WAIC Systems inside and outside Aircraft Cabin," proc. of 2019 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2019), TH-A1.2P.7, Jul. 2019.
- [6] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 野島 俊雄, 大宮 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 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外観測面における伝搬特性推定," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 120, AP2019-43, pp. 119-122, Jul. 2019.
- [7] S. Futatsumori, "Interference Pass Loss measurement at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #16 document, Oct. 2019.
- [8] S. Futatsumori, "Measurement of Radiation Power at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #16 document, Oct. 2019.
- [9] S. Futatsumori, N. Miyazaki, T. Sekiguchi, T. Hikage, "Electromagnetic Field Strength Evaluations at 4 GHz Wireless Avionics Intra-Communication Band using Experimental Aircraft -Measurements Assuming WAIC Transmitters Installed Inside and Outside of Beechcraft B300 Aircraft-," proc. of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019 (ICSANE2019), IEICE Tech. Rep., vol. 119, no. 255, SANE2019-68, pp. 101-105, Nov. 2019.
- [10] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 大宮 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "大規模FDTD解析による4.4GHz帯WAICシステムの機外伝搬特性推定," 令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.60, 室蘭市, Nov. 2019.
- [11] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Height and Angle Characteristics of Point Source Transmitting Power of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Based on FDTD Analysis," Proceedings of 2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES2020), Mar. 2020.
- [12] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 関口 徹也, 日景 隆, 野島 俊雄, "航空機内データ通信周波数帯における小型航空機の干渉経路損失-ビーチクラフト B300 型機を用いた測定評価-," 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-2-4, p.162, 広島市, Mar. 2020.

ADS-B を用いた監視能力向上の研究【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, 金田 直樹

研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度

1. はじめに

近年、航空交通でのADS-B（自動位置情報伝送監視）の利用に関して、豪州において2009年に航空機監視への運用が開始され、米国および欧州空域においても2020年の搭載義務化が進められており、国際的に利用が拡大されている。我が国においてADS-Bの航空機監視での利用は、CARATSにおいて令和3年度に意思決定を行う予定とされ、現時点では検証・評価が必要な段階である。

ADS-Bデータを航空機監視に利用する場合は、その位置情報について信頼性等を検証する必要がある。ADS-Bデータには、位置情報に加え、その精度・信頼性情報が含まれており、これらの情報の評価を行った上で利用を検討すべきである。

また、ADS-Bの利用に関し、航空機監視用途とは別に、短縮垂直間隔（RVSM; Reduced Vertical Separation Minimum）空域を飛行する航空機の安全性評価の一環で、本邦でも航空局が地域監視機関（RMA; Regional Monitoring Agency）として高度維持性能監視を実施している。現在、高度監視システム（HMS; Height Monitoring System）として、ADS-Bデータを用いたHMS（AHMS）の導入に向けた評価が求められている。

2. 研究の概要

本研究は3ヶ年計画でADS-Bデータに含まれる信頼性情報を用いた監視性能評価、SBASを利用したADS-Bデータの監視性能評価、およびADS-B方式HMSの追加評価を行っており、今年度は2年目である。

2.1 ADS-Bデータに含まれる信頼性情報を用いた監視性能評価

令和元年度は、前年度に実施したEUROCONTROLおよびEUROCAEの性能要件・安全性評価資料にもとづく信頼性評価手法に関連した信頼性情報について、電子航法研究所（以下、当所とする）で収集しているADS-Bデータの状況評価のためのプログラム開発を行った。

開発したプログラムでは、ADS-Bデータに含まれる信頼性情報として、NIC（Navigation Integrity Category; 航法インテグリティ）値、Rc（Containment Radius; コンテ

インメント半径）値、NACp（Navigation Accuracy Category for Position; 航法位置精度）値、NACv（Navigation Accuracy Category for Velocity; 航法速度精度）値、SIL（Surveillance Integrity Level; 監視インテグリティレベル／Source Integrity Level; 位置情報源インテグリティレベル）値を統計処理する機能およびグラフ表示する機能を実装した。

図1に、当所の本所（調布市）と分室（岩沼市）に設置しているADS-B受信機で収集されたデータ（2020年2月16日（UTC）、1日分）を例示する。グラフには、各信頼性情報（NIC, NACp, NACv, Rc, SIL）およびフライトレベル（時系列、度数分布）、ADS-BデータのFTC（Format Type Code）とBDS（Comm-B Data Selector）レジスタ番号の度数分布等が示される。左下のマップには、航空機の飛行位置において選択した信頼性情報を値で色分けしたプロットが表示される。ADS-Bのバージョンおよび特定の航空機の実機表示も可能である。

次年度以降、長期間のデータに対して欧州の評価手法に基づく信頼性情報の解析を行い、ADS-Bの監視性能評価を実施する。

2.2 SBASを利用したADS-Bデータの監視性能評価

当所の実験用航空機にはSBAS対応のGNSS受信機が搭載されているが、調査の結果、放送されるADS-Bデータは現時点ではSBASに対応していないことが判明した。飛行実験中のデータを収集・分析し、実データにおいても実験用航空機のADS-BデータがSBAS非対応である事を確認した。

このため、SBASを利用したADS-Bデータの監視性能評価については、今後行われる実験用航空機のトランスポンダをSBAS対応にする改修計画を待って実施することとした。今後は、トランスポンダの改修後に飛行実験を行い、SBASに対応したADS-Bデータの分析・評価を進める予定である。

2.3 ADS-B方式HMSの追加評価

平成27～29年度に実施した研究（ADS-B方式高度維持性能監視の研究）の結果、ADS-Bの幾何高度情報につ

いては、高度の基準面が2種類あることが分かっており、航空機毎に基準面を判別する必要がある^[1]。

このため、航空局が運用中のHMU (Height Monitoring Unit) の幾何高度情報を用いて、ADS-Bの幾何高度情報の基準面を判別するプログラムを開発し、評価を実施している。HMUの幾何高度の基準面は既知であるため、ADS-Bの幾何高度がHMUの幾何高度に近い高度であることで基準を判別する。この判別手法において、HMUおよびADS-Bの幾何高度の精度が判別結果に影響を及ぼすため、今年度は実データを用いたデータ解析に着手した^[2]。

また、今年度、ICAOのRMACG (地域監視機関調整グループ会議) の高度監視に関するサブグループとして監視システム標準サブグループ (Monitoring Systems Standards Subgroup) が立ち上げられた。2019年12月に開催された第1回会議において、まず高度監視システム間の差異の分析を行うため、同一航空機の別システム間での測定結果の比較を行うこととなった。これに対応し、当所において、高度監視で用いられる高度誤差 (TVE; 高度維持誤差, ASE; 気圧高度計誤差) 等に加え、航空機の幾何高度について、HMUとADS-B方式HMSの差異の分析を開始した。今後は、HMUとADS-B方式HMUの高度誤差および幾何高度のシステム間の差異解析および幾何高度基準判別手法の評価を実施する予定である。

3. まとめ

今年度は、ADS-Bを用いた航空機監視の安全性評価に向け、実ADS-Bデータの信頼性情報の基礎的な統計情報を得るプログラムを開発した。今後、信頼性情報の解析プログラムを作成し、評価を実施する。

SBASを利用したADS-Bデータの監視性能評価については、当所の実験用航空機のトランスポンダの改修後に飛行実験を実施し、SBASに対応したADS-Bデータの分析・評価を進める予定である。

ADS-B方式HMSの追加評価に関しては、航空局が運用中のHMUの幾何高度情報との比較による基準判別のデータ解析に着手した。今後も引き続き、HMUとADS-B方式HMS間の高度誤差および幾何高度の差異の解析および幾何高度基準判別手法による高度監視の性能評価を行う予定である。

掲載文献

- [1] 金田 直樹, 松永 圭左, 宮崎 裕己, “ADS-B 方式高度監視システムについて,” 日本航海学会航空宇宙研究会, November 2019.
- [2] 金田 直樹, 松永 圭左, 宮崎 裕己, “HMU との比較による ADS-B の幾何高度基準面判定,” 2020 年信学総大 B-2-6, March 2020.

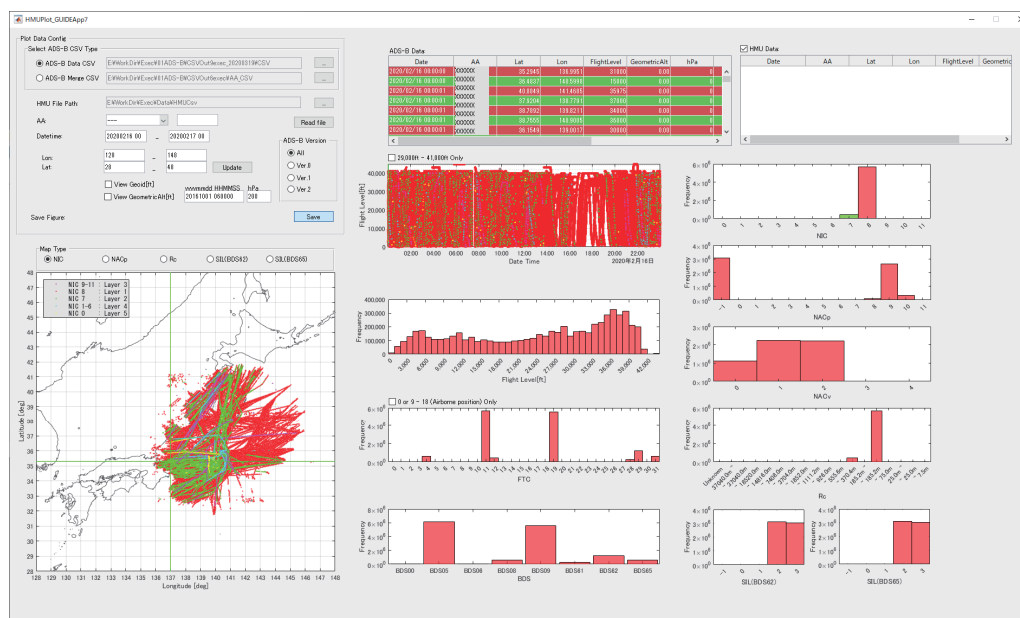


図1. ADS-Bデータに含まれる信頼性情報の状況表示例 (調布および岩沼の受信機データ; 2020年2月16日 (UTC), 1日分) 右列は各信頼性情報の度数分布 (上からNIC, NACp, NACv, Re, SIL)。中央列はフライトレベル (時系列, 度数分布), ADS-BデータのFTCとBDSレジスタ番号の度数分布。左下のマップは選択した信頼性情報を値で色分けしたプロット

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○本田 純一, 福島 荘之介, 松永 圭左, 毛塚 敦, 田嶋 裕久

研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度

1. はじめに

民間航空分野で利用される無線システムは、建物や移動体及び複雑な地面からの散乱波（反射波や回折波）によって性能が低下する場合がある。これらは外的要因によるものだが、その原因が明らかになれば問題解決策を打ち出すことができる。また無線システムの開発前に電波環境を推定することができれば、電波環境に合わせた最適システムの設計につなげることができる。一方、空港開発や新しい航空機の就航に合わせて発生する電波問題については、実環境に近い形でシミュレーションを実施することで運用に関わる改善策もしくはより効果的な運用方式を検討することにつながる。このような電波問題について、2018 年の Annex 10 Vol.1 の SARPs 改訂では、計器着陸装置 (ILS) の制限エリアの拡大に対して、最終判断は各国に委ねられることが明記されるとともに、改定のプロセスの中でシミュレーションの重要性が述べられている。しかし、海外ではソフトウェアが整備されている中、日本は後塵を拝している。そのため、各種電波問題に対応できる ILS シミュレーションの整備が強く求められており、そこでは実運用に寄与できる機能の実装が期待される。

本研究では、航空分野に適用可能な各種電磁界問題について適切な電磁界解析のためのプログラミングを行い、特に ILS については電波の専門知識がなくとも視覚的に理解することが可能となる解析エンジンを開発する。

2. 研究の概要

本研究は 3 ヶ年計画であり、2 年目の本年度は下記を実施した。

- ① 電磁界シミュレーション用のプログラミング
- ② ILS シミュレーション解析エンジンの開発

3. 研究成果

本研究は、航空分野で利用される無線システムへの電磁界解析応用を念頭に、特に ILS ソフトウェアの実現を目指した解析エンジンの開発を行っている。本年度は、関連研究の動向調査を行い、必要とされる電磁界解析手法の選定に努めた。開発した電磁界解析手法及び ILS への応用について精度検証のために仙台空港で信号測定試験を実施し

た。

3.1. 電磁界シミュレーション用のプログラミング

電磁界の解析ソフトウェアはすでにいくつも商用化されており、それらにはフルウェーブ解析や高周波近似解法などの計算手法が採用されている。正しく扱うことができればこれらのソフトウェアで得られた結果から、航空分野で利用されている各種電波問題への適用も可能であるが、そのためには電磁界に関する知識が必要不可欠である。本研究では、各種航空用無線機材で発生する電波干渉などの問題に応用可能な電磁界解析手法をいくつか用意し、必要に応じて電子航法研究所（以下、当所とする）内の各研究や空港毎の課題に対応できるように準備することが目的である。また用意する電磁界解析手法については独自性も考慮しつつ、計算メモリの削減や計算アルゴリズム拡張の容易性、開発者以外の者が利用する場合の設定の簡便性などを考慮する。電磁界の解析から航空分野で必要とされる最終データまでを一貫して処理できるアルゴリズムを提供できるよう準備を進めている。

二か年目にあたる平成 31 年度/令和元年度にかけて、レイ・トレーシング法に基づいた建物等からの障害物や地面からの散乱波を計算できるアルゴリズムの開発を進めた。このアルゴリズムについては、すでに当所で持っていたプログラムを一部流用し、さらに計算コストを削減するようアルゴリズムを改良した。ハイブリッド計算を念頭にレイ・トレーシング法を基本コンセプトとして物理光学近似や一様幾何光学回折理論を取捨選択できる仕組みを考案した。本手法は製品化されているものには当然のように実装されているものもあるが、航空分野への適用を念頭に、三次元障害物やそれらを複数取り扱うように改良することが特徴の一つである。

計算精度の検証のために ILS を対象に実験を実施した。仙台空港内を実験用車両で走行し、空港南西に新たに建設された建物からの干渉波が得られるかについて試験を行った。初年度で実施した実験から測定系を見直し、データ取得頻度の向上や位置情報と受信データの紐づけ等ができるように設定した。なお、計算精度の検証に限らず実空港内における ILS 電波の特徴を取りまとめることも本実験

の趣旨である。図1は場周道路で行った実験結果として走行経路と受信信号強度分布を示す。当然ながらアンテナから離れるほど受信信号強度は低下する。図2は得られた受信電力とDDM（Difference of the Depth of the Modulation）の関係を示す。空港南西の格納庫からの反射が発生していると思われるエリアでは電力の変動があり、DDMも大きく変化していることが分かった。このエリアは昨年度にシミュレーションで明らかになった反射波領域に一致する。

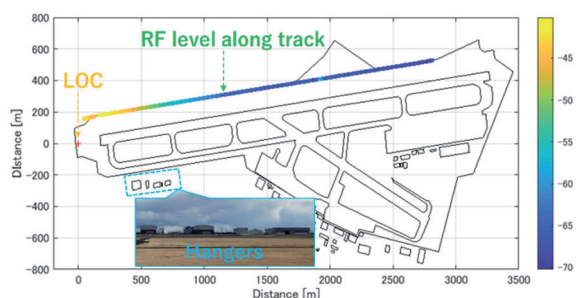


図1：走行経路と受信信号強度分布

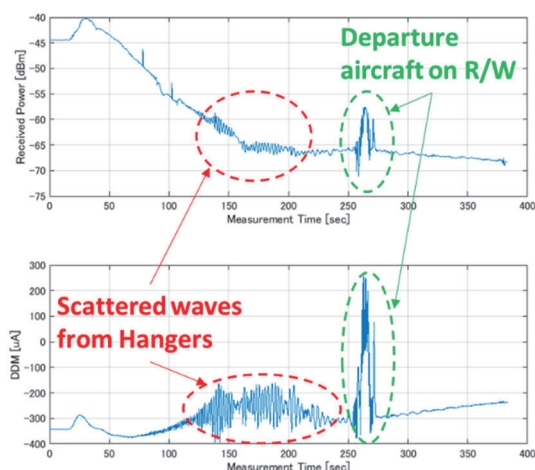


図2：受信電力とDDM

3.2. ILS シミュレーション解析エンジンの開発

実運用機材に関連する電磁界シミュレーションとして最も現場からの要望が大きいものに ILS が挙げられる。本研究では、ILS の電波干渉について電磁界に関する専門知識がなくとも視覚的にその特徴を把握することができる解析エンジンの開発に着手した。初年度は設計と開発を始めたところまでであり、本年度は本格的な開発となった。図3と図4は開発中の解析エンジンの画面を示している。フローティングウィンドウを採用し、パラメータ設定等をそれぞれ分けて設定できる仕組みとなる。建物の配置には制限はあるものの三次元構造物を設置可能で、より現実に近い空港モデルを作ることができる。なお、本解析エンジンには前節で紹介した電磁界解析手法を実装する。これま

での国内の ILS シミュレーションは一つの障害物など限定的な解析がほとんどであり、より現実環境に近い形での解析は行われていなかった。そこで、本研究では、複数の構造物及び地面形状を考慮できるように工夫している。

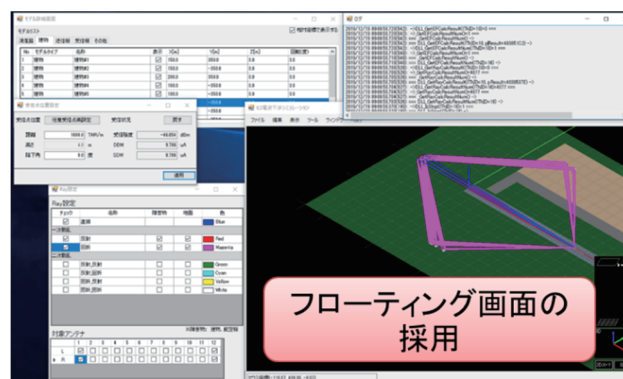


図3：開発中の解析エンジンの画面(1)

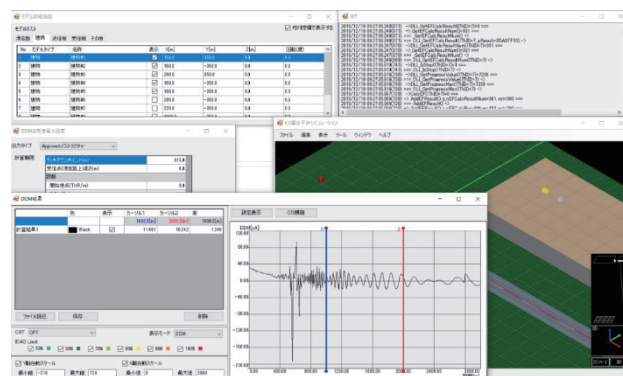


図4：開発中の解析エンジンの画面(2)

4. まとめ

本年度は、電磁界解析シミュレーターの開発にむけたシミュレーション用プログラミングと ILS 解析エンジンの開発、空港内での ILS 信号測定試験を行った。次年度は電磁界シミュレーターの開発継続および ILS 解析エンジンの機能追加・改良を実施する。

掲載文献

- [1] J. Honda, K. Matsunaga, A. Kezuka, and H. Tajima, "Numerical Simulation of ILS Signal Interferences and Software Development," Proc. ENRI Int. Workshop on ATM/CNS, EN-A-58, pp.1-7, Tokyo, Oct. 2019.
- [2] 本田純一, 松永圭左, 毛塚敦, 田嶋裕久, "ILS 信号干渉シミュレーターの開発," 2020 総大講演論文集, B-2-5, p.163, Mar. 2020.

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, 井上 諭, 塩見 格一 (客員研究員)

研究期間 平成 29 年度～令和 2 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 (二次監視レーダ) 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 (以下、当所とする) 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 (レディオ空港) 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られれば、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、航空管制官が飛行場管制業務を行う空港に比べてレディオ空港は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約 30NM 以内にあるターゲットを監視できる簡易な技術方策を模索、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) 近接航空機測位システムを構築する。つまり、本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。

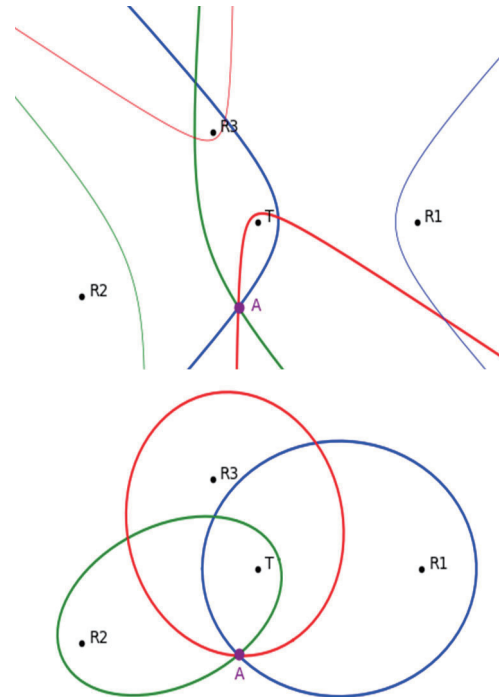


図 1 両測位原理の比較

(上：双曲線測位，下：楕円測位)

2. 研究の概要

従来、マルチラレーションのように一对多の送受信局で構成される監視システムは双曲線測位原理を用いてきた。しかし双曲線測位では設置各局の範囲から外にある目標物を精度良く検出するには適切でない事が知られている。一方で、楕円測位原理を用いれば同様の局配置でも設置各局の周辺目標物を精度良く測位できる可能性が示されており、マルチラレーションにも適用の動きがある。図 1 に両測位原理の概念図を示す。T 及び R1～R3 が送受信局、A が目標物を表す。

本システムが他のマルチラレーションシステムと異なる点はモード A/C 信号を測位に利用する点である。今日においてもモード A/C のみに応答するトランスポンダ搭載航空機は多く、このためいくつかの条件下での実験により本システムがこれらの航空機の監視に妥当ないし有効であることを示してゆく必要がある。

本研究は 4 年計画の 3 年目であり、今年度は主に以下の項目について実施した。

- ・検証実験
- ・送信局製作
- ・実験結果比較

3. 研究成果

3.1 検証実験

本システムの航空機検出・測位性能を検証するため、山形空港付近で実験を行った。構成は送信局1局、受信局3局とした。送信局は製作中のため、当所が別途開発した Optically Connected Passive Surveillance System (OCTPASS: 光ファイバ接続型受動監視システム) の送信局で代用した。山形空港付近を飛行中の ADS-B (放送型従属監視) 搭載機を対象にモード A/C 及び ADS-B 位置データを受信した。受信データからモード A/C 及び ADS-B 位置データを抽出し、楕円測位及び双曲線測位での計算結果と ADS-B 位置データとの比較を行った。

取得した航跡の一例を図 2 に示す。赤丸が送信局、緑丸は受信局位置であり、緑線の ADS-B 航跡に対して青い点が楕円測位、黒い X 印が双曲線測位の計算結果を表している。X 印は広範囲に散らばっており航跡と呼べるような結果を生成できなかった。

3.2 送信局製作

昨年度から引き続き本システムで想定する質問信号送信局の製作を実施した。また実験試験局としての無線局免許申請を行った。

3.3 実験結果比較

昨年度は仙台空港において同様の実験を実施した。今年度の実験結果と比較したところ、いくつかの特徴を確認できた。まずいずれの実験結果でも楕円測位誤差が双曲線測位誤差に比べて小さかった。すなわちシステム設置周辺空域の監視という目的には楕円測位が適切であることを示している。

一方で全体的に仙台空港での測位誤差より山形空港での測位誤差の方が大きかった。両実験での主な相違点は送受信局の配置関係である。図 3 に示すように、仙台空港での実験では送受信局間距離が 1.7~5.2km 程度かつ送受信局で構成する各楕円の長軸の交差角が 120 度程度あるのに対して、山形空港での実験では送受信局間距離が 0.6~1.7km、各楕円の長軸の交差角は 9 度などとなっていた。つまり山形空港での送受信局配置は交差する楕円体が似通ったものとなり交点すなわちターゲット推定位置の測位誤差が増大する傾向が認められた。

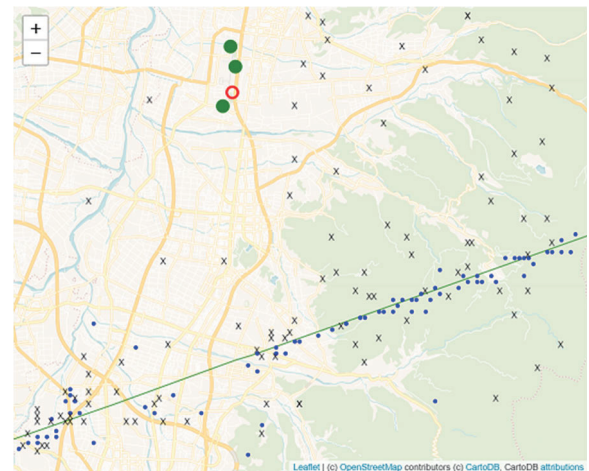


図 2 取得航跡例



図 3 送受信局配置

4. まとめ

近接航空機測位システムは、設置した各局の周囲半径約 30NM 以内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。今年度は昨年度とは別の場所での検証実験を行い、両者の結果比較によって送受信局配置に関する知見を得た。また本システム用送信局の製作を完了し、無線局免許申請を行った。

掲載文献

- [1] 北折 潤, 塩見 格一, “近接航空機監視システムの原理と航空機監視精度,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.119, no.405, SANE2019-89, pp.27-32, Jan. 2020.

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～令和 2 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。本研究は4ヶ年計画の3年目であり、以下の課題(1)に絞って研究を実施した。

(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 ; 放送型自動位置情報伝送・監視機能)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

本研究の初年度に、特定の特徴的信号波形のテレメトリ信号を用いた機体位置把握の原理確認を行ったが、これを最も広く普及しているDJI製ドローンのテレメトリ信号に適用できるよう実験検討を行った。まず、今回対象としたテレメトリ信号は図1のように制御信号と映像信号の繰り返しとなっていることを測定により明らかにした。本研究の機体位置把握は到来時間差測定に基づくが、テレメトリ波のうち比較的電力が大きい映像信号を対象とし、その波形の立ち上がり部分の比較を行うこととする。初年度の原理確認に用いたテレメトリ信号は立ち上がりが急峻であったため、DAC法により容易に時間差を導出できたが、当該波は同じ手法の適用が難しいことがわかった。よって、信号の相互相関を取る手法を試みた。表1の推定距離は、図2に示す電波無響室内における2つのアンテナで測定したテレメトリ信号の到来時間差に光速を掛け求めた距離である。実距離に近い値を推定でき、汎用ドローンのテレメトリ信号でも位置推定が行える可能性を明らかにした。

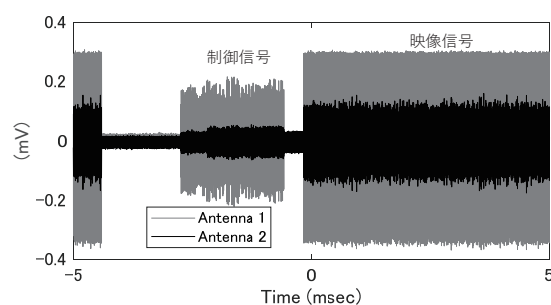


図1 対象とするテレメトリ信号波形

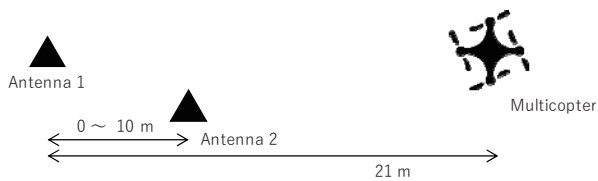


図2 測定構成(電波無響室にて測定)

実距離	0	1	2	3	4	5
推定距離 a	0.12	1.23	2.31	3.12	4.86	5.28
推定距離 b	0.0	0.9	2.1	3.6	4.5	5.4
実距離	6	7	8	9	10	
推定距離 a	6.18	7.41	8.82	9.39	9.24	
推定距離 b	6.6	7.2	7.2	8.7	9.6	

測定条件 a: 帯域：2.4GHz, サンプリング 10GS/s
b: 帯域：200MHz, サンプリング 1GS/s

表1 アンテナ1-2間距離の測定結果(単位 m)

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、一昨年度より4年計画で進めている。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。2年目は、無人航空機向け監視装置として販売されたADS-B受信機とトランスポンダを測定分析し、その効果や有人機に対する懸念事項を明らかにした。3年目となる今年度は、機体位置推定手法を、最も広く普及しているDJI製ドローンのテレメトリ信号に適用するため、電波無響室における実験を通して検討し、可能性を明らかにした。

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。

最終年度である次年度は、実際に飛行する機体の位置をリアルタイムに推定する実験の実施を目標とし、雑音の多い屋外における対象信号の抽出法の検討を行う。

掲載文献

[1] 中島 徳頭ほか, “電子航法研究所における無人航空機研究への取り組み,” 日本航空宇宙学会 第57回飛行機シンポジウム, 1A05, Oct. 2019.

[2] 河村 暁子ほか, “市販マルチコプタのRoFによる位置推定の基礎検討,” 電子情報通信学会 総合大会, B-5-169, Mar. 2020.

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 ○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～令和2年度

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。

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) 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。
- (2) 死角を減少させるために、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、従来には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。

4か年計画の3年目である令和元年度においては、主として下記の3項目について検討を行った。



図1. ミリ波レーダ地上試験状況
(レドーム形状および材料変更)

- ・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設計
- ・ミリ波レーダデジタルビームフォーミング（DBF）方式の検討を踏まえたアンテナ部の設計試作および信号処理部の設計
- ・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（COTS製品）を用いた探知試験の実施

3. 研究成果

3.1 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設計

昨年度実施したCOTS製品を用いた、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設計結果を踏まえ、レーダ用フロントエンド回路の詳細設計を実施した。また、レドーム性能向上についてもレドーム材料、構造および形状等を変化させて実験評価を行った。図1に、レドーム形状および材料を変更して実施した地上試験状況を示す。

3.2 ミリ波レーダデジタルビームフォーミング方式の検討を踏まえたアンテナ部の設計試作および信号処理部の設計

COTS製品を用いた、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を用いて、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回路の設計を実施した。アンテナ指向特性について機体全周障害物監視に適した高利得化および放射特性制御を行う

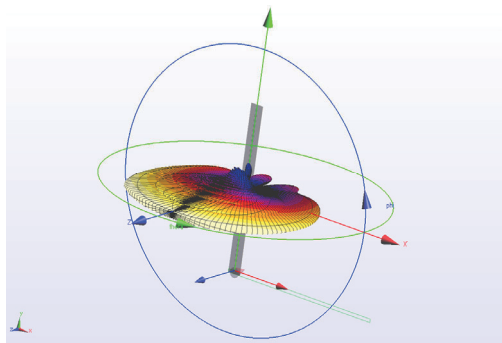


図 2. 電磁界数値解析ソフトウェアを用いた設計例
(32 素子アレイアンテナの 3 次元放射特性)

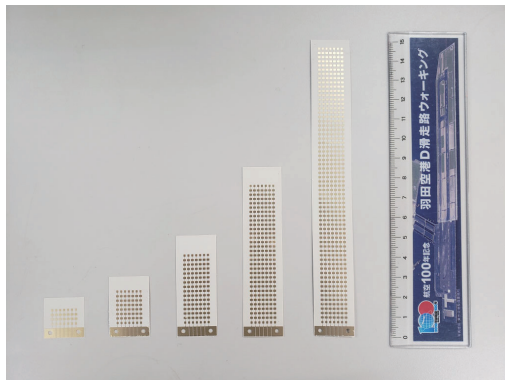


図 3. 試作したミリ波デジタルビームフォーミング用
アンテナの一部（異なるアレイ数のアンテナ 5 種）

ため、電磁界数値解析ソフトウェアを用いた設計試作を実施した図2および図3に、電磁界数値解析ソフトウェアを用いた32素子アレイの設計例および試作したミリ波デジタルビームフォーミング用アンテナの一部を示す。低誘電損失のテフロン基板上にアレイ数の異なるアンテナを設計し、アンテナ利得および放射特性を制御している。ミリ波レーダDBF方式への適用を想定し、4つのアンテナ素子を半波長間隔で配置する。

3.3 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（COTS製品）を用いた探知試験の実施

複数送受信機能を有するCOTS製品フロントエンドの実験評価を開始した。探知試験に向けた事前試験として過去に送電線衝突事故が発生した海上送電線を含む海上送電線調査を実施（香川県佐柳島・直島）した。図4に、直島付近において、2つの島の間に配置された 66 kVの海上高圧送電線の調査状況を示す。

4. まとめ

令和元年度は、全周監視が可能となるセンサシステムを実現するため、ミリ波アンテナ等の要素技術の設計および試作を実施した。また、探知試験に向けた事前試験として海上送電線調査等を実施し、必要な性能を確認した。

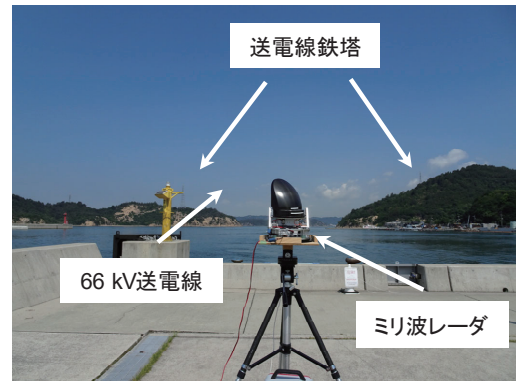


図 4. 香川県直島付近における海上送電線調査状況

掲載文献

- [1] S. Futatsumori, N. Sakamoto and T. Soga, “Three-Dimensional-Printed W-Band High-Gain Reflector Fresnel Lens Antenna Based on Acrylonitrile Butadiene Styrene Plastic,” IEICE Communications Express, vol. 8, no. 7, pp. 275-280, May 2019.
- [2] ニッ森 俊一, 坂本 信弘, 曾我 登美雄, “3Dプリンタを用いて構築するW帯ミリ波レーダ用ABS樹脂製反射型フレネルレンズアンテナの設計および試作評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 129, EST2019-15, pp. 41-45, Jul. 2019.
- [3] ニッ森 俊一, “電子航法研究所におけるヘリコプタ障害物監視支援用ミリ波レーダ技術の研究開発,” 回転翼航空機運航安全研究会, Jul. 2019.
- [4] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, “航空機前方監視用76 GHz小電力ミリ波レーダにおけるレドーム影響測定評価,” 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-18, p. 166, Sep. 2019.
- [5] 中島 徳顕, 平林 博子, 河村 暁子, 虎谷 大地, ニッ森 俊一, “電子航法研究所における無人航空機研究への取り組み,” 第57回飛行機シンポジウム講演集, 1A05, JSASS-2019-5005, Oct. 2019.
- [6] S. Futatsumori and N. Miyazaki, “Performance Degradation Investigations of Helicopter Forward-Looking 76 GHz Millimeter-Wave Radar Due to Radome,” Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA2019), pp. 1-2, Oct. 2019.
- [7] ニッ森 俊一, 曾我 登美雄, “3Dプリンタを用いて構築するW帯ABS樹脂製反射型フレネルレンズアンテナの誘電体材料定数パラメータ感度特性評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 407, EST2019-92, pp. 67-71, Jan. 2020.

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○大津山 卓哉, 本田 純一, 長縄 潤一, 宮崎 裕己

研究期間 平成 30 年度～令和 3 年度

1. はじめに

現在の監視システムのほぼすべてがランダムアクセス方式のパルス通信を使っており、監視システム性能は帯域内信号量に依存する。新たな運航のための監視システム導入とその評価には、現在使われているトランスポンダ等の信号使用量を把握する必要がある。ICAO 監視パネルでは、信号環境に関する各国の状況報告やこれらを評価する手法を検討しているほか、監視システムの技術性能要件を基準とする運航方式の検討が進められている。

本研究では、監視システムの安定運用による航空監視性能の維持・向上に資するために、監視システムで使用する信号環境について調査するとともに、将来の運航方式に必要な監視システムの性能要件を明らかにする。

2. 研究の概要

本研究は 4 カ年計画であり、2 年目である令和元年度は初年度に引き続き以下の内容を行った。

- ① 監視システム動向調査
- ② 測定実験による信号環境取得・評価
- ③ 電波伝搬モデル等検討・開発

3. 研究成果

令和元年度は ICAO の監視パネル等に提出されている 1030/1090MHz 信号環境関係の文献を調査するとともに、飛行実験による監視信号環境の測定を行った。また、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/EUROCAE の合同監視委員会(CSC : Combined Surveillance Committee)等

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議論を行った。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設置されたサブグループに参加し、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を行っている。さらに、監視システムについて検討を行う場合には監視信号環境の考慮が重要になっていることから、監視信号環境に関する専門グループが WG 内に新しく作られた。そこに参加し監視システムに対する信号環境の影響等の議論を行っている。

また、これまで電子航法研究所（以下、当所とする）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た。

3.2. 測定実験による信号環境取得・評価

監視システム性能はその帯域内信号量がシステム性能に影響を及ぼす。信号量の評価手法にはさまざまな提案があり、求めたい指標によって必要な手段をとる必要がある。先行する研究テーマに続いて本研究においても国内のほぼすべての空域を対象とした監視信号環境データを取得するための飛行実験をおこなっている。

今年度は実験用航空機での飛行実験が再開できるようになったので、航空路における信号環境測定を行った。ただし、今年度の飛行実験では一部の経路で過去に行った実験と時期が異なるため複数年に渡るデータ比較には注意が必要となっている。これらの取得したデータを昨年度構築した疑似トランスポンダによる 1030MHz 質問信号評価装置等を使いデータ処理を行った。現在、信号環境の評価として 1030/1090 MHz 帯の受信データから質問/応答信号量と質問信号数の評価を行っている。これらの情報から航空機に搭載されたトランスポンダの挙動を推測することが可能となる。（図 1）

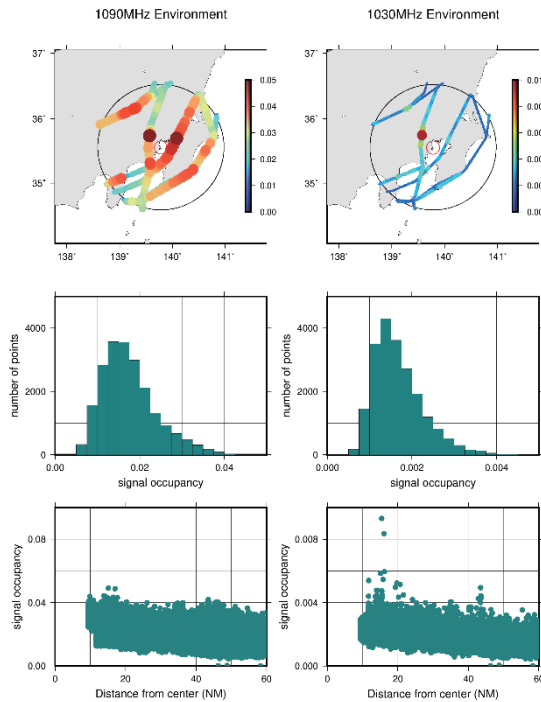


図1：複数回の飛行実験によって取得した羽田空港周辺の信号環境。左が1090MHzの応答信号量、右が1030MHzの質問信号量を表している。上段から順に、取得位置と帯域内信号量、中段：信号量と信号占有率、下段：信号占有率と上段の円の中心からの距離の関係である。

3.3. 電波伝搬モデル等検討・開発

これまでの航空交通管理およびそれに必要となる監視システムは機器単体の性能を基に運用が定められてきたが、近年、欧州を中心に運航方式に必要な監視性能要件からシステム設計を行うことが主流になり、ICAOでもそのために必要なマニュアル等の作成を行っている。監視性能要件の基準を検討するためには、測位性能等のデータが必要であり、詳細な測位データを多くもっている当所の積極的な寄与が求められている。

今年度は過去の飛行実験で取得したデータを用いて、MLATやADS-Bで取得した位置データと航空機搭載の実験用GNSS受信機で測定した位置の比較、そして比較結果によるMLAT/ADS-Bの誤差分布について解析を行った。性能要件の導出には監視システムの精度そのものよりも、監視システムの持っている誤差分布がどのようになっているのかを把握することが重要である。しかしながら多くの監視システムではこれらのデータが公表できる形で詳細な検討が行われている例がない。解析したデータにはシステムに含まれる測位時刻精度等に検討すべき点が残っ

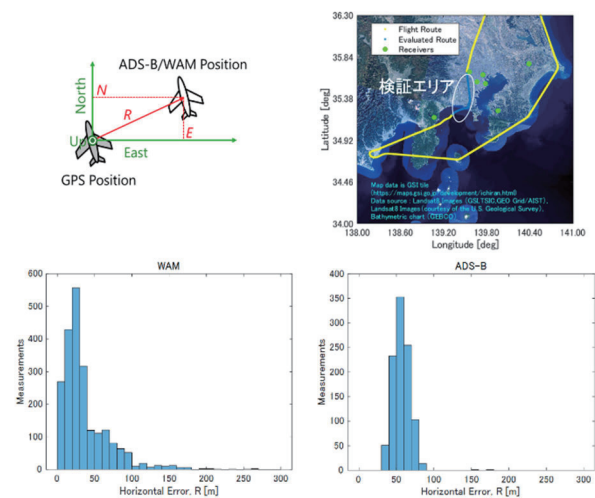


図2：WAMおよびADS-Bによって取得した実験用航空機位置の誤差分布。下段左にWAMによる誤差分布、下段右にADS-Bによる誤差分布を示す。

ている他、実験用航空機に搭載されているADS-Bトランスポンダが一世代前の物であるため、今後の飛行実験によってさらなる検証を行う予定である。(図2)

4. まとめ

本年度は昨年度までに構築した1030MHz質問信号環境の評価装置を使用し監視信号環境の統計的な解析に着手した。また、監視システムの技術性能要件として重要な指標の一つである測位誤差の分布についての検証を行った。質問信号環境はトランスポンダ占有率の推定に適用可能であると考えられており、今後、トランスポンダ占有率の推定とこれらの情報を用いた監視性能要件の導出へとつなげていく予定である。

掲載文献

- [1] T. Otsuyama and H. Miyazaki, "Status Update on 1030 MHz Signal Environment Evaluation Based on RF Measurements Guidance Material," ICAO SP-ASWG/TSG/9 Working Paper, June, 2019.
- [2] T. Otsuyama and H. Miyazaki, "1030 MHz Signal Environment Based on RF Measurements GM," ICAO SP-ASWG/10 Working Paper, September, 2019.
- [3] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, "Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan," ICAO SP-ASWG/TSG/10 Working Paper, February, 2020.

担当領域 監視通信領域

担当者 ○角張 泰之, 古賀 禎, 田嶋 裕久

研究期間 令和元年度～令和2年度

1. はじめに

マルチラレーション(MLAT)やADS-Bなど二次監視レーダシステム(ATCRBS)の派生技術を用いた航空機監視システムの認知や普及が進み、航空機監視システムにおける割合が年々増えている。

SSRやMLATによる空港周辺監視などの質問・応答を原理とする監視では、ICAO Annex10で規定されているATCトランスポンダ装置に対する応答遅延時間の許容誤差が潜在的な位置誤差として存在する(図1)。例えばモードS応答ではその許容誤差は $\pm 250\text{ns}$ と規定されているが、これは電波の速さでは75mに相当する時間である。現時点では、運航中の航空機における実際の応答遅延時間誤差を正確に測定する手法が存在しないが、何らかの方法でこれを計測し、許容値と比較することができれば、監視性能をより定量的な指標として得ることが可能となり、監視システムの利用者にとって有益な情報となる。例えば、現状ではSSRは勿論のこと、MLATベースで検討されているトラフィック監視センサ等もトランスポンダの応答遅延時間の許容値を勘案して性能を想定する必要があるが、指標値を得ることで監視性能をより詳細に見積もることが可能になる。またリアルタイムの判断が可能であれば指標値ではなく、個別の機体毎・フライト毎に監視性能値を見積もることも可能である。

ADS-Bにおけるレイテンシもまた位置精度誤差を生む原因であるが(図2)、実際のレイテンシが把握できれば、これもまた同様に有益な情報となる。

本研究では、運航中の航空機を対象としたATCトランスポンダの応答遅延特性やADS-Bレイテンシの計測手法の開発、および実際に計測したこれらのデータを統計的に得ることによる、監視性能の定量的な指標の提示を目的とする。

2. 研究の概要

電子航法研究所では、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高性能MLATとして光ファイバ接続型受動監視システム(OCTPASS)の開発・実用化をこれまでの研究で推し進めており、仙台空港にその

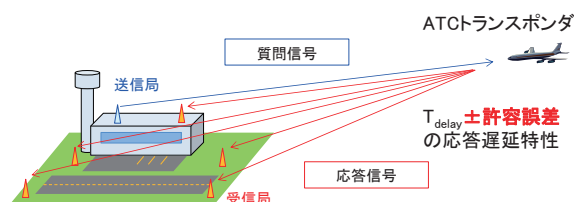


図1 ATCトランスポンダにおける応答遅延

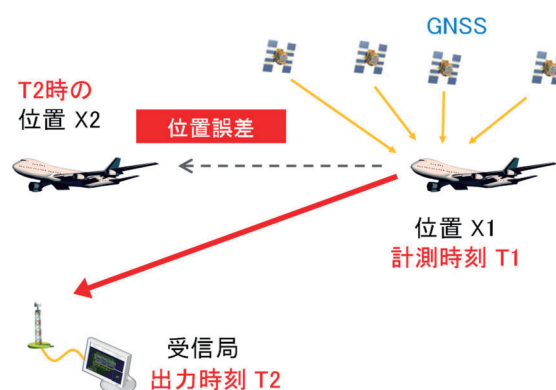


図2 ADS-Bレイテンシによる位置誤差

評価装置を設置している。OCTPASSは受信した信号の時刻を非常に正確(数ナノ秒レベル)に計測できる特徴を有しており、これを実環境に設置した巨大な測定器として活用し、適切な計測・処理手法を開発することで、トランスポンダの応答遅延特性やADS-Bレイテンシを運航中に計測できる装置となる見込みである。

具体的方法としては、当該応答信号または当該ADS-B信号を用いてOCTPASSで受動監視(双曲線測位)により算出すると、「位置」の他に「当該信号の送信時刻」が推定できることを利用する。得られた推定データとOCTPASS送信機からの質問送信時刻やADS-B位置等との比較により、トランスポンダ内での遅延時間やADS-Bレイテンシを求める。トランスポンダが電波を送信した時刻を推定するにあたり、その推定精度を表す指数である時刻推定精度劣化指数(TDOP)の分布が、図3に示すように受信局の配置に対応して得られる。比較データを精密に得るためにはDOPの良い、即ちこの値が小さいエリアを計測エリアとして設定するとよい。

開発する計測手法は、航空機が運航状態のまま計測を行うため、様々な複数の航空機からデータを取得することで、

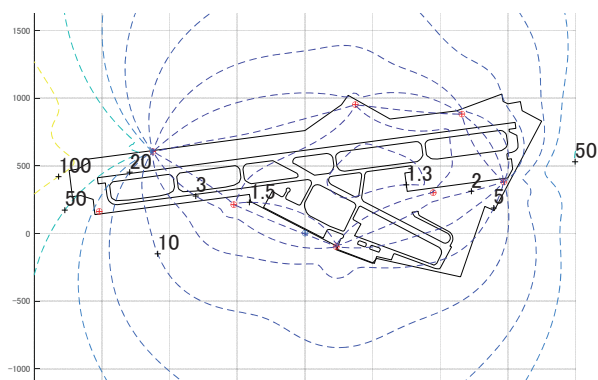


図3 仙台空港 OCTPASS 配置に対する
時刻推定精度劣化指数 (TDOP) の分布

統計的なデータを得ることが可能となる。本研究では、このような統計的評価を実現するシステムの開発も行い、その結果として、監視性能の定量的な指標を得ることを想定している。本研究は2ヶ年計画であり、初年度の今年度はOCTPASS装置を活用した運航中の航空機のATCトランスポンダの応答遅延特性計測手法の検討とソフトウェア化を行った。

3. 研究成果

本年度は、OCTPASS 送信処理部および信号処理部から必要なデータを実際に取得するためのソフトウェアの作成を行い、得られた数値からトランスポンダの遅延特性の計算を行う。

いくつかの航空機から実際に得られた応答遅延特性のうちの2例を図4に示す。空港の中央付近を地上走行する航空機にモードS質問を行い、正しく応答を得たものについて計算により応答遅延時間を推定した。応答遅延の既定値および許容誤差範囲を示した横線の中に得られた推定値をプロットしている。地上走行中に200回以上のデータが得られており、明らかなエラーによる計測誤差は予めデータから排除しているが、残ったプロットの変動幅は小さく、推定誤差は小さいものと想定される。

しかし、2つ目のトランスポンダは許容誤差の範囲から外れたプロットが表示されている。これについては、現時点ではOCTPASSから出力される時刻の数値をそのまま用いて計算しているが、この数値を適切に校正することで許容誤差の範囲に収まることが想定されている。具体的には、OCTPASSがDAC法という時刻計測手法を用いていることに起因し、受信時刻の計測点が実際の信号の始まりよりも若干遅れるためと考える。そのため、現時点で計算される遅延時間の値は大きめに算出され、必ずしも許容誤差範囲を逸脱したトランスポンダであるとは言えない。今後、

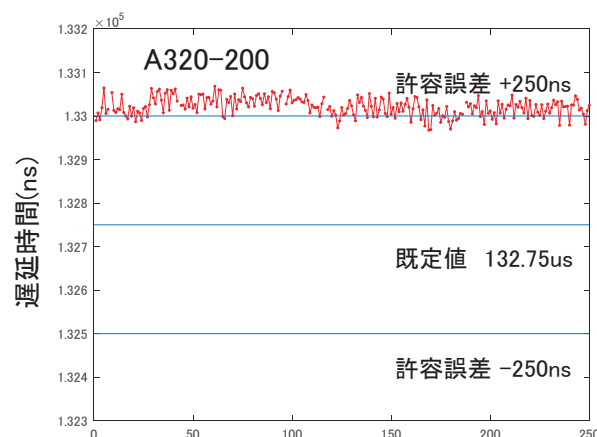
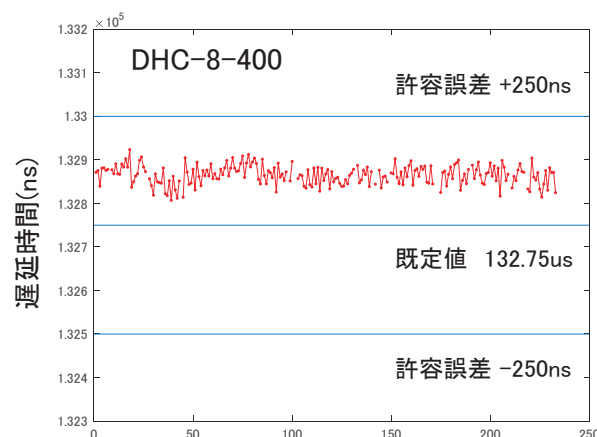


図4 本研究で開発した計測手法による
モードS トランスポンダの応答遅延特性2例

校正値の適用方法を検討・評価することで、改善が見込まれる。

4. まとめ

MLAT や ADS-B などの航空機監視システムについて、運航中の航空機における監視性能指標を提示することを目的とし、ATC トランスポンダの応答遅延特性や ADS-B レイテンシの計測手法の開発を進めている。計測手法の妥当性の検証を引き続き実施し、更に計測～蓄積までの自動化を図り、継続的な評価を行う予定である。

掲載文献等

- [1] 角張 泰之, 古賀 禎, 米本 成人, “光ファイバ無線技術を用いた航空機監視システム,” レーザ研究, vol.48, no.1, pp.32-36, Jan. 2020.
- [2] J. Honda, H. Miyazaki, et.al., “Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture,” ICAO SP ASWG10, Canada, Sep. 2019.

3 次元形状測定のための高精度距離測定技術に関する基礎的研究【基盤的研究】

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 30 年度～令和 2 年度

1. はじめに

近年、爆弾低気圧等の異常気象により、短時間で厚い積雪が発生する頻度が増えてきている。このような積雪時には、滑走路面に設定された滑り係数を下回ると、除雪を行うことで空港の安全を確保している。滑走路表面の積雪状況をリアルタイムに 3 次元的に計測することが可能であれば、冬季の空港の円滑な運用が保たれる。しかしながら、従来の積雪測定設備はポール下の 1 点において増加する積雪量を測定しているが、面的な情報を取得することはできない。電波を使用したレーダーや光波を利用したライダーなどが cm 級の測定精度のため精度が不足し、精度のよい短パルスライダーでは測定範囲は非常に短いという問題があった。これらの背景の中、新しい計測技術に対するニーズが高まっている。

本研究では、冬季に積雪の多い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、新しい 3 次元計測技術の検討を行うことを目的としている。また、欧州民間航空装置機関（EUROCAE）において、滑走路気象情報システムに関する作業班（WG-109）が設立され、mm 級の厚さの雪、水の膜がある場合のセンシングが必要であることが示された。残念ながら、そのような薄い膜を滑走路面の広い範囲で測定する技術は存在しない。そこで、mm 級の水や氷層の厚さを測定する技術を優先的に開発する方針へ転換した。研究の初期段階であるため、方式を限定せず、様々な計測手法において得られる情報の精度を評価し、将来的な 3 次元積雪モニタリングシステムに最適な方式を導き出す。

2. 研究の概要

本研究は平成 30 年度から令和 2 年度までの 3 年計画であり本年度は 2 年目である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

平成 30 年度 光空間走査装置の試作

令和元年度 レーザー＋カメラによる形状測定

令和 2 年度 各種測定手法の性能比較・評価

3. 研究成果

令和元年度は、昨年度開発した青色レーザーとカメラを用いた層の厚さと材質によるレーザー光の散乱状態の変化を測定するシステムを、不可視の赤外線レーザーを用いた

システムに変更して性能を評価した。

赤外線カメラは、可視光カメラと同じ受光素子を用いて拡張して撮像する CMOS が安価で解像度が高いが、波長が長くなると感度がなくなる。そこで CMOS カメラの波長特性を調べた。用意したレーザーの波長は 780nm~1064nm で、CMOS 型の赤外線カメラと赤外線に特化した InGaAs カメラを用いた。図 1 に 980nm の波長を用いて 3 mm のアクリル板を測定した結果を示す。同じ物体を測定していても解像度との違いによって線の認識に差が生じ、解像度が高いほうが好ましいことが分かる。また、CMOS カメラについては、980nm 付近までは映像としてレーザーが撮像できるが、1000nm を超えると、線がほとんど見えなくなることが示された。

赤外線は目視で確認できないが、赤外線も可視光線と同様にレーザー光の散乱が生じ、水、アクリル、氷で分散の状態が異なることが示された。

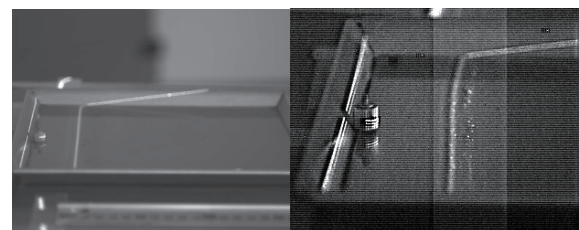
また、レーザーによる測距機能を実現するため、レーザー光広帯域信号を変復調するデバイスの開発も行った。現在は光送信機は 10GHz、受光機は 30GHz の変調帯域が得られており、システムの小型化についての見通しが得られた。

4. まとめ

今年度は可視光が利用できない空港環境における測定技術の検討を行い、赤外レーザーを用いたシステムの有効性を示した。

掲載文献

- [1] Naruto Yonemoto, “Realtime Remote Sensing of Water/Ice layer on the Runways (invited talk),” 3rd Photonic-applied Electromagnetic Measurement International Workshop in Ise (PEM2019), Ise, Mie, Nov. 2019



CMOS カメラ

InGaAs カメラ

図 1 カメラの違いによるレーザー輝線の移動の状態

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○本田 純一

研究期間 平成 30 年度～令和元年度

1. はじめに

航空分野において無線技術はなくてはならないものであるが、利用されている無線機器（レーダや航法施設等）は機上・地上の設備に関係なく電波散乱・干渉に起因した性能低下等が頻繁に発生し問題となっている。これらの問題については数値シミュレーションや検査方式において諸外国の研究が進んでいる傾向が見られる。

本研究では、各種電磁界解析手法のプログラミングを行い、それらを所内の必要とされる研究テーマに活用し、また将来に向けた海外連携を強化し新規研究課題の発見につなげることが目的である。また、研究者の知識・経験の取得を図ることも目的の一つである。

2. 研究の概要

本研究は平成 30 年度から令和元年度までの年度をまたぐ約 1 ヶ年の計画であり、下記を実施した。

- ① 電磁界解析手法の開発
- ② 将来連携に向けた取り組み

3. 研究成果

3.1. 電磁界解析手法の開発

外部資金により実施した過去の研究成果を参考に、レイ・トレーシング法に基づいたハイブリッド簡易計算手法の開発・改良を行った。図 1 に示すコンセプトに基づいて、特に複数の障害物件や高次散乱波およびアンテナ偏波面等を考慮できるように開発した。得られた成果は、所内の ILS 解析エンジンの開発に応用した。

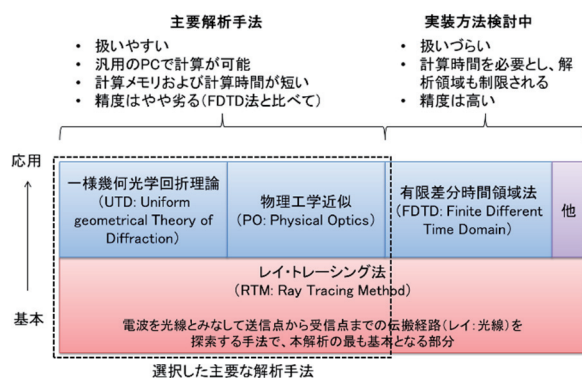


図 1：解析手法のコンセプト

3.2. 将来連携に向けた取り組み

将来の海外連携の取り組みとして、ドローンを使った無線施設の検査方式に関する研究に参加した。この研究は、飛行検査に関わる時間やコスト削減、また働き手の減少等の問題を解決するための一手段としての応用が期待できる。

本研究では、ヘキサコプターに光ファイバ無線（RoF）を搭載し、ドローンで取得された RF 信号を地上の測定器に伝送する仕組みを採用していた。位置情報はレーザートレッカーを利用する仕組みとなる。図 2 は実験の様子、図 3 は得られた航跡に受信強度を反映した結果である^[1]。

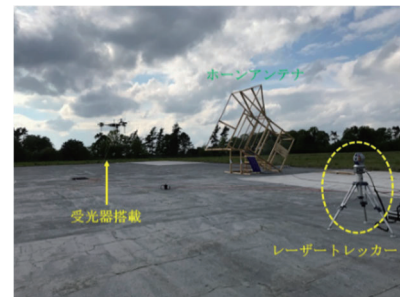


図 2：測定の様子

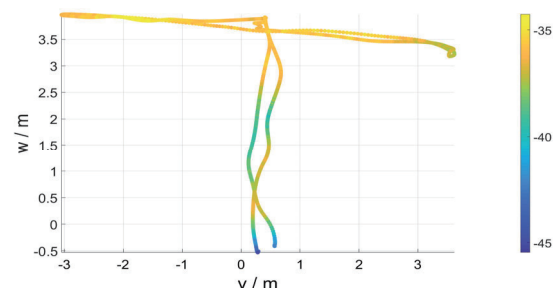


図 3：測定結果の一例

4. まとめ

本在外研究を通して得られた結果は所内研究課題への応用を試み、また新しい研究分野については継続して連携していく予定である。

掲載文献

- [1] R. Geise, A. Weiss, B. Neubauer, T. Fritzel, R. Stauß, H. Steiner, F. Faul, T. Eibert, and J. Honda, “Nearfield Inspection of Navigation Systems with UAVs -First Results from the NAVANT Project,” Proc. ENRI Int. Workshop on ATM/CNS, EN-A-43, pp.1-6, Tokyo, Oct. 2019.

担当領域 監視通信領域
担 当 者 ○呂 曉東
研究期間 令和元年度

1. はじめに

現在、SWIM（System Wide Information System）に基づいた国際運航に係わる十分な情報共有と世界規模による協調的意思決定を実現するため、地上システム間だけではなく、空地システムの間にセキュアで高信頼の情報交換を保証できるアシュアランス航空交通情報共有基盤が求められている。

派遣先である Embry - Riddle Aeronautical University（ERAU）は米国で唯一の航空大学であり、米国連邦航空局（FAA）と共同で構築したテストベッドを通じて、SWIMに関する研究開発や国際実証実験などを実施している。電子航法研究所（以下、当所とする）では、当所が開発したSWIM実験システムを用いて、以前よりFAA主導の国際連携実験に参加している。FAAの検証実験の安全性評価を担当しているERAUの先生より招待を受け、客員研究員として、本研究テーマについてERAUの研究者とFAAのSWIMグループと共同で研究を進めた。

2. 研究概要

本研究は、広域の航空交通情報共有基盤を構築するためのアシュアランス技術を検討する。また、様々な情報を利用して運航効率を向上するFF-ICE（Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment）における離陸後の運航管理に向けた性能要件の検討と検証実験システムの開発を行う。在外派遣研究期間の約4ヶ月間、主に以下の研究開発や国際活動を行った。

- ・ FAAとの協力研究の検討
- ・ アシュアランス技術の検討
- ・ FF-ICE/X検証実験システムの開発

3. 研究成果

3.1 FAAとの協力研究の検討

国際民間航空機関（ICAO）では、FF-ICE運用コンセプトを段階的に導入するため、関連する規定の改訂、Implementation Guidanceの作成や事前検証などが必要となっている。これらの課題に対して、今まで、FAAと共同で実施した連携実験に引き続き、FF-ICEにおける離陸後の運

航管理に関する検証実験（FF-ICE/X）の実施と将来軌道ベース運用（Trajectory Based Operation: TBO）の導入に向けた運用面と技術面の課題について検討した。この結果、2020年から、空地統合SWIMに関するいくつかの分野を中心として、協力研究や連携実験を行うことに合意した。

3.2 アシュアランス技術の検討

FF-ICEとTBOを実現するため、航空機と地上SWIMシステムの間にセキュアで高信頼の情報交換を保証することが必要となる。この研究課題について、新旧システム共存段階におけるSWIM基盤と既存航空管制システムとの連携・支援を保証できるアシュアランス技術、及びFull SWIM段階におけるSWIM基盤に基づいた航空管制用サービスの構築に適用できるサービスアシュアランス技術の基本的な考え方と方向性を、ERAUの研究者と議論して決めることができた。今後、具体的な実現技術や評価などについて継続的に検討する。

3.3 FF-ICE/X検証実験システムの開発

FF-ICEにおける離陸後の運航管理を実現するため、既存航空管制システムとの連携が必要となる。この部分の開発に対して、ノウハウを持っているFAAの開発チームと連携し、国内関連企業との共同研究を通じて、実際の航空管制実験システムと連携できる検証実験システムの構成案や当所のSWIM実験システムとの情報交換仕様などを決め、開発のベースを作ることができた。

4. まとめ

在外派遣研究期間中のERAUとFAAの研究開発グループとの検討を通じて、以上の研究成果が得られ、当初の目標を達成することができた。また、合意した協力研究について、今後も連携しながら進める予定である。

掲載文献

- [1] X.D. Lu, “The Research and Development of SWIM at ENRI,” ERAU, November 2019.
- [2] X.D. Lu, “Air/Ground SWIM Integration for Information Assurance,” ERAU, January 2020.

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～令和元年度

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である。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、問題解決が後手に回ることも多い。

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4ヶ年計画であり、下記を実施した。

- ① 各種数値解法のプログラミング
- ② 簡易レイ・トレーシング法に基づいたハイブリッド計算手法の開発
- ③ 計器着陸システム（ILS）への応用
- ④ 実験準備及びデータ解析

3. 研究成果

3.1. 電磁界計算アルゴリズムの開発

本研究の目的は、電波の専門知識を持たなくとも電波の振る舞いを視覚的に把握できる結果を提供することである。そのため、汎用のPCによる計算を念頭において、利用される計算手法には極力コンピュータメモリの消費が小さいことが求められる。一方、航空分野への適用を鑑みると、扱える散乱体や解析領域は大きくなることが予想される。これらを考慮しつつアルゴリズムの開発を行った。

上記に対応できる解析方法としては高周波近似解法が適していると判断した。そのため、過去の研究成果を一部流用し、簡易レイ・トレーシング法（以下、RTM）に基づいたアルゴリズムの開発を実施した。RTMは送信点から

受信点までの伝搬経路を探索する手法である。本性質に基づいて複数の障害物件に対する見通し内外判定や反射点、回折点の算出を行う。本研究では、基本プログラムとして物理光学近似（PO）、一様幾何光学回折理論（UTD）、有限差分時間領域（FDTD）法を用意した。RTMに上記解析手法を応用する方法を提案したが、FDTD法は使用するメモリの観点から、現状では個別解析で利用する形態に留めた。図1はFDTD法による計算例を示す。図2はPOによる5λ四方の物体からの散乱界を計算した結果となる。

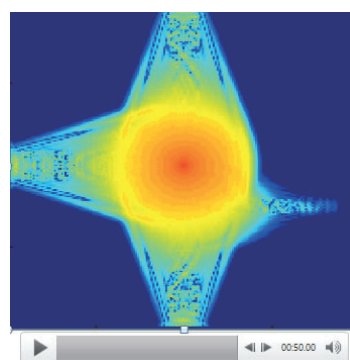


図1：FDTD法による計算例

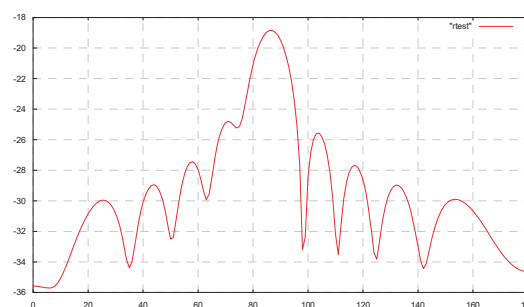


図2：POによる散乱界計算例

3.2. 計器着陸システムへの応用

開発したRTMベースの解析手法の応用として、ILSへの適用を試みた。本研究ではローカライザー（LOC）とグライドスロープ（GS）の両方への応用となる。過去の研究から、特に国内の障害物件については二次元（2D）形状の板に対する解析にとどまっており、また取り扱う障害物の数も限定されていた。GSは海外の研究からも地面はアンテナ前方にのみ形状が変化する2D地面モデルの取り扱いが主流であった。そこで、より複雑かつ現実に即した解析が可能となるように、三次元（3D）形状の障害物及び横

方向にも変化する 3D 地面モデルに対して計算するアルゴリズムを構築した。図 3 と図 4 は LOC を対象とした計算結果で、送受信点のレイ分布と着陸経路上の受信電力を示す。障害物件からの干渉波が確認できる。図 5 と図 6 は GS 前方の不規則地面で発生したマルチパスと GS 性能指数を示す DDM (Difference of the Depth of the Modulation) である。平面大地に比べてバイアスがかかり、また地面形状による干渉が発生している。

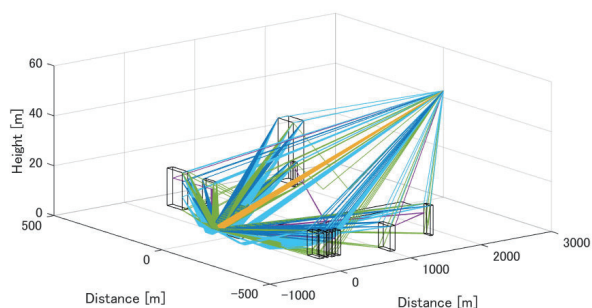


図 3：障害物からのレイ分布

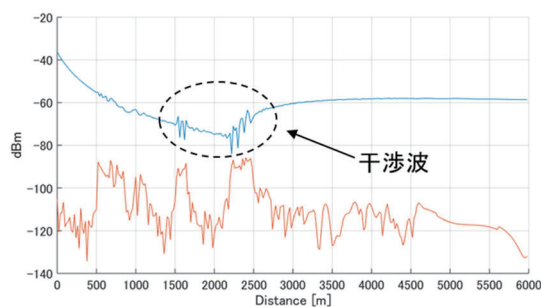


図 4：着陸経路上の受信電力

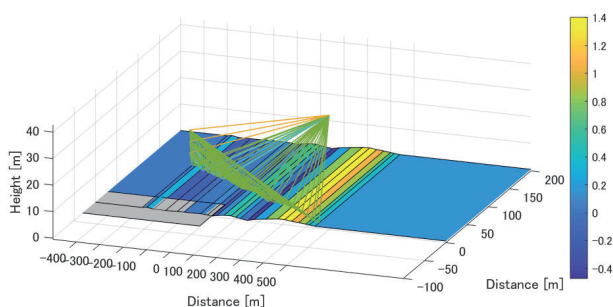


図 5：不規則地面モデルとレイ分布

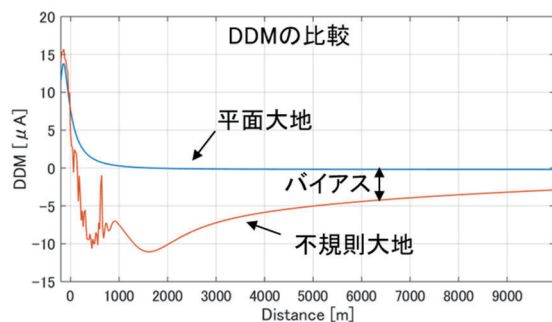


図 6：平面大地と不規則大地上の DDM の比較

3.3. 各種実験準備及びデータ解析

航空分野の電波伝搬特性を把握するための実験準備および所内研究と連携してデータ解析を実施した。得られた成果は複数の学会で発表した。今後もデータ収集と解析は継続して、シミュレーションの性能評価等に利用する。

4. まとめ

本研究では、ハイブリッド簡易高速電磁界計算アルゴリズムの開発と各種実験準備及びデータ解析を行った。RTM に基づいた解析手法は、特に ILS の信号干渉問題に応用した。これからもアルゴリズムの改良や性能検証については継続予定である。また、他の分野への応用も検討する。

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。

掲載文献

- [1] J. Honda, H. Yokoyama, H. Tajima and T. Otsuyama, “Influences of 3D Aircraft Model to ILS Localizer,” Proc. the 2016 10th Int. Conf. on Complex, Intelligent, and Software Intensive System (CISIS), pp.180-185, Fukuoka, Japan, July 2016.
- [2] J. Honda, H. Tajima and H. Yokoyama, “Influences of ILS Localizer Signal over Complicated Terrain,” Proc. the 2017 11th Int. Conf. on Complex, Intelligent, and Software Intensive System (CISIS), pp. 128-138, Torino, Italy, July 2017.
- [3] J. Honda, H. Yokoyama, and H. Tajima, “Numerical Simulation of ILS Glide Path Signals above 3D Ground Model by Ray-Tracing Method,” Proc. Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.1770, Toyama, Aug. 2018.
- [4] 本田純一, 大津山卓哉, “飛行実験で取得した 1090MHz 帯信号の統計解析,” 2018 信学ソ大講演論文集, B-2-12, p.178, Sep. 2018.
- [5] J. Honda, and T. Otsuyama, “Statistical Analysis of 1090 MHz Signals Measured During a Flight Experiment,” Proc. Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), FrD2-4, pp.441-442, Busan, Korea, Oct. 2018.
- [6] J. Honda, H. Tajima and H. Yokoyama, “Numerical Simulation of Glide Slope Signal Interferences by Irregular Ground,” Proc. the 15th Int’l Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE 2019), pp.224-233, Matsue, Japan, March, 2019.

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～令和元年度

1. はじめに

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で、特に沿岸部の空港は、海上に用地を確保し LOC を設置することも将来的に考えられる。本研究は、このような海上設置型の 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 4 ケ年計画であり、下記について実施した。

- ① 関連研究の動向調査
- ② 遮蔽フェンスによる電磁波散乱解析
- ③ 海上設置 LOC を想定したシミュレーターの開発

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考えられる。そこで、不要電波を遮蔽するための遮蔽フェンスの最適設置方法について検討した。図 1 は遮蔽フェンスのモデルを示し、図 2 はモーメント法により x-z 面のフェンス裏側に回り込む電波の計算結果になる。いずれの図も右が最適配置の場合であり、最適に配置することによってフェンス裏側へ回り込む電波が弱まり、障害物が存在する場合の電波散乱を抑える効果が期待される。また、設置条件を算出するためのシミュレーターを開発した。図 3 は空港敷地、海上、海上のカウンターポイズからなるモデルを示す。2 回回折の結果では、着陸コース上に海面からの散乱波が到達することが示されている。さらに、共同実施する大学が主体となり、8 素子 LPDA の放射パターンについてスケールモデル実験を実施した。図 4 に示す通り、計算値との比較では、概ね同様の傾向が得られることが明らかとなった。

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。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、設置条件を検討するためのシミュレーターの開発、8 素子 LPDA アレイアンテナによるスケールモデル

実験を実施し、とりまとめた。

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。

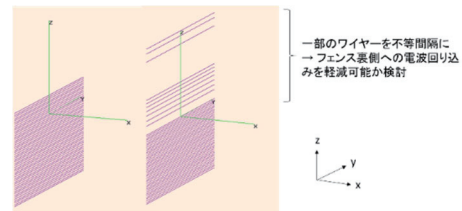


図 1：遮蔽フェンスの最適配置に関するモデル図

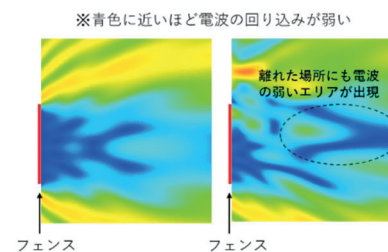


図 2：x-z 面のフェンス裏側への回り込みの計算結果

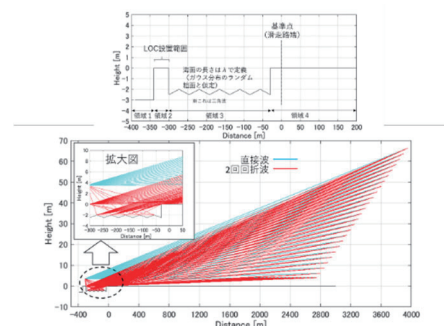


図 3：海上設置 LOC を想定した電波シミュレーション

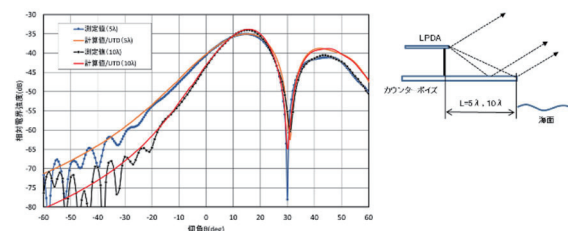


図 4：8 素子 LPDA アレイアンテナによるスケールモデル実験結果

掲載文献

- [1] 田嶋裕久，本田純一，ニッ森俊一，中田和一，“ILS LOC 前方反射障害の遮蔽フェンスによる改善，” 信学技報，vol.118, no.193, SANE2018-39, pp.1-6, Aug. 2018.

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～令和元年度

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。近年、ADS-B対応の航空機が増加しており、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。

2. 研究の概要

本研究はJSPS科研費17K14688の助成を受けている。本研究では新たな電波伝搬測定の手法として在空機ADS-B信号の活用を提案し、本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している。本目的を達成するために、以下項目を実施している。

- ① 提案手法の有効性評価
- ② 受信電力の統計モデル化
- ③ 既存モデルの評価と伝搬メカニズム分析

本研究は3ヶ年計画の研究であり、昨年度までに①は完了しており、最終年度である今年度は②および③を完了させた。

3. 研究の成果

3.1 受信電力の統計モデル化

昨年度、受信電力分布を自由空間伝搬、機体ごとの送信電力のばらつき、フェージングにより記述するモデルを提案した。今年度は、測定データを追加し、提案モデルをブラッシュアップした。そして、提案モデルと測定データの分布が一致することを確認し、モデルの検証を完了した。これにより、覆域設計に活用できる実用的な成果が得られた。

3.2 既存モデルの評価と伝搬メカニズム分析

昨年度、文献調査から既存モデルの代表例としてAir-Predict（CRC Predictの空地版）を選択し、評価準備を進めた。今年度は、地形の影響が顕著な山岳地帯（ブータン王国パロ空港周辺）において測定を行い、測定データを基に既存モデルを評価した。図1には結果の一例として山岳遮蔽に関するものを示す。面状にモデル（信号受信に必要な高度）を示し、白色の縁取りは測定（実際

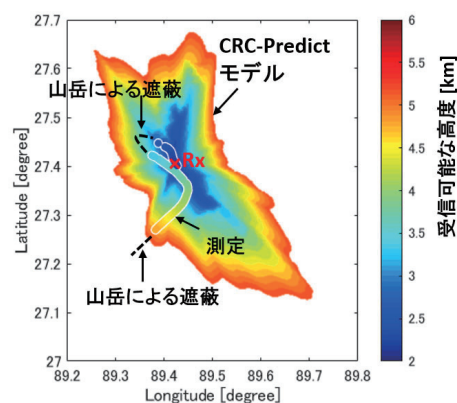


図 1. 比較の例 [8]

の飛行高度)を示す。信号受信できなかった箇所(点線)は飛行高度が不足、山岳遮蔽を受けている。本現象に関してモデルと測定の一致を確認した。上記結果以外にも受信電力等を評価し、CRC-Predictモデルの有効性を確認した。これにより、覆域設計に活用できる実用的な成果が得られた。

また、伝搬メカニズムについても分析した。まず、地形の影響が無い場合は3.1で述べた自由空間伝搬・送信電力ばらつき・フェージングが伝搬メカニズムを示すと言える。地形の影響については、山岳地帯における測定データから分析できる。信号受信の有無を考察した結果、実用上は地形による遮蔽のみで説明できることを明らかにした。つまり、反射波等による見通し外の受信は十分に期待できないことが分かった。また、受信電力を考察した結果、見通しがあり航空機が遠方の場合であれば自由空間モデルで説明できることが分かった。上記の伝搬メカニズムに関する知見は学術的な成果である。

4. まとめ

本研究の実用的な成果として、覆域設計に活用可能な新しい統計モデルや既存モデルの評価結果が得られた。学術的な成果として提案手法の有効性評価と伝搬メカニズムの知見が得られた。以上から、ADS-Bによる新たな電波伝搬測定の手法を確立したと言え、本研究の目標を達成した。

掲載文献

- [1] J. Naganawa, “ADS-B Signal Propagation Measurement and Application to WAM Constellation Design,” EIWAC 2017, Tokyo, Japan, Nov. 2017. (Poster)
- [2] J. Naganawa and H. Miyazaki, “A Method for Accurate ADS-B Signal Strength Measurement under Co-channel Interference,” 2018 APMC, Kyoto, Japan, Nov. 2018.
- [3] J. Naganawa, H. Miyazaki, T. Otsuyama, and J. Honda, “Initial Results on Narrowband Air-Ground Propagation Channel Modeling using Opportunistic ADS-B Measurement for Coverage Design,” Integrated Communication Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2018, Herndon, VA, Apr. 2018.
- [4] J. Naganawa and H. Miyazaki, “Comparison between Opportunistic Measurement and Nominal Link Budget for Aeronautical Surveillance Signal,” EuCAP 2019, Krakow, Poland, pp.3522-3525, Mar. 2019.
- [5] 長縄, 宮崎, “[依頼講演] 在空機測定に基づく 1090MHz 帯民間航空監視信号の狭帯域モデル化,” 信学技報, Vol. 119, No. 120, AP2019-29, pp. 43-48, Jul. 2019.
- [6] K. Wangchuk, Sangay, J. Naganawa, “ADS-B Coverage Design in Mountainous Terrain,” EIWAC 2019, Tokyo, Japan, Oct. 2019.
- [7] J. Naganawa, et al., “Measurements of Opportunistic Aircraft Signals and Verification of a Propagation Prediction Tool in Mountainous Region,” EuCAP 2020, Copenhagen, Denmark, Mar. 2020.
- [8] J. Naganawa and H. Miyazaki, “Opportunistic-Target-Measurement-Based Narrowband Statistical Modeling of Civil Aviation Surveillance Signal at 1090 MHz,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 68, No. 3, pp. 2304-2314, Mar. 2020.

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○江上 周作

研究期間 令和元年度～令和2年度

1. はじめに

交通問題の予測には、建造物の位置や形状などの構造的特徴、施設の種類やイベントおよび背景などの意味的・社会的特徴、地上気象や地形などの自然環境的な特徴などを複合的に考慮する必要がある。さらに航空路においては洋上気象、空域制限、空港状況、飛行計画などについても考慮する必要がある。本研究では、交通に関連する様々なデータをナレッジグラフ(ラベル付き有向グラフの一種であり、柔軟なデータ構造を持つため異種データの統合に適する)として統合し、このデータを基に交通問題発生を予測する手法を提案する。また、未観測地域やデータの蓄積が不十分な課題に対して転移学習(学習済みのモデルを別の領域に適用させる技術)を検討する。

2. 研究概要

本研究の目的は、交通における問題の予測に必要な異種データの統合手法、および統合データに基づく予測手法を開発することである。本研究ではまず航空交通を対象とし、情報の範囲やデータ記述の粒度が異なる異種データの意味的な統合を可能にするメタデータモデルとして、最適なオントロジーの設計・構築に関する研究を行う。また、オントロジーに基づいて蓄積したナレッジグラフを入力として、転移学習によりデータの蓄積が充分な問題からデータの蓄積が不十分な航空交通や海上交通などの、広く交通問題の予測にも適用可能な手法の実現を目指す。本研究は2ヶ年研究であり、本年度(初年度)はオントロジーの構築・公開と、SWIMテストシステムへの応用を実施した。

3. 研究成果

3.1 オントロジーの構築・公開

System Wide Information Management (SWIM) では、共有される情報の種類(運航情報、航空情報、気象情報)ごとに異なる航空交通情報交換モデルが存在するため、相互運用性の確保が困難である。本年度はこの課題に着目し、各モデルを基にドメインオントロジーを構築した。また、各ドメインオントロジーを相似形にした上で、それらを抽象化した共通オントロジーを構築した。

3.2 SWIMテストシステムへの応用

構築したオントロジーに基づいて、運航情報、航空情報、気象情報のデータをナレッジグラフに変換してデータベースに蓄積する拡張機構をSWIMテストシステムに追加した。これにより、SWIM環境で交換される異種情報について、システム間で共通の状況認識が可能になり、必要な情報を数珠つなぎに取得可能となったことを確認した。

4. まとめ

本研究では、広く交通問題の予測に向けて必要な異種データを統合し、転移可能な汎用的な手法の開発を目指している。本年度は航空交通における異種データの統合に取り組み、オントロジーの構築と応用によりシステムの相互運用性を向上させた。今後は運航ルールを加えたオントロジーの洗練や、機械学習等に应用する研究に取り組む。

謝辞

本研究はJSPS科研費19K24375の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] 江上周作, 呂曉東, 古賀禎, 住谷泰人, “オントロジー技術を用いた航空交通情報共有の高度化,” 第48回人工知能学会セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-048-02, pp.1-8, Aug 2019.
- [2] 江上周作, 呂曉東, 古賀禎, 住谷泰人, “航空交通情報共有の高度化に向けたオントロジーの構築と応用,” 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2019 (JAWS2019), pp.98-105, Sept 2019.
- [3] S. Egami, X.D. Lu, T. Koga, Y. Sumiya, “Enriching Geospatial Representation for Ontology-based Aviation Information Exchange,” Proc. of the 8th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.242-243, Osaka, Japan, Oct 2019.
- [4] S. Egami, X.D. Lu, T. Koga, Y. Sumiya, “Ontology-Based Data Integration for Semantic Interoperability in Air Traffic Management,” Proc. of the 14th IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC), pp.18-34, San Diego, USA, Feb 2020.

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○江上 周作

研究期間 令和元年度～令和 5 年度

1. はじめに

今後、安全・安心に社会の中でAIを活用していくためには、AIによるシステムが正しく動作しているかを確認する必要がある。そのため、AIが判断に至った理由を説明できる、解釈可能性を有する推論・推定技術が必須となる。例えばAI応用システムとしてインシデントを避ける航空機の運航を考えた際、様々な情報に基づいて機械学習・推定する技術を用いた航空機の状況認識は欠かせないが、運航ルールや空域制限等は事前に定義された知識であり、最終的には両者を統合・融合した知識・データに基づいて計画的運航がなされる形となるであろう。しかし現状、推論・推定技術を融合した複雑な問題解決に関する研究はあまり進んでいない。理由として、適切な評価用データセットが存在しないことが挙げられる。

2. 研究概要

本研究では、解釈可能・説明可能な AI システムのための評価セットとして、現実世界における様々な関係性を含んだ広範な知識とデータをナレッジグラフ群として構築・公開する。ナレッジグラフとは様々な知識・データをグラフ構造で整理したものである。評価セットをナレッジグラフとして整備することで、推論・推定技術共通のデータセットとして活用できる。そして、解釈可能性に関する適切な評価指標の設計と、それに基づいて種々の推論・推定手法の分析・体系化を行う。本研究では、広く知を結集して技術を共有することでさらなる発展につなげるオープンサイエンスの形で様々なアプローチを探索する。

電子航法研究所では、運航に係る様々な情報を共有できる実験システムの開発や実証実験を実施している。これらの情報を利用して、航空交通管理（ATM）ドメインにおける知識やデータを基にナレッジグラフを構築し、協調意思決定に適用できる解釈性の高い推論・推定技術の検討を目的とする。本研究は 5 ヶ年研究であり、初年度である本年度は以下の内容を実施した。

- ・ナレッジグラフの構築・公開
- ・推論・推定技術の結集と評価

3. 研究成果

3.1 ナレッジグラフの構築・公開

本年度は、ある程度狭小的な仮想世界として、推理小説

を例に内容をナレッジグラフ化してオープンデータとして公開した。

3.2 推論・推定技術の結集と評価

ナレッジグラフに基づく推論・推定技術を結集するコンテストを開催した。チャレンジのタスクを「ナレッジグラフを用いて“犯人を推理”し、“判断に至った理由を説明できる”システムの開発」とし、民間企業や大学から計 9 作品の応募を達成した。推論・推定技術評価のために適切な評価指標を作成し、各応募作品の評価を行った。さらに、結集された推論技術の一部を参考に、航空交通情報共有基盤（SWIM テストシステム）に応用し、運航関連情報の柔軟な検索を可能にした。

4. まとめ

本研究では、現実世界における複雑な関係性を含んだ評価データセットを構築・公開し、様々な推論・推定技術のアプローチを探索した。将来的に、航空交通におけるインシデントの予測や効率的な運航プラン等を“理由の説明”とともに提示できるような、説明可能なAIシステムの実現につながる。今後、より広く技術を結集するため、本研究プロジェクトの国際化を検討している。また、航空交通分野を含む実課題への応用の検討を始める。

謝辞

本研究はJSPS科研費19H04168の助成を受けたものです。
掲載文献

- [1] 川村隆浩, 江上周作, 田村光太郎, 外園康智, 鶴飼孝典, 小柳佑介, 西野文人, 岡嶋成司, 村上勝彦, 高松邦彦, 杉浦あおい, 白松俊, 張翔宇, 古崎晃司, “第1回ナレッジグラフ推論チャレンジ2018 開催報告—説明性のある人工知能システムを目指して—,”人工知能学会誌, vol.34, no.3, pp.396-412, May 2019.
- [2] T. Kawamura, S. Egami, K. Tamura, Y. Hokazono, T. Ugai, Y. Koyanagi, F. Nishino, S. Okajima, K. Murakami, K. Takamatsu, A. Sugiura, S. Shiramatsu, X.G. Zhang, K. Kozaki, “Report on the First Knowledge Graph Reasoning Challenge 2018,” Proc. of the 9th Joint International Semantic Technology Conference (JIST2018), pp.18-34, Hangzhou, China, Nov 2019.

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～令和元年度

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。平成 29 年度から 3 年の研究であり、電子航法研究所（以下、当所とする）は海上・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。

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。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、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、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。

- a. 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
- b. 海上風車の風車ブレードの点検への応用検討
- c. 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のち、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。

電子航法研究所は、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

令和元年度に大きく前進した議論として第三者上空（有人地帯上空の目視外飛行）での飛行があげられる。ドローンの安全・安心な利活用のための環境整備の一環として、目視外飛行に係る審査要領が平成 30 年 9 月に改訂され、無人航空機目視外補助者無し飛行の要件が明確化された。この次の段階として、第三者上空での飛行に関する制度設計の基本方針が令和元年度末の小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第 13 回）にて取りまとめられた。第三者上空での飛行は、現行の航空法において許可・承認の対象となっており、申請飛行ごとに機体、操縦者、運航ルールを個別に審査している。今回のとりまとめでは、第三者上空での飛行をリスク別に 3 段階に分け、最もリスクの高い有人地帯での補助者なし目視外飛行については、機体認証の義務付け、操縦者へのライセンス保持の義務付け、運航ルールの個別審査（許可・承認）を行うとした。また、無人航空機の登録制度の必要性や、無人航空機によって撮影される対象へのプライバシー保護、受益者負担の考えに基づく運行者へのシステム維持費の負担なども近く考えるべきこととして挙げられた。

本制度設計は、主に荷物配送の実現を目的としており、海洋分野の点検におけるドローン技術活用時にそのまま適用するには課題はあるが、実用例が増加することでさらに要件が明確化されてくると思われる。

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役立てるガイドラインの策定を目的に 3 か年で実証実験等を実施した。成果物となるガイドラインは、貨物船タンク、洋上風車、消波ブロックの点検それぞれに作成した。このなかで、当所はガイドライン策定時に重要となる、主に航空法に係る法的根拠、制度、規則等に関する調査及び整理を担当した。ドローンを含む小型無人航空機に関する運用規則・規制は本研究実施期間中に大きく前進し、今後第三者上空での飛行についても定められていく見通しである。ドローンの利用は、本研究が対象とする海洋分野だけでなく、可能性は多岐にわたるため、目的に応じたガイドライン策定は重要であり、今後も

現場からのフィードバックをもとに適宜改定していく必要がある。

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【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○古賀 禎，本田 純一，

上羽 正純（国立大学法人室蘭工業大学），北沢 祥一（国立大学法人室蘭工業大学）

研究期間 平成 29 年度～令和元年度

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。

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。

2. 研究の概要

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）による研究を平成 29 年度から令和元年度までの 3 年間で実施した。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

3 年目の令和元年度は，5.7GHz 映像伝送システムの地上装置のハードウェアおよびソフトウェアを製作した。

地上装置のハードウェアの構成を図 1 に示す。地上装置は，アンテナ部，フロントユニット，信号処理部，データ処理部から構成される。

アンテナ部は，追尾用の指向性パッチアンテナと無視指向性アンテナから構成される。追尾用アンテナは遠方における UAV との通信を行い，無指向性アンテナは近傍における通信を行う。追尾用アンテナは雲台に搭載される。これにより，遠方から近傍までの連続的な通信を実現する。フロントユニットは，BPF およびアンプから構成され，所望の帯域の無線信号を抽出後，所望の無線

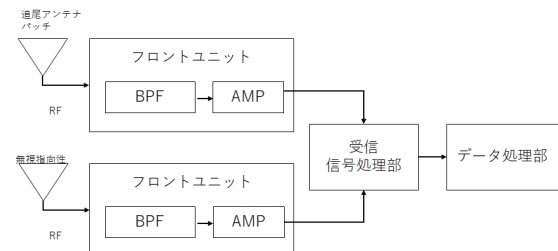


図 1 無線映像伝送システム・地上装置の構成図外観

信号を増幅する。信号処理部は 5.7GHz の信号を受信し解読し，映像および制御データを出力する。信号処理部はソフトウェア無線機を用いており，無線信号から IQ ベースバンド信号を復元する。データ処理部では，信号処理部からの IQ ベースバンド信号を受信処理し，映像データや制御情報を表示する。受信ソフトウェアとしては，信号処理部ソフトウェアおよびデータ処理部ソフトウェアを製作した。信号処理部ソフトウェアは信号処理部上で動作する。周波数，利得，帯域幅，サンプリングレート，入力デジタルフィルタなどの無線機パラメータを設定する。さらに，ベースバンド IQ 信号を記録してデータ処理部に転送する。データ処理部ではベースバンド IQ 信号からデータを復号する。

総合実験を実施するために，5.7GHz 帯映像伝送システムの実験試験局の無線局免許の取得作業を進めた。令和 2 年 1 月末に実験局の予備免許を取得した。当所構内において伝送距離 300m で試験電波による確認を行い，QPSK/9MHz 帯域設定において伝送速度 12Mbps でデータ送受信できることを確認した。また，1500m に相当する信号強度の受信信号についても安定してデータ送受信できることを確認した。

4. まとめ

令和元年度は 5.7 GHz 帯映像伝送技術として地上装置の製作および実験局免許の取得を実施した。令和 2 年度以降も本システムを活用した試験を行う予定である。

掲載文献等

[1] 本田 純一ほか，“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，B-2-13，March

2018.

[2] 古賀 禎ほか, “観測ミッション実現のための固定翼 UAV における映像伝送技術,” 日本航海学会第 139 回講演会・研究会, 航空宇宙研究会, October 2018.

[3] 古賀 禎, “固定翼 UAV 用の無線映像伝送システムの開発,” 電子情報通信学会総合大会, B-2-10, March 2019.

[4] 上羽 正純ほか, “広大な農地の短時間観測値を可能とする固定翼 UAV を用いた映像伝送システム,” 第 57 回飛行機シンポジウム講演集, October 2019.

[5] 古賀 禎ほか, “固定翼 UAV 用の無線映像伝送システムの評価実験について,” 電子情報通信学会 2020 年総合大会 B-2-32, March 2020.

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, 金田 直樹

研究期間 平成 29 年度～令和元年度

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, 2 次元的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, 3 年計画の最終年度である。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

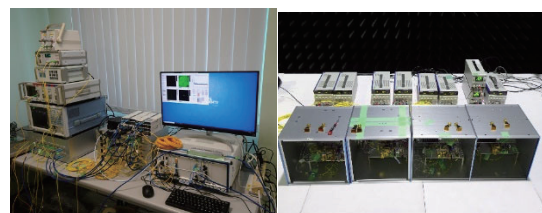
令和元年度 協調型リニアセルシステムの性能評価

2 次元位置推定精度の評価

3. 研究成果

令和元年度は, 4 つのアンテナ局で同時に複数個所で受信した信号を元にレーダー画像を生成するためのレーダーハードウェアと制御のための FPGA 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。中央装置では送信信号を重畳した送信用と受信の局部発振器用レーザー光の分配を行い, すべてのアンテナ局の受信信号を記録し, 計算する機能を設けた。4 つのアンテナ装置は中央装置からもらった光信号を電気信号に変換し, 送信機, 受信機を動作させる。受信信号を中間周波数に変換したのち, 増幅して光信号に重畳して, 中央装置に戻す機能を有する。

図 2 にレーダー画像の 1 例を示す。4 つのアンテナ装置は同時に受信しているため, 1 局から送信すると同時に 4 枚のレーダー画像が描画できる。それらのレーダー画像で, 複数のレーダーで検出された交点を表示すると, 物体の位置が画像として表示される。通常の状態の場合, 交点は非常に小さい範囲となるため, 図ではすべての線も合わせて表示している。これにより, 1 秒に 1 回送信局を入れ替えて 4 秒で 16 パラメータを取得しつつ, 合成画像をリアルタイムに表示できることを示した。また, 一つの受信機の信号が届かない状況を模擬して測定したところ, 他の受信機で受信されていれば, 位置推定が可能であることを実験的に確認した。



中央装置 アンテナ装
図 1 協調型リニアセルシステムの外観

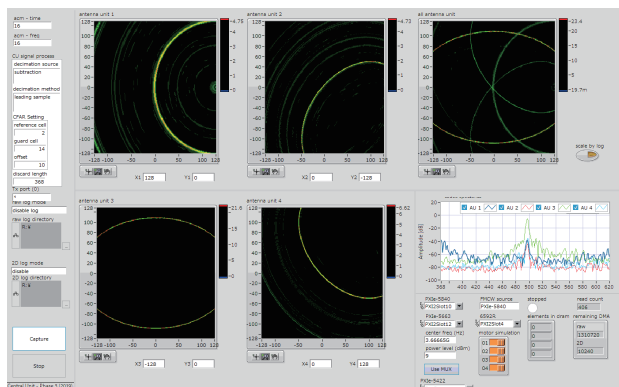


図2 アンテナ装置1から送信した場合に得られる4つの受信信号から作成した2次元画像(左列, 中列)と合成されたレーダー画像(右上)

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, 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, vol. 117, no. 246, RCS2017-201, pp. 181-185, Oct. 2017.
- [2] Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Norihiko Miyazaki, and 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 2017.
- [3] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka and 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 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, vol. 117, no. 409, MWP2017-95, pp. 257-261, January 2018.
- [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, Vol. 101, No.2, pp146-152, Feb. 2018.
- [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, vol.

117, no. 458, SRW2017-71, pp. 31-36, Feb. 2018.

[7] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 金田 直樹, “2つのリモートアンテナを用いた複数の異物の2次元座標推定,” 信学技報, vol. 118, no. 145, MWP2018-40, pp. 185-190, July 2018.

[8] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Naoki Kanada, “Multistatic Millimeter Wave Radar Connected by Radio over Fiber,” MWP Symposium, IEICE, Matsue Japan, August 2018

[9] Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Nobuhiro Sakamoto, Tomio Soga, Naruto Yonemoto, “Effects of Transmission-Signal Phase Noise on the Performance of an Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System,” 2018 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Vasteras Sweden, 3-6 Sept. 2018

[10] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, and Naoki Kanada, “Two Dimensional Radar Imaging Algorithm of Bistatic Millimeter Wave Radar for FOD Detection on Runways,” 2018 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), Toulouse France, 22-25 Oct. 2018

[11] Naruto Yonemoto, Shunichi Futatsumori, Akiko Kohmura, Kazuyuki Morioka, Naoki Kanada, and Nobuhiro Sakamoto, “Bi-static Millimeter Wave Radar Connected by Radio over Fiber for FOD Detection on Runways,” 2019 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA), Kuta, Bali, Indonesia, October 2019

[12] 米本 成人, “光ファイバーリンクを応用した滑走路異物検知用ミリ波レーダーシステム,” フォトニクスニュース 2019, No.2, Vol.5, pp.27-31, 応用物理学会フォトニクス分科会, 2019

[13] Naruto Yonemoto, Shunichi Futatsumori, Akiko Kohmura, Kazuyuki Morioka, Naoki Kanada and Nobuhiro Sakamoto, “Foreign Objects and Debris (FOD) detection systems based on the millimeter wave radar technologies,” ICAO FSMP-WG/9 IP/04, August. 2019

[14] IEC TC103 WG6, “Radio over fibre transceivers of remote radar for foreign objects and debris (FOD) detection system,” Working document for TC103/WG6, IEC-63098-3, October. 2019

セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発【競争的資金研究】

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, 渡辺 優人

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

近年, 世界各地にテロの脅威が拡散し, 極めて深刻な状況の中, 特に不特定多数の人が集まり警備が比較的緩やかな地下鉄や空港ロビー, 大規模集客施設(ショッピングモール, コンサート会場)等のいわゆる「ソフトターゲット」を標的としたテロが増加し, セキュリティ対策の強化が喫緊の課題となっている。我が国も2025年大阪万博の開催を控えるなどセキュリティ対策の強化が喫緊の課題であるが, 現在の技術では人が隠し持った危険物を遠方から検知することができない。

このため, 本研究開発では, 公共スペースのセキュリティ対策を強化するため, W帯における複数の周波数帯でのセンシング/イメージング技術を開発し, 人が隠し持った危険物を遠方から可視化することで, 不審物を認識するシステムの基盤技術を確立する。また, レーダー技術をW帯に適用することで高い周波数帯の利用を促進し, 電波の有効利用を図ることを目的とする。

具体的な開発目標として, 検知距離2～5mを目標に人が所持する不審物を衣服の上からイメージング画像を取得するハイブリッドイメージャ, 及び, 検知距離15mを目標に人の位置及び不審物からの反射特性情報を取得するレーダーシステムから構成された数センチ程度の解像度を持つ不審物特定用のWUO(W-band Unidentified Object Detection)イメージャを開発し, センシング・イメージング技術を確立する。

本研究開発は公募によって2つのプロジェクトチームが分担して受注することとなり, 電子航法研究所は課題A「W帯を使用したセンシング・イメージング技術」のうち, (a)センシング・イメージング技術の研究開発の中の「2周波対応アクティブ型イメージャの研究開発」を担当する。その中で, W帯の電波で無線標定に割り当てられている2周波帯(70GHz帯, 90GHz)を活用して, より高精度な距離分解能を達成するとともに, 3次元的なイメージ画像を取得することのできるアクティブイメージャを開発する。

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」(JPJ000254)の一環として実施され, 3年計画の初年度であ

る。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

令和元年度 広帯域パッシブ受信技術の確立

広帯域符号変調技術の確立

機械走査によるW帯イメージ画像の取得

令和2年度 広帯域複数パッシブ受信アレイの構築

2周波広帯域符号変調信号生成技術の構築

2次元機械走査によるW帯イメージ画像の生成の高速化

令和3年度 機械走査によるW帯イメージ画像の生成の高速化

ネットワーク化の研究開発

不審物認識システムの統合評価実証試験評価

3. 研究成果

令和元年度は, ハイブリッドイメージャの原理検証を含む, 広帯域パッシブ受信技術の開発, 将来的なアクティブ機能を付加する場合の送信源の変調技術として, 広帯域符号変調技術の開発, および最終的に電波イメージを生成するためのW帯イメージ画像の取得を行った。

受信機雑音の10000分の1より小さな, 人体などから放射される熱雑音を測定するため, 時間積分が有効に機能する干渉積分方式を採用した。その原理検証のため, W帯全域を受信でき, かつ変換する中間周波帯域が12GHzとなるW帯広帯域受信機を2式製作した。図1に示すように, そのうちの一つを固定し, 他方を縦横に移動できるxz軸ステージに取り付けて, 機械移動させて2次元受信機アレイを模擬した。参考画像を取得するため, 微弱な87GHzの信号を1m離れたところから照射して, 縦横32x32のポイントを7mm間隔でデータを取得した。得られたデータを用いて, 図2に示すようにアンテナ移動面から1m離れた平行平面状の電界強度を計算によって求めた。図3に計算結果を示す。一つの受信機を移動して測定した電波の振幅と位相情報を用いて, 1m先に設置した点波源が明瞭に映像化できることが示された。

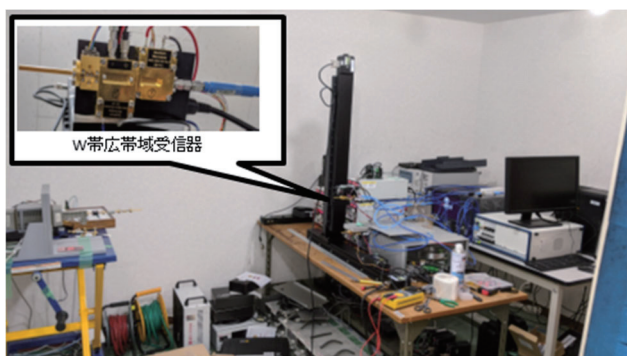


図 1 原理検証システムの外観

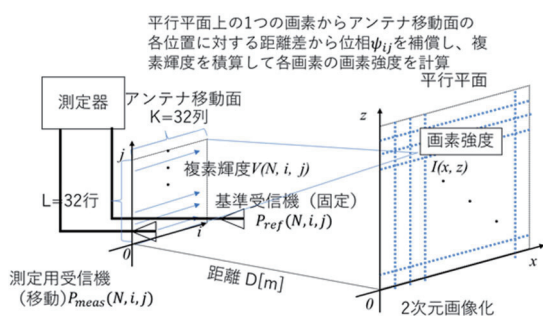


図 2 2次元受信機アレイによる電波イメージ生成の概要

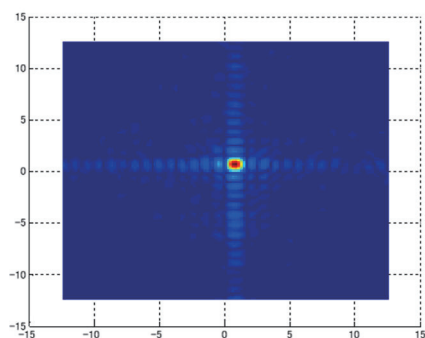


図 3 1m 離れた 87GHz 点波源のイメージング結果

本研究は三重大学，アルウェットテクノロジー株式会社
他との共同研究として実施された。

掲載文献

- [1] 米本 成人, 森岡 和行, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 渡
辺 優人, “セキュリティ強化に向けたハイブリッドイメ
ージングシステムの熱雑音パッシブ受信機に関する基礎
実験,” 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-2-16, March
2020

有人航空機のネットワーク型探知技術の研究開発【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域

担 当 者 ○古賀 禎, 呂 曉東, 角張 泰之, 河村 暁子, 平林 博子, 長縄 潤一, 虎谷 大地, 江上 周作

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

無人航空機の普及に伴い2020年代に1時間1平方kmあたり100機といったレベルで多数飛行する世界となることが想定される。このように多数の機体が高密度に飛行することが想定された世界を実現するために、無人航空機と空域を共有して飛行する有人航空機との安全確保を図り、無人航空機の飛行計画情報・機体情報・運航者情報を共有、また有人航空機の飛行位置情報を収集し共有するための情報共有システムの研究が必要となる。これらの大規模システムを構築するためには、有人機の位置を探知する要素システムが必要である。

電子航法研究所（以下、当所とする）では、前述の課題を検討するため、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託研究を令和元年度～令和3年度までの3ヶ年の計画で開始した。本研究開発は9つの機関が分担して実施する。[1]

2. 研究の概要

本研究開発全体では、福島ロボットテストフィールド(RTF)に無人航空機の機体識別および位置情報を共有するための通信システムのプラットフォームを整備する。機体識別や位置情報共有のための通信機を搭載した無人航空機を飛行させ、通信システムの実証をする。また、複数の有人航空機と無人航空機の空域共有に必要な情報共有のための技術および試験システムを開発し、有人航空機の飛行情報に関する仮想情報シミュレータ等を用いた運航管理システムとの相互接続性の評価を実施する。通信機および地上局や相互接続性は、2019年度に各々要件定義と設計、2020年度に通信機および地上局の試験システムの開発とともに、相互接続性評価のための情報共有システムを実装し、2021年度に各々RTFでの実証実験を実施する。

さらに、これらの情報共有を補完・補強する通信システム及び情報共有システムを運航管理システムに統合するためのアーキテクチャ設計を実施し、空域シミュレーションによってシステムワイドの安全性を評価する。各

有人機(モードS)機の位置探知実験システム
システム構成

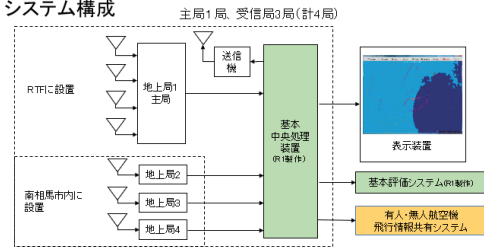


図 1. システム構成



図 2. 受信局の配置(南相馬市)

システムの仕様及び共通インターフェース等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し、要件などの検討及び策定を行った上で、通信システム及び情報共有システムの開発及び各種試験に反映させる。

当所は無人航空機と有人航空機の空域共有に必要な技術として、航空管制等に用いられるマルチラレーション技術を応用した有人機位置探知システムを開発する。

3. 研究成果

令和元年度は、モードSトランスポンダ搭載機の位置を探知する実験システムを構築した。図1にシステムの構成を示す。システムは、福島ロボットテストフィールドを主受信局とし、南相馬市内3か所に受信局を配備した、図2に南相馬市内における配置を示す。受信局設置後は、モードSトランスポンダ機が発信する信号を受信し、基本探知データの取得および基本評価を実施した。

4. まとめ

無人航空機と有人航空機の空域共有に必要な技術とし

て、マルチラレーション技術を応用した有人機位置探知システムの開発分担のうち、モードSトランスポンダ搭載機の位置を探知する実験システムを構築した。また、RTF および南相馬市内に地上局を配備し、データ収集および基本評価を行った。

掲載文献

[1] “無人航空機の遠隔からの機体識別技術などの研究開発に着手,” NEDO ニュースリリース, https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101143.html, June 2019.

4 研究所報告

当研究所の令和元年度における研究所報告は、下記のとおりである。

No	発行年月	論文名	領域名	著者
		発行なし		

5 受託研究

当研究所の令和元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
空港面監視用マルチラレーションの追尾処理性能の評価支援業務	日本無線（株）	古賀 禎
成田国際空港（株）向け「GBAS整備設計等支援作業」の技術支援 ※1	（一財）航空保安無線システム協会	福島 荘之介
MV R 受託研究（その2） ※1	住友重機械工業（株）	米本 成人
（委託元からの指示により非公開）	（委託元からの指示により非公開）	坂井 丈泰
全機地上IPL試験（TC）委託作業 ※2	三菱航空機（株）	米本 成人
GIPTA(GNSS Implementation Plan Training in ASEAN)プロジェクト実施に向けての調査検討支援	（一財）航空保安無線システム協会	坂井 丈泰
平成31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	北村 光教
ノイバイ空港GBAS実証実験に向けた「電離圏調査及び電離圏脅威モデルの構築」の技術支援	（一財）航空保安無線システム協会	齋藤 享
準天頂衛星を利用したSBAS整備に係る認証作業の安全性検証技術支援	（一財）航空保安無線システム協会	渡邊 浩志
アンテナ計測実験	アルウェットテクノロジー（株）	二ッ森 俊一
MV R 受託研究 4、5及び6号機 特性試験	住友重機械工業（株）	米本 成人
AW169 搭載機器の経路損失試験	（株）ウェザーニューズ	米本 成人
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
MV R 受託研究 5及び6号機 特性試験 （再）	住友重機械工業（株）	米本 成人
ミリ波アンテナの測定支援	NECプラットフォームズ（株）	米本 成人
準天頂衛星を利用したSBASにおけるLPV提供に係る整備要件調査に係る作業支援	（一財）航空保安無線システム協会	渡邊 浩志
令和元年度「衛星測位及び測位補強サービスの性能評価に係る評価手法の指導及び検証」	（一財）日本宇宙フォーラム	北村 光教
航空機搭載気象レーダーの干渉測定	（株）三菱総合研究所	米本 成人

件 名	委 託 元	実施主任者
SWIM, FIXM, AIXM, IWXXMに関する技術動向に係る委託	(一財) 航空保安研究センター	呂 曉東
GBAS導入実務研修 (設置基準編)	成田国際空港(株)	福島 荘之介
羽田空港飛行場面可視化に向けた支援	全日本空輸 (株)	青山 久枝
(委託元からの指示により非公開)	(委託元からの指示により非公開)	マーク ブラウン
高高度無人機による制御用通信中継技術に関するアドバイザ業務	(株) 三菱総合研究所	米本 成人
羽田空港飛行場面可視化に向けた支援 (その2)	全日本空輸 (株)	青山 久枝
「CAT-III GBAS整備に関する基礎調査」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	斎藤 享
令和元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) 航空交通管制協会	岡 恵
(委託元からの指示により非公開)	(委託元からの指示により非公開)	ニッ森 俊一
ターミナル空域における空域処理能力の算出に関する調査の技術支援	(一財) 航空保安研究センター	平林 博子
L, X バンドパラボラアンテナパターン測定	NSI-MI ジャパン(株)	米本 成人
アンテナ計測実験	アルウェットテクノロジー (株)	米本 成人
IPL測定立ち合い及び機器サポート	ナビコムアビエーション(株)	河村 暁子
ミリ波アンテナ特性測定支援	NECプラットフォームズ (株)	河村 暁子

※1は前年度からの継続案件。※2は次年度までの継続案件。

6 共同研究

当研究所の令和元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
航法システム領域	タイ王国モンクット王工科大学	Ionospheric TEC Characterization Program 2015	H27.4.1 ~ R2.3.31
監視通信領域	日本無線（株）	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 ~ R2.3.31
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 ~ R3.3.31
監視通信領域	（学）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 ~ R3.3.31
航法システム領域	三菱電機（株）	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 ~ R3.3.31
航法システム領域	日本電気（株）	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 ~ R2.3.31
航空交通管理領域	関西エアポート（株）	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 ~ R2.3.31
航空交通管理領域	（大）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 ~ R3.3.31
航法システム領域	古野電気（株）	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 ~ R5.3.31
監視通信領域	（有）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 ~ R2.8.31
航法システム領域	（大）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 ~ R2.3.31
監視通信領域	（学）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の研究	H29.11.8 ~ R3.3.31
	（株）フジワラ		
監視通信領域	（大）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 ~ R5.3.31
監視通信領域	（大）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 ~ R3.3.31
監視通信領域	（株）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 ~ R2.3.31
航法システム領域	（国研）情報通信研究機構	宇宙天気現象が航空航法に与える影響及び航空航法における宇宙天気情報の活用に関する共同研究	H30.4.1 ~ R5.3.31
	（大）京都大学		
	（大）名古屋大学		
監視通信領域	（大）九州大学	クローズドパラレル空港における航空機運航に関する基礎的研究	H30.7.12 ~ R3.3.31
航空交通管理領域	（大）東北大学	レジリエンス概念に基づく航空管制官の状況認識に関する研究	H30.4.13 ~ R2.3.31
	NECソリューションイノベータ（株）		
航空交通管理領域	（学）慶應義塾大学	CD0軌道の推定精度向上のためのアルゴリズム開発に関する研究	H30.5.17 ~ R2.3.31
航空交通管理領域	（大）電気通信大学	便益バランスのためのアルゴリズム開発に関する研究	H30.7.25 ~ R3.3.31
監視通信領域	（国研）宇宙航空研究開発機構	ヘリコプタの送電線等障害物警報システムに関する研究（その3）	H30.7.1 ~ R3.3.31
	北海道放送（株）		
監視通信領域	（大）新潟大学	バイスタティック測位による航空機の監視技術の実験的研究	H30.8.22 ~ R4.3.31
監視通信領域	（大）室蘭工業大学	無人航空機の監視通信システムの研究	H30.8.22 ~ R4.3.31

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
監視通信領域	(株) ワカ製作所	光ファイバー型無線機の接続を容易にする光ファイバー無線送受信機の研究開発	H30. 8. 31 ~ R5. 7. 31
航法システム領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	首都圏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	H30. 9. 28 ~ R2. 3. 31
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	LPWA/DTN環境における光網制御管理機能の再建技術の研究	H30. 11. 14 ~ R3. 3. 31
監視通信領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	無人機運航管理への応用を想定した小型有人航空機探知技術の基礎検討	H31. 1. 30 ~ R2. 3. 31
航空交通管理領域	(大) 横浜国立大学	実データに基づいた継続降下運航軌道の推定に関する研究	H31. 4. 1 ~ R2. 3. 31
監視通信領域	日本電気 (株)	放送型自動位置情報伝送監視に関する共同研究	H31. 3. 13 ~ R3. 3. 31
監視通信領域	(大) 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	H31. 4. 1 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	ドイツ航空宇宙センター	次世代GBAS及び宇宙天気情報利用に関する共同研究	H30. 12. 20 ~ R3. 12. 20
航法システム領域	東日本旅客鉄道 (株)	GNSSを用いた列車位置検知における保護レベル算出手法の評価	R1. 6. 18 ~ R2. 3. 7
監視通信領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	バイスタティックレーダシステムの高精度・高分解能化に関する研究	R1. 6. 11 ~ R3. 3. 31
航空交通管理領域	(学) 武蔵野美術大学	リモートタワーシステムのユーザーインターフェースデザインに関する研究	R1. 8. 18 ~ R3. 3. 31
航空交通管理領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	航空交通流管理のための運航パフォーマンス評価指標の開発	R1. 7. 29 ~ R4. 3. 31
航法システム領域	三菱電機 (株)	日本周辺の高精度測位補強サービス (CLAS) の電離圏遅延量予測モデルの精度向上に関する検討	R1. 8. 23 ~ R2. 3. 31
監視通信領域	(学) 金沢工業大学	飛行体から得られるリアルタイム情報を用いた飛行特性予測の研究	R1. 9. 9 ~ R5. 3. 31
監視通信領域	日本電気 (株)	アジア太平洋地域におけるSWIM基盤の構築に向けた国際連携実験に関する研究開発	H31. 4. 1 ~ R2. 3. 31
監視通信領域	(大) 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研究	R1. 10. 7 ~ R4. 3. 31
監視通信領域	DSNA フランス航空局技術管理センター	航空機の衝突回避と無人航空機の空域統合に関する研究	R1. 11. 4 ~ R4. 11. 4
航法システム領域	(学) 立命館大学	積雪底面にあるGNSSアンテナのRTK/PPPによる測位	R2. 1. 17 ~ R3. 3. 31
	(国研) 防災科学技術研究所		
航空交通管理領域	気象庁気象研究所	航空機の動態情報取得システムからの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のための研究	H31. 4. 1 ~ R5. 3. 31

7 研究発表

(1) 第19回研究発表会（令和元年6月6日、6月7日）

1. GBAS VDBの覆域評価手法に関する研究について
航法システム領域 毛塚 敦
齊藤 真二
青山学院大学 須賀 良介
平井 翔太郎
黒田 哲史
橋本 修
2. MC/MF GBAS実験用装置の開発
航法システム領域 齋藤 享
吉原 貴之
3. 準天頂衛星システムによるSBASサービス
航法システム領域 坂井 丈泰
北村 光教
麻生 貴広
星野尾 一明
4. 後方乱気流管制間隔の詳細化と安全性及び導入効果の評価
航法システム領域 吉原 貴之
藤井 直樹
航空交通管理領域 瀬之口 敦
山田 泉
5. ADS-B位置検証技術の評価
監視通信領域 長縄 潤一
宮崎 裕己
田嶋 裕久
6. 航空機内データ通信における国際標準化動向および電磁環境評価
監視通信領域 ニッ森 俊一
森岡 和行
河村 暁子
米本 成人
北海道大学 日景 隆
関口 徹也
野島 俊雄
7. 空地統合SWIMに関する研究開発
監視通信領域 呂 曉東
森岡 和行
住谷 泰人
長縄 潤一
米本 成人
8. 成田空港のスポット出発時刻調整の適用条件に関する考察
航空交通管理領域 山田 泉
9. 中期コンフリクト検出技術の高度化に関する考察
航空交通管理領域 瀬之口 敦
平林 博子
白川 昌之
10. ハザード解析における事前確率の効率的な推定方法について
航空交通管理領域 天井 治
住谷 美登里
松岡 猛
11. 航空交通流管理と到着間隔づけの相互運用性の検討
航空交通管理領域 虎谷 大地
首都大学東京 武市 昇
航空交通管理領域 岡 恵
12. 管制経験者によるCDO運用拡大に必要な要件の検討
航空交通管理領域 平林 博子
ビークラマシハ ナラインタキトマル
虎谷 大地
13. 実験的アプローチによる固定飛行経路角降下の一検討
航空交通管理領域 ビークラマシハ ナラインタキトマル
虎谷 大地
14. 安全間隔を考慮したCCO（継続上昇運航）
横浜国立大学 上野 誠也
航空交通管理領域 平林 博子
虎谷 大地
15. グラフ探索理論に基づいた軌道最適化について
航空交通管理領域 ブラウン マーク
平林 博子
ビークラマシハ ナラインタキトマル
虎谷 大地
16. 北米便に対する上空通過機と日本出発機のモデリング
電気通信大学 村田 暁紀
高玉 桂樹
航空交通管理領域 ブラウン マーク
虎谷 大地
平林 博子
17. 空域編成に対する2つの最適化アプローチ
筑波大学 猿渡 康文
伊豆永 洋一
防衛大学校 鵜飼 孝盛
航空交通管理領域 蔭山 康太

(2) 所外発表

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
防災・減災に関連した技術研究開発への取り組み	福戸淳司 山崎浩之 福田豊	平成31年4月	海上・港湾・航空技術研究所
航空分野におけるGNSSの安全性設計	坂井丈泰	平成31年4月	鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会 列車制御・保安分野検討WG
Update on MC/MF GBAS development in Japan (日本におけるMC/MF GBASの開発状況について)	齋藤享 吉原貴之	平成31年4月	ICAO NSP 第4回合同ワーキンググループ会議 (JWG s/3)
北太平洋上空域における効率的な飛行経路検討のための可変経路の傾向分析及び分類	平林博子 マウ・ブ・ラウ ナウ・インタ・キトマル・ヒ・クランシハ	平成31年4月	日本航空宇宙学会
Collaborative Flight and Flow Information Exchange to Achieve Seamless Air Traffic Management Operation (シームレスなATM運用のための協調的な運航情報交換技術)	呂曉東 森岡和行 古賀禎 住谷泰人	平成31年4月	IEEE ISADS 2019
QoS Validation tests for Aircraft Access to SWIM by Ground Taxiing Experiments (AeroMACSを用いたSWIMアクセスのためのQoS検証実験)	森岡和行 長縄潤一 呂曉東 宮崎則彦 河村曉子 米本成人 住谷泰人	平成31年4月	The Third International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Management
Experimental Approach for Efficient Arrival Procedures with Fixed-Flight Path Angle Descent (固定降下角運用による高効率な降下運航方式の検討のための実験的アプローチ)	ナウ・インタ・キトマル・ヒ・クランシハ 虎谷大地 伊藤恵理 Jendrick Westphal(Jeppesen GmbH) Hendrik Schoniger(Jeppesen GmbH) Thomas Feuerle(Technical University of Braunschweig) Mirko Stanisak(Technical University of Braunschweig)	平成31年4月	Integrated Communications, Navigation and Surveillance(ICNS)2019
Performance of Surveillance System Depending on the Signal Environment (信号環境に依存する監視システムの性能)	宮崎裕己	平成31年4月	ICAO APANPIRG 4th Surveillance Implementation and Coordination Group
Point Source Transmitting Power Estimation of Wireless Avionics Intra-Communication Systems by Using Large-Scale FDTD Method (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の点波源送信電力推定)	二ツ森俊一 森岡和行 日景隆(北海道大学大学院情報科学研究科) 関口徹也(北海道大学大学院情報科学研究科) 山本学(北海道大学大学院情報科学研究科) 野島俊雄(北海道大学大学院情報科学研究科)	平成31年4月	2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium
Analysis of Speed Prediction Error on Oceanic Flights (洋上飛行における速度予測誤差の解析)	森亮太	平成31年4月	Journal of Navigation
航空交通の運用データの一般公開と活用 (その3)	岡恵 福田豊 中村陽一 上島一彦	平成31年4月	日本航空宇宙学会 第50期年会講演会
低高度における救急医療用ヘリコプターの飛行傾向分析	平林博子 虎谷大地	平成31年4月	日本航空宇宙学会 第50期年会講演会
Characteristics of ionospheric gradients in the transition region from magnetic low to mid-latitudes for GBAS implementation (GBASのための磁気低緯度から中緯度繊維領域の電離圏勾配特性解析)	中村真帆 齋藤享 吉原貴之	平成31年4月	ION Pacific PNT 2019 (米国航法学会2019年太平洋PNT会議)
Enhancement of Augmentation Signal Availability by SBAS Implementation with the QZSS Constellation (準天頂衛星システムを用いたSBASによる補強信号の有効性向上)	坂井丈泰 北村光教 麻生貴広	平成31年4月	ION Pacific PNT 2019 (米国航法学会2019年太平洋PNT会議)
Revaluation of spatial decorrelation parameters of atmospheric delay for GBAS (Ground-based Augmentation System) safety design (GBAS安全性設計のための大気遅延の空間非相関パラメータの再評価)	吉原貴之 齋藤享 毛塚敦 齋藤真二	平成31年4月	ION Pacific PNT 2019 (米国航法学会2019年太平洋PNT会議)
DFMC SBAS Prototype System Performance Using Global Monitoring Stations of QZSS (準天頂衛星国外監視局を用いた場合の次世代SBAS補強性能)	北村光教 坂井丈泰	平成31年4月	ION Pacific PNT 2019 (米国航法学会2019年太平洋PNT会議)
航空管制のための最適制御を用いた合流軌道最適化	虎谷大地	平成31年4月	自動車技術会
滑走路異物監視レーダー -原理から応用まで-	米本成人	平成31年4月	CQ出版株式会社 SDR&信号処理研究会
R & D activities for MIC / JCAB projects (総務省および航空局のための研究開発活動)	小瀬木滋	平成31年4月	Seminar for Enabling Future ATM/ANS through Evolving New Technologies

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Numerical Estimation of Propagation Path Loss for Wireless Link Design of WAIC System Installed on outside Aircraft Cabin Based on Large-Scale FDTD Simulation (大規模FDTD数値解析に基づく航空機外設置WAICシステム回路 設計に向けた経路損失数値解析)	関口徹也 (北海道大学大学院 情報科学研究科) 日景隆 (北海道大学大学院情 報科学研究科) 山本学 (北海道大学大学院情 報科学研究科) 野島俊雄 (北海道大学大学院 情報科学研究科) ニツ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	令和元年5月	電子情報通信学会
航空管制における新たな後方乱気流区分の導入に係る動向	吉原貴之 藤井直樹 瀬之口敦	令和元年5月	日本信頼性学会
第1回ナレッジグラフ推論チャレンジ2018開催報告ー説明性のあ る人工知能システムを目指してー	川村隆浩 (農業食品産業技術 総合研究機構) 江上周作 田村光太郎 (NRIデジタル) 外園康智 (熊本村総合研究 所) 鶴飼孝典 (熊本通研究所) 小柳佑介 (熊本通研究所) 西野文人 (熊本通研究所) 岡嶋成司 (熊本通研究所) 村上勝彦 (熊本通研究所) 高松邦彦 (神戸常盤大学) 杉浦あおい (神戸市立神戸医 療センター) 白松俊 (名古屋工業大学) 張翔宇 (名古屋工業大学) 吉崎晃司 (大阪電気通信大 学)	令和元年5月	一般社団法人 人工知能学会
ヘリコプタと小型無人航空機間の安全間隔について	虎谷大地	令和元年5月	3研連携勉強会
A statistical study of anomalous VHF propagation due to the sporadic-E layer in the air-navigation band (航空バンドVHF電波のスプラディックE層による異常伝播の統 計的研究)	坂井純 (電気通信大学) 細川敬祐 (電気通信大学) 富澤一郎 (電気通信大学) 齋藤享	令和元年5月	American Geophysical Union
Asia/Pacific Regional SWIM Implementation Options (アジア太平洋地域におけるSWIMの実現方法)	呂曉東	令和元年5月	ICAO APAC SWIM TF/3
Report of Status and Activities for Task 2-1-3 (Task2-1-3に関する進捗報告)	呂曉東	令和元年5月	ICAO APAC SWIM TF/3
光ファイバーリンクを応用した滑走路異物検知用ミリ波レーダシ ステム	米本成人	令和元年5月	応用物理学会
Data collection, storage and management at ENRI (電子航法研究所におけるデータ収集、保存・管理について)	住谷美登里	令和元年5月	韓国KIASTとの会合
Applications of the air traffic data in ENRI (航空交通データの活用)	岡恵 藤山康太	令和元年5月	韓国KIASTとの会合
航空交通データの提供と研究開発促進の取組について	岡恵	令和元年5月	日本航海学会 第140回講演会
安全にかかわる航空通信システムの動向	住谷泰人	令和元年5月	日本信頼性学会
Spatial gradients in the ionospheric delays(TECs)and scintillations associated with plasma bubbles (プラズマバブルに伴う電離圏遅延量空間勾配とシンチレーショ ンの関係)	齋藤享 吉原貴之	令和元年5月	日本地球惑星科学連合2019年大会
Durations of ionospheric gradients and plasma bubbles as ionospheric threats to GBAS (GBASにおける電離圏脅威となりうる電離圏勾配を含むプラズ マバブルの継続時間について)	中村真帆 齋藤享 吉原貴之	令和元年5月	日本地球惑星科学連合2019年大会
Study on tropospheric delay variations extracted from a short baseline analysis and their application to meteorological observation (短基線解析から抽出された対流圏遅延変動と気象学的観測への 対応に関する研究)	吉原貴之 齋藤享 毛塚敦 齊藤真二	令和元年5月	日本地球惑星科学連合2019年大会
GPS/GNSS/QZSSの基礎とシステム開発への応用	坂井丈泰	令和元年5月	日本テクノセンター
Lessons Learned from A320 RNP to xLS Flight Simulation Experiments (A320 RNP to xLS飛行シミュレーション実験から学んだ教訓)	福島荘之介 森亮太 齊藤真二 井手祐 (ANA) 本間裕士 (ANA) 辰巳安弘 (ANA)	令和元年6月	20th International GBAS Working Group(I-GWG20)
ENRI Status Report (電子航法研究所の活動報告)	福島荘之介 齋藤享 齊藤真二 吉原貴之 毛塚敦	令和元年6月	20th International GBAS Working Group(I-GWG20)

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
RESILIENCE OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS IN CONTROL TOWER (飛行場管制業務における航空管制官のレジリエンス)	Daisuke Karikawa(Tohoku University) Hisae Aoyama Tomoki Ohashi(Miyagi Gakuin Women's University) Makoto Takahashi(Tohoku University) Masaharu Kitamura(Research Institute for Technology Management Strategy Co.Ltd.)	令和元年6月	8th Resilience Engineering Association's Symposium Embracing resilience
A Quantitative Evaluation on Potential Benefits Assessment of Dynamic Airborne Reroute Procedures (DARP) (DARP運用による潜在的便益における定量的評価)	ビクラマシンハ ナヴィンダ 中村陽一 平林博子 ブラウン マーク	令和元年6月	AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2019
A Study on a Flexible Track System based on Long-term Weather Data (長期間の気象データを利用した柔軟経路システムに関する一検討)	中村陽一 蔭山康太	令和元年6月	AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2019
SCAS試行再開後の評価について(Additional time in Terminal Airspace(KPI08)の算出)	岡恵	令和元年6月	CARATS 航空交通流時間管理検討WG
Stream4のCFDT変更量	岡恵	令和元年6月	CARATS 航空交通流時間管理検討WG
Status of DFMC SBAS Experiments with the QZSS Constellation (準天頂衛星システムを用いたDFMC SBASの実験の状況)	坂井丈泰	令和元年6月	DFMC SBAS JWT
Analyses on Error Propagation Characteristics of a Mathematical Model for Estimating Air Traffic Control Difficulty (航空管制難度の推定のための数学モデルの伝播誤差特性の解析)	長岡栄 マーカ・ブラウン デラエー・タニエル (ENAC)	令和元年6月	EURO 2019(30th European Conference on Operational Research)
CARATS activities for ATFM with CFDT (CFDTを用いたATFMに資するCARATSの活動)	原口祐樹 (航空局) 虎谷大地 岡恵 アントン・レハ・森アドリアナ (JAXA)	令和元年6月	FATS WG/26
RNP2 Reduced Lateral Separation Standard within Radar Coverage (レーダー環境下におけるRNP2短縮横間隔基準)	森亮太 大橋牧人 (航空局)	令和元年6月	FATS WG/26
MSAS System Development (MSASのシステム開発)	齋藤享	令和元年6月	ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop
GBAS/SBAS Implementation Perspective -Japan (日本のGBAS/SBAS導入の方向性)	齋藤享	令和元年6月	ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop
System Certification and Implementation - Japan (日本におけるシステム認証と導入について)	齋藤享	令和元年6月	ICAO APAC GBAS/SBAS implementation workshop
Consideration of AeroMACS in interference from satellite C2 link (衛星C2リンクからのAeroMACS干渉の考察)	米本成人 森岡和行 河村暁子	令和元年6月	ICAO RPASP WG2
Status Update on 1030MHz Signal Environment Evaluation Based on RF Measurements Guidance Material (RF測定マニュアルに基づく1030MHz信号環境評価の更新)	大津山卓哉 宮崎裕己	令和元年6月	ICAO SP/ASWG/TSG
Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture (新Common Clock構成に関するDoc 9924の改定草案)	本田純一 宮崎裕己 角張泰之 古賀禎 大津山卓哉	令和元年6月	ICAO監視パネル (SP) 第9回TSG会議
Update of Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (ICAO S-SMGCS(Doc9830)における監視マテリアルの改定)	Ori Shloosh (IATAS) 宮崎裕己	令和元年6月	ICAO監視パネル (SP) 第9回TSG会議
Additional-time in Terminal Airspace(KPI08) (ターミナル空域での飛行時間の増加)	岡恵 蔭山康太	令和元年6月	Performance Benchmarking Working Group
Measurement Validation of Hybrid Electromagnetic Field Analysis Method for Airport Surface Including Slope Ground in VHF Band (スロープを有する空港面電磁界解析におけるハイブリッド手法有効性のVHF帯実験的評価)	黒田哲史 (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)	令和元年6月	Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)
羽田空港の交通流解析と後方乱気流管制方式における航空機区分の見直しの動き	吉原貴之 藤井直樹 瀬之口敦	令和元年6月	航空交通気象センター首都圏班 合同勉強会
航跡データを用いた悪天の影響を受ける交通流に関する分析	平林博子	令和元年6月	航空交通気象センター首都圏班 合同勉強会
気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究	瀬之口敦	令和元年6月	航空交通気象センター首都圏班 合同勉強会
SCAS試行運用時のデータ解析とCFDT成功率シミュレーションの妥当性検討	虎谷大地	令和元年6月	航空交通流時間管理検討WG
ADSおよびICAPの誤差に関する初期的解析	中村陽一	令和元年6月	航空交通流時間管理検討WG
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	令和元年6月	生産システム工学概論
Ionospheric gradient characterization in the transition region from low to mid-latitude (中低緯度遷移領域における電離圏勾配の特性解析)	中村真帆 齋藤享 吉原貴之	令和元年6月	第20回国際GBASワーキンググループ会議

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Impacts of ionospheric scintillation on GAST-D integrity monitors (GAST-D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)	齋藤享 吉原貴之	令和元年6月	第20回国際GBASワーキンググループ会議
Update on MC/MF GBAS development by ENRI (電子航法研究所における複数衛星系・複数周波数GBASの開発状況)	齋藤享 吉原貴之	令和元年6月	第20回国際GBASワーキンググループ会議
無人航空機の飛行が与える航空交通管理への課題	平林博子	令和元年6月	電子情報通信学会 安全性研究会
モデルパラメータの感度解析と入力誤差の影響 --航空管制の難度指標による例--	長岡栄 ブライアン・マク	令和元年6月	日本航海学会 AUNAR研究会
航空管制レーダー画面のレーダ調整席支援ツールの開発	川越佑太 (NECソリューションイノベータ(株)) 青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	令和元年6月	日本人間工学会第60回大会
航空管制業務のタスク処理プロセスにおける処理待ちタスクの影響	青山久枝 飯田裕康 (大原記念労働科学研究所) 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	令和元年6月	日本人間工学会第60回大会
非定常時における適切な空港運用を導くための方法論に関する研究	西澤優里 (日本大学大学院) 青山久枝 鳥居塚崇 (日本大学)	令和元年6月	日本人間工学会第60回大会
航空分野における安全への取り組み	中島徳顕	令和元年6月	リスク・レジリエンス工学概論
空港面に適したVHF帯ハイブリッド電波伝播解析	須賀良介 (青山学院大学) 毛塚敦 橋本修 (青山学院大学)	令和元年6月	電子情報通信学会 論文誌C
Introduction to the Fifth ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017) (第5回電子航法研究所ATM/CNSに関する国際ワークショップの紹介)	小瀬木滋 古賀禎 呂曉東 坂井丈泰	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of 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 古賀禎 住谷泰人	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of the 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Development of a Ground Subsystem Prototype for Ground-Based Augmentation System (GBAS) Approach Service Type D (GAST-D) and the Evaluation of Its Performance in a low magnetic latitude region (GBASの地上サブシステムの開発と低磁界の経度での性能評価)	吉原貴之 齋藤享 毛塚敦 星野尾一明 福島莊之介 齋藤真二	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of 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)	T. Feuerle (Institute of Flight Guidance, Technische Universität Braunschweig) M. Stanisak (Institute of Flight Guidance, Technische Universität Braunschweig) 齋藤享 吉原貴之 A. Lipp (Eurocontrol Experimental Centre)	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of the 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Interoperability of the ENRI GAST-D Ground-Station Prototype with Different Airborne Software Implementations (ENRIの地上における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 M. Stanisak (Institute of Flight Guidance, Technische Universität Braunschweig) 吉原貴之 T. Feuerle (Institute of Flight Guidance, Technische Universität Braunschweig) A. Lipp (Eurocontrol Experimental Centre)	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of the 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
ADS-B latency estimation technique 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	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of 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イ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 Camille Chomel (ENAC) 古賀禎 宮崎裕己 角張泰之	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of the 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
HF-START: Application in aid of radio communications/ navigation (HF-START: 無線通信/航法援助への応用)	K. Hozumi (NICT) M. Ishii (NICT) 齋藤享 T. Maruyama (NICT) H. Nakata (Chiba University) T. Tsugawa (NICT)	令和元年6月	Air Traffic Management and Systems -Selected Papers of the 5th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2017)
Measurement of Radiation Power from an Aircraft FMCW Radar Altimeter for Investigating Spectrum-Sharing Conditions with Wireless Avionics Intra-Communication Systems (航空機内データ通信機器との周波数共用に向けた航空機電波高度計放射電力の測定)	二ツ森俊一 宮崎則彦 関口徹也 (北海道大学大学院情報科学研究科) 日景隆 (北海道大学大学院情報科学研究科)	令和元年7月	2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
A Large Scale FDTD Analysis of Cross Polarization Characteristics for Wireless Link Design of 4.4GHz-band WAIC Systems inside and outside Aircraft Cabin (4.4GHz帯WAICシステム無線回線設計のための航空機内外における交差偏波特性大規模FDTD数値解析)	関口徹也（北海道大学大学院情報科学研究科） 日景隆（北海道大学大学院情報科学研究科） 山本学（北海道大学大学院情報科学研究科） 野島俊雄（北海道大学大学院情報科学研究科） 二ツ森俊一 森岡和行 河村曉子 米本成人	令和元年7月	2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting
Class B: GNSS Positioning Program (クラスB：GNSS測位計算プログラム)	坂井丈泰	令和元年7月	GNSSサマースクール
平行滑走路におけるTCAS RA発生に関する調査メモ	白川昌之 瀬之口敦	令和元年7月	管制課等への報告
第20回国際GBAS WG会議（I-GWG20）の概要	福島荘之介	令和元年7月	新進入・出発方式WG会議
航空分野におけるGNSSのセキュリティ	坂井丈泰	令和元年7月	鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会 列車制御・保安分野検討WG
Three-Dimensional-Printed W-Band High-Gain Reflector Fresnel Lens Antenna Based on Acrylonitrile Butadiene Styrene Plastic (3Dプリンタを用いて構築するW帯高利得反射型フレネルレンズアンテナ)	二ツ森俊一 坂本信弘 曾我登美雄	令和元年7月	電子情報通信学会
バスタティック散乱計測のための光ファイバー接続型ミリ波レーダシステムの試作	米本成人 二ツ森俊一 河村曉子 森岡和行 金田直樹 坂本信弘	令和元年7月	電子情報通信学会 MWP研究会
[依頼講演]在空機測定に基づく1090MHz帯民間航空監視信号の狭帯域モデル化	長縄潤一 宮崎裕己	令和元年7月	電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会
大規模FDTD解析を用いた4.4GHz帯WAICシステムのための機外観測面における伝搬特性推定	二ツ森俊一 森岡和行 河村曉子 米本成人 関口徹也（北海道大学大学院情報科学研究科） 日景隆（北海道大学大学院情報科学研究科） 山本学（北海道大学大学院情報科学研究科） 野島俊雄（北海道大学大学院情報科学研究科）	令和元年7月	電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会
GBAS VDBの覆域劣化とシステムへの影響評価	毛塚敦 齊藤真二	令和元年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
3Dプリンタを用いて構築するW帯ミリ波レーダ用ABS樹脂製反射型フレネルレンズアンテナの設計および試作評価	二ツ森俊一 坂本信弘 曾我登美雄	令和元年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
Update Status of SMGCS Standards (A-SMGCS規程書類の更新状況)	宮崎裕己	令和元年7月	ベトナム国とのMLAT連携会議
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6	天井治	令和元年8月	CARATS 高規格RNAV SG会議
EUROCAE WG-114 Kick-Off Meeting Presentation (EUROCAE WG-114キックオフミーティングプレゼンテーション)	井上諭 米本成人	令和元年8月	EUROCAE WG-114(A1)
User Interface Design for Remote Small Airport Operation (小規模遠隔型飛行場援助業務のためのユーザーインタフェース設計)	井上諭 山崎和彦（武蔵野美術大学） 菅野太郎（東京大学大学院）	令和元年8月	International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies
Detecting plasma bubbles by HF radio waves (プラズマバブルをHF電波で捉える)	齋藤享	令和元年8月	PSTEP Science Nuggets No.24
航空機の拡張型到着管理システムの研究	伊藤恵理	令和元年8月	航空局
講義4 だまされないGPS	坂井丈泰	令和元年8月	セキュリティ・ネクストキャンプ
CARATS Open Data用ツール(PlotTrack,PlotSurface,MakeApt)	岡恵 福田豊 中村陽一	令和元年8月	CARATS Open Dataに添付して航空局から提供
Japan's Effort to A-SMGCS:Data-Driven and Simulation-Based Research Activities on Airport Surface Traffic Flow (A-SMGCSにおける日本の取り組み：交通データ解析およびシミュレーションを基盤とした空港面交通流の研究)	山田泉 交企課国際業務室（国土交通省航空局）	令和元年8月	ICAO DGCA/56
Foreign Objects and Debris(FOD) detecton systems based on the millimeter wave radar technologies (ミリ波レーダ技術を利用した滑走路異物検出システム)	米本成人 二ツ森俊一 河村曉子 森岡和行 金田直樹 坂本信弘	令和元年8月	ICAO FSMP

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
GNSS測位における着雪、積雪の影響と積雪センサとしての利用	吉原貴之 本吉弘岐（防災科学技術研究所） 齋藤享 毛塚敦 山口悟（防災科学技術研究所）	令和元年8月	測位技術振興会 第1回研究講演会
オントロジー技術を用いた航空交通情報共有の高度化	江上周作 呂曉東 古賀禎 住谷泰人	令和元年8月	第48回人工知能学会セマンティックウェブとオントロジー研究会
OFC-PPSRにおける倍スタティッククラッタに関する一検討	渡邊優人 本田純一 大津山卓哉	令和元年8月	電子情報通信学会 論文誌B
OFC-PPSRを用いた空港近傍監視に関する実験的検討 - 一次監視レーダとのレンジプロファイル比較 -	渡邊優人 本田純一 大津山卓哉	令和元年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
在空機を利用した覆域シミュレータ検証法の基礎検討	長縄潤一 宮崎裕己 Karma Wangchuk(Bhutan Civil Aviation Authority) Sangay(Department of Air Transport)	令和元年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
高度の計測方法の違いによる測定高度のずれと補正方法 --有人航空機と小型無人航空機の位置情報共有の観点から--	虎谷大地 平林博子 河村曉子	令和元年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
Report on ISADS 2019 (第14回自律分散システム国際会議の報告)	呂曉東	令和元年9月	IEICE Communications Society GLOBAL NEWSLETTER
GNSS and Satellite-Based Augmentation Systems (GNSSとSBAS)	坂井丈泰	令和元年9月	17th BroadSky Workshop(第17回BroadSkyワークショップ)
Long-Distance Coherent Signal Transmission and Reception of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Runway Foreign Object Debris Detection (滑走路面異物探知のための光ファイバ接続型ミリ波レーダに適用する長距離コヒーレント信号送受信技術)	二ツ森俊一 森岡和行 河村曉子 米本成人	令和元年9月	44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves
Queue-based modeling of the aircraft arrival process at a single airport (航空機の空港への到着プロセスを模擬する待ち行列モデル)	伊藤恵理 Mihaela Mitici(デルフト工科大学)	令和元年9月	Aerospace, Air Transportation-Operations and Management
CARATSオープンデータ概要説明	中村陽一 岡恵	令和元年9月	CARATSオープンデータ活用促進説明会
空港面交通データの活用について	山田泉	令和元年9月	CARATSオープンデータ活用促進説明会
New OAS Software (新しい障害物評価表面ソフトウェア)	福島荘之介	令和元年9月	ENRI Webサイト上 (http://www.enri.go.jp/cnspub/fks442/oas_from.html)
Update on the GBAS ionosphere threat model improvement in Japan (日本におけるGBAS電離圏脅威モデルの改良状況)	齋藤享 中村真帆 吉原貴之	令和元年9月	ICAO APANPIRG CNS-SG/23
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) 坂井純(電気通信大学) 富澤一郎(電気通信大学)	令和元年9月	ICAO APANPIRG CNS-SG/23
CRM and OAS program (CRMとOASプログラム)	森亮太	令和元年9月	ICAO IFPP/15-2
Designing Ground-based Interval Management(GIM) for aircraft arrival traffic at Tokyo International Airport (東京国際空港の到着航空交通を対象にしたGIMの設計について)	伊藤恵理 大津山卓哉	令和元年9月	ICAO AIRB
1030 MHz Signal Environment Based on RF Measurements GM (RF測定マニュアルに基づく1030MHz信号環境)	大津山卓哉 宮崎裕己	令和元年9月	ICAO SP/ASWG
Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture (新Common Clock構成に関するDoc 9924の改定草案)	本田純一 宮崎裕己 角張泰之 古賀禎 大津山卓哉	令和元年9月	ICAO監視パネル 第10回航空機監視作業部会
Update of Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (ICAO S-SMGCS(Doc9830)における監視マテリアルの改定)	宮崎裕己 Ori Shloosh (IATAS)	令和元年9月	ICAO監視パネル (SP)第10回ASWG会議
Evaluation of impacts of ionospheric scintillation noises on GAST-D integrity monitors (電離圏シンチレーションによるGAST-Dインテグリティモニタ に対する雑音増加の影響評価)	齋藤享 吉原貴之	令和元年9月	ION GNSS+ 2019
The latest status of Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) and its future expansion (準天頂衛星システムの最新状況及び将来の拡張)	坂井丈泰 小暮聡(内閣府)	令和元年9月	ION GNSS+ 2019 (米国航法学会2019年GNSS+会議)
Ionospheric Effects on GNSS for Aviation (航空GNSSに対する電離圏の影響)	齋藤享	令和元年9月	LAPAN International Symposium on Space Science
研究室紹介	齋藤享	令和元年9月	PSTEP News Letter

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Real-time 3-D ionospheric tomography over Japan with GNSS observations (GNSS観測を用いた日本上空のリアルタイム3次元電離圏トモグラフィ)	齋藤享 山本衛 (京都大学・生存圏研) 齊藤昭則 (京都大学・理) C. -H. Chen (台湾・国立成功大)	令和元年9月	URSI-Japan Radio Science Meeting 2019
Photonic-Assisted Millimeter Wave Radar for FOD Detection on Runways (滑走路上の異物検出のための光通信を利用したミリ波レーダー)	米本成人	令和元年9月	URSI-Japan Radio Science Meeting 2019
電子航法研究所におけるヘリコプタ障害物監視支援用ミリ波レーダ技術の研究開発	ニッ森俊一	令和元年9月	回転翼航空機運航安全研究会
巻頭言	小瀬木滋	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) 研究発表会の概要	松永博英	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) GBAS VDBの覆域評価手法に関する検討	毛塚敦 齊藤真二 須賀良介 (青山学院大学) 平井翔太郎 (青山学院大学) 黒田哲史 (青山学院大学) 橋本修 (青山学院大学)	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) 準天頂衛星システムによるSBASサービス	坂井丈泰	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) ADS-B位置検証技術の評価	長縄潤一 宮崎裕己	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) 成田空港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	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) 空域編成に対する2つの最適化アプローチ	猿渡康文 (筑波大学) 伊豆永洋一 (神奈川大学) 鵜飼孝盛 (防衛大学校) 蔭山康太	令和元年9月	航空無線第101号
(電子研特集) 第6回EIWAC2019開催のお知らせ	研究計画課	令和元年9月	航空無線第101号
航空交通情報共通の高度化に向けたオントロジーの構築と応用	江上周作 呂曉東 古賀禎 住谷泰人	令和元年9月	合同エージェンツワークショップ&シンポジウム2019
アカリコドールにおける複線化による衝突リスク低減策の効果の解析	天井治	令和元年9月	国土交通省 航空局 管制課 空域調整整備室
特集「2018年度研究会優秀賞受賞論文紹介」 Mapping Scienceーナレッジグラフに基づく科学技術マップの高度検索と対話的操作の実現	江上周作 渡邊勝太郎 (科学技術振興機構) 川村隆浩 (農業食品産業技術総合研究機構)	令和元年9月	人工知能学会誌 Vol.34 No.5
電離圏3次元トモグラフィの衛星測位補正への応用について	齋藤享 Suzelle Meyer	令和元年9月	第13回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
航空機トランスポンダの受信信号から得られる高頻度水平風の特徴評価と気象観測データとしての活用	吉原貴之 瀬之口敦 毛塚敦 齋藤享 古賀禎 古本淳一 (メトロウエザー株式会社)	令和元年9月	第13回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
電子航法研究所において実施したRECAT導入効果の評価について	吉原貴之 虎谷大地 山田泉	令和元年9月	第2回RECAT導入検討WG (航空局, JAL, ANA, JAXA, ENRIが参加予定)
レーダ観測位置を併用したTDOA測位	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 稲葉敬之 (電通通信大学)	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
事象と出来事概念を用いたハザードの前提条件の特定	天井治 住谷美登里	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
航空管制に関する安全性評価に用いるデータの管理について	住谷美登里	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
アンテナ後方の建物を考慮したVHF帯における空港面電磁界解析手法の有効性の測定評価	黒田哲史 (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)	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
航空機前方監視用76 GHz小電力ミリ波レーダにおけるレドーム影響測定評価	ニッ森俊一 宮崎則彦	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
空港近傍および空港面監視型OFC-PPSR実験システム	渡邊優人 本田純一 大津山卓哉	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
誘電体スラブを用いた集束型誘電体レンズホーンアンテナの位相改善効果に関する実験的評価	黒田哲史（青山学院大学） 橋本真輝（青山学院大学） 毛塚敦 須賀良介（青山学院大学） 橋本修（青山学院大学）	令和元年9月	電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
機能共鳴分析手法を用いた航空管制業務のモデル化(1) -状況変化に対処する航空管制官のパフォーマンス調整のモデル化-	狩川大輔（東北大学大学院工学研究科） 青山久枝 大橋智樹（宮城学院女子大学） 高橋信（東北大学大学院工学研究科） 北村正晴（株式会社研究）	令和元年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
機能共鳴分析手法を用いた航空管制業務のモデル化(2) 処理待ちタスクと航空管制官のワークロードの関係性に関する考察	青山久枝 飯田裕康（大原記念労働科学研究所） 狩川大輔（東北大学大学院工学研究科）	令和元年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
空海面混雑量評価の方法論に関する検討	西澤優里 山田泉 青山久枝 鳥居塚崇（日本大学）	令和元年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
航空管制官の管制指示判断を支援するための情報提供画面	平林博子 ナガノ・タカ・キタムラ・ヒロシ 虎谷大地	令和元年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
Enriching Geospatial Representation for Ontology-based Aviation Information Exchange (オントロジーに基づく航空情報交換のための地理空間表現の強化)	江上周作 呂曉東 古賀禎 住谷泰人	令和元年10月	2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics
Performance Degradation Investigations of Helicopter Forward-Looking 76 GHz Millimeter-Wave Radar Due to Radome (ヘリコプタ前方監視用76GHz帯ミリ波レーダのレドームによる性能劣化評価)	ニッ森俊一 宮崎則彦	令和元年10月	2019 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
MSAS: Satellite-Based Augmentation System (SBAS) by QZSS (MSAS: QZSSによる静止衛星型補強システム (SBAS))	坂井丈泰	令和元年10月	37th ICSSC (第37回国際衛星通信会議)
電子航法研究所におけるSBASの研究開発	坂井丈泰	令和元年10月	CARATS GNSSアドホック会合
EN-6「気象情報から運航情報、容量への変換」に関する研究進捗報告	瀬之口敦 吉原貴之	令和元年10月	CARATS第38回ATM検討WG/第37回航空気象検討WG合同会合
Application of Merging Optimization to an Arrival Manager Algorithm considering Trajectory-based Operations (軌道ベース運用を考慮した到着管理システムへの合流最適化の応用)	虎谷大地	令和元年10月	ELSEVIER
DME SIS Accuracy in Japan (日本におけるDMEのSIS精度)	毛塚敦	令和元年10月	EUROCAE WG-107
Worst Case Analysis of DME Tropospheric Propagation Delay (DME対流圏伝搬遅延のワーストケース解析)	毛塚敦 上林篤史 吉原貴之 藤井直樹	令和元年10月	EUROCAE WG-107
Interference Pass Loss measurement at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft (ビーチクラフトB300型機を用いたWAIC周波数帯における干渉経路損失測定)	ニッ森俊一	令和元年10月	EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary
Measurement of Radiation Power Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft (ビーチクラフトB300型機を用いたWAIC周波数帯における放射電力測定)	ニッ森俊一	令和元年10月	EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary
SBASの動向	坂井丈泰	令和元年10月	GPS/GNSSシンポジウム
Update on GBAS research and development in Japan (日本におけるGBASに関する研究開発状況について)	齋藤享 吉原貴之 中村真帆	令和元年10月	ICAO NSP JWG/5
Anomalous propagation of VOR/ILS LOC signals by the sporadic E layer (VOR/LOC信号のスボラディックE層による異常伝播について)	齋藤享 細川敬祐（電気通信大学） 坂井純（電気通信大学） 富澤一郎（電気通信大学）	令和元年10月	ICAO NSP JWG/5
Considerations on space weather information service for GNSS (GNSS向け宇宙天気情報サービスについての考察)	齋藤享	令和元年10月	ICAO NSP JWG/5
Bi-static Millimeter Wave Radar Connected by Radio over Fiber for FOD Detection on Runways (滑走路面異物検出のためのファイバ無線でつながれたバイスタティックミリ波レーダー)	米本成人 ニッ森俊一 河村暁子 森岡和行 金田直樹 坂本信弘	令和元年10月	2019 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications
Macroscopic Analysis to Identify Stage Boundaries in Multi-Stage Arrival Management (航空機の到着管理における複段階の境界を同定するための巨視的な解析)	伊藤恵理 宮沢与和 Michael Finke(DLR) Juergen Rataj(DLR)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Simulation Study on the Interoperability between Air Traffic Flow Management and Tactical Arrival Management (航空交通流管理と戦略的到着管理の相互運用性に関するシミュレーション研究)	虎谷大地 岡恵 武市昇 (首都大学東京)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
A Study on Factors Affecting Weather Avoidance using Actual Track Data (航跡を用いた悪天回避の要因に関する一検討)	中村陽一 瀬之口敦 岡恵 福田豊	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Innovations for Future Aircraft Operation and Standardization (将来の航空機運用と標準化のためのイノベーション)	小瀬木滋	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Air/Ground SWIM Integration to Achieve Information Collaborative Environment (協調的な情報環境のための空地SWIMの結合)	Xiaodong Lu 森岡和行 江上周作 古賀禎 住谷泰人 長縄潤一 米本成人	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Numerical Simulation of ILS Signal Interferences and Software Development (ILS信号干渉の数値シミュレーションとソフトウェア開発)	本田純一 松永圭左 毛塚敦 田嶋裕久	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
ADS-B Coverage Design in Mountainous Terrain (山岳地域におけるADS-B覆域設計)	長縄潤一 Karma Wangchuk(Bhutan Civil Aviation Authority) Sangay(Department of Air Transport)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Towards Automatic Trajectory Modification for Reducing Air Traffic Complexity Using an ATC Difficulty Index (ATC難度指標を用いる航空交通複雑性軽減のための自動軌道修正に向けて)	長岡栄 平林博子 マーク・ブラウン	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Evaluating Speed Logics for Flight-deck Interval Management (Flight-deck Interval Management用速度制御則を評価)	ティモ・リーデル 伊藤恵理 高橋正樹 (慶応義塾大学) Thomas Feuerle(ブラウンシュヴァイク工科大学) Paul Frost (ブラウンシュヴァイク工科大学)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Development of MC/MF GBAS testbed in Japan and initial experiments for evaluating its performances (日本におけるMC/MF GBASテストベッドの開発と性能検証のための初期実験)	吉原貴之 齋藤享 毛塚敦	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Monitoring of plasma bubbles by VHF radar for GBAS (GBASのためのVHFレーダーによるプラズマバブル監視)	齋藤享 S. Supriadi (インドネシア航空宇宙庁) 津川卓也 (NICT) K. Hozumi (NICT) 石井守 (NICT) P. Jamjareegulgarn (タイ・KMITLPC) P. Supniti (タイ・KMITL) 大塚雄一 (名古屋大学)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Calculation of Ground Obstacles Collision Probability under ILS Approach (ILS進入における地上障害物衝突確率の計算)	森亮太 Masato Fujita (Japan Coast Guard Academy)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
A Research Activity on ADS-B Vulnerability Countermeasures (ADS-B脆弱性対策に関する研究活動)	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
A Human-in-the-Loop Simulation Study on the Requirements of Air Traffic Control Operations for expanding Continuous Descent Operations (ヒューマンインザループシミュレーションによる継続降下運航の運用拡大に関する管制運用要件の検討)	平林博子 Navinda Wickramasinghe 虎谷大地	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
Nearfield Inspection of Navigation Systems with UAVs – First Results from the NAVANT Project (UAVを用いた航法システムの近傍界測定におけるNAVANTプロジェクトの最初の試験)	Robert Geise (University of Braunschweig) Alexander Weiss (University of Braunschweig) Björn Neubauer (University of Braunschweig) Torsten Fritzel (Aerobox UG) Rüdiger Strauss (Aerobox UG) Hans Steiner (Aerobox UG) Fabian Faul (Technical University of Munich) Thomas Eibert (Technical University of Munich) 本田純一	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
A Simulation Based Study for Performance Evaluation of Fixed Flight-Path Angle Descent (シミュレーションによる固定飛行経路角運用の運航性能評価)	ヴァンダ・キスマル・ヒェラマンソン 虎谷大地 Jendrick Westphal(Jeppesen) Thomas Feuerle(TU Braunschweig)	令和元年10月	The 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS
航空航法分野の標準化活動をめざして	小瀬木滋 福田豊	令和元年10月	航空イノベーション研究会

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
運航管理データを用いた有視界飛行方式の飛行傾向分析	平林博子	令和元年10月	航空局運用課への報告
衛星測位のセキュリティ	坂井丈泰	令和元年10月	第14回測位技術懇話会
レーダー環境下RNP2の横間隔の検討方法について	森亮太	令和元年10月	第40回高規格RNAV検討SG
航空機窓用電磁波シールド材の特性評価に関する研究	一色智裕（金沢工業大学大学院） 小栗和幸（金沢工業大学） 米本成人 日當瀬政彦（株式会社フジワラ） 今井秀秋（株式会社フジワラ）	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
電子航法研究所における無人航空機研究への取り組み	中島徳顕 平林博子 河村暁子 虎谷大地 二ッ森俊一	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
広大な農地の短時間観測値を可能とする固定翼UAVを用いた映像伝送システム	上羽正純（室蘭工業大学大学院） 北沢祥一（室蘭工業大学大学院） 古賀禎 本田純一	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
飛行中の速度更新タイミングの影響評価	森亮太	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
データ駆動型の待ち行列モデルを適用した東京国際空港における到着遅延予測	伊藤恵理 Mihaela Mitici(デルフト工科大学)	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
航跡データを用いた悪天の影響を受ける交通流に関する分析	平林博子 江口昌広 瀬之口敦 中村陽一	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
円弧旋回を伴う精密進入方式の設計法	福島荘之介 齊藤真二 森亮太	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
低高度空域での運航管理技術	福田豊 中島徳顕 平林博子	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
ポイントマージシステムシミュレータを用いた東京国際空港へのRECAT導入効果に関する一考察	虎谷大地 吉原貴之 藤井直樹 瀬之口敦 山田泉	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
東京国際空港における到着便の高密度な交通流制御に関する一考察	宮沢与和 伊藤恵理	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
無人航空機と有人航空機との衝突に関係するハザードの解析について	天井治	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
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	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
機械学習による不適切な進入の同定	森亮太	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
離着陸航空機によるGBAS基準局への影響	齊藤真二 福島荘之介	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
高高度空域における地上航法システムの利用可能性	福田豊 毛塚敦 上林篤史	令和元年10月	第57回飛行機シンポジウム
GBAS電離圏脅威モデルのためのプラズマバブルに伴う電離圏勾配の視線方向依存性解析	中村真帆 齋藤享 吉原貴之	令和元年10月	地球電磁気・地球惑星圏学会 第146回総会及び講演会
ADS-B方式高度監視システムについて	金田直樹 松永圭左 宮崎裕己	令和元年10月	日本航海学会 第141回講演会・研究会 航空宇宙研究会
航空交通システムの研究開発の動向と展望ー電子航法研究所 研究長期ビジョン2019ー	福田豊	令和元年10月	日本航海学会 第141回講演会・研究会 航空宇宙研究会
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）	令和元年10月	名古屋大学宇宙地球環境研究所国際共同研究報告書
Realtime Remote Sensing of Water/Ice layer on the Runways（滑走路上の水/氷の実時間リモートセンシング）	米本成人	令和元年11月	3rd PEM International Workshop in Ise (PEM2019)
セクタ形状を考慮した軌道最適化手法	虎谷大地	令和元年11月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
CARATSオープンデータの概要説明	岡恵	令和元年11月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Altitude Reference System for Small Unmanned Aircraft Systems to Resolve Discrepancy of Altitude with Manned Aircraft --Flight Test and Recommendation-- (有人航空機との高度のずれを解消するための小型無人航空機の高度計規正 --飛行実験と提案--)	虎谷大地 古賀禎 平林博子 河村暁子 久保大輔 (JAXA)	令和元年11月	DRONE ENABLE/3 ICAO's UAS Industry Symposium
The Research and Development of SWIM at ENRI (ENRIにおけるSWIMの研究開発)	呂曉東	令和元年11月	Embry-Riddle Aeronautical University
Equatorial plasma bubble effect on GNSS for aviation (赤道プラズマバブルの航空GNSSに対する影響)	齋藤享	令和元年11月	European Space Weather Week 2019
Flight Data Publication Service Use Cases and Requirements (フライトデータパブリケーションサービスのユースケースと要件)	ブ'ラウン・マーナ Kim Brevik (EUROCONTROL) Diana Liang (FAA)	令和元年11月	ICAO ATMRPP WG/38
Calculation of collision risk for reduced time-based separation minima (短縮時間間隔の衝突危険度の計算)	森亮太	令和元年11月	ICAO SASP-WG/33
Opportunistic-Taegat-Measurement-Based Narrowband Statistical Modeling of Civil Aviation Surveillance Signal at 1090 MHz (在空中機測定に基づく1090MHz民間航空信号の統計的狭帯域モデル化)	長縄潤一 宮崎裕己	令和元年11月	IEEE
Electromagnetic Field Strength Evaluations at 4 GHz Wireless Avionics Intra-Communication Band Using Experimental Aircraft —Measurements Assuming WAIC Transmitters Installed Inside and Outside of Beechcraft B300 Aircraft— (実験用航空機を用いた4 GHz帯航空機内データ通信用周波数帯における電磁界強度特性評価 -ビーチクラフトB300型機の機内外にWAIC送信機設置を想定した測定-)	ニッ森俊一 森岡和行 宮崎則彦 関口徹也 (北海道大学大学院情報科学研究科) 日景隆 (北海道大学大学院情報科学研究科) 野島俊雄 (北海道大学大学院情報科学研究科)	令和元年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019
Demonstration results of Aircraft access to SWIM by experimental Aircraft (実験用航空機を用いたSWIMアクセラの実証実験について)	森岡和行 呂曉東 長縄潤一 江上周作 宮崎則彦 米本成人 住谷泰人 河村暁子	令和元年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019
Report on the First Knowledge Graph Reasoning Challenge 2018-Toward the eXplainable AI System- (第1回ナレッジグラフ推論チャレンジ2018開催報告-説明性のある人工知能システムを目指して-)	川村隆浩 (農業食品産業技術総合研究機構) 江上周作 田村光太郎 (NRIデジタル) 外園康智 (野村総合研究所) 鶴飼孝典 (富士通研究所) 小柳佑介 (富士通研究所) 西野文人 (富士通研究所) 岡嶋成司 (富士通研究所) 村上勝彦 (富士通研究所) 高松邦彦 (神戸常盤大学) 杉浦あおい (神戸市立西神戸医療センター) 白松俊 (名古屋工業大学) 張翔宇 (名古屋工業大学) 古崎晃司 (大阪電気通信大学)	令和元年11月	The 9th Joint International Semantic Technology Conference (JIST2019)
Research Activities in ENRI : Contributing Towards a Better World of Aviation (電子航法研究所における研究活動: より良い航空の世界に向けた貢献)	宮崎裕己	令和元年11月	航空技術の変革と国際標準に係る技術交流会
RNP to xLS進入方式の設計と検証に関する研究	福島荘之介	令和元年11月	新進入・出発方式WG会議
航空機の地上走行情報の活用	青山久枝	令和元年11月	第12回港湾空港技術講演会 in 横浜2019 (港湾研主催)
航空管制における業務支援機能の表示デザイン検討 ~業務熟練度による影響の違いの分析~	吉田悠 (㈱KDDI総合研究所) 青山久枝 井上諭 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科) 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)	令和元年11月	第170回ヒューマンインタフェース学会研究会
RNAV進入の垂直方向パス角と温度の関係	福島荘之介	令和元年11月	第1回航空機騒音勉強会
大規模災害時における空港面交通シミュレータの活用に向けた検討	荒谷太郎 (海上技術安全研究所) 山田泉 青山久枝 間島隆博 (海上技術安全研究所)	令和元年11月	第60回土木計画学研究発表会・秋大会

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
継続降下運航のもとでの航空機の到着時間予測	川岡瑠奈（慶應義塾大学） 齊藤有紀（慶應義塾大学） 井上正樹（慶應義塾大学） 虎谷大地 平林博子	令和元年11月	第62回自動制御連合講演会
GPSにおけるスプーフィングの検出方式	坂井丈泰	令和元年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
TDOAを用いた航空機位置検証法の実験的評価	長縄潤一 宮崎裕己	令和元年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
Taylor級数推定法によるTOA測位における初期値	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 稲葉敬之（電気通信大学）	令和元年11月	電子情報通信学会 論文誌B
マルチパス環境下の距離とドップラーを観測値とするTaylor級数推定法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 稲葉敬之（電気通信大学）	令和元年11月	電子情報通信学会 論文誌B
航空交通管理(ATM)と安全性について	長岡栄	令和元年11月	日本技術士会 船舶・海洋／航空・宇宙部会
DFMC SBAS規格の概要	坂井丈泰 北村光教 渡邊浩志	令和元年11月	日本航空宇宙学会 第63回宇宙科学技術連合講演会
衛星型衛星航法補強システムによる鉄道環境下における衛星測位の補強	北村光教 吉原貴之 坂井丈泰	令和元年11月	日本航空宇宙学会 第63回宇宙科学技術連合講演会
衛星型衛星航法補強システムの鉄道利用に向けたGNSS観測データの誤差特性の評価	吉原貴之 北村光教 坂井丈泰	令和元年11月	日本航空宇宙学会 第63回宇宙科学技術連合講演会
SBASによるGNSS信号認証の規格化動向	坂井丈泰 北村光教 渡邊浩志	令和元年11月	日本航空宇宙学会 第63回宇宙科学技術連合講演会
「国際標準化センター」の設立について（お知らせ）	福島莊之介	令和元年11月	プレスリリース
セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発	米本成人	令和元年11月	マイクロウェーブ展
Evaluation of Departure Pushback Time Assignment Considering Uncertainty Using Real Operational Data （実運航データを用いた不確定性環境下における出発機のプッシュバック時間指定の評価）	森亮太	令和元年12月	9th SESAR Innovation Days
Simulation-Free Runway Balancing Optimization Under Uncertainty Using Neural Network （ニューラルネットワークを用いた不確定性環境下におけるシミュレーションなしの滑走路割り当ての最適化）	森亮太 Daniel Delahaye(ENAC)	令和元年12月	9th SESAR Innovation Days
A Simulation Study of Alternative Route Structures for NOPAC Airspace Reconfiguration （NOPAC空域再編に関するルート構成のシミュレーション評価について）	ブラウン・マーク 平林博子	令和元年12月	APISAT 2019
Study on Flight Time Variation of Continuous Descent Operation with Numerical Weather Prediction Wind Data. （数値予報気象データを用いた継続降下運航の飛行時間のばらつきに関する検討）	長谷部正和（横浜国立大学） 虎谷大地 平林博子 上野誠也（横浜国立大学）	令和元年12月	APISAT 2019
Traffic Flow on NOPAC Routes （NOPAC経路の交通流について）	平林博子	令和元年12月	IPACG45
A Simulation Study of Alternative Route Structures for NOPAC Airspace Reconfiguration （NOPAC空域再編に関するルート構成のシミュレーション評価について）	マーク・ブラウン 平林博子	令和元年12月	IPACG45
Simulation study of mitigation of plasma bubble effects on GBAS using a VHF radar （VHFレーダーを用いたGBASのためのプラズマバブルの影響回避に関するシミュレーション）	Slamet Supriadi(インドネシア航空宇宙庁) 齋藤享	令和元年12月	Navigation
有人航空機との空域共有に関する機能要件整理	古賀禎 久保大輔（JAXA）	令和元年12月	NEDO有識者会議 第2回
Additional time in terminal airspace(KPI08) （空港周辺での追加時間(KPI08)）	岡恵 蔭山康太	令和元年12月	Performance Benchmarking Work Group
Application of 3-D real-time ionosphere tomography for HF-START （電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーのHF-STARTへの応用）	齋藤享	令和元年12月	PSTEPモデリング研究会
GULFSTREAM G650ER 前方底部アンテナ放射パターン解析	毛塚敦 宮崎裕己	令和元年12月	運輸安全委員会
電子航法研究所の3年間の活動報告と今後の展望 知で繋がるく航空交通を支える知と国際標準化の先端拠点	小瀬木滋	令和元年12月	海上・港湾・航空技術研究所 成果報告会
国の総合的な施策への対応（海洋開発及び首都圏空港）	福田豊	令和元年12月	海上・港湾・航空技術研究所 成果報告会

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
航跡データとレーダーエコーデータを用いた悪天回避の解析結果	中村陽一 瀬之口敦	令和元年12月	気象勉強会
ENRIでの研究（航空管制・通信）ATM/CNS	福田豊	令和元年12月	航空技術・政策・産業持論
ATFMと到着間隔づけの連結シミュレーション	虎谷大地 岡恵 武市昇（首都大学東京）	令和元年12月	航空交通流時間管理検討WG
動型二次監視レーダーを応用した「近接航空機監視システム	北折潤	令和元年12月	航空無線第102号
短期的APNT構築のためのDMEのインテグリティ保証その2	毛塚敦 横田豊八（JRANSa）	令和元年12月	第24回CARATS GNSS検討アドホック会議
交通管理のための空港面混雑量評価の検討	西澤優里（日本大学大学院） 鳥居塚崇（日本大学） 青山久枝	令和元年12月	日本人間工学会関西支部大会
Semantic Interoperability for ATM Information Exchange （ATM情報交換のための意味的相互運用性）	江上周作	令和元年12月	所内Webサーバ
Application of VHF radar for GNSS-based navigation systems （VHFレーダー観測のGNSS航法システムへの応用）	齋藤享	令和2年1月	ASEAN IVO Workshop
Air/Ground SWIM Integration for Information Assurance （情報アシュアランスのための空地統合SWIM）	呂曉東	令和2年1月	Embry-Riddle Aeronautical University
Development Overview and Discussion for FF-ICE/Execution （FF-ICE/Executionのための開発に関する検討）	呂曉東	令和2年1月	FF-ICE/Execution Project Tabletop Meeting
Bilingual Textual Similarity in Scientific Documents （科学文書における二言語テキストの類似性）	川村隆浩（農業食品産業技術 総合研究機構） 江上周作	令和2年1月	IEEE Transactions on Engineering Management
航空分野における無線利用と最近の話題	米本成人	令和2年1月	U E C 無線の会
光ファイバ無線技術を用いた航空機監視システム	角張泰之 古賀禎 米本成人	令和2年1月	一般社団法人レーザー学会
航空交通管理とデジタル変革	伊藤恵理	令和2年1月	公益財団法人 航空機国際共同開発促進基金 (IADF)
SWIMについて	住谷泰人 呂曉東	令和2年1月	航空保安研究センター勉強会
電子航法研究所の概要	武藤学	令和2年1月	国土交通省 航空保安大学校
航空機の地上走行情報とその活用	青山久枝	令和2年1月	国土交通省 航空保安大学校
航空機監視システムとマルチラテレーションの高度化	角張泰之	令和2年1月	国土交通省 航空保安大学校
「博上論文特集」都市問題の分析に向けたナレッジグラフの構築 と時間的・空間的・課題横断的な拡充手法の開発	江上周作	令和2年1月	人工知能学会誌
DMEの対流圏遅延誤差のワーストケース解析	毛塚敦 上林篤史 吉原貴之 藤井直樹	令和2年1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
3Dプリンタを用いて構築するW帯ABS樹脂製反射型フレネルレン ズアンテナの誘電体材料定数パラメータ感度特性評価	ニッ森俊一 曾我登美雄	令和2年1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
光ファイバ無線を利用したレーダ断面積測定システムによる滑走 路異物の統計的分析	米本成人 河村暁子 ニッ森俊一 森岡和行 金田直樹	令和2年1月	電子情報通信学会 MWP研究会
航空機の進入時の後方乱気流に対するLIDAR観測データの解析に ついて	藤井直樹 吉原貴之 瀬之口敦	令和2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
管制難度値の推定のための航空機軌道と飛行計画情報の関連付 の方法の一考察	長岡栄 ブランク・マーク	令和2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
レーダ位置と複数の受信時刻観測値のデータ融合	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 稲葉敬之（電気通信大学）	令和2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
近接航空機監視システムの原理と航空機監視精度	北折潤 塩見格一（福井医療大学）	令和2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
着陸機通過に伴うGBAS基準局におけるGPS受信瞬断による測位 への影響	齊藤真二	令和2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
目標距離観測値の使用によるTDOA測位誤差の改善	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸（長崎大学）	令和2年1月	電素情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス 研究会
Considerations on the GBAS reference stations at Suvarnabhumi Airport based on the 1st site survey （第1回サイトサーベイ結果に基づくSuvarnabhumi空港における GBAS基準局位置に関する考察）	齋藤享 福島莊之介 吉原貴之	令和2年1月	バンコクGBASキックオフ会議

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Ionospheric data analysis in Bangkok (バンコクにおける電離圏データ解析)	齋藤享	令和2年1月	バンコクGBASキックオフ会議
GLSによる高度運航への取り組み	福島荘之介	令和2年1月	第3航空機騒音源勉強会
Outology-Based Data Integration for Semantic Interoperability in Air Traffic Management (航空交通管理における意味的相互運用に向けたオントロジーに基づくデータ統合)	江上周作 呂曉東 古賀禎 住谷泰人	令和2年2月	14th IEEE International Conference on Semantic Computing
Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan (日本の1030/1090MHz信号環境解析結果)	大津山卓哉 宮崎裕己 本田純一	令和2年2月	ICAO SP/ASWG/TSG
Draft Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture (新Common Clock構成に関するDoc 9924の改定草案)	本田純一 宮崎裕己 角張泰之 古賀禎 大津山卓哉	令和2年2月	ICAO監視パネル (SP) 第10回TSG会議
Update of Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (ICAO S-SMGCS(Doc9830)における監視マテリアルの改定)	宮崎裕己 Ori Shloosh(IATAS)	令和2年2月	ICAO監視パネル (SP) 第10回TSG会議
Example of Position Error for WAM and ADS-B (WAMとADS-B位置の位置誤差例)	長縄潤一 宮崎裕己 大津山卓哉	令和2年2月	ICAO監視パネル (SP) 第10回TSG会議
Fuel-Saving Climb Procedure by Reduced Thrust Near Top of Climb (推力減による燃料消費削減の上昇方式)	森亮太	令和2年2月	Journal of Aircraft
デジタル技術による新しいタワースステムの開発について	井上諭	令和2年2月	航空無線技術交流会
航空機の拡張型到着管理システムとAMAN/DMAN/SMANに関する検討状況	伊藤恵理	令和2年2月	国土交通省 航空局管制部
準天頂衛星7号機の地上における可視性に関する調査	北村光教 大八木菜々子 渡邊浩志 坂井丈泰	令和2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
八丈島周辺フライトにおける測位衛星の可視性に関する調査	北村光教 渡邊浩志 坂井丈泰	令和2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
レジリエントな航空管制官の技量とトレーニング	青山久枝	令和2年2月	日本人間工学会 東北支部研究会2020
管制官の空間情報処理の神経基盤：機能的MRIを用いた研究	青山久枝 高橋信(東北大学大学院) 芳賀清憲(東北大学大学院) 三浦直樹(東北工業大学) 狩川大輔(東北大学大学院) 関口敦(東北大学加齢医学研究所) 川島隆太(東北大学加齢医学研究所)	令和2年2月	ヒューマンインタフェース学会
航空航法分野の標準化活動をめざして	小瀬木滋	令和2年2月	標準化及び認証取得におけるプラットフォーム形成に向けたシンポジウム
2周波SBASの最新動向	坂井丈泰	令和2年2月	高精度衛星測位サービス利用促進協議会(QBIC)
GNSSに対する宇宙天気現象の影響と宇宙天気情報利用可能性	齋藤享	令和2年2月	第8回宇宙天気ユーザー協議会
Proposal on Hybrid Propagation Analysis of Aperture Field Integration Method and Ray Tracing Method Suitable for Airport Surface in VHF Band (VHF帯空域のための開口面積分法と光線追跡法のハイブリッド伝搬解析に関する提案)	黒田哲史(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)	令和2年3月	14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP2020)
Measurements of Opportunistic Aircraft Signals and Verification of a Propagation Prediction Tool in Mountainous Region (在空中機信号の観測と山岳地域における電波伝搬予測ツールの検証)	長縄潤一 Karma Wangchuk(BCAA) Sangay(DoAT) Karma Gayley(BCAA) Devi Adhikari(DoAT,BCAA) 宮崎裕己	令和2年3月	14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP2020)
Experimental Evaluation on TDOA-based Aircraft Position Verification (TDOAを用いた航空機位置検証の実験的評価)	長縄潤一 宮崎裕己	令和2年3月	14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP2020)
Service assurance packet-scheduling algorithm for a future aeronautical mobile communication system (将来の航空無線通信システムのためのサービス保証型パケットスケジューリングアルゴリズム)	森岡和行 呂曉東 長縄潤一 宮崎則彦 米本成人 住谷泰人 河村曉子	令和2年3月	ELSEVIER
On "Correlation" and "Fusion" (“Correlation”と“Fusion”について(ED-240B資料))	ブラウン・マーク 井上諭	令和2年3月	EUROCAE WG-100
Difference of Integrity Risk between OR and AND Logic in System using Dual Monitor (デュアルモニタにおけるOR方式とAND方式でのインテグリティリスクの差異)	毛塚敦 横田豊八(JRANSA)	令和2年3月	EUROCAE WG-107
DME SIS Error on RNAV Route (RNAV経路におけるDMEのSIS誤差)	毛塚敦 上林篤史	令和2年3月	EUROCAE WG-107

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
Doc 9924 CP for a New Common Clock Architecture (新Common Clock構成に関するDoc 9924の改定草案)	本田純一 宮崎裕己 角張泰之 古賀禎 大津山卓哉	令和2年3月	ICAO監視パネル 第11回航空機監視作業部会
Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability during ILS Approach (ILS進入中の地上障害物への衝突確立の正確な推定)	森亮太 藤田雅人 (海上保安大学校)	令和2年3月	IEEE Access
ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する 研究開発有人航空機との空域共有に関する機能要件定義	古賀禎 NEC JAXA他	令和2年3月	NEDO DRESS 遠隔からの識別監視等の研究開発 第3回有識者委員会
Evaluating the impact of new aircraft separation minima on available airspace capacity and arrival time delay (新しい航空機の最小機体間隔が到着遅延時間に与える影響の評価)	伊藤恵理 Mihaela Mitici(デルフト工科大学)	令和2年3月	The Aeronautical Journal
国際標準化センターの設立と活動	福島莊之介	令和2年3月	一般財団法人 航空保安無線システム協会
障害物配置法を用いた航空管制のための到着軌道最適化手法 --セクタを考慮したベクタリング軌道最適化--	虎谷大地 平林博子 中村陽一	令和2年3月	計測自動制御学会
羽田空港の遅延削減を目指した拡張型到着管理システムの研究開発	伊藤恵理	令和2年2月	航空管制協会
第6回EIWAC(2019年)の開催報告	福田豊	令和2年3月	航空無線第103号
リモートタワーシステムのユーザーインタフェースデザインに関する研究	井上諭 青山久枝 郷津竜帆 (千葉工業大学) 中山立輝 (千葉工業大学) 竹内公啓 (FD) 山崎和彦 (武蔵野美術大学)	令和2年3月	武蔵野美術大学 ビジョンとUXデザイン2020
令和元年度 交通運輸技術開発推進制度 研究成果報告書(個別編)	山田泉 青山久枝	令和2年3月	国土交通省総合政策局
固定降下角運用を用いた到着航空機の手動速度制御	虎谷大地 ピクRAMシンハナヴィンダ 平林博子	令和2年3月	制御部門マルチシンポジウム
機械学習によるCDO機の到着時間予測	川岡瑠奈 (慶応義塾大学) 齋藤有紀 (慶応義塾大学) 原啓太 (慶応義塾大学) 井上正樹 (慶応義塾大学) 虎谷大地 平林博子	令和2年3月	制御部門マルチシンポジウム
HMUとの比較によるADS-Bの幾何高度基準面判定	金田直樹 松永圭左 宮崎裕己	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
集束型誘電体レンズアンテナの帯状ゾーニングによる位相改善効果の実験的評価	橋本真輝 (青山学院大学) 黒田哲史 (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)	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
IoT-based Fiber Networks C/M-Plane Early Disaster Recovery via Narrow-band and Lossy Links System (FRENLL): A Field-Trial Experiment in Metro Area (狭帯域かつ損失が多いリンクを経由したIoTに基づく光ネットワークの制御管理ブレーン初期障害復旧の地下鉄エリアでの屋外実験)	Sugang Xu(NICT) Goshi Sato(NICT) Masaki Shiraiwa(NICT) Katsuhiko Temma 他 (NICT) Takehiro Tsuritani (KDDI総研) 米本成人	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
地デジ信号を使ったパッシブレーダによる移動体検出	大津山卓哉 本田純一 渡邊優人	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
ILS信号干渉シミュレーターの開発	本田純一 松永圭左 毛塚敦 田嶋裕久	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
航空機内データ通信周波数帯における小型航空機の干渉経路損失 -ピーチクラフトB300型機を用いた測定評価-	ニッ森俊一 宮崎則彦 関口徹也 (北海道大学) 日景隆 (北海道大学) 野島俊雄 (北海道大学)	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
インターネットを活用したハザード解析支援ソフトウェアの開発	天井治 住谷美登里	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
市販マルチコプタのRoFによる位置推定の基礎検討	河村暁子 角張泰之 森岡和行 ニッ森俊一 米本成人	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会

表題名	発表者	発表年月日	発表学会/機関名
セキュリティ強化に向けたハイブリッドイメージングシステムの熱雑音パッシブ受信機に関する基礎実験 (Preliminary tests on passive receiver of thermal noise for hybrid imaging system in order to improvement of the public security)	米本成人 森岡和行 河村暁子 ニッ森俊一 渡辺優人	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
固定翼UAV用の無線映像伝送システムによる飛行実験	古賀禎 本田純一	令和2年3月	電子情報通信学会 2020年総合大会
空港滑走路異物探知システムの研究開発	ニッ森俊一 柴垣信彦 (日立国際電気)	令和2年3月	日本機械学会

8 知的財産権

当研究所の令和元年度末 (R2. 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
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
G P S 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ペ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
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
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
I L S のグライドパスの G P 進入コース予測方法及び I L S のグライドパスの G P 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
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
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
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 (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

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
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
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
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
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（分割出願）	三垣充彦	H18. 2. 9	4736103	H23. 5. 13
音声中の非発話音声の判別処理方法	塩見格一	H18. 3. 30	4752028	H23. 6. 3
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	H18. 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
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有する 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	5598879	H26. 8. 22
自律神経の状態評価システム	塩見格一	H23. 7. 20	5812265	H27. 10. 2
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. 6	5013385	H24. 6. 15
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
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	6332874	H30. 5. 11
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

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
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、並びに航空機の航空性能の劣化を検出する方法及び航空機の航法性能の監視装置	麻生 貴広	H29. 4. 7	6288745	H30. 2. 16
衛星航法システムにおける測位誤差の修正方法及びその装置。	坂井 丈泰	H29. 10. 3	6440217	H30. 11. 30
遠隔型飛行場援助業務用情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上 諭	H31. 3. 26	1648467	R1. 11. 29
航空機情報表示機能及び空港情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上 諭	H31. 3. 26	1648468	R1. 11. 29
遠隔型飛行場援助業務用情報表示機能及び空港情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上 諭	H31. 3. 26	1648469	R1. 11. 29

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
管制装置システム（アメリカ国内）	塩見格一	H12. 12. 7	US 6, 573, 888 B2	H15. 6. 3
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
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
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
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（アメリカ国内）	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
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ（アメリカ国内）	米本成人 河村暁子	H22. 5. 11	US 8, 803, 728	H26. 8. 12
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 坂井丈泰 福島荘之介 伊藤憲	H19. 12. 28	US 8, 665, 146 B2	H26. 3. 4

(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
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
端末制御信号の送信装置	米本成人 角張泰之	H29. 9. 28	2017-188308
積雪特性を測定する方法及びその装置及びこの積雪特性を測定する方法を利用した融雪災害の予測監視方法及びその装置	吉原貴之 齋藤 享 毛塚 敦	H30. 11. 8	2018-210796
質問信号送信システム及び質問信号送信方法	角張泰之 古賀 禎	R1. 9. 20	2019-171749

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 (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

第 3 部 現 況



1 令和元年度に購入した主要機器

リモート空港監視用実験システム 1 式
屋外設置型巡回可動カメラシステム 1 式
光ファイバ接続型受動監視システムに係る送信処理部 1 式
リモート空港監視用実験システム 1 式
滑走路異物監視システム検証用アンテナ装置 1 式
光ファイバ接続型受動監視システム信号処理部等模擬装置 1 式
CD0実施判断支援ツール機能拡張 2 式
準天頂衛星L5S信号対応受信機 1 式
光スペクトルアナライザ 1 式
DMEパルスアナライザオプション 1 式
LEDライトガンユニット 1 式
電話交換機設備 1 式
集中管制卓プロトタイプ 1 式
ネットワーク型ファイルサーバ 1 式
屋外設置型ネットワークカメラ用360°対応ハウジング 4 式
屋外設置型カメラ用ハウジング試験機 1 式
近接航空機監視システム用送信機 1 式
ソフトウェア無線機 1 式
高解像度オシロスコープ（オプション） 1 式
ワークステーション 1 式
電波高度計 1 式
気象・運航データベース用ファイルサーバ 1 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享受できるようになった。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

当研究所の令和元年（平成31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31年4月21日（日）〕

平成31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9,080名）

研究発表会〔令和元年6月6日（木）～7日（金）〕

令和元年度（第19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371名）

第6回ATM/CNSに関する国際ワークショップ（EIWAC2019）〔令和元年10月29日（火）～31日（木）〕

コンgresクエア中野にて開催し、3日間でのべ約861名が来場した。

令和元年度評議員会〔令和2年2月25日（火）〕

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「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」

「空地通信技術高度化に関する研究」

「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」

事前評価課題「新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究」

「航空通信基盤の高度化に関する研究」

「気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究」

5 職員表彰

◎ 理事長表彰（令和元年7月25日）

永年勤続（20年）

松永 圭左（監視通信領域）

特 別

小瀬木 滋（所長）

「航空無線に関する新しい技術の調査検討に取り組み、その国際標準化の提言を行うEUROCAEにおいて、長年の標準化活動と顕著なEUROCAE支援により平成31年4月にEUROCAE Presidents Awardをアジアの機関において初めて受賞」

坂井 丈泰（航法システム領域）

北村 光教（航法システム領域）

麻生 貴広（航法システム領域）

「次世代SBASの世界初の実証実験と実験結果のICAOへの提供による規格案への貢献」

呂 曉東（監視通信領域）

「アジア太平洋地域（APAC）におけるSWIMの導入促進のため国際民間航空機関（ICAO）APAC SWIM TASK Force及び各種SWIM実証実験において主導的役割を果たし、アジア地域でのSWIM標準化作業に大きく貢献」

◎ 電子航法研究所所長表彰（令和元年7月25日）

特 別

毛塚 敦（航法システム領域）

齊藤 真二（航法システム領域）

麻生 貴広（航法システム領域）

「電子情報通信学会エレクトロシミュレーション研究会において『DMEのインテグリティ保証のためのマルチパスシミュレーション』を発表し“優秀論文発表賞”を受賞」

坂井 丈泰（航法システム領域）

「電子情報通信学会通信ソサイエティ和文論文誌編集委員会において、4年間にわたり編集委員を務めた功績により、“電子情報通信学会通信ソサイエティ活動功労賞”を受賞」

二ツ森 俊一（監視通信領域）

米本 成人（監視通信領域）

「日本航空技術協会において、低高度における状況認識技術に関する研究プロジェクトチームの『ヘリコプタの前方障害物監視レーダの開発』が“企業・団体部門奨励賞”を受賞」

長縄 潤一（監視通信領域）

「電子情報通信学会2018年ソサイエティ大会において『TDOAを用いたADS-B成りすまし検出の理論的検討』を発表し，“学術奨励賞”を受賞」

令和元年度 電子航法研究所年報

令和3年2月1日 発行

編集兼発行人 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

発行所 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

〒182-0012

東京都調布市深大寺東町7丁目42番地23

電話 0422-41-3168

ホームページアドレス <https://www.enri.go.jp/>

○本冊子は、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可

本冊子はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています。