

ま え が き

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

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

この電子航法研究所年報は、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期目標の最終年となる令和4年度に当研究所が行った業務の概要を収録したもので、研究所の運営に関する事項、各研究領域の研究業務を紹介しています。なお、別に刊行しております電子航法研究所報告及び電子航法研究所研究発表会講演概要には、より詳細な研究内容を記載しておりますので、あわせてご参照いただけますと幸いです。

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

令和5年7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 島津 達行

目 次

第1部	総 説	
1.	沿 革	3
	定員の推移	5
2.	組 織	6
3.	役職員数	6
4.	所 在	7
5.	建 物	7
第2部	試験研究業務	
1.	航空交通管理領域	11
2.	航法システム領域	43
3.	監視通信領域	65
4.	研究所報告	108
5.	受託研究	109
6.	共同研究	110
7.	研究発表	112
8.	知的財産権	126
第3部	現 況	
1.	令和4年度に購入した主要機器	131
2.	主要施設及び機器	132
3.	刊 行 物	134
4.	行 事 等	134
5.	職員表彰	136
付 録		
1.	略語表	139
2.	用語解説	155

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諮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。

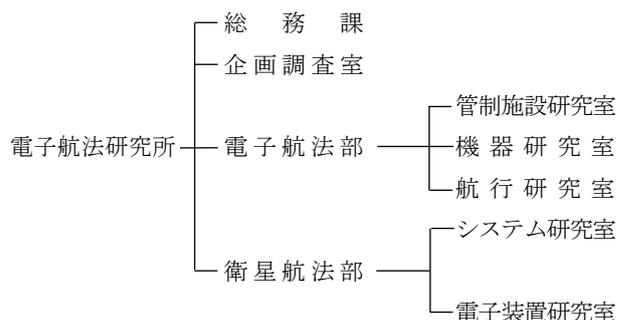
宇宙開発の一環として、人工衛星を航空機及び船舶の航法に利用しようとする開発研究は、我が国においても昭和38年に着手された。その結果をもとに、運輸省は昭和40年4月「人工衛星による航行援助方式の開発に関する基本方針」を決め、昭和41年度は衛星航法研究室 (3名) が新設された。

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

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

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

当時の組織は下記のとおりであった。



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

昭和45、46年度には、電波無響室を整備し、昭和45年度に電子航法部を廃止し、電子航法開発部 (機器研究室) と電子航法評価部 (管制施設研究室、航行研究室) を設置し、総務課に総務係をおいた。

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

昭和48年度には総務課に企画係をおいた。

昭和49年度は総務課に会計係をおいた。さらに、同年度には、実験用航空機の更新が認められ、昭和50年10月にビーチクラフトB-99が引き渡された。

昭和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・予算の約25%を特別会計に移管した。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。

昭和52年度は、アンテナ試験塔を整備した。

昭和53年度には、航空施設部が発足した。さらに、昭和54年1月には岩沼分室に分室長をおいた。

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

昭和55年度には、海上保安庁より格納庫 (建坪825㎡) の所管換を受けた。

昭和63年度は、管理庁舎兼衛星航法実験棟が竣工した。

平成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、2号棟 (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22年度は、6号棟の建替工事が完了した。

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）が引き渡された。

平成27年度は、「独立行政法人通則法の一部を改正する法律」等関係諸法令の施行を受け、国立研究開発法人に移行し、「国立研究開発法人電子航法研究所」となった。

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

平成29年度は、本所に特別研究主幹を設置した。

令和元年度は、本所に国際標準化センターを設置した。

令和2年度は、岩沼分室に新格納庫を建設した。

定員の推移

年 度	昭和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	平成元	2	3	4	5	6
定 員	63 (26)	64 (27)	64 (28)	65 (28)	65 (28)	65 (28)	66 (29)
年 度	7	8	9	10	11	12	13
定 員	66 (29)	66 (29)	65 (28)	65 (28)	65 (28)	64 (28)	64 (28)
年 度	14	15	16	17	18	19	20
定 員	64 (28)	64 (30)	63 (29)	60 (27)	60 (27)	60 (27)	60
年 度	21	22	23	24	25	26	27
定 員	60	60	60	59	59	60	63
年 度	28	29	30	令和元	2	3	4
定 員	60	57	57	57	56	56	55

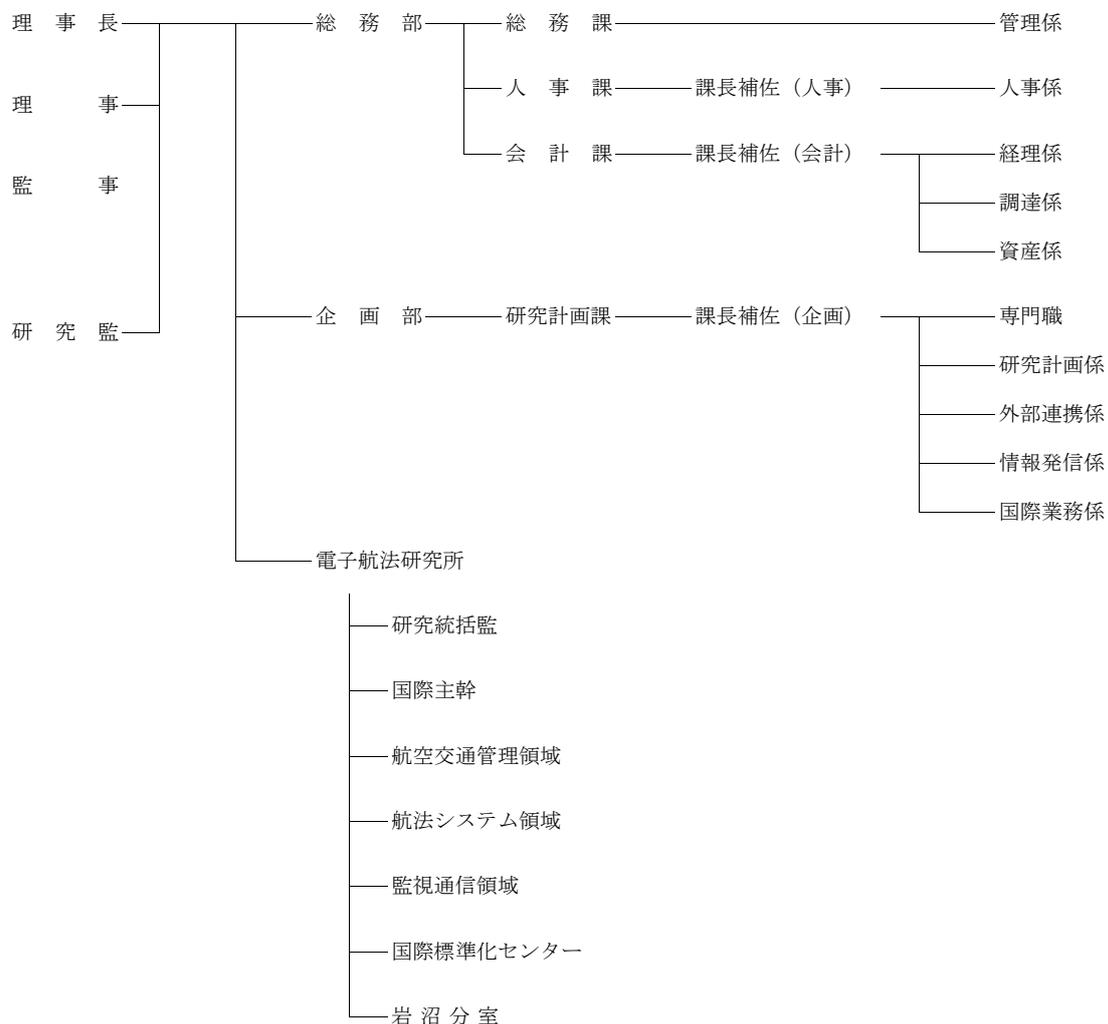
注1：（ ）内は、空港整備特別会計で内数。平成20年度以降は区分経理の廃止に伴い、特別会計の予算は一般会計へ移管された。

注2：平成18年度以降は年度末現在の職員数を掲載

注3：役員の数には含まない

2 組 織 (令和5年3月31日現在)

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



3 役職員数

	一般勘定
理事	1
研究統括監	1
事務職	13
研究職	41
計	56

(令和5年3月31日現在)

※ 役職員数には監事は含まない

4 所 在

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

5 建 物

建 物	建 ・ 延 面 積	竣工年度
1号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積390㎡, 延面積780㎡	昭和47年度 平成19年度改装 平成22年度改装
2号棟 (ATCシミュレーション実験棟)	鉄筋コンクリート2階建, 建面積569㎡, 延面積1,092㎡	平成12年度
3号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積232㎡, 延面積465㎡	昭和43年度 平成22年度改装
4号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積490㎡, 延面積980㎡	昭和53年度 平成23年度改装
5号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積630㎡, 延面積1,160㎡	昭和63年度 平成22年度改装
6号棟	鉄筋コンクリート2階建, 建面積355㎡, 延面積653㎡	平成22年度
仮想現実実験棟	鉄筋コンクリート造一部鉄骨造2階建, 建面積480㎡, 延面積703㎡	平成6年度
電波無響室	鉄筋コンクリート2階建, 建面積590㎡, 延面積687㎡ 内装寸法: 奥行32m, 幅7m, 高さ5m	昭和45年度 昭和48年度増築 平成13年度改装
アンテナ試験塔	鉄筋造, カウンタポイズ直径25m, 奥行・幅13m, 高さ19.5m 実験準備室: 鉄筋造一部中2階建, 建面積160㎡, 延面積203㎡	昭和52年度 昭和53年度
岩沼分室建屋	鉄筋コンクリート2階建, 建面積287㎡, 延面積497㎡ 屋上にレーダー塔を設置	昭和54年度 平成24年度改修
岩沼分室格納庫	鉄骨造平屋建, 建面積825㎡, 延面積825㎡	昭和55年度所属換 平成24年度改修
岩沼分室格納庫	鉄骨造平屋建, 建面積990㎡, 延面積960㎡	令和2年度

(令和5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 年度当初の試験研究計画とそのねらい

令和4年度における研究は、社会・行政ニーズや技術分野の将来動向を考慮し、重点研究、指定研究、基盤研究、萌芽的研究および競争的資金として承認された下記の項目を計画した。

1. 気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究
2. 国際交通流の円滑化に関する研究
3. AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究
4. 管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響に関する研究
5. 時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究
6. 進入方式等の効率向上に関する研究
7. 航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究
8. 無人機・有人機の協調的な運用環境構築に関する研究
9. 離陸機の運用最適化に関する研究
10. 航空管制官のための意思決定支援システムに関する研究
11. 深層強化学習と制御の融合による到着航空交通流のための間隔維持支援アルゴリズム
12. 不安定進入を対象とした機械学習による要因分析手法の開発
13. 航空輸送業界におけるカーボンニュートラル達成のためのデジタルツインを活用した航空機の運航改善
14. 次世代空モビリティの安全認証および社会実装に求められる性能評価手法に関する研究開発

1から3は重点研究、4から6は指定研究、7は基盤的研究、8は萌芽的研究、9から14は競争的資金による研究である。

1は悪天の航空機運航、航空交通への影響および空域容量に対する制約を可視化・定量化し、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化をめざす研究である。

2は自由に経路を設定できるフリールート空域運用の移行に向けた、課題の抽出・解決やわが国と隣接する飛行情報区間で共有すべき情報やその方法を提案する研究である。

3は航空交通が輻輳する大規模空港において、滑走路の最大活用のために、到着・出発・空港面の航空交通流を統合的に管理する運用手法を提案し有効性を評価する研究である。

4は航空交通管理における容量管理のために、自動化システムや管制支援機能がもたらす航空路管制の業務作業量を定量化する研究である。

5は混雑空港への到着便を対象とした時間管理運用のための各種機能について、最適となるシステム構成およびその一部である

メタリングの機能要件を、システム思考の技法を用いて明らかにする研究である。

6は進入方式を対象とし、方式設計の効率化および高度化、将来の新たな運航方式策定に関する安全性評価手法の開発を行う研究である。

7は継続降下運航（CDO：Continuous Descent Operations）の一種であるfixed-FPA降下方式の設計方法を確立し、空地連携を達成するために必要とされる機能要件を定義し、運用構想をまとめる研究である。

8は小型無人機と有人航空機の情報共有環境を構築するとともに、小型無人機の飛行にかかわるリスク評価手法を開発する研究である。

9は離陸機における運用に焦点を当て、燃料消費量の削減方を検討する研究である。

10は機械学習を利用して管制負荷を定量化し、管制官の意思決定を支援する研究である。

11は航空管制官を支援するための間隔維持支援アルゴリズムに深層強化学習を取り入れたアルゴリズムを提案するものである。

12は航空機の事故が特に多いとされる着陸進入時の不安全事故を同定し、その回避を行う手法を提案する研究である。

13は航空機運航のデジタルツインを構築し、仮想空間上で航空機運航の改善方法を提案・評価する研究である。

14は一人の操縦者が複数の無人航空機を運航する場合に、運航の安全基準を開発する研究である。

II 試験研究の実施状況

1の「気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究」では、航空会社が設定する悪天回避経路を予測するために最も効果的な、運航前の飛行計画段階で利用可能な気象予報データの種類を明らかにした。また、運用判断指標のためにエコー強度の値や空域に占める悪天率やデビエーション割合の検討、研究評価用システムの機能向上を引き続き行った。

2の「国際交通流の円滑化に関する研究」では、仁川FIR～福岡FIR洋上空域間のFRA設計案と交通モデルを作成し、運航者への便益を示した。また、洋上空域におけるステップ・クライムの解析や、フリールーティングの効果を評価・確認のための適切な指標についてステークホルダー毎の観点から検討・分類を進めた。さらに、すでに各国で実施されている航空交通流管理における時刻指定の仕方を我が国の国際ATFMに適用した場合について、それぞれ分析した。

3の「AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究」では、到着管理と出発管理機能の統合において、エンルート空域における速度制御・滑走路割り振りアルゴリズムを開発し、遅延削減に寄与

することを示した。また、統合的な運用評価のためにエンルート管制卓を模擬するヒューマンインザループシミュレーション実験環境の構築を進め、初期実験を実施した。

4の「管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響に関する研究」では、作業量計測のための支援機能を模擬する評価用システムの改修を行い、TEPSの自動化機能のひとつであるAIDC (ATC Interfacility Data Communications) 機能を対象としたリアルタイムシミュレーション実験を実施し、AIDCが利用できないときの管制作業量や負担感の増加について定量的に示した。

5の「時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究」では、時間管理運用に対するステークホルダーの期待する内容を調査し傾向分析を行った。またCFDT (Calculated Fix Departure Time) の実運用再開についてDAPs (Downlink Aircraft Parameters) データを用いた方法の提案や、羽田到着機の滑走路選択に関する機械学習を利用した検討を実施した。

6の「進入方式等の効率向上に関する研究」では、方式設計の自動化アルゴリズムを構築し、地上障害物がなく条件が複雑でないモデル空港で方式設定が可能であることを示した。

7の「航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究」では、提案するFixed-FPA降下に必要なEFBアプリケーションを開発した。また、当所実験用航空機で実証実験を行い、有効性を確認した。

8の「無人機・有人機の協調的な運用環境構築に関する研究」では、VFR飛行計画を用いた実航跡推定の高精度化、市販の後付けリモートIDの課題抽出及び定量的な空中リスク推定における課題抽出を行った。

9の「離陸機の運用最適化に関する研究」では、出発時の上昇推力を調整することで燃料消費を低減することを、フルフライトシミュレータを用いて確認するとともに、提案手法が有効でない状況の課題抽出を行った。

10の「航空管制官のための意思決定支援システムに関する研究」では、管制負荷量推定のために Long short-Term Memory による時系列性を用いた手法を適用し、Neural Network に比べて高管制負荷時の推定が優れていることを示した。

11の「深層強化学習と制御の融合による到着航空交通流のための間隔維持支援アルゴリズム」では、開発した到着便の速度モデルを管制官のための間隔維持支援アルゴリズムに取り込んだ。また、複数の深層強化学習ベースの支援アルゴリズムの開発を行った。

12の「不安定進入を対象とした機械学習による要因分析手法の開発」では、不安定進入を対象として、フライトデータをを用いて要因分析を行う新たな手法を提案するため

に、航空会社の所有する詳細なデータの入手や航空会社の担当者との協力関係を構築し、データ分析に着手した。

13の「航空輸送業界におけるカーボンニュートラル達成のためのデジタルツインを活用した航空機の運航改善」では、減速運航に注目し、早発時間と二酸化炭素排出削減量の間に関連があることを示し、減速運航を実現するための課題について議論を行った。

14の「次世代空モビリティの安全認証および社会実装に求められる性能評価手法に関する研究開発」では、1対多運航の基準案の作成を行うにあたってのユースケースを検討し、初期的なモデルの実装に着手した。

本年度は、上記の14件の研究に加えて、以下に示す3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) CARATS公開用データ等作成作業
- (2) 洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業
- (3) 風速精度向上による航空機燃費削減効果検証

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おり、航空局の主導する「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS)」でも積極的に成果を発信している。特に重点研究の成果は航空行政に直接に反映されるもので、社会的貢献に繋がっている。

「気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究」、「時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究」及び、監視通信領域で実施している「SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究」で整備した、研究用データの外部提供活動が航空交通管理に関する研究開発促進に貢献し文部科学大臣表彰科学技術賞及び日本航空協会航空特別賞を受賞した。

「国際交通流の円滑化に関する研究」では、ICAO ATMPP (航空交通管理の要件・能力検討パネル) 会議に参加し、軌道ベース運用 (TBO; Trajectory Based Operation) や新しい飛行軌道管理である FF-ICE (Flight and Flow for Information Collaborative Environment) の議論に参加している。また、IPACG (日米太平洋航空管制調整グループ会議) でも洋上経路に関する検討に参加しており、北太平洋空域での経路再編に寄与した。

「AMAN/DMAN/SMAN 統合運用に関する研究」では、ICAO SP AIRB WG に参加し、AMAN を活用する ASA (Airborne Surveillance Application) 方式である IM (Interval Management) について、ICAO PANS-OPS 案の改訂を行った。

「時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究」では、ICAO で定められた統一指標の一つである KPI08 (Additional time in terminal airspace) を算出し PBWG (Performance Benchmarking WG) Report に掲載された。

「進入方式等の効率向上に関する研究」では、ICAO SASP (空域安全パネル) 会議に参加し、レーダー監視下の新たな短縮横間隔の基準化について提案した。

「無人機・有人機の協調的な運用環境構築に関する研究」では ICAO RPASP (遠隔操縦航空機システムパネル) 会議や ISO TC20 SC16 (無人航空機システム) 国内委員会、JUTM (日本無人機運行管理コンソーシアム)、JRPAS (日本無操縦者航空機委員会) 等において、有人機と小型無人機や空飛ぶクルマなどとの安全運航に関する議論に参加している。

これらの成果は、ICAO, IPACG などの国際会議、ATM Seminar, 米国電気電子学会 (IEEE), 米国航空宇宙学会 (AIAA) などの国際学会、日本航空宇宙学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会などの関連学会で積極的に発表している。

(航空交通管理領域長 福島 幸子)

気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究【重点研究】

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○瀬之口 敦, 平林 博子, 中村 陽一, 井無田 貴
 研究期間 令和2年度～令和5年度

1. はじめに

協調的な運航前の軌道調整を実現するにあたっては、天気図等から悪天域を読み取り、航空機運航や航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約を判断する高度な能力が要求される。これを支援するために、現状では航空交通気象センターから悪天に係る一般的な気象情報とともに航空交通気象時系列予報が提供されている。しかしながら、それでもまだ航空機運航や航空交通に及ぼす影響および空域容量に対する制約を直感的かつ定量的に把握することは容易ではない。航空交通気象時系列予報等の気象情報に対して航跡データや航空交通流制御実績データ等から求めた航空機運航や航空交通に及ぼす影響との相関を調べる等、飛行経路の選択や航空交通流制御の実施判断に資する気象情報の意味付けを行う研究開発が必要とされている。

2. 研究の概要

本研究は4ヵ年計画であり、その目的は悪天の航空機運航、航空交通への影響および空域容量に対する制約を可視化・定量化し、航空交通流管理および航空機の運航管理の高度化を図ることである。

第3年次の令和4年度においては、以下の3項目を実施した。

- ①航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析（予報値を用いた悪天回避の改良）
- ②国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価（運

用判断指標の分析）

- ③研究用評価システムによる評価および性能向上（評価機能の開発）

3. 研究成果

3.1 航跡データ、気象データ、航空交通流制御関連データの収集および分析（予報値を用いた悪天回避の改良）

気象庁が提供している気象観測データの全国合成レーダーエコーGPVに基づいて開発した悪天回避経路生成技術に関し、運航前の飛行計画段階で利用可能な気象予報データと考えられる気象庁の航空悪天GPVを適用した場合について事例解析を行った。図1について、悪天回避経路の生成例を左図：観測値、中央図：直近の予報値、右図：3時間前の予報値を用いた場合と悪天域の再現精度が高い順に左から右に並べて示す。地図上のカラースケール領域が悪天域を表し、青から緑、赤へ変わるとして降水強度は高くなる。また、赤点実線が実際の飛行経路を表すのに対し、それ以外のカラー実線はユーザーの異なる悪天回避志向を反映した生成経路を表す。予報値を用いた場合は観測値を用いた場合に比べて生成経路数が少ないことがわかる。図1に示した事例以外でも同様の傾向が見られたことから、予報値を用いた悪天回避については生成経路にデータ解像度の違い等によるものと思われる差異が生じることがわかった。一方、飛行時間や燃料消費量等は実際の悪天回避の場合とあまり差がなく、比較的近い値が得られた。以上より、風や温度の気象予報データであるメソ数

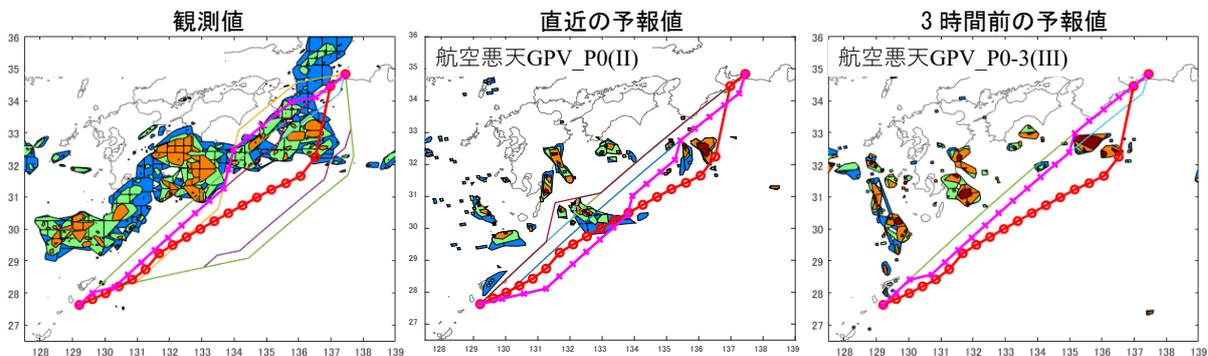


図1 悪天回避経路生成例（カラースケール領域：悪天域，赤点実線：実際の飛行経路，カラー実線：ユーザーの異なる悪天回避志向を反映した生成経路）

値予報モデル GPV (MSM) 等を単独で用いる場合よりも総降水量や積乱雲頂高度を含む出発直前に利用可能な航空悪天 GPV を用いる方がより実際の回避経路に近いことを示した。また、開発した悪天回避経路生成技術は運航前の飛行計画段階で利用できるため、航空機の飛行計画情報に基づいて実施される航空交通流制御の高度化等に役立つと期待している。

3.2 国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価 (運用判断指標の分析)

空域容量に影響する管制部空域の悪天率(対象空域に占める閾値以上のエコー強度領域の体積割合、ここでは対象日における最大値と定義)とデビエーション率(9~21時に航空路管制の対象空域で悪天候に起因する管制指示を受けた航空機の機数割合)を求め、相関関係を分析した。2021年5月~2022年1月の内の計245日間、羽田空港からの出発機を主に扱う関東西セクタ(T12)と武蔵セクタ(T13)を合わせた空域を分析対象とした。その結果、

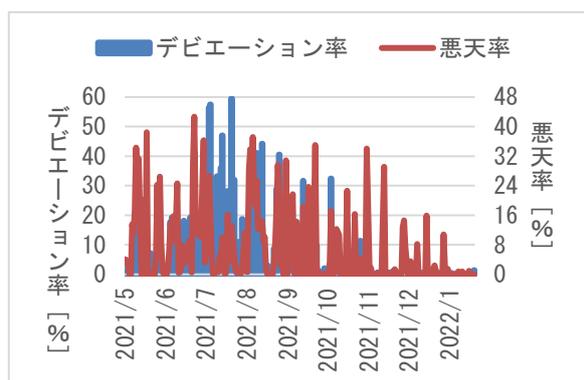


図2 悪天率とデビエーション率 (エコー強度閾値 0.1mm/h の場合)

悪天率の算出に用いるエコー強度閾値の大きさによらず、0.6弱の相関係数が得られた(図2)。デビエーション率が高く悪天率が低い場合は交通流の要所にピンポイントで悪天が発生した場合、逆にデビエーション率が低く悪天率が高い場合は状況判断により悪天回避が行われなかった場合等が考えられるため、今後はより詳細な分析を行い、悪天率からデビエーション率を予測する方法の検討を引き続き実施する予定である。

3.3 研究用評価システムによる評価および性能向上(評価機能の開発)

航跡データや気象データ等を表示・分析する機能を有する研究用評価システムについて、システムの利用者が簡単な操作で航空交通流と悪天現象等の状況を把握できるよう、表示機能と分析機能の実行環境を切り分け、表示機能についてはブラウザ上から実行する仕組みに変更した(図3)。マップ表示(左図)の左上にある「Open menu」をクリックして操作メニュー(右図)を呼び出し、各種操作

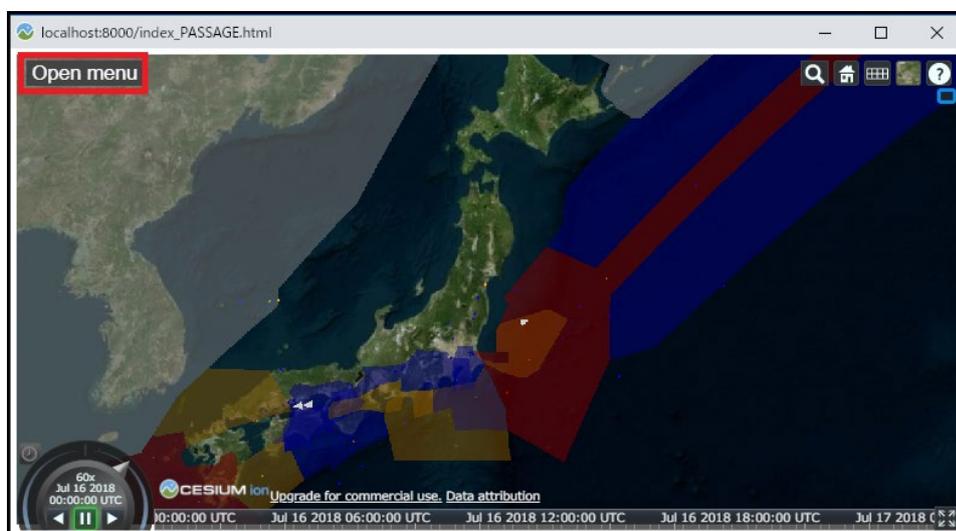
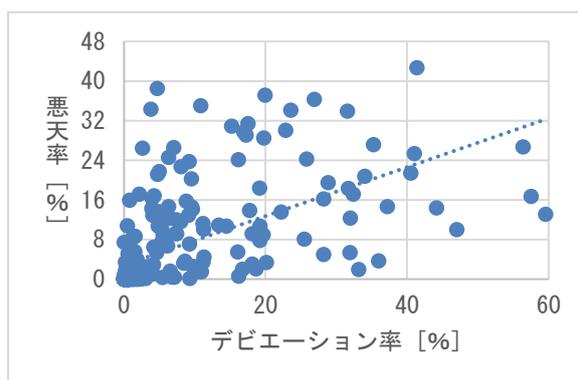


図3 ブラウザ上の表示画面例(左:マップ表示, 右:操作メニュー)

を実行できる。なお、図3の表示画面例中の内容は白三角点が航空機位置、カラースケール領域が予測交通量の大小を色で示した空域を表す。これより、検討結果・分析結果を関係者から評価していただくための仕組みが整った。

4. まとめ

次年度は、悪天回避経路の生成状況に応じて空域に対する悪天候の影響度合いを定量化し、提案するとともに、複数の飛行計画情報を比較できるようにシステムの性能向上を図り、運航前の軌道調整における情報表示等を評価する予定である。また、最終年次として本研究のとりまとめを行う。

掲載文献

- [1] 中村陽一，ビクラマシンハナヴィンダキトマル，瀬之口敦，“気象予報データの利用者選択経路の導出に与える影響，”第22回電子航法研究所研究発表会，2022年6月．
- [2] 瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“航空路管制における悪天候の影響の初期的な分析，”第22回電子航法研究所研究発表会，2022年6月．
- [3] 瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究の紹介，”航空無線113号，2022年9月．
- [4] 瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“CARATS 施策 MET-4-1, MET-4-2 および TBO-2-1 関連の ENRI 研究開発の進捗報告，”CARATS 第49回 ATM 検討 WG／第50回航空気象検討 WG 合同 WG，2022年9月．
- [5] 中村陽一，瀬之口敦，“気象予報データを活用した航空機の悪天回避経路の生成，”日本航海学会学会誌 NAVIGATION 222 号，2022年10月．
- [6] 中村陽一，瀬之口敦，“気象予報データを用いた悪天回避に関する初期的解析，”第60回飛行機シンポジウム，2022年10月．
- [7] 瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“航空路管制における悪天候の影響に関する考察，”第60回飛行機シンポジウム，2022年10月．

国際交通流の円滑化に関する研究【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，村田 暁紀
ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル，虎谷 大地，井無田 貴
研究期間 令和3年度～令和6年度

1. はじめに

アジア地域の経済成長に伴い、アジア太平洋地域の航空需要は拡大している。また、国際航空輸送において、地球温暖化対策として環境への負荷を低減させつつ、容量拡大及び効率化が求められている。福岡飛行情報区（Flight Information Region : FIR）は、日本と諸外国を結ぶ国際線だけでなく、アジア諸国と北米を結ぶ多くの上空通過機が飛行する。国際線の運航は複数国を経由するため、各国の空域、滑走路、地上インフラストラクチャ等の航空交通管理（Air Traffic Management : ATM）に関わるリソースの管理に関して、日本と近隣諸国との協力が重要となってくる。以上のことから、日本及び近隣諸国間での効率的かつ効果的な国際航空交通流管理（Air Traffic Flow Management : ATFM）が必要である。

空域、滑走路等の ATM リソースに関して、その需要が容量を超過すると、発生した遅延は航空ネットワークを通して広く伝搬し、効率及び処理能力を著しく低減させる。ATFM は、需要と容量を監視し、予想需要が高くなると、公平性を保ちつつ、最大の処理能力で最小の損失となるように、空域利用者間に容量を割り当てることで ATM リソースを管理することを目指す。

2. 研究の概要

本研究の目的は、隣接 FIR を含め国際線が利用する空域の容量と効率を向上するとともに、国際交通流の効率的な管理手法について検討することである。

先行研究では、より効率的な空域運用として、フリールート空域（Free Route Airspace : FRA）を福岡 FIR に導入することを提案した。本研究では、交通流解析、空域設計等により FRA コンセプトをより洗練させ、定量的な便益評価から課題を明示し解決策を提案していく等、引き続き FRA について検討する。

ATM の方向性は、関係者間で詳細かつ正確な軌道情報を共有する軌道ベース運用へと移行している。これを可能とするための技術として、国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization : ICAO）は、必要な情報を電子的に交換するための標準と手順として、

従来の ICAO 飛行計画に代わって、軌道を共有し管理する FF-ICE（Flight and Flow Information for a Collaborative Environment）を開発している。また、ATFM に関する情報も同様に発展している。本研究ではこれらの議論の場である ICAO ATMRPP（Air Traffic Management Requirements and Performance Panel）に参加し、コンセプト開発に貢献する。

日本、韓国、中国及び米国間では多くの国際線が飛行する。本研究では、これらのアジア三か国間での国際 ATFM に関して必要な情報交換の明確化及び ATFM 手法とそれがもたらす効果について検討を進める。また、北太平洋運航の円滑化のため、日米航空管制調整グループ会議（Informal Pacific ATC Coordination Group: IPACG）に貢献し、北米～アジア間における FF-ICE 導入推進活動にも貢献する。

3. 研究成果

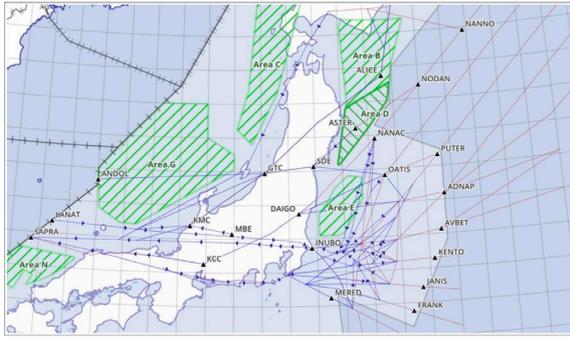
本年度は、FRA 運用モデルの構築、洋上空域におけるステップ・クライムの解析、フリールーティング便益指標の定義、および国際 ATFM 方策の調査を実施した。

3.1 FRA 運用モデルの構築

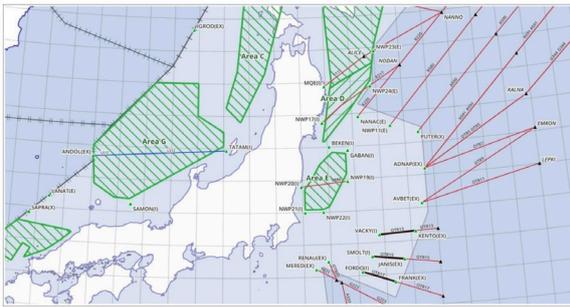
先行研究で実施した FRA コンセプトを基に、仁川 FIR～福岡 FIR 洋上空域間の FRA 設計案と交通モデルを作成し、運航者への便益を予測した。

図 1 上に 2019 年 3 月の仁川 FIR～福岡 FIR 洋上空域間の現在の空域、図 1 下に FRA 空域設計案を示す。FRA 空域設計案では、訓練空域を横断する ATS 経路、および洋上空域に入域する飛行便の横間隔を確保ために洋上転移経路を残したが、その他の ATS 経路を排除した。また、運航者が訓練空域を最短距離で回避する経路を計画できるように、訓練空域の境界線から 10NM 離れたウェイポイントを数か所設置した。

FRA の便益評価として、仁川 FIR～福岡 FIR 洋上空域間のフライトが計画する FRA 入域・出域フィックスのペアに対して、現在の空域と提案する FRA 空域における飛行計画経路の距離を比較した。入域・出域ペアに対して、FRA の飛行計画経路は現在空域の計画経路より短い（赤



ATS 経路 (一部) 2019 年 3 月 AIP



FRA 空域設計案

図 1 仁川 FIR～洋上空域間のレーダー管制空域：
 (上) 現在の ATS 経路構成の一部 (下) FRA 空域設計案。赤線は ATS 経路, 青線は RNAV ATS 経路を示し, 緑色の三角は FRA の入域 (E), 出域 (X), 中間 (I) ポイントを示す。緑色の網掛けは訓練空域を示す。

線と青線の距離の差) ケースがいくつかあった。入域・出域ペアに対する飛行計画経路距離短縮と 2019 年に飛行したフライト数の積を全ペアで総和した距離は約 150,000N.MI.である。この飛行距離は、約 300 時間の飛行時間短縮, 3,000,000lb の消費燃料削減, 4,000t の CO2 排出削減の便益に値する。

3.2 洋上空域におけるステップ・クライムの解析

ジェット機は、より高い巡航高度での飛行が効率的だが、上昇性能はエンジン推力と重量で制限される。特に長距離のフライトは、離陸時はまだ機体重量が重いから高い巡航高度を達成できない。しかし、航空機は巡航中に燃料を消費して徐々に軽くなり、次に高い巡航高度への上昇が可能になれば、航空管制から許可を得てその高度へ上昇する (ステップ・クライム)。他の航空機との潜在的な干渉がある場合、航空管制はステップ・クライムを認めない。レーダー管制空域において、ステップ・クライムは他の航空機にブロックされる状態が長く継続しないが、洋上空域においては CNS 性能の制限があるため、その状態が長く続く場合があり、希望高度を達成で

きないための運航効率の劣化が発生する。北太平洋空域を通過するアジア～北米間の航空交通のステップ・クライム拒否の要因を、運航データの解析とファストタイムシミュレーション実験で調査した。東京都立大学との共同研究で、航空機のステップ・クライム要求が拒否された場合にブロックする関連機を検出するアルゴリズムを開発して洋上管制の有識者との判断で検証した。アルゴリズムの概要を図 3 に示す。アルゴリズムは各航空機のカNS 性能と複雑な洋上管制の管制間隔に関する規定を考慮することによって認識率が向上し、妥当な精度を達成した。

3.3 フリールーティング便益指標の定義

フリールーティングを導入する前に、新しい空域設計や運用方法を評価する必要がある。また、導入後にフリールーティングの効果を確認する必要がある。その評価・確認のための適切な指標について検討に着手した。指標を ATM システムの関係者 (運航者, 航空管制, 航空交通管理) の観点から導入前・導入後の適用で分類した。

運航者の指標として、フリールーティングから得られる飛行計画の柔軟性の向上により、飛行計画経路を理想的な経路により近づける効果が期待される。その効果を定量化するには、図 1 の空域設計例で計算した直接指標の飛行計画距離・飛行時間の短縮と、それらから計算できる消費燃料削減および温室効果ガス排出削減の値がある。飛行時間の短いフライトの場合、理想的な経路は直行経路であると仮定できるが、洋上空域においては風の影響を考慮した最適経路が理想的な経路であると仮定する必要がある。また、洋上空域においては、最適な経路は毎日の気象変更とジェット気流の季節変動により変わり、FRA の評価が難しくなる。本研究では、洋上空域の季節変更を反映したファストタイムシミュレーション評価に

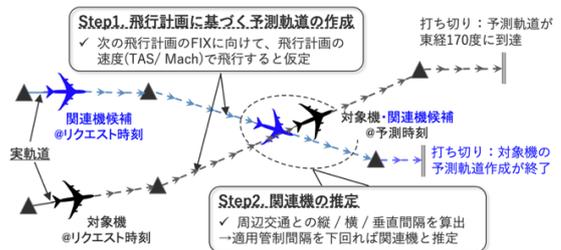


図 3 ステップ・クライム要求が航空管制により拒否される場合、ブロックする関連機を検出するアルゴリズムの概念。アルゴリズムは対象機と関連機のそれぞれの CNS 性能と洋上管制のルールを考慮して検出を行う。

適用する気象情報を、偏りがなく選択する方法を開発した。多量のデータ処理を回避するため、上空の風向風速を毎日公開される PACOTS 経路情報に置き換え、機械学習であるクラスタリング手法により季節の傾向を包括的に得ることが可能な最小日数の気象データを選択した。

航空管制運用の観点の指標としては、空域の安全と容量が一般的である。空域の安全と容量は航空管制官の業務負担と交通の複雑性に関連するが、関係性は明確ではない。新しい空域設計案の初期評価をファスタタイムシミュレーションやモデリングで行う場合、飛行計画に基づいた軌道を計算し、潜在的干渉や先行研究で開発した管制難度指標で評価を行っている。FRA 設計案の具体化が進んだら、管制官等参加型のリアルタイムシミュレーション実験で航空管制官の業務負担を直接測定できるが、多量のリソースが必要である。

3.4 国際 ATFM 方策の調査

韓国航空大学 (KAU)、韓国航空宇宙研究院 (KARI) および南京航空航天大学 (NUAA) との共同研究でアジア地域における国際 ATFM について調査・検討に着手した。国際 ATFM 方策として、FIR 境界線のフィックスにおける FIR 入域の距離間隔の指定 (MIT : Miles in Trail) と FIR 入域の時間間隔の指定 (MINIT : Minutes in Trail) が一般的だが、最近では ATFM 方策対象として便ごとに制限を指定する方向性がある。便を特定する ATFM 制約について、FIR 境界線フィックスを通過する時刻の指定 (Calculated Time Over : CTO) と離陸時刻の指定 (Calculated Take Off Time : CTOT) がある。アジア太平洋地域では、日本・韓国・中国が参加する北東アジアの NARAHG (North Asia Regional AFTM Harmonization Group) では互いに ATFM 方策として CTO を適用している一方、東南アジア中心の Multi-Nodal ATFM に参加する国は CTOT を利用する。KARI の中国・韓国・日本間の一つの ATFM シナリオのシミュレーション調査から、CTO が MIT/MINIT より遅延が少なく平等性が高いことが分かった。

4. おわりに

FRA の設計案をより具体化し、運航者への潜在的便益を評価した。しかし、運航者からの視点だけではなく、FRA 導入の空域の安全性、容量への影響も評価する必要がある。空域安全性・容量は航空管制官の業務負担に依存し、空域複雑性の指標で評価する場合、その指標と業務負担の関係を確認する必要がある。今後は複雑性と業務負担指標の相関を調査する予定である。また、FRA の

潜在的便益だけではなく、実影響について解析する予定である。また、国際 ATFM について、CTO と CTOT のメリット・デメリットと共存について検討する必要がある。
掲載文献

- [1] Hirabayashi, H., Brown, M. and Takeichi, N.: Feasibility Study of Free Routing over the North Pacific, in AIAA Journal of Air Transportation, Vol 30, pp. 59-70, Apr. 2022. <https://doi.org/10.2514/1.D0291>
- [2] Murata, A., Toratani, D., Hirabayashi, H., Brown, M. and Takadama, K.: Benefit Balancing between Japan Departure Flights and Overflights in the North Pacific Route System, Transaction of JSASS, Aerospace Technology Japan, Vol. 20, pp. 41-48, Aug. 2022.
- [3] Brown, M. and Hirabayashi, H.: Free Route Airspace Design for Fukuoka FIR: A Case Study for Overflight Traffic between Northeast Asia and North America, The 2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.
- [4] Brown, M., Kim, H., Wang, Y., Lee, K., Hirabayashi, H., Wickramasinghe, N., Murata, A., Jeon, D.K., Eun, Y., Oh, E.M., Lee, S. and Gray, N. H.: International Air Traffic Flow Management in North and East Asia, The 2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.
- [5] Hirabayashi, H., Brown, M., Wickramasinghe N. K., Suizu, H. and Takeichi, N.: Effect of Step Climb Operation on Long-Haul Flight over the Pacific Ocean, The 2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2022), Niigata, Japan, October 2022.
- [6] 水津 晴隆, 平林 博子, ブラウン マーク, 武市 昇: 洋上経路を飛行する航空機の上昇リクエストに対する周辺交通の影響, 第 60 回飛行機シンポジウム, 新潟, 2022 年 10 月
- [7] 平林 博子, ブラウン マーク, 武市 昇, 北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討, 令和 4 年度 (第 22 回) 電子航法研究所 研究発表会, 2022 年 5 月
- [8] Suizu, H., Takeichi, N., Hirabayashi, H., Brown, M., The Effect of Nearby Traffic on Step Climb in Oceanic Airspace, 28th IPACG Providers Meeting, Fremont, CA, USA, November 2022.
- [9] Hirabayashi, H., Brown, M., Wickramasinghe, N., Suizu, H., Takeichi, N., Route Design Considerations from Simulation of Step-Climb Operations over the North Pacific Ocean,

28th IPACG Providers Meeting, Fremont, CA, USA,
November 2022.

- [10] Hirabayashi, H., Brown, Preliminary Simulation Study of
NOPAC Redesign, 28th IPACG Providers Meeting,
Fremont, CA, USA, November 2022.

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○伊藤 恵理, 大津山 卓哉, 蔭山 康太, 山田 泉, 青山 久枝
 研究期間 令和3年度～令和6年度

1. はじめに

大規模空港の近傍では、航空交通流の輻湊の解消が大きな課題である。特に、滑走路は航空交通のボトルネックであるため、到着交通の管理機能（AMAN: Arrival Manager）は、出発交通の管理機能（DMAN: Departure Manager）と統合して効率的に運用する必要がある。さらに、滑走路とスポット間では、航空機が安全かつ円滑に走行できるよう、空港面での交通管理機能（SMAN: Surface Manager）が求められる。ICAO GANP および CARATS (OI-23-1 空港運用の効率化)にも、AMAN/DMAN/SMAN 各機能の性能向上と統合運用の実現を目指した計画が明記されている。

本研究では、到着・出発・空港面の航空交通の管理機能（AMAN/DMAN/SMAN）を統合する航空交通管理システムの設計と効率的な運用方法を研究開発し、我が国における導入に必要な要件を明らかにする。さらに、欧州およびASEAN 地域の研究機関・国内メーカーと連携して、運用手法の実現性を評価するシミュレーション実験を実施し、社会実装に向けた課題解決を目指す。

2. 研究の概要

本研究は4カ年計画であり、2カ年目である令和4年度は以下の内容を行った。

- ① 到着・出発・空港面管理の機能統合の検討
- ② シミュレーション実験の構築
- ③ 技術動向調査と運用分析

3. 研究成果

令和4年度は、AMAN/DMAN および DMAN/SMAN の機能統合システムを、初年度に開発した数理モデルおよび機械学習手法に基づいて初期的に設計し、東京国際(羽田)空港を対象に、その導入効果をシミュレーション実験により定量的に評価した。その結果、AMAN/DMAN および DMAN/SMAN 機能統合により、航空交通の定時性の向上および環境負荷の低減効果を確認した。さらに、AMAN 導入対象の空域となる東京航空交通管制部の管轄する T25 (知多) セクターのレーダー管制を対象に、AMAN の実装を模擬するヒューマンインザループシミュレーション実験環境を構築し、管制経験者による初期実験を実施した。また、ICAO SPAIRB WG に参加し、AMAN を利用する機上監視応用方式 (ASA) である IM 応用方式の国際基準の策定作業に貢献した。内容の詳細を、以下にまとめる。

3.1. 到着・出発・空港面管理の機能統合の検討

AMAN/DMAN 機能統合では、エンルート空域において、管制官が滑走路割り振りと速度制御を適切な到着機に指示するための AMAN による支援機能が重要な要素となる。そこで、昨年度までの研究成果に基づいて、エンルート空域において航空交通の到着間隔のばらつきを小さくし、かつ空港におけるターミナルビルの配置を考慮した、滑走路割り振りと速度制御アルゴリズムを、大規模シミュレーシ

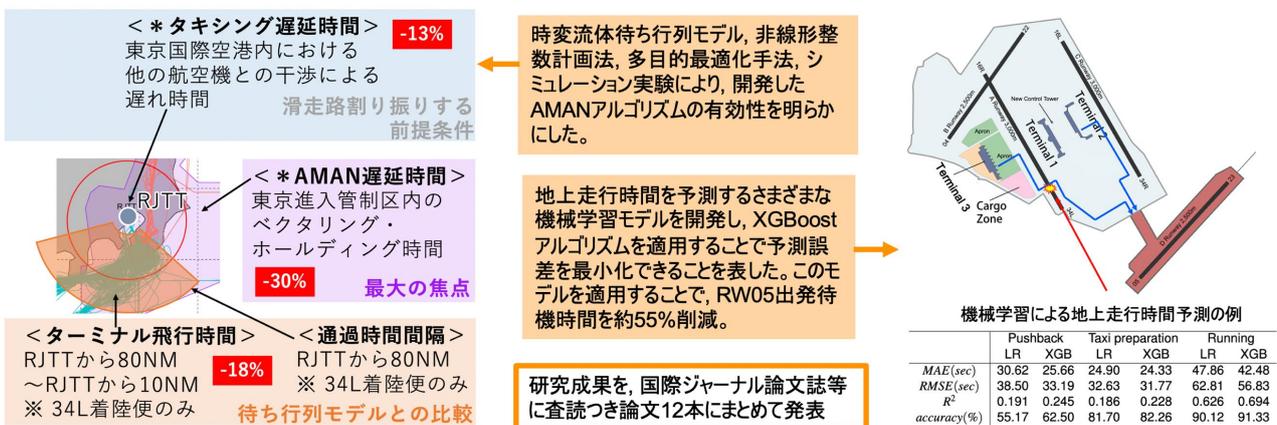


図1 AMAN/DMAN, DMAN/SMAN 機能統合の効果

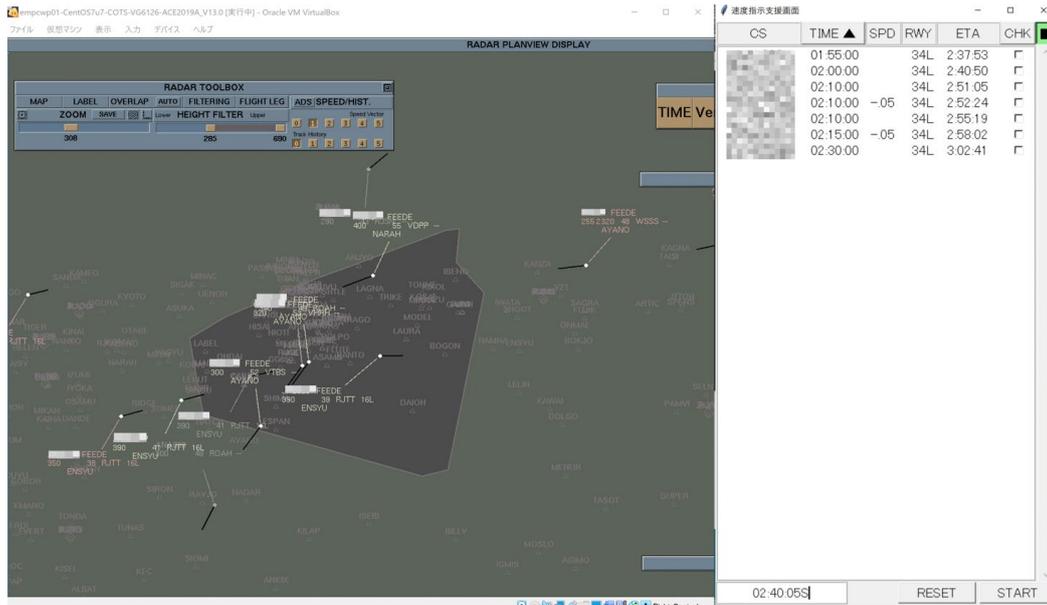


図2 T25（知多）セクターを模擬する管制卓のレーダー画面と AMAN を模擬する管制支援ディスプレイ

オン実験データを活用して構築した機械学習モデル（決定木）の分析結果に基づいて開発した。そして、導入効果を、時変流体待ち行列ネットワークモデルと非線形整数計画法を組み合わせた数理モデルとシミュレーション実験により、羽田空港に到着する航空交通流を対象に、定量的に評価した。その結果、T25セクター入域時において提案アルゴリズムを適用すると、速度制御（減速）のみでは、ターミナル空域における最大遅延時間を約17～19%削減できることを示した。さらに、この速度制御だけでなく滑走路割り振りアルゴリズムを組み合わせることで、現状と比較して約30%の到着遅延時間を削減できること、そして空港での地上走行時間を到着機が約13%、出発機は約3%削減できることを明らかにした。

また、DMAN/SMAN機能統合において重要な要素となる地上走行時間の推定精度を向上させる機械学習モデルを研究開発した。XGBoostという機械学習手法を適用すると、平均二乗誤差（RMSE）60秒以内の推定精度が確認できた。この地上走行時間予測を利用し、出発機のスポットアウト時刻を制御することで、滑走路端での出発待機時間の合計を、RW05において約55%削減することを、シミュレーション実験により明らかにした。

さらに、AMAN/DMAN/SMAN機能統合において、トレードオフの関係にある要素（スポット待機時間と地上交通の混雑、到着機の滑走路割り振りと出発機の滑走路待機時間など）を明らかにし、次年度以降に取り組むべき課題を明示した。

これらの研究成果を、査読付き論文12件等に発表した。

3.2. シミュレーション実験の構築

ユーロコントロールイノベーションハブと連携し、ESCAPE Light シミュレータを基盤に、T25セクターでのレーダー管制を模擬するヒューマンインザループシミュレーション実験環境を構築し、本研究で提案する AMAN を模擬する管制支援ディスプレイを設計して実装した。東京航空交通管制部にて、T25セクターおよび隣接するT17（現在はT46に変更）、T24（現在はT45に変更）、T14、T09セクターの管制運用および提案する AMAN の設計についてヒアリングおよび運用調査を実施した。調査結果に基づき、ヒューマンインザループシミュレータに、T25セクターの管制およびT17、T14セクターの管制を模擬する管制卓を構築するとともに、航空交通シナリオを作成し、管制経験者による初期実験を実施した。

3.3. 技術動向調査と運用分析

本研究の対象範囲を、羽田空港だけでなく、他の大規模空港にも拡大するために、成田国際空港および関西国際空港のスポットアサインメントチャート、航跡、飛行計画等のデータを収集し、運用分析を実施した。さらに、関西圏空港の AMAN 設計についても検討を開始した。

ICAO SP AIRB WG に参加し、将来的に AMAN/DMAN/SMAN 統合運用の発展形にある ASA（Airborne Surveillance Application）方式の IM（Interval Management）に関わる ICAO 機上監視マニュアルの改訂作業に貢献した。

4. まとめ

本年度は、AMAN/DMAN/SMAN 機能統合の検討、および AMAN/DMAN 実装の対象となるエンルート空域におけるレーダー管制を模擬するシミュレーション実験環境を構築した。ICAO 等の国際基準策定会議に参画するだけでなく、研究成果を複数の学術論文にまとめて刊行した。文献およびデータを収集し、技術動向の調査と運用分析を行った。

本年度の研究成果をもとに、次年度は首都圏空港の空港面および到着・出発の航空交通流を統合して効率的に運用するためのシステムの機能要件と運用について研究を進める。さらに、統合した管理機能を評価するため、ヒューマンインザループシミュレーション実験を実施する。

掲載文献

- [1] 関根 将弘, 立川 智明, 藤井 孝藏, 伊藤 恵理, “多目的最適化と決定木を用いたエンルート交通流における速度制御戦略の抽出”, 進化計算学会論文誌, vol.13, no.1, pp.10-22, 2022.
- [2] Yoshiaki Kawagoe, Ryohei Chino, Satori Tsuzuki, Eri Itoh, Tomonaga Okabe, “Analyzing Stochastic Features in Airport Surface Traffic Flow Using Cellular Automaton: Tokyo International Airport”, IEEE Access, vol. 10, pp. 95344-95355, 2022.
- [3] 青山 久枝, 山田 泉, 伊豆 太, “マルチラテレーションによる航空機情報の新たな活用を目指した取り組み”, 電子情報通信学会, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J105-B No.7, pp.521-524, 2022 年 7 月.
- [4] 山田 泉, 青山 久枝, 伊豆 太, “羽田空港におけるマルチラテレーションデータをもとにした航空機の交通量データの作成と空港舗装維持管理への活用可能性に関する考察”, 土木学会論文誌 F4(建設マネジメント), 79 巻, 3 号, 2023 年 3 月.
- [5] Koki Higasa, Eri Itoh, “Controlling Aircraft Inter-Arrival Time to Reduce Arrival Traffic Delay via a Queue-based Integer Programming Approach”, Aerospace, 9(11), pp.663, 2022.
- [6] Koki Higasa, Katsuhiko Sekine, Eri Itoh, “Effectiveness of Aircraft Inter-arrival Control in Upstream Traffic Flow via a Combined Tandem Fluid Queue Model and Integer Programming Approach”, IEEE Access, Volume 11, pp. 15252-15270, 2023.
- [7] Eri Itoh, Daiki Iwata, Michael Schultz, “Developing a Departure Queue Model Towards Integrated Arrival and Departure Runway Operation”, Proc. ICAS 2022, September

2022.

- [8] Furuto Kato, Eri Itoh, “Applying Machine Learning For Taxi-time Prediction at Tokyo International Airport”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- [9] Nobuharu Morikawa, Eri Itoh, “Machine Learning Methods Ensuring Both Performance and Interpretability of Estimating Aircraft Arrival Times”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- [10] Koki Higasa, Eri Itoh, “Assessment and Control of Arrival Flow and Waiting Time Applying Gt/GI/St+GI Time-varying Queuing Model”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- [11] Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Air Traffic Simulation Across FIR in Japan Using Cellular Automaton”, Proc. ICAS 2022, September 2022.
- [12] Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, Eri Itoh, “Preliminary Study of Multi-objective Air Traffic Optimization for Devising Speed Control Strategy by Using Rule-based Simulator”, Proc. AIAA Aviation Forum, June 2022.
- [13] Takuya Otsuyama, “Update Reference ICAO DOC9994”, ICAO SP/AIRBWG/14, October 2022.
- [14] Takuya Otsuyama, “Change Proposal for TIS-B definition”, ICAO SP/AIRBWG/14, October 2022.
- [15] 青山 久枝, 荒谷 太郎, 間島 隆博, 山田 泉, 今込 毅, “大規模災害時の空港面運用に関するシミュレーションによる課題の検討”, ヒューマンインターフェース学会, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2022 論文集, pp.61-66, 2022 年 8 月.
- [16] 山田 泉, 青山 久枝, 伊豆 太, “羽田空港のマルチラテレーションデータに基づく航空機の走行速度が誘導路の舗装の劣化に及ぼす影響の考察”, 第 65 回土木計画学研究発表会講演集, 29-2, 2022.
- [17] 西田 拓矢, 伊藤 恵理, “機械学習による航空機の飛行時間予測”, 第 60 回飛行機シンポジウム講演集, 2022.
- [18] 岩田 大輝, 伊藤 恵理, “滑走路における出発・到着航空機の統合運用のための待ち行列モデルの開発”, 第 60 回飛行機シンポジウム講演集, 2022.
- [19] 長谷川 倫幹, 関根 将弘, 伊藤 恵理, “成田国際空港の航空交通にかかる現状分析”, 第 60 回飛行機シンポジウム講演集, 2022.
- [20] 伊藤 恵理, “航空交通管理システム概論”, コロナ社, 2023 年 2 月.

管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響に関する研究【指定研究】

担当領域	航空交通管理領域
担当者	○平林 博子, 瀬之口 敦, ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地, 村田 暁紀, 井無田 貴 (令和4年10月～)
研究期間	令和2年度～令和5年度

1. はじめに

安全かつ効率的な航空交通流形成のためには、安全に航空管制業務（以下、管制業務）を遂行できる交通量を適切に管理していくことが必要であり、交通量が増大するほど航空交通の容量管理は重要となってくる。CNS（Communications Navigation and Surveillance）の発展により物理的な容量（例えば空域あたりの航空機数）は増加するが、安全に航空管制が遂行できるかどうかは管制業務のワークロードに依存する。管制業務は航空管制官の知識及び経験からの推測やそれに基づく判断に頼るところはあるが、円滑な管制業務のためにコンピューターによる自動化やシステム支援機能の活用は日々検討され導入されている。一方で、定期的なメンテナンスやシステム障害時等は、自動化や支援機能を活用することなく管制業務を遂行しなければならない。適切な容量管理のためにも、自動化や支援機能がもたらす管制業務の見える化（可視化、定量化）が求められている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、容量管理のために、自動化や支援機能がもたらす管制業務作業量を定量化することである。支援機能の有無による相対的な管制業務作業量の差を求めることで、支援機能の効果の定量化を試みる。

管制業務作業量は使用システム及びシステムに含まれる支援機能に大きく依存する。また、我が国で採用されている航空路管制業務における容量管理では、管制業務作業量が考慮されている。以上のことから、まずは現状の航空路管制情報処理システム（TEPS; Trajectorized En-route Traffic Data Processing System）及び航空路管制業務の航空交通流制御アルゴリズムに関する調査・把握が基礎となる。また、作業量の計測のための管制経験者参加型の実験を実施するため、計測機能を付加した管制支援機能模擬ソフトウェアの開発を進めている。令和4年度の研究においては、以下を実施した。

- ・管制支援情報及び支援機能の調査及び定量化の検討
- ・管制業務作業量の計測手法の検討及び開発
- ・作業量計測のための支援機能を模擬するソフトウェア

アの機能拡張

- ・管制業務作業量の実測及び定量化の検討

3. 研究成果

3.1 管制支援情報及び支援機能の調査及び定量化の検討
管制業務作業量に影響があると考えられる、管制空域再編及びCPDLC（Controller Pilot Data Link Communications）運用について調査した。

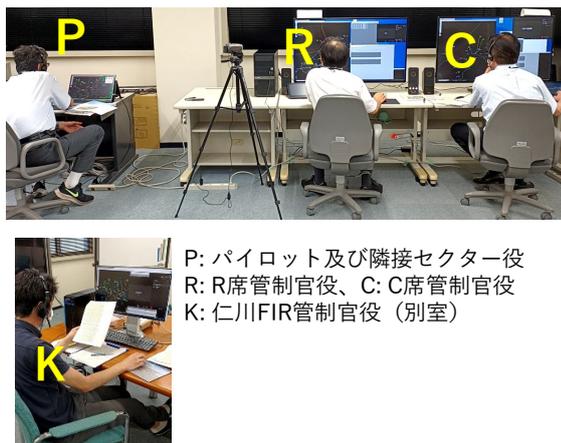
航空路管制業務空域を対象に、管制処理の効率性向上を図る目的で、巡航機が中心となるFL335以上の“高高度空域”及び近距離・空港周辺の上昇降下機に専念するFL335未満の“低高度空域”に区分する空域再編が段階的に進められている。令和4年度時点では西日本の空域再編が完了している。空域再編が図られることで、管制運用方式が変化し、管制業務作業も変化することが考えられる。空域再編で新たに取り入れられた管制移管方式のひとつに「引き込み式」があり、境界高度を通過する上昇または降下機に対して、継続的な上昇または降下を妨げない工夫が見られる。一方で、C席（パイロットと交信し管制指示等発出するR席業務を円滑に進めるべく、他セクターとの調整業務を主とする。）における調整業務の増加傾向、セクター滞在時間の予測の困難性等、管制業務作業及び航空交通流管理に関連した課題があることが明らかになった。

CPDLC等データリンクの活用により、管制官及びパイロットの業務負荷の軽減、正確性の向上等が期待されており、国内レーダー空域におけるCPDLC導入が進められている。令和4年度時点では、高高度空域における通信移管指示等の限定した業務に対してCPDLC運用が導入された。CPDLC導入は管制業務作業時間に直結していることから、現在使用している管制業務作業量に基づく容量管理へのCPDLC運用の影響について検討する必要があることが再認識された。

3.2 管制業務作業量の計測手法の検討及び開発

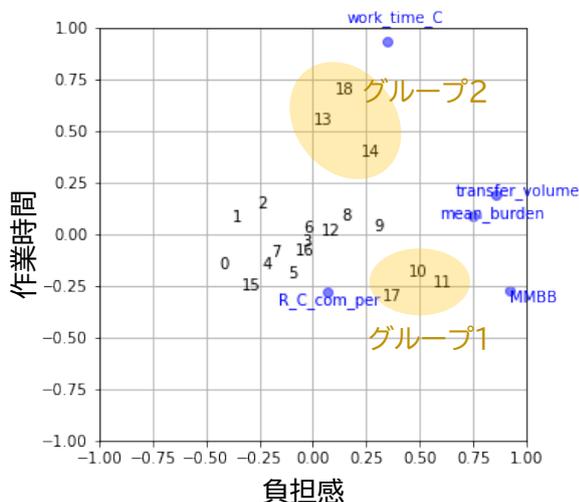
管制業務作業量の計測においては人的要因の考慮も必要であることから、本項目は、公募型研究課題「航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究」に

において筑波大学と協力して進めている。昨年度実施した管制の非専門家による実験で得られた結果を管制有資格者に応用するため、東京航空交通管制部訓練室の協力の下、訓練シミュレーターを使用した管制有資格者による実験を6試行実施した。実験の結果、個人の作業に係るワークロードの評価は、個人差によるばらつきの影響を押えた安定した評価が得られる見込みを得ることができた。一方、R席、C席をチームとみなした評価では、R席、C席の間で評価が乖離する傾向がみられた。



P: パイロット及び隣接セクター役
R: R席管制官役、C: C席管制官役
K: 仁川FIR管制官役 (別室)

図1 評価実験用システムを使用したリアルタイムシミュレーション実験の様子



各軸の値は因子得点であり、図中数値は各実験回である。青字は因子分析で使用した5つの変数である。グループ1に属する実験回は、セクターでの取り扱い機数が多い実験回である。取り扱い機数が多くなるほど負担感が増す。グループ2に属する実験回はC席作業時間が長い実験回である。作業時間は長くなるが、グループ1と比較し取り扱い機数は少なく負担感も小さい。

図2 各実験回の二因子への重み

3.3 作業量計測のための支援機能を模擬するソフトウェアの機能拡張及び管制業務作業量の実測及び定量化の検討

令和4年度は、TEPSの自動化機能のひとつであるAIDC (ATC Interfacility Data Communications) 機能を対象としたリアルタイムシミュレーション実験を、開発中の評価実験用システムを使用し実施した。図1に実験の様子を示す。実験では、外国と接する空域セクターである近畿西セクターを対象とし、管制経験者によるAIDC機能に相当する交通情報交換(トランスファー)業務を模擬した。約30分の試行を19回実施し、AIDC機能に相当する管制業務作業量を24.7秒/機(n=244)と推定した。また、実験に合わせて実施した負担感アンケートを考慮した因子分析を実施した。C席の管制業務を、交通量、負担感、作業時間等の各要素を「負担感」及び「作業時間」の二因子で説明する場合、各実験回の二因子への重み(因子得点)は図2の通りとなる。ルーティン業務であるトランスファーによる作業時間よりも、R席が取り扱う交通量の方がC席に与える負担感を大きくしていることが明らかとなった。

4. まとめ

支援機能、自動化機能の定量化は的確な容量管理及び航空交通流制御アルゴリズムの高度化に資するものである。本年度は、実運用に活用されているAIDCに相当する管制業務作業時間を開発中である評価実験用システムを使用したリアルタイムシミュレーション実験より推定した。また、管制官の感じる負担感は、単純に作業時間によるものではないことも明らかとなり、交通量指標と心的負担であるメンタルワークロードとのさらなる関係について確認を行うことが有効との結論に達した。令和5年度は人的要因に関する研究を専門とする筑波大学と、共同研究の枠組みで協調して研究を進める計画である。さらに調査結果から、高高度空域でのCPDLC運用に関する検討が重要であると再認識されたことから、開発中の評価実験用システムにCPDLC模擬機能を追加し、管制業務に関するリアルタイムシミュレーション実験を継続し、とりまとめる計画である。

掲載文献

[1] 平林 博子, 村田 暁紀, “東京管制部における訓練シミュレーターを使用した管制処理容量に関する分析と考察,” 航空局管制課報告書, 2022年4月.
[2] 平林 博子, “航空交通管理の現状とこれから,” 筑波大学リスク工学研究会講演, 2022年12月.

