

ま え が き

電子航法研究所は、電子航法（電子技術を利用した航法）に関する試験、調査、研究及び開発等を行うことにより、交通の安全の確保とその円滑化を図ることを目的に昭和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。当研究所は平成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きました。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、また、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おります。この統合に伴い、平成28年度からは、平成34年度までに達成すべき中長期目標を定め、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期目標を開始しました。

当研究所の研究活動は、社会ニーズに沿った研究を重点的に選定し、航空機運航の安全性、効率性及び航空利用者の利便性の向上、航空交通量増大への対応、環境負荷低減などの達成等に関する研究を進め、その成果を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に反映させるなど、国内外において多大な貢献を果たしています。またそれとともに、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にも努めております。

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1年目となる平成28年度に当研究所が行った業務について、そ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。

当研究所としましては、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が、皆様には、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お願い申し上げます。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。

平成30年2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 工藤正博

目 次

第1部	総 説	
1.	沿 革	2
2.	組 織	6
3.	役職員数	6
4.	所 在	7
5.	建 物	7
第2部	試験研究業務	
1.	航空交通管理領域	11
2.	航法システム領域	43
3.	監視通信領域	67
4.	研究所報告	113
5.	受託研究	114
6.	共同研究	116
7.	研究発表	118
8.	知的財産権	137
第3部	現 況	
1.	平成28年度に購入した主要機器	145
2.	主要施設及び機器	146
3.	刊 行 物	148
4.	行 事 等	148
5.	職員表彰	150

第 1 部 総 説

1 沿 革

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

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

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

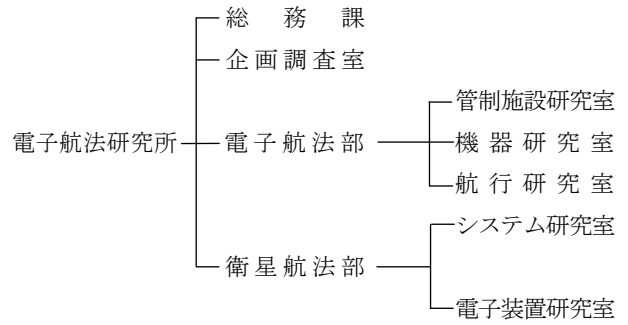
宇宙開発の一環として、人工衛星を航空機及び船舶の航法に利用しようとする開発研究は、我が国においても昭和38年に着手された。その結果をもとに、運輸省は昭和40年4月「人工衛星による航行援助方式の開発に関する基本方針」を決め、昭和41年度は衛星航法研究室(3名)が新設された。

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

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

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

当時の組織は下記のとおりであった。



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

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

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

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

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

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

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

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

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

53年度には、4名の増員が認められ、10月1日に電子航法

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

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

55年度には, 海上保安庁より格納庫(建坪825㎡)の所管換を受けた。

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

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

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

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

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

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

61年度は, 1名の増員が認められ, MLS研究体制の強化を図った。

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

63年度は, 管理庁舎兼衛星航法実験棟が竣工した。

平成元年度は, 1名の増員が認められ, 航空管制の研究体制の強化を図った。

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

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

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

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

また, 仮想現実実験施設を整備した。

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

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

また, ATC シミュレーション実験棟が竣工した。

平成13年度は, 中央省庁等改革推進本部決定及び関係諸法

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

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

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

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

平成16年度は, 関東空域再編関連研究プロジェクトチームを設置した。

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

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

平成20年度は, 企画課に企画第三係を新設した。

また, 6号棟(旧管制システム部研究棟)の建替工事に着手した。

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

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

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

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

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

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

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

行し、「国立研究開発法人電子航法研究所」となった。

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

定員の推移

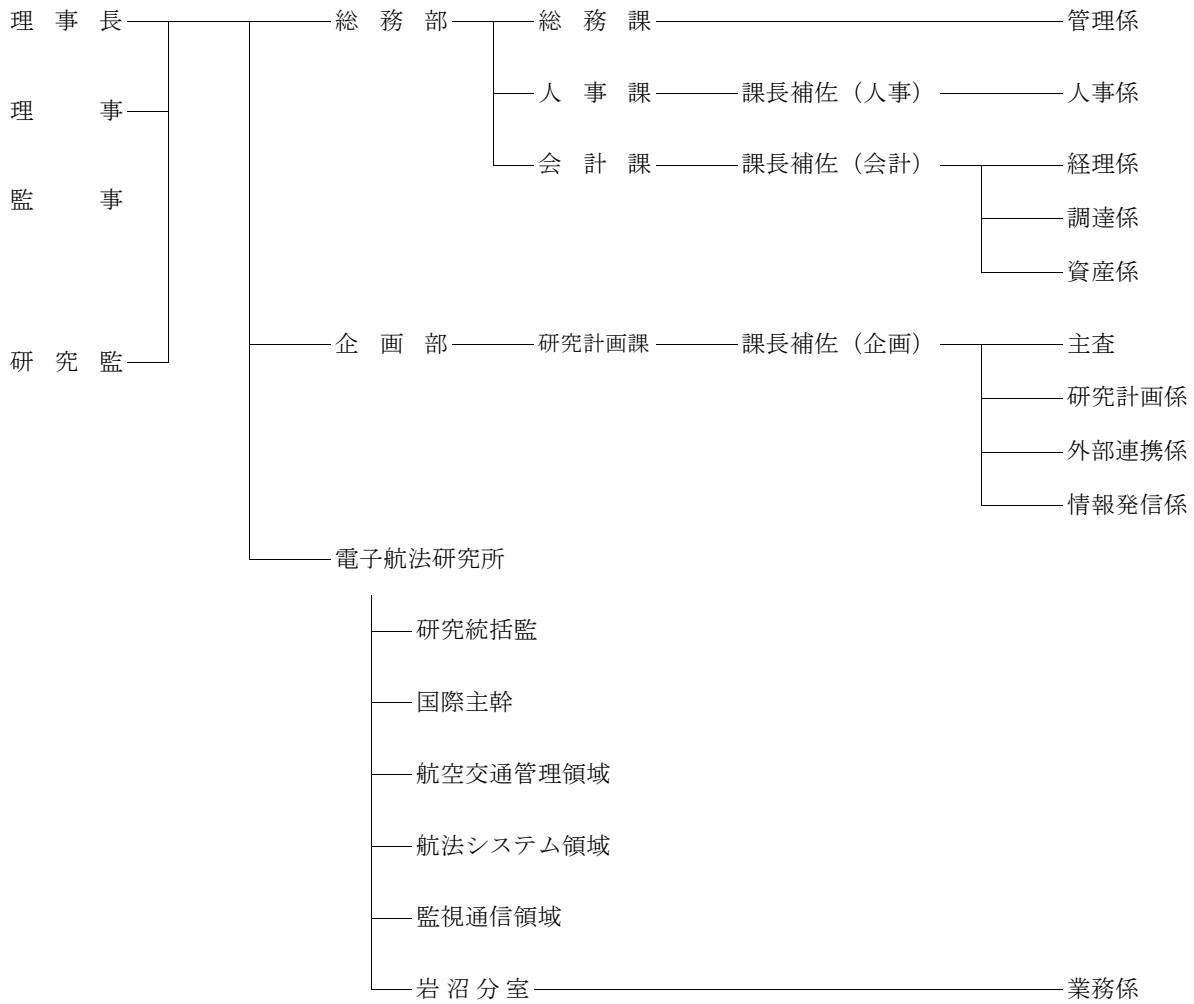
年 度	42	43	44	45	46	47	48
定 員	31人	31	31	34	35	38	41
年 度	49	50	51	52	53	54	55
定 員	44	46	48 (13)	51 (16)	55 (19)	58 (21)	59 (22)
年 度	56	57	58	59	60	61	62
定 員	59 (22)	59 (23)	60 (24)	61 (25)	62 (26)	63 (27)	64 (27)
年 度	63	元	2	3	4	5	6
定 員	63 (26)	64 (27)	64 (28)	65 (28)	65 (28)	65 (28)	66 (29)
年 度	7	8	9	10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

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

注2：平成18年度以降は年度末現在の職員数を掲載

2 組織 (平成29年3月31日現在)

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



3 役職員数

	一般勘定
理事	1
監事	1
研究統括監	1
事務職	15
研究職	44
計	62

(平成29年3月31日現在)

4 所 在

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

5 建 物

建 物	建 ・ 延 面 積	竣工年度
1号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積390㎡, 延面積780㎡	昭和47年度 平成19年度改装 平成22年度改装
2号棟 (ATCシミュレーション実験棟)	鉄筋コンクリート2階建, 建面積569㎡, 延面積1,092㎡	平成12年度
3号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積232㎡, 延面積465㎡	昭和43年度 平成22年度改装
4号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積490㎡, 延面積980㎡	昭和53年度 平成23年度改装
5号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積630㎡, 延面積1,160㎡	昭和63年度 平成22年度改装
6号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積355㎡, 延面積653㎡	平成22年度
仮想現実実験棟	鉄筋コンクリート造一部鉄骨造2階建, 建面積480㎡, 延面積703㎡	平成6年度
電波無響室	鉄筋コンクリート2階建, 建面積590㎡, 延面積687㎡ 内装寸法: 奥行32m, 幅7m, 高さ5m	昭和45年度 昭和48年度増築 平成13年度改装 平成27年度改装
アンテナ試験塔	鉄筋造, カウンタポイズ直径25m, 奥行・幅13m, 高さ19.5m 実験準備室: 鉄筋造一部中2階建, 建面積160㎡, 延面積203㎡	昭和52年度 昭和53年度
岩沼分室建屋	鉄筋コンクリート2階建, 建面積287㎡, 延面積497㎡ 屋上にレーダー塔を設置	昭和54年度 平成24年度改修
岩沼分室格納庫	鉄骨造平屋建, 面積825㎡	昭和55年度所属換 平成24年度改修

(平成29年3月31日現在)

第 2 部 試験研究業務



1 航空交通管理領域

I 年度当初の研究計画とそのねらい

平成28年度における研究は、社会的要請、行政当局の要望などを考慮して、下記のように計画した。

1. 「Full 4D」の運用方式に関する研究
2. 空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究
3. 陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究
4. 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
5. 実験とハザード解析によるRNP-ARと従来方式との混合運用の導入支援に関する研究
6. 遠隔空港運用支援システムに関する研究
7. データリンクを活用した中期コンフリクト検出技術の研究
8. 予防安全のための状況認識支援に関する研究
9. 空港周辺における運航効率向上に関する研究
10. プロセス指向型安全マネジメントに関する研究
11. 性能準拠型運航(PBO)と協調する到着スケジューリングの研究
12. 無人航空機の交通管理に関する調査
13. 航空機の到着管理システムに関する研究
14. 羽田空港への将来の航空交通を評価する航空管制シミュレーション環境の設計

1から4は重点研究、5と6は指定研究、7から9は基盤的研究、10と11は萌芽的研究、12は調査、13と14は競争的資金による研究である。

1はFull 4D TBO（時間を含めた4次元での軌道ベース運用）の概念を明確にするため、ファストタイムシミュレーション評価によりTBOの課題を洗い出すとともに、軌道干渉を最適に解決するアルゴリズムの開発評価を行うものである。

2は空港面監視データ等から成田空港を地上走行する航空機の交通状況を分析するとともに、空港面の交通状況に応じて運用を効率化する交通管理手法およびその適用条件について、ファストタイムシミュレータを用いて検討する。

3は陸域（レーダ空域）へのUPR（User Preferred Route）を前提にした空域編成の可能性および意思決定支援手法をシミュレーションにより明らかにするものである。

4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。

5は単独では安全性が確認されているRNP-AR進入方式・従来方式を混合環境で実施する場合、単独に実施していたのでは顕在化しないハザード（危険因子）が顕在化する可能性があるため、RNP-AR適合機及び非適合機が混在する環境において同一滑走路へ

の進入方式として従来方式とRNP-AR方式が混合で運用される混合運用のハザード解析をリアルタイムシミュレーション実験の結果を用いて実施する。

6は空港のタワーで行われている業務を、映像技術およびネットワーク技術等を活用し、離れた遠隔地に設置された施設にシステムを集約し、管制業務を実施するリモートタワー運用の実用化に向けて、システムに必要な技術開発やコンセプトモデルのシステムインテグレーションを実施する研究である。

7は20分程度先までの航空機の軌道を予測して、潜在的なコンフリクトを検出する中期コンフリクト検出技術の、データリンクの活用による高度化の可能性について検討を行うものである。

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は空港を地上滑走中の離陸期の燃料消費削減、効率的な着陸経路の設定、羽田空港への到着管理システムの開発を行う研究である。

10は従来の結果に着目した安全管理から、プロセスに着目した安全管理に必要なプロセスの整理・モデル化とレジリエンスエンジニアリングによる分析・評価可能性について予備的検証を行う。航空交通管制サービス（航空管制、運行情報）業務の分析と業務の理解をベースにして、ユーザーの役割に合った管制卓や制御卓デザイン手法およびプロトタイプデザインの提案を目指した研究である。

11は機上監視応用システム（ASAS）を活用する間隔管理とFPA（Fixed-flight Path Angle）降下を東京国際空港への到着に適用した場合の有効性評価と到着スケジューリングアルゴリズムの検討を行う研究である。

12は各国における無人航空機の運航及び運用に関する情報を整理することで、有人の航空機と無人航空機の混在運用における運航方式、運用の課題を明らかにすることを目的とした研究である。

13は現状の航空交通を分析し、スケジュール準拠による運航効率性の高い降下軌道を実現可能な到着管理方式のアルゴリズム開発を目指した研究である。

14は次世代運航の安全性や効率を検証するためのヒューマンインザループ実験施設による航空管制シミュレーション環境を設計するための検討を行う。

II 研究の実施状況

1の「『Full 4D』運用方式に関する研究」では、Full 4D TBOによる軌道予測精度の向上に伴い、軌道情報の共有で可能となる協調的意思決定（CDM）が重要となる。また、空域複雑性指標を

開発したが、指標値と管制官の感覚との相違に交通状態などが影響していることが分かった。

2の「空港面の交通状況に応じた交通管理手法の研究」では、成田空港において同時平行出発方式を実施しない場合に、A滑走路付近で生じる出発便の混雑については、A滑走路への到着便をB滑走路に振り分けることで軽減されることをシミュレーションによって明らかにした。また、本研究のために開発している空港面交通シミュレータについて、経路探索アルゴリズム、衝突回避ロジックおよびユーザーインターフェースの大規模な改修を行い、操作性を大幅に向上したため、本研究を効率的に進められるようになった。

3の「陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究」では、航空管制作業モデルの構築のために、管制作業の項目とシミュレーション中のイベントとの関連付けを行い、作業量の予測手法を検討した。また、UPRの便益予測では気象条件が燃料費の削減量およびUPRの経路構成に大きく影響することが示された。

4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、関西国際空港、ヒューストン国際空港で実施されている継続降下運航（CDO）の調査を行い、CDO拡大の知見を得た。また、フルフライトシミュレーションやQARデータからCDO実施時のデータを入手した。

5の「実験とハザード解析によるRNP ARと従来方式との混合運用の導入支援に関する研究」では、関西国際空港における混合運用のリアルタイムシミュレーション実験を実施し、現行のピーク時の到着機数では混合運用は困難であり、実施可能な時間帯での検討が必要であることが分かった。

6の「遠隔空港運用支援システムに関する研究」では、基礎的なプロトタイプシステムを作成し、航空機や移動体を検知、追尾することができるターゲットトラッキング機能、映像認識と位置センサーの情報を元に特定のターゲットを追跡することができるPTZカメラ、1人での運用を想定した統合型操作用HMIを含む実験システムを開発し、岩沼分室から調布に移し機能検証を実施した。

7の「データリンクを活用した中期コンフリクト検出技術の研究」では、中期コンフリクトの予測結果から、Next Waypointよりも先のFIX情報や管制指示情報が重要との知見が得られた。また、DAPs機能による機上観測値を利用する場合は異常値や地上付近のデータ等を除外することで推定値の精度が大きく向上することが確認された。

8の「予防安全のための状況認識支援に関する研究」では、航空保安大学校においてCOMPASiの評価機能の向上を検討している。また、状況認識能力向上支援の検討では

管制業務に必要な認知的能力に、サッカー等の特定のスポーツとの類似点があることが分かった。

9の「空港周辺における運航効率向上に関する研究」では、不確定性を考慮するシミュレーションモデルを構築し、TSAT設定手法を検討した結果、タキシング時間削減を維持しつつ遅延を減少できることが示された。また、熊本空港のRNP AR方式の飛行データの検証から、燃料消費を抑えつつパイロットにとっても飛行しやすい方式の設定が可能であることが分かった。

10の「プロセス指向型安全マネジメントに関する研究」では、中部空港の管制官へのインタビューにより得られた管制官の認知プロセス、状況認識や情報取得のやり方、業務分担と相互のカバーなどの業務の特徴を、レジリエンスエンジニアリング分野で提案されているFRAMでモデル化し、システムの分析や組織的な安全支援活動の検討には、さらなる記述手法の検討が必要であることが確認された。

11の「性能準拠型運航(PBO)と協調する到着スケジューリングの研究」では、FPA降下を東京国際空港ならびに関西国際空港に適用し、従来の運航と比較してエネルギー効率が優れていることを確認し、航空交通が合流する地点までの軌道と到着順序づけを最適化する軌道順序同時最適化手法を提案した。また、NASAのFIM実験機に搭乗し、実験結果をCARATS監視アドホックにフィードバックした。

12の「無人航空機の交通管理に関する調査」では、各国で進められている無人航空機に対する取り組みを調査し、日本の法的な整備は他国の方式と同等であり、交通管理については、米国がNASA UTM、欧州がGlobal UTM、日本がJUTMとして取り組まれていることが分かった。

13の「航空機の到着管理システムに関する研究」では、昨年度に提案した運用コンセプトを用いたシミュレーションを実施し、このコンセプトが運航の不確実性にも対応でき、燃料効率もよく、処理容量も低下しないことが確認された。

15の「羽田空港への将来の航空交通を評価する航空管制シミュレーション環境の設計」では、NASAエイムズ研究所、ラングレー研究所の専門家との検討の結果、羽田空港の到着機に対するヒューマンインザループシミュレーション実験の最小規模はレーダー卓4卓8名で、シミュレーションエンジンはオランダ航空宇宙研究所のNARSIMが適当であるとの結論を得た。

本年度は、上記の14件の研究に加えて、以下に示す4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) 洋上縦（時間）間隔衝突危険度推定手順策定に係る支援作業
- (2) 同時平行RNAV進入方式に関する飛行状況データ解析支援
- (3) 平成28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
- (4) 平成28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

III 試験研究の成果と国土交通行政、産業界、学会等に及ぼす効果の所見

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

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

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

（航空交通管理領域長 中島徳顕）

「Full 4D」の運用方式に関する研究【重点研究】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○ブラウン マーク, 平林 博子, ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ, 長岡 栄

研究期間 平成 25 年度～平成 28 年度

1. はじめに

航空交通量が年々増えつつある。現在の航空交通管理 (Air Traffic Management : ATM) システムでは、予測された航空交通量の増加に対して、安全性や定時制を始めとする航空交通の効率を保つことは困難である。その課題を解決するため、軌道ベース運用 (Trajectory-Based Operations: TBO) 概念が提案されている。TBO は、国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organisation: ICAO) が作成したグローバル航空計画 (Global Air Navigation Plan: GANP) の中心技術の一つであり、米国、欧州や日本の ATM システム近代化計画に含まれている。

TBO の最終形態となる全ての航空機が 4 次元の計画軌道で運航する「Full 4D TBO」は 2030 年頃に運用可能となると計画されているが、まだ概念レベルである。そこで、本研究では、Full 4D TBO 概念の便益を明記にし、課題を洗い出すことを目指した。

2. 研究の概要

本研究の目的は、前述のように、「Full 4D TBO」の実現に向けて、運用方式の検討、課題の洗い出しを行い、解決方法を提案することである。これを実現するため次のことを計画した。ファストタイムシミュレータ (FTS) に現在の交通シナリオと「Full 4D」運用方式が可能となる見込みの 2030 年の理想的な交通シナリオを反映し比較することで課題の洗い出しや便益評価を行う。運航者が最大便益を得るための軌道最適化技術を開発する。また、空域容量制限となる要素を検討し、空域管理のための指標を提案する。

3. 研究成果

3.1 福岡 FIR における 2030 年の運用環境の明確化

「Full 4D TBO」は 2030 年頃に運用可能となる見込みである。その頃の交通環境と TBO の課題・便益を理解す

るため、2013 年から 2030 年の交通増加モデルを作成し、2013 年の飛行シナリオをベースとして 2030 年の交通シナリオを作成した。また、現在の ATS (Air Traffic Service) 経路に基づいた飛行計画と TBO 環境で可能となる運航者の要求に基づいたより制限が少ない軌道を比較した。

現在の飛行計画経路、レーダー航跡及び理想的な最短経路 (大圏経路) を比較した結果、国内便については、最も交通量が多い主要空港間の飛行計画経路の巡航区分は、大圏経路に近く、さらにレーダー管制の「ショートカット」により飛行距離が短縮されていることがわかった。国内便の飛行時間は短い (飛行計画の平均予測所要時間は約 67 分である) ため、風の影響を考慮した軌道最適化による便益が少ない。国内便の降下フェーズの飛行時間は総飛行時間に対して高い割合を占めるため、混雑したターミナル空域周辺で発生するレーダー誘導、段階的降下による効率劣化の影響が比較的大きい。航空機の到着管理 (Arrival Management: AMAN) や継続降下運航 (Continuous Descent Operations: CDO) の導入、ターミナル空域設計の改良が有効であると考えられる。

また、一部のフライトについて、標準的な経路が自衛隊等の訓練空域等を迂回する経路であるため、効率劣化が発生しているが、訓練空域のユーザとの情報共有・調整による空域の柔軟な使用 (Flexible Use of Airspace : FUA) の拡大が有効である。

一方、飛行距離が長い国際便、上空通過便への経路最適化の適用は有効であると考えられる。現在、北太平洋地域において、最新の気象予報に基づいて最適経路を計算し、飛行中に経路変更を要求する方式「Dynamic Airborne Re-Route Procedure (DARP)」が運用されているが、普及はまだ少ない。運航者に最適経路を計算するシステムが必要であり、プロセスと関係者間の通信の効率化が望ましい。Full 4D TBO から最大の便益を得るため、GANP のもう一つの中心技術「System Wide

Information Management (SWIM) 」というデジタル情報交換インフラ及び情報・プロセスの電子化が重要である。

3.2 軌道情報から飛行性能予測技術、最適化技術の開発

TBO の概念において、航空機の軌道（飛行計画）はできる限り航空機運航者の要求に基づくこと、とされているため、運航者がどの軌道を要求するかが課題になる。航空運送の運航者（エアライン）にとって、スケジュールを守りながら運航コストを抑えることが重要であると考へ、本研究では消費燃料が軌道の主要な性能メトリックとして採用した。

TBO の便益を評価するため、軌道の消費燃料を評価する必要がある。九州大学の研究に基づいて航空機の航跡情報（監視システムからの航跡、シミュレータが計算した航跡、航空機に搭載されているデータ記録装置の記録など）から航空機の飛行性能を予測し、消費燃料などを計算する技術を開発した。

また、運航者の理想な軌道を計算するため、九州大学の研究に基づいて風の影響を考慮した最小燃料の軌道を作成する技術を開発し、軌道最適化や到着管理の便益とのトレードオフを明確にした。

3.3 空域複雑性指標の開発

将来の TBO 環境下では、航空機間の間隔確保等支援ツールの導入により航空管制官の認知的作業負荷が軽減され交通容量が増加するであろう。管制官のタスクは手動の間隔確保から軌道管理に基づく自動的な間隔確保の確認に移行していくが、システム故障等により間隔確保機能が低下する場合、航空管制官が直接間隔を管理するための状態を常に把握する必要があると思われる。そのために、空域容量、作業負荷に影響を与える空域の複雑さを監視する必要がある。我々は空域の複雑さを表す指標として、航空機対の近接状況に基づく新しい「管制難易度」（航空管制の難度）指標を提案した。適用性を考慮した結果、この指標を簡単に計算でき、把握しやすい 0～1 の間の数値で管制の難度を表す。

指標の値と航空管制官の感覚の相違は単純なシナリオで確認したが、交通状態や管制官の個人的な特性に依存することが分かった。他のシナリオで評価をし、適用性をさらに検討する必要がある。指標の適用については、航空機の計画軌道に基づいては管制難度を計算し、予測管制難度が高い部分を検知することで、難度の過剰な高まりを防ぐ対策を取ることが考えられる。これは今後の空域設計のための評価とコンフリクト検出にも適用可能

と考えられる。

4. おわりに

本研究では、TBO の概念、便益と課題を調査した。主に、技術観点から単独のフライトへの影響に焦点をあてたが、TBO は航空交通管理の一部であり、TBO を有効に活用するためには、これのみでなく ATM システムとの関連、関係者との関係が重要である。今後、TBO により軌道予測の精度が高くなると、結果として、より戦術的な軌道管理ができ、軌道情報の共有で可能となる協調的意思決定 (Collaborative Decision Making: CDM) の導入により効果的な ATM が期待できる。また、軌道の管理においては、体系的な要素、社会的な要素も考慮しなければならない。次の研究では、CDM の軌道管理への取り入れを検討しながら TBO を実現するための運用概念を研究する予定である。

掲載文献

- (1) Fujita, M.: “Arrival trajectory control by split and merge concept at metering point”, ISIAM2013 (Interdisciplinary Science for Innovative Air Traffic Management), 2013 年 6 月
- (2) Nagaoka, S., Gwagner, C., Fukuda, Y.: Aircraft Sequencing Under Uncertainty on Estimated Time of arrival, EURO2013 (26th European Conference on Operational Research), 2013 年 7 月
- (3) 長岡: 新しい航空交通管理システムにおける安全性, 日本信頼性学会誌, Vol. 35, No. 5, 2013 年 8 月
- (4) 長岡, ブラウン: “空域のレジリエンス (Resilience) 指標についての一検討”, 日本航海学会 AUNAR 研究会, 2013 年 8 月.
- (5) Inoue, S., Brown, M.: Modeling the Future Sky, JSST2013 (Int'l Conference on Simulation Technology), 2013 年 9 月
- (6) Brown, M. et al: “Full 4D Trajectory Based Operations Concept Study”, APISAT2013, 2013 年 11 月
- (7) Nagaoka, S., Brown, M.: A Review of Safety Indices for Trajectory Based Operation in Air Traffic Management, APISAT2013, 2013 年 11 月
- (8) Wickramasinghe, N. K. et al: Flight Trajectory Optimization for Operational performance Analysis of Jet Passenger Aircraft, APISAT2013, 2013 年 11 月

- (9) 平林他 4 名：“航空交通需要予測に基づくフライトシナリオの検討”，第 51 回飛行機シンポジウム(飛行シンポ)，2013 年 11 月
- (10) 重富ほか 5 名：SR モード S 監視データを用いた気象予報データの評価解析，第 51 回飛行シンポ，2013 年 11 月
- (11) 小塚ほか 6 名：監視データを用いた飛行軌道の干渉評価，第 51 回飛行シンポ，2013 年 11 月
- (12) 長岡，ブラウン：“航空機対の Propensity 指標の計算方法に関する一検討”，電子情報通信学会 技術研究報告(信学技報) SANE2013-128，2014 年 1 月
- (13) 福田，岡，ブラウン：高密度運航を目指した技術開発動向，航空宇宙学会第 45 期年会講演会，2014 年 4 月。
- (14) 長岡，ブラウン，“航空機対の最近接条件に基づくレジリエンス指標”，信学技報 SSS2014-4，2014 年 4 月
- (15) Gwiggner, C., Nagaoka, S.: Data and Queueing Analysis of a Japanese Air-Traffic Flow, *European Journal of Operational Research*, Vol. 235, Issue 1, pp. 265-275, 2014 年 5 月
- (16) Shigetomi, S. et al: Evaluation Analysis of Seasonal GPV Meteorological Data with SSR Mode S Surveillance Data, 6thICRAT (Int'l Conf. on Research in Air Transportation), 2014 年 5 月
- (17) 長岡，ブラウン，“航空機遭遇の難度指標構築のための軌道情報の近接パラメータへの写像”，信学技報 SANE2014-44，2014 年 7 月
- (18) Nagaoka, S., Brown, M.: Pair-wise Resilience Index based on the Miss Distance & Time to Closest Point of Approach, IFORS 2014-20th Conference, 2014 年 7 月
- (19) Harada, A. et al: “Analysis of Air Traffic Efficiency Using Dynamic Programming Trajectory Optimization”, ICAS(International Council of the Aeronautical Sciences)2014, 2014 年 9 月
- (20) Brown, M.: “AirTop En-Route Simulation Validation”, AirTop User Conference 2014, 2014 年 9 月
- (21) ピクラマシンハ他 5 名：“軌道最適化による旅客機の飛行計画における飛行時間と燃料消費量との関係 第 2 報”，第 52 回飛行シンポ，2014 年 10 月
- (22) 平林他 5 名：監視レーダーデータを用いた高速シミュレーションの評価，第 5 2 回飛行シンポ，2014 年 10 月
- (23) 小塚他 4 名：“監視データを用いた航空機の干渉回避方法推定”，第 52 回飛行シンポ講演集，2014 年 10 月
- (24) 原田他 5 名：“国内定期旅客便の運航効率の客観分析に関する研究”，第 52 回飛行シンポ講演集，2014 年 10 月
- (25) 小塚他 5 名：“旅客機の干渉を考慮した最適軌道実現に関する検討”，第 52 回飛行シンポ，2014 年 10 月
- (26) 重富他 5 名：，小塚，宮沢，ピクラマシンハ，ブラウン，：“SSR 監視データを用いたターミナル空域周辺の飛行解析”，飛行シンポ講演集，2E08，2014 年 10 月
- (27) Nagaoka, S., Brown, M. “A Review of Safety Indices for Trajectory Based Operations in Air Traffic Management”, *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan*, Vol. 12, No. APISAT 2013, a43-a49(2014), 2014 年 10 月.
- (28) Wickramasinghe, N. 他 7 名：“Flight Trajectory Optimization for Operational Performance Analysis of Jet Passenger Aircraft”，*Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan*, Vol. 12, No. APISAT 2013, a17-a25(2014), 2014 年 10 月
- (29) 長岡，“航空管制における空域複雑性に関する研究の動向”，管制協会誌「航空管制」，No. 6，pp. 44-53，2014 年 11 月
- (30) Wickramasinghe, N. 他 5 名：“Correlation between Flight Time and Fuel Consumption in Airliner Flight Plan with Trajectory”，AIAA SciTech2015 GNC (Guidance, Navigation and Control) Conference, 2015 年 1 月
- (31) 長岡，ブラウン，“近接パラメータによる航空管制の難度指標の 3 次元空域への拡張”，信学技報 SANE2014-142，2015 年 1 月
- (32) Nagaoka, S., Brown, M., “Constructing an Index of Difficulty for Air Traffic Control Using Proximity Parameters”，*Procedia Engineering*, 99, pp. 253-258, 2015 年 2 月
- (33) 平林，ブラウン，福田：TBO におけるエンルートの飛行経路に関する検討，航宇年会講演会，2015 年 4 月
- (34) 長岡，ブラウン：近接パラメータによる航空管制の難度指標 - 空域指標への統合方法 - ，信学技報 SSS2015-3，2015 年 5 月
- (35) 宮沢他 6 名：国内定期旅客便の運航効率の客観分析に関する研究，第 15 回電子研発表会，2015 年 6 月。
- (36) 長岡，ブラウン：近接パラメータによる航空管制の難度指標 - 軌道変更点の情報を用いる計算法 - ，信学技報 SANE2015-33，2015 年 7 月。
- (37) Nagaoka, S., Brown, M. : A Difficulty Index for Air Traffic Control Based on Potential Conflicts, EURO2015 (27th European Conference on Operational Research) , 2015 年 7 月.

- (38) Nagaoka, S., Brown, M. : Integrating Pairwise Proximity-based Air Traffic Control Difficulty Indices into an Airspace Index, APISAT 2015, 2015 年 11 月.
- (39) 平林, ブラウン, 長岡 : 管制空域における航空管制難易度指標の可視化, 第 53 飛行シンポ, 2015 年 11 月.
- (40) Wickramasinghe, N. 他 3 名, : Effect of Aircraft Mass and Weather Data Errors on Trajectory Optimization and Benefits Estimation *Proc. AIAA SCITECH 2016*, Jan. 2016.
- (41) Wickramasinghe, N. 他 5 名 : “軌道最適化による旅客定期便の運航性能評価”, 日本航空宇宙学会 第 47 期年会講演会, 2016 年 4 月.
- (42) 長岡, 平林, ブラウン : 航空機対の近接認識調査による航空管制の難度指標の較正, 信学技報 SSS2016-03, 2016 年 5 月.
- (43) 長岡, 平林, ブラウン : 航空管制の難度指標と交通状況の対応付けの試み, 日本航海学会 AUNAR 研究会, 2016 年 5 月
- (44) 平林, ブラウン, ビクラマシンハ : 軌道ベース運用における二次元飛行経路に関する一考察, 第 16 回電子研発表会, 2016 年 6 月.
- (45) ビクラマシンハ, ブラウン : 航空機の質量と気象データが運航性能推定に及ぼす影響, 第 16 回電子研発表会, 2016 年 6 月.
- (46) Higuchi, Y. 他 5 名 : “Efficient Control of Arrival Time at a Congested Airport’s Terminal Area”, ICAS 2016, Daejeon, Korea, 2016 年 9 月.
- (47) Hirabayashi, H. : PACOTS Traffic Flow Study, IPACG42, 2016 年 9 月.
- (48) Hirabayashi, H. : Traffic Analysis for Studying Expansion of High-Altitude UPRs Trial, IPACG42, 2016 年 9 月.
- (49) Nagaoka S., Hirabayashi, H., Brown, M. : “Developing an Air Traffic Control Difficulty Index Using Aircraft Trajectory Information”, EURO 2016, Poznan, 2016 年 7 月.
- (50) Hirabayashi, H., Brown, M., Nagaoka, S. : “Visualization of Airspace Complexity based on Air Traffic Control Difficulty”, ICAS 2016, Daejeon, Korea, 2016 年 9 月.
- (51) Brown, M., Hirabayashi, H. : “An Analysis of ATM Resource Demand in Fukuoka FIR for 2030”, APISAT 2016, Toyama, 2016 年 10 月.
- (52) Nagaoka, S., Hirabayashi, H., Brown, M. : “Method for Scale Parameter Determination of Air Traffic Control Difficulty Index Based on Survey Results of Controller’s Recognition for Aircraft Proximities”, APISAT 2016, 2016 年 10 月.
- (53) 樋口ほか 5 名 : “効率的な到着管理のための FMS を利用した到着管理制御の検討”, 第 54 回飛行シンポ, 2016 年 10 月.
- (54) Nagaoka, S., Brown, M. : Analysis of Prediction Accuracy on Curved Paths Based on IDL Messages Using a Flight Management System (FMS) Simulator, ICSANE(Int’l Conf. of Space, Aeronautical and Navigation Electronics) 2016, 2016 年 11 月.
- (55) 長岡, 平林, ブラウン : “管制官の近接認知試行に基づく管制難度指標の一検討”, 信学技報 SANE2016-108, 2017 年 1 月.
- (56) Higuchi, Y. 他 5 名 : “Optimal Arrival Time Assignment and Control Analysis using Air Traffic Data for Tokyo International Airport”, AIAA Scitech 2017, 2017 年 1 月.

空港面の交通状況に応じた交通管理手法に関する研究【重点研究】

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

1. はじめに

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

2. 研究の概要

本研究は 4 ヶ年計画であり、本年度は主に以下の項目を実施した。

- ・ 空港面における交通状況の把握・予測
- ・ 空港面交通管理手法アルゴリズムの開発
- ・ 適用条件の検討

3. 研究成果

3. 1 空港面における交通状況の把握・予測

成田空港のレイアウトを図 1 に示す。

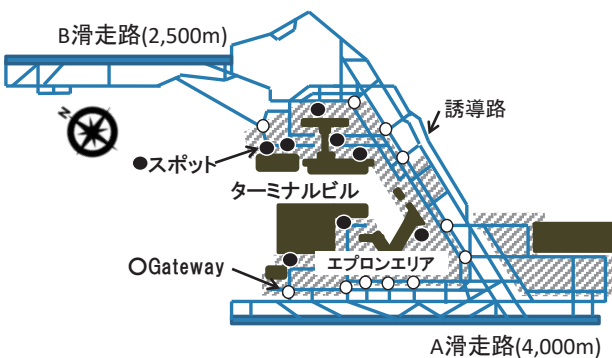


図 1 成田空港のレイアウト

本研究では、航空局から空港面地上交通データ（毎秒の各便の航跡データ）および運航票情報、成田国際空港株式会社からスポット情報の提供を受け、これらを統合して航空機の地上走行に関するデータベースを作成し継

続的に成田空港の地上走行の交通状況の把握をしている。

成田空港では、平成 23 年度に、SPID (Simultaneous Parallel Independent Departure: 同時平行出発方式) と呼ばれる離陸方式が導入され、さらに、平成 27 年度より WAM (Wide Area Multilateration : 広域マルチラテーション) が導入されて、1 本の滑走路に集中していた出発便をもう 1 本の滑走路に振り分け 2 本の滑走路で同時に離陸することが可能となる日が増え、増便にも対応可能となった。1 日あたりの交通量は年々増加し、平成 28 年度は約 670 便になった。また、SPID 運用している日を調査したところ約 9 割あった。このように SPID 運用が増え、交通管理手法による滞留軽減を必要とする日が少なくなったが、天候等により SPID 運用ができない日はまだあり、そのような日は離陸待ち時間が増加し滞留軽減のためスポット出発時刻調整が行われている。そこで、スポット出発時刻調整の効果を通年の期待値として示すこととした。スポット出発時刻調整とは、滑走路手前の離陸待ち時間を一定以下にするために、ある水準を超える機数の出発便がスポットを出発しようとした場合に、航空管制官が出発便にスポットにて出発を待機させる方法である。また、SPID 運用できない出発便の繁忙時間帯は、さらに滞留軽減策が必要な状況であるので、より効率的なスポット出発時刻調整について検討する必要があることがわかった。

スポット出発時刻調整ではあらかじめスポット待機時間を設定できるように、スポット出発前の管制承認要求時刻等のスポット出発前工程の状況を運航票および DCL (Departure Clearance by datalink : データリンクによる出発管制承認) を用いて把握・分析した。そしてスポット出発準備完了時刻、管制承認時刻、スポット出発時刻の各時刻をもとに滑走路端の離陸待ち便数を 5 分刻みで予測した一例を図 2 に示す。スポット出発準備完了時刻での離陸待ち便数の予測に対して、管制承認時刻での離陸待ち便数の予測が少ない場合は、スポット出発時刻調整が行われていることを示す。データベースより実際の離陸待ち便数を算出した結果を折れ線で示し、スポット出発時刻で予測した離陸待ち便数と比較するとほぼ一致していることがわかる。この予測を用いることで

離陸待ち便数が一定以下でばらつきが小さくなるようにスポット待機時間の設定方法について検討していく。

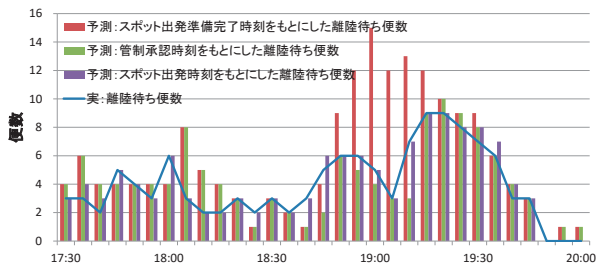


図2 離陸待ち便数の予測

3.2 空港面交通管理手法アルゴリズムの開発および適用条件の検討

天候等により SPID 運用していない日は、夕方の時間帯に A 滑走路に出発便が集中しているため、スポット出発時刻調整を行い、滑走路端の離陸待ち時間を軽減している。平成 28 年度はこのようなスポット出発時刻調整を行っている日に A 滑走路に到着する便の一部を B 滑走路へ振り分ける想定をした場合、A 滑走路から出発する便の滑走路端の離陸待ち時間に及ぼす影響について検証した。

まず、出発便のスポット出発準備完了時刻から離陸時刻までの所要時間について図 3 のように区分し、検証項目であるスポット待機時間および離陸待ち時間をそれぞれ下記のように定義する。

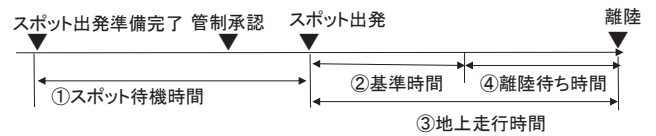


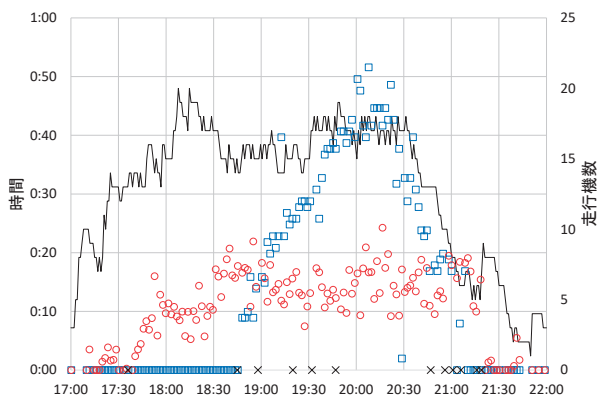
図3 出発便の離陸までの所要時間

- ①スポット待機時間：スポット出発準備完了からスポット出発までの時間。
- ②基準時間：空港面の混雑によらず要する地上走行時間であり、各スポットと各滑走路の組合せ毎に算出した平均走行時間。
- ③地上走行時間：スポット出発から離陸までの走行時間。
- ④離陸待ち時間：地上走行時間のうち基準時間を超えた時間。ただし、地上走行時間が基準時間より短い場合については、離陸待ち時間を 0 分と見なす。

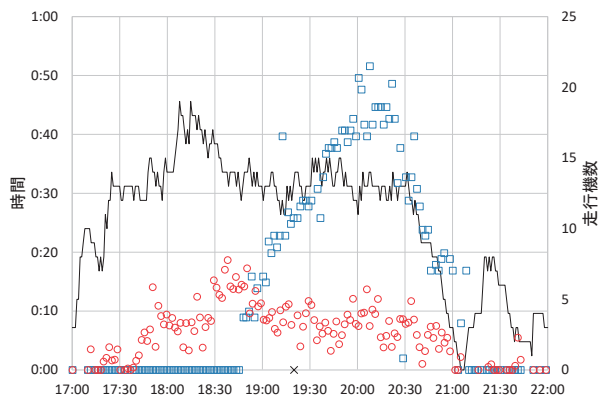
現状のスポット出発時刻調整を模擬した場合(a)と、現状のスポット出発時刻調整に加えて到着便の一部を B 滑走路へ振り分ける想定した場合(b)について、各々入力シナリオを作成し、空港面交通シミュレータにてシミュレーションを行い、比較検証した。

A 滑走路に到着する到着便のうち B 滑走路へ振り分ける便は、以下の 2 つの条件を満たす便とした。

- ・ B 滑走路に着陸可能な型式
- ・ もとものの B 滑走路に到着していた便の着陸時刻は変更せず、これらの便との間隔が設定できる A 滑走路の到着便のみ B 滑走路へ振り分ける。振り分ける到着便の着陸時刻を変更する場合は 0 分から +2 分未満とする。



(a)現状を模擬 (スポット出発時刻調整有り)



(b)スポット出発時刻調整有り 到着便の振り分け有

図4 各便の離陸待ち時間とスポット待機時間

(□：スポット待機時間 ○：離陸待ち時間 折れ線：出発便の走行機数 ×：到着便の着陸時刻)

スポット出発時刻調整が行われた 17 時から 22 時の時間帯の各出発便のスポット待機時間 (□), 離陸待ち時間 (○) を各々シミュレーション結果より求め, 各出発便の出発準備完了時刻で縦一列に図 4 に示す。各時刻の出発便の走行機数としてある時刻にスポットを出発しているが, まだ離陸していない出発便の数を 1 分おきに求め図 4 に折れ線で示す。A 滑走路への到着する到着便の着陸時刻を×印で示す。(b)において振り分けの条件を満たさない到着便はそのまま A 滑走路に到着しているので, その着陸時刻を×印で示している。

現状を模擬した場合(a)と到着便の一部を B 滑走路へ振り分けを想定した場合(b)の離陸待ち時間を比較する。図 4 より(a)での離陸待ち時間は概ね 20 分以下に収まっているが, (b)での離陸待ち時間は概ね 15 分以下となり, 到着便の一部を B 滑走路へ振り分けるという想定により離陸待ち時間が軽減されていることがわかる。

出発便が多い時間帯にスポット出発時刻調整を行っている状況で A 滑走路に到着する到着便の一部を B 滑走路へ振り分けを想定したシミュレーションを行ったところ, 現状と比較して離陸待ち時間が軽減され, 混雑緩和に有効な例を示すことができた。

これまでの研究結果から, 離陸待ち時間の一部がスポット待機時間に置き換わっていることが報告されている。今回の検証により, 到着便の一部を別滑走路に振り分けることでスポット待機時間を現状並みにしつつ, 離陸待ち時間が軽減できる, または, 離陸待ち時間を現状並みにしつつスポット待機時間が軽減できる可能性を示すことができた。今後離陸待ち時間を一定でばらつきを小さくしつつ, スポット待機時間を軽減できるか走行機数との関係等をシミュレーションにて検証していく。

3. 3 空港面交通シミュレータ

本研究のため継続的に開発している空港面交通シミュレータでは, 平成 27 年度に走行経路のデータ構造, ならびに経路探索アルゴリズムおよび衝突回避ロジック, ならびにユーザインタフェースについて大規模な改修を施し, 併せてソースコードのリファクタリングを行うことで, シミュレーション実験における操作性を大幅に向上した。平成 28 年度には, シミュレーション実行途中時点までの経過レビュー, 個別便のシミュレーション設定変更, スポットに駐機中の航空機に関する衝突検出の機能追加を施すことにより, さらに操作性が向上し, シミュレーション条件の設定をより少ない労力で行うことができるようになった。

加えて, 平成 28 年度には, 空港面交通データベースにおける各データ源の対照によるデータクレンジング処理について仕様を見直すことにより, データの欠落や矛盾を克服して, 空港面交通の実態を忠実に再現する現状模擬シミュレーションの設定を極めて効率的に行うことができるようになった。

これらにより, 各データの観察だけでは全体像の把握が難しい空港面交通の実態をシミュレーションによって再現することが可能となり, また, 交通データをもとにしたシミュレーションを基礎とする空港面交通流の研究環境の構築について完成の目処が立った。

4. 今後の見通し

SPID 運用をする日が増え, 交通管理手法による滞留軽減を必要とする日が少なくなった。しかし, SPID 運用できない場合がまだあり, さらなる増便が予想される中, スポット出発時刻調整による滞留軽減策はより一層重要な課題となる。そこで, 今後スポット出発時刻調整の効果を通年の期待値として示すこととした。

スポット出発時刻調整を行うと出発便がスポットで待機する時間が増えることが予想されるので, 到着便の到着スポット空き待ちへの影響も十分考慮しつつ, スポット出発前に予測により離陸待ち便数を一定以下でばらつきを小さくするようなスポット待機時間を設定することにより, より効率的なスポット出発時刻調整や走行経路調整等についてシミュレーションによる検証を行っている。

掲載文献

- (1) 山田他: “成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証”, 平成 28 年度 (第 16 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.5-10, 2016 年 6 月.
- (2) 山田: “成田空港における空港面交通シミュレーション”, 日本航空との意見交換会資料, 2016 年 7 月.
- (3) 山田: “成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証”, 航空無線第 89 号, pp.8-14, 2016 年 9 月. ((1)の再掲)
- (4) 山田他: “空港面の航空機位置情報およびスポット出発時刻情報を用いた離陸時刻の予測に関する検討”, 第 54 回飛行機シンポジウム講演集, 1B14, JSASS-2016-5018, 2016 年 10 月.
- (5) 青山: “空港面の交通流と空港舗装～空港面の交通流～”, 平成 28 年度電子航法研究所講演会資料, 2016 年 11 月.

陸域におけるUPRに対応した空域編成の研究【重点研究】

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

1. はじめに

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

2. 研究の概要

本研究では、UPRやセクタ容量を考慮したシミュレーション・モデルを作成し、経路構成の変化に対応した空域編成を検討する。同時に、UPR導入による便益やセクタ容量による制約を明らかにする。

また、最適化などの意思決定支援手法の空域編成への適用を調査・研究する。

3. 研究成果

3.1. 航空管制作業モデルの構築

航空管制作業モデルは、高速シミュレーションにより航空管制官の作業量を予測する。作業量は航空管制通信に基づき計測される。高速シミュレーションでは、航空管制官の作業を完全に実運用通りに再現することは困難である一方で、運用ルールの設定により各条件に対応した飛行状態の変化の指定が可能である。変化の結果(イベント)の管制通信の発出への置き換えにより各項目の発出頻度の予測が可能である。今年度は航空管制作業の項目を分類し、シミュレーション中のイベントとの基本的な関連付けを

行うことで作業量の予測の基本的な手法を検討した。図1に項目の分類とイベントとの関連付けの例を示す。図において色付きの項目は航空管制官の作業項目を、白い項目はイベントを表す。今後、項目の分類および関連付けを精緻化し、航空管制作業のモデル化を進める予定である。

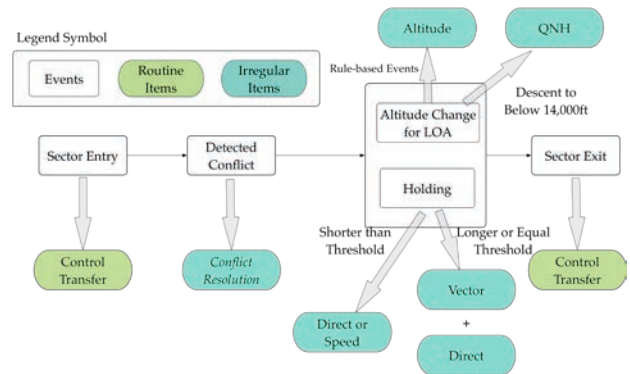


図1 イベントと航空管制作業項目の関連付け

3.2. UPRの便益予測

昨年度に構築したUPRモデルでは気象条件を考慮して飛行効率が最大、すなわち燃料消費が最小となるような飛行経路を算出する。本年度はモデルに多様な気象条件を適用しUPRを算出することで、気象条件がUPRに与える影響を検証した。図2に算出されたUPRの例を示す。検証からは燃料費の削減量およびUPRの経路構成は、気象条件により大きく変化することが確認された。

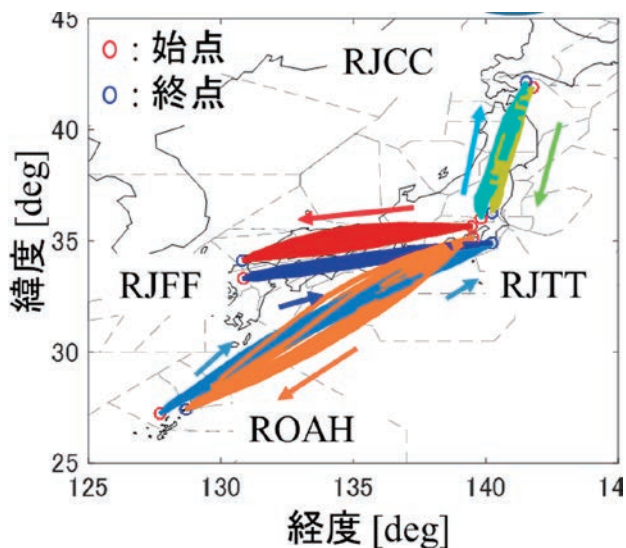


図2 UPRの算出例（羽田空港と新千歳・福岡・那覇の各空港間の飛行経路を算出）

4. おわりに

高速シミュレーションにより航空管制官の作業量を予測する航空管制作業モデルの構築に着手した。また、気象条件がUPRに与える影響を検証した。次年度は、航空管制作業モデルの精緻化および妥当性の検証とともに、1年間を通じた気象情報の分類手法を検討し、分類された気象情報毎に飛行経路を算出することにより、我が国におけるUPRのパターン分類を行う予定である。

掲載文献

- (1) K. Kageyama and K. Akinaga, "ATC Procedure Modeling for Capacity Estimation of Japanese Airspace," AIAA Scitech : Modeling and Simulation Technologies Conference, January, 2017.
- (2) Y. Nakamura, K. Kageyama, Y. Miyazawa and H. Matsuda, "A Study on Free Routing Considering Interference of Air Traffic Flow," AIAA Scitech : Modeling and Simulation Technologies Conference, January, 2017.
- (3) 蔭山, 秋永: "フリー・ルーティングに対応した航空管制シミュレーション・モデルの構築," 第54回飛行機シンポジウム, 2016.
- (4) 中村, 蔭山, 宮沢, 松田: "国内線における利用者選択経路による便益," 第54回飛行機シンポジウム, 2016.

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	○福島幸子, 平林博子, 岡恵, ナヴィンダ ビクラマシンハ, 虎谷大地
研究期間	平成 28 年度～平成 31 年度

1. はじめに

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

CARATS では CDO を混雑空港で繁忙時にも運用することを目標としている。関西空港では CDO の運用が深夜早朝帯に限られており、運用拡大が航空局や航空会社から求められている。

本研究の目的は継続降下運航を実施できる航空機をできるかぎり増加させることである。

2. 研究の概要

本研究は 4 年計画である。平成 28 年度の研究においては、以下を実施した。

- ・ 関西国際空港 (以下, 関西空港) の CDO の分析と検討
- ・ ヒューストン国際空港 (以下, ヒューストン空港) の CDO の調査
- ・ CDO 実施判断支援ツールの製作
- ・ 上昇・降下パスの検討

3. 研究成果

3.1 関西空港の CDO の分析と検討

CDO の実績は徐々に増えてきたが、要求数、承認数とも日によってばらつきがあった。

CDO の要求に対して管制部で承認をする時には、まだ進入管制区のレーダには映っていない。また進入管制区入域時に、経路が交差するかもしれない出発機の離陸時刻はまだわからない。そのような予測が不確実な中でどの程度安心して CDO 機の安全間隔を確保していけるか、管制部、空港それぞれ管制官向けのシナリオを、実データをもとに作成し意見交換を行った。この結果は次年度以降のシミュレーションでのパラメータ設定に活かされる。

3.2 ヒューストン空港の CDO の調査

ヒューストンメトロプレックスは FAA 最初の OAPM (Optimization of Airspace & Procedures in the Metroplex) であり、2 つの主要な空港を含み多くの到着機が CDO を実施している。ジョージ・ブッシュ・インターコンチネンタ

ル空港 (KIAH), ウィリアムホビー空港 (KHOU) 及び周辺空域の調査を行った。

ここでの CDO は、最適化されたプロファイルによる下降 (OPD; Optimized Profile Descent) であり、わが国で運用されている「航空機の運航上」最適な CDO とは若干異なり、管制上も含めた「最適な」CDO である。CDO を実施するうえで管制官やパイロットの負担を軽減するために、標準到着経路 (STAR; Standard Terminal Arrival Route) や標準計器出発方式 (SID; Standard Instrument Departure) を工夫し、ある程度の飛行の制限を付加していた。STAR での高度の設定範囲や速度を指定する地点などは我が国の STAR とは大きく異なっており、制限は多いものの滑走路の方向に応じた高度になっていた。また、SID については CDO の実現により重きを置いたものとなっていた。混雑空港で CDO を実施する為には必要な制限であるが、航空機の運航効率や操作性の面で大きな変更となるので、運航者とも議論を行い我が国の制限として可能な制限を検討したい。

3.3 CDO 実施判断支援ツールの製作

CDO を承認するには他の航空機との近接などを事前に検証するため、交通量が多いときの CDO 実施判断は管制官にとって大きな負荷となる。そのため、初期的な到着管理を行い、CDO 拡大の可能性をシミュレーションできるツールの提案を目指し、その製作に着手した。H28 年度は交通流シナリオの到着機の情報を整理するところまで作成した。H29 年度は整理した情報を元に、地点の通過時刻を管理し航空路管制部分での時間調整を実施する。

3.4 上昇・降下パスの検討

実際の上昇・降下パスをレーダデータから解析した。特に関西空港への降下パスについては CDO を実施していないときの水平飛行部分や CDO 実施時の各地点の高度・速度のばらつきについて調査した。図 1 にある冬の 1 日の南西方面から関西空港滑走路 24 へに到着機の高度分布を示す。

日中の CDO 運用時間外では高度 29,000ft, 16,000ft, 4,000ft での水平飛行が多いが、CDO 実施機は水平飛行部分がほとんどない。CDO 運用時間内での CDO 非実施機は交通量の少ない時間帯なので水平飛行部分は CDO 運用時間外に比べて少ない。

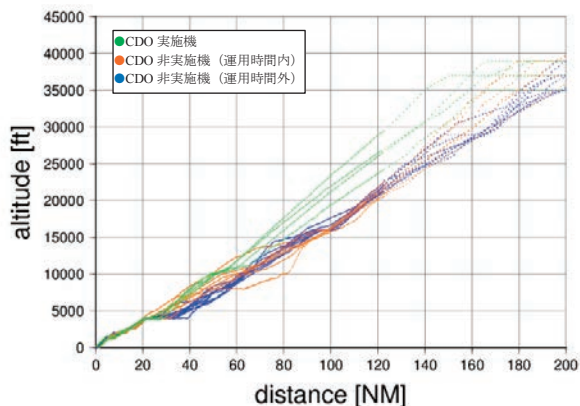


図1 地点 KARIN (南西方向からの到着) から滑走路 24 への到着機の高度分布

また、フルフライトシミュレータを用い、CDO や制限付きの CDO の飛行を模擬しデータを比較した。図 1 と同様の経路を B777-200 (B772) と B737-800 (B738) でいろいろな降下を模擬した場合の各地点の対地速度を図 2 に示す。横軸は空港に向かう主要な地点である。なお、KARIN が航空路管制セクタから進入管制区への移管地点である。また、これらのシミュレーションは全て同一の気象条件で行った。異なる機種で CDO の実施機や非実施機が混在するときのバッファを検討するためのデータが取得できた。

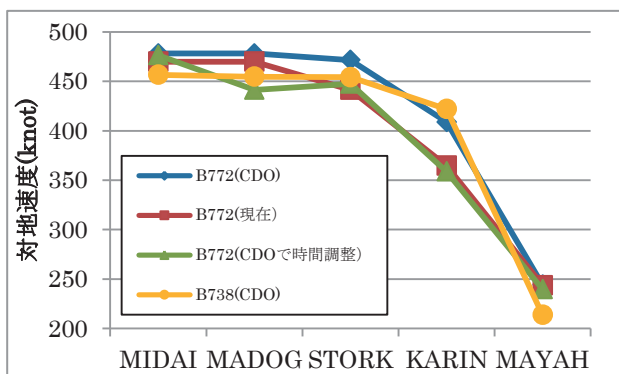


図2 対地速度

CDO の場合、機種が異なると高度や速度の降下率、減速率が異なるため位置によって高低が逆転することもあり、予測が難しい。さらに、現在の CDO でない運用や、CDO であっても減速による時間調整を行っている場合は各地点の高度が低く、速度も遅いため間隔設定のときに多めの安全間隔を確保する必要がある。また、CDO の速度は気象の影響をより大きく受けるため日によって通過速度が変わることとなる。

このため、航空会社よりクイックアクセスレコーダー (QAR; Quick Access Recorder) の QAR データも入手し、

CDO 実施時の航跡や航空機の姿勢、出力データなどを解析中である。

これらの結果は、3.3 で製作中の支援ツールでのパラメータ調整に生かされる。

3.5 大学との連携

公募型研究制度を利用して、大学との連携を進めた。横浜国立大学上野教授と「安全間隔を考慮した CCO (継続上昇運航) の研究」を開始した。H28 は条件に不確定性を持つ単機の最適経路生成アルゴリズムを検討し、CCO 機と CDO 機の干渉回避時間を算出した。

4. まとめ

関西空港の CDO の現状を調査するとともに、すでに多くの OPD を実現しているヒューストンの 2 つの空港について調査を行い、混雑時間帯への CDO 拡大の知見を得た。また、レーダーデータによる現状航跡の把握に加え、理想的な CDO や混雑時間帯での時間調整を含む CDO などをフルフライトシミュレーションによりデータを得た。さらに QAR データにより CDO 実施時のデータを得た。

H29 年度は QAR データの解析を進めるとともに、CDO 実施判断支援ツールの航空路管制部分での時間調整が可能となるよう、シミュレーションを行い、CDO 実施の条件による運用の拡大について検討したい。

掲載文献

- (1) 福島, 平林, 岡, 伊藤, ビクラマシンハ, “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, 2016 年 6 月.
- (2) 岡, 福田, 福島, 瀬之口, “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, 2016 年 11 月.

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

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○天井 治, 森 亮太, 松岡 猛

研究期間 平成 28 年度～平成 29 年度

1. はじめに

近年, 新しい計器進入方式として, 航空機の優れた性能を生かせる RNP AR (Required Navigation Performance – Authorization Required: 特別許可を要する航法性能要件) 進入方式が開発され, 日本でも効果の見込まれる空港から順次導入されている。RNP AR 進入方式は平成 29 年 9 月現在 26 空港で導入されている。RNP AR 進入方式では自由度の高い経路設定が可能となり, その高い航法精度を活用して経路短縮による燃料削減や飛行時間の短縮, 騒音を考慮した経路設定等が期待できる。RF (Radius to Fix) Leg と呼ばれる円弧旋回を用いて滑走路近傍での曲線進入が可能となる。

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

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

2. 研究の概要

2.1 研究の目標

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

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

次の2項目の作成等を目標とする。

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

2.2 本年度の研究

本年度は初年度にあたり, 下記の項目の実施を計画した。

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

①について。混合運用の導入対象とする関西国際空港における航空交通流や運用環境を調査する。具体的には, レーダデータ等における現行の航空交通流の把握や運用環境の現地調査等を行う。また RNP AR 進入方式の経路設計を航空局に依頼する。

②について。PC ベースの航空管制シミュレーション・ソフトウェアを上記の関西国際空港における交通流・運用環境の調査で得た情報にて関西国際空港に特化させた環境に改修する。

③について。関西国際空港に混合運用を導入した場合について, 上記の改修された航空管制シミュレーション・ソフトウェアを用いて夏季 (南風等) 環境におけるリアルタイムシミュレーション実験を行い導入の可能性を調べる。また, ハザードとなり得る事象の抽出を行う。

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

⑤について。ICAO SASP 会議等に参加してターミナル空域等における安全性評価手法の検討結果を発表し, 併せ

て情報収集を行う。

3. 研究成果

①について。関連各所への多くの問い合わせを行って多数の情報を収集し、疑問点を解消した。また、認識できていなかった部分についての知見も得た。また、レーダデータ、飛行計画情報等を用いて交通流の調査、航跡の抽出を行い、到着機の種類・高度プロファイルやシナリオ等を作成した。更に複数の RNP AR 経路を検討し、それぞれの速度・高度プロファイル、航跡等を作成した。

②について。関西国際空港の特性に合わせて管制リアルタイムシミュレーション実験に用いるシミュレータプログラムを改修した。具体的には、滑走路2本、複数の隣接空港の存在、複数の管制官役、出発機表示等に対応した。また、管制官役、パイロット役の要望に応じて適宜プログラムの改修を行った。

③について。関西国際空港を対象とした管制リアルタイムシミュレーション実験の準備と実施を行った。準備に関しては、シナリオ、人員配置に関して情報を精査し、必要な管制官役、パイロット役の決定およびそれに伴うクライアントパソコンの台数の決定・配置等を行った。関西国際空港に直接絡まない飛行便（羽田ー伊丹便等）は表示させないなど簡略化できる部分は可能な限り簡略化した。更に、作成したシナリオの妥当性を確認し、改善した。

実験は下記の条件で行った。

- ・滑走路 24 を使用
- ・現行通り、北側を到着専用、南側を出発専用とする。
- ・RNP AR 便は全て許可。経路が伸びる誘導は不可。
- ・タワー移管は FAF（Final Approach Fix）までに行い、滑走路手前での管制間隔は後方乱気流間隔以上にする。
- ・AWAJI 以東でのレーダ誘導は極力避ける。

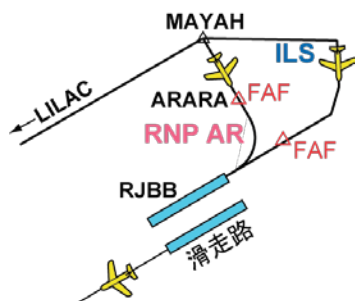


図1 経路構成例

図1に経路構成の一つを示した。MAYAH から RNP AR 経路と ILS 経路が分かれるが RNP AR は経路が短縮されていることが分かる。12日間で46試行（一試行40～60分）

の実験を実施した。その結果、次の知見が得られた。

- ・現在の交通量（ピーク時 IFR 到着機 21 便/時）で混合率 30%の混合運用は、現在のままの運用（専用滑走路等）では困難。
- ・仮想仙台空域での実験時と同様、結果的に速度調整を多用する管制となった。
- ・3年後の予測交通量（1.3倍）での混合運用は滑走路の使用方法等の条件を大幅に変更しない限り困難。ILS 機のみなら現行の運用形態でも対応できる可能性有り。

④について。考案したハザード解析手法を整理し、論文誌への投稿を準備中である。混合運用では「管制方式基準」の何処を変更すべきかの資料を作成した。実験状況の観察結果を踏まえて関空における混合運用におけるハザードを同定中である。

⑤について。平成28年5月と11月に開催されたICAO SASP会議に参加し研究発表・意見交換を行った。洋上航空路を飛行する2機間の距離と速度誤差には依存性があり、現行の縦間隔のリスク評価値は過大評価になっており、ADS通報周期をもう少し長くできそうと提案していた。その結果、福岡FIR内のRNP4 縦30NM間隔のADS通報周期の10分から12分への延長が決定され、平成28年11月から適用されている。

4. まとめ

平成28年度の研究の概要を示した。前年度までに行ってきた研究成果を生かすために関西国際空港における混合運用のリアルタイムシミュレーション実験を実施し、実現可能性を調べた。その結果、現行のピーク時の到着機数では困難という知見が得られた。今後は、実施可能な時間帯に限定した運用の可能性をリアルタイムシミュレーション実験にて調べる予定である。

掲載文献

- (1) R. Mori, Speed Error Dependency and Associated Position, ICAO SASP WG/28, May 2016.
- (2) 天井, 松岡: “RNP AR 機最優先方式での従来機との混合運用の可能性”, 電子航法研究所第16回研究発表会講演概要, 2016年6月.
- (3) 天井, 松岡: “RNP AR と ILS 進入方式との混合運用における管制間隔に関する実験”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 A-18-1, 2016年9月.
- (4) 天井, 松岡: “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”

の 4 ～仙台空域ベースの航空管制リアルタイムシミュレーション実験の結果と関西国際空港を対象にした実験の準備状況～”，CARATS 高規格 RNAV 検討 SG 会議, 2016 年 10 月.

- (5) 天井, 松岡, “航空管制リアルタイムシミュレーション実験による RNP AR 機最優先方式での混合運用と従来運用との比較”, 日本航空宇宙学会 第 54 回飛行機シンポジウム, 3K09, 2016 年 10 月.
- (6) R. Mori, Lateral Deviation and Occupancy in Fukuoka FIR, ICAO SASP/1, Nov. 2016.
- (7) 天井: “同時平行進入における航空機対の占有率の推定”, 電子情報通信学会総合大会 A-18-4, 2017 年 3 月

遠隔空港運用支援システムに関する研究【指定研究】

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○井上 諭, ブラウン マーク, 米本 成人 (監視通信領域), 塩見 格一 (監視通信領域)
研究期間 平成 28 年度

1. はじめに

中小規模の空港業務を、安全かつ効率的に運用していくための新しい技術的な仕組みとして、リモートタワーの研究開発が世界的に行われている。リモートタワーは、現在、空港のタワーで行われている業務を、映像技術およびネットワーク技術等を活用し、離れた遠隔地に設置された施設にシステムを集約し、管制業務を実施するものである。空港の交通状況や安全などを監視する業務を離れた場所に設置された運用センターからも実施できるようにするためには、光学および赤外線カメラや映像を映し出すディスプレイ、監視センサーや情報通信技術を活用したシステムにより、安全性の向上はもちろん、現在のタワー業務と比較しても、効率的な運用が可能なシステムとしなければならない。そのため本研究では、前年度までの基礎研究に続き、リモートタワー運用の実用化に向けて、システムに必要な技術開発やコンセプトモデルのシステムインテグレーションを実施する。

2. システムの概要

空港のタワー業務を遠隔オペレーションとして行うにあたり、安全でありながら、より多くの航空機を効率的にコントロールするためには、視覚による監視情報を拡充するシステムが推奨されている。図1に示すように、リモートタワーのシステムではタワーで業務を行う際にオペレーターが見る窓の外の状況 (Out of The Window view) と同様に、タワーからの光景と同様のパノラマビューをカメラとディスプレイのシステムにより提供する。また、空港周辺や空港内の航空機の位置は監視センサー情報を基に、ディスプレイ上のパノラマビューに支援情報として合成し拡張現実 (Augmented Reality : AR) 型の表示を行う。これらの機能は安全性の向上と同時に、効率にも寄与できる。

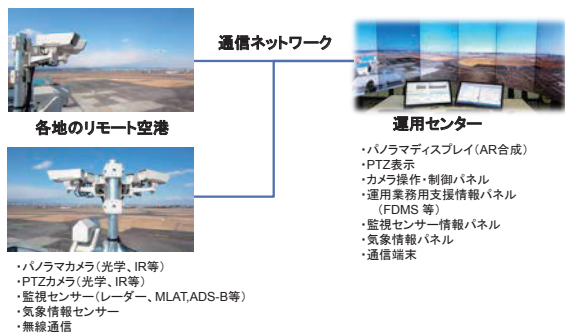


図1 システム概念構成

AR情報は、映像及び監視センサーによる位置情報とリンクし、航空機に関連付けられた固有の情報をタグに表示できるようにしている。ARによる業務支援情報の表示は、視界が低下するような場合においても、航空機の位置情報がディスプレイ上に合成映像として表示されることで、オペレーターは航空機の位置を直感的に把握可能で、夜間や悪天候時等のオペレーションでも負荷軽減に寄与する。また双眼鏡を使うような特定の視界領域を拡大したい場合に対応するため、PTZカメラを装備している。PTZカメラは特定の場所を拡大、さらに位置センサーの情報と連動して特定の目標を自動的に追尾する機能を持つ。これらの機能により、オペレーターは空港から離れた運用センターからでも航空機を監視し、必要な情報提供や指示等の業務が可能になる。

3. 実験システム

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



図2 プロトタイプシステム (ディスプレイ及び操作用HMI)

カメラからは30fpsで映像が配信され、シームレスになるように設置されたHDのディスプレイ6台に180°のパノラマ映像が出力される。カメラとマルチディスプレイ間は、メディアコンバーターを介した光回線で接続している。H28年度に表示側の実験設備を岩沼分室から調布の実験室に移し、光ファイバーのインターネット回線のVPNを通して岩沼分室に設置してあるカメラから

映像を約 300 km離れた調布側のディスプレイに映し出す遠隔環境の実験を開始した。配信される映像は欧州の技術基準である EUROCAE で定義されている映像遅延基準の 1 秒以内に収まっており、システムが国際的な技術要件を満たしていることも確認できた。

4. ターゲットトラッキング

リモートタワーの仕組みにおいて、新たに装備される機能の一つが航空機や移動体を検知、追尾することができるターゲットトラッキングである。この機能はオペレーターの視覚を支援するために有効な手段として、拡張現実（以下、AR）技術を用いディスプレイの航空機や移動体が存在する位置にマーカーや付加情報を表示する。この機能は主に、映像データを元にした画像検知情報と監視センサーから得た位置情報の2つを使用し、ディスプレイ上の航空機の位置に、便名や位置、またフライトプランなど、運用に必要な情報をタグとして表示することができる（図3）。映像認識は、映像データ内の動体の差分を検出することで、映像情報から航空機や空港面を移動する車両を検出できる。重ね合わせやノイズ等の外乱情報を排除するためには閾値や補正処理等の技術を付加することで、精度よくスムーズな物体追跡が可能になるように、実用領域へのブラッシュアップを継続しながら、性能向上に取り組んでいる。



図3 ディスプレイ上のトラッキング表示例

現在、ターゲットトラッキングで採用しているアルゴリズムはトラッキングのリアルタイム性を第一に考え、処理時間を重視しており、基本的には背景差分法の考え方を採用している。しかし、背景差分法で生じる分断などの問題は、速度ベクトル成分の抽出やフィルタリング等の技術で解決でき、映像ベース技術の追跡精度の向上ができることを確認している。また、ノイズや、気象条件による可視光カメラによる指定の限界などにおいては、映像認識の機能が働かない場合でも、位置情報センサーからの情報を用いて航空機のいる位置を推定し、映像上に表示することで、空港内のどの位置に航空機がいるのかを知ることができる。またフライト情報と結びつけることで、位置と個々の航空機の関係がすぐに理解

できるため、オペレーターの業務負担の低減につながると期待される。さらに、監視センサーの位置情報は固定カメラから送られてくる映像上にマッピングされているため、たとえ映像データでの追跡が難しいような視界不良な環境でも、航空機の位置を表示し続けることが可能にしており、視程が悪い状況においても、オペレーターの運用を視覚的にサポートできることが期待されている。

5. PTZ カメラ

パノラマ映像の中で、特定の場所や移動体を拡大したい場合には、パノラマ映像と連動し、映像の任意の位置を指定することで、その選択した場所を拡大するための仕組みをもつ。映像認識と位置センサーの情報を元に特定のターゲットを追跡することができ、航空機の状態を確認したい場合に、作業負担を低減しながら、確認作業を行いやすく、業務を適切にサポートすることに役立つと考えている。

6. 統合型操作用 HMI

新しいシステムでは、小規模な空港が対象となるが、基本的には1人で運用することが考えられている。そこで、今までタワーではそれぞれに装備されている業務支援機器を1人用のシステムにインテグレートして使用可能なHMIデザインの検討も実施している。最初のプロトタイプではレディオ空港を対象として、人間中心設計の考え方にに基づき、業務分析から情報の配置や表示の仕方を検討し、HMIデザインを検討した（図4）。



図4 操作用 HMI デザイン例（カメラ操作機能及び、フライトプラン、気象情報の設定を統合した例）

7. まとめ

本研究ではリモートタワーの実用化を目指し、そのための基礎的なプロトタイプシステムを作成し、機能検証を実施した。今後も、後継研究で実運用を想定したテストを続け、機能の精度向上や技術課題の解決を行っていく予定である。

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○瀬之口 敦, 平林 博子, 白川 昌之
 研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

1. はじめに

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

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

2. 研究の概要

本研究は 3 ヶ年計画であり、第 2 年次となる平成 28 年度は①軌道予測の精度と中期コンフリクトの検出閾値の分析、および②気象変化の予測性向上に伴う軌道予測の精度評価の 2 点を実施した。

3. 研究成果

3.1 軌道予測精度と中期コンフリクト検出閾値の分析

レーダデータ（実航跡）および飛行計画情報を用いて 20 分先の軌道を予測し、中期コンフリクトの発生数を求めた具体例を図 1 に示す。用いた予測手法・精度に改善の余地があると思われるが、中期コンフリクト検出時の航空機位置が航空路に沿って分布している等、特徴的な傾向を示すことがわかった。これより、DAPs/ADS-B の取得可能パラメータとして定義されている Next Waypoint よりも先の FIX 情報や今後予想され得る管制指示の情報が重要と考えられる。

3.2 気象変化の予測性向上に伴う軌道予測精度評価

SSR モード S の DAPs 機能による風向・風速、温度（推定値）への品質管理の適用について検討した。機上観測値そのものをダウンリンク可能な航空機（存在はごく少数）を対象に、推定値と機上観測値を比較した結果、要求範囲外の気象値や異常値、地表付近のデータを除外することで推定値の RSME が大きく減少するとわかった。

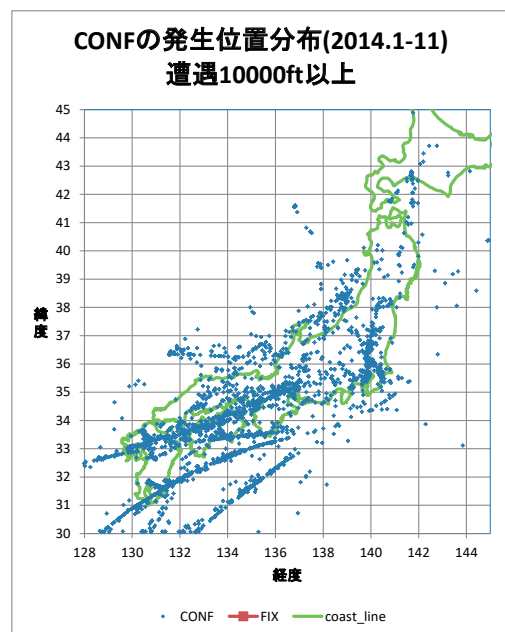


図 1 中期コンフリクト検出時の航空機位置分布

4. 考察等

最終年度となる次年度（平成 29 年度）は以下の 3 点を実施し、研究成果をとりまとめる予定である。

- (1) 軌道予測の精度と中期コンフリクトの検出閾値の分析（継続案件）
- (2) 気象変化の予測性向上に伴う軌道予測の精度評価（継続案件）
- (3) DAPs 機能を利用した高精度な軌道予測に基づく中期コンフリクト検出技術の評価
 - DAPs 機能を利用した場合の軌道予測精度と中期コンフリクト発生数の関係を解析する。

掲載文献

- [H28-1] 平林, 瀬之口, 白川, “中期コンフリクト検出技術の必要性と課題”, 第 16 回電子航法研究所研究発表会講演概要, No.4, 2016 年 6 月.
- [H28-2] 白川, 瀬之口, “羽田空港における TCAS RA についての検討”, 第 3 回安全情報分析委員会（主催：国土交通省航空局交通管制部管制課）, 2017 年 3 月.
- [H29-1] 平林, “中期コンフリクト検出技術の必要性と課題”, 航空管制誌 2017-No.2, pp.50-57, 2017 年 4 月.

予防安全のための状況認識支援に関する研究【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○青山 久枝, 中村 陽一, 井上 諭

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

1. はじめに

航空交通量の増大に伴い、航空保安業務従事者の業務量も増大する中で、航空交通の安全性向上は最優先の課題とされる。その達成に向けて、業務の自動化範囲の拡大等が検討されているが、航空保安業務の中心は人間であり、航空保安業務従事者である航空管制官（以下、管制官）もより安全性の高い業務を行うことが求められる上、業務経験を通じて獲得された技能を伝承し、維持・向上させていくことも必要とされる。このような業務において、ヒューマンファクターに関する分析とそれに基づく安全管理に対する支援が今後さらに必要である。

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

2. 研究の概要

本研究は 3 ヶ年計画であり、本年度は以下の項目を実施した。

- ・COMPASi の実用性評価及び評価機能向上
- ・状況認識に関する調査・検討及び状況認識能力向上の支援手法開発

3. 研究成果

航空保安大学校のご協力をいただき、COMPASi を実

習課程の自学習用副教材として試行及び評価、操作性・不具合など実用に関するアンケート調査を継続して行っている。また、管制官養成課程のみならず現場管制官のスキル評価を想定したタスクレベルの判定等について評価機能の向上を検討している。

状況認識能力向上の支援については、先行研究により、管制官が一般人より若干の優位性が見られた空間把握能力に関し、管制業務に必要な認知的能力と日常的な活動との類似点を検討した。その結果、特定のスポーツ（サッカー、野球など）ではあるが、競技者の行動や団体競技に見られるチームワークに類似点が見られることがわかった。飛行場管制業務において、管制官は目視により捉えた航空機の位置を頭の中で空港面の俯瞰的な図に投影している。スポーツにおいても、競技場のレイアウトが描かれた盤面を用いた戦略説明を選手は俯瞰的な位置として捉え、試合に臨む。また、環境条件が予測できない形で変化し、その変化に合わせて行動することが要求されるオープンスキルを必要とされることも類似と言える。エラーに対する何重ものカバーやテクニカルな技能とノンテクニカルな技能の両方を訓練と経験を通じて取得していることも類似が見られた。

4. 今後の見通し

航空保安大学校における COMPASi の試行及び評価などを継続していくと共に、これまでの認知的能力の調査に基づいた「気づき」能力向上のための支援機能を追加する予定である。

掲載文献

- (1) 狩川他：“航空路管制業務における到着間隔設定プロセス可視化手法の機能評価”，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 18 No.3，pp. 143-156，2016 年 4 月。
- (2) 中村他：“航空機の燃料消費の観点からの管制処理戦術評価ツール”，日本人間工学会第 57 回大会，pp. 262-263，2016 年 6 月。
- (3) D. Karikawa, et al.：“Analysis of Controllers’ Working Methods Supporting Safe and Efficient Air Traffic Operations”，The 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium HKS2016, ThuDTrack4.1, 2016 年 9 月。

空港周辺における運航効率向上に関する研究【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○森 亮太、青山久枝、中村陽一

研究期間 平成 28～29 年度

1. はじめに

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

2. 研究の概要

2. 1 離陸機の燃料消費削減

地上走行時の離陸機の燃料消費削減を行うためには、タキシング時間削減を行うことが有効である。離陸機は通常出発準備ができ次第スポットを出発し、滑走路手前まで地上走行(タキシング)を行う。滑走路が離着陸機で混雑している場合には、滑走路付近に着いても地上で待たされ、タキシング時間が通常より長くなり、必要以上の燃料消費を行うこととなる。これを避けるために、一定時間スポットで待機することでタキシング時間を削減する試みが行われており、各航空機に設定されたスポット出発時刻を TSAT(Target Start-up Approved 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 効率的な着陸経路の設定

着陸機に関しては、着陸経路を工夫することにより、現状より効率よく飛行する方法について考察する。近年、日本においては着陸機の燃料消費削減を 1 つの目的として、RNP AR 方式の導入が進められている。本方式は、従来の飛行方式に比べて自由度が高く柔軟な経路設定が可能であるため、本研究では既存の RNP AR 経路を対象とし、よりよい方式設計が可能かどうかを検証する。

2. 3 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。本研究では、着陸機の滑走路選択を最適化できるようなシステムの構築を目指す。

3. 研究成果

3. 1 離陸機の燃料消費削減

昨年度までは、主として空港内の不確実性を考慮するためのシミュレーションモデルの構築を行ってきた。本年度は、そのモデルを使用して、実際に TSAT の設定手法の提案を行った。具体的には、空港運用における 2 つの値を説明変数として、TSAT を動的に切り替える手法である。これを組み合わせ最適化問題に落とし込み、タブーサーチという最適化手法を用いて、最適な TSAT 設定手法の探索を行った。その結果、通常用いられる TSAT 設定手法と比較したところ、従来手法と同等のタキシング時間削減を維持しながら、遅延が 20～80%程度も減少できることがわかった。[2]

3. 2 効率的な着陸経路の設定

実際に効率的な経路設定が可能であることを示すために、ケーススタディとして、熊本空港の RNP AR 方式(RNAV(RNP) Y RWY 25)を対象として検討を行った。本方式は、通常の着陸経路により急勾配となっており、パイロットにとっては難しい着陸となる。実際のフライトデータからその飛行実態を検証したところ、パイロットによりさまざまな飛行が行われていることがわかり、入域ウェイポイントにおける速度がその後の飛行の困難さにつながっていることがわかった。そのため、入域ウェイポイントにおいて速度制限を課すことにより、パイロットにとって飛行しやすい方式になるだけでなく、燃料消費としても B737-800 で 10lb 程度の節減が可能であることがわかった。[1]

掲載文献

- [1] 森「研究開発課題報告：最適な飛行方式設計に関する研究、CARATS 高規格 RNAG SG, 2016/04.
- [2] R. Mori, "Improvement of Pushback Time Assignment Under Uncertainties," ICAS 2016, Daejeon, South Korea, 2016/09.
- [3] 森「TSAT/VDGS システムの評価」第 4 回首都圏空港の協調的運用 WG 羽田分科会, 2017/03.

プロセス指向型安全マネジメントに関する研究【萌芽的研究】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○青山 久枝, 中島 徳顕

研究期間 平成 27 年度～平成 28 年度

1. はじめに

航空交通の効率性・経済性向上に対する社会的ニーズに応えつつ、高い安全性を維持していくために、航空管制分野では継続的な安全性向上への取り組みが行われてきた。その一方で、近年、航空分野のようなすでに高い安全レベルを達成している産業分野における安全性向上をより効率的に実現していく上で、新たなアプローチの必要性が指摘されている。そのようなアプローチの一つであるレジリエンスエンジニアリングでは、安全を「変動条件下で成功する能力」と定義し、その能力を担保する「プロセス」の有効性に注目することにより、予防的かつ多重の安全マネジメントを開発・実装する取り組みが行われている。

本研究は、プロセス指向型の安全マネジメント実現に向け、飛行場管制業務を起点とし、その安全かつ円滑な業務遂行を支えている個人／チーム／組織のプロセス（管制官による特徴的な業務の進め方や情報共有のための仕組み、教育・訓練等）の整理・モデル化を図ると共に、それらのレジリエンスエンジニアリングの枠組みを用いた分析・評価の可能性について予備的検証を行うことを目的とする。

2. 研究の概要

本研究は2ヵ年計画であり、以下の項目を実施した。

- ・個人／チーム／組織のプロセスの詳細な調査
- ・個人／チーム／組織のプロセスの整理・モデル化
- ・各プロセスのレジリエンスエンジニアリングの枠組みを用いた分析・評価可能性の予備的検証

3. 研究成果

国土交通省大阪航空局中部空港事務所のご協力をいただき、現地の管制官に対するインタビューを通じて飛行場管制業務の流れとそれを行う管制官の認知プロセスについて詳細な調査をのべ4回実施した。

管制官個人/チーム/組織のプロセスの包括的な解明は困難であったが、いくつかの具体例を通じて、安全かつ円滑な業務遂行に寄与していると考えられる管制官個人やチームの業務の進め方、情報共有に関する特徴、組織的

な安全支援活動の効果等について知見を得た。

また、得られた知見に基づいて、管制官の認知プロセス、状況認識や情報取得のやり方や、業務分担と相互のカバーなどの業務の特徴を記述する手法を検討し、レジリエンスエンジニアリング分野で提案されているFRAM（Functional Resonance Analysis Method：機能共鳴分析手法）によるモデルの試作を行った。モデルを用いたシステムの分析や組織的な安全支援活動の検討に適用できるようにするためには、さらなる記述手法の検討が必要である。

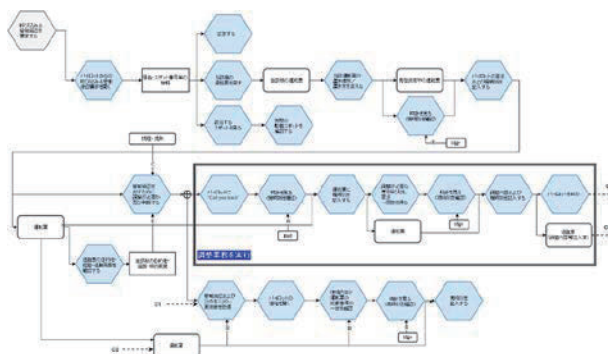


図1 FRAMによるモデル化の例

また、調査を通じて、「業務」に直接関係するプロセスのみならず、その確実な遂行を支える管制官個人やチームのプロセスを含めたモデル化とその相互作用の分析の必要性が確認されたため、今後も後継研究にて業務観察および管制官へのインタビュー調査を継続して行っていきたい。

4. 今後の見通し

今後は、本研究の後継研究として、平成29年度科学研究費補助金 基盤研究(B)「予防安全に向けたシステムの強靭性分析手法に関する研究」において、引き続き、管制業務の実務経験者、安全マネジメント等の各分野の専門家と協力し、管制官/管制官チームの認知プロセスの分析結果に基づいた実践的な安全マネジメントの分析手法の提案と有効性評価を行う予定である。

掲載文献

- (1) 狩川：“Safety-I & Safety-II 安全マネジメントの過去と未来（エリックホルナゲル著，北村正晴／小松原明哲監訳）”，翻訳分担（第 5 章），2015 年 11 月.
- (2) 狩川他：“Safety-II の観点に基づく飛行場管制業務の分析(1)－業務の特徴抽出の試み－”，日本人間工学会第 57 回大会講演集，pp.372-373，2016 年 6 月.
- (3) 青山他：“Safety-II の観点に基づく飛行場管制業務の分析(2)－航空管制官の暗黙知に関する考察－”，日本人間工学会第 57 回大会講演集，pp.374-375，2016 年 6 月.
- (4) 青山他：“「機能」の観点からの飛行場管制業務の分析”，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集，pp.1-4，2016 年 9 月.
- (5) 狩川他：“飛行場管制業務における情報源の分析”，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集，pp.5-8，2016 年 9 月.
- (6) 狩川他：“飛行場管制業務におけるレジリエンスの分析”，計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2016 講演論文集，SS01-3，2016 年 12 月.

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○伊藤 恵理, 中島 徳顕, 天井 治, ビクramシンハ サイニング, 虎谷 大地
 研究期間 平成 28 年度～平成 29 年度

1. はじめに

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

そこで本研究では、近い将来の実用化に向けて研究開発が進められている機上ベース運航である機上監視応用システム(ASAS: Aircraft Surveillance Applications System)の応用方式を活用する IM(Interval Management)と、燃料消費量を削減する継続降下運航(CDO:Continuous Descent Operation)を実現する FPA(Fixed-flight Path Angle)降下を東京国際空港に到着する交通に適用した場合の有効性を評価するとともに、それらの新しい運航と協調する到着スケジューリングアルゴリズムの研究開発と基礎検討を実施している。初年度となった平成 28 年度の研究概要は以下のとおりである。

2. 研究概要

2.1 IM(Interval Management)

IM は、ASAS 応用方式の一つである FIM(Flight-deck Interval Management)と、FIM を実施する航空機(FIM 機)を含む航空交通の到着スケジューリングを自動化して管制官の業務を支援する GIM(Ground-based Interval Management)を利用した空対地の連携技術により、滑走路処理容量を増加し、管制官のワークロードや環境への負荷を低減する運用である。そこで本研究では、FIM を東京国際空港に到着する航空機に適用して有効性を評価するために、SPICA シミュレータを改修し、風や飛行経路などのさまざまな不確実性の影響下で FIM の有効性を評価できるよう、理化学研究所のスーパーコンピューター・京に搭載するプログラムを書き換え、動作確認を行った。

IM の国際基準策定にも貢献するため、10 月にワシントン DC で開催された RTCA SC186 WG4 会議にて IM の要件作成に参加した他、3 月に東京で開催された ICAO ASA(Airborne Surveillance Applications) WG ワークショップで研究成果を発表した。さらに、2 月には FAA, ユナイテッド航空, ハネウェル社が参画した NASA ATD-1 飛行

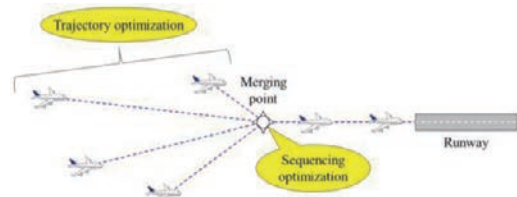


図 1 合流最適化問題の例

実験に参加して FIM 実験機に搭乗した。飛行実験の結果などを CARATS 監視アドホックに反映して、我が国の施策決定に役立てた。

2.2 FPA(Fixed-flight Path Angle)降下

FPA 降下とは、経路角を固定した垂直経路に航空機を飛行させる CDO である。本研究では、B777 および B787 型フルフライトシミュレータ実験により、FPA 降下を東京国際空港ならびに関西国際空港に適用した結果を解析し、ベクター誘導などの従来の運航と比較してエネルギー効率が優れていることを確認した。研究成果を 2 本の論文にまとめ、国際ジャーナル論文誌に投稿した。

また、FPA 降下は既存のアビオニクスを利用して実行できることから近い将来の実用化が期待されたため、ジェブセン社とブランシュワイク工科大学との共同研究を実施し、ボーイング社の協力のもと ecoDemonstrator プロジェクトへの参画を予定している。2 月にはシアトルのボーイング社で打ち合わせをし、B777 機を利用した実験のために WSRD(Work Service Request Document)を提出した。

2.3 到着スケジューリング

空港に到着する航空交通について、到着スケジューリング(到着の順序づけと到着時刻の算出)と、それを達成する航空機の最適な軌道生成を同時に行うアルゴリズムを研究開発し、有効性を検証した。航空交通が合流する地点までの軌道と到着順序づけを最適化する合流最適化問題(図 1)を解く新しい手法である軌道順序同時最適化手法(Simultaneous Optimization Method for Trajectory and α sequence: SOM-TS)を提案した。そして、後方乱気流などの制約を考慮し東京国際空港への到着交通流を模擬したケースに適用する初期的なシミュレーションの結果、到着交通流の燃料消費の合計が最小になるような到着スケジューリングを実現できることがわかった。研究成果を複数の国際学会で発表した。

無人航空機の交通管理に関する調査【調査研究】

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○平林 博子, 中島 徳頭, 宮津 義廣
研究期間 平成 28 年度

1. はじめに

近年急速に無人航空機に関する需要と関心が高まってきた。比較的小型の無人航空機の飛行ルールに関しては平成27年12月から航空法で規定され施行を開始している。一方、大型の無人航空機の民生用途の利用の動きも世界的に広まっており、ICAO (International Civil Aviation Organization) の技術向上のタイムラインを提供しているASBU (Aviation System Block Upgrades) において、有人の航空機との融合した運用が目標とされている。当所の長期ビジョンにおいても、従来の航空機と無人航空機が混在する空域に対応した航空交通管理に関する技術開発の実施が挙げられている。

本研究では、現段階での各国における無人航空機の運航及び運用に関する情報を整理することで、有人の航空機と無人航空機の混在運用における運航方式、運用の課題を明らかにする。

2. 研究成果

無人航空機は、通信手段、飛行形態、飛行能力、飛行範囲、情報管理等において多岐に及ぶためその分類は未だ世界での共通認識に至っていないが、リスクに応じて分類する考え方が浸透しつつある。交通管理の視点で考察する場合は、飛行する空間を基準に考えていくと整理しやすい。図1は無人航空機の飛行範囲と他の飛行との関係をダイアグラムで示したものである。おおよその飛行範囲は棲み分けされているように見えるが、無人航空機の飛行が影響を及ぼしリスクが高まる可能性はある。中／高高度滞空型無人機においては中／高高度空域に至るまでの上昇及び空域から離脱し降下する過程での航空機に対する影響、小型無人航空機においては比較的低高度で飛行する有視界飛行方式による飛行及びその他レジャー等によるスカイアクティビティに対する影響が考えられる。さらに無人航空機自体の安全性が確保されなければ密集地域上空及び飛行場近辺での飛行は地上の人家及び飛行場離着陸機への影響が懸念される。

平成27年の改正航空法により整理された「無人航空機」は、リスクの少ない飛行範囲及び飛行ルールを定めたものである。このように国による整理は各国でも進んできてお

り、おおむね日本の方式は他国の方式と同等のものである。

交通管理に関する各国の動向として、低高度の交通管理に焦点をあてたUTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) の動きが進んできている。米国NASAが進めるNASA UTMは、米国連邦航空局 (FAA) 公認の無人機テストサイトを活用し研究開発を四段階で進めている。現時点では人の居るところからは分離された空域での目視外飛行の運用に関する検討である第二段階が終了し、情報のない非協調的な無人航空機の飛行を含めた検討である第三段階へ入るところである。また、欧州が中心となり、UTMの基本構造に関して定義化を目指した組織体が平成26年7月にGlobal UTMとして発足した。日本においても、総合研究奨励会として日本無人機運行管理コンソーシアムが平成26年7月発足し、現在もワーキンググループによる活動を進めている。

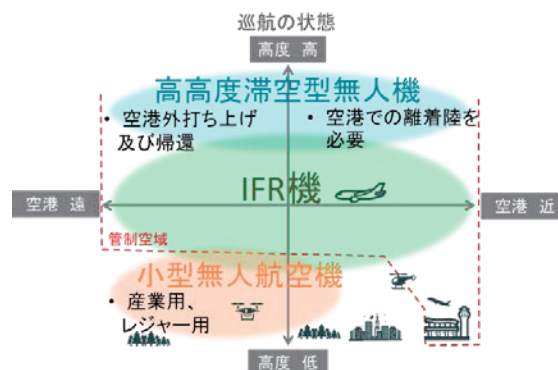


図1 無人航空機飛行範囲ダイアグラム

3. まとめ

無人航空機の利活用の増加に伴い、飛行ルール等は世界中で整いつつある。日本においては、特に低高度における利活用が高まってくると思われる。さらに活用の幅を広げるためには目視外飛行が必要となるため、低高度を飛行する航空機の安全の確保のためにも、今後低高度の無人航空機交通管理が不可欠となる。

掲載文献

- (1) 平林博子, 中島徳頭, 宮津義廣, 「無人航空機運航の航空サービスへの融合の可能性について」, 第54回飛行機シンポジウム, 2016年10月

航空機の到着管理システムに関する研究【競争的資金】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○福島 幸子, 瀬之口 敦, マーク ブラウン, 伊藤 恵理,
ナヴィンダ ビクラマシンハ, 中島 徳顕, 福田 豊

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

1. はじめに

現在、首都圏空域は空港への交通集中による滞留が発生している。混雑空港周辺の到着区間は、軌道予測技術、最適化技術などによる軌道ベース運用の導入による運航効率改善の便益が大きい区間である。今後、首都圏空港の交通需要の増加が予測されており、このような交通集中による滞留を低減し、安全で効率的な運航を実現する到着管理手法の構築が求められている。諸外国では現行の運用方式に基づいた到着管理システムが開発され、運用されている。我が国の航空交通は、高い定時性が求められ、偏西風の影響などを受ける。そこで、我が国の航空交通を解析し、新技術に対応する到着管理システムの運用コンセプトとアルゴリズムを開発することが求められている。

本研究の目的は、現状の航空交通などを分析し、スケジュール準拠により運航効率性の高い降下軌道を実現可能な新しい到着管理方式のアルゴリズムの開発を行い、シミュレーションによりその新しい方式がどの程度の便益(燃料の節約、飛行時間の短縮、交通容量の増大)を生み出すかを明らかにすることである。

2. 研究の概要

本研究は国土交通省交通運輸技術開発推進制度による委託研究として、九州大学、首都大学東京、早稲田大学、茨城大学、株式会社構造計画研究所との共同研究として実施された。

本研究は3年計画である。平成28年度の研究においては、以下を実施した。

- ・運用コンセプトのまとめ
- ・軌道モデルの精度向上
- ・スケジューリングの性能向上及びスケジューリング軌道生成精度の向上
- ・気象データ活用方法の提案
- ・滑走路運用最適化の開発
- ・新方式の評価

3. 研究成果

羽田空港に到着する航空交通流の効率的な到着管理を目指して、到着管理システムの運用コンセプトを昨年度提案した。この運用コンセプトの有効性を明らかにするため

に、航空交通シミュレータを用いてシミュレーションを実施した。運用コンセプトの概念図を図1に示す。

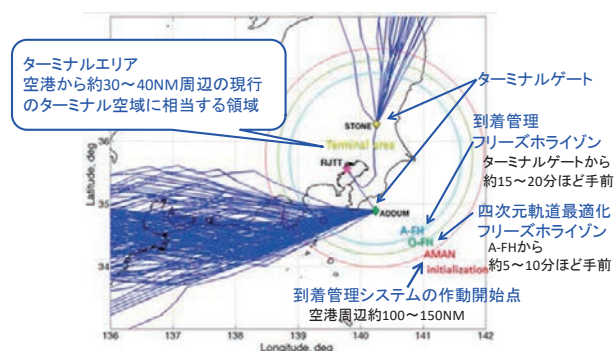


図1 提案した運用コンセプト

出発空港周辺から目的空港のターミナルゲートまでは本研究で開発した軌道モデルにより計算した最適軌道を飛行することとし、出発空港からの航空機についてスケジューリングアルゴリズムを適用した。また、気象予報データに起因する軌道予測の不確実性と近距離便の出発による到着順の不確実性への対応として、リスクスケジューリングを模擬した。シミュレーションの例を図2に示す。

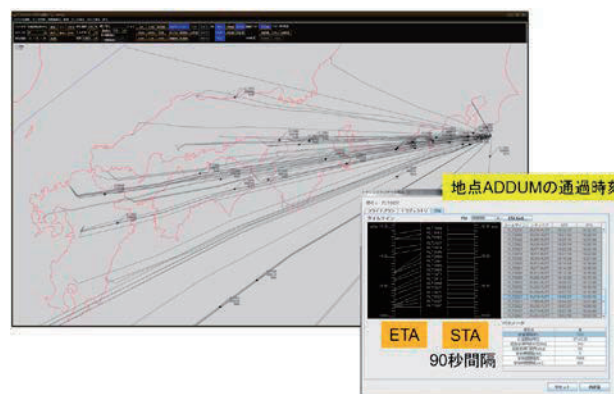


図2 シミュレーションの様子

後ろの図は最適軌道通りに飛行している様子で、手前の「地点 ADDUM の通過時刻」では ADDUM での通過予定時刻 (ETA) とスケジューリング時刻 (STA) で管理している。スケジューリングにより軌道は途中で変わることがある。

提案したコンセプトは運航の不確実性にも対応でき、燃料効率もよく、処理容量も低下しないことをシミュレーションにより明らかにした。

軌道モデルの精度向上のために、BADA モデルの精度を評価する必要があり、ボーイング 787 の飛行記録装置 (QAR) を解析した。その結果、通常の運用の飛行において BADA の性能モデルは燃料流量を比較的良好な精度 (3%以下) で表現していることがわかった。

昨年度開発した動的計画法 (Dynamic Programming) に加えて、実運航を模擬できる、3 変数モデルを開発した。DP で計算された経路を固定し、上昇・降下の CAS、巡航のマッハ数のみを変数とすることで、実運航上、速度制御をうけた場合の飛行管理装置 (FMS) の生成する軌道を模擬できる。

気象データの活用に関しては、先行機の SSR Mode S データを用いるときの有効な範囲として、同高度を飛行する先行機と後続機の時間差が 30 分程度以内であれば、数値予報モデルを用いるよりも風速の予測精度が上がることを示した。また、羽田空港手前のエンルート空域での気象急変の予測可能性を検討したが、降雨や雷雲については難しいことが解り、強いエコーを避ける経路変更による不確実性を加味する必要があることがわかった。

滑走路処理については羽田空港で容量制約の厳しい南風運用に着目して処理効率の実態を解析した。シミュレーションにより離陸機数を考慮した到着空域における間隔制御については、到着空域における入域最低間隔 (メタリング間隔)、ベクタリング可能量、また離陸機数の予測精度などの制御パラメータや条件が離着陸滑走路の処理効率に有意に影響を与えることが分かり、着陸間隔の設定により平均遅延が低減されることを示した。

スケジューリングとしては、昨年度開発したスケジューリング方法に加えて、さらに 2 種類のスケジューリングを開発した。また、運航コストが低減される方式を検討し、運航評価システムによりスケジューリング結果の実現に問題がないことを示した。

今後は H29 年度からの指定研究「航空機の拡張型到着管理システムの研究」において拡張型到着管理システムの運用プロトコルや到着スケジューリング手法について検討・提案をしていきたい。

掲載文献

- (1) 重富, 小塚, 宮沢, ビクラマシンハ, ブラウン, 福田, “SSR 監視データを用いたターミナル空域周辺の飛行解析”, 第 52 回飛行機シンポジウム, 2A08, JSASS-2014-5145, 2014 年 10 月
- (2) A. Harada, T. Kozuka, Y. Miyazawa, N. K. Wickramasinghe, M. Brown, Y. Fukuda, “Analysis of Air Traffic Efficiency Using Dynamic Programming Trajectory Optimization”, 29th Congress of the International Council of the Aeronautical

Sciences, ICAS2014_0743, 11.7.3, Sept. 2014

- (3) 手塚, 瀬之口, 福田, “アプローチ軌道の平滑化風況モデルを用いた羽田空港到着機の TBO に関する検討”第 52 回飛行機シンポジウム, 2A01, JSASS-2014-5090, 2014 年 10 月
- (4) 手塚, 瀬之口, “管制空域への流入・流出量に着目した羽田空港到着便の遅延の調査”, 日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会(目黒区), 1210, 2014 年 12 月
- (5) 手塚, 瀬之口, “偏西風の影響による羽田空港到着機の到着予定時刻のゆらぎの調査”平成 26 年度航空宇宙空力シンポジウム, 1L9, 2015 年 1 月
- (6) 原田明徳, 小塚智之, 宮沢与和, ナヴィンダキトマルビクラマシンハ, マーク ブラウン, 福田 豊, 国内定期旅客便の運航効率の客観分析, 航空宇宙技術, 第 14 巻, pp. 171-178, 2015.12.
- (7) Yoshikazu Miyazawa, Haruki Matsuda, Sadanari Shigetomi, Akinori Harada, Tomoyuki Kozuka, Navinda Kithmal Wickramasinghe, Mark Brown, Yutaka Fukuda, Potential Benefits of Arrival Time Assignment, Dynamic Programming Trajectory Optimization applied to the Tokyo International Airport, 11th USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar, Lisbon, 2015.06.
- (8) 石原潤一, 武市昇, 佐藤瑞騎, 軌道ベース継続降下運用による降下航空交通流制御の一手法, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.63, No.5, pp.210-216, 2015.10.
- (9) Haruki Matsuda, Akinori Harada, Tomoyuki Kozuka, Yoshikazu Miyazawa, Navinda Kithmal Wickramasinghe, Arrival Time Assignment by Dynamic Programming Optimization, ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2015), 2015.11.
- (10) 松田治樹, 原田明徳, 小塚 智之, 宮沢 与和, ビクラマシンハナヴィンダ, 動的計画法を用いた軌道最適化による到着時刻指定, 第 53 回飛行機シンポジウム, 2015.11.
- (11) 宮沢 与和, 劉信榕, 飛行時間と燃料消費量の最適化に関する一考察, 第 53 回飛行機シンポジウム, 2015.11.
- (12) 金本貴文, 森俊介, 宮沢 与和, CARATS Open Data を用いた混雑空港周辺の航空交通流と空港発着容量に関する一検討, 第 53 回飛行機シンポジウム, 2015.11.
- (13) 手塚 亜聖, 瀬之口 敦, 羽田空港到着機のダイヤグラム表示による巡航区間での時間調整の検討, 第 46 期年会講演会, 2015.4.16
- (14) 手塚 亜聖, 瀬之口 敦, 山岳地域上空を飛行する航空機の位置による風の変化の調査, 第 53 回飛行機シンポジウム, 2015.11.
- (15) 手塚 亜聖, 瀬之口 敦, 標準的な飛行・風況モデルから予測した巡航飛行時間と管制レーダの航跡との差異の

- 分析, 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム,2015.7.
- (16) 手塚 亜聖, 瀬之口 敦, 気象庁数値予報モデルと先行機のダウンリンクデータを用いた風況予測の精度比較, 平成 27 年度 航空宇宙空力シンポジウム, 2016.1.
- (17) Yuichiro Yamamoto, Asei TEZUKA, Correlation of Estimated flight time uncertainty between popup flight and sequenced flight for Haneda airport calculated by JMA meso-scale model, Asia Pacific International Symposium of Aerospace Technology (APISAT 2015), 2015.11.
- (18) Asei Tezuka, Atsushi Senoguchi, Creating severe weather model for arrival manager by analyzing the flight data of weather front passage, AIAA Science and Technology Forum and Exposition (SciTech 2016), 2016.1.
- (19) 平田輝満, 二見康友,混雑空港における離着陸順序付けの実態と容量算定に関する分析, 第 53 回飛行機シンポジウム,2015.11.
- (20) 二見康友, 平田輝満: 混雑空港における離着陸順序付けの実態と容量算定に関する分析, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, 2015.
- (21) 伊藤恵理, ブラウンマーク, 瀬之口敦, ビクラマシンハナヴィンダ,福島幸子, 四次元軌道運用と協調する航空機の到着管理システム, 第 53 回飛行機シンポジウム,2015.11.
- (22) E. Itoh, M. Brown, A. Senoguchi, N. Wickramasinghe, S. Fukushima, Future Arrival Management Collaborating with Trajectory-Based Operations, ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2015), 2015.11.
- (23) 石原潤一, 武市昇, 鑑陽介, 運航データを用いたCDO 導入効果の評価とその運航コスト最小化, 第 53 回飛行機シンポジウム,2015.11.
- (24) Takeichi, N., Ishihara, J. and Abumi, Y., Validation Study on Descent Trajectory Optimization and Scheduling Improvement using Actual Operation Data, AIAA-2016-0423, AIAA Modeling and Simulation Technology Conference, San Diego, CA, 2016.1.
- (25) 樋口雄紀, 小塚 智之, 宮沢 与和, マーク ブラウン, FMS を利用した到着時刻制御のための一検討, 第 53 回飛行機シンポジウム (松山) , 2015.11.13.
- (26) Takeichi, N., Tachibana, M., Abumi, Y., and Bayasgalan, E., Waypoint Optimization for Accurate Pseudo-RTA in Descent Trajectory, IEEE/AIAA 34th Digital Avionics Systems Conference, Prague, Czech, 2015.9.
- (27) Yuki Higuchi, Naoto Kitazume, Keiichi Tamura, Tomoyuki Kozuka, Yoshikazu Miyazawa and Mark Brown, Optimal Arrival Time Assignment and Control Analysis Using Air Traffic Data for Tokyo International Airport, AIAA Paper 2017-1246, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Grapevine, Texas, 2017.
- (28) Yuki Higuchi, Naoto Kitazume, Tomoyuki Kozuka, Keiichi Tamura, Yoshikazu Miyazawa and Mark Brown, Efficient Control of Arrival Time at a Congested Airport's Terminal Area, ICAS2016, 2016.
- (29) Takeichi, N., Nominal Flight Time Optimization for Arrival Time Scheduling through Estimation/Resolution of Delay Accumulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017.
- (30) Takeichi, N., Kaida, R., Shimomura, A. and Yamauchi, T., Prediction of Delay due to Air Traffic Control by Machine Learning, AIAA-2017-1323, AIAA Modeling and Simulation Technology Conference, Grapevine, TX, 9-13 Jan. 2017
- (31) Eri Itoh, Mark Brown, Atsushi Senoguchi, Navinda Wickramasinghe and Sachiko Fukushima, Future Arrival Management Collaborating with Trajectory-Based Operations, Air Traffic Management and Systems II, Springer, Feb. 2017.
- (32) 平田輝満, 二見康友, 蒔田良知, 混雑空港における離着陸順序付けの実態と滑走路処理容量に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vol.72 No.5, pp.I_1037-I_1045, 2016.
- (33) Keiichi Tamura, Akinori Harada, Yuki Higuchi, Haruki Matsuda and Yoshikazu Miyazawa, Accuracy Evaluation of an Aircraft Performance Model using Cargo Flight Data for Air Traffic Management Research, 2016 Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2016),2016.
- (34) 田村 恵一, 原田 明德, 樋口 雄紀, 松田 治樹, 宮沢 与和, 貨物便の飛行データを用いた航空機の性能モデルに関する研究, 日本航空宇宙学会第 47 期年会講演会,2016 年.
- (35) 手塚亜聖, 瀬之口敦, 気象庁数値予報モデルと先行機のダウンリンクデータの誤差に着目した風況予測精度向上, 日本航空宇宙学会第 47 期年会講演会, 2016 年
- (36)手塚亜聖, 瀬之口敦, 先行機ダウンリンクデータを用いた後続機の風予報精度向上に関する考察, 第 48 回流体力学講演会/第 34 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム講演集, 2016 年.
- (37)手塚亜聖, 瀬之口敦, 実運航データの活用による気象データの風速予測精度向上に関する考察, 第 54 回飛行機シンポジウム, 2016 年.
- (38) 手塚亜聖, 瀬之口敦, 羽田空港到着機への影響が大きい気象急変時の運航の分析, 平成 28 年度航空宇宙空力シンポジウム講演集, 2017 年.

(39) 蒔田良知, 平田輝満, 二見康友, 気象条件に着目した滑走路処理容量の変動特性に関する研究, 第 53 回土木計画学研究・講演集, 2016 年.

(40) 平田輝満, 蒔田良知, 二見康友, 気象条件に着目した滑走路処理容量の変動特性に関する研究, 第 54 回飛行機シンポジウム, 2016 年.

(41) 請川克之, 矢野夏子, “経路延伸を考慮したコンフリクトフリー軌道生成アルゴリズム”, 第 54 回飛行機シンポジウム, 2016 年.

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

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○伊藤 恵理, 金谷一郎 (長崎県立大学), 狩川大輔 (東北大学)
研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

1. はじめに

ヒューマンインザループシミュレーション(以下, HITLシミュレーション)とは, 管制官が操作するレーダー卓やパイロットが操作するコックピットを模擬する環境を研究室に作り上げ, 実際に管制官やパイロットに操縦操作してもらって新システムが正常に動作するか, 期待通りの性能を発揮できるかなどを検証するシミュレーションである。次世代運航の安全性や効率を検証するために, HITLシミュレーション実験による検証評価が必要不可欠だが, 我が国はこのための実験環境を有していない。そこで本研究は, 将来の航空管制システムを模擬して評価する実験施設の実現に向けて, 学術的な視点から, 発着枠の増大が見込まれる羽田空港への到着機を対象としたHITLシミュレーション実験のための航空管制シミュレーション環境を設計する。2年目となった平成28年度に実施した研究概要は以下の通りである。

2. 研究の概要

2.1 航空管制シミュレーション環境の規模と体制

昨年度に実施した国内外の航空管制シミュレーション環境の調査により, 日本で実施可能な研究規模と体制に制限があることが浮き彫りとなった。そのため, 限られた研究予算およびヒューマンリソースで実施可能なHITLシミュレーションの規模と体制を, 国内外の専門家と分析した。

国外では, 大規模なHITLシミュレーション環境とそれを利用した航空管制研究に実績のあるNASAエイムス研究所とラングレー研究所を訪問し, 羽田空港に到着する航空交通を模擬するHITLシミュレーション実験の規模を調査した。現地で専門家らと議論した結果, HITL実験の最小規模は, エンルートとターミナルを含めて管制官のレーダー卓は4卓(1卓は航空交通の初期化に利用する卓)必要であり, シミュレーションチームは最小で8名(ディレクター1名, 実験の専門家2名, システム管理者1名, バックアップで4名)必要だとわかった。

さらに, 電子航法研究所が過去に所有していた旧HITLシミュレーション環境の改善点を分析した。その結果, シミュレーションエンジンのバグ取りにかかるコストを削減するために, フルスクラッチでHITLシミュレーションエンジンをつくるのではなく, 既存のシミュレーションエンジンの利用が必須であると結論づけた。そこで, 前年度



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

に実施した海外調査の結果に基づき, オランダ航空宇宙研究所が研究開発したNARSIM(図1)というHITLシミュレーションエンジンが適当であるとの結論を得た。

2.2 ドイツ航空宇宙研究所(DLR)との研究連携

昨年度にHITLシミュレーション環境の調査のために訪問したDLRより, HITLシミュレーション共同実施の申し出を受けた。DLRはNARSIMを所有しており, HITLシミュレーションの実績がある。さらに, フランクフルト空港などに到着する次世代の航空交通管理の研究を実施しており, 共通の研究課題に取り組んでいることから, 共同研究の実施を決定した。このために, DLRと電子航法研究所の包括的共同研究契約を平成29年3月に締結した。

2.3 シミュレーション概念設計

DLRと共同でHITLシミュレーションの概念設計を開始した。電子航法研究所は, 羽田空港周辺の航空交通を対象に, 2030年頃に実用化が予定されている新しい運航と協調する拡張型到着管理システムについて, HITLシミュレーションの概念設計に着手した。DLRのFlexiGuide研究チームと協力し, 日本とヨーロッパの相互運用性(Interoperability)を評価できるよう, 平成29年度以降に共同研究を実施する。

2.4 研究成果の社会発信

人間社会とAI(Autonomous Intelligent: 自律知能)が協働する次世代の航空管制システムを構築するために, その基盤となるさまざまな学術分野を横断した学問を「航空管制科学」と名付け, 研究成果を社会に発信した。適切なオートメーションの導入がこの分野で急務の課題であり, 管制官やパイロットと協働可能であるか評価するHITLシミュレーション研究の重要性を紹介した書籍「空の旅を科学する」(河出書房新社刊)を出版した他, 毎日新聞や時事通信社などの新聞, WedgeやSYNODOSなどのWeb, および企業等での講演活動を通して, 研究成果を広く社会に還元した。

2 航法システム領域

I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

平成 28 年度においては、当所の長期ビジョンを基に行政当局などの要望を考慮しながら下記の研究を計画・実施した。

1. GNSSを利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究
2. 次世代GNSSに対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究
3. 地上型衛星航法補強システムの運用性能評価に関する研究
4. 新たな後方乱気流管制方式の設定に関わる安全性評価と気象・運航データベースの構築
5. GNSS広域補強サービスのアジア地域における性能向上に関する研究
6. GNSS障害時の代替（APNT）に関する研究
7. GNSS監視に関する研究
8. 到着進入経路における気象の影響評価に関する研究
9. 電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーへの挑戦
10. 新・衛星=地上ビーコン観測と赤道大気レーダーによる低緯度電離圏の時空間変動の解明
11. 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発

1 及び 2 は重点研究，3 及び 4 は指定研究，5 から 7 は基盤的研究，8 は萌芽的研究，9 から 11 は競争的資金による研究である。

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

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

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

4 は、混雑空港の着陸容量の拡大に資するために、我が国の運航形態を踏まえた後方乱気流を考慮した離隔距離の基準案（RECAT-Japan）の作成と安全性評価を行うために必要な気象・運航データベースの構築を目的とする研究である。

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

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

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

8 は、GBAS を活用した後方乱気流の回避と GBAS 運航に対する気象の影響について調査し、それらの運航コンセプト構築を含む実現可能性の検討と、実現までの要件や課題を抽出する研究である。

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

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

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

II 試験研究の実施状況

5 ヶ年計画の 4 年度にあたる「GNSS を利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究」では、TAP 機上装置の画像生成部を改修し飛行実験により指示データを取得した。また、RNP to xLS 方式で緩い降下角を持つ中間セグメントの設計方式を検討し、妥当性を確認した。さらに、GLS 衝突危険度モデル開発のためパイロット操舵の縦方向のモデルを横方向に拡張をおこなった。

5 ヶ年計画の 2 年度にあたる「次世代 GNSS に対応したアベイラビリティの高い航法システムに関する研究」では、次世代 GNSS 環境に対応したプロトタイプシステムの開発を進めるとともに、補強システムの相互利用について方向性を見出した。また、ICAO における活動を通じてアジア太平洋地域共通 GBAS 電離圏脅威モデル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を策定した。

4 ヶ年計画の 2 年度にあたる「地上型衛星航法補強シ

システムの運用性能評価に関する研究」では、VDB 覆域検証評価ツールの開発のため、大学と連携して電界強度計算アルゴリズムを改良した。また、運用性能評価ツールのハードウェアを調達し、ソフトウェアの初版を開発した。

3ヶ年計画の初年度にあたる「新たな後方乱気流管制方式の設定に関わる安全性評価と気象・運航データベースの構築」では、国際調査に基づいて RECAT-Japan 作成及び安全性評価に必要なデータ、解析手順を検討し、また、仙台空港の LiDAR を羽田空港内に移設し、着陸機が生成する後方乱気流の連続観測を開始した。

3ヶ年計画の2年度にあたる「GNSS 広域補強信号サービスのアジア展開に関する研究」では、電離圏嵐モニタを使用して電離圏伝搬遅延推定に使用する観測データの調整を行う改良策を開発した。

3ヶ年計画の2年度にあたる「GNSS 障害時の代替（APNT）に関する研究」では、飛行検査データを活用し、国内に設置された DME の測距誤差量について定量的な解析を行った。

2ヶ年計画の初年度にあたる「GNSS 監視に関する研究」では、国外での研究における調査、及び航空機の運航中での GPS 受信障害の事例や原因の調査を実施し、我が国における GNSS 監視システムのコンセプト及びシステム構築のための提案を行った。

2ヶ年計画の最終年度にあたる「到着進入経路における気象の影響評価に関する研究」では、監視レーダー航跡等から羽田空港について使用滑走路毎の実際の着陸間隔（時間間隔及び距離間隔）を算出し、向い風、横風の強さといった気象条件との関係性を明らかにした。

4ヶ年計画の3年度にあたる「電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーへの挑戦」では、リアルタイム解析システムの改良を行うとともに、電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーの衛星航法への応用、及び過去データの大量解析に着手した。

4ヶ年計画の2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、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、プラズマバブルの観測データを解析した。

5ヶ年計画の2年度にあたる「次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発」では、電波伝播シミュレータの開発・検証と、ICAO における宇宙天気情報の航空

航法への利用に関する基準策定への貢献、宇宙天気情報のユーザーと提供者の情報交換を行った。

III 試験研究の成果と国土交通行政、産業界、学会に及ぼす効果の所見

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

航空に使われる技術は国際的な調和が必要であるために、国際機関である ICAO、RTCA 及び EUROCAE において基準の作成、改訂のための活動が行われている。航法技術では航法システムパネル(NSP)において新しい GNSS の技術基準及び検証作業の活動が行われている。また、SBAS を整備運用中の関係各国(日、米、欧州、加、印)が参加する SBAS 相互運用性検討ワーキンググループ会議(IGW)、GBAS における開発や運用を計画している関係国、機関、企業等が参加する IGWG(国際 GBAS ワーキンググループ)会議などにおいても検討がなされている。当領域では、これらの国際会議に参加し、技術資料を提出して基準作成等の国際的な活動に寄与している。

当所の数多くの研究成果は、今後設置・運用する航空保安システムの技術基準、運用基準の策定等に必要な技術資料として、行政の整備するシステムの性能向上、整備方針策定に貢献し、国土交通行政に直接貢献するとともに、米国航法学会、電子情報通信学会、日本航空宇宙学会、測位航法学会、日本航海学会等における講演発表や論文として、広く社会に周知され、航法システムの応用面からみた技術の方向性の提案として活用されている。

(航法システム領域長 福田 豊)

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、毛塚敦、山康博、星野尾一明

研究期間 平成 25 年度～平成 29 年度

1. はじめに

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

2. 研究の概要

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

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

3. 研究結果

(1) 機上実験装置画面生成部の改修と飛行データ取得

本年度は、機上装置のコックピットディスプレイ画面生成部を改修し、TAP 経路に対応した経路表示機能を追加し、飛行実験を実施した。飛行実験では、仙台空港に設定されている RNAV(RNP) RWY27 をオーバーレイする経路データを TAP 経路として GBAS 地上装置から放送し曲線経路に沿った飛行を実施した。飛行実験時の画面表示の例を図 1 に示す。

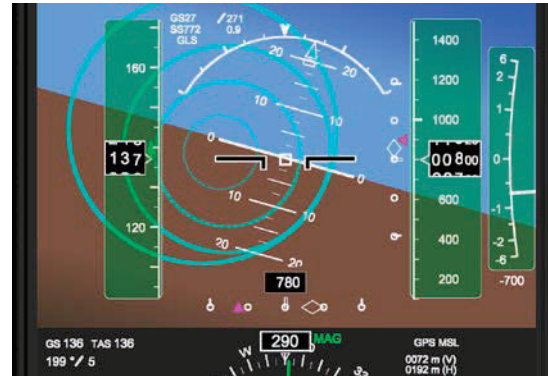


図 1：TAP 評価飛行実験時の画面出力

図中の円形の表示が TAP 経路を表している。さらに、実験用航空機の FMS の航法データベースに RNAV(RNP) RWY27 経路を追加し飛行実験を実施した。これにより、同経路に対する FMS のフライトディレクター出力、コースデベエーションを得ることができ、今後追加を予定している FD 指示値の算出の参考となる。

(2) RNP to GLS 方式の設計条件の検討

RNP の RF（円弧）旋回と GLS の最終進入セグメントを接続して精密進入を行う RNP to GLS 方式の設計手法を検討した。前年度は、より経路短縮効果が高い飛行方式として、飛行方式からレベルセグメントを省き、RF レグの終端に直接最終進入セグメントを接続する方式を設計して、航法データベース（NavDB）コーディングの課題を解決して実験を試みた。しかし、高温時（ISA+30℃）には、コースからの水平偏移である LOC と垂直偏移である GS のオートパイロットにおける制御モードの切り替え（キャプチャ）がほぼ同時に発生し、RF レグの終端と最終進入セグメント間に中間セグメントとして TF レグの挿入が必要であることがわかっていった。

本年度は、この TF レグを挿入する設計法のうち、これまで FAA の諮問機関である PARC（Performance-based operations Aviation Rulemaking Committee）が提案していた Shallow Intermediate Segment（緩い降下角を持つ中間セグメント）を挿入する設計方法をより詳細に検討した。昨年度の燃料流量の計測結果で明らかにしたように、中間セグメントでのレベル飛行は、燃料流量を増加させ飛行効率が

低下する。このため、降下角を持つ中間セグメントを使った設計は、飛行効率を改善すると言える。

本年度は、LOC と GS のキャプチャ条件を明らかにするために、国内航空会社の操縦士へのインタビューを試み、

(1) ISA+30°Cにおいても GS ポインターが最低 1dot 以上になること、(2)GS より先に LOC をキャプチャすること、(3)ARNINC424-19 に基づいて NavDB を設計可能であることなど、経路設計の条件を明確にした。その上で、条件を満たして降下角を最大とする中間セグメント長を計算するアルゴリズムを提案し、飛行検証のためのサンプルとしての試験経路を設計した。

この経路の NavDB を設計し、787 フルフライトシミュレータにより地上気温を可変して昨年度と同様に経路上を模擬飛行して検証した。この結果、試験経路上の飛行で計測された LOC/GS 偏差は、計算によって求めた LOC/GS 偏差とほぼ一致し、高温時においても GS より先に LOC がキャプチャすることが確認でき、経路設計の妥当性が検証された。また、模擬飛行により、GS 偏差が計算結果と差を持つデータを調査したところ、この原因がフラップとギアの操作にあることが判明した。このため、提案アルゴリズムに高度方向のバッファを持たせる必要があることが明らかになった。この改良を加えた提案アルゴリズムにより、中間セグメントの降下角と最適長の関係を導いた。

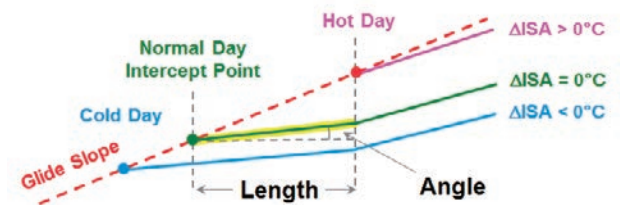


図 2：緩い降下角を持つ中間セグメントの例（地上気温によりグライドスロープへの会合点に変化する。ΔISA は国際標準大気との差分を意味する）

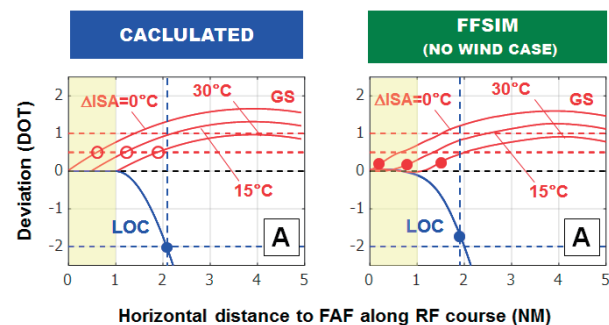


図 3：曲線コースに沿った降下点（FAF）から航空機までの距離と LOC 及び GS 偏差（左：計算結果、右：FFSIM による記録データ、風無し）

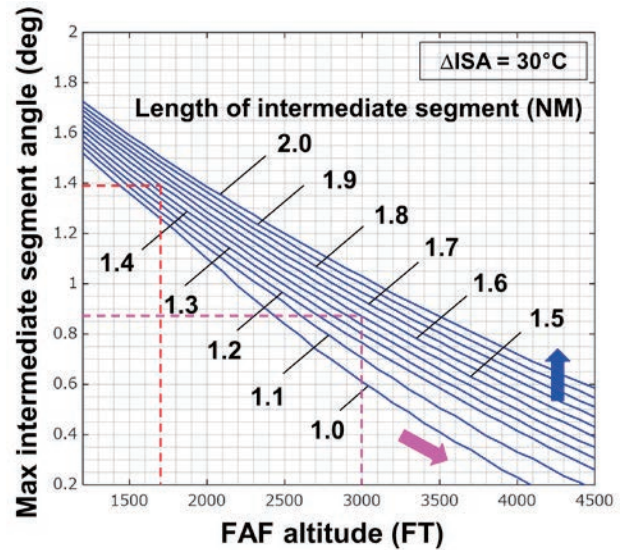


図 4：降下点（FAF）高度に依存した、中間セグメント長と降下角の関係（高温時：ΔISA=30°C）。FAF 高度が高いほど最大降下角は小さく、中間セグメント長が長いほど、最大降下角を大きくすることが可能である。

(3) パイロットの操縦モデル等を含めたシミュレーションツールの拡張

GLS の衝突危険度モデルにより障害物との安全間隔を評価する手法を確立するため、昨年度までに操縦モデルの構築に必要な実験データを取得可能な反力付きシミュレータ環境を構築し、データの取得を行い、縦方向におけるモデル化を行った。本年度は、昨年度開発した縦方向のモデルを横方向に拡張をおこなった。開発したモデルは、離散的、確率的、周期的な操舵といったパイロット操舵の特徴を模擬するようなモデルであったが、これらの特徴は横方向の操縦にも同様であることがわかった(5)。そして、開発モデルの入力を横方向のものへと変えてモデル化を行ったところ、縦方向同様にモデル化に成功した。

図 5 に、縦方向と横方向のモデル化結果を示す。縦方向と比較し、横方向はロール角がより明確に周期的に推移していることがわかるが、操縦モデルの内部のパラメータ変化のみで、これらの違いを表現することができた。この内容について、文献(5)にて発表を行った。今後は、これら構築したモデルを用いて、逸脱量とその確率の関係性を計算する予定である。

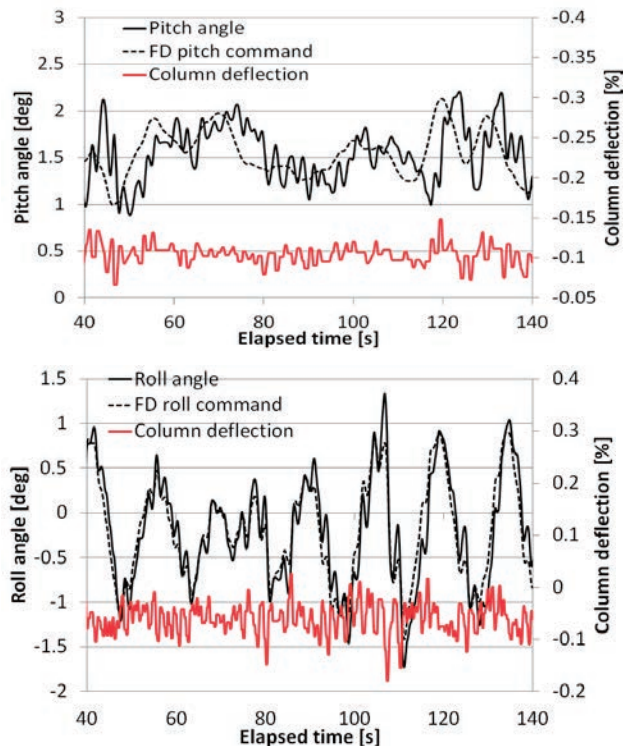


図5：パイロットモデルの出力の比較（上）ピッチ方向の操縦（下）ロール方向の操縦

4. おわりに

本年度の主な成果は、(1) TAP 機上装置の画像生成部を改修し、FMS 航法データベースによる飛行実験により、TAP 経路のフライトディレクター指示データを取得したこと、(2) RNP to xLS 方式で緩い降下角を持つ中間セグメントの設計方式を検討し、フライトシミュレータ実験により妥当性を確認したこと、(3) GLS 衝突危険度モデル開発のためパイロット操舵の縦方向のモデルを横方向に拡張をおこなったことである。

掲載文献

- (1) S. Fukushima, R. Mori, N. Fujiwara, “Flight simulator of transition from RNP to xLS final,” 17th International GBAS Working Group, April 2016.
- (2) Yoshihara, “R&D activities for advanced procedures using GBAS in ENRI,” Final approach operation symposium, Jan-Feb, 2017.
- (3) 福島荘之介, 齊藤真二, 森亮太, 山康博, “RNP から xLS に接続する進入方式の設計条件の検討”, 第 54 回飛行機シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 2016 年 10 月.
- (4) 福島荘之介, “GLS による将来運航の進展 (計器着陸システムの現状と将来)”, 電子航法研究所講演会, 2016

年 11 月.

(5) R. Mori, “NOVEL PILOT CONTROL MODEL WITH STOCHASTIC AND PERIODICAL MOVEMENT,” ICAS 2016, Sep. 2016.

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

担当領域 航法システム領域

担当者 ○坂井 丈泰, 齋藤 享, 吉原 貴之, 毛塚 敦, 麻生 貴広, 北村 光教, 伊藤 憲, 星野尾一明

研究期間 平成27年度～平成31年度

1. はじめに

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

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

本研究は, このようなGNSSの利用促進上の課題に対応するために実施することとしたものである。平成28年度は, 5ヶ年計画の第2年度であった。

2. 研究の概要

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

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

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

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

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

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

3. 実施内容と成果

3.1 次世代GNSS対応

次世代GNSS環境(複数システム・複数周波数)に対応した補強システムについて, 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(図1)。このプロトタイプシステムを使用して次年度に準天頂衛星システムによる実証実験を行うために, 関係機関と必要な調整を行った。

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・ツールーズ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当所既存ソフトウェアによる評価を行った。

3.2 補強システムの相互利用

補強システムの相互利用について、SBAS信号を利用してGBASの性能向上を図る方式について検討を継続した。利用形態としては、(i) SBAS衛星の距離情報の利用、(ii) SBASが放送している電離圏補強情報の利用、(iii) SBAS監視局の観測データの利用、が考えられる。このうち(i)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。(ii)については、次項の宇宙天気情報の利用とあわせ、GBASの性能向上に有用との見通しを得ている。

3.3 宇宙天気情報の利用

宇宙天気情報の利用については、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（国際民間航空機関）における運用コンセプトの策定作業向けに提供した。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たISTF（電離圏研究作業部会）には議長として参加し、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を策定した。当該ガイダンス文書は、ICAO APACの正式文書（AP151/16）として発行されている。

3.4 公募型研究：スプラディックE層の影響評価

研究課題「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」について公募を行い、電気通信大学を選定して研究を委託した。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わかった。異常伝搬により、周辺国のVHF送信局が我が国において混信を生じる場合もある。

4. まとめ

本研究ではGNSS補強システムのアベイラビリティ向上を目指しており、平成28年度は、次世代GNSS環境に対応したプロトタイプシステムの開発を進めるとともに、補強システムの相互利用について方向性を見出した。また宇宙天気情報の利用について研究を実施し、ICAOにおける活動を通じてアジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル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を策定した。次年度以降はプロトタイプシ

ステムによる実証実験を実施するとともに、研究活動の国際的な展開を図ることとしたい。

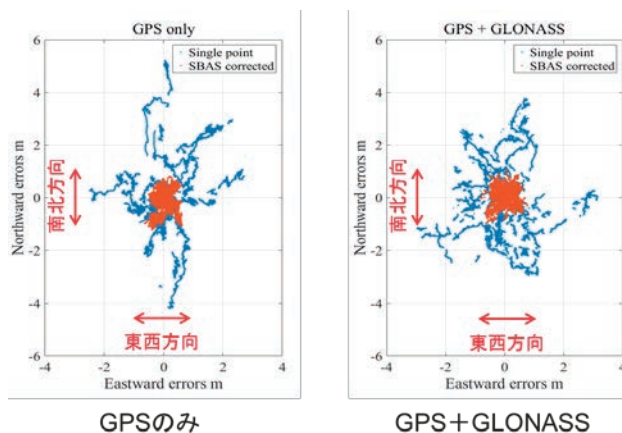


図1 次世代SBASプロトタイプシステムの評価例

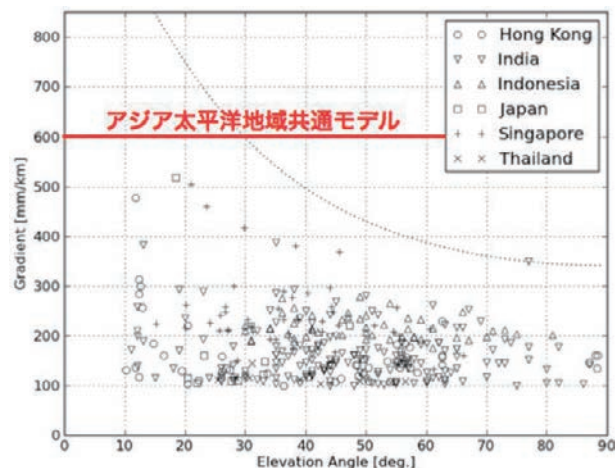


図2 ISTFにて策定した
アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル

掲載文献

- (1) F. Lin, C. Wang, C. Su, K. Shiokawa, S. Saito, Y. Chu: Coordinated observations of F region 3-m field-aligned plasma irregularities associated with medium-scale travelling ionospheric disturbances, Journal of Geophysical Union, April 2016.
- (2) S. Saito: Activities of Ionospheric Studies Task Force (ISTF) in the APAC region, IGWG/17, Oslo, Norway, April 2016.
- (3) S. Saito, T. Pocathikorn, Y. Limpanamvadee: Preliminary results of ionospheric gradient evaluation around Bangkok International Airport, IGWG/17, Oslo, Norway, April 2016.

- (4) S. Saito, T. Yoshihara, A. Kezuka, S. Saitoh, S. Fukushima: GAST-D validation at Ishigaki, IGWG/17, Oslo, Norway, April 2016.
- (5) T. Aso: SBAS R&D Status in Japan, SBAS IWG/30, Changsha, China, May 2016.
- (6) 齋藤 享・石井 守 : Space weather effects on aeronautical communication, navigation and surveillance systems, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 千葉市, 平成 28 年 5 月
- (7) S. Saito: Status of Ionospheric Threat Assessment in the Asia-Pacific Region by the Ionospheric Studies Task Force, ICAO NSP JWGs/1, Montreal, Canada, June 2016.
- (8) S. Pullen, S. Saito, 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.
- (9) T. Yoshihara, S. Saito: GBAS Research and development status in Japan, ICAO NSP JWGs/1, Montreal, Canada, June 2016.
- (10) S. Saito, T. Sakai, T. Yoshihara, S. Pullen, J. Lee, M. Ishii, F. Lecat: Report of ionospheric studies task force activities, APANPIRG CNS-SG/20, Bangkok, Thailand, July 2016.
- (11) S. Saito, T. Yoshihara, T. Sakai, S. Sunda, J. Lee, S. Pullen, S. Supriadi, F. Lecat: Regional ionospheric threat model for GBAS, ICAO APANPIRG/27, Bangkok, Thailand, Sept. 2016.
- (12) 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
- (13) 吉原 貴之・本吉 弘岐・毛塚 敦・齋藤 享・山口 悟 : 積雪底面で受信した GNSS 信号の積雪伝搬遅延量の解析, 雪氷研究大会, 名古屋市, 平成 28 年 10 月
- (14) S. Saito: Ionospheric characterization for aviation use of GNSS in the ICAO Asia-Pacific region, 4th Asia-Oceania Space Weather Workshop, Jeju, South Korea, Oct. 2016.
- (15) T. Feuerle, M. Stanisak, S. Saito, T. Yoshihara, A. Lipp: GBAS Interoperability Trials and Multi-Constellation/Multi-Frequency Ground Mockup Evaluation, 6th SESAR Innovation Days, Delft, Netherland, Nov. 2016.
- (16) M. Kitamura: Performance Comparison of LNAV and CNAV, SBAS IWG/31, Dakar, Senegal, Nov. 2016.
- (17) S. Saito, T. Yoshihara, S. Zureikat: Update to GAST-D flight test results at Ishigaki, Japan, ICAO NSP/3, Nov. 2016.
- (18) S. Saito, T. Yoshihara, 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.
- (19) T. Yoshihara, S. Saito: GBAS Research and development status in Japan, ICAO NSP/3, Nov. 2016.
- (20) SESAR 15.3.7, TUBS, S. Saito, T. Yoshihara: Initial Experiences with GAST-F Interoperability and Performance, ICAO NSP/3, Dec. 2016.
- (21) T. Sakai: Japanese SBAS Program: Current Status and Dual-Frequency Trial, International Symposium on GNSS, Tainan, Taiwan, Dec. 2016.
- (22) T. Yoshihara, S. Fukushima: R&D activities for advanced procedures using GBAS in ENRI, Final Approach Operations Symposium, Brussels, Belgium, Feb. 2017.
- (23) 齋藤 享 : Ionospheric Characterization for GBAS in Asia-Pacific Region, PSTEP 研究集会, 名古屋市, 平成 29 年 1 月
- (24) 坂井 丈泰 : 二周波 SBAS の開発動向, 高精度衛星測位サービス利用促進協議会海外展開 WG, 東京都, 平成 29 年 2 月
- (25) S. Saito, T. Yoshihara: Evaluation of ionospheric delay gradients associated with plasma bubbles for GNSS ground-based augmentation system (GBAS), 2nd GEOLab-RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, Kyoto, March 2017.
- (26) T. Yoshihara, S. Saito, A. Kezuka: Statistical analysis of tropospheric delay variation with short baselines of GNSS stations, 2nd GEOLab-RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, Kyoto, March 2017.

地上型衛星航法補強システムの運用性能評価に関する研究【指定研究】

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

1. はじめに

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

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

2. 研究の目的と実施項目

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

具体的には, 次の項目を実施する。

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

3. 実施概要

(1) 大空港における技術的課題について

平成 28 年度は, VDB 覆域検証評価ツールの開発のため, 昨年度に引き続き, 青山学院大学と連携して研究を実施し, 電界強度計算アルゴリズムの改良を行った。これは, 送信アンテナ近傍の建物エリア付近のみを高精度解析し, 滑走路・エプロンではレイトレーシングを用いる手法である

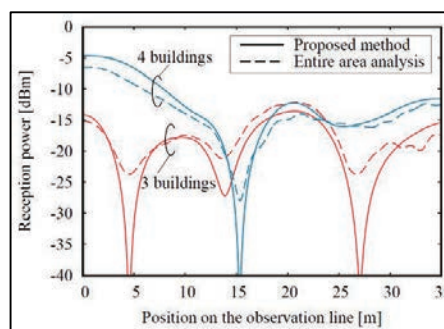
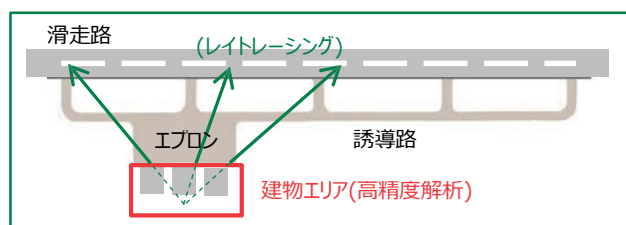


図 1 従来手法と提案手法の比較(シミュレーション)
 (上) 送信アンテナ, 建物, 観測点の位置関係
 (下) 実線: 提案手法, 破線: 従来手法



図 2 VDB 電界強度測定の様子

(図1)。この手法により、計算速度の向上が期待できる。また、提案手法の検証・評価のためのデータ取得を平成28年9月28日～30日の仙台空港において実施した(図2)。

(2) 運用性能評価について

平成28年度は運用性能評価ツールのソフトウェアの開発を行い、ソフトウェア初版が完成した。完成したソフトウェアの動作確認・評価のためのデータ取得を平成29年1月および3月に岩沼分室で行った。評価ツールおよびソフトウェア画面例を図3に示す。また、航空機搭載型のGPS受信機への対応は評価ツールソフトウェアへの機能追加と併せて平成29年度に実施する予定である。

(3) 運用性予測技術について

平成28年度は予測ツールの設計について検討を行った。平成27年度の予測手法検討において、GPS受信機から取得した衛星配置とVDB受信機から取得したVDBメッセージからプロテクションレベルを予測する手法を採用することとした。これらは(2)で開発している運用性能評価ツールで取得できるデータであるため、同ツールの出力を用いて予測するとすることとした。

4. おわりに

大空港における技術的課題に対しては、昨年度に引き続き外部と連携し効率良い実施ができた。また、RF記録

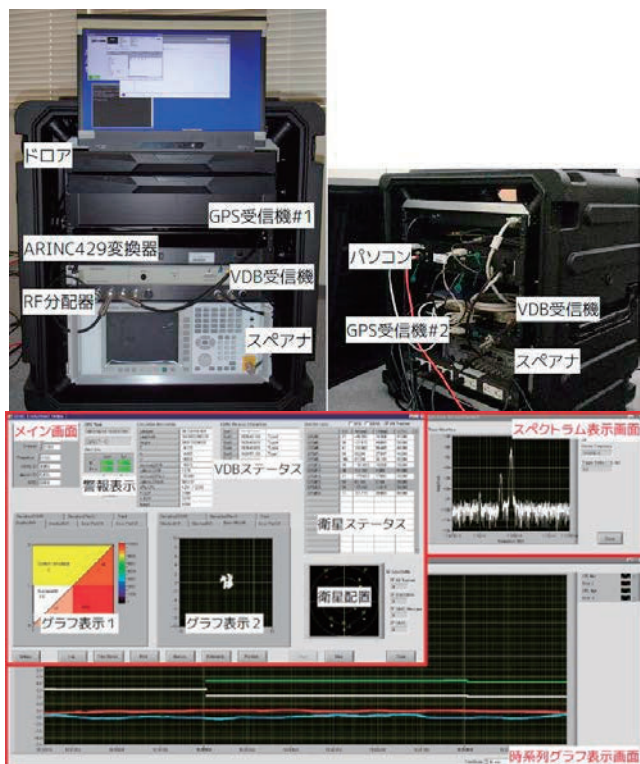


図3 開発中の運用性能評価ツール本体(上)と評価ツールソフトウェア画面例(下)

再生装置(図4)を導入したので、これを用いて複数VDB送信アンテナにおけるスロット間強度変動の問題について当所所有のMMR(GLU-925)により評価を行う予定である。運用性能評価ツールについては、ハードウェアの調達が完了し、ソフトウェアの初版が完成した。航空機搭載型GPS受信機対応等の機能追加を実施し、ツールによる評価を行う予定である。羽田空港へのGBAS導入が決定したので、導入に寄与できるよう、成果をとりまとめたい。

所外発表等

- [1] Ryo Kato, Ryosuke Suga, Atsushi Kezuka, Osamu Hashimoto, "A Proposal of Electromagnetic Field Analysis Method for Airport Surface in VHF Band," Proc. of IWFEM2016, pp.103-106, May 2016
- [2] 加藤 涼, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, "VHF帯空港面電磁界解析手法に対する建物及び地形条件の影響," 信学技報 EST, pp.171-175, 2016年9月
- [3] 加藤 涼, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, "VHF帯空港面電磁界解析手法の適用範囲に関する検討," 信学ソ大, C-15-2, 2016年9月
- [4] Atsushi Kezuka, Susumu Saito, Takayuki Yoshihara and Shinji Saitoh, "Effect of Building on VHF Propagation above Airport Surface," Proc. of ISAP2016, pp.216-217, Oct. 2016
- [5] 齊藤 真二, "地上型衛星航法補強システムの独立型運用性能評価装置について," 日本航空宇宙学会 第54回飛行機シンポジウム講演集, 2L08, JSASS-2016-5128, 2016年10月.
- [6] 齊藤 真二, "GBAS運用性能評価装置について," 日本航海学会 航空宇宙研究会, 2016年10月
- [7] 齊藤 真二, 麻生 貴広, 福島 荘之介, "GPS信号の格納庫による反射波の解析," 信学技報 SANE2016-100, pp.25-28, 2017年1月.
- [8] 齊藤 真二, "可搬型GBAS運用性能評価装置の開発," 電子情報通信学会 2017年総合大会講演論文集, B-2-9, p.184, 2017年3月.
- [9] 加藤 涼, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, "VHF帯空港面電磁界解析手法の提案," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J100-C, pp.236-238, 2017年5月



図4 RF信号記録再生装置

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

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

1. はじめに

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

ICAO (国際民間航空機関) がまとめた将来構想であるASBU (Aviation System Block Upgrades) では、空港の離着陸容量を増加させるRECAT導入を3つの段階に分けて実施する計画である。その第1段階としては、表1のように、現在の管制方式基準では航空機の重量によって分類された4つの機種グループの組合せに応じて区分されている離隔距離を、6つに再区分することにより短縮することを目的とするRECATフェーズ1 (RECAT 1) の導入である。このRECAT 1は、すでに欧米を中心に基準が策定され導入されつつある。このRECAT 1においては、地域や空港毎で運航形態 (航空機型式の比率、交通流の特徴等) の特徴が異なるため、国際的な基準が策定できず、各国において、独自に最適化した区分基準が策定されている。そのため、現在実施されている米国と欧州におけるRECATの機種区分と離隔距離の基準は差違があり、それぞれがRECAT-US, RECAT-EUと呼ばれている。我が国においても、運航形態などの違いに加えて、滑走路配置の複雑性や狭隘性などに起因する地理的環境の違いも存在するため、RECAT-1の導入に際して独自の区分基準案の作成及びその安全性評価が必要とされている。

本研究では、羽田空港や成田空港などの混雑空港の着陸

容量の拡大に資するために、我が国の運航形態を踏まえたいわゆるRECAT-Japanの基準案の作成と安全性評価を行うために必要な気象・運航データベースの構築を目的とする。

2. 研究概要

安全な離隔距離の設定においては、最悪ケースである地表近くで後方乱気流が時間的に最も長く持続する状況下における、後方乱気流が後続機に影響を与えない程度に減衰・消滅するのに必要な時間を確実に導出、検証することが必要となる。そのため、図1に示すLiDAR (Light Detection And Ranging) を用いて航空機の通過経路に直交する垂直断面の風速パターン等から後方乱気流の強さを計測するとともに、その時間的推移から乱流の減衰、消滅する過程を観測する。更に、後方乱気流の消滅には周囲の風況や大気の安定度等といった気象条件も重要なパラメータとなることから、これらの気象同時観測データも合わせて収集する。一方、我が国の運航形態の特徴の抽出においては、羽田空港の空港監視レーダーの航跡データ等から現状の着陸間隔等と航空機がLiDARの観測断面を通過する時刻 (後方乱気流が生成される時刻) を調査する。航空機の飛行記録データからは、機体重量や加速度のデータなどの各航空機型式における後方乱気流に対する耐久性などの最低離隔距離と密接に関係するデータの収集も行う。

特に、我が国独自の欧米とは異なる運航形態の差違や、空港が海に面している立地条件による気候学的な差異にも着目したデータベースの構築を進めていく。このデータベースを元に、安全且つ着陸容量の増加が見込まれる最適な機種区分と離隔距離との基準の提案と安全性評価を行う。更に、構築した気象・運航データベースは、将来予想されるRECATフェーズ2, 3を検討する際の基盤的知見と

表1 ターミナルレーダー管制下における進行方向の最低離隔距離

		後続機			
		A380	ヘビー機	ミディアム機	ライト機
先行機	A380	3NM*	6NM	7NM	8NM
	ヘビー機	3NM*	4NM	5NM	6NM
	ミディアム機	3NM*	3NM*	3NM*	5NM
	ライト機	3NM*	3NM*	3NM*	3NM*

*印はレーダー管制に起因する要件

して重要な役割を果たすことが期待されている。

3. 研究成果

平成28年度は、国際動向に関して文献調査を行うとともに、欧州航空航法安全機構（EUROCONTROL）を訪問し、RECAT 1に関するデータ解析手法及び安全性評価手順について調査、意見交換をした。その結果、RECAT-Japan 作成と安全性評価に必要なデータ、解析手順の概要を確認することができた。また、羽田空港の機種構成、交通流の特徴の調査については、萌芽的研究「到着進入経路における気象の影響評価に関する研究（平成27～28年度）」で実施した航空機監視レーダーの航跡解析から得られたデータを元に特徴を抽出した。この解析については、次年度以降に予定している RECAT-Japan 作成の際の検討項目の1つである導入効果の評価に向けて活用する予定である。

気象・運航データベースの構築については、安全性評価に要求される気象・運航データの項目（要素）をリスト化するとともに、蓄積するデータの事例数等も考慮したデータ収集方針を策定してデータベースの設計を行った。後方乱気流データについては、日本で観測事例の少ない地表面（海面）に近い高度での観測を実施するため、航空局交通管制部のご協力により、当研究所岩沼分室屋上に三菱電機株式会社と共同研究で運用していた LiDAR を羽田空港内に移設し、滑走路34L の着陸進入経路の滑走路端から1km程度手前の地点において、着陸機が生成する後方乱気流の連続観測を開始した（図2、図3）。また、当研究所が別途設置運用している WAM（Wide Area Multilateration）実験局や SSR（二次監視レーダー）モード S 実験局データの補助的利用について検討した。前者については、羽田空港近辺を含む南関東域に展開する受信局データから得られる航空機位置情報の後方乱気流解析への利用方法について検討し、利用可能性の確証を得た。後者については、SSR モード S から得られるアプローチ中の風速について、推定精度を検証するために LiDAR 観測との比較解析に着手したところ、定性的には良い一致が見られたものの定量的な比較については課題が残された。

4. 今後の課題

平成28年度の結果を踏まえ、平成29年度は JAXA（宇宙航空研究開発機構）との共同研究などにより、得られる機材・データも利用しつつ、RECAT-Japan 作成と導入効果の評価を実施する予定である。また、羽田空港での LiDAR による後方乱気流観測データの蓄積とともに、作成した RECAT-Japan について平成30年度に予定している安全性

評価を含む総合評価の実施に資する気象・運航データベースを整備・蓄積していく予定である。

掲載文献

- (1) 藤井ほか，“航空航法・監視システムに対する気象による影響に関する一考察”，電子情報通信学会 2016 年ソサイエティ大会 講演論文集，札幌市，2016 年 9 月
- (2) 藤井ほか，“大気による WAM に対する影響”，電子情報通信学会 2017 年総合大会，名古屋市，2017 年 3 月

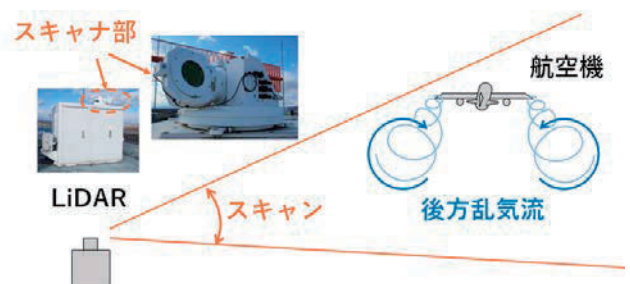


図 1. LiDAR による後方乱気流の観測

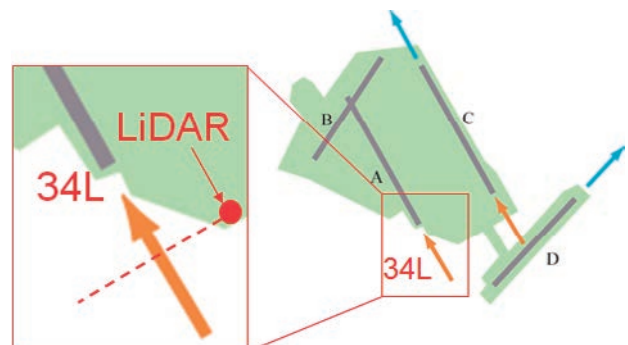


図 2. 羽田空港における LiDAR 装置の設置場所



図 3. 羽田空港に設置した LiDAR 装置

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

1. はじめに

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

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

2. 研究の概要

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

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

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

広域補強サービスが提供する性能を改善することができる。

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

3. 実施内容と成果

3.1 磁気低緯度地域向け補強方式

南西諸島における既存補強方式の動作状況を調査したところ、現実の電離圏伝搬遅延の分布に対して、現状の補強方式が適用している電離圏モデルでは対応しきれていないことがわかっている。こうした状況の対策として、電離圏嵐モニタアルゴリズムを使用してモデル適合性を評価し、モデルが現実の電離圏に適合していないと判断された場合には電離圏嵐の影響を受けていると思われる観測データを排除することで適切な補強情報を生成する方式を検討した。性能評価を行ったところ、従前は電離圏遅延推定値の不確かさをあらかずGIVEIが最大値の14であった場合に(GIVEI=15は推定不可をあらわす)、これを減少させる効果があることがわかった(図1)。

3.2 複数コアシステムの利用

複数コアシステムの利用による性能向上について検討するため、各コアシステムの開発状況を調査した。我が国のQZSSについては衛星数がまだ少ないことから、7機体制が整備された場合の測位性能の予測を行った(図2)。

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

4. まとめ

本研究では、磁気低緯度地域における広域補強サー

ビスの性能向上を目的としており、このためには適切な電離圏伝搬遅延推定・補強方式を開発する必要がある。本年度は電離圏嵐モニタを使用して推定に使用する観測データの調整を行う改良策を開発した。次年度は、補強サービスとしての性能評価を行うとともに、特にアジア地域各国に対する研究成果の普及に配慮したい。

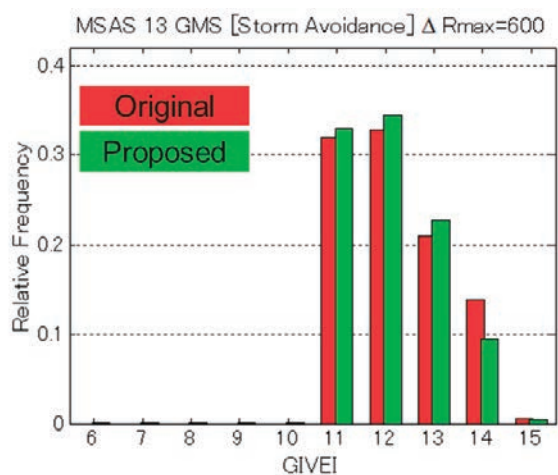


図1 電離圏伝搬遅延の推定精度の比較：現行方式（赤）に比べて改良方式（緑）ではGIVEIが低下しており、推定性能が向上している。

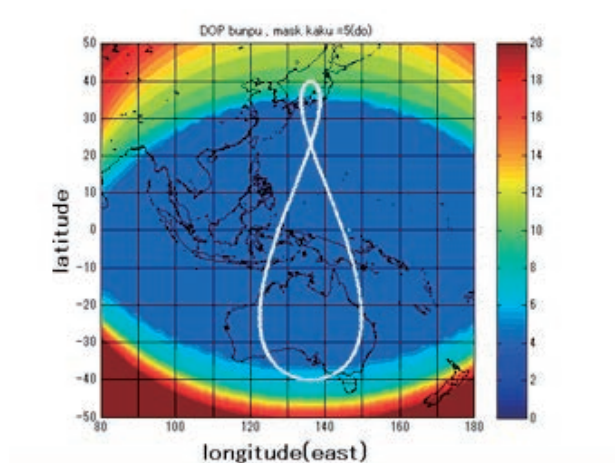


図2 準天頂衛星システム（QZSS）の測位精度予測結果：準天頂軌道に5機、静止軌道に2機の衛星を想定した場合のHDOP。

掲載文献

- (1) 伊藤 憲・坂井 丈泰：7機体制 QZSS の測位性能に関する基礎検討，第 60 回宇宙科学技術連合講演会，函館市，平成 28 年 9 月
- (2) T. Sakai: Test of QZSS L1-SAIF Based on the

MADOCA Real-Time Products, MGA/8, Manila, Phillipines, Nov. 2016.

- (3) T. Sakai, M. Kitamura, T. Aso, K. Hoshino: SBAS Ionospheric Correction with Minimalization of the Ionospheric Threat, ION ITM 2017, Monterey, CA, Jan. 2017.
- (4) 伊藤 憲・坂井 丈泰：7機体制 QZSS の衛星配置についての初期検討，電子情報通信学会総合大会，名古屋市，平成 29 年 3 月

GNSS 障害時の代替 (APNT) に関する研究【基盤的研究】

担当領域 航法システム領域

担当者 ○毛塚敦, 斉藤真二, 福島荘之介, 吉原貴之, 齋藤享

研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度 (当初予定より 1 年延長)

1. はじめに

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

2. 研究の概要

現在, 我が国において GNSS を使用するにあたっては, 疑義が生じた場合に DME 等 GNSS に依存しない航法 (従来航法) や慣性航法装置又は精密ドプラーレーダー装置を使用した航法に移行できる場合に限り認められている。すなわち, 現状の GNSS のバックアップには DME 等が用いられることになる。DME は RNP0.3 に適用する精度を有していないが, 長い年月の運用により開発当初の仕様に比べて高性能化されていることが知られている。また, APNT 方式の候補の一つとして, 既存の DME を拡張 (性能改善) した方式が各国で着目されている。そこで我々は, DME に着目し, まずは国内に設置された DME の実力性能を把握することにより, GNSS 障害時の現時点での広域航法への影響を明らかにする。次に, APNT の国際標準化を視野に入れ, それら調査データから RNP0.3 および 0.1 に対応可能な拡張 DME の開発要件を明らかにするとともに, 拡張 DME を含む APNT 開発における要素技術を提案, 検証する。本研究は 3 年計画であったが, 最大の誤差要因であるマルチパスについての詳細な解析を追加するため, 4 年計画とした。平成 28 年度は 2 年目となる。

3. 研究成果

3. 1 飛行検査データを用いた DME の誤差解析

DME の現状性能把握においては, 国土交通省航空局が実施する飛行検査データを活用した。飛行検査業務では,

全国各地に配置されている航空保安施設や空港及び航空路などに設定されている飛行方式等の検査を行っている。DME も検査対象施設であり, 平成 27 年度までは年 2 回, 平成 28 年度以降は年 1 回の検査を行っている。セスナ CJ4, ボンバルディア DHC-8-300 および BD-700, SAAB2000, ガルフストリーム-IV の 5 機種で取得した検査データを活用することが可能であるが, データの再現性を確認することを考慮すると, 同一経路・同一高度を飛行した複数の検査データを入手することが望ましい。CJ-4 は平成 27 年 10 月に就航し, 検査データの蓄積がないため, 複数データの取得が現時点では困難である。また, 飛行高度については, 気圧高度データのみ取得している検査機は, 真高度からの差が変動するため, 同一高度でのデータ比較が困難となる。そこで, MSAS 補正された GPS 高度データが利用可能な DHC-8-300 での検査データを活用することとした。本機体にはノルウェーの NSM 社製の飛行検査システムが搭載されている。電子航法研究所から国土交通省航空局運用課への協力依頼により, 検査データを入手した。

DME の誤差要因は, 機上装置に関わる部分, 地上局に関わる部分, マルチパス/対流圏遅延など伝搬に関わる部分に切り分けられる。これら各成分を抽出するため, まずはデジタルフィルタにより測距誤差を変動成分とバイアス成分に分離した。マルチパス成分は DME からの距離に対して変動することが多く, ハイパスフィルタとして動作する CMN フィルタを用いて抽出した。また, バイアス成分は DME からの距離に対して変動しないため, ローパスフィルタとして動作する PFE フィルタを用いて抽出し, 定量的な評価を行った。

検査データの一例として, 2012 年および 2014 年の 4 月に取得した神戸局 (KCE) のラジアル 271 検査時の DME の測距誤差を図 1 に示す。測距誤差は, 真位置と DME 局位置から求まる真の距離との差から求まる。図 1 より, 測距誤差は 0.07NM 程度であり, DME の測距精度の仕様 (0.2NM) よりも高精度で, GNSS 航法 (RNP-AR) で要求される精度に近いことが分かる。神戸 DME は神戸空港の滑走路脇に設置されているが, 神戸空港が人工島であるため, 海面を除いて周囲に建物や地形などのマルチパス環境がない。このような環境においては, RNP0.3 の航法性能要

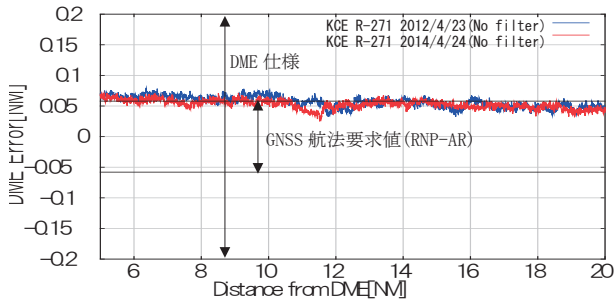


図1 神戸局検査データ

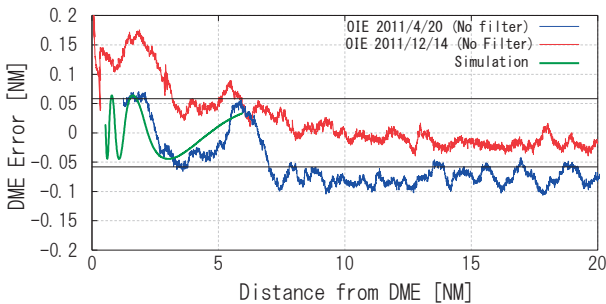


図2 隠岐局検査データ

件を満足しないものの、それに近い精度を有していることが分かった。

DMEからの距離に対して測距誤差が変動する場合の一例として、隠岐局(OIE)のラジアル204検査時の測距誤差を図2に示す。これらは2011年の4月と12月に検査したデータであり、10NM以内において2つの変動ピークが発生していることが分かる。DMEの仕様である0.2NMは満足しているため、従来航法への適用は問題ないが、進入時にGNSS航法で要求される精度からは大きく外れていることが分かる。バイアス成分に差が生じており、その原因は調査中であるが、2回の検査による誤差の変動成分は傾向がよく一致していることから、現状のDMEの精度評価に飛行検査データの活用が有効であることが分かった。

測距誤差の変動分がマルチパスであることを特定するため、マルチパスシミュレーションによる測距誤差解析を行った。解析においては、DME局周辺にマルチパス源を仮定し、その位置を変化させ、シミュレーションによる測距誤差が検査データと一致する場所を探索した。一例として、DME隠岐局R204検査時において、DMEから約300mの位置、新旧滑走路の間にマルチパス源を配置してシミュレーションした結果を図2中に示している。これより、シミュレーション結果は検査データと傾向が一致していることから、10NM以内で観測された変動する誤差はマルチパスが原因であることが確認された。

その他、平成28年度は高知局、玖珂局、新島局、美保

局のラジアル飛行、オービット飛行の検査結果の解析を行った。

3. 2 飛行実験の実施

飛行検査システムと一般的な機上DME装置の測距誤差の差を明らかにするため、電子航法研究所が所有する実験用航空機を用いて飛行実験を実施した。平成28年3月に隠岐局のラジアル204検査コースを飛行し、実験用航空機の運航で使用している機上DME装置による測距値をARINC429により取得した。GPSによる位置を真位置とし、DMEの測距値から測距誤差値を算出することができる。



図3 隠岐局飛行実験の様子

4. まとめ

平成28年度は、飛行検査データを活用し、国内に設置されたDMEの誤差量について定量的な解析を行った。シミュレーションによる検討の結果、特にマルチパスに起因する誤差が大きいことを明らかにした。平成29年度以降は、バイアス誤差を含めた詳細な解析を行い、各誤差要因の定量的な把握により拡張DMEの開発要件を明らかにするとともに、拡張DMEを含むAPNT開発における要素技術の提案、検証を行う予定である。

掲載文献

- [1] 毛塚 他, “飛行検査データを活用したDMEのマルチパス誤差解析” 電子情報通信学会総合大会, B-2-16, 2017年3月

GNSS監視に関する研究【基盤的研究】

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

1. はじめに

従来の地上無線航法装置は、国土交通省航空局が自ら整備・運用してきたことから、サービスプロバイダの責任で装置の監視が行われてきた。一方、GPSを用いた衛星航法システムは、地上無線航法に代わる新たな航法システムとして利用が増加しているものの、必ずしもサービスプロバイダによるGPSの監視が実施されているわけではない。こうした理由から、GNSSを用いた航空機の航法に関して、サービスプロバイダによるサービス状態の確認、及びGNSSの欠点でもあるRFIに対する脆弱性への対策としてGNSS監視の必要性が求められている。

我が国においては、平成28年にGPSを主航法計器としての使用が認められる通達改正が行われたところであり、GPSのみに依存した航法が更に増加していくことが見込まれるため、早急なGNSS監視の構築が不可欠である。以上の課題を踏まえ、平成28年度より2ヶ年計画にて本研究を実施することとした。

2. 研究の概要

我が国におけるGNSS監視システム及び当該監視システムを用いた運用コンセプトの提案を行うため、本研究では以下について検討を実施する。

まず、国外におけるGNSS監視の現状及び研究状況を明らかにする。監視システムは目的や手法など様々な形態が考えられるため、国外の研究状況を踏まえ、我が国のGNSS運航にどのような監視システムが適切であるかを明らかにするものである。次に、デモ機の製作及び評価を通して、必要なシステム要件及び運用コンセプトを提案する。

本研究においては、このような流れに沿って、我が国における安全なGNSS運航を提供するためのGNSS監視装置の提案を行う。

3. 実施内容と成果

3.1 国外におけるGNSS監視の現状及び研究状況

GNSS運航中におけるGPS受信障害発生の統計情報がEUROCONTROLの発行する安全運航報告書に示さ

れている(図1)。このように、年々パイロット・レポートが増加しており、GPS受信障害は大きな問題と考えられている。

米国においては、GPS受信障害を引き起こすRFIに対する干渉源を特定するため、特別な装置が使用されている(図2)。運航者からの通報があれば、飛行検査機を用いて上空から干渉源の範囲を絞り、その後バン及びポータブルで場所を特定するという手法が用いられている。これによりTVブースターの故障やGPSリピータなど様々な要因が航空機のGPS航法に影響を与えたことが明らかになった。欧州においては、広域に渡る地上監視ネットワークを構築したうえで、常時GNSSの信号を監視するとともに、GNSS航法性能に起因する宇宙天気についても監視するシステムが用いられている。

このように、米国における装置ではRFIの発生源特定が行えるが、リアルタイムにおける性能劣化の影響把握は難しく、欧州における装置ではRFIの特定には至らないものの、広域に渡るリアルタイムのGNSS監視が可能という特徴がある。このような国外の状況を踏まえ、我が国におけるGNSS監視においては、次の方針を提案する。

- ① GNSS自体の健全性及びGNSSを用いた測位性能は、PBN運航を支えるための主軸であることから、運航者及び管制官に即座に情報提供できるようにリアルタイム監視を行う。
- ② RFIによる干渉源を直接測定する方法では、性能劣化の状況把握や干渉範囲の特定に遅れが生じるため望ましくない。そこで、多数の航空機からのADS-B等の情報を監視することで、RFIのみならずGNSS運航に影響あるエリアを把握する。

3.2 GNSS監視装置の要件及び運用コンセプト

上記の方針に従い、GNSS監視の機能要件を以下の3つに大別した。

- 1) GNSSコア衛星の信号品質や宇宙天気の監視
- 2) GNSS補強システムの性能監視

3) 機上における航法性能の地上監視

磁気低緯度に位置する我が国においては、GNSSの信号品質や信号品質の劣化を引き起こす宇宙天気の影響は必要であり、これにより航法性能がどの程度満足されているかを常時監視すべきと考える。また、本邦航空機においても、GPS受信障害報告が増加していることから、機上データを地上で監視することは有益と考える。

本機能を実現するための監視システム案を図3に示す。Basic-RNPやRNP-ARなど航法センサーとしてGPSのみが認められている空港周辺に、地上GNSS受信機を設置し、GNSSコア衛星の信号品質や補強システムの性能を監視する。次に、機上における航法性能を監視するために、航空機からのADS-B信号を取得したうえで、座標、高度、及びNUC/NIC/NAC等の航法性能を常時確認する。仮に、航法性能の劣化が認められた際は、周辺航空機のADS-B情報を用いることでRFIによる干渉エリア等の推定を行う。これにより、GNSS運航に影響あるエリアを把握でき、運航者及び管制官に対し、その後の対策を取れるための有益な情報を提供できる監視システムが構築可能となる。

4. まとめ

本研究では、我が国におけるGNSS監視の監視システム及び運用コンセプトの提案を目的としており、本年度は、国外での研究における調査、及び航空機の運航中でのGPS受信障害の事例や原因の調査を実施し、我が国におけるGNSS監視システムのコンセプト及びシステム構築のための提案を行った。次年度は、GNSS監視としての性能評価を行うとともに、特に運航者や管制官に対する情報提供などの運用コンセプトに関する提案を検討する。

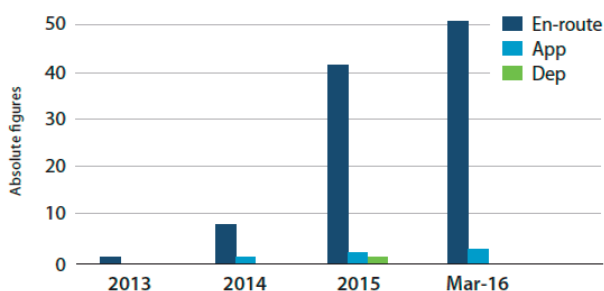


図1 欧州における運航中のGPS受信障害報告 (2013年11月～2016年3月における飛行フェーズ毎の障害件数)

数の推移。出典:EUROCONTROL⁽³⁾)



図2 米国の空域においてRFIが原因と思われるGPS受信異常が多く報告。上空から干渉源の範囲を絞りその後ポータブル装置で発生箇所を特定(出典:FAA)。

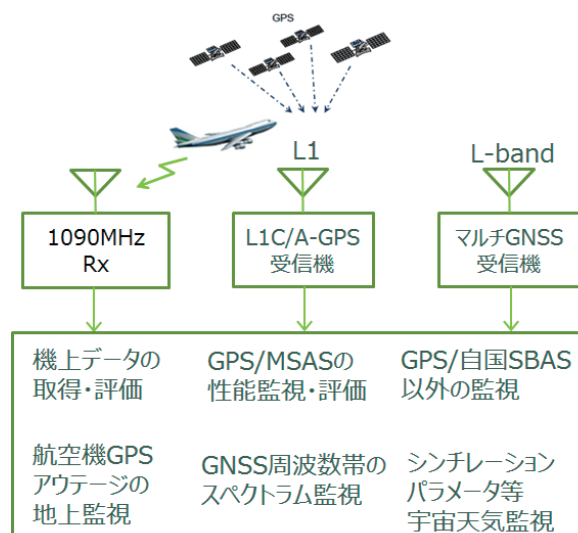


図3 我が国におけるGNSS監視システムの機能要件を提案

掲載文献

- (1) 麻生 貴広, 坂井 丈泰, 齊藤 真二, 毛塚 敦, 北村 光教: 航空機の航法における GNSS モニタリングの取組み, 2016 年 GPS/GNSS シンポジウム, 東京, 平成 28 年 10 月
- (2) Takahiro ASO, Mitsunori KITAMURA, Takeyasu SAKAI, Atsushi KEZUKA: Assessment of the Ground Monitoring for Onboard ABAS Performance, KGS, Korea, Nov. 2016.
- (3) EUROCONTROL: EVAIR Safety Bulletin No 16, Summer seasons 2011 – 2015.

到着進入経路における気象の影響評価に関する研究【萌芽的研究】

担当領域 航法システム領域

担当者 ○吉原 貴之, 森 亮太 (航空交通管理領域), 福島 荘之介, 藤井 直樹, 瀬之口 敦 (航空交通管理領域)

研究期間 平成27年度～平成28年

1. はじめに

羽田空港, 成田空港などの混雑空港においては, 安全を確保しつつ離着陸容量の拡大や燃料消費の削減等の効率化が望まれている。滑走路の増設によらずにこれらを実現するためには, 離着陸機の着陸間隔 (航空機の前後の縦方向間隔) の短縮や, ターミナル空域での効率的な出発及び到着経路の設計が必要となる。着陸間隔の短縮については, 将来のGBAS CAT-III運航の導入によって現行のILS着陸機に存在する制約の解消や, 安全を保ちつつ経路上の風の状況に応じて管制間隔を変化させるといった新しい後方乱気流管制方式が期待されている。

2. 研究の概要

実際の着陸間隔は, 規定されている航空機間の安全な離隔距離を必ず確保する必要があるため, 向い風の強さ等の気象条件に対応した余剰間隔 (安全マージン) が存在すると考えられる。そのため, 監視レーダーの航跡データ等を用いて着陸間隔の統計的解析を行うとともに, 交通流や容量といった運航指標と, 気象条件 (視程, 風況, 乱流) の関係性を調査した。また, 混雑空港の着陸容量の拡大策として周辺の気象状況に応じた新たな管制方式, 飛行方式について検討した。具体的には, ①時間ベースの管制方式, ②ドップラーライダー等を用いた横風監視による新たな後方乱気流管制方式, 並びに③ドップラーライダー等を用いたターミナル空域の風況監視により飛行技術誤差 (FTE) が小さくなる気象状況下のみで運航可能な飛行方式についての実現可能性を検討した。

3. 研究成果

進入経路上の着陸間隔については, 監視レーダー航跡等から羽田空港について使用滑走路毎の実際の着陸間隔 (時間間隔及び距離間隔) を導出し, 向い風, 横風の強さといった気象条件との関係性を調査した。その結果, 風況に対応した着陸機の運航指標は羽田空港における滑走路運用の特徴を定量的に捉えていることを確認した。また, 前項2. の新方式①～③に関連して, ①羽田空港では現状でも実質的に時間ベース運用 (向い風の強さに応じて距離間隔を調整して時間間隔を一定に保つ運用) と類似した特徴が

ある可能性が示唆された。また, ②の新たな後方乱気流管制方式については, 気象条件に応じて動的に管制間隔を変える運用 (RECAT2,3) の前段階に位置する航空機分類の見直し (RECAT1) に対するニーズが確認できたため, H28年度に新規指定研究を開始した。さらに, ③の気象条件を限定した飛行方式は, 技術的には有望であるが現状では具体的なニーズ (検討空港) がないため, 必要な航空機の応答モデルを開発するには時期尚早であると判断した。

4. 今後の課題

今回実施した着陸間隔の統計的, 定量的な評価をさらに発展させるため, 事例数を増加させることが望まれる。これにより, 羽田空港においては実質的に時間ベース運用になっている可能性に対する結論や, 気象条件の細分化による余剰間隔と気象擾乱の関係性の明確化が期待できる。

掲載文献

- (1) T. Yoshihara, "Space and Extreme Weather", Aviation Weather Symposium, Singapore, April 2015
- (2) T. Yoshihara, "ENRI's R&D Topics on Space Weather, Extreme Weather and Evaluation Study of Weather Impacts on ATM near Airport", ICAO/WMO APAC MET/ATM Seminar 2015, Tokyo Japan, June 2015
- (3) 吉原, "首都圏混雑空港周辺の航空交通流に対する気象の影響調査", 信学技報, vol.115, no.155, pp. 39-40, 2015年7月
- (4) 吉原, "空港近辺における航空交通流への気象の影響評価について", 第20回気象懇話会 (仙台航空測候所), 2016年3月
- (5) 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活用について", 第10回 MUR/EAR シンポジウム (京大・生存圏研究所), 2016年9月
- (6) T. Yoshihara et al., "Quantitative Analysis on Relationship between Arrival Air Traffic Flow and Meteorological Condition around Congested Airports in Tokyo Metropolitan Area", APISAT 2016, Toyama, Oct. 2016.

担当領域 航法システム領域

担当者 齋藤 享

研究期間 平成26年度～平成29年度（当初予定より1年延長）

1. はじめに

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

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

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

2. 研究の概要

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

- (1) 3次元トモグラフィー解析法として、これまでに開発してきた拘束付き最小二乗法の改良と計算の効率化を行う。
- (2) 過去10年以上にわたって蓄積されたGPS-TECデータを用いてトモグラフィー解析を行い、3次元電離圏構造のデータベース化を行う。
- (3) トモグラフィー解析をGEONETリアルタイムデータ取得システムと組み合わせ、電離圏3次元リアルタイムモニタリングシステムを開発する。時間遅れは15分程度を目標とする。

当所では主に課題3を、また課題2も一部担当する。

3. 研究成果

平成28年度は、平成27年度に実装したリアルタイム解析システムの運用を継続し、システムの改良を行うとともに、電離圏リアルタイム3次元トモグラフィーの衛星航法への応用、及び過去データの大量解析に着手した。

リアルタイム解析システムについては、メモリを32GBに増強することにより、安定性が改善した他、解析速度が大幅に向上し、1解析あたりの総所要時間が約10分から6分に短縮された(図1)。これにより、10分毎のリアルタイム解析が十分可能となった。

また、応用面では、電離圏3次元トモグラフィーの結果を1周波GNSS単独測位の電離圏補正に適用し、2周波GNSSに比べてランダム誤差が少なく、かつ平均誤差は1周波に比べて改善され、2周波補正並みの性能が得られることが示された。

過去データの大量解析については、京都大学において大型計算機の多数の計算機コアを利用し並列処理を行うことにより、過去データを高速で処理する準備を行った。しかしながら、大型計算機の並列処理において、使用するライブラリに不具合があり、不具合を回避して並列処理を行うためのソフトウェア改良に時間を要するため、研究期間を1年間延長することとした。

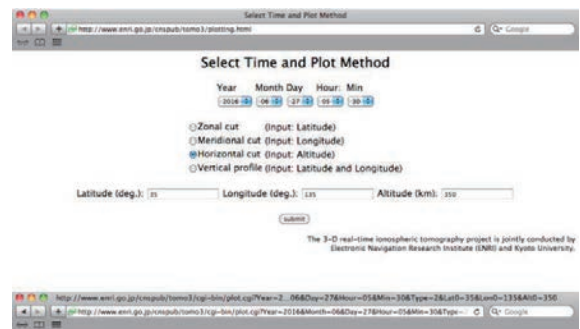


図1. 電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーのWeb (<http://www.enri.go.jp/cnspub/susaito/tomo3/plotting.html>) インターフェース及び表示例。

4. 考察等

課題(3)の目標は平成 27 年度に達成されているが、さらに改良を進め、安定性を増すと同時に時間遅れを 6 分まで短縮することができた。また、衛星航法の補強についても有効性を示すことができた。平成 29 年度は、リアルタイムトモグラフィシステムの応用をさらに進めるとともに、京都大学と協力して過去データの大量解析とデータベース構築を行う。

掲載文献

- [1] S. Saito et al., Real-time ionospheric monitoring by three-dimensional tomography over Japan, Proc. ION GNSS+2016, 2016 年 9 月 (全文査読)
- [2] 齋藤他, 電離圏リアルタイムトモグラフィとその応用, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 九州大学, 2016 年 11 月
- [3] 齋藤他, Real-time ionospheric 3-D tomography and its applications, PSTEP 研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」, 名古屋大学, 2017 年 1 月
- [4] S. Saito et al., Application of real-time ionospheric tomography for GNSS correction, 2nd GEOLab-RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, 京都大学, 2017 年 3 月

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

1. はじめに

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

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

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

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

2. 研究の概要

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

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

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

(3) EAR の長期データを用いて太陽活動度変動に対す

る電離圏構造の変動解析を行う。

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

当所では(2), (3)を担当する。

3. 研究成果

平成 28 年度は、赤道大気レーダー周辺及びタイ・バンコクにおける電離圏勾配観測を継続的に実施した。赤道大気レーダーサイトにおいては既存の受信機が故障、老朽化してきているため、複数衛星系・複数周波数に対応した受信機への置き換えを検討するため、試験観測を行った。また、赤道大気レーダーによるプラズマバブルの観測データを解析し、プラズマバブル発生の前駆現象と考えられる電離圏東西大規模構造の特性解析を行い、研究協力者によって取りまとめの論文が用意されているところである。

なお、京都大学及等においては、本研究の中心となる 3 周波対応ビーコン受信機とアンテナの開発を行っており、ビーコン受信機についてはデジタル受信機と、実際に衛星に搭載されるものと同型のビーコン送信機との接続試験を行うなど、着実に開発が進められている。米国によるビーコン衛星の打ち上げはロケットの問題により遅れているが、平成 29 年度中に実施されることが予定されている。

4. 考察等

平成 29 年度は赤道大気レーダー周辺及びタイ・バンコクにおける電離圏勾配観測を継続的に実施するとともに、GNSS 観測及び赤道大気レーダー観測データを用いた電離圏東西構造の解析を継続して行う予定である。

研究全体としては、平成 29 年度中に米国により予定されるビーコン衛星の打ち上げに備え、新ビーコン受信システムの開発を完了し、観測点に配置する予定である。

掲載文献

[1] 齋藤, アジア太平洋地域における電離圏全電子数勾配特性, MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 京都大学, 2016 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～平成 31 年度

1. はじめに

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

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

名古屋大学・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。

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

2. 研究の概要

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

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

(4) 地磁気誘導電流

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

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

(6) 宇宙天気ハザードマップの作成

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

(1)については、観測に基づく電波伝搬の現況のユーザーフレンドリーな可視化を行うとともに、電離圏擾乱による長波・短波・マイクロ波を中心とした電波障害の予測推定のための電波伝搬シミュレータを開発する。観測に基づき、電波伝搬シミュレータの実際の利用方法に即した検証を行う。

3. 研究成果

短波伝播について、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開発を、情報通信研究機構(NICT)の Hozumi 博士を中心に実施し、第1段階として水平一様な電離圏中のレイトレーシングを実装した。これに関しては、平成 21～23 年度に当所で行った科学研究費補助金研究「デジタル受信機を用いたパッシブレーダーによるプラズマバブルの広域監視法の研究開発」において得られた観測結果との比較を行うなど、結果の妥当性の検討の面から支援した。また、平成 20 年に ENAC インターンシップ生として当所において研修を行った仏・CNES の Rougerie 博士と、短波伝播解析と GNSS シンチレーションのモデル化について協力することとし、共同研究に向けた協議を開始した。枠組みとしては NICT-CNES の共同研究に、本研究及び NICT、名大、京大との宇宙天気四者共同研究の枠組みを通じて加わる形となる見込みである。

また、ICAO における宇宙天気情報の航空利用の運用コンセプトの策定と SARPs 化について、ICAO METP の作業部会に参加する NICT 石井博士を通じて支援を行った。これを通じて、低緯度電離圏擾乱が航空航法に影響する重要な宇宙天気現象であることが広く認識され、宇

宙天気情報に取り込まれることとなった。これは日本を含む磁気低緯度地域において有用な成果である。また、3回開催された宇宙天気ユーザー協議会に参加し、宇宙天気情報提供側と利用側の両方に通じた立場として、両者の間の情報交換を進めた。

このほか、NICT を中心に宇宙天気ハザードマップが策定され、航空航法の立場から、より現実に即したものになるよう助言を行った。

4. 考察等

平成 28 年度は、本研究の第 2 年次として電波伝播シミュレータの開発・検証と、ICAO における宇宙天気情報の航空航法への利用に関する基準策定への貢献、宇宙天気情報のユーザーと提供者の情報交換を中心に行った。短波電波については、以前に行った研究の成果の活用や、ENAC インターンシップの人的繋がり活用の活用により、限られた人的リソースの中で研究の幅に広がりが出てきている。

平成 29 年度は、電波伝播シミュレータについては 3 次元電離圏対応と、国内の短波放送局の電波を用いた観測による検証を実施する。短波放送局の電波観測には、当所で開発したデジタル受信機による伝播距離測定装置が用いられる予定である。宇宙天気情報の利用においては、ICAO における宇宙天気情報利用を中心に、航空局、航空会社等の宇宙天気情報ユーザーにとって利用しやすい宇宙天気指標の開発、宇宙天気情報利用マニュアルの策定などを実施する予定である。

掲載文献

[1] 齋藤他, 航空通信・航法・監視システムに影響する宇宙天気現象について, 宇宙科学技術連合講演会, 函館, 2016 年 9 月

[2] 齋藤, Multi-constellation/Multi-frequency GNSS 時代に必要な電離圏・宇宙天気情報, 第 59 回宇宙科学技術連合講演会, 鹿児島, 2015 年 10 月

3 監視通信領域

I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

平成 28 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、基盤研究および調査として承認された下記の項目を計画した。

1. 航空路監視技術高度化の研究
2. マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究
3. 空港面異物監視システムの研究
4. 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
5. 空地通信技術の高度化に関する研究
6. 監視システムの信号環境と将来予測に関する研究
7. 空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究
8. ADS-B 方式高度維持性能監視の研究
9. 低高度における状況認識技術に関する研究
10. 走査型親局を想定する受動型レーダの覆域拡張技術の研究
11. カオス論的な発話音声評価アルゴリズムの信頼性向上のための研究
12. UAS のための GPS に代わる位置推定法に関する研究
13. 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
14. 管制方式等の規則の構造化と運用手法の機械学習に関する調査
15. ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発
16. 新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証
17. 樹脂系複合材料を用いた次世代航空機における電磁環境両立性解析技術の研究
18. 次世代航空通信向けマルチユーザ MIMO 信号処理技術の開発及び航空機縮尺モデルを用いた評価
19. 携帯端末の電波直接探知による海上衝突予防に関する基礎的研究
20. 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
21. 航空需要に対応する海上設置型ローライザの設置条件に関する研究

1～5 は重点研究である。

1 は、航空機監視システムとして現用の SSR モード S と、WAM (Wide Area Multilateration) や ADS-B などの新システムを連係させることにより、高性能・高信頼の監視システムを実現することを目指す研究である。

2 は、WiMAX 技術を航空分野に適用して空港周辺の C バンド空地通信網のプロトタイプを開発し、国際規格策定に参画するとともに、実用的なアプリケーションを想定した性能評価を行う研究である。

3 は、複数のミリ波センサーから構成されるセンサネットワークと ITV カメラネットワークを用いるハイブリッドセンサネットワークを開発し、高度な監視情報を得ることができる空港面異物監視システムに関する研究を行う。

4 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を評価する SWIM の情報共有テストベッドを構築する研究である。

5 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とともに、AeroMACS の利用技術の開発や AeroMACS 技術の適用範囲拡大の可能性を評価する研究である。

6～8 は指定研究である。

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

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

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

9～11 は基盤的研究である。

9 は、ヘリコプタなどが低高度を飛行する際に機体周辺の障害物を検出することで安全運行を支援することをめざし、ミリ波レーダを改良する研究である。

10 は、現在の空港監視レーダ整備・運用の今後の合理化を念頭に、2 次監視レーダの質問信号の反射による航空機測位技術を開発する研究である。

11 は、発話音声を分析することにより覚醒水準を評価

するための尺度を定めるため、適切な発声課題の選定や評価尺度に発生する分析誤差の軽減を目指す研究である。

12, 13 は萌芽的研究である。

12 は、GPS に代わる位置情報源を提供することで、無人航空機 UAS の運用信頼性を向上させる研究である。

13 は、4 GHz 帯を用いた航空機内データ通信 (Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC) の無線化を実現するために EMC 評価技術を確立する研究である。

14 は調査課題である。個々の航空機の最適経路の設定からすべての航空機の最適経路の設定へのパラダイムシフトを行うことを想定し、量子コンピュータによる人工知能や機械学習を適用した技術方策について調査・検討する調査である。

15~21 は競争的資金による研究である。

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

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

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

18 は、マルチユーザ MIMO(Multiple Inputs and Multiple Outputs)システムの航空通信への適用を検討するために、信号処理技術、空地でのアンテナ配置の検討、全体性能評価に関する研究である。

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

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

21 は、計器着陸装置 (ILS) のローカライザを海上に設置する場合、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。

II 試験研究の実施状況

「航空路監視技術高度化の研究」は最終年度であり、これまでに構築した WAM/ADS-B 実験システムを利用して、高利得セクタ型アンテナによる性能試験を行い、研究目標である最大覆域 (WAM: 200NM, ADS-B: 250NM) まで拡大できることを示した。また、モード S データリンクの性能改善にも有効であることがわかった。今後は、ADS-B がプライマリセンサとなった場合に必要となる ADS-B/WAM 技術の開発・評価を、後継となる次期研究において実施する。

「マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究」では、昨年度までに整備した MSPSR 実験システムによる航空機の測位実験を行うとともに、マルチスタティック処理のための実験システムの拡張を行った。今後は、仙台空港内に設置した実験システムを使用して、飛行実験や現行 PSR との比較等により光ファイバ接続型パッシブレーダの性能評価を行うとともに、複数の受信機による信号分離手法の実装や捕捉性能の向上について検証を行った。

「空港面異物監視システムの研究」は最終年度であり、仙台空港にてセンサー単体の検知性能の基礎試験、成田空港にてハイブリッドセンサーシステムの総合性能を評価し、目標としたシステム性能 (滑走路から離れた場周道路付近にセンサーを配置し、異物発生から 10 秒程度に検出、カメラで撮像) を達成できた。検知率が低下する一部の単体や夜間のカメラの撮像能力の低下については、検知率向上を次年度からの指定研究で検討する。

「SWIM のコンセプトによるグローバルな情報共有基盤の構築と評価」では、SWIM に基づいた将来の運用環境を構築するため 2 つの国際実証実験に参加した。また、飛行情報と監視情報の融合により監視精度の向上や監視履歴データと気象予測データによる軌道ベース運航 (4DT: 4 Dimension Trajectory) 飛行計画の作成などの研究開発を行った。

「空地通信技術の高度化に関する研究」では、AeroMACS プロトタイプを活用し、実験室内での空港内地図の表示ツールの基礎実験を行うと共に、通信事業者と共同で羽田空港における実環境下での基礎性能評価試験を行った。また、平成 27 年度末の AeroMACS 端末を搭載した実験用航空機と地上の基地局との通信結果を追加解析し、実験用航空機のアンテナ位置に基づく特性や、上空での適用範囲拡大の可能性が示された。

「監視システムの信号環境と将来予測に関する研究」では、信号環境測定装置の開発および実際に計測した結

果を過去の測定データと比較して、信号測定手法の有効性を確認した。

「空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究」では、受信側の信号処理部におけるモード A/C 応答信号の処理機能の追加、送信側の変調部における SSR 質問信号の生成機能の追加を行い、仙台空港周辺において実証実験を行った。

「ADS-B 方式高度維持性能監視の研究」では、気圧高度計の誤差 (ASE; Altimetry System Error について誤差評価ツールを開発した。収集した航空機からの ADS-B データ及び 3 か所の地上設置型高度監視装置 (HMU; Height Monitoring Unit) データをツールにより解析できることを確認した。

「低高度における状況認識技術に関する研究」は最終年度であり、ミリ波レーダの受信回路を改善し、アンテナビーム走査方式を改善しミリ派レーダシステムの実証実験を行い、従来の 2 倍以上の探知距離見込みを確認した。

「走査型親局を想定する受動型レーダの覆域拡張技術の研究」は最終年度で、走査型アンテナを運用する親局を想定した受動型レーダーとして、受動型 2 次監視レーダーに続き、受動型 1 次レーダーも実現し、更に、SSR において質問信号の航空機による反射を処理し、ASR を構成する PSR 機能を代替する可能性についても検証した。

「カオス論的な発話音声評価アルゴリズムの信頼性向上のための研究」は最終年度で、当所で開発した SiCECA (Shiomi's Cerebral Exponent Calculation Algorithm) での特徴量を再定義し、機能検証を改めて行い、演算処理の高速化を実現した。

「UAS のための GPS に代わる位置推定法に関する研究」は最終年度で、到来波振幅を用いた位置推定および到来位相差を用いた位置推定の基礎検討を実施した。

「航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究」では、WAIC 周波数帯において A320-200 型機の数値モデルを用いた大規模電磁界数値解析の適用可能性を明らかにした。

「管制方式等規則の構造化と運用手法の機械学習に関する調査」は最終年度で、量子コンピュータを用いた機械学習により航空管制を知識として獲得できる可能性とさらなる調査の必要を示した。

「ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発」では、90GHz 帯で光通倍方式を使用した通信システムの有効性を特定するために、長距離の光ファイバー

を通じた後に得られた EVM (ベクトル振幅誤差) を測定した。新幹線の駅間隔程度の距離 (約 30km) ではファイバー長の影響は少なく本方式での通信は良好であることを示した。

「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証」では、端末が通信中に発する電波を受信して、その位置を推定する技術を開発し、推定された端末位置は、検出エリアの中心付近で Wi-Fi 信号の周波数帯域から算出される理論分解能よりも細かい精度で求まることが示された。

「樹脂系複合材料を用いた次世代航空機における電磁環境両立性解析技術の研究」では、リバブレーションチャンバを用いた CFRP 構造体内部の電磁界分布および構造体 Q 値の測定評価について検討するとともに、ビーチクラフト B300 型機を用いた電磁界数値解析を実施した。

「次世代航空通信向けマルチユーザ MIMO 信号処理技術の開発及び航空機縮尺モデルを用いた評価」では、Space Time Block Coded - Continuous Phase Modulation (STBC-CPM)方式について検討し、STBC-CPM に準直交符号(Q-OSTBC)を適用することによって周波数利用効率を改善できることを示した。

「携帯端末の電波直接探知による海上衝突予防に関する基礎的研究」では、携帯電波源の探知装置を製作し、無響室実験および屋外海上実験を実施した。

「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・トレーシング法の計器着陸システムへの応用と FDTD 法 (Finite-difference time-domain method) を用いて電波伝搬の可視化を行った。

「航空需要に対応する海上設置型ローカライザの設置条件に関する研究」では、遮蔽フェンスによる回折波の解析を実施し、フェンス上端からの回折よりも横からの回折波が大きいことを示した。

本年度は、以上の 21 件の研究・調査に加えて、以下に示す 10 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. AS355 搭載機器の経路損失試験
2. 24GHz アンテナの開発支援
3. エンブライエル式 ERJ190-100STD 型の搭載機器の経路損失試験
4. Ku バンド(17GHz)DBF レーダの校正と制度計測
5. Bell429 搭載機器の経路損失試験
6. PED 体制の適合証明方法調査 (その 3) DO-307

4 項玄関結合一地上 IPL 試験方案作成作業

7. AW109SP 搭載機器の経路損失試験
8. ATR42-500 (600Version) 型搭載機器の経路損失試験
9. ILS 整備に係る障害物件等影響調査の技術支援
10. 植生に対するマイクロ波の透過・反射特性の計測実験

会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会の若手奨励賞，
映像情報メディア学会の優秀研究発表を受賞している。

(監視通信領域長 福島 幸子)

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

「航空路監視技術高度化の研究」で開発した高利得セクタ型アンテナはモード S データリンクの性能改善に有効であることが明らかになり、ICAO 航空監視マニュアル (Doc 9924) への繁栄を提案している。

「空港面異物監視システムの研究」で開発したシステムでは 400m 離れた M4 ボルト ($\phi=8\text{mm}$) を明瞭に識別できる能力を実現した。実際の空港への展開が望まれており、さらなる検討を進めていく。

「マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究」では、実験結果を取りまとめ ICAO の監視パネルの ASWG (Aeronautical Surveillance Working Group) に報告している。

「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、MGD-II などの国際実証実験で得られた技術知見などを踏まえて、ICAO の離陸前のフライト情報を利用して運航効率の向上 をする計画 (FF-ICE/1: Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment / Step 1) の検討に参加している。

「空地通信技術の高度化に関する研究」では AeroMACS の航空通信システム規格として、航空用技術基準 (RTCA) の策定キックオフ会議に参画した。また、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 DCIWG (データリンク通信インフラ作業部会) にも積極的に参加している。

「監視システムの信号環境と将来予測に関する研究」では RTCA と EUROCAE の合同監視委員会 (Combined Surveillance Committee) や機上監視 MOPS の作成を行っている SC186WG4 に出席している。

各研究課題の研究成果は、ICAO, RTCA, 当研究所の研究発表会、関連学会、国際研究集会等に積極的に発表している。また、ICAO 等国際会議にて、航空局への技術アドバイザーなどとして協力を続けている。これらのなかで、平成 28 度はナショナルインスツルメンツ (NI) のシステム開発コンテスト 2016 の受賞や、電子情報通信学

担当領域 監視通信領域

担当者 ○宮崎 裕己, 古賀 禎, 松永 圭左, 角張 泰之, 本田 純一, 長縄 潤一, 田嶋 裕久

研究期間 平成 25 年度～平成 28 年度

1. はじめに

将来の航空交通管理の運用概念として軌道ベース運用 (TBO) が位置づけられており、TBOの実現においてはシームレス (継ぎ目のない) かつ高性能 (高頻度・高精度) な航空機監視が要求されている。このため航空機監視システムは、現用の二次監視レーダー (SSR) から、高性能な広域マルチラテレーション (WAM) への移行が進められており、更には衛星航法システム (GNSS) をベースとした高機能な放送型自動位置情報伝送・監視機能 (ADS-B) の導入も計画されている。しかしながら、これらの監視技術 (WAM/ADS-B) を航空路監視に適用する場合、海岸線沖合の覆域をSSR並に確保しなければならないといった課題がある。

一方、TBOにおいては機上・地上間での軌道情報の共有を可能とするデータリンクが必要不可欠であり、WAM/ADS-Bによる即時性の高いモードSデータリンクの活用も期待される。しかしながら、無指向性アンテナによる高頻度なデータの送受信は信号環境の悪化を招くとの問題があり、実用化には、地上からの送信を所要の方向に限定するセクタ型アンテナの開発が必要である。

このような背景を踏まえ、本研究は、WAM/ADS-Bの課題である海岸線沖合エリアの監視覆域を拡張するとともに、即時性の高いモードSデータリンクを実行可能とする高利得セクタ型アンテナを開発することを目的としている。さらに、WAM/ADS-Bの性能は、航空機と受信局との位置関係に依存することから、適切な受信局配置を予め把握するための性能予測手法の確立も目指す。

2. 研究の概要

2. 1 WAMとADS-Bの測位原理

図1にWAMとADS-Bの測位原理の概略図を示す。WAMは、航空機に搭載されたトランスポンダが送信する信号を、地上に配置された複数の受信局で検出して到達時刻を測定する。次に測定した到達時刻から受信局間の到達時刻差を求めて、航空機と各受信局との距離差に変換する。そして、距離差が一定との条件からなる双曲線同士の交点を求めることで航空機の位置を算出する。

一方ADS-Bは、航空機が自機の位置情報を、GNSSをベースに算出して、放送型データリンクを利用して送信する。送信された位置情報は、地上に設置されたADS-B受信局などで受信され、この情報を基に監視が行われる。WAMとADS-Bは、トランスポンダが送信する同じ形式の信号を利用するため、共用 (同時運用) が可能となる。

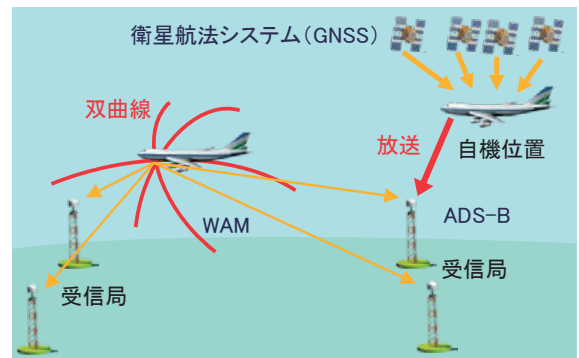


図1 WAMとADS-Bの測位原理の概略図

2. 2 海岸線沖合への WAM/ADS-B の覆域拡張

WAMは受信局配置の外側では、図2に示すように、双曲線がほぼ平行に交わるため測位誤差が増大する。加えて、計算解が得られない検出率の低下も発生する。この状況に対して、SSRのように質問信号を地上から送信して航空機トランスポンダに应答させると、質問から应答までの時間から得られる真円は双曲線とほぼ直角に交わる。このため、この真円をWAM測位に活用することで、測位誤差及び検出率の改善が可能となる。この測位方式はRangingと呼ばれ、本研究では、遠方までの送受信を可能とする高利得アンテナを開発する。

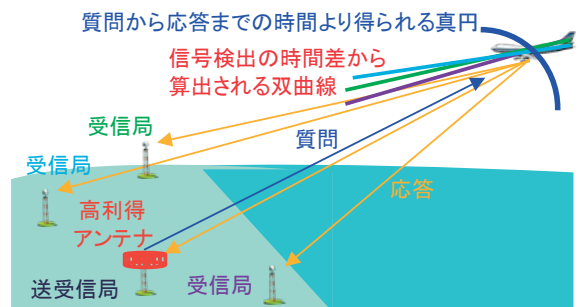


図2 Rangingによる測位誤差の改善

2. 3 WAM/ADS-B によるモード S データリンク

モード S データリンクは、SSR モード S の監視用信号フォーマットに 56 ビットのデータフィールドを加えてデータの送受が行われる。利点としては、既存の航空機監視インフラであるモード S 地上局と機上モード S トランスポンダを活用して、航空機監視と同時にデータ通信が行えることである。一方、課題としては、地上局アンテナの向きに依存してデータ通信のタイミングが制限されることである。この課題に対して、WAM/ADS-B は固定アンテナを用いるため、タイミングの制限がなく、即時性が高いモード S データリンクが実行可能となる。しかしながら、通常の無指向性アンテナで高出力かつ高頻度なデータ送受を行うと、質問・応答数が増加することに加えて、トランスポンダの占有時間も増大してしまう。この信号・運用環境の悪化を避けるために、信号の送信方向を限定するセクタ型アンテナの開発が必要となる。

3. 研究成果

4 ヶ年計画の最終年度である平成 28 年度は、これまでに構築した WAM/ADS-B 実験システムを利用して、高利得セクタ型アンテナの覆域拡大に関する性能試験、及び WAM/ADS-B によるモード S データリンクの性能試験を実施した。

3. 1 覆域拡大に関する性能試験

WAM/ADS-B では一般的に、受信局用のアンテナに、全ての方向からの信号を検出する無指向型が利用される。航空路監視に WAM/ADS-B を適用する場合、遠方の航空機から送信される微弱な信号を検出することが必要のため、通常の無指向型ではアンテナ利得が不足する。加えて、監視覆域の拡大を行えば、検出される信号数が増大し、信号干渉（混信）が多発することから、システム性能の低下を招く。これらの課題に対処するには、アンテナの信号検出方向を分割すると同時に利得が向上する、受信局アンテナのセクタ化が有効である。このような背景から本研究では、高利得セクタ型アンテナの開発・評価を進めた。図 3 に、WAM/ADS-B 実験システムの受信局配置を示す。調布（当所）と鹿野山（千葉県君津市）の 2 サイトに高利得セクタ型アンテナを設置し、性能試験の対象覆域を関東及び東海地方の沖合沿岸エリアに設定した。性能試験では、前述した 2 サイトのアンテナを無指向型から高利得セクタ型に変更する等の、覆域拡大策適用の前後で、WAM/ADS-B の監視覆域を比較評価した。図 4 (a) (b) に、WAM 及び ADS-B の監視覆域を、

覆域拡大策適用前後で比較して示す。図中の航跡は、在空中機を対象に実験システムで取得した 1 日分の測位結果である。なお、(b) 図の ADS-B は、鹿野山サイトで取得した航跡である。図 4 から、高利得セクタ型アンテナを適用することにより、研究目標である WAM:200NM、ADS-B:250NM の最大覆域が得られていることが分かる。

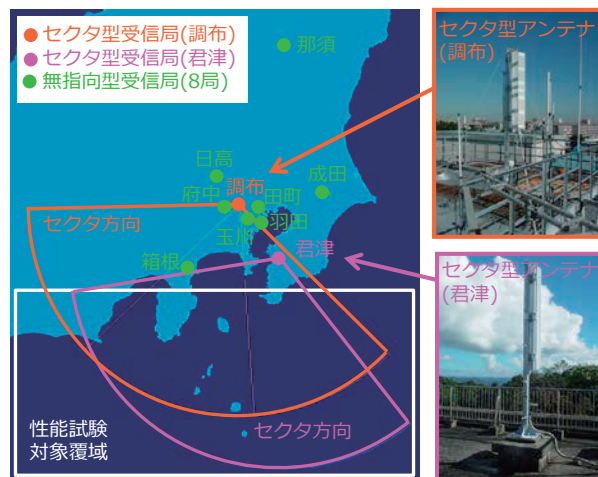


図 3 WAM/ADS-B 実験システムの受信局配置

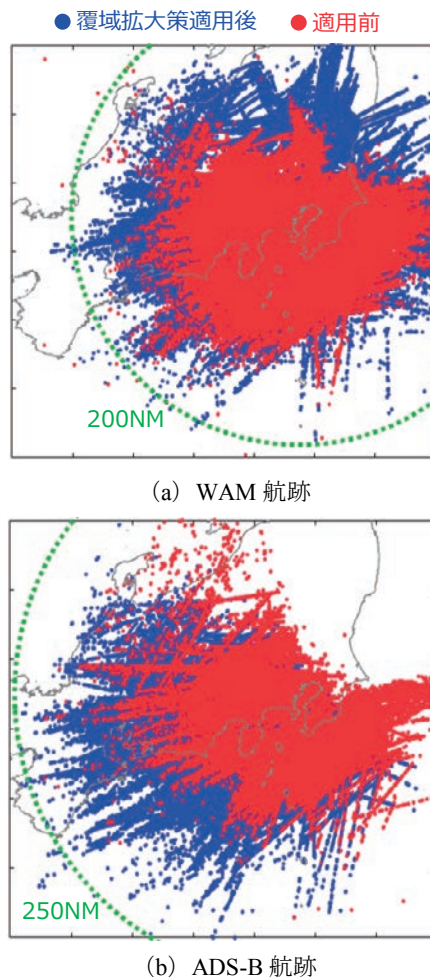


図 4 WAM 及び ADS-B の監視覆域の比較

3. 2 モードS データリンクの性能試験

モードS データリンクの性能試験は、航空機が送信する ADS-B 用信号の検出率を評価項目として行った。図5に、信号強度と干渉信号数に対する信号検出率の解析結果を示す。図5から、信号検出率は、信号強度の増加に伴い改善する一方、干渉信号数の増大により悪化することが分かる。特に、信号強度が低い場合は、干渉信号数の増大に伴い、信号検出率が大幅に減少する結果が得られた。この結果は同時に、信号強度を高めることにより、信号干渉の影響を軽減できることを意味する。本試験の結果から、受信する信号の強度を高めるとともに、干渉信号数の減少を可能とする高利得セクタ型アンテナは、モードS データリンクの性能改善に有効であることが明らかになった。本結果をまとめたワーキングペーパーを ICAO 監視パネル会議に提出して、航空監視マニュアル (Doc 9924) に反映するように提案中である。

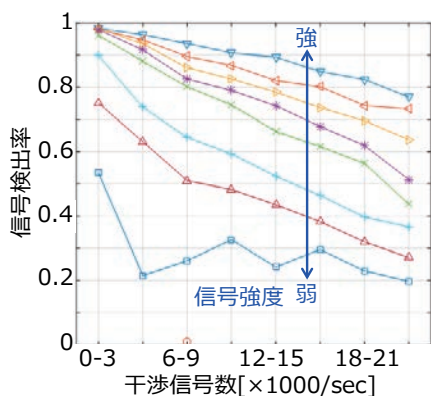


図5 信号強度と干渉信号数に対する信号検出率

4. 考察等

最終年度である平成 28 年度は、これまでに構築した WAM/ADS-B 実験システムを利用して、高利得セクタ型アンテナによる覆域拡大の性能試験、及び WAM/ADS-B によるモードS データリンクの性能試験を実施した。覆域拡大に関する性能試験では、高利得セクタ型アンテナを適用することにより、研究目標である最大覆域 (WAM: 200NM, ADS-B: 250NM) が得られた。一方、モードS データリンクの性能試験では、高利得セクタ型アンテナは、モードS データリンクの性能改善に有効であることが明らかになった。今後は、ADS-B がプライマリセンサとなった場合に必要となる ADS-B/WAM 技術の開発・評価を、後継となる次期研究において実施する計画である。

謝辞

実験システムの設置および評価試験の実施にご協力を頂いている国土交通省の関係各位に感謝の意を表します。

掲載文献

- (1) 宮崎, 島田他: “広域マルチラテレーションの評価試験”, 航空宇宙学会第 44 期年会講演会, A11, 2013 年 4 月.
- (2) 宮崎, 小菅他: “3 次元 TDOA 測位に高度情報を適用した評価結果”, 日本航海学会春季第 128 回講演会 航空宇宙学会, 2013 年 5 月.
- (3) Miyazaki, Koga: “Draft Doc 9924 Guidance Material for the Measurement of All-Call Reply Rates”, WP ASP14-15, ICAO ASP 14th WG meeting, April 2013.
- (4) 島田, 宮崎他: “広域マルチラテレーションの評価試験”, 平成 25 年度 (第 13 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要, 平成 25 年 6 月.
- (5) Miyazaki, Kakubari: “Test Results of Preliminary Evaluation for Mode S Passive Acquisition”, ASP TSG WP15-26, ICAO ASP 15th TSG meeting, June 2013.
- (6) 島田, 宮崎他: “気圧高度情報を利用した広域マルチラテレーション測位方式”, 2013 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-2-43, 2013 年 9 月.
- (7) Miyazaki, Kakubari: “Test Results of Preliminary Evaluation for Mode S Passive Acquisition”, WP ASP 15-15, ICAO ASP 15th WG meeting, October 2013.
- (8) 島田, 宮崎他: “測定距離を利用した広域マルチラテレーション測位方式の評価結果”, 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2013-123, 2014 年 1 月.
- (9) 宮崎, 小菅他: “TDOA 測位における基準局の選択”, 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2013-125, 2014 年 1 月.
- (10) 島田, 宮崎他: “WAM における性能改善方式の評価”, 平成 26 年度 (第 14 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要, 平成 26 年 6 月.
- (11) Miyazaki: “Measured DF0 transmission around Tokyo international airport”, ASP TSG WP17-25, ICAO ASP 17th TSG meeting, June 2014.
- (12) Miyazaki, Shimada, et al.: “Performance Evaluation of a WAM System using Measured Range”, ESAV2014, September 2014.
- (13) Miyazaki: “Measured DF0 transmission around Tokyo international airport”, WP ACSG01-02, ICAO ASP 1st

- ACSG meeting, September 2014.
- (14) Miyazaki, Kakubari: "Status of the Passive Acquisition Testing at ENRI Using a Short Baseline MLAT System", WP ASP 17-19, ICAO ASP 17th WG meeting, September 2014.
- (15) 宮崎: "DAPs 導入に伴う信号環境影響の検討", 航空局 CARATS 第4回監視アドホック1会合, 2014年11月.
- (16) 宮崎, 小菅他: "TDOA 測位における基準局選択と測位結果の関連", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J97-B No.12, 2014年12月.
- (17) 宮崎, 小菅他: "バイアス誤差が存在する場合の TDOA 測位の改善手法", 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2014-120, 2015年1月.
- (18) 宮崎: "航空路監視技術の高度化について", 航空管制 2015 No.1, 2015年1月.
- (19) Miyazaki, Kakubari: "Status of the Passive Acquisition Testing at ENRI Using a Short Baseline MLAT System", ASP TSG WP18-17, ICAO ASP 18th TSG meeting, January 2015.
- (20) Miyazaki, Kakubari: "Test Results of Passive Acquisition Using a Short Baseline MLAT System in ENRI", SP-ASWG1-WP23, ICAO SP ASWG 1st meeting, April 2015.
- (21) 宮崎, 小菅, 田中: "高度情報の適用による TDOA 測位の改善手法", 2015年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-16, 2015年9月.
- (22) Miyazaki: "Need for Revision of Passive Acquisition Guidance Material on Doc 9924", SP-ASWG2-WP21, ICAO SP ASWG 2nd meeting, September 2015.
- (23) 宮崎, 長縄: "広域マルチラテレーションの概要について", 日本航海学会第133回講演会 2015年度秋季航空宇宙研究会, 平成27年11月.
- (24) Naganawa, Miyazaki, Tajima: "Evaluation Results for Impact of Signal Interference and Strength on Detection Probability", 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2015-53, ICSANE 2015, November 2015.
- (25) Miyazaki, Kosuge, Tanaka: "Improvement Measures for 3D TDOA Localization by Using Height Information", 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2015-56, ICSANE 2015, November 2015.
- (26) Miyazaki: "Development of Wide Area Multilateration Technologies in ENRI", DISH 2015, Chennai, Nov. 2015.
- (27) 長縄, 宮崎, 田嶋: "航空路監視用広域マルチラテレーションにおける検出率概算法の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2015-100, 2016年1月.
- (28) 宮崎, 小菅, 田中: "平滑化高度情報の適用による TDOA 測位の改善手法", 電子情報通信学会技術研究報告, 宇宙・航行エレクトロニクス, SANE2015-101, 2016年1月.
- (29) Miyazaki, Naganawa: "Revision to Doc 9924 Guidance Material on Passive Acquisition", ASWG TSG WP2-20, ICAO SP ASWG TSG 2nd meeting, January 2015.
- (30) 宮崎, 長縄: "広域マルチラテレーションの概要", 航空振興財団第3回航法小委員会, 平成28年2月.
- (31) 長縄, 宮崎, 田嶋: "航空機監視における伝搬モデル評価に向けた拡張スキッタの測定", 2016年電子情報通信学会総合大会, B-1-8, 2016年3月.
- (32) 宮崎, 小菅, 田中: "平滑化高度情報の適用による TDOA 測位の評価結果", 2016年電子情報通信学会総合大会, B-2-22, 2016年3月.
- (33) Miyazaki: "Development of Wide Area Multilateration System Using Sector Antenna", World ATM Congress 2016, Madrid, March 2016.
- (34) Miyazaki, Kosuge, Tanaka: "Improvement way of WAM localization by applying smoothed altitude information", ESAVS2016, April 2016.
- (35) Miyazaki, Naganawa: "Revision to Doc 9924 Guidance Material on Passive Acquisition", SP2-ASWG3-WP/21, ICAO SP ASWG 3rd meeting, April. 2016.
- (36) 宮崎: "航空機監視システムの高度化," 自動車技術5月号, pp. 13-18, 2016年5月.
- (37) 長縄, 宮崎, 田嶋: "WAM 受信局配置設計に向けた信号検出率測定," 平成28年度(第16回)電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 98-103, 2016年6月.
- (38) Naganawa, Miyazaki: "Doc 9924 CP for Passive Acquisition", ASWG TSG WP03-22, ICAO SP ASWG TSG 3rd Meeting, June. 2016.
- (39) 宮崎, 小菅, 田中: "TDOA と TSOA における測位誤差の比較", 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2016-31, pp. 1-6, 2016年8月.
- (40) Miyazaki, Naganawa: "Doc 9924 CP for Passive Acquisition", SP2-ASWG4-WP/21, ICAO SP ASWG 4th Meeting, Oct. 2016.

- (41) 宮崎：“航空機監視技術の高度化について”，航空振興 2016 秋号，2016 年 10 月。
- (42) Miyazaki, Kosuge, Tanaka: “Improvement of position Accuracy by Combining TDOA and TSOA”, Proceeding of the International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016, SANE2016-84, pp. 169-174, November 2016.
- (43) Naganawa, Honda, Otsuyama, Tajima, Miyazaki: “Evaluating Path Loss by Extended Squitter Signals for Aeronautical Surveillance”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 16, pp. 1353-1356, Dec. 2016.
- (44) 宮崎, 小菅, 田中：“TSOA による TDOA 測位誤差の改善”，電子情報通信学会技術研究報告，SANE2016-107, pp. 65-70, 2016 年 8 月。
- (45) Miyazaki, Naganawa: “Measurement Results of Extended Squitter based on RF Measurement Guidance Material”, ASWG TSG WP04-27, ICAO SP ASWG TSG 4th meeting, Jan. 2017.
- (46) 長縄, 宮崎, 田嶋, “広域マルチラテレーションにおける測位確率の実験的評価”，電子情報通信学会技術研究報告，SANE2016-120, pp. 13-18, 2017 年 2 月。
- (47) 長縄, 宮崎, 田嶋, 本田, 大津山：“航空監視信号測定と空地伝搬損失モデルの初期的な比較”, 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-1-27, 2017 年 3 月。
- (48) 宮崎, 小菅, 田中：“TSOA 測位を利用した監視覆域の拡大”, 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-2-28, 2017 年 3 月。
- (49) Miyazaki, Naganawa: “Measurement Results of Extended Squitter based on RF Measurement Guidance Material”, SP-ASWG5-WP17, ICAO SP ASWG 5th meeting, Mar. 2017.
- (50) Naganawa, Miyazaki, Tajima: “Measurement-based Evaluation on Detection Probability of Extended Squitter for Air-to-Ground Surveillance”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. PP, Issue 99, Apr. 2017.

マルチスタティックレーダによる航空機監視と性能評価に関する研究 【重点研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○大津山卓哉, 本田純一, 塩見格一

研究期間 平成 26 年度～平成 29 年度

1. はじめに

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

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

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

2. 研究の概要

本研究は4カ年計画であり、3年目の平成28年度は次のことを行った。

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

3. 研究成果

平成28年度はICAO監視パネル等に提出された、MSPSR関係の文献を調査するとともに、電子研で得られた実験結果を取りまとめ同パネルのASWG(Aeronautical Surveillance Working Group)に報告した。また各国で行われているMSPSR関連技術開発状況を取りまとめ、ASWGに報告した。これらの調査と並行して昨年度までに整備したMSPSR実験システムによる航空機の測位実験を行うとともに、マルチスタティック処理のための実験システムの拡張を行った。

3. 1. MSPSRの要件・動向調査

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

3. 2. MSPSR実験システムによる測位実験

昨年度、仙台空港内に設置したPSR送信情報を使用するMSPSR実験用システムを使った航空機の測位実験を行った。この実験システムは、送信情報として航空保安大学

校岩沼研修センターの研修用レーダから送信信号のモニタ波形を分配し、光ファイバ無線技術(RoF)を使い、電気信号から光信号に変換して送受信するパッシブレダとなっている(OFC-PPSR:光ファイバ接続型パッシブ一次監視レーダ)。現行のPSRに依存するため、更新レートの向上は見込めないが、既存システムを活用して大きなシステム変更をすることなく、レーダの捕捉率や測位精度を向上することが期待される。

地上デジタル放送波の遅延プロファイルを使った方式では、これまでの研究の中で、ほぼリアルタイムで高い更新頻度を持つレーダ画像を得ることができ、また同時に着陸する複数の航空機を分離して表示可能であることが明らかになっている。本年度は取得した航空機位置の測位精度について検証するために、地上デジタル放送波による実験結果とADS-B情報を比較した。これまでの検証結果として、受信アンテナの覆域内において提案手法で取得された遅延信号がADS-Bによる航空機の位置と一致することが確認できた。また、仙台空港や福岡市内にも受信点を設置して、異なる環境での実験を実施し、各地域において航空機が検出できることを確認した。

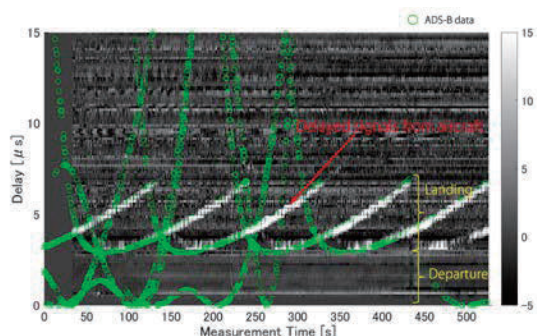


図1：地上デジタル放送波遅延信号取得システムによる実験結果とADS-Bデータ(緑色の丸印)の比較

3. 3. MSPSR 監視導入に必要な要素技術の開発

昨年度までに構築した実験システムは、送受信機がそれぞれ1か所ずつのバイスタティック構成になっている。MSPSRを構築するためには、複数局で受信し、それらを合成するための処理が必要となる。そこで、本年度は複数局での受信ができるようにOFC-PPSRシステムの機能を拡張した。拡張システムではRoFを使った部分を、リファレンス信号部、受信機-信号記録装置間等の複数の場所で扱うようにして、どのエリアにRoFを使用する事が最適であるか検証できるようにした。本年度、新しい構成でのシステム構築ができたため、今後、それぞれの場合について検証を行う。

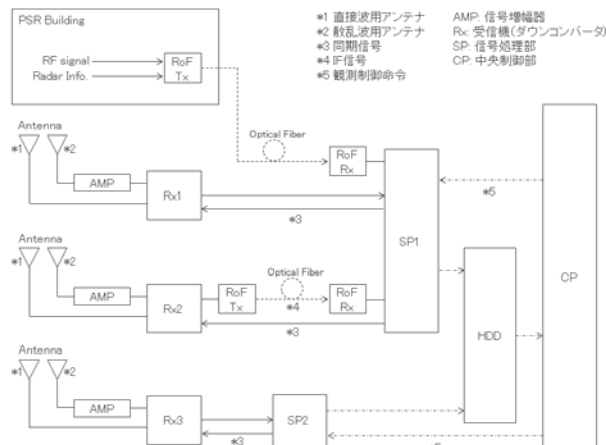


図2：3局構成に拡張した光ファイバ接続型パッシブレダの実験システム概要

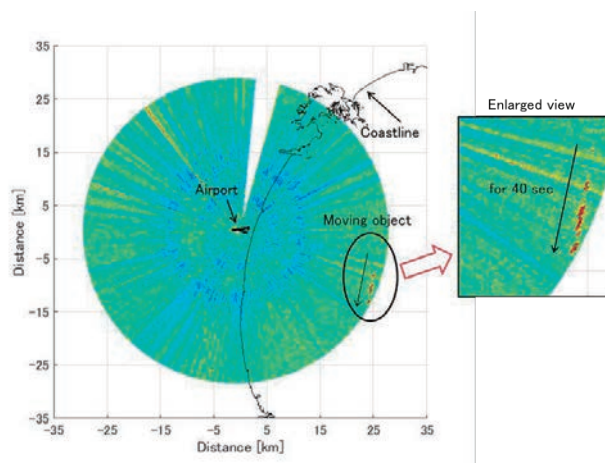


図3：実験結果の一例

また、バイスタティックレーダに関してはモノスタティックレーダと異なり、レーダ反射断面積(RCS:Radar Cross Section)が航空機の姿勢と送受信機間関係によって複雑に変化する。レーダシステムの設計にはRCSを正確に見積もる必要があるが、これらの解析には多くの課題があり、それらの解決のため大学との共同研究を開始した。

4. まとめ

今後、仙台空港内に設置した実験システムを使用して、飛行実験や現行PSRとの比較等により光ファイバ接続型パッシブレダの性能評価を行う。また、複数の受信機による信号分離手法の実装や捕捉性能の向上について検証を行う。このシステムでは、既存のレーダシステムに対して受信局を追加することにより、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。

光ファイバ接続型パッシブレダや地上デジタル放送波等の複数の無線周波数を使ったパッシブレダを検

討することによって、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。

所外発表

- (1) J. Honda and T. Otsuyama, "Experimental Study of Aircraft Positioning by DTTB Signal Delay," Proc. Int. Sym. on Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications (ESAVS), 5-1, Berlin, Germany, April 2016.
- (2) J. Honda and T. Otsuyama, "Status Update on MSPSR Development," ICAO SP-ASWG/3, SP-ASWG3-WP/14, London, the United Kingdom, April 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (3) J. Honda and T. Otsuyama, "Status Update on MSPSR Development," ICAO SP-ASWG TSG, ASWG TSG WP03-18, Paris, France, June/July 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (4) 大津山卓哉, 本田純一, "光ファイバ接続型パッシブレーダによる航空機検出," 信学技報, vol.116, no.143, SANE2016-23, pp.11-13, July 2016.
- (5) T. Otsuyama and J. Honda, "Study of Passive Aircraft Surveillance Radar using DTTB Signal Delay," Proc. the 2016 Int'l Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), pp.869-871, Cairns, Australia, Sep. 2016.
- (6) J. Honda and T. Otsuyama, "Preliminary Experimental Result of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar," Proc. Int'l Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), POS2-71, Okinawa, Japan, Oct. 2016.
- (7) J. Honda and T. Otsuyama, "Status Update on MSPSR Development," ICAO SP-ASWG/4, SP2-ASWG4-WP/18, Montreal, Canada, Oct. 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (8) T. Otsuyama and J. Honda, "A Study of Aircraft Detection by Passive Radar System," 信学技報, vol.116, no.319, SANE2016-55, pp.21-24, Nov. 2016.
- (9) J. Honda and T. Otsuyama, "Feasibility Study on Aircraft Positioning by ISDB-T Signal Delay," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, Vol.15, pp.1787-1790, DOI 10.1109/LAWP, 2016.
- (10) 本田純一, 大津山卓哉, "地上デジタル放送波を応用した航空機監視システム," 映情学技報, vol.41, no.1, BCT2017-21, pp.81-84, Jan. 2017.
- (11) J. Honda and T. Otsuyama, "Coverage Area of Passive Bistatic Radar Using DTTB Signal Delays," Proc. 2017 IEEE Int'l Conf. on Computational Electromagnetics (ICCEM), pp.362-364, Kumamoto, Japan, March 2017.
- (12) J. Honda and T. Otsuyama, "Introduction of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar," ICAO SP-ASWG/5, SP-ASWG5-WP/30, Tokyo, Japan, March 2017. (Presented by T. Otsuyama)

空港面異物監視システムの研究【重点研究】

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
研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

1. はじめに

2000 年の仏国シャルルドゴール空港で発生した、直前に離陸した航空機から脱落した金属片を原因とするコンコルドの事故以来、滑走路等上の異物（FOD）は非常に重要な空港安全の課題の一つとして認識が高まっている。また、バードストライクなどの突発的な事象は、異物の除去や滑走路の安全確認までに多大な手間と点検時間を発生させることになる。こうした事態は、航空機の離着陸を制限することから、空港の処理能力や運用効率を低下させる重大な要因となっている。このような背景の下、異物等空港面の状態を監視するシステムへの要望が高くなってきている。これらのシステムは滑走路の安全性と利用率に関わる重要な設備であるため、公的機関による評価への要望が高い。

当研究では、運用者のニーズを踏まえ、単に異物の有無による警報を発出するだけでなく、その外形や特徴が認識可能な空港面異物監視システムに関する研究を行う。複数のミリ波レーダーから構成されるレーダーネットワークと ITV カメラネットワークを用いたハイブリッドセンサーネットワークの開発とともに、異物検出だけでなく、センサー情報からより確度の高い警報を生成するための技術について研究を行い、総合的に実験システムを用いて、空港での実証試験を行うことで、将来の整備に必要となる技術要件を抽出することを目的とする。また、EUROCAE 等による国際技術基準策定に係る専門会合への参加を通じて、空港面異物監視システムに係るシステム仕様、運用方針等の策定に貢献する。

2. 研究の概要

本研究は 3 年計画であり、当該研究期間の主たる実施事項は以下のとおりである。

- 平成 26 年度 ハイブリッド型 FOD センサーの構築
- 平成 27 年度 状態変化・異物探知機能の評価
- 平成 28 年度 FOD 特徴抽出アルゴリズムの構築

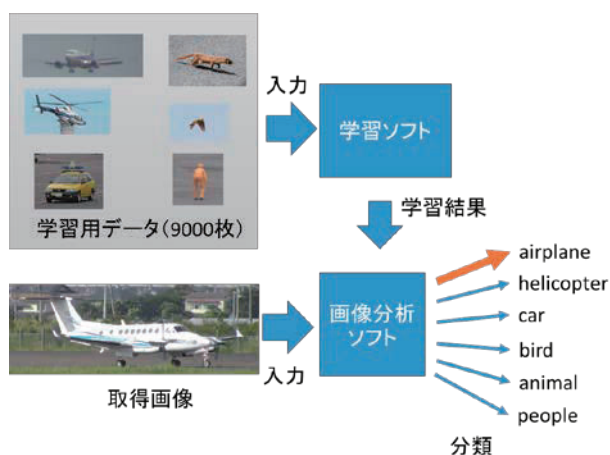
尚、平成 28 年度は、最終年度であり、特に下記の事項について実施した。

1. FOD 特徴抽出アルゴリズムの構築
2. FOD 監視システムのフィールドテストと評価

3. 研究成果

3.1 FOD 特徴抽出アルゴリズムの構築

国際規格においては、航空機や車両等の通常運用時に制限区域に進入する移動体で警報を発出しないことが要求されていることから、誤警報抑制のための深層学習を用いた画像分析アルゴリズムを開発した。仙台空港に長期設置されたカメラで空港内に存在する様々な航空機、車両の画像を取得し、その約 9000 サンプルを用いて画像の学習を行った。その学習結果を用いて、新規の画像 200 枚を分析したところ、航空機 100%、車両 98%の識別率を達成した。昼間に取得された画像であれば、航空機、車両を識別し、センサーがそれらに反応した誤警報を除去できる性能を示した。



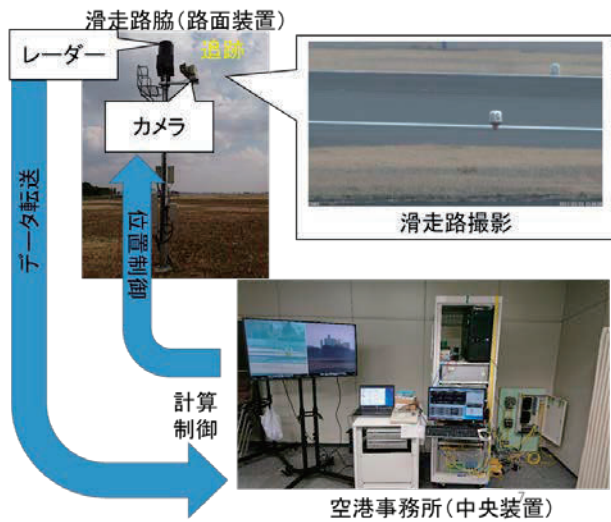
画像分析アルゴリズムの概要

3.2 FOD 監視システムのフィールドテストと評価

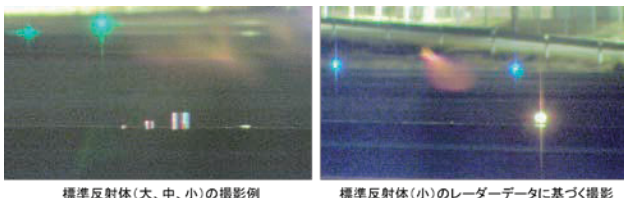
成田空港に設置した光ファイバー接続型ミリ波レーダーに対して高感度 ITV カメラを併設した。また、レーダーデータの履歴をもとに新たに検出された物体を判定し、検出された位置座標をもとに自動的にカメラで追跡、撮影する機能を構築した。異物サンプルを用いてレーダーにて検出性能を評価したところ、約 450m の位置で 1 インチ大の金属片が 10dB と十分な信号対雑音比で検出できることが確認された。自動撮影機能についてはレーダーで異物と判定された位置に対して 1 秒未満でピンポイントに撮影できることが確認された。撮像性能としては、夜間の光がない部分に配置された 1 インチ大の金属片が 300m で撮影できる

ことが示された。

高感度カメラ自身の夜間における静止状態での撮像能力は400m離れたM4ボルト($\phi=8\text{mm}$)を明瞭に識別できる能力がある。接続動作により、設置された金属電柱上に配置されたカメラが高速に移動することで、わずかな振動が発生する。このとき、遠景では問題のないレベルの画像の揺れが、ズームして近接画像を取得する場合には画角に対して無視できない振動となる。よって、画素積分処理が高くなるが、撮像性能が十分に発揮できないことが分かった。今後はこれらの調整を行い、検出能力のさらなる向上を目指す。



成田空港に設置した滑走路異物検知システム外観



深夜の成田空港における接続試験の物体検出・撮影結果

4. まとめ

仙台空港にてセンサー単体の検知性能の基礎試験、成田空港にてハイブリッドセンサーシステムの総合性能を評価した。研究開始当初に目標設定したシステム性能（滑走路から離れた場周道路付近にセンサーを配置し、異物発生から10秒程度に検出、カメラで撮像）は達成できた。

金属物体に対しては十分な検知性能を有するが、鳥の死骸など非金属物体や、単純形状物体に対して検知率が低下する事象が確認された。また、カメラについては夜間の撮像能力の改善が必要なことも確認された。今後はこれらの性能が発揮できない環境下における検知率向上の検討を行

っていく。

本研究はミリ波レーダー技術及び、画像処理技術を基盤とする研究であり、競争的資金研究と連携し、また、研究機関、国内外の大学、およびメーカーとの共同研究として実施している。

掲載文献

- (1) Kien T. Pham, B. D. Nguyen, Van-Su Tran, Lan-Phuong P. Linh Mai, Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, "Electrically Tunable Reflectarray Element Based on Aperture - Coupled C - Patch", Proc. of EuCAP2014, WED 1.7, Hague, Netherlands, April, 2014.
- (2) B. D. Nguyen, K. T. Pham, V. S. Tran, L. Mai, N. Yonemoto, A. Kohmura, S. Futatsumori, "Electronically tunable reflectarray element based on C-patch coupled to delay line", Electronic Letters, 31st July, 2014, Vol. 50, No. 16, pp. 1114-1116.
- (3) Naruto Yonemoto, "Technical Tour in Sendai Airport", Opening address of MWP/APMP2014 Technical tour, Oct. 2014.
- (4) Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Makoto Shioji, Naruto Yonemoto, "Fundamental applicability evaluation of carbon fiber reinforced plastic materials utilized in millimeter-wave antennas", 2014 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), Nov. 2014.
- (5) B. D. Nguyen, K. T. Pham, V. S. Tran, L. Mai, N. Yonemoto, "Reflectarray Element Using Cut-Ring Patch Coupled to Delay Line", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Issue 99, Nov 20, 2014.
- (6) Akiko Kohmura, Katsumi Fujii, Shunichi Futatsumori, and Naruto Yonemoto, "New Connecting Structure for Waveguides with Special Connectors", IEICE Electronics Express, Vol. 12 (2015) No. 17 pp. 20150559, 2015.
- (7) ニッ森俊一, 柴垣信彦, 森岡和行, 河村暁子, 岡田国雄, 米本成人, 「滑走路異物探知用ミリ波レーダシステムの実証実験」, 平成28年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.61-64, 2016年6月
- (8) 米本成人, 「光ファイバー無線を活用したレーダー、通信システムの研究開発」, 平成28年度第2回エイトラムダフォーラム, 2016年7月
- (9) ニッ森俊一, 森岡和行, 河村暁子, 岡田国雄, 宮崎則彦, 坂本信弘, 米本成人, 「空港環境における光ファイバ接続型96 GHz帯広帯域FMCWミリ波レーダの距

- 離分解能特性評価」, 信学技報, vol. 116, no. 156, MWP2016-28, pp. 111-115, 2016年7月
- (10) Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Kunio Okada, Naruto Yonemoto, "Detection Characteristic Evaluations Of Optically-Connected Wideband 96 GHz Millimeter-Wave Radar For Airport Surface Foreign Object Debris Detection," 41th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz2016), H5P.17.05, Copenhagen, Denmark, 25-30 September 2016
- (11) Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Kunio Okada, Naruto Yonemoto, "Design and Field Feasibility Evaluation of Distributed-Type 96 GHz FMCW Millimeter-Wave Radar Based on Radio-over-Fiber and Optical Frequency Multiplier," IEEE Journal of Lightwave Technology, pp.4835-4843, Volume: 34, Issue: 20, Oct.15, 2016
- (12) Akiko Kohmura, Naruto Yonemoto, Shunichi Futatsumori and Kazuyuki Morioka, "Prototype Measurement of Active Reflectarray Antenna using a Diode Grid in the W-band," 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 20435, Okinawa, Japan, 24-28 Oct. 2016
- (13) Shunichi Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, K. Okada, N. Miyazaki, N. Sakamoto, N. Yonemoto, "Range Resolution Evaluation of Optically-Connected 96 GHz Wideband Frequency-Modulated Continuous Wave Millimeter-Wave Radar at Airport Runway," 2016 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), TuM1.6, Long Beach, CA, USA, 31 Oct.-3 Nov. 2016
- (14) Shunichi Futatsumori, "Foreign Object Debris Detection Radio-over-Fiber Radar for Runway Safety," -Workshop on Convergence of Radio and Optical Technologies for Transportation Infrastructure and other Broadband Applications-, 2016 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), Nov. 2016
- (15) ニッ森俊一, 「滑走路異物監視システムの研究開発」, 平成28年度電子航法研究所講演会, 2016年11月
- (16) 米本成人, 「ファイバー無線を用いたミリ波レーダーシステム」, 第5回集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会研究会(IPDA), 2016年11月
- (17) 米本成人, 「光ファイバー無線(RoF)を活用した90GHz帯レーダー, 通信システムの研究開発」, 応用物理学会関西支部セミナー, 2017年1月
- (18) ニッ森俊一, 「ミリ波レーダーを用いた滑走路異物監視システムの研究開発」, 航空振興財団航法小委員会, 2017年2月

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【重点研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○呂 暁東, 古賀 禎, 住谷 泰人

研究期間 平成 28 年度～平成 32 年度

1. はじめに

近年、国際民間航空機関 (ICAO) では、SWIM (System Wide Information Management) という次世代の情報共有基盤の概念を提案、推進している。SWIMの導入により、運航に係る多種多様な情報を、様々なユーザで提供・利用・管理が可能となる。

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

2. 研究概要

本研究では、運用面や技術面での課題を明らかにした上で、異なるSWIMシステム間でシームレスな情報交換と異種サービス連携を実現する技術を提案する。さらに、SWIMの情報共有テストベッドを構築し、提案技術を評価する。これにより、将来の航空交通管理の運用における情報共有と協調的意思決定を支援する技術の開発を目指す。本年度は5カ年計画の1年目であり、主に以下の研究開発を行った。

- ・ SWIMに基づいた将来の運用環境を構築するため、国際実証実験の実施
- ・ SWIMにおいて異種データ融合のため、監視情報ドメインの構築とデータ変換モデルの提案

3. 研究成果

3.1 国際実証実験

平成 28 年度は、2つの国際実証実験 Mini Global Demonstration II (MGD-II) と International Interoperability Harmonization & Validation (IIH&V) に参加した。両者とも、米国連邦航空局 (FAA) を中心として進められている SWIM に関する国際実証実験である。

(1) MGD-IIへの参加

MGD-II実証実験は平成28年4月に行われた。本実験では、米国フロリダにあるFAAの試験施設と参加各国の実

験システムの接続実験により、世界規模の広域メッセージ交換サービス (GEMS:Global Enterprise Messaging Service) の実証を行った。当所は、日本電気株式会社との共同開発によりGEMS機能を有するシステムを開発した。日米欧企業による4社が開発したGEMSシステムを接続することにより、世界規模のサービス構築が実現した。これにより、世界・地域・国家レベルでの異なったガバナンスによる情報交換を実現する際に、異なる情報管理を実施できる多段的な環境が提供できた。また、現状よりも情報セキュリティを向上すると同時に、様々なユーザ間で効率的に情報共有できることを実証した。

当所は、シンガポール～日本、日本～米国を飛行する航空機について、飛行計画情報や軌道情報などを含む一連の運航情報を許可ユーザ間で配信する実験などを担当した。

MGD-IIにより、複数のGEMSシステムを介した場合でも、ユーザ間で効率的に情報共有できることが実証された。これらの成果は、今後、飛行軌道の予測性の向上など航空運航サービスの発展に寄与することが期待できる。

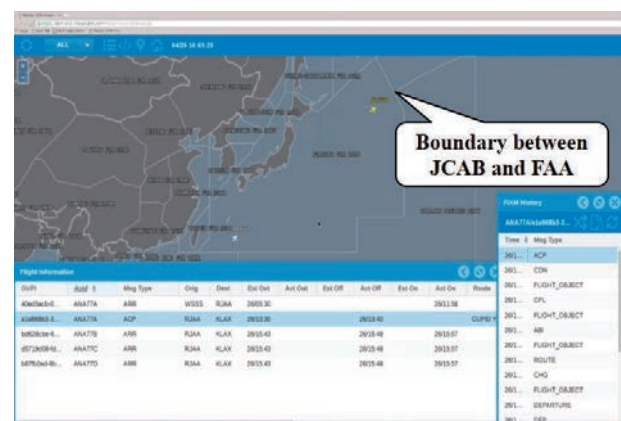


図1 飛行情報交換モデル (FIXM) により
国際Boundary Coordination

(2) FF-ICE/1への参加

IIH&Vは平成28年11月から平成30年3月に実施される予定である。

現在ICAOでは、将来の運用環境の段階的な構築を目指



図2 異種データの融合

して、離陸前のフライト情報を利用して運航効率の向上をする計画（FF-ICE/1: Flight and Flow - Information for a Collaborative Environment / Step 1）の検討が進められている。FF-ICE/1は、2020年から適用可能な国からの導入を目指しており、これに伴い関連するICAO規定の改訂が予定されている。

一方、改訂により、隣接FIR（Flight Information Region）間での管制機関間での連携、航空会社のFF-ICE/1導入による影響、並びにFF-ICE/1適応機関と非適応機関の混在によるシステムの混乱などが懸念されており、事前検証が求められている。当所では、MGD-IIなどの国際実証実験で得られた技術知見などを踏まえて、国際間の連携した作業によりFF-ICE/1運用方式の導入に向けた検証実験に参画している。

3.2 監視情報ドメインの構築とデータ変換モデルの提案

SWIMの発展により、多種多様なデータを大量に利用することや、様々なユーザに、より高度なサービスの提供が可能となる。例えば、従来の航空機の位置情報に加え、飛行経路、運用方式などを航空機毎の特性、気象データなどを利用することで、高精度な追尾や軌道予測が可能となる。

一方、多種多様な大量のデータをリアルタイムに処理するためには、データ処理またはデータ間連携に適した統一した形態（モデル）に変換する必要がある。

本研究では、各種データを受信しながら、位置・方向・状態・範囲・影響の情報を抽出し、これらの情報に基づいた統一データ変換モデルを提案した。これにより、大量データの分散処理、リアルタイム分析、異種データの連携が容易に実施できる。平成28年度は、飛行情報と監

視情報を融合し、監視精度の向上や監視履歴データと気象予測データによる軌道ベース運航（4DT: 4 Dimension Trajectory）飛行計画の作成などの研究開発を行った。

4. まとめ

平成29年度は、引き続きFAAと連携して、FF-ICE/1の検証実験を実施し、平成30年（2018年）3月に最終報告書をICAOに提出する予定である。また、アジア太平洋地域においてICAO SWIM Task Forceにより、今までの研究成果を生かして、該地域に適用できるSWIMテストシステムの構築も計画している。

掲載文献

- (1) X.D. Lu, “Technical Overview and Lessons Learned of JCAB,” Mini Global Demonstration II, NexGen Test Bed, USA, April 2016.
- (2) X.D. Lu, “The Research and Development of SWIM in ENRI,” ICAO SWIM Workshop, Bangkok, Thailand, May 2016.
- (3) 呂 曉東, 古賀 禎, 住谷 泰人, 塩見 格一, “SWIM 実証実験の報告と分析,” 電子航法研究所研究発表会, 2016年6月。
- (4) 呂 曉東, “ミニグローバルデモンストレーション 2 への参加報告,” CARATS第23回情報管理検討WG, 2016年6月。
- (5) X.D. Lu and T. Koga, “System Wide Information Management for Heterogeneous Information Sharing and Interoperability,” IEEE Proc. of ISADS, Bangkok, Thailand, Mar. 2017.

空地通信技術の高度化に関する研究【重点研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○住谷泰人, 米本成人, 森岡和行, 河村暁子, 呂曉東, 金田直樹, 長縄潤一, ニッ森俊一

研究期間 平成28年度～平成31年度(4カ年)

1. はじめに

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

今後、これらのニーズや進捗する策定作業に対応するため、AeroMACS技術の適用範囲拡大の可能性を検討する必要がある。また、AeroMACSに代表される次世代空地通信システムの利用技術を開発し、監視や航法など他のシステムから得た情報を共有できる航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築した上で、航空機や車両等と接続実験し、性能評価する必要がある。

2. 研究の概要

本研究では、既存のAeroMACSプロトタイプを活用して、航空機、車両、地上間で接続可能な航空用高速通信ネットワークのプロトタイプを構築する。また、AeroMACSの利用技術の開発やAeroMACS技術の適用範囲拡大の可能性を性能評価する。本年度は4ヵ年計画の1年目であり、以下のことを行った。

- ・ AeroMACS利用技術の調査、開発
- ・ 空地通信技術の適用範囲拡大基礎検討、調査
- ・ AeroMACS等航空通信システムの規格策定活動

3. 研究成果

3.1 AeroMACS利用技術の調査、開発

AeroMACS利用技術について調査を進め、利用技術の一つである空港内地図の表示ツールについて、実験室内

でAeroMACSプロトタイプを用いた通信実験を行い、利用可能性に関する基礎的な知見を得た。また、実際の大規模空港環境下におけるプロトタイプの性能確認と共に、利用技術を調査、開発するため、平成27年度までの研究で開発したプロトタイプや仙台空港でのプロトタイプ性能評価のノウハウに基づき、通信事業者と共同で基礎性能評価試験を行った。図1に、プロトタイプ基地局及びアンテナとアンテナ配置を示す。図1上図の基地局とアンテナは羽田空港に複数設置したAeroMACS基地局とアンテナの一つである。図1下図は国内線、国際線ターミナル周辺に計3局の基地局 (BS1,BS2,BS3) の配置である。基地局配置によるブラインドエリアの解消や、複数種類の通信のサービスと優先制御等に関する各種試験を行った。

3.2 空地通信技術の適用範囲拡大基礎検討、調査

平成27年度末に仙台空港近傍の岩沼分室にAeroMACS基地局とアンテナを設置の上、実験用航空機に

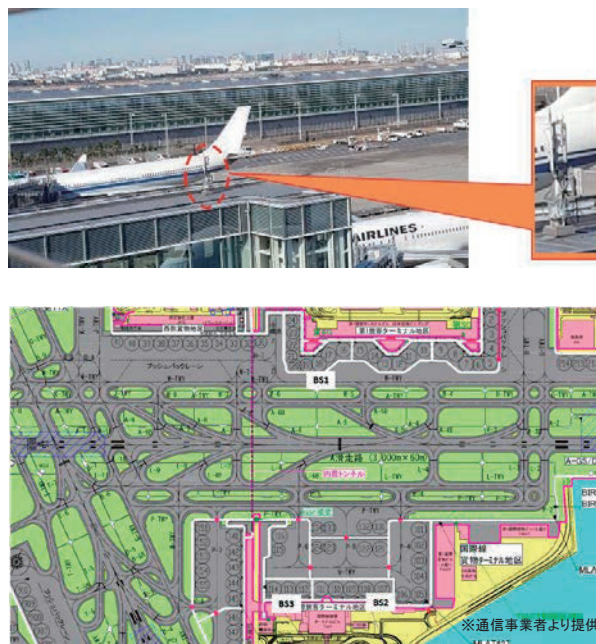


図1 羽田空港地上実験におけるAeroMACS基地局とアンテナ (上) 及び基地局配置 (下)

AeroMACS端末を搭載し、仙台空港周辺を飛行実験している。この実験で取得した情報を追加解析することで、空地通信技術の適用範囲拡大について基礎検討した。

実験用航空機にはAeroMACSの電波を送受信できる専用アンテナ(C-band Antenna)が機体上部の前方と後方、機体下部の前方と後方に計4基装備されている。AeroMACSはMIMOアンテナ(複数アンテナ)を利用するシステムであり、航空機に装備された複数のアンテナを組み合わせることで通信できる。

追加解析に基づき、下部の2基(前方と後方)のアンテナを組み合わせると、前方の2基(機体上部と下部)のアンテナを組み合わせるとの比較を行い、前方の2基のアンテナを利用する方が、下部の2基のアンテナを利用するより、全体的に伝送速度が大きい結果が得られた。また、航空機アンテナと基地局の間が見通し内伝搬の位置関係である場合には、数Mbpsの高速な伝送が可能となる結果が得られた。以上により、航空機に搭載しても、高速通信が可能で上空への適用範囲拡大が期待できることがわかった。

3.3 AeroMACS等航空通信システムの規格策定活動

AeroMACSの航空通信システム規格として、AeroMACSに関連するインターネットプロトコルに係る航空用技術基準(RTCA)の策定キックオフ会議に参画した。また、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DCIWG(データリンク通信インフラ作業部会)では、AeroMACSの国際標準規格である技術マニュアルのパネル会議での承認、陸域や洋上向けの他の次世代航空通信システムの今後の作業整理及び専門作業部会の発足等、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の討議が行われ、日本のパネルメンバーのアドバイザーとして参画した。

4. おわりに

平成28年度は、AeroMACS利用技術の調査、開発として、AeroMACSプロトタイプを活用し、実験室内での空港内地図の表示ツールの基礎実験を行うと共に、通信事業者と共同で羽田空港における実環境下での基礎性能評価試験を行った。試験結果は、通信事業者により取りまとめられ、平成29年度の国際学会等で公表される。また、平成27年度末のAeroMACS端末を搭載した実験用航空機と地上の基地局との通信結果を追加解析し、適用範囲拡大について基礎検討した結果、実験用航空機のアンテナ位置に基づく特性や、上空での適用範囲拡大の可能性が

あることが明らかになった。

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, April 2016.
- (2) Y.Sumiya, “Status of ENRI’s Communication R&D Program for RTCA SC223”, RTCA SC223, Washington DC, USA, April 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, 2016年6月.
- (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, 2016年9月.
- (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, 2016年9月.
- (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, 2016年10月
- (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, 2016年11月及び12月
- (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, 2017年1月.
- (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, 2017年2月
- (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, 2017年3月.
- (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.

監視システムの信号環境と将来予測に関する研究 【指定研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○大津山卓哉, 本田純一

研究期間 平成 26 年度～平成 29 年度

1. はじめに

現在の航空機監視システムは、周波数帯域を共有するためにランダムアクセス方式のパルス通信を使っている。ランダムアクセス方式のシステム性能は帯域内信号量に依存している。そのため監視性能を正確に見積もるためには、帯域内の信号量を正しく評価することが重要となる。一方、現在の信号量や運用環境から将来の信号環境を予測することによって新規に導入される監視システムの性能も推定可能となる。これらの信号量測定・信号量推定については ICAO 監視パネル等でも注目されている。

本研究では航空機監視システムに使用される帯域の地上および上空での信号量を測定し、その評価を行う。これによって交通量の変化による信号量変化が得られ、また、新たに導入された監視システムの信号環境の観点からの性能評価が可能となる。

2. 研究の概要

本研究は 4 カ年計画であり、3 年目である平成 28 年度は昨年に引き続き次のことを行った。

- ① 監視システム動向調査
- ② 実験による信号環境取得・評価
- ③ 信号環境測定装置 評価・検証

3. 研究成果

平成 28 年度はこれまでに ICAO の監視パネル等に提出された、1030/1090MHz 信号環境関係の文献を調査するとともに、これまでに電子研で行ってきた実験データ等の整理を行った。これらの調査と既存の信号環境測定装置等の調整・改良や新たな手法の検討を行い、実験結果に基づく信号環境の現状を ICAO 監視パネルに報告した。

3.1. 監視システム動向調査

昨年度までに引き続き、ICAO 監視パネル等に提出された信号環境、トランスポンダ関係の文献調査を行うとともに、RTCA と EUROCAE の合同監視委員会(Combined Surveillance Committee)や機上監視 MOPS の作成を行っている SC186WG4 に出席し、信号環境に大きな影響を与え

る将来の運航方式やトランスポンダについて調査を行った。RTCA の 2 つの委員会ではともに 2020 年に新しい MOPS を出版することを目標にしており、どちらも監視信号環境の効率的な使い方について盛んに議論がされている。

3.2. 実験による信号環境取得・評価

信号量を推定するための手段として、(1) 対象とする帯域内に含まれる信号の種類とそれぞれの信号毎の発生数を求める方法、(2) 発生した信号の種類とは無関係にある単位時間内に任意の信号強度レベルを超える占有時間を求める方法の 2 通りが考えられる。どちらにもそれぞれ長所、短所があり、希望する測定対象によって必要な手法をとる必要がある。実験用航空機に搭載した信号環境記録装置はどちらの解析も可能であるため、これまでの飛行実験に引き続き、国内のほぼすべての空域を飛行するルートを検討し、多くのデータを取得した。これらの飛行経路は毎年、同じシーズンに同じ経路を飛行できるように調整をしているため、信号環境の変化が把握できる。今年度の飛行実験で得られた国内空域における監視信号帯域占有率を図 1 に示す。

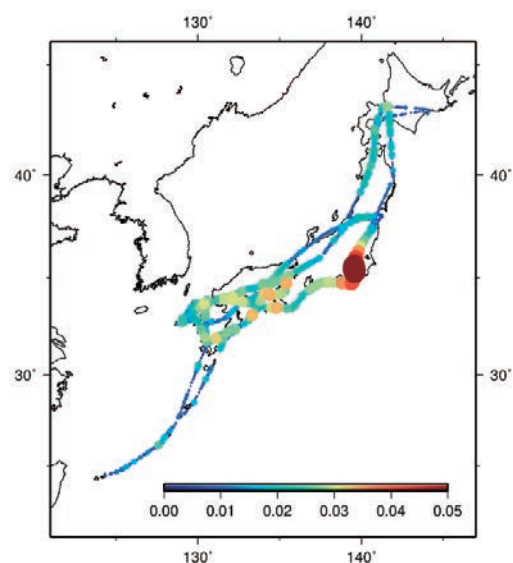


図 1: 平成 28 年度の飛行実験によって得られた全国の監視信号帯域占有率

今年度は飛行実験に加えて、測定車に信号環境記録装置を搭載し、地上での信号環境記録も行った。現在、飛行経路上の信号環境は飛行実験のみでしか把握することができないが、地上での信号環境変化と上空での信号環境変化を比較することによって、地上での信号環境計測結果から上空の環境を推測することが可能と考えられる。そのため複数地点での信号記録を行い、信号環境の関係式導出に着手した。

3.3. 信号環境測定装置 評価・検証

信号環境は直接的に測定されるのではなく、一度帯域内の全てを記録し、その記録信号を再生する方法を用いている。また、取得したデータは、計算処理による統計解析や既存受信機をつかった統計処理のほかに、機上トランスポンダや地上受信機と同等の動作をする受信機によって環境測定できる。今年度はこれらに加えて、仙台空港に設置した OCTPASS(光ファイバ接続型受動監視システム)の出力を使用して空港面における信号環境を把握するための手法を開発した。OCTPASS は、空港内に設置した複数の受信局で得られる全ての信号を中央処理装置に集め、その後信号処理を行うことによってマルチパス等の信号干渉に強い MLAT(マルチラテレーション)システムとなっている。全ての信号が中央処理装置に集まっているため、どのセンサーがどのような受信状態であったか把握する事が可能である。これにより、空港全体として受信される信号量を把握し、また各受信局データを比較することによって、空港面のマルチパス等の信号歪の発生状況を把握できるようになった。図2及び図3にこれらの信号処理結果を示す。今後はマルチパス等の干渉が発生したと考えられる波形をそれぞれ区分して判別することにより、実際の信号環境をより詳細に解析できるようにする。

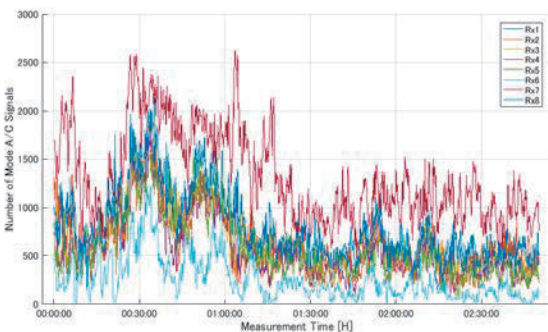


図2: 仙台空港内の8カ所の受信局で得られた信号量の時間変化 (10秒平均値)

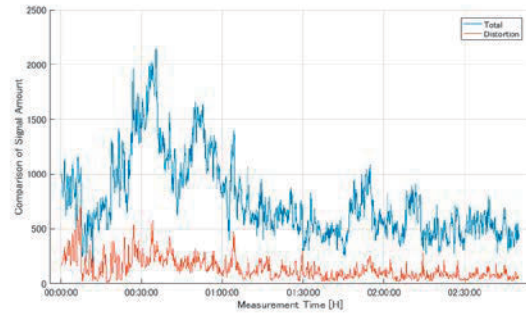


図3: ターミナルビルに近い受信局1における総信号量に対する信号歪数の推移 (10秒平均値)

4. まとめ

本年度は信号環境測定装置の開発および実際に計測した結果を過去の測定データと比較して、信号測定手法の有効性を確認した。現在おこなっている測定手法は、信号占有量と信号毎の発生数との間の関係を求め検証する必要があるものの、得られた結果は地上のレーダサイト数や付近の航空機数から推測される結果と比較して妥当であると考えられる。測定結果の精度を上げるために、今後推定方法や計測方法についてより詳細な検討が必要である。

所外発表

- (1) T. Otsuyama and J. Honda, "Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment," ICAO SP-ASWG TSG, ASWG TSG WP03-33, Paris, France, June 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (2) 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉, "空港面の1090MHz信号量の測定結果," 2016ソ大講演論文集, B-2-22, p.183, Sep. 2016.
- (3) T. Otsuyama and J. Honda, "Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment," ICAO SP-ASWG/4, SP2-ASWG4-WP/20, Montreal, Canada, Oct. 2016. (Presented by T. Otsuyama)
- (4) 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉, "空港面の1090MHz信号量及び信号占有率について," 2017総大講演論文集, B-2-31, p.206, March 2017.

空港面と近傍空域のシームレスな全機監視方式の研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○角張 泰之, 古賀 禎, 宮崎 裕己, 松永 圭左, 本田 純一, 田嶋 裕久
 研究期間 平成 27 年度～平成 30 年度

1. はじめに

空港面における航空機監視情報の高精度化により、空港面交通の安全性及び運航効率の向上に資する空港面監視システムである「マルチラレーション(MLAT)」について、当研究所は、従前の MLAT の課題であった空港内エプロン近傍等におけるマルチパス信号干渉の改善と整備・維持管理コストの低廉化を図るべく「光ファイバ接続型受動監視システム(OCTPASS)」の提案・開発を行ってきた。平成 25 年度から 3 年間で実施した実用化評価研究においては、実験システムを仙台空港に設置し、運用者による信頼性評価も行い、空港周辺をも監視範囲とする MLAT として、その有用性を実証した。

OCTPASS の空港周辺監視機能では、空港用広域マルチラレーション(WAM)に相当する監視性能を提供できる。特に OCTPASS の場合、受信局の設置箇所は空港内を基本とすることから、設置に係る制約等を受けにくく、整備・維持の低コスト化が期待出来る。

一方、空港周辺を飛行する航空機には、未だモード S トランスポンダを装備していないもの(以下、「モード A/C 機」と称する)も存在するため、空港用監視システムとしてはモード A/C 機への対応が不可欠である。OCTPASS は、光ファイバ無線技術(RoF: Radio over Fiber)を応用しているので信号干渉に強く、また、受信信号のグループ化機能に優位性がある。このため、空港用 WAM で特に課題とされている、モード A ファミリービーコンコード(FBC)の送信元識別を比較的正確に実現可能であると考えられる。本研究ではこれを実現するモード A/C 機対応マルチラレーションの開発・評価を中心に、空港面から近傍空域までを一

元的にカバーする監視システムの実現を図る。

本研究では、前述の先行研究において開発・整備した実験システムを活用することとした。

2. シームレスな全機監視

マルチラレーションは、通常、航空機のモード S トランスポンダから送信される電波(モード S スキッタ信号やモード S 応答信号)を利用して測位を行う受動監視システムである。即ち、原理上は、航空機への質問送信を必要としない。しかしながら、実運用を視野に入れた場合、周辺を飛行する航空機のビーコンコード情報や気圧高度情報の取得を行う能動的な質問信号の送出が不可欠であり、システムの構成要素として送信処理部が必要である。

マルチラレーションの高度化として開発を進めてきた OCTPASS もまた、送信処理部を備え、航空機のトランスポンダに向けた質問送信が可能である。装置の構成を図 1 に示す。OCTPASS 送信処理部は、機器室内に設置する「変調部」と空港内の送信サイトに設置する「送信ステーション」から構成され、両者の間は RoF を使用しており、複雑な処理は全て機器室側の変調部で行っている。これにより、マルチラレーション測位に必須である時刻測定を行う「信号処理部」と、送信電波を生成する「変調部」とが、クロックを共有することが出来る。OCTPASS の場合、送信局の設置位置と受信局の設置位置が異なるが、上記のクロックの共有により、質問信号の送信から応答信号の受信までの時間を極めて正確に計測することが可能である。このようなレンジング(測距)を行うと、送信局・受信局と航空機との間に楕円を作図でき、これらを複数描くことにより、

交点部分に航空機位置を算出することができる(図 2)。レンジングによる楕円測位を行うと、複数の受信局に囲まれた内側に限らず、その外側においても航空機位置の算出が安定的に可能となる。先行研究で整備した OCTPASS 実験システムにおいては、モード S トランスポンダを搭載した航空機に対するレンジングにより、空港周辺を対象とした航空機監視性能が確認されており、この技術を利用することで、空港か

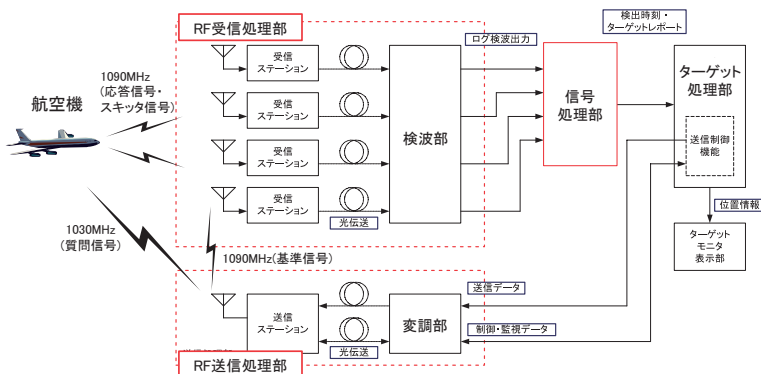


図 1 OCTPASS 装置の構成概要

らその周辺までをシームレスに監視することが可能である。モード A/C トランスポンダは、質問信号による誘発によつてのみ応答信号を送出する。モード A/C 機の監視においても、同様の方式により、空港周辺を対象とした監視が可能となる。

3. 研究の概要

本研究では、OCTPASS 装置のモード A/C 信号対応化を実施し、その性能を評価する。具体的には、受信側の信号処理部におけるモード A/C 応答信号の処理機能の追加、送信側の変調部における SSR 質問信号の生成機能の追加を行う。その上で、仙台空港周辺におけるモード A/C 機監視の実証を行う。併せて、レンジングによる楕円測位に適した SSR 質問信号の送信方法について、検討を実施する。

4. 研究成果

受信側の処理として、信号処理部におけるモード A/C 応答の処理では、実際に仙台空港周辺で送信されている信号

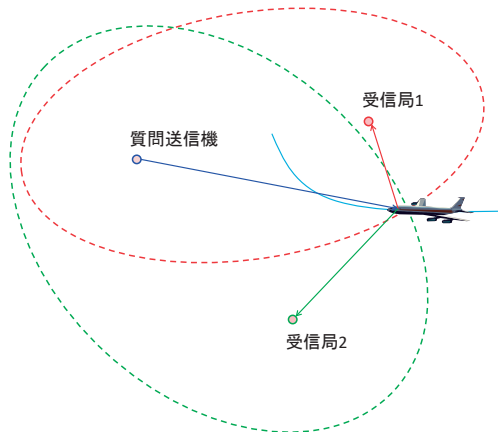


図2 送信局と受信局の位置が異なる場合のレンジング (測距)による楕円測位の原理

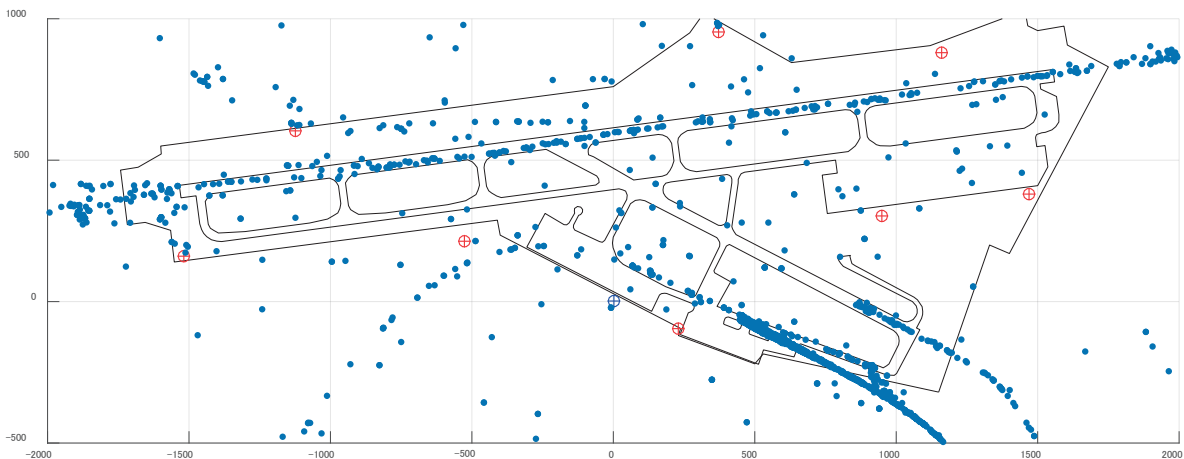


図3 ファミリービーコンコード(1200)の航空機ターゲットの検出例

を受信し検討を進めている。同一の FBC(1200)を応答する複数の航空機が混在する環境において、幾つかの航跡の識別が得られ(図 3), OCTPASS のもつ受信信号のグループ化機能の有効性を確認した。その一方、絶対的な信号数が多いことに起因して、位置のエラーが散見され、改善の方策を検討中である。

送信側に関連する処理としては、自身のモード A/C 質問に対する応答信号の対応付け方法を実装した。モード S と比較すると受信信号数が非常に多く正しい応答を判別することが容易ではないが、RoF を用いた送受系統の接続によるクロックの共有でこれを実現している。

5. 今後の見通し

装置に実装した機能を用いて実環境において楕円測位を行う実験・評価を進め、モード A/C 機を対象とした空港周辺における監視性能を確認する予定である。

掲載文献等

- (1) 角張: "航空機監視システムとその高度化事例", 計測と制御, vol.55, no.5, pp.400-404, 2016 年 5 月
- (2) 角張: "仙台空港での OCTPASS の試行運用状況について/OCTPASS によるモード A/C 検出の研究開発状況", CARATS ATM-WG 監視アドホック 1 会議, 2016 年 12 月
- (3) 角張: "到来電波測定による位置推定技術と RoF 応用", 応用物理学会関西支部セミナー, 2017 年 1 月
- (4) 角張: "航空機監視システムと Radio over Fiber を利用した高度化", 一般社団法人 KEC 関西電子工業振興センター 次世代ワイヤレス通信技術講座第 6 講, 2017 年 3 月

ADS-B 方式高度維持性能監視の研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域
担当者 ○松永 圭左, 宮崎 裕己
研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

1. はじめに

国際民間航空機関（ICAO）において、高度29,000から41,000フィートの空域にて、航空機の垂直方向の管制間隔を従来の2,000フィートから1,000フィートに短縮する短縮垂直間隔（RVSM; Reduced Vertical Separation Minimum）方式が制定されており、日本の管制空域では平成17年から運用が始まっている。RVSM運用の導入による効果として、空域容量の増加、消費燃料・飛行時間の節減、航空路交差点での高度変更クリアランスの減少等がある。

RVSM運用を導入した場合は、地域監視機関（RMA; Regional Monitoring Agency）が、担当する空域を飛行する航空機の高度維持性能の監視を含む継続的な安全性評価を行うこととなっている。日本においては、地域監視機関として国土交通省航空局（以下、航空局）が地上設置型高度監視装置（HMU; Height Monitoring Unit）を高松、仙台、新潟の3箇所に整備し、高度維持性能監視を実施している。

航空機の高度維持および航空管制は、気圧高度情報に基づいているため、航空機の高度維持性能監視では気圧高度計の誤差を測定する必要がある。誤差の測定には、別途計測された幾何高度を用いる。現在、航空局が整備しているHMUでは、航空機のレーダ応答装置からの信号を地上に複数配置された受信局で受信し、各受信局間の受信時刻差から幾何高度を計測している（マルチラレーション方式）。一方、航空機からのADS-B（Automatic Dependent Surveillance - Broadcast; 放送型自動位置情報伝送・監視機能）データに含まれるGNSS幾何高度情報を用いる高度監視（ADS-B方式）が、豪州等により開発・運用されている。ADS-B方式高度監視システム（HMS; Height Monitoring System）は、マルチラレーション方式に比べて広い空域を飛行する航空機のデータを収集でき、また整備・運用コストが低くなるが見込まれる。

上記の状況を踏まえ、当研究所において、平成26年度にADS-B方式HMSの誤差要因調査を実施した。本調査の結果、主要な誤差要因として、高度維持性能監視に必要な幾何高度の基準面（ジオイド高または楕円体高）の判

別の誤り、気象データ誤差、および高度情報の量子化誤差があることが判明した。特に幾何高度の基準面判別および気象データは地域的な特性があるため、我が国においてADS-Bを用いた高度監視を実施するには、日本においてADS-B方式高度監視システムを導入した場合の性能評価を行う必要がある。

上記の調査結果を踏まえて、本研究では、試験システムを整備し、誤差の評価および高度監視に必要なデータの誤差分布特性に応じた対応策の導出、RVSM非適合機を判定するツールの開発を行う。

2. 研究の概要

2. 1 ADS-B方式HMSの処理概要

航空機から周期的に放送されるADS-Bデータには、航空機の緯度・経度、気圧高度、およびGNSS幾何高度等が含まれている。

図1に、ASE算出処理説明図を示す。航空機の気圧高度は、ICAOの標準大気モデルを用いて、気圧値に変換される。この気圧値を幾何高度に変換するために気象データを用いる。変換された高度は、地球のジオイド面からの高度（ジオイド高; Geoid Height）である。これを、GNSSの座標系で使用されている回転楕円体からの高度（楕円体高; Ellipsoid Height）に変換するために、ジオイド高データを用いる。

上記の処理により得られた幾何高度値と、GNSS幾何高度値の差が、気圧高度計の誤差（ASE; Altimetry System



図 1. ASE 算出処理説明図

Error) として算出される。

高度維持性能監視では、ICAOの基準にもとづき、ASEが245フィートを超える航空機をRVSM非適合機として判定する。

なお、主要な誤差要因として、ADS-Bデータに含まれるGNSS幾何高度が、航空機の装置により、ジオイドからの高度(HAG; Height Above Geoid)と楕円体からの高度(HAE; Height Above Ellipsoid)の2種類があるため、これをHMSで判別する必要がある。

2. 2 ADS-B方式HMS試験システム

ADS-B方式HMSの性能評価を行うため、平成27年度から試験システムを整備している。当研究所の本所(調布)および岩沼分室(岩沼)、大阪航空局高松空港事務所の3箇所にADS-B受信システムを設置し、飛行している航空機からのADS-Bデータ収集ツールおよび誤差評価ツールを開発している。

3. 研究成果

平成28年度は、誤差評価ツールを開発した。図2に、任意の航空機における評価ツールの解析結果表示例を示す。本ツールでは、航空機の航跡、気圧高度、ASE、ジオイド高、気象データの幾何高度、パラメータの度数分布の内容が表示できる。また、試験システムで収集したADS-Bデータに加え、比較用に航空局から提供してもらって

る3箇所のHMUデータを処理できる。

図2の航空機に関して、(a)にADS-B方式のASE値およびHMUのTVE値を示す。HMU(MLAT方式)のTVE値(紺色)は、+1,000ft以上から-2,000ft以下まで大きく分散している。一方、ADS-B方式のASE値に関しては、ASE_HAE(赤色)が0~200ft、ASE_HAG(水色)が+50~-50ftの値になっており、HMUの値に比べて小さい範囲に収まっている。(b)は、ASE値とジオイド高の対応を示しており、ADS-Bデータに含まれるGNSS幾何高度情報がジオイド高か楕円体高かの判別用ツールである。当該航空機の場合は、ASE_HAGの値がジオイド高に因らず一定であるため、ASE_HAGが正しい値であると判別できる。

4. まとめ

平成29年度は、評価ツールを用い、多数の航空機に対して実データ解析による評価を行い、HMUとの性能比較を行うとともに、高度監視システムの性能要件を満たす条件および対応策の導出を行う。最終的には、RVSM非適合機を判定する高度維持性能監視ツールの作成を行う。

掲載文献

- (1) 松永、宮崎：“ADS-Bデータを用いた航空機高度維持性能監視の初期評価”，電子情報通信学会2016年ソサエティ大会，2016年9月

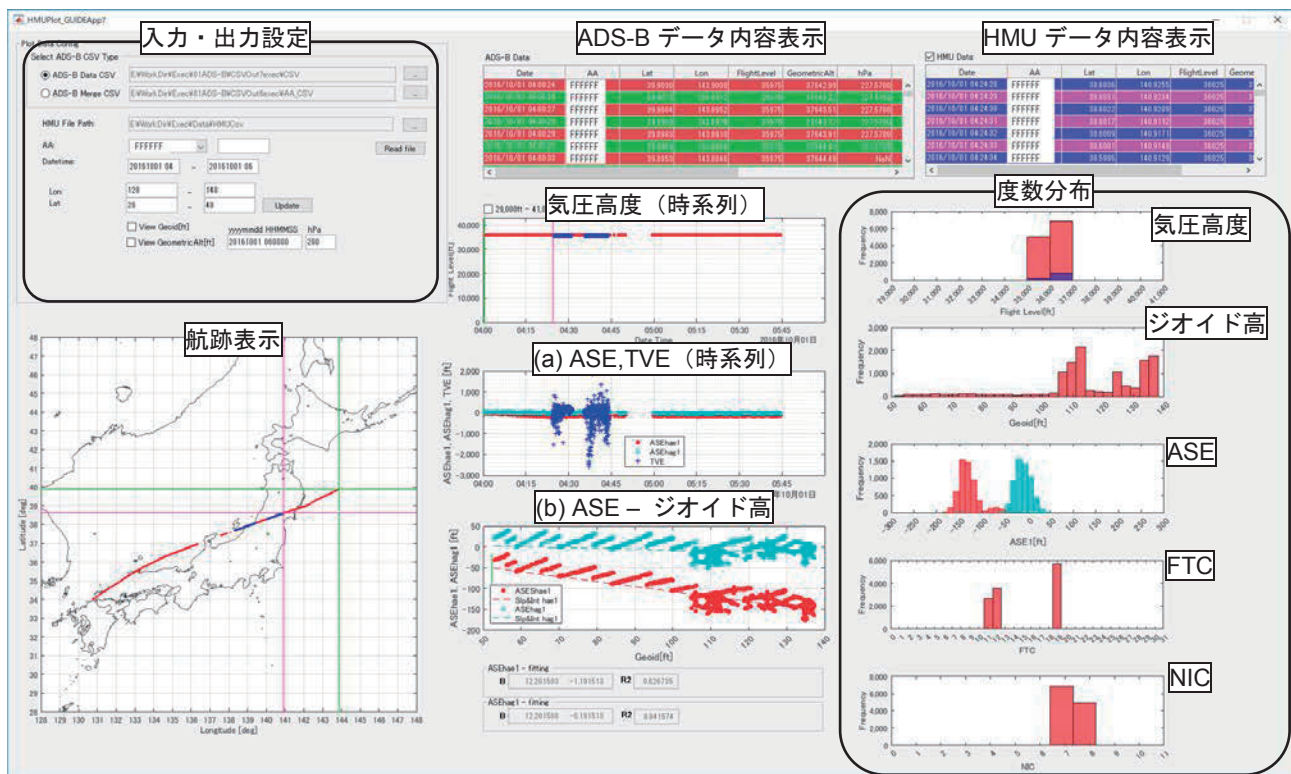


図2. 誤差評価ツール表示例

低高度における状況認識技術に関する研究【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25年度～平成28年度(4カ年)

1. はじめに

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、事故等が発生するリスクがある。これらの障害物等を事前察知し、周囲を監視するために操縦者を支援するシステムとして、様々なセンサを組み合わせたシステムの研究がこれまで行われている。さらに、送電線鉄塔等の障害物データベースと自機位置のGPS情報に基づき接近警報を発生するシステムも検討されている。これまでの関連研究課題では、ヘリコプタを運用している機関・企業等との共同研究を行っており、実用化への要望が多く寄せられている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、これまでの研究で得られたミリ波レーダ技術を中心とした監視システムに関する成果を活用し、運用者側のニーズに沿った性能および機能を有する周辺状況監視システムを検討することである。本研究は4カ年計画であり、平成25年度から平成28年度まで、次の3項目について並行して研究を進めた。

(1) 76 GHzミリ波レーダシステムについて、基礎研究で抽出した技術課題から探知性能向上の検討を行う。

(2) 現状の2次元走査以上の情報量が得られるようにアンテナビーム走査方式を改善する。

(3) 地上試験，無人ヘリコプタを用いた試験，ヘリコプタ実機試験等を行い，性能向上を施したミリ波レーダシステムの実証実験を行う。

3. 研究成果

前述の3項目に対応した下記の成果を達成した。

(1) ミリ波レーダシステムの探知性能向上

ミリ波レーダの受信回路を改善し、雑音指数12 dB以下、ハードウェアロジック回路を用いたリアルタイム積分処理、およびレーダ信号発生器の低雑音化を実現した。

(2) アンテナビーム走査方式の改善

高圧送電線検出に適した低損失かつ高アイソレーショ

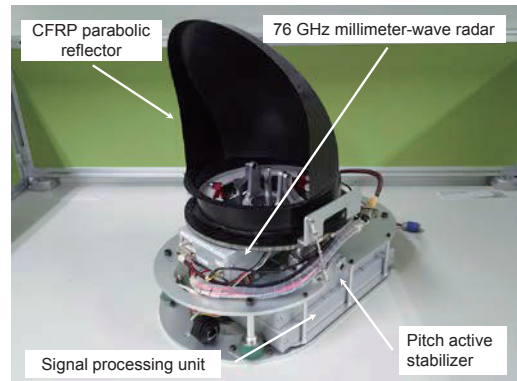


図1. 開発した76 GHz円偏波ミリ波レーダの概観

ン特性を有するアンテナ円偏波器を新たに設計製作し、ファンビームアンテナ特性を実現した。

(3) ミリ波レーダシステムの実証実験

上記検討を踏まえ、図1に概観を示す円偏波アンテナを有する76 GHz帯ミリ波レーダの設計を行い、従来から2倍以上（2,000 m以上）の探知距離見込みを確認した。

4. まとめ

当所の研究目的を達成するとともに査読付学会誌1件、査読付国際会議論文5件、技術研究報告等その他論文8件、講演発表7件、受賞3件の予定以上の成果を達成した。今後、監視範囲を前方から全周に拡張した周辺状況認識支援システムを検討予定である。

掲載文献

- (1) S. Futatsumori, et. al., “Evaluation of polarization characteristics of power-line RCS at 76 GHz for helicopter obstacle detection,” IET Electronics Letters, vol. 51, no. 14, pp.1110-1111, Jul. 2015.
- (2) S. Futatsumori, et. al., “Design and fabrication of high-gain 3-dimensional printed reflectarray antenna for W-band millimeter-wave radar applications”, Proceedings of the 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2016), pp. 540-541, Oct. 2016. 他19件

担当領域 監視通信領域

担当者 ○塩見格一、北折 潤

研究期間 平成 27 年度～平成 28 年度

1. はじめに

2008 年、当所が IRT 社と実用化した電子航法研究所方式として認知されている(走査型アンテナを運用する親局 SSR を想定する)受動型二次監視レーダー(PSSR: Passive SSR)は、1980 年代に、当時、日本プレジジョン株式会社 に在籍されていた植田知雄氏により開発が開始されたものである。⁽¹⁾ その開発目的は SSR を運用している親空港のサテライト空港において、親局 SSR と同等の空域監視情報を提供することを目的とすることにあつたが、我々がこれを実用化した段階では、既に flightradar24 が ADS-B による空域監視情報を提供しており、遅きに失した感が拭えない状況となっていた。しかしながら、どうしても ADS-B では不十分な状況や、また「SSR を運用して空域監視情報を入手すること等は不可能であるが、どうしても SSR と同等な監視情報を入手したい。」と言う需要は残っており、ニッチな商品として PSSR は成立してしまつた。

PSSR を製品として提供したからには、と言うことで製品としての信頼性の向上と、変化する需要に対応すべく周辺技術を含めて技術開発を進め、遂に 2010 年には、同じ原理による本来の(探査電波の反射を検出する)レーダーに対応する受動型レーダー(PSSR: Passive Primary/Conventional Airspace Surveillance Radar)を実現することができた。

かつて PSR は SSR に置き換えられ、航空管制業務は著しく効率化したのであって、今更何のための PSSR か? ステルスでも見つけたいのか? と言うコメントが有つた程であつた。しかし、実際に PSSR の利用者は、SSR を利用している航空管制官と同様に、空港周辺空域で複雑な航跡を描いて飛行する航空機が、その時々姿勢のために SSR からの質問信号に応答しない状況が発生することを経験する。この様な状況において航空機の位置を確認する手段は PSR/PSSR に依る他なく、今日、ASR の構成要素に PSR が残されている理由の一つは此処にある。他にも、SSR トランスポンダーに不具合が生じた航空機の監視や、編隊飛行をする個々の航空機を観測したい場合には PSR は必要不可欠な空域監視装置と認められている。

2. 受動型レーダーの高性能化

PSSR は PSSR に比較して遥かに弱い電波を処理しなければならず、そのハードウェアは PSSR に比較して何倍も高

度で高価なものとなるにも拘らず、また広い覆域角を確保するために、PSSR では通常のレーダーの様な高い利得を有するパラボラ・アンテナの代わりに、比較的指向性が弱く低利得な(10 dBi 程度の)ホーン・アンテナ程度を使用することが必要で有つて、覆域距離を長くすることは極めて難しい。PSSR では長さ数センチメートルの無指向性アンテナを利用して水平線までの(300 km くらい遠くの)航空機を観測することも可能で有つたが、最初に試作した PSSR では空港 PSR から 5 ~ 6 km 程度先の航空機を 10 ~ 15 km 離れた位置から観測することが精一杯であつて、それも航空機を横から観測可能な場所に限られていた。

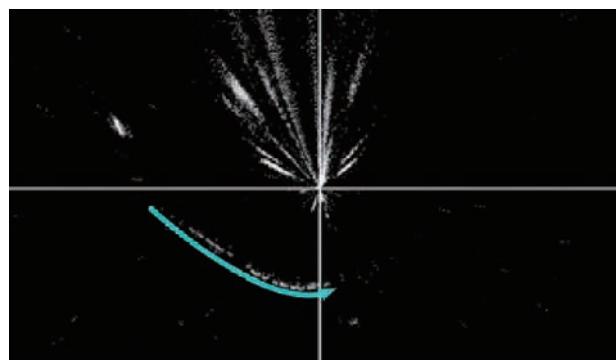


図 1 SSR 質問信号の反射から算出した航跡

上図 1 は、2010 年に、小牧空港の SSR を親局として、その質問信号の反射から算出した航空機の軌跡を示している。図の中心が SSR の設置位置であり、上方向に放射状に伸びている影はノイズである。第 3 象限に、4 秒おきに観測した航空機位置を重ね合わせた航跡が見える。

この様な状況において、世界的には ICAO においても、地デジ放送の電波を利用して空間に存在するオブジェクトとしての航空機を捉える技術が話題とされ、我が国の電子情報通信学会においても FM 放送波の反射を処理して航空機の測位に成功した例、等々が報告され、様々の問題のある状況において航空機を観測・測位する技術としての旧来のレーダー技術が、21 世紀においても必要とされている状況が理解された。

巨大なパラボラを擁して数百キロワット以上にも及ぶ空中線電力で探査ビームを走査する従来型(本来の)レーダー(PSR)は、設置・運用から管理・維持までの全てが

高額な機器であり、上記状況においてはPSRに代わる、同等でより安価なシステムが求められている訳であった。

この需要に対して、当所でも、先のIRT社の協力を得ながら、地デジやFMの放送波により航空機を検出することの可能性を検討し、一部の実験を行なったが、いずれの場合も現用PSR程の観測性能を実現することは困難であるとの結論を得た。地デジやFMの放送波により航空機等のオブジェクトの測位を行おうとする場合、そこにおいて測位精度を確保するためには、受信局において直接に受信した放送波と、航空機により反射された放送波が、その相互相関において航空機に対応する鋭いピークを示すことが必要不可欠であるが、実際に得られる相互相関は多数のピークを含んでおり、航空機を識別すること等は現状の情報処理技術によっては困難であるとの結論に至った。

我々は、今日まで実績を上げてきた「走査型親局を想定する受動型レーダー」により、上記需要に対応することとして、本研究を進めることとし、まずはSSRの質問信号を探査・走査ビームとして利用していたのでは反射信号が弱過ぎるとのことで、ASRを構成する内のPSR(2.8GHz)を親局とするPPSRを試作し空域監視実験を行うこととした。



図2 ヘリコプターの航跡 (2013/04/14)

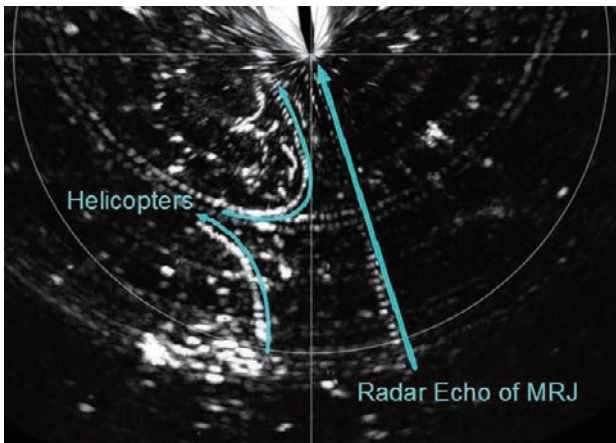


図3 MRJの初飛行による航跡 (2015/11/11)

図2は、試作したPPSRにより観測したヘリコプターの航跡であり、更に図3は移動体抽出機能(通常MTIと呼ばれる機能と必ずしも同じものではないが、..)を付加したPPSRにより観測したMRJの初飛行における着陸時の航跡である。いずれもレンジマーク間隔は10kmであり、親局をPSRとすれば、探査信号の第1パルスによっても10~20km程度の覆域が実現可能なことが確認された。

PSR探査信号のFMチャープ信号を適正に処理すれば、図4の様に、親局PSRから50~60km以遠(PPSR設置位置からは更に遠く)の航空機であっても観測可能であり、2016年において、監視対象に対して適正にPPSR受信局を設置すれば、PSR→Aircraft→PPSRの折り返し距離として100km程度までは十分に観測可能と期待される結果を得た。

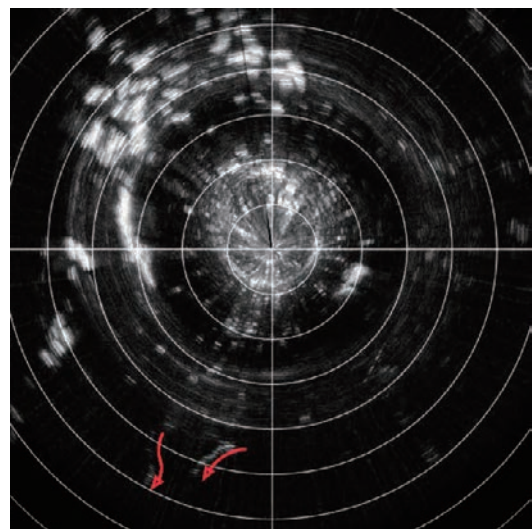


図4 セントレアを離陸した航空機の航跡

PSR探査信号におけるFMチャープ信号を処理することにより十分に実用的な監視覆域を得ることができたので、PPSRにおける親局をSSRとした場合であっても、Mode-A/C質問信号における2つのパルスを重ね合わせることで、従来5~6km程度であった覆域を~10km程度まで、更にはMode-Sによる56bit、或いは120bitsの質問信号を適切に重ね合わせることでできた場合にはPSRと同程度の覆域を実現することも可能かと期待し、「1,030MHz PPSR受信機において、『受信したMode-S質問信号から、空間を伝播することによる擾乱を受ける前の、SSR親局から送信されたと考えられる信号』を生成し、航空機による反射信号を、この生成信号との相関処理を可能とする機能を実現し」空域監視実験を実施した。

上記受信機を利用し、SSR Mode-S質問波の反射により航空機を検出する実験を実施した結果においては、SSR Mode-S質問信号のビット・パターンが余りにも理想的な

パターン（バーカー・コード）から懸け離れたものであったために、残念ながら、具体的な成果として 50 km 以遠の航空機を観測することはできなかった。

しかしながら、不都合なビット・パターンであっても、SNRにおいて～ 12 dB 程度の改善が認められる場合は存在し、測距に適したビット・パターンが使用可能であれば、13 ビット・バーカーコードにおいて 22.3 dB、SSR Mode-S の長い質問信号の場合には 120 bits を利用することとして最大で 23 dB 程度以上の SNR の改善が期待されるので、先の実験における 5 km 程度の覆域を 50 km 程度まで改善することは十分に可能と期待される。

3. おわりに

当所は、IRT 社と共同で、走査型アンテナを運用する親局を想定した受動型レーダーとして、受動型 2 次監視レーダーに続き、受動型 1 次レーダーも実現し、更に、SSR において質問信号の航空機による反射を処理し、ASR を構成する PSR 機能を代替する可能性についても検証した。

現在、SSR Mode-S の質問信号パターンは厳密に規定されており、その規定に従ってバーカーコードとして有効なビット・パターンを送信することは、技術的には全く可能なことではあっても、現状の規定のままではできそうもない。しかしながら、仮に、SSR 質問信号における第 2 パルスを第 1 パルスと同レベルの出力で発信し、全ての航空機からの応答を抑圧することができるのであれば、残りの部

分に測距用のビット・パターンを与えて、1,030 MHz の反射信号として航空機を測位することは十分に可能と思われる。

特に、SSR 親局において質問信号を発信しているラダー・アンテナにより航空機からの反射信号を受信することとすれば、そのアンテナの有する 20 dBi 以上の利得もあって、現用 PSR と同等な覆域を実現することは十分に可能と期待される。SSR メーカーの何方か、試して見られては如何であろうか？

掲載文献

- (1) 塩見, 植田“受動型 SSR による空域監視網の提案” 日本航海学会論文集, 2000 年 3 月.
- (2) 塩見, 青山“受動型レーダーの開発” 日本航空宇宙学会 第 43 期年会講演会, 2012 年 4 月.
- (3) K. Shiomi, A. Senoguchi and S. Aoyama “Development of Mobile Passive Secondary Surveillance Radar” ICAS 2012: 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Australia, Sep. 2012.
- (4) K. Shiomi and S. Aoyama “Passive Secondary Surveillance Radar” 2nd. International Conference on Applied and Theoretical Information Systems Research, Taiwan, Dec. 2012.

担当領域 監視通信領域
担当者 塩見格一
研究期間 平成 27 年度～平成 28 年度

1. はじめに

1994 年 4 月 26 日、小牧空港への着陸に失敗した中華航空機 140 便は 264 人の犠牲者を出した。この事故の分析に係る航空機の挙動をコンピュータ・グラフィックスにより再現することが、1993 年に開始した、当所における視聴覚的仮想現実感の応用に係る研究の第 1 歩であった。視覚的な仮想現実感の応用は、その後のディスプレイ技術の発展等により、様々な成果を生んだが、聴覚に係る技術開発については、残念ながら、様々な試行錯誤にも拘らず、社会的な信任を得られる程の成果には至らなかった。2017 年の今日、グラフィックス・コンピュータの価格性能比は 4 桁以上改善し、1990 年代には 2 千万円では調達できなかった 30 インチ LCD は 4k の解像度を有するものが数万円で売られているが、聴覚に係るマイクロフォンやスピーカーにおいて、原理・性能・値段は 1990 年代と全く変わりはない。

当所における音声分析に係る研究開発は、CPDLC パラダイムを想定し 1993 年に開始した、航空管制官用音声認識装置の開発と、1994 年に航空事故調査委員会からの依頼により開始した、コックピット・ヴォイス・レコーダ (CVR) による録音音声から人間の発話音声を自動抽出する研究、から始まった。音声認識については、1998 年時点で、適確な状況認識を実現し発話内容の予想を行ない、発話文の候補を状況に対して発話される可能性の高い順に 10 用意することとすれば、95～99%以上の認識率が実現可能であることを確認している。以降、携帯電話、更にはスマートフォンの音声認識機能の発展は驚くべきものであるが、後者の課題である人間の発話音声の識別に関しては 2017 年時点でどの程度のことまでが可能となっているのか、残念ながら筆者には分からない。少なくとも、スマートフォンにおける音声認識技術は、入力される音声は人間の発話であることを前提として想定している。

本研究は、上記、人間の発話音声分析・識別技術に係る研究の一先ずの取り纏めとして実施したものである。

2. 電子航法研究所の音声分析手法

事故に遭遇した航空機から回収される CVR に録音された音声は、コックピットが壊れる時の音を含む壮大な雑音に覆われており、事故調査において有用なパイロット他乗組員の音声は、一部の怒鳴り声のような音声を除いて、明

瞭に聞き取れるものはわずかである。CVR に録音された音声からの文字起こしは、ずっと手作業で行われており、膨大な時間をかけて何度も何度も聞き返して、更には、様々な帯域制限フィルターを適用して聞き返して行われる面倒な作業であって、省力化・自動化が求められていた。

そのような状況において 1994 年に開始した録音音声データから人間の発話を自動的に抽出する研究では、科学警察研究所他にも問い合わせ、凡そ有りといゆる音声分析手法を試みたが、目的に叶うものを見つけることはできなかった。2017 年時点においても、完全自動化には至っていないが、様々なフィルター機能を組み合わせたツールが実現されて、当時に比較して大幅な省力化は実現されているようであるが、筆者らは、1998 年に、最後に残された手段としてカオス論的な手法を試みることにした。

当時、当所は音声認識技術の研究において (株) オージス総研の協力を得ており、また同社から米国のカーネギー・メロン大学にカオス論的な信号処理技術の研究で留学されていた廣瀬氏が帰国されていたこともあり、同氏に発話音声信号のカオス論的な特徴評価に係る研究を依頼することとした。当所による依頼から約半年後に、廣瀬氏から、発話音声をカオス論的な手法により分析することにより発話者の心身状態の評価の可能性を確認した旨の連絡を受けた。具体的には、音声信号を時系列信号としてリアプノフ・スペクトラムを計算すれば、長時間の朗読音声において、第 1 リアプノフ指数の移動平均値に上昇や降下等の変化が観測される場合があり、その変化が発話者の疲労度に相関するように見える、と言うものであった。その後の実験的な研究成果としての知見を含め、今日的に厳密に表現すれば、カオス論的な手法により時系列信号に対して定義される特徴量に、時系列信号としての音声信号において、発話者の覚醒度に相関すると思われるものを見つけた、ということになる。

1998 年高速道路における交通事故の低減は社会的な課題となっており、上記発見はオージス総研を代表とした科研費による研究へと発展することができた。その後、三菱スペース・ソフトウェア (MSS) やクレイ・ジャパン、他の協力を得てデータ処理ソフトウェアの改善を進め、当初、3 分間の発話音声を 3～5 分間かけて処理し、発話者の覚醒度を評価していたソフトウェアを、2005 年には 10 秒間の発話音声を 2～3 秒で処理可能なまでに高性能化した。

また本研究は、小泉首相の21世紀の日本を支える技術開発15課題において、第8番目の課題に対応する技術開発として採択され、鉄道総合技術研究所及び東北大学との共同研究として、発話音声から発話者の覚醒度の低下が検出可能であることを確認した。筆者は、この段階において、実用化へ向けて次の一步を踏み出す為に必要な基礎的な研究としては十分な成果を上げたと考えていたが、残念ながら、より普遍的に社会的信任を得るための実証実験の実施に進むことはできなかった。

2005年4月25日のJR西日本における福知山線脱線事故は、社会基盤としての交通システムにおいて運転士等の適正なパフォーマンス管理の重要性を強く認識させ、この事故を契機に2006年6月23日に創設されたJR西日本安全研究所において、同年9月には運転士の点呼音声により睡眠不足状態の検出の可能性を評価し肯定的な実験結果を得たが、次のステップとしての実際の運転業務の現場での評価実験に進むことはできなかった。航空管制業務の現場において、日常的な業務発話の分析等への展開も、経費的・技術的な問題に対応することができずに、断念する他はない状況となっていた。確かに、事故の予防等を目的とする安全装置の導入は、その効果を検証することが難しく、仮に検証できる場合であっても、その作業には膨大な時間を要することは必然的であって、時間的にも経費的にもその意義が認められ実施されることは少ない。

そのような状況ではあっても、幸運にも、当所の発話音声分析技術に興味を示してくれる方々は常にいて、MSSや国際テクノロジーセンター(KTC)においてはスマートフォンをプラットフォームとしたアプリケーション開発を進めていただいた。MSSの試作したアプリケーション「Nono」は早稲田大学人間科学部菊池研究室で評価が行われ、コンセプトとして肯定的な評価を得ると共に、日常的な自己管理ツールとするための要件やノウハウに係る知見を得た。また2014年には、KTCによりiOSとAndroidの双方に対応する音声分析アプリ「脳たこ(タコメーターから)」のサービスを開始することができた。2016年の国際航空宇宙展に発話音声分析装置を出展していたところ、偶然にも「脳たこ」の利用者の訪問を受け「自分の調子が悪い状況を客観的に評価でき、状況が悪化しないように対応ができるので、休みを取る日数を大幅に減らすことができている。」と、嬉しい話を聞くことができた。

3. 残された技術的課題と将来的な展望

2017年3月時点の発話音声分析ソフトウェアは、平均的にサーカディアンリズムに相関する指数値を算出し、また平均的に日常生活における昼食1時間前と1時間後の覚醒度の差異を識別可能な感度を実現しているが、・・。

血圧等の従来の生理指標は、時間を空けずに10回計測すれば殆どの場合10回の計測値は(日常的な感覚で)似たような値になり、発話音声によるソノグラムであっても同じフレーズを10回繰り返して生成した場合には、それらの相互のパターンを見た目で区別することはできない。しかしながら、2017年時点において音声から算出されるCEM(Cerebral Exponent Macro)値は、同じ発話音声を同じ型式のマイクロフォンと同じ型式のレコーダで同時録音した場合であっても、24bits@48kHzのフォーマットでデジタル化した場合には、100回の内に10~20回くらいは、CEM値の標準偏差を σ として平均値から $\pm 3\sigma$ 以上の懸け離れた異常値となってしまう。残念ながら、この現象のメカニズムは未だ不明(理解できるように説明することができない。)であるが、技術的には計算量を増やすことにより異常値の識別が可能であり、診断値としては適正な値を提示することは可能と考えられる。

CEM値は、デジタル化した音声信号の各サンプル時間に対して計算するCEm(C. E. micro)を統計的に処理して算出したものである。2017年時点まで、個々のCEm値についての検討はほとんど行ってこなかったが、筆者は、本報告書における現時点において、CEm値がアーラン分布に似た分布を示し、CEm値の算出に係る1つのパラメータがアーラン分布の位数に対応しているように見えることを発見した。アーラン分布は通信のトラフィック量の評価に利用される分布であり、筆者は、CEm/CEM値が脳内でデータが交換・伝達される速度と因果関係を有することを(誰かが発見してくれることを)期待している。

4. おわりに

当所の発話音声分析技術では、カオス論的な時系列信号分析手法を採用し、高次元位相空間に再構成された数学的アトラクタにおいて、経験的に定義した特徴量を評価することを特徴としている。我々は、現象の発見から20年を要して発話者の覚醒度に相関する特徴量を定義したが、2017年の今日、情報処理技術のパラダイムはディープ・ラーニング技術の利用を前提とできるものになっている。我々の研究目標であった脳機能疾病の早期発見への寄与も、脳機能疾病患者の音声データとカオス論的な特徴量を処理可能なAIにより、近い将来には現実のものとなっているのではないだろうか。

掲載文献

- (1) 塩見, “過労防止のための音声分析技術開発の経緯と現状”, 日本航海学会誌「NAVIGATION」2010年9月号.
- (2) 塩見, “カオス論的な音声分析による心身状態の評価”, 日本航海学会誌「NAVIGATION」2014年10月号.

UAS のための GPS に代わる位置推定法に関する研究【萌芽的研究】

担当領域 監視通信領域
担 当 者 ○河村暁子, ニッ森俊一, 米本成人, 森岡和行, 山康博, 宮津義廣
研究期間 平成 25 年度～平成 28 年度

1. はじめに

パイロットが搭乗していない航空機を、一般の有人航空機と区別し UAS(Unmanned Aircraft Systems: 無人航空機)と呼ぶ。近年、農薬散布、災害監視、測量、空撮など多岐に亘る用途で UAS の民生利用が拡大している。将来、有人機と無人機が飛行空域を共有する時代が訪れる可能性は十分に考えられる。多くの UAS は位置制御に GPS 情報を用いており、システムの GPS への依存度が有人機よりはるかに高い。しかし、飛行中に何らかのトラブルで GPS 信号が途絶えた場合、パイロットが機上にいないため UAS が制御不能になる危険性が指摘されている。ペイロードが少なく機上装備の追加が困難な小型無人機では自機位置を知る手段は GPS 信号以外にないのが現状である。よって、非常時の代替手段として、GPS 信号に頼らず地上から機体の位置を推定できるシステムが求められている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、UAS の位置について GPS (GNSS) 信号以外で推定する方法を検討することである。検討・提案する位置推定法は、小型無人機の機体ペイロードを増やさないため、既存の地上一機体間の通信リンクを用いた伝搬減衰および遅延の測定を基に行う。なお、小型 UAS は飛行方法や運用形態が有人機とは全く異なる性格のものであり、本研究では基礎検討として、およそどの空域に機体が存在（もしくは、位置）するかを把握するためのものである。

この研究課題と並行し、UAS の国内外の運用に関する動向調査と課題抽出および ICAO RPASP (Remotely Piloted Aircraft System Panel)へアドバイザーとして出席し、国際規格検討動向の分析を行う。また、機体の大きさに関わらず無人機全般の情報収集・分析に努める。

本研究は4ヵ年計画であり、平成28年度は最終年である。

(1) 機上 - 地上間の通信リンクを用いた UAS の位置推定法の検討

(2) UAS に関する情報分析

の2課題を実施した。

3. 研究成果

(1) UAS の位置推定法に関する検討

初年度より、機体 - 地上間の機体情報のダウンリンク信号を、地上の複数点で受信し飛行位置を推定する手法について検討し、実験を実施した。ダウンリンク信号の RSSI (受信信号強度) を地上複数点で受信し機体の位置を推定した。さらに、その推定位置精度向上のために、ダウンリンク信号の位相差を用いた手法についても検討した。その結果、通信波形の立ち上がり時間によって向き不向きはあるものの、これまで我々が使用してきた通信機である Xbee Wi-Fi では位置精度よく推定できる可能性があることを明らかにした。

(2) UAS に関する情報収集・分析

今年度は、6 月に航空局安全部安全企画課の要請を受け ICAO RPASP へ参加し、特に制御用通信に関わるワーキンググループにおいて ICAO Annex 類の改訂作業に参画した。

社会における小型無人機の利用拡大に伴い、小型無人機と低高度を飛行するドクターヘリをはじめとする有人小型機との衝突への懸念や、小型無人機同士の調和のとれた飛行実現のため、小型無人機の運行管理へのニーズが高まっている。これに対応するため、行政が主催する委員会や無人機産業界によって構成される運行管理コンソーシアムへの参加、また UAS に関する講演依頼を実施した。

4. まとめ

本研究は UAS の GPS (GNSS) に代わる位置推定法の開発を目的とし、4 ヵ年計画として実施した。今年度は到来波振幅を用いた位置推定および到来位相差を用いた位置推定の基礎検討を実施した。

さらに、UAS の国内外における情報収集や動向分析も広く行い、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に努めた。

外部発表等

(1)河村「有人航空機の衝突回避の現状 ～小型無人機への拡張性～」COCN 講演, 2016 年 7 月.

(2)河村「無人航空機の世界 ～ドローンから超大型機まで～」自動車技術会第 3 回エレクトロニクス委員会, 2016 年 9 月.

航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究【萌芽的研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森俊一, 米本成人, 河村暁子, 森岡和行

研究期間 平成28年度～平成30年度(3カ年)

1. はじめに

乗客が持ち込むスマートフォン等の電波を発する電子機器や航空機内での業務遂行のためにタブレット等の電子機器の航空機内での利用に対するニーズが高くなっている。これらのニーズに応えるべく我が国においても、国際基準に準拠しつつ、電子機器の使用や電子機器を用いたサービスに対する安全性の評価方法を策定してきたところである。こうした状況の中、航空機内のセンサ等の情報通信が4 GHz帯を用いた航空機内データ通信 (Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC) によって無線化することが世界的に検討されており、現在とは異なるより高い周波数帯での電磁環境両立性を検討する必要がある。そのためには事前検討もしくは実機評価が必要であるが、それらの評価法に対して有効なEMC評価技術の規格化が進められている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、今後の新たなWAIC帯域を用いた無線通信機器と航空機のEMC評価技術の確立および国際規格策定に資することである。具体的には、次の3項目について研究を進める。

(1) WAIC周波数帯域 (4 GHz帯) において、以前から実施しているスーパーコンピュータを用いた大規模電磁界数値解析法を用い、大型航空機へ適用可能な航空機電磁干渉数値解析技術を確立する。

(2) EUROCAE WG-96/RTCA SC-236等に参加し、WAICおよび航空機電磁干渉に関する国際規格化に参加することで、新たなEMC規格の策定に貢献する。

(3) 電磁干渉報告書調査および分析を継続することで、航空機EMCの現状について最新の干渉経路損失および干渉発生報告等のデータを保有し、航空機運航・製造メーカーおよび電子機器メーカー等へ情報提供を行う。

3. 研究成果

今年度は、前述の3項目についてそれぞれ研究を実施し、WAIC周波数帯において図1に概観を示すA320-200型機

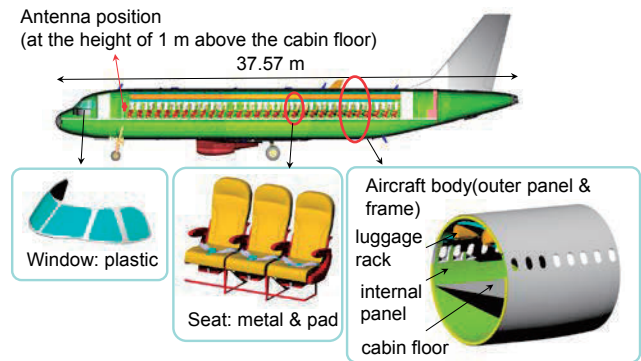


図1. WAIC周波数帯大規模電磁界数値解析のために構築したA320-200型機の三次元数値モデル

の数値モデルを用いた大規模電磁界数値解析の適用可能性を明らかにした。また、EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenaryに参加し、国際標準化活動を実施した。

4. まとめ

予定通りWAIC周波数帯におけるEMC評価技術を新たに提案するための研究を実施した。さらに、WAIC国際標準化に向けた活動を実施しており、平成29年度もそれぞれの項目について継続して研究を実施予定である。

掲載文献

- (1) T. Hikage et. al., "Numerical Estimation of WAIC-band Propagation Characteristics in Aircraft Cabin Using Large-Scale FDTD analysis," Proceedings of 2016 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting, TH-UB.5P.6, June, 2016.
 - (2) S. Futatsumori et. al., "Aircraft Electromagnetic Field Estimation for Wireless Avionics Intra-Communication Band Using Large-Scale FDTD Analysis", Proceedings of 2017 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium, pp. 1-2, March, 2017
- 他4件

管制方式等規則の構造化と運用手法の機械学習に関する調査【調査研究】

担当領域 監視通信領域
担当者 ○塩見格一, 北折 潤
研究期間 平成 27 年度～平成 28 年度

1. はじめに

多くの場合、単なるアプリケーションの利用者に過ぎない私たちは、「プログラム可能なコンピューターやそのモデルとなったチューリング・マシンが、そもそもどのような可能性を有するものであるのか？」と言ったこと等を考えることはない。あるいは“殆どない”日常をおくっている。コンピューターに代表される情報処理技術こそが、我々の研究の主要な部分を支えているにも拘らず、残念ながら、その基盤技術の現状や展望を気にすることなく、かなり安易にその都度に流行っているものを選択する程度の感覚しか有していない場合が多いと思われる。

最初期のコンピューターにおいては、余りにも短い MTBF (平均故障間隔) のために、主要デバイスである真空管が切れる迄に終わる計算以外はできなかつたが、コア・メモリにより MTBF を越える運用が可能となり、実は量が変わっただけであるにも拘らず、結果的には質的变化を感じさせる状況が成立した。このような状況が半世紀以上続いて今日、ディープ・ラーニング等の新しい情報処理コンセプトの確立により、コンピューターは遂に囲碁・将棋等のボードゲームでは人間の名人に匹敵する能力を獲得し、近い将来には、一般車両を市街地で自動運転することも十分に可能になることが期待されている。

2. 機械学習

上記コンピューターのボードゲームにおける能力は、ゲームに使うコマ等オブジェクトの用法のプログラムによるのではなく、用法を観測した結果から知識を獲得する手法のプログラムによるものであったから、コンピューターが何等かの判断をした場合であっても、我々は人間が、その思考過程を逆に遡って知ること等は、一般的に不可能である。ディープ・ラーニング等により獲得される知識は、一般的に人間に解釈可能な記述形式を有さないため、その知識が正しいのか？ 或いは間違っているのか？ はたまたどの程度正しいのか？ 人間には全く分からないし、その知識を利用した処理結果についても、目的に対して、人間よりも正しい判断がなされたのか？ 或いは否か？ 多くの場合、やはり分からない。

これで良いのか？ との問いは、常にもっともであるが、例えば、投資用の AI (人工知能) が人間のトレーダーよりも効率的に稼いでいるのであれば、その結果を以って

“良し”とされるであろうし、医療用においては、人間の医者よりも多くの人間を助けているのであれば、その結果を以って“良し”とする他ない。これ等は、明確な目的の設定を前提とするが、目的に対して単に効率のみが追求される状況における帰結であって、人間性とか文化とは必ずしも整合しない。一部に、法の整備が技術の整備に遅れることの弊害が深刻化することが危惧されてはいるが、未だ社会問題とするに必要な視点さえ曖昧な状況にある。

航空管制業務の AI 化について考えれば、航空交通情報は、一般的な道路交情情報とは比較にならない程に高度に管理された情報であり、道路交情状況よりもはるかに信頼性の高い航空交通状況に対する認識を成立させることが可能である。そもそも、航空管制官による航空路を運航する航空機に対する状況認識は、コンピューターにより処理された情報を基に構築されているものであるから、今日の機械学習技術を以ってすれば、数ヶ月を要するのか？ 数年を要するのか？ は分からないが (人間の管制官と協調作業する様な AI の実現は容易ではないと思われるが、人間の管制官を全て AI に置き換えた場合に)、人間の管制官と同等の、或いは同等以上の判断を提示する AI の実現は、技術的には十分に可能と思われる。

2017 年、2 つの AI の間の情報交換を可能とした場合に、AI 相互の情報交換の結果として、AI は、人間が与えたものとは全く異なる情報交換プロトコルを構築し、人間には理解できない情報交換を始めたことが話題となった。人間が与えた言語とプロトコルよりも効率的な言語とプロトコルが実現されていたのだと期待されるが、“AI 語”は“AI が、AI 語を人間の与えた言語に翻訳する、AI にとっての合理的な理由”が発生しない限りは、人間にはわかる筈もない状況が成立した。別な 1 組の AI の間で、また別な AI 言語とプロトコルが構築されれば、我々は旧約聖書の創世記 (バベルの塔の記述がある。) の状況を目にすることができるのかも知れない。

3. 量子コンピューター

以上は 20 世紀には想像もつかなかった今日の途方もない状況であるが、これ等にしても古典的な物理学に対応する情報理論における成果であって、次に述べる量子論的な物理学に対応する情報理論に従う情報処理においては、遥かに驚くべきことが起きようとしている。

古典的な情報処理においては、情報処理過程は非可逆的で、解を求めることは設定された問題（系）のエントロピーを極小化することによって、何段ものエントロピーを下げる過程がプログラムとして与えられる。プログラムを構成する各過程においてエントロピーは変化するので、各過程は非可逆であって、処理前の情報は処理後には残っていない。情報処理におけるエネルギーの消費は、処理前の情報の消去のためと解釈され、この解釈により 1867 年にマクスウェルの提案による思考実験「マクスウェルの悪魔」は、1982 年にベネットにより決着が付けられた。

1985 年、ドイチェは、全ての情報処理過程を可逆な状態に保存するチューリング・マシンと等価な量子チューリング・マシンが量子論的に可能であることを示した。これは、P=NP 問題（問題のサイズ N が大きくなった時に、その処理に要する時間が N の多項式では与えられない、処理時間が a^N で与えられる様な問題）への対応は古典的な情報処理では不可能であり、量子論的な情報処理が必要とのファインマンによる着想に初めて対応した量子計算モデルであった。ここに量子コンピューター概念は登場したが、以降、実験室における特別な例を除けば、一般に広く知られる成果等が発表されない状況が続いた。2011 年、突如カナダの D-Wave 社が 128 Qbits（量子ビット）の量子コンピューターを発表した。この D-Wave 社による量子コンピューターは、量子アニーリングと呼ばれる東工大の西森教授の提唱されたアイデアによるものであり、ドイチェがモデルを示したものは別物であり、2017 年においても、量子コンピューターとは言えないとの主張が存在するものではあるが、2017 年時点で市販され、NASA やグーグル社他における幾つもの使用実績が存在する唯一の量子コンピューター・システムでもある。

本件研究調査は、筆者等が、上記 D-Wave システムが巡回セールスマン問題（地図上の N 箇所を一筆書きする場合の最短の経路を求めようとする問題）に類する最適化問題に有効かも知れない、と興味を持ったことに始まった。

先の機械学習においては、学習すべき現実が存在することにより、人間よりも合理的な判断を可能とする AI を実現させたが、巡回セールスマン問題の様に、そもそも計算量が大き過ぎて解けない問題に対しては無力であるから、量子コンピューターは次の情報処理のパラダイムにおいては必要不可欠な要素と思われた。

現状の古典的な情報処理プラットフォームにおいてはソフトウェアとしてのディープ・ラーニングは、そこに組織化された情報を人間が解釈することは不可能であるが、量子論的に構築されるプラットフォームにおいては、全てが可逆的であるから、AI において自己組織化された情報であっても、その処理を逆に辿ることが可能であって、機

械学習により獲得された知識であっても、これを人間の言葉に翻訳することも不可能では無くなるのかも知れない。

この辺りの最先端の領域については、誰の理解が正しいのかも正確には分からない、と言うのが実情であり、今後調査すべき事柄は、未だ無数に存在することが理解される。

筆者等は D-Wave については、具体的な用法についても調査しているので、これに興味を持たれる場合には、別に報告書を纏めたいと考えているので、これを待っていただきたい。

4. おわりに

本報告は、読者において、我々が調査対象とした最新の情報処理技術の内の最重要項目に係る概念を正しく持っていていただくことを目標に纏めた。

カーツワイルの予言する「AI がその思考性能において人類の脳を超える日」まで後 20 年くらいになった 2017 年、本研究は、当所の所管する研究内容を支える情報処理技術の現状と将来展望を得る、絶好の機会となった。

また、結果的にはあるが、我国におけるスーパー・コンピューターの伝道師・レジェンドとも言える小林達氏に量子コンピューターの調査報告書の取り纏めにご協力いただくことができ、その調査報告書は、異例のことであるが、会計検査において検査官殿から「非常に分かり易く纏められた素晴らしい報告書である。」とお誉めの言葉をいただいた。更には、同検査官殿からは「量子コンピューター技術の資料として、2016 年度の調査報告書と併せて提供して欲しい。」旨を伺い、我々としては、よろこんで提供させていただいた。

2017 年 8 月には、我国文科省は 2018 年度からの 10 ケ年に 300 億円を投入して量子コンピューターの実用化を目指す旨を発表している。多くの社会基盤の構成要素の実現・構築に係る技術分野において「新たな技術をいつ？どの段階で導入するか？」は、その後のその社会の明暗（比較優位や対外的な競争力の優劣）を左右する重要な問題であって、そのタイミングを逸して、過去の栄光を失った国や、マーケットから消えた大企業の例は、幾らでも挙げることができる。当所が、また我国が、グローバルな航空交通や更にはマルチ・モーダルな物流システムの高度化に貢献するためには、より可能性の高い将来展望を得ることが必要不可欠であり、本件の様な調査研究は、経常的に進めていかなければならない、と強く認識した。

会計検査院に提供した報告書と、その付属資料については、未だ当所報告書としての公表はしていないが、プレ・プリントとしての提供は可能である。

ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発【競争的資金】

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○米本成人, 金田直樹, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行
 研究期間 平成 26 年度～平成 30 年度

1. はじめに

現行の新幹線や、近い将来導入が予定されているリニアモーターカーは移動速度が大きく、1000 人程度の乗客が一列車に集中することから、公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足する回線速度を実現することは困難である。今後、スマートフォンやクラウドコンピューティングが社会基盤として益々重要性を増してくるため、高速鉄道の車中でも安定したブロードバンド環境の需要は非常に高い。

そのためには車内の通信をまとめて、高速鉄道と地上を接続するためのバックホール回線が重要となる。この回線として、Gbps (bit per second)級の高速通信を実現するために、マイクロ波帯に比較して広帯域な周波数割り当てが行われているミリ波帯の利用が検討されている。一方で周波数が高い分、伝搬減衰が大きくなるため、それらを補償する技術が求められている。

本研究ではミリ波と光無線の技術を活用して、200km/h以上の高速鉄道に対して Gbps 級の通信を実現する技術を複数の研究機関で分担して研究開発する。その中で、電子航法研究所では光通倍による通信技術の開発を担当している。

2. 研究の概要

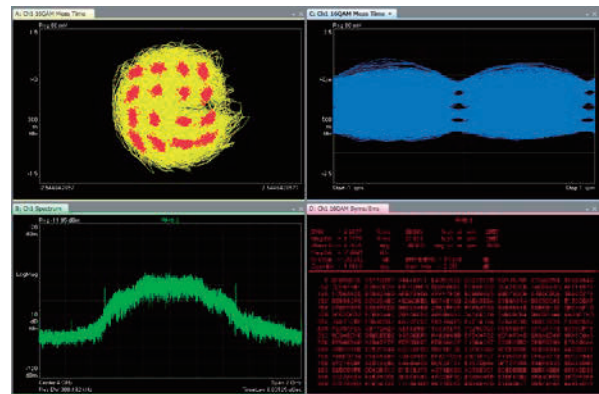
本研究は総務省の「電波資源拡大のための研究開発の一環として実施され、平成 26 年度から平成 30 年度までの 5 年計画である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

- 平成 26 年度 通倍に適したミリ波帯位相変調信号生成の技術開発
- 平成 27 年度 通倍に適したミリ波帯多値変調信号生成の技術開発
- 平成 28 年度 光通倍を用いた通信方式の検証
- 平成 29 年度 光通倍器によるミリ波通信システムの構築試験
- 平成 30 年度 光通倍ミリ波通信システムの実証試験

3. 研究成果

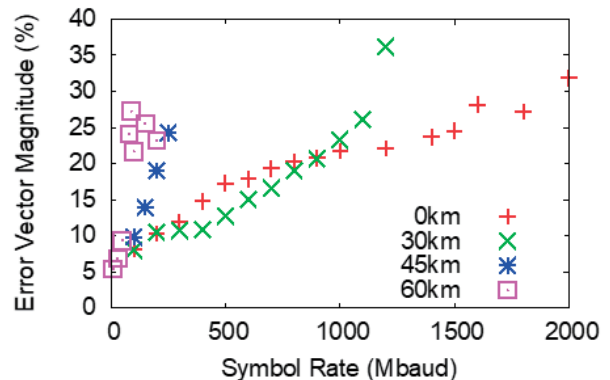
平成 28 年度の実施事項は、90GHz 帯で光通倍方式を使

用した場合の通信システムの有効性の範囲を特定することである。長距離の光ファイバーを通じた後に得られた 96GHz, 500M シンボル秒、16QAM(Quadreture Amplitude Modulation)のベクトル変調信号の EVM (ベクトル振幅誤差)を測定した。



ファイバー長 35km, 96GHz, 500Msymbol/s, 16QAM 信号の変調精度測定結果

ファイバー分散の影響により、位相誤差が大きくなるため、各シンボルは角度方向に大きな誤差を有することが示された。これらの影響の範囲を特定するため、長さの異なるファイバーを用いて、シンボルレートを変えながら、QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)信号の EVM を測定した。ファイバー長、シンボルレートに合わせて EVM が悪化していることが示された。新幹線の駅間隔程度の距離(約 30km)ではファイバー長の影響は少なく、本方式を用いることで良好に通信が可能であることが示された。



ファイバー長、シンボルレートによる変調精度の変化

本研究は株式会社日立製作所，国立研究開発独立行政法人情報通信研究機構，公益財団法人鉄道総合技術研究所及び株式会社 KDDI 研究所との共同研究として実施された。

掲載文献

- (1) 金田直樹，米本成人，川西哲也，「光 2 通倍により生成された 92GHz PSK 信号の品質評価」，信学技報，vol. 116， no. 15， MWP2016-7， pp. 27-31， 2016 年 4 月
- (2) 米本成人，「光ファイバー無線を活用したレーダー，通信システムの研究開発」，2016 年第 2 回エイトラムダフォーラム， 2016 年 7 月
- (3) 小川博世，川西哲也，菅野敦史，柴垣信彦，川崎邦弘，米本成人，"Proposal to include 90-GHz band for railway radiocommunication system between train and trackside under WRC-19 agenda Item 1.11," 20th Meeting of Asia-Pacific Telecommunity Wireless Group, 2016 年 9 月
- (4) 金田直樹，米本成人，川西哲也，「光 2 通倍による 92GHz 16QAM 信号の生成」，2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集， C-14-1
- (5) Naoki Kanada, Naruto Yonemoto, Tetsuya Kawanishi, "92GHz 64QAM Signals Generation by Optical Frequency Doubler", 2016 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), TuMP11, pp. 145-148, 2016 年 11 月
- (6) 金田直樹，米本成人，川西哲也，「光 2 通倍による 96GHz 16QAM 信号の伝送特性評価」， 2017 年電子情報通信学会総合大会講演論文集， C-14-8

新世代ネットワーク実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証【競争的資金】

担当領域	監視通信領域
担当者	○米本成人, 角張泰之, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行
研究期間	平成 26 年度～平成 29 年度

1. はじめに

次世代 (5G) 無線通信においては, Gbps (bit per second) を超える伝送速度が要求されることから, 無線信号のキャリア周波数をミリ波帯とすることが有望な候補となっている。高密度ユーザー集中環境では, 多数の端末への無線信号の競合・干渉や不要反射の影響が生じ, 現在のマイクロ波 800MHz~2GHz を用いた無線通信では, これらの影響を抑えることが難しい。しかし, 5G 無線の本命であるミリ波帯では, 自由空間伝搬減衰が大きいものの, 回折が少なく直進性が高いため, 高利得アンテナ等で電波を集中させることが比較的容易となる。このため, このような通信システムを構築するとき, 従来のマイクロ波無線通信システムにはない新しい空間的な電波管理機能が必要とされている。

本研究ではミリ波と光ファイバー無線の技術を活用して, スタジアム等の高密度に多数の通信ユーザーが集中している環境で Gbps 級の通信を実現する技術を日本と欧州の 13 機関が連携して研究開発する。その中で, 電子航法研究所はミリ波端末の位置を推定し, 高利得アンテナで端末にピンポイントに電波を送信するための 60GHz 帯 RoF トランシーバーの開発と端末位置推定技術の開発を担当している。

2. 研究の概要

本研究は欧州連合の共同研究開発プロジェクト (Horizon 2020) の日欧共同研究の 1 課題であり, 平成 26 年 10 月から平成 29 年 9 月までの 36 カ月計画である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

- 平成 26 年度 利用シナリオの検討
- 平成 27 年度 60GHz RoF レシーバーの技術検討
- 平成 28 年度 60GHz 端末の位置推定
- 平成 29 年度 通信評価試験

3. 研究成果

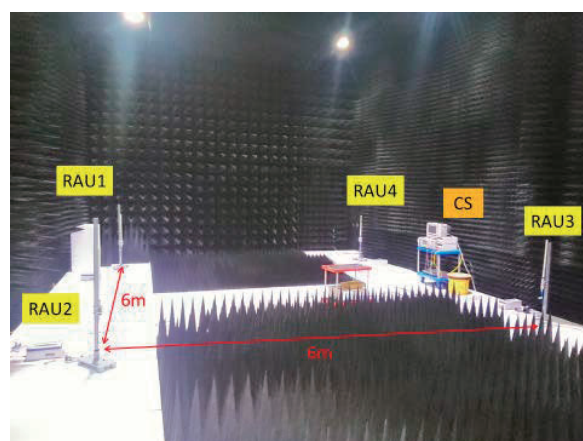
平成 28 年度の実施事項は, 端末が通信中に発する電波を受信して, その位置を推定する技術の開発である。60GHz 帯の微弱な信号を受信した後, 3GHz 帯域幅の中間周波数帯に変換して, 光ファイバー無線により長距離伝送が行える構造とした。位置推定機能評価のため, 60GHz 帯無線の中間周波数帯に近い周波数を使用している 2.4GHz の Wi-Fi

信号を用いて, 電波無響室内で実験を行った。遠隔アンテナ局 (RAU) は 6m 間隔で正方形に 4 隅に配置された。4 つの RAU からのアナログ信号を光ファイバー無線で 1 か所に集めて, 高速デジタルオシロスコープで波形を観測した。記録した波形から 2 つの RAU 間の到来時刻差を正確に測定し, 端末の位置を推定した。推定された端末位置は, 検出エリアの中心付近で Wi-Fi 信号の周波数帯域から算出される理論分解能よりも細かい精度で求まることが示された。

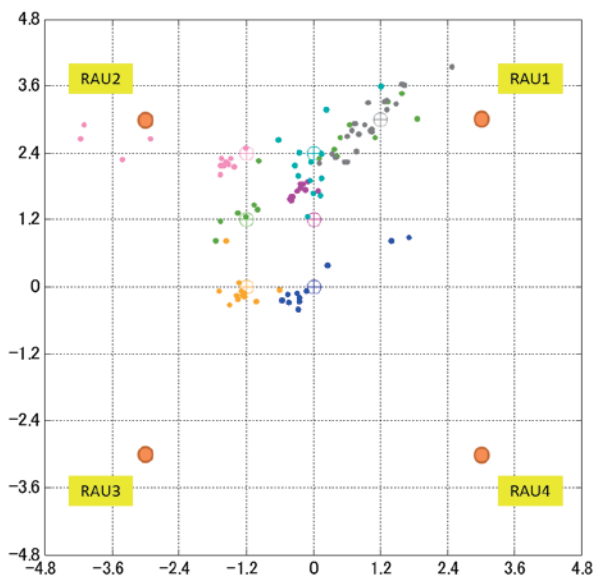
また, この測定システムに接続するための 60GHz 帯受信信号を中間周波数に変換する電子回路構造, および光ファイバー無線を用いた 60GHz の送信回路も構築した。これらを用いて, ギガビットイーサネットの ON/OFF 信号を 60GHz 帯で送受信できる無線機構造が完成した。

今後は受信感度の改善と通信システムの組立と実験試験局免許の取得, およびスタジアム環境におけるフィールドテストを行う予定である。

本研究は情報通信研究機構からの委託研究の一環として, 国立大学法人大阪大学, 学校法人同志社, 一般財団法人電力中央研究所, 株式会社日立製作所, 株式会社コーデンテクノインフォ及び当所の我が国 6 機関と欧州 5 機関との共同研究として実施された。



遠隔アンテナ局(RAU)の設置状況



遠隔アンテナ(RAU)による WiFi 端末の位置推定結果

掲載文献

- (1) 井上敏之, 村田博司, 池田研介, 角張泰之, 米本成人, 戸田裕之, 「5G 無線通信のためのフォトニック技術を用いたミリ波信号の生成と空間多重信号の分離・検出」, 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, BCS-1-6, 2016 年 9 月
- (2) Toshiyuki Inoue, Kensuke Ikeda, Yasuyuki Kakubari, Naruto Yonemoto, Nobuhiko Shibagaki, “Millimeter-Wave Wireless Signal Generation and Detection Using Photonic Technique for Mobile Communication Systems,” 2016 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), TuM1.8, Long Beach, CA, USA, 31 Oct.-3 Nov. 2016
- (3) 井上敏之, 村田博司, 角張泰之, 米本成人, 池田研介, 柴垣信彦, 戸田裕之, 眞野浩, 「アレイアンテナ電極電気光学変調器を用いたミリ波無線 Gb/s データ伝送」, 信学技報, vol. 116, no. 391, MWP2016-86, pp. 219-222, 2017 年 1 月
- (4) 池田研介, 村田博司, 井上敏之, 米本成人, 角張泰之, 柴垣信彦, 戸田裕之, 眞野浩, 「マイクロ波・ミリ波融合のためのフォトニックベース無線リンク」, レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会, 光通信 4, 光ファイバ無線技術, 2017 年 1 月

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森俊一

研究期間 平成27年度～平成29年度(3カ年)

1. はじめに

樹脂系複合材は、アルミニウム合金と比較して比強度が高く、高性能かつ機体の軽量化による運用コスト低減が達成できるため、民間航空機分野においてもその応用が進んでいる。航空機の内外における電磁環境特性について、従来の航空機では、携帯電子機器（PED）の影響評価手法および機内使用ガイドライン等が確立されているが、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）積層板等の樹脂系複合材を主要構造として用いた航空機における電磁環境特性は、詳細な電磁界伝搬特性等が明らかとなっていないため、詳細な調査検討が必要である。また将来、樹脂系複合材およびPED等の無線機器の使用は航空宇宙分野のみならず、自動車、鉄道など多くの分野での応用が期待されている。これまでに樹脂系複合材の電磁界特性の測定評価を行っているが、さらに、CFRP積層板で構成された構造体の電磁環境の高精度推定法と電磁環境両立性（EMC）評価手法が必要となっている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、CFRP積層板等の樹脂系複合材を主要構造として用いた構造体において、航空機等を具体例として、電磁干渉（EMI）影響を定量的に評価するための数値解析基礎技術と、将来の樹脂系複合材の広範な利用に向けたEMC技術を確立することである。本研究は3カ年計画であり、平成27年度から平成29年度まで、次の3項目について研究を進める。

- (1) 統計的均一電磁界評価系を用いたCFRP積層板電磁界特性の詳細評価・定量化技術
- (2) 小型航空機の干渉経路損失測定および数値モデル化
- (3) CFRP積層板を主要構造とした航空機の電磁環境および干渉経路損失の数値解析推定技術

3. 研究成果

今年度は、前述の3項目についてそれぞれ検討を行い、CFRP構造体内部の電磁界分布および構造体Q値の測定評価について、実航空機と同様に、リバブレーションチ



図1. 負荷装加リバブレーションチャンバの内部状況

ャンバ内に電磁波損失媒体を設置した場合を想定した負荷装加チャンバとして検討を行った。また、ビーチクラフトB300型機を用いた電磁界数値解析を実施した。

4. まとめ

樹脂系複合材を用いた次世代航空機における電磁界特性を明らかにするための具体的検討を行った。平成29年度はさらに実験と数値解析の両面から検討を進め、CFRP構造体の詳細な電磁界特性を明らかにする。

掲載文献

- (1) S.Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura and N. Yonemoto, “Investigation of Microwave Electromagnetic Field Characteristics inside Carbon Fiber Reinforced Plastic Structures -Fundamental Electromagnetic Characteristics of Composite Materials for Aircrafts-”, Proceedings of ICSANE2016, SANE2016-88, pp. 195-198, Nov. 2015.
- (2) ニッ森, 森岡, 河村, 米本, “電磁界損失媒体が航空機内部電磁界特性に与える影響-人体ファントムを設置した電波反射箱の構造体 Q 値測定評価-”, 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-4-40, p. 318, 2017 年 3 月

【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域
 担当者 森岡和行
 研究期間 平成27年度～平成30年度

1. はじめに

マルチユーザ MIMO(Multiple Inputs and Multiple Outputs)システムは、複数の端末と基地局の間で同時に MIMO伝送を行うことにより、システム全体の周波数利用効率を向上させる技術であり、近年盛んに研究が行われている。商用システムではLTE-Advanced, WiMAX2等において本技術の導入が行われている。航空通信分野においても、WiMAX規格に基づく次世代航空通信技術 AeroMACS(Aeronautical Mobile Airport Communications System)の検討が行われており、将来的にマルチユーザ MIMO技術の導入も期待される。

2. 研究の概要

本研究はJSPS科研費 15K18073の助成により行われている。4年計画の初年である平成27年度はマルチユーザ MIMOに対応した汎用無線端末評価システムの基本評価を実施してきた。平成28年度は2年目であり、シミュレーションと理論解析による航空通信向け信号処理方式及び変調方式の基礎検討を重点的に実施した。

3. 研究成果

今年度は、高い信頼性が求められる航空通信に適した MIMO方式として、Space Time Block Coded - Continuous Phase Modulation (STBC-CPM)方式について検討した。準直交符号(Q-OSTBC)は、符号の直交性は崩れるものの、送信レートが改善する特徴がある。そこで STBC-CPMに準直交符号を適用することによって周波数利用効率が改善できることを確認した [1]。図1に直交符号(OSTBC)と準直交符号(Q-OSTBC)を用いた場合のビット誤り率の比較を示す。図1より、準直交符号を用いることにより符号の直交性が崩れ、ビット誤り率が劣化している様子が分かる。図2にビット誤り率で正規化した周波数利用効率の評価結果を示す。準直交符号を用いる場合、ビット誤り率が劣化したにも関わらず、送信レートの改善によって、全体として周波数利用効率が改善している様子が分かる。

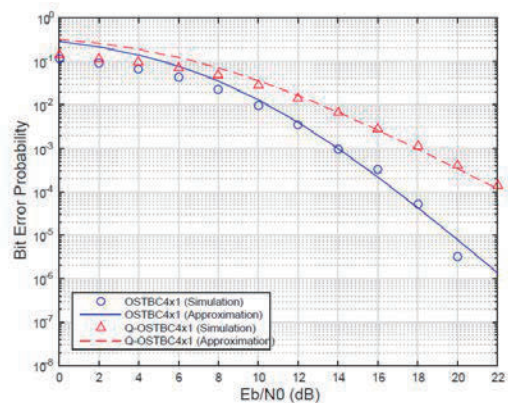


図1. ビット誤り率評価

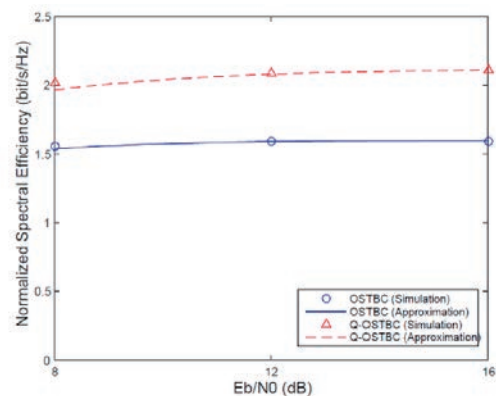


図2. 周波数利用効率評価

4. おわりに

今年度は、STBC-CPMに準直交符号を適用することによって周波数利用効率を改善できることを示した。次年度は、ソフトウェア無線を用いた評価システムの構築、評価システムを用いた提案方式の有効性評価等を実施する予定である。

掲載文献

- (1) K.Morioka, S.Yamazaki, D.Asano, “BER Approximation of BBOST-CPM with Quasi-OSTBC”, Proc. of the International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA) 2016.

担当領域 監視通信領域

担当者 ○古賀 禎，正田賢次郎（海上技術安全研究所），
福戸淳司（海上技術安全研究所），丹羽康之（海上技術安全研究所）

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

1. はじめに

近年これまでの海上における航行安全に関する施策や、レーダ・AIS (Automatic Identification System)・ECDIS (Electronic Chart Display and Information System：電子海図情報表示装置)・BNWAS (Bridge Navigational Watch Alarm System：船橋航海当直警報装置)等の航海支援機器の義務化，登録船舶数及び輻輳海域交通量の減少もあり，船舶の事故は漸減の傾向である。ただ衝突事故に関しては，下げ止まりの傾向であり平成 25 年度の事故隻数は前年より増加に転じた。衝突事故を起こしている船種としては，大半が 20 総トン未満の小型船舶である漁船とプレジャーボートで約 6 割弱を占めている。

AIS の搭載が義務化されているのは，例えば内航船では 500 総トン以上の船舶（外航船 300 総トン以上，旅客船は全て）のみであり，約 6,000 隻の内航船に占める割合は 2 割以下に過ぎない。また，約 36 万隻にのぼる小型船舶は AIS 搭載義務の対象外である。小型船舶は電波を透過しやすい FRP 製であることが多く，荒天時等の海面反射や雨雪反射によって，船体からのレーダエコーが埋没してしまうことがある。

2. 研究の概要

本研究では，広く普及している携帯端末に着目した。小型船舶では，より大きな商船等に装備される国際 VHF 無線電話は一般的では無いが故に，唯一の通信手段として操船者自身が携帯端末を所持することが非常に多い。携帯端末での交信中の発信電波や，移動中に複数の基地局セルから構成される位置エリアを越えた際，及び一定時間毎，また電波が弱まったときに発信される「位置登録」電波を受信し，電波な到来方位を探知する。電波の強度や，複数位置からの方位等から，電波発信源の位置範囲を特定，PC の地図上にマッピングし，航行中の見張り支援に資する。

また，探知した携帯端末の位置範囲を周辺の船舶と共有して目標の位置精度を上げることや，仮想の AIS ターゲットとして，レーダや ECDIS 上に重畳して表示し，航海機器が増えることによる船員の方々の見張りの負担

を減らすことについても，検討を行う。

3. 研究成果

3. 1 実験用携帯電波源探知装置 RF 部の製作

図 1 に電波源探知装置の全体構成を示す。携帯電波源探知装置の RF 部を製作した。図 2 に RF 部を示す。

3. 2 電波無響室における基礎実験

携帯電波源探知装置の RF 部を用いた基礎実験を行った。基礎実験では，無響室において携帯電話の利用する 800MHz 帯の信号を信号発生器から発信し，この信号を複数のアンテナおよび RF 部により受信し，受信波形をオシロスコープにて収集した。複数の信号を処理し，電波の到来方向を推定できることを確認した。

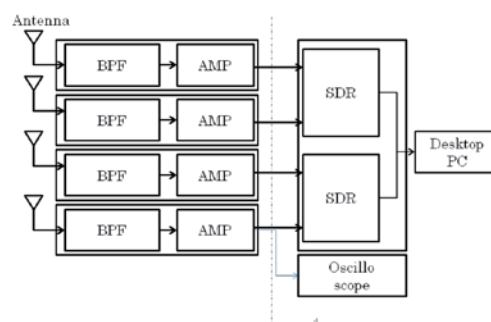


図 1. 実験用携帯電波源探知装置の全体構成

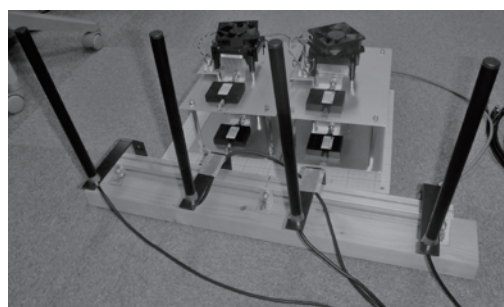


図 2. RF 部

4. まとめ

平成 28 年度は，実験用携帯電波源探知装置の RF 部の製作および電波無響室における基礎実験を行った。平成 29 年度は，電波源探知装置の全体構築および屋内およびフィールドにおける実験等を予定している。

担当領域 監視通信領域

担当者 本田純一

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

1. はじめに

電磁波散乱を含めた電波伝搬特性の解析は、無線システムの構成や機器性能要件等の算出のみに関わらず、すでに構築されたシステムで発生する検出率低下等の原因を突き止め、その解決方法を提示する上でも重要な研究に位置づけられる。航空分野では様々な無線システムが利用されており、またマルチパス等による機器性能低下が散見されるが、運用者には目に見えない電波を直観的に把握することが難しく、物理的な観点からの解決が後手に回ることが多い。

本研究は、航空分野で利用される、もしくは利用を期待される無線システムについて、環境に応じて解析手法を選択もしくは組み合わせたハイブリッド計算手法を開発し、運用者に電波の振る舞いを把握できるように可視化することを目的とする。また、精度の検証を行うために、他の研究テーマによる実験結果等を参照して、提案手法の妥当性についても検証する。

本年度は、過去に開発した解析手法による計器着陸装置（ILS）の電波干渉への応用と、複数の電磁界解析手法の習熟と FDTD 法については基本プログラムの開発を実施した。

2. 研究の概要

本研究は三カ年計画であり、本年度は下記を実施した。

- ① 簡易レイ・トレーシング法による ILS ローカライザのマルチパス解析への応用
- ② FDTD 法の基本プログラミングの実施

3. 研究成果

3. 1. 計器着陸システムへの応用

ILS ローカライザを複雑な地面に設置した場合のマルチパス干渉について、簡易レイ・トレーシング法を応用して数値計算を実施した（図 1，図 2）。数値計算の結果、アンテナ周辺が平面でなく、波長に対して起伏の大きい地面が存在する場合には、規定を満足しないことが判明した。精度については、今後検証する必要がある。

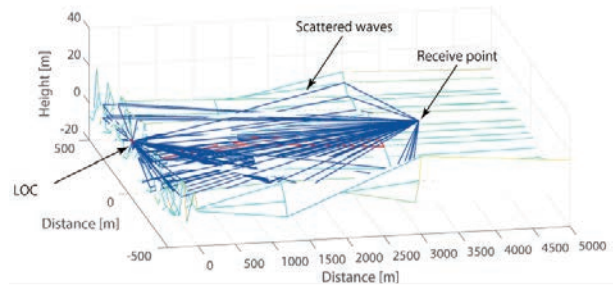


図 1：複雑な地面上の電波の航跡

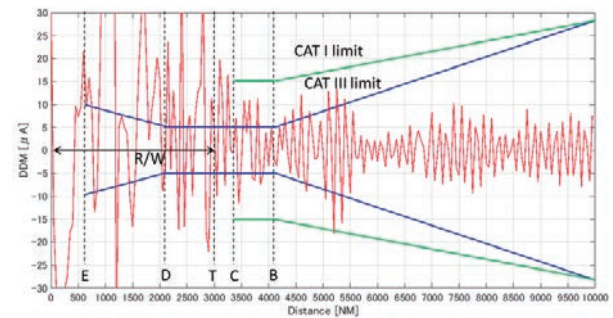


図 2：DDM 値（フィルタなし）

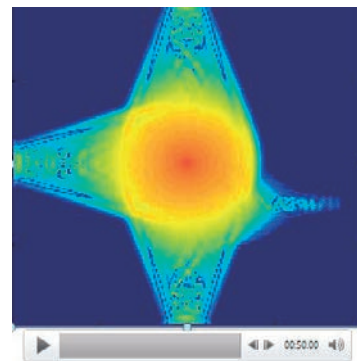


図 3：FDTD 法による伝搬解析

3. 2. FDTD 法による電波伝搬解析

MATLAB を用いて FDTD 法による基本プログラミングを実施した。図 3 で示すように伝搬の様子を可視化することができた。また電波伝搬の様子を動画にすることも可能とした。具体的な航空分野への応用と精度の検証はこれからの課題である。

4. まとめ

航空分野に応用するためのハイブリッド簡易高速電磁

界計算のアルゴリズムの開発を実施した。初年度は簡易レイ・トレーシング法の航空分野への応用と FDTD 法の基本プログラミングを実施した。次年度は他の電磁界解析手法のプログラミングと実験を実施する予定である。

この研究は、日本学術振興会における科学研究費助成事業若手(B)(16K18072)の資金助成を受けて実施された。

5. 所外発表

- (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.

担当領域 監視通信領域
担当者 本田純一，田嶋裕久
研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

1. はじめに

計器着陸装置（ILS）は、航空機が空港に安全に着陸するために重要な役割を果たしている。その中でも、ローカライザ（LOC）は、航空機に滑走路中心線からの左右の誤差を知らせる装置として多くの空港で運用されている。しかし、日本のように地形的・経済的に空港内への施設の用地確保が困難になる場合には、沿岸部の空港では、海上に用地を確保し LOC を設置することも今後考えられる。本研究は、このような将来構想を想定し、海上設置型の LOC について、その設置条件に関する研究を実施する。

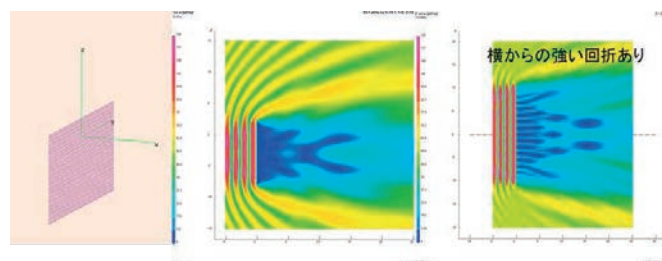


図 1: 遮蔽フェンスによる回折波の解析. 問題構成(左図), 横から見た結果(中図), 上から見た結果(右図).

2. 研究の概要

本研究は三カ年計画であり、本年度は下記を実施した。

- ① 関連研究の動向調査
- ② 電磁界解析手法の取りまとめ
- ③ 遮蔽フェンスによる電磁波散乱解析

3. 研究成果

モーメント法を使って遮蔽フェンスによる電磁界散乱の計算を実施した。計算の結果、水平偏波となる LOC は、フェンス上端からの回折よりも横からの回折波が大きいことが判明した。この結果は、海上設置型 LOC において、防潮堤などからの回折波や海面からの乱反射を抑えることに応用が期待される。

4. まとめ

海上設置型 LOC について、その設置条件に関する研究を実施した。初年度は、関連研究の動向調査と遮蔽フェンスによる回折波の解析を実施した（図 1）。今後は、海面からの影響について数値解析を実施する予定である。

この研究は、日本学術振興会における科学研究費助成事業基盤研究(C)(16K06364)の資金助成を受けて実施された。

4 研究所報告

当研究所の平成28年度における研究所報告は、発行されなかった。

No	発行年月	論文名	領域名	著者
		発行なし		

5 受託研究

当研究所の平成28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
AS355搭載機器の経路損失試験	(株) ウェザーニューズ	河村 暁子
平成28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サービスの性能補償に係る作業支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
衛星航法システムにおける補強システム (GBAS関連等) の動向調査に関する技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	福島 荘之介
24GHzアンテナの開発支援	上田日本無線 (株)	米本 成人
エンブライエル式ERJ190-100STD型の搭載機器の経路損失試験	(株) ジェイエア	米本 成人
Kuバンド (17GHz) DBFレーダの校正と制度計測	アルウェットテクノロジー (株)	米本 成人
Bell429搭載機器の経路損失試験	(株) ウェザーニューズ	河村 暁子
洋上縦 (時間) 間隔衝突危険度推定手順策定に係る支援作業	(一財) 航空交通管制協会	森 亮太
PED耐性の適合証明方法調査 (その3) D0-307 4項玄関結合一地上IPL試験方案作成作業	三菱航空機 (株)	米本 成人
ミリ波アンテナの開発支援	NECネットワークプロダクツ	河村 暁子
AW109SP搭載機器の経路損失試験	(株) ウェザーニューズ	河村 暁子
GBAS導入のための技術的条件に関する調査検討の支援 (ENRI)	(株) 三菱総合研究所	福島 荘之介
ATR42-500 (600 Vresion) 型搭載機器の経路損失試験	日本エアコミューター (株)	米本 成人
電磁波遮蔽容器の健全性確認に関する測定支援業務	全日本空輸 (株)	米本 成人
受動型SSR装置による空域監視情報の利便化・高信頼化に係る調査	(一財) 空港環境整備協会・リオン (株)	塩見 格一
ILS整備に係る障害物件等影響調査の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	本田 純一
RNAV運航に求められる衛星航法補強システム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	麻生 貴広
平成28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	(株) 三菱総合研究所	岡 恵
衛星航法監視装置整備に関する要件調査支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
平成28年度戦略的イノベーション創造プログラム (自動走行システムの実現に向けた衛星測位情報活用) に係る調査	アイサンテクノロジー (株)	坂井 丈泰

件名	委託元	実施主任者
平成28年度将来の航空交通システムに関する長期ビジョンの実現のための計画の策定等に関する調査分析支援	(株) 三菱総合研究所	岡 恵
準天頂衛星を利用したS B A S整備に係る認証作業における安全性評価技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	麻生 貴広
高松空港ローライザー前方域カウンターポイズ方式の要件調査支援	(株) 日本空港コンサルタンツ	本田 純一
同時平行RNAV進入方式に関する飛行状況データ解析支援	(一財) 航空交通管制協会	天井 治
植生に対するマイクロ波の透過・反射特性の計測実験	アルウェットテクノロジー (株)	米本 成人

6 共同研究

当研究所の平成28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	三菱電機株式会社	後方乱気流検出装置による観測データ収集に関する研究	H23. 9. 27 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	日本電気株式会社	WAMにおけるモードA/C機測位に関する共同研究	H24. 2. 24 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	ヘリコプタの障害物警報システムに関する共同研究 (その2)	H26. 4. 1 ~ H30. 3. 31
	北海道放送株式会社		
監視通信領域	北海道大学	航空機における電磁干渉影響評価に関する研究	H26. 5. 9 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	金沢工業大学	ステルス技術の研究	H26. 6. 10 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	福井医療短期大学	高次脳機能障害等の患者、学生、医療従事者に関する発話音声解析システムの適用の研究	H26. 8. 1 ~ H29. 3. 31
	三菱スペース・ソフトウェア株式会社		
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発	H26. 8. 22 ~ H31. 3. 31
	公益財団法人鉄道総合技術研究所		
	株式会社KDDI研究所		
	株式会社日立製作所		
監視通信領域	株式会社高田RF技術研究所	広帯域ミリ波回路の研究	H26. 9. 11 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	大阪大学	高密度ユーザ集中環境下におけるフォトニックネットワーク技術を用いた次世代無線技術の研究	H26. 10. 1 ~ H29. 9. 30
	学校法人同志社		
	一般財団法人電力中央研究所		
	株式会社日立製作所		
	コーデンテクノインフォ株式会社		
航法システム領域	電気通信大学	プラズマバブルの衛星航法への影響に関する共同研究	H26. 11. 12 ~ H30. 3. 31
航法システム領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	アジア太平洋地域における準天頂衛星初号機を用いた補強効果に関する共同研究	H26. 11. 28 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	青森大学	降雪・積雪の1090MHz信号伝搬に与える影響についての研究	H26. 12. 15 ~ H29. 3. 31
監視通信領域	九州大学	監視情報を用いた飛行状態のオンライン推定技術の研究	H27. 2. 24 ~ H29. 3. 31
航法システム領域	タイ王国モンクット王工科大学ラカバン	Ionospheric TEC Characterization Program 2015	H27. 3. 31 ~ H32. 3. 31
監視通信領域	琉球大学	低緯度域におけるADS-B信号伝搬に関する研究	H27. 5. 1 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	名古屋大学	ADS-Bを用いた航空交通管理に関する研究及び電離圏擾乱がADS-B放送位置に与える影響の研究	H27. 7. 1 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	九州大学	効率の高い経路算出手法の研究	H27. 7. 1 ~ H29. 3. 31
航法システム領域	東京海洋大学	擬似距離マルチパス誤差の移動体速度との関係に関する研究	H27. 7. 1 ~ H28. 3. 31
監視通信領域	釧路工業高等専門学校	ADS-B信号の高性能受信技術の研究	H27. 7. 29 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	東北大学	予防安全のための状況認識支援に関する研究	H27. 8. 20 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	室蘭工業大学	高速無人航空機監視システムの研究	H27. 8. 4 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	新潟大学	バイスタティック測位方式による航空機監視技術の基礎的研究	H27. 9. 16 ~ H30. 3. 31
航空交通管理領域	東京大学	目立ちやすさの定量化とユーザーインターフェース評価への応用	H27. 10. 8 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	北海道大学	アレーアンテナを用いた航空機発信情報の整合性検証技術の研究	H27. 10. 19 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	首都大学東京	ADS-B情報を用いた航空機における軌道予測精度の向上技術の研究	H27. 10. 26 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	金沢工業大学	航空機監視情報を用いた飛行特性の抽出分析技術の研究	H27. 10. 28 ~ H30. 3. 31
監視通信領域	海上保安大学校	海上保安業務に資する航空機監視データ利用法に関する研究	H27. 11. 5 ~ H31. 3. 31
監視通信領域	鹿児島大学	火山噴火が航空機監視システムに与える影響についての研究	H27. 11. 17 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	(国研) 防災科学技術研究所	GNSS受信信号から得られる積雪観測量の長期評価と利用に関する研究	H27. 11. 27 ~ H29. 6. 30
監視通信領域	早稲田大学	光通信による無線通信の高速化に関する研究	H27. 12. 8 ~ H31. 3. 31
航法システム領域	京都大学	航空機の安全運航に資する次世代気象センサーに関する研究	H27. 12. 18 ~ H30. 3. 31

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
航法システム領域	気象研究所	SSRモードS気象データによる数値予報の精度向上と航空機の安全運航に関わる気象予測情報の高度利用に関わる研究	H27.12.24 ~ H31.3.31
監視通信領域	日本電気株式会社	Mini Global II Demonstration に関する実験システムの開発	H28.3.1 ~ H28.5.31
航法システム領域	(国研)宇宙航空研究開発機構	GBASの利用性向上に係わる研究開発(その3)	H28.4.1 ~ H30.3.31
監視通信領域	日本無線株式会社	光ファイバ接続型受動型監視システムの遠隔クロック同期技術の基礎的研究	H28.5.25 ~ H30.3.31
監視通信領域	(国研)情報通信研究機構	レーダー反射断面積の高精度測定に関する研究	H28.5.27 ~ H33.3.31
航空交通管理領域	東京大学	最適な飛行方式設計に関する研究	H28.6.1 ~ H30.3.31
監視通信領域	福岡工業大学	地上デジタル放送波を利用したバイスタティックレーダシステムに関する研究	H28.7.21 ~ H30.3.31
航空交通管理領域	気象庁気象研究所	避雷飛行支援システムの研究開発	H28.8.1 ~ H30.3.31
	(国研)宇宙航空研究開発機構		
航空交通管理領域	三菱電機株式会社	リモート管制空港業務のための基礎技術研究	H28.8.4 ~ H29.3.31
監視通信領域	東北大学	受信型航空機動態情報を用いた短期気象予測精度の向上技術の研究	H28.8.17 ~ H31.3.31
航法システム領域	日本電気株式会社	準天頂衛星システムを用いた高精度衛星測位補強技術の開発及び実証実験	H28.10.31 ~ H29.3.31
監視通信領域	アビコム・ジャパン株式会社	AeroMACS実験	H28.12.13 ~ H30.3.31
航法システム領域	三菱電機株式会社	後方乱気流検出装置による高頻度かつ複合的な観測データ収集に関する研究	H28.12.15 ~ H30.3.31
監視通信領域	(国研)情報通信研究機構	90GHz帯リニアセルによる高精度イメージング技術の実証研究	H29.3.31 ~ H30.3.31
	公益財団法人鉄道総合技術研究所		
	早稲田大学		
	株式会社日立国際電気		

7 研究発表

(1) 第16回研究発表会（平成28年6月9日, 10日）

ー EIWAC2015基調講演に見るATM/CNSの将来展望

研究統括監 小瀬木 滋

1. 成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証

航空交通管理領域 山田 泉

住谷 美登里

青山 久枝

マーク ブラウン

2. 軌道ベース運用における二次元飛行経路に関する一考察

航空交通管理領域 平林 博子

マーク ブラウン

ビクラマシンハ ナヴィンダ

3. 航空機の質量と気象データが運航性能推定に及ぼす影響

航空交通管理領域 ビクラマシンハ ナヴィンダ

マーク ブラウン

4. 中期コンフリクト検出技術の必要性と課題

航空交通管理領域 平林 博子

瀬之口 敦

白川 昌之

5. メッシュ型航空機間コンピュータネットワークの提案

長崎県立大学情報システム学部 金谷 一朗

6. 継続上昇運航（CCO）に関する研究

横浜国立大学 上野 誠也

航空交通管理領域 虎谷 大地

7. 関西空港への継続降下運航（CDO）の現状と改善点

航空交通管理領域 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

8. RNP AR機最優先方式での従来機との混合運用の可能性

航空交通管理領域 天井 治

松岡 猛

9. アジア太平洋地域電離圏脅威モデルの開発

航法システム領域 齋藤 亨

吉原 貴之

坂井 丈泰

10. 高精度なRAIM予測に向けた提案

航法システム領域 麻生 貴広

坂井 丈泰

毛塚 敦

北村 光教

11. GBASに適合した衝突危険度モデルの開発と現状

航空交通管理領域 森 亮太

航法システム領域 福島 荘之介

12. GPS L5信号の新航法メッセージの利用可能性

航法システム領域 北村 光教
麻生 貴広
坂井 丈泰

13. ILSローカライザと隣接帯域の新放送システムとの
共用条件の検討

航法システム領域 福島 荘之介
齊藤 真二

14. 滑走路異物探知用ミリ波レーダシステムの実証実験

監視通信領域 ニッ森 俊一
日立製作所 紫垣 信彦
監視通信領域 森岡 和行
河村 暁子
岡田 国雄
米本 成人

15. SWIM実証実験の報告と分析

監視通信領域 呂 暁東
古賀 禎
住谷 泰人
塩見 格一

16. ハイブリッド監視システムによる航空機監視実験

監視通信領域 古賀 禎
呂 暁東
宮崎 裕己
松永 圭左
角張 泰之
小菅 義夫

17. WAM受信局配置設計に向けた信号検出率測定

監視通信領域 長縄 潤一
宮崎 裕己
田嶋 裕久

18. マルチスタティックレーダによる航空機監視技術の
研究について

監視通信領域 本田 純一
大津山 卓哉

19. LDACS1のビット誤り率特性の改善

監視通信領域 北折 潤
塩見 格一

20. AeroMACSの基地局配置及びハンドオーバーに関する検討

監視通信領域 森岡 和行
長縄 潤一
本田 純一
金田 直樹
ニッ森 俊一
河村 暁子
富田 武
米本 成人
住谷 泰人

21. 発話音声で個々人の日常的健全性の確認を

監視通信領域 塩見 格一

(2) 所外発表

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Antenna De-embedding in WBAN Channel Modeling using Spherical Wave Functions: Transmit Antenna Model Validation (無線ボディアエリアネットワークチャネルモデリングにおける球波動関数を用いたアンテナの分離: 送信アンテナモデルの検証)	長縄潤一 高田潤一 (東京工業大学) 青柳貴洋 (東京工業大学) 金 ミンソク (新潟大学)	平成28年4月	The 10th European Conference on Antennas and Propagation
Experimental Study of Aircraft Positioning by DTTB Signal Delay (DTTB信号遅延による航空機監視の実験的研究)	本田純一 大津山卓哉	平成28年4月	Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications
Status Update on MSPSR Developmet (MSPSR開発の現状報告)	本田純一 大津山卓哉	平成28年4月	ICAO SP 3rd ASWG
Revision to Doc 9924 Guidance Material on Passive Acquisition (受動捕捉に関する航空監視マニュアルのガイダンス改定)	宮崎裕己 長縄潤一	平成28年4月	ICAO SP 3rd ASWG
TRACK KEEPING PERFORMANCE ANALYSIS USING QAR DATA (QARデータを用いた経路維持性能の解析)	森亮太	平成28年4月	ICAO IFPP 13-3
Improvement way of WAM localization by applying smoothed altitude information (平滑化高度情報を適用したWAM測位の改善方式)	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸 (長崎大学)	平成28年4月	German Institute of Navigation
Flight Trajectory Optimization for Operational Performance Analysis of Jet Passenger Aircraft (軌道最適化による旅客定期便の運航性能評価)	ナグインダ キトマル ビクラマシハ マーク・アラウ 福田豊 Yuto Miyamoto (九州大学) Akinori Harada (九州大学) Tomoyuki Kozuka (九州大学) Sadanari Shigetomi (九州大学) Yoshikazu Miyazawa (九州大学)	平成28年4月	日本航空宇宙学会 第47期年会講演会
A Self-separation Algorithm using Relative Speed for a High-density Air Corridor (飛行速度差を用いた高密度航空交通流における自律間隔維持アルゴリズム)	中村陽一 武市昇 (首都大学東京) 藤山康太	平成28年4月	日本航空宇宙学会 第47期年会講演会
Ionospheric monitoring by using GEONET real-time data (GEONETリアルタイムデータを用いた電離圏モニタリング)	齋藤享	平成28年4月	京都大学通信情報システム専攻談話会
ENRI status report (GBAS研究の状況報告 (電子航法研究所))	福島荘之介	平成28年4月	17th International GBAS Working Group (I-GWG17)
Flight simulation of transition from RNP to xLS final (RNPからxLSへの接続に関する飛行シミュレーション)	福島荘之介 森亮太 藤原直樹 (全日本空輸株式会社)	平成28年4月	17th International GBAS Working Group (I-GWG17)
Activities of Ionospheric Studies Task Force (ISTF) in the APAC region (アジア太平洋地域における電離圏問題検討タスクフォース (ISTF) の活動について)	齋藤享 ICAO APANPIRG ISTF参加メンバー (ICAO APANPIRG ISTF)	平成28年4月	17th International GBAS Working Group (I-GWG17)
Preliminary results of ionospheric gradient evaluation around Bankok International Airport (バンコク国際空港周辺の電離圏勾配の初期解析結果)	齋藤享 Tamawoot Pocathikorn (AEROTHAI) Yuranan Limpanamvadee (AEROTHAI)	平成28年4月	17th International GBAS Working Group (I-GWG17)
GAST-D validation at Ishigaki (石垣島におけるGAST-D検証について)	齋藤享 吉原貴之 毛塚敦 齋藤真二 福島荘之介	平成28年4月	17th International GBAS Working Group (I-GWG17)
An Experimental Evaluation on Handover Performance of AeroMACS Prototype (AeroMACS実証機のハンドオーバー性能に関する実験的評価)	長縄潤一 森岡和行 金田直樹 本田純一 富田武 田嶋裕久 二ツ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成28年4月	2016 Integrated Communications, Navigation, and Surveillance (ICNS) Conference

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
光2 通信により生成した92GHz PSK信号の品質評価	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成28年4月	電子情報通信学会 マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会
CARATS研究開発課題報告：RNPからILS/GLSに接続する飛行方式の設計に関する検討	福島荘之介	平成28年4月	第13回CARATS PBN検討WG会議(航空局)
研究開発課題報告「最適な飛行方式設計に関する研究」	森亮太	平成28年4月	CARATS 高規格RNAVSG
Technical Overview and Lessons Learned of JCAB (Mini Global IIに関する開発概要と経験)	呂東暁	平成28年4月	Mini Global II Demonstration
航空路管制業務における到着間隔設定プロセス可視化手法の機能評価	狩川大輔 青山久枝	平成28年4月	ヒューマンインタフェース学会
Coordinated observations of F region 3-m field-aligned plasma irregularities associated with medium-scale travelling ionospheric disturbances (中規模伝搬性電離圏擾乱に伴う電離圏F領域における3 m規模沿磁力線不規則構造の協調観測)	F. F. Lin (台湾国立中央大) C. Y. Wang (台湾中華文化大) C. L. Su (台湾国立中央大) 塩川和夫(名古屋大) 齋藤享 Y. H. Chu (台湾国立中央大)	平成28年4月	American Geophysical Union
A Proposal of Electromagnetic Field Analysis Method for Airport Surface in VHF Band (VHF帯における空港面電磁界解析手法の提案)	加藤涼(青山学院大) 須賀良介(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成28年5月	13th International Workshop on Finite Elements for Microwave Engineer
航空機監視システムとその高度化事例	角張泰之	平成28年5月	計測自動制御学会 会誌 「計測と制御」
Speed Error Dependency and Associated Position (速度誤差の依存性とそれに関連した位置)	森亮太	平成28年5月	ICAO SASP 28th WG
AeroMACS Prototype Base Station Coverage and Handover Performance (AeroMACSの基地局覆域及びハンドオーバーの性能)	森岡和行 金田直樹 長縄潤一 本田純一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成28年5月	ICAO CP 10th WG-S
Outline of Continuous Descent Operation(CDO) in Japan (日本でのCDO概要)	平林博子	平成28年5月	米国ヒューストンにおけるヒューストンメトロプレックスによる運用改善の調査
Expansion of Continuous Descent Operation Operative Time in the Kansai International Airport (関西国際空港におけるCDO運用時間拡大について)	福島幸子	平成28年5月	米国ヒューストンにおけるヒューストンメトロプレックスによる運用改善の調査
Electronic Navigation Research Institute(ENRI) (電子航法研究所)	中島徳顕	平成28年5月	5th Conference on International Air Transport Cooperation
航空機監視システムの高度化	宮崎裕己	平成28年5月	自動車技術誌
The Research and Development of SWIM in ENRI (SWIMに関するENRIの研究開発)	呂曉東 仲田貴文	平成28年5月	ICAO SWIM Workshop
R&D Status in Japan (SBAS研究の状況報告(電子航法研究所))	麻生貴広	平成28年5月	第30回国際SBASワーキンググループ会議 (IWG-30)
国別研修(ミャンマー)「RADAR専門教官の能力向上研修」	森岡和行	平成28年5月	独立行政法人国際協力機構(JICA)
航空機対の近接認識調査による航空管制の難度指標の較正	長岡栄 平林博子 マク・ブラウ	平成28年5月	電子情報通信学会 安全性研究会
An Early Opportunity of L5 SBAS Experiment for GNSS Receiver Manufacturers (GNSS受信機製造者のためのL5 SBAS実験の早期の機会)	坂井丈泰	平成28年5月	COSMOS2020-JEUIPSTE Workshop on SPACE in HORIZON 2020
運転士・操縦士の健全性確保のための技術開発の経緯と現状	塩見格一	平成28年5月	日本航海学会 第134回講演会
Space weather effects on aeronautical communication, navigation and surveillance systems (航空CNSシステムに対する宇宙天気の影響について)	齋藤享 石井守(情報通信研究機構)	平成28年5月	日本地球惑星科学連合2016年大会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Status of ENRI's Communication R&D Program for RTCA SC223 (RTCA SC223向けのENRI通信関連研究の状況)	住谷泰人	平成28年6月	RTCA SC-223
Collaboration Strategy toward global harmonization (世界的調和に向けての協力戦略)	工藤正博	平成28年6月	RTCA2016世界航空シボジウム
GBAS Research and development status in Japan (日本におけるGBASに係わる研究開発状況)	吉原貴之 齋藤享	平成28年5月	ICAO NSP 1st JWG
Status of Ionospheric Threat Assessment in the Asia-Pacific Region by the Ionospheric Studies Task Force (アジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォースによる電離圏脅威の評価状況について)	齋藤享	平成28年6月	ICAO NSP 1st JWG
Modifications to Example SARPs Ionospheric Gradient Threat Model to Represent Plasma Bubbles in Equatorial Regions (WP#7) (SARPsにおける電離圏脅威モデル例に対する赤道域プラズマバブルを反映した修正について)	S. Pullen (米・Stanford大) 齋藤享 J. Lee (韓国・KAIST)	平成28年6月	ICAO NSP 1st JWG
Design and Field Feasibility Evaluation of Distributed-Type 96 GHz FMCW Millimeter-Wave Radar Based on Radio-over-Fiber and Optical Frequency Multiplier (Radio-over-Fiberおよび光周波数変倍器を用いた96GHz帯FMCWミリ波レーダの設計法および実現可能性評価試験)	二ツ森俊一 森岡和行 河村曉子 岡田国雄 米本成人	平成28年6月	The Institute of Electriccal and Electronics Engineers
Status Update on MSPSR Developmet (MSPSR開発のステータスアップデート)	本田純一 大津山卓哉	平成28年6月	ICAO SP 3rd ASWG TSG
Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment (空港面1030/1090MHz信号環境の予備解析結果)	大津山卓哉 本田純一	平成28年6月	ICAO SP 3rd ASWG TSG
Doc 9924 CP for Passive Acquisition (受動捕捉に関するDoc9924 (航空監視マニュアル) 改定提案)	長縄潤一 宮崎裕己	平成28年6月	ICAO SP 3rd ASWG TSG
ミリ波レーダの基礎と各種計測法およびCORS製品による現実方法	二ツ森俊一	平成28年6月	日本テクノセンター技術セミナー
Real-time motion detection for high-assurance aircraft tracking system using Downlink Aircraft Parameters (高信頼航空機追尾システムのためのDAPsに基づいたリアルタイム運動検知)	呂曉東 古賀禎	平成28年6月	Simulation Modelling Practice and Theory
スマートフォンにより収録される音声から如何に発話者の覚醒度を評価するか	塩見格一	平成28年6月	第70回日本交通医学会総会
航空機の燃料消費の観点からの管制処理戦術評価ツール	中村陽一 青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	平成28年6月	日本人間工学会第57回大会
Safety-IIの観点に基づく飛行場管制業務の分析(2)-航空管制官の暗黙知に関する考察-	青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	平成28年6月	日本人間工学会 第57回大会
Safety-IIの観点に基づく飛行場管制業務の分析(1)-業務の特長抽出の試み-	青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	平成28年6月	日本人間工学会 第57回大会
スマートフォンをプラットフォームにしたカオス論的音声分析評価	塩見格一	平成28年6月	日本人間工学会 第57回大会
ミニグローバルデモンストレーション2への参加報告	呂東曉	平成28年6月	CARATS第23回情報管理検討WG
航空管制の技術	小瀬木滋	平成28年6月	慶応大学理工学部特別講義

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Numerical Estimation of WAIC-band Propagation Characteristics in Aircraft Cabin Using Large-Scale FDTD analysis (大規模FDTD数値解析を用いたWAIC帯域における航空機内電波伝搬推定)	日景隆 (北海道大学大学院情報科学研究科) 矢萩幹人 (北海道大学大学院情報科学研究科) 白船雅巳 (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) ニッ森俊一 河村暁子 米本成人	平成28年6月	2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting
受動型SSR装置の今は昔	塩見格一	平成28年7月	CQ出版社
Influences of 3D Aircraft Model to ILS Localizer (三次元航空機モデルのILSローカライザーに及ぼす影響)	本田純一 田嶋裕久 大津山卓哉 横山尚志 (日本航空コンシェルD&T)	平成28年7月	International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive System
Report of ionospheric studies task force activities (電離圏問題検討タスクフォースの活動報告)	齋藤享 坂井丈泰 吉原貴之 Sam Pullen (Stanford大) Jiyun Lee (KAIST) 石井守 (NICT) Fredeic Lecat (ICAO)	平成28年7月	第20回APANPIRG CNSサブグループ会議
Developing an Air Traffic Control Difficulty Index Using Aircraft Trajectory Information (航空機軌道情報を用いる航空交通管制の難度指標の開発)	長岡栄 マーク・ブロン	平成28年7月	EURO 2016 (28th Conference on Operation Research)
先行機ダウンリンクデータを用いた後続機の風予報精度向上に関する考察	手塚亜聖 (早稲田大学) 瀬之口敦	平成28年7月	第48回流体力学講演会
RAPID demonstrator for Akagi & Stadium (赤城とスタジアムで使用するRAPIDデモ機)	米本成人	平成28年7月	RAPID 5G Webサイト
60 GHz Central Station Development (60GHz中央局の開発)	米本成人 角張泰之 柴垣信彦 (日立製作所)	平成28年7月	RAPID 5G Webサイト
光ファイバ接続型パッシブレーダによる航空機検出	大津山卓哉 本田純一	平成28年7月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
GNSS信号の受信強度及び搬送波位相変動を用いた積雪面反射特性の解析	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)	平成28年7月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
空港環境における光ファイバ接続型96GHz帯広域FMCWミリ波レーダの距離分解能特性評価	ニッ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	平成28年7月	電子情報通信学会 マイクロ波・ミリ波フォトンクス研究会
日本における航空管制と交通ネットワークの現状と展望について	古賀禎	平成28年7月	室蘭工業大学院博士前期課程 生産システム工学系専攻 航空宇宙総合コース講義「生産システム工学概論」
成田空港における空港面交通シミュレーション	山田泉 青山久枝 住谷美登里	平成28年7月	日本航空との意見交換会
光ファイバー無線を活用したレーダー、通信システムの研究開発	米本成人	平成28年7月	エイトラムダフォーラム
有人航空機の衝突回避の現状 ～小型無人機への拡張性～	河村暁子	平成28年7月	COCN災害対応ロボット推進連絡会事務局
オープンソースGNSSライブラリを用いた遊歩道環境での自律移動ロボットナビゲーションのための位置推定	塚越貴哉 (早稲田大学) 明比建 (早稲田大学) 北村光教 鈴木太郎 (早稲田大学) 天野嘉春 (早稲田大学)	平成28年8月	計測自動制御学論文集 第52巻 5号
Creating an Airport Runway Foreign Object Debris Detection System Based on Millimeter-Wave Radar (ミリ波レーダを中心とした滑走路異物探知システムの構築)	ニッ森俊一	平成28年8月	NIWeek 2016 (The 22nd annual technical conference)
GNSS Summer School Class B: GNSS Positioning Programming (GNSSサマースクール クラスB: GNSS測位プログラミング)	坂井丈泰	平成28年8月	GNSS Summer School 2016 (主催: 測位航法学会)

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
ILSとV-Lowマルチメディア放送の周波数共用検討	福島荘之介	平成28年8月	航空振興財団 航法小委員会
第17回国際GBAS WG会議 (I-GWG17)のトピック	福島荘之介	平成28年8月	新たな進入・出発方式導入に向けた調査・研究WG
距離、角度、ドップラーを観測地とするレーダ用の等速直線運動モデルを使用した追尾フィルタの初期値	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成28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
ヘリコプタ障害物探知用76GHz帯小電力ミリ波レーダにおける送電線探知性能向上のためのアンテナ偏波特性検討-円偏波による送電線レーダ反射断面積特性評価-	ニッ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	平成28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
TDOAとTSOAにおける測位誤差の比較	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸 (長崎大学)	平成28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
リアルタイム3次元トモグラフィーによる電離圏擾乱観測	齋藤享 鈴木翔大 (京大生存圏研 現スエアエニックス) 山本衛 (京大生存圏研) 齋藤昭則 (京大理)	平成28年8月	中間圏・熱圏・電離圏研究集会
Analysis of Controller's Working Methods Supporting Safe and Efficient Air Traffic Operations. (安全かつ効率的な航空オペレーションを支える管制官の業務処理手法の分析)	狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科) 青山久枝	平成28年9月	The 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium HMS2016
Study of Passive Aircraft Surveillance Radar using DTTB Singal Delay (地デジ信号遅延を使った受動型航空機監視レーダの検討)	大津山卓哉 本田純一	平成28年9月	International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications
Practical Design based on User Experience Approach for Remote Aerodrome Flight Information Services (他飛行場援助業務のためのユーザー体験型アプローチに基づくデザインの実践)	井上諭 山崎和彦 (千葉工業大学) 長塩真也 (千葉工業大学)	平成28年9月	International Federation of Automatic Control
IMPROVEMENT OF PUSHBACK TIME ASSIGNMENT UNDER UNCERTAINTIES (不確定性を考慮したプッシュバック時間設定の改善手法)	森亮太	平成28年9月	30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences(ICAS2016)
NOVEL PILOT CONTROL MODEL WITH STOCHASTIC AND PERIODICAL MOVEMENT (確率的かつ周期的特徴を持つパイロット操舵モデル)	森亮太	平成28年9月	30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences(ICAS2016)
Visualization of Airspace Complexity Based on Air Traffic Control Difficulty (航空管制難度指標に基づく空域複雑性の可視化)	平林博子 マクアラウ 長岡栄	平成28年9月	30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences(ICAS2016)
Benefits Assessment on Time-Based Oceanic Arrivals to the Tokyo Metropolitan Area (首都圏への到着時刻指定運航における便益評価)	ナグインタ キトマル ヒクラマシハ 福島幸子 平林博子	平成28年9月	30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences(ICAS2016)
Detection Characteristic Evaluations of Optically-Connected Wideband 96GHz Millimeter-Wave Radar for Airport Surface Foreign Object Debris Detection (滑走路面異探知用光ファイバ接続型広帯域96GHzミリ波レーダ特性評価試験)	ニッ森俊一 森岡和行 岡田国雄 河村暁子 米本成人	平成28年9月	41st International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz
「機能」の観点からの飛行場管制業務の分析	青山久枝 狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科)	平成28年9月	ヒューマンインタフェース学会 ヒューマンインタフェースシンポジウム2016
飛行場管制業務における情報源の分析	狩川大輔 (東北大学大学院工学研究科) 青山久枝	平成28年9月	ヒューマンインタフェース学会 ヒューマンインタフェースシンポジウム2016

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Regional ionospheric threat model for GBAS (アジア太平洋地域GBAS電離圏脅威モデル)	齋藤享 吉原貴之 坂井丈泰 Surendra Sunda (インドAAI) Jiyun Lee (韓国KAIST) Sam Pullen (米Stanford大) Slamet Supriadi (インドネシアLAPAN) Fredeic Lecat (ICAO)	平成28年9月	第27回APANPIRG会議
継続上昇運航(CCO)に関する研究	虎谷大地	平成28年9月	航空交通管制協会
無人航空機の世界～ドローンから超大型機まで～	河村暁子	平成28年9月	自動車技術会第3回エレクトロニクス部門委員会
航空管制の難度指標と交通状況の対応付けの試み	長岡栄 平林博子 マク・アラウ	平成28年9月	日本航海学会 AUNAR研究会
空の旅を科学する：人工知能がひらく！？ 21世紀の「航空管制」	伊藤恵理	平成28年9月	河出書房新社
Proposal to include 90-GHz band for railway radiocommunication system between train and trackside under WRC-19 agenda Item 1.11 (WRC-19議題1.11で列車、線路脇間の鉄道無線通信システムに90GHz帯を追加する提案)	小川博世(NICT) 川西哲也(NICT) 菅野敦史(NICT) 柴垣信彦(日立製作所) 川崎邦弘(鉄道総研) 米本成人	平成28年9月	Meeting of Asia-Pacific Telecommunity Wireless Group
航空通信・航法・監視システムに影響する宇宙天気現象 について	齋藤享 石井守(NICT) 坂井丈泰	平成28年9月	日本航空宇宙学会 第60回宇宙科学技術連合講演会
7機体制QZSSの測位精度性能に関する基礎検討	伊藤憲 坂井丈泰	平成28年9月	日本航空宇宙学会 第60回宇宙科学技術連合講演会
次世代SBASにおける準天頂衛星軌道の利用	北村光教 麻生貴広 坂井丈泰 星野尾一明	平成28年9月	日本航空宇宙学会 第60回宇宙科学技術連合講演会
VHF帯空港区電磁界解析手法に対する建物及び地形条件の 影響	加藤涼(青山学院大) 須賀良介(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成28年9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
航空交通の運用データとその活用	岡恵	平成28年9月	FIT2016第15回情報科学技術フォーラム
アジア太平洋地域における電離圏全電子数勾配特性	齋藤享	平成28年9月	第10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周波水平風の特性評価と活用について	吉原貴之 毛塚敦 齋藤享 古賀禎 瀬之口敦 古本淳一(京大大学生存圏研究所)	平成28年9月	第10回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
GBASと高度運航方式の研究開発動向	福島莊之介	平成28年9月	第3回航空機騒音勉強会
PACOTS Traffic Flow Analysis (PACOTS交通の交通流解析)	平林博子	平成28年9月	IPACG PM18
Traffic Analysis for Studying Expansion of High-Altitude UPRs Trial (高高度UPR試行の拡大検討のための交通分析)	平林博子	平成28年9月	IPACG PM18
平成28年度(第16回)電子航法研究所研究発表会の概要について	小瀬木滋	平成28年9月	航空無線第89号
成田空港における出発便の走行機数調整のシュミレーション検証	山田泉	平成28年9月	航空無線第89号
高精度なRAIM予測に向けた提案	麻生貴広	平成28年9月	航空無線第89号

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
仙台空港における次世代空港面通信システムの実証実験	森岡和行 長縄潤一 本田純一 金田直樹 ニッ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成28年9月	航空無線第89号
Benefits Assessment on DARP and Future TBO in Occanic Arrivals to the Tokyo Metropolitan Area (首都圏への到着時刻指定運航における便益評価)	ナグインガ キトマル ヒクワマンハ	平成28年9月	The 42nd Meeting of the Informal Pacific ATC Co-ordinating Group(IPACG/42)
VHF帯空港面電磁界解析手法の適用範囲に関する検討	加藤涼(青山学院大) 須賀良介(青山学院大) 毛塚敦 橋本修(青山学院大)	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
光2重倍による92GHz 16QAM信号の生成	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
5G無線通信のためのフォトニック技術を用いたミリ波信号の生成と空間多重信号の分離・検出	井上敏之(大阪大学) 村田博司(大阪大学) 池田研介(電中研) 角張泰之 米本成人 戸田裕之(同志社大学)	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
テイラー級数推定を用いたTSOAとTDOA測位の関連	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学(電通大) 稲葉敬之(電通大)	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
RNP ARとILS進入方式との混合運用における管制間隔に関する実験	天井治 松岡猛	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
AeroMACS利用技術における揭示情報共有の実験検討	住谷泰人 金田直樹 森岡和行 米本成人	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
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	森岡和行 金田直樹 ニッ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
空港面の1090MHz信号量の測定結果	本田純一 角張泰之 大津山卓哉	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
ADS-Bデータをを用いた航空機高度維持性能監視の初期評価	松永圭左 長縄潤一 宮崎裕己	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
航空航法・監視システムに対する気象による影響に関する一考察	藤井直樹 吉原貴之 毛塚敦	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
76GHz帯ミリ波レーダにおける円偏波アンテナを用いた送電線レーダ反射断面積特性評価	ニッ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
SSR Mode-A/C応答を利用する離島向け近接航空機測位システム	塩見格一 青山秀次(楠IRT)	平成28年9月	電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会
Target Tracking ~ENRI's Project Introduction (ターゲットトラッキング ENRI研究紹介)	井上諭 マーク・アラウ	平成28年9月	EUROCAE WG-100
Fixed-flight Path Angle Deacent for Wide-body Passenger Aircraft (経路角を固定した降下の大型旅客機への適用)	伊藤恵理	平成28年9月	JEPPESON、ブラジリア大学、ENRI共同研究打ち合わせ
EFFICIENT CONTROL OF ARRIVAL TIME AT A CONGESTED AIRPORT'S TERMINAL AREA (混雑空港のターミナル空域到着時刻の効率的な制御方法について)	北詰有人(九州大学) 樋口雄紀(九州大学) 小塚智之(九州大学) 田村恵一(九州大学) 宮沢与和(九州大学) マーク・アラウ	平成28年9月	CONGRESS OF THE INTERNATIONAL COUNCIL OF THE AERONAUTICAL SCIENCES
Preliminary Experimental Result of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar (光接続型パッシブ一次レーダの予備実験結果)	本田純一 大津山卓哉	平成28年10月	2016 International Symposium on Antennas and Propagation

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Design and Fabrication of High-Gain 3-Dimensional Printed Reflectarray Antenna for W-Band Millimeter-Wave Radar Applications (3Dプリンタを用いて構築するW帯ミリ波レーダ向け高利得リフレクトアレイアンテナの設計および試作)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 坂本信弘 米本成人	平成28年10月	2016 International Symposium on Antennas and Propagation
Prototype Measurement of Active Reflectarray Antenna using Diode Grids in W-band (W帯におけるダイオードグリッドを用いたアクティブリフレクトアレイアンテナの試作測定)	河村暁子 米本成人 二ツ森俊一 森岡和行	平成28年10月	2016 International Symposium on Antennas and Propagation
Effect of building on VHF Propagation above Airport Surface (空港面VHF伝搬における建物の影響)	毛塚敦 齋藤享 吉原貴之 齋藤真二	平成28年10月	2016 International Symposium on Antennas and Propagation
An Analysis of ATM Resource Demand in Fukuoka FIR for 2030 (福岡FIRにおけるATM資源の需要の分析について)	マカブラウ 平林博子	平成28年10月	2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016)
Method for Scale Parameter Determination of Air Traffic Control Difficulty Index Based on Survey Results of Controller's Recognition for Aircraft Proximities (管制官による航空機近接の認識結果の調査に基づくATC難度指標の尺度パラメータの決定法)	長岡栄 平林博子 マカブラウ	平成28年10月	2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016)
Quantitative Analysis on Relationship between Arrival Air Traffic Flow and Meteorological Condition around Congested Airports in Tokyo Metropolitan Area (東京都市圏混雑空港における航空交通流と気象条件の関係に関する定量的評価)	吉原貴之 瀬之口敦 藤井直樹	平成28年10月	2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016)
Applying Merging Optimization Method to Arrival Scheduling Algorithm for single Runway (シングルランウェイのための合流最適化手法の到着管理アルゴリズムへの応用)	虎谷大地 ザンダキトマルヒクランシハ 伊藤恵理	平成28年10月	2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016)
積雪底面で受信したGNSS信号の積雪伝搬遅延量の解析	吉原貴之 本吉弘岐 (防災科学技術研究所) 毛塚敦 齋藤享 山口悟 (防災科学技術研究所)	平成28年10月	雪氷研究大会 (2016・名古屋)
テイラー級数推定法を用いたTSOAとTDOA測位の関係	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成28年10月	電子情報通信学会 論文誌B
将来の航空・飛翔体および測位に関する技術	小瀬木滋	平成28年10月	電子情報通信学会 特別シンポジウム (CEATE2016内)
空の旅を科学する：人間と人工知能が協働する航空管制科学の世界	伊藤恵理	平成28年10月	一般社団法人ナレッジキャピタル
CDO拡大のための到着経路の要件整理について	福島幸子	平成28年10月	第25回CARATS ATM検討WG
ICAO RPAS5の報告	米本成人	平成28年10月	無人航空機システムの無線技術に係る対処方針検討会 第2回検討会
Doc 9924 CP for Passive Acquisition (受動捕捉に関するDoc 9924 (航空監視マニュアル) 改定提案)	宮崎裕己 長瀬潤一	平成28年10月	ICAO SP 4th ASWG
Status Update on MSPSR Developmet (MSPSR開発のステータスアップデート)	本田純一 大津山卓哉	平成28年10月	ICAO SP 4th ASWG
Preliminary Analysis Results of Airport Surface 1030/1090 MHz Signal Environment (空港面1030/1090MHz信号環境の予備解析結果)	大津山卓哉 本田純一	平成28年10月	ICAO SP 4th ASWG
電子航法研究所におけるヘリコプタ衝突防止用ミリ波レーダ技術の研究開発	二ツ森俊一	平成28年10月	ヘリコプターIFR等飛行安全研究会
電子航法研究所が実施中のROF関連研究	小瀬木滋 角張泰之 米本成人	平成28年10月	光ファイバー技術勉強会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
滑走路異物検知システムのニーズご今後の課題	米本成人	平成28年10月	リニアセルプロジェクトキックオフ会議
航空におけるICT（情報通信技術）の活用の展望	福田豊	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
実運航データの活用による気象データの風速予測精度向上に関する考察	手塚亜聖（早稲田大学） 瀬之口敦	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
高密度空域へのCDO導入拡大を目指した時刻変動幅の分析	岡恵 福田豊 福島幸子 瀬之口敦	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
空港面の航空機動態情報およびスポット出発時刻情報を用いた離陸時刻の予測に関する検討	山田泉 青山久枝 住谷美登里	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
地上型衛星航法補強システムの独立型運用性能評価装置について	齊藤真二	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
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	住谷泰人	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
RNPからxLSに接続する飛行方式の設計条件の検討	福島荘之介 齊藤真二 森亮太 山康博	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
準ミリ波レーダを用いたヘリコプタ全周状況認識技術の検討	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 宮崎則彦 米本成人	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
無人航空機運航の航空サービスへの融合の可能性について	平林博子 中島徳顕 宮津義廣	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
航空管制リアルタイムシミュレーション実験によるRNP AR機最優先方式での混合運用と従来運用との比較	天井治 松岡猛	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
フリー・ルーティングに対応した航空管制シミュレーション・モデルの構築	藤山康太 秋永和夫	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
国内線における利用者選択経路による便益	中村陽一 藤山康太 宮沢与和（九州大学） 松田治樹（九州大学）	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
効率的な到着管理のためのFMSを利用した到着時刻制御の検討 （A Study on Arrival Time Control with FMS for Efficient Arrival Management）	樋口雄紀（九州大学） 北詰有人（九州大学） 小塚智之（九州大学） 田村恵一（九州大学） 宮沢与和（九州大学） マク・ブラウ	平成28年10月	第54回飛行機シンポジウム
Ionospheric characterization for aviation use of GNSS in the ICAO Asia-Pacific region （ICAOアジア太平洋地域における航空GNSSのための電離圏特性解析について）	齋藤享	平成28年10月	第4回アジアオセアニア宇宙天気連合ワークショップ
地上型衛星航法補強システム（GBAS）の安全要求に関する設計と検証	福島荘之介	平成28年10月	第21回GPS/GNSSシンポジウム2016
航空機の航法におけるGNSSモニタリングの取組み	麻生貴広 坂井丈泰 齊藤真二 毛塚敦 北村光教	平成28年10月	第21回GPS/GNSSシンポジウム2016
Drafting RTCA/EUROCAE Documents to Support Certification （認証を支援するためのRTCA/EUROCAE文書の作成）	小瀬木滋	平成28年10月	International Seminar for Navigational Facilities Performance Approval
GBAS運用性能評価装置について	齊藤真二	平成28年10月	日本航海学会 航空宇宙研究会
Millimeter-Wave Wireless Signal Generation and Detection Using Photonic Technique for Mobile Communication Systems （移動通信システムのためのフォトニック技術を使ったミリ波無線施行生成と検出）	井上敏之（大阪大学） 村田博司（大阪大学） 池田研介（電中研） 角張泰之 米本成人 戸田裕之（同志社大学）	平成28年10月	IEEE AVFOP & MWP 2016
航空機監視技術の高度化について	宮崎裕己	平成28年10月	航空振興 2015秋号

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
RNP-ARと従来方式が混在する運用方式の実現可能性に関する研究の概要と進捗状況 その4 ～仙台空域ベースの管制リアルタイムシミュレーション実験の結果と関西国際空港を対象としたシミュレーション実験の準備状況～	天井治	平成28年10月	CARATS高規格RNAV検討SG会議
92Ghz 64QAM Signals Generation by Optical Frequency Doubler (光2通信による92Ghz 64QAM信号の生成)	金田直樹 米本成人 川西哲也(早稲田大学)	平成28年11月	IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics
Range Resolution Evaluation of Optically-Connected 96GHz Wideband Frequency-Modulated Continuous Wave Millimeter-Wave Radar at Airport Runway (空港滑走路における光ファイバ接続型広帯域96GHzミリ波レーダの距離分解能評価)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 岡田国雄 宮崎則彦 坂本信弘 米本成人	平成28年11月	2016 International Topical Meeting on Microwave Photonics
Flight Trajectory Optimization for Operational Performance Analysis of Jet Passenger Aircraft (軌道最適化による旅客定期便の運航効率に関する一検討)	ナガノ・キヨマ・ヒクワシマ 宮本侑斗(九州大学) 原田明徳(九州大学) 小塚智之(九州大学) 重富貞成(九州大学) 宮沢与和(九州大学) ブラン マーク 福田豊	平成28年11月	日本航空宇宙学会誌 第64巻11号
Applying User-Centred-Design Process to the Remote Aerodrome Flight Information Service Systems Interface (遠隔型飛行場援助業務用システムインタフェースへのユーザー中心設計手法の適用)	井上諭 福地悠人 永田翔香 長塩真也(千葉工業大学) 山崎和彦(千葉工業大学)	平成28年11月	The 2016 International Service Innovation Design Conference(2016 ISIDC)
Study on User Interface Design for ITV of Remote Air Flight Information Service Operation (遠隔型飛行場援助業務の監視モニターシステムのためのユーザーインタフェースに関する研究)	福地悠人 井上諭 山崎和彦(千葉工業大学)	平成28年11月	The 2016 International Service Innovation Design Conference(2016 ISIDC)
Real-time ionospheric monitoring by three-dimensional tomography over Japan (日本上空における3次元トモグラフィによる電離圏リアルタイム監視)	齋藤享 鈴木翔大(京大生存圏研) 山本衛(京大生存圏研) Chia-Hung Chen(台湾国立成功大) 齋藤昭則(京大理)	平成28年11月	ION GNSS+ 2016
Assessment of the Ground Monitoring for Onboard ABAS Performance (機上ABAS性能における地上監視の評価)	麻生貴広 北村光教 坂井丈泰 毛塚敦	平成28年11月	2016 KGS Conference
Lateral Deviation and Occupancy in Fukuoka FIR (福岡FIRにおける横逸脱と占有率)	森亮太	平成28年11月	ICAO SASP 1st
「航空管制」の研究現場から、人間とAIの共存に迫る	伊藤恵理	平成28年11月	㈱シノドス(ニュースWebサイト)
BER Approximation of BBOST-CPM with Quasi-OSTBC (準直交符号を用いたBBOST-CPMのビット誤り率近似)	森岡和行 山崎悟史(沼津高専) アサノ デービッド(信州大学)	平成28年11月	The International Symposium on Information Theory and Its Applications
GBAS Interoperability Trials and Multi-Constellation/Multi-Frequency Ground Mockup Evaluation (GBAS相互運用性評価試験及びMC/MF GBAS地上装置モックアップの評価)	T. Feuerle(フランクフルト工大) M. Stanisak(フランクフルト工大) 齋藤享 吉原貴之 A. Lipp(EUROCONTROL)	平成28年11月	The 6th SESAR Innovation Days
Study of Merging Optimization Method for Multiple Merging Points (複数合流点に対応した合流最適化手法に関する研究)	虎谷大地 伊藤恵理	平成28年11月	第59回自動制御連合講演会
Test of QZSS L1-SAIF Based on the MADOCA Real-Time Products (MADOCAリアルタイム出力による準天頂衛星L1-SAIF信号の試験)	坂井丈泰	平成28年11月	The 8th Multi-GNSS Asia Conference
Report of Mobile Terminal Localization (移動端末位置推定の報告書)	米本成人 角張泰之	平成28年11月	European Commission

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
リアルタイム電離圏3次元トモグラフィとその応用	齋藤享 鈴木翔大 (京大生存圏研) 山本衛 (京大生存圏研) 陳佳宏 (台湾国立成功大) 齊藤昭則 (京都大学理学研究科)	平成28年11月	第140回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
RAIM予測情報の利用における問題点と解決策	麻生貴広	平成28年11月	航空振興財団 航法小委員会
A Study of Detection by Passive Radar System (パッシブレーダによる航空機監視の検討)	大津山卓哉 本田純一	平成28年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation electronics2016
ファイバー無線を用いたミリ波レーダーシステム	米本成人	平成28年11月	集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会
Extended Arrival Management (広域到着管理)	伊藤恵理 福島幸子 平林博子 ナグ・インダ・キトマル・ヒクラマンハ 虎谷大地	平成28年11月	Japan-Singapore ATM Workshop
An Analysis of ATM Resource Demand in Fukuoka FIR for 2030 (2030年の福岡FIR内ATM資源需要分析)	マーク・アラウン 平林博子	平成28年11月	Japan-Singapore ATM Workshop
ENRI Project Introduction ~Remote Tower Program in Japan (リモートタワーENRI研究紹介)	井上諭 マーク・アラウン	平成28年11月	Japan-Singapore ATM Workshop
An Analysis of 3-dimensional Location and Velocity Estimation Using Range and Doppler Measurements (距離とドップラーを観測値とする三次元の位置及び速度推定の解析)	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成28年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016
Investigation of Microwave Electromagnetic Field Characteristics inside Carbon Fiber Reinforced Plastic Structures -Fundamental Electromagnetic Characteristics of Composite Materials for Aircrafts- (炭素繊維強化プラスチック構造体内部におけるマイクロ波電磁界特性評価 -航空機用複合材料の基本電磁界特性-)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	平成28年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016
Improvement of position Accuracy by Combining TDOA and TSOA (TDOAとTSOAの併用による測位精度の改善)	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸 (長崎大学)	平成28年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2016
Analysis of Prediction Accuracy on Curved Paths Based on IDL Messages Using a Flight Management System(FMS) Simulator (FMSシミュレータを用いたIDLメッセージに基づく曲線経路の予測精度の解析)	長岡栄 マーク・アラウン	平成28年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2016
Introduction to ENRI and its research activities (電子航法研究所とその研究活動の紹介)	小瀬木滋	平成28年11月	DISHA2016 all India Seminar/the Airport Officers' Assocation (India)主催
航空技術・政策・産業特論 ENRIでの研究(航空管制・通信) ATM/CNS	小瀬木滋	平成28年11月	東京大学 航空技術・政策・産業特論
航空機の到着管理システムに関する研究 研究要旨	福島幸子 マーク・アラウン 瀬之口敦 伊藤恵理 ナグ・インダ・キトマル・ヒクラマンハ 中島徳顕 宮沢与和 (九州大学) 武市昇 (首都大学東京) 手塚重聖 (早稲田大学) 平田輝満 (茨城大学) 矢野夏子 (構造計画研究所)	平成28年11月	国土交通省交通運輸技術開発推進制度研究成果発表会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
航空機の到着管理システムに関する研究 パネル	福島幸子 マク・アウカン 瀬之口敦 伊藤恵理 ナグ・インダ・キトマル・ヒクランシハ 中島徳顕 宮沢与和 (九州大学) 武市昇 (首都大学東京) 手塚亜聖 (早稲田大学) 平田輝満 (茨城大学) 矢野夏子 (構造計画研究所)	平成28年11月	国土交通省交通運輸技術開発推進 制度研究成果発表会
航空情報の現状について (無人航空機運行に関連して)	平林博子	平成28年11月	JUTM航空情報共有ワーキンググ ループ
GBAS Research and development status in Japan (日本におけるGBASに係わる研究開発状況)	吉原貴之 齋藤享	平成28年11月	第3回ICAO航法システムパネル
Update to GAST-D flight test results at Ishigaki, Japan (石垣におけるGAST-D飛行実験結果のアップデート)	齋藤享 吉原貴之 Sabine Zureikat	平成28年11月	第3回ICAO航法システムパネル
GBAS Ionospheric threat assessment for GBAS in the Asia-Pacific region by the Ionospheric Studies Task Force (ISTF) (ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース (ISTF)による地域GBAS電離圏脅威モデル)	齋藤享 吉原貴之 Sabine Zureikat	平成28年11月	第3回ICAO航法システムパネル
Initial Experiences with GAST-F Interoperability and Performance (GAST-F相互運用性及び性能の初期経験について)	SESAR 15.3.7チーム (SESAR15.3.7) TUBSグループ (アラウシユバ [®] 工 科大) 齋藤享 吉原貴之	平成28年12月	第3回ICAO航法システムパネル
Performance Comparison of LNAV and CNAV (LNAVとCNAVの性能比較)	北村光教	平成28年11月	31th SBAS Interoperability Working Group
衛星航法の航空利用に対するプラズマバブルの影響評価 とその軽減策に関する研究	齋藤享 吉原貴之 坂井丈泰 星野尾一明 大塚雄一 (名古屋大学)	H28年11月	名古屋大学太陽地球環境研究所地 上ネットワーク大型共同研究報告 書
AeroMACS詳解その1、その2、その5	住谷泰人	平成28年11月 (東京) 平成28年12月 (名古屋)	データリンク・フォーラム東京
ドップラー観測値併用のTOAとTDOA測位精度の同一性	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成28年12月	電子情報通信学会 論文誌B
飛行場管制業務におけるレジリエンスの分析	狩川大輔 (東北大学大学院工学 研究科) 青山久枝	平成28年12月	計測自動制御学会 システム・情 報部門学術講演会2016
Evaluating Path Loss by Extended Squitter Signals for Aeronautical Surveillance (航空監視に向けた拡張スキッタ信号による伝搬損失評 価)	長縄潤一 本田純一 大津山卓哉 田嶋裕久 宮崎裕己	平成28年12月	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
Japanese SBAS Program: Current Status and Dual- Frequency Trial (日本のSBAS計画: 現状と二周波システムの試行)	坂井丈泰	平成28年12月	International Symposium on GNSS 2016
CARATS Open Dataの概要説明	岡恵	平成28年12月	CARATSオープンデータ活用促進 フォーラム
仙台空港でのOCTPASSの試行運用状況について	角張泰之	平成28年12月	CARATS ATM検討WG 第1回 監視 アドホック1会合
六次元運動モデルを使用したパルスドップラーレーダ用 追尾フィルタの初期	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成29年1月	電子情報通信学会 論文誌B

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Optimal Arrival Time Assignment and Control Analysis using Air Traffic Data for Tokyo (東京国際空港における航空交通情報に基づいた最適到着時刻設定及び制御の解析)	Yuki Higuchi (九州大学) K. Tamura (九州大学) N. Kitazune (九州大学) T. Kozuya (九州大学) Y. Miyazawa (九州大学) Mark Brown	平成29年1月	AIAA Guidance, Navigation and Control Conference 2017 (AIAA Scitech 2017)
高密度航空交通流による自律間隔維持アルゴリズム	中村陽一 藤山康太 武市昇 (首都大学東京)	平成29年1月	日本航空宇宙学会誌 第65巻1号
マイクロ波・ミリ波融合のためのフォトニックベース無線リンク	池田研介 (電中研) 村田博司 (阪大) 井上敏之 (阪大) 米本成人 角張泰之 柴垣信彦 (日立製作所) 戸田裕之 (同志社大学) 眞野浩 (コーデンテクノインフォ(株))	平成29年1月	レーザー学会学術講演会
ATC Procedure Modeling for Capacity Estimation of Japanese Airspace (日本の空域の容量推定を目的とした航空管制作業モデル)	藤山康太 秋永和夫	平成29年1月	AIAA Scitech: Modeling and Simulation Technologies Conference
A Study on Free Routing Considering Interference of Air Traffic Flow (運用制限を考慮した利用者選択経路についての一検討)	中村陽一 藤山康太 宮沢与和 (九州大学) 松田治樹 (九州大学(現川崎重工))	平成29年1月	AIAA Scitech: Modeling and Simulation Technologies Conference
Merging Optimization Method Application to Arrival Scheduling Algorithm for Parallel Runways (合流最適化手法の応用: 平行滑走路のための到着スケジュールリングアルゴリズム)	虎谷大地 ナグ・インク・キマル・ヒクラマシハ 伊藤恵理	平成29年1月	AIAA Scitech: Modeling and Simulation Technologies Conference
Feasibility Study on Constrained Optimal Trajectory Application in the Japanese Airspace (日本空域における運用制限を考慮した軌道最適化の実現性に関する一考察)	ナグ・インク・キマル・ヒクラマシハ マカ・アラフ 平林博子 長岡栄	平成29年1月	AIAA Scitech: Modeling and Simulation Technologies Conference
機械学習 (AI) の航空交通への展開可能性について	福田豊	平成29年1月	CARATS研究開発推進分科会
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	森岡和行 金田直樹 二ツ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成29年1月	電子情報通信学会 AP研究会
Antenna De-embedding in WBAN Channel Modeling using Spherical Wave Functions (ポディエリアネットワークチャネルにおける球波動関数を用いたアンテナ分離)	長縄潤一 高田潤一 (東京工業大学) 青柳貴洋 (東京工業大学) 金ミンソク (新潟大学)	平成29年1月	IEEE Transactions on Antennas and Propagation
地上デジタル放送波を応用した航空機監視システム	本田純一 大津山卓哉	平成29年1月	映像情報メディア学会放送技術研究会
羽田空港到着機への影響が大きい気象急変時の運航の分析	手塚亜聖 (早稲田大学) 瀬之口敦	平成29年1月	平成28年度航空宇宙空力シンポジウム
航空機の航法におけるGNSSの利用	坂井丈泰	平成29年1月	自動車技術会 ITS部門委員会
到来電波測定による位置推定技術とRoF応用	角張泰之	平成29年1月	応用物理学会関西支部セミナー
光ファイバー無線 (RoF) を活用した90GHz帯レーダー、通信システムの研究開発	米本成人	平成29年1月	応用物理学会関西支部セミナー
送信時刻と複数の受信時刻を使用した測位法	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成29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
GPS信号の格納庫による反射波の解析	齊藤真二 麻生貴広 福島莊之介	平成29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

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
管制官の近接認知試行に基づく管制難度指標の一検討	長岡榮 平林博子 マーク・ブライアン	平成29年1月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
TSOA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)	平成29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
Real-time ionospheric 3-D tomography and its applications (電離圏リアルタイム3次元トモグラフィの開発とその応用)	齋藤享 山本衛(京大生存圏研) 陳佳宏(台湾国立成功大) 齋藤昭則(京都大学)	平成29年1月	PSTEP研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」
Ionospheric Characterization for GBAS in Asia-Pacific Region (ICAOアジア太平洋地域におけるGBASのための電離圏特性解析について)	齋藤享	平成29年1月	PSTEP研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」
Status Update on MSPSR Developmet (MSPSR開発のステータスアップデート)	大津山卓哉 宮崎裕己	平成29年1月	ICAO SP 4th ASWG TSG
Measurement Results of Extended Squitter based on RF Measurement GM (無線信号計測ガイタンスマテリアルに基づいた拡張スキッタ計測結果)	宮崎裕己 長縄潤一	平成29年2月	ICAO SP 4th ASWG TSG
1030/1090 Measurements Update with Reviewing the signal environment on the Airport surface (空港面信号環境の再検討による1030/1090MHz 測定報告)	小瀬木滋 大津山卓哉	平成29年1月	ICAO SP TSG
Introduction to the fourth ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC 2015) (第4回電子航法研究所ATM/CNSに関する国際ワークショップ(EIWAC2015)の紹介)	山本憲夫	平成29年2月	Air Traffic Management and Systems II
Future Arrival Management Collaborating with Trajectory-Based Operations (軌道ベース運用と協調する将来の到着管理)	伊藤恵理 マーク・ブライアン 瀬之口敦 ナヴィンダ・キマル・ヒクラマンハ 福島幸子	平成29年2月	Air Traffic Management and Systems II
Optimization-Based Performance Assesment on 4D Trajectory-Based Operations with Track Data (トラックデータを用いた最適化に基づく4次元軌道ベース運用の性能評価)	ナヴィンダ・キマル・ヒクラマンハ マーク・ブライアン 福島幸子 福田豊	平成29年2月	Air Traffic Management and Systems II
Downlink Aircraft Parameters based High-accuracy Tracking System for Air Traffic Surveillance (航空機監視のためのDAPsを用いた高精度追尾システム)	呂東暁 古賀禎 小菅義夫	平成29年2月	Air Traffic Management and Systems II
広域マルチラテレーションにおける測位確率の実験的評価	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久	平成29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
SBAS Ionospheric Correction with Minimalization of the Ionospheric Threat (電離圏脅威の最小化を伴うSBAS電離圏補強方式)	坂井丈泰 北村光教 麻生貴広 星野尾一明	平成29年2月	2017年米国航法学会国際技術会議
AeroMACSの研究開発 ～航空用通信システムの最新動向	住谷泰人	平成29年2月	JRANSA技術交流会技術講演会
二周波SBASの開発動向	坂井丈泰	平成29年2月	QBIC(高精度衛星測位サービス利用促進協議会)海外展開WG
ミリ波レーダを用いた滑走路監視異物システムの研究開発	二ツ森俊一	平成29年2月	航空振興財団 航法小委員会
航空機監視情報の統合技術について	古賀禎	平成29年2月	一般財団法人 航空保安施設信頼性センター(KSC) 空の安全と信頼性技術管理セミナー
衝突回避レポートVol.1	虎谷大地	平成29年2月	JUTM 衝突回避・機体識別・通信ワーキンググループ
A Study of Aircraft Detection Using DTTB Signal Delay Profile (地デジ遅延信号を使った航空機監視の検討)	大津山卓哉 本田純一	平成29年3月	European Conference on Antennas and Propagation

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
Coverage Area of Passive Bistatic Radar Using DTTB Signal Delays (DTTB信号遅延を使ったパッシブバイスタティックレーダの覆域)	本田純一 大津山卓哉	平成29年3月	Proceedings of IEEE International Conference on Computational Electromagnetics
Onboard Antenna Placement Studies for CNPC links of UAS using AeroMACS (AeroMACSを用いたUAS向けCNPCリンクのための機上アンテナ配置に関する検討)	森岡和行 金田直樹 二ツ森俊一 河村暁子 米本成人 住谷泰人	平成29年3月	The Second International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Managment
Aircraft Electromagnetic Field Estimation for Wireless Avionics Intra-Communication Band Using Large-Scale FDTD Analysis -Field Estimation of A320 Class Passenger Aircraft at 4 GHz Band- (大規模FDTD数値解析を用いた航空機内データ通信の電磁環境推定 -A320型航空機の4GHz帯における電磁環境推定-)	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人 日景隆(北海道大学大学院情報科学研究科) 矢萩幹人(北海道大学大学院情報科学研究科) 白船雅巳(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) 樽橋祥一(北海道大学大学院情報科学研究科)	平成29年3月	2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium
ドップラーとバイアス誤差を有する距離とを観測地とする三次元の位置及び速度推定	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 秋田学(電通大) 稲葉敬之(電通大)	平成29年3月	電子情報通信学会 論文誌B
混雑空港の離着陸容量拡大とドップラライダ観測	吉原貴之 原田大治(三菱電機株式会社)	平成29年3月	日本機械学会 交通・物流部門 ニュースレター
R&D activities for advanced procedures using GBAS in ENRI (ENRIにおけるGBASを使用した先進的な運航方式の研究開発)	吉原貴之 福島荘之介	平成29年2月	ICAO EUR/NAT Office, EASA, EUROCONTROL共催 Final Approach Operations Symposium
FUTURE DIRECTIONS OF CRM ACTIVITY (衝突危険度モデル活動の将来の方向性)	森亮太	平成29年3月	ICAO IFPP 14-1
羽田空港におけるTCAS RAについての検討	白川昌之 瀬之口敦	平成29年3月	航空局交通管制部管制課主催 安全情報分析委員会
航空機の到着管理システムに関する研究	福島幸子 マーク・ブライアン 瀬之口敦 伊藤恵理 ナグ・インダ・キトマル・ヒクラマシハ 中島徳顕 宮沢与和(九州大学) 武市昇(首都大学東京) 手塚亜聖(早稲田大学) 平田輝満(茨城大学) 矢野夏子(構造計画研究所)	平成29年3月	CARATS ATM検討WG Tboアドホック
航空交通シミュレータを用いた運用コンセプトの検証	瀬之口敦 福島幸子 マーク・ブライアン 伊藤恵理 ナグ・インダ・キトマル・ヒクラマシハ 中島徳顕 宮沢与和(九州大学) 武市昇(首都大学東京) 手塚亜聖(早稲田大学) 平田輝満(茨城大学) 矢野夏子(構造計画研究所)	平成29年3月	CARATS ATM検討WG Tboアドホック
Introduction of Optical Fiber Connected Passive Primary Surveillance Radar (光ファイバ接続型パッシブ一次監視レーダの紹介)	本田純一 大津山卓哉	平成29年3月	ICAO SP 5th ASWG
Status Update on MSPSR Developmet (MSPSR開発のステータスアップデート)	大津山卓哉	平成29年3月	ICAO SP 5th ASWG
1030/1090 Measurements Update with Reviewing the Signal Eenvironment on the Aairport Surface (空港面信号環境の再検討による1030/1090MHz測定報告)	小瀬木滋 大津山卓哉	平成29年3月	ICAO SP 5th ASWG
NOPAC空域での飛行経路に関するシミュレーション検証	平林博子	平成29年3月	IPACG PM19 事前調整会議

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
航法システムと航空管制技術の動向と課題	福田豊	平成29年3月	名古屋大学大学院 航空機開発グローバルプロジェクトリーダー養成講座 基調講演
Application of real-time ionospheric tomography for GNSS correction (電離圏リアルタイム3次元トモグラフィのGNSSに対する応用)	齋藤享 山本衛 (京大生存圏研) Chia-Hung Chen (台湾国立成功大学) 齊藤昭則 (京都大学)	平成29年3月	第2回ミラノ工科大学GE01ab及び京都大学生存圏研究所 GNSS及びSARによる大気観測に関する合同ワークショップ
Evaluation of ionospheric delay gradients associated with plasma bubbles for GNSS ground-based augmentation system (GBAS) (GBASに対するプラズマバブルに伴う電離圏勾配の影響評価)	齋藤享 吉原貴之	平成29年3月	第2回ミラノ工科大学GE01ab及び京都大学生存圏研究所 GNSS及びSARによる大気観測に関する合同ワークショップ
Over view of R&D activities related to airborne-based GNSS occultation in Japan and their future prospects (日本における航空機からのダウンルッキングGNSS観測に関するR&D活動の概要と将来)	吉原貴之 齊藤真二 坂井丈泰 藤井直樹 松永圭左 星野尾一明 青山雄一 (国立極地研究所) 津田敏隆 (京都大学生存圏研究所)	平成29年3月	第2回ミラノ工科大学GE01ab及び京都大学生存圏研究所 GNSS及びSARによる大気観測に関する合同ワークショップ
Statistical analysis of tropospheric delay variation with short baselines of GNSS stations (短基線GNSS基準局間における対流圏遅延変動の統計的解析)	吉原貴之 齋藤享 毛塚敦	平成29年3月	第2回ミラノ工科大学GE01ab及び京都大学生存圏研究所 GNSS及びSARによる大気観測に関する合同ワークショップ
TSAT/VDGSシステムの評価	森亮太 青山久枝	平成29年3月	第4回首都圏空港の協調的運用WG羽田分科会
航空機の動態情報を用いた風向風速の観測について	古賀禎	平成29年3月	第59回風に関するシンポジウム
韓国航空局主催セミナー参加記	小瀬木滋	平成29年3月	(財) 航空保安無線システム協会
航空機監視システムとRadio over Fiberを利用した高度化	角張泰之	平成29年3月	一般財団法人KEC関西電子工業振興センター 次世代ワイヤレス通信技術講座第6講
ドップラ併用の場合のTOAとTDOAの測位	小菅義夫 古賀禎 宮崎裕己 呂曉東 秋田学 (電通大) 稲葉敬之 (電通大)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
7機体制QZSSの衛星配置についての初期検討	伊藤憲 坂井丈泰	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
航空通信システムの標準化の現状と課題	住谷泰人	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
飛行検査データを活用したDMEのマルチパス誤差解析	毛塚敦 福島荘之介 齊藤真二 麻生貴広	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
可搬型GBAS運用性能評価装置の開発	齊藤真二	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
ENRI方式受動型SSRの空域監視機能の改善	塩見格一 青山秀次 ((有)IRT)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
TSOA測位を利用した監視覆域の拡大	宮崎裕己 小菅義夫 田中俊幸 (長崎大学)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
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に関する検討	加藤涼 (青山学院大) 阿部優樹 (青山学院大) 須賀良介 (青山学院大) 毛塚敦 橋本修 (青山学院大)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
同時平行進入における航空機対の占有率の推定	天井治	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
空港面の1090MHz信号量及び信号占有率について	本田純一 角張泰之 大津山卓哉	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会

表題名	発表者	発表年月	発表機関・刊行物
電磁界損失媒体が航空機内部電磁界特性に与える影響-人体ファントムを設置した電波反射箱の構造体Q値測定評価	二ツ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人 日景隆 (北海道大学大学院情報科学研究科)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
光2通倍による96GHz 16QAM信号の電装特性評価	金田直樹 米本成人 川西哲也 (早稲田大学)	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
航空監視信号測定と空地伝搬損失モデルの初期的な比較	長縄潤一 宮崎裕己 田嶋裕久 本田純一 大津山卓哉	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
大気によるWAMに対する影響	藤井直樹 毛塚敦 吉原貴之 宮崎裕己	平成29年3月	電子情報通信学会 2017年総合大会
System Wide Information Management for Heterogeneous Information Sharing and Interoperability (SWIMによる異種情報の共有と相互運用)	呂曉東 古賀禎	平成29年3月	IEEE ISADS 2017
Measurement Results of Extended Squitter based on RF Measurement GM (無線信号計測ガイダンスマテリアルに基づいた拡張スキッタ計測結果)	宮崎裕己 長縄潤一	平成29年3月	ICAO SP 5th ASWG
Studies on the Interval Management (IM) Applying for Tokyo International Airport (東京国際空港への間隔管理 (IM) の応用に関する研究)	伊藤恵理	平成29年3月	ICAO ASA work shop
電波航法研究会との出会い (巻頭言)	長岡栄	平成29年3月	電波航法研究会誌「電波航法」
航空機の到着管理システムに関する研究 研究成果報告書	福島幸子 マーク・ブランク 瀬之口敦 伊藤恵理 ナヴィン・キトマル・ビクラマンハ 中島徳顕 宮沢与和 (九州大学) 武市昇 (首都大学東京) 手塚亜聖 (早稲田大学) 平田輝満 (茨城大学) 矢野夏子 (構造計画研究所)	平成29年3月	国土交通省交通運輸技術開発推進制度研究成果発表会
ミリ波帯による高速バックホール技術の研究開発 平成28年度成果報告書	米本成人 金田直樹 河村暁子 二ツ森俊一 森岡和行	平成29年3月	総務省総合通信基盤局電波部移動通信課

8 知的財産権

当研究所の平成28年度末(H29. 3. 31)において有効な知的財産権は下記のとおりである。

(1) 登録済

① 日本国内

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月	登録番号	登録年月日
地形表示機能を備えた搭載用航法装置	田中修一 二瓶子朗	H9. 6. 5	3054685	H12. 4. 14
滑走路予約システム	塩見格一	H9. 6. 9	2892336	H11. 2. 26
航空交通シミュレータ	塩見格一	H9. 12. 22	3899391	H19. 1. 12
管制用通信システム	塩見格一	H10. 12. 18	3041284	H12. 3. 3
無線通信ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H10. 6. 4	3474107	H15. 9. 19
音声による疲労・居眠り検知装置及び記録媒体	塩見格一	H10. 10. 5	3151489	H13. 1. 26
飛行場管制支援システム	塩見格一	H11. 12. 17	3086828	H12. 7. 14
受動型SSR装置	塩見格一	H10. 10. 30	3041278	H12. 3. 3
SSR装置及び航空機二次監視網	塩見格一	H10. 10. 30	2991710	H11. 10. 15
空港管制用操作卓 意匠登録	塩見格一	H10. 7. 31	1075354	H12. 4. 7
空港管制用操作卓 類似意匠登録	塩見格一	H10. 7. 31	1075354(1)	H12. 6. 16
レーダ受信画像信号のクラッタ抑圧方法及び装置	加来信之	H11. 4. 8	3091880	H12. 7. 28
管制通信発出システム	塩見格一	H11. 3. 19	3300681	H14. 4. 19
航空機等の進入コースの変動を防止する積層構造体	横山尚志	H11. 9. 17	3588627	H16. 8. 27
管制装置システム	塩見格一	H11. 12. 8	3783761	H18. 3. 24
受動型SSR装置	塩見格一	H11. 11. 10	3277194	H14. 2. 15
航空管制用ヒューマン・マシン・インターフェース装置	塩見格一	H11. 12. 7	3646860	H17. 2. 18
CPDLCメッセージ作成システム	塩見格一	H12. 3. 30	4210772	H20. 11. 7
航空路管制用航空機順序・間隔付けヒューマン・インタフェース	塩見格一	H12. 3. 30	4192252	H20. 10. 3
CPDLC/AIDC共用管制卓及び同ヒューマン・インタフェース	塩見格一	H12. 3. 30	4192253	H20. 10. 3
航空管制用管制指示入力装置	塩見格一	H12. 3. 30	4390118	H21. 10. 16
ターゲット選択操作装置	塩見格一	H12. 3. 24	3743949	H17. 12. 2
無線ネットワーク測位システム	田中修一 二瓶子朗	H12. 6. 6	3453547	H15. 7. 18
無線ネットワーク制御システム	田中修一 二瓶子朗	H12. 6. 6	3428945	H15. 5. 16
GPS及びその補強システムを用いた航法システムにおけるアベイラビリティ取得方法及びその装置	福島荘之介	H12. 7. 26	3412011	H15. 3. 28
複数チャンネルを利用した無線ネットワークシステム及びその制御装置	田中修一 二瓶子朗	H12. 11. 13	3462172	H15. 8. 15
心身診断システム	塩見格一	H13. 9. 14	3764663	H18. 1. 27
無線ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4716472	H23. 4. 8
無線通信ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4716473	H23. 4. 8
無線ネットワークを利用した移動局測位システム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4640720	H22. 12. 10
無線ネットワークシステム	田中修一 二瓶子朗	H13. 8. 8	4640721	H22. 12. 10
音声処理装置	塩見格一	H13. 9. 25	3512398	H16. 1. 16
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法	塩見格一	H13. 10. 24	3579685	H16. 7. 30
目標検出システム	加来信之	H13. 12. 10	3613521	H16. 11. 5
誘電率の測定方法及び誘電率測定装置	横山尚志	H13. 9. 6	3680113	H17. 5. 27
ILSのグライドパスのGP進入コース予測方法及びILSのグライドパスのGP進入コース予測装置	横山尚志	H13. 9. 6	3752169	H17. 12. 16
移動体測位方法及び移動体誘導方法	岡田和男 白川昌之 塩見格一 小瀬木滋 田嶋裕久 住谷泰人 米本成人	H14. 3. 29	3826191	H18. 7. 14
電波反射体を用いた測定装置	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3623211	H16. 12. 3
操作卓 意匠	塩見格一	H14. 10. 15	1189989	H15. 9. 26
画面情報表示方法、システム及びコンピュータプログラム	塩見格一	H15. 1. 24	4412701	H21. 11. 27
無線ネットワークシステム、移動局および移動局の制御方法	二瓶子朗	H14. 11. 19	4097254	H20. 3. 21
無線通信ネットワークシステム	二瓶子朗	H15. 3. 28	4141876	H20. 6. 20
無線通信ネットワークシステムおよび無線ネットワークシステムの制御方法	二瓶子朗	H14. 11. 19	4097133	H20. 3. 21
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム	金田直樹 塩見格一	H15. 6. 3	3746773	H17. 12. 2

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月	登録番号	登録年月日
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
操作卓 意匠	塩見格一	H15. 11. 18	1226782	H16. 11. 19
脇机 意匠	塩見格一	H15. 11. 18	1221366	H16. 9. 17
カオス論的指標値計算システム PCT出願(日本国内)	塩見格一	H15. 12. 26	4317898	H21. 6. 5
カオス論的指標値計算システム PCT出願(日本国内分割)	塩見格一	H15. 12. 26	4989618	H24. 5. 11
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局通信制御方法及び通信システム	金田直樹 塩見格一	H16. 3. 3	4107432	H20. 4. 11
電波装置	米本成人	H16. 5. 18	3845426	H18. 8. 25
航空管制用インタフェース装置、その表示制御方法およびコンピュータプログラム	塩見格一	H16. 3. 29	3888688	H18. 12. 8
大脳評価装置 PCT出願(日本国内)	塩見格一	H16. 4. 28	4500955	H22. 4. 30
航空管制業務支援システム、航空機の位置を予測する方法及びコンピュータプログラム	塩見格一 金田直樹	H18. 10. 13	4355833	H21. 8. 14
誘電率の測定方法及び誘電率測定装置 (分割出願)	横山尚志	H13. 9. 6	3988828	H19. 7. 27
心身状態判定システム PCT出願(日本国内)	塩見格一	H16. 2. 23	4505619	H22. 5. 14
電波反射体を用いた測定装置 (分割出願)	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3772191	H18. 2. 24
電波反射体を用いた移動体の航法方法 (分割出願)	米本成人 塩見格一	H14. 6. 28	3840520	H18. 8. 18
航空管制卓(意匠)	塩見格一	H16. 5. 20	1242705	H17. 4. 28
全方向性を有する誘電体レンズ装置。	米本成人	H16. 8. 19	3822619	H18. 6. 30
高周波信号のデジタル I Q 検波方法	田嶋裕久 古賀禎 小瀬木滋	H16. 9. 15	3874295	H18. 11. 2
移動体の識別監視装置	米本成人 古賀禎	H16. 10. 8	3956025	H19. 5. 18
航空管制支援システム	塩見格一	H17. 2. 4	4148420	H20. 7. 4
ILSのグライドパス装置のGPパス予測方法	横山尚志 朝倉道弘	H16. 10. 6	3956024	H19. 5. 18
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地	金田直樹 塩見格一	H15. 6. 3	3997549	H19. 8. 17
誘電体レンズを用いた電磁波の反射器、発生器及び信号機	米本成人	H17. 1. 18	3995687	H19. 8. 10
ドライバーの発話音声収集システム	塩見格一	H16. 12. 13	4296300	H21. 4. 24
移動体の測位方法及びその測位装置	古賀禎 田嶋裕久	H17. 2. 21	4736083	H23. 5. 13
航空管制システム及び航空管制システムで用いられる携帯情報端末	塩見格一 金田直樹	H17. 6. 21	4625954	H22. 11. 19
航空路管制用管制卓における順序・間隔付けヒューマンインタフェース装置	塩見格一 金田直樹	H17. 6. 21	4590559	H22. 9. 24
移動局監視システムのための監視連携装置およびその方法	二瓶子朗	H17. 12. 15	4703390	H23. 3. 18
飛行計画表示装置	三垣充彦	H18. 2. 9	4193195	H20. 10. 3
飛行計画表示装置 (分割出願)	三垣充彦	H18. 2. 9	4736103	H23. 5. 13
音声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
無線航法システムにおける信頼性指示装置	坂井丈泰	H18. 12. 11	4348453	H21. 7. 31
衛星航法システムにおける衛星軌道情報の伝送方法及びそれらの装置	坂井丈泰	H18. 12. 13	4613334	H22. 10. 29
リフレクトアレイ及びミリメートル波レーダー(アレイ型反射板とミリ派レーダ) PCT出願(日本国内)	山本憲夫 米本成人 山田公男	H20. 10. 27	5023277	H24. 6. 29
外部雑音改善型発話音声分析システム	塩見格一	H19. 3. 30	5050180	H24. 8. 3
天頂対流圏遅延量の推定値の算出方法	武市昇 坂井丈泰 福島荘之介 伊藤憲	H20. 7. 9	5419031	H25. 11. 29
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ	米本成人 河村暁子	H22. 5. 11	4919179	H24. 2. 10
衛星航法システムにおける電離層遅延量の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H19. 9. 25	4644792	H22. 12. 17
全方向性を有する誘電体レンズ装置を用いた電磁波の反射器を有するアンテナ	米本成人 河村暁子	H20. 10. 28	4812824	H23. 9. 2
作業適正判定システム	塩見格一	H20. 10. 31	5035567	H24. 7. 13
作業監視システム	塩見格一	H20. 10. 31	4936147	H24. 3. 2
G P S 衛星信号の品質監視機能を有する G P S 衛星信号品質監視方法及び G P S 衛星信号の品質監視機能を備えた G P S 衛星信号品質監視装置	齊藤真二	H21. 6. 4	5305395	H25. 7. 5
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H22. 3. 25	5305413	H25. 7. 5
衛星航法システムにおける電離圏異常を検出する方法及びその装置	藤田征吾	H22. 8. 20	5305416	H25. 7. 5
直線偏波の制御方法及びその装置	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一	H23. 4. 26	5376470	H25. 10. 4

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月	登録番号	登録年月日
直線偏波の制御方法及びその装置 (分割出願)	米本成人 河村暁子 二ツ森俊一	H23. 4. 26	5376470	H26. 8. 22
RTK測位計算に利用する衛星の選択方法及びその装置	山田英輝	H23. 10. 18	5013385	H24. 6. 15
自律神経の状態評価システム	塩見格一	H23. 7. 20	5812265	H27. 10. 2
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

②海外

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月	登録番号	登録年月日
飛行場運航票管理システムのユーザインタフェース装置 PCT出願:カナダ	塩見格一	H7. 5. 18	2167516	H15. 5. 13
飛行場運航票管理システムのユーザインタフェース装置 PCT出願:イギリス	塩見格一	H7. 5. 18	2295472	H10. 7. 22
飛行場運航票管理システムのユーザインタフェース装置 PCT出願:オーストラリア	塩見格一	H7. 5. 18	680365	H9. 11. 13
航空機管制支援システム(アメリカ国内)	塩見格一	H8. 3. 29	5, 941, 929	H11. 8. 24
航空機管制支援システム(カナダ国内)	塩見格一	H8. 3. 29	2, 201, 256	H13. 2. 6
飛行場管制支援システム:アメリカ	塩見格一	H10. 3. 25	6, 144, 915	H12. 11. 7
自動従属監視環境下における進入管制区航空機個別誘導システム:アメリカ	塩見格一	H10. 2. 24	6, 064, 939	H12. 5. 16
自動従属監視環境下における進入管制区航空機個別誘導システム:韓国	塩見格一	H10. 2. 26	538960	H17. 12. 20
滑走路予約システム:アメリカ	塩見格一	H9. 6. 9	US 6, 282, 487 B1	H13. 8. 28
受動型SSR装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H11. 10. 29	US 6, 344, 820 B1	H14. 2. 5
SSR装置及び航空機二次監視網 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H11. 10. 29	US 6, 337, 652 B1	H14. 1. 8
管制装置システム:アメリカ	塩見格一	H12. 12. 7	US 6, 573, 888 B2	H15. 6. 3
音声による疲労・居眠り検知装置及び記録媒体:アメリカ	塩見格一	H12. 10. 19	US 6, 876, 964 B1	H17. 4. 5
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(韓国)	塩見格一	H14. 4. 10	10-722457	H19. 5. 21
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H14. 4. 10	158325	H24. 3. 30
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法(EP国内)	塩見格一	H14. 10. 23	1450331	H17. 12. 28
心身診断システム PCT出願(韓国)	塩見格一	H14. 11. 11	10-0596099	H18. 6. 26
心身診断システム PCT出願(インド国内)	塩見格一	H14. 11. 11	249868	H23. 11. 17
心身診断システム PCT出願(シカゴ国内)	塩見格一	H14. 11. 11	104430	H19. 7. 31
心身診断システム PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 4. 28	US 7, 363, 226 B2	H20. 4. 22
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(韓国)	塩見格一	H16. 5. 10	10-0699042	H19. 3. 16
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(シンガポール)	塩見格一	H14. 11. 12	104553	H18. 11. 12
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H14. 11. 12	202992	H18. 11. 6
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H14. 11. 12	US 7, 678, 047 B2	H22. 3. 16
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H16. 9. 20	209578	H19. 12. 14
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H15. 2. 26	US 7, 392, 178 B2	H20. 6. 24
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(シンガポール国内)	塩見格一	H15. 2. 26	106483	H18. 10. 31
カオス論的指標値計算システム PCT出願(オーストラリア国内)	塩見格一	H15. 12. 26	2003292683	H22. 6. 3
カオス論的指標値計算システム PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H15. 12. 26	US 7, 321, 842 B2	H20. 1. 22
カオス論的指標値計算システム PCT出願(カナダ国内)	塩見格一	H15. 12. 26	2516982	H25. 4. 2
カオス論的指標値計算システム PCT出願(EP(英国国内))	塩見格一	H15. 12. 26	1598749	H21. 3. 11
大脳評価装置 PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 4. 28	US 7, 988, 629 B2	H23. 8. 2
大脳評価装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H16. 4. 28	178316	H22. 9. 1
大脳評価装置 PCT出願(オーストラリア国内)	塩見格一	H16. 4. 28	AU 2004318986 B2	H23. 6. 30
大脳評価装置 PCT出願(カナダ国内)	塩見格一	H16. 4. 28	2, 560, 529	H24. 6. 26
心身状態判定システム PCT出願(アメリカ国内)	塩見格一	H16. 2. 23	US 7, 737, 859 B2	H22. 6. 15
心身状態判定システム PCT出願(EP国内)	塩見格一	H16. 2. 23	1607043	H24. 9. 26

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月	登録番号	登録年月日
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び装置通信システム PCT出願(EP国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 8. 17	1722587	H23. 5. 11
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び装置通信システム PCT出願(アメリカ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 8. 17	US 7, 974, 600 B2	H23. 7. 5
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(アメリカ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	US 7, 640, 014 B2	H21. 12. 29
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(カナダ国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	2, 526, 734	H21. 12. 29
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願(インド国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	224596	H20. 10. 21
画面情報表示方法、システム及びコンピュータプログラム (アメリカ国内)	塩見格一	H16. 1. 26	US 7, 091, 994 B2	H18. 8. 15
電波装置 アメリカ	米本成人	H17. 3. 9	US 7, 446, 730 B2	H20. 11. 4
誘電体レンズを用いた装置 PCT出願(アメリカ国内)	米本成人	H17. 7. 27	US 8, 471, 757 B2	H25. 6. 25
アレイ型反射板とミリ波レーダ PCT出願(アメリカ国内)	山本憲夫 米本成人 山田公男	H18. 10. 27	US 7, 719, 463 B2	H22. 5. 18
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ	米本成人 河村暁子 武市昇	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)	坂井丈泰 福島莊之介 伊藤憲	H19. 12. 28	US 8, 665, 146 B2	H26. 3. 4
RTK測位計算に利用する衛星の選択方法及びその装置	山田英輝	H24. 4. 9	US 9, 417, 327 B2	H28. 8. 16

(2) 出願中

①日本国内

発明の名称	発明者	出願年月日	出願番号
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H28. 1. 23	2016-011162
探索システム、探索演算装置及び探索方法	塩見格一	H28. 9. 19	2016-182464

②海外

発明の名称	発明者	出願(国際)年月日	出願番号
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H14. 4. 10	020717089. 3
カオス論的ヒューマンファクタ評価装置 PCT出願(インド国内)	塩見格一	H15. 10. 15	1634/CHENP/2003
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H16. 5. 20	161892
カオス論的脳機能診断装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H16. 5. 20	020780070
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(イスラエル国内)	塩見格一	H15. 2. 26	164174
カオス論的診断感度増感装置 PCT出願(EP国内)	塩見格一	H16. 10. 20	03744980. 8
大脳評価装置 PCT出願 (EP国内)	塩見格一	H16. 4. 28	040729983. 9
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び装置通信システム PCT出願(カダグ 国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 8. 17	2557810
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御 方法及び通信システム PCT出願(イスラエル国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	171970
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御 方法及び通信システム PCT出願(EPC加盟国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	040745474. 9

第 3 部 現 況



1 平成28年度に購入した主要機器

AeroMACSポイント基地局 1式
屋外雲台一体型三板カメラ 1式
GBAS受信機評価用インタフェース 1式
RF信号記録再生装置 1式
刃波コンバータ 1式
広域マルチテレーション実験装置WAM試験用空中線(改修) 1式
DTVマルチシステム信号発生器 1式
評価ツール用GPS受信装置 1式
広域帯RF増幅器 2式
遠隔型飛行場援助業務用制御卓のモックアップ 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

附属設備： 計測室、空調設備、空中線特性試験装置、
アンテナ回転台移動装置、計測機器ピット、各種無線計測機器、非常照明

2 アンテナ試験塔

アンテナ試験塔は、昭和52年に建設され、VORの研究などで使用されてきた。

平成17年度には、二次監視レーダー（SSR）モードSの高度運用技術の研究で使用するため、レーダー設置台を設置するなどの改修を行った。平成19年度には、回転式アンテナを含むSSR装置が設置された。

このほかに、屋上には、実験などに利用するためのスペースが確保されており、GPSアンテナなどが設置されている。

〔要目概要〕

高さ： 19.15 m

3 ネットワークシステム

当研究所のネットワークシステムは、共用電子計算機システムの一部として昭和50年台に所内LANが整備されたものに端を発するが、当初は外部組織とのネットワーク接続はなかった。平成5年、研究を効率的に進める上での電子メールの必要性が研究所内で認識され、日本のインターネットの草分けであるJUNET(Japan University Network)に接続し、電子メール及びネットニュースの利用を開始した。その後、平成7年に当時の科学技術庁の管理下にあった省際研究情報ネットワーク(IMnet: Inter-Ministry Research Information Network)に光ケーブル専用線で接続し、電子メールとネットニュースの他、www や ftp, telnet 等の現在のインターネットの基礎となるサービスを楽しむようになった。当時の光ケーブル専用線のデータ転送帯域は、192kbps であった。現在は、国立情報学研究所が提供する学術情報ネットワーク(SINET: Science Information Network)を利用して、1Gbpsの帯域で外部とのネットワーク接続を行っている。

一方、所内LANの構成に目を向けると、IMnetに接続を始めた頃に所内の各建屋毎にサブネットを割り振る形態を採用した。現在はVLANという形で研究グループ毎にサブネットを分けているが、当時の形態が現在の所内LAN構成の基礎となっている。

現在の所内回線は、平成20年に実施した構内光ケーブル布設(増設)により、計算機室～各建屋間において10GBASE-LRのイーサネット通信を実現している(調布本所～岩沼分室間を除く)。また、各建屋内においては、各端末(パソコン)は主に1000BASE-Tのイーサネットにより所内LANに接続されている。

現在、ネットワークシステムを構成するサーバ群は、電子メール、www、ファイル共有、グループウェア、VPN、無線LAN等のサービスを提供し、研究及び事務に不可欠なシステムとして運用されている。

4 実験用航空機

電子航法の実験や試験のために航空機をもつことは、当研究所の特色である。

昭和40年7月より、米国のビーチクラフトスーパーH-18型機を使用した。その後、使用10年を経過し、部品入手が困難になったため当機の更新を計画し、昭和49、50年度に米国のビーチクラフトB-99を購入し、昭和50年10月に当研究所に引き渡された。昭和51年1月から運用を開始したが、調布における運用制限のため、同年10月当研究所岩沼分室が宮城県岩沼市に設置されたことにより仙台空港を定置場とした。

ビーチクラフトB-99は、平成23年3月11日に発生した東日本大震災による津波にて被災、全損となったため、平成24、25年度にビーチクラフトB300を購入した。同機は平成25年5月に引き渡され、同年7月から運用を開始した。

[更新機の諸元・性能]

登録番号：JA35EN

型式：Beechcraft B300 (KingAir350)

全長：14.23 m

全幅：17.65 m

全高：4.36 m

全備重量：6.8 t

最大巡航速度：263 kt

最大航続距離：3,268 km

離陸滑走路長：1,006 m

着陸滑走路長：821 m

発動機：Pratt & Whitney Canada PT6A-60A

プロペラ：Hartzell HC-B4MP-3C

アビオニクス：Collins Pro Line 21

3 刊行物

当研究所の発行する刊行物は、下記のとおりである。

電子航法研究所報告（不定期刊行）
電子航法研究所 研究長期ビジョン報告書（不定期刊行）
電子航法研究所研究発表会講演概要（年刊）
電子航法研究所年報（年刊）
電子航法研究所要覧〈案内〉（年刊）

4 行事等

当研究所の平成28年度における行事等は、下記のとおりである。

第1回研究交流会 『モンゴル科学技術大副学長との意見交換会』〔平成28年4月14日（木）〕
モンゴル科学技術大学で工学系高等教育に関するプロジェクトを実施しているバーサンダッシュ副学長と、無人航空機を使ったネットワークの構築に係るSKY-INFRA IN MONGOLIAプロジェクトについて、討議を行った。

研究施設一般公開〔平成28年4月24日（日）〕
平成28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6,117名）

研究発表会〔平成28年6月9日（木）～10日（金）〕
平成28年度（第16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367名）

第2回研究交流会 『タレスジャパン（株）との研究交流会』〔平成28年6月15日（水）〕
ATM関連の共同研究を行っているタレスジャパン（株）と、フランス国内空港向けの離発着シーケンス及びビッグデータ解析による混雑している大規模空港のキャパシティ予測について、討議を行った。

第3回研究交流会 『韓国航空大学の視察』〔平成28年8月9日（火）〕
当研究所の研究事例を紹介し、航空交通管理及び監視通信の課題や将来の展望について討議を行った。

第77回回出前講座〔平成28年10月17日（月）〕 金沢工業大学 扇が丘キャンパス

1. 電子航法研究所の概要
(研究計画課 阿部 昭夫)
2. 航空交通管理（ATM）の現在と未来
(監視通信領域 古賀 禎)
(航空交通管理領域 瀬之口 敦)

講演会〔平成28年11月15日（火）〕
平成28年度電子航法研究所講演会を羽田空港第1旅客ターミナルビルにおいて開催した。

テーマ：「首都圏空港の機能強化とENRIの技術」（来場者数延べ150名）

1. 電子航法研究所の最近の活動
(電子航法研究所 研究統括監 小瀬木 滋)
2. 空港舗装の課題と港空研における研究の紹介等
(港湾研究技術研究所 構造研究領域 空港舗装研究グループ長 伊豆 太)
3. 空港面の交通流と空港舗装
(電子航法研究所 航空交通管理領域 主幹研究員 青山 久枝)
4. 滑走路異物監視システムの研究開発
(電子航法研究所 監視通信領域 主幹研究員 ニッ森 俊一)
5. GLSによる将来運航の進展
(電子航法研究所 航法システム領域 上席研究員 福島 荘之介)

第78回出前講座〔平成28年12月8日（木）〕 国土交通省 航空保安大学校

1. 電子航法研究所の概要
(研究計画課 阿部 昭夫)
2. 空港面異物監視システムの研究
(監視通信領域 米本 成人)
3. GNSSを利用した曲線経路による精密進入着陸方式等の高度な飛行方式の研究
(航法システム領域 福島 荘之介)

第79回出前講座〔平成29年1月19日（木）〕 全日本空輸（株）

1. 電子航法研究所の概要
(研究計画課 森井 智一)
2. GLSによる計器進入の進展
(航法システム領域 福島 荘之介)
3. 軌道ベース運用における二次元飛行経路に関する一考察
(航空交通管理領域 平林 博子)
4. リアルタイムシュミレーション実験によるRNP AR機最優先方式での従来機との混合運用の可能性の検討
(航空交通管理領域 天井 治)

平成28年度評議員会〔平成29年3月14日（火）〕

評議員会において下記課題に関する評価を実施した。

事後評価課題 「航空路監視技術高度化の研究」
「空港面異物監視システムの研究」
「「Full 4D」の運用方式に関する研究」

事前評価課題 「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」
「遠隔型空港業務支援システムの実用化研究」

5 職員表彰

◎ 理事長表彰（平成28年12月8日）

永年勤続（30年）

福田 豊（航法システム領域）

永年勤続（20年）

坂井 丈泰（航法システム領域）

岡 恵（航空交通管理領域）

特 別

吉原 貴之（航法システム領域）

齋藤 享（航法システム領域）

毛塚 敦（航法システム領域）

星野尾 一明（航法システム領域）

福島 莊之介（航法システム領域）

齊藤 真二（航法システム領域）

「全地球航法衛星システム（GNSS）に基づく航法システムについて、カテゴリⅢ着陸に対応したGBAS（GAST-D）の安全性設計及び検証技術を開発」

福島 莊之介（航法システム領域）

「電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会において、多大に貢献したことにより“通信ソサイエティ活動功労賞”を受賞」

福田 豊（航法システム領域）

「日本航空宇宙学会において『Arrival Time Control during Continuous Descent and Its Application to Air Traffic Control』を発表し“論文賞”を受賞、また、同学会よりフェロー称号を授与」

森 亮太（航空交通管理領域）

「日本航空宇宙学会第46期年会講演会において『確率的離散的かつ周期的パイロット操舵モデルの提案』を発表し“若手優秀講演賞”を受賞」