時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究【指定研究】

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○岡 恵, 蔭山 康太, 森 亮太, 中村 陽一, 虎谷 大地

研究期間 令和3年度～令和5年度

1. はじめに

国際的な航空交通需要の増大への対応および多様なニーズへの的確な対応のために、軌道ベース運用の実現が求められている。軌道ベース運用においては、航空機の水平および垂直方向の位置情報に時刻が紐付いた四次元軌道を用いる時間管理運用が行われる。軌道ベース運用の実現には、軌道情報を関係者全体で共有し全飛行フェーズを一体として管理する管制運用が必要とされている。

時間管理運用は単一の機能ではなく、EDCT (Expected Departure Clearance Time) やCFDT (Calculated Fix Departure Time)による航空交通流制御やメタリング等の複数の機能の組み合わせで実現すると考えられている。従来は要素単体での機能検討や開発が主に行われてきたが、各要素が相互に影響を及ぼし合う複雑なシステムにおいては、俯瞰的な視点で全体を構成する必要がある。各機能が連携し、全飛行フェーズで時間管理運用を実現するシステムアーキテクチャの作成が望まれている。

2. 研究の概要

本研究の目標は、混雑空港への到着便を対象として、時間管理運用における各機能の要件を満たすシステムアーキテクチャを作成することである。また、時間管理運用の一機能であり、現在検討が進められているメタリングについても、全体と整合して働くための機能要件の定義を行う。

本研究の分析にはシステム思考を用いる。システム思考とは、複数の構成要素からなるシステムについて、要素間の影響や全体としての機能を分析する手法であり、複雑化したシステムにおける問題解決に有効な手法である。

本年度は3カ年計画の2年次で、以下を行った。

- ① 時間管理に関連する将来の航空交通システムのアーキテクチャ作成
- ② CFDTを用いた効果的な運用手法の提案
- ③ 到着順序付け、滑走路選択等の性能向上手法の制約等の検討
- ④ 空港周辺空域における滞留の指標値の算出

3. 研究成果

3.1 時間管理に関連する将来の航空交通システムのアーキテクチャ作成

本研究では、今年度と来年度の2カ年で将来の航空交通システムのアーキテクチャの作成を行う。

本年度は昨年度作成したアンケートを使用し、CFDTやメタリング等の時間管理運用に対するニーズを明らかにするため、ステークホルダーに対してヒアリングを行った。対象機関は、政策立案部門として、航空局交通管制企画課/管制課、航空交通流管理部門として、航空交通管理センター/所沢TMU (Traffic Management Unit) /羽田TMU、航空管制の現場として、東京管制部/福岡管制部/ATMセンター洋上管理、航空会社2社の10者に対してヒアリングを行った。

ヒアリングでは、時間精度や管制処理容量、定時性など11の項目について「充足質問」と「不充足質問」を問う狩野モデルの形式(図1)で意見を伺った。

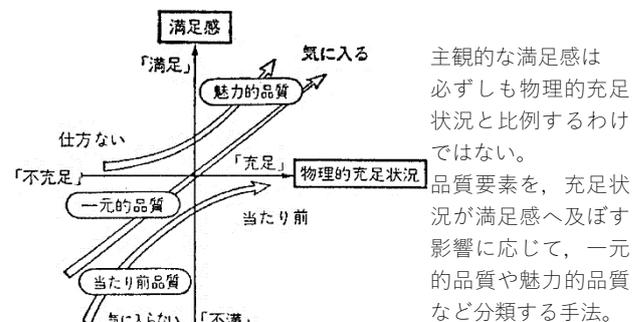


図1 狩野モデルとよばれる物理的充足状況と

使用者の満足感との対応関係概念図

参考文献：狩野紀昭, et al. "魅力的品質と当たり前品質." 品質 14.2 (1984): 147-156.

ヒアリングの結果、各項目は表1のように分類された。今回、当たり前品質は無かったため、充足された際の満足感が高く、不充足時の不満も高い「一元的品質」を実現することが最も重要であり、次いで充足時の満足感が高い「魅力的品質」の実現が重要であると考えられる。一元的品質であり充足・不充足での満足感の差が大きい方から「時間精度の向上」、「燃料消費量・温室効果ガス削減」、

「空域利用者間の公平性の向上」の順に重視すべきであるという結果が示された。

表1 狩野モデルにより分類した時間管理の項目
(括弧内の数値は満足感の差)

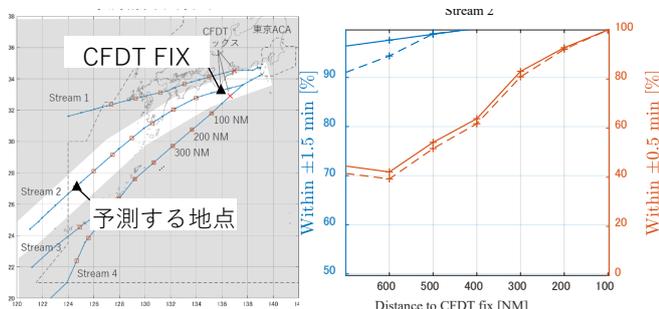
一元的品質 (充足されると満足, 不充足だと不満)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・時間精度の向上 (3.4) ・燃料消費量・温室効果ガス削減 (3.3) ・空域利用者間の公平性の向上 (3.2) ・国際的な相互運用性の向上 (3.0)
魅力的品質 (充足されると満足, 不充足でも仕方ない)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・定時性の向上 (2.8) ・管制官のワークロード低減 (2.6) ・パイロットのワークロード低減 (2.4)
当たり前品質 (充足されて当たり前, 不充足だと不満)	
	該当項目なし
無関心品質 (充足・不充足の満足感に変化が少ない)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の管制運用・航空機運航との連続性の保持 (0.8) ・現在の管制システムとの整合性の保持 (1.4) ・空域利用者の選択の柔軟性向上 (2.3) ・管制処理容量の増加 (2.6)

3.2 CFDT を用いた効果的な運用手法の提案

時間管理運用には高精度な軌道予測が必要となる。予測には経路や風の情報などが必要だが、中でも航空機の飛行速度は正確な予測において重要な項目である。

DAPs(Downlink Aircraft Parameters)は、選択高度、対地速度、対気速度などの航空機の動態情報をダウンリンクする技術である。現在、DAPsによって得られる精度の高い機上の速度を利用した、より高精度な軌道予測の検討が進められているため、精度の検証を行った。

検証では、機上で記録された QAR データの速度を DAPs で得られた速度と仮定し、FIR 入域から 100NM 毎に CFDT FIX の通過時刻を予測した。検証により、DAPs を利用した軌道予測の場合、福岡 FIR 入域直後でも約 85%



の便が±1.5分以内の精度でCFDT FIXの通過時刻を予測できることがわかった(図2)。

図2 経路 Stream2 の検証例

3.3 到着順序付け、滑走路選択等の性能向上手法の制約等の検討

羽田空港への到着機を対象に、滑走路割当の最適化手法について比較検討を実施した。また、実運航に近い制約の導入方法について検討した。不確実性を明示的にモデル化することなく平均遅延を推定することができるニューラルネットワークを用いた滑走路割り当て手法を提案した。

3.4 空港周辺空域における滞留の指標値の算出

2022年度の羽田空港・成田空港の周辺空域における混雑に起因する到着の滞留時間の指標値(KPI08)を算出した(図3)。算出結果は、他の指標値と併せて、日本、欧州、米国などの航空当局が参加するPBWG(Performance Benchmarking Work Group)で国土交通省航空局から報告された。また、今後算出を検討されているKPI4,5,17,18,19について算出方法の整理を行った。

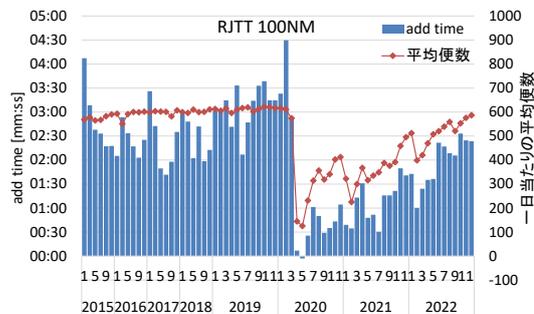


図3 羽田空港のKPI08の推移(2015年—2022年)

4. まとめ

今年度は、時間管理運用のニーズに関するヒアリングにより重要事項の洗い出しを行った。またDAPsを利用した予測誤差の検証、滑走路選択の制約の検討、空港周辺空域の滞留時間の算出を行った。次年度は、軌道予測精度の向上策を検討し、精度誤差も考慮に入れた将来システムのアーキテクチャ作成を行う予定である。

掲載文献

- [1] D. Toratani, Y. Nakamura, M. Oka, “Data-Driven Analysis Method for Calculated Time Over in Air Traffic Flow Management”, IEEE Access, 2022.7
- [2] R. Mori, D. Delahaye, “Uncertainty Inclusive Runway Balancing Using Convolutional Neural Network”, Journal of Air Transportation, 2022
- [3] 虎谷 大地, “DAPs 取得データ利用による軌道予測精度向上の可能性検討”, CARATS 軌道ベース運用検討アドホック会合, 2022

- [4] 中村 陽一, “CARATS オープンデータ活用促進に向けた標準運航の分析”, CARATS オープンデータ活用促進フォーラム, 2022
- [5] 岡 恵, “研究開発促進のための 航空交通データの提供”, サイエンティフィック・システム研究会 合同分科会 2022 年度会合
- [6] 岡 恵, “航空交通データの一般への提供と活用促進の取り組み”, 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2023.1

進入方式等の効率向上に関する研究【指定研究】

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○森 亮太, 虎谷 大地, 村田 暁紀
研究期間 令和3年度～令和4年度

1. はじめに

航空交通の増加とともに、航空機の運航効率化は喫緊の課題である。航空交通管理として、ゲート出発からゲート到着までのすべてのフェーズでの運航効率化が検討されているが、それぞれのフェーズにより、その効率化策は異なるため、それぞれのフェーズにおいて適した効率化策を選択した上で、研究を実施することが必要である。その一方で、効率化を追求すると、安全という視点が抜け落ちてくる傾向がある。安全性の向上も、効率化と同様に重要な課題であると言える。

本研究では、主に進入時の運航に焦点をあて、複数の観点からの研究を実施する。具体的には、1.方式設定の自動化による効率向上、2. 空域の安全性評価の実施および国際貢献、である。なお、昨年度は不安定進入の要因推定についても研究を実施していたが、今年度から科研費にて実施することとしたため、本研究からは除外した。

2. 研究の概要

2. 1 方式設計の自動化による効率向上

航空機の進入・着陸に使用される飛行方式は、ICAO 文書である PANS-OPS や PBN Manual に規定されている。従来は VOR 進入や ILS 進入といった経路の自由度の低い方式が多かったが、近年では、RNP 進入や RNP AR 進入と呼ばれる柔軟な進入方式が本邦でも数多く導入され、また RNP to xLS と呼ばれる新たな進入方式の導入も今後期待される場所である。

本邦の飛行方式は国土交通省航空局にて設計を行っているが、その安全性を担保するため、先の ICAO 文書をもとに細かな設計ルールが決められている。そのため、方式設計の支援ツールとして本邦では PANADES、海外では FPDAM といったソフトウェアがあり、これらを用いた方式設計が広く行われている。しかしながら、これらのソフトウェアでは、設計した経路が設計ルールを満たしているかどうかの確認は行うことができるものの、経路を自動で設計してくれるようなものではない。従来方式においては、設計の自由度が低かったため、最適な経路を作成するのは比較的容易であった。しかし、近年の飛行方式は設計の自由度が高く、現在公示されている経路よりもより効率的な経路を設定することのできる可能性が残されている。設計者のワークロードも考慮すると、飛行方式設計の自動化は世界的にも少なからずニーズがあると考えられる。本研究

では、経路設計の自動化ツールの開発を目的とする。

2. 2 空域の安全性評価の実施および国際貢献

新たな空域利用や飛行方式の設定などを行う場合には、安全性を担保するための評価が必要である。ICAO 文書の PANS-OPS や PANS-ATM など規定されている条件を満たしていれば、事前の安全性評価は不要場合もあるが、空域の安全性は当該国の航空当局が担保する必要があるとされており、その評価を継続的に実施可能な体制を構築することが必要である。

電子航法研究所では、航空機間の管制間隔を設定するための数学的安全性評価の取り組みを継続的に実施しており、ICAO SASP (Separation and Airspace Safety Panel) や FATS (Future Air Transportation Systems) WG など、新たな国際ルールの策定のための国際貢献を行ってきた。それとは別に、本邦で実施が必要な安全性評価についても、技術的な協力を行ってきた。本研究では、引き続き安全性評価手法の実施や国際貢献を行っていく。

3. 研究成果

3. 1 方式設計の自動化による効率向上

昨年度までにおいて、方式設計を自動化するにあたり、方式設計を最適化問題へと変換し、その解法を検討してきた。(図1)

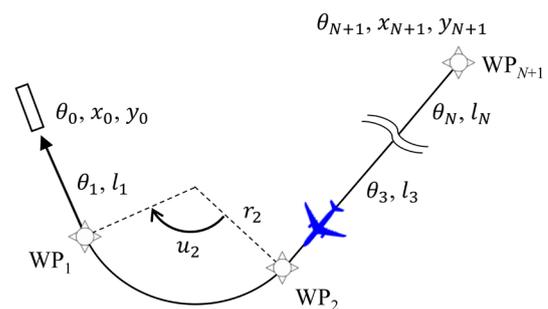


図1 飛行方式の経路の定義

今年度は、具体的に実在する空港における方式設計に応用し、実際に構築したツールを用いて最短経路となるよう方式設計を行い、実際の方式との比較を行った。対象となる方式は、北九州空港の RWY 36 に設定されている RNP AR 方式である。北九州空港は海上空港であり、方式設計にあたって問題となるような地上障害物が存在しない。地上障害物の考慮は、方式設計を複雑化させる要因であるた

め、今回は最初のステップとして本方式を選定した。図2に、実際に設計されている方式チャートと、提案手法によって設計された方式を示す。比較の結果、2つのルートはほぼ同一であることがわかり、現行のチャートが最短ルートで設計されており、かつ、提案手法による設計が最短となる設計ができていることを示していると考えられる。

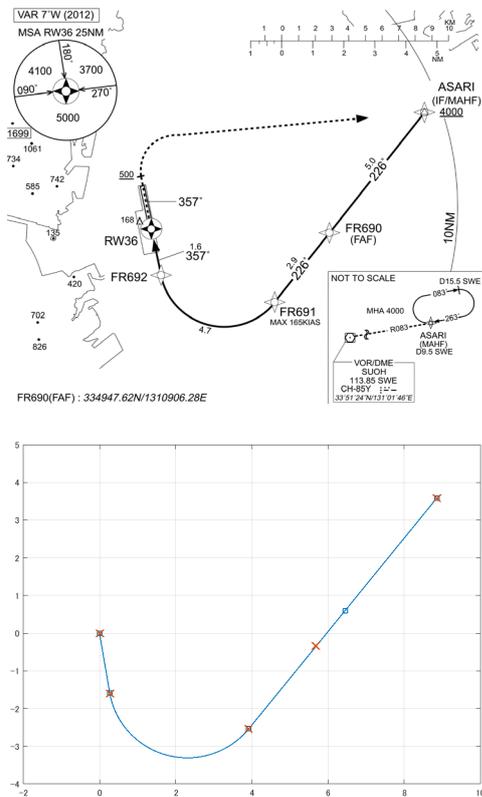


図2 公示されている方式チャートと計算された方式ルート

3. 2 空域の安全性評価の実施および国際貢献

本研究の前身である「ハザードの定量的評価によるリスク評価手法の研究」においては、レーダー監視下のRNP2の横間隔について、従来よりも短縮間隔を設定できる可能性を示した。本研究においては、この短縮間隔を実際に導入するにあたって、ICAO基準となることが求められている一方、米国や欧州でも同様の議論があることから、直近のSASP会議において新たな短縮間隔の基準化についての提案を行った。その結果、レーダー監視下の新たな横間隔基準について整理を行い、ガイダンスマテリアルとして文書化する方向としていくことが合意された。今後は、実際に文書化していく活動について貢献をしていく予定である。

掲載文献

[1] Mori, R., (2021) “Anomaly detection and cause analysis

during instrument landing system approach using recurrent neural network,” Journal of Aerospace Information Systems.

- [2] Mori, R., (2021) “Consideration of Ground Speed Distribution,” ICAO Separation and Airspace Safety Panel (SASP/3), IP/02.
- [3] Gillet, Y., Mori, R., (2021) “ETA and Wind Prediction Accuracy Improvement Using Numerical Weather Forecast and Aircraft Surveillance Data,” 2021 AIAA Aviation Forum.
- [4] Mori, R., (2021) “Analysis of Pilot Operational Strategy Difference Using Neural Network,” 32nd International Congress on the Aeronautical Sciences (ICAS 2021).
- [5] 森 亮太「航空路と出発・進入方式」用語解説(えあろすぺーすABC), 日本航空宇宙学会誌 69 巻 9 号, pp. 281, 日本航空宇宙学会, 2021.
- [6] 森 亮太「性能準拠型航法(PBN)」用語解説(えあろすぺーすABC), 日本航空宇宙学会誌 69 巻 10 号, 日本航空宇宙学会, 2021.
- [7] Mori, R., (2021) “ATM research using machine learning or artificial intelligence,” Future Air Transportation System Working Group (FATS WG)/29.
- [8] 森 亮太「ADS-C CDP の衝突危険度モデルの概要」第3回 ADS-C CDP 導入検討WG, 2021.
- [9] 森 亮太「AI を用いた不安定進入の要因分析」, 航空無線 109 号, 航空保安無線システム協会, 2021.
- [10] 森 亮太「実航跡の特徴を抽出した航跡生成に関する研究」第59回飛行機シンポジウム, 2021.
- [11] 森 亮太「経路間隔と衝突危険度モデルの変遷」日本航海学会 航空宇宙研究会, 2021.
- [12] 森 亮太「航空機動態情報を利用した短期の風予測精度向上」第16回航空気象研究会, 2022.
- [13] Toratani, D., Mori, R., (2022) “RNP AR Approach Route Optimization Using a Genetic Algorithm”, Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS 2022).
- [14] Mori, R., (2022) “Fast Calculation of Single Aircraft Optimal Descent Trajectory,” AIAA Aviation Forum 2022.
- [15] Mori, R., (2022) “Aircraft Mass Estimation Using Cruise Flight Profile,” International Council of Aeronautical Sciences (ICAS 2022).
- [16] 森 亮太「航空機の経路間隔と衝突危険度モデルの変遷」日本航海学会誌 222 巻 pp. 20-23, 2022.
- [17] Marutsuka, Y., Mori, R., (2022) “Separation Minima between RNP2 Routes with ATS Surveillance,” ICAO SASP-WG/37, IP20.

航空機の降下方式における機上・地上の機能向上に関する研究【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地, 平林 博子
研究期間 令和2年度～令和4年度

1. はじめに

航空交通量の増大に伴い、継続降下運航（CDO：Continuous Descent Operations）の検討・導入が我が国のみならず欧米等でも積極的に進められている。CDOは航空機の巡航状態からアイドル推力を維持しながら連続的に降下するため、燃料消費量及び環境負荷の低減につながる利点が挙げられる。一方、CDOにおける降下経路は航空機の飛行管理装置（FMS：Flight Management System）により航空機の性能や気象状況等を考慮して出力される降下プロファイル（FMS Profile Descent, 以下 FMS-PD と表記）である。そのため、複数の機種が混在した状況においては、降下パスのばらつきが大きくなることから、地上での軌道予測や間隔維持が困難になると懸念されている。航空管制官は、到着航空機が予測軌道から外れた際に経路延伸が発生しないよう航空機同士の間隔を通常よりも広く確保するため、空港における容量拡大にも影響を及ぼす可能性がある。昨今の研究では、飛行軌道の地上予測精度の向上が、そのような効率低下を抑制するとの結果が示されている。

2. 研究の概要

電子航法研究所では、CDOの一種として、一定の飛行経路角（FPA, flight-path angle）で連続的に降下する、固定飛行経路角降下（Fixed-FPA descent, 以下 Fixed-FPA 降下と表記）の研究を行っている。Fixed-FPA 降下では、固定された降下角により航空機の降下パスが定められるため、地上での軌道予測が容易になる。また、アイドルに近い推力を保ちながら降下するように経路を設計することで、FMS-PD と比べて燃料消費量が少し増える一方、降下パスを変更せずに管制官の速度指示に従う余地が出てくることから、低高度での経路延伸等を低減することが可能になると考えられる。

本研究の目的は、Fixed-FPA 降下方式の設計方法を確立し、空地連携を達成するために必要とされる機能（速度制御機能、最適な降下角の選定手法等）の要件を定義することである。また、機上における Fixed-FPA 降下を支援するため、サポートシステムの開発及び実証実験を行い、Fixed-FPA 降下方式における運用構想（ConOps: Concept of Operations）をまとめるにあたり、実現に要する要件を明

らかにすることにも焦点を当てる。

令和4年度の研究においては、以下を実施した。

- ・Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリの開発と評価
- ・Fixed-FPA 降下プロシーチャーの機能拡張
- ・飛行実証による Fixed-FPA 降下の評価

3. 研究成果

3.1 Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリの開発と評価

(1) Fixed-FPA 降下の検証実験を実施するにあたり、機上パイロットへの情報提供を行う手法として電子フライトバッグ（EFB: Electronic Flight Bag）向けの模擬アプリを開発した。このアプリは、巡航中にパイロットがフライトと機体の状況（機体重量、巡航高度・速度、外風の状況など）を入力すると、状況と意図（燃費重視や時間重視等）に応じて適切な Fixed-FPA 降下経路（予め目的空港に合わせて計算された異なる降下角による経路）を出力する。出力された降下経路を地上の管制官と共有することで、パイロットが希望する降下経路を管制官と共有することができる。アプリのインターフェースにおけるパイロットの入力パラメータ・出力経路のデータベース・パイロット業務に関する補助情報の表示等については、アプリ開発の専門家、及びパイロットからのフィードバックを反映した。図1(a)では、アプリの一部の機能を表示する。

(2) アプリの有効性を検証するため、当所所有の実験航空機を用いて仙台空港にて国内初となる Fixed-FPA 降下実験を実施した。実験では、管制機関と予め調整した Fixed-FPA 降下経路をアプリのデータベースとして格納し、各フライトにおいて実際の降下経路とアプリから出力される降下経路の比較を行った。また、異なる降下角による Fixed-FPA 降下と、FMS による通常の CDO、及び従来から用いられているステップダウン降下（交通量の多い環境で管制官が管理しやすい方式）を実施し、Fixed-FPA 降下の有効性を評価した。実験の実施プロセスから、Fixed-FPA 降下のような新たな運航方式において、実際の運航環境と EFB アプリの連携による様々な課題点を洗い出すことができ、今後の研究に結びつけることができた。図1(b)は、Fixed-FPA 降下検証実験で用いた経路を示している。この図において、Fixed-FPA 降下開始点は AIZUH または

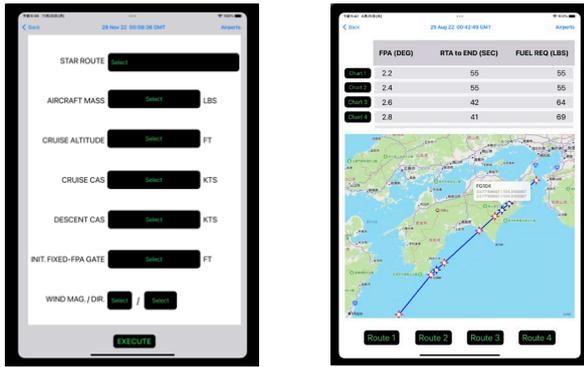


図 1(a) (アプリの一部の機能)パイロットの入力画面及び Fixed-FPA 降下経路群の表示画面

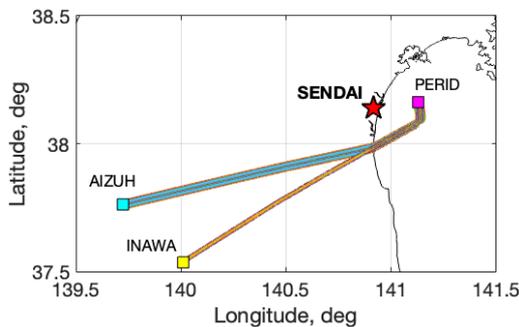


図 1(b) Fixed-FPA 降下検証実験に設定した飛行経路

INAWA, Fixed-FPA 降下終了点は PERID である。

3.2 Fixed-FPA 降下プロシーチャーの機能拡張

Fixed-FPA 降下の機能拡張として、昨年度まで到着機間の間隔維持を行うフィードフォワード制御則を開発してきた。提案のアルゴリズムは、Fixed-FPA 降下への指示である高度・速度指示を生成することで、できる限り対象便を最適な降下に近づけつつ、航空機間の安全間隔を適切に維持することを目的としていた。今年度は、風等の外乱への対応を目的として、航空機の状態に基づいて管制指示を逐次的に変更するフィードバック制御則をアルゴリズムに組み込んだ。また、アルゴリズムの妥当性を評価するため、関西国際空港を対象に 5 機の航空機に対して、本アルゴリズムを適用したシミュレーションを実施した。シミュレーションにより得られた結果は、元のアルゴリズムから得られた解と同様な傾向を示しており、フィードバック制御則の妥当性に問題がないことを確認できた。

3.3 飛行実証による Fixed-FPA 降下の評価

昨年度は、シミュレーション解析により、CDO と Fixed-FPA 降下の環境負荷を比較評価した。それに加えて、今年度は仙台空港にて実施した Fixed-FPA 降下検証実験の結果を基に、Fixed-FPA 降下と様々な降下方式の環境負荷を

比較した。図 2 は、横軸が飛行時間、縦軸が燃料消費量となっており、赤点は航空機の FMS による降下 (通常の CDO)、青点はステップダウン降下、黒点は複数の降下角による Fixed-FPA 降下の結果を表している。なおこの結果は、降下開始点から降下終了点の飛行セグメントによるものである。図の結果は、シミュレーション解析から推定される傾向と同様であり、降下角を固定することによって CDO より燃料消費量が若干増える一方、通常のステップダウン降下より燃費が良いことが明らかになった。環境に及ぼす負荷は燃費に比例することから、Fixed-FPA 降下により環境負荷軽減のポテンシャルが示された。

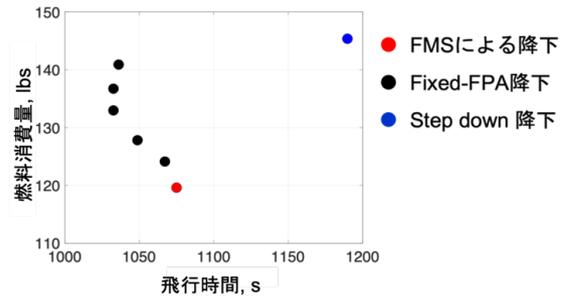


図 2 検証実験による運航性能の比較評価

4. まとめ

本年度は Fixed-FPA 降下の検証実験を基に Fixed-FPA 専用 EFB 模擬アプリの評価を行った。また、実験で取得したデータを用いて Fixed-FPA 降下の運航性能及び環境負荷に及ぼす影響を検証した。得られた結果より、ファストタイムシミュレーションで得られた Fixed-FPA 降下の挙動における結果と同様な傾向があることが確認できた。さらに、外乱に対応できる到着管理アルゴリズムの開発に着手し、フィードバック制御則の妥当性を検証した。

本研究において、シミュレーションを用いた Fixed-FPA 降下の潜在的便益の定量的評価、機上の運航支援機能 (Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリ) の開発、地上の管制支援機能 (Fixed-FPA 降下対象機間の間隔維持アルゴリズム) の開発等を実施し、シミュレーションと実験の両面から Fixed-FPA 降下の評価と、実現に要する要件の検討を明らかにすることができた。

掲載文献

- [1] D. Toratani, N.K. Wickramasinghe, J. Westphal, and T. Feuerle: "Feasibility Study on Applying Continuous Descent Operations in Congested Airspace with Speed Control Functionality: Fixed Flight-Path Angle Descent," Aerospace Science and Technology, Elsevier, 107, 106236, December 2020.

- [2] ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地, 平林博子: “固定飛行経路角効果方式における運航性能評価に関する一考察”, 第 58 回飛行機シンポジウム講演集, 2020 年 11 月.
- [3] 和田 真治, 井上 正樹, 虎谷 大地: “Semi-CDO: 航空機の新たな降下運航方式の提案と到着管理アルゴリズム”, 第 8 回制御部門マルチシンポジウム講演集, 2021 年 3 月.
- [4] N.K. Wickramasinghe, Y. Nakamura, and A. Senoguchi: “Evaluating the Influence of Weather Prediction Accuracy on Aircraft Performance Estimation,” APISAT2021, November 2021.
- [5] S. Wada, M. Inoue, and D. Toratani: “Semi-CDO: An Arrival Separation Management Algorithm for Continuous Descent Operation,” SICE Annual Conference, September 2021.
- [6] M. Ishii, S. Wada, M. Inoue, and D. Toratani: “Arrival Management Algorithm with Data-driven Modeling for Fuel-efficient Descending of Commercial Aircraft,” システム制御情報学会研究発表講演会, 2022 年 5 月.
- [7] ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地, 平林 博子, “固定飛行経路角降下の運用構想に関する一検討,” 第 23 回電子航法研究所研究発表会, 2023 年 6 月.

担当領域 航空交通管理領域

担当者 ○虎谷 大地, 天井 治, 平林 博子, 河村 暁子 (監視通信領域)

研究期間 令和3年度～令和4年度

1. はじめに

近年、小型無人航空機 (small Unmanned Aircraft Systems: sUAS) の利活用高度化のための環境構築が求められている。これを受け、UTM (UAS Traffic Management) やリモート ID (R-ID) 等の研究開発・標準化や、sUAS の運行リスクを評価する手法の提案が進められている。しかしながら、いずれの技術においても全ての問題を解決できる水準にはなく、特に sUAS 側に議論が偏る傾向があるので、有人航空機側の議論が必要である。本研究では、無人航空機と有人航空機が協調的に運用可能な環境を構築するために必要な技術要素について研究することで、無人・有人航空機が安全に混在する環境の構築に貢献する。

2. 研究の概要と成果

Urban Air Mobility (UAM, 空飛ぶクルマとも呼ばれる) の登場により、sUAS が飛行する低高度空域に、更なる新規参入航空機が飛行すると想定されている。そこで3カ年計画を2年で終了し、後継研究としてUAMも考慮した新たな研究を開始することとした。本研究としては環境の変化も考慮し、以下の要素技術に注力した。

● VFR 飛行計画を用いた実航跡の推定

低高度を飛行する sUAS は有視界飛行方式 (Visual Flight Rules: VFR) で飛行するヘリコプタと遭遇する可能性がある。sUAS と VFR ヘリコプタ間の飛行前情報共有を目的に、VFR 飛行計画から実航跡を推定する手法を開発した。情報共有基盤への実装の容易さと推定精度がトレードオフすることを示し、3 パターンの手法を提案した (図 1)。

● R-ID 信号の評価

2022 年に sUAS への R-ID の搭載が義務付けられた。R-ID は機体の位置等の情報も発信しているが、その主目的は飛行安全ではなく公共安全であるため、位置等の情報が監視に利用可能かは不明確であった。本研究では市販の後付け用 R-ID モジュールを評価し、製品によっては GPS 精度に課題があり気圧高度計を持たないこと、見通し 400m 程度まで受信可能なこと等を明らかにした。

● 空中リスク推定手法の開発

空中リスクを定量的に推定するための基盤である航空交通密度分布を作成した。検討対象によって密度分布作成

に用いるソースを適切に選択する必要があることを明らかにした。

3. 今後の展望

本研究で得られた知見は、後継研究である「次世代航空モビリティの運用環境構築に関する研究」に引き継がれ、引き続き、低高度空域の環境構築に貢献すると期待される。

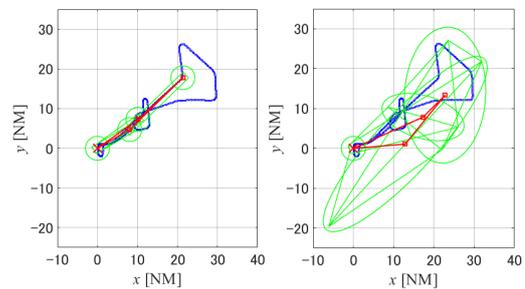


図 1 飛行経路推定の例

(青：実航跡，赤：推定経路，緑：推定範囲，左図：実装が容易な手法，右図：推定精度が高い手法)

掲載文献

- [1] 天井 治, “無人航空機運航のリスク解析について,” 電子通信情報学会ソサイエティ大会, 2021.
- [2] 虎谷 大地, 小手川 達也, “無操縦者航空機の導入に向けた運用環境定義の検討,” 第 59 回飛行機シンポジウム, 2021.
- [3] 虎谷 大地, 小手川 達也, “日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討,” 電子航法研究所研究発表会, 2022.
- [4] 虎谷 大地, “ドローンのための空中衝突防止システムの技術動向,” 電子通信情報学会ソサイエティ大会, 2022.
- [5] C. Aveneau, D. Toratani, A. Senoguchi, H. Hirabayashi, T. Otsuyama, and A. Kohmura, “Potential Operational Consequences of the Use of ACAS Xu in Controlled Airspace,” IWAC, 2022.
- [6] D. Toratani and H. Hirabayashi, “Estimation Methods of the Visual Flight Rules Planned Route for Sharing Preflight Information with Urban Air Mobility,” IWAC, 2022.

離陸機の運用最適化に関する研究【競争的資金研究】

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○森 亮太
 研究期間 令和元年度～令和4年度

1. はじめに

世界の航空交通量は、今後も増大が見込まれており、それに伴い燃料消費量の削減は喫緊の課題となっている。本研究では、離陸機における運用に焦点を当て、燃料消費量の削減方策についての検討を行う。

本研究は大きくわけて、空港における離陸機の地上移動の効率化、上昇時の推力制御による燃料消費量削減、の2点を実施しており、昨年度は主に前者を実施し概ね研究が完了したため、今年度は後者の研究を主に実施した。ここでは、後者の研究結果について記載する。

2. 研究の概要と成果

2.1 上昇経路の最適化

上昇時においては、一般にできるだけ早く巡航高度に辿り着くことが燃料削減につながると言われており、現行の航空機は巡航開始点(TOC/Top of Climb)に至るまでは、航空機に搭載されているFMS(Flight Management System)により計算された上昇プロファイルを飛行し、TOCまで最大上昇推力を使用する。最大上昇推力による上昇は、最適解に近い上昇ではあるが、厳密に最適ではないことを過去の研究で確認してある。本研究では、実際に航空機の運航で本提案手法を実現するために、実施手順の提案および航空会社所有のフルフライトシミュレータにおける効果およびワークロードの確認を行う。

航空機の最大推力は上昇時にはMCL(Maximum Climb Thrust)を用いるが、その他にMCR(Maximum Cruise Thrust)と呼ばれるMCLよりも低推力のモードがあり、これを用いることで推力を減らし、燃料消費量を削減できる可能性がある。そのイメージを図1に示す。途中までは通常通り上昇を行い、上昇中の特定の点で最大推力をMCRに変更する。巡航高度上昇後は、通常通り巡航状態となる。そのため、パイロットは上昇中に推力設定をMCRに変更する必要があるが、それはCDU上から容易に実施が可能なことを確認している。

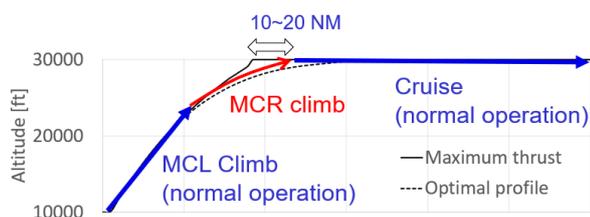


図1 提案する上昇のイメージ

そしてこの手法を、B777-300ERのフルフライトシミュレータを用いて、実施した。1回は通常の上昇、もう1回は提案手法とすることで、航跡および燃料消費量の比較を行った。航跡の比較を図2に示す。この例では、巡航高度が31000 ftであり、MCRへの推力変更は23000 ftから行っている。そのため、23000 ft以降提案手法は推力が下がるため上昇率が下がり、航跡も通常上昇と比較して下に出ていることがわかる。

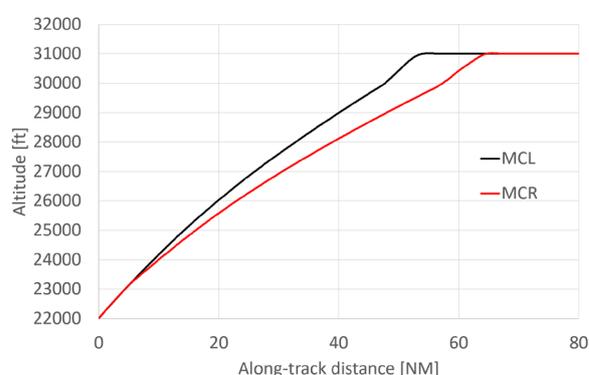


図2 MCL(通常上昇)とMCR(提案手法)の比較

また、22000 ft通過地点から75 NMの飛行について燃料消費量を比較したところ、全体の燃料消費量の5000 lb程度に対し、提案手法が104 lb消費燃料が少ないことが確認された。これは、事前の予測のとおり、実際に提案手法で燃料節減がはかれる可能性が高いことを示唆している。

同時に実験に協力いただいた乗員の方にコメントをいただいたが、全般に前向きな意見であった。1つ懸念があるとすると、重量が重い場合や追い風時など、もともと上昇率が低いような状況では、提案手法を用いることでさらに上昇率が低くなり、運用に影響を与える可能性があるとのことだったので、そのような場合には提案手法を実施しないことが求められるとのことだった。ただ、100 lbの削減は大きいとのこと、今後実際にこの手法が運用できるよう、さらなる調整を行っていく予定である。

本研究は、JSPS 科研 19K15119 の助成を受けた。

掲載文献

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

Reduced Thrust Near Top of Climb,” *Journal of Aircraft*, in press.

- [3] R. Mori, (2019) “Evaluation of Departure Pushback Time Assignment Considering Uncertainty Using Real Operational Data,” 9th SESAR Innovation Days.
- [4] R. Mori, (2020) “Fuel-Saving Climb Procedure by Reduced Thrust Near Top of Climb,” *Journal of Aircraft*, Vol. 57, No. 5, pp. 800-806.
- [5] R. Mori, (2021) “Off-block Time Prediction Using Operators’ Prediction History”, 2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference (DASC).
- [6] R. Mori, (2022) “Simulator experiment and real world implementation of reduced climb thrust fuel saving procedure,” 2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC).

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○村田 暁紀
 研究期間 令和2年度～令和4年度

1. 研究の概要

現在 COVID-19 により日本の航空交通量は減少しているが、将来的には増加が見込まれる。一方で交通量の増加は交通流の複雑化を招き、管制官の負荷量の増加が懸念される。

本研究では、航空管制の負荷を推定し、推定値をモニタリングすることで管制官に過度な負担がかからないよう指標化を検討する。具体的には機械学習の手法の1つである Long short-Term Memory (以下：LSTM) を用いた時系列性を用いた手法を適用し、1日の中での混雑時間帯に対して精度よく予測可能なアルゴリズムを開発することで、負荷量推定精度の改善を図る。

2. 研究成果

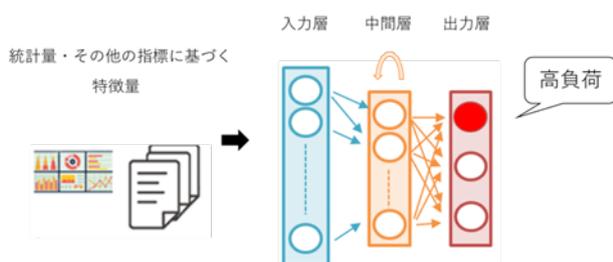


図1 LSTMにおける負荷推定

本年度においては LSTM における精度の検証をより多くのデータを用いて検証した。学習ラベルは MMBB 法 (Modified-Messerschmidt, Bölkow und Blohm) を用いて交通流における管制容量値を算出し、この値に基づいてラベルを判定する。値は低・中・高と3段階のラベルを設定した。本来、学習ラベルは航空管制官が交通流の状況に応じて直接ラベルを評価することが理想だが、評価に個人差とラベル評価に膨大な時間を要するため、本研究では現在管制運用で適用する MMBB 法による管制容量値を利用した。図1は LSTM における負荷推定の概要を表しており、学習により三段階のラベルを出力する。

検証データはある航空路管制セクタについて管制容量値の平均値及び最大値が他の月より大きい傾向にあった1か月を採用した。交通流が非常に少ない時間帯を除き10分毎に区切り、これを時系列データと見なし学習データを生成した。それでも、交通流が過密であり管制官にとって高負荷となるデータは全期間でおよそ7%であった。

表1および表2は LSTM 及び従来手法である NN にお

表1 LSTMにおける分類結果

		Predicted		
		Low	Medium	High
Actual	Low	61.8	9.73	0
	Medium	26.7	87.4	4.0
	High	0	4.0	1.9

表2 NNにおける分類結果

		Predicted		
		Low	Medium	High
Actual	Low	15.8	56.2	0
	Medium	5.0	113.0	0
	High	0	6.0	0

ける実際のラベルと学習モデルにより出力された予測ラベルとの混同行列を示している。左側が予測値におけるラベル、上側が予測値におけるラベルをそれぞれ示す。予測と実際のラベルの値が一致している数が多ければ多いほど正しい予測が出来ていることを示す。表1における LSTM の結果は Medium(負荷量中)の値は表2の従来手法である NN のほうが大きい値を示しているが、Low(低)及び High(高)は LSTM のほうが大きい値となった。特に High(高)は NN では全データにおいて判定することが出来なかったが、提案手法は精度に課題は残るものの判定が可能であることが明らかとなった。

3. 今後の展望

交通量回復に伴うデータの検証を今後も継続的に行う。
謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K22438 の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] 村田 暁紀, 虎谷 大地, LSTMを用いた管制負荷量の分類精度向上に関する研究, 第60回飛行機シンポジウム, 3C16, 2022
- [2] 村田 暁紀, 佐藤 寛之, 高玉 圭樹, デライエダニエル, 航空機着陸問題における混雑時に対応するクラスタリングを用いた分割反復最適化手法, 電気学会論文誌 C 142(2), 198-205, 2022

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○虎谷 大地
 研究期間 令和3年度～令和5年度

1. 研究の概要

近年、航空管制の分野ではシステム工学・制御工学技術を活用した、航空管制官支援システムの研究開発が活発に行われてきた。一方、最近の人工知能・機械学習技術の成長を受け、これらの技術の導入が議論されている。そこで本研究では、機械学習技術の航空管制への応用に貢献することを目的とする。具体的には、機械学習の一種である深層強化学習を用いて、空港に到着する交通流の間隔維持支援アルゴリズムを開発する。

基本的な深層強化学習では交通流の間隔維持支援タスク全体を学習することを考えるが、本研究においては部分的に従来の制御技術も取り入れる。提案する間隔維持支援アルゴリズムはシミュレータとレーダーデータを用いて学習後、比較用のアルゴリズムと比較することでその有効性を評価する。

2. 本年度の成果

本年度は、前年度に開発したガウス過程回帰 (Gaussian Process Regression: GPR) を用いた航空機速度のモデリング手法 (図1) に関して、シミュレーションを用いた提案手法の評価を行った。本研究の研究対象である航空管制官のための間隔維持支援アルゴリズムの内部では、間隔維持のための支援情報を計算するために航空機の軌道予測を必要とする。提案手法で得られた航空機速度モデルを支援アルゴリズム内部の軌道予測に用いることで、軌道予測の精度が向上し、その結果、支援アルゴリズムが生成する管制官のための支援情報の精度が向上すると期待される。シミュレーションでは、東京国際空港へ到着する交通流をレーダーデータから抽出し、そこへ支援アルゴリズムを適用することで、現実的な状況を用いた評価を実施した。提案手法と評価結果を論文としてまとめたものが、投稿論文に掲載された。

また本年度は、深層強化学習ベースの支援アルゴリズムの開発も行った。具体的には、各航空機の状態を入力とし、最適な行動 (管制官の指示) を生成するエージェント (支援アルゴリズム) の構築を試みた。どのような状態量をエージェントへの入力とするか、またどの学習アルゴリズムを使用するか等の選択肢が無数にあるので、いくつかの組

み合わせで支援アルゴリズムを試作する必要がある。今年度は特に、状態量として航空機の現在の状態に加えて、前述の軌道予測の結果をエージェントに入力する方法と、学習アルゴリズムとして Deep Q Network と Deep Deterministic Policy Gradient を用いた支援アルゴリズムの試作に注力した。

3. 今後の展望

次年度は開発したエージェントを現実的な環境で学習させる予定である。本年度までに得られた成果を用いることで、深層強化学習ベースの支援アルゴリズムがより現実的な問題に対応できるようになると期待される。

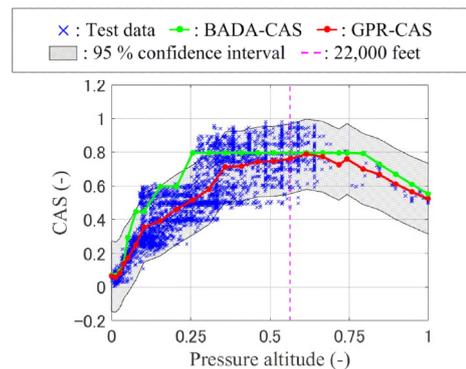


図1 GPRによる速度モデル回帰の結果例 (単位は無次元量)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K14271 の助成を受けたものです。

掲載文献

[1] D. Toratani, T. Yoshihara, and A. Senoguchi, "Support algorithm for air traffic controllers' arrival spacing: Improvement of trajectory estimation using Gaussian Process Regression," Control Engineering Practice, 2022.

不安定進入を対象とした機械学習による要因分析手法の開発【競争的資金研究】

担当領域 航空交通管理領域
担当者 ○森 亮太
研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

航空機の運航において安全は最も重要な要素である。昨今のコロナ禍により、航空需要は一気に蒸発した一方、2023年においては世界的にも需要がコロナ禍前に迫るほどに回復してきている。航空需要が蒸発した際には、乗員の操縦機会も多く失われており、それにより操縦技量が維持できなくなったとの報告もある。本研究では、航空機の事故が特に多いとされる着陸進入時を対象に、不安全事象を同定し、その回避を行うための一連の手法を提案することを目的としている。

2. 研究内容

着陸進入時に航空機が事故を起こす要因としては様々なものが知られているが、その中の大きな要因として不安定進入があげられる。不安定進入とは、およそ対地1000ft以下の高度において、比較的大きな姿勢角の変動や経路逸脱などがあることを指す。不安定進入となった場合には、進入をやり直すべきとされている一方、9割以上のケースにおいて進入を継続しているのが実態とされている。進入のやり直しは時間的にも経済的にもマイナスであり、パイロット心理的にも進入のやり直しを強制するのは困難であり、航空機の安全性向上のためには不安定進入自体の件数を減らすことが重要である。

不安定進入の要因は多岐にわたると言われており、パイロット技量、疲労、フライトの遅延、管制からの指示、風の擾乱、などが例としてあげられる。不安定進入は航空会社にとっても減らすべき重要な問題としており、各航空会社においてフライトデータを元に、独自のデータ分析を行っている。しかし、そもそも不安定進入の基準自体が明確でないことに加え、不安定進入と判定されたフライトを一つ一つ手で調べるといった分析が現状であり、大量のデータを用いて効率よく分析する手法は存在しないのが現状である。

本研究では、不安定進入を対象として、フライトデータを用いて要因分析を行う新たな手法を提案し、その有効性を確認することを目的とする。その際、不安定進入自体の定義が確立されていないことを鑑み、パイロットの不安定性の主観評価をもとに、不安定性の指標（＝以後、不安定指標と呼ぶ）を階層ベイズモデルにより定義し、各フライトにおいて不安定指標の計算が可能となる。しかし、フライトごとに飛行環境が異なるため、純粋に不安定指標を評

価しても、飛行環境の評価に近いものになってしまう可能性がある。そこで、NNの非線形入出力間の高度な推定能力を利用し、各フライトそれぞれの飛行環境における「標準的な」不安定指標の推定を行う。各フライトにおける実際の不安定指標と、推定された不安定指標を比較することで、各フライトにおける相対的な不安定度を計算できることになる。相対的な不安定度をもとに、統計分析等の手法を用いて要因分析を行うことで、従来手法では難しい要因分析が可能になるものと期待される。

3. 研究の進捗

本研究を実施するにあたり、まず航空機の運航データを取得する必要がある。位置情報がわかるレーダーやADS-Bなどの情報では不十分で、航空会社の所有する詳細なデータが分析に必要となってくる。そこで、まず本研究の目的を説明した上で、複数の航空会社に打診したところ、データの入手に成功した。機械学習を用いる場合は、データの件数も重要であり、あまりに少ないフライト数（例えば数十件程度）では、意味のあるモデルが構築できない可能性が高いため、今回は千件のオーダーでのデータ取得を実施した。

さらには、実際に分析を行うにあたっては、ドメイン知識といって、その分野に特化した知識がないと、満足のいく分析を行うことは難しいとされている。実際に、乗員の方や航空会社のデータ分析の担当など、様々な方に協力していただくことで、分析の新たな切り口が見つかる可能性があり、そのような協力体制も得ることができた。

実際にどのようにデータ分析をしていくかは次年度以降の検討となる。今のところ、NNに限らず機械学習手法を用いて、接地位置の推定から始める予定で考えている。接地位置は好ましいとされる範囲が存在し、それより前だとハードランディングにつながる可能性があり、それより後だとオーバーランにつながる可能性がある。どのような条件において、接地位置がずれることがあるのかということについて統計的に機械学習を併用しながら分析し、それに対する知見をもとに、さらなる分析を行っていく予定である。

本研究は、JSPS 科研費 22K04542 の助成を受けた。

【競争的資金研究】

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○虎谷 大地, 本田 純一 (監視通信領域)
 研究期間 令和4年度

1. 研究の概要

本研究では、航空輸送業界のカーボンニュートラル達成に向けた、航空機運航の改善を目的とする。世界各国が2050年にカーボンニュートラル達成を宣言するなか、温室効果ガス (Greenhouse gas: GHG) の排出量が多い航空機には厳しい目が向けられている。この問題に対応するため、航空輸送業界はGHG排出削減の4つの方策を打ち出した。その1つが航空機運航の改善であるが、具体的な内容については議論の最中である。そこで本研究では、航空機運航のデジタルツインを構築し、仮想空間上で航空機運航の改善 (例えば減速運航等) の効果を評価することで、航空機運航の改善方策を提案する。具体的には、レーダーデータや気象データ、航空機モデル等を組み合わせて、仮想空間上に日本の航空交通流を模擬する。模擬された航空交通流上で航空機運航をシミュレーションすることで、航空機運航の改善によるGHGの排出削減量等を評価する。航空機1機だけではなく航空交通流全体を模擬することで、交通管制や安全性を考慮した上での航空機運航の改善方策の評価を実現する。

2. 本年度の成果

本年度は運航改善方策として減速運航に注目し、計算方法の検討、及び簡易的なシミュレーションを実施した。航空機は基本的に、巡航速度を遅くすると燃料消費量を削減することができるが、その結果到着時刻が遅くなると速達性や到着交通流への悪影響が生じる可能性がある。そこで今回は可能な範囲で早発を実施し、到着時刻が変わらない範囲で減速運航を行うという状況を仮定した (図1)。長崎空港 (RJFU) 発、東京国際空港 (RJTT) 着の減速運航シミュレーションを実施し、巡航速度と早発時間、二酸化炭素の排出削減量の関係を定量的に示した (図2)。シミュレーション結果より、早発時間と二酸化炭素排出削減量の間にトレードオフの関係があることを示し、減速運航を実現するための課題について議論を行った。

3. 今後の展望

次年度は、後継研究である「航空輸送業界におけるカー

ボンニュートラル達成のためのデータ同化を用いたデジタルツインの精度向上」にて、より全体的な交通流を考慮した改善方策の評価方法を検討していく。

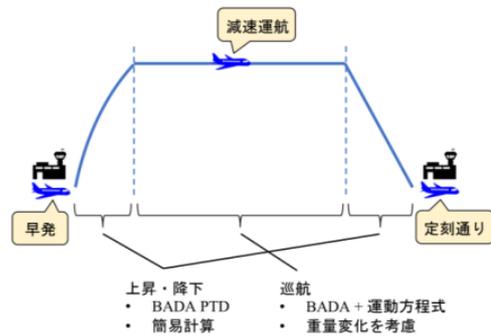


図1 減速運航の仮定

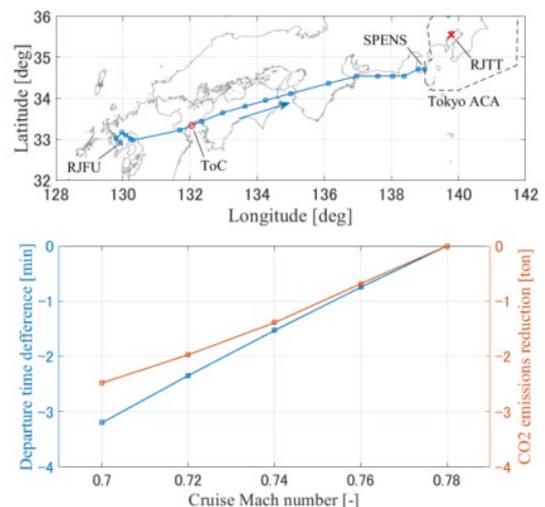


図2 シミュレーション例

(上図：シミュレーション経路，下図：早発時間と二酸化炭素排出削減量のトレードオフ関係)

謝辞

本研究は公益財団法人双葉電子記念財団の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] 虎谷 大地, 本田 純一, “旅客機の減速運航による二酸化炭素排出削減に関する検討,” 飛行機シンポジウム, 2022.

次世代空モビリティの安全認証および社会実装に求められる性能評価手法に関する研究開発【競争的資金研究】

担当領域 航空交通管理領域
 担当者 ○森 亮太, 長縄 潤一 (監視通信領域)
 研究期間 令和4年度～令和8年度

1. はじめに

近年、無人航空機や空飛ぶクルマの開発が盛んであり、近い将来に多くの無人航空機や空飛ぶクルマが飛行を行うことが想定されている。その一方で、安全性の担保は間違いなく重要となるが、そのための性能評価法や安全性の証明、認証方法といったことはまだ確立されておらず、標準化していくことが重要とされている。そこで、本研究では NEDO 事業の一環として、無人航空機や空飛ぶクルマの社会実装のための主に安全に関わる実施体制の整備を実施することを目的として実施されるものである。

電子航法研究所は、これまで有人航空機における安全間隔基準作りに関して ICAO を通じて国際貢献を行ってきており、その知識やノウハウを無人航空機や空飛ぶクルマへ適用することを念頭に、本事業に参画することとなった。

2. 研究実施体制

本研究の実施体制を図1に示す。研究テーマは大きく4つにわかれており、①無人航空機の機体認証等の制度設計と安全基準やガイドラインの開発、②次世代空モビリティの運用に必要な安全管理に関する研究開発、③無人航空機のフライトシミュレータの安全認証に必要な要件の研究開発、④無人航空機の運航の安全性の評価法の研究開発、となっている。この中で電子航法研究所は、④のテーマを

実施することとなる。

3. 研究の概要など

テーマ④については、さらに細かな目標を設定しており、当初の3年間の目標は「操縦者1に対してn機の運航の安全評価に資するモデルを構築し、シミュレーターおよび一部のシナリオに対して実機を利用した飛行試験を行うことでモデルの検証を行う。検証の過程でも、積極的に国土交通省航空局や国内産業団体、国際標準団体に知見を共有し、1:nパイロットレシオ安全運航とその許可の促進に貢献する」としており、研究の最終目標は「操縦者mに対してn機の運航の安全評価に資するモデルを構築し、シミュレーターおよび一部のシナリオに対して実機を利用した飛行試験を行うことでモデルの検証を行う」としている。似た分野における他機関の研究開発も進んでいることから、本研究では操縦者と運航機数に着目し、複数の操縦者が複数の航空機を運航する場合に、どのような安全基準を設定すれば、運航の安全性が保てるかという観点での研究を実施する。

本研究は採択決定が年度途中となったため、本年度が初年度であるため、情報収集や、実際に基準案の作成を行うにあたってのユースケースを検討するという作業を進めている。並行して、検討のたたき台とするための初期的なモデルの実装に着手した。

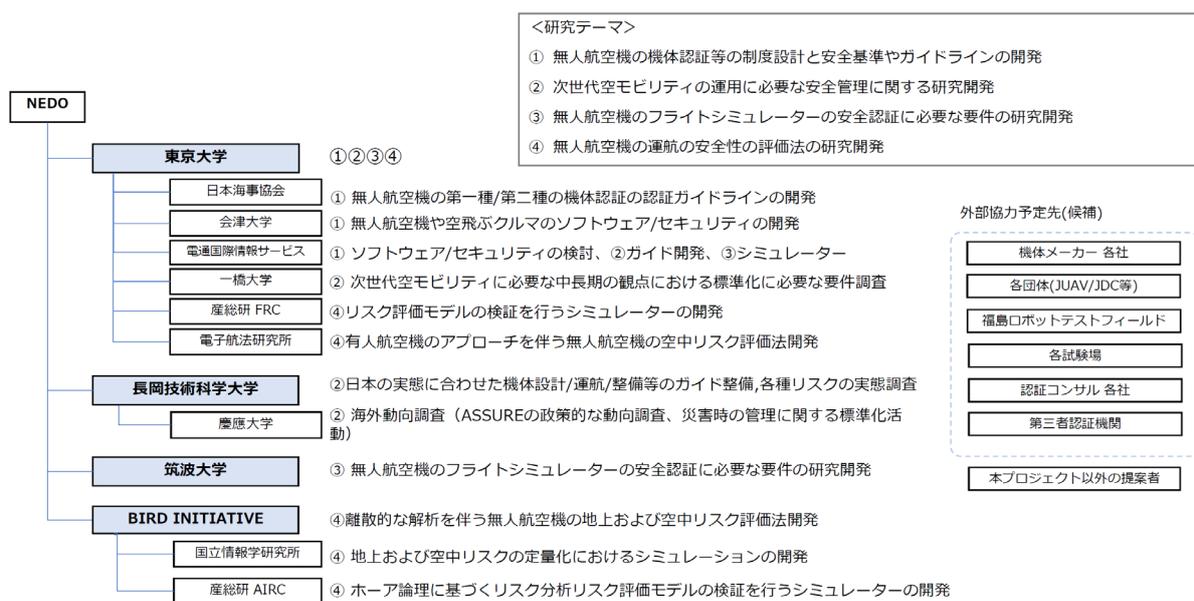


図1 研究実施体制図

2 航法システム領域

I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

令和4年度においては、当所の長期ビジョンをもとに行政当局などの要望を考慮しながら、下記研究を計画・実施した。

1. 新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究
2. GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発
3. 地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究
4. 気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究
5. 磁気低緯度地域におけるGNSS性能向上及び性能評価技術高度化に関する研究
6. 全飛行フェーズでのRNP化に向けた衛星航法のバックアップ(APNT)構築
7. レーダー観測網・複数衛星・モデル計算を総合した赤道域電離圏変動特性の国際共同研究
8. 衛星測位精度改善に向けた電離圏擾乱の発生予測:マルチスケール観測の実現
9. 周波数の国際協調利用促進に資する磁気低緯度地域における電離圏環境調査に関する請負
10. 令和4年度「測位補強サービスの性能評価に係る評価手法の指導及び検証」
11. 準天頂衛星を利用したSBASによるLPV提供に関する整備の認証作業に係る技術支援
12. 令和4年度CNS性能評価業務に係る支援作業におけるMSASサービスの性能保証に係る作業支援
13. 「SBASの他の交通モードでの利活用に向けた調査研究業務」の技術支援
14. 航空分野における衛星測位システム利用に関する調査技術支援
15. 令和4年度「IGMA活動支援および測位性能評価」におけるIGMA活動の支援作業
16. 航空機動態情報(Downlink Aircraft Parameters(DAPs))データの取得利用技術の指導
17. GNSSアンテナのパターン計測
18. タイ国スワンナプーム空港地域における「2022年度東南アジアにおける電離圏調査」の技術支援
19. タイ国スワンナプーム空港地域における「実証機材のパラメータ設定及び総合試験」の技術支援
20. 「ASEANにおけるGNSS導入計画の要員養成プロジェクト(GIPTA)」に対する技術支援

1及び2は重点研究, 3から6は指定研究, 7から8は競争的資金による研究, 9から20は受託による研究又は技術支援である。

1は、次世代規格であるマルチコア・複数周波数のSBAS及びGBASを活用した進入着陸誘導システムについて、導入における課題に対応するための研究である。

2は、GBASの利点を活かして進入経路の選択から滑走路離脱までを一連の進入着陸として扱い、自由度の高い経路設定と環境に配慮した効率的な進入着陸の実現を目指す研究である。

3は、GBAS基準局の離着陸機等によるGPS信号の遮蔽の影響を緩和する方策を提案し、剰余敷地の少ない空港における整備候補地を拡大して、我が国の空港へのGBASの円滑な導入への貢献を目指す研究である。

4は、後方乱気流に関する最低距離間隔の見直し(RECAT)により混雑空港の着陸容量の拡大に資するため、時間ベースの管制間隔運用を我が国の混雑空港に導入する際の課題と要件を明確にし、将来のダイナミック・ペアワイズや同一滑走路に複数着地点を設定するコンセプトの実現可能性の検討を目的とする研究である。

5は、宇宙天気情報を活用したGNSS性能劣化時の要因分析技術や宇宙天気情報を活用した性能向上技術を開発するとともに、高カテゴリ-GBASの特性と我が国の環境を考慮した総合性能評価を行う研究である。

6は、GNSSでは障害が多数報告されていることから、短期的、中期的、及び長期的な観点からの代替システム(APNT)の構築を目指す研究である。

7は、衛星航法に影響を与えるプラズマバブルに関する研究であり、大気変動から電離圏へのミッシングリンクを明かにし、プラズマ発生の予測を目指す研究である。

8は、電離圏擾乱のメカニズムを解明するため、VHFシンチレーションを定常観測する装置を開発・設置して、本装置により観測を進める研究である。

9は、我が国のGBAS電離圏調査の経験を生かし、磁気低緯度に位置するアジア諸国の電離圏環境を調査するための研究である。

10は、準天頂衛星システム「みちびき」のサービス品質を維持・改善するため、運用主体から独立した組織で行われる品質評価の一部であり、サブメータ級測位補強サービス(SLAS)及びセンチメータ級測位補強サービス(CLAS)の測位誤差を評価するための研究である。

11から13は、同様に準天頂衛星システム及びSBASに関わる評価を支援するための研究である。14から20は、衛星測位の利用、新たな運航方式の展開、機上データ取得、

タイ国電離圏に係る調査等の技術支援である。

II 試験研究の実施状況

5ヶ年計画の3年度にあたる「新しいGNSS環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究」では、次世代GBAS規格の方式検証に関して、飛行実験データを用いてプラズマバブルに対する応答を検証するとともに、次世代GBAS/SBAS飛行実験については、収集データの分析により、プラズマバブルを含むデータを取得できたことを確認した。また、セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発では、プロトタイプの開発が完了し、動作確認を行った。

5ヶ年計画の初年度にあたる「GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発」では、GBASによる複数進入経路の設定に関して、運用概念及び安全性評価方針の決定で検討すべき便益や技術的課題を明確にした。また、経路設計における安全性評価手法に関して、進入経路からの逸脱量分布を推定するための算出方法を検証した。さらに、進入着陸におけるパイロット支援ツール開発では、GBASを用いた滑走路離脱支援の課題抽出を行った。

4ヶ年計画の最終年度にあたる「地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究」では、離着陸機によるGPS衛星信号の遮蔽等の影響を軽減する地上処理アルゴリズムについて、改良アルゴリズムを適用したオフライン処理、改良アルゴリズムの適用を想定したGPS受信点と滑走路との位置関係によるGPS受信状況の計算機シミュレーション、実データを用いた改良アルゴリズムによるサイクルスリップ補正手法の評価等を実施した。

4ヶ年計画の最終年度にあたる「気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究」では、前年度から継続している時間ベース運用(TBS)の評価を含めて、新たな後方乱気流管制方式について、導入効果の評価するシミュレーション、管制間隔指示の自動化と新たな運用における安全性設計評価、及び導入指針の提案と取りまとめを行った。

4ヶ年計画の初年度にあたる「磁気低緯度地域におけるGNSS性能向上及び性能評価技術高度化に関する研究」では、性能評価センターとの連携を構築し、GBAS電離圏脅威モデル維持管理技術の移転を進めた。また、宇宙天気現象がGNSSに与える影響に関する基礎研究を進めるとともに、宇宙天気情報を活用したGNSS性能向上技術の検討を開始した。さらに、研究成果の社会還元のため、ICAO Annex 10やGNSS Manualに成果を反映させた。

4ヶ年計画の初年度にあたる「全飛行フェーズでのRNP化に向けた衛星航法のバックアップ(APNT)構築」では、

短期的APNT構築に関して、実験用航空機にて取得したDME測距データを用いて、誤差量と誤差発生要因の解析を行った。中期的APNT構築に関して、DME実験データを用いてマルチDME/DME-RAIMの有効性に関する基礎検討を行い、我が国の課題を抽出した。また、長期的APNT構築では、画像によるインテグリティ保証に関して基礎検討を行った。

5ヶ年計画の3年度にあたる「レーダー観測網・複数衛星・モデル計算を総合した赤道域電離圏変動特性の国際共同研究」では、引き続きタイ・バンコクとインドネシア・赤道大気レーダーサイトにおける複数衛星系・複数周波数(MC/MF)対応受信機によるシンチレーション観測と、情報通信研究機構がタイ・モンクット王工科大学ラカバン(KMITL)、名古屋大学、及び当所と協力してタイ・チュンポンに設置したVHFレーダーを中心に研究を行った。

4ヶ年計画の3年度にあたる「衛星測位精度改善に向けた電離圏擾乱の発生予測：マルチスケール観測の実現」では、鹿児島県霧島市から打ち上げられたロケットが送信するビーコン電波を観測した他、観測点で受信したデータから受信機とロケット間の全電子数の導出等を行った。

受託研究である「周波数の国際協調利用促進に資する磁気低緯度地域における電離圏環境調査に関する請負」では、令和2年度に立案された電離圏調査計画に基づき、これまでに電離圏データ収集環境を構築したベトナムならびにインドネシアにおいて電離圏データ収集と解析を進めた。また、両国において現地研究者・技術者に対して技術指導を実施した。

III 試験研究の成果と国土交通行政、産業界、学会に及ぼす効果の所見

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

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

当所の数多くの研究成果は、今後設置・運用する航空保安システムの技術基準、運用基準の策定等に必要な技術資料として、国土交通行政に直接に貢献するとともに、米国

航法学会 (ION), 電子情報通信学会, 日本航空宇宙学会,
測位航法学会等における査読論文や講演発表として周知

ならびに活用されている。

(航法システム領域長 宮崎 裕己)

新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究【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, 小田 浩幸, 北村 光教, 高橋 透

研究期間 令和2年度～令和6年度

1. はじめに

航空機の航法には衛星航法システム GNSS の導入が進められており、日本では平成19年度から運用されている MSAS (SBAS) に加えて、令和2年度には一部の空港で GBAS が稼働を開始した。これら現行の SBAS 及び GBAS 規格は GPS のみしか対応していないが、いずれも次世代規格の策定が進められており、GPS 以外のコアシステムに対応するとともに複数の周波数を使用可能となる。これら次世代規格に対応した次世代 GNSS 補強システムによれば電離圏活動の影響を受けにくいロバストな航法が可能となり、低磁気緯度地域にあり電離圏活動の影響を受けやすい我が国においてはメリットが大きい。一方、今後は次世代 GNSS 補強システムが各国において実装されることとなるが、それらについては相互運用性の確保がきわめて重要な課題となっている。

本研究は、このような新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムについて、導入における課題に対応するために実施することとしたものである。令和4年度は、5ヶ年計画の3年目であった。

2. 研究の概要

新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムの導入における次のような課題について、本研究において検討する。

第一に、GNSS による進入着陸システム GBAS の次世代 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。静止衛星による補強システム SBAS についてはこれらに対応した次世代規格が策定されたことから、今後は GBAS に関する規格化活動が本格化する見込みであり、これに対応する必要がある。

第二に、補強システム間の相互運用性の確保である。SBAS や GBAS といった補強システムはサービスプロバイダ各国により開発されることになるが、標準規格にもとづいて実際の開発を行うとその解釈に齟齬を生じる場合がある。アビオニクス機器も含めていかなる組合せにおい

ても所定の動作をすることが標準規格により保証されているわけではないことから、相互運用性を確認し、必要に応じて標準規格にガイダンスを与えることが考えられる。

いま一つの課題は、GNSS におけるセキュリティ対策技術の開発である。GNSS については主に無線信号を使用することによる脆弱性が指摘されており、認証機能を付与することで対策することが検討されている。また、GNSS に対する影響が大きい電離圏の様相を観測できるレーダ等の外部センサを活用することで補強システムの性能を改善できることから、その具体的な方策及び期待できる効果について検討する必要がある。

本研究では、これらの検討対象について、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、ICAO における検討状況を常に把握し、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. 参考文献

3.1 次世代 GBAS 規格の方式検証

次世代 GBAS について、前年度に引き続き ICAO NSP (航法システムパネル) アドホック会合における対応を継続した。この過程で欧米と共同提案した電離圏モニタ方式案について、飛行実験データを用いてプラズマバブルに対する応答を検証した。図1はその検討例であり、方式によってはプラズマバブルの影響を大きく受ける様子を確認した。

3.2 次世代 GBAS/SBAS 飛行実験

令和4年10月に石垣島にて飛行実験を実施し、昼間フライト4回に加えて、プラズマバブルが発生しやすい夜間フライト6回の実験データを収集した。実験後の分析により、プラズマバブルを含むデータを取得できたことを確認した。令和5年3月に予定していた飛行実験は、実験機の整備のため、次年度早々に時期を変更することになった。

3.3 SBAS 相互運用性検証実験

SBAS プロバイダ各国による IWG (相互運用性) 会合において、新しく規格化された L5 SBAS の相互運用性の確保のためにサンプルの L5 SBAS メッセージを交換することを提案した。この提案に基づき、現行 MSAS の地上監

視局配置を想定して実データに基づく L5 SBAS メッセージのサンプルを生成し、欧米研究機関との交換を進めている。認証メッセージについて L1 SBAS でも規格化される見通しとなったことから、プロトタイプを使用して生成したメッセージを欧州の規格化機関である EUROCAE WG-62 会合に提供した。

3.4 セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

GNSS のセキュリティ対策として規格化が進められている SBAS 認証機能について、ICAO NSP におけるドラフト案に基づく認証メッセージを生成するプロトタイプの開発を完了し、動作を確認した。図 2 は本プロトタイプを使用して認証メッセージによる認証タイミングの遅れ時間を測定した例で、正常時は 7~11 秒で設計通りとなるが、まれなアラートシーケンスの際にはこれより遅れることを確認した。

本プロトタイプにより L1 SBAS 向けの認証メッセージを実際に生成し、サンプルとして欧米研究機関に提供した。並行して、本プロトタイプのリアルタイム実験系との接続作業を行っている。

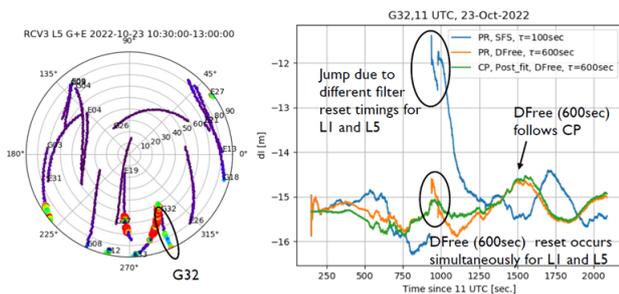


図 1 プラズマバブルに対する電離圏モニタの挙動例

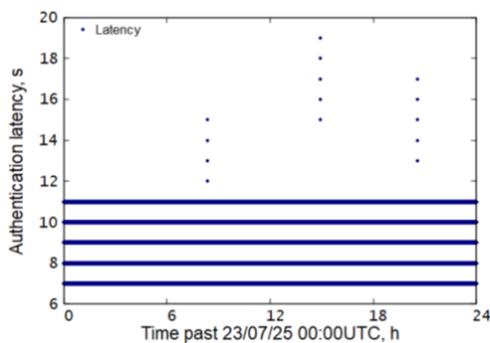


図 2 認証メッセージによる認証タイミングの遅れ時間

4. まとめ

本研究では、新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムについて導入における課題に対応することを目指しており、令和 4 年度は次世代 GBAS の方式検証を行

うとともに、GBAS/SBAS 飛行実験を継続し、またセキュリティ対策技術のプロトタイプを開発した。次年度は次世代 GBAS の方式検証及び飛行実験を継続し、セキュリティ対策技術の耐妨害性検証実験を行うとともに、次世代システムにおける外部センサ情報の活用方策を検討するなど、さらに研究活動の国際的な展開を充実させたい。

掲載文献

- [1] 齋藤 享, 吉原 貴之, “Status of GBAS related studies of ENRI,” LATO/37, May 2022.
- [2] 高橋 透, 齋藤 享, 北村 光教, 坂井 丈泰, “ノルウェー・オスロにおける QZSS から放送された DFMC SBAS の受信実験,” 電子航法研究所研究発表会, June 2022.
- [3] 野宮 真人, 齋藤 享, 吉原 貴之, 齋藤 真二, “GBAS Status Update in Japan,” ICAO NSP JWGs/9, June 2022.
- [4] 齋藤 享, 吉原 貴之, “DFMC GBAS Testbed and Flight Trials,” ICAO NSP JWGs/9, June 2022.
- [5] 齋藤 享, 吉原 貴之, “GBAS Research Status of ENRI,” IGWG/21, Sept. 2022.
- [6] 齋藤 享, 吉原 貴之, “Validation of iono monitor for DFMC GBAS,” IGWG/21, Sept. 2022.
- [7] 坂井 丈泰, “GPS 運用状況データベースの構築,” 第 4 回測位技術振興会研究発表講演会, Sept. 2022.
- [8] Acharaporn Bumrungrit, Pornchai Supnithi, 齋藤 享, Lin Min Min Myint (Sept. 2022), “A study of equatorial plasma bubble structure using VHF radar and GNSS scintillations over the low latitude regions,” GPS Solutions, Vol.26.
- [9] 坂井 丈泰, “安全・安心な測位のために: 位置情報のインテグリティ,” 準天頂衛星が拓く安全・安心社会の実現に向けた高精度測位技術及び応用に関するシンポジウム, Sept. 2022.
- [10] 齋藤 享, 吉原 貴之, “Research and development activities related to GBAS in Japan,” ICAO APANPIRG CNS-SG/26, Sept. 2022.
- [11] 齋藤 享, 吉原 貴之, Tim Murphy, Matt Harris, Glauca Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, (Sept. 2022), “Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions,” Proc. ION GNSS+, pp.3150-3159.
- [12] Tim Murphy, Matt Harris, Glauca Balvedi, Gary

- McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, 齋藤 享 (Sept. 2022), "Availability of DFMC GBAS with Iono Gradient Monitoring," Proc. ION GNSS+, pp.12-33.
- [13] 坂井 丈泰 (Oct. 2022), "衛星航法システムの信頼性," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J105-B, No.10, pp.1-10.
- [14] 坂井 丈泰 (Oct. 2022), "GPSブロックIII衛星のアンテナ位相中心オフセットと食期間における姿勢制御," 日本航空宇宙学会論文集, Vol.70, No.5, pp.146-151.
- [15] 齋藤 享, 吉原 貴之, Tim Murphy, Matt Harris, Glaucia Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, "Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions," RTCA SC-159 WG4, Oct. 2022.
- [16] 齋藤 享, 吉原 貴之, "DFMC GBAS testbed at Ishigaki, Japan," International Workshop on ATM and CNS (IWAC), Oct. 2022.
- [17] 坂井 丈泰, 北村 光教, 高橋 透, "Proposal to Exchange DFMC SBAS Messages for Interoperability," SBAS IWG/37, Nov. 2022.
- [18] 坂井 丈泰, 北村 光教, 毛塚 敦, "L5 SBASによる信号認証メッセージ," 第66回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- [19] 高橋 透, 北村 光教, 小田 浩幸, 坂井 丈泰, "DFMC SBASメッセージの相互検証," 第66回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- [20] 北村 光教, 坂井 丈泰, "MSAS性能評価～日本周辺SBASとの性能比較～," 第66回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- [21] 吉原 貴之, 北村 光教, 坂井 丈泰, 小田 浩幸, 高橋 透, "GNSS受信信号のコード関連結果を用いたマルチパス誤差評価と測位解の信頼性判定への利用," 第66回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2022.
- [22] 松田 国幸, 坂井 丈泰, "MSAS L1 Authentication Possibility," ICAO NSP GSWG/4, Nov. 2022.
- [23] 齋藤 享, 吉原 貴之, "DFMC GBAS flight data collection under ionospheric disturbed conditions," ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- [24] 野宮 真人, 齋藤 享, 吉原 貴之, 齋藤 真二, "GBAS Status Update in Japan," ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- [25] 齋藤 享, "Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions," ICAO NSP/7, Jan. 2023.
- [26] 根橋 壮, 北村 光教, 吉原 貴之, 星谷 直哉, 長坂 雄一, "列車位置検知へのGNSS測位技術適用に関する基礎研究," 第29回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL), Dec. 2022.
- [27] 坂井 丈泰 (Dec. 2022), "GNSSにおけるRAIM補強の理論とアルゴリズム," 電子航法研究所報告, No.135, pp.1-14.
- [28] 坂井 丈泰, "GPS (全地球測位システム) の脆弱性," 東京湾海難防止協会会報誌, Vol.6, Jan. 2023.
- [29] 坂井 丈泰, "Sample L1 SBAS Authentication Message by MIVEX-AUTH," EUROCAE WG-62, Feb. 2023.
- [30] 高橋 透, "ノルウェー・オスロにおけるQZSSから放送された DFMC SBASの受信実験," 航空無線, No.115, March. 2023.
- [31] 齋藤 享, "Preliminary results of DFMC GBAS flight data collection campaign in October 2022 under ionospheric disturbances," RTCA SC-159 WG-4, March 2023.

GBAS を活用した着陸運用の高度化に関する技術開発【重点研究】

担当領域 航法システム領域

担当者 ○吉原 貴之, 齊藤 真二, 森 亮太 (航空交通管理領域),
藤井 直樹, 青山 久枝 (航空交通管理領域)

研究期間 令和4年度～令和8年度

1. はじめに

GBAS (地上型補強システム) は, GNSS 衛星の送信する L1 帯信号を用いた狭域ディファレンシャル測位方式に基づいた航空機の精密進入および着陸をサポートする航法システムである。決心高 60m まで精密進入をサポート可能なカテゴリ I (CAT-I) GBAS 地上装置が, 2012 年 2 月にドイツのブレーメン空港に導入されて以降, 米国, オーストラリア, 欧州等のいくつかの空港に導入されてきた。その間, 概ね ILS 運航をトレースした進入経路が設定された運用が行われ, 10 年程度経過している。今後は, 従来の ILS では困難であった運航を GBAS による着陸システム (GLS) の利点を活かして実現することにより, 航空機の飛行特性や環境への配慮を踏まえたより効率的な精密進入および着陸が実現されるものと考えられる。すなわち, GLS によって個別の航空機の特性や進入フェーズに対応して進入角を選択可能な自由度の高い進入経路の提供や, 同一滑走路に 2 つ目の着地点となる第 2 ミングポイント (SRAP) を設定した着陸など, より環境に優しい効率的な進入着陸の実現が期待される。米国においては, 近年, サンフランシスコ国際空港で近接平行滑走路の安全かつ効率的な運用に向けた新たな取り組みがなされており, また, 欧州では, SRAP を設定した新しい運航等について SESAR 関連プログラム (SESAR 2020 PJ.02) で実現可能性の検証実験が行われている。

2. 研究の概要

本研究では, GBAS の利点を活かして進入経路の選択から滑走路離脱までを一連の進入着陸として扱い, 自由度の高い経路設定と個別の航空機の特性や進入フェーズに合わせてユーザが進入経路を選択することにより, 環境に配慮した効率的な進入着陸を実現するための技術開発を行う。また, それら運用概念の構築と運用条件 (経路設計, 管制方式, 気象条件), 安全性評価項目を明確にすることを目的として実施する。具体的には, 以下の 4 つの視点に着目した研究項目を実施する。

① GBAS による複数進入経路の設定

図 1 に示す高角度進入 (IGS) や SRAP を設定した

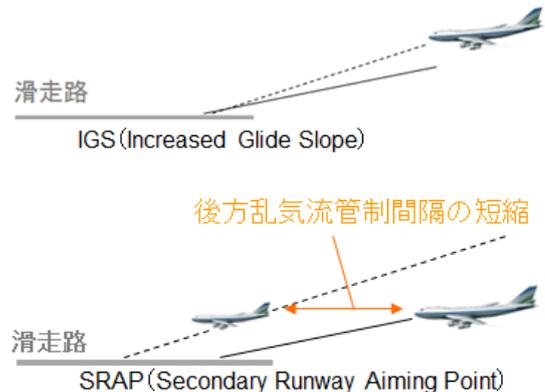


図 1. 高角度進入 (IGS), 第 2 エイミングポイント (SRAP) の概念図

進入経路を設定することで, 騒音軽減や後方乱気流管制間隔の短縮等の効果を得るための技術的検討を行う。

② 経路設計における安全性評価手法

GNSS 航法システムを利用した運航性能の評価を行い, 衝突危険度モデル (CRM), 障害物評価表面 (OAS) の改良のための技術的検討を行う。

③ 進入着陸におけるパイロット支援ツール開発

空港面誘導の初期段階である着陸後の滑走路離脱支援に着目した技術検討を行い, テストベット装置開発と模擬実験による実現可能性の検証を行う。

④ 低視程時の滑走路運用効率化

CAT-III ILS 運用で必要となる滑走路上および周囲に ILS 電波を保護するための制限区域に起因する処理機数の低下に対し, そのような制限区域が不要な CAT-III GBAS 運用による処理機数の確保を目的とした技術的検討を行う。

3. 実施内容と成果

3.1 GBAS による複数進入経路の設定

IGP, SRAP のそれぞれについて次年度 (令和 5 年度) 予定している運用概念, 安全性評価方針の決定で検討すべき便益, 技術的課題を明確にした。具体的には, 国内空港で潜在的な便益が期待される事項について検討を行い,

IGP, SRAP の両者に共通な対象として騒音低減効果に着目した評価を行う方針とした。また, SRAP 運用については, 通常および SRAP への進入経路を同時に設定しない非同時設定の便益に前述の騒音低減効果に加えて, 滑走路と駐機場の配置等から地上走行距離を減らす効果にも着目した評価を行うこととして, 計算機上で SRAP (同時/非同時) を設定した際の空港面交通流を模擬するファストタイムシミュレータの改修を行った。

3.2 経路設計における安全性評価手法

CRM 及び OAS 改良に必要な進入経路からの逸脱量分布を推定するため, 令和 3 年度終了課題「PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究 (平成 30 年度~令和 3 年度)」において検討し, 良好な結果が得られた ADS-B データを用いた進入経路からの逸脱量算出方法について, 定式化, 解析事例を増やした検証, 並びに既存手法との比較により提案手法の有効性を示した。具体的には, 東京国際空港への着陸機 10 フライトについて ADS-B データの位置情報を進入経路に対する逸脱量に変換するとともに, GLS データと比較して精度や妥当性等を検証した。ADS-B データには GPS 単独測位誤差とともに, 位置情報を表現するための分解能が低いことに起因する誤差が含まれる。一方, GBAS による測位誤差は一般に横方向及び垂直方向に 1m 未満であることが知られている。図 2 は, GLS データ (黒色線), ADS-B 位置データ (○印), 移動平均 (緑色線), 並びにカルマンフィルタによるスムージング処理を適用した提案手法 (赤色線) を示す。GLS データを真値として比較すると, 移動平均による手法よりも提案手法の結果が GLS に近く, 他のフライトも含めた誤差評価により提案手法の逸脱量推定精度が向上したことがわかった。このような GBAS 測位結果を真値とした精度検証を含めて ADS-B データを用いた進入経路からの逸脱量推定手法の有効性を示したことは国際的にみても先進的な成果である。

3.3 進入着陸におけるパイロット支援ツール開発

GBAS を用いた滑走路離脱支援の課題抽出を行い, パイロットに示すべき情報を特定して実験用ハードウェアを選定した。具体的には, 進入着陸後の滑走路離脱に関わるパイロット向け支援ツールについて, GBAS の航法性能を踏まえて必要となる機能性能について検討を行うとともに, 次年度以降に開発する滑走路離脱支援のための実験装置との間の機器間インターフェースの調査を行った。その結果, 航空機の機上装置から抽出すべき実験装置に必要な航法関連データを特定して, 同装置構成品を前倒して調達した。

3.4 低視程時の滑走路運用効率化

低視程時の ILS 運用による処理機数の低下に関して, 成田国際空港での事例検討を行い, CAT-II/III ILS 運用と比較して CAT-II/III GBAS 運用による処理機数の低下を抑制するシナリオを具体化した上で定量的評価を行った。具体的には, 低視程時の滑走路運用に関連した国際標準や国内基準をもとに, ILS 誘導電波保護のために滑走路や誘導路上に設定される制限区域が必要なくなった場合の離着陸機の滑走路占有時間の短縮効果について概算評価した。

4. まとめ

本研究では, GBAS の利点を活かして進入経路の選択から滑走路離脱までを一連の進入着陸として扱い, 自由度の高い経路設定と環境に配慮した効率的な進入着陸の実現を目指している。令和 4 年度は, 4 つの研究項目についてそれぞれ, IGP, SRAP の課題の洗い出し, CRM 及び OAS 改良のための具体的手法の検討, GBAS を用いた滑走路離脱支援に関わる課題抽出, 並びに低視程時の ILS/GBAS 運用の比較を行った。次年度は, IGP, SRAP (非同時設定), 並びに滑走路離脱支援の運用概念の構築等を行う予定である。

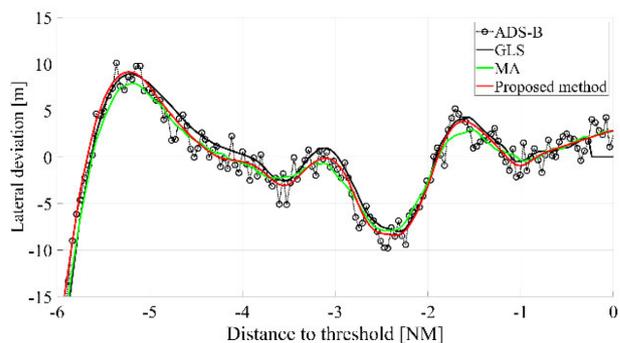


図 2. 進入経路に対する横方向逸脱量の比較

掲載文献

- [1] 吉原 貴之, 齊藤 真二, 福島 莊之介, 森 亮太, “ENRI’s R&D Activities on Advanced GBAS Operations,” International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21”, Sep. 2022.
- [2] 森 亮太, 藤田 雅人, “ADS-B データを用いた着陸航跡の抽出”, 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月.
- [3] 吉原 貴之, 齊藤 真二, 森 亮太, 藤井 直樹, 青山 久枝, “GBAS を活用した柔軟な進入経路の設定と滑走路運用の高度化,” 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月.

地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究【指定研究】

担当領域 航法システム領域
担当者 ○齊藤 真二, 毛塚 敦, 齋藤 享, 吉原 貴之
研究期間 令和元年度～令和4年度

1. はじめに

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

本研究は、GBAS の基準局等の地上機器の設置環境条件の緩和方策を提案することで、滑走路近傍に十分な剰余敷地が存在しない空港における GBAS 整備候補地の拡大を目的として開始した。また、VDB アンテナ設置位置を決定する際に必要な新たな電磁界解析手法について青山学院大学と連携して研究を行う。

2. 研究の目的と実施項目

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

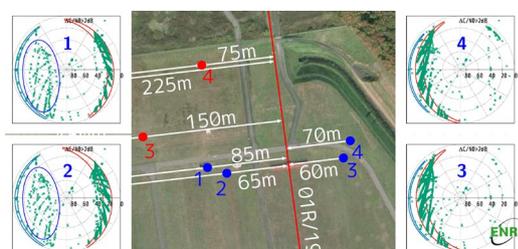


図1：新千歳空港 GBAS の基準局配置と離着陸機による影響（2dB 以上の変動箇所）

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

具体的には、離着陸機による GPS 衛星信号の遮蔽等の影響を軽減する地上処理アルゴリズムの開発、空港環境で取得したデータによる検証、基準局等の GBAS 地上機器の実現可能な設置環境条件の検討、基準局配置に対するアベイラビリティの評価などを実施する計画である。

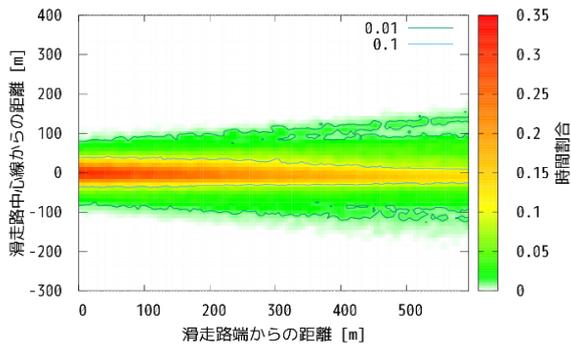
また、VDB アンテナ設置のための電磁界解析手法の開発では、空港面や周辺地形までを含めた大規模な電磁界解析モデルをスーパーコンピュータを使うことなく短時間・省メモリで解析できるようにすることが目的であり、本研究では3つの手法について提案するとともに、その有効性を電波暗室内に製作したスケールモデルによる実験との比較により確認する。

3. 実施概要

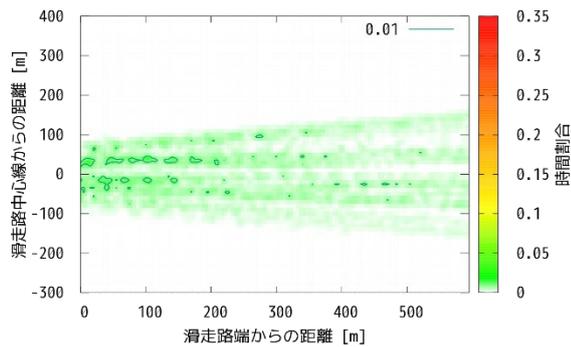
令和4年度は、昨年度作成した GPS 受信機ファイルのエンコーダ・デコーダを用いた改良アルゴリズムを適用したオフライン処理を実施した。また、改良アルゴリズムの適用を想定した GPS 受信点と滑走路との位置関係による GPS 受信状況について計算機シミュレーションを実施し、この結果をもととしたアベイラビリティ推定ツールを作成し、アベイラビリティ推定を実施した。さらに、実データを用いた改良アルゴリズムによるサイクルスリップ補正手法の評価を行った。また、VDB アンテナと滑走路に大きな地形変化が存在する場合に空港面まで含めて効率良く電磁界解析するためのハイブリッド方法を提案し、その有効性を実験との比較により検証した。

4. 研究成果

改良アルゴリズムによるサイクルスリップの補正の有無による使用可能衛星数の違いを計算機シミュレーションにより求め、その効果を評価した。シミュレーションにおいて、着陸機は3度パスで新千歳空港の19L滑走路に進入するとし、時刻と機種は CARATS オープンデータから2018年5月29日のものを利用した。GPS 衛星の位置は同日の軌道情報から算出し、衛星-受信点間にある着陸機が第1フレネルゾーンを遮るとサイクルスリップが発生するとし、平滑化が安定するまでの200秒間は当該衛星を使用不可とした。また、サイクルスリップ補正は、



(a) サイクルスリップ補正無



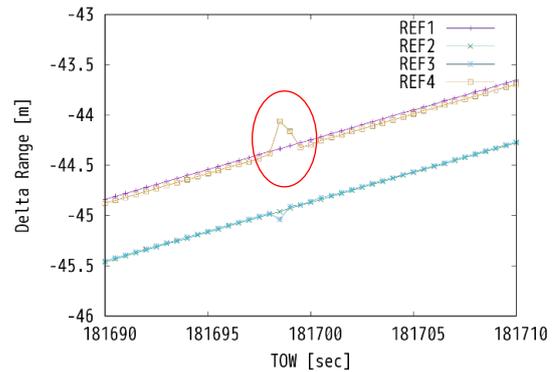
(b) サイクルスリップ補正有

図 2：衛星数が 6 衛星以下となる時間割合

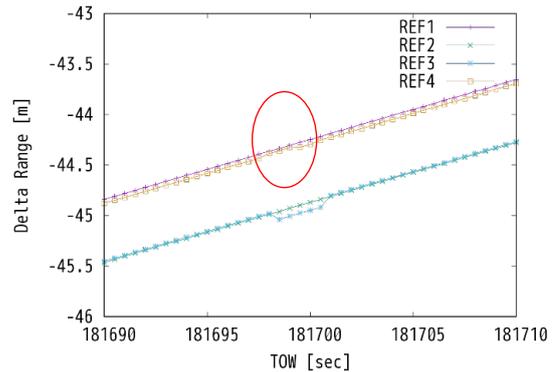
1 エポックのスリップの場合のみ補正可能とし、連続する場合は補正できないものとした。図 2 に使用可能衛星数が 6 衛星以下となる割合について、滑走路と受信点の位置関係により示す。サイクルスリップ補正を行わない現状の処理では、99%以上の時間で測位利用衛星数が 6 機以下にならないためには滑走路中心線から 100m 以上の離隔が必要であるが、サイクルスリップ補正を適用することで、滑走路末端付近の中心線から 50m 以下の領域を除き、99%以上の時間で 6 機以下にはならないことが示された。

このシミュレーションを基としたアベイラビリティ推定ツールを作成し、アベイラビリティ推定を実施した結果、補正の有無により、新千歳空港 GBAS の基準局配置において、数%程度の改善が見込まれることを示した。

実データによる評価を行うため、新千歳空港 GBAS の基準局 GPS データに改良アルゴリズムによるサイクルスリップ補正を適用し、GPS データの再生成を行った。図 3 に着陸機通過時のデルタレンジの変化を示す。赤丸で示した箇所のサイクルスリップが補正された。つぎに、再生成データを用いて GBAS 補強情報生成およびユーザ(機上)側の処理を行った。図 4 にユーザ側で測位に使用した衛星数を示す。サイクルスリップ補正により擬似距離補正值が生成される衛星数が増加し、ユーザ側での使用可能性数が増加することが確認された。



(a) サイクルスリップの発生例



(b) サイクルスリップの補正例

図 3：着陸機通過時におけるデルタレンジの変化の例

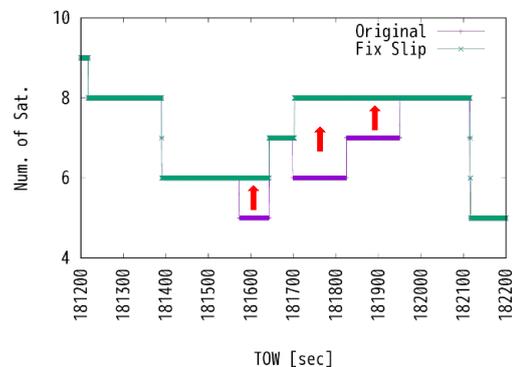


図 4：測位使用可能衛星数の増加の例

VDB アンテナ設置のための電磁界解析手法に関しては、図 5 のモデルにおいて管制塔などの建物にはレイトレース法を適用し、地形による作用は 2 次元の FDTD 法を適

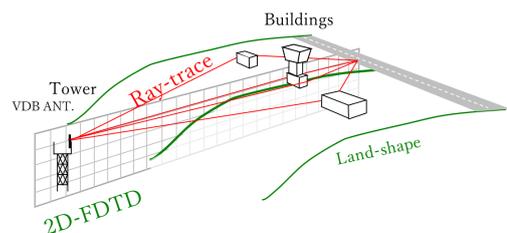


図 5：VDB アンテナと滑走路間に大きな地形変化が存在する大規模電磁界解析モデル

用し,双方の結果をハイブリッドする手法を提案するとともにその有効性を実験により検証した。なお,本手法を含め,VDB アンテナ設置に関して,学術論文を3編出版した[8][9][20]。

5. おわりに

基準局の設置環境条件について,着陸機によるGPS信号瞬断を計算機シミュレーションにより可能とし,基準局候補地でのアベイラビリティ推定値の算出を実施できるようになった。

基準局設置環境の緩和方策については,サイクルスリッパを修正するアルゴリズムの地上処理への適用により,使用可能衛星数が増加することを確認し,これにより,滑走路からの離隔距離を短縮できることを明らかとした。本研究にて開発したVDBアンテナ設置のための3つの電磁界解析手法は,今後GBASが導入される空港の建物や周辺地形に応じて使い分けながら活用することが期待される。

掲載文献

- [1] 毛塚 敦, 齊藤 真二, 須賀 良介, 平井 翔太郎, 黒田 哲史, 橋本 修, “GBAS VDB の覆域評価手法に関する検討,”電子航法研究所研究発表会, 2019年6月
- [2] 毛塚 敦, 齊藤 真二, “GBAS VDB の覆域劣化とシステムへの影響評価,”信学技報 EST 2019-14, 2019年7月
- [3] 黒田 哲史, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “アンテナ後方の建物を考慮したVHF帯における空港面電磁界解析手法の有効性の測定評価,”信学ソ大, 2019年9月
- [4] 毛塚 敦, 齊藤 真二, 須賀 良介, 平井 翔太郎, 黒田 哲史, 橋本 修, “GBAS VDB の覆域評価手法に関する検討,”JRANSA 航空無線第101号, 2019年9月
- [5] 齊藤 真二, 福島 荘之介, “離着陸航空機によるGBAS基準局への影響,”日本航空宇宙学会 第57回飛行機シンポジウム講演集 3D09, JSASS-2019-5184, 2019年10月
- [6] 齊藤 真二, “着陸機通過に伴うGBAS基準局におけるGPS信号瞬断による測位への影響,”信学技報 SANE 2019-86, 2020年1月
- [7] 黒田 哲史, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “Proposal on Hybrid Propagation Analysis of Aperture Field Integration Method and Ray Tracing Method Suitable for Airport Surface in VHF Band,”Proceedings of EuCAP2020, 2020年3月
- [8] 毛塚 敦, 齊藤 真二, “GBAS VDB の覆域劣化とシステムへの影響評価,”信学論C, Vol. J103-C, No.05, 2020年5月
- [9] 須賀 良介, 黒田 哲史, 毛塚 敦, “Validation Measurement of Hybrid Propagation Analysis Suitable for Airport Surface in VHF Band and Its Application to Realistic Situations,”信学論C, Vol.E103-C, No.11, 2020年11月
- [10] 橋本 真輝, 渡邊 恵, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空港面電磁界解析手法の提案,”信学総大, 2021年3月
- [11] 齊藤 真二, “基準局での信号受信とGBASへの着陸機の影響,”電子航法研究所研究発表会, 2021年6月
- [12] 渡邊 恵, 橋本 真輝, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空港面電磁界解析手法のFull-wave解析との比較,”信学技報 EST2021-18, pp.54-58, 2021年7月
- [13] 渡邊 恵, 橋本 真輝, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空港面電磁界解析手法の適用条件に関する一検討,”信学ソ大 C-115-14, 2021年9月
- [14] 齊藤 真二, “GBAS基準局でのGPS信号受信とGBASへの着陸機の影響,”航空無線110号, 2021年12月
- [15] 橋本 真輝, 須賀 良介, 毛塚 敦, 橋本 修, “開口面法とレイトレース法のハイブリッド手法における空隙の条件に関する一検討,”信学総大, 2022年3月
- [16] 渡邊 恵, 毛塚 敦, 須賀 良介, “2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空港面電磁界解析手法の測定による有効性評価,”信学ソ大, 2022年9月
- [17] 齊藤 真二, “可搬型GBASの開発と飛行実験,”日本航海学会誌 NAVIGATION, 2022年10月
- [18] 毛塚 敦, 須賀 良介, 渡邊 恵, 橋本 修, “Hybrid Electromagnetic Analysis Methods Suitable for Airport Surfaces in the VHF Band,” 2022 International Workshop for ATM/CNS, 2022年10月
- [19] 齊藤 真二, “GBAS基準局におけるGPS信号受信に対する着陸機の影響の低減,”信学総大, 2023年3月
- [20] Ryosuke SUGA, Megumi WATANABE, Atsushi KEZUKA, “Hybrid Electromagnetic Simulation of 2D-FDTD and Ray-trace Methods for Airport Surfaces,” IEICE Transaction C (投稿中)

気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究【指定研究】

担当領域 航法システム領域
担当者 ○吉原 貴之, 瀬之口 敦*, 山田 泉*, 虎谷 大地*,
藤井 直樹, 青山 久枝* (*航空交通管理領域)
研究期間 令和元年度～令和4年度

1. はじめに

先行機の生成した後方乱気流が、後続機の安全運航に影響を与えないようにするため、管制方式基準では航空機を最大離陸重量によって区分し、先行機と後続機の航空機区分の組合せに応じた最低離隔間隔を設定する後方乱気流管制方式を定めている。空港離発着時におけるこのような最低離隔間隔の設定は、滑走路の時間あたりの処理機数と密接な関係にある。そのため、高度な後方乱気流管制方式の運用が期待され、その1つに時間ベース運用(TBS; Time-based Separation)がある。これは航空機の最低離隔間隔を時間で保つようにする運用であり、英国ヒースロー空港で既に導入されている。通常、向かい風が強い場合において距離で最低離隔間隔を保つようにすると、単位時間あたりの処理機数(離着陸数)が減少するが、先行機の後方乱気流の消滅時間を考慮した安全な最低離隔間隔を時間で保つようにすることで、この減少を軽減することが期待される。また、航空機区分を現在の4区分、7区分(RECAT)よりも詳細化したスタティック・ペアワイズ(S-PWS)、さらに時々刻々と変化する周囲の気象条件に応じて最低離隔間隔を設定するダイナミック・ペアワイズ(D-PWS)と呼ばれる管制方式が期待されている。そのため、向かい風等の気象状況の把握に加え、管制間隔の自動指示情報の特定や運用を中断した場合の対処手法のガイダンスの提示手法等も重要な検討事項となる。これら新しい後方乱気流管制方式の実現のためには、導入空港の就航機種や割合、空港面レイアウト及びターミナル空域との接続や交通流の特徴を踏まえた運用の最適化と導入効果の評価、安全性評価が必要とされている。

2. 研究の概要

本研究では、新たな後方乱気流管制方式としてTBS運用やS-PWS等を東京国際空港や成田国際空港といった我が国の混雑空港に導入する際の課題や要件を明確にし、導入判断に必要な周辺空域を含めた安全性評価や導入効果の評価方式の確立、及び航空管制官への管制間隔の表示など管制支援システム要件の明確化を目的としている。令和4年度は最終年度であり、前年度から継続している

TBS運用の評価を含めて、新たな後方乱気流管制方式について、導入効果を評価するシミュレーション、管制間隔指示の自動化と新たな運用における安全性設計評価、及び導入指針の提案と取りまとめを行った。

3. 実施内容と成果

主にTBSの国内混雑空港への導入検討に必要な便益評価、航空管制官支援システムの要件と軌道予測に関する検討、及び安全性評価方式の検討を行ったので順に述べる。

3.1 便益評価

TBS導入効果の評価は、航空機区分を7区分に詳細化した後方乱気流管制方式(RECAT)が導入された成田国際空港を対象として計算機上で交通流を模擬して行った。具体的には、南風運用と北風運用について強風日、弱風日をそれぞれ選定して実際の航跡データに基づいてシナリオを作成した。これらの日について、空港面とターミナル空域の交通流シミュレーションを各計算機ツールで行い、それら結果を統合した。空港面に関しては、GRACEと呼ばれるソフトウェアでレーダー航跡に基づく現実模擬、RECAT模擬、TBS模擬の3つを実施した。ターミナル空域での交通流模擬では、レーダー航跡による入域時刻に対して、実運用を考慮した最短経路と速度プロファイルから滑走路進入端までの最短飛行時間を算出して、両者から最早滑走路進入端通過時刻を求め、GRACEが先行機との間隔を短縮した時刻に間に合う場合のみ早着可能な便として扱った。導入効果としては、各到着便の現実模擬シナリオの到着時間に対して、RECAT模擬、TBS模擬で早着した時間を積算した飛行短縮時間の総和を計算して、TBS模擬の値がRECAT模擬と比較してどの程度短縮されたかで評価した。事例解析の結果としては20~40分程度の効果が確認できた。

3.2 航空管制官支援システム要件と軌道予測の検討

航空管制官に間隔付けの目安を示す支援ツールに関しては、前年度までに実施した軌道予測に基づく支援情報として表示する計算アルゴリズムの開発と、それをを用いて実際のレーダー航跡を適用した評価結果を元に検討を進め、TBS支援ツールに要求される機能としては各航空機の状

態取得，予測軌道計算，支援情報計算，支援情報表示の4つの機能を特定して実装にかかる課題を抽出した。

3.3 安全性評価方式の検討

TBSの安全性評価については，向かい風が強い時に適用するTBSによる後方乱気流のリスクが弱風時における距離ベース運用(DBS; Distance-Based Separation)と同等以下であることが担保されることを示す必要がある。そのため，前年度までに実施してきた後方乱気流が進入経路上に残存することによる遭遇リスク評価とともに，新たに向かい風条件下で航空機間隔が無風時の時間間隔分布から逸脱することに起因する後方乱気流との遭遇リスク評価の2つを行って取りまとめることとした。前者に関しては，東京国際空港におけるLIDARによる後方乱気流観測データを用いて東京国際空港に就航する代表的な5機種で無次元化した経過時間による相対循環強度の時間変化を相互に比較検証し，これまでの観測においては欧州で観測・蓄積されている結果と比較して大きな相違はないことを確認した。後者に関しては，東京国際空港でのADS-B受信データから進入経路上のセグメント毎に強風時，弱風時のそれぞれについて時間間隔の頻度分布を調査し，強風時のTBS運用に必要な管制間隔のバッファ量を推定した。

4. まとめと今後の課題

TBSの便益評価に関しては，空港面及びターミナル空域を接続した計算機による交通流模擬からRECATと比較した飛行短縮時間の総和で20~40分程度の効果が確認できた。今後は，最早滑走路進入端通過時刻推定の精度向上を図り，強風日の発生確率を考慮して年間あたりの飛行短縮時間の総和を見積もることが望まれる。また，S-PWS等のさらなる航空機区分の詳細化の検討については必ずしも十分には実施できなかったため，EUROCONTROLの14詳細分類を参照してRECAT模擬，TBS模擬と比較した導入効果の見積り等，を関連する研究課題で今後実施する予定である。航空管制官支援システムの要件については，前年度までに実施した内容を取りまとめて4つの機能を特定した。実装への課題としては，到着間隔付け支援ツールには軌道予測が不可欠であるため，その予測精度向上や，空港における高精度な風況の取得が挙げられる。安全性評価については，LIDAR観測による後方乱気流の残存リスク評価と進入セグメント毎の飛行時間について解析を実施した。今後の課題として，前者については今回解析した5機種以外の航空機のデータ蓄積，後者については分布モデルから得られるバッファ量をTBSで設定する最低離隔間隔にフィードバックすること等が挙げられる。

掲載文献

- [1] 吉原 貴之，藤井 直樹，瀬之口 敦，“航空管制における新たな後方乱気流区分の導入に係る動向，”日本信頼性学会誌，vol.41，no.3，pp.164-169，2019年5月。
- [2] 吉原 貴之，藤井 直樹，瀬之口敦，山田泉，“後方乱気流管制間隔の詳細化と安全性及び導入効果の評価，”第19回電子航法研究所研究発表会講演概要，pp.15-18，2019年6月。
- [3] 虎谷 大地，吉原 貴之，藤井 直樹，瀬之口 敦，山田 泉，“ポイントマージシステムシミュレータを用いた東京国際空港へのRECAT導入効果に関する一考察，”第57回飛行機シンポジウム講演集，2G04，2019年10月。
- [4] 吉原 貴之，瀬之口 敦，毛塚 敦，齋藤 享，古賀 禎，古本淳一，“航空機トランスポンダの受信信号から得られる高頻度水平風の特性評価と気象観測データとしての活用，”第13回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム，pp.4-6，2019年9月。
- [5] 藤井 直樹，吉原 貴之，瀬之口 敦，“航空機の進入時の後方乱気流に対するLIDAR観測データの解析について，”信学技報，vol.119，no.405，SANE2019-95，pp.61-66，2020年1月。
- [6] 吉原 貴之，瀬之口 敦，毛塚 敦，齋藤 享，古賀 禎，“複数の航空機監視装置で受信される高頻度気象情報のMUレーダー観測との比較検証”，第14回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム，pp.89-91，2020年9月。
- [7] D. Toratani, T. Yoshihara, N. Fujii, A. Senoguchi, and I. Yamada, “Investigation of Support Algorithm for Air Traffic Controllers' Arrival Separation Management,” 16th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, pp.146-152, July 2021.
- [8] 吉原 貴之，瀬之口 敦，毛塚 敦，齋藤 享，古賀 禎，“航空機監視装置から得られる高頻度気象情報の誤差評価と補正手法の開発”，第15回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム，pp.4-7，2021年9月。
- [9] 藤井 直樹，吉原 貴之，瀬之口 敦，“航空機の進入時の後方乱気流に対するLIDAR観測結果について，”2022年電子情報通信学会総合大会，B-2-6，2022年3月。
- [10] 藤井 直樹，吉原 貴之，瀬之口 敦，“羽田空港における航空機の進入時の後方乱気流に対するLIDAR観測結果について，”信学技報，vol.122，no.346，SANE2022-96，pp.40-45，2023年1月。

担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享, 吉原 貴之, 高橋 透
研究期間	令和4年度～令和7年度

1. はじめに

我が国は地磁気的な低緯度に位置し、電離圏を含む宇宙天気諸現象は GNSS の性能を制限するものとなっており、宇宙天気が運航に与える影響分析能力の向上および宇宙天気情報を用いた地上装置の技術開発が望まれている。電離圏を含む宇宙天気諸現象は、性能劣化の要因の一つと位置付けられ、ICAO においても宇宙天気情報の配信が 2018 年 11 月より開始されたところである。

GBAS については、CARATS において導入が意思決定され、羽田空港においてカテゴリ I 運航トライアルが行われている。高カテゴリ GBAS については、検証過程で大幅な変更を経て 2017 年 11 月に GAST-D を含む ICAO SARPs が発効したところである。さらに、磁気低緯度地域における GAST-D の性能向上に向けた基準策定・技術開発が ICAO において継続されている。

GAST-D の導入のためには、GAST-D 実験装置の開発により獲得した技術に加え、その後発効までに変更された SARPs に対応するため、GAST-D 特有の設置技術、性能評価手法検討が必要である。当所では 2020 年度から既に研究を開始し、基礎技術開発を行っているところである。

航空局においては、性能評価センターにおいて GNSS 性能評価が継続的に行われており、本研究は性能評価センターと連携して実施する。

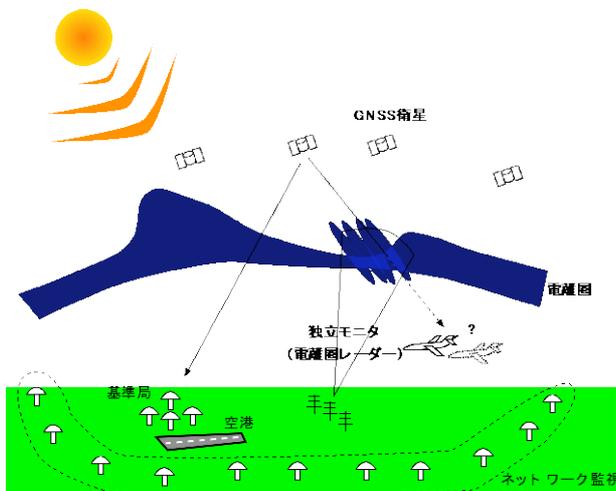


図 1. 宇宙天気現象の影響と宇宙天気情報の活用。

2. 研究の概要

本研究では、宇宙天気情報を活用した GNSS 性能劣化時の要因分析技術、宇宙天気情報を活用した性能向上技術及び評価技術を開発するとともに、高カテゴリ GBAS の特性と我が国の環境を考慮した総合性能評価を行い、令和 4 年度以降に行われる我が国における高カテゴリ GBAS 導入意思決定に対し寄与することを目的とする。

GNSS 性能向上、評価技術向上においては、MSAS、GBAS 等 GNSS 航法システムの性能評価技術および性能向上技術を宇宙天気情報等を活用して行う。また、電離圏擾乱と航空機航法性能の関係の評価、宇宙天気アドバイザリ発出時の運航への影響評価を行う。

高カテゴリ GBAS の総合性能評価においては、GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理・改良を行い、これを考慮した GAST-D 性能向上技術の開発と設置の技術課題の明確化を行う。

開発した技術および知見は、同様の電離圏環境を共有するアジア太平洋地域において GAST-D 導入のための知見を共有し、日本の技術のアジア太平洋地域への展開につなげていく。

3. 研究成果

GNSS 性能向上、評価技術向上においては、性能評価センターと、GNSS 障害時の原因追求のためのデータ共有体制及び MSAS 性能向上のためのデータ共有について調整を進め、連絡体制、データ共有方法を確立した。GNSS 関連データとして MSAS、ADS-B のサンプルデータを取得し、解析ソフトウェアの開発を行った。また、日本の GBAS 電離圏脅威モデルの維持管理のため、電離圏勾配データ収集・解析のために必要な技術を移転するためのソフトウェア提供と技術研修を実施した。

航空航法性能向上における電離圏・宇宙天気情報の活用については、VHF レーダーを用いたプラズマバブルの監視手法の GBAS への応用について検討を行っている。

高カテゴリ GBAS の総合性能評価においては、GAST-D 性能評価ソフトウェアの並列計算機への移植を進めた。

研究成果の社会還元として、成果の国際標準への反映を積極的に行っている。ICAO 航法システムパネル(NSP)に

において進められてきた GNSS Manual (ICAO Doc9849)の改訂において、ICAO 宇宙天気アドバイザーに関するガイダンス、電離圏・対流圏の影響に関する情報について執筆を担当した。GNSS Manual 改訂版は NSP で承認され、ICAO 内の手続きを経て近い将来出版される予定である。また、GBAS における対流圏パラメータの決定方法について、これまでに流通している情報に混乱があることを見出し、理論的に整理して ICAO Annex 10 におけるガイダンス文書 (Attachment D)として提案した [1]。これについても NSP により承認され、次回 Amendment に盛り込まれることとなった。アジア太平洋(APAC)地域においても、ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force (ITF)を共同議長として開催運営し、APAC 地域における GBAS 及び SBAS 導入に必要なガイダンス文書の作成などを進めている。

これらに加え、電離圏・宇宙天気諸現象とその GNSS に対する影響を理解するための基礎研究を行っている。特筆すべきものとしては、電離圏リアルタイム監視システムを活用し、2022 年 1 月 15 日にトンガで発生した巨大火山噴火に伴い GNSS に影響を与える電離圏擾乱を世界に先駆けて検出し、その特性をいち早く報告することに成功したものが挙げられる [2]。

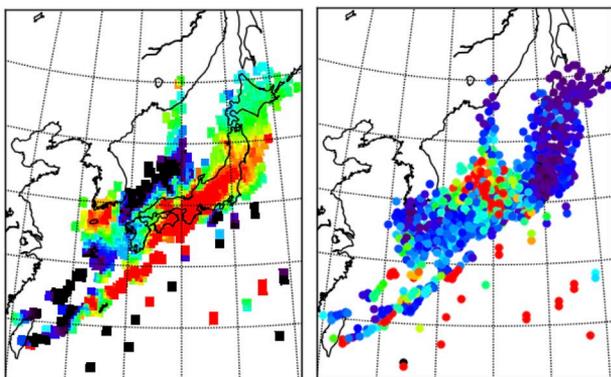


図 2. 2022 年 1 月 15 日に観測された伝播性電離圏擾乱 (左)と電離圏不規則構造(右)の分布 [2]。

その他、ベトナム、タイの研究者との共同研究を通し、プラズマバブルの発生の元となる日没後の電離圏高度上昇の特性 [3]、日没後の電離圏高度上昇とも関連する磁気赤道ジェット電流の局所的な強さを表す手法の開発 [4]、SBAS の電離圏監視局の範囲外において電離圏監視局を追加することにより SBAS 性能を向上させる手法の開発 [5]、通常時の電離圏空間変動の主たるものである赤道異常帯の変動に準 2 年の周期性があり、その特性を明らかにしたもの [6]など、地球物理学と GNSS 工学の両面で評価の高い成果が得られている。

4. まとめ

令和 4 年度は、本研究の初年度として、性能評価センターとの連携を構築し、GBAS 電離圏脅威モデル維持管理技術の移転を進めた。宇宙天気現象が GNSS に与える影響に関する基礎研究を進めるとともに、宇宙天気情報を活用した GNSS 性能向上技術の検討を開始した。研究成果の社会還元のため、国際標準化を精力的に進め、ICAO Annex 10, GNSS Manual などに成果を反映させることができた。

令和 5 年度は、性能評価センターと協力し GNSS 障害時の原因追求、宇宙天気情報を利用した MSAS 性能向上技術開発を進めるとともに、GBAS 電離圏脅威モデル維持管理技術の移転を進める。GAST-D 性能評価ソフトウェアについては並列計算機上での実行を進める。国際標準化活動についても引き続き精力的に行い、ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force を主導して GBAS/SBAS 導入のためのガイダンス文書の作成を進める。

掲載文献

- [1] S. Saito, T. Yoshihara, G. J. H. Martinez, L. Lavik, M. Topland, Validation and Proposals of the Guidance on the Tropospheric Parameters for GBAS, WP25, ICAO NSP JWG/9, Montreal, June 2022.
- [2] S. Saito, Ionospheric disturbances observed over Japan following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022, Earth Planets and Space, 74:57, 2022.
- [3] H. P. Thi Thu, C. A. Mazaudier, M. Le Huy, S. Saito, K. Hozumi, D. Nguyen Thanh, N. Luong Thi, Nighttime morphology of vertical plasma drifts over Vietnam during different seasons and phases of sunspot cycles, Advances in Space Research, 70, 411-466, 2022.
- [4] L. M. M. Myint, K. Hozumi, S. Saito, P. Supnithi, Analysis of local geomagnetic index under the influence of equatorial electrojet (EEJ) at the equatorial Phuket geomagnetic station in Thailand, Advances in Space Research, 70, 1429-1440, 2022.
- [5] S. Sophan, L. M. M. Myint, S. Saito, P. Supnithi, Performance improvement of the GAGAN satellite-based augmentation system based on local ionospheric delay estimation in Thailand, GPS Solutions, 26:130, 2022.
- [6] D. Nguyen Thanh, M. Le Huy, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, S. Saito, T. Nguyen Chien, T. Le Truong, H. P. Thi Thu, T. Nguyen Ha, M. Nguyen Thi, Q. Le, Ionospheric quasi-biennial oscillation of the TEC amplitude of the equatorial ionization anomaly crests from continuous GPS data in the Southeast Asian region, Vietnam J. of Earth Science, 1-18, 2022.

全飛行フェーズでの RNP 化に向けた衛星航法のバックアップ (APNT) 構築【指定研究】

担 当 部 航法システム領域
担 当 者 ○毛塚 敦, 齊藤 真二, 小田 浩幸, 田嶋 裕久, 藤井 直樹
研究期間 令和 4 年度～令和 7 年度

1. はじめに

我が国では全飛行フェーズにて RNP 化が進められているが、RNP 経路を飛行する際の航法装置としては現在 GNSS のみが認められており、DME/DME 測位は使用できない。一方で、障害により GNSS が使用できない場合が多数報告されており、RNP 経路を飛行する際の GNSS のバックアップ (APNT) を構築する必要がある。

EUROCAE WG107 では短期的な APNT として地上 DME 局にインテグリティ性能を持たせて RNP 経路を飛行可能とする標準化が進行中であり、我が国でも導入を計画中である (CARATS NAV-8)。EUROCAE WG-107 では、最大のインテグリティ脅威であるマルチパスへの対策基準が策定される見込みであり、ICAO での国際標準化も進行中である。また、欧州では中期的 APNT として複数の地上 DME 局を用いて測位を行うとともに、DME-RAIM (Range Autonomous Integrity Monitoring) により異常 DME の検出排除を行うことが提案されており、EUROCAE WG-85/RTCA SC-227 で国際標準化が進められている。長期的な対策は LDACS-NAV など新たなシステム導入に向けて各国が研究段階にある。

2. 研究の概要

短期的 APNT では、諸外国と比べ、国内の地上 DME 装置が継続性及び可用性に優れた一方でインテグリティにおいては不利であるため、インテグリティリスク計算においてインテグリティ性能を改善する方法について検討する。また、EUROCAE 基準に基づいた伝搬解析により DME 誤差発生要因を明らかにし、再配置基準策定に活用する。中期的 APNT では、マルチ DME の国内適用性について明らかにするとともに、我が国特有の山岳地形や配置の悪さに対応した RAIM アルゴリズムを開発し、国際標準化に参画することにより我が国への導入に不都合がないよう調整する。長期的 APNT では、国際的な方式選定に向け、欧米提案とは別の新しいシステムについて研究し、標準化会議または国際学会で公表することにより我が国のプレゼンスを高める。本研究では、DME を基本とした APNT に着目し、低高度でもインテグリティが保証できるように地表画像の利用可能性を明らかにする。

本研究 4 年計画であり、本年は初年度である。

3. 研究成果と活用

実験用航空機よつばにて取得済みの DME 測距データを用いて、誤差量と発生要因の解析を行った。ENRI と航空局の連携により MOPS 原案に記載された旋回時に発生する DME 誤差について、再現することをよつばでも確認した。また、DME の空地長距離伝搬の際に発生する対流圏遅延について、国際標準化では計算のみによる評価であったが、本データを用いたエンルートにおける解析により実測値として抽出することができた。これら内容を EUROCAE WG-107 にて報告し、標準化文章の記載内容をサポートした。インテグリティリスク計算における性能改善方法については、継続して検討中である。

実験用航空機よつばにて取得済みの DME 実験データを用いて、中期 APNT であるマルチ DME/DME-RAIM の有効性に関する基礎検討を行った。成田空港到着経路で取得した実験データを用いて 4 局の DME (NRE, CVT, HUC, SHT) でマルチ測位した結果、2 局測位と同等な測位結果となった。各局でマルチパス等による誤差を含んでいることだけでなく、成田空港到着経路が海側を飛行することから、すべての DME が陸側の 1 方向となり、配置の悪さが一要因となっているものと考えられる。配置については、今後詳細な検討を進める予定である。実験による各局での測距値と測位解との乖離の 2 乗和を統計量 D とした場合、測距異常により統計量が增大することを確認した (図 1)。これより、統計量 D により測距異常を発生している地上局を検出 (Fault Detection) できることが分かった。4 局測位の場合と各局 1 局を排除 (Exclusion) した 3 局測位の場合での測位誤差評価結果を図 2 に示す。図 1 では CVT 局を含めると統計量が增大しており、図 2 では CVT 局を排除した場合に測位誤差が小さくなることが分かった。これより、統計量により異常のある局を検出するとともに、排除することにより測位解への影響を小さくできることが確認できた。異常と判断する閾値については今後検討する予定である。また、本検討内容は国際標準化会議等で今後公表する予定である。

実験用航空機よつばにて取得済みの DME 実験データを用い、仙台空港出発経路での解析を行った。その結果、低高度 (3000ft 以下) の場合には、DME-RAIM の計算に必要な

な最低局数（3局）を利用できないことが分かった。我が国は特有の山岳地形を有するため、低高度では山の陰により DME との測距が困難であるためと考えられる。本結果は、成田空港での解析結果と共に EUROCAE WG-107 にて報告した。我が国の場合、出発経路の低高度では DME-RAIM が利用できない場合が多いものと考えられ、IRU 等の他の測位手段のインテグリティを保証し、併用する必要があることが分かった。

仙台空港出発経路における解析の結果に対応し、低高度において利用が困難となる DME-RAIM 方式を補完する新たなインテグリティモニタについての基礎検討を開始した。具体的には、地表面画像により測位システムのインテグリティが保証可能であるかどうかを検討し、課題の抽出と実現方法について検討する。画像処理の導入には装置の改修を伴うため、長期的 APNT として位置づけられ、複合するインテグリティモニタの一つとして使用することを想定している。本年度は、地図との相関計算のための地表面画像を無人航空機により取得した。電子航法研究所の上空において高度 100m での地表面画像を取得した。相関計算については、令和 5 年度より共同研究として明治大学と連携して進めることとなった。

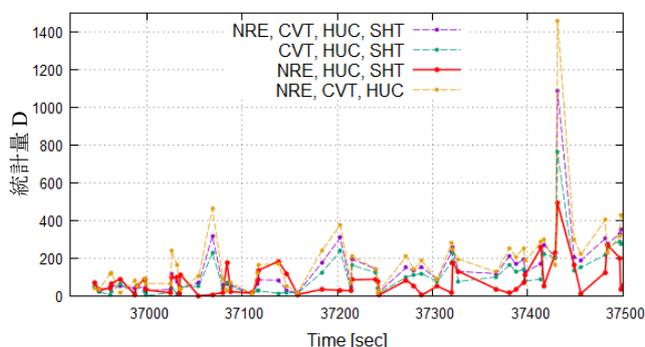


図 1 成田飛行実験データを用いたマルチ DME 測位での RAIM 統計量

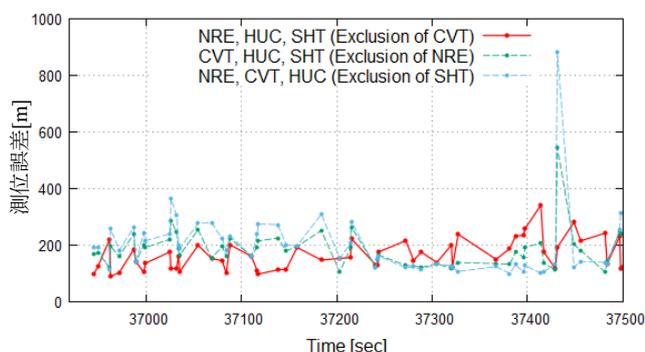


図 2 各局を排除した場合の測位誤差

4. まとめ

本年度は、実験用航空機で取得済みの DME データを処理し、成田空港、仙台空港およびエンルートでの DME の誤差データをまとめ、MOPS 原案記載事項確認のため EUROCAE にて報告した。また、中期 APNT としてのマルチ DME/DME-RAIM の基礎検討を行い、成田空港における DME-RAIM の有効性を確認するとともに、低高度における DME-RAIM の利用率低下など我が国の課題を抽出した。長期 APNT としての画像によるインテグリティ保証では、基礎検討のための画像データを無人航空機により取得した。令和 5 年度は、中期 APNT の国際標準化が EUROCAE および RTCA で開始されたことを受けて国内課題の抽出と課題解決方法の検討を優先して行うとともに、長期 APNT 検討のための画像データ取得をより高い高度で実施し、DME-RAIM が使用不能となる高度範囲をできるだけカバーしたデータ取得を行う予定である。

掲載文献

- [1] Atsushi Kezuka, “Flight Experiment Result of DME Error using EDS300 in Japan,” EUROCAE Working Group-107 21th meeting, M21-02, October 2022
- [2] 毛塚 敦, 吉原 貴之, 高島 宗彦, 齊藤 真二, 小田 浩幸, 藤井 直樹, “航空用距離測定装置を用いた対流圏遅延観測,” 電子情報通信学会技術報告 SANE2022-35, pp13-17, 2022 年 8 月
- [3] 毛塚 敦, “中期 APNT の概要と ENRI の取組,” CARATS GNSS 検討アドホック, 2022 年 12 月 5 日
- [4] 高島 宗彦, 毛塚 敦, 本田 純一, “ドローンを用いた PAPI 検査時における画像処理の適用,” 2023 年電子情報通信学会総合大会, 2023 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	令和 2 年度～令和 6 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画して行うものである。

プラズマバブルは磁気低緯度電離圏に発生する泡状のプラズマ空乏域であり、プラズマ不規則構造により満たされており、衛星航法電波、衛星通信電波の伝播の障害となる。プラズマバブルの発生の基礎過程は知られているが、その発生の日々変動を支配する物理過程は未解明であり、発生予測の障害となっている。発生の日々変動を支配する過程の有力な仮説として、東西方向数 100km の大規模構造が提唱されており、これまでの赤道大気レーダー、衛星ビーコン等の観測により検証が進められてきている。

近年、下層大気から電離圏までの統一的に解く全球大気モデルの開発が九州大学を中心に進み、観測と組み合わせることによりプラズマバブル発生に至る物理過程の検証が可能となりつつある。また、情報通信研究機構によるタイ・チュンポンにおける VHF レーダーの設置、米国、台湾による低軌道衛星の打ち上げにより、地上・衛星観測が飛躍的に充実してきており、プラズマバブル発生の日々変動を解明するための研究環境が整ってきている。

2. 研究の概要

本研究は大気変動から電離圏へのミッシングリンクを含めて明らかにし、プラズマ発生予測の開発を目指す。地上と宇宙からの複合観測と、地表から電離圏までの全大気モデル、プラズマバブルシミュレーションの組合せによって、大気と電離圏の相互作用について定量的な研究を進め、発生モデルの精密化を目指す。本研究によって、国際協力の下で、地上観測・衛星観測・大気モデルからなる研究協力体制が構築される。波及的にプラズマバブル発生予測の開発に取り組むことで社会に貢献する。当所は、プラズマバブルの発生と電離圏東西構造、下層からの大気波動の関連の解明とプラズマバブルが衛星航法に与える影響の評価を進め、プラズマバブルの影響回避策を提案する。

3. 研究成果

本年度も引き続きタイ・バンコクとインドネシア・赤道大気レーダーサイトにおける複数衛星系・複数周波数

(MC/MF)対応受信機によるシンチレーション観測と、情報通信研究機構がタイ・モンクット王工科大学ラカバン (KMITL)、名古屋大学、及び当所と協力してタイ・チュンポンに設置した VHF レーダー中心に研究を行った。

KMITL と協力し、プラズマバブルの構造と GNSS シンチレーション強度の関係の解析を進めてきており、主に電離圏ピーク高度から下側が最もシンチレーションに寄与していることが明らかになった[関連文献 1]。

タイ・バンコク及びインドネシア・赤道大気観測所における電離圏シンチレーション観測は連続的に行われており、太陽活動の活発化に伴いシンチレーション発生率が大きく上昇してきていることがわかった。

観測の中心となる赤道大気レーダーは落雷被害による深刻な故障の後、新型コロナウイルス蔓延による渡航制限と半導体不足の影響により復旧が遅れており、データを取得することができなかった。

その他、GNSS ネットワークを用いた電離圏 3 次元構造の解析手法の開発について京都大学と協力して進めた [1]。

4. 考察等

赤道大気レーダーは令和 5 年度半ばに復旧が見込まれており、強化観測キャンペーンが実施される予定であり、インドネシアにおけるシンチレーション観測、電離圏勾配観測により参加する予定である。

指定研究「磁気低緯度地域における GNSS 性能向上及び性能評価技術高度化に関する研究」と連携し、VHF レーダーを用いたプラズマバブルの検出の GNSS 補強システムへの応用を検討する予定である。

掲載文献

[1] S. Saito, K. Kawakami, N. Ssessanga, M. Yamamoto, Improved real-time three-dimensional ionospheric tomography based on GNSS and ionosonde observations, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022 年 5 月

関連文献

[1] A. Bumrungrit, S. Saito, P. Supnithi, A study of equatorial plasma bubble structure using VHF radar and GNSS scintillations over the low latitude regions, GPS Solutions, 26:148, 2022.

担当領域 航法システム領域
 担当者 ○高橋 透
 研究期間 令和2年度～令和5年度

1. はじめに

高度 60 km 以上に広がる電離圏は、太陽からの極端紫外線によって中性大気が部分的に電離された領域で、衛星通信を行う上での経路としての役割を果たす。この電離圏内で、時として電子密度の粗密構造が発達する電離圏擾乱と呼ばれる現象が、数 m から数 km の様々なスケールで発生する。特に 100 m スケールの電離圏擾乱は測位衛星 (GPS 衛星など) の電波を大きく屈折・回折させ、測位誤差を生じさせることが知られている。従って、電離圏擾乱の発生メカニズムを解明することで、その発生予測が可能になり、自動運転・航法などに必要な高精度な位置情報を提供できるようになる。

2. 研究概要

GNSS 衛星の信号に影響を与える 100 m スケールの電離圏擾乱よりも、大きいスケールである km スケールの電離圏擾乱が先行して発生している可能性が示されている。この km スケールの電離圏擾乱を観測するために衛星ビーコン受信機を令和 3 年度に開発し電子航法研究所でテスト観測を行った後に鹿児島県霧島市の鹿児島工業高等専門学校に設置した (図 1)。

3. 研究成果

鹿児島県霧島市で 2022 年 7 月より定常観測を開始した。受信機設置後、鹿児島県内之浦実施された S-520-32 ロケット観測にも本受信機を用いて参加した。S-520-32 は 150 及び 400 MHz のビーコン信号を送信しており、この信号を霧島の他に内之浦、垂水、薩摩川内に設置した受信機で観測した。1 つの観測点ではロケットと受信機間の電子密度の積分値しか求められないが、複数の観測点での観測値から水平方向のスプラディック E (Es) 層の構造を見積ることができる。

2022 年 8 月 11 日 23:25 JST に内之浦から S-520-32 ロケットが打ち上げられ、電離圏 E 層と F 層の間を飛翔し、海面に着水した。ロケットから送信されたビーコン電波はすべての観測点で受信された。ロケット打ち上げの前後、鹿児島県山川に設置されているイオノゾンデで Es 層が観測され、電離圏全電子数 (TEC) マップでも中規模伝搬性

電離圏擾乱 (MSTIDs) が観測されていた。

観測点で受信されたデータからロケットと受信機の相対的な速度によるドップラーシフトとロケットの回転による周波数の変化の効果を除去し、ロケットから送信されたビーコン電波の振幅と位相を取り出した。2 つの周波数の位相差を取ることで、受信機とロケット間の全電子数を導出した。さらにそれぞれの観測点で導出された全電子数の時間変化からロケットの軌跡に沿ったスプラディック E 層の水平構造を見積もった (図 2)。これらの結果は鹿児島県山川に設置されているイオノゾンデで観測されたスプラディック E 層と良い一致を示した。観測された Es 層は空間的な構造を有しており、現在、考察を進めている。また、これらの解析結果とロケットに搭載された電子密度の観測データとの比較を行う予定である。



図 1. (a) 鹿児島高専に設置した受信機と (b) アンテナ。

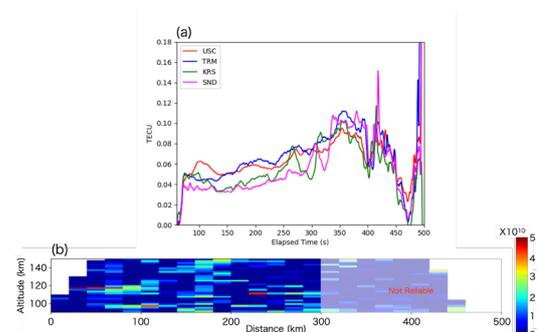


図 2. (a) 各観測点で観測された全電子数の時間変化、(b) スプラディック E 層の水平構造。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K14544 の助成を受けたものです。

担当領域	航法システム領域
担当者	○齋藤 享, 吉原 貴之, 中村 真帆, 藤井 直樹
研究期間	令和 4 年度

1. はじめに

総務省, 我が国の周波数の有効利用に資する新しい技術の国際展開を支援しており, 一つのシステムで複数の滑走路端をサービス可能である GBAS はその対象とされる。

GBAS の運用においては電離圏の空間・時間変動に伴う誤差が重要であり, 電離圏変動に関わるパラメータ (電離圏脅威モデル) を設置場所に合わせて決定する必要がある。

ICAO アジア太平洋地域では, 日本の主導により共通 GBAS 電離圏脅威モデルが策定されているが, 採用する電離圏脅威モデルを含む安全性の確保は各国の責任である。しかし, GBAS のための電離圏評価には, 衛星航法, 航空航法, 電離圏の知識が必要であり, 技術的な難易度は高い。そのため, 我が国が持つ GBAS 導入のための電離圏環境調査の経験と技術優位性をアピールし, GBAS の海外展開を支援するべく, 磁気低緯度地域における電離圏環境調査を実施することとなった。本研究は, 令和 2 年度に実施された同名の研究に基づいて, 電離圏環境調査を進めるために実施された。

2. 研究の概要

本研究では, 令和 2 年度に立案された電離圏調査計画に基づき, 令和 2 年度において電離圏データ収集環境を構築したベトナムにおいて電離圏データ収集と解析を進めるとともに, 令和 3 年度にインドネシアにおいて構築された電離圏データ収集環境において電離圏データ収集と解析を進めた。また, ベトナム及びインドネシアにおいて現地研究者・技術者に対して技術指導を実施し, GBAS のための電離圏影響評価の技術向上を図る。

3. 研究成果及び考察

ベトナムにおいては, 令和 2 年度に構築した電離圏データ収集環境(図 1)を継続して運用し, データ収集を行った。太陽活動の上昇に伴い電離圏擾乱の発生数が令和 3 年度に比較してさらに増加し, 2022 年 3 月 12 日から 2023 年 2 月 6 日までの間において, プラズマバブルに伴うと考えられる電離圏擾乱が 89 日において検出された。L1 周波数において, 令和 3 年度調査の最大値を上回るものが多数検出された。一方で ICAO アジア太平洋地域共通 GBAS 電

離圏脅威モデルにおける最大値 600 mm/km に比べると十分小さい。しかしながら, 現在の太陽活動は既に前太陽活動極大期と同様のレベルに達しており, 今後予想される太陽活動極大期に伴い電離圏勾配の値も大きくなると予想されるため, 引き続きデータ収集と解析を行っていく必要がある。

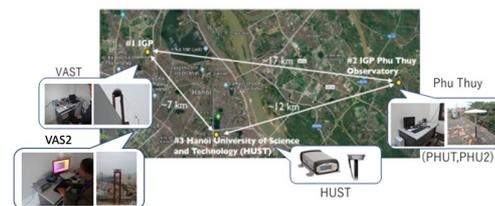


図 1. ベトナムにおける電離圏データ収集環境

インドネシアにおいては, 令和 3 年度に構築した電離圏データ収集環境(図 2)を用いてデータ収集を行った。インドネシア・バンドンでは, 2022 年 5 月 26 日~2022 年 12 月 30 日のうち 53 日についてプラズマバブルに伴う電離圏擾乱が検出された。インドネシアにおいても, 勾配について最大値は 250 mm/km を超えるものであった。これは反対半球のベトナムの値と同様であると言ってよい。

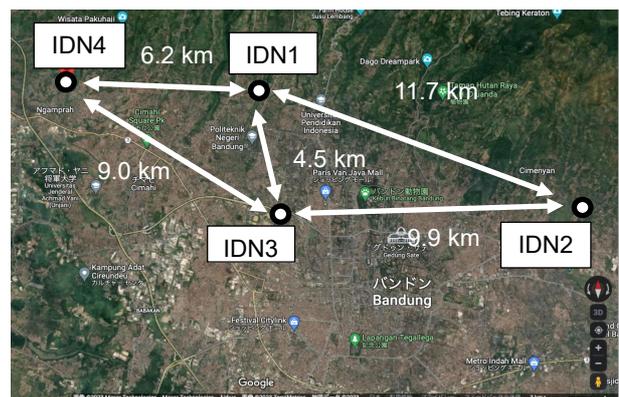


図 2. 選定した観測ネットワーク。

静穏時電離圏パラメータ(σ_{vig})についても, ベトナム及びインドネシアにおいて解析を行った。ベトナムにおいては, 2022 年 3 月 12 日~2023 年 2 月 6 日のうち, 明らかに電離圏異常ではなく受信環境等に起因すると考えられる異常データを含む日を排除した 128 日のデータを用いて 3.75 mm/km と決定された。 σ_{vig} の値は, 2019 年以降年々

増加傾向にあり、太陽活動の上昇を反映しているものと考えられる。

インドネシア・バンドンでは、2022年5月26日～2022年12月30日のうち、電離圏静穏時と判定された105日のデータを用いて4.58 mm/kmと決定された。この値は、インドネシアの連続 GNSS 観測網を用いて得られた3.78 mm/km [1]に比べ、大きくは変わらないものの少々大きい値となっている。これは、本研究で用いた受信機間隔が[1]に比べて短く比較的小さい構造に伴う空間勾配を検出していること、今回の観測期間の太陽活動が既に前回太陽活動極大期程度まで上昇していることなどが理由と考えられる。

4. まとめ

これまでの活動により、ベトナム、インドネシアにおいて連続的に電離圏勾配データを収集する観測網を構築することができた。いずれもデータ収集と解析を現地研究者と共同で実施されており、現地研究機関における技術力の養成も進んでいる。

ベトナムにおいては、2018年に最初の電離圏勾配観測を開始して以来、現地研究機関との協力により連続してデータ収集が行われてきており、太陽活動周期（約11年）の半分程度に達するデータが収集できてきている。解析も随時行われており、近い将来のGBAS導入に対応した電離圏環境評価体制が整ってきている。インドネシアにおいては、太陽活動が上昇してきている本年度から連続的にデータ収集と解析を始めることができた。

令和2年度から引き続き行ってきた本研究は一旦終了となるが、この成果をもとに、引き続き磁気低緯度地域における電離圏環境調査を効果的に行い、磁気低緯度地域におけるGBAS導入に貢献していきたい。

掲載文献

[1] S. Supriadi, H. Z. Abidin, D. D. Wijaya, P. Abadi, S. Saito, U. P. Dwiko, Construction of nominal ionospheric gradient using satellite pair based on GNSS CORS Observation in Indonesia, Earth Planets Space, 74:71, 2022..

[2] 周波数の国際協調利用促進に資する磁気低緯度地域における電離圏環境調査に関する請負報告書, 2023年3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

令和4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、萌芽的研究等として承認された下記の項目を計画した。

1. 航空通信基盤の高度化に関する研究
2. SWIMによる協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究
3. デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究
4. 高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究
5. 空港用マルチ監視技術活用に関する研究
6. 固定翼無人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発
7. FOD検知装置の導入および滑走路維持管理の効率化に関する研究
8. 電波高度計と同一/隣接周波数利用システムの周波数共用に関する研究
9. 滑走路面の堆積物の分布測定・状態分析のための基礎的研究
10. セキュリティ検査のための画像化レーダー技術に関する基礎的研究
11. 将来の航空通信システムに関する調査・研究
12. 3次元イメージングレーダーによるセキュリティ検査システムの研究開発
13. 次世代ヘリコプタ前方障害物探知センサに適用するミリ波MIMOレーダ要素技術の研究
14. 3次元ミリ波マルチホップネットワークによる洋上気象情報共有システムに関する研究
15. 位置検証と位置推定の融合：受信信号強度を例として
16. 高い角度分解能を持つ航空機監視用方向探知アンテナの開発
17. 安全なADS-Bを実現するための空港面量子鍵配送方式
18. 実験・シミュレーションによるレジリエントなチーム協調を支えるチームメタ認知の探究

1～5は重点研究、6～8は指定研究、9～10は萌芽的研究、11は在外研究、12～18は競争的資金の研究である。

1は、将来の空港及び空港周辺に係る航空交通の安全、効率、定時性向上に資するため、空港用航空移動通信システムAeroMACSの既存プロトタイプや開発中の次世代航空交通情報システム基盤SWIMの実験システムも活用

し、複数の通信システムを含む航空用高速通信ネットワークのプロトタイプ構築や、飛行中の接続切替えによる接続率の低下や通信の秘匿・優先度選択技術の実証評価を行う研究である。

2は、SWIMをベースとした運用方式に対して、グローバルな協調的意思決定の実現に関する技術の研究開発を行い、安全かつ効率的な運航管理を保證できる高度なSWIM情報サービスの構築と評価に関する課題を解決する研究である。

3は、コンパクトな監視センサと映像システムを組み合わせ、コストバランスに優れたデジタルタワーシステムの技術実証と有効性を示す研究である。

4は、将来の航空監視システムにおいて効率化と高性能化の両立に寄与するため、異なる送受信要件を集約できる高機能空中線の実現、および高機能空中線を活用した監視機能の実現に必要な技術を開発する研究である。

5は、未整備の新しい監視技術の研究開発および将来の監視システムの性能把握のため、モードA/C対応のマルチラテレーションMLAT、空港面の放送型自動位置情報・システムADS-B、独立非協調監視システムINCSの各種監視装置の技術を空港用のマルチ監視技術へ応用するための研究である。

6は、広範囲な監視が求められる海上・沿岸における無人機の目視外完全自動運航を支援するシステムを、福島ロボットテストフィールド(RTF)に展開中の実験エリアでの実証実験に基づいて開発する研究であり、海上・港湾・航空技術研究所(通称うみそら研)の内部特別予算活用型分野横断的研究課題「洋上風力の保守点検関連」として実施している。

7は、滑走路異物FODを探知するシステムの実導入に向けて運用時に課題となる誤検知率低減、信頼性向上、低コスト化に向けた検討と維持管理方式の効率化提案のための技術を開発する研究である。

8は、電波高度計を利用する4GHz帯において、同一および隣接周波数を利用するシステムとの電波環境評価技術を実現し、電波高度計の安全確保および周波数共用条件を明らかにするとともに、電波高度計の干渉発生推定技術を開発する研究である。

9は、冬季に積雪の多い空港運用に係る安全性の向上、処理能力の維持、運用効率の向上等に資するため、滑走路状態コードの3mm厚の積雪等による堆積物の面的な分布を計測できる手法を開発する研究である。

10は、セキュリティ検査のための画像化レーダーシステムの撮像性能向上を図るため、熱雑音受信時の信号雑

音比や、計算処理速度の向上および得られる電波画像の空間分解能の向上手法を開発する研究である。

11 は、1 の重点研究に関連し、次世代の陸域用航空無線通信システム LDACS についてソフトウェア無線を用いたシステムを開発し、開発したシステムによるインターオペラビリティテストを共同で実施すると共に、将来の航空通信システムの欧州動向調査等を行う研究である。

12 は、改札、エスカレータなど、既存の人流の中で、人々の間隔を広くとれる場所を利用して、動きを止める事無く一人一人への検査を実施するために 3 次元イメージングレーダーを用いたセキュリティ検査システムを開発する研究であり、国土交通省交通運輸技術開発推進制度を獲得し、研究代表者及び危険物の 3 次元イメージングの技術開発を分担している。

13 は、ヘリコプタ等に搭載するためのミリ波レーダについて、送電線等の線状障害物を高頻度で検出可能な小型平面アンテナ構築技術、複数入出力 MIMO アンテナアレイによるアンテナ開口面合成技術、MIMO データを用いた長距離からの線上障害物探知技術について実験と数値解析の両面から開発を進める研究である。

14 は、機上・船上システムからのみ構成できる低コスト・ローカル情報共有システムを実現するため、物理層、MAC 層、アプリケーション層の観点から、長距離ミリ波通信技術、遅延耐性無線マルチホップ通信技術、ローカルデータベース統合・共有・更新技術の開発を目指すとともに、シミュレーションにより提案システムの有効性を確認する研究である。

15 は、位置の取得や無線信号を用いる共通点があり、直感的には類似性があるものの独立して研究が進められていた位置検証と位置推定の 2 つの技術を融合、発展させるための理論を導出、確立する研究である。

16 は、高い角度分解能が得られるアンテナ素子配置及び信号処理方法を明らかにし、近距離航空機監視システムの受信局に適した方向探知アンテナを開発する研究である。

17 は、航空交通管理のサイバーセキュリティ対策の一つとして、量子鍵配送に必要な量子状態を伝送する光通信システムについて、実環境下で伝送損失と環境光を測定評価し、空港面に量子鍵配送装置を設置した際の性能を推定し、監視システムである ADS-B のセキュリティを改善できるかどうかを明らかにする研究である。

18 は、対象とする実務を想定したチーム協調において、タスク要求や作業条件の変化といった外乱・変動に適切に対応する際のレジリエントなチーム協調を支えるメタ

認知メカニズムを解明することと、そのためのアプローチとして参加者実験と計算機シミュレーションの双方を活用する方法論を確立する研究である。当所は過去の実践的研究の取組み経験をもとにした遠隔での空港対空業務（RAG 業務）を模した実験タスク、タスクモデルの設計・評価を分担している。

II 試験研究の実施状況

「航空通信基盤の高度化に関する研究」では、既存アビオニクスである VHF データ通信装置の実験局免許を取得し、うみそら研構内・周辺にてインターネットプロトコル (IP) パケット通信の車両搭載通信実験により性能評価し、空港面利用時の課題が得られた。また、複数の異なる通信システムと通信経路を模擬した検証システムを用い、通信の接続率向上にむけた評価手法の開発と妥当性を確認し、通信の秘匿・優先度選択の評価手法を開発するとともに、SWIM 接続に対する秘匿暗号化の評価検証を行い、有効性を確認した。

「SWIM による協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究」では、4 次元軌道に基づいて情報品質や継続利用を保証できるマルチサービス・コンテナモデルを開発し、異なる運用レベルに対応できる広域 SWIM サービス構築技術を提案した。また、このサービス構築に必要な SWIM 登録サービスと探索サービスを開発し、日米韓の接続実験を実施したほか、提案技術を用いて実際の空域容量と交通需要のアンバランスを調整できる協調的意思決定モデルも開発し、多国連携による Multi-Regional TBO (MR-TBO) 実証実験を行うことで、複数航空機の軌道調整や交通流管理が円滑に実施できることを示し、技術の有効性を確認した。

「デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究」では、コストバランスを考慮したミニ MLAT 監視システムを空港に設置してデータを取得し、航空機位置精度の推定性能を明らかにした。また、遠隔でのタワー管制の実用化に向けて、映像や監視センサの異なる座標系の変換を行うためのキャリブレーションについて精度向上を図る技術を開発し、整備・運用時に必要となる高精度補正技術を確立した。

「高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究」では、高機能空中線と複数の受信局の連携により航空機位置を算出する新たな測位機能を開発し、適切な受信局の配置により必要な測位精度が確保できることを明らかにした。また、測位を確実にを行うための条件を理論的に分析した結果や ADS-B 検証機能の開発と導入効果分析の結

果は学術論文誌に複数採録された。

「空港用マルチ監視技術活用に関する研究」では、各種監視装置のデータを取得・解析し、特に ADS-B の位置精度を評価した結果、ADS-B の搭載が進む傾向と共に、地上走行時の位置精度が飛行中と比べて統計的にやや低下する傾向を明らかにでき、新たな発見として今後国際的に情報交換を進めることとなった。

「固定翼無人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発」では、無人機向けリモート ID の令和 4 年 6 月からの国内義務化に伴う現状を分析し、国内標準に準拠した Bluetooth Low Energy 5 を運航管理に利用するための無人機搭載時の特性把握や基本受信機の性能向上やネットワーク化対応等の開発を進めると共に、中型飛行艇型ドローンを利用した基本評価実験を実施した。

「FOD 検知装置の導入および滑走路維持管理の効率化に関する研究」では、羽田空港評価装置の設置に際し、信頼性データ取得・評価系の構築を完了し、誤検知率低減に向けた外部監視情報の入出力インターフェースを追加改修した。また、すでに設置済のマレーシア空港のユーザインターフェース (UI) 調査と共に、評価装置の UI 分析も進めた。

「電波高度計と同一/隣接周波数利用システムの周波数共用に関する研究」では、電波高度計の干渉評価を実施した結果、電波高度計周波数帯域と 5G モバイル周波数帯域が欧米に比較して日本では接近しており、最も干渉を受けやすい電波環境であることがわかり、RTCA Summit で電磁干渉課題の現状として報告した。また、航空会社と共同で電波高度計への干渉経路損失測定を実施した。さらに、大規模電磁界数値解析により、電波高度計周波数帯域に関して、ビーチクラフト B300 型機 3 次元値モデルを用いた詳細な遠方界放射特性が得られた。

「滑走路面の堆積物の分布測定・状態分析のための基礎的研究」では、投影する赤外線線の線幅を調整可能なラインレーザーを導入し、監視区域の中心付近でビームを調整し最適化する手法を開発した。また、各種天候条件で屋外試験を実施し、外光の影響を分析評価した。

「セキュリティ検査のための画像化レーダー技術に関する基礎的研究」では、高密度配置に対応する回路を設計し、評価実験するとともに、各種送受信アンテナ構成にあわせてレーダ信号を逆算し、画像を再構成する手法を開発した。

「将来の航空通信システムに関する調査・研究」では、開発した LDACS 試作装置を用い、日独共同でインターオペラビリティ評価を行う等、車両及び飛行実験での実証

評価を行った。

「3 次元イメージングレーダーによるセキュリティ検査システムの研究開発」では、3 次元イメージ計測手法を開発するため、価格に応じて複数のクラスタを繋ぎ合わせて高画質化するクラスタ型レーダー構造を提案するとともに、この 1 つのクラスタを小さく製作するための送受信アレイを開発した。また、レーダー信号から 3 次元的な反射強度の分布を計算するアルゴリズムについて、並列コンピューティングを用いて計算する高速化アルゴリズムも開発し、今後の研究の道筋を示すことができた。

「次世代ヘリコプタ前方障害物探知センサに適用するミリ波 MIMO レーダ要素技術の研究」では、信号処理回路とミリ波レーダ部を接続動作させた実験系を構築して性能向上させた結果、細かい距離分解能 (30 cm) で遠距離 (4 km 以上) の探知覆域を達成した。この実験系で屋外の地上送電線探知試験を行い、探知性能を維持したまま、従来よりも高分解能である結果が得られた。また、3 次元プリンタを用いたミリ波アンテナにおいて 3 次元プリンタに用いる樹脂フィラメントの誘電率や誘電正接の値が試作結果に及ぼす影響を数値解析で明らかにした。

「3 次元ミリ波マルチホップネットワークによる洋上気象情報共有システムに関する研究」では、11 の在外派遣研究に関連し、在外先の独 DLR との間でマルチホップネットワークに関して議論し、今後の協力関係を構築した。また、16x16 送信機に対応したソフトウェア無線ボードを用いた試験環境の構築を始めた。

「位置検証と位置推定の融合：受信信号強度を例として」では、ADS-B におけるフェージング (受信信号強度の時間的・空間的な変動) による顕著な誤差について、アンテナダイバーシティと移動平均フィルタによる誤差の抑制を試み、改善効果を確認した。また、機械学習の活用として、サポートベクトルマシン (SVM) の手法を ADS-B に適用し、判定境界を自動獲得できたが、物理的な要因を考慮せず学習する場合があります、不正が疑われる位置情報も検知することがわかった。

「高い角度分解能を持つ航空機監視用方向探知アンテナの開発」では、アンテナ素子配置の実験装置とキー押下のタイミングに合わせて一定長のサンプリング信号を記録するアプリケーションを製作し、電波無響室にて方向探知機能の動作を検証した。この結果、MUSIC 法を用いておおよその信号到来方向を検出できた。

「安全な ADS-B を実現するための空港面量子鍵配送方式」では、前年度に実施した量子鍵配送技術に関する調査研究の成果を活用し、2040 年頃の航空会社の運航と

監視システム ADS-B を仮定の上、量子鍵配送が適用できる手法について実験室レベルでの検証解析を進めた。

「実験・シミュレーションによるレジリエントなチーム協調を支えるチームメタ認知の探究」では、発話分析などの質的分析に取り組み、作業負荷の軽減と正確性の向上を可能にする新しいコーディング手法（一次分析手法）を開発するとともに、発話の定量的・連続的な分析手法（二次分析手法）も開発し、チームレジリエンスを評価する手法として有効であることを確認した。

本年度は、以上の 18 件の研究に加えて、主に、以下に示す受託研究を行った。これらは上記の研究やこれまでの研究で蓄積した電磁波の測定や解析等に関する知識、技術を活用している。

1. MVR 受託研究特性試験
2. ILS 電波干渉解析作業支援
3. ILS 前方区域における積雪影響シミュレーション作業支援
4. フェーズドアレイアンテナのトータルゲイン及びパターン測定
5. ボディスキャナの要件に関する調査の技術支援
6. 近傍界計測作業
7. 近距離航空機監視システム性能検証実験支援
8. カメラ画像・ミリ波レーダ及び MLAT を利用した航空機等の監視技術の検討

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

当領域が行う研究は、航空交通の安全性や航空利用者の利便性向上等に関連して航空行政を支援するための基盤技術が多く、ICAO、EUROCAE、RTCA をはじめとする技術・運用基準や国際標準策定等に携わり、航空局への技術アドバイザなどとして参加、活動している。

通信、情報系では「SWIM による協調的意思決定支援情報サービスの構築と評価に関する研究」において、国内の行政当局と連携し、運用面と技術面の課題を分析の上、構築に必要な SWIM サービスを開発し、日米韓の接続実験により得られた研究成果を ICAO アジア太平洋地域 (APAC) SWIM Task Force (TF) に報告した結果、地域用の共通モデルが開発され、技術基準の策定活動が開始された。「航空通信基盤の高度化に関する研究」では、「将来の航空通信システムに関する調査・研究」において実施した日独共同によるインターオペラビリティ評価の結果をもとに LDACS Validation Report の国際相互執筆に取り組み、ICAO CP (通信パネル) のプロジェクトチー

ムに対して、現在策定中の LDACS 国際標準規格および技術仕様案における課題を明らかにし、改善提案に結びつけたほか、CP の DCIWG (データリンク通信インフラ作業部会) 等の各種 WG (作業部会) にも積極的に参加している。また、「電波高度計と同一/隣接周波数利用システムの周波数共用に関する研究」においては、EUROCAE WG-96/RTCA SC 236 Joint Plenary (WAIC 標準化)、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239 (電波高度計標準化)、ICAO FSMP (周波数管理パネル) の WG に参加し、動向調査と共に、電波高度計の電磁干渉に関する課題報告において行政当局への支援活動等を実施した。

一方、監視系では「高機能空中線を活用した監視技術の高度化に関する研究」において、ADS-B 検証機能における既存の誤り検出手順が不正情報への対策としても活用できることを見出し、ICAO APAC のガイダンス文書改訂に反映したほか、先進型地上走行誘導管制システムに関する技術マニュアル (Doc 9830) の改訂を担当する等、ICAO SP (監視パネル) および APAC の各種監視関連会議において ICAO 技術マニュアル等への反映や改訂作業に参画し、国際標準化活動にも多大な貢献を行っている。また、監視関連の研究を、映像技術と融合し研究開発を進めている「デジタル技術によるタワーシステム高度化に関する研究」においては、EUROCAE WG-100 のコアチームのメンバー及びエディタとして継続参画し、研究成果を情報提供しており、最新の技術要件である ED-240B を取りまとめ、次年度に発行される見込みとなった。以上のような研究・開発への取り組みが認められ、令和 4 年度には「デジタルタワー技術の開発」に関し、日本航空技術協会会長賞 (研究・開発の部) を受賞する等、産業界にも多大な効果を与えた。さらに、産業標準の分野では国際電気標準会議 (IEC : International Electrotechnical Commission) における電気及び電子技術分野の国際規格作成活動に長きにわたる参画、および無線送信用装置やこれに類似した技術を使用するデバイスの測定方法、安全性に関する必要条件、送信機制御等の標準化に関する積極的な功績が認められ、IEC1906 賞を受賞した。

このように、各研究課題の研究成果は、今後の新たな航空保安システムの技術基準や国際標準等の技術資料のみならず産業界においても、システムの性能向上や方針策定に貢献している。また当所の研究発表会、電子情報通信学会や日本航空宇宙学会等の国内各種学会、IEEE 等の国際学会や研究集会等においても、積極的な公表を継続している。

(監視通信領域長 住谷 泰人)

航空通信基盤の高度化に関する研究【重点研究】

担当領域	監視通信領域
担当者	○河村 暁子, 米本 成人, 森岡 和行, 呂 暁東, 長縄 潤一
研究期間	令和2年度～令和5年度

1. はじめに

近年, 航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し, より安全かつ効率的な運用を行う SWIM (System Wide Information Management) の導入が検討されている。このような次世代の航空情報共有のために, 通信速度が速く大容量を扱え, IP (Internet Protocol) 化に対応できる次世代航空通信システムの必要性が上がっている。ICAO の標準規格策定が終了している AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System) [1] をはじめとした次世代航空通信システムの航空機への搭載がすすむと, その後しばらく世代の異なる航空通信システムを用いる機体が混在することが予想される。現在の航空データ通信は, 機体の受信状況等に応じて搭載無線機を選択し使用しているが, 飛行中の無線メディアの切替えなどによる接続率の低下が問題となっている。一方, ICAO Doc.9869 “Performance-based Communication and Surveillance (PBCS) Manual” は航空管制データ通信について高い接続率を要求しており, あらゆる飛行フェーズの航空機が通信接続率の要件を満足できる高度な航空通信基盤を実現するため, 複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率の評価開発が必要とされている。さらに通信の IP 化に伴い, 通信の秘匿・優先度選択技術の評価実証や新しい規格の標準化も必要となる。

本研究では, 前述の課題の解決のため, 将来の航空交通の安全, 効率, 定時性向上に資する評価開発を行う。具体的には, 複数の通信システムを含む航空用高速通信ネットワークの検証システムを構築し, 飛行中の接続切替えによる接続率の低下や通信の秘匿・優先度選択技術の実証評価を行うことを目的とする。

2. 研究の概要

本研究では, まず飛行中の通信メディアの切替えなどによる接続率の低下や通信の秘匿・優先度選択技術を評価するプラットフォームとして複数の通信システムを含む航空用高速通信ネットワークの検証システムを構築する。初段階では, 検証システムにおける通信システム(無線機)と通信経路は PC で表現する。次に, この航空用高速通信ネットワークの検証システムの一部の PC を実際に航空機で使用できる通信システムに置き換え, 通信評価を行う。最後に, 通信システムを実験用航空機に搭載して飛行しながら実証評価を実施する予定である。この流れを図 1 に示す。

本年度は 4 か年計画の 3 年目であり, 以下の内容を中心に実施した。

- ・ 複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率向上の実証評価
- ・ 通信の秘匿・優先度選択技術の評価
- ・ 航空通信システムの規格策定活動

3. 研究成果

3.1 複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率向上の評価実証

今年度は, 接続率の統計的分析を用いた定式化, および VHF データ通信装置の実験試験局免許取得とうみそら研構内・周辺で移動を伴う性能評価試験を実施した。また, 次年度の実験用航空機を用いた実証評価の準備として, VHF データ通信装置と衛星通信装置の実験用航空機への搭載も行った。

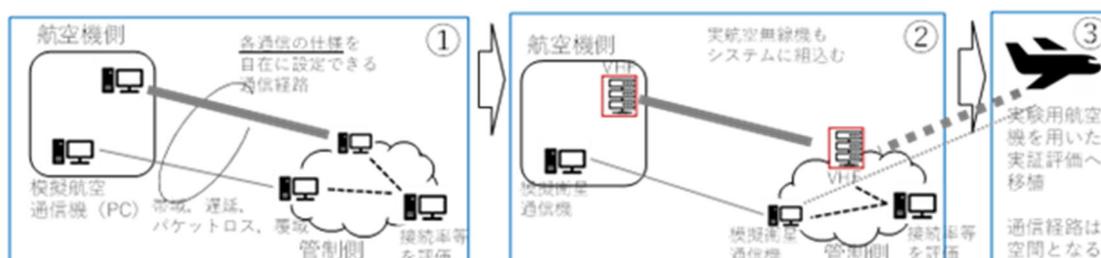


図 1 航空用通信ネットワークの検証システムの構築ステップ

航空通信システムの接続率は、ICAO Doc.9869において、約 60 秒のパイロットの反応時間を含めた RCP(Required Communication Performance)として既定されている。これは、通信エリア・事業者毎に、全航空通信に対して、通信開始から完了までに要した時間を計測し、既定の割合となる通信完了時間要求を満たすよう定められている。これまでに開発してきたPC構成の複数通信システムおよび通信経路を模擬した検証システムによる基礎評価結果に基づき、人間の反応時間を除いた片道通信の技術的な遅延時間の分析を行った。その結果、同一無線機を用いた場合に発生する遅延は、メッセージの分割数と再送回数が主たる要因であることが判明した。この状況を推定するため、飛行時の通信機の状態を統計的な理論モデルから定式化し、シミュレーション結果と比較し評価した。一例として、1メッセージを N 個の packets に分割して通信完了となるまでの送信（再送）回数の発生確率を計算すると、その累積密度は図2のように計算できる。理論モデルを定式化した結果は、複数の通信システム・経路の検証システムにおける仙台から洋上へ飛行する VHF データ通信シミュレーションの接続率評価結果とよく一致（図3）し、理論モデルと定式化の妥当性を確認できた。

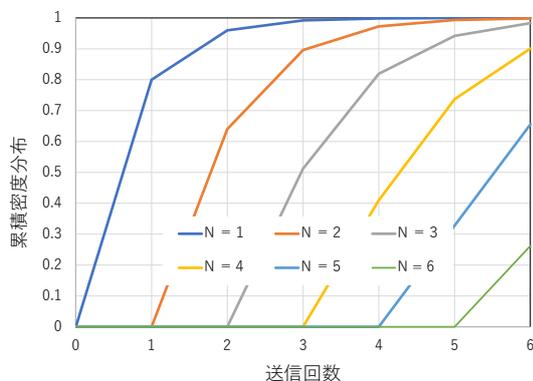


図2 理論モデルの結果

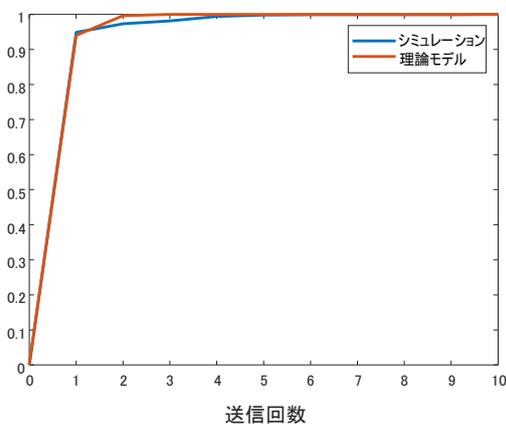


図3 VHF データ通信におけるシミュレーションと理論モデルの比較

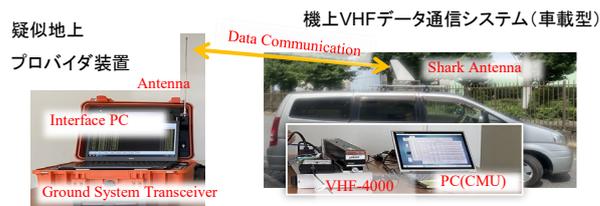


図4 実験局免許を取得した VHF データ通信装置

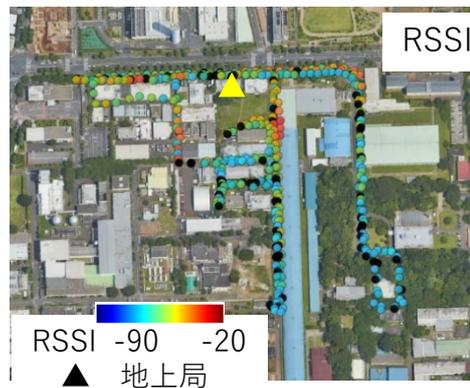


図5 車両搭載通信実験結果
(●：通信が途切れた箇所)

さらに、次年度に予定している実験用航空機を用いた飛行時の複数の通信システム・経路の接続率評価実験の準備として、実験局免許を取得した図4に示す VHF データ通信装置（ACARS: Aircraft Communications Addressing and Reporting System）を用い、うみそら研構内及び周辺において IP パケット通信を行う車両搭載通信実験を実施し性能を評価した。この結果、図5の通り比較的受信強度の強い場所でもマルチパス等によって通信の途切れる箇所があることなどが明らかになり、空港面における利用においても通信が途切れ、データ再送が頻繁におこなわれる可能性のあることがわかった。

3.2 通信の秘匿・優先度選択技術の評価

通信の秘匿に関して、前節に示した VHF データ通信装置を用いた IP 通信の検討の中で、xml形式の SWIM 位置通報メッセージを 1 パケットで送信できる形に圧縮の上、暗号化して送信し復号する手法を考案した。本手法では、SWIM 位置通報メッセージの緯度経度や速度を表すパラメータ群と航空機の便を示す ID（GUF: Global Unique Flight Identify）とをある特定の文字列で紐づけし、xml形式の定型文を省略する。これにより、既存通信である ACARS では約 1 秒かかる 1 パケットの送信に、必要な全パ

ラメータを納め、送信量および時間をxml形式の定型文を省略しない場合の約1/10に抑えることができる。また、圧縮したメッセージに対して暗号化を行うことで、通信の秘匿試験を行った。これら試験の結果、提案手法が有効であることを確認できた。

通信の優先度選択技術については、検討の結果 AeroMACSに関する先行研究で利用したQoS(Quality of Service)を応用した通信の優先度選択を適用することとし、検証は次年度行う予定である。

3.3 航空通信システムの規格策定活動

航空通信システムおよびセキュリティに関する動向についてICAO 通信パネル WG-I, 周波数管理パネルにて、LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) [2] の動向についてはICAO 通信パネルPT-Tにて、参加の上、情報提供と情報収集を継続している。WG-Iでは、先行研究におけるAeroMACSの飛行をともなう空地通信実験の結果についてIPS SARP Validation Reportへの掲載が決定した。またPT-TへWorking Paper[3-4]として、LDACS試作装置に関してドイツ航空宇宙センター (DLR) とEU企業が共同で実施したSESAR飛行実験に参加し行った、インタオペラビリティ (相互運用性) 試験 (図6) の結果を提供している。本試験では、DLRの実験用航空機からの信号を、ENRIで試作した地上装置で受信・記録・リアルタイム復調する中で、LDACS仕様書における誤り検出符号の計算方法に関する記述の曖昧さや誤記等が明らかになった。これらの報告事項は、Working Paperの内容を受け、LDACS仕様書に反映されることになった。この文書は、LDACS Manual(ICAO Doc 10172)として2024年以降に発行される予定である。



図6 日独共同でのLDACS相互運用性試験の様子

4. おわりに

令和4年度は本研究の3年目として、複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率向上の実証評価、実験局免許を取得したVHFデータ通信装置を用いたIP通信を題材とする通信の秘匿試験、LDACSの国際相互運用試験結果の報告を含む航空通信システムの規格策定活動などを行った。また、次年度の飛行実証試験に備えた、実験用航空機へのVHFデータ通信装置と衛星通信装置の搭載も実施した。

今後、これまでに開発した検証システム上での接続率、秘匿・優先度選択等に関する評価検証、VHFデータ通信のIP化検討をさらに進める。また、これらの検討は、次年度計画している実験用航空機を用いた飛行実験 (図1③) においても実施する予定であり、実際の飛行において提案手法の有効性を確認する。このような研究活動と並行し、航空通信システムの規格策定活動に参画し、研究成果の共有や企画動向の情報収集も引き続き行っていく。

掲載文献

- [1] K. Morioka, X. Lu, J. Naganawa, N. Kananda, N. Miyazaki, N. Hiraga, N. Yonemoto, A. Kohmura, "Air-Ground SWIM Demonstration over Extended AeroMACS", International Workshop on ATM/CNS (IWAC) 2022, October 2022.
- [2] K. Morioka, S. Futatsumori, N. Yonemoto, J. Kitaori, Y. Sumiya, A. Kohmura, "Rapid Prototyping for a Future Aeronautical Mobile Communications System using Software Defined Radio", IEEE Proceedings of the Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2022, April 2022.
- [3] K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, "ENRI Technical Validation Report (ENRI TVALR)", ICAO DCIWG PT-T/20, September 2022.
- [4] K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, "Feedback from ENRI Technical Validation", ICAO DCIWG PT-T/20, September 2022.
- [5] 河村 暁子, 森岡 和行, 米本 成人, "航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要", 航空局 ICAO CP-DCIWG/5 対処方針検討会, 2022年4月
- [6] 河村 暁子, 森岡 和行, 米本 成人, "航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要", 航空局令和4年度第1回 CARATS_CNS 検討WG (通信検討SG・航法検討SG・監視検討SG・GNSS検討アドホック・小型機検討アドホック 同時開催), 2022年6月

SWIMによる協調的意思決定支援情報サービス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, 森岡 和行, ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル (航空交通管理領域),
金田 直樹, 古賀 禎, 平林 博子 (航空交通管理領域) ブラウン マーク (航空交通管理領域)

研究期間 令和3年度～令和7年度

1. はじめに

欧米では、SWIM (System Wide Information Management) により運航に係る様々な情報をシステムや関係者の間で共有し、相互運用性と協調性の実現が進められている。また国際民間航空機関(ICAO)では、FF-ICE (Flight and Flow for Information Collaborative Environment) の導入を推進し、離陸前と離陸後の情報共有によりグローバルな協調的意思決定を図り、空地統合SWIMを利用した軌道ベース運用 (TBO : Trajectory Based Operations) を目指している。これらを実現するためには、標準情報交換モデルを用いたメッセージ交換による各種情報の共有だけではなく、運航の安全性に係わる情報の品質を保証する高度なSWIM情報サービスも求められている。

2. 研究概要

本研究では、グローバルな協調的意思決定の実現に向けて、異なる運用要件に適応できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を一貫して保証する技術を提案し、実用化可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。これにより、将来の軌道ベース運用における協調的意思決定を支援する技術の開発を目指す。本年度は5ヶ年計画の2年目であり、主に以下の研究開発や国際活動を行った。

- ・ 異なる運用レベルに対応できる広域SWIMサービス構築技術の提案
- ・ 運航状況の変化に動的に対応できる協調的意思決定支援ツールの開発
- ・ 軌道ベース運用に向けた国際連携実験の実施

3. 研究成果

3.1 広域SWIMサービス構築技術の提案

TBOの目的は、一つの飛行情報区および複数の飛行情報区における航空機の全飛行フェーズの軌道に対して異なる運航関係者間で協調 (空地軌道調整) し、軌道の一貫性を確保するとともに最適な航空交通業務の提供及び運航を実現することである。SWIMに基づいたTBOを実現す

るためには、個々の航空機の飛行軌道に影響を与える航空情報や気象情報などの運航に関する様々な情報を関係者間で共有するだけではなく、これらの情報の品質や継続利用を保証し、制約条件に対して異なる航空交通管理システム間で航空機の運航に合意した軌道の調整を行い、一貫性のある軌道を実現できる広域SWIMサービスの構築が必要となる。

令和4年度は、空地統合SWIMによって開発された広域情報品質管理モデルを用いて、各航空機の4次元軌道 (4DT : 4-Dimensional Trajectory) に関連する飛行情報、交通流情報、航空情報、監視情報、機上情報や気象情報を適切に抽出できるマルチサービス・コンテナモデルを開発した (図1)。このモデルに基づいて、以下の情報レイヤーと機能レイヤーを連動させ、異なる運用レベルに対応できる広域SWIMサービス構築技術を提案した。情報レイヤーは、SWIM通信サービス (CaaS : Communication as a Service) によりリアルタイムの情報更新と異なる運航関係者間での情報共有を実現できる。機能レイヤーは、現在の4DTに影響を与える制約条件に対する適切な検証と評価を行い、異なる航空交通管理システム間で軌道調整できる。

また、運用レベルが異なる飛行情報区においては、広域SWIMサービスを構築するため、各航空交通管理サービス提供者 (ASP : ATM Service Provider) が提供できるSWIMサービスの内容や取得方法などの情報についてサービス利用者から探索できることが必要となる。これを実現するため、SWIMのサービス指向アーキテクチャコンセプトに基づいてSWIMサービスの情報 (Metadata) を管理するサービス (SMMS : SWIM Metadata Management Service) とSWIMサービスの情報を交換するサービス (SMXS : SWIM Metadata Exchange Service) を開発した (図2)。これらのサービスを利用して、SWIMサービスの登録や探索アクセスポイントに係るENRI SWIM Registryを構築するとともに、REST (Representational State Transfer) API (Application Programming Interface) により異なるSWIMシステム間でSWIMサービスの情報を探索・共有できるサービス (SDS :

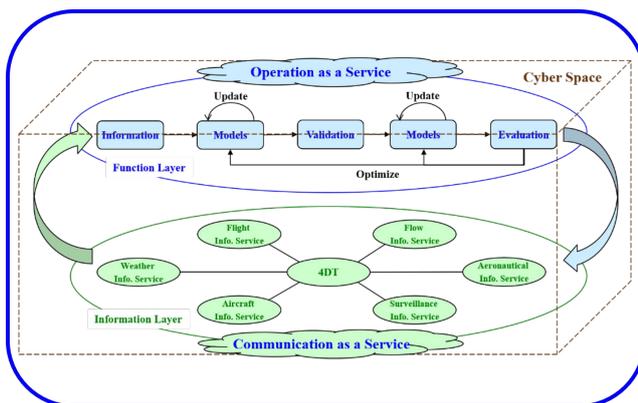


図1 マルチサービス・コンテナの概念

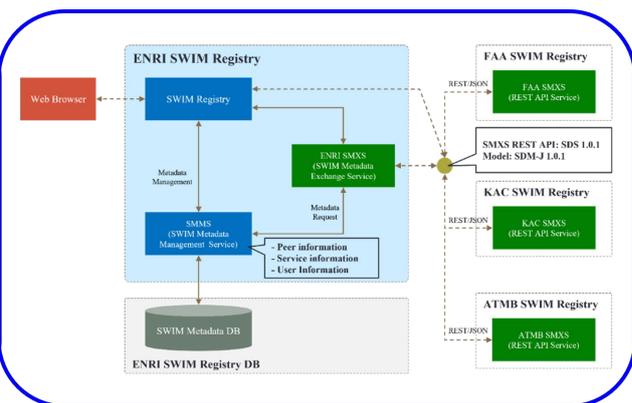


図2 ENRI SWIM Registry



図3 協調意思決定支援ツール

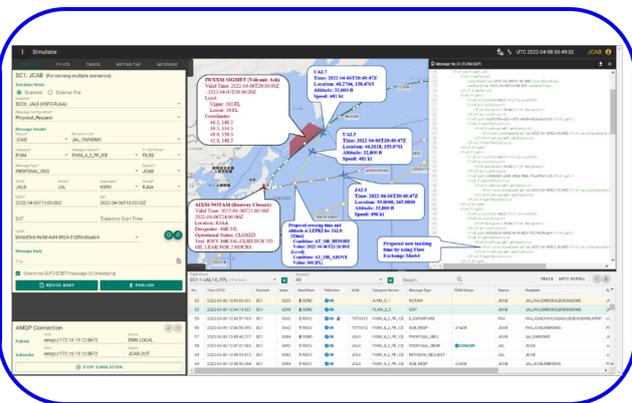


図4 多国軌道ベース運用実証実験時の画面

SWIM Discovery Service)を開発し、米国 (FAA)、韓国 (KAC) との接続実験を実施した。今後は中国 (ATMB) との接続実験を実施する予定である。これらの研究成果をICAO APAC SWIM Task Force (TF) に報告し、地域SWIMサービス導入の技術基準の策定、及び地域SWIMサービスに基づいた協調運用方式の検討が始まった。

3.2 協調的意思決定支援ツールの開発

正確で一貫性のある4DTに基づく交通流管理を実現するため、異なる運航関係者間の協調的意思決定が必要となる。特に、異常事態の発生に対して、交通流管理に関する各システムの容量変化や制約条件を共有するとともに、各航空機の状態に対して適切な軌道調整が必要とされる。これを実現するため、開発したマルチサービス・コンテナモデルを用いて前述したリアルタイムの情報レイヤーと軌道情報を管理できる機能レイヤーを融合し、実際の需要と現在の容量のアンバランスを調整できる協調的意思決定モデルと支援ツールを開発した (図3)。

3.3 国際連携実験の実施

令和4年度に提案したモデルと技術に基づいた実験シ

ステムを開発し、引き続きFAAと共同で、カナダ、シンガポール、タイと連携して、多国連携によるMulti-Regional TBO Demonstration (Phase 2A) 実証実験を行い、有効性を評価した。本実証実験においては、共有された制約条件に基づいて空港の実際の容量と離着陸の需要のアンバランスを調整できる交通流管理サービスを開発した。このサービスを用いた滑走路閉鎖の航空情報 (NOTAM Message) により、着陸航空機を優先的に処理し、地上の航空機の離陸を延期できた (図3の左上)。また、離陸を延期するためのGDP (Ground Delay Program) により、空港の容量が更新され、影響を受ける航空機への制約条件や更新された着陸時間を地上と機上の運航関係者システム間で共有できること等の有効性を確認した (図3の右上と図4)。さらに、各航空機の4次元軌道情報に基づいて着陸管理用の固定ポイント (Fix Point) の通過時刻を自動的に調整し、各空域利用者と共有して対応する協調的意思決定を実現できた (図3の右下と図4)。これらの実証実験により、TBOを実現するために必要なConnected Aircraftの概念を示し、交通流情報交換モデルを検証した。

令和5年度においては、FAAと連携してBoeing社のEco

Demonstratorを用い、TBOに関する実際の飛行実証実験を計画している。このような国際連携実験の取り組みは、TBOの導入に向けて運用面と技術面の課題を明らかにできる。また、ICAO ATMRPP (ATM Requirements and Performance Panel) によるTBO/FF-ICE Tabletop Exerciseを2023年6月にモントリオール本部で実施することが予定されている。

4. まとめ

本研究では、異なる運用要件に適応できる広域SWIMサービス基盤構築技術と情報の信頼性や運航の安全性を保証できるアシュアランス技術の提案、実用可能なサービスを用いた国際連携評価を行う。本年度は、広域情報品質管理モデルを用いて異なる運用レベルに対応できる広域SWIMサービス構築技術を提案し、グローバルな協調的意思決定を支援できるツールを開発した。また、これらの技術を用いて軌道ベース運用に向けた国際連携実験を実施し、TBOを実現するために必要なConnected Aircraftの技術要件や交通流情報交換モデルの改善案をICAOの関連パネルに提案する予定である。さらに、APAC (アジア太平洋) 地域におけるSWIMの構築に適用できるアーキテクチャを提案し、ICAO関連Working Groupと連携して具体的な技術仕様を作成している。次年度は、運航の安全性に係わる情報を保証できるサービスアシュアランス技術を提案し、国際連携実験や飛行実証実験の実施により提案技術を検証できる実験システムを開発する予定である。

掲載文献

- [1] X.D. Lu, "SWIM-TI Interface Binding to Achieve Interoperability," ICAO 6th Meeting of SWIM TF, online, May 2022.
- [2] X.D. Lu, W. Zhu, S. Han and Y. Tian, "SWIM DISCOVERY SERVICE (SDS) UPDATE AND NEXT STEPS," ICAO 6th Meeting of SWIM TF, online, May 2022.
- [3] X.D. Lu, "Lessons Learned of TBO Demonstration and Live Flight Experiment," FATS/30, online, May 2022.
- [4] 呂 曉東, 森岡 和行, 金田 直樹, 古賀 禎, ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 平林 博子, ブラウン マーク, "SWIMによる軌道ベース運用に関する実証実験," 電子航法研究所研究発表会, 2022年6月.
- [5] X.D. Lu, "The Development of ENRI SWIM Registry," SWIM TF - SDS Implementation Coordination Meeting, online, October 2022.
- [6] X.D. Lu, "Proposal of CRV based APAC Regional SWIM Architecture," Joint Meeting of CRV OG and SWIM TF, online, October 2022.
- [7] X.D. Lu, N. Kanada, N. Wickramasinghe, H. Hirabayashi and M. Brown, "SWIM Based Trajectory Coordination to Achieve Strategic Planning and Collaborative Decision Making," IWAC 2022, October 2022.
- [8] X.D. Lu, "ENRI Test System for Live Flight Demonstration," MR TBO Coordination Meeting, Tokyo, October 2022.
- [9] 呂 曉東, "SDECC向けSWIM概要説明および質問回答表," SDECC出前講座, 2022年12月.
- [10] X.D. Lu, K. Moriok, T. Koga, J. Kitaori and Y. Sumiya, "The Discussion of Air-Ground SWIM Integration to Achieve 4D Trajectory Sharing and Negotiation through An International Joint Demonstration," 電子航法研究所報告No.135, 2022年12月.
- [11] X.D. Lu, "Collaborative Validation for Interoperability of SWIM Service Discovery," ICAO IMP WG-G/10, Singapore, February 2023.
- [12] X.D. Lu, K. Morioka, N. Kanada and T. Koga, "4D Trajectory Negotiation to Achieve Situational and Operational Awareness for Air Traffic Management," IEEE ISADS 2023, March 2023.
- [13] N. Kanada and X.D. Lu, "Preliminary Feasibility Study of Quantum Key Distribution for Future Air Traffic Management Systems," IEEE ISADS 2023, March 2023.
- [14] X.D. Lu, "Trajectory Based Operation for Air Traffic Management: From Concept To Application," Invited Talk, IEEE ISADS 2023, March 2023.
- [15] 呂 曉東, 福島 幸子, "MR TBO Lab Demoの報告," CARATS推進協議会, 2023年3月.

高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究【重点研究】

担当領域 監視通信領域
担当者 ○長縄 潤一, 北折 潤, 宮崎 裕己, 古賀 禎
研究期間 令和3年度～令和5年度

1. はじめに

我が国では、二次監視レーダー(SSR)、広域マルチラテレーション(WAM)、放送型自動従属監視(ADS-B)といった異種センサーを整備し、それらの航跡を統合する航空路マルチセンサーシステムの整備を進めている。各センサーの長所を取り入れることができるが、各センサーが独立して整備され、冗長性の高い構成となっている。さらなる効率化と高性能化を両立するには、各センサーが持つ異なる送受信要件を集約できる高機能空中線が必要となる。

2. 研究の概要

本研究は高機能空中線の素子および指向性制御方式ならびに高機能空中線を活用した SSR・WAM・ADS-B 相当の監視機能に必要な技術を開発する。また、高機能空中線の導入効果を検討する。本年度は3ヶ年計画の2年目であり、以下の内容を実施した。

- ・ 空中線素子の改修・評価
- ・ 指向性制御方式の開発・評価
- ・ 監視機能の開発・評価
- ・ 導入効果の検討
- ・ 国際標準化活動

3. 研究成果

3.1 空中線素子の改修・評価

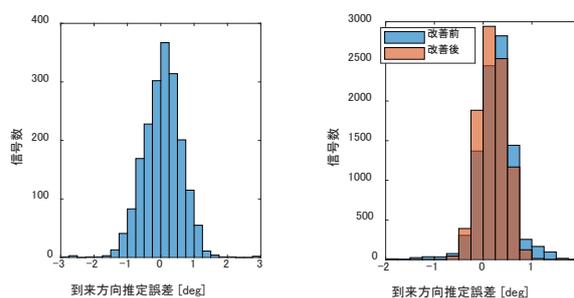
昨年度6素子構成であったところ今年度は12素子構成に拡張した。図1には改修後の写真を示す。本素子は後述するように指向性制御方式と接続して評価実験を行った。

3.2 指向性制御方式の開発・評価(デジタルビームフォーミング方式)

デジタルビームフォーミング方式(以下デジタル方式)は後述するアクティブフェーズドアレイ方式(以下、アクティブ方式)と併用して主に受信機能を向上させる位置づけである。受信機および制御PCから成る実験システムを用いて開発を進め、空中線素子と接続した評価実験を岩沼分室で実施した。



図1 改修後の空中線素子



(a) デジタル方式 (b) アクティブ方式

図2 指向性制御方式の開発・評価の結果

実験では、在空中機の信号を受信・蓄積し、実験後の後処理にて指向性制御と到来方向推定を適用した。指向性制御の評価として、指向性の変化と受信信号の強度の変化が一致していることを確認した。到来方向推定については、精度を誤差分布の形で評価した。その結果を図2(a)に示す。大部分の誤差は $\pm 2^\circ$ の範囲に含まれ、適切な動作を確認した。標準偏差は 0.60° であった。この結果を昨年度の結果(0.92°)と比較すると、35%の誤差削減となった。なお、現在の機械回転式の二次監視レーダ(SSR)は 0.06° を要件としており、さらなる改善が望ましい。必要な改善点としては、信号処理の改良や地面反射の対策が考えられる。

3.3 指向性制御方式の開発・評価(アクティブ方式)

アクティブ方式は送受信のための基本方式であり、航空局が所有する実験用機材を活用した取り組みを進めた。昨年度の飛行実験により覆域と精度の向上が必要であることが分かっていたため、本年度は性能向上に向けた技術的な選択肢の整理と効果の試算等を行った。具体的には以下の通りである。

① 大型化

空中線を大型化することで利得やビーム幅(指向性の鋭

さ)が向上し、覆域と精度を改善できる。そこで、現在のSSR要件を満たすために必要なサイズを試算した。まず、実験結果等に基づき設計目標として2.9 dBの利得改善、2.5°のビーム幅を設定した。目標を満たすように設計した結果、垂直方向は3段、水平方向は半径4.75 m・素子数192(このうち48を選択利用)という結果を得た。

② 到来方向推定の改良

現在の実験機材は振幅のみを用いる準モノパルスを使用しているが、これを振幅と位相を両方用いるモノパルスに変更することで精度を改善できる。位相を使うことで、ビーム中心から航空機が左右のどちらにずれているかをより正確に判断できるようになる。本効果を疑似的に評価するための実験を行った。実験では、当所の実験用航空機および在空機からの信号を受信・蓄積した。実験データに対して改善効果を仮定した処理を適用した。その結果、図2(b)に示す改善前後の誤差分布が得られた。本改善により誤差分布はより0°に近づいた。標準偏差は0.37°から0.28°となり、25.5%の誤差削減が得られた。

③ 受信局との連携

高機能空中線が測定する距離や信号到来方向に加えて、補助的な受信局と連携させることで信号到達時間差も測定ができるようになる。これら情報を統合することで精度を向上できる。本機能は後述する監視機能の1つとして開発を進めた。

3.4 監視機能の開発・評価(測位機能)

高機能空中線と受信局が測定する距離・信号到来方向・信号到達時間差を用いて測位する機能を計算機シミュレーションや理論的な分析により開発・評価した。計算機シミュレーションの結果例として、高機能空中線と受信局を結ぶ基線の距離20 km、到来方向精度1°、信号到達時間差精度 $\sqrt{2} \times 20$ nsec、航空機位置が基線正面のとき、水平位置精度がWAMの要件である350 mを満たした。また、この結果を到来方向精度に換算したところ0.024°となり、SSRの要件も満たすことができた。すなわち、高機能空中線と受信局を連携させることで、高機能空中線の精度を改善する効果を確認できた。

さらに測位機能に関わる理論的な成果を和文論文誌(電子情報通信学会)に投稿し2件採録された。内容は初期位置と呼ばれるパラメータについて測位の成功条件を分析したものである。

3.5 監視機能の開発・評価(ADS-B 検証機能)

ADS-Bの位置情報を距離・信号到来方向・信号到達時間

差を使って検証する機能の開発・評価を進めた。開発・評価には当所実験システムや計算機シミュレーションを用いた。評価では、直接法とマルチラテレーション(MLAT)法と呼ぶ2種類の計算ロジックについて不正な情報の検知率を比較した。どちらも基本的には良好な検知率となったが、優劣は受信局数(ここでは高機能空中線を含みNとする)に応じて変化した。N<4では直接法が優れ、N=4では両者は実用的には同一の性能、N>4ではMLAT法が常に優れる結果となった。本成果は計算ロジックの選択基準を明確に与える意味で有用性が高く、IEEE(米国電気電子学会)の論文誌に投稿して採録された。また、ADS-B検証に関するこれまでの成果をまとめ、航空以外への応用も見据えた一般的な視点での解説記事を日本AEM学会誌に寄稿した。

3.6 導入効果の検討(測位機能)

測位精度を様々な条件下で評価することで導入効果を検討した。その結果、地上設備の配置と性能・導入効果の関係を明らかにできた。まず、基線正面に航空機が存在する場合には精度が良好であり、高機能空中線の精度を改善する効果が得られる。3.4で述べた結果はその例となっている。また、従来のWAMは最低4局必要であるが、高機能空中線を用いると最低2局でも動作するため、サイト数の削減効果も見込まれる。一方で、航空機が正面に存在しない場合は性能が悪化するが、高機能空中線と受信局の離隔距離を広くすれば良いことが分かった。

3.7 導入効果の検討(ADS-B 検証機能)

既存の誤り検出の手順が不正なADS-B位置情報への対策としても活用できることを見出した。緯度・経度を格納するCPR(Compact Position Reporting)という信号形式においてはCPR Reasonableness Testと呼ばれる誤り検出手順が定義されている。おおまかな原理としては、過去の信号・位置情報を使うことで、現在の信号・位置情報の妥当性を

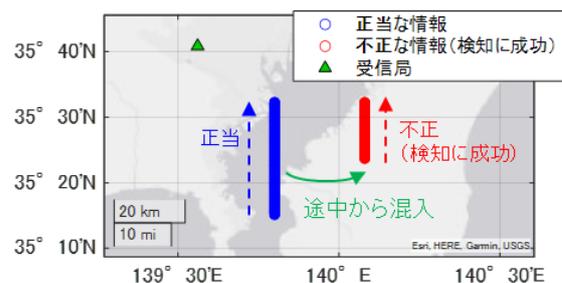


図3 CPRの誤り手順活用による不正な情報の検知

検証するものである。本手順の有効性を確認したシミュレーションの一例を図 3 に示す。ここでは正当な位置情報（青色）に途中から不正な位置情報（赤色）を混入しているが、本手順により不正な情報を不正だと判定することができた。

3.8 国際標準化活動

本研究では ICAO 監視パネル（SP）やアジア太平洋地域の監視関連会議に継続して参画している。監視パネル関連会議では、技術マニュアルの改訂作業が進められており（先進型地上走行誘導管制システムに関するマニュアル: Doc 9830）、当所からは改訂内容を提案する WP を発表した。また、アクティブ方式に関する研究状況を IP で報告した。アジア太平洋地域では、通信・航法・監視サブグループ会議（CNS SG）、監視実施調整会議（SURICG）、航空機動態情報ダウンリンク（DAPs）会議に参加した。監視実施調整会議では CPR の活用による ADS-B 検証の効果を報告し、アジア太平洋地域における ADS-B 実装・運用ガイドンス文書（AIGD）に推奨される対策の一つとして追記された。通信・航法・監視サブグループ会議では、ADS-B 検証に関するこれまでの成果をまとめ IP で報告した。

4. おわりに

航空路監視用の高機能空中線に向けて、空中線素子、指向性制御方式、監視機能の開発・評価を進めた。精度を改善できたが、現在のシステムと比較するとさらなる改善が望ましいため、今後改修に取り組む予定である。また、導入効果分析を継続する。

謝辞

実験装置の設置、評価機材の使用等、本研究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] 小菅, 古賀, 長縄, 呂, 宮崎(2022年4月), “Taylor 級数推定法による TOA 測位における収束条件,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J105-B, no.4, pp.433-445.
- [2] 小菅, 古賀, 長縄, 宮崎(2023年1月) “Taylor 級数推定法による TSOA 測位における初期値,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J106-B, no.01, pp.27-36.
- [3] J. Naganawa and H. Miyazaki (2022), “Comparison of ADS-B Verification Methods: Direct TDOA and MLAT,” in IEEE Access, vol. 10, pp. 97276-97288.
- [4] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A

SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/15, SP4-ASWG15-WP/11, April 2022.

- [5] ENRI, Japan, “Positive Effect of CPR Reasonableness Test on ADS-B Security,” ICAO APAC SURICG/7, SURICG/7-WP/11, May 2022.
- [6] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO, SP ASWG TSG/15, ASWG TSG WP15-10, June 2022.
- [7] Japan/ENRI, “Research on ADS-B Position Verification,” ICAO APAC CNS SG/26, CNS SG/26-IP/14, Sept 2022.
- [8] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/16, SP-ASWG16-WP/12, Oct. 2022.
- [9] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/16, ASWG TSG-WP16-13, Jan. 2023.
- [10] J. Naganawa, “Research Progress on Active Phased Array Antenna,” ICAO SP ASWG/17, SP-ASWG17-IP/06, Mar. 2023.
- [11] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/17, SP-ASWG17-WP/27, June 2022.
- [12] 長縄, 宮崎, “複数 TDOA を用いた航空機 ADS-B 位置検証に関する理論検討,” 信学技報, vol. 122, no. 41, SANE2022-6, pp. 27-32, 2022年5月.
- [13] J. Naganawa, “Research Activity on ADS-B Security,” FATS WG/30, May 2022.
- [14] 長縄, 宮崎, 田嶋, 古賀, 北折, “ADS-B 位置検証の補強技術,” 令和4年度(第22回)電子航法研究所研究発表会ポスターセッション, 2022年6月.
- [15] 長縄, 宮崎, 北折, 古賀, 田嶋, “航空機監視信号の到来角推定に関する初期的実験,” 信学技報, vol. 122, no. 136, SANE2022-29, pp. 38-43, 2022年7月.
- [16] 長縄, “ADS-B に関する研究について一脆弱性対策一,” 出前講座, 2022年7月.
- [17] 長縄, 宮崎, 田嶋, 古賀, 北折, “ADS-B 位置検証技術に関する研究,” 第60回飛行機シンポジウム, 2022年10月.
- [18] 長縄, 宮崎, 古賀, 北折, 田嶋, “航空機二次監視に向けたアレーアンテナ実験システムの基礎評価と性能向上の検討,” 信学技報, vol. 122, no. 248, SANE2022-59, pp. 49-54, 2022年11月.

- [19] 長縄, 宮崎, 田嶋, 古賀, 北折, “無線信号特徴量を使った航空機位置情報 (ADS-B) の検証,” 日本 AEM 学会誌, vol. 31, no. 1, pp. 25-29, 2023 年 3 月.

デジタル技術によるタワーシステム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 ○井上 諭, 角張 泰之, ブラウン マーク (航空交通管理領域), 古賀 禎, 米本 成人
研究期間 令和3年度～令和6年度

1. はじめに

カメラからの映像や監視センサ等のデジタル技術を用いることで空港におけるタワー管制システムは新しく変わりつつある。この空港の新しいタワー管制システムは「リモートタワー(RT)」や「デジタルタワー」(以下、リモート・デジタルタワーを「RDT」と記す。)と呼ばれる。RDTシステムは、空港の状況を把握するためにカメラからの映像情報や監視センサから位置情報を取得し、従来の管制塔とは別の場所に設置された管制室に情報が伝送され、ディスプレイや業務用システムに表示や情報提供がなされることで、従来の管制塔と同様の管制業務を行うものとなっている(図1)。

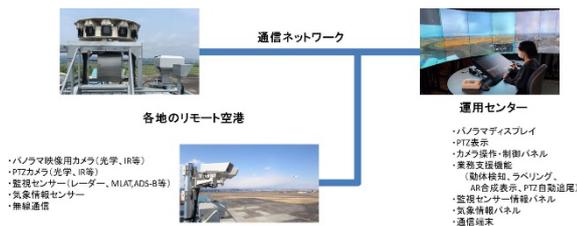


図1 RDTシステムの概要

このRDTの技術開発は世界的に実用化の段階に来ており、日本においても奄美空港をリモートレディオ空港として運用を開始している。これからのRDTシステムの技術動向や運用展開の方向性は安全性の向上や業務の効率化を目指しており、映像や監視センサからのデジタル情報をさらに活用した業務支援機能の拡充、およびシステム機能の高度化によって実現できる新たなタワー運用スタイルの研究・開発の取り組みが行われている。また、それらに関連する技術は欧州の航空交通管理に関する技術基準、規格検討に関係する機関を中心に議論もされている。当所では先行研究として、日本型のRTシステムの基本コンセプト構築を目指した研究を昨年度まで日本で唯一実施しており、上記にある業務支援機能のための基礎技術の研究開発にも着目したシステム構築に取り組んできた。これまでの技術基盤や研究プラットフォームを活かすことで、必要とされている運用支援のための拡張機能や技術の導入に向けた開発及び評価に取り組み、日本のタワーシステムの

技術革新に貢献していく必要がある。

2. 研究の概要と活動

本研究開発では、管制塔と同様の視界を再現するシステムに加え、監視センサ情報を統合し、オペレータの業務を主に視覚的に支援する機能に組み込むことで安全性の向上や、効率的な運用が可能なシステム等の開発を目指し研究を進めている。

本年度は4か年計画の2年目であり、RDTシステムの実用化を目指し、映像及び監視センサ、システム設計に関連した以下に示す内容の研究に取り組んだ。

- ・AIを用いた映像支援技術の開発および評価
- ・映像センサにおける座標変換(角座標-3次元座標)時のキャリブレーション精度の見直し
- ・映像表示時のブロックノイズ調査および対策
- ・松本空港での監視センサ(MiniMLAT)の性能評価
- ・仙台空港でのMLAT4チャンネル方式の映像合成評価
- ・管制卓HMIのユーザ評価
- ・国際標準化活動(EUROCAE WG-100)

3. 研究成果

3.1 AIを用いた映像支援技術の開発および評価

PTZカメラの自動追尾の精度改善に向け、AIによる画像認識を用いた障害物判定の試行と追尾性能向上への効果の検証を実施し、カメラ追尾のふらつき防止に一定の効果を得た。画像認識によるPTZのふらつきの原因は複数あるが、一つは画像認識の判定範囲が変化することで起きる。画像認識は映像データから得られる各フレーム画像を用いるが、映像のコントラストや背景等の画像情報の変化によって、ターゲットの判定範囲が一定ではなく変化してしまう。これらを急激に変化させないようにすることで、安定化を図る。また、いわゆる単純な画像認識は、画像内に航空機が複数いた場合にはターゲットとなる航空機がどれかということは判別できないため、自動追尾をするためにはターゲットを継続して判別するためのAIの仕組みを組み合わせる必要がある。航空機の姿勢や方向によって、航空機と判定される認識の確度は変化するため、追いか

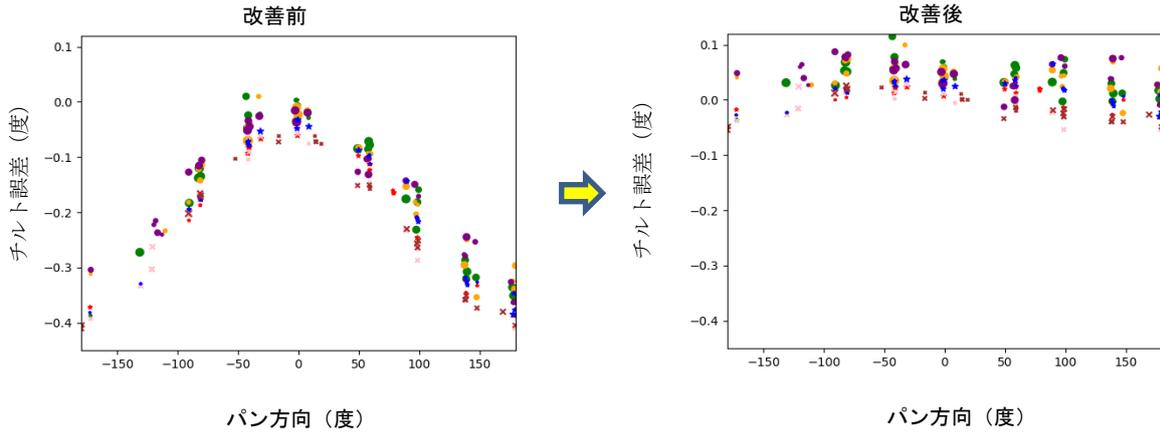


図2 キャリブレーション手法の違いによる上空点の方位ごとのチルト誤差の比較

ていた航空機が障害物に隠れてしまうような場合には、別の航空機を追いかけてしまうことが起きる。今回の検討では、AI の画像認識を活用し、追いかけていた航空機を見失ったことを判定させることで、履歴からの移動予測に切り替える仕組みを構築、導入し、安定化を検討した。一方で、交錯の状況やターゲットが複数いる場合などはケースバイケースであるため、AI の学習モデルをすることなどと併せて予測処理など更なる精度向上の対策を検討し実装を試みており、これらについては評価を継続している。また、そのための AI 学習環境の整備を完了し、学習用データの取得を開始した。

3.2 映像センサにおける座標変換時のキャリブレーション精度の見直し

3次元座標をシステム座標に変換する新たなキャリブレーション手法について検証を実施した。その結果、PTZカメラの基準座標の誤差を修正することができ、上空の座標のズレにおける補正精度が向上した。さらに、上空データを用いた評価、検証により、キャリブレーションは地上データのみで行っても、上空位置の推定値誤差の精度に問題が無いことを確認でき、運用機材整備時に向けたキャリブレーション方法を確立できた。図2はキャリブレーション精度の改善を比較している。

3.3 映像表示時のブロックノイズ調査および対策

発生の頻度は低いが、表示される映像に発生していたブロックノイズについて解析を進めたところ、「動画伝送方式に起因する1/100単位でのデータオーバーフローによるパケットロス」であることを特定した。この課題を解決する手法として、新たなエンコード方式を検討し、データのバッティングを順序良くシフトさせる処理を追加するこ

とで問題を解消できた。今後の運用システム導入時にも効果があると考えられる。

3.4 松本空港での監視センサ (MiniMLAT) の性能評価

航空局の協力のもと、松本空港において Mini MLAT (小規模マルチラテレーション) システムの設置調整を完了し、初期データの取得と性能評価のため、データ取得を開始した。初期評価は ARP (飛行場標点) 中心の 25NM 以内、および ARP 位置を Z=0m とした時の高さ Z=6096m 以下の信号を抽出した。

上記条件に合致する全ての ADS-B 信号に対応する MLAT 測位位置を後処理計算した。ユニークな航跡は 304 個得られ、そのうち 46 個が Matsumoto Information Zone に関連する航跡 (図3) であり、残りは上空通過の航空機となる。

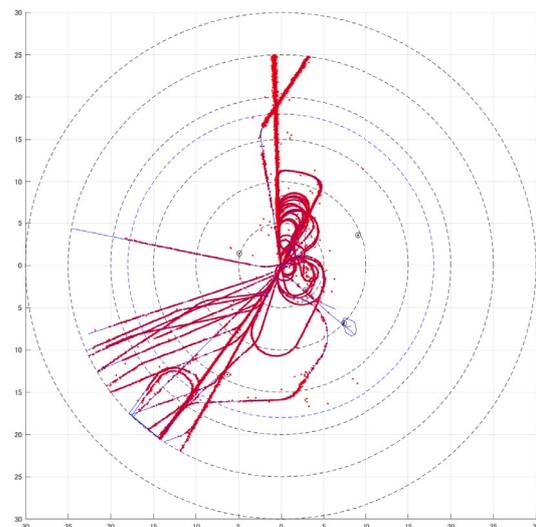


図3 Matsumoto Radio 関連の航跡 (46 航跡)

また、この取得データを元に推定性能を算出し、99%信頼性値で300～1000m程度、95%信頼性値で100～600m程度の精度が推定される結果を得た（表1）。

表1 位置精度の評価

レンジ [NM]	位置精度 [m]			
	Matsumoto Radio関連航跡		上空通過を含んだ全航跡	
	99%信頼性値	95%信頼性値	99%信頼性値	95%信頼性値
0～5	283.7	108.2	343.2	125.2
5～10	496.8	230.6	544.8	237.3
10～15	782.1	276.4	549.9	322.6
15～20	688.5	412.7	764.8	425.0
20～25	718.1	439.0	967.9	547.9

初期データの評価では、想定に沿った性能の確認ができた部分と共に、信頼性や精度に関する課題の把握もでき、性能向上に向けた検討課題が得られた。無線局開局後には、運用を想定した長期の継続的なデータ取得と評価検証を本格的に進める。

3.5 仙台空港での MLAT 4 チャンネル方式の映像合成評価

仙台空港における MLAT を部分的に利用し、Mini MLAT（MLAT4 局）の環境下で映像情報へのデータ統合とトラッキングの評価を実施し、監視センサの映像補助としての効果について検証を実施した。離陸時における監視センサ情報の高度方向の追従性には課題があることが分かっており、今後、対策の検討を進める。

3.6 管制卓 HMI のユーザ評価

RDT の運用に必要な管制卓の HMI(ヒューマンマシンインターフェース)コンセプトの設計に取り組み、航空管制業務経験者や航空局管制課の協力等を得て、ユーザ評価を実施した（図4）。これは将来に向けた支援機能のコンセプトや HMI の設計のコンセプトについてユーザの視点から評価を実施し、システムの設計内容がユーザにとって期待した効果があるか等確認、評価するもので、RDT として今後必要となる HMI 設計の要件を精査することができた。

3.7 国際標準化活動

RDT の技術に関連する国際標準化は EUROCAE WG-100 で行われており、MASPS ED-240B(Non-Optical Sensor の最低性能基準に関する技術要件)の策定にエディタ及びコアチームとして継続的に参加し、議論やドキュメント作成に対する貢献を続けている。2023 年下期にはこの ED-240B のドキュメントがリリースされる予定である。



図4 HMI のユーザ評価実験の様子

4. おわりに

本研究では RDT の実用化に向けて、今まで開発してきたシステムの性能向上及び、今後新たにシステムに必要な AI を活用した映像関連技術や小型監視センサ技術、またシステムとしての安全にも関係する機能の使いやすさ、操作性も含めたシステム設計に人間工学的な視点を導入した研究開発を実施してきた。評価で得られた結果や課題は、さらなる機能や性能向上、システムとしての高機能化や国際標準化活動に繋げるべく研究を引き続き実施していく予定である。

掲載文献

- [1] Inoue, S., Brown, M. & Kakubari, Y., Integration of (Surveillance) Multilateration Sensor Data into a Remote Tower System., Virtual and Remote Control Tower. Springer, DOI : 10.1007/978-3-030-93650-1, ISBN: 978-3-030-93649-5 (2022)
- [2] Inoue, S. & Brown, M., Remotely-Operated AFIS in Japan., Virtual and Remote Control Tower., Springer, 10.1007/978-3-030-93650-1, ISBN: 978-3-030-93649-5 (2022)
- [3] 井上 諭, 飛行場管制システムのデジタル化, 「IT 技術・自動運転技術が担う近い将来の交通安全」, 日本機械学会誌 2022 年 4 月号 (2022) (発行済)
- [4] 井上 諭, 角張 泰之, 「管制塔のデジタル化に向けて」 航空無線 114 号 (冬期) (2022)
- [5] 井上 諭, ブラウン マーク 「知識処理によるリモート・デジタルタワー用物体検知性能の改善」, 電子情報通信学会総合大会 (2023)

空港用マルチ監視技術活用に関する研究【重点研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○本田 純一, 松永 圭左, 角張 泰之, 大津山 卓哉 (航空交通管理領域)

研究期間 令和4年度～令和7年度

1. はじめに

通信や航法といった技術同様に、近年では監視技術の導入についても性能要件を絡めた議論が行われている。しかし、航空路の一部を除いて監視に係る性能要件は未定のところも多く、測定方法も含めて課題が残されている。航空機監視に利用される監視システムは、主に一次監視レーダ系 (PSR, ASDE) と二次監視レーダ系 (SSR, MLAT/WAM, ADS-B) に大分され、利用環境に応じて異なる性能を持った監視システムを組み合わせるマルチ監視の形態となる。監視システムを導入する時には、運用要件を満足する必要があり、それを満足する監視性能の要件を監視性能要件と呼ぶ。監視において、特に空港面及び空港近傍(「空港用」と称す)では、航空路と比べて高い位置精度が必要であり、また航空機以外の移動体も含めた位置情報を提供しなければならない。しかし、個々の監視システムであっても複数センサを組み合わせるマルチ監視システムであっても、監視性能要件に合致したシステムであるかを判断するための適切な評価方法が存在しない。そのため、運用者の要求を満足できる適切な監視システムの導入に寄与できる監視性能評価手法の開発が必要である。一方、既存監視システムだけでは検出されない移動体が存在する。そのため、評価手法を開発するにしても、未検出の移動体を検出する監視システムの開発・提案も重要である。具体例としては「モード A/C トランスポンダのみを搭載した航空機に対する MLAT 監視」、「建物等による信号の遮蔽やマルチパスによる ADS-B の性能低下」、「車両等のトランスポンダに依存しない独立非協調監視システム (INCS) 技術に基づいた監視システム」等について、監視システムの開発課題が残されている。

本研究は、空港用マルチ監視技術に関して監視性能評価手法の開発を行うことを目的とし、当該手法の開発に係る既存監視システムの性能評価及び監視システムの開発を行う。

2. 研究の概要

本研究は4か年度の計画で、令和4年度は下記を実施した。

①. 評価手法の開発 (主に監視データの解析)

②. 監視装置の改修, データ収集

③. 動向調査

3. 研究成果

3.1 評価手法の開発 (主に監視データの解析)

導入する監視システムが監視性能に合致するかどうかを判断するための監視性能評価手法の開発に先立ち、既存監視システムの性能評価を実施した。令和4年度は協調監視システムである放送型自動位置情報伝送・監視機能 (ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) 及びマルチラテレーション (MLAT: Multilateration) を主な評価対象としてデータ解析を行った。

3.1.1 ADS-B の性能評価結果

ADS-B がトランスポンダから送信する位置情報は、全地球航法衛星システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) を使った自機位置の測位結果に基づいている。つまり、衛星や GNSS 受信機のシャットダウンや不具合の発生、建物等による衛星からの信号の遮蔽やマルチパスによる信号歪が生じると測位精度が低下し、その結果がそのまま ADS-B の性能低下につながる。ADS-B の位置精度は、単純に位置情報だけを受信するだけでは精度を判断することができないが、ADS-B のメッセージの中には信頼指標に関連した値が埋め込まれており、その数値を解析することで現状の ADS-B の性能指数を把握することができる。特に位置情報に関連した指標としては、インテグリティを示す NIC (Navigation Integrity Category) と航法精度を示す NACp (Navigation Accuracy Category - position) を得ることができる。令和4年度は次節で示す ADS-B データ解析装置の改修を実施し、全運航フェーズによる NIC と NACp の統計量を算出した。その上で、米国同様のエリアを限定しない性能評価以外に、地上のみを抽出した性能評価を実施し、障害物の多い地上の位置精度の特徴について初期解析を行った[10]。

図1に2017年から2022年までのNICおよびNACpの値ごとのメッセージ数を解析した結果を示す。毎年1月の1ヶ月にわたり、仙台空港で受信したメッセージの総数に対して、NIC、NACpの値ごとに集計した結果を示す。なお、NICもNACpも数値が大きいほど高いインテグリティ

ィや航法精度であることを示す。欧米では運用上の最新版である Ver.2 の ADS-B が搭載義務化されており、例えば NIC であれば運用に関して $NIC \geq 7$ を性能要件とすることが定義されている。仙台空港で受信した NIC 値のデータ解析の結果、全体 (AP+SP) として $NIC=8$ が 95%以上を占めている。性能が低い $NIC < 7$ は 0.05%未満であり、99.95%以上が性能要件を満足していることが分かった。次に、空港面のデータ (SP) を確認したところ、全体 (AP+SP) に対して $NIC < 7$ が高く、ややインテグリティ値が劣ることが判明した。よって、空港面だけで考えると、統計的には ADS-B の性能がやや低下するということが分かった。NACp 全体としては、 $NACp=9$ が約 80%を占めていた。性能要件に合致した $NACp \geq 8$ で見ると 99.9%以上となることも分かった。一方、NACp の空港面については、 $NACp < 8$ についてはほぼ 0 となっており、大きな誤差低下は見られなかった。しかし、 $NACp=9$ の割合が全体に対して低一方、 $NACp=10$ の割合が高くなっている。

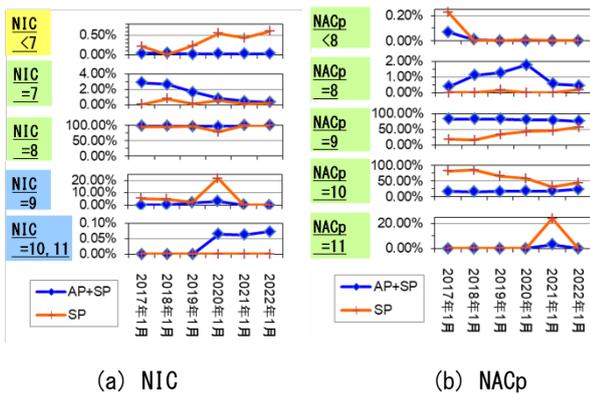


図1 NIC および NACp の値ごとのメッセージ数の割合

3.1.2 MLAT の性能評価結果

MLAT の性能評価については、電子航法研究所が提案した光ファイバ接続型受動監視システム (OCTPASS) の開発・評価に並行して実施された経緯がある。しかし、これまでに信号の受信状況や受信機配置については詳細な検証は行われていないことから、本研究では信号受信状況と測位結果の関係性という観点から初期解析を行った [7]。

性能評価は、過去の研究において仙台空港に展開された OCTPASS を活用した。図 2 に仙台空港内に展開された 8 つの受信ステーション (Rx) の位置関係を示す。この配置における航空機の測位計算結果と各受信ステーションの信号受信状況との関係性の解析を進めた。図 3 に Rx1, 2, 6, 7 の 4 つの解析結例を示す。図中の赤丸 (○) は OCTPASS により測位計算して得られた航空機の位置を示し、青三角 (△) は測位計算のうち該当の Rx を利用して測位計算し

た結果を示す。Rx1 であれば、いずれの結果もほとんど同じ航跡を示しているため、Rx1 は測位計算上、全領域において効果的に働いていることが分かる。Rx2 については、空港北東部において赤丸しか表示されていないことから、このエリアの測位計算には Rx2 が寄与できていないことを示している。Rx6 と Rx7 も同様の考え方となるが、Rx6 は全方位に対して遠方の信号が得られておらず、空港に近い領域でしか測位計算に利用されていないことが判明した。このように測位計算に有利不利な場所については、航空機からの信号の遮蔽やマルチパスによる信号歪が考えられる。今後、追加解析を行い、測位計算に及ぼす影響について信号受信の観点を考慮して明らかにしていく予定である。飛来する信号と測位計算の関係性については、世界的にも新たな観点からの評価方法であると考え

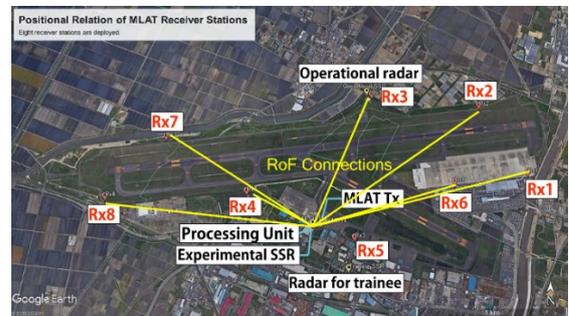


図2 OCTPASS 受信ステーションの配置 (仙台空港)

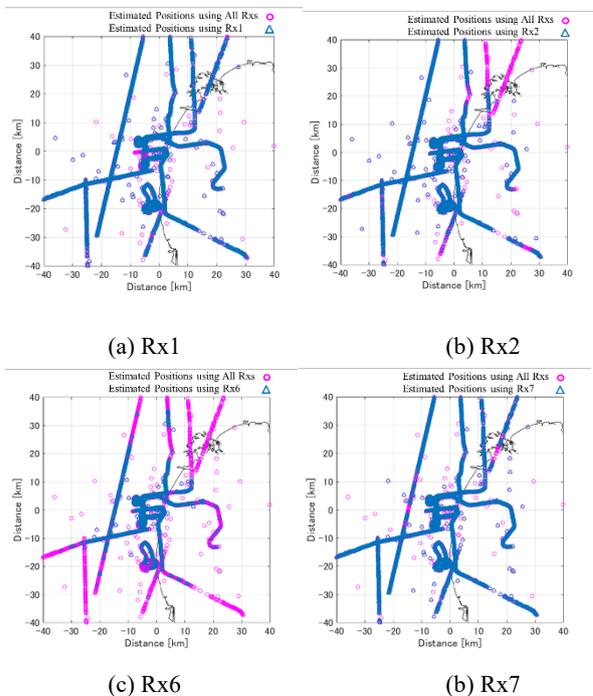


図3 測位計算結果と信号受信状況の比較

3.2 監視装置の改修, データ収集

3.2.1 ADS-B データ解析ツールの改修

前章で示した ADS-B の性能評価を実施するにあたり、先行研究で開発した ADS-B のデータ解析装置の改修を実施した。NIC 及び NACp を算出できるように位置性能指数算出プログラムを改良し、ADS-B バージョン種別の解析や地上を含む性能指数の解析を行えるようになった。図 4 は改良後のデータ解析装置を用いて ADS-B のバージョン種別の利用状況を示した結果である。図中の左縦軸は航空機数を棒グラフで示し、右縦軸は ADS-B バージョン種別の搭載率を折れ線で示す。運用上の最新版である Ver.2 の搭載率が 2020 年を境に増加していることが分かった。2022 年時点では、ADS-B を搭載する航空機のうち、約 72% が Ver.2 であった。

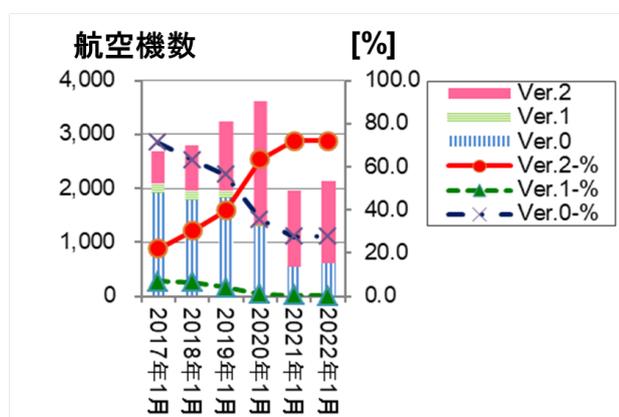


図 4 ADS-B バージョンごとの航空機数の割合

3.2.2 モード A/C 対応 MLAT への機能改修

国内ではモード A/C のみを送信するトランスポンダを搭載した航空機が多数残っているに関わらず、MLAT による監視は実現していない。安全運航の観点からモード A/C 機に対しても測位することが求められているものの、特にモード A/C の場合は同じスコーク（ファミリービーコン機と称す）を出すこともあり航空機の分離が難しい問題が残っている。本研究ではモード A/C 機の検出・分離の観点から、OCTPASS を利用した機能改修を実施した。改修初年度となる令和 4 年度は、ファミリービーコン機の実験機材の展開までにはできるものの、同じスコークの場合にトラック認識分別ができないため、管理テーブルの開発に着手した。現在動作確認を進めているところである。

3.2.3 その他

INCS による移動体検出技術に関して、既存 PSR の信号及び地上デジタル放送波を用いたマルチスタティックレーダについて、データ収集を行うための実験機材の展開を行った。地上デジタル放送波については、共同研究を通して、福岡で試験を実施し、船舶への検出にも有効であ

ることが分かった[8]。

3.3 動向調査

ICAO 監視パネルにおける航空機監視作業部会に参加し、監視の動向調査を実施した。ADS-B Ver.3 等の文書改訂については一段落しており、信号環境に関する議論が多くなっている。当該会議では、国内の監視信号環境やモード A/C 対応 MLAT 及び日本の ADS-B の性能評価結果について成果公表を行い、電子航法研究所の研究成果について情報提供を行った[1][3][4][5][11][13][14]。ADS-B の性能評価については、今後、国際的な情報交換を進めることとなった。

4. まとめ

令和 4 年度は、既存監視システムの性能評価を実施した。特に ADS-B については国内の Ver.種別の搭載動向が分かり、また性能指数の解析から地上でやや精度が低下していることが分かったことは大きな成果であった。MLAT については、信号受信状況と測位結果の関係性として初期解析を実施した。これらの評価について次年度以降も継続して、性能低下の要因等についてデータ解析を実施予定である。また、監視システムおよび評価ツールの開発・改修についても継続し、新たな監視システムや評価機材に関して提案できるよう研究を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Otsuyama, J. Honda, M. Oka, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan," ICAO SP ASWG TSG WP15-04, Virtual, June 2022.
- [2] 本田 純一, 松永 圭左, "ADS-B の位置性能指数の初期評価," 第 60 回飛行機シンポジウム, 3A08, Oct. 2022.
- [3] T. Otsuyama, J. Honda, M. Oka, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan," ICAO SP-ASWG16-WP/06, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- [4] J. Honda and Y. Kakubari, "Multilateration for Mode A/C using Radio-over-Fiber," ICAO SP-ASWG16-WP/21, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- [5] K. Matsunaga and J. Honda, "Introduction of Former Research of DAPs Validation," ICAO SP-ASWG16-IP/06, Montreal/Virtual, Oct. 2022.
- [6] J. Honda, K. Matsunaga, Y. Kakubari, and T.

- Otsuyama, "Preliminary Analysis of Performance Variation for ADS-B Position," Proc. Int. Conf. on Broadband and Wireless Computing, Comm. and Applications (BWCCA), pp.312-322, Virtual, Oct. 2022.
- [7] J. Honda, Y. Kakubari, T. Otsuyama, and K. Matsunaga, "Preliminary Study on Receiving Status at MLAT Station and Estimated Aircraft Position," Proc. Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), pp.377-378, Sydney/Virtual, Nov. 2022.
- [8] 松尾 和馬, 本田 純一, 池田 誠, 大津山 卓哉, "福岡地域における地上デジタル放送波による船舶検出の実験結果," 映情学技報, vol.47, no.2, BCT2023-8, pp.27-30, Jan. 2023.
- [9] 大津山 卓哉, 本田 純一, "航空監視信号環境と航空交通流に関する一検討," 信学技報, vol.122, no.346, SANE2022-88, pp.1-5, Jan. 2023.
- [10] 松永 圭左, 本田 純一, "ADS-B の位置性能指数の実データ解析," 信学技報, vol.122, no.346, SANE2023-89, pp.6-11, Jan. 2023.
- [11] T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan," ICAO SP-ASWG-TSG WP16-09, Fort Lauderdale/Virtual, Jan.-Feb. 2023.
- [12] 本田 純一, 米本 成人, "航空用電波施設に及ぼす風力発電設備の電波散乱に関する影響評価," 日本エネルギー学会誌, Vol.46, No.4, pp.587-593, Feb. 2023.
- [13] T. Otsuyama, J. Honda, and H. Miyazaki, "Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan," ICAO SP-ASWG17-WP/20, Singapore/Virtual, March 2023.
- [14] K. Matsunaga and J. Honda, "Preliminary Analysis of ADS-B Positional Performance in Japan," ICAO SP-ASWG17-IP/05, Singapore/Virtual, March 2023.

固定翼無人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発【指定研究, MPAT 分野横断的研究】

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○古賀 禎, 虎谷 大地(航空交通管理領域)
 研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

島国である我が国は広大な海域や沿岸域を有しており、これらの領域には多くの施設や設備が存在する。洋上風力発電などがその一例としてあげられ、これらを安定的に運用するためには、稼働状況や周辺状況などを監視・観測することが重要となる。

近年、監視や物流など様々な分野で無人機の利用が進んでいる。無人機を利用することで、広い領域をリアルタイムで監視・観測することが可能になる。

しかしながら、現在の無人機の運航は主として目視内におけるマニュアル運航（部分自動運航）であるため、運航範囲が目視内に限られるほか、運航のために人による監視が必要となる。将来における大規模・広範囲の安全で効率的な無人機の運航のためには、目視外で人を介さない完全な自動運航が必要となる。これを実現するためには無人機を自動運航する技術とともに、無人機の動態を常時管理する技術、有人機との協調的な空域利用および周辺状況に適応した運航技術が必要となる。

2. 研究の概要

本研究では、自動運航を実現するため、無人機の動態を常時管理する技術（動態管理技術）、有人機との協調的な空域利用および周辺状況に適応した運航技術（空域協調技術）の開発を3ヶ年計画で進める。図1に研究開発の概要イメージを示す。

2.1 動態管理技術

無人機の動態を管理するためには、その位置と識別（ID）情報が必要となる。2022年6月より無人機へのリモートID(RID)搭載が義務化[1]された。動態管理技術ではRIDを用いた管理システムの開発を目指す。規定[1]ではRIDの通信媒体としてBluetooth, WiFiを利用が定められている。そのほか、携帯電話網などの利用などが検討されている。本研究開発では、まずは、搭載が進んでいるBluetoothによるRIDを搭載した無人機の動態管理システムを開発し、その後、WiFiや携帯電話網などによるRID管理機能をシステムに追加する計画である。

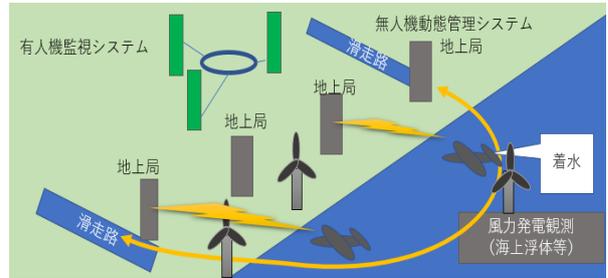


図1 研究開発の概要イメージ

2.2 空域協調技術

将来における無人機の完全自動運航状況下においては、無人機と有人機が空域を共用することが予想され、安全で効率的な航空交通の実現には空域を協調的に利用する技術が必要となる。空域協調技術では、当所が有する低高度空域を監視可能な有人機監視システム[2][3]と無人機の動態管理システムを接続して自動運航支援する統合システムや関連技術の開発を目指す。

3. 研究成果

初年度の令和4年度は、動態管理技術として無人機の管理システムの基本機能の開発および評価実験を実施した。また、空域協調技術として無人機と有人機の接近時における回避方式の検討を行った。

3.1 基本機能の開発

管理システムの基本機能として、Bluetooth RID受信部の開発を行った。Bluetoothは伝送距離が短く、広い範囲をどのようにカバーするかが課題となる。RID規定ではBluetooth Low Energy (BLE) 5 Long Range (coded phy S=8)

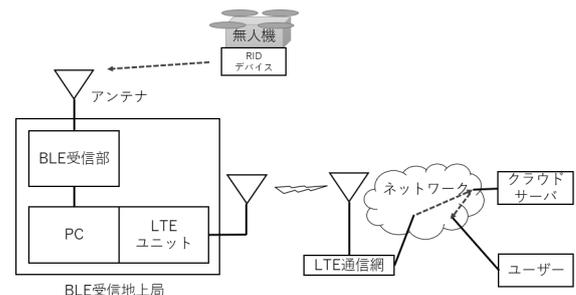


図2 BLEによる動態管理システムの構成

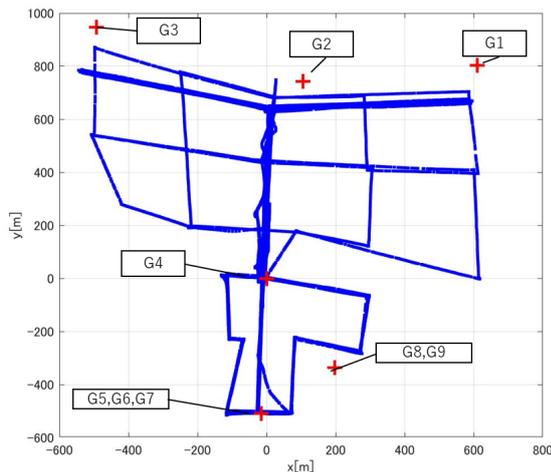


図3 基本評価実験による地上局の配置
および RID 航跡

を採用している。LongRange は伝送速度が 125kbps と標準の 1/8 の速度となる一方、誤り訂正能力の強化等より標準の約 4 倍の距離伝送を可能としている。

RID 受信部のハードウェアには BLE 評価ボード (Nordic nRF52840-DK) を使用し、ボードを駆動するファームウェアを実装した。本ボードは外付けアンテナを取り付けることが可能であり、高いゲインのアンテナを用いることにより長距離探知が可能となる。RID 部で受信した RID データは PC と LTE 通信ボードを介して、クラウドサーバーに送られ、ユーザに配信される。図 2 に管理システムの構成を示す。

3.2 基本評価実験

動態管理システムの BLE 受信機能および性能を評価するため、評価実験を福島ロボットテストフィールド (RTF) で行った。RTF および周辺の 500m 程度の間隔で 6 か所の位置を選定し、9 つの受信地上局 (G1~G9) を配置した。マルチコプタ型の無人機に RID を搭載して 40~140m の高度を飛行し、RID 情報を受信した。図 3 に地上局の配置と RID による航跡を示す。G5,G6,G7 は平面パッチ (指向性)、コリニア (無指向性)、ボード内蔵 (無指向性) と異なるアンテナの地上局を配置した。図中の青線が RID による航跡であり、本配置により東西 1100m、南北 1400m の範囲を連続的に監視できることを確認した。また、平面パッチアンテナをもつ地上局 G5 は 1400m 程度遠方の無人機を監視できた。本 BLE 受信地上局を複数配置することにより広域の監視が可能になることが期待できる。

3.3 回避方式

無人機と有人機の空域協調技術では、近接する無人機と有人機の衝突を回避する運航方式についての検討を行

った。ここでは ACAS-X など利用されている MDP (Markov Decision Process) による回避方式を適用した [4][5]。有人機監視システムによる有人機の位置情報を無人機に配信するシミュレーションを実施した。無人機が有人機を安全に回避できることを確認した。

4. まとめ

本研究では無人機の完全自動運航を支援するため、無人機の動態管理技術と無人機と有人機の空域協調技術の開発を進めている。

令和 4 年度は、動態管理技術として無人機の管理システムの基本機能の開発および評価実験を実施した。また、空域協調技術として無人機と有人機の接近時における回避方式の検討を行った。

令和 5 年度は、動態情報管理システムの機能向上、有人機監視システムとの接続などを行う予定である。

福島 RTF を中核としたエリアに実験システムを展開し、無人機を用いた実環境下における評価実験を行うことで、洋上風力発電施設等の自動監視の実現に資する実用性の高い技術の確立を目指す。さらに、海岸・沿岸域における無人機の自動監視観測に必要なシステムの技術検証を行い、将来の無人機自動運航が必要とされる運航やシステム運用のガイドラインの策定に資するデータを収集する。

参考文献

- [1] リモート ID 技術規格書, 国土交通省航空局, 令和 4 年 11 月, <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001444589.pdf>
- 掲載文献
- [2] 古賀 禎, “マルチラテレーション技術を用いた 有人機の位置探知システムの開発について”, 第 60 回飛行機シンポジウム, 2022 年 10 月
- [3] 古賀 禎, “協調的空域共有を目指す有人機位置探知システムの研究開発について,” レジリエンス研究教育推進コンソーシアム・ピッチ会, 2022 年 11 月.
- [4] Gaku Sato, Hiroshi Yokoi, Daichi Toratani, and Tadashi Koga, “Markov Decision Process-Based Collision Avoidance Method for Multirotor Small Unmanned Aircraft System”, Proceedings of the SICE 2022, Sep.2022
- [5] 佐藤 岳, 横井 浩史 (電通大), 虎谷 大地, 古賀 禎, “マルチラテレーション環境下におけるマルチコプタ型小型無人航空機のための衝突回避手法,” 計測自動制御学会第 10 回制御部門マルチシンポジウム, 2023 年 3 月

FOD検知装置の導入および滑走路維持管理の効率化に関する研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森 俊一, 米本 成人, 河村 暁子, 森岡 和行

研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

滑走路異物 (FOD) 監視システムは、FODを自動的に探知し、空港運用者に情報を提供するシステムであり、空港運用に係る安全性向上のために導入が進められている。FODに起因する事故を未然に防ぐだけでなく、滑走路を閉鎖して実施する滑走路点検の時間短縮を図ることが可能となる。これにより、滑走路利用効率の向上および空港滑走路閉鎖に伴う航空機の上空待機時間の低減が図れ、CO₂排出削減が期待できる。当所では実用化に向けたFOD探知装置の開発を実施し、EUROCAE MASPS ED-235を超える探知性能の達成とレーダセンサ設置条件の明確化をしたところである。実運用に先立ち、空港滑走路における監視環境変動（季節・交通）評価/対策および信頼性評価・低コスト化を行う必要がある。また、滑走路維持管理方式の効率化提案が求められている。

2. 研究の概要

本研究の目的は、FOD監視システムの今後の導入に向けて、実運用時に課題となる、滑走路周辺環境に起因する誤検知率の低減、FOD監視システムの信頼性向上および低コスト化に向けた検討を行う。さらに、システム運用開始時を想定し、FOD監視システムを使った滑走路維持管理方式の効率化提案を行う。

本研究では、これらに対応する新たな研究開発として、下記3つの項目を達成目標としている。

- (1) FOD監視環境変動を明らかにし、誤検知率低減を可能とするFOD探知アルゴリズムを実現する。
- (2) FOD監視システムの信頼性向上および低コスト化に向けた検討を行う。
- (3) FOD監視システムを使った滑走路維持管理方式効率化の向上に向けた技術提案を行う。

これらの目標は、FOD監視システムの実運用時の課題を予め評価システムで抽出・対策し、空港運用者にとって利用しやすいFOD監視システムの実現に活用される。また、複数空港へのFOD監視システム導入を想定した高信頼性化や低コスト技術の提案、さらにFOD監視システムを活用した滑走路維持管理効率化技術の提案により、落下物等のリスクを下げつつ、滑走路閉鎖時間の短縮が期待できる。

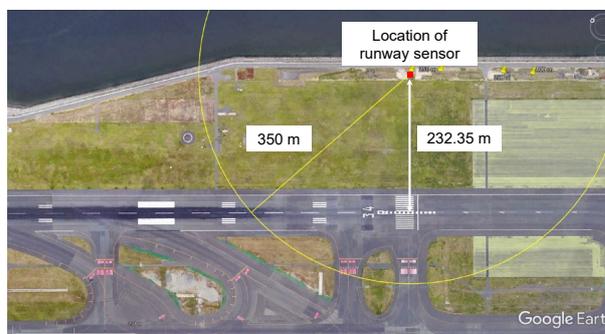


図1. 東京国際空港C滑走路におけるFOD監視システム評価装置設置位置

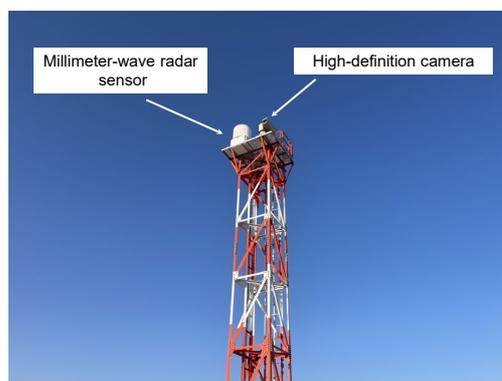


図2. FOD監視システム評価装置滑走路センサ鉄塔概観

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

- ・FOD監視システム空港環境評価系構築・環境変動データ取得
- ・FOD監視システム信頼性データ評価系の設計および構築
- ・滑走路維持管理方式効率化に資するFOD監視システムユーザーインターフェース (UI) 分析
- ・EUROCAE等の国際基準策定会議での発表・提案

3. 研究成果

3.1 FOD監視システム空港環境評価系構築・環境変動データ取得

東京国際空港設置用に改良したFOD監視システム評価装置を用いて、2022年4月および11月に、仙台空港で探知性能評価試験を実施した。アンテナ系および受信回路・信号処理系を中心に最適化を実施した結果、従来よりも覆域全域での探知性能の安定化が図れることを確認した。

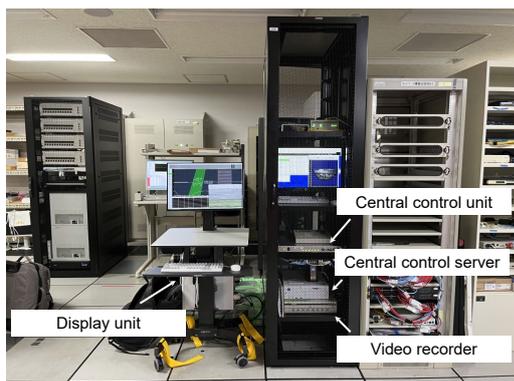


図3. 中央局装置の概観（左側：表示卓，右側：中央局制御装置およびサーバ装置）

羽田空港の環境変動データの取得において、滑走路センサを設置するためのFOD監視システム評価装置の設置工事を実施し、2023年3月から評価データの取得を開始した。図1、図2および図3に、それぞれ東京国際空港C滑走路におけるFOD監視システム評価装置設置位置、滑走路センサ鉄塔概観および中央局装置概観を示す。また、図4に、ミリ波レーダセンサのスコープ例を示す。

3.2 FOD監視システム信頼性データ評価系の設計・構築

東京国際空港に設置したFOD監視システム評価装置の長期信頼性を分析するため、受信結果・送信電力・回路電流等のモニタ信号を取得する信頼性データ評価系の設計・構築を実施した。空港設置後の2023年3月からデータ取得を開始している。

3.3 滑走路維持管理方式効率化に資するFOD監視システムユーザインターフェース（UI）分析

東京国際空港に設置したFOD監視システム評価装置のシステム全体のUIに関する現状確認を実施した。また、中央局制御装置および異物回収端末に表示される異物情報表示等、空港設置時の事前準備を実施した。

3.4 EUROCAE等の国際基準策定会議での発表・提案

EUROCAE WG-83, 滑走路面異物検知装置導入検討会、航空局海外展開支援事業、海外共同研究等に参加・協力した。滑走路面異物検知装置導入検討会では、仙台空港で実施した最新の試験結果および東京国際空港での評価計画について報告した。また、海外共同研究ではマレーシア航空局、マレーシア空港公社、マレーシア工科大学等と情報交換を行い、「空港滑走路異物監視システムおよびミリ波・テラヘルツ波技術に関するワークショップ」を開催した。

4. まとめ

令和4年度は、東京国際空港におけるFOD監視システム評価装置の構築および各種データ分析のための評価系の

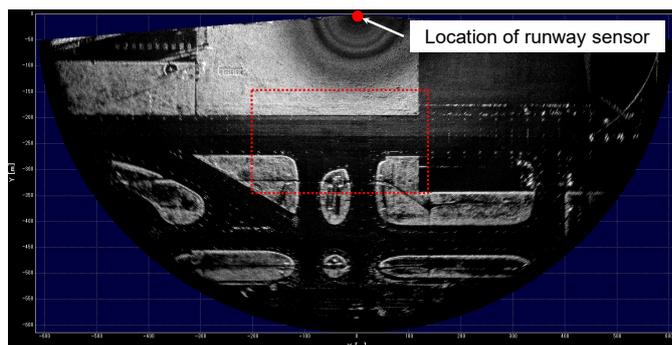


図4. ミリ波レーダセンサのスコープ例

構築を中心に実施した。今後、得られたデータおよび試験結果に基づき空港環境評価を行う。

掲載文献

- [1] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発動向" 令和4年度（第22回）電子航法研究所研究発表会, 2022年6月.
- [2] S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, "Performance Evaluations of Airport Runway Foreign Object Detection System Using a 96 GHz Millimeter-Wave Radar System Based on International Standard", Proceedings of the 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2022), pp.1-2, Aug.2022.
- [3] ニッ森 俊一, "電子航法研究所におけるFOD検知システムの研究開発状況と羽田空港での評価計画," 電子航法研究所出前講座（東京空港事務所）, 2022年9月.
- [4] ニッ森 俊一, "滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発" マイクロウェーブ展（Microwave Exhibition）2022, 2022年11月.
- [5] S. Futatsumori, and N. Shibagaki,, "96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Airport Surface Detection Purpose", Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA2022), pp.1-2, Dec.2022.
- [6] ニッ森 俊一, "滑走路異物（FOD）検知システムに関する研究の概要と進捗," 電子航法研究所出前講座（航空保安大学校）, 2023年1月.
- [7] ニッ森 俊一, 柴垣 信彦, "90 GHz帯小電力ミリ波レーダを用いた空港面探知の基本検討-仙台空港における動作確認試験-, " 電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-2-25, pp. 181, 2023年3月. 他1件

電波高度計と同一/隣接周波数利用システムの周波数共用に関する研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森 俊一, 米本 成人, 河村 暁子, 森岡 和行

研究期間 令和4年度～令和7年度

1. はじめに

電波高度計（使用周波数：4.2 GHz～4.4 GHz）の隣接および同一周波数では、近年様々な電波利用システムの運用がされつつある。隣接帯域は

日本を含む世界各国で5Gモバイルシステムへの周波数割り当てがなされており、日本においては3.6 GHz～4.1 GHz/4.5 GHz～4.6 GHzにおいて携帯電話事業者が5Gモバイルシステムを運用している。さらに、同一周波数帯域においては、新たにWireless Avionics Intra-Communication (WAIC) システムの国際規格策定が進んでいる。

これらの電波利用システムは、電波高度計設計時には存在しなかったシステムであり、電波高度計受信機の隣接雑音および相互変調ひずみ等の発生により、厳しい条件で電波高度計の運用を強いられる可能性がある。これらの課題は、国際民間航空機関 (ICAO) Frequency Spectrum Management Panel(FSMP)Job Card 006/007で議論され、同PanelおよびRTCA/EUROCAEで国際規格を策定中である。

2. 研究の概要

研究の目的は、電波高度計と同一/隣接周波数を利用するシステムとの電波環境評価技術を実現することで、電波高度計の安全確保および周波数共用条件を明らかにすることである。電波高度計の干渉発生の可能性を評価し、干渉低減のための技術的検討を行う。また、5GモバイルシステムやWAICシステム等の電波高度計への干渉源評価を実施する。

本研究では、これらに対応する新たな研究開発として、下記3つの項目を達成目標としている。

- (1) 電波高度計の干渉発生電力・周波数条件の取得・分析を行い、干渉発生条件を明らかにする。
- (2) 大規模電磁界数値解析技術を用い、電波高度計の干渉発生推定技術を実現する。
- (3) 国際標準化策定への寄与、航空当局/電波管理当局および運航者/通信事業者へ情報提供を行う

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

- ・ 電波高度計の電磁干渉特性評価試験系の構築/先行試験の実施、電波環境の分析/調査法検討

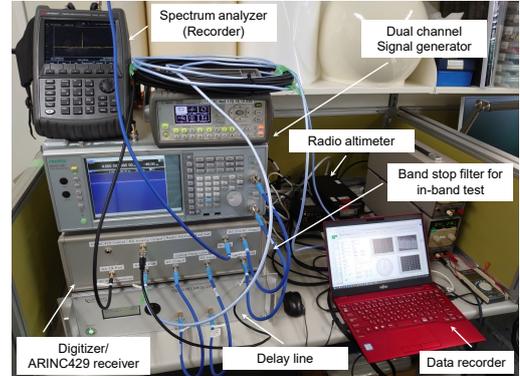


図1. 航空機電波高度計の電磁干渉試験系の概観

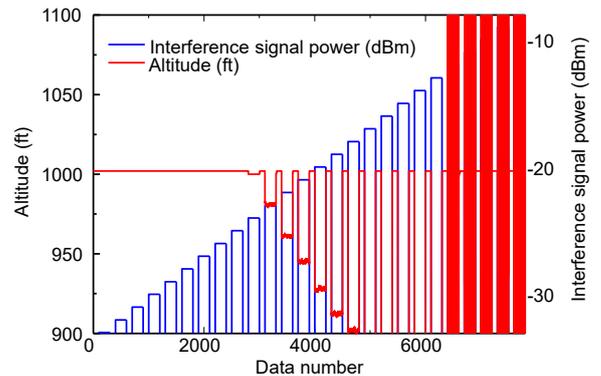


図2. 電磁干渉試験における干渉信号電力と高度出力例

- ・ 大規模電磁界数値解析法を用いた電波高度計周波数帯における遠方界放射特性推定評価
- ・ 電波高度計および航空機電磁干渉に関する国際標準化活動の実施

3. 研究成果

3.1 電波高度計の電磁干渉特性評価試験系の構築/先行試験の実施、電波環境の分析/調査法検討

電波高度計の電磁干渉特性について、航空輸送技術研究センター(ATEC)の第5世代移動通信システム導入に伴う基地局と航空機電波高度計の周波数共用に関する調査・研究WGを通じJAL/ANAと共同で試験を実施した。航空局飛行検査センター、海上保安庁、中日本航空、オールニッポンヘリコプター等から機材提供を受け、RTCA報告書での調査機種数を上回る合計約20機種の電磁干渉特性を評価し、ITU-R M. 2059基準値よりも影響を受けやすい機種が

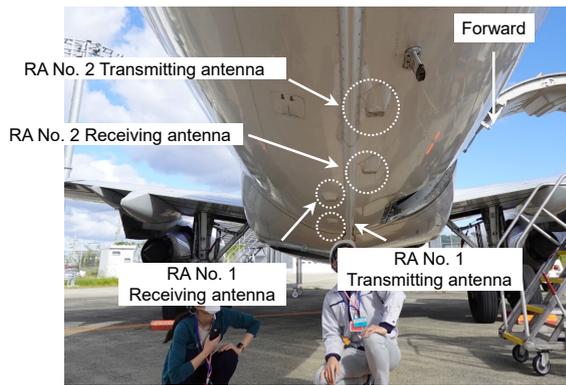


図 3. 電波高度計干渉経路損失の測定状況

あることを確認した。図1および図2に、それぞれ電磁干渉試験系の概観および測定結果例を示す。結果を、航空局、ATEC WG、運航者、総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会等に随時報告した。さらに、2機種の航空機（エンブラエルE170/ボンバルディアDHC8-Q400）に対する電波高度計への干渉経路損失（Interference path loss, IPL）測定を実施した（図3）。

3.2 大規模電磁界数値解析法を用いた電波高度計周波数帯における遠方界放射特性推定評価

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、ビーチクラフトB300型機3次元値モデルに適用し、電波高度計帯域の詳細な遠方界放射特性を取得した。結果は、複数航空機間のWAIC機器および電波高度計の周波数共用検討に活用可能である。

3.3 電波高度計および航空機電磁干渉に関する国際標準化活動の実施

ICAO FSMP, EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 (WAIC標準化) およびEUROCAE WG-119/RTCA SC-239 (電波高度計標準化) に参加し、当所における研究成果を国際標準策定に反映した。ICAO FSMPおよびRTCA/EUROCAEにおいて、電波高度計の電磁干渉課題に関する寄与文書を各1件公表した。また、Global Aviation Spectrum Summit 2022に参加し、日本における航空機電波高度計と5Gモバイルシステムの電磁干渉課題の現状に関する発表を行った。

4. まとめ

令和4年度は、電波高度計の電磁干渉特性評価測定およびIPL特性評価測定、大規模電磁界数値解析を用いた遠方界特性推定および標準化活動を実施した。我が国の電波高度計の5Gモバイルシステムからの干渉影響において、基地局電力は若干米国よりも低い、ガードバンドが狭いため、総合的には米国よりも影響を受けやすいことを明らかにし、日本の5Gモバイルシステムの制度化に活用した。

掲載文献

- [1] S. Futatsumori, "Regulations of 5G mobile base station in Japan," RTCA SC-239/EUROCAW WG-99, Joint Plenary #7, Apr. 2022.
- [2] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 平賀 規昭, "航空機電波高度計の帯域内および帯域外干渉信号による電磁干渉特性 -3 種類の FMCW 方式の電波高度計を用いた測定評価 -, " 信学技報, vol. 122, no. 92, SANE2022-21, pp. 33-37, 2022 年 7 月.
- [3] S. Futatsumori, "Radio altimeter interference susceptibility test results under Japanese Sub-6 5G mobile communications system frequency conditions," ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG/15, Aug. 2022.
- [4] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 平賀 規昭, "航空機電波高度計の帯域内および帯域外干渉信号による電磁干渉特性 -同一型式のパルス方式電波高度計の電磁干渉特性のばらつき評価・分析 -, " 信学技報, vol. 122, no. 151, SANE2022-49, pp. 92-96, 2022 年 8 月.
- [5] S. Futatsumori, and N. Miyazaki, "Measurement of Pulsed Aircraft Radio Altimeter In-Band and Out-band Interference Threshold Power Due to Sub-6 band 5G Mobile Communication Systems," proc. of 2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC Europe, pp. 608-611, Sep. 2022.
- [6] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 平賀 規昭, "航空機電波高度計の隣接/同一周波数帯における電磁干渉特性自動測定系の構築," 2022 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-9, p.144, オンライン, 2022 年 9 月.
- [7] ニッ森 俊一, "航空機内データ通信および電波高度計の電磁環境評価に関する研究開発," 航空無線 113 号, 2022 年 9 月.
- [8] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会技術検討作業班資料 「電波高度計の電磁干渉特性取得試験-日本の 5G モバイルシステム周波数条件での評価と分析-」, 2022 年 10 月
- [9] S. Futatsumori, "Aircraft radio altimeter and 5G mobile system interference issues in Japan," Global Aviation Spectrum Summit 2022, Dec. 2022.
- [10] ニッ森 俊一, "電波高度計と 5G モバイルシステムの電磁干渉課題の現状," 電子航法研究所出前講座 (東京航空局), 2023 年 1 月. 他 5 件

滑走路面の堆積物の分布測定・状態分析のための基礎的研究【萌芽的研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 塩野谷 哲久

研究期間 令和 3 年度～令和 5 年度

1. はじめに

近年、爆弾低気圧等の異常気象により、短時間で厚い積雪が発生する頻度が増えてきている。このような積雪時には、滑走路面に設定された滑り係数を下回った際に、除雪を行うことで空港の安全を確保している。滑走路表面の積雪状況をリアルタイムに3次元的に計測することが可能であれば、冬季の空港の円滑な運用が保たれる。しかしながら、従来の積雪測定設備はポール下の1点において増加する積雪量を測定しているが、面的な情報を取得することはできない。また、空港では、積雪や水たまり等にて1/8インチ(3mm)の厚さを超える時、滑走路状態コードを変更して着陸前の機上のパイロットへ報告する必要があるため、その境目である薄い積雪を測定できる、新しい計測技術に対するニーズが高まっている。

本研究では、冬季に積雪の多い空港運用に係る安全性の向上、処理能力の維持、運用効率の向上等に資するため、滑走路状態コードの3mm厚の積雪等の堆積物の面的な分布を計測できる計測手法を開発する。

2. 研究の概要

本研究は令和3年度から令和5年度までの3年計画であり本年度は2年目である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

令和3年度 レーザー光の面的照射手法の検討

令和4年度 レーザー光細線化の検討

令和5年度 堆積物分類アルゴリズムの開発

3. 研究成果

本年度は、レーザー光細線化と共に、各種堆積物サンプルの測定データからレーザー反射の違いを抽出する信号処理手法、ならびに得られたデータからサンプルの厚さを計算するアルゴリズムを開発した。

焦点調整が可能なラインレーザーを導入し、限られたレーザー出力をできる限り狭い線の中に閉じ込めるよう、監視区域の中心付近でビームを調整し、線幅を最適化した。

また、実験室内で各種基礎データを取得した。薄い氷や水たまりの計測を行った。

さらに、アナログ的な信号対雑音比の向上のため、レー

ザー波長に合わせた光学フィルターを導入した。デジタル的な信号対雑音比の向上のため、レーザーのOn/Off時の差分の計算による環境光の影響を低減してレーザー線の散乱光のみを抽出する手法を開発した。これらを用いて、各種天候条件下での屋外試験による外光の影響を分析評価し、背景の影響を低減する計測手法を考案した。

これらの機器を用いて、画像解析用の教師データを作成するため、各種堆積物の画像データベースを作成した。

4. まとめ

本研究では降雪面の計測のため、赤外線を用いた測定技術の画質向上の検討を行った。また、氷、雪等のサンプルの計測を行い、各種データを収集した。

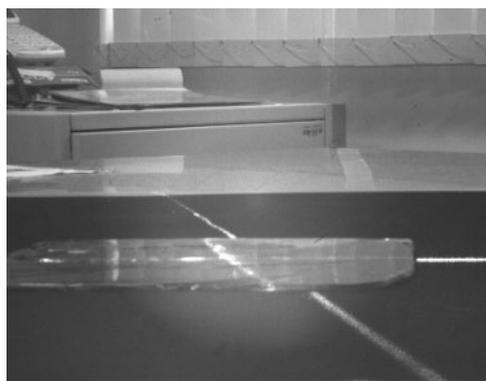


図 薄い氷の場合の滑走路模擬板上の映像

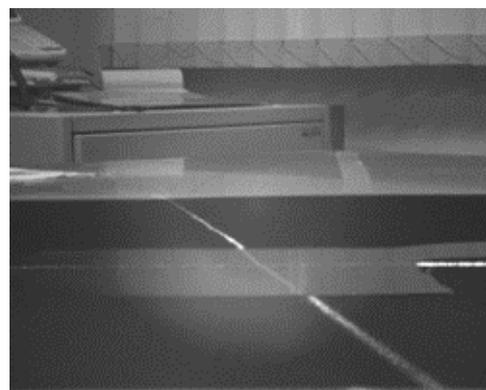


図 水たまりの場合の滑走路模擬板上の映像

掲載文献

- [1] 米本成人, 森岡和行, 河村暁子, ニッ森俊一, 渡辺優人,
“滑走路表面に堆積する雪氷の厚さ測定の試み,” 電子
情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 信
学技報, SANE2022-116, pp.96-100, 2023 年 3 月

セキュリティ検査のための画像化レーダー技術に関する基礎的研究【萌芽的研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行

研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

近年, 世界各地にテロの脅威が拡散し, 不特定多数の人が集まり警備が比較的緩やかな公共スペースを標的としたテロが増加し, セキュリティ対策の強化が喫緊の課題となっている。これらシステムの検査速度がセキュリティ検査の効率を左右するため, 高速に検査が可能となる機器の需要が高い。空港のように乗客に対するセキュリティ検査を実施する場所では, 検査に要する時間が検査効率を左右するため, 高速に検査が可能な機器が求められている。ミリ波レーダー技術を活用した電波を人や物体に照射し, 熱雑音を映像化する基本原理を検証した結果, 映像化した場合のコントラストが低く, ミリ波画像の高精細化, 高分解能化が必要ことが判明した。このため, 撮像性能を向上させる技術を開発している。

本研究では, セキュリティ検査のための画像化レーダーシステムの撮像性能向上を図る。熱雑音受信時の信号雑音比, および計算の処理速度を向上させる手法を開発する。また, 得られる電波画像の空間分解能を向上させるための手法を開発する。

2. 研究の概要

本研究は令和4年度から令和6年度までの3年計画であり本年度は1年目である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

令和4年度 受信機配列の検討

測定プログラム, 計算アルゴリズムの開発
国際標準化活動

令和5年度 基準受信機並列化方式の開発

測定・計算アルゴリズムの改修
国際標準化活動

令和6年度 性能評価試験

国際標準化活動

3. 研究成果

本年度は, 熱雑音を映像化する際の撮像性能向上に関する研究, および画像の空間分解能を高めるための配列方法の検討を行った。あわせて, レーダー画像の計算速度向上

手法や送受信アンテナ構成にあわせて任意の受信位置で受信する測定プログラム及び得られた信号から平面分布を推定し電波の波源位置を映像化する手法を開発した。

レーダー近傍において3次元イメージ画像を実測により分析した結果, 奥行き方向の信号劣化を観測した。このため, 3次元レーダーの計測信号を模擬するシミュレーションプログラムを開発したところ, 理論値と実験値が一致し, 近傍界における3次元信号の誤差評価の手法を確立することができた。アンテナ配置を自由に変更して, この手法を適用したシミュレーションを行ったところ, L字アレイで対角状に発生する像のにじみがロの字配置で低減できることが示せた。

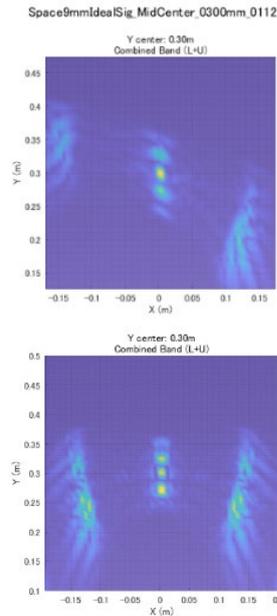


図 30cm離れた8cm金属球の3次元レーダーイメージの上面図における配置の違い。(上図, L字アレイ, 下図, ロの字アレイ)

掲載文献

- [1] Arie Setiawan, Naruto Yonemoto, Hitoshi Nohmi and Hiroshi Murata, “Analysis of Millimeter-Wave Imaging Using Dielectric Lens for Fourier Transformation,”APMC, Nov. 2022
- [2] Arie Setiawan, Atsuki Yamawaki, Naruto Yonemoto, Hitoshi Nohmi and Hiroshi Murata, “ Millimeter-Wave

Imaging Using Dielectric Lens for Security Application, ”
EuRAD, Sep. 2022

- [3] Norihisa Shionoya, "PUBLIC COMMENT PHASE ~AC20-158B", FAA, May 2022
- [4] 塩野谷 哲久, 米本 成人, "ハイブリッド・バンドル内における誘導電圧トランジェントの考察", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演概要集, 2022年9月
- [5] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 宮崎 則彦, 平賀 規昭, 佐藤 正彦, 能美 仁, “セキュリティ検査のための隠された凶器を検出する2周波FMCレーダーイメージャーの試作,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 信学技報 SANE2022-53, pp.18-23, 2022年11月
- [6] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Norihiko Miyazaki, Masahiko Sato, Noriaki Hiraga, Hitoshi Nohmi, “Dual band FMCW imaging radar for security inspections,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 信学技報 SANE2022-70, pp. 45-49, 2022年12月

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○森岡 和行
 研究期間 令和4年度

1. はじめに

将来的な航空交通量の増加が想定される中、効率的な航空交通管理を実現するためSWIM(System Wide Information Management)によるグローバルな情報共有システムが必要とされている。しかし、現在の航空通信システムでSWIMによる空地情報共有を行うには、通信速度、セキュリティ、非IP(Internet Protocol)対応等の観点から実現が困難である。特に、IP通信に対応した新しい航空無線システムの実現が必要不可欠である。

2. 研究概要

本在外研究では、IP通信に対応した次世代の陸域航空無線通信システムとして、国際民間航空機関(ICAO)航空通信パネル(CP)の Project Team-Terrestrial(PT-T)において標準化が進行中の LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System)に関する検討を実施した。下記の4つの研究目標を達成するため、4月～12月までの約9か月間、LDACS の設計・開発・標準化を牽引してきたドイツ航空宇宙センター(DLR)に滞在した。

1. LDACS プロトタイプの開発・性能改善
2. 欧州プロトタイプとの相互接続試験の実施
3. 将来の航空通信システムに関する動向調査
4. 将来の共同研究へ向けた若手研究員との交流

3. 研究成果

3.1. LDACS プロトタイプの開発・性能改善

図1に開発したLDACSプロトタイプの外観と屋内試験構成を示す。滞在中、信号記録機能、IPv6対応、Quality of Service (QoS)機能等の新規機能の開発や低遅延化等の性能改善を実施した。図2にQoS機能の評価結果を示す。図2(a)はQoS機能が無効、(b)はQoS機能が有効な場合の通信速度を、図中のLow, Medium, Highは優先度の高低を示している。図より、QoS機能が無効な場合には、すべての優先度において通信速度が頭打ちになるのに対し、QoS機能を有効にした場合には優先度の低い通信を犠牲にすることで、優先度のより高い通信速度が維持できている様子が分かる。

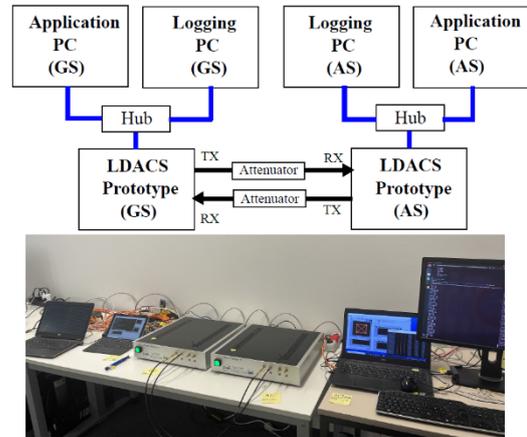


図1. LDACS プロトタイプの外観と屋内試験構成

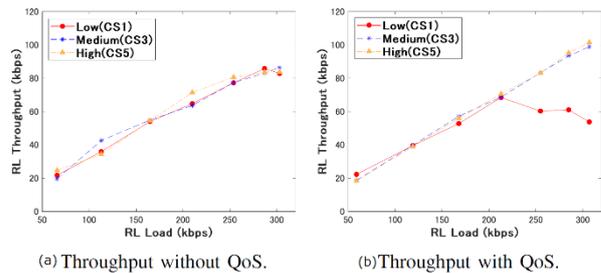


図2. QoS機能の評価結果

3.2. 欧州プロトタイプとの相互接続試験の実施

2022年7月に実施された、Single European Sky ATM Research(SESAR)プロジェクトにおけるLDACS飛行実験[3]に合わせて、SESARプロトタイプとENRIプロトタイプの相互接続試験を実施した。図3に相互接続試験構成を示す。試験中、ENRIプロトタイプは受信専用モードで動作し、SESARプロトタイプの送信するメッセージを復号した。図4に、SESARプロトタイプの送信するメッセージをリアルタイムで復号している様子を示す。「SIB」、「GSPB」等の制御信号や、ユーザが送信したテキストメッセージ「The quick brown fox jumps over the lazy dog...」が正常に復号されている様子が分かる。

相互接続試験の結果明らかとなった、LDACS仕様の曖昧な記述や誤記等は、検証結果[4]とともに標準化活動へフィードバックされ[5]、LDACS仕様書に反映されることとなった。

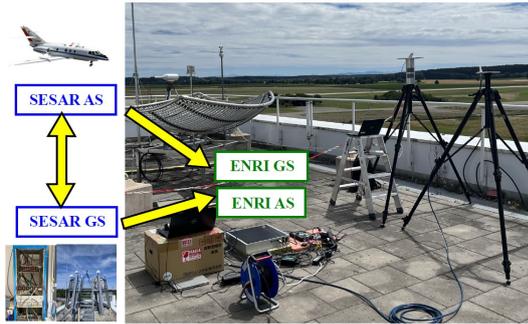


図3. 相互接続試験構成

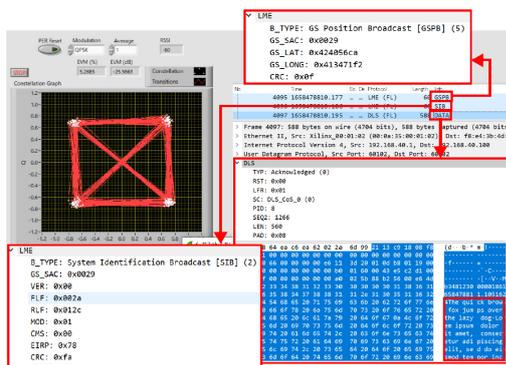


図4. SESAR プロトタイプの送信するメッセージをリアルタイム復号している様子

3.3. 将来の航空通信システムに関する動向調査

DLR が主催する技術交流セミナーに参加し、将来の航空通信システムに関する動向調査を行った。航空機同士の直接通信方式、無人航空機やドローン間通信方式等、今後の研究の参考情報を調査でき、将来の共同研究へ向けた議論を実施することができた。

3.4. 将来の共同研究へ向けた若手研究員との交流

DLR の若手研究員との共同実験を企画・実施し、共著論文の投稿発表につながっている [6][7][8]。また、これらの共同実験を進展させ、将来の航空通信システムに関する共同研究を実施するため、DLR と ENRI が有する包括研究協力合意のもと、DLR 通信航法研究所との間で4年間の共同研究契約を締結できた。

4. まとめ

本在外研究では、IP通信に対応した次世代の陸域無線通信システムとして、LDACSに関する検討を実施した。LDACSプロトタイプの開発・性能改善を実施し、LDACS仕様の検証試験を実施した。また、欧州プロトタイプとの

相互接続試験を実施し、SESARプロトタイプの送信する信号をリアルタイムに受信・復号することに成功した。検証試験や接続試験の結果はICAOのCP PT-Tへ提出し、LDACSの国際標準化に貢献した。さらに、DLRの若手研究員との共同実験や議論を通して、将来の航空通信に関する共同研究を締結することができた。

発表文献

[1] Project Team – Terrestrial (PT-T), “Draft LDACS SARPs Validation Activity Report (ENRI part)”, ICAO CP-DCIWG/5, May, 2022.

[2] K. Morioka, T. Gräupl, M. Schnell, “LDACS Validation Activity in ENRI and Cooperation with DLR”, The Proceedings of the International Workshop on ATM/CNS (IWAC) 2022, Oct, 2022.

参考文献

[3] T. Gräupl, D. M. Mielke, M. A. Bellido-Manganell, L. Jansen, N. Mäurer, A. Gurbuz, A. F. Dhaubhadel, L. Schalk, S. Kurz, J. Meser, M. Skorepa, F. Wrobel, K. Morioka, “LDACS Flight Trials: Demonstration of ATS-B2, IPS, and Seamless Mobility”, The Proceedings of the Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2023, Apr, 2023.

[4] K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, “ENRI Technical Validation Report (ENRI TVALR)”, ICAO CP-DCIWG PT-T/20, Sep, 2022.

[5] K. Morioka, S. Futatsumori, J. Kitaori, Y. Sumiya, N. Yonemoto, A. Kohmura, “Feedback from ENRI Technical Validation”, ICAO CP-DCIWG PT-T/20, Sep, 2022.

[6] K. Morioka, T. Gräupl, M. Schnell, “LDACS Validation Activity in ENRI and Cooperation with DLR”, The Proceedings of the International Workshop on ATM/CNS (IWAC) 2022, Oct, 2022.

[7] L. Jansen, N. Mäurer, T. Gräupl, T. Ewert, C. Schmitt, K. Morioka, “A Software Framework for Synthetic Aeronautical Data Traffic Generation in Support of LDACS Evaluation Activities”, The Proceedings of the Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2023, Apr, 2023.

[8] N. Mäurer, L. Jansen, T. Gräupl, T. Ewert, C. Schmitt, K. Morioka, “International LDACS Security Validation Activities - A Cooperation Effort between DLR and ENRI”, The Proceedings of the Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2023, Apr, 2023.

3次元イメージングレーダーによるセキュリティ検査システムの研究開発【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行

研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

公共交通機関の安全性向上のため、セキュリティ検査の実施に対する需要は高まっている。しかしながら、既存のセキュリティ検査システムは被験者を静止させて計測する必要がある事から、時間がかかり、交通流の多い場所での導入が難しい。本研究開発では、改札、エスカレータなど、既存の人流の中で、人々の間隔を広くとれる場所を利用して、動きを止める事無く一人一人への検査を実施するため、3次元イメージングレーダーを用いたセキュリティ検査システムを開発することを目的とする。

2. 研究の概要

本研究は国土交通省の公募型研究「交通運輸技術開発推進制度」に国立大学法人三重大学とアルウェットテクノロジー株式会社との共同提案として採択された。弊所は研究代表として全体の統括と危険物の3次元イメージングの技術開発を担当している。

本研究は令和4年度から令和6年度までの3年計画であり、本年度は1年目である。年度別の主たる実施事項は以下のとおりである。

令和4年度 3次元イメージ計測手法の開発

令和5年度 危険物検出アルゴリズムの開発

令和6年度 危険物検出システムの検証

システムの総合評価

3. 研究成果

今年度は、価格に応じて複数のクラスタを繋ぎ合わせて、高画質化が可能となるクラスタ型レーダー構造を提案し、システムデザインを行った。それに伴い、1つのクラスタをできる限り小さく製作するため、従来の開口サイズ（縦横約15cm幅）の1/4の面積に2倍の素子を配置した送受信アレイを開発した。また、レーダー信号から3次元的な反射強度の分布を計算するアルゴリズムについて、並列コンピューティングを用いて計算する高速化アルゴリズムを開発した。従来のシステムで計測された送受信機1024組み合わせの電波反射データから、縦横高さ方向に64分割した、256kポイントの空間に対して、計測値を積分して、3次元的な散乱電波の分布を計算した。従来は計測後の処理

で30秒程度を必要とした計算を、約0.5秒で計算し、かつ画像化することが可能となった。これにより、従来の後処理でない、リアルタイムに撮像し、画像処理できる方策への道筋が示せた。

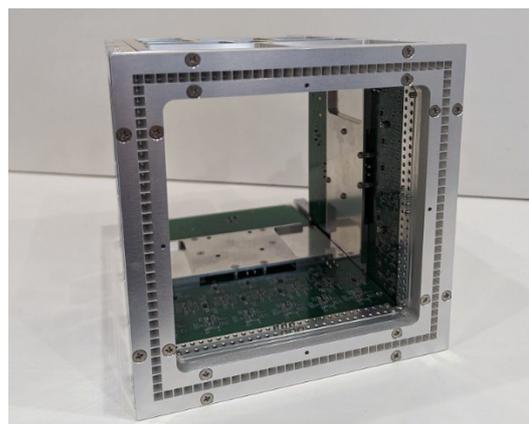


図 製作した3次元レーダーイメージャの送受信部の外観

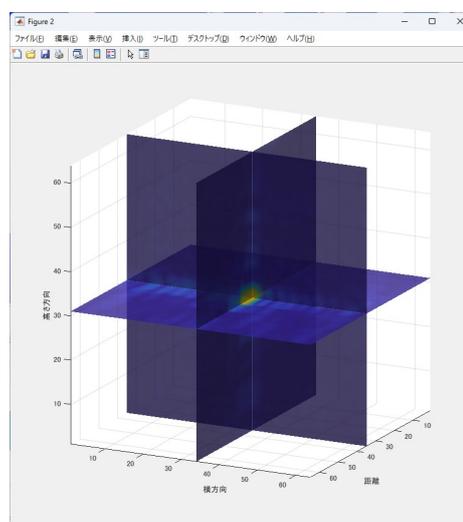


図 並列コンピューティングで計算した金属球測定データの3次元イメージ

掲載文献

- [1] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Norihiko Miyazaki, Masahiko Sato, Noriaki Hiraga, Hitoshi Nohmi, “Dual band FMCW imaging radar for security inspections,” 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 信学技報 SANE2022-70, pp. 45-49, 2022年12月

担当領域 監視通信領域
担当者 ○ニッ森 俊一
研究期間 令和2年度～令和5年度

1. はじめに

近年、自動車事故防止のための安全システムへの適用を中心に、ミリ波レーダ等を用いた運輸安全技術に関する議論や、関連する安全システムの研究開発が国内外で活発に行われている。自動車分野においては低コスト化に伴い、実用化が進み安全システムの装備率も年々増加している。

こうした背景の中、提案者らの研究グループでは、これまで76 GHz帯ミリ波レーダをセンサデバイスとした、ヘリコプタの前方2マイル程度に存在する送電線等の障害物を探知するための前方監視システムを開発している。従来の前方監視用ミリ波レーダの最も大きな課題の一つとして、対象物の探知率向上の課題と小型化の要求がある。送電線等から反射波を取得するため、アンテナを機械走査することで、高利得のペンシルビームを得ていた。一方、機械走査では、ビーム照射率およびデータ更新頻度に制限がある。これらから、送電線等の低RCSの線状障害物を、1マイル以上の遠距離で高頻度に探知するための新たなレーダ技術が必要であることが明らかとなった。

2. 研究の概要

本研究の目的は、小型平面アンテナ構造かつ線状障害物を高頻度で検出可能な性能を有するミリ波レーダを、MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) レーダ技術に基づいて実現することである。具体的には、次の三項目を、実験と数値解析の両面から、3か年計画で研究を進める。

- (1) 送電線等の線状障害物探知に適したミリ波平面アンテナ構築技術
- (2) ミリ波MIMOアンテナアレイによるアンテナ開口面合成技術
- (3) MIMOレーダを用いた長距離からの線状障害物探知技術

3. 研究成果

令和4年度は主として、信号処理回路とミリ波レーダ部を組み合わせた実験系構築、地上送電線探知試験およびミリ波レーダ要素技術開発を実施した。信号処理回路のAD変換器およびFPGAを更新し、信号処理能力を向上させることで、これまでよりも細かい距離分解能 (30 cm) で、

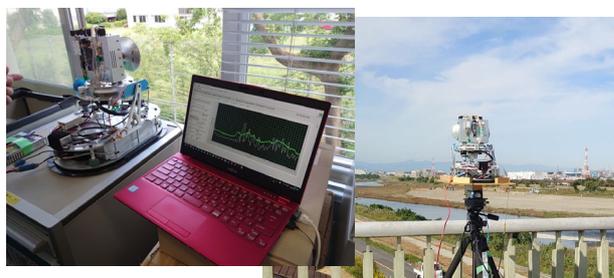


図1. 構築した実験系および地上送電線探知試験状況
遠距離 (4 km以上) までを探知覆域とすることが可能となった。その結果、探知性能を維持しつつ、従来よりも高分解能なレーダ探知結果が得られることを確認した(図1)。

4. まとめ

次世代ヘリコプタ前方障害物探知センサにMIMOレーダ技術を適用するため要素技術開発を実施した。令和5年度は構築した実験系を用いた試験評価およびデータ取りまとめを行う予定である。

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (C) (20K04931) により実施された。

掲載文献

- [1] ニッ森 俊一, “ヘリコプタの障害物探知技術 ～ミリ波レーダを用いた障害物探知技術の研究開発状況～”, 小型機と安全運航, Oct. 2022
- [2] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, “ヘリコプタ前方障害物監視用76 GHz小電力ミリ波レーダにおけるレドーム影響評価 -レドームによる探知性能劣化影響評価のための地上試験-,” 信学技報, vol. 122, no. 346, SANE2022-95, pp. 35-39, 2023年1月.
- [3] Shunichi Futatsumori, “Dielectric Material Constant Sensitivity Analysis of 3D-Printed W-Band Reflector Fresnel Lens Antenna Based on Acrylonitrile Butadiene Styrene,” Proceedings of 2023 International Applied Computational Electromagnetics Society, Mar. 2023.
- [4] ニッ森 俊一, “ミリ波を用いたヘリコプタ障害物監視支援技術”, 電子航法研究所リーフレット, Nov. 2022

3次元ミリ波マルチホップネットワークによる洋上気象情報共有システムに関する研究【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 令和2年度～令和5年度

1. はじめに

携帯電話システムの発展により今や陸上のどこにいてもインターネットにつながる世界が実現している。その中で未だに洋上のみが情報から隔絶されている状況にある。衛星通信の発展により改善されているものの、衛星通信システムは地上システム、宇宙システム、機上システムからなる大規模なシステムであり通信コストが高いことが欠点である。さらに、衛星通信の通信速度は低速であり、遅延も大きい。特に、現場のパイロットからは、洋上で航路上における乱気流等の気象情報を共有できるシステムが切望されている。航路上における広域な気象情報を共有することができれば、事前に最適な航路を選択でき燃費削減につながる事ができる。本研究では、機上・船上システムからのみ構成できる、低コスト・ローカル情報共有システムの実現をめざし、物理層、MAC層、アプリケーション層の観点から要素技術の研究開発を行う。

2. 研究概要

物理層に関しては、長距離大容量ミリ波通信技術の開発を行う。本研究では、信頼性の要求される航空無線に適した通信方式として STBC-CPM (Space Time Block Coded - Continuous Phase Modulation) 方式のミリ波通信への適用について検討を行う。

MAC 層に関しては、遅延耐性無線マルチホップ通信技術の開発を行う。航空機の移動に伴い、高速で変化する3次元トポロジー上において、いかに効率的にマルチホップ通信を実現するかについて検討する。

アプリケーション層に関しては、気象情報等のデータを効率的に統合・共有・更新するためのローカルデータベース管理技術に関する検討を行う。

本研究は4か年計画で実施する。

3. 研究成果

3年目である本年度は、物理層に関して、送信16本・受信16本のMIMO (Multiple Inputs and Multiple Outputs)アンテナシステムを評価するための環境構築を実施した。図1に構築した評価環境の外観を示す。

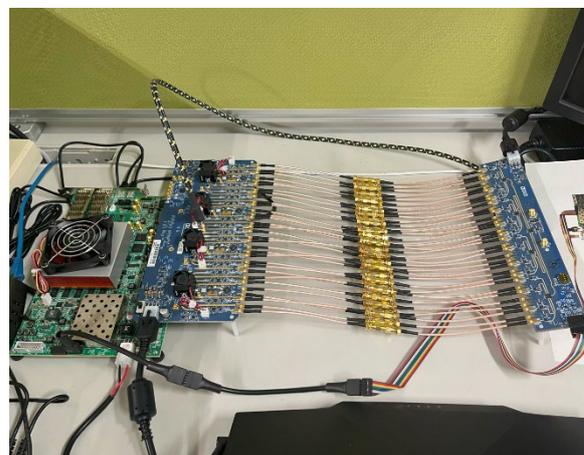


図1. 構築した16x16 MIMO 対応評価環境

本システムは図1左側のソフトウェア無線(SDR)ボードと右側のキャリブレーションボードから構成される。各アンテナポートの位相差等はキャリブレーションボードを用いて補正することができる。また、SDRボードでは、任意の波形を生成して送信することができる。次のステップとして本研究のターゲットとする STBC-CPM 波形を生成・送信し、提案方式の実現可能性や有効性について評価していく予定である。

MAC層、アプリケーション層の上位レイヤに関しては、本年度は文献調査を中心に進めた。今後、開発したシミュレーションモデルに既存のマルチホップルーティング手法を実装して評価するとともに、改善案について提案していく予定である。

4. まとめ

本研究では、機上・船上システムからのみ構成できる、低コスト・ローカル情報共有システムの実現をめざし、物理層、MAC層、アプリケーション層の観点から要素技術の研究開発を行っている。次年度以降、ネットワークシミュレータと構築した物理層評価システムを用いてミリ波通信に適した通信方式として検討してきたSTBC-CPM技術の有効性の検証評価を実施していく予定である。

謝辞

本研究はJSPS科研費20K19795の助成を受けたものです。

位置検証と位置推定の融合：受信信号強度を例として【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域
担当者 ○長縄 潤一
研究期間 令和2年度～令和4年度

1. はじめに

位置検証とは移動体が報告した位置情報の正しさを検証するために、無線信号の特徴量との整合性を調べる技術である。他方、位置推定は特徴量から移動体位置を推定する技術である。位置検証と位置推定の代表例はそれぞれADS-Bの成りすまし対策とマルチラレーションである。両者は無線信号を用いるなどの共通点があり、直感的には類似性があるが、これまで独立して研究されてきた。位置検証の理論を確立し、位置推定と統合できれば、発展の基盤となることが期待される。

2. 研究の概要

本研究はJSPS科研費20K14743の助成を受けている。本研究では、位置検証の理論を位置推定と統合した形で確立し、活用することを目指している。具体的には3ヶ年計画で以下の3項目を実施している。

- ① 位置検証と位置推定を統合した理論の導出
- ② ADS-B応用を通じた理論の実践的検証
- ③ 理論の活用による有用な知見の導出

これまでに①～③を実施し当初設定した目標を達成しているが、令和4年度は②に関する実験を再度実施してデータを蓄積するとともに、追加的な課題に取り組んだ。

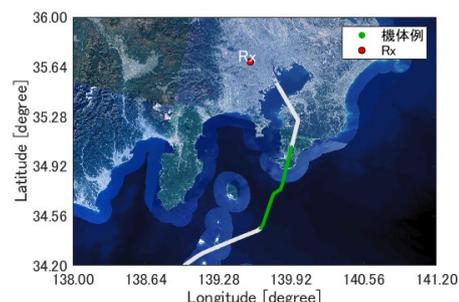
3. 研究の成果

3.1 ADS-Bにおけるフェージング対策

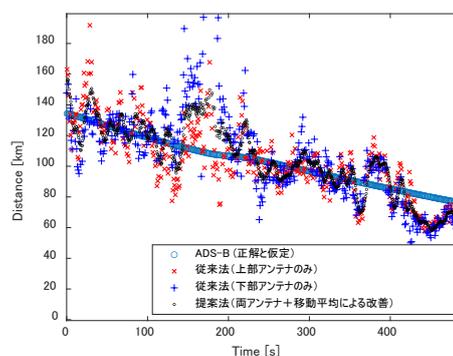
本研究では受信信号強度から距離を逆算し、位置検証や位置推定に利用している。しかしながら、昨年度の実験でフェージングによる誤差が顕著であることが分かった。そこで、アンテナダイバーシティと移動平均フィルタによる誤差の抑制を試みた。図1には結果例を示す。この例では標準偏差が14.5 km（下部アンテナのみ）および19.8 km（上部アンテナのみ）から12.3 kmまで改善した。106機体を評価し、同様の改善効果を確認できた。

3.2 機械学習の活用方法の検討

本研究の理論構築には古典的な手法を用いた。一方で、近年は機械学習の発展が著しく、本研究のさらなる発展には機械学習を取り入れる必要があると考えられた。そこで、



(a) 選択した機体（緑色が手法適用箇所）



(b) 推定した距離

図1 実験結果の一例

サポートベクトルマシン (SVM) の適用を試みた。SVMは測定データを囲むような判定境界を自動で学習し、その境界の外側を不正なデータと判断する手法である。ADS-Bの測定結果に適用した結果、判定境界の自動獲得に成功した。また、判定境界により不正が疑われる位置情報（例えば、遠方にも関わらず受信電力が強すぎるもの）を検知できることを確認した。しかしながら、判定境界の特徴を分析したところ、遮蔽の有無や交通流の有無といった要因を考慮せず学習をしてしまうため、結果を注意深く考察すべきであることが分かった。

4. まとめ

今後は重点研究等において、利用する特徴量を受信信号強度のみならず信号到達時間差や信号到来角にも広げることで本研究の成果を活用する。

掲載文献

- [1] J. Naganawa, "Theoretical Analysis of Position Report Verification using Distance-based Localization," ISAP 2020, Osaka, Japan, Jan. 2021.
- [2] J. Naganawa, H. Miyazaki, "Aircraft-Receiver Distance Estimation Using ADS-B Signal Strength for Position Verification Application," 2021 IEEE-APS APWC, pp. 178-183, Aug. 2021.
- [3] J. Naganawa, "Comparison of Direct and Localization-based Methods for Position Verification using Distance Measurement," 2021 IEEE TENCON, pp. 179-184, Dec. 2021.
- [4] J. Naganawa, "Improvement in RSSI-based Distance Estimation for Aircraft ADS-B Signal by Antenna Diversity," MMU Engineering Conference 2022, July 2022.
- [5] 長縄, "受信信号強度と機械学習を用いた簡易な航空機位置検証法," 信学技報, vol. 122, no. 346, SANE2022-92, pp. 22-27, 2023年1月.

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○北折 潤
 研究期間 令和3年度～令和5年度

1. はじめに

近距離航空機監視システムは航空交通量が少なく比較的狭い範囲の航空機監視に適しており、安価な航空機監視センサーとしての需要が期待される。同システムは本来、複数の送受信局を用いて対象機を測位する一種のマルチラレーションである。しかし各局の設置位置が近すぎると測位精度が不十分となるため、離れた位置に局を設置する用地の確保に難を生じる恐れがある。この点を解消するためにシステムを最小構成の送信局1局、受信局1局構成とすると、受信局に信号到来方向探知機能を付加する必要が出てくる。

これまで航空機用の方向探知アンテナは存在したが、角度方向の分解能が10度程度と荒く、同システムのニーズに適した高い角度分解能を持つ方向探知アンテナはなかった。本研究では、高い角度分解能が得られるアンテナ素子配置及び信号処理方法を明らかにし、同システムの受信局に適した方向探知アンテナを開発する。

本開発目標が達せられれば、同システムでの配置局数を最低限に抑えられ、通常のSSRに比べて極めて安価な航空機監視センサーを提供できる見通しが得られる。

2. 研究の概要

航空機からの応答信号は、通常どの方向から到来するか事前にはわからない。このため、航空機監視のための方向探知アンテナは、角度推定の等方向性があり角度分解能が高いことが望ましい。その一方でアンテナ素子数が少なければシステム設計や取扱い等の面で有利である。また、複数の航空機から同時に送られてきた信号を実時間処理で分離できることも要求される。本研究では、要求されるこれらの事項を実現するべく技術の研究開発を行う。

本研究は3カ年で実施する。主な実施項目は以下の通りである。

- ・アンテナ素子配置の検証および実験装置の設計
- ・電波無響室での信号到来方向推定実験およびシミュレーション結果と比較検証
- ・実時間処理の実装と飛行中の航空機からの応答信号を用いた検証

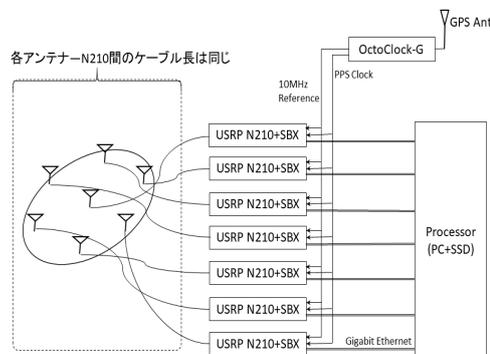


図1 実験装置ブロック図

3. 研究の成果

本年度は、アンテナ素子配置の実験装置を製作した。ハードウェア設計は昨年度の成果によった。図1に示すように、円形アレーの1素子毎に汎用ソフトウェア無線機器(USRP)1台を接続し、7台のUSRPが1台のPCとイーサネット経由で個別に対向通信できるようPCにギガビットネットワークインターフェースを増設した。これにより通信速度の低下を防ぐとともにUSRPにおける10Mサンプル/sのサンプリングレートを確保した。ソフトウェア実装ではPython及びGNU Radio等のライブラリを利用して各USRPでの同時サンプリングを実現した。またキー押下のタイミングに合わせて一定長のサンプリング信号を記録するアプリケーションを製作した。

製作した実験装置とアプリケーションを使って、方向探知機能の動作検証を行った。実験概要を図2に示す。電波無響室において送信周波数1090MHz、垂直偏波の連続波信号を送信電波に用いた結果、MUSIC法にて信号到来方向に対して概ね±3度以内の誤差で角度検出できること

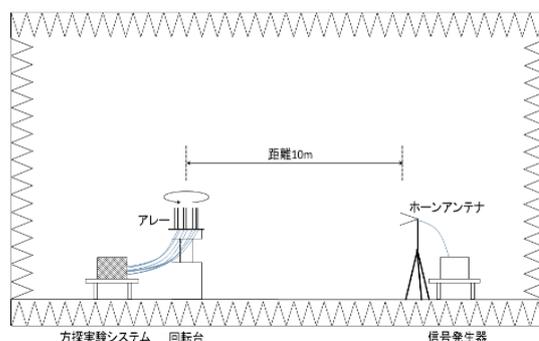


図2 電波無響室実験概要

を確認した。なお本来の信号到来方向以外の偽像となる MUSIC スペクトラムピークが発生する等一部の結果では大きな角度誤差が見られた。アレー各素子間のインピーダンス行列を測定し素子間相互結合の影響を校正したが、偽像を十分に除去できなかった。

4. まとめ

本年度はアンテナ素子配置の実験装置を製作し、電波無響室にて動作検証を行った。MUSIC 法を用いておおよその信号到来方向を検出できることを確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K04053 の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

掲載文献

- [1] 北折 潤, 塩見 格一, “円形アレーを用いたモード A/C 応答方探実験システムの開発,” 電子情報通信学会 技術研究報告, vol.122, no.346, SANE2022-97, pp.46-50, Jan. 2023.

安全な ADS-B を実現するための空港面量子鍵配送方式【競争的資金研究】

担当領域 監視通信領域
担当者 ○金田 直樹, 宮崎 裕己
研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

航空交通の安全性を確保する航空交通管理のためのインフラには、高度のサイバーセキュリティ対策が必要不可欠であり暗号化は有効な対策である。暗号化するためには送信者と受信者が秘密の鍵を共有する必要があり、安全に鍵を共有する方法が問題となる。この問題は鍵配送問題と呼ばれ、対策として解読に数万年を要するために安全とされる公開鍵暗号が一般的に用いられる。しかし、現在の公開鍵暗号は将来的に量子コンピュータが実現すると数時間で解読できてしまう。公開鍵暗号によらない鍵配送問題の解決策の一つとして、量子鍵配送(Quantum Key Distribution, QKD)がある。QKD は量子力学の基本原則により鍵の漏洩がないことを保証でき、現在の公開鍵暗号より安全性が決定的に優れている。

本研究では、2040 年頃に航空交通管理のためのインフラとして予想される ADS-B において、空港面の航空機と地上施設の間で光通信による QKD が利用できるか技術的な検証を行う。

2. 研究の概要

量子複製不可能定理により、任意の量子状態を増幅することは不可能であるため QKD では伝送損失と雑音を減らすことが重要である。本研究は、3 か年計画で以下の研究開発を実施する。

- (1) 空港面における航空機と地上間の光伝送損失と環境光を測定し、QKD の性能を推定する。
- (2) 2040 年頃の航空交通管理のためのインフラとして ADS-B を想定し、QKD によるセキュリティ改善のための手法を検討する。

初年度の令和4年度は、(1)の前段階として波長 1550 nm 及び広帯域の光自由空間損失を測定する方法を検討した。

3. 研究成果

3. 1 波長 1550 nm での伝送損失測定

光通信システムの性能は送信部の光源、伝送路、受信部の光検出器の3つに依存する。一般的な実験室の自由空間光学系では光源、鏡、レンズなどの光学素子を光学定盤上に配置するが、実環境での振動に弱い。このため測定する

光学系は可能な限り光ファイバで接続した。波長 1550 nm、出力 -5.0 dBm のレーザを光源に用い、コリメータにより集光して自由空間へ射出し、離れた場所の光パワーメータに入射させた。空間の途中で透明な板を挿入し、窓材の損失を測定できることを確認した。これにより、窓越しの光通信実験による QKD の性能評価が今後期待できる。

3. 2 伝送損失の波長依存性

QKD に適した波長を調べる上で、まず図1のように伝送損失の波長依存性を実環境で測定する手法を検討した。光源には白熱電球を用い、400 nm から波長 1500 nm までの連続スペクトルを持つ白熱電球の特性を活かした広い帯域の測定を一括して行った。光源から 1m 離隔した位置に設置した光検出器には、入力分解能帯域幅を設定できる光スペクトラムアナライザを用いた。測定の結果、光源の光出力を十分な精度で推定できず、今後の課題となった。

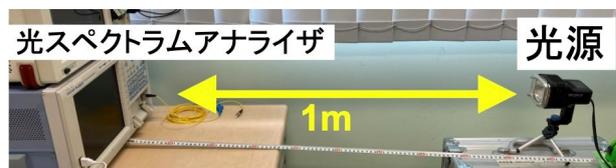


図1 自由空間光伝送損失評価

4. まとめ

令和4年度は実環境での自由空間伝送損失の測定手法について検討し、簡易な光学系で伝送損失の測定ができるが、光出力の推定精度が低かった。令和5年度は光出力の推定精度改善と共に車載での伝送損失評価と QKD の ADS-B への適用について検討する予定である。本研究は JSPS 科研費 22K04098 の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] 金田 直樹, 宮崎 裕己「量子鍵配送の民間航空分野への適用に関する検討」, 電子航法研究所研究発表会, 2022年6月

担当領域 監視通信領域
 担当者 ○井上 諭
 研究期間 令和4年度～令和6年度

1. はじめに

従来の安全学は、線形的因果関係を想定した事故モデルに基づく事故・インシデントの発生予測とそれに対する多重防護に拠ってきた（Safety-I）。一方、近年、事故・インシデントは人－人工物－環境の動的で複雑な相互作用から生じる創発現象であるため、従来の安全対策では対処しきれないことが認識されるようになってきた。この問題意識から提唱された新しい安全学（Safety-II、レジリエンス工学）は、従来の安全対策に加えて、現場の作業者が様々な状況変動に対してどのように適応的に対応し安全を実現・維持しているかを理解し、それを支援・強化することの重要性を指摘している。本研究ではこのレジリエントなチーム協調に焦点を当ててメタ認知的なアプローチの実験的な手法を検討する。

2. 研究概要

本研究では、チーム協調を対象とし、タスク要求や作業条件の変化といった様々な種類・程度・時間変化の外乱・変動に適切に対応するレジリエントなチーム協調の背後にあるメタ認知メカニズムを解明すること、そのためのアプローチとして参加者実験と計算機シミュレーションの双方を活用する方法論を示すことを目標とした3ヶ年の研究であり、本年度は初年度である。具体的には、参加者実験によるレジリエントな“チーム協調行動・コミュニケーション”の特徴的パターンとその背後にある理由（“チームメタ認知”）の特定、シミュレーションを用いた構成論的アプローチによるチームメタ認知に関する新たな仮説の生成、実験による仮説検証、および必要な実験・シミュレーション技術の開発に取り組む。本研究は東京大学大学院菅野太郎准教授が代表のJSPS 科研費基盤研究(B)22H01723の助成を受けて研究分担者として実施するものである。

3. 研究成果

本年は発話分析などの質的分析に取り組んだ。質的分析では、一次分析としてコーディングが行われるが、既存のコーディング手法は、作業負荷が大きく、適切な判断が難しいため正確な結果が得られない、分類者によって結果が

大きく異なる、などの課題がある。また、質的分析で扱う行動や発話に関するカテゴリデータは、数値データではないため、定量的な分析が難しい。そのためここでは、「作業負荷の軽減と正確性の向上を可能にする新しいコーディング手法の開発」と「発話の定量的・連続的な分析手法の開発」を目指した。

3.1 一次分析手法の開発

従来のコーディング手法では、分類者は1発話ごとに、並列に並んだ複数のカテゴリの中から、最も適切な項目を1つ選択する必要があるため、分類者への負担が大きく、それに伴い正確性が下がってしまう課題があった。本研究では、マトリックス形式のコーディングスキームを開発した。この手法では一度のコーディングにおける選択肢が少なく分類者への負担を小さくでき、正確性が高くなることが期待できる。さらに、1度のコーディングで全項目のコーディングに加え、遂行動詞コーディング、発話内容のコーディング結果も同時にデータを得られる。

3.2 二次分析手法の開発

パターンの時系列分析に関してリカレンスプロットを用いた分析を行った。また、リカレンスプロットの持つ課題を解消するために、新たにレーベンシュタイン距離を適用した分析手法を開発した。

リカレンスプロットを適用することで、発話内容の連続的な周期性や繰り返しを可視化し、さらにプロットの定量的な指標を算出した。リカレンスプロットは、システム挙動を表す変数の、時系列的なターンや構造変化を視覚的に示すものである（図1）。

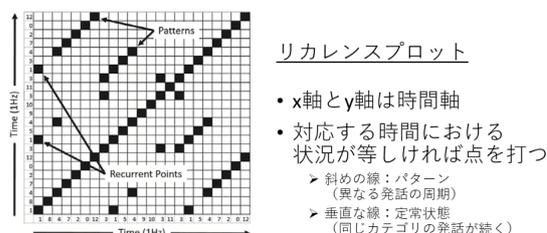


図1 リカレンスプロットの概要

本研究では、コーディングの結果を横軸と縦軸に置き、2つの（横軸と縦軸の）要素が一致するセルにプロットした。リカレンスプロットに現れる右上に伸びる対角線は、連続した発話内容の周期性を表し、垂線は定常状態を表す。

また、Recurrence Quantitative Analysis (RQA) により斜めの線や垂直な線をなすプロットの割合を計算することで、発話の連鎖的なパターンの出現や、同じ発話の連続を定量的に評価することができる。縦軸と横軸の要素が完全に一致する場合にしかプロットされないという、リカレンスプロットの持つパターンを捉えづらいという課題があったが、本研究では新たにレーベンシュタイン距離をリカレンスプロットに適用することで、パターンの可視化を試み、完全一致のパターンのみではなく、似たパターンを考慮することが可能となることで、従来のリカレンスプロットでは見られなかった発話内容の周期性や繰り返しについて捉えられることが可能となった。

4. まとめ

本研究で提案した一次分析手法を用いることで、分類者への負荷は小さくなり、コーディングの正答率が上がることがわかった。さらに、二次分析手法はチームレジリエンスを評価するための手法の1つとして有効であると考えられる。これらの考え方を応用し、今後は質的分析において、本研究で述べた手法を適用することで量的な議論が可能になれば、様々な連続的データとの相関分析が可能になり、チームの動的な協調プロセスを評価できることが期待される。

4 研究所報告

当研究所の令和4年度における研究所報告は、下記のとおりである。

No	発行年月	論文名	領域名	著者
135	令和4年12月	GNSSにおけるRAIM補強の理論とアルゴリズム	航法システム領域	坂井 丈泰
		空地統合SWIMに基づいた4次元軌道共有と調整の国際連携実証実験による検討	監視通信領域	呂 暁東 森岡 和行 古賀 禎 北折 潤 住谷 泰人

5 受託研究

当研究所の令和4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
カメラ画像、ミリ波レーダ及びMLATを利用した航空機等の監視技術の検討	(一財) 航空保安無線システム協会	井上 諭
周波数の国際協調利用促進に資する磁気低緯度地域における電離圏環境調査に関する請負	総務省	齋藤 享
(委託元からの指示により非公開)	(委託元からの指示により非公開)	坂井 丈泰
令和4年度「測位補強サービスの性能評価に係る評価手法の指導及び検証」	(一財) 日本宇宙フォーラム	北村 光教
MVR受託研究 13及び14号機 特性試験	住友重機械工業 (株)	米本 成人
準天頂衛星を利用したSBASによるLPV提供に関する整備の認証作業に係る技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	小田 浩幸
航空機動態情報 (Downlink Aircraft Parameters (DAPs)) データの取得利用技術の指導	(株) ソニック	吉原 貴之
CARATS公開用データ等作成作業	航空局	岡 恵
GNSSアンテナのパターン計測	(大) 東京海洋大学	毛塚 敦
遮蔽フェンスによるILS電波干渉解析に係る作業支援	(株) 日本空港コンサルタンツ	本田 純一
タイ国スワンナプーム空港地域における「2022年度東南アジアにおける電離圏調査」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	齋藤 享
令和4年度CNS性能評価業務に係る支援作業におけるMSASサービスの性能保証に係る作業支援	(一財) 航空保安無線システム協会	北村 光教
航空分野における衛星測位システム利用に関する調査技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	小田 浩幸
タイ国スワンナプーム空港地域における「実証機材のパラメータ設定及び総合試験」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	齋藤 享
「ASEANにおけるGNSS導入計画の要員養成プロジェクト (GIPTA)」に対する技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	小田 浩幸
洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業	(一財) 航空交通管制協会	森 亮太
MVR受託研究 15及び16号機 特性試験	住友重機械工業 (株)	米本 成人
近傍界計測作業	防衛装備庁	二ッ森 俊一
近距離航空機監視システム性能検証実験支援2022	リオン (株)	北折 潤
令和4年度「IGMA活動支援および測位性能評価」におけるIGMA活動の支援作業	(一財) 日本宇宙フォーラム	坂井 丈泰
MVR受託研究 16号機 特性試験 (再)	住友重機械工業 (株)	米本 成人
フェーズドアレイアンテナのトータルゲイン及びパターン測定	アルウェットテクノロジー (株)	米本 成人
ILS前方区域における積雪影響に係るシミュレーション作業支援	(株) 日本空港コンサルタンツ	本田 純一
「SBASの他の交通モードでの利活用に向けた調査研究業務」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	小田 浩幸
風速精度向上による航空機燃費削減効果検証	(国研) 宇宙航空研究開発機構	ビグラマシハ ナヴィンダ* キトマル
フェーズドアレイアンテナのトータルゲイン及びパターン測定 (2回目)	アルウェットテクノロジー (株)	米本 成人
MVR受託研究 17号機 特性試験	住友重機械工業 (株)	米本 成人
「令和4年度 ボディスキャナーの要件に関する調査」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	米本 成人

6 共同研究

当研究所の令和4年度における共同研究は下記のとおりである。

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
監視通信領域	(学) 福岡工業大学	地上デジタル放送波を利用したバイスタティックレーダシステムに関する研究	H28. 7. 21 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	古野電気 (株)	準天頂衛星システムL5S信号に対応したGNSS受信装置に関する研究	H29. 3. 14 ~ R5. 3. 31
監視通信領域	(大) 高知工科大学	超広帯域光変調器を用いた計測システムの研究	H29. 12. 22 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	(国研) 情報通信研究機構	宇宙天気現象が航空航法に与える影響及び航空航法における宇宙天気情報の活用に関する共同研究	H30. 4. 1 ~ R5. 3. 31
	(大) 京都大学		
	(大) 名古屋大学		
監視通信領域	(株) ワカ製作所	光ファイバー型無線機の接続を容易にする光ファイバー無線送受信機の研究開発	H30. 8. 31 ~ R5. 7. 31
監視通信領域	(大) 東京都立大学	ADS-B/SSRモードS情報を用いた航空交通流の時間管理技術の研究	H31. 4. 1 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	気象庁気象研究所	航空機の動態情報取得システムからの気象データによる数値予報の精度向上と航空機の安全運航に関わる気象予測情報の高度利用のための研究	H31. 4. 1 ~ R8. 3. 31
監視通信領域	(学) 金沢工業大学	飛行体から得られるリアルタイム情報を用いた飛行特性予測の研究	R1. 9. 9 ~ R5. 3. 31
監視通信領域	DSNA フランス航空局技術管理センター	航空機の衝突回避と無人航空機の空域統合に関する研究	R1. 11. 4 ~ R7. 11. 4
航空交通管理領域	(学) 慶應義塾	Semi-CDO方式と到着管理アルゴリズムの開発	R2. 4. 1 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	三菱電機 (株)	日本周辺の高精度測位補強サービス (CLAS)の電離圏遅延量予測モデルの精度向上に関する検討	R2. 5. 18 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	(大) 東京大学	大規模空港における到着・出発・空港面の航空交通管理の研究	R2. 7. 1 ~ R6. 10. 30
航空交通管理領域	(学) 東京理科大学	航空交通流のシミュレーション評価に関する研究	R2. 9. 4 ~ R5. 3. 30
航法システム領域	タイ王国モンクット王工科大学	Ionospheric Effects Characterization Program	R2. 10. 29 ~ R7. 3. 31
監視通信領域	日本無線 (株)	光ファイバ接続型受動型監視システムの電波輻輳域における性能実証	R3. 2. 12 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	(大) 東京都立大学	長距離飛行における運航者設計経路生成及び評価	R3. 4. 1 ~ R5. 3. 31
監視通信領域	日本電気 (株)	地域におけるSWIM基盤の構築に向けた国際連携実験に関する研究開発	R3. 4. 1 ~ R5. 3. 31
監視通信領域	(学) 武蔵野美術大学	デジタルタワーシステムのためのユーザーインタフェースデザインに関する研究	R3. 5. 26 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	(大) 東京都立大学	シミュレーション技術を用いた時間管理運用コンセプト検討	R3. 5. 27 ~ R6. 3. 31
監視通信領域	(大) 室蘭工業大学	山岳等による遮蔽環境下での被災地映像を固定翼UAVを中継局として伝送する同一・隣接チャネルでの映像伝送・監視制御技術の研究開発	R3. 5. 27 ~ R6. 3. 31
	(大) 兵庫県立大学		
航空交通管理領域	(大) 東北大学	東京国際空港の空港面交通流の最適化手法の提案とシミュレーション評価	R3. 7. 2 ~ R7. 3. 30
監視通信領域	日本無線 (株)	高精度信号検出によるADS-B位置検証システムの開発	R3. 7. 29 ~ R5. 12. 31
監視通信領域	(株) 日立国際電気	滑走路異物監視システム高度化のための要素技術に関する研究開発	R3. 8. 1 ~ R7. 3. 31

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
監視通信領域	(大) 電気通信大学	無人航空機における探知回避技術に関する研究	R3. 8. 16 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	(国研) 海洋研究開発機構	航空管制用ADS-B受信データの収集及び気象関連情報としての利用に関する研究	R3. 9. 8 ~ R6. 3. 31
航空交通管理領域	GA-ASI ジェネラル・アトミック・エアロノーティカル・システムズ	Integration of RPAS in the Japanese airspace	R3. 10. 12 ~ R6. 10. 12
航法システム領域	(大) 大阪公立大学	GNSS反射信号の基本特性の実験的評価とその利用に関する研究	R3. 12. 17 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	KAU 韓国航空大学	International Air Traffic Flow Management	R4. 1. 1 ~ R7. 3. 31
	KARI 韓国航空宇宙研究所		
	NUAA 南京航空航天大学		
航法システム領域	(大) 電気通信大学	VHF帯電波のEs層異常伝搬が航空航法・通信へ与える影響の評価と監視に関する共同研究	R4. 4. 1 ~ R6. 3. 31
航法システム領域	IGP-VAST ベトナム国立科学技術アカデミー	ベトナムにおけるGBASのための電離圏観測及び監視に基づく技術支援	R4. 4. 1 ~ R5. 3. 31
航法システム領域	メトロウエザー (株)	航空分野における小型ドップラー・ライダーの利活用に関する研究	R4. 7. 22 ~ R7. 3. 31
監視通信領域	(大) 三重大学	3次元イメージングレーダーによるセキュリティ検査システムの研究開発	R4. 7. 22 ~ R7. 3. 31
監視通信領域	アルウェットテクノロジー (株)	セキュリティ監視用レーダー技術に関する共同研究	R4. 7. 22 ~ R7. 3. 31
航空交通管理領域	ソフトバンク (株)	成層圏プラットフォーム及び無操縦者航空機等の運航に関する共同研究	R4. 9. 30 ~ R7. 3. 31
航空交通管理領域	(大) 電気通信大学	乱気流に基づく将来の軌道ベース運用のための研究	R4. 10. 6 ~ R6. 3. 31
航法システム領域	(国研) 防災科学技術研究所	GNSS受信信号解析による積雪特性測定手法を活用した発展的研究	R4. 12. 1 ~ R7. 11. 30
航法システム領域	DLR ドイツ航空宇宙センター	次世代GBAS及び宇宙天気情報利用に関する共同研究	R4. 12. 1 ~ R7. 11. 30
監視通信領域	DLR ドイツ航空宇宙センター	将来の航空通信システムに関する共同研究	R5. 1. 1 ~ R8. 12. 31
航空交通管理領域	(学) 桜美林学園	CO2排出削減のための運航方策の研究	R5. 3. 1 ~ R8. 3. 31
	(株) フジドリームエアラインズ		
航空交通管理領域	(大) 筑波大学	主観的要因が管制業務作業に及ぼす影響について	R5. 3. 28 ~ R6. 3. 31

7 研究発表

(1) 第22回研究発表会（令和4年6月16日，6月17日）web開催

令和4年6月16日

1. [特別講演] JAL AIRTAXI プロジェクトの取り組みと今後の課題について
日本航空株式会社 木下 隼斗
2. [特別講演] 日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討
航空交通管理領域 虎谷 大地
GA-ASI 小手川 達也
3. 北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討
航空交通管理領域 平林 博子
ブラウン マーク
東京都立大学 武市 昇
4. 気象予報データの利用者選択経路の導出に与える影響
航空交通管理領域 中村 陽一
ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル
瀬之口 敦

令和4年6月17日

5. 航空機内データ通信および電波高度計の電磁環境評価に関する研究開発
監視通信領域 ニッ森 俊一
森岡 和行
河村 暁子
米本 成人
6. SWIMによる軌道ベース運用に関する実証実験
監視通信領域 呂 暁東
森岡 和行
金田 直樹
古賀 禎
航空交通管理領域 ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル
平林 博子
ブラウン マーク
7. ノルウェー・オスロにおけるQZSSから放送されたDFMC SBASの受信実験
航法システム領域 高橋 透
齋藤 享
北村 光教
坂井 丈泰
8. RNP to xLSの経路設計と飛行実証
航法システム領域 齊藤 真二
福島 荘之介
航空交通管理領域 森 亮太

ポスターセッション（令和4年6月16日，令和4年6月17日）

1. 監視システム技術性能要件の研究開発状況
航空交通管理領域 大津山 卓哉
2. 航空路管制業務におけるチームワークロードの計測手法の研究
筑波大学 孟 成柱
伊藤 誠
3. 航空路管制における悪天候の影響の初期的な分析
航空交通管理領域 瀬之口 敦
平林 博子
中村 陽一
4. 滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発動向
監視通信領域 ニッ森 俊一
森岡 和行
河村 暁子
米本 成人
5. ADS-B性能指数の変化に関する初期検討
監視通信領域 本田 純一
松永 圭左
角張 泰之
航空交通管理領域 大津山 卓哉
6. 量子鍵配送の民間航空分野への適用に関する検討
監視通信領域 金田 直樹
宮崎 裕己
7. ADS-B位置検証の補強技術
監視通信領域 長縄 潤一
宮崎 裕己
田嶋 裕久
古賀 禎
北折 潤
8. 次世代DFMC GBASの標準化の動向
航法システム領域 齋藤 享
吉原 貴之
9. 電離圏シンチレーションの広域監視手法の開発
電気通信大学 細川 敬祐
10. 空港面におけるマルチパス誤差低減技術に関する研究
東京海洋大学 久保 信明
11. 準天頂衛星システムを利用した小型実験船による自動運航試験
海上技術安全研究所 平田 宏一
澤田 涼平

(2) 所外発表

(a) 学術論文誌

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Taylor級数推定法によるTOA測位における収束条件	小菅 義男 古賀 禎 長縄 潤一 呂 曉東 宮崎 裕己	令和4年4月	電子情報通信学会 和文論文誌B
Feasibility Study of Free Route Airspace over the North Pacific (北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討)	平林 博子 ブラウン マーク 武市 昇 (東京都立大学)	令和4年4月	Journal of Air Transportation
Nighttime morphology of vertical plasma drifts over Vietnam during different seasons and phases of sunspot cycles (ベトナムにおける夜間のプラズマ鉛直ドリフトの季節・太陽活動特性)	Hong Ham Thi Thu (IGP-VAST/VAST理工学 研究科) Christine Amory Mazaudier (Sorbonne大) Min Le Huy (IGP-VAST) 齋藤 享 Komyanat Hozumi (情報通信研究機構) Dung Nguyen Thanh (IGP-VAST) Ngoc Luong Thi (IGP-VAST)	令和4年4月	Advances in Space Research
Ionospheric disturbances observed over Japan following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022 (2022年1月15日フンガトンガ-フンガハアパイ火山の噴火後に日本上空で観測された電離圏擾乱について)	齋藤 享	令和4年4月	Earth, Planets and Space
航空用距離測定装置のインテグリティ保証のためのマルチパス解析	毛塚 敦 齋藤 真二	令和4年5月	電子情報通信学会 和文論文誌C
Construction of nominal ionospheric gradient using satellite pair based on GNSS CORS Observation in Indonesia (インドネシアGNSS連続観測点データを用いた衛星ペア法による静穏時電離圏勾配モデルの構築)	Slamet Supriadi (インドネシア研究革新 庁) Hasanuddin Zainal Abidin (バンドン工科大) Dudy Darmawan Wijaya (バンドン工科大) Prayitno Abadi (インドネシア研究革新 庁) 齋藤 享 Dwiko Unggul Prabowo (インドネシア研究 革新庁)	令和4年5月	Earth, Planets and Space
Interferometric Study of Ionospheric Plasma Irregularities in Regions of Phase Scintillations and HF Backscatter (位相シンチレーション及びHF帯後方散乱が発生する領域における電離圏プラズマ擾乱の干渉法研究)	Andres Spicher (The Arctic University of Norway) James LaBelle (Dartmouth College) John W. Bonnell (University of California Berkeley) Roger Roglans (University of California Berkeley) Chrystal Moser (Dartmouth College) Stephen A. Fuselier (Southwest Research Institute, University of Texas at San Antonio) Scott Bounds (University of Iowa) Lasse B. N. Clausen (University of Oslo) Francesca Di Mare (University of Oslo) Connor A. Feltman (University of Iowa) Yaqi Jin (University of Oslo) Craig Kletzing (University of Iowa) Wojciech J. Miloch (University of Oslo) Jøran I. Moen (University Centre in Svalbard) Kjellmar Oksavik (University of Bergen) Rhyman Sawyer (Southwest Research Institute) 高橋 透 Tim K. Yeoman (University of Leicester)	令和4年6月	Geophysical Research Letters
Analysis of Local Geomagnetic Index Under the Influence of Equatorial Electrojet (EEJ) at the Equatorial Phuket Geomagnetic Station in Thailand (赤道ジェット電流の影響下にあるタイ・プーケット地磁気観測所におけるローカル地磁気指数の解析結果について)	Lin M.M. Myint (タイ・KMITL) Komyanat Hozumi (情報通信研究機構) 齋藤 享 Pornchai Supnithi (タイ・KMITL)	令和4年6月	Advances in Space Research
Data-Driven Analysis Method for Calculated Time Over in Air Traffic Flow Management (航空交通流管理における通過時刻指定のためのデータ駆動型分析)	虎谷 大地 中村 陽一 岡 恵	令和4年7月	IEEE Access
Integration of (Surveillance) Multilateration Sensor Data into a Remote Tower System (リモートタワーシステムへのMLAT監視センサ情報の統合)	井上 諭 ブラウン マーク 角張 泰之	令和4年7月	Virtual and Remote Control Tower - Research, Design, Development and Validation - 2nd Edition
Remotely-Operated AFIS in Japan (日本における遠隔運用型AFISについて)	井上 諭 ブラウン マーク	令和4年7月	Virtual and Remote Control Tower - Research, Design, Development and Validation - 2nd Edition
マルチラテレーションによる航空機位置情報の新たな活用を目指した取り組み	青山 久枝 山田 泉 伊豆 太 (港湾空港技術研究所)	令和4年7月	電子情報通信学会 和文論文誌B
Benefit Balancing between Japan Departure Flights and Overflights in the North Pacific Route System (NOPAC経路における本邦出発機と上空通過機の便益バランスに関する研究)	村田 暁紀 高玉 圭樹 (電気通信大学) 虎谷 大地 平林 博子 ブラウン マーク	令和4年8月	オンラインジャーナル「Aerospace Technology Japan」
Performance Improvement of the GAGAN Satellite-Based Augmentation System Based on Local Ionospheric Delay Estimation in Thailand (タイにおけるローカル電離圏補正を用いたGAGAN性能向上)	Somkit Sophan (タイ・KMITL) 齋藤 享 Lin M. M. Myint (タイ・KMITL) Pornchai Supnithi (タイ・KMITL)	令和4年8月	GPS Solutions
Analyzing Stochastic Features in Airport Surface Traffic Flow Using Cellular Automaton: Tokyo International Airport (セルオートマトンを用いた東京国際空港における空港面航空交通流の確率的特徴分析)	川越 吉晃 (東北大学) 茅野 涼平 (東北大学) 都築 怜理 (東京大学) 伊藤 恵理 岡部 朋永 (東北大学)	令和4年9月	IEEE Access
Comparison of ADS-B Verification Methods: Direct TDOA and MLAT (ADS-B位置検証手法の比較: 直接TDOA法とMLAT法)	長縄 潤一 宮崎 裕己	令和4年9月	IEEE Access
Support Algorithm for Air Traffic Controllers' Arrival Spacing: Improvement of Trajectory Estimation using Gaussian Process Regression (航空管制官の到着間隔づけのための支援アルゴリズム: ガウス過程回帰を用いた軌道予測の改善)	虎谷 大地 吉原 貴之 瀬之口 敦	令和4年9月	Control Engineering Practice
Uncertainty Inclusive Runway Balancing Using Convolutional Neural Network (畳み込みニューラルネットワークを用いた不確定性を考慮した滑走路割り当て)	森 亮太 Daniel Delahaye (ENAC)	令和4年9月	Journal of Air Transportation

Ionospheric quasi-biennial oscillation of the TEC amplitude of the equatorial ionization anomaly crests from continuous GPS data in the Southeast Asian region (東南アジア域におけるGPSデータを用いた赤道異常帯TECの準2年振動の研究)	Dung Nguyen Thanh (IGP-VAST) Minh Le Huy (IGP-VAST) Christine Amory-Mazaudier (Sorbonne大) Rolland Fleury (Institut Mines-Telecom Atlantique) 齋藤 享 Thang Nguyen Chien (IGP-VAST) Thanh Le Truong (IGP-VAST) Hong Pham Thi Thu (IGP-VAST) Thanh Nguyen Ha (IGP-VAST) Mai Nguyen Thi (IGP-VAST) Que Le (Vietnam National University)	令和4年9月	Vietnam Journal of Earth Sciences
多目的最適化と決定木を用いたエンルート交通流における速度制御戦略の抽出	関根 将弘 (東京理科大学) 立川 智彦 (東京理科大学) 藤井 孝藏 (東京理科大学) 伊藤 恵理	令和4年9月	進化計算学会論文誌
A study of equatorial plasma bubble structure using VHF radar and GNSS scintillations over the low latitude regions (VHFレーダーとGNSSシンチレーションを用いた磁気低緯度地域におけるプラズマバブルの構造に関する研究)	Acharaporn Bumrungrkit (KMITL) Pornchai Supnithi (KMITL) 齋藤 享 Lin Min Min Myint (KMITL)	令和4年9月	GPS Solutions
衛星航法システムの信頼性	坂井 丈泰	令和4年10月	電子情報通信学会 和文論文誌B
GPSブロックIII衛星のアンテナ位相中心オフセットと食期間における姿勢制御	坂井 丈泰	令和4年10月	日本航空宇宙学会論文集 (和文論文誌)
Controlling Aircraft Inter-Arrival Time to Reduce Arrival Traffic Delay via a Queue-based Integer Programming Approach (到着航空交通の遅延時間を削減する機体時間間隔の制御: 待ち行列モデルと整数計画法の統合手法の提案)	日笠 航希 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年10月	Aerospace
GNSSにおけるRAIM補強の理論とアルゴリズム	坂井 丈泰	令和4年12月	電子航法研究所報告 No.135
The Discussion of Air-Ground SWIM Integration to Achieve 4D Trajectory Sharing and Negotiation through An International Joint Demonstration (空地統合SWIMに基づいた4次元軌道共有と調整の国際連携実証実験による検討)	呂 曉東 森岡 和行 古賀 禎 北折 潤 住谷 泰人	令和4年12月	電子航法研究所報告 No.135
Taylor級数推定法によるTSOA測位における初期値	小菅 義夫 古賀 禎 長縄 潤一 宮崎 裕己	令和5年1月	電子情報通信学会 和文論文誌B
Effectiveness of Aircraft Inter-arrival Control in Upstream Traffic Flow via a Combined Tandem Fluid Queue Model and Integer Programming Approach (待ち行列ネットワークモデルと整数計画法による航空交通の上流における到着間隔づけの有効性評価)	日笠 航希 (東京大学) 関根 将弘 (東京理科大学) 伊藤 恵理	令和5年2月	IEEE Access
A statistical study of convective and dynamic instabilities in the polar upper 2 mesosphere above Tromsø (トロンソ上空で観測された極域上部中間圏対流及び力学的不安定の統計的研究)	Satonori Nozawa (Nagoya University) Norihito Saito (RIKEN) Takuya Kawahara (Shizu University) Satoshi Wada (RIKEN) Takuo T. Tsuda (University of Electro-Communications) Sakiho Maeda (Nagoya University) 高橋 透 Hitoshi Fujiwara (Seikei University)	令和5年2月	Earth, Planets and Space
羽田空港におけるマルチラテレーションデータをもとにした航空機の交通量データの作成と空港舗装維持管理への活用可能性に関する考察	山田 泉 青山 久枝 伊豆 太 (港湾空港技術研究所)	令和5年3月	土木学会論文集F4 (建設マネジメント)

(b)標準化会議

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual (Doc 9830 A-SMGCSマニュアルにおける監視マテリアル)	宮崎 裕己	令和4年4月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1:
Regulations of 5G mobile base station in Japan (日本における5Gモバイルシステム基地局の規則)	二ッ森 俊一	令和4年4月	EUROCAE WG-119/RTCA SC-239
Report of Expert Group 3-1 Activities (専門家グループ3-1活動報告)	齋藤 享 Surendra Sunda (Airport Authority of India) Slamet Supriadi (インド研究革新庁 (BRIN))	令和4年5月	ICAO Asia and Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF) 4
GBAS VDB Frequency Coordination (GBAS VDB周波数調整について)	齋藤 享	令和4年5月	ICAO Asia and Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF)
SWIM-TI Interface Binding to Achieve Interoperability (SWIM-TIのインターフェイスバインディングを用いた相互運用性の実現)	呂 曉東	令和4年5月	ICAO Asia and Pacific (APAC) SWIM Task Force (TF) 6
SWIM DISCOVERY SERVICE (SDS) UPDATE AND NEXT STEPS (SWIM探索サービスの進捗状況について)	呂 曉東 Wen Zhu (FAA) Schwan Han (KAC) Yungang Tian (ATMB of CAAC)	令和4年5月	ICAO Asia and Pacific (APAC) SWIM Task Force (TF) 6
Draft LDACS SARPs Validation Activity Report (ENRI part) (LDACS SARPs 検証報告書草案 (ENRI部分))	森岡 和行 二ッ森 俊一 米本 成人 北折 潤 住谷 泰人 河村 暁子	令和4年5月	ICAO Communications Panel (CP) Data Communications Infrastructure Working Group (DCIWG) 5
Positive Effect of CPR Reasonableness Test on ADS-B Security (CPR検証が有するADS-B脆弱性対策へのプラス効果)	長縄 潤一 宮崎 裕己	令和4年5月	ICAO Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group (APANPIRG) Surveillance Implementation Coordination Group (SURICG)
PUBLIC COMMENT PHASE (AC20-158B (HIRF 高強度放射電磁界) に関するパブリックコメント)	塩野谷 哲久	令和4年5月	FAA発表資料
Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan (日本の1030-1090MHz信号環境解析)	大津山 卓哉 本田 純一 岡 恵 宮崎 裕己	令和4年6月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 15
Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (Doc9830 A-SMGCSマニュアルにおける監視マテリアル)	宮崎 裕己	令和4年6月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1:
GBAS Status Update in Japan (日本におけるGBASに関する情報更新)	野宮 真人 (航空局) 齋藤 享 吉原 貴之 齋藤 真二	令和4年6月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 9
Status of Activities Related to Space Weather Job Card (宇宙天気ジョブカードに関連した活動状況)	齋藤 享	令和4年6月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 9
Validation and Proposals of the Guidance on the Tropospheric Parameters for GBAS (GBAS対流圏パラメータに関するガイダンスの検証と提案)	齋藤 享 吉原 貴之 Gonzalo Jose H. Martinez (Indra) Linda Lava (Indra) Morten Topland (Indra)	令和4年6月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 9
DFMC GBAS Testbed and Flight Trials (DFMC GBASテストベッドと飛行実験について)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年6月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 9
Radio altimeter interference susceptibility test results at Japanese Sub-6 5G mobile communications system frequency conditions (日本の5Gモバイルシステム周波数帯における電波高度計の耐電磁干渉特性)	二ッ森 俊一	令和4年8月	ICAO Frequency Spectrum Management Panel (FSMP)-Working Group (WG) 15
ENRI Technical Validation Report (ENRI TVALR) (電子航法研究所におけるLDACSテクニカルバリデーションレポート)	森岡 和行 二ッ森 俊一 北折 潤 住谷 泰人 米本 成人	令和4年9月	ICAO Communications Panel (CP) Data Communications Infrastructure Working Group (DCIWG) PT-T 20
Feedback from ENRI Technical Validation (電子航法研究所におけるLDACSテクニカルバリデーションからのフィード バック)	森岡 和行 二ッ森 俊一 北折 潤 住谷 泰人 米本 成人	令和4年9月	ICAO Communications Panel (CP) Data Communications Infrastructure Working Group (DCIWG) PT-T 20
Research and development activities related to GBAS in Japan (日本におけるGBAS関連研究開発について)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年9月	ICAO Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group (APANPIRG) Communications/ Navigation and Surveillance Sub-group (CNS-SG) 26
Research on ADS-B Position Verification (ADS-B位置検証に関する研究)	長縄 潤一 宮崎 裕己	令和4年9月	ICAO Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group (APANPIRG) Communications/ Navigation and Surveillance Sub-group (CNS-SG) 26
Flight Experiment Result of DME Error using EDS300 in Japan (日本におけるEDS300を用いたDME誤差の飛行実験結果)	毛塚 敦	令和4年10月	EUROCAE WG-107 21
The Development of ENRI SWIM Registry (ENRI SWIM Registryの開設について)	呂 曉東	令和4年10月	ICAO Asia and Pacific (APAC) SWIM Task Force (TF) SDS Implementation Coordination Meetin
Update References ICAO Doc9994 (ICAO Doc9994の参考文献更新)	大津山 卓哉	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) WG 14
Change Proposal for TIS-B definition (TIS-B定義の更新)	大津山 卓哉	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) WG 14
Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan (日本における1030-1090MHz信号環境の解析)	大津山 卓哉 本田 純一 岡 恵 宮崎 裕己	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 16
Introduction of Forepart Research of DAPs Validation (過去のDAPs信頼性評価研究の紹介)	松永 圭左 本田 純一	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 11
Multilateration for Mode A/C using Radio-over-Fiber (RoFを使ったモードA/Cに対するマルチラテレーション)	本田 純一 角張 泰之	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 11
Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (Doc9830 A-SMGCSマニュアルの監視マテリアル)	宮崎 裕己	令和4年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 11
Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions (DFMC GBAS電離圏異常モニタの擾乱時電離圏データを用いた検証)	齋藤 享 吉原 貴之 Tim Murphy (Boeing) Matt Harris (Boeing) Glauca Balvedi (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace) Linda Lavik (Indra Navia) Morten Topland (Indra Navia) Mutaz Tuffaha (Indra Navia)	令和4年10月	RTCA SC-159 WG4
Proposal of CRV based APAC Regional SWIM Architecture (CRVに基づいたAPAC地域SWIMアーキテクチャの提案)	呂 曉東	令和4年10月	Joint Meeting of CRV OG and SWIM TF
Separation Minima between RNP2 Routes with ATS Surveillance (レーダー監視下のRNP2経路の間隔)	丸塚康弘 (国土交通省航空局) 森 亮太	令和4年11月	ICAO Separation and Airspace Safety Panel (SASP)-WG 37
MSAS L1 Authentication Possibility (MSAS L1での信号認証の可能性)	松田 国幸 (航空局) 坂井 丈泰	令和4年11月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -GNSS SARPs Working Group (GSWG) 4

GBAS Status Update in Japan (日本におけるGBASの現状)	齋藤 享 吉原 貴之 齋藤 真二 野宮 真人 (航空局)	令和5年1月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) 7
Guidance Material on the GBAS Tropospheric Parameters for the Development of GBAS Manual (GBASマニュアル策定に関するGBAS対流圏パラメータに関するガイダンスの検討)	齋藤 享 吉原 貴之	令和5年1月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) 7
Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions (電離圏擾乱時におけるDFMC GBAS電離圏モニタの検証)	齋藤 享	令和5年1月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) 7
Update of Guidance Document on the Effects of Anomalous Ionosphere for GBAS in the Asia-Pacific Region (アジア太平洋地域における電離圏脅威回避ガイダンスの更新について)	齋藤 享	令和5年1月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) 7
DFMC GBAS flight data collection under ionospheric disturbed conditions (電離圏擾乱時のDFMC GBAS飛行実験について)	齋藤 享 吉原 貴之	令和5年1月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) 7
Sample L1 SBAS Authentication Message by MIVEX-AUTH (MIVEX-AUTHによるL1 SBAS認証メッセージのサンプル)	坂井 丈泰	令和5年1月	EUROCAE WG-62
Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan (日本における1030-1090MHz信号環境の解析)	大津山 卓哉 本田 純一 宮崎 裕己	令和5年2月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 1f
Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (Doc9830 A-SMGCSマニュアルの監視マテリアル)	宮崎 裕己	令和5年2月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 1f
Collaborative Validation for Interoperability of SWIM Service Discovery (SWIMサービス探索の相互運用性のための連携検証実験)	呂 曉東 龍 幸信 (航空局 運用課)	令和5年2月	ICAO Information Management Panel (IMP)-Working Group-G 10
Update References in ICAO DOC9994 (ICAO Doc9994の参考文献更新)	大津山 卓哉	令和5年2月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) 1f
Change Proposal for TIS-B definition (TIS-B定義の更新)	大津山 卓哉	令和5年2月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) 1f
Surveillance Material in Doc9830 A-SMGCS Manual (Doc9830 A-SMGCSマニュアルの監視マテリアル)	宮崎 裕己	令和5年3月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1f
Analysis of the 1030-1090 MHz Signal Environment in Japan (日本における1030-1090MHz信号環境の解析)	大津山 卓哉 本田 純一 宮崎 裕己	令和5年3月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 17
Research Progress on Active Phased Array Antenna (アクティブフェーズドアレイアンテナに関する研究進捗)	長縄 潤一	令和5年3月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1f
Preliminary Analysis of ADS-B Positional Performance in Japan (日本におけるADS-B位置性能の初期評価)	松永 圭左 本田 純一	令和5年3月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1f
Preliminary results of DFMC GBAS flight data collection campaign in October 2022 under ionospheric disturbances (2022年10月の電離圏擾乱時のDFMC GBAS飛行実験データの初期解析結果)	齋藤 享 吉原 貴之	令和5年3月	RTCA SC-159 WG 4

(c) 国際会議

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Status of GBAS related studies of ENRI (電子航法研究所におけるGBAS関連研究について)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年5月	第37回 Landing and take-off (LATO) 会議
Research Activity on ADS-B Security (ADS-B脆弱性対策に関する研究活動)	長縄 潤一	令和4年5月	FATS WG 30
Lessons Learned of TBO Demonstration and Live Flight Experiment (TBO実証実験と飛行実証実験について)	呂 曉東	令和4年5月	FATS WG 30
GBAS Research Status of ENRI (電子航法研究所におけるGBAS研究状況)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年9月	International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21
Ionospheric data collection and analysis for GBAS in Southeast Asia (東南アジアにおけるGBASのためのデータ収集・解析)	齋藤 享 中村 真帆 吉原 貴之 Le Huy Minh (IGP-VAST) Nguen Chien Thang (IGP-VAST) Slamet Supriadi (BRIN) Prayitno Abadi (BRIN) Dwiko Unggul Prabowo (BRIN)	令和4年9月	International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21
Validation of iono monitor for DFMC GBAS (DFMC GBAS電離圏モニタの検証)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年9月	International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21
ENRI's R&D Activities on Advanced GBAS Operations (GBASの先進的な運用に関する電子航法研究所の研究開発)	吉原 貴之 齋藤 真二 福島 莊之介 森 亮太	令和4年9月	International GBAS Working Group Meeting (I-GBAS) 21
ENRI Test System for Live Flight Demonstration (飛行実証実験のためのENRI実験システムの開発について)	呂 曉東	令和4年10月	Multi-Regional TBO Demonstration
Proposal to Exchange DFMC SBAS Messages for Interoperability (相互運用性のためのDFMC SBASメッセージ交換の提案)	坂井 丈泰 北村 光教 高橋 透	令和4年11月	SBAS IWG/37
UTM based Data Sharing and Low Altitude Spatial Information Augmentation to Support Safe UAS Operations (安全な無人機運用のためのUTMベースデータ共有と低高度における追加情報)	久保 大輔 (JAXA) Study Group Members (虎谷大地) 木村 紋子 (Data Strategy) 大瀬戸 篤司 (JAXA)	令和4年11月	DRONE ENABLE 2022, ICAO's UAS Industry Symposium
ENRI Oceanic Research Topics 2 and 3 (電子航法研究所における洋上研究トピックについて (項目2及び3))	平林 博子 ブラウン マーク	令和4年12月	The Meeting of the Informal Pacific ATC Co-ordinating Group (IPACG) PM28
ENRI Oceanic Research Topics 1 (電子航法研究所における洋上研究トピックについて (項目1))	ブラウン マーク 平林 博子	令和4年12月	The Meeting of the Informal Pacific ATC Co-ordinating Group (IPACG) PM28
Aircraft radio altimeter and 5G mobile system interference issues in Japan (日本における航空機電波高度計と5Gモバイルシステムの干渉問題)	ニッ森 俊一	令和4年12月	Global Aviation Spectrum Summit

(d) 国際学会(全文査読)

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Improvement in RSSI-based Distance Estimation for Aircraft ADS-B Signal by Antenna Diversity (アンテナダイバーシティによる航空機ADS-B信号のRSSI測距の改善)	長縄 潤一	令和4年7月	Multimedia University Engineering Conference
ASSESSMENT AND CONTROL OF ARRIVAL FLOW AND WAITING TIME APPLYING GT/GI/ST+GI TIME-VARYING QUEUING MODEL (GT/GI/ST+GI 時変待ち行列モデルを応用した到着流と待ち時間の予測と制御)	日笠 航希 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
MACHINE LEARNING METHODS ENSURING BOTH PERFORMANCE AND INTERPRETABILITY OF ESTIMATING AIRCRAFT ARRIVAL TIMES (航空機の到着時刻予測において精度と意味解釈性を両立する機械学習手法)	森川 暢明 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
APPLYING MACHINE LEARNING FOR TAXI-TIME PREDICTION AT TOKYO INTERNATIONAL AIRPORT (機械学習による東京国際空港の地上走行時間予測)	加藤 古都 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
DEVELOPING A DEPARTURE QUEUE MODEL TOWARDS INTEGRATED ARRIVAL AND DEPARTURE RUNWAY OPERATION (到着・出発管理の統合を目指した航空機の出発待ち行列モデルの発展)	伊藤 恵理 岩田 大輝 (東京大学) Michael Schultz (Bundeswehr University Munich)	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
AIR TRAFFIC SIMULATION ACROSS FIR IN JAPAN USING CELLULAR AUTOMATON (セルオートマトンによる日本のFIRを対象とした航空交通シミュレーション)	関根 将弘 (東京理科大学) 立川 智明 (東京理科大学) 藤井 孝蔵 (東京理科大学) 伊藤 恵理	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
Measurement of Pulsed Aircraft Radio Altimeter In-Band and Out-band Interference Threshold Power Due to Sub-6 band 5G Mobile Communication Systems (パルス型電波高度計のSub-6帯5Gモバイルシステムに起因する帯域内および帯域外干渉発生しきい値の測定)	ニッ森 俊一 宮崎 則彦	令和4年9月	International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE) 2022
Validation of Ionospheric Anomaly Monitor for DFMC GBAS under Disturbed Ionospheric Conditions (DFMC GBAS電離圏異常モニタの擾乱時電離圏データを用いた検証)	齋藤 享 吉原 貴之 Tim Murphy (Boeing) Matt Harris (Boeing) Glauca Balvedi (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace)	令和4年9月	International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+) 2022
Millimeter-Wave Imaging Using Dielectric Lens for Security Application (セキュリティ用途のための誘電体レンズを用いたミリ波イメージング)	Arie Setiawan (Mie University) Atsuki Yamawaki (Mie University) 米本 成人 Hitoshi Nohmi (Alouette Technology Inc) Hiroshi Murata (Mie University)	令和4年9月	European Radar Conference (EuRAD)
SWIM Based Trajectory Coordination to Achieve Strategic Planning and Collaborative Decision Making (SWIMに基づいた軌道調整による戦略的計画と協働的意思決定の実現)	呂 曉東 金田 直樹 ピク ラマシムハ ナヴィンダ キトマル 平林 博子 ブラウン マーク	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
Potential operational consequences of the use of ACAS Xu in controlled airspace (管制空域におけるACAS Xuの使用による潜在的な運用上の懸念について)	Christian Aveneau (DGAC) 虎谷 大地 瀬之口 敦 平林 博子 大津山 卓哉 河村 暁子	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
Air-Ground SWIM Demonstration over Extended AeroMACS (覆域拡張されたAeroMACSを用いた空地SWIMデモンストラーション)	森岡 和行 呂 曉東 長縄 潤一 金田 直樹 宮崎 則彦 平賀 規昭 米本 成人 河村 暁子	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
Preliminary Analysis of Performance Variation for ADS-B Position (ADS-B位置の信頼性変化における予備解析)	本田 純一 松永 圭左 角張 泰之 大津山 卓哉	令和4年10月	17th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA)
Preliminary Study on Receiving Status at MLAT Station and Estimated Aircraft Position (MLATの信号受信状況と航空機位置に関する基礎研究)	本田 純一 角張 泰之 大津山 卓哉 松永 圭左	令和4年11月	The 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
Analysis of Millimeter-Wave Imaging Using Dielectric Lens for Fourier Transformation (フーリエ変換による誘電体レンズを使ったミリ波イメージングの解析)	Arie Setiawan (Mie University) 米本 成人 Hitoshi Nohmi (Alouette Technology Inc) Hiroshi Murata (Mie University)	令和4年11月	Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)
4D Trajectory Negotiation to Achieve Situational and Operational Awareness for Air Traffic Management (ATMにおける状況と運用認識を実現するための4DT調整について)	呂 曉東 森岡 和行 金田 直樹 古賀 禎	令和5年3月	IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS) 2023
Preliminary Feasibility Study of Quantum Key Distribution for Future Air Traffic Management Systems (将来の航空交通管理への量子鍵配送の実現可能性の検討)	金田 直樹 呂 曉東	令和5年3月	IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS) 2023
Dielectric Material Constant Sensitivity Analysis of 3-Dimensional Printed W-Band Reflector Fresnel Lens Antenna Based on Acrylonitrile Butadiene Styrene Plastic (3Dプリンタで構築されたABS樹脂製W帯フレネル反射板レンズアンテナの誘電体特性感度解析)	ニッ森 俊一	令和5年3月	2023 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium

(e) 国際学会 (アブストラクト査読)

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Optimization for Approach Route of RNP AR Approach by using Genetic Algorithm (遺伝的アルゴリズムを用いたRNP AR進入到着経路のための最適化)	虎谷 大地 森 亮太	令和4年4月	Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2022
Rapid Prototyping for a Future Aeronautical Mobile Communications System using Software Defined Radio (ソフトウェア無線を用いた将来の航空無線通信システムのための高速プロトタイプ化)	森岡 和行 ニッ森 俊一 米本 成人 北折 潤 住谷 泰人 河村 曉子 森 亮太	令和4年4月	Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2022
Fast Calculation of Single Aircraft Optimal Descent Trajectory (高速な航空機の最適降下軌道計算)		令和4年6月	AIAA Aviation Forum 2022
Preliminary Study of Multi-objective Air Traffic Optimization for Devising Speed Control Strategy by Using Rule-based Simulator (航空交通の速度制御戦略立案のためのルールベースシミュレータを用いた多目的最適化の初期検討)	関根 将弘 (東京理科大学) 立川 智章 (東京理科大学) 藤井 孝藏 (東京理科大学) 伊藤 恵理	令和4年6月	AIAA Aviation Forum 2022
Performance Evaluations of Airport Runway Foreign Object Detection System Using a 96 GHz Millimeter-Wave Radar System Based on International Standard (国際規格に基づく96 GHz帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの性能評価)	ニッ森 俊一 米本 成人 柴垣 信彦 (株式会社日立国際電気) 佐藤 洋介 (株式会社日立国際電気) 加島 謙一 (株式会社日立国際電気)	令和4年8月	47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)
Aircraft Mass Estimation Using Cruise Flight Profile (巡航飛行プロファイルを使用した航空機の重量推定)	森 亮太	令和4年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2022
Simulator experiment and real world implementation of reduced climb thrust fuel saving procedure (推力低減による燃料節減上昇手法のシミュレータ実験と実装)	森 亮太	令和4年9月	Digital Avionics Systems Conference (DASC) 2022
Availability of Iono Gradient Detection with Alternative Architectures for DFMC GBAS (DFMC GBAS代替アーキテクチャにおける電離圏異常検出とアベイラビリティ)	Tim Murphy (Boeing) 齋藤 享 Matt Harris (Boeing) Glauca Balvedi (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace)	令和4年9月	International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+) 2022
Effect of step-climb operation on long-haul flight over the Pacific Ocean (太平洋上長距離飛行におけるステップクライム運航の効果について)	平林 博子 ブラウン マーク ピクラマシハ ナヴィンダ キトマル 水津 晴隆 (東京都立大学) 武市 昇 (東京都立大学)	令和4年10月	Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT) 2022
International Air Traffic Flow Management in North and East Asia (北アジアと東アジアにおける国際交通流管理について)	ブラウン マーク Kim Hyewook (KARI) Wang Yanjun (NUAA) Lee Keumjin (KAU) 平林 博子 ピクラマシハ ナヴィンダ キトマル 村田 暁紀 Jeon Daekeun (KARI) Eun Yeonju (KARI) Oh Eun-Mi (KARI) Lee Somang (KARI) Gray Naomi (KAU)	令和4年10月	Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT) 2022
Free Route Airspace Design for Fukuoka FIR: A Cast Study for Overflight Traffic between Northeast Asia and North America (福岡FIRにおけるフリールート空域の設計：東北アジアと北米間の交通流のためのケーススタディ)	ブラウン マーク 平林 博子	令和4年10月	Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT) 2022
96 GHz Millimeter-Wave Radar System for Airport Surface Detection Purpose (空港面監視のための96 GHz帯ミリ波レーダの適用)	ニッ森 俊一 柴垣 信彦 (株式会社日立国際電気)	令和4年11月	2022 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)
Dual band FMCW imaging radar for security inspections (セキュリティ検査のための2周波帯FMCW画像化レーダー)	米本 成人 河村 曉子 ニッ森 俊一 森岡 和行 宮崎 則彦 佐藤 正彦 平賀 規昭 能兼 仁 (アルウェットテクノロジー)	令和4年12月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE)

(f) 国際学会（査読なし）

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Ionospheric irregularities and scintillations during the geomagnetic storm on 15 January 2022 (2022年1月15日地磁嵐中の電離圏不規則構造とシンチレーションについて)	齋藤 享 吉原 貴之 高橋 透	令和4年5月	日本地球惑星科学連合大会 2022年
Ionospheric total electron content (TEC) gradient characterization in Indonesia (インドネシアにおける電離圏総電子数勾配の特性評価について)	中村 真帆 齋藤 享 吉原 貴之 Slamet Supriadi (Smart Mechatronics Electrical and Informatics Research Organizations BRIN) Prayitno Abadi (Smart Mechatronics Electrical and Informatics Research Organizations BRIN) Dwiko Unggul (Smart Mechatronics Electrical and Informatics Research Organizations BRIN)	令和4年5月	日本地球惑星科学連合大会 2022年
Ionospheric disturbances over Japan and Australia following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022 (2022年1月15日のフンガトンガ・フンガハアパイ火山の噴火後の日本及び濠洲における電離圏擾乱)	齋藤 享 大塚 雄一 (名古屋大学) 新堀 淳樹 (名古屋大学) 惣宇利 卓弥 (名古屋大学) 西岡 未知 (情報通信研究機構) Septi Perwitasar (情報通信研究機構)	令和4年5月	日本地球惑星科学連合大会 2022年
Improved real-time three-dimensional ionospheric tomography based on GNSS and ionosonde observations (GNSS及びイオノゾンデを用いた改良型3次元リアルタイム電離圏トモグラフィ)	齋藤 享 河上 晃治 (京都大学) Nicholas Ssessanga (オスロ大学) 山本 衛 (京都大学) 西岡 未知 (情報通信研究機構)	令和4年6月	日本地球惑星科学連合大会 2022年
Observation of ionospheric irregularity by using scintillation of beacon and NOAA satellite signals (ビーコン及びNOAA衛星電波のシンチレーション観測による電離圏擾乱の研究)	高橋 透 齋藤 享	令和4年6月	日本地球惑星科学連合大会 2022年
Scintillation of VHF and UHF signals due to ionospheric irregularity observed by GNU Radio Beacon Receiver (電離圏イレギュラリティによるVHF及びUHF帯電波シンチレーションの観測)	高橋 透 齋藤 享	令和4年8月	Beacon Satellite Symposium 2022
Ionospheric Total Electron Content (TEC) Gradient Characterization in Magnetic Low Latitude Region (磁気低緯度領域における電離圏遅延量勾配の特性解析)	中村 真帆 齋藤 享 吉原 貴之 Slamet Supriadi (BRIN) Prayitno Abadi (BRIN) Dwiko Unggul (BRIN) Minh Le Huy (IGP-VAST)	令和4年9月	16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (ISEA)
VHF to UHF scintillation by using beacon and NOAA signals (ビーコン及びNOAA衛星信号を用いたVHFからUHF帯の電離圏シンチレーションの研究)	高橋 透 齋藤 享 Mamoru Yamamoto (Kyoto University)	令和4年9月	16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (ISEA)
Unusual ionospheric disturbances and irregularities following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022 (2022年1月15日のトンガ噴火の後に観測された特異な電離圏擾乱について)	齋藤 享 吉原 貴之 高橋 透	令和4年9月	16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (ISEA)
Estimation Methods of the Visual Flight Rules Planned Route for Sharing Preflight Information with Urban Air Mobility (次世代航空モビリティとの飛行前情報の共有に向けた有視界飛行方式の計画経路推定手法)	虎谷 大地 平林 博子	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
CARATS Open Data for Research & Development (研究開発の推進に向けたCARATSオープンデータ)	岡 恵 中村 陽一	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
LDACS Validation Activity in ENRI and Cooperation with DLR (ENRIにおけるLDACS検証試験とDLRとの共同研究について)	森岡 和行 Thomas Grupl (German Aerospace Center (DLR)) Michael Schnell (German Aerospace Center (DLR))	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
Hybrid Electromagnetic Analysis Methods Suitable for Airport Surfaces in the VHF Band (空港面に適したVHF帯ハイブリッド電磁界解析手法)	毛塚 敦 須賀 良介 (青山学院大学) 渡邊 恵 (青山学院大学) 橋本 修 (青山学院大学名誉教授)	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
DFMC GBAS testbed at Ishigaki, Japan (石垣のDFMC GBASテストベッドについて)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年10月	2022 International Workshop on ATM and CNS (IWAC)
Trajectory Based Operation for Air Traffic Management: From Concept To Application (航空交通管理のための軌道ベース運用：概念から応用へ)	呂 曉東	令和5年3月	IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS) 2023

(g) 国内学会

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
状況変化に対応するレジリエンスポテンシャルの特徴分析ーインタラクション設計に向けてー	吉田 悠 (日本大学生産工学部) 加間 英貴 (日本大学生産工学部) 中野 廉 (日本大学生産工学部) 狩川 大輔 (東北大学大学院工学研究科) 青山 久枝 鳥居塚 崇 (日本大学生産工学部)	令和4年5月	電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会 (HCS)
Arrival Management Algorithm with Data-driven Modeling for Fuel-efficient Descending of Commercial Aircraft (旅客機の燃料効率のよい降下のためのデータ駆動型モデリングによる到着管理アルゴリズム)	石井 南 (慶應義塾大学) 和田 真治 (慶應義塾大学) 井上 正樹 (慶應義塾大学) 大地 大地	令和4年5月	システム制御情報学会研究発表講演会
複数TDOAを用いた航空機ADS-B位置検証に関する理論検討	長縄 潤一 宮崎 裕己	令和4年5月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
羽田空港のマルチラテレーションデータに基づく航空機の走行速度が誘導路の舗装の劣化に及ぼす影響の考察	山田 泉 青山 久枝 伊豆 太 (港湾空港技術研究所)	令和4年6月	第65回 土木計画学研究会 発表会・春大会
日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討	虎谷 大地 小手川 達也 (GA-ASI)	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討	平林 博子 ブラウン マーク 武市 昇 (東京都立大学)	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
気象予報データの利用者選択経路の導出に与える影響	中村 陽一 ピクランシンハ ナヴィンダ キトマル 瀬之口 敦	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
航空機内データ通信および電波高度計の電磁環境評価に関する研究開発	二ッ森 俊一 森岡 和行 河村 暁子 米本 成人	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
SWIMによる軌道ベース運用に関する実証実験	呂 曉東 森岡 和行 金田 直樹 古賀 禎 ピクランシンハ ナヴィンダ キトマル 平林 博子 ブラウン マーク	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
RNP to xLSの経路設計と飛行実証	齋藤 真二 福島 莊之介 森 亮太	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
ノルウェー・オスロにおけるQZSSから放送されたDFMC SBASの受信実験	高橋 透 齋藤 享 北村 光教 坂井 丈泰	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会
監視システム技術性能要件の研究開発状況	大津山 卓哉	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
航空路管制における悪天候の影響の初期的な分析	瀬之口 敦 平林 博子 中村 陽一	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発動向	二ッ森 俊一 森岡 和行 河村 暁子 米本 成人	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
ADS-B性能指数の変化に関する初期検討	本田 純一 松永 圭左 角張 泰之 大津山 卓哉	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
量子鍵配送の民間航空分野への適用に関する検討	金田 直樹 宮崎 裕己	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
ADS-B位置検証の補強技術	長縄 潤一 宮崎 裕己 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
次世代DFMC GBASの標準化の動向	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年6月	令和4年度 (第22回) 電子航法研究所 研究発表会 ポスターセッション
航空機電波高度計の帯域内および帯域外干渉信号による電磁干渉特性ー3種類のFMCW方式の電波高度計を用いた測定評価ー	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭	令和4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 (SANE)
航空機監視信号の到来角推定に関する初期的実験	長縄 潤一 宮崎 裕己 北折 潤 古賀 禎 田嶋 裕久	令和4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 (SANE)
状況変化に対応するレジリエンスポテンシャルの要因分析ーインタラクション設計に向けてー	吉田 悠 (日本大学生産工学部) 加間 英貴 (日本大学生産工学部) 中野 廉 (日本大学生産工学部) 狩川 大輔 (東北大学大学院工学研究科) 青山 久枝 鳥居塚 崇 (日本大学生産工学部)	令和4年7月	第63回 日本人間工学会 大会
GPSのセキュリティ：ジャミング・スプーフィング	坂井 丈泰	令和4年8月	測位航法学会 次世代高精度衛星測位研究部会
航空用距離測定装置を用いた対流圏延滞観測	毛塚 敦 吉原 貴之 高島 宗彦 齋藤 真二 小田 浩幸 藤井 直樹	令和4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 (SANE)
航空機電波高度計の帯域内および帯域外干渉信号による電磁干渉特性ー同一型のパルス方式電波高度計の電磁干渉特性のばらつき評価ー分析ー	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭	令和4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 (SANE)
大規模災害時の空港運用に関するシミュレーションによる課題の検討	青山 久枝 荒谷 太郎 (海上技術安全研究所) 間島 隆博 (海上技術安全研究所) 山田 泉 今込 毅	令和4年8月	ヒューマンインタフェースシンポジウム 2022
マルチタスク環境下におけるチーム協調に関する実験的検討	竹井 しのぶ (東北大学大学院 (現：(株)ジーシー)) 狩川 大輔 (東北大学大学院) 青山 久枝 高橋 信 (東北大学大学院)	令和4年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム 2022
2022年1月15日に日本上空で観測された電離圏擾乱の特性について	齋藤 享 吉原 貴之 高橋 透	令和4年9月	第16回 MUレーダー/赤道大気レーダーシンポジウム
航空機電波高度計の隣接/同一周波数帯における電磁干渉特性自動測定系の構築	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭	令和4年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
ドローンのための空中衝突防止システムの技術動向	虎谷 大地	令和4年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会

ハイブリッド・バンドル内における誘導電圧トランジェントの考察	塩野谷 哲久 米本 成人	令和4年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空港面電磁界解析手法の測定による有効性評価	渡邊 恵 (青山学院大学) 毛塚 敦 須賀 良介 (青山学院大学)	令和4年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
GPS運用状況データベースの構築	坂井 丈泰	令和4年9月	第4回 測位技術振興会 研究発表講演会
安全・安心な測位のために：位置情報のインテグリティ	坂井 丈泰	令和4年9月	準天頂衛星が拓く安全・安心社会の実現に向けた高精度測位技術及び応用に関するシンポジウム
宇宙天気現象とその高精度測位に対する影響	齋藤 享	令和4年9月	準天頂衛星が拓く安全・安心社会の実現に向けた高精度測位技術及び応用に関するシンポジウム
滑走路における出発・到着航空機の統合運用のための待ち行列モデルの開発	岩田 大輝 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
マルチラテレーション技術を用いた有人機の位置探知システムの開発について	古賀 禎	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
旅客機の減速運航による二酸化炭素排出削減に関する検討	虎谷 大地 本田 純一	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
エラスティックネットによる航空機交通流の到着時間予測	西田 拓矢 (東京大学) 伊藤 恵理	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
成田国際空港の航空交通にかかる現状分析	長谷川 倫幹 (東京大学) 伊藤 恵理 関根 将弘 (東京理科大学)	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
ADS-B データを用いた着陸航跡の抽出	森 亮太 藤田 雅人 (海上保安大学校)	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
ADS-B位置検証技術に関する研究	長縄 潤一 宮崎 裕己 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
RNP to xLS方式の飛行検証	齋藤 真二 福島 莊之介	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
Sub-6帯5Gモバイルシステムによる航空機電波高度計の隣接帯域電磁干渉特性評価	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
GBASを活用した柔軟な進入経路の設定と滑走路運用の高度化	吉原 貴之 齋藤 真二 森 亮太 藤井 直樹 青山 久枝	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
ADS-Bの位置性能指数の初期評価	本田 純一 松永 圭左	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
洋上経路を飛行する航空機の上昇リクエストに対する周辺交通の影響	水津 晴隆 (東京都立大学) 平林 博子 ブラウン マーク 武市 昇 (東京都立大学)	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
LSTMを用いた管制負荷量の分類精度向上に関する研究	村田 暁紀 虎谷 大地	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
気象予報データを用いた悪天回避に関する初期的解析	中村 陽一 瀬之口 敦	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
航空路管制における悪天候の影響に関する考察	瀬之口 敦 平林 博子 中村 陽一	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
次世代エアモビに関する動向、ビジョンの深掘り	又吉 直樹 (JAXA) 福島 幸子 砂田 茂 (名古屋大学大学院)	令和4年10月	第60回 飛行機シンポジウム
GNSS受信信号のコード相関結果を用いたマルチパス誤差評価と測位解の信頼性判定への利用	吉原 貴之 北村 光教 坂井 丈泰 小田 浩幸 高橋 透	令和4年11月	第66回 宇宙科学技術連合講演会
L5 SBASによる信号認証メッセージ	坂井 丈泰 北村 光教 毛塚 敦	令和4年11月	第66回 宇宙科学技術連合講演会
MSAS性能評価～日本周辺SBASとの性能比較～	北村 光教 坂井 丈泰	令和4年11月	第66回 宇宙科学技術連合講演会
DFMC SBASメッセージの相互検証	高橋 透 北村 光教 小田 浩幸 坂井 丈泰	令和4年11月	第66回 宇宙科学技術連合講演会
VHF to UHF scintillation by using satellite and rocket beacon signals (衛星及びロケットビーコンを用いたVHFからUHF帯シンチレーションの研究)	高橋 透 齋藤 享 山本 衛 (京都大学) 藤原 学 (鹿児島工業高等専門学校)	令和4年11月	第152回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会
Impacts on GNSS by ionospheric irregularities observed over Japan on 15 January 2022 (2022年1月15日に日本において観測された電離圏不規則構造の衛星航法に対する影響)	齋藤 享 貴之 高橋 透	令和4年11月	第152回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会
Preliminary results on the ionospheric delay gradient as a threat to GBAS in the equatorial ionization anomaly crest region (GBASの脅威となる赤道異常帯における電離圏勾配の初期結果)	中村 真帆 齋藤 享 吉原 貴之 Minh Le Huy (Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology (IGP-VAST), Vietnam)	令和4年11月	第152回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会
航空機二次監視に向けたアレーアンテナ実験システムの基礎評価と性能向上の検討	長縄 潤一 宮崎 裕己 古賀 禎 北折 潤 田嶋 裕久	令和4年11月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
セキュリティ検査のための隠された凶器を検出する2周波FMCWレーダーイメージャーの試作	米本 成人 河村 暁子 二ッ森 俊一 森岡 和行 宮崎 則彦 平賀 規昭 佐藤 正彦 能美 仁 (アルウェットテクノロジー株式会社)	令和4年11月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
複雑システムにおける状況認識支援のための注意喚起指針に関する基礎的検討	岩淵 由華 (東北大学大学院 (現：日本航空株式会社)) 狩川 大輔 (東北大学大学院 工学研究科) 青山 久枝 高橋 信 (東北大学大学院 工学研究科)	令和4年11月	ヒューマンインタフェース学会 安全管理支援技術専門研究会
列車位置検知へのGNSS測位技術適用に関する基礎研究	根橋 壮 (東日本旅客鉄道株式会社) 北村 光教 吉原 貴之 星谷 直哉 (東日本旅客鉄道株式会社) 長坂 雄一 (東日本旅客鉄道株式会社)	令和4年12月	第29回 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2022)
研究開発促進のための 航空交通データの提供	岡 恵	令和5年1月	サイエンティフィック・システム研究会 合同分科会 2022年度会合

羽田空港における航空機の進入時の後方乱気流に対するLIDAR観測結果について	藤井 直樹 吉原 貴之 瀬之口 敦	令和5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 (SANE)
円形アレーを用いたモードA/C応答方探実験システムの開発	北折 潤 塩見 格一 (福井医療大学)	令和5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 (SANE)
ヘリコプタ前方障害物監視用76 GHz小電力ミリ波レーダにおける レドーム影響評価-レドームによる探知性能劣化影響評価のための地上試験- 受信信号強度と機械学習を用いた簡易な航空機位置検証法	ニッ森 俊一 宮崎 則彦	令和5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 (SANE)
航空監視信号環境と航空交通流に関する一検討	大津山 卓哉 本田 純一	令和5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 (SANE)
ADS-Bの位置性能指数の実データ解析	松永 圭左 本田 純一	令和5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 (SANE)
航空交通データの一般への提供と活用促進の取り組み	岡 恵 中村 陽一 福田 豊 成岡 毅 (株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)	令和5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 (SANE)
福岡地域における地上デジタル放送波による船舶検出の実験結果	松尾 和馬 (福岡工業大学) 本田 純一 池田 誠 (福岡工業大学) 大津山 卓哉	令和5年1月	映像情報メディア学会 放送技術研究会
QZSS運用状況の分析：故障及びメンテナンスの傾向	坂井 丈泰 正木 美智	令和5年3月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
滑走路表面に堆積する雪氷の厚さ測定を試み	米本 成人 河村 暁子 ニッ森 俊一 森岡 和行 宮崎 則彦	令和5年3月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
日本における航空機電波高度計とSub-6帯5Gモバイルシステムの電磁干渉問題の現状と課題	ニッ森 俊一 平賀 規昭	令和5年3月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
ドローンを用いたPAPI検査時における画像処理の適用	高島 宗彦 毛塚 敦 本田 純一	令和5年3月	電子情報通信学会 総合大会
GBAS基準局におけるGPS信号受信に対する着陸機の影響の低減	齊藤 真二	令和5年3月	電子情報通信学会 総合大会
知識処理によるリモート・デジタルタワー用物体検知性能の改善	井上 諭 ブラウン マーク	令和5年3月	電子情報通信学会 総合大会
90 GHz帯小電力ミリ波レーダを用いた空港面探知の基本検討-仙台空港における動作確認試験-	ニッ森 俊一 柴垣 信彦 (株式会社日立国際電気)	令和5年3月	電子情報通信学会 総合大会
マルチラテレーション環境下における マルチコプタ型小型無人航空機のための衝突回避手法 マルチラテレーション環境下における マルチコプタ型小型無人航空機のための衝突回避手法	佐藤 岳 横井 浩史 (電気通信大学) 虎谷 大地 古賀 禎	令和5年3月	第10回 制御部門マルチシシボジウム (MSCS)

(h) その他

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
飛行場管制システムのデジタル化	井上 諭	令和4年4月	日本機械学会誌
東京管制部における訓練シミュレーターを使用した管制処理容量に関する分析と考察	平林 博子 村田 暁紀	令和4年4月	国土交通省 (関連を含む)
オンライン就職説明会 説明資料取りまとめ	森 亮太 高橋 透 本田 純一 畠山 佳代子	令和4年4月	電子航法研究所 就職説明会
実験用航空機紹介動画	鈴木 紀雄大	令和4年4月	電子航法研究所 ホームページ
航空交通データの提供による我が国の産学官連携への貢献で 令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において科学技術賞を受賞 航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要	福島 幸子	令和4年4月	電子航法研究所 ホームページ
エンルートを含む東京国際空港を対象とした到着管理の研究開発と応用	河村 暁子 森岡 和行 米本 成人	令和4年4月	国土交通省 (関連を含む)
14th USA/Europe Air Traffic Management R&D Semina参加報告	虎谷 大地 平林 博子 武市 昇 (東京都立大学)	令和4年5月	日本航空宇宙学会誌
ファストタイムシミュレーションの実施について	森 亮太	令和4年5月	第6回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
GNSS新補正信号DFMC SBASの動向	坂井 丈泰	令和4年6月	三菱電機 技術部会講演会
リスクレジリエンス工学概論	青山 久枝	令和4年6月	リスク・レジリエンス工学概論
スボラディックE (Es) 層による航空用VHF電波の異常伝播とその影響	齋藤 享 細川 敬祐 (電気通信大学) 坂井 純 (電気通信大学) 富澤 一郎 (電気通信大学)	令和4年6月	航空無線
巻頭言	永野 智子 (とりまとめ)	令和4年6月	航空無線
リスク・レジリエンス工学概論 講義資料	福島 幸子	令和4年6月	リスク・レジリエンス工学概論
航空通信基盤の高度化に関する研究開発概要	河村 暁子 森岡 和行 米本 成人	令和4年6月	CARATS推進協議会 CNS検討WG
ADS-Bに関する研究について一脆弱性対策一	長縄 潤一	令和4年7月	特別講義・出前講座等
SBAS通信サービスの将来について	北村 光教	令和4年7月	特別講義・出前講座等
GNSSにおける電離層の影響について	高橋 透	令和4年7月	特別講義・出前講座等
ファストタイムシミュレーションのパラメータの検討	森 亮太	令和4年7月	第7回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
フルブライツシミュレータ実験の逸脱量に関する報告	森 亮太	令和4年7月	第7回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
新方式におけるTCASアラート発出の検討	村田 暁紀 森 亮太	令和4年7月	第7回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
電子航法研究所の紹介	藤山 康太	令和4年7月	電子航法研究所 見学
Software for basic positioning (基本的な測位のためのソフトウェア)	高橋 透	令和4年8月	GNSSサマースクール
NANU情報データベース	坂井 丈泰	令和4年8月	電子航法研究所 ホームページ
航空機運航におけるDX推進	福島 幸子	令和4年9月	
GNSSの原理から基本的な測位アルゴリズム・プログラミング (基礎編)	坂井 丈泰	令和4年9月	SAPTオンラインスクール
GNSSを活用した新しい進入方式の研究	齊藤 真二	令和4年9月	特別講義・出前講座等
電子航法研究所の概要	永野 智子 (とりまとめ)	令和4年9月	特別講義・出前講座等
電子航法研究所におけるFOD検知システムの研究開発状況と羽田空港での評価計画	二ッ森 俊一	令和4年9月	特別講義・出前講座等
滑走路運用の効率化に資する新しい管制間隔の検討~TBS (Time-Based Separation) と高カテゴリGBAS~	吉原 貴之	令和4年9月	特別講義・出前講座等
航空交通管理領域ポスターセッション	福島 幸子	令和4年9月	航空無線
電子研発表会特集号へうみそら研連携および監視通信領域のオンラインポスターセッションについて	住谷 泰人	令和4年9月	航空無線
電子航法研究所発表会のご報告	藤山 康太	令和4年9月	航空無線
航空機内データ通信および電波高度計の電磁環境評価に関する研究開発	二ッ森 俊一	令和4年9月	航空無線
日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討	虎谷 大地	令和4年9月	航空無線
RNP to xLSの経路設計と飛行実証	齊藤 真二	令和4年9月	航空無線
オンラインポスターセッション <航法システム領域>	坂井 丈泰	令和4年9月	航空無線
気象要因による運航制約条件を考慮した軌道調整に関する研究の紹介	瀬之口 敦 平林 博子 中村 陽一	令和4年9月	航空無線
CARATS施策MET-4-1, MET-4-2およびTBO-2-1関連のENRI研究開発の進捗報告	瀬之口 敦 平林 博子 中村 陽一	令和4年9月	CARATS第49回ATM検討WG/第50回航空気象検討WG合同WG
ヘリコプターの障害物探知技術へミリ波レーダを用いた障害物探知技術の研究開発状況へ	二ッ森 俊一	令和4年10月	季刊誌「小型機と安全運航」
衛星ビーコンによる電離圏擾乱の観測	高橋 透	令和4年10月	大気圏科学セミナー
CARATS Open Data関連情報のホームページ	岡 恵 中村 陽一	令和4年10月	電子航法研究所 ホームページ
Research Activities in ENRI -UAS and UAM- (電子航法研究所における研究活動 -UASとUAM-)	虎谷 大地	令和4年10月	NASA Akbar Sultan氏研究紹介
AI Applications to ATM Research (AIのATM研究への適用)	森 亮太	令和4年10月	所内資料
日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討	虎谷 大地	令和4年10月	JRPAS
ファストタイムシミュレーションのパラメータの設定	森 亮太	令和4年11月	第8回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
羽田管制シミュレーション結果 (途中報告)	森 亮太	令和4年11月	第8回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
協調的空域共有を目指す有人機位置探知システムの研究開発について	古賀 禎	令和4年11月	レジリエンス研究教育推進コンソーシアム・ピッチ会
Introduction to GNSS data Analysis (GNSSデータの解析手法)	高橋 透 北村 光教 宗石 彩 小田 浩幸	令和4年11月	GIPTA研修 (発表のため出版物なし)
電波高度計電磁干渉特性取得試験結果速報第3報	二ッ森 俊一	令和4年11月	総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会
電波高度計の電磁干渉特性取得試験-日本の5Gモバイルシステム周波数条件での評価-および結果速報	二ッ森 俊一	令和4年11月	総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会
電波高度計電磁干渉特性取得試験結果速報第2報	二ッ森 俊一	令和4年11月	総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会
ゆくゆくは空	福島 幸子	令和4年11月	港湾空港技術講演会
DAPs取得データ利用による軌道予測精度向上の可能性検討	虎谷 大地	令和4年11月	CARATS推進協議会 ATM検討WG TBOアドホック
Research and Development of Airport Foreign Object Debris Detection System (滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発)	二ッ森 俊一	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Helicopter Obstacle Detection System Based on Millimeter-Wave Technology (ミリ波を用いたヘリコプター障害物監視支援技術)	二ッ森 俊一	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Three-Dimensional Radar Imager for Security Inspections (セキュリティ検査のため3次元レーダーシステムの開発)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Low Loss Composite Radome (低損失な複合材レドーム)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Lens Reflectors for Light and Radio Waves And Multi-beam Antennas (光と電波を反射する反射器・マルチビームアンテナ)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Radio Anechoic Chamber (電波無響室)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展

Radar Technology of Moving Target Recognition for Security Inspections (セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展
Headlamp incorporated millimeter wave radar (ミリ波レーダー組み込み型ヘッドライト)	米本 成人	令和4年11月	マイクロウェーブ展
電波高度計の電磁干渉特性取得試験-日本の5Gモバイルシステム周波数条件での評価と分析-	ニッ森 俊一	令和4年11月	総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会
中期APNTの概要とENRIの取り組み	毛塚 敦	令和4年12月	CARATS推進協議会 CNS検討WG 航法検討SG GNSS検討アドホック・小型機検討アドホック合同会議
SDECC向けSWIM概要説明及び質問回答票	呂 暁東	令和4年12月	特別講義・出前講座等
SDECC向け質問回答票	福島 幸子	令和4年12月	特別講義・出前講座等
航空交通管理の現状とこれから	平林 博子	令和4年12月	筑波大学リスク工学研究会 (RERM)
CARATSオープンデータ活用促進に向けた標準運航の分析	中村 陽一 岡 志 成岡 毅 (株式会社NTTデータ)	令和4年12月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム 2022
管制塔のデジタル化に向けて	井上 諭 角張 泰之	令和4年12月	航空無線
航空機の経路間隔と衝突危険度モデルの変遷	森 亮太	令和4年12月	NAVIGATION
気象予報データを活用した航空機の悪天回避経路の生成	中村 陽一 瀬之口 敦	令和4年12月	NAVIGATION
滑走路異物監視システムの研究開発状況および空港評価試験結果	ニッ森 俊一 柴垣 信彦 (株式会社日立国際電気)	令和4年12月	NAVIGATION
可搬型GBASの開発と飛行実験	齊藤 真二	令和4年12月	NAVIGATION
Advanced Technologies Research Program for Remote Digital Tower (リモートデジタルタワーのための応用技術に関する研究)	井上 諭	令和4年12月	意見交換会
実験動画「石垣島でフラズマバブルの影響を探る ～飛行機のナビゲーション～」	佐々木 晃	令和4年12月	電子航法研究所 ホームページ
航空機の安全と空中衝突リスクの考え方	虎谷 大地	令和4年12月	「人とドローンでつくる未来社会」
GPS (全地球測位システム) の脆弱性	坂井 丈泰	令和5年1月	東京湾海難防止協会会報誌「海の安全ジャーナル UW」
第33回国際航空科学会議ストックホルム大会 (ICAS2022) 参加報告	森 亮太	令和5年1月	日本航空宇宙学会誌
進入復行時の逸脱量検証	森 亮太	令和5年1月	第9回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
羽田管制シミュレーション結果 (2回目)	森 亮太	令和5年1月	第9回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
旋回時におけるRA作動検証 RJFRまとめ	村田 暁紀 森 亮太	令和5年1月	第9回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
電子航法研究所の概要	藤山 康太	令和5年1月	特別講義・出前講座等
滑走路異物 (FOD) 検知システムに関する研究の概要と進捗	ニッ森 俊一	令和5年1月	特別講義・出前講座等
電波高度計と5Gモバイルシステムの電磁干渉課題の現状	ニッ森 俊一	令和5年2月	特別講義・出前講座等
携帯型電子機器の航空機内での使用制限と耐性確認の実際について	河村 暁子	令和5年2月	特別講義・出前講座等
電子航法研究所の概要、他2点	米本 成人	令和5年2月	特別講義・出前講座等
2022 International Workshop on ATM/CNS (IWAC2022) 開催報告	福島 荘之介	令和5年2月	日本航空宇宙学会誌
SBASの最新動向	坂井 丈泰	令和5年2月	QBIC海外展開WG
有人機との情報共有	福島 幸子	令和5年2月	第3回 ReAMo業推進委員会
航空無線システムに及ぼす風力発電施設からの電波散乱に関する影響調査	本田 純一 米本 成人 Robert Geise (Leipzig University of Applied Science HTWK)	令和5年2月	日本風力エネルギー学会
シミュレータ検証結果 (追加) とファストタイムシミュレーション	森 亮太	令和5年3月	第10回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
羽田管制シミュレーション結果 (2回目)	森 亮太	令和5年3月	第10回 新たな飛行方式の導入に係る検討会議
無線信号特徴量を使った航空機位置情報 (ADS-B) の検証	長縄 潤一 宮崎 裕巳 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和5年3月	日本AEM学会誌
Characterization of the Ionosphere for GBAS Implementation in the Asia-Pacific Region (アジア太平洋地域におけるGBAS導入のための電離圏評価)	齋藤 享 吉原 貴之 中村 真帆	令和5年3月	Japan Wireless Workshop 2023
ノルウェー・オスロにおけるQZSSから放送されたDFMC SBASの受信実験	高橋 透	令和5年3月	航空無線
MR TBO Lab Demoの報告	呂 暁東 福島 幸子	令和5年3月	CARATS推進協議会
オンライン説明会説明資料 取りまとめ	村田 暁紀 高橋 透 長縄 潤一 畠山 佳代子	令和5年3月	電子航法研究所 就職説明会
ENRI Introduction for Internship and Research Cooperation with ENAC (ENRI紹介 - ENACとのインターンシップおよび研究協力において)	井上 諭	令和5年3月	ENAC (フランス民間航空大学校)

8 知的財産権

当研究所の令和4年度末(R5.3.31)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(国内)年月日	登録番号	登録年月日
カオス論的指標値計算システム PCT出願 (日本国内)	塩見格一	H15.12.26	4317898	H21.6.5
カオス論的指標値計算システム (日本国内分割)	塩見格一	H15.12.26	4989618	H24.5.11
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局通信制御方法及び通信システム	金田直樹 塩見格一	H16.3.3	4107432	H20.4.11
電波装置	米本成人	H16.5.18	3845426	H18.8.25
航空管制用インタフェース装置、その表示制御方法およびコンピュータプログラム	塩見格一	H16.3.29	3888688	H18.12.8
大脳評価装置 PCT出願 (日本国内)	塩見格一	H16.4.28	4500955	H22.4.30
航空管制業務支援システム、航空機の位置を予測する方法及びコンピュータプログラム	塩見格一 金田直樹	H18.10.13	4355833	H21.8.14
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
誘電体レンズを用いた電磁波の反射器、発生器及び信号機	米本成人	H17.1.18	3995687	H19.8.10
移動体の測位方法及びその測位装置	古賀禎 田嶋裕久	H17.2.21	4736083	H23.5.13
航空管制システム及び航空管制システムで用いられる携帯情報端末	塩見格一 金田直樹	H17.6.21	4625954	H22.11.19
航空路管制用管制卓における順序・間隔付けヒューマンインタフェース装置	塩見格一 金田直樹	H17.6.21	4590559	H22.9.24
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
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
作業適性判定システム	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
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。	二ッ森俊一 米本成人 河村暁子	H23.4.26	5376470	H25.10.4
直線偏波の制御方法及びその装置 (分割出願)	二ッ森俊一 米本成人 河村暁子	H23.4.26	5598879	H26.8.22
自律神経の状態評価システム	塩見格一	H23.7.20	5812265	H27.10.2
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置	坂井丈泰	H28.1.23	6332874	H30.5.11
レーダ装置における相互干渉を回避する方法及びこの方法を用いた監視装置。	二ッ森俊一 森岡和行 河村暁子 米本成人	H27.6.11	6195278	H29.8.25
G N S Sを用いて航法を行う機能を有する航空機の航法性能の推定方法及び推定装置、並びに航空機の航空性能の劣化を検出する方法及び航空機の航法性能の監視装置	麻生貴広	H29.4.7	6288745	H30.2.16
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置。	坂井丈泰	H29.9.5	6440217	H30.11.30

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国内)年月日	登録番号	登録年月日
遠隔型飛行場援助業務用情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上諭	H31. 3. 26	1648467	R1. 11. 29
航空機情報表示機能及び空港情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上諭	H31. 3. 26	1648468	R1. 11. 29
遠隔型飛行場援助業務用情報表示機能及び空港情報表示機能付き電子計算機（意匠）	井上諭	H31. 3. 26	1648469	R1. 11. 29
レーダシステム及びレーダ探索方法	塩見格一	H28. 9. 19	6995326	R3. 12. 17
端末制御信号の送信装置	米本成人 角張泰之	H29. 9. 28	6892645	R3. 6. 1
積雪特性を測定する方法及びその装置及びこの積雪特性を測定する方法を利用した融雪災害の予測監視方法及びその装置	吉原貴之 齋藤 享 毛塚 敦	H30. 11. 8	7168142	R4. 10. 31

②海外

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国際)年月日	登録番号	登録年月日
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 PCT出願（アメリカ国内）	塩見格一	H16. 1. 26	US 7091994	H18. 8. 15
電波装置 PCT出願（アメリカ国内）	米本成人	H17. 3. 9	US 7446730	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 8471757	H25. 6. 25
ミリ波レーダ組み込み型ヘッドランプ パリルート（アメリカ国内）	米本成人 河村暁子	H22. 5. 11	US 8803728	H26. 8. 12

(2) 出願中

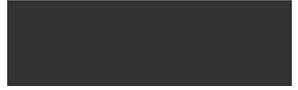
①日本国内

発明の名称	発明者	出願(国内)年月日	出願番号
質問信号送信システム及び質問信号送信方法	角張泰之 古賀 禎	R1. 9. 20	2019-171749
G N S Sを用いた車両の測位に用いる擬似距離誤差の評価指標及び測位解の信頼性指標を求める方法及びサイクルスリップを検出し、波数バイアスを修正する方法、及びGNSSを用いた車両の測位方法及びその装置	麻生貴広 吉原貴之 北村光教	R2. 11. 5	2020-184967
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法、測位誤差を補正する情報処理装置及びプログラム	坂井丈泰	R3. 3. 25	2021-051650
補正量算出装置、移動体測位システム、補正量算出方法、及び補正量算出プログラム	角張泰之 古賀 禎	R4. 9. 20	2022-149226
D G P S補正方式における擬似距離補正值の補正方法及びその装置	北村光教	R4. 10. 31	2022-174458
衛星航法システムの誤差補正の方法及び装置	坂井丈泰 北村光教	R5. 3. 29	2023-065966

②海外

無し

第 3 部 現 況



1 令和4年度に購入した主要機器

メッセージ処理サーバー 1式
マルチチャンネル受信ソフトウェア無線機 1式
ケーブル敷設 1式
ケーブル管路敷設 1式
航空路監視技術実験用アレーアンテナの改修 1式
コントローラ 2式
地上電源装置 1式
航空機電波高度計 1式
高精度GNSS受信機 1式
試験用滑走路異物監視システム用ミリ波レーダアンテナ低サイトロープ化改修 1式
ワークステーション 1式
電波無響室用3軸回転台 1式
モジュール型ネットワークアナライザ 1式
【岩沼分室】新格納庫モニタカメラ 1式
ローカル5G無線機 1式
試験用滑走路異物監視システム入出力インターフェイス改修 1式
滑走路異物監視システム評価装置設置工事【緑地帯施工分】 1式
滑走路異物監視システム評価装置設置工事【庁舎(4.7F)機器室施工分】 1式
衛星通信装置とVHFデータ通信装置の航空機取り付け 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、各種の干渉妨害に関する測定実験も行われている。

また、令和4年度は、老朽化のため、新規に3軸回転台を更新した。LAN経由で制御して、最大80kg-mまでのモーメントの物体を、従来比2倍以上の速度で回転させることが可能となった。

[要目概要]

内装寸法： 32.0 m×6.2 m×4.2 m

周波数範囲： 1～110 GHz

無反射範囲： 23m 以上

反射減衰量： 50dB 以上

遮蔽減衰量： 90dB 以上

付属設備： 計測室、空調設備、空中線特性試験装置、
アンテナ回転台移動装置、計測機器ピット、各種無線計測機器、非常照明

2 アンテナ試験塔

アンテナ試験塔は、昭和52年に建設され、VORの研究などで使用されてきた。

平成17年度には、二次監視レーダー（SSR）モードSの高度運用技術の研究で使用するため、レーダー設置台を設置するなどの改修を行った。平成19年度には、回転式アンテナを含むSSR装置が設置された。

このほかに、屋上には、実験などに利用するためのスペースが確保されており、GPSアンテナなどが設置されている。

[要目概要]

高さ： 19.15 m

3 ネットワークシステム

当研究所のネットワークシステムは、共用電子計算機システムの一部として昭和50年台に所内LANが整備されたものに端を発するが、当初は外部組織とのネットワーク接続はなかった。平成5年、研究を効率的に進める上での電子メールの必要性が研究所内で認識され、日本のインターネットの草分けであるJUNET(Japan University Network)に接続し、電子メール及びネットニュースの利用を開始した。その後、平成7年に当時の科学技術庁の管理下にあった省際研究情報ネットワーク(IMnet: Inter-Ministry Research Information Network)に光ケーブル専用線で接続し、電子メールとネットニュースの他、www や ftp, telnet 等の現在のインターネットの基礎となるサービスを楽しむようになった。当時の光ケーブル専用線のデータ転送帯域は、192kbpsであった。現在は、国立情報学研究所が提供する学術情報ネットワーク(SINET: Science Information Network)を利用して、10Gbps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という形で事務部門および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、ファイル共有、無線LAN(所内用/ゲスト用/eduroam)、所内LANへのSSL-VPN接続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。なお、従来、ネットワークシステムの機能の一部であったグループウェアについては、海上・港湾・航空技術研究所への統合に伴い、3研究所で同一のサービスを用いる方針のもと、海上技術安全研究所の用いているデスクネッツ・ネオにSINETのVPN経由で相乗りする運用へ平成31年1月に移行した。同様に、電子メールおよびWebサーバについても、令和4年度に外部のクラウドサービスへ移行した。

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

当研究所の令和4年度に発行した刊行物は、下記のとおりである。

電子航法研究所報告 135号 (2022.12)
令和4年度電子航法研究所研究発表会講演概要 (2022.6)
令和3年度電子航法研究所年報 (2022.8)
令和4年度電子航法研究所要覧 (2022.6)

4 行事等

当研究所の令和4年度における行事等は、下記のとおりである。

研究施設一般公開〔Web公開〕

当研究所の各施設および実験風景をWeb上で公開した。

(<https://www.mpat.go.jp/virtual/index.html>)

令和4年度第1回評議員会〔令和4年5月19日(木) Web開催〕

評議員会において、業務実績及び自己評価等について外部評価を実施した。

1. 令和3年度 業務実績及び自己評価(電子研部分)
2. 令和4年度 年度計画(電子研部分)
3. 次期中長期計画(電子研部分)

研究発表会〔令和4年6月16日(木)～6月17日(金) Web開催〕

令和4年度(第22回)電子航法研究所研究発表会をオンラインセミナーで開催した。

(2日間接続者数延べ538名)

第98回出前講座〔令和4年7月4日(月)〕 航空局管制技術課性能評価センター

1. SBAS配信サービスの将来について (航法システム領域 主任研究員 北村 光教)
2. GNSSにおける電離層の影響について (航法システム領域 主任研究員 高橋 透)
3. ADS-Bに関する研究について (監視通信領域 主任研究員 長縄 潤一)

研究施設見学会〔令和4年9月2日(金)〕

1. 電子研概況説明 (研究計画課 課長 蔭山 康太)
2. 航空交通管制シミュレーション (航空交通管理領域 主幹研究員 平林 博子)
3. CDOに関する研究 (航空交通管理領域 主任研究員 ビクラマジンハ ナヴィンダ キトマル)
4. SSRモードS地上局 (監視通信領域 上席研究員 古賀 禎)

第99回出前講座〔令和4年9月13日(火)〕 東京航空局東京空港事務所

1. 電子航法研究所の概要 (研究統括監 福島 莊之介)
2. GNSSを活用した新しい進入方式の研究 (航法システム領域 主幹研究員 齊藤 真二)
3. 滑走路運用の効率化に資する新しい管制間隔の検討 (航法システム領域 上席研究員 吉原 貴之)
4. 電子航法研究所におけるFOD検知システムの研究開発状況と羽田空港での評価計画 (監視通信領域 主幹研究員 ニッ森 俊一)

ATM/CNSに関する国際ワークショップ2022 (IWAC2022) [令和4年10月25日 (火) ~27日 (木)]
中野セントラルパークカンファレンスにて開催し,3日間で約300名が参加した。

第100回出前講座 [令和5年1月18日 (水) Web開催] 航空保安大学校

1. 電子航法研究所の概要
(研究計画課 課長 蔭山 康太)
2. 滑走路異物監視システムに関する研究の概要と進捗
(監視通信領域 主幹研究員 ニッ森 俊一)

第101回出前講座 [令和5年2月3日 (金)] 東京航空局安全総括室航空機検査官

1. 携帯電子機器の航空機に対する影響評価に関する国際規格について
(監視通信領域 上席研究員 米本 成人)
2. 電磁干渉評価に必要となる電磁界理論計算について
(監視通信領域 上席研究員 米本 成人)
3. 携帯型電子機器の航空機内での使用制限と耐性確認の実際について
(監視通信領域 主幹研究員 河村 暁子)
4. 電波高度計と5Gモバイルシステムの電磁干渉課題の現状
(監視通信領域 主幹研究員 ニッ森 俊一)

令和4年度第2回評議員会 [令和5年2月27日 (月) Web開催]

評議員会において,下記課題に関する外部評価を実施した。
中間評価課題「新しい GNSS 環境を活用した進入着陸誘導システムに関する研究」

第1期中長期計画成果報告会 [令和5年3月15日 (水) Web開催]

第1期中長期計画の7年間で令和4年度末で終了することに伴い,研究成果の社会還元を
フォーカスして7年間にわたる研究成果や活動を総括し,第2期中長期計画に向けた方針を示す
報告会をオンラインセミナーで開催した。
(接続者数 85名)

1. 第1期中長期計画の全体総括
(研究統括監 福島 莊之介)
2. 研究成果と今後の方向性
(航空交通管理領域 領域長 福島 幸子)
3. 研究成果と今後の方向性
(航法システム領域 領域長 今村 純)
4. 研究成果と今後の方向性
(監視通信領域 領域長 住谷 泰人)

5 職員表彰

◎ 理事長表彰（令和4年7月22日）

永年勤続（30年）

北折 潤（監視通信領域）

小田 浩幸（航法システム領域）

永年勤続（20年）

金田 直樹（監視通信領域）

特 別

岡 恵（航空交通管理領域）

古賀 禎（監視通信領域）

瀬之口 敦（航空交通管理領域）

航空交通データの収集・整備・提供活動が、航空宇宙工学と航空宇宙産業の発展に貢献するものとして、日本航空宇宙学会技術賞を受賞

令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰においても科学技術賞を受賞

特 別

平林 博子（航空交通管理領域）

ブラウン マーク（航空交通管理領域）

ATM Seminar2021における発表“Feasibility Study of Free routing Airspace Operation over the North Pacific Airspace”で、Best Paper Awardを受賞

◎ 電子航法研究所所長表彰（令和4年7月22日）

特 別

虎谷 大地（航空交通管理領域）

計測自動制御学会主催の第8回制御部門マルチシンポジウムにおける発表「Semi-CD0：航空機の新たな降下運航方式の提案と到着管理アルゴリズム」で2022年マルチシンポジウム賞（技術部門）を受賞

宮崎 裕己（監視通信領域）

日本航空技術協会において、「広域マルチラテレーションの開発」が【企業・団体部門】会長賞を受賞

長縄 潤一（監視通信領域）

日本航空技術協会において、「広域マルチラテレーションの開発」が【企業・団体部門】会長賞を受賞

電子情報通信学会通信ソサイエティにおいて、活動功労賞を受賞

付 録



1. 略語表

略語	英語	日本語
A		
ABAS	Aircraft-Based Augmentation System	機上型衛星航法補強システム 用語解説 (ABAS)
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	航空機衝突防止装置 用語解説 (ACAS)
ACAS-X	Airborne Collision Avoidance System X	次世代 ACAS(航空機衝突防止装置)
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System	航空機空地データ通信システム 必要な運航情報を ARINC/SITA の通信網を介して航空機側から地上へ、または地上から航空機側へ提供するシステム
A-CDM	Airport CDM (Collaborative Decision Making)	空港 CDM
ADEX	ATC Data Exchange system	管制データ交換処理システム
ADOV	Ad hoc On-Demand Distance Vector	アドホックオンデマンド距離ベクトル
ADS	Automatic Dependent Surveillance	自動位置情報伝送・監視機能
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	放送型自動位置情報伝送・監視機能 用語解説 (ADS-B)
ADS-B-NRA	ADS-B Non-Radar Airspace	非レーダ空域での航空管制を ADS-B によって補強する方式
ADS-B-RAD	ADS-B Radar Airspace	レーダ覆域内の空域での航空管制を ADS-B によって補強する方式
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contract	自動従属監視
AeroMACS	Aeronautical Mobile Airport Communications System	空港用高速移動通信システム
AEROTHAI	Aeronautical Radio of Thailand Limited	エアロタイ社 (タイ国政府や航空各社が出資し、タイで航空管制業務を行う企業)
AI	Artificial Intelligence	人工知能
AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics	米国航空宇宙学会
AIDC	Air Traffic Services Interfacility Data Communications	管制機関間データ通信
AIP	Aeronautical Information Publication	航空路誌 (航空機の運航に必要な情報を収録する出版物で、国が発行している)
AirTOP	Air Traffic Optimizer	航空交通管理シミュレーションソフトウェア
AIXM	Aeronautic Information Exchange Model	航空情報交換モデル

AMAN	Arrival MANager ※Arrival MANagement System と同義	到着管理システム
AMHS	ATS Message Handling System	管制機関や航空会社間が利用するメールサービスの一種
AMS(R)S	Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service	航空機と地上との衛星通信サービス
ANConf	Air Navigation Conference	ICAO 航空管制会議
ANSP	Air Navigation Service Provider	航空管制サービスプロバイダ
APAC	Asia-Pacific	アジア太平洋地域
APANPIRG	Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group	アジア太平洋地域航空管制計画整備グループ
APEC	Asia Pacific Economic Cooperation	アジア太平洋経済協力
APISAT	Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology	アジア太平洋航空宇宙技術国際シンポジウム(国際学会)
APNT	Alternative Position, Navigation and Timing	(GNSS の) 代替測位・航法・測時
APV	Approach Procedure with Vertical Guidance	垂直誘導付進入方式 方位方向と垂直方向の誘導情報を用いるが、精密進入の要件を満たしていない進入のこと 用語解説 (APV)
APV-I	Approach with Vertical Guidance 1	垂直誘導付進入の一形態で決心高度 (着陸するか否かをパイロットが判断する高度) 250 フィートまで利用可能な進入モード
AR	Augmented Reality	拡張現実
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated	エアールリンク社 (米国の民間航空通信会社)
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service	航空無線航法サービス
ARSR	Air Route Surveillance Radar	航空路監視レーダ
ASA	Airborne Surveillance Application	機上監視応用 用語解説 (ASA)
ASAS	Airborne Separation Assurance / Assistance System (※最新の ICAO 文書等では、ASA または ASA システムとして統一して扱っている。)	航空機間隔維持支援装置システム
ASBUs	Aviation System Block Upgrades	GANP の技術開発ロードマップ
ASDE	Airport Surface Detection Equipment	空港面探知レーダ
A-SMGCS	Advanced-Surface Movement Guidance and Control System	先進型地上走行誘導管制システム 用語解説 (A-SMGCS)
ASP	ATM Service Provider	ATM サービス提供者
ASR	Airport Surveillance Radar	空港監視レーダ
ASTERIX	All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange	欧州の監視情報交換の規格

ASWG	Aeronautical Surveillance Working Group	航空監視ワーキンググループ(ICA0 SP)
ATC	Air Traffic Control	航空交通管制
ATCA	Air Traffic Controllers Association	米国管制協会
ATEC	Association of Air Transport Engineering and Research	(公財) 航空輸送技術研究センター
ATFM	Air Traffic Flow Management	航空交通流管理
ATIS	Automatic Terminal Information Service	飛行場情報放送業務
ATM	Air Traffic Management	航空交通管理
ATMC	Air Traffic Management Center	航空交通管理センター (航空局の組織)
ATMRI	Air Traffic Management Research Institute	シンガポール ATM 研究所
ATMRPP	Air Traffic Management Requirements and Performance Panel	航空交通管理要求性能パネル
ATS	Air Traffic Services	航空交通業務
ATSA	Airborne Traffic Situational Awareness	航空交通状況認識
ATSU	Air Traffic Services Unit	航空交通業務ユニット
AU	Airspace User	空域利用者
B		
BADA	Base of Aircraft Data	国際的に使用されている航空機緒元データ
BDS	BeiDou Navigation Satellite System	北斗衛星導航系統, 中国の全地球的測位衛星システム
BIS	Boundary Intermediate System	境界型中間システム
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional (National Research and Innovation Agency)	インドネシア国立研究革新庁
C		
CANSO	Civil Air Navigation Services Organization	民間航空交通管制業務提供機構
CARATS	Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems	将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (日本)
CAS	Collision Avoidance System	衝突防止システム
CAT	Category	精密進入の運用分類 用語解説 (CAT-I,II,III)
CCO	Continuous Climb Operations	継続上昇運航
CDM	Collaborative Decision Making	協調的意思決定 用語解説 (CDM)
CDMA	Code Division Multiple Access	符号分割多重接続

CDO	Continuous Descent Operations	継続降下運航 用語解説 (CDO)
CDP	Climb Descent Procedure	ノンレーダ空域において ADS-C 監視機能を活用して短縮管制間隔を適用して上昇降下を実施する方式
CDR	ConDitional Route	調整経路 一定の条件を満たしたときのみ飛行計画経路として記載できる経路
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information	コックピット交通情報表示装置
CENPAC	Central Pacific	南部太平洋経路
CFDT	Calculated Fixed Departure Time	特定フィックスの通過時刻による交通流制御手法 用語解説 (CFDT)
CFIT	Controlled Flight Into Terrain	操縦可能状態での地上衝突事故
CMU	Communication Management Unit	通信管理装置
CNS	Communication, Navigation and Surveillance	通信・航法・監視 用語解説 (CNS)
CNTSG	Conventional Nav aids and Testing Subgroup	従来航法・検査サブグループ
COTS	Commercial Off-the-Shelf	商用オフザシェルフ
CP	Communication Panel	通信パネル (ICAO)
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications	管制官・パイロット間データ通信
CRM	Collision Risk Model	衝突危険度モデル
CRV	Common aeRonautical Virtual Private Network	共通航空仮想プライベートネットワーク
CSG	Category II/III Subgroup	カテゴリーII/IIIサブグループ(ICAO NSP)
D		
DAPs	Downlink Aircraft Parameters	航空機動態情報 用語解説 (DAPs)
DA コンバータ	Digital Analog Converter	デジタルーアナログ変換回路
DCAT	Descriptive Context Analysis support Tool	記述的状況分析支援ツール
DCIWG	Data Communications Infrastructure Working Group	データ通信基盤作業部会
DCB	Demand/Capacity Balancing	需要と容量のバランス
DDM	Difference in the Depth of Modulation	二つの変調波の変調度の差
DFIS	Digital Flight Information Service	デジタル飛行情報提供業務
DFMC	Dual-Frequency Multi-Constellation	GNSS 測位において、二周波の信号と複数の測位衛星システムを利用すること

DFS	Deutsche Flugsicherung	ドイツの航空管制サービスプロバイダ
DGPS	Differential GPS	ディファレンシャル GPS 用語解説 (DGPS)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	ドイツ航空研究所
DMAN	Departure MANager ※Departure MANagement System と同義	出発管理システム
DME	Distance Measuring Equipment	→VOR/DME 用語解説 (DME)
DSB	Double Sideband	両側波帯
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector	ディスティネーションシーケンス距離ベクトル
DSNA	Direction des Services de la Navigation Aérienne	仏国の航空管制機関 (仏国航空局の一部門)
DSP	Digital Signal Processing/Processor	デジタル信号処理 (機) (集積回路)
D-TAXI	Datalink Taxi Clearance Delivery	データリンクを用いた航空機の地上誘導技術
E		
EADS	European Aeronautic Defense and Space	エアバス親会社の社名
EASA	European Union Aviation Safety Agency	欧州航空安全庁
EAR	Equatorial Atmosphere Radar	赤道大気レーダ。京都大学がインドネシアに設置した大気・電離圏観測用レーダ
EDCT	Expected Departure Clearance Time	出発制御時刻
EFB	Electronic Flight Bag	電子フライトバッグ 用語解説 (EFB)
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	欧州の SBAS
EIWAC	ENRI International Workshop on ATM/CNS	電子航法研究所が主催する ATM/CNS に関する国際ワークショップ → 2022 年より名称変更により IWAC へ変更
ELT	Emergency Locator Transmitter	航空機用救命無線機 (非常位置送信機)
EMA/RMA	En-route Monitoring Agency / Regional Monitoring Agency	国際空域の PBN 運航や RVSM 空域の安全性監視を行う機関
EMC	Electro-Magnetic Compatibility	電磁両立性
EMI	Electro Magnetic Interference	電磁干渉
ENRI	Electronic Navigation Research Institute	電子航法研究所 (MPAT)
ENAC	École Nationale de l'Aviation Civile	仏国国立民間航空学院
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
Es Layer	Sporadic E Layer	スプラディック E 層 (電離圏)

ESTEC	European Space Research and Technology Centre	欧州宇宙研究技術センター
ETM	Upper Class E Traffic Management	高層クラス E における交通管理
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute	韓国電子通信研究院
ETS	Engineering Test Satellite	技術試験衛星
EuRAD	European Radar Conference	欧州レーダ会議(国際学会)
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment	欧州民間航空用装置製造業者機構 用語解説 (EUROCAE)
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	欧州航空(航法)安全機関, 欧州管制機関 用語解説 (EUROCONTROL)
EVS	Enhanced Vision System	エンハンスド・ビジョン・システム
F		
FAA	Federal Aviation Administration	米国連邦航空局 用語解説 (FAA)
FACE	Flight object Administration Center System	飛行情報管理処理システム
FATS	Future Air Transportation System	日米将来航空交通システムの調和に関する会議
FD	Fault Detection	(測位衛星の) 故障検出
FDE	Fault Detection and Exclusion	(測位衛星の) 故障検出と排除
FDMA	Frequency Division Multiple Access	周波数分割多元接続
FDTD	Finite Difference time-domain method	有限差分時間領域法
FF-ICE	Flight and Flow Information for a Collaborative Environment	協調的環境のための飛行と交通流情報
FFM	Far Field Monitor	ファーフィールドモニタ (CAT-IIIに設置され滑走路末端でローカライザ電波を監視する装置)
FIM	Flight-deck Interval Management	航空機間隔を管理する機上装置の機能
FIR	Flight Information Region	飛行情報区
FIXM	Flight Information Exchange Model	飛行情報交換モデル
FMC	Flight Management Computer	飛行管理装置 (パイロット端末を除く計算装置の部分)
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	周波数変調された連続波
FMS	Flight Management System	飛行管理装置 用語解説 (FMS)
FOD	Foreign Object Debris	(滑走路上の)異物
FRA	Free Route Airspace	フリールート空域
FSMP	Frequency Spectrum Management Panel	周波数管理パネル(ICAO)

FUA	Flexible Use of Airspace	空域の柔軟な運用 国や FIR 境界線ではなくユーザの運用要件を満たすような空域管理概念
G		
GAGAN	GPS Aided GEO Augmented Navigation	印国の SBAS
GALILEO	GALILEO	欧州の全地球的測位衛星システム
GANP	Global Air Navigation (Capacity & Efficiency) Plan	世界航空交通計画
GAP	Ground Access Point	地上アクセスポイント
GAST-D	GBAS Approach Service Type D	GPS/GLONASS の L1 信号一周波を用いて補強情報を生成するカテゴリー III 着陸に対応した GBAS
GBAS	Ground-Based Augmentation System	地上型衛星航法補強システム 用語解説 (GBAS)
GBT	Ground-Based Transceiver	地上局, または地上送受信装置
GEO	Geo-stationary Earth Orbit	静止軌道(衛星)
GEONET	GNSS Earth Observation Network System	国土地理院 GNSS 連続観測システム 用語解説 (GEONET)
GES	Ground Earth Station	(衛星通信施設の)地球局
GICB	Ground-Initiated Comm-B	地上喚起 Comm-B 用語解説 (地上喚起 Comm-B)
GIM	Ground-based Interval Management	航空機間隔を管理する AMAN の拡張システム
GIVE	Grid Ionospheric Vertical Error	電離圏格子点垂直誤差
GLONASS	Global Navigation Satellite System	露国の全地球的測位衛星システム
GLS	GNSS Landing System (場合により, GBAS Landing System)	GNSS 着陸システム (場合により, GBAS 着陸システム)
GNSS	Global Navigation Satellite System	全地球的航法衛星システム 用語解説 (GNSS)
GP	Glide Path	グライド・パス 用語解説 (ILS)
GPAS	Graded Proximity Advisory System	段階的接近警報システム
GPS	Global Positioning System	米国の全地球的測位システム
GUFI	Globally Unique Flight Identifier	航空機識別子
GUI	Graphical User Interface	視覚的操作部
H		

HAL	Horizontal Alert Limit	水平警報限界 用語解説（保護レベルと警報限界）
HF	High Frequency	短波
HF	Human factor	人的要素
HMI	Human-Machine Interface	人間機械インタフェース
HMI	Hazardous Misleading Information	危険な誤誘導情報
HMU	Height Monitoring Unit	高度監視装置
HPL	Horizontal Protection Level	水平保護レベル 用語解説（保護レベルと警報限界）
I		
IAATC	International Advanced Aviation Technologies Conference	国際次世代航空技術会議
IATA	International Air Transport Association	国際航空運送協会
ICAO	International Civil Aviation Organization	国際民間航空機関 用語解説（ICAO）
ICAP	Integrated Control Advice Processing System	管制支援処理システム
ICAS	International Council of the Aeronautical Sciences	国際航空科学会議
ICNS	Integrated Communications Navigation and Surveillance	CNS の国際学会
ICSANE	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics	宇宙航行エレクトロニクス国際会議(国際学会)
ID	Identifier	識別符号
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	米国電気電子学会
IES	International Ionospheric Effect Symposium	電離圏の影響に関する国際シンポジウム
IFM	Ionosphere Field Monitor	電離圏フィールドモニタ
IFPP	Instrumental Flight Procedures Panel	計器飛行方式パネル(ICAO)
IFR	Instrument Flight Rules	計器飛行方式
IGS	International GPS Service	国際 GPS 事業
IGWG	International GBAS Working Group	国際 GBAS ワーキンググループ会議
ILS	Instrument Landing System	計器着陸装置 用語解説（ILS）
IM	Interval Management	間隔管理
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性計測装置
INCS	Independent Non-Cooperative Surveillance	独立非協調監視システム

INS	Inertial Navigation System	慣性航法装置
ION	Institute of Navigation	米国航法学会
IP	Information Paper	インフォメーションペーパー
IP	Information Provider	情報提供者
IP	Internet Protocol	インターネットプロトコル
IPACG	Informal Pacific ATC Coordinating Group	日米航空管制調整グループ会議
IPL	Interference Path Loss	干渉経路損失
IPS	Internet Protocol Suite	インターネットプロトコルスイート
ISA	International Standard Atmosphere	国際標準大気モデル
ISTF	Ionospheric Studies Taskforce	電離圏データ収集・共有タスクフォース(ICAO)
IS-QZSS	Interface Specification-QZSS	準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書
IT	Information Technology	情報技術
ITP	In Trail Procedure	機上監視上昇降下方式 (ノンレーダ空域において ADS-B 監視機能を活用し短縮管制間隔を適用して上昇降下を実施する方式)
ITRF	International Terrestrial Reference Frame	国際地球基準座標系
ITU	International Telecommunication Union	国際電気通信連合
IWAC	International Workshop on ATM/CNS	ATM/CNS に関する国際ワークショップ
IWG	SBAS Technical Interoperability Working Group	SBAS 相互運用性作業グループ
IWXXM	ICAO Meteorological Information. Exchange Model	国際民間航空機関気象情報交換モデル (ICAO が管理している)
J		
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
JCAB	Japan Civil Aviation Bureau	国土交通省航空局
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JPL	Jet Propulsion Laboratory	ジェット推進研究所 (米国)
JPGU	Japan Geoscience Union	日本地球惑星科学連合
K		
KAIST	Korea Advanced Institute of Science and Technology	韓国科学技術院
KARI	Korea Aerospace Research Institute	韓国航空宇宙研究院
KASI	Korea Astronomy Space Science Institute	韓国天文宇宙科学研究院
KAU	Korea Aerospace University	韓国航空大学

KICTEP	Korea Institute of Construction and Transportation Technology Evaluation and Planning	韓国建設・運輸技術評価計画機構
KMITL	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	タイ・モンクット王工科大学ラカバン
KOTI	The Korea Transport Institute	韓国交通研究院
L		
L1-SAIF	L1 Submeter-class Augmentation with Integrity Function	完全性機能を有するサブメートル級補強信号(準天頂衛星)
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (National Institute of Aeronautics and Space)	インドネシア国立航空宇宙研究所
LDA	Localizer Type Directional Aid	ローカライザー型式方向援助施設
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communication System	L 帯デジタル航空通信システム
LEO	Low Earth Orbit	低軌道(衛星)
LFM	Local Forecast Model	局地予報モデル
LPV200	Localizer Performance with Vertical Guidance 200	決心高度(着陸するか否かをパイロットが判断する高度) 200 フィートまで利用可能な進入モード 用語解説 (LPV-200)
LOC	Localizer	ローカライザー。計器着陸装置 (ILS) を構成するもので滑走路の中心線を示す。 用語解説 (ILS)
M		
MAC	Medium Access Control	メディアアクセス制御
MASPS	Minimum Aviation System Performance Standards	航空システム最低性能要件
METP	Meteorology Panel	気象パネル (ICAO)
MIAM	Media Independent Aircraft Messaging	装置独立型航空機メッセージング
MIMO	Multiple-Input Multiple Output	複数アンテナを用いた無線通信の送受信技術
MLAT	Multilateration(system)	マルチラテレーション 用語解説 (マルチラテレーション)
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism	国土交通省
MMBB 法	Modified MBB (Messerschmidt, Bölkow und Blohm)	日本の航空交通流管理において航空路管制セクタの管制作業量を予測する方法で MBB 法を我が国用に修正したもの
MMR	Multi-Mode Receiver	マルチモード受信機 (機上装置)
MOPS	Minimum Operational Performance Standards	最低運用性能基準
MPAT	National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

MSAS	MTSAT Satellite-based Augmentation System/ Michibiki Satellite-based Augmentation System	日本の SBAS。運用開始時 (2007 年 9 月) の静止衛星は MTSAT であったが、2020 年 4 月から準天頂衛星みちびきを利用。
MSPSR	Multi-Static Primary Surveillance Radar	マルチスタティックレーダ (従来型 1 次レーダの代替を目指して検討されている新型レーダシステム)
MTBO	Mean Time Between Outages	施設が障害により停止に至るまでの平均時間
MTCD	Medium-Term Conflict Detection	中期コンフリクト検出
MTSAT	Multi-Functional Transport Satellite	運輸多目的衛星
MU レーダ	Middle and Upper Atmosphere Radar	中層超高層大気観測用大型レーダ 用語解説 (MU レーダ)
MUSIC	Multiple Signal Classification	MUSIC 法 (強いて訳せば、多重信号分類法)
N		
NACp	Navigation Accuracy Category - position	航法位置精度カテゴリー
NARAHG	North Asia Regional ATFM Harmonization Group	北東アジア地域交通流管理調整グループ
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NASA-TLX	NASA Task Load Index	NASA が開発した業務負荷指標
NAV	Navigation or Navaids	航法, または航行援助施設
NCAR	The National Center for Atmospheric Research	米国大気科学研究所
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
NextGen	Next Generation Air Transportation System	次世代航空交通システムに関する統合的なビジョン(米国)
NIC	Navigation Integrity Category	航法インテグリティカテゴリー
NLR	Royal Netherlands Aerospace Centre	オランダ航空宇宙研究所
NM	Nautical Mile	海里, マイル
NMRI	National Maritime Research Institute	海上技術安全研究所 (MPAT)
NOPAC	North Pacific, or Northern Pacific	北太平洋ルート
NIC	Navigation Integrity Category	航法インテグリティカテゴリー
NICT	National Institute of Information and Communications Technology	国立研究開発法人情報通信研究機構
NPAT	Network Performance Assessment Center	性能評価センター (航空局の組織)
NSP	Navigation Systems Panel	航法システムパネル (ICAO)
NTSB	National Transportation Safety Board	米国運輸安全委員会
O		

OCTPASS	Optically Connected Passive Surveillance System	光ファイバ接続型受動監視システム
OPD	Optimized Profile Descent	最適プロファイルの降下
OSD	Operational Services and Environment Definition	運用サービス及び環境の記述
P		
PANS-ATM	Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management	航空業務手続 - 航空交通管理 (ICAO のドキュメント)
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations	航空業務手続 - 航空機運航 (ICAO のドキュメント)
PARI	Port and Airport Research Institute	港湾空港技術研究所 (MPAT)
PBCS	Performance Based Communication and Surveillance	性能準拠型通信監視に基づく管制運用
PBN	Performance Based Navigation	性能準拠型航法 用語解説 (PBN)
PED	Portable Electronic Device	携帯電子機器
PFD	Primary Flight Display	プライマリ・フライト・ディスプレイ (コックピット計器の一部)
PPD	Personal Privacy Device/ Personal Protection Device	個人用保護デバイス(自分の位置を知られないために GPS 妨害電波等を出す機器)
PSR	Primary Surveillance Radar	一次監視レーダ
Q		
QoS	Quality of Services	サービス品質
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	準天頂衛星システム 用語解説 (準天頂衛星システム)
R		
RA	Radio Altimeter	電波高度計
RA	Resolution Advisory	TCAS における回避指示
RAG	Remote Air-Ground communication (service)	リモート対空通信施設 (“service”まで含む場合は“他飛行場援助業務”, 例えば「RAG 業務」や「RAG 空港」等)
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	受信機による完全性の自律的監視
RASMAG	The Regional Airspace Safety Monitoring Advisory Group	アジア太平洋地域空域安全監視諮問グループ
RCAG	Remote Control Air Ground/ Remote-Controlled Air-Ground communication site	航空路管制機関から遠隔制御される VHF,UHF の航空路用対空通信施設
RCS	Radar Cross Section	レーダ反射断面積
RDT	Remote / Digital Tower	リモートデジタルタワー

RF	Radio Frequency	無線周波数
RF	Radius to Fix	円弧旋回
RIN	Royal Institute of Navigation	英国航法学会
RMA	Regional Monitoring Agency	地域監視機関 →EMA/RMA
RMACG	Regional Monitoring Agencies Coordination Group	地域監視機関調整グループ
RNAV	Area Navigation	広域航法 用語解説(RNAV)
RNP	Required Navigation Performance	航法性能要件。RNP による経路を飛行する航空機には、航法性能の監視警報機能が必要。 用語解説(RNP 適合機)
RNP-AR	Required Navigation Performance-Authorization Required	円弧旋回経路を含み、特別に認められた機体とパイロットのみが運航できる進入方式
RoF	Radio-over-Fiber	光ファイバ無線
RPASP	Remotely Piloted Aircraft Systems Panel	遠隔操縦航空機システムパネル(ICAO)
RTA	Required Time of Arrival	指定通貨時刻
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	航空無線技術委員会 (米国)
RTF	Robot Test Field	ロボットテストフィールド
RTK-GPS	Real-time Kinematic GPS	リアルタイムキネマティック GPS
RWSL	Runway Status Light	滑走路状態表示灯システム
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima	短縮垂直間隔基準 用語解説 (RVSM)
S		
SAIF	Submeter-class Augmentation with Integrity Function	インテグリティ機能を有するサブメーター級の補正 (信号) 用語解説 (インテグリティ)
SANE	Space, Aeronautical and Navigational Electronics	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
SARPs	Standards and Recommended Practices	標準及び勧告方式 (国際民間航空条約附属書)
SASP	Separation and Airspace Safety Panel	管制間隔・空域安全パネル (ICAO)
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	静止衛星型衛星航法補強システム 用語解説 (SBAS)
SCAS	Specifying CFDT for Arrival Spacing Programme	特定ポイント(FIX)離脱時刻の指定による航空交通流管理
SDR	Software Defined Radio	ソフトウェア無線
SESAR	Single European Sky ATM Research	欧州における 2020 年を目指した新世代の ATM システムに関する近代化プログラム

SID	Standard Instrument Departure	標準計器出発方式
SMAN	Surface MANager ※Surface MANagement System と同義	空港面管理システム
SMR	Surface Movement Radar	空港面探知レーダ
SORA	Specific Operations Risk Assessment	無人航空機の安全性評価手法
SP	Surveillance Panel	監視パネル (ICAO)
SQM	Signal Quality Monitoring	品質監視装置
SSR	Secondary Surveillance Radar	二次監視レーダ 用語解説 (SSR)
STAR	Standard Terminal Arrival Route	標準計器到着方式
STBC-CP	Space Time Block Coded-Continuous Phase Modulation	時空間ブロック符号化位相連続変調
SURICG	Surveillance Implementation Coordination Group	監視実施調整会議
SVM	Service Volume Model	サービスボリュームモデル
SWIM	System Wide Information Management	情報共有基盤 (運航に係る全ての情報を包括的に管理し、関係者のだれもが必要な時に必要な情報にアクセスできるネットワーク) 用語解説 (SWIM)
T		
TA	Traffic Advisory	TCAS における接近情報
TACAN	Tactical Air Navigation System	極超短波全方向方位距離測定装置
TAP	Terminal Area Procedure	ターミナル空域飛行方式
TAP	Terminal Area Path	ターミナルエリアの経路
TAPS	Trajectorized Airport traffic data Processing System	空港管制処理システム
TBO	Trajectory Based Operation	軌道ベース運用 用語解説 (トラジェクトリ)
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	→ ACAS
TDMA	Time Division Multiple Access	時分割多重接続
TEAM	Trajectorized Enhanced Aviation Management System	航空交通管理処理システム
TEC	Total Electron Content	電離圏総全電子数
TEPS	Trajectorized En-route traffic data Processing System	航空路管制処理システム
TIS	Traffic Information Service	交通情報サービス
TMA	Terminal Maneuvering Area	ターミナル管制空域

TMC	Technical Management Center	技術管理センター（国土交通省航空局の組織）
TOD	Top of Descent	降下開始点
TOPS	Trajectorized Oceanic traffic data Processing System	洋上管制処理システム
T-PED	Transmitting Portable Electronic Device	携帯電子機器(PED)のうち、意図的に電波を放射するもの
TRACON	Terminal Radar Approach Control	ターミナルレーダ管制業務
TSAT	Target Start-up Approval Time	スポット出発承認時刻
TSG	Technical subgroup	技術サブグループ（ICAO SP）
U		
UASSG	Unmanned Aircraft Systems Study Group	無人航空機スタディーグループ（ICAO）
UAS	Unmanned Aircraft System	無人航空機システム
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人航空機
UCAR	University Corporation for Atmospheric Research	米国大気研究大学連合
UDRE	User Differential Range Estimate	利用者ディファレンシャル距離推定
UHF	Ultra High Frequency	極超短波（300MHz から 3,000MHz）
UI	User Interface	ユーザインターフェース
UPR	User Preferred Routes	利用者設定経路
URSI	Union Radio-Scientifique Internationale	国際電波科学連合
USRP	Universal Software Radio Peripheral	汎用ソフトウェア無線周辺装置
UTC	Coordinated Universal Time	協定世界時
UTM	UAS Traffic Management	無人航空機交通管理
UWB	Ultra Wide Band	超広帯域無線,ウルトラワイドバンド 用語解説（ウルトラワイドバンド）
V		
VAL	Vertical Alert Limit	垂直警報限界 用語解説（保護レベルと警報限界）
VDB	VHF Data Broadcast	GBAS 用補正情報伝送システムまたはその信号
VDL	VHF Digital Link	航空管制用デジタル対空無線システム 用語解説（VDL）
VFR	Visual Flight Rules	有視界飛行方式 用語解説（VFR）
VHF	Very High Frequency	超短波（30MHz から 300MHz）

VOR/DME	VHF Omni-directional Radio Range / Distance Measuring Equipment	超短波全方向式無線標識施設 / 距離測定装置 用語解説 (VOR/DME)
VR	Virtual Reality	仮想現実
VPL	Vertical Protection Level	垂直保護レベル 用語解説 (保護レベルと警報限界)
VRS	Virtual Reference Station	仮想基準点 用語解説 (VRS)
W		
WAIC	Wireless Avionics Intra-Communications	航空機内データ通信 用語解説 (WAIC)
WAM	Wide Area Multilateration	広域マルチラテレーション 用語解説 (マルチラテレーション)
WAAS	Wide Area Augmentation System	米国の SBAS 用語解説 (GNSS)
Wifi	Wireless Fidelity	無線 LAN 機器間の相互接続性認証規格
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WP	Working Paper	ワーキングペーパー
WRC	World Radiocommunication Conference	世界無線通信会議
WXXM	Weather Information Exchange Model	気象情報交換モデル
0-9		
4DP	4-Dimensional Point	4次元ポイント
4DT	4-Dimensional Trajectory	4次元軌道

※ **用語解説 ()** のマークが付いている略語については、() 内の用語が「用語解説」に記載されている。

2. 用語解説

英数字

[ABAS]	(Aircraft-Based Augmentation System)
--------	--------------------------------------

機上型衛星航法補強システム。

航空機における衛星航法の自律補強システム。受信機単体で衛星航法の信頼性を高める方式と GPS 受信機と IRU (Inertial Reference Unit) または気圧高度計を使い衛星航法の信頼性を高める方式がある。一般的には、航空機に搭載した受信機単体で衛星航法の信頼性を高める RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) による方式が使われる。RAIM では、5 個以上の GPS 衛星から得たデータから、GPS 衛星の異常を検出し使用を停止する方式と、6 個以上の GPS 衛星から得たデータから GPS 衛星の異常を検出し、その衛星だけを排除する方式がある。多くの旅客機には 5 個以上の GPS 衛星から得たデータから、GPS 衛星の異常を検出する方式の受信機が使われている。

[ACAS]	(Airborne Collision Avoidance System)
--------	---------------------------------------

航空機衝突防止装置。

航空機同士が空中衝突する危険を抑える目的で開発されたコンピュータ制御のアビオニクス装置である。地上の航空管制システムには依存せずに航空機の周囲を監視し、空中衝突の恐れがある他の航空機の存在を操縦士に警告する。57,00kg 以上または客席数 19 以上の全ての航空機に国際民間航空機関 (ICAO : International Civil Aviation Organization) が装備を義務付けている。

[ADS-B]	(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)
---------	--

放送型自動位置情報伝送・監視機能

飛行中や地上走行中の航空機等の移動体の位置を監視する手段のひとつ。各航空機が GNSS 等の測位システムを用いて取得した位置情報を地上又は他の航空機に向けて放送する方式。信号のキャリアには 1,090MHz の拡張スキッタが主に用いられる。

→ASAS, GNSS, 拡張スキッタ, マルチラテレーション

[APV]	(Approach Procedure with Vertical Guidance)
-------	---

垂直誘導付進入方式。

非精密進入方式と精密進入方式の中間に位置する、水平と垂直ガイダンスを用いるが、精密進入要件を満足しない方式。気圧高度計に基づく垂直ガイダンスを行う APV/Barometric Vertical Navigation (BARAO/VNAV) と SBAS による垂直ガイダンスを行う APV I と APV II がある。水平警報限界 (APV I および APV II) は 40m で垂直警報限界はそれぞれ 50m (APV I) と 20m (APV II) である。APV I は FAA では LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) と呼ばれる。DA (Decision Altitude) は 250ft まで。LPV 200 は WAAS (Wide Area Augmentation System) の性能に基づき、LPV において警報限界 35m とし、DA200ft までとした進入方式。

[ASA]	(Airborne Surveillance Application)
-------	-------------------------------------

機上監視応用。

他の航空機との安全間隔維持のために飛行乗務員を支援する航空機搭載監視を基本とした航空機システム。過去には、ASAS (Airborne Separation Assistance System または Airborne Separation Assurances System) と呼称したが、最新の ICAO 文書等では ASA と統一してあつまっている。

[A-SMGCS]	(Advanced Surface Movement Guidance and Control System)
-----------	---

先進型地上走行誘導管制システム。

空港面内の航空機及び車両が安全に走行できるように、その位置を正確に把握し、経路設定、誘導、管制を行うシステム。

近年の幹線空港等の大規模化に伴う空港面レイアウトの複雑化および空港需要増大に伴う高密度運航に対応するため、また、夜間や霧などのために視程が低い状況下でも航空機等の安全で円滑な地上走行を確保すると共に管制官の負荷を軽減する次世代システムであり、監視、経路設定、誘導、管制の4つの基本機能で構成される。

→マルチラレーション、拡張スキッタ

[CAT I,II,III]	(Category 1,2,3)
----------------	------------------

ICAO の定める精密進入の運用区分。

航空機の性能、パイロットの資格、ILS 施設の性能、航空灯火の種別などによって、航空機がどの段階まで進入可能かを決めた運用区分。

- ・ CAT I 決心高度 (DA: Decision Altitude) が滑走路末端からの高さ 60m 以上で、RVR (滑走路視距離, Runway Visual Range) が 550m 以上の場合に ILS または GLS 等を利用して進入および着陸を行う。LPV 200 は SBAS CAT I とされている。
- ・ CAT II 決心高 (DH: 滑走路末端からの高さ, Decision Height) が 30m 以上で、RVR が 300m 以上の場合に、ILS または GLS 等を利用して進入および着陸を行う。
- ・ CAT III DH が無い、または 30m 未満であって、RVR が 50m 以上の場合に、主に自動操縦により ILS または GLS 等を用いて進入および着陸を行う。フェールパッシブまたはフェールオペレーショナル着陸装置の装備により、警戒高 (AH: Alert Height) が設定される。

→ ILS

[CDM]	(Collaborative Decision Making)
-------	---------------------------------

協調的意思決定。

航空交通管理 (ATM: Air Traffic Management) において、管制機関、気象機関、航空会社の運航管理者、パイロットといった航空交通の関係者の持っている情報を共有することにより、各関係者がより適切な判断を下せるようにすることで ATM の効果を向上する仕組み。

具体的には、天候などによる空域容量、空港容量の変化、機材繰りによる出発遅延といった現状に関する情報、各関係者の予定や意図、状況予測の情報の共有によって各関係者の状況認識を向上し、予定の修正などの判断に資することにより、交通量/交通流の予測精度や ATM の利便性を向上するために用いられる。

情報共有の手段は、ATM センターでの CDM 会議のほか、各関係者間の通信として電話、専用ネットワーク回線など様々なものを用いるが、将来の情報共有環境である SWIM の活用も検討されている。

・ 空港 CDM

CDM の考え方を空港面の交通流に適用し、空港面の混雑の緩和を図るとともに、空港面の交通状況に応じた、より確かな離陸時刻の予測を、航空交通流管理 (ATFM: Air Traffic Flow Management) に提供することによって ATFM の精度を向上する仕組みを空港 CDM という。

[CDO]	(Continuous Descent Operations)
-------	---------------------------------

継続降下運航。

到着機が水平飛行を行わず最小のエンジンスラストで最終進入地点 (FAF; Final Approach Fix) まで連続降下する運航方式で、消費燃焼削減効果とそれに伴う二酸化炭素排出削減効果、騒音の低減効果、管制官—パイロット間通信負荷の削減効果などがある。CDA (連続降下到着, 連続降下アプローチ), OPD (最適プロファイル降下), TA (Tailored Arrival), 3D/4D パス到着管理などとも呼ばれる。特に降下開始点 (TOD: Top Of Descent) から連続的に降下するものが最適の CDO である。

わが国でもいくつかの空港においてCDOを実施しているが、軌道の不確実性が高く周辺空域の管制処理容量を低下させるため、現在は交通量の少ない時間帯に限って運用されている。CDOの運用拡大のためには空域設計や経路条件の工夫だけでなく、予測精度の向上や軌道管理の確実性が必要であり、FMSの機能拡張や軌道管理の高度化が不可欠である。

→FMS, トラジェクトリ

[CFDT]	(Calculated Fixed Departure Time)
--------	-----------------------------------

CFDT (Calculated Fix Departure Time) は、1,2時間先の空域混雑状況を予測し、対象となる飛行中の航空機へCFDT FIX とよばれる特定地点の通過時刻を指定することによって、空域・空港の混雑回避を行う航空交通流管理の一手法。主に交通量の観点から制御を行う。

CFDTは飛行中の通過時刻を制御するものであり、軌道ベース運用(TBO)につながる初期的な時間管理運用となる。

[CNS]	(Communication, Navigation and Surveillance)
-------	--

通信, 航法, 監視。現在の航空運航の実現を可能とする空地通信システム, 衛星航法システムと地上無線施設を用いる航法システム, 及び航空機監視システムの総称。

[DAPs]	(Downlink Aircraft Parameters)
--------	--------------------------------

航空機動態情報のダウンリンク技術。

SSR (Secondary Surveillance Radar, 二次監視レーダ) モードSを用いて、選択高度, 対地速度, 対気速度などの航空機の動態情報をダウンリンクする技術。地上にて、リアルタイム性の高い航空機の情報を利用することが可能になり、管制官の状況認識の向上やシステムの位置予測精度の向上が期待できる。

[DGPS]	(Differential GPS)
--------	--------------------

ディファレンシャルGPS。

3次元の位置(緯度, 経度, 高さ)が明確で固定されたGPS受信局(基準局)のGPS受信信号を使い, 受信されたGPS衛星からの距離情報を補正することで, 精度の高い位置を求める方式をいう。航空におけるSBAS, GBASにもDGPSの原理が使用されている。

→GNSS

[DME]	(Distance Measuring Equipment)
-------	--------------------------------

距離測定装置。

航空機が960MHz~1,215MHzの周波数を使い, 地上DME局に質問し, 地上DME局がその応答を決まった時間(50μs)と63MHz異なる周波数で返すことによって, 航空機がその応答を受信し, 電波の到達時間を計測することにより地上DME局までの距離を得るシステム。

DMEはVORに併設されて, 航空機に位置情報(距離-方位情報)を提供する短距離援助方式として使用されることが多い。また, ローカライザまたはグライドパスと併設し, ILSにおける着陸点までの距離情報を連続して提供する精密進入援助施設(Terminal DME: T-DME)としても使用される。

また, 近年では複数のDMEを使い航空機がFMSを使ったRNAVにおける位置センサとしても使われている。

→VOR, VOR/DME, FMS

[EFB]	(Electronic Flight Bag)
-------	-------------------------

電子フライトバッグ。

従来は紙媒体による資料(例えば, 飛行規程や航空図)や航空運送事業者の運航管理業務により航空機乗組員に提供されてきたデータ(例えば, 飛行性能計算)を操縦室において電子的に表示する機器

[EUROCAE]	(European Organisation for Civil Aviation Equipment)
------------------	--

欧州民間航空用装置製造業者機構。

航空に関する要求事項・技術的コンセプトの調査検討に取り組み、提言を行うと共に技術基準の設定を行うことを目的とした欧州の民間非営利団体。

[EUROCONTROL]	(European Organisation for the Safety of Air Navigation)
----------------------	--

日本語では欧州航空（航法）安全機関、欧州管制機関、ユーロコントロールなどと呼ばれる。欧州の空域についての管制、及びその研究等を行っている機関である。

[FAA]	(Federal Aviation Administration)
--------------	-----------------------------------

米連邦航空局。

民間航空の管制や保安を所掌する米国の行政機関。日本の国土交通省航空局にあたる。

[FMS]	(Flight Management System)
--------------	----------------------------

飛行管理装置。計器誘導を行うための機上装置。RNAV において機上側の要となる。旧来の自動操縦装置は主に航空機の姿勢を安定させ、経路上にある近くの VOR/DME へ針路を向ける程度の機能であったが、コンピュータの性能の向上により、FMS では経路全体の情報をあらかじめ記憶しておくことができ、経路と自機の位置関係を正確に求めることができるため、無線標識を結ぶ折れ線状になる従来型の経路設定よりも自由度の大きい効率的な経路管理が可能となり、また、離陸から着陸に至るまでの航行を自動化することが可能となった。

ボーイング 767, エアバス 310 以降に開発された航空機には標準装備されている。

→RNAV

[GBAS]	(Ground-Based Augmentation System)
---------------	------------------------------------

地上型衛星航法補強システム。

GNSS による航空機に対する精密進入を可能とすることを目的として、GNSS 単独では不足する航法精度、安全性基準を達成するため補強情報を放送する航法システム。

DGPS の原理に基づいており、空港に 3~4 局の基準局を設置し、VHF (108~118MHz) の 1 波の時分割デジタル信号により補正情報、インテグリティ情報、進入経路情報等を航空機に放送する地上局と、その放送信号と機上で受信する GNSS 信号を元に、選択した進入コースに誘導する GBAS 受信機からなる。1 つのシステムで複数の侵入経路に対応し 48 の進入コースを放送することが可能。ICAO 国際標準は、CAT I, II, III の標準化されており、現在 CAT I までが実用化されている。

→GNSS, CAT

[GEONET]	(GNSS Earth Observation Network System)
-----------------	---

国土地理院 GNSS 連続観測システム。

全国約 1,200 ヶ所に設置された電子基準点と GEONET 中央局（茨城県つくば市）からなる、高密度で高精度な測量網の構築と広域の地殻変動の監視を目的とした連続観測システムである。

[GNSS]	(Global Navigation Satellite System)
---------------	--------------------------------------

全地球的航法衛星システム。

4 基以上の測位衛星から送られる衛星の時刻信号や軌道情報などから、受信機が受信信号を利用し、受信局の位置（緯度、経度、高さ）と時刻を求めるシステム。

米国が運用中の GPS (Global Positioning System)、ロシアが運用中の GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System)、中国が運用中の BDS (BeiDou Navigation Satellite System)、欧州連合が整備中の Galileo などがある。

ICAO では、測位衛星群とその機能を補完する補強シ

システムを組み合わせた総体としての航法用測位システムが GNSS である。航空機に使うためには補強システムとしては、以下の 3 種類がある。

- SBAS 静止衛星型衛星航法補強システム
- GBAS 地上型衛星航法補強システム
- ABAS 航空機に搭載した受信機単体で航法
→アベイラビリティ, インテグリティ, コンティニュイティ, 電離圏遅延

[ICAO]	(International Civil Aviation Organization)
---------------	---

国際民間航空機関。

民間航空機の運用方式などについて国際法的な取り決めおよび技術的標準の策定と普及を目的とした国連の専門機関。1947 年創立。2022 年 7 月 1 日現在、193 ヶ国が加盟している。

航空機のライセンス管理, 空港の標識, 安全のための性能仕様, 管制方式, 事故調査様式などについての国際法的な取り決めおよび技術的標準を策定し, 民間航空に関する基本的な国際法である「国際民間航空条約」として明文化している。

加盟国における民間航空に関する法令は国際民間航空条約に準拠しており, 日本の航空法も同様である。

当研究所は, 技術に関する「標準および勧告方式」(Standard and Recommended Procedures : SARPs) の策定に携わっているほか, 航空行政に関する国際会議に日本代表団のテクニカルアドバイザーとして参加している。

[ILS]	(Instrument Landing System)
--------------	-----------------------------

計器着陸装置。

滑走路への進入経路を示す指向性電波を地上から送信し, 航空機側に経路からの水平, 垂直偏位を表示するシステム。航空機はこの変異をゼロにするように手動または自動操縦することで経路に追従できる。

正しい進入経路からの水平方向の偏位を提示するローライザ, 垂直方向の偏位を提示するグライドスロープ (グライドパス), 滑走路までの距離を提示する DME から成る。特に, 悪天候の民間航空機の進入着陸

にも活用されており, 施設性能に応じて CAT I から III の区分がある。

→CAT

[LPV 200]	(Localizer Performance with Vertical Guidance 200)
------------------	--

LPV 200 は WAAS の性能に基づき, LPV において垂直警報限界 35m とし, DA 200ft までとしたアプローチ方式。

FAA の WAAS を用いる LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) は ICAO では APV I と呼ばれる。LPV の DA は 250ft まで。

→APV, CAT I, II, III

[MU レーダ]	(Middle and Upper Atmosphere Radar)
-----------------	-------------------------------------

京大生存圏研究所 信楽 MU 観測所の主要観測施設。

中層・超高層および下層大気観測用 VHF 帯大型レーダであり, 高度 1~25km の対流圏・下部成層圏, 高度 60~100km の中間圏, 下部熱圏及び高度 100~500km の電離圏領域の観測が行われている。

[PBN]	(Performance Based Navigation)
--------------	--------------------------------

航法に使用するセンサの種類によらず, 航空機に求められる航法精度により飛行経路の規格及び航空機, 乗務員に関する要件が仕様として定められた広域航法。

[RNAV]	(Area Navigation)
---------------	-------------------

広域航法。

地上無線施設 (VOR/DME 等) から得られる位置情報, GNSS や機上の慣性航法装置から得られる位置情報をもとに, 機上に搭載した FMS を活用して, 自機の位置や飛行方向を確認しながら飛行する航法。

従来, 陸上の航空路は地上の航空保安無線施設 (VOR/DME 等) 間を結んで設定されていたが, 高機能

な機上装置である FMS の導入により、RNAV では地上の航空保安無線施設の地理的な位置に拘束されることがなく直行的、可変的な経路の設定が可能となり、空域を有効に活用できる。現在では、標準計器出発方式 (SID)、標準計器到着方式 (STAR) に用いられている。

→FMS, セクタ

[RNP 適合機]	(Require Navigation Performance)
-----------	----------------------------------

飛行中の 95%において、指定位置の前後左右 4NM 以内の誤差に収まる航法精度を持つ航空機のことを RNP4 適合機といい、同様に航法精度 10NM 以内のものは RNP10 適合機という。

[RVSM]	(Reduced Vertical Separation Minima)
--------	--------------------------------------

短縮垂直間隔基準。

29,000ft 以上の巡航高度においても 1,000ft の垂直間隔を適用する方式。日本の国内の空域においても 2005 年 9 月 30 日に導入され、一部を除き日本の管轄する空域すべてで RVSM が適用されることとなった。

[SBAS]	(Satellite-Based Augmentation System)
--------	---------------------------------------

静止衛星型衛星航法補強システム。GPS を航空航法用途に利用するにあたり、不足する精度および信頼性を補う補強システム。

静止衛星を用いて、衛星時計誤差情報、衛星軌道誤差情報、電離圏遅延量情報などの補強信号を放送し、SBAS 受信機が放送された情報を元に衛星の利用可の判断並びに測位情報の向上を行うシステムで、ICAO (国際民間航空機関) により国際標準規格として制定されている。国土交通省の MTSAT (運輸多目的衛星) を用いた日本の SBAS を MSAS という。他に米国の WAAS, 欧州の EGNOS, インドの GAGAN がある。

日本固有の問題として、陸地が細長い形状であるため基準局設置による効果や電離圏の影響が欧米より大きいいため、独自の解決策が求められる。

→GNSS

[SSR]	(Secondary Surveillance Radar)
-------	--------------------------------

二次監視レーダ。

一次監視レーダ(Primary Surveillance Radar: PSR)が照射電磁波の反射波により航空機の位置を監視するのに対し、SSR は航空機に質問信号を送り、機上のトランスポンダから応答信号として計器情報 (高度など) を地上へ送信させることで監視を行う。

覆域の航空機へ一括して質問信号を送るモード A およびモード C はこれまでの航空管制用レーダの主流であったが、応答信号の内容が航空機識別信号と高度情報のみであり、運航量の増加に伴って応答信号の重量が激しくなったため性能の限界に至りつつある。

モード S (Selective) は、質問信号の送信の際に航空機識別信号を用いることで個々の航空機と選択的に交信を行うことが可能である。また、情報容量の多いモード S ロング応答信号を用いたデータリンク機能により、高度だけでなく位置、針路、速度、ウェイポイントなど多様な情報を得ることが可能で、航空機の増加への対応の必要性から世界的に徐々に普及している。

一次監視レーダとは異なり機上装置が大きな役割を果たす監視手段であるため、航空機には SSR の運用モードに対応した信頼性の高い機上装置を搭載することが必要となる。

地上から機上への送信には 1030MHz, 機上から地上への送信には 1090MHz の周波数帯を用いる。

→拡張スキッタ

[SWIM]	(System-Wide Information Management)
--------	--------------------------------------

統合情報管理。

次世代航空管制システムに関する各施策を実現するために情報とサービスを共有する汎用で高機能な仕組みと、この仕組みを構築するためのステークホルダー間の共通認識に基づく計画。従来の RDP (Radar Data Processing) システム、管制通信システム、エアライン運航システム等々をネットワーク連携し、データの一

貫性を持たすことから異なるシステム間の通信を可能とすることで、CDM (Collaborative Decision Making) に発展させるためのテクノロジー。すなわち、SWIM の技術基盤はシステム間通信であり、SWIM のノードにシステム内通信である管制部、空港、空地通信等が連結される構造となる。

[VDL]	(VHF Digital Link)
-------	--------------------

次世代の空地間デジタル通信方式。

空地間データ通信としては従来 ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) が用いられているが、低速 (2.4 kbps) である、誤り訂正機能がない、高伝送負荷時に伝送遅延が大きいなどの欠点があり、航空交通管制用として十分な性能を持っていない。

VDL は ACARS の問題点を解決するために ICAO で標準化された空地間データ通信方式である。VDL では、誤り訂正機能をもつため信頼性が高く、また通信速度も大幅に向上している。

現在、用途に応じて以下の各モードの実用化が提案され、実用化が検討されている。

モード 2： 31.5kbps の転送速度があり、管制用データの通信に用いる。プロトコルが ATN (航空用通信ネットワーク) に対応している。ただし、CSMA (搬送波感知多元接続。無線 LAN と同じ) 方式であるため、通信対象の航空機が増加するに従って通信に待ち時間が発生する。

モード 3： TDMA (時分割多元接続。一部の携帯電話と同じ) 方式によってひとつの回線で 4 つのチャンネルを並列に用いることができ、合計で 31.5kbps の通信速度である。また、音声をデジタル信号化することにより、データと音声を一緒に送ることも可能である。また、多チャンネル性を活かし、3 チャンネルのデータと 1 チャンネルの音声、といった使い分けや、2 機の航空機で 2 チャンネルずつ用いることで同一の回線を 2 機で共有する、などの運用も可能である。

モード 4： 19.2kbps の転送速度があり、欧州では ADS-B 用の監視データの送受信に用いることが検討されている。

[VFR]	(Visual Flight Rules)
-------	-----------------------

有視界飛行方式

パイロットの目視に頼り、パイロット自身の判断によって飛行を行なう方式。

[VOR]	(VHF Omni-directional Range)
-------	------------------------------

超短波全方向式無線標識。

超短波を用いて有効到達距離内の全ての航空機に対し、VOR 施設からの磁北に対する方位を連続的に指示することができ、航空路の要所に VOR 施設を設置することにより、航空機は正確に航空路を飛行することができる。また、VHF 帯を利用しているため雷等の影響が少なく、飛行コースを正確に指示することができる。通常、DME を併設し、VOR/DME (方位・距離情報提供施設) として使用される。

→DME, VOR/DME

[VOR/DME]	(VHF Omni-directional Radiorange / Distance Measuring Equipment)
-----------	--

VOR (超短波全方向式無線標識) と DME (距離測定装置) を組み合わせた無線標識施設。

[VRS]	(Virtual Reference Station)
-------	-----------------------------

仮想基準点。

複数の電子基準点の観測データから測定地点のすぐそばに、あたかも基準点があるかのような状態をつくり出す技術

[WAIC]	(Wireless Avionics Intra-Communications)
--------	--

航空機内データ通信。

4.2 GHz から 4.4 GHz までの周波数帯を用い航空機内の内部通信の無線化を行う技術。機体の各種センサ信号等の航空機の運航に関わる通信を対象としており、乗客サービスに利用されるものではない。これまで有線で接続されていた通信の一部を無線化することで、機体の軽量化を図ることが可能となり、燃費向上や CO2 排出削減が期待されている。一方で、同一周波数帯ではこれまで航空機電波高度計が運用されていることから、自機や他機の電波高度計に影響を与えずに WAIC デバイスを利用することができる技術開発・共用検討が重要である。

[アベイラビリティ]	(Availability)
------------	----------------

有用性。また、有効性、利用率、稼働率ともいう。通信、航法または監視システムなどが正常に利用できる時間の割合。

通信、航法及び監視システムである航空保安システムでは、故障、異常や運用環境などでシステムの利用ができない時間が生じると、他のシステムに切り替えたり航空機の運航自体を取りやめたりといった対応が必要となるために、システム運用面における重要な指標である。特に、衛星航法システムにおいては、使用不可能になった場合、広い空域で使用できなくなる場合が多いために、代替の航空路や着陸する空港にも影響が出るために、安全性にも影響する。ICAO の標準では、衛星航法による CAT I の着陸に対して、99%~99.999% のアベイラビリティが要求されている。

→インテグリティ、コンティニューイティ、保護レベル

[誤り訂正符号]	(Error Correction Code)
----------	-------------------------

デジタルデータにおいて誤り(エラー)が発生した場合に、それを検出し訂正するために使用される符号のこと。例えばリード・ソロモン符号は地上デジタル放送や QR コード(2 次元バーコード)等で利用されている。

[インテグリティ]	(Integrity)
-----------	-------------

完全性。システムに問題が生じたことが検知され、定められた時間内に利用者に警報が発せられる確率。

例えば測位システムにおいて、システムの故障などにより異常な測位信号が出た場合、そのシステムによる測位情報に疑いを持たずそのまま用いることは危険を招く。よって、安全を確保するためには、測位システ

ムの異常を検知し、ある時間内に警報(アラート)を発して利用を中止させることが必須となる。システムの安全性の指標の一つである。

ICAO の標準では、CAT I の着陸のためには 6 秒以内着陸 1 回あたり、ILS などの地上システムには 99.99998%以上が要求されている。

GPS の場合、測位衛星が故障通知信号を発信するのは異常発生から数分から数時間かかるために、航空機で衛星航法を使用することができなかった。ABAS, GBAS, SBAS 等の補強システムの導入によって GNSS への監視を行うことがリアルタイムに行うことが可能となったために航空航法への利用が可能となった。

→アベイラビリティ、コンティニューイティ、保護レベル

[ウルトラワイドバンド]	(Ultra-Wide Band)
--------------	-------------------

超広帯域無線。UWB と略す。

デジタル家電等、一般用途での使用が検討されている無線データ通信の方式。数百 Mbps のデータ転送速度を実現するために 3GHz 程度から 10GHz 程度にわたる広い帯域を用いる。そのため、GHz 帯のさまざまな通信機器との干渉が懸念されており、検証の必要性が訴えられている。短距離通信を目的としているため信号の強度は小さくすることが予定されているが、GPS など信号強度の弱い衛星通信に深刻な影響を与えるおそれがある。特に航空機内で使用された場合には、機上の GPS 信号受信機器のすぐ近くでの動作となるため、問題はさらに深刻である。

現在は規格の策定段階にあり、干渉の問題により帯域自体の見直しも検討されている。

[エフェメリス]	(Ephemeris)
----------	-------------

GNSS における、各衛星毎の正確な軌道情報データ。このデータを基に、信号を送信した時刻における衛星の正確な位置を計算することが出来る。

[拡張スキッタ]	(Extended Squitter)
----------	---------------------

SSR モード S の応答信号と同形式の信号を多目的に活用するためのデジタル信号の規格。1090ES とも略す。モード S トランスポンダ等から送信される。

1,090MHz の周波数帯を用い、8 マイクロ秒のプリアンブルと、それに続く 112 マイクロ秒、112 ビットのデータブロックから成る。信号内の通信速度は 1Mbps である。

レーダによらない監視機能である ADS-B やマルチラテレーション、航空機間で間隔の監視を行う ACAS (航空機衝突防止装置)、などに活用される。

→ADS-B, SSR, マルチラテレーション

[高カテゴリ]

計器着陸装置の性能が高いこと。

→CAT I, II, III

[航空機動態情報]	(Aircraft Parameters)
-----------	-----------------------

航行中の航空機におけるリアルタイムな状態を示す情報。選択高度、トラック角、対地速度、対気速度等がある。

→DAPs, 地上喚起 Comm-B

[コンティニューイティ]	(Continuity)
--------------	--------------

連続性。測位や通信が途切れずに連続して行われる確率。

航空機の進入着陸においては、高カテゴリ着陸では DH より低い地点で誘導信号が途絶えた場合、航空機を滑走路までに誘導ができなくなるために、安全性に直接関わる要件である。

一般的には、測位システムの異常を検出する能力 (インテグリティ) が上がったとしても、実際に異常が生じたり、異常でもないにもかかわらず異常を知らせる警報 (誤警報) が出たりすることが頻繁に起こるならば、

そのシステムは実用に堪えないものとなる。正誤にかかわらず警報が出ない、つまり、システムの異常自体が起きず、誤警報を含み異常検出の警報が発生しない確率がコンティニューイティであり、安全性の指標のひとつである。

→アベイラビリティ, インテグリティ

[コンフリクト]	(Conflict)
----------	------------

航行中の航空機同士が接近し、所定の管制間隔を満足できない状態。

[準天頂衛星システム]	(Quasi-Zenith Satellite System: QZSS)
-------------	---------------------------------------

日本のほぼ真上に位置する静止衛星、というコンセプトを実現するために複数の人工衛星を用いるシステム。通称「みちびき」。

2018 年 11 月 1 日から 4 基体制でサービスを開始した。

静止衛星の欠点として、原理上、赤道上空にしか配置できないため、高緯度の地域ほど地上から衛星を見る際の仰角が低くなり、山や建物に遮られて衛星との通信が不可能となるということがある。日本上空にほぼ静止している人工衛星があれば、地上ではアンテナを真上に向けるだけで通信が可能となるため、より多くの場所で静止衛星の機能を活用することができると期待される。準天頂衛星システムは、地上から見ると 8 の字型を描く軌道 (24 時間で地球を 1 周し、そのうち 8 時間ほど日本の上空を通る。高度は静止衛星と同じ) の 3 基の衛星が交代で日本の上空を通ることでこの目的を達成する。

官民の連携で整備が進められており、国家機関では内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省が協同で担当している。

測位および航法の分野では、GNSS における補強システムなどのための通信衛星としての用途のほか、測位衛星の代替手段として静止衛星を用いることも検討されており、準天頂衛星は静止衛星からの信号が届かない場所 (山間部やビルが密集している場所など) での測

位方法としての活用が期待されている。

[セクタ]	(Sector)
-------	----------

航空管制の業務を分担するために分割された空域の最小単位。

航空交通管制 (ATC) は監視能力や管制の処理能力の制約からセクタごとに独立して行われている。航空機の増加、運航頻度の増大に伴い、今後、羽田・成田などの大空港を抱えるセクタの慢性的な混雑が予想されるため、空域の再編、可変的なセクタ設定による効率的な空域管理などに大きな期待が寄せられている。

→RNAV

[ソフトウェア無線]	(Software Defined Radio)
------------	--------------------------

汎用性の高いハードウェア(無線用電子回路)を用いて、制御ソフトウェアの書換えにより多種多様な無線通信方式に対応する技術。

[地上喚起 Comm-B]	(Ground-Initiated Comm-B)
---------------	---------------------------

略称 GICB。

SSR モード S の通信プロトコルの一種。地上からの質問信号に応じてただちに機上データをダウンリンクする方式。リアルタイムに情報をダウンリンクできるため、例えば速度監視能力の向上に役立てることができる。

→SSR

[追尾]	(Tracking)
------	------------

航空機監視において、航空機の観測位置をもとにターゲットの速度やその後の予測位置等を推定し、監視データの平滑や補完、次の観測での利用を行う技術のこと。代表的な例として α - β フィルタ追尾、カルマンフィルタ追尾等がある。

[電離圏シンチレーション]	(Ionospheric Scintillation)
---------------	-----------------------------

電離圏での電子密度の不規則な構造により、通過する電波の振幅や位相が急激に変動する現象。

[電離圏遅延]	(Ionosphere Delay)
---------	--------------------

GPS 衛星からの信号が電離圏を通る際に生じる遅延。GPS 信号の最大の誤差要因となる。電離圏は時々刻々と状態が変化するため、誤差の補正のためには電離圏の状態のリアルタイム観測が不可欠である。

日本は磁気赤道に近く、世界的な平均に比べて電離圏変動が大きく欧米とは電離圏遅延の振る舞いが異なるため、日本に適した対策が課題となっている。

じょうらん [電離圏擾乱]	(Ionospheric Disturbance)
------------------	---------------------------

電離圏の状態が突発的原因により、時間的・空間的に通常とは異なる急激な変動を示すこと。

[トラジェクトリ]	(Trajectory)
-----------	--------------

航空機の軌道。

軌道管理、軌道ベース運用等が将来の航空交通管理運用として注目されている。

- ・ 軌道管理 (TM : Trajectory Management)

空域計画と交通流管理を満足させながら、交通流全体の中で各軌道を効率的にする軌道の調整機能

- ・ 軌道ベース運用 (TBO : Trajectory-Based Operations)

全ての航空機の運航の計画と実行の基盤として4次元軌道(4DT:航空機の飛行中と地上走行中の緯度、経度、時刻で表される一連の位置情報のこと。許容誤差範囲も含む)を利用する運用方式。

[フェージング]	(Fading)
----------	----------

電波の受信点においてその受信レベルが時間とともに変動する現象。

[プラズマバブル]	(Plasma Bubble)
-----------	-----------------

磁気赤道に近い地域に特有な電離圏の不規則構造のひとつ。電離圏下部にある電子密度の低い領域が泡状に電離圏上部へ急速に上昇する現象。電離圏遅延量の急激な空間変化と信号強度の急激な変動（シンチレーション）を伴い、GNSS を用いた測位においては深刻な擾乱となる。

[保護レベルと警報限界]	(Protection Level)
--------------	--------------------

保護レベルはインテグリティを確保するために用いられる、測位誤差の信頼性根拠となる指標。具体的には、機上受信機で下賜される衛星装置と各衛星の距離報告の誤差から見積もられた測位誤差の最大値に近い 6σ 程の値。

保護レベルが警報限界を超えた場合は航法システムが警報（アラート）を出して利用不可となるため、保護レベルの低減はアベイラビリティの向上につながる。

→アベイラビリティ、インテグリティ

[マックナンバーテクニック]	(Mach Number Technique)
----------------	-------------------------

29,000 フィート以上の高高度において、同一高度を飛行する航空機間の縦間隔を短縮・維持するため、航空機にマック(マッハ)ナンバーを指定して速度調整をする管制手法のこと。

[マルチラテレーション]	(Multilateration)
--------------	-------------------

航空機に搭載されたトランスポンダから送信されるスキッタや SSR 応答信号を 3 カ所以上の受信局で受信し、

局間の受信時刻差から航空機の位置を測定する監視システム。

マルチラテレーションでは、受信局間の受信時刻差を各受信局と航空機との距離差に変換して、距離差が一定である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。

マルチラテレーションの特徴としては、悪天候でも性能が劣化しないこと、測位に用いる SSR 応答信号などに含まれている情報を用いて航空機の識別情報（コールサイン）を表示する機能を付加できることが挙げられ、従来の ASDE（空港面探知レーダ）で指摘されている問題点が改善できる。また、建造物等による遮蔽の影響で ASDE では監視できない領域（ブラインドエリア）に対しても、受信局の配置を対応させることにより監視できることから空港面監視センサとしての活用が期待され、国内主要空港にて順次運用が開始されている。

従来のマルチラテレーションは主に空港地上面を監視対象としていたが、航空路を飛行中の航空機も監視対象とする広域マルチラテレーションの整備も進んでいる。

→A-SMGCS, 拡張スキッタ

[マルチパス]	(Multipath)
---------	-------------

多重経路伝搬。

電波を用いた計測の際に、計測器で観測される電波は測定対象からまっすぐに届いたものだけではなく、山や建物など、計測環境に存在するさまざまな構造物によって反射して届いたものも含まれる。これによって測定信号が干渉を受けることにより生じる計測誤差をマルチパス誤差という。

GPS を用いた測位では地面・海面によるマルチパスのほか航空機の機体自体によるマルチパスが問題である、マルチラテレーションでは地面や建物によるマルチパスが問題である。

[メタリング]	(Metering)
---------	------------

メタリングは、主に混雑空港の到着機を対象とし、メタリング FIX とよばれる特定の地点における通過時刻

を指定することにより、航空機の順序付けや間隔設定を行う機能である。軌道ベース運用（TBO）に繋がる、時間管理運用を構成する機能の一つとして検討が進められている。

メタリングには、メタリング FIX を固定した「固定メタリング」と、天候や交通状況に応じて任意の地点で間隔設定を行う「動的メタリング」がある。メタリングは、メタリング FIX 通過のある程度前の段階から交通流を組み立て、時刻の指定により柔軟に間隔を設定することにより、戦略的に航空交通流を管理し、空港容量・空域容量の最大限の活用を図ることを目的としている。

[レジリエンス工学]	(Resilience Engineering)
------------	--------------------------

レジリエンス工学は、2004年頃から欧米で提唱されている新しい安全学。従来の安全学は、安全達成の方法論として「不安全要素を取り除くこと」を重視していたが、レジリエンス工学では「変化の中で次々と新たに生じる安全上のリスクを事前に予測・検出し、対処する能力」の実現を目指している。変化の中で、安全性や生産性といった互いに矛盾する目標間のバランスを適宜調整しながら、業務を成功裏に継続する能力を「レジリエンス」と言う。

令和4年度 電子航法研究所年報

令和5年8月3日 発行

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
電子航法研究所

発行所 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
電子航法研究所

〒 182-0012 東京都調布市深大寺東町7丁目42番地23

電話 0422-41-3168

ホームページアドレス <https://www.enri.go.jp/>

Electronic Navigation Research Institute, National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology

7-42-23, Jindaijihigashi-machi, Chofu, Tokyo, 182-0012, Japan

○本冊子は、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可

本冊子はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています。