

# 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おります。

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

この電子航法研究所年報は、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所第1期中長期目標の6年目となる令和3年度に当研究所が行った業務の概要を収録したもので、研究所の運営に関する事項、各研究領域の研究業務を紹介しています。なお、別に刊行しております電子航法研究所報告及び電子航法研究所研究発表会講演概要には、より詳細な研究内容を記載しておりますので、あわせてご参照いただけますと幸いです。

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

令和4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	73
4.	研究所報告	113
5.	受託研究	114
6.	共同研究	115
7.	研究発表	117
8.	知的財産権	131
第3部	現 況	
1.	令和3年度に購入した主要機器	137
2.	主要施設及び機器	138
3.	刊 行 物	140
4.	行 事 等	140
5.	職員表彰	142
付 録		
1.	略語表	145
2.	用語解説	161

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。

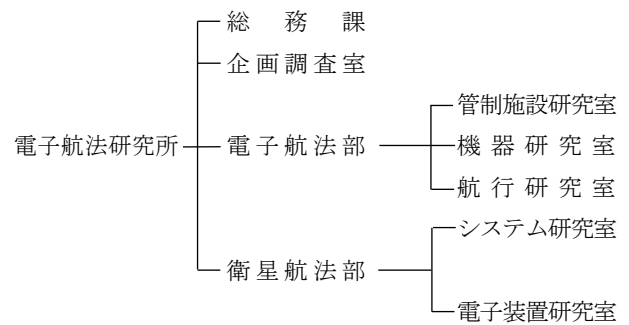
宇宙開発の一環として、人工衛星を航空機及び船舶の航法に利用しようとする開発研究は、我が国においても昭和38年に着手された。その結果をもとに、運輸省は昭和40年4月「人工衛星による航行援助方式の開発に関する基本方針」を決め、昭和41年度は衛星航法研究室 (3名) が新設された。

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	
定 員	60	57	57	57	56	56	

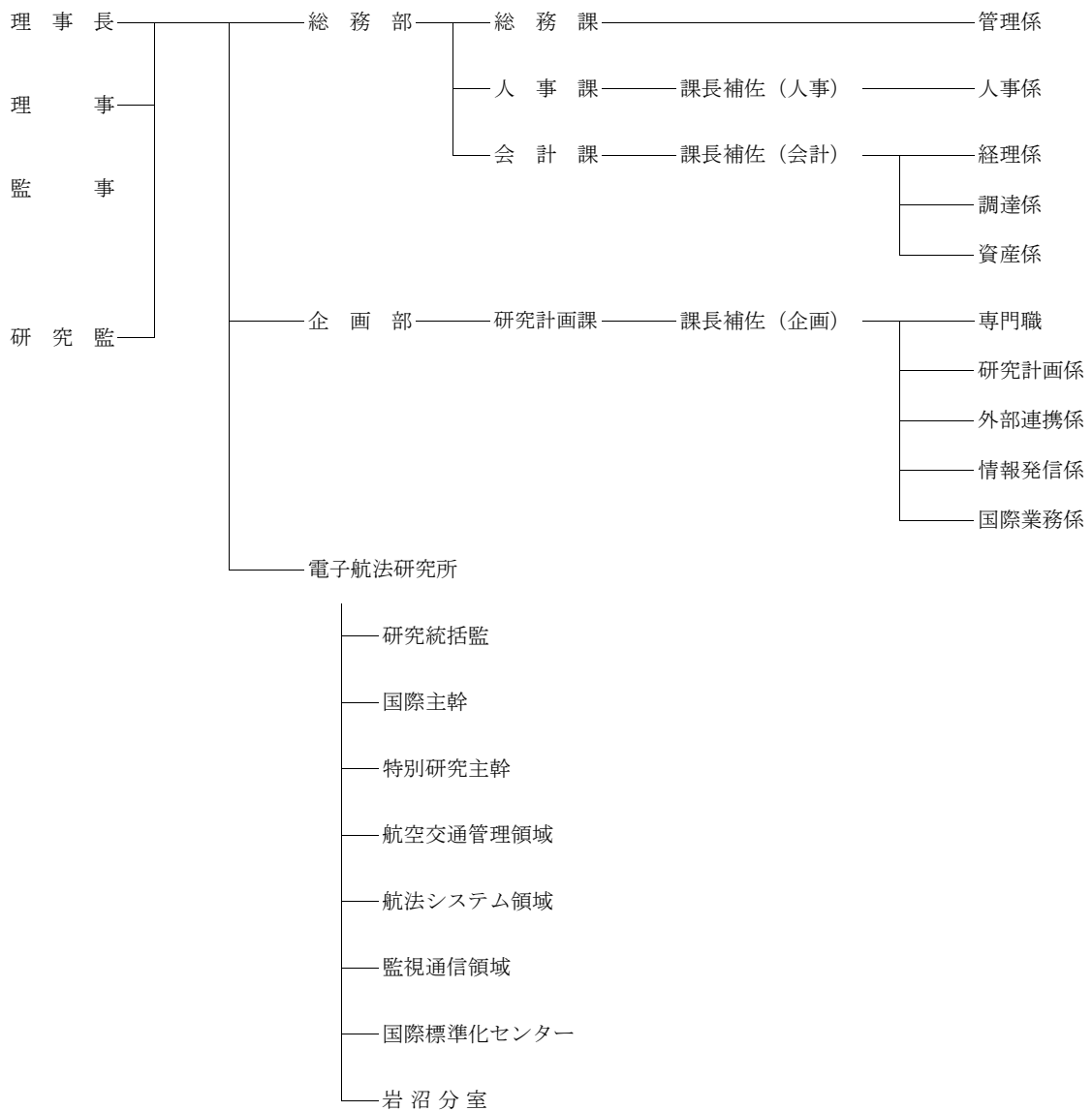
注1：（ ）内は、空港整備特別会計で内数。平成20年度以降は区分経理の廃止に伴い、特別会計の予算は一般会計へ移管された。

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4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	42
計	57

(令和4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4年3月31日現在)



# 第 2 部 試験研究業務



# 1 航空交通管理領域

## I 年度当初の研究計画とそのねらい

令和3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、在外派遣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. 監視信号環境と性能要件に関する研究
8. 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
9. 無人機・有人機の協調的な運用環境構築に関する研究
10. ドローンを含む低高度空域の在り方を検討するための方法論構築に関する研究
11. 大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析
12. 離陸機の運用最適化に関する研究
13. 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
14. 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
15. 緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業/緊急支援物資輸送システム開発

1から3は重点研究、4から6は指定研究、7から8は基盤的研究、9は萌芽的研究、10は在外派遣、11から15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は監視システムで使用する信号環境について継続的に測定・蓄積し、将来の運航方式に必要となる監視システムの性能要件を明らかにする研究である。

8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。

9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るリスク評価手法を開発する研究である。

10はドローン・有人航空機の運行を含んだ低高度空域の在り方を検討するためにシステムズアプローチの手法を学ぶ在外派遣である。

11は大規模災害時に発生しうる輸送システムの混乱について、ボトルネックを事前に発見できるようにシミュレーションを実施し、課題抽出を行う研究である。

12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を検討する研究である。

13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。

14は到着機航空交通流の制御に従来の制御技術に深層強化学習を取り入れた間隔維持支援アルゴリズムを提案するものである。

15は大規模災害時に緊急支援物資をどの程度輸送可能であるかを空港面シミュレーションにより推定する研究である。

## 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、悪天域を単純に回避する経路生成に対して、より現実的な悪天回避モデルの開発や、運用判断指標の候補として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を行った。また、研究評価用システムの機能向上を行った。

2の「国際交通流の円滑化に関する研究」では、フリールート空域の具体的な適応例として国内線の代表的なシティペア間の検討や、アジア―北米経路の検討を実施し便益を推定した。また、

飛行軌道生成ツールを改良した。

3の「AMAN/DMAN/SMAN統合運用に関する研究」では、到着・出発・空港面管理機能の要素分析を行い、遅延・地上走行時間を低減できる出発管理手法を提案し、シミュレーションにより有効性を検証した。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、将来の動的セクタ運用を見据えて、管制業務作業量の計測手法の開発や、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及び試行実験を行った。

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、時間管理に関連する既存の航空交通システムのアーキテクチャの分析、ICAOで定められた統一指標の一つであるKPI08 (Additional time in terminal airspace) の算出やCFDT (Calculated Fix Departure Time) のシャドーオペレーションの検証、羽田到着機の対象滑走路選択に関する検討を実施した。

6の「進入方式等の効率向上に関する研究」では、方式設定の自動化に着手するとともに、不安定進入の要因推定や、アカラコリド一複線化における安全性評価を実施した。

7の「監視信号環境と性能要件に関する研究」では、監視システムの動向調査、飛行実験や地上で得られたデータを用いた監視信号環境の評価を行い、監視信号環境のモデル化を行った。

8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、気象予報による軌道予測誤差低減の評価、Fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズムの開発やEFB アプリケーションの初期設計を行った。

9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の推定、リモート ID 信号の評価及び定量的な空中リスク推定方法の開発を行った。

10の「ドローンを含む低高度空域の在り方を検討するための方法論構築に関する研究」では、システムズアプローチとしてUTMに関するステークホルダーを特定するSVN (Stakeholder Value Network) を作成しUTMに対するニーズを明確化した。また、国際海運におけるCO2 排出削減についても課題抽出を行った。

11の「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析」では、空港面シミュレータを活用して災害時の運用シミュレーションを実施し、動線確認やボトルネックの抽出、空港における疾病者輸送の可能量推定を行った。

12の「離陸機の運用最適化に関する研究」では、スポッ

ト出発可能予想時刻の精度向上の検討と、出発上昇プロファイルの最適化の検討を行った。

13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、管制負荷推定のために、入力データである、時系列データ形式の検討と学習方法の改良及び多目的最適化への拡張を実施した。

14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、到着便の速度モデルの高精度化に取り組み、学習環境構築のための航空機の到着交通流のシミュレーション環境を構築した。

15の「緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業/緊急支援物資輸送システム開発」では、仙台空港の空港面運用シミュレーションを実施し、災害時に可能な貨物積載量を推定し、輸送量を増やすための課題抽出も行った。

本年度は、上記の15件の研究に加えて、以下に示す5件の受託業務を行った。これらは、上記の研究及びこれまでの研究等で蓄積した知見や技術を活用したものである。

- (1) 「新千歳空港・千歳飛行場の同時平行ILS/PAR進入運用の導入後安全性評価に関する調査」の支援業務
- (2) 「北部九州地区におけるターミナル管制業務に関する調査」の技術支援
- (3) 洋上空域における衝突危険度推定に係る支援作業
- (4) 「東京国際空港における同時RNAV進入運用の導入後安全性評価に関する調査」の支援業務
- (5) 2021年度将来の航空交通システムに関する長期ビジョンの実現のための計画の策定等に関する調査分析支援

### Ⅲ 研究の成果と国土交通行政、産業界、学会等に及ぼす効果の所見

当領域が実施している研究の成果は、新たな航空交通システムの導入や技術基準、運用基準の策定等への活用が期待できるものであり、国土交通行政と深く関わっており、航空局の主導する「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS)」でも積極的に成果を発信している。特に重点研究の成果は航空行政に直接に反映されるもので、社会的貢献に繋がっている。

「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

促進に貢献し航空宇宙学会技術賞を受賞した。

「国際交通流の円滑化に関する研究」では、ICAO ATM RPP (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、北太平洋空域での段階的フリールート空域の拡大に寄与した。特に先行研究で評価を行っていた高度変更時に管制間隔を短縮できる ADS-C CDP は試行運用が始まった。実際に利用されており、環境負荷の低減に大いに貢献している。

「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 改訂作業に参加している。

「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、短縮時間間隔の衝突危険度について、算出・報告をしている。また、FATS (Future Air Transportation Systems) WG でも機械学習を用いた研究として報告している。

「監視信号環境と性能要件に関する研究」では、ICAO SP (監視パネル) 会議に参加し、1030/1090MHz の信号環境や監視性能要件について報告し、ICAO 技術マニュアルへの反映や改訂作業を行っている。

「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) , 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。

ATM Seminar では優秀論文賞、計測自動制御学会では制御部門マルチシンポジウム賞を受賞している。

(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  
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2年次の令和3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解析）
- ②国内外の動向調査および運用判断指標候補の評価（運用判断指標の算出）
- ③研究用評価システムの開発（予報値入力への対応）

### 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解析）

気象予報データの航空悪天 GPV（航空用 MSM）を収集し、データに含まれる要素の活用方法等を検討した。悪天回避等の実態解析は通常気象観測値等を用いて行うが、運航前の飛行経路選択にあたって活用できるのは主に予報値であるため、気象予報データである航空悪天 GPV の特性を把握することが肝要である。航空悪天 GPV の特徴の

1つとして、観測値の要素に相当する予報値として総降水量および積乱雲頂高度が含まれている他、乱気流指数や鉛直速度シアなどの他の様々な要素が含まれていることが挙げられる。また、水平面の解像度や時間解像度は観測値に比べてやや劣るものの、高度方向に関しては高解像度であるため、航空悪天 GPV を用いることでより回避すべき領域の特定や垂直方向の悪天回避を検討することが可能と考えられる。

また、研究目標の1つである悪天回避経路の生成に関して、悪天域の単純回避だけでなく一部通過の経路生成が可能な、ユーザの嗜好性を反映できるより現実的な悪天回避モデルを開発した。以前開発した悪天回避モデルは悪天の強度に応じて絶対に回避する領域と飛行可能な領域に分けた上で経路を生成するものであった。しかしながら、実際の悪天回避の状況を分析した結果、領域を二分する悪天の強度はその時々状況に応じて異なることがわかった。また、前述の悪天域を単純に回避するモデルでは、飛行中のように使用可能な気象情報が限定的な場合に経路を生成できないことがあるとわかった。そこで、悪天域を単純に回避するかどうかではなく、悪天の強度と当該領域の通過時間および燃料消費量（悪天回避に伴う飛行距離や飛行

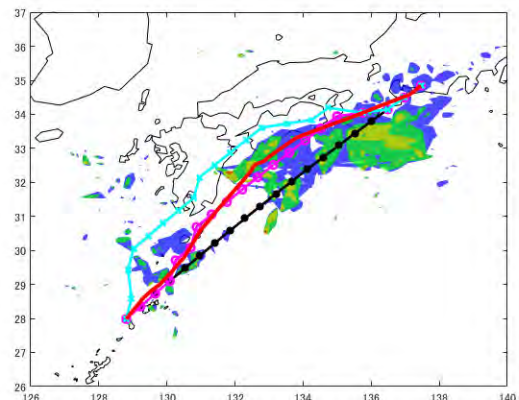


図1 悪天域（強度：黄>緑>青）に対する経路生成例（黒の実線：最小の燃料消費となる経路、桃色の実線：実際の航跡（赤の実線）に近い経路、水色の実線：悪天域を極力迂回する経路）

時間の増加にほぼ比例)によって悪天域を一部通過する経路も生成可能なモデルを開発した。また、悪天回避の判断は最終的に運航者の状況判断に委ねられるため、悪天の強度および通過時間と燃料消費量に関するトレードオフ関係を経路生成に反映できるモデルとした。図1に開発した悪天回避モデルによる経路生成例を示す。時々刻々と変化する悪天域に対し(図の悪天域は初期状態)、最小の燃料消費となる経路や悪天域を極力迂回する経路など、ユーザの嗜好性に応じた様々な経路を生成できることがわかる。実際の航跡に近い経路も生成できることから、以前の悪天回避モデルと比較してより現実的なモデルを開発できたとと言える。

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

気象観測データである全国合成レーダーエコーGPVを用いて、軌道に沿ったエコー強度の値や空域に占める悪天域の割合を求めた。一例として、図2に2018年7月のある1日における首都圏北部の空域に対する悪天率を示す。青線が関東北セクタ(T03, 画像中の左の空域)、赤線が常州セクタ(T07, 画像中の右の空域)における悪天率の

時系列を表す。悪天率の算出にあたっては高度方向も含めた体積で比較しており、空域の上限が定められていない場合はFL450として求めた。また、エコー強度については10 mm/h以上を有効とした(画像中のおおよそ緑~赤の領域)。画像の気象状況と悪天率は直観的に対応していることがわかる。

また、TEPS(航空路管制処理システム)の管制官運転情報より、空域容量に影響する悪天起因のデビエーションに関する管制指示を抽出した。図3に2021年5月~2022年1月の日中時間帯における関東西セクタ(T12)および武蔵セクタ(T13)の取り扱い機数に対するデビエーション割合を示す。ここで、デビエーション割合はT12およびT13の取り扱い機数(両セクタ統合運用時を含む)に対して内容は問わずに悪天事由で何等かの管制指示を受けた航空機数の割合と定義した。左軸の棒グラフが機数を表し、積み上げ量の取り扱い機数に対して悪天事由の管制指示を受けた航空機数は赤色の部分である。また、デビエーション割合を右軸の黒の折れ線グラフで示した。図3より、T12+T13では夏季にデビエーション割合が高い傾向にあるとわかる。また、日によってはT12+T13を飛行する航空機の約6割が悪天の影響を受けていたこともわか

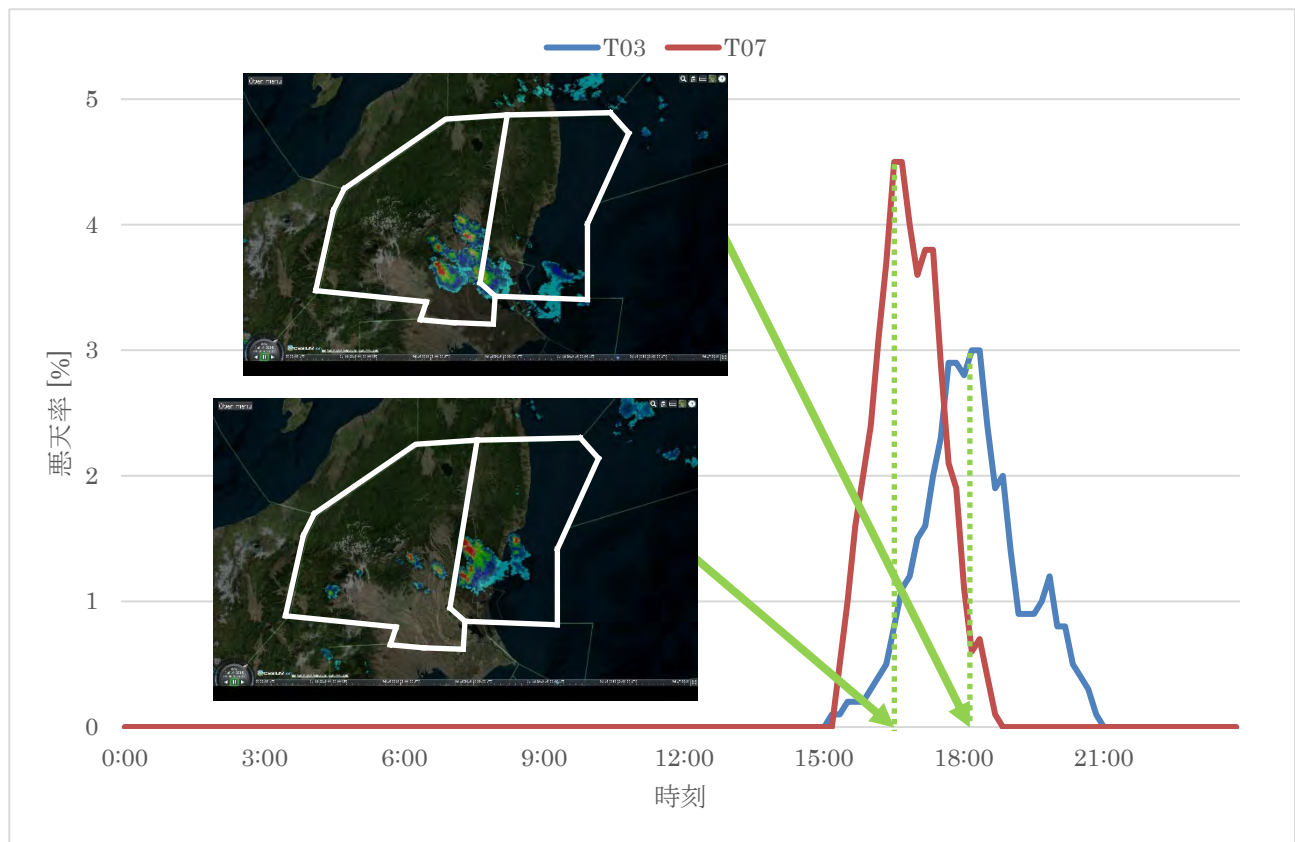


図2 空域(左:T03, 右:T07)に対する悪天率の算出例

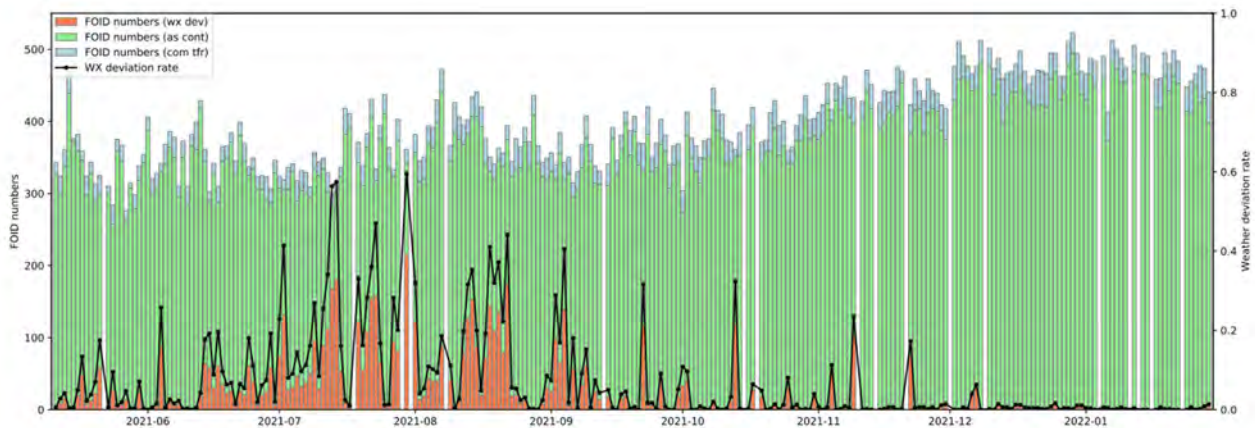


図3 2021年5月～2022年1月の日中時間帯における関東西セクタおよび武蔵セクタの取り扱い機数（両セクタ統合運用時を含む）に対するデビエーション割合

る。対象期間における日数246日に対し、1日の取り扱い機数の平均は398.9機、悪天事由の管制指示を受けた航空機数の平均は26.2機であった。したがって、デビエーション割合の日平均は6.6%（最大値は59.6%＝215機／361機×100）であった。今後、対象日の増加や平均を求める範囲の精査などを行い、統計量の向上を図ることが重要である。

### 3.3 研究用評価システムの開発（予報値入力への対応）

研究用評価システムで気象データとして航空悪天 GPV も取り扱えるように機能向上を実施した。

また、セクタの通過判定機能や航跡差の算出機能など、これまでに開発してきたシステムの表示系の高度化および初期的なデータ解析機能の追加によりシステム全体の性能を向上させるための各種プログラム改良を合わせて実施した。

## 4. まとめ

次年度は、航空悪天 GPV を用いた悪天回避経路生成について検討するとともに、セクタにおける悪天率と取り扱い航空機数やデビエーション割合との関係性を分析する。また、検討・分析結果を関係者から評価していただくための仕組みを開発する。

### 掲載文献

- [1] 中村陽一，瀬之口敦，“航空機運航における気象要因の定量化に向けた研究，”第144回日本航海学会春季講演会，2021年5月。
- [2] 瀬之口敦，平林博子，中村陽一，“CARATS 施策 MET-4 および TBO-2（旧 ID：EN-6 および OI-15）関連の

ENRI 研究開発の進捗報告，” CARATS 第45回 ATM 検討 WG／第46回航空気象検討 WG 合同 WG，2021年9月。

- [3] 中村陽一，瀬之口敦，“レーダーエコーに基づく航空機の悪天における回避経路の生成，”第59回飛行機シンポジウム，2021年11月。
- [4] 岡恵，古賀禎，瀬之口敦，“航空交通データの収集・整備・提供，”日本航空宇宙学会誌69巻12号，2021年12月。
- [5] Yoichi NAKAMURA, Atsushi SENOGUCHI, “Modeling of Aircraft Routes under Severe Weather Conditions,” 2022 AIAA SciTech Forum, Jan. 2022.

## 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，

ピクラマシハ ナヴィンダ キトマル，虎谷 大地，村田 暁紀

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の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、フリールーティング算出機能の実装、フリールーティング便益指標の調査、及び国際 ATFM 方策の調査を実施した。

#### 3.1 FRA 運用モデルの構築に関して

先行研究で実施した FRA コンセプトを基に、国内線の FRA 設計について詳細分析を実施した。国内空域において下限高度を FL335 とする高高度空域を FRA と仮定し、国内線に締める割合の多い 10 便を対象とした。

図 1 は東京国際空港から那覇空港の飛行計画経路（点線）とレーダ航跡の例を示す。航跡データを使用し、ターミナルレーダー空域の入域並びに出域点及び訓練試験空域等の制限空域を回避するため中間点を設計した。多くの場合、既存の RNAV 経路はすでに理想的な経路に近い飛行計画経路を可能となる経路設計であったが、そのような場合であっても一部ショートカットが確認され、経路短縮の余地があることが確認された。また、中間点により、制限空域との間の干渉域を最小とすることが可能となり、FRA 設計によりさらなる最適化の可能性がある。FRA は各飛行の飛行計画距離を大幅に減らすことは



ないかもしれないが、多くの交通が少しずつ効率的な飛行計画経路となることで、全体として大きな便益をもたらすことが想定される。また、飛行計画経路と実際の飛行軌道との差を減らすことは、軌道予測制度の向上にもつながると言える。

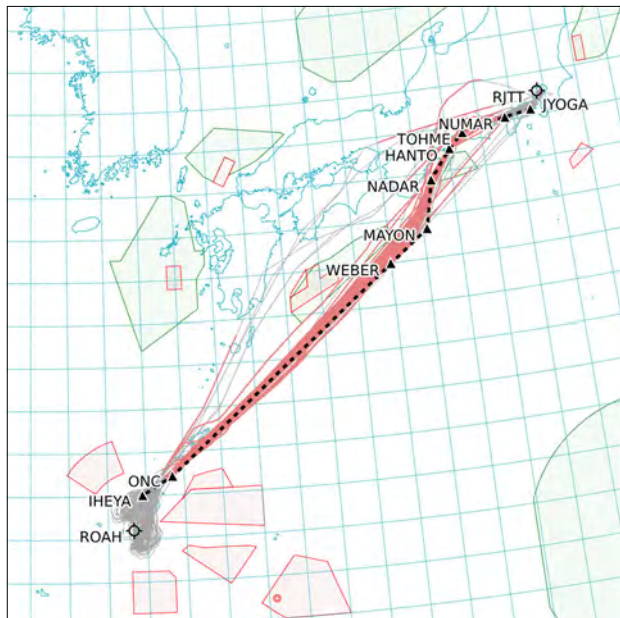


図1 国内便のFRA設計のための分析例：羽田空港から那覇空港。黒い点線は飛行計画経路、赤線は高高度（FL335以上）のレーダ航跡、グレー線はFL335以下のレーダ航跡を示す。緑色の網掛けは訓練空域、赤い網掛けは制限空域を示す。

IPACGではPBCS（Performance-Based Communication and Surveillance）による管制間隔短縮化を活用した図2（左）に示すNOPAC経路の再構築を議論している。本研究ではこの検討を支援するために、長期的視野により図2（右）に示すNOPAC空域へのFRA導入を想定したファストタイムシミュレーションを実施した。シミュレーション結果から、将来のさらなる管制間隔短縮を想定した場合、個々の飛行における効率的な飛行計画経路の運用と交通の集中による管制間隔欠如の回避が両立可能であることが示された。

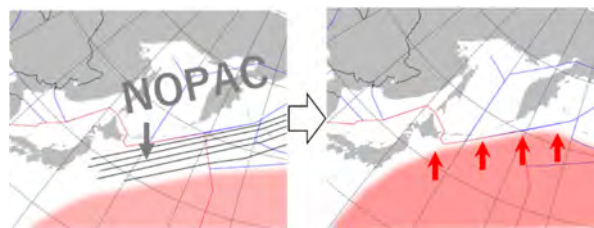


図2 左：現在、北太平洋上空の空域は5本のNOPAC航空路と固定航空路がないフレックストラック空域（赤）に分けている。右：FRAを導入することによりフレックストラック空域をNOPAC経路の空域に拡大することを提案した。

### 3.2 フリールーティング算出機能の実装

より現実的な交通シミュレーションを実現するために開発中の、飛行軌道生成ツールを改良した。本研究では、飛行計画経路を作成するために、ダイクストラ法の最短経路探索を用いたグラフ探索による最適経路計算を実施する飛行軌道生成ツール開発している。令和3年度は、より現実的な軌道生成のために、初期上昇及びステップクライムの計算機能を追加した。また、燃料消費量だけでなく、航行援助支援料を含む総コストの最適化経路が計算可能となるようツール機能を拡張した。

### 3.3 フリールーティング便益指標の調査

ATMシステムを効率的に運用するには、希望する航空機の軌道が競合する場合、ステークホルダーに対して便益と割当機軌道のトレードオフ関係を考慮する必要がある。空域に対しては、安全性を確保しながら公平性を保つ必要がある。また、空域容量と安全性を維持しながら、需要が高いときに最大化することが好ましい。効率低下を回避する観点から、システムは不確実性に対して妥当なマージンを提供する必要もある。そのため、さまざまな利害関係者を考慮して、空域とATFMのパフォーマンスを評価する方法を検討する。今年度はEUROCONTROLで用いられている空域モニタリング指標やDynamic Density法、航空機同士の軌道の離れ度合いをベクトル場として指標化した方法など従来手法の利点や特徴についてまとめた。国際交通流は主に高高度における交通流であるため、高高度における適切なセクタ分割やセクタ内のモニタリングに資する指標であることが望ましい。更に、将来的な需要の増加による管制負荷増加の対策方法の一つとして期待されるDynamic Airspace Configuration（DAC）においても活用される指標として利用されるよう開発を進めたい。

### 3.4 国際 ATFM 方策の調査

国際 ATFM を検討する際、近隣諸国との交通流及びそれに起因する問題点等の情報を収集し、関係者間で共有することが重要である。本研究では、韓国、中国の大学、研究機関と共同研究契約を締結し、国際 ATFM に関する各国の状況及び課題について情報交換を開始した。

### 4. おわりに

FRA コンセプトをより具体化し、空域利用者及び ATM の両視点からその性能を評価するのに適した指標を用いて、今後も効率的な交通流について検討を続けていく計画である。国際 ATFM データ交換に関する情報収集及び交通流制御の様々な手法の検討も引き続き実施する。

### 掲載文献

- [1] M. Brown, H. Hirabayashi, K. Lee, “An Analysis of Flight Routes and Considerations for Free Route Airspace Implementation in Fukuoka FIR”, Proc. 2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2021), Jeju, Korea.
- [2] 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位置の分析”, JSASS 第 59 回飛行機シンポジウム.
- [3] H. Hirabayashi, M. Brown, N. Takeichi, “Feasibility Study of Free routing Airspace Operation over the North Pacific Airspace”, Fourteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2021).
- [4] H. Hirabayashi, “A Flight Route Generation Tool to Evaluate Oceanic Operations”, IPACG Providers Meeting 26, May 2021.

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, 村田 暁紀, 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、初年度である令和3年度は以下の内容を行った。

- ① 到着・出発・空港面管理機能の要素分析
- ② シミュレーション実験の準備
- ③ 技術動向調査と運用分析

## 3. 研究成果

令和3年度は、首都圏空港の到着・出発・空港面における各種航空交通データを収集し、ボトルネックの分析と解決方法を提案するために、数理モデル・ファストタイムシミュレーション環境の構築と初期評価を行なった。さらに、AMAN/DMAN の統合運用を評価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、羽田空港に到着する航空交通流を管制するエンルート空域における航空管制を模擬するデモを行なった。また、ICAO SP AIRB WG に参加し、本研究成果に基づき、ICAO PANS-OPS 案の執筆および改訂に貢献した。

### 3.1. 到着・出発・空港面管理機能の要素分析

航空交通管理システムの設計は、実装の対象とする空港とその周辺空域の環境に依存する。そこで本研究は、AMAN/DMAN/SMAN 統合運用の実装を目指す首都圏空港を対象に、初年度は羽田空港の到着・出発・空港面の各種航空交通データを収集し、データを活用して現状を分析した。そして、AMAN, DMAN, SMAN 各要素の機能について、それぞれの課題を明らかにするとともに、統合運用の性能を定量的に評価する指標を設計した。

さらに、統合運用による機能向上のために、到着機の滑走路着陸時刻および出発機の地上走行時間を予測する機械学習（エラスティックネット・回帰木等の応用）モデル、エンルート空域において到着機の数値制御と滑走路割り振りを戦略的に決定する多目的最適化モデル、滑走路端における出発待機時間を予測する時変流体待ち行列モデル（図1参照）を構築し、理想的なスポットアウト時刻推定手法および滑走路使用率を最大化する出発管理手法を提案した。データと比較して各モデルの妥当性を検証するとともに、到着・出発・空港面の統合運用を模擬するファストタイムシミュレーション環境を構築し（図2参照）、シミュレーション実験により提案手法の有効性を確認した。具体的には、AMAN/DMAN 統合運用により、対象とする到着機1便あたり5分程度の遅延・地上走行時間を削減可能であること、DMAN/SMAN 統合運用により、滑走路1本あたり年間約1キロトンの燃料消費量の削減効果が見込めることなどを示した。

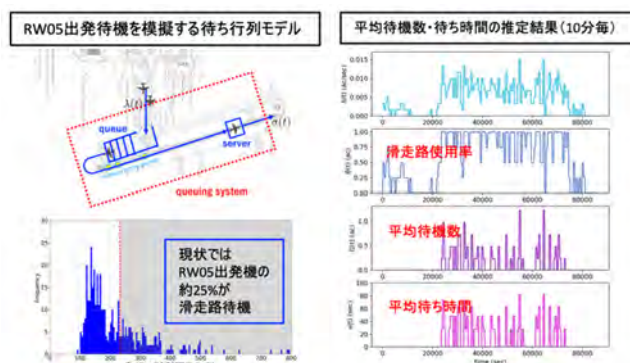


図1 時変流体待ち行列モデルによる出発待機時間の予測  
右：スポットアウト時刻より、出発待機（待ち）時間を推定  
左：提案モデルが現状のRW05 出発待機時間を模擬

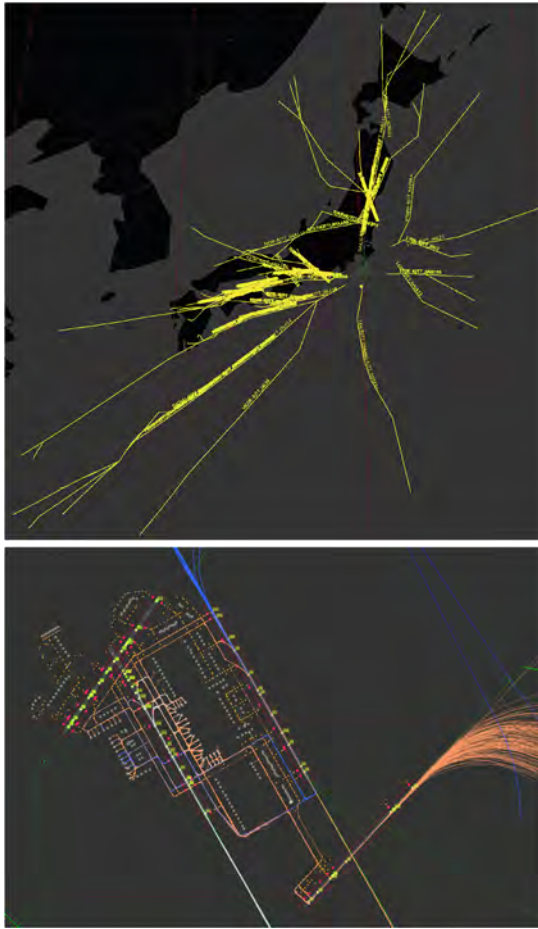


図2 羽田空港を対象とした AMAN/DMAN/SMAN 統合運用の評価用シミュレーション実験環境

上：福岡 FIR を飛行する羽田空港への飛行経路を実装  
 下：北風運用を模擬した空港面シミュレーション実験結果が表す航跡

このように、本年度に予定していた AMAN/DMAN/SMAN 管理機能の要素分析だけでなく、AMAN/DMAN, DMAN/SMAN 統合運用の初期検討も実施し、研究成果の一部を査読付き論文 5 件、複数の学会発表等にまとめた。次年度以降は、本年度に構築した数理モデルおよびファストタイムシミュレーション実験環境を進展させ、統合手法の検討を進める。

### 3.2. シミュレーション実験の準備

先行研究より、羽田空港に到着する航空交通流に適用する AMAN の対象を、空港から 150NM 以上離れた空域に拡大し、戦略的な速度制御と滑走路割り振りをエンルート空域で実施することにより、航空機の到着交通流全体の待ち時間を削減し、ターミナル空域における渋滞を回避することが明らかになった。本研究では、提案した AMAN の実装を模擬し、管制運用の現場に適用可能か評価するため、

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を構築し、管制経験者が参加する評価実験を予定している。

本年度は、ユーロコントロールイノベーションハブ（フランス）の協力のもと ESCAPE Light ヒューマンインザループシミュレータをシミュレーションエンジンとして活用し、国内開発メーカーおよび大学と共同で、東京管制部が管轄するエンルート空域を対象としたシミュレーション実験を構築した。対象空域における航空交通流を模擬した初期デモンストレーションが成功した。引き続き、次年度以降も実験準備を継続し、速度制御コマンドの表示機能などを追加する予定である。

### 3.3. 技術動向調査と運用分析

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（図3参照）の原案を執筆した。本研究成果に基づく知見を反映した原稿案が採択され、ICAO PANS-OPS 改訂作業にも参加した。次年度以降も改訂が行われるため、引き続き、作業に参加する予定である。



図3 ICAO PANS-OPS (doc 8168)

また、AMAN/DMAN/SMAN 統合運用にかかる論文・技術資料等を調査した。羽田空港だけでなく、成田空港を対象に、令和元年9月から令和2年2月までの36日分の飛行計画、航跡データ、スポットアサインメントチャート等を収集し、到着・出発・空港面データの分析を開始した。次年度以降も、羽田・成田空港を対象とした調査と運用分析を継続する予定である。

#### 4. まとめ

本年度は, AMAN/DMAN/SMAN 機能の要素分析だけでなく, 統合運用の初期検討を実施し, 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なった。

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, シミュレーション実験の準備を継続する。

#### 掲載文献

- [1] Eri Itoh, Mihaela Mitici and Michael Schultz, “Modeling Aircraft Departure at a Runway using a Time-varying Fluid Queue”, *Aerospace* 9(3) 119, 2022.
- [2] 伊藤恵理, “航空交通管理にデジタル変革をもたらす研究開発”, ENRI 国際ワークショップ, 2022.
- [3] Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa and Kozo Fujii, “Preliminary Study of Multi-objective Air Traffic Optimization for Devising Speed Control Strategy by Using Rule-based Simulator”, *Proceedings of AIAA Aviation Forum*, 2022.
- [4] 李家賢一, 伊藤恵理, “海空宇宙の COVID-19 対応と今後のパンデミック対応に向けて”, 学術の動向, 日本学術協力財団, 2022.
- [5] Katsuhiko Sekine, Tomoaki Tatsukawa, Eri Itoh and Kozo Fujii, “Multi-objective takeoff time optimization using cellular automaton-based simulator”, *IEEE Access*, 9 79461-79476 2021.
- [6] Katsuhiko Sekine, Furuto Kato, Kota Kageyama and Eri Itoh, “Data-driven Simulation for Evaluating the Impact of Lower Arrival Aircraft Separation on Available Runway and Airspace Capacity,” *Aerospace* 8(6) 165, 2021.
- [7] Michael Schultz, Daniel Lubig, Ehsan Asadi, Judith Rosenow, Eri Itoh, Srinivas Athota and Vu N. Duong “Implementation of a Long-Range Air Traffic Flow Management for the Asia-Pacific Region,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 124640-124659, 2021.
- [8] 伊藤恵理, 大津山卓哉, “Proposals for IM section in the PANS-OPS”, ad-hoc AIRBWG meeting, ICAO, 2021.
- [9] 立川 智章, 関根 将弘, 藤井 孝藏, 伊藤 恵理, 都築 怜理, 柳澤 大地, 西成 活裕, 安福 健, “全体最適のための新たな航空交通モデルの開発”, 計算工学会誌 特集記事, 2021.
- [10] Eri Itoh, Furuto Kato, Koki Higasa and Michael Shultz, “DESIGNING AIRCRAFT TRAFFIC FLOWS USING DATA-DRIVEN QUEUING MODELS” *Proceedings of ICAS*, 2021.
- [11] 関根将弘, 立川智章, 藤井孝藏, 伊藤恵理 “セルオートマトンを用いた航空交通流の多目的巡航速度最適化”, 第 20 回進化計算学会研究会講演集, 2021.
- [12] 日笠航希, 伊藤恵理, “Gt/GI/st+GI 待ち行列モデルを用いた航空機の到着交通流の分析および制御”, 第 59 回飛行機シンポジウム講演集, 2021.
- [13] 森川暢明, 伊藤恵理, 矢入健久, “航空機の到着時刻予測に適した機械学習手法の検討”, 第 59 回飛行機シンポジウム講演集, 2021.
- [14] 加藤古都, 伊藤恵理, 蔭山康太, 伊藤恵理, “機械学習を用いた航空機の地上走行時間予測の検討”, 第 59 回飛行機シンポジウム講演集 2021.
- [15] 関根将弘, 立川智章, 蔭山康太, 伊藤恵理, “東京国際空港の到着機を対象とした滑走路割り振りのシミュレーション評価”, 第 59 回飛行機シンポジウム講演集, 2021.
- [16] 加地信一郎, 高橋正樹, 伊藤恵理, “エンルート空域における FIM 速度制御による到着時間間隔の調整”, 第 59 回飛行機シンポジウム講演集, 2021.
- [17] Eri Itoh, Katsuhiko Sekine, Furuto Kato and Kota Kageyama, “Integrated Arrival, Departure, and Surface Traffic Simulation at Tokyo International Airport”, *AirTOP User Conference*, 2021.
- [18] 関根将弘, 立川智章, 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”, 進化計算シンポジウム講演集, 2021.
- [19] 伊藤恵理, 航空交通管理におけるデジタルツイン処理”, 日本シミュレーション学会誌, 2021.

## 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
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、交通量が增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; Trajectory-based 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3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の改修

- ・管制業務作業量の実測及び定量化の検討

### 3. 研究成果

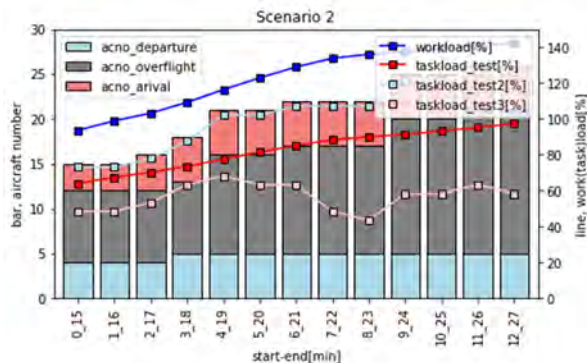
#### 3.1 管制支援情報及び支援機能の調査及び定量化の検討

訓練シミュレーターを使用した模擬運用の動画を基に、我が国の容量管理に使用されている MMBB（Modified-MBB (Messerschmidt, Bölkow und Blohm)）法の課題について整理した。動画解析の結果では従来の MMBB 法の 15 イベントのうち 9 イベントが抽出された。イベントの定義はシステム及び運用の変化に伴い更新する必要がある。しかし、不測の事態への対応、動画解析で多くみられた複数イベントの組み合わせ等を考慮すると、全てのイベントを網羅することは困難である。また、将来運用として検討されている動的にセクターを変化させる弾力的な運用では、各イベントの頻度及びセクター内平均滞在時間が変化し、従来の手法が使用できなくなることが考えられる。そこで、管理すべき数値を少なくすべく、パラメーターを少なくしたタスクロード算出を試みた。試算では、イベントの区別をすることなく、動画解析より得られたイベントから算出した平均通信時間を「ひとつの管制業務を実施するのに必要な通信時間」とし全てのセクターに適用することを想定し、考慮時間を含めない以下の3つのタスクロードを算出した。①従来の容量値算出同様管制下時間を考慮する計算、②航空機機数を考慮する計算、及び③新たな入域機数のみを考慮する計算、である。従来の手法を基準に考えるならば、算出方法を寄せている①が最も従来傾向と同等な結果が得られた。機数のみを考慮した他の2試行では、管制下機数を考慮すると過大評価の傾向があり、また、新たに発生する入域機数のみを考慮するとセクター空域の広さの影響を大きく受ける傾向が示された。図1に動画解析より得られた管制下機数及びワークロード並びにタスクロードの一例を示す。今後、主観的な評価と組み合わせたシミュレーションを実施することで、妥当と思える容量値が得られるのではないかと考える。

#### 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。本年度は、無作為に抽出した 16 名の男女が参加する実験を、筑波大学自作シミュレーターを使用し実施した。実験での作業量の計測手法として、Team Workload Questionnaire (TWLQ) 及び Inclusion of Other in the Self (IOS) スケールの二つの主観的評価を使用した。IOS スケールを図 2 に示す。結果から、



15 分間の管制下機数及びワークロード並びにタスクロードを 1 分毎に示す。管制下機数は棒グラフで出発機（水色）、上空通過機（灰色）及び到着機（サンゴ色）に色分けして示す。ワークロード及びタスクロードは折れ線で示す。それぞれ、従来の手法で算出したワークロード（青色）、①考慮時間を含めず一つの単価を使用して算出したタスクロード（赤色）、②管制下機数を考慮したタスクロード（水色）及び③入域機数を考慮したタスクロード（ピンク色）である。提案タスクロードは考慮時間を含めないため、従来値より一定量低い傾向となることを考慮すると、①における傾向が従来値に最も合っている。

図 1 動画解析より得られた管制下機数及びワークロード並びにタスクロード

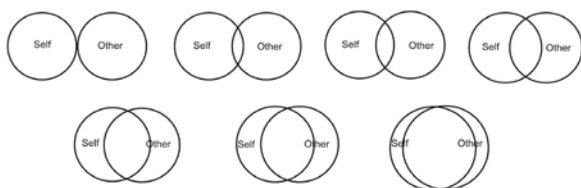


図 2 主観評価で使用した IOS スケール



図 3 評価用システムを使用した試行実験の様子

今回使用した主観評価手法はおおむね評価に利用できることが示された。また、チームワークロードが個々のタスクワークロードの和ではないことが確認された。ただし、明確な結論を得るためには実験を継続、標本サイズを大きくすること等が必要とされ、次年度も継続し実施することとなった。

### 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改修及び管制業務作業量の実測及び定量化の検討

管制業務を計測するため、管制支援機能を模擬するソフトウェアの開発を進めている。本年度は、運用模擬に必要な管制下機数の概念の反映及び試行中に交通量の増加等シナリオを変更させる機能を整備した。管制経験者による試行を実施し、次年度の実験に必要な機能の整理及び交通シナリオについて検討した（図 3）。

## 4. まとめ

支援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、従来の容量管理に適用されている MMBB 法に関する調査及び課題整理を進め、使用するパラメーターを少なくしたタスクロード算出を試みた。従来の値を基準とするならば、提案手法で値を寄せることは可能であるが、容量管理向上のためには主観評価との組み合わせが有効であると考えられる。また、支援機能を模擬するソフトウェア製作を進め評価用システムを使用した試行実験を実施した。次年度は、公募型研究の筑波大学と協力し進めている主観評価手法を応用し、容量管理向上につなげたいと考えている。また、試行実験から抽出されたソフトウェアの必要機能を追加したうえで、評価用システムを使用した実験を本格的に実施予定である。

## 掲載文献

- [1] Sungju Maeng, Makoto Itoh, Hiroko Hirabayashi, Atsushi Senoguchi, “Task Modeling in Air Traffic Control with Trajectorized En-route Traffic Data Processing System,” 21st International Symposium on Aviation Psychology 2021, pp.224-249, May 2021.
- [2] 平林博子, “航空交通の容量管理のための航空路管制作業量計測ツールの開発,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2021, 対話発表 PB3-1, 2021 年 9 月.
- [3] 孟成柱, 伊藤誠, 平林博子, 村田暁紀, “管制指示コマンドデータに基づく航空路セクターの分類,” 第 59 回飛行機シンポジウム, JSASS-2021-5051-1D14, 2021 年 11 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, 宮沢 与和

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、軌道ベース運用への移行が求められている。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されると考えられている。従来は各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た時間管理運用において、求められる要件に対し最適となる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、現在導入の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を定義する。

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。

本研究は3カ年計画で実施する。初年度の令和3年度は以下を行った。

1. 時間管理に関連する既存の航空交通システムの調査および既存アーキテクチャの分析
2. CFDT シャドーオペレーションの検証
3. 交通流管理における到着順序付け、滑走路容量に基づく到着予定滑走路選択のパフォーマンス評価
4. 羽田空港・成田空港周辺空域における滞留の指標値 (KPI08) の算出

3. 研究成果

3.1 時間管理に関連する既存の航空交通システムの調査および既存アーキテクチャの分析

本研究でのアーキテクチャ構築までの流れを図1に示す。まず、ステークホルダーの特定としてSVN (Stakeholder Value Network)を作成し(図2)、本研究内で検討対象とする範囲やステークホルダー間の関係について整理を行った。次に、ニーズの明確化を行うため各ステークホルダーへのヒアリングを計画し、使用するアンケートの作成を行った。アンケートでは、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で重要度を聞く形式とした。

また、既存の管制処理システムのアーキテクチャについて、説明書やログデータを調査し、情報更新のタイミングやシステム間の情報の流れについて整理を行った。

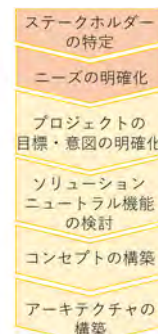


図1 アーキテクチャ構築の流れ

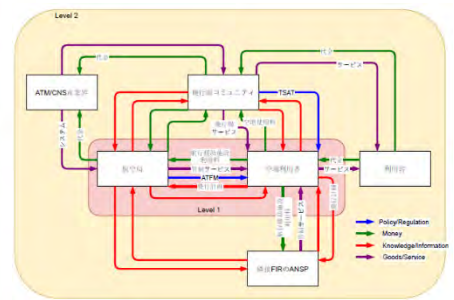


図2 作成したSVN

3.2 CFDT シャドーオペレーションの検証

令和2年度～令和3年度に実施されたシャドーオペレーションのデータの分析を実施した。シャドーオペレーションでは実際に航空機にCFDTを指示することはしない代わりに、CFDTにとって重要なパラメータである、CFDTフィックスの通過予定時刻や、受け入れ可能な最大・最小速度等のデータが収集された。本検証では収集されたデータを用いて、実際にCFDTを指示していた場合にどの程度の空中遅延を達成することができたかを推定した。達成可能な空中遅延を推定するために、CFDTのオペレーションモデルを作成した。収集データをモデルに適用することで、妥当性のある達成可能な空中遅延の推定が可



能となった。全便のデータに対して推定を行うことで、各シャドーオペレーション対象経路における空中遅延量ごとのCFDT成功率を推定した。一例として、最も長いRoute4では2分の空中遅延の成功率が約86%であった。

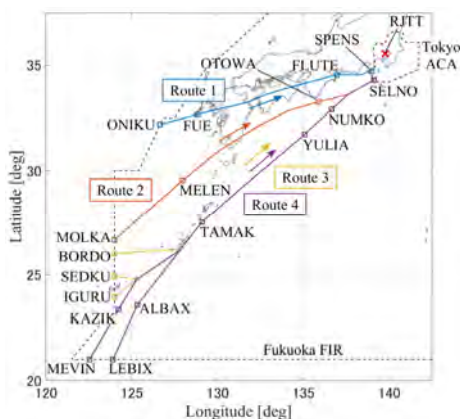


図3 CFDT シャドーオペレーション対象経路

### 3.3 交通流管理における到着順序付け、滑走路容量に基づく到着予定滑走路選択のパフォーマンス評価

羽田空港への到着機を対象に、滑走路選択に関する検討を実施した。実データの分析を通して、滑走路の変更は日々不規則に実施されるものの、主に国際便をスポットに近い滑走路へ変更することによる効果が顕著であることを確認した。また、シミュレーションモデルを構築し、到着機の最適な滑走路の割り当ておよびその効果の試算を行った(図4)。最適化においては、到着機および出発機の待ち時間、スポット位置を勘案した地上走行時間差の合計を評価指標とした。ある到着機の滑走路の変更が他の到着機や出発機の待ち時間に影響を与えることとなる。本検討では、その変化の様子を確認するとともに、最適な割り当てにすることによる待ち時間の削減効果を示した。

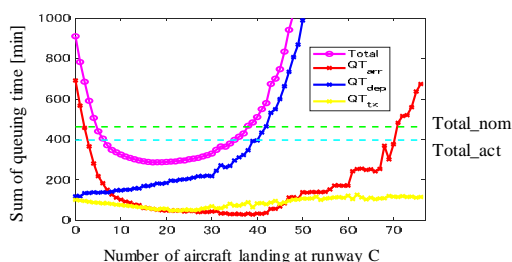


図4 C滑走路への割り当て数の変更による待ち時間の変化例(青: 出発機, 赤: 到着機-飛行中, 黄色: 到着機-地上走行, マゼンタ: 合計, C滑走路への到着機が出発機と干渉するため, C滑走路への割り当て便数が増加するほど出発待ちが増加する)

### 3.4 羽田空港・成田空港周辺空域における滞留の指標値(KPI08)の算出

これまで継続して算出してきた羽田空港・成田空港の周辺空域における混雑に起因する到着機の滞留時間の指標値(KPI08)を令和元年度から令和3年度までの3カ年分算出した(図5)。令和2年3月までは便数の増加に伴い滞留時間も増加する傾向があったが、コロナ禍により交通量が大幅に減少し滞留時間もほぼ0となった。令和3年12月では、便数が5/6程度まで回復したが滞留時間はコロナ禍前の約半分程度となっている。

また、CFDT シャドーオペレーションの分析から得られた経路ごとの空中遅延量と算出結果を照合し、CFDTの実施を想定した際の滞留時間への影響を試算した。



図5 羽田空港の2015年から2021年までのKPI08の推移(2018年までは奇数月, 2019年以降は毎月算出)

## 4. まとめ

今年度は既存システムの調査やCFDT シャドーオペレーションの分析、到着順序付けのパフォーマンス評価などを行った。次年度は時間管理運用のニーズに関するヒアリングを行いアーキテクチャ案の作成やメタリングのコンセプト洗い出しを行う。

### 掲載文献

- [1] Toratani, D., Nakamura, Y. and Oka, M., Data-Driven Analysis Method for Calculated Time Over in Air Traffic Flow Management, ATM Seminar 2021
- [2] Nakamura, Y. and Mori, R., A Study on Optimal Runway Assignment Using Simulated Annealing, APISAT2021
- [3] 宮沢与和, 虎谷大地, 中村陽一, 森亮太, 東京国際空港到着便の滑走路運用に関する一分析, 第59回飛行機シンポジウム, 2021年11月
- [4] 岡恵, CARATS オープンデータの概要説明, CARATS オープンデータ活用促進フォーラム, 2021年12月
- [5] 岡恵, additional time in terminal airspace(KPI08)と最大可能調整幅, CARATS 軌道ベース運用検討アドホック会合, 2021年12月

## 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, 天井治, 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.不安定進入の要因推定、3.空域の安全性評価の実施および国際貢献、である。

### 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ことである。

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 不安定進入の要因推定

AI は近年注目を浴びているが、航空業界への適用事例は多くない。本研究では、その適用事例の一つとして、不安定進入の要因推定を行うこととした。Stabilized approach(安定進入)とは、着陸前に航空機を安定させ、安全な着陸を行うためのコンセプトである。過去に不安定であったことが原因のインシデントや事故も報告されており、現在ではほぼすべての航空会社が安定進入による運航を推奨している。しかしながら、状況によっては不安定進入やそれに近い状況になることがあるため、本研究では不安定な状況とその他の要因との関連性を調べることで、不安定進入を減らすことを目的として実施する。

#### 2.3 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 などで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な場合もあるが、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な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 方式設定の自動化による効率向上

方式設計を自動化するといっても、自動化できる設計要素はいくつか存在する。まず、ウェイポイント配置があげられるが、その他にも降下角、FAF 高度、速度制限、など様々にある。ここでは、まず初期段階として、ウェイポイント位置のみを自動で設計し、降下角などのパラメータは事前に決定し、設計ツールの入力とすることを想定する。また、山岳地帯などについては、地上の障害物との間隔基準を満たす必要があるが、海上空港では比較的そのような制約が少ない。ここでは、海上空港など障害物の制約が少

ないモデル空港を設定し、それをケーススタディとして設計してみることにする。まずは、図1のような形で、経路の定義を行う。そして、ここで定義されたパラメータを、経路が最短となるように最適化を行う。ここでは、遺伝的アルゴリズムの使用を検討した。今後は、実際の空港において計算を実施し、既存方式との比較を行う予定である。

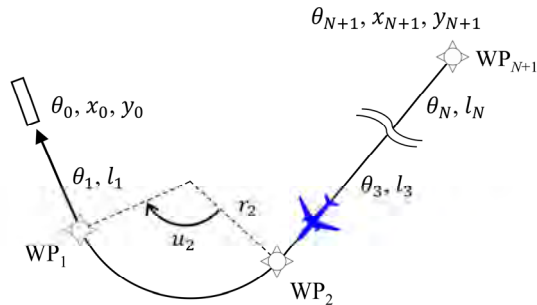


図1 飛行方式の経路の定義

### 3.2 不安定進入の要因推定

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

本年度は、航空機の進入時の速度履歴に着目し、進入タイプの分類をNNにより行った。進入速度が高いものから低いものにかけて、大きく5つにわけられた。その結果、比較的風のコンディションがよいときには、高い速度のアプローチであるケースが多く、逆に風の擾乱が大きい場合は低い速度のアプローチが多かった。航空機の不安定性も、基本的には風の擾乱の程度に左右されることがわかったが、その例外として、最も速度の高いグループは、風の擾乱が小さいにも関わらず、航空機の安定性が低い傾向にあることがわかった。最も速度の高いグループは、速度処理があまりうまくいかなかった場合があり、それが進入時の不安定性につながった可能性が示唆された。今後は、さらなる分析を進めていく予定である。

### 3.3 空域の安全性評価の実施および国際貢献

本年度は、主にアカラコリドーにおける安全性評価を実施した。アカラコリドーは、本邦の西に位置するエリアであり、中国、韓国、本邦の管制が入り乱れており、潜在的な危険があるとされているエリアである。近年、アカラコリドー経路の複線化が提案され、2021年3月から部分的に実施されている。それにより安全性がどの程度向上するかを算出を行ったところ、複線化は安全性に大きく寄与す

ることがわかった。現在は、高度選択が従来と同じで、利用可能高度に制約があるが、それを撤廃することも検討される予定となっている。

### 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(えあろすペーす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(えあろすペーす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.

監視信号環境と性能要件に関する研究 【基盤的研究】

担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○大津山卓哉, 本田純一(監視通信領域), 長縄潤一(監視通信領域),  
 宮崎 裕己(監視通信領域)  
 研究期間 平成 30 年度～令和 3 年度

1. はじめに

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

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

2. 研究の概要

本研究は 4 カ年計画であり、最終年度である令和 3 年度は昨年度に引き続き以下の内容を行った。

- ① 監視システム動向調査
- ② 測定実験による信号環境取得・評価
- ③ 監視信号環境のモデル化

3. 研究成果

令和 3 年度は ICAO の監視パネル等に提出されている 1030/1090MHz 信号環境関係の文献を調査するとともに、飛行実験による監視信号環境の測定を行った。また、既存の信号環境測定装置等の調整・改良や新たな手法の検討を行い、実験結果に基づく信号環境の現状を ICAO 監視パネルに報告した。

3.1. 監視システム動向調査

ICAO 監視パネル等に提出された信号環境、トランスポンダ関係の文献調査を行った。昨年度までと同様に実験結果に基づく日本の信号環境の現状を報告した。さらに性能要件に基づく監視システムのあり方について設置されたサブグループに参加し、性能要件ベースの監視システムに関する新たなマニュアル作成を行っている。図 1 に作成中のマニュアルに記載されている性能要件例を示す。ここで

示しているものはエンルートにおける 5 NM 管制での最低性能要件となっている。交通流が十分に少なく、また空域の複雑性も全くない場合であり、1 機の SSR のみで広範囲をカバーしている環境等が想定されている。この数値を基準とし、実際の運用環境により近い条件での性能要件を EUROCAE/RTCA 等の国際標準も参考にして検討を行った。

DATA	RSR specification SNM-SEP ER-TIER C						
	Coherence	Integrity		Time		Reliability	
	Update Interval	Probability of Update	Core Error	Tail error	Integrity	Age	Delay
2D Horizontal Position (HP)	DAT <sub>CS</sub> ≤ 12s	PoU ≥ 9%	HPE <sub>max</sub> < 825m	RNBE <sub>1st</sub> 2714m	HP <sub>INT</sub>	HP <sub>max</sub> = 36.3s	-
			or	HPE <sub>99%</sub> < 1430m	RNBE <sub>1st</sub> 3644m		
Pressure Altitude (PA)					PA <sub>INT</sub> < 0.1%	PA <sub>max</sub> = 30s	-
Mode A code Identity (ID)					ID <sub>INT</sub> < 0.1%	ID <sub>max</sub> = 48s	-
Flight Status (emergency, SPI = FS)						FS <sub>max</sub> = 24.2s	-
Time of applicability	With HP						
Service	In defined OCY		FGT <sub>max</sub> < 0.1%				SRV <sub>INT</sub> = 0.999 /hour
	HP <sub>INT</sub> < 0.3%		SRV <sub>INT</sub> < 10 <sup>-3</sup> per report				

図 1 エンルート 5NM 管制 Tier-C (low traffic and no complex airspace)における監視性能要件。マニュアル案より抜粋。

3.2. 測定実験による信号環境取得・評価

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

今年度も引き続き、航空路の信号環境を測定した。飛行実験においては、実験用航空機に搭載された信号環境記録装置を使って 1030/1090MHz の波形をすべて記録し、実験後にこれらの取得したデータを疑似トランスポンダによる 1030MHz 質問信号評価装置や ADS-B 受信機を使いデータ処理を行った。現在、信号環境の評価として 1030/1090 MHz 帯の受信データから質問/応答信号量と質問信号数の評価を行っている。これらの情報から航空機に搭載されたトランスポンダの挙動を推測することが可能となる。

また、飛行実験による信号環境測定では実験時にしかデータが得られないという問題を解決するために、昨年に引き続き既存の監視システムの出力データを使った信号環

境測定についても検討を行った。図2は仙台空港に設置している OCTPASS の出力を用いて空港内で受信した信号のメッセージタイプ毎の時間変化を示している。本研究の後継となる研究では、地上で受信された信号変化と飛行実験で記録した信号環境を組み合わせ、効率的に詳細な信号環境評価を行う予定である。

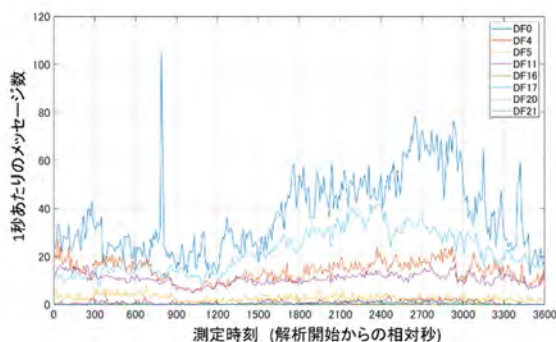


図2 地上で測定した Mode S メッセージの時間変化

### 3.3. 監視信号環境のモデル化

これまでの航空交通管理およびそれに必要となる監視システムは機器単体の性能を基に運用が定められてきたが、近年、欧州を中心に運航方式に必要な監視性能要件からシステム設計を行うことが主流になり、ICAO でもそのために必要なマニュアル等の作成を行っている。監視性能要件の基準を検討するためには、測位性能等のデータが必要であり、詳細な測位データを多くもっている研究所の積極的な寄与が求められている。図3に監視性能要件マニュアルを執筆する際に、監視性能の実測例となった WAM と ADS-B それぞれの水平誤差分布を示す。図3は電子研による飛行実験で得られたものであり、このような各種の監視システムで得られた複数のデータ組み合わせで、基準となる監視信号環境を含めた監視システムモデルを構築している。

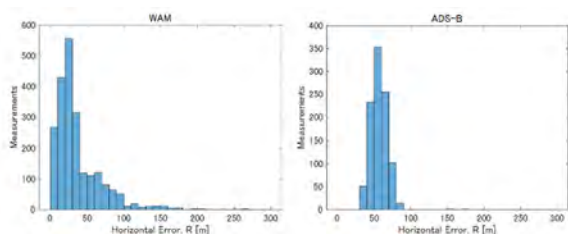


図3 飛行実験時に得られた WAM および ADS-B の水平誤差分布

## 4. まとめ

本年度は信号環境の評価装置を使用し飛行実験だけでなく地上で得られたデータも用いて監視信号環境の統計的な解析を行った。質問および応答信号環境はトランスポンダ占有率の推定に適用可能であると考えられている。本研究の後継研究では、様々な運用環境下におけるトランスポンダ占有率の推定とこれらの情報を用いた監視性能要件の導出へとつなげていく予定である。

## 掲載文献

- [1] T. Otsuyama, J. Honda, J. Naganawa, and H. Miyazaki, "Analysis of Signal Environment on 1030/1090MHz Aeronautical Surveillance System", 2018 Joint IEEE EMC & APEMC Symposium, Singapore, June, 2018.
- [2] T. Otsuyama, J. Naganawa, J. Honda, and H. Miyazaki, "Measuring Signal Environment in the Aircraft Surveillance Frequency by Flight Experiments", EMC Europe 2018, Amsterdam, August, 2018.
- [3] 大津山卓哉, 本田純一, 長縄潤一, 宮崎裕己, "航空路での 1030/1090MHz 信号環境に関する一検討", 電子情報通信学会 2018 年ソサイエティ大会, 2018 年 9 月
- [4] J. Honda, and T. Otsuyama, "Statistical Analysis of 1090MHz Signals Measured During a Flight Experiment", ISAP 2018, Busan, Oct., 2018
- [5] 本田純一, 大津山卓哉, "飛行実験による 1090MHz 帯の信号環境測定結果", 第 56 回飛行機シンポジウム, 2018 年 11 月
- [6] J. Honda, Y. Kakubari, and T. Otsuyama (2019), "Estimation of 1090MHz Signal Environment on Airport Surface by Using Multilateration System", ACES Journal, Vol. 34, No. 2, 2019.
- [7] T. Otsuyama and H. Miyazaki, "Status Update on 1030 MHz Signal Environment Evaluation Based on RF Measurements Guidance Material", ICAO SP-ASWG/TSG/9 Working Paper, June, 2019.
- [8] T. Otsuyama and H. Miyazaki, "1030 MHz Signal Environment Based on RF Measurements GM", ICAO SP-ASWG/10 Working Paper, September, 2019.
- [9] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, "Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan",

- ICAO SP-ASWG/TSG/10 Working Paper, February, 2020.
- [10] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, “Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan”, ICAO SP-ASWG/11 Working Paper, April, 2020.
- [11] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, “Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan”, ICAO SP-ASWG/TSG/11 Working Paper, June, 2020.
- [12] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, “Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan”, ICAO SP-ASWG/12 Working Paper, September, 2020.
- [13] 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉, “空港内のモード S 信号環境とマルチラテレーションの検出率について,” 信学論(B), Vol. J104-B, No. 1, pp. 10-22, Jan. 2021. DOI:10.14923/tanscomj.2020JBP303
- [14] T. Otsuyama, H. Miyazaki, and J. Honda, “Analysis of the 1030-1090 Signal Environment in Japan”, ICAO SP-ASWG/TSG/12 Working Paper, February, 2021.
- [15] T. Otsuyama and H. Miyazaki: “Analysis of the 1030/1090 MHz Signal Environment in Japan”, ICAO SP/ASWG/TSG/13, Jun 2021.
- [16] J. Honda, Y. Kakubari, and T. Otsuyama, “Estimation of 1090MHz Signal Types Used in Aircraft Surveillance System,” Proc. ISAP2021, Oct. 2021
- [17] T. Otsuyama and H. Miyazaki: “Analysis of the 1030/1090 MHz Signal Environment in Japan”, ICAO SP/ASWG/13, Nov 2021.
- [18] 大津山卓哉, “電子航法研における監視システムの信号環境測定”, 航空無線, 111号, 2022年3月
- [19] 大津山卓哉, 本田純一, “関東周辺の空域における監視信号環境に関する考察”, 電子情報通信学会 2022年総合大会, 2022年3月

## 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 ○ピクラマシハ 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）をまとめることにも焦点を当てる。

令和3年度の研究においては、以下を実施した。

- ・環境負荷推定における評価解析
- ・Fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズム
- ・Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリの初期設計

### 3. 研究成果

#### 3.1 環境負荷推定における評価解析

航空機の到着管理において、軌道予測誤差が低高度での非効率な運航につながり、環境負荷に大きく影響すると考えられる。その主な要因の一つとして、飛行時間の推定に気象予報誤差が直接影響を及ぼすため、本年度は国内線の運航を想定し、局地モデル（LFM）、メソモデル（MSM）と全球モデル（GSM）の三つの数値予報気象モデルの予報精度について定量的評価を行った。具体的には、日本の空域を広くカバーするように国内の三経路を対象に1年間分の飛行データを抽出し、各データ点に対して最高の更新頻度（1時間）と最小の格子間隔（ $0.05^\circ \times 0.04^\circ$ ）を持つ LFM モデルの実況値が真値と仮定し、1年間の実況値及び予報値を用いて各気象予報モデルの予報精度を推定した。図1(a), 1(b)と1(c)はそれぞれ東西風速、南北風速と外気温の予報誤差の分布を箱ひげ図で示している。NTは実況値、FTは予報値（LFM: 10時間、MSM: 39時間、GSM: 132時間）を示す。青枠は分布の約67%の範囲を示しており、赤点は外れ値を表す。得られた結果から、MSM 実況値（3時間毎に更新）が最もよい精度を示しており、LFM 予報値が GSM 実況値と同程度の予報精度を有することが確認でき、予報時間長くなるにつれ、予報精度が低下する傾向があった。従来の運用方式では、GSM 予報データを基に出発の数時間前に飛行計画が作成されるが、出発前に LFM 予報値を用いて飛行計画を更新することで、飛行時間の予測誤差を改善できることがわかった。

#### 3.2 Fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズム

Fixed-FPA 降下を活用して到着航空機間の間隔維持を行うアルゴリズムを開発した。提案アルゴリズムは、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、できるだけ各便を最適な降下に近づけつつ、各航空機の間隔を適切に維持する。ケーススタディでは、二つの到着

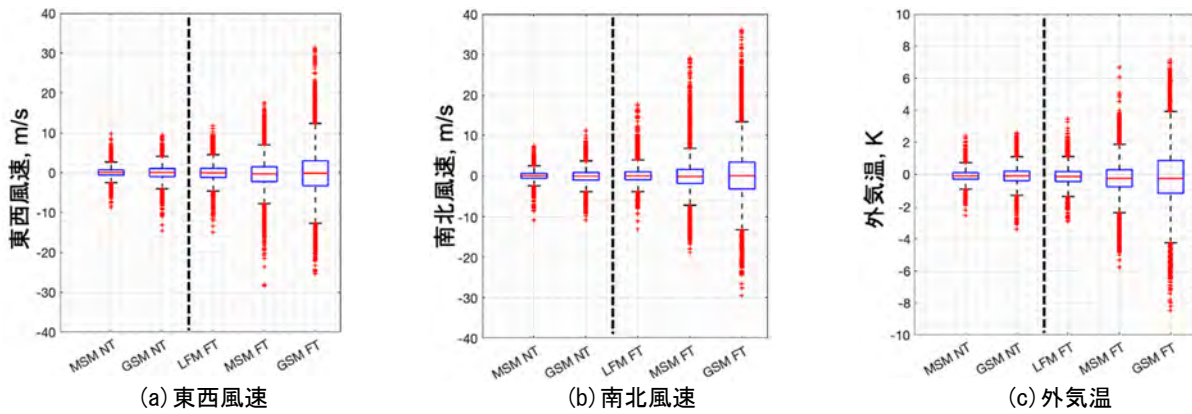


図1 数値予報気象モデルの予報精度の評価

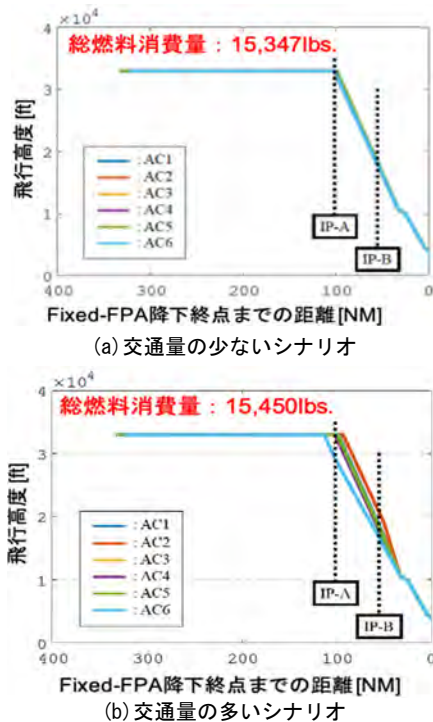


図2 到着管理アルゴリズムのシミュレーション評価

経路から関西国際空港に向かう6機の航空機に対して本アルゴリズムを適用し、交通密度の異なる環境における運航性能を評価した。図2(a)は交通量の少ないシナリオ、図2(b)は交通量の多いシナリオを模擬した場合に得られた高度プロファイルの結果を示している。両図は、Fixed-FPA 降下終点までの距離に対して図示しており、IP は間隔維持のため管制が指示する高度指定の地点を表す。ここでは2つのウェイポイント (IP-A・IP-B) において高度制約を付加している。得られた結果から、交通量の少ない環境では6機全ての航空機が同じ高度プロファイル(運航者希望のFixed-FPA 降下)で降下しており、交通量の多い環境では管制からの速度指示に応じて、燃料消費量のトレードオフを考慮しながら、レベルオフを行わない継続的な降下が可能であることが確認された。

### 3.3 Fixed-FPA 降下専用の EFB アプリの初期設計

Fixed-FPA 降下を実施するにあたり、機上でパイロットへの情報提供を行う手段として電子フライトバッグ (Electronic Flight Bag, EFB) アプリの開発を目指しており、本年度はアプリのフレームワークを構築し、必要とする機能について検討を行った。そこで、EFB アプリ開発の専門家である Boeing Global Services 社 (元 Jeppesen 社) と現役パイロットへヒアリングを行い、Fixed-FPA 降下経路における地図の表示や降下経路の位置データ・Fixed-FPA 降下実施に係る性能データの算出について得られたフィードバックを初期設計に反映することができた。

### 4. 終わりに

本年度は fixed-FPA 降下の運航性能に影響を及ぼす気象予報誤差の評価に焦点を当てると共に、fixed-FPA 降下を活用した到着管理アルゴリズムの開発・評価を実施した。さらに、Fixed-FPA 降下の運用においてパイロットへ支援情報を提供できる EFB アプリの初期設計に着手した。次年度は、EFB アプリを活用した Fixed-FPA 降下運航の妥当性について検証する。また、Fixed-FPA 降下プロシージャの機能拡張として提案した様々なアルゴリズムの妥当性評価を実施する予定である。

### 掲載文献

- [1] N.K. Wickramasinghe, Y. Nakamura, and A. Senoguchi: "Evaluating the Influence of Weather Prediction Accuracy on Aircraft Performance Estimation," APISAT2021, November 2021.
- [2] S. Wada, M. Inoue, and D. Toratani: "Semi-CDO: An Arrival Separation Management Algorithm for Continuous Descent Operation," SICE Annual Conference, September 2021.



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5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

本研究では主に、以下の項目に関する研究を行う。

- (i) sUAS・有人機情報共有基盤アーキテクチャ検討  
UTM 等で検討されている sUAS と有人航空機間のコンフリクト回避等を実現するためには、前提として sUAS と有人航空機間で情報共有がなされている必要がある。本項目では sUAS・有人航空機の飛行前・飛行中の情報について利用可能な要素技術を開発し、sUAS と有人航空機の情報共有基盤として有力な全体アーキテクチャを検討する。
- (ii) 空中・地上リスク評価手法の開発  
sUAS のリスク評価手法として Specific Operations Risk Assessment (SORA) が提案されているが、SORA は定性的な手法であり、空中・地上リスクの具体的な評価方法は示されていない。本項目では SORA による評価を補完するために、定量的な空中・地上リスクの評価方法を開発する。

## 3. 本年度の成果

本年度は主に以下の項目について研究を実施した。

- VFR 飛行計画を用いた実航跡の推定
  - (i) の飛行前情報共有の要素技術の一環として、VFR 飛行計画の利活用技術の開発を行った。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 パターンの推定手法を提案した (図 1)。

- R-ID 信号の評価

(i) の飛行中情報共有の要素技術の一環として、R-ID で用いられる Bluetooth5 を前提とした、ドローンの飛行環境における信号の干渉評価の方法を検討した。また、2022 年 6 月に R-ID 義務化されることを鑑み、国内外の開発状況を調査した。

- 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準備として、レーダーデータ等、複数のデータソースを用いて日本の航空交通密度分布を作成した。計器飛行方式による飛行については十分な情報を得ることができたが、sUAS が遭遇する可能性が高い有視界飛行方式による飛行に関する情報の収集が課題であることが分かった。

## 4. 今後の展望

(i) については、利用可能な情報共有の手段を精査するとともに、それらの手段を含んだ全体アーキテクチャを検討していく。

(ii) については、有視界飛行方式による飛行の情報を収集すると共に、作成した密度分布を用いた、具体的な空中リスクの推定方法を開発していく。

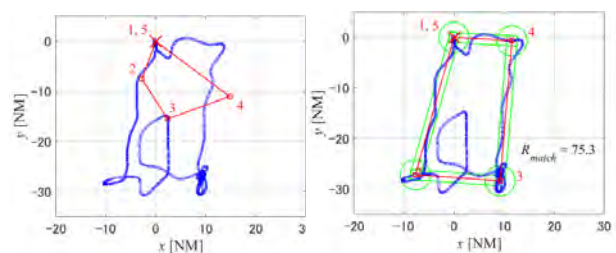


図 1 飛行経路推定の例 (青：実航跡, 赤：推定経路, 緑：推定経路の一致判定範囲, 左図：実装が容易な手法, 右図：推定精度が高い手法)

## 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.

ドローンを含む低高度空域の在り方を検討するための方法論構築に関する研究【在外派遣研究】

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2年度～令和3年度

1. はじめに

東京大学とマサチューセッツ工科大学 (MIT) は、大規模化、複雑化する現代の企業や社会システムが抱える問題を解決できる人材の育成を目的とし、若手社会人と大学院生を対象に産学連携人材育成プログラムを実施している。本プログラムは、システムズアプローチの手法群を組み合わせた専門家のチームで作業を行うことで、意思決定を伴う課題解決の方法論の習得を目的としている。方法論習得のためのケーススタディの課題を参加者が提案するという点が本プログラムの特徴であり、対象である若手社会人や大学院生が普段従事している業務・研究対象に対してシステムズアプローチの応用を学ぶことができる実践的なプログラムである。

ドローンを含む低高度空域の在り方はまだ議論が始まったばかりであり、また今後、ドローンの飛行数が爆発的に増加することが予想されている。そのような不確実な将来環境の議論に対して、本プログラムで学ぶシステムズアプローチが適していると考え、参加を希望した。

2. 研究の概要

本プログラムは、大きく分けて以下の3つの項目で構成されていた。

- (i) 講義・演習：講義・演習を通してシステムズアプローチを学ぶ。演習では小規模な模擬プロジェクトを企画し、講義で学んだことに基づいて検討を進める。
- (ii) プロジェクトピッチ・学生プロジェクト支援：MITの社会人学生に向けて、課題の提案（プロジェクトピッチ）を行う。課題が採択されると、学生チームのメンターとしてプロジェクトの支援を行う。
- (iii) プロジェクト研究：特定の課題に対し、講義・演習で学んだことをベースに研究を行う。

このうち、特に (ii) (iii) は MIT に3カ月間滞在して実施する予定となっていたが、COVID-19の影響で日本で実施した講義等も含め、全てオンラインでの実施となった。

(i) の演習ではドローンの交通管理システムである UTM (Unmanned aircraft systems Traffic Management) を対象とし、関係するステークホルダーとその関係を明確にするために図1の Stakeholder Value Network (SVN) を構築し、

UTM に対するニーズの明確化を実施した。

(ii) では6件の提案を行い、そのうちの1件である Digital Ocean プロジェクトが採択された。MITの社会人学生チームのメンターとして2週間に1回程度の会議を実施し、システムズアプローチに基づいたコンセプト提案プロジェクトの支援をした。

(iii) の本年度の課題は、国際海運におけるCO2排出削減であった。システムズアプローチに基づいて課題の抽出を行い、課題の解決策としてインタラクティブシミュレーションによる最適な協調的意思決定検討を提案した。インタラクティブシミュレーションを用いた検討により、規制当局が適切な介入を実施すれば、海運会社の利益を大きく損ねること無く国際海事機関が掲げるCO2排出削減目標を達成し得ることが示された。

3. 今後の展望

本研究を通じてシステムズアプローチに関する理解を深めたので、担当者が別途実施している萌芽的研究「無人機・有人機の協調的な運用環境構築に関する研究」へとシステムズアプローチを応用していく。また既に、指定研究「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」にて、システムズアプローチを応用した研究を実施している。

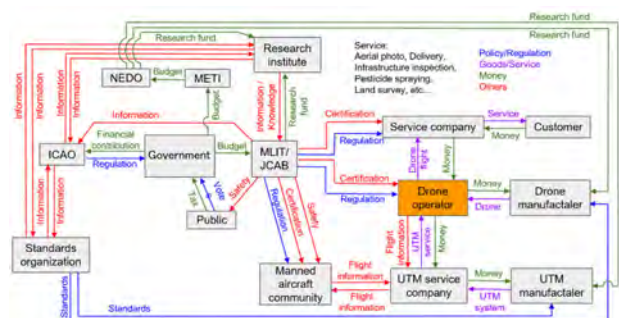


図1 UTMに関するSVN

掲載文献

[1] 虎谷大地, 馬沖, 吉田隼基, 大西弘益, 河邊拓樹, 稗方和夫, “国際海運における二酸化炭素削減方策検討のためのインタラクティブシミュレーション,” 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2021.

## 大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析【競争的資金研究】

担当領域 航空交通管理領域  
担当者 ○山田 泉, 福島 幸子, 青山 久枝  
研究期間 令和元年度～令和3年度

### 1. はじめに

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

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

### 2. 研究の概要

本研究は、海上技術安全研究所が代表機関となり、海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所、当所が連携して行うプロジェクトである。当所は分担機関として、大規模災害時における防災ヘリコプター等に関する空港運用のシミュレーション評価を担当する。

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

本研究は3年計画であり、令和3年度は下記を実施した。

- ① 空港面運用シミュレータの機能追加
- ② 大規模災害時における空港面運用シミュレーションの実施

### 3. 研究成果

#### 3.1 空港面運用シミュレータの機能追加

固定翼機の運航を模擬し、空港における混雑緩和のための交通管理手法の研究に開発した空港面運用シミュ

レータについて、回転翼機の運航も模擬可能とし、航空機型式に応じた航空機サイズの細分化を実施し、シミュレーションの精緻化を図るとともに、画面上の表示も同様に適用した。また、誘導路や滑走路の交差点での動作やリプレイ時の操作性を改善した。

#### 3.2 空港面運用シミュレーションの実施

昨年度は自治体の南海トラフ地震の災害に対応する早期復旧計画等に想定される回転翼機の臨時駐機場を設定し、大規模災害時における空港面運用シミュレータのフレームワークを検討し、高知空港、静岡空港におけるシミュレーションを実施した。その結果から回転翼機の駐機場所についてさらなる検討の必要性が明らかになった。本年度は駐機場所について再検討を行った。

##### 3.2.1 高知空港

昨年度のシミュレーションでは空港面の一部が浸水することを想定して行った。滑走路14の運用時に滑走路・誘導路上での混雑があり、駐機場の不足が指摘された。そこで、本年度は図1のようにグラスエリアに臨時駐機場を増設しシミュレーションを実施した(浸水箇所は昨年度と同様)。

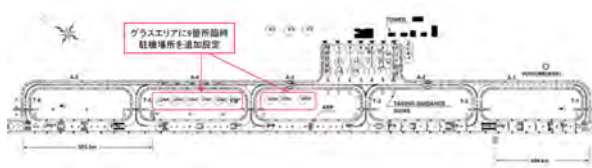


図1 高知空港臨時駐機場の追加

その結果、回転翼機、固定翼機とも増便が可能で繁忙時間帯の遅延も増加せず、滑走路・誘導路上での混雑は減少することが示された。また夜間駐機数も増やせることがわかったが給油や走行車両の動線の確保など検討すべき新たな課題も見出された。

##### 3.2.2 静岡空港

昨年度は滑走路西側の多目的用地に回転翼用駐機場を設定したが、滑走路12の運用時は多目的用地が進入表面真下に位置するため、固定翼機の進入時には使用の制限

がかかり、回転翼機の運用に混雑を生じていた。

航空法では進入表面を突出する建造物等の設置は禁止されているが、空港設置管理者の承認を受けて設置できる場合がある。また、滑走路の処理容量としてはまだ対応可能な機数であり、駐機場所の確保ができればさらなる航空機の受け入れも可能と考えられる。臨時駐機場所として今回のシミュレーションでは設定しなかったグラブエリアの設定も選択肢として有効である。

#### 4. まとめ

空港面シミュレータを活用して自衛隊機等の固定翼機と防災ヘリなどの回転翼機が混在した運用でのシミュレーションを実施し、動線確認やボトルネックの抽出ができた。この結果は空港における疾病者輸送の可能量として、全体的な疾病者輸送のシミュレーションに活用された。

今後も定期便のみならず災害時の対応も含めて空港面シミュレータを活用していきたい。

#### 謝辞

本研究は国土交通省の交通運輸技術開発推進制度（採択番号 19192255）の助成を受けたものです。

#### 掲載文献

- [1] 荒谷太郎, 山田泉, 青山久枝, 間島隆博, “大規模災害時における空港面交通シミュレータの活用に向けた検討,” 土木計画学研究・講演集 Vol.60, 2019.
- [2] 荒谷太郎, 間島隆博, 小濱英司, 山田泉, 大矢陽介, 青山久枝, 松倉洋史, “マルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータの開発,” 土木計画学研究・講演集, Vol.62, 2020年11月.
- [3] 荒谷太郎, 間島隆博, 松倉洋史, 山田泉, 青山久枝, 小濱英司, 青山万丈, 大矢陽介, “大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析,” 令和2年度交通運輸技術開発推進制度研究成果報告書, 2021年3月.
- [4] 青山久枝, 荒谷太郎, 間島隆博, 山田泉, 今込毅, “大規模災害時における空港面運用に関するシミュレータを用いた検討,” 土木計画学研究・講演集 Vol.64, 2021.

## 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。

### 2. 研究の概要と成果

#### 2.1 離陸機の燃料消費削減

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

本年度は、昨年度に引き続きTOBT(航空会社提供のスポットアウト可能予想時刻)の精度向上手法の検討を行った。具体的には、既に発出されたTOBTの履歴を入力とし、AOBT(実際のスポットアウト時刻)の尤度を最大化する分布パラメータを出力とするようなニューラルネットワークを構築した。その結果の例を図1に示す。この例では、航空会社が事前にTOBTを通報し、その後1度更新をかけている例を示している。時間が経つとともに、徐々に分布が変わっていつていることがわかる。これは、TOBTの時刻に近づくにつれて、その信頼度が上がっていくことを示している。一方、更新がかかった場合には、それに合わせて分布も大きく変わっている。ここで、TOBTの更新回数なども入力として加えられており、こういった情報を利用することで、TOBTの推定精度を正しく知ることができ、それがTSAT設定精度の向上に貢献することが期待される。今後は、提案するTOBT分布推定手法を用

いて、TSATパフォーマンスの評価を行う予定である。

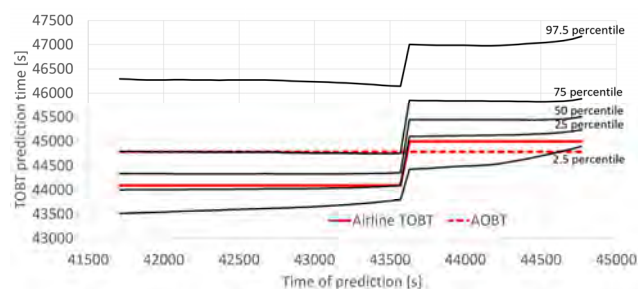


図1 TOBTの通報履歴と推定された分布の時間履歴

#### 2.2 上昇経路の最適化

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

本年度は、過去に提案したパイロットの介入により効率的な上昇を実現する手法の評価を行うための準備を行った。どのような条件で実験を行うか、パイロットにどのような操作をしていただくか、といった内容の検討である。次年度の早々にシミュレータ実験を予定しており、今後はその結果をもとした手法の評価を予定している。

本研究は、科学研究費補助金若手研究(19K15119)により実施された。

#### 掲載文献

- [1] R. Mori, (2021) "Off-block Time Prediction Using Operators' Prediction History," 2021 IEEE/AIAA 40th 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。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、航空管制の負荷を精度良く推定し、負荷を軽減するべく意思決定を支援するアルゴリズムを構築することを目的とする。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。また、意思決定支援におけるアルゴリズム開発は最適化手法の1つである遺伝的アルゴリズムを用い、意思決定の候補となる複数の解獲得に向けたアルゴリズムの拡張を行う。

2. 本年度の成果

本年度においては時系列データ生成のためのデータ形式の検討と学習方法の改良及び、多目的最適化へ拡張に取り組んだ。

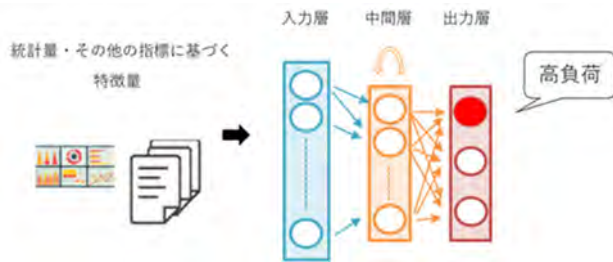


図1 LSTMにおける負荷推定

負荷推定における特徴量の学習は、ニューラルネットワークにより行っていた。この場合、交通流の前後の時間の関係性は考慮せず、区切った時間毎に評価を行う。従来の管制負荷指標として利用する MMBB (Modified-MBB (Messerschmidt, Bölkow und Blohm)) 法は 30 分毎の移動平均による評価のため、評価される 10 分間の負荷量が低い値であってもその後の時間帯の負荷量が高ければ高負荷となる可能性があり、推定精度が低下する恐れがある。この問題を解決するため、時系列性の関係を考慮する LSTM 手法を導入した。図1は LSTM における入力及び

出力を表す。従来手法としてニューラルネットワークを用いるが、LSTM はニューラルネットワークと異なり、中間層に中間層の出力を入力するため、時系列性の特徴を考慮することが出来る。本研究の評価のため現在管制負荷指標として利用される MMBB 法を閾値の範囲毎に負荷レベルを高、中及び低の3段階に分割し、この正答率を評価した。従来手法の正答率は 70%程度であったのに対し、提案手法は 80%とおおよそ 10%の精度向上が見られた。

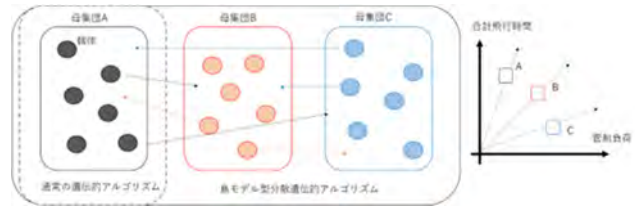


図2 分散型アルゴリズムでの複数の解獲得

次に、従来手法として用いる分割反復最適化手法のフレームワークは分割した問題の解を最適化し、最終的に問題を結合して一つの解を取得する性質上、複数解を得ることが出来ない。そこで、多目的へ拡張するため、遺伝的アルゴリズムの手法の1つである島モデル型分散遺伝的アルゴリズムを導入した。図2は遺伝的アルゴリズムと分散遺伝的アルゴリズムの違いを表している。通常、遺伝的アルゴリズムは一つの母集団と複数の個体により構成され、個体が一つの解を表す。島モデル型の場合、複数の母集団により構成される。分割反復最適化法を用いた場合に一つの母集団に対して一つの解しか得られないが、複数の母集団による島モデルは複数の解を得られることが可能である。

3. 今後の展望

次年度は更なる学習精度向上のため、管制指示コマンドデータのノイズ除去と空域、季節毎の特性を把握する。最適化アルゴリズムに関しては評価値の重みベクトルによる母集団の方向付けを行う。

謝辞

本研究は JSPS 科学研究費助成事業研究活動スタート支援 20K22438 の助成を受けたものです。

掲載文献

- [1] 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

本年度は学習環境の構築のために、航空機の到着交通流のシミュレーション環境構築を実施した。その過程で、従来よく使われてきた航空機モデルの一部である速度モデル（校正対気速度、Calibrated airspeed: CAS のモデル）が実際の航空機の速度と乖離しているという問題がでてきたので、環境構築の一環として速度モデルの高精度化に取り組んだ。具体的には、東京国際空港へ到着する便の速度データをレーダーから収集し、収集したデータにガウス過程回帰（Gaussian Process Regression: GPR）と呼ばれる機械学習の一種を応用することで、実データを基にした速度モデルを作成した。到着する航空機の速度は非線形で、かつどのようなモデルをしているかが明確ではないため、従来の回帰手法を用いてモデルを作成することは困難であった。しかし、GPR は非線形な対象でも適用できて、かつノンパラメトリックと呼ばれる柔軟なモデルであるため、従来の手法では回帰が困難であった対象にも広く用いることが可能である。図 1 に結果の例を示す。GPR で得られた速度モデル（GPR-CAS）は従来のモデル（BADA-CAS）と比較して、テストデータによくフィットしていることが分かる。加えて、テストデータの大半が GPR で得られる 95%信頼区間の範囲に収まっていることも示され

ている。また GPR で作成した速度モデルを従来モデルと置き換えることで、到着便の軌道予測シミュレーションの精度が向上することが示された。

本成果は、この後に実施する到着間隔維持支援アルゴリズムにも用いられる予定である。到着間隔維持支援アルゴリズムの内部では到着便の軌道予測を行い、その予測結果に基づいて管制官への支援情報を計算するので、軌道予測精度の向上は支援アルゴリズムの性能に大きな影響を与えると予想される。また本成果は機械学習の一種である GPR を用いており、本研究の目的である航空管制への機械学習の応用に貢献する成果であると考えられる。

### 3. 今後の展望

次年度は学習アルゴリズムを開発し、本年度に構築したシミュレーション環境を用いてモデルの学習を行う予定である。本年度に得られた成果を用いることで、次年度に開発する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。

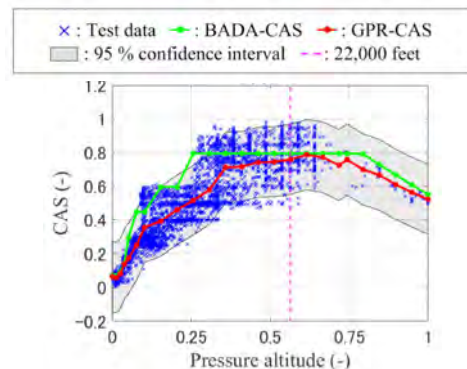


図 1 GPR による速度モデル回帰の結果例  
 (単位は無次元量)

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] 虎谷大地, “ガウス過程回帰を用いた旅客機の軌道予測精度の向上—ターミナル空域における降下機の校正対気速度のモデル化—,” 電子通信情報学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2022.



担当領域 航空交通管理領域  
 担当者 ○山田 泉, 福島 幸子, 青山 久枝  
 研究期間 令和3年度

### 1. はじめに

わが国は災害大国である。特に東日本大震災のように被災範囲が広域に及んだ場合、傷病者・孤立者等の救援需要に対して供給が追いつかない状況が発生する。そのため、陸・海・空が連携をして救助・救援活動に当たる必要があり、疾病者の搬送について検討を行った。

一方、疾病者のみならず、緊急支援物資の輸送も重要課題である。昨今は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対策として、避難所では密集・密接を避けるためのスペースの確保、換気や衛生対策の徹底などが、各自治体によってなされており、避難所の開設数は増加する傾向にある。したがって、これまでの支援物資輸送とは違い、低需要の支援物資を多くの避難所に届けることを要請される。

本研究は被災地周辺の空港において、定期便や自衛隊機等の固定翼機と、多数の救難・救助、消防等の回転翼機が混在する空港運用を想定し、輸送可能な物資の量を推定するものである。

### 2. 研究の概要

本研究は、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所、株式会社プロドローン、YSEC 株式会社、一般財団法人危機管理教育&演習センターの4社からなる共同企業体を組み実施した。その中で、大規模災害時における防災ヘリコプター等に関する空港運用のシミュレーション評価を担当した。

本研究は1年計画であり、令和3年度は下記を実施した。

- ① 空港面運用シミュレータの改修
- ② 大規模災害時における空港面運用シミュレーションの実施

### 3. 研究成果

#### 3.1 空港面運用シミュレータの機能追加

シミュレーション実行時の地点ごとの通過ログ収集機能を追加するとともに、データ処理の高速化を測った。また、集計結果を読み込んで、空港面マップへに描画機能を追加し、視認性を高めた。

#### 3.2 空港面運用シミュレーションの実施

過去に大規模な災害を受けた宮城県における広域防災拠点の計画地である仙台市宮城野原地区と人員・物資等の円滑な輸送が可能な定期便の就航する仙台空港を対象とし、津波の影響は受けず、現行の施設が使用可能と仮定し、以下の条件を設定した。

- 滑走路：2本
- ヘリパッド：3箇所
- 駐機場所：ターミナルビル前の定期便が駐機可能な14箇所と、小型固定翼機や回転翼機が駐機可能な38箇所

設定状況を図1に示す。

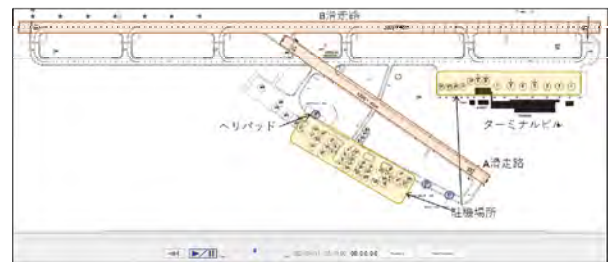


図1 仙台空港シミュレーション設定

通常運用時間は7:30～22:00であるが、非定常時として24時間運用を想定し、定期便ダイヤに東日本大震災時（2011/03/12）の花巻空港の防災ヘリなどの運航状況を追加したダイヤを作成しシミュレーションを実施した。

1日分の到着機数は149機であった。そのうち中型・小型回転翼機および小型固定翼機は物資輸送の目的では使用せず、旅客機、自衛隊機等（大型回転翼機を含む）39機が物資輸送可能と仮定し、貨物施積載量を推定した。その結果1日の輸送能力は126トンと推定できた。

### 4. まとめ

低需要の支援物資を多くの避難所に届けることは重要であるが、多くの支援物資を被災地近くに輸送することも重要である。駐機場所や荷捌きの場所、給油などを工夫するとさらに輸送量を増やすことが可能であり、必要に応じ今後も検討していきたい。

## 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3年度においては、当所の長期ビジョンを基に行政当局などの要望を考慮しながら下記の研究を計画・実施した。

1. PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究
2. 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
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. GNSS 代替 (APNT) のための地上系航法システムのインテグリティ保証
6. 我が国における高カテゴリーGBAS (GAST-D) 導入のための技術開発
7. 多地点からの地上大気光観測を用いたプラズマバブル成長過程の解明
8. 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
9. 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
10. 緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業/SBAS (航空用 GPS 測位補強サービス) 開発
11. 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
12. 令和3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」
13. 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
14. 令和3年度における CNS 性能管理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
15. SLAS 性能改善解析調査
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. 航空分野における衛星測位システム利用に関する技術調査支援
18. 「GBAS (地上直接送信型衛星航法補助施設) 展開整備に関する詳細調査」の技術支援
19. 航空機性能に応じた新たな運航方式の展開に関する

基礎調査の技術支援

20. タイ国スワンナプーム空港地域における「電離圏調査及び電離圏脅威モデルの妥当性確認」の技術支援

1 及び 2 は重点研究, 3 から 6 は指定研究, 7 から 10 は競争的資金による研究, 11 から 20 は受託による研究又は技術支援である。

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

2 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。

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

6 は, GBAS (GAST-D) 特有の技術要件を取り入れた効率的な総合性能評価手法を開発し, 我が国における諸環境を考慮し GAST-D の総合性能評価を実現することを目標とする研究である。

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

8 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, プラズマ発生予測を目指す研究である。

9 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・設置して観測する研究である。

10 は, 災害時の車両や物資の動態管理に資するため,

インターネットや携帯電話等の通信ネットワークを通じて SBAS 信号を提供する仕組み(ネットワーク型 SBAS)の技術的要件を調査し、実証用プロトタイプを構築して技術実証する研究である。

11 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。

12 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。

13 から 15 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。16 から 20 は、干渉電波の影響・機上データ取得・衛星測位の利用・GBAS 展開整備・新たな運航方式の展開・タイ国電離圏に係る調査の技術支援である。

## II 試験研究の実施状況

4 ヶ年計画の最終年度にあたる「PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究」では、昨年度までにフルフライトシミュレータ検証を実施した国内モデル空港 (2 空港) において、開発した可搬型 GBAS プロトタイプシステムを用いて飛行実証を実施した。併せて、ICAO 衝突危険度モデル (CRM) の改良を提案し、飛行データを用いてその妥当性を検証した。

5 ヶ年計画の 2 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、ICAO 航法システムパネル会議 (NSP) への参加を通して、欧米と議論を進め共同で電離圏モニタ方式を提案した。また、新石垣島空港にて 3 月に飛行実験を実施し、赤道プラズマバブルが発生しやすい夜間のデータを収集した。併せて、セキュリティ対策技術を検討し、デジタル認証方式のプロトタイプを試作して性能指標を試算した。

4 ヶ年計画の 3 年度にあたる「地上型衛星航法補強システムの設置環境条件に関する研究」では、GBAS 基準局等の設置環境条件の緩和を提案するため、新千歳空港の GBAS 基準局データから着陸機通過に伴う GPS 信号瞬間の発生回数を分析し、計算機シミュレーションによって必要な離隔距離を求めた。

4 ヶ年計画の 3 年度にあたる「気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究」では、時間ベースの管制間隔運用の技術要件を明確にするため、後方

乱気流の減衰特性、滑走路占有時間などの調査を開始した。また、時間ベース管制間隔運用の便益を評価する解析手法の基礎検討を行い、到着交通流のシミュレータを開発した。

3 ヶ年計画の最終年度にあたる「GNSS 代替 (APNT) のための地上系航法システムのインテグリティ保証」では、実験用航空機に DME パルスアナライザを搭載し、成田空港ターミナル空域を飛行して、多くの DME 局を受信しマルチパス誤差を評価した。併せて、飛行検査機による取得データを分析して旋回時の DME 誤差を解析し、EUROCAE に報告した。

2 ヶ年計画の最終年度にあたる「我が国における高カテゴリー GBAS (GAST-D) 導入のための技術開発」では、GAST-D 総合性能評価シミュレータを実装し、高速計算機を用いた大量計算の準備を整えた。令和 4 年度から開始する指定研究において活用し、空港環境における設置技術、性能評価技術の開発を行う。本研究では、ICAO の国際標準化にも大きく貢献し、GNSS マニュアルの執筆を担当して研究成果を国際標準に反映した。

5 ヶ年計画の最終年度にあたる「多地点からの地上大気光観測を用いたプラズマバブル成長過程の解明」では、赤道プラズマバブルの発生・成長過程を解明し航法に役立てるため、プラズマバブルの成長・伝播過程観測網(石垣、大宜味、タイ・Chumphon、台湾・台南、フィリピン・Iroio 島)を用いた観測を実施した。太陽活動は次第に高まりつつあり、2021 年 10 月 31 日及び 11 月 1 日には石垣島において大規模なプラズマバブルが観測された。

5 ヶ年計画の 2 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、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) 対応受信機によりシンチレーション観測を行った。併せて、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し、2022 年 1 月 15 日には強い電離圏不規則構造を観測した。

4 ヶ年計画の 2 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、開発した VHF シンチレーション受信機を使い調布本所で観測を開始した。当初観測したビーコン衛星に続き NOAA 衛星も観測して初期観測データと電離圏全電子数の変動指数である ROTI の比較を行った。

単年度計画の「緊急支援物資輸送のデジタル化等推進事業/ SBAS (航空用 GPS 測位補強サービス) 開発」では、

ネットワーク型 SBAS サービスを実現するプロトタイプを構築し、空港内の車両管理への活用を想定して、2022年2月に仙台空港で実証実験を実施した。

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年度にベトナムに構築した電離圏データ収集環境の初期データ解析を実施し、30日の電離圏擾乱を検出し、最大電離圏勾配(184mm/km)を観測した。併せて、インドネシア航空宇宙庁にデータ収集環境の設置候補地を選定し、初期の観測を開始した

令和3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」では、準天頂衛星システムの補強サービスであるサブメータ級測位補強サービス(SLAS)及びセンチメータ級測位補強サービス(CLAS)の性能を評価し、大量データの処理により年間を通して十分な測位精度があることを示した。

### Ⅲ 試験研究の成果と国土交通行政、産業界、学会に及ぼす効果の所見

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

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

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

(航法システム領域長 福島 荘之介)

## PBN と GBAS を活用した高度な計器進入方式に関する研究【重点研究】

担当領域 航法システム領域

担当者 ○齊藤真二, 福島荘之介, 森亮太 (航空交通管理領域)

研究期間 平成 30 年度～令和 3 年度

### 1. はじめに

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

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

### 2. 研究の概要

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

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

### 3. 研究結果

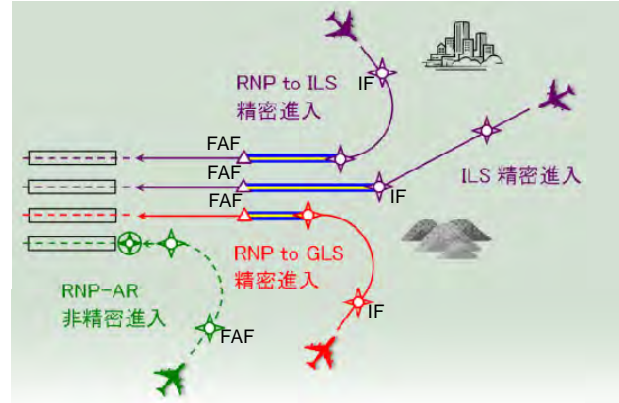


図 1 RNP to xLS 進入方式と既存の ILS/GLS 精密進入、RNP AR の比較

#### 3.1 モデル空港の方式設計とフライトシミュレータ検証

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

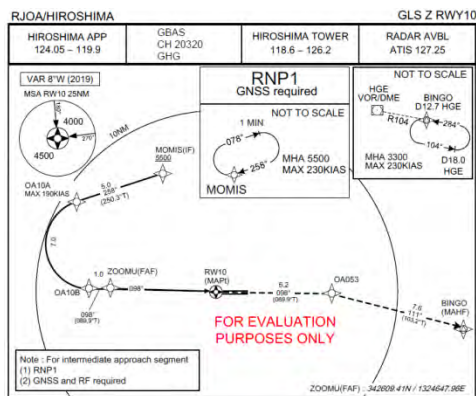


図2 研究用 RNP to xLS 進入方式の例（経路短縮効果・環境負荷軽減）

まず、精密進入方式を有する国内 30 空港を対象に RNP AR など既設進入方式、低視程状態の頻度（空港気象）を調査し、RNP to xLS 方式の導入によって経路短縮や最低気象条件の改善などの導入効果が期待できると考えられるモデル空港（3 空港）を選定した。また 4 方式について、専用の CAD ソフトウェアを用いて、周囲の障害物との障害物間隔を評価し、現在の ICAO 設計基準案に基づいた方式設計を試行した。この結果について飛行方式設計者や国内エアラインなど関係者と意見交換し、方式の課題や改善について議論した。

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

この結果、モデル空港に設計した経路は、十分なフライアビリティを有し、オートパイロットや GPWS（対地接近警報装置）などが正常に動作し、併せて操縦士のワークロードが過大とならず、横風や低視程下など不利な条件下でも安定に飛行可能であることが分かった。

更に、燃料消費量を計測したところ、現行の ILS 経路と比較して 20%以上の燃料削減効果があることが分かった。これは B787 で計算すると年間ドラム缶 3,000 本（百万ポンド）以上の燃料削減、年間 3,000 トン以上の CO<sub>2</sub>



図3 フルフライトシミュレータによる検証実験

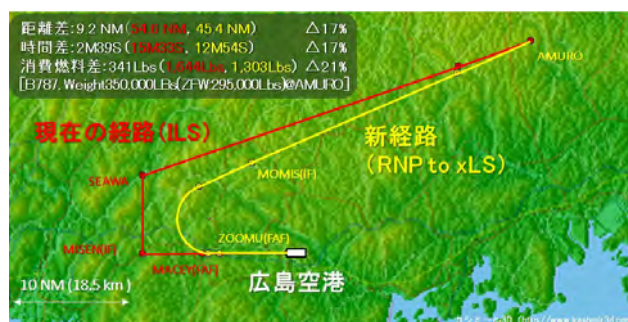


図4 研究用 RNP to xLS 進入方式の経路短縮・環境負荷軽減効果

削減に相当し、カーボンニュートラル実現への貢献が期待される。

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

### 3.2 可搬型プロトタイプ構築と飛行実証

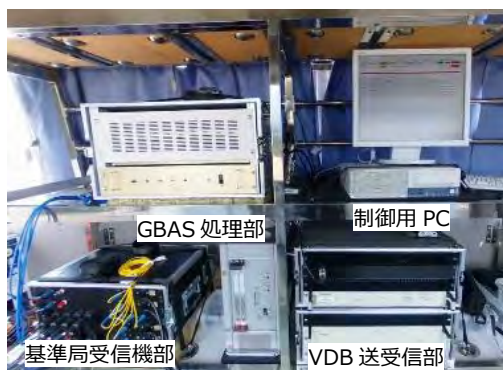
選定したモデル空港において RNP to xLS 飛行方式の飛行実証実験を行い技術的な実現性や課題を検証する計画である。この実現のため、技術成熟度レベル（TRL: Technology Readiness Levels）が高く、実用型 GBAS 装置と等価な機能を有する（冗長系を除く）可搬型プロトタイプを構築する。プロトタイプは、遠隔地の複数の国内空港において短い準備期間で飛行実験を実現するため、実験



飛行実証の様子（広島空港）



計測車両と VDB 送信アンテナ



計測車両に搭載した様子

図5 可搬型プロトタイプ装置

用車両内に機材を搭載した可搬型とする。実験用車両を空港内等に移動し、GNSS アンテナなどを展開すれば、VHF アップリンク（VDB）により GBAS による最終進入経路（FAS: Final Approach Segment）が実現可能となる。

まず、可搬型プロトタイプ装置のシステム設計を行い、ハードウェアの構成を決定し、その構成におけるソフトウェア要求書、アルゴリズム記述書の作成を行った。このプロトタイプ装置では、基準受信機部から基準空中線部間に ROF（Radio over Fiber）技術を採用し、光ファイバケーブルにより GPS の RF 信号を伝送する方式とした。これにより、従来基準アンテナマストに設置していた基準受信機部を環境性能の高い実験用車両内に設置できる。更に、同軸ケーブルより軽量の光ファイバケーブルを利用す

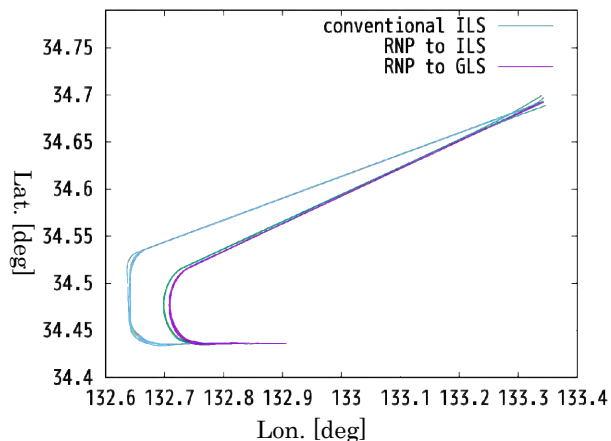


図6 従来の ILS 方式と RNP to xLS 方式の飛行航跡

るため、仮設の際に展開が容易となり効率的な飛行実験が実施可能となる。システム設計に基づきソフトウェア部の詳細設計を行い、ソフトウェアの要素毎の動作確認を実施した。また、ハードウェア部についても、詳細設計に基づき構築し、ソフトウェア部とハードウェア部のシステムインテグレーションを行い、実験室環境での動作検証を実施した。

構築した可搬型プロトタイプ装置を用いて、2箇所のモデル空港において飛行実証を実施した。令和3年4月及び12月に広島空港、11月に高松空港で行い、実験用航空機のパイロットに加え、実験用航空機に搭乗したエアライン関係者及び方式設計者から、進入方式について意見を聴取した。『RNP to xLS 方式は経路短縮、燃料消費量削減だけでなく、市街地を避けた経路による騒音低減にも貢献する』『オフセットかつ高降下角進入については、RNP to GLS（GBAS）の導入効果が高い方式である』等の意見をいただいた。

また、広島空港 RWY10 の RNP to GLS 方式で取得したデータから、従来の ILS 方式と比べ、平均 155 秒の飛行時間の短縮、平均 24 ポンドの燃料消費量の削減が確認できた。

### 3.3 衝突危険度モデル改善と妥当性検証

本研究においては、衝突危険度モデルの構成要素のうち、現状に比べてより正確な衝突確率を求めることができる数学モデルの開発に取り組む。

現状の数学モデルについて、まずその理解を行ったうえで、どの部分に改善の余地があるかを検討した。その結果、複数の障害物がお互いに近くに配置されているケースにおいて、衝突確率が高く算出される傾向があることが分かった。どのような計算を行うことで、潜在的に結果が改良

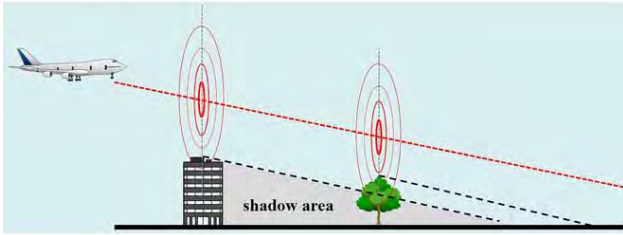


図7 衝突危険度計算のイメージ

されるかについて検討し、数学的に定式化を行い、その効果の検証を行った。過去の研究で構築したパイロット操舵モデルからシミュレーションで  $10^6$  回の着陸航跡を生成し、障害物と衝突する回数をカウントすることにより、提案手法がどの程度正確に衝突確率を計算できているかを評価した。その結果、障害物の形状にもよるが、現行の衝突危険度モデルと比較して、提案手法は衝突確率の過大評価を平均 90%程度抑えられていることが分かった。本結果については、IEEE 論文誌[18]に掲載された。

次に、実際に提案手法を適用するため、検証時に用いた仮定を実データにより確認する方法について検討を行った。データを大量取得するためには、ADS-B を用いる手法が簡便だと考えられる一方、ADS-B から必要なデータが取得できるかどうかは別問題である。その確認にあたり、GBAS を試行運用しているデータを取得し、相当する ADS-B データからどの程度の精度でデータが取得できるかを検証し、ADS-B データは機上データとは精度が異なることが分かり、何らかの補正が必要であることが示唆された。

ADS-B データによる航跡抽出に関して、航空機の運動特性をもとにカルマンスムージングを設計し、高精度に抽出可能な手法の開発を行った。同一航空機の GBAS 試行運用データを取得し、GBAS による逸脱量を真値と仮定し、ADS-B データのスムージングデータの精度の検証を行った。図8にその結果を示す。ADS-B は位置の分解能

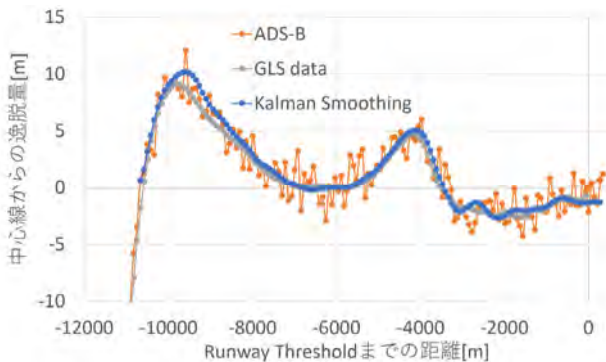


図8 逸脱量のデータソースによる比較

が 5m 程度と粗いものの、対地速度やトラック角といった ADS-B データに含まれる情報を同時に用い、スムージング処理を行うことで、真値に近い値を推定することができることを確認した。

#### 4. おわりに

本研究では (1) 国内空港の経路設計を調査してモデル空港を選定し、将来の飛行方式を設計し、フルフライトシミュレータ検証を行い、(2) 可搬型 GBAS プロトタイプ装置を開発して、実験用航空機による飛行実証を実施し、(3) 飛行データを活用して ICAO の衝突危険度モデルを改良し、妥当性の検証を行った。

フルフライトシミュレータや飛行検証により、経路短縮効果の評価に加え、パイロットのワークロードなどフライアビリティを検証し導入の見通しを示した。併せて、管制官、エアライン、方式設計者、航空局担当に参加いただき、関係者間の合意形成を図るとともに RNP to xLS 方式の有効性が確認できた。

また、ICAO 計器飛行方式パネル会議に国際基準の検討に資する根拠資料を提供するとともに、CARATS へ寄与し我が国への RNP to xLS の導入に貢献できた。更に、Web 版として開発した ICAO OAS (障害物評価表面) ソフトウェアは、ICAO 文書 (DOC8168) の標準ソフトウェアとして採用される見込みとなっている。

#### 掲載文献

平成 30 年度

- [1] 福島荘之介, 齋藤享, 齊藤真二, 吉原貴之, 毛塚敦, “ENRI STATUS REPORT,” 19th International GBAS Working Group (I-GWG19), May 2018.
- [2] 福島荘之介, 森亮太, 齊藤真二, “浅い降下角の中間セグメントを伴う RNP to xLS 進入方式の設計条件,” 第 18 回電子航法研究所発表会講演概要, pp.79-84, June 2018.
- [3] 福島荘之介, “第 19 回 国際 GBAS WG 会議 (I-GWG19) の概要,” ATEC 新進入・出発方式 WG 会議, June 2018.
- [4] 福島荘之介, 東京空港事務所管制技術官 GBAS 勉強会, Aug. 2018.
- [5] 福島荘之介, “A320 シミュレータによる RNP to xLS 進入方式の検討,” ATEC 新進入・出発方式 WG 会議, Nov. 2018.
- [6] 福島荘之介, “GBAS の安全設計研究とカテゴリー I 実用システムへの活用,” 平成 30 年度航空無線技術交流



会, 航空無線システム協会, Jan. 2019.

[7] 福島荘之介, 森山敏文(長崎大学), 灘井章嗣(NICT), “Report on the 14th International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2018 (ICSANE2018),” 電子情報通信学会ソサイエティグローバルニューズレター, March. 2019.

令和元年度

[8] Sonosuke Fukushima, etc, “ENRI Status Report,” 20th I-GWG Working Group, June 2019.

[9] Sonosuke Fukushima, Ryota Mori, Shinji Saitoh, “Lessons Learned from A320 RNP to xLS Flight Sim Experiments,” 20th I-GWG Working Group, June 2019.

[10] Ryota Mori, “CRM and OAS Program,” ICAO IFPP15-2, Sept. 2019.

[11] 福島荘之介, “New OAS Software (新しい障害物評価表面ソフトウェア),” ENRI Web サイト, [http://www.enri.go.jp/cnspub/fks442/oas\\_from.html](http://www.enri.go.jp/cnspub/fks442/oas_from.html), Sept. 2019.

[12] Ryota Mori, “Calculation of Ground Obstacles Collision Probability under ILS Approach,” EIWAC2019, Oct. 2019.

[13] 福島荘之介, 森亮太, 齊藤真二, “円弧旋回を伴う精密進入方式の設計法,” 日本航空宇宙学会第57回飛行機シンポジウム講演集, Oct. 2019.

[14] 福島荘之介, “第20回国際GBAS WG会議(I-GWG20)の概要,” ATEC 新進入・出発方式WG会議, July 2019.

[15] 福島荘之介, “RNAV 進入の垂直方向パス角と温度の関係,” 第1回航空機騒音勉強会, Nov. 2019.

[16] 福島荘之介, “RNP to xLS 進入方式の設計と検証に関する研究,” ATEC 新進入・出発方式WG会議, Nov. 2019.

[17] 福島荘之介, “GLSによる高度運航への取り組み,” 第3航空機騒音源勉強会, Jan. 2020.

令和2年度

[18] Mori, R., Fujita, M., “Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability during ILS Approach,” IEEE Access, IEEE, Vol. 8, pp. 66662-66671, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2985688

[19] 福島荘之介, “RNP to xLS 進入方式の設計と検証,” CARATS 推進協議会 PBN 検討WG GNSS アドホック, Aug. 2020.

[20] Susumu Saito, Sonosuke Fukushima, “Status of GBAS related studies of ENRI,” 34th EUROCONTROL Landing and Take-off Task force, Sept. 2020.

[21] 齊藤真二, 福島荘之介, “可搬型衛星航法補強装置について,” 日本航空宇宙学会第58回飛行機シンポジウム講演集, Nov. 2020.

[22] 齊藤真二, “可搬型 GBAS プロトタイプ装置の開発,” 日本航海学会航空宇宙研究会, Nov. 2020.

[23] 福島荘之介, “GBAS による計器進入の原理と研究開発,” 航空保安大特別講義, Dec. 2020.

[24] 福島荘之介, GBAS 出前講座 航空局性能評価センター, Dec. 2020.

[25] Mori, R., “OAS SOFTWARE DEVELOPMENT,” ICAO IFPP 15-3, March 2021.

令和3年度

[26] 福島荘之介, “航法システムと航空管制技術の動向と課題,” 名古屋大学大学院工学研究科航空機開発 GPL 養成講座(第13回), July 2021.

[27] 福島荘之介, 齊藤真二, 森亮太, “RNP to xLS 進入方式の研究 フライアビリティと飛行実証,” ATEC 新たな進入・出発方式導入に向けた調査・研究WG会議, Oct. 2021.

[28] 福島荘之介, ニッ森俊一, “第2報:総務省情報通信審議会報告書 RTCA 報告書の比較,” 第4回 ATEC 5G 基地局と RA の周波数共用に関する調査研究WG, Dec. 2021.

[29] 齊藤真二, 福島荘之介, “可搬型衛星航法補強装置による RNP to xLS 飛行評価について,” 日本航空宇宙学会第59回飛行機シンポジウム講演集, Dec. 2021.

[30] 福島荘之介, 齊藤真二, “脱炭素化に向けた新しい曲線経路を飛行実証,” プレスリリース, Dec. 2021.

## 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、磁気低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3年度は、5ヶ年計画の2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. 実施内容と成果

#### 3.1 次世代GBAS規格の方式提案

次世代GBASについてはICAO NSP (航法システムパネル会議)にて運用コンセプト及び基本的事項の検討が行われ、隔週のオンライン会議に参加して対応した。本年度は具体的な実現方式について議論を進め、電離圏モニタ方式案の一つを欧米と共同提案した。図1はその検討例であり、いくつかの方式を比較検討したものである。

#### 3.2 次世代GBAS/SBAS飛行実験

前年度に実験機材の実験機への搭載改修を完了したことから、本年度は第1回目の飛行実験を10月に石垣島にて計画した。台風の影響により目的地を宮崎に変更して実施し、航空路上における実験データを収集した。第2回目の飛行実験はGBAS実験施設を設置している新石垣空港にて3月に実施し、プラズマバブルが発生しやすい夜間におけるフライトを含む実験デ

ータを計画通りに収集した。図2は飛行中における電離圏シンチレーションの発生状況を示している。

### 3.3 SBAS相互運用性検証実験

障害物の多い環境下におけるSBASの受信特性を調べるため、2月に仙台空港にて地上実験を実施して実験データを収集した。図3はその結果の一例で、ターミナルビル付近ではSBAS信号を受信できない状況が分かる。

### 3.4 セキュリティ対策技術のプロトタイプ開発

デジタル認証技術による方式のプロトタイプを試作し、各種の性能指標を試算した。L5 Q-chを使用するベースライン方式のほかにI-chによるオプション方式についても検討し、メッセージの構成によっては実用に耐えることを明らかにした。図4はMAL (Maximum Authentication Latency: 認証遅れ時間、航法メッセージの受信から認証までの最大時間) を評価した例で、認証メッセージを500ビットで構成した場合でも、伝送容量に制約があるI-chで送信可能なことを示した。

## 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3年度は次世代GBASの方式提案を行うとともに、プロトタイプを使用した飛行実験等を開始し、またセキュリティ対策技術の検討を行った。次年度は次世代GBASの方式検証を行うとともに、プロトタイプを使用した飛行実験を継続し、さらに研究活動の国際的な展開を充実させることとしたい。

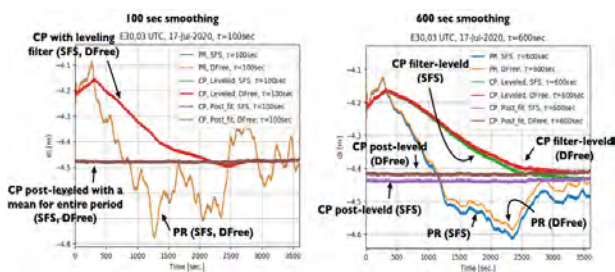


図1 電離圏モニタの方式比較例

## Ionospheric activity (Scintillation)

2022 L1 All 2022-03-08 10:00:00-13:59:59

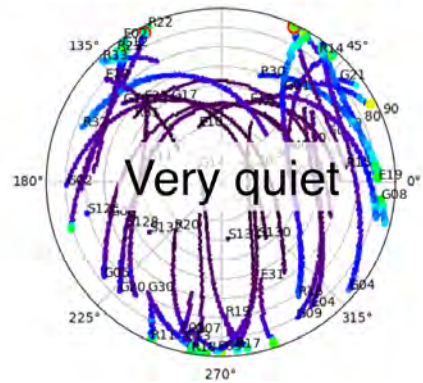


図2 飛行実験中のシンチレーション発生状況

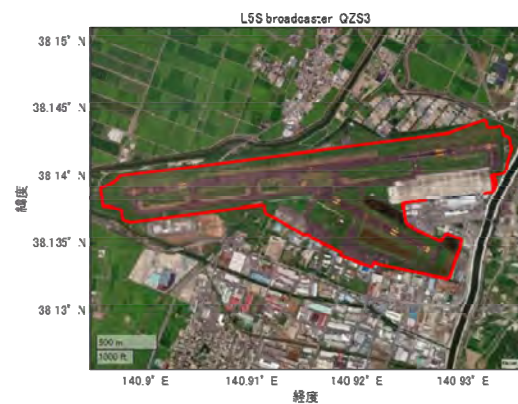


図3 信号特性評価の例

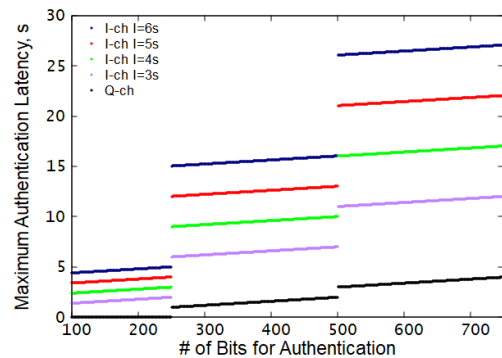


図4 認証遅れ時間(MAL)の試算例

### 掲載文献

- [1] Nicholas Ssessanga, 山本衛, 齋藤享, 齋藤昭則, 西岡未知, “Complementing regional ground GNSS-STEAC computerized ionospheric tomography (CIT) with ionosonde data assimilation,” GPS Solutions, Vol. 25, April 2021.
- [2] 松田国幸, 岸信隆, 井下亨, 坂井丈泰, “QZSS

- standardization follow-up,” ICAO NSP JWGs/7, April 2021.
- [3] 齋藤享, “Coordination with METP on Space Weather,” ICAO NSP JWGs/7, May 2021.
- [4] 北村光教, 坂井丈泰, “SLAS評価結果の報告,” 日本航空宇宙学会GPS/GNSS研究会, May 2021.
- [5] 齋藤享, ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 佐藤達彦, 塩田大幸, “Economic impacts of atmospheric radiation storm on aircraft operations and potential use of space weather information,” Japan Geoscience Union Meeting, June 2021.
- [6] 齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 富澤一郎, “GEONET ROTIを用いたEs層の構造・特性の解析,” MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, Sept. 2021.
- [7] 齋藤享, 吉原貴之, 福島荘之介, “Status of GBAS related studies of ENRI,” LATO/36, Sept. 2021.
- [8] Tim Murphy, Matt Harris, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, 齋藤享, “Alternative Architecture for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS,” ION GNSS+, Sept. 2021.
- [9] 齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 富澤一郎, “GNSS 観測網を用いたスボラディックE層の特性とGNSSへの影響の研究,” GPS/GNSSシンポジウム, Oct. 2021.
- [10] 齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 富澤一郎, “Impacts of VHF anomalous propagation on aeronautical navigation systems and the Es layer structure and dynamics,” 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, Nov. 2021.
- [11] 坂井丈泰, 北村光教, 小田浩幸, “L5 SBASによる信号認証機能の基礎検討,” 第65回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2021.
- [12] 吉原貴之, 北村光教, 小田浩幸, 坂井丈泰, “SBASによる鉄道車両測位に向けたGNSS受信信号の品質監視とマルチパス誤差モデルの構築,” 第65回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2021.
- [13] 北村光教, “SLAS測位精度向上に関する研究,” 第65回宇宙科学技術連合講演会, Nov. 2021.
- [14] 齋藤享, “Progress on Space Weather Job Card,” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
- [15] Tim Murphy, Matt Harris, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, 齋藤享, “Updated GAST X Proposal,” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
- [16] 齋藤享, 吉原貴之, 福島荘之介, 松田国幸, “GBAS Status Update in Japan,” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
- [17] 吉原貴之, 齋藤享, “Guidance on determination of the tropospheric refractivity, its uncertainty and scale height,” ICAO NSP JWGs/8, Nov. 2021.
- [18] 齋藤享, 細川敬祐, 坂井純, 富澤一郎, “Study of structures of the sporadic E layer by using dense GNSS network observations,” NAVIGATION, Vol. 68, No. 4, pp. 751-758, Dec. 2021.
- [19] 小林海斗, 久保信明, 坂井丈泰, “マルチパスモニタリングによるGNSSスプーフィング検知の研究,” 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 69, No. 6, pp. 247-256, Dec. 2021.
- [20] 坂井丈泰, 北村光教, “MSAS信号による測距精度の評価,” 測位航法学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp.1-7, Dec. 2021.
- [21] 高橋透, 齋藤享, 北村光教, 坂井丈泰, “Performance of DFMC SBAS broadcasted from Japanese QZSS in Oslo, Norway,” ION ITM, Jan. 2022.
- [22] Tim Murphy, Matt Harris, Glauca Balvedi, Gary McGraw, Joel Wichgers, Linda Lavik, Morten Topland, Mutaz Tuffaha, 齋藤享, “Ionospheric Gradient Monitoring for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS,” ION ITM, Jan. 2022.

## 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、諸外国の空港に比較して滑走路周辺に十分な剰余敷地が存在しておらず、周辺障害物や離着陸航空機等の影響によるアベイラビリティの劣化を避けて GBAS 基準局を最適に配置することが難しいことが懸念されている。これまで、当所において空港内で取得した GPS 信号の解析結果からも、滑走路近傍における GPS 信号の受信において、離着陸航空機の影響があることが判明している（図1）。欧米においても、滑走路延長上に設置した GBAS 基準局での上空通過機の影響が報告され、航空機を用いた評価等も行われている。

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

### 2. 研究の目的と実施項目

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

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



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

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

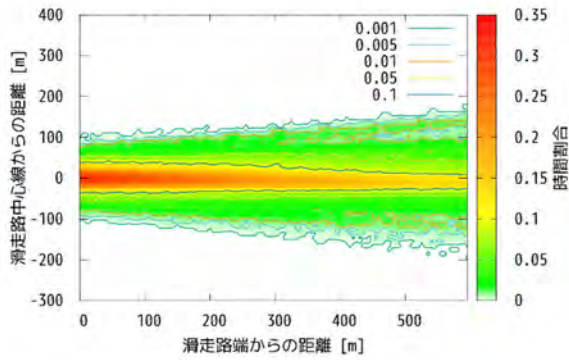
### 3. 実施概要

令和3年度は、評価ツール群に実験用 GBAS 装置で取得したGPS ファイルの加工を行う機能を追加した。また、ユーザ処理部分においては、電子基準点GPS データ（RINEX/BINEX 形式）を利用できるようにした。これにより、ユーザ側のデータが存在しない場合でも、周辺の電子基準点GPS データをユーザ側のデータとして GBAS 処理を行うことが可能となった。また、改良アルゴリズムを適用した場合を想定した着陸機によるGPS 信号瞬断の影響の計算機シミュレーションを行い、滑走路と受信点の配置と、信号瞬断の発生頻度、捕捉衛星数の変化の関係を算出した。更に、滑走路上におけるVDB 強度分布について新たな解析手法を提案した。

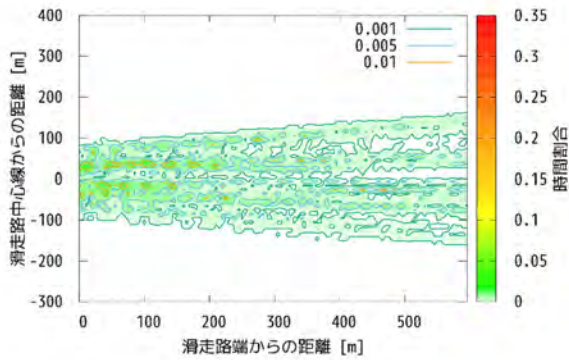
### 4. 研究成果

滑走路中心線からのGPS 基準局の距離とGPS 受信信号への影響の関係性を計算機シミュレーションで検討した。着陸機は3度パスで新千歳空港19Lに進入すると仮定し、時刻と機種はCARATS オープンデータから2018年5月29日を利用した。GPS 衛星の方向は、同日の衛星軌道情報（エフェメリス）から、24時間分を計算する。GPS 信号を受信する基準局位置は、滑走路中心線から±600m、滑走路進入端から0～600mの範囲で変化させる。着陸機の影響は、GPS 信号の電波伝搬から第1フレネルゾーンが着陸機により遮られた場合に生じ、瞬断が発生し、搬送波平滑化処理が初期化されるものとした。また、改良アルゴリズムを模擬するため、1エポックの瞬断までは修正できるものとし、測位に利用可能な衛星数をカウントした。

図2は、シミュレーションの結果であり、基準局位置と測位に利用する衛星数が6機以下となる割合を示す。横軸はGBAS 基準局の滑走路進入端からの距離、縦軸は滑走路中心線からの距離である。従来のアルゴリズムでは99%以上の時間に6機以下とならないためには、GBAS 基準局を滑走路中心線から、少なくとも100mを離隔する必要がある。



(a) 現状のアルゴリズム



(b) 改良アルゴリズム

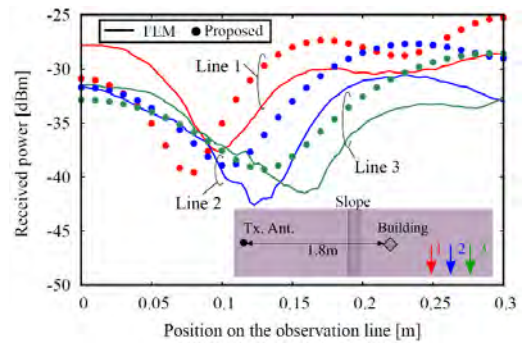
図2 捕捉衛星数が6機以下となる割合

あることが分かる。一方、改良アルゴリズムでは、基準局と滑走路中心線に100mの離隔があれば99.5%以上の時間で6機以下とならないことが分かった。

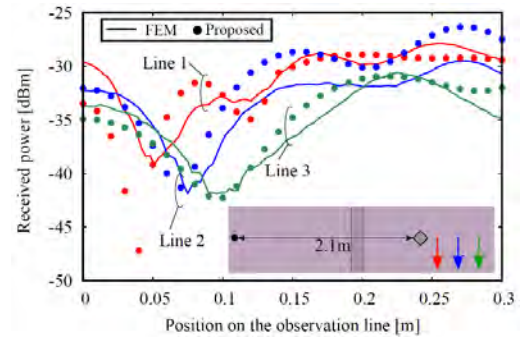
VDB 送信アンテナの設置環境条件に関しては、滑走上での電力分布の解析手法について、これまで提案してきた2D-FDTD法とRay-tracing法のハイブリッド手法の解析精度をFull-wave解析である有限要素法との比較により検証し、適用条件を検討した。図3に1/50スケールモデルにより解析(5GHz, 1W)した観測線上での電力分布を示す。モデルでは送信点から1.368mに斜面を配置、観測線は2.4m(40波長)地点から0.24m(4波長)間隔で配置し、送信点～建物間の距離を変化させた。斜面と建物に距離があり、回折と斜面による反射が独立とみなせる場合に提案手法が適用可能であり、更に解析時間が1/60に短縮されるなど手法の有効性を確認した[3]。

## 5. おわりに

着陸機の通過と基準局におけるGPS信号受信への影響に対する改良アルゴリズムの効果を検討するため、計算機シミュレーションを行った。その結果、改良アルゴリズムを適用することで、基準局と滑走路中心線の離隔を100m確保すれば、99.5%以上の時間に測位利用衛星数が6機以下とならないことが分かった。



(a) 送信点～建物間距離1.8mの場合



(b) 送信点～建物間距離2.1mの場合

図3 観測線1～3上での電力分布[3]

出典：2021年信学ソ大C115-14

今後、改良アルゴリズムを組み込んだ地上処理評価ツールにより、ユーザ側の処理を含めた効果の検証を行う予定である。

## 掲載文献

- [1] 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
- [2] 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,” 電子情報通信学会技術研究報告EST2021-18, pp.54-58, 2021年7月
- [3] 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,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-115-14, 2021年9月
- [4] 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
- [5] 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,” 電子情報通信学会総合大会, 2022年3月

## 気象及び空港・空域条件に対応した後方乱気流管制間隔に関する研究【指定研究】

担当領域 航法システム領域

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

研究期間 令和元年度～令和4年度

### 1. はじめに

先行機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。空港周辺におけるこのような最低離隔間隔の設定は、滑走路占有時間等とともに時間あたりの離着陸回数(滑走路処理容量)と密接な関係にある。そのため、従来、最大離陸重量で4つに分類している航空機区分を更に細分化することにより、最低離隔間隔を短縮可能な航空機の組合せを創出し、安全性を従来と同等に担保しつつ、滑走路処理容量の向上を図る新しい後方乱気流管制方式の導入が進んでおり、RECAT (Recategorization) と呼ばれる。具体的には、ICAO (国際民間航空機関) PANS-ATM (The Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management, Doc 4444) で航空機の最大離陸重量と翼幅で分類される新しい7つの航空機区分と、それら組合せ毎の最低離隔間隔が追加され(2020年11月発効)、各国の航空交通管制当局が承認した場合に適用できるようになった。RECAT 導入により混雑時間帯における到着遅延や待ち時間の解消といった効果が期待でき、我が国においてもこの RECAT-ICAO が東京国際空港、成田国際空港に導入され、他の混雑空港等への導入も期待されている。

今後の後方乱気流管制方式の高度化については、ICAOの将来構想であるGANP (Global Air Navigation Plan) において、ASBU (Aviation System Block Upgrades) として記述されているが、その一つに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なる運用であり、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、この最終形態としては空港・空域の条件を考慮しつつ航空機区分を更に詳細化し、時々刻々と変化する周囲の気象条件に応じてダイナミック・ペアワイズ (D-PWS) と呼ばれる最低離隔間隔を設定する管制方式が期待されている。そのため、後方乱気流特性のリ

アルタイム計測技術、ダイナミックな離隔間隔の設定手法、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等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、RECAT導入後の新たな後方乱気流管制方式として、TBS運用を東京国際空港や成田国際空港といった我が国の混雑空港に導入する際の課題や要件を明確にし、導入判断に必要な周辺空域を含めた安全性及び導入効果の評価方式を確立することを目的としている。また、D-PWSや、同一滑走路の複数着地点設定して後方乱気流管制間隔を短縮した新たな運用を導入する際の技術的要件を明確化してそれらの実現可能性を検討する。令和3年度は3年度目であり、前年度に残された課題となっていたTBS運用の導入に必要な要件の明確化、導入効果の評価及び安全性評価に関する取りまとめを行うとともに、D-PWSや同一滑走路の複数着地点を設定した運用に関する上位の運用概念の構築に取り組むこととしている。後者に関して具体的には、管制間隔指示の自動化に対応する安全性設計評価手法の検討、D-PWSに対する運用の課題の抽出とともに、同一滑走路での複数着地点及び離陸開始点を設定した運用の課題の抽出を行い、それらの導入効果の評価する計算機シミュレータの検討を行った。

### 3. 研究成果

TBS 運用の導入に必要な要件、導入効果の評価及び安全性評価事項に関しては、欧州における安全性評価を参考に、管制間隔設定に係わる要件と安全性評価の概要をまとめ作業を行った。この中で、RECAT 導入に際して東京国際空港にLIDARを設置して取得した後方乱気流観測データの取りまとめも行ったが、例としてRECATの航空機区分におけるカテゴリ-Bの航空機に対するLIDARによる後方乱気流の観測結果(減衰曲線)を図1に示す。また、導入効果の定量評価については成田国際空港の南風運用

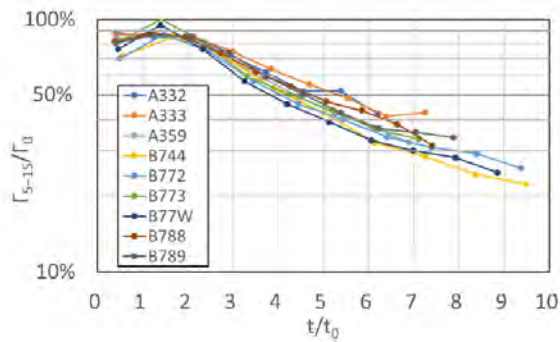


図1 従来の航空機区分におけるカテゴリ-Bの航空機に対するLIDARによる後方乱気流観測結果

時(2018年8月16日)を解析対象として、前年度実施した空港面交通流を模擬する計算機シミュレータ(GRACE)のTBS導入評価のための改修で付加した機能を活用して評価作業を進めた。今後、この評価を実施済みのターミナル空域から滑走路端までを模擬した計算機シミュレーション結果と統合してTBS導入効果のとりまとめを行う予定である。なお、TBS運用については上空の進入経路上の風情報も重要となることから、SSRモードSデータから推定された風向・風速の誤差評価と補正手法の検討も行っている。この結果は、最終的にTBS導入に関わる要件に組み込む予定である。

もう1つの課題であるD-PWSや同一滑走路の複数着地点を設定した運用に関する上位概念の構築と技術的要件及び課題の明確化に向けた検討としては、管制指示の自動化を含む更にカテゴリを詳細化したペアワイズ運用の課題として、進入速度のばらつきと影響調査を行った。具体的には、東京国際空港の進入速度解析を実施し、その結果から気象条件差と比べて個別の機体差(海外便)や重量差の影響が大きいたことが示唆された。また、同一滑走路の複数着地点を設定した運用については、国内の比較的長い滑走路を有する混雑空港を対象にニーズ調査と技術的課題について検討した。その結果、GNSSによる着陸システムであるGBASを活用することで、より自由度の高い進入方式の設定が可能となり、効率的な滑走路運用による処理容量の向上が期待できることから、令和4年度開始の重点研究「GBASを活用した着陸運用の高度化に関する技術開発」において発展的に実施することとした。

#### 4. まとめと今後の予定

TBS運用の導入に必要な要件、導入効果の評価及び安全性評価に関しては、残された導入効果の評価についてターミナル空域と空港面交通流の計算機シミュレーショ

ン統合を行い、最終とりまとめとする予定である。一方、D-PWSについては、主要課題として対となる後方乱気流管制間隔の新たな刻み幅(現在は1NM)、監視装置、滑走路占有時間や安全マージン等を考慮して現実的な航空機区分数を導出する予定である。また、東京国際空港の進入速度解析を進め、気象条件差による影響と個別の機体差(海外便)や重量差の影響とを定量的に比較してそれらの関係性を明らかにし、運用に必要な技術的要件として組み込むこととしたい。これらにより、管制間隔指示を自動化した新たな運用における安全性設計評価に必要な事項を明確化し、導入効果の評価結果と合わせて導入指針の提案を行う予定である。

#### 掲載文献

- [1] Daichi Toratani, Takayuki Yoshihara, Naoki Fujii, Atsushi Senoguchi, and Izumi Yamada, "Investigation of Support Algorithm for Air Traffic Controllers' Arrival Separation Management," 16th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, June 2021.
- [2] 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 プロシーディング, pp.4-7, 2021年9月
- [3] 吉原貴之, 藤井直樹, 瀬之口敦, 山田泉, 虎谷大地, "CARATS施策MET 4-3(旧OI-26)関連のENRI研究開発の進捗報告," 第45回CARATS ATM検討WG/第46回CARATS航空気象検討WG合同WG, 2021年9月
- [4] 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講演論文集, B-2-6, 2022年3月



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

担 当 部 航法システム領域  
担 当 者 ○毛塚 敦, 齊藤 真二, 吉原 貴之, 田嶋 裕久, 藤井 直樹  
研究期間 令和元年度～令和3年度

### 1. はじめに

GNSS は航空航法において広く用いられているが、干渉等により利用できなくなる事例が多数報告されている。このような場合においても、航空の安全と効率化を維持するためにバックアップが必要であり、APNT (Alternate Positioning, Navigation and Timing) と呼ばれ、ICAO 航法システムパネル (NSP) で検討されている課題の一つとなっている。近年、欧州では、短期的 APNT としてこれまで GNSS のみでしか航法装置として使用できなかった RNP1 及び RNP2 経路を DME/DME 測位により飛行可能とする検討が行われており、EUROCAE において 2017 年から WG-107 として標準化活動が開始された。当所もメンバーとして参加しており、2021 年度も活動を継続中である。欧州では大規模空港の出発・到着経路への RNP1 の導入が計画されているが、日本国内においても RNP 経路の拡大が検討されているため、DME/DME 測位による RNP 運航が導入されれば、我が国においても GNSS 障害時のバックアップ体制を強化することが可能となる。

### 2. 研究の概要

RNP1 及び RNP2 経路の飛行には、航法装置を使用すべきでない場合にパイロットへその旨を通知する能力 (インテグリティ) が要求される。このため、RNP1,2 を飛行可能な GNSS 機上装置は異常時に警報を发出する機上性能監視警報 (OPMA) 機能を有する。一方で、現在運用中の DME 機上装置にはこの機能が備えられていない。しかし、地上 DME 局には装置の異常を検出するモニタが備えられているため、地上の DME 局のインテグリティを保証することで RNP1 及び RNP2 経路に適用することが提案されており、EUROCAE WG-107 では具体的なインテグリティの保証方法が議論されている。

DME の誤差要因の最も大きなものとしてマルチパス誤差があり、インテグリティ保証における検討課題の一つである。また、現行の地上 DME 局はデュアルモニタで異常検出が行われるが、諸外国で利用可能な OR 方式と国内で使用している AND 方式の違いによるインテグリティ実現性能の差を明らかにする必要がある。上記課題を中心に、本研究では国際標準化活動を通じて欧州と連携しながら検討を進めた。

本研究は3年計画であり、本年は最終年度である。

### 3. 研究成果と活用

令和3年度では、令和2年度に実験用航空機 (Beechcraft B300) への搭載を完了した DME パルスアナライザ (EDS300) を用い、現在運用されている国内地上 DME 局の空間信号及びマルチパス誤差の評価を行った。東京空港事務所への協力依頼により、多くの地上 DME 局が設置されている成田空港ターミナル空域を中心に飛行実験を行った。成田空港では SWAMP N, SWAMP G, SUPOK N, SUPOK G (ARRIVAL) 及び TETRA EIGHT DEPARTURE, KIMIN TRANSITION の経路にて評価を行った。また、仙台空港ターミナル空域での飛行実験も行い、LANCE EAST, LANCE WEST, OWLET EAST, OWLET WEST (ARRIVAL) 及び STEED FOUR, CUBIC FOUR (DEPARTURE), RIKYU TRANSITION の経路にて評価した。ENROUTE では飛行実験を効率的に行うため、他研究での飛行実験 (広島・高松) の仙台からの往復移動時にデータを取得した。

成田空港における実験結果の一例を図1及び図2に示す。図1は SWAMP N ARRIVAL の実験経路であり、図2は飛行時に取得した DME 誤差である。図2においては、FTE と HDOP より算出した RNP1 の 95% 精度要件に加え、経路逸脱につながるマルチパス誤差量を参照値として示している (ただし国際標準化は未定)。DME アナライザは同時に 10 局の地上局とレンジングする機能を有し、成田空港周辺では常にほぼ 10 局の DME 局とトラッキングした状態であった。更に、図2に示すように、10 局のうちおよそ 8 局は RNP1 の 95% 精度及び経路逸脱に対して十分な性能を有しており、経路逸脱につながる大きなマルチパス誤差は観測されなかった。これより、成田空港へ RNP1 を導入する際に DME/DME が有効なバックアップ方法になり得るものであることが分かった。更に、EUROCAE では ILS で使用される DME (日本ではターミナル DME) を DME/DME 測位に用いることが検討されているため、成田空港に設置されたターミナル DME の誤差評価を行った。その結果、測位に十分活用できる性能と覆域を有していることが分かった。これらの成果は、今後の EUROCAE WG-107 において、標準化文書の日本国内検証

結果として報告することとする。

我が国のターミナル空域では多くの旋回を伴うため、令和元年度及び令和2年度において航空局飛行検査機(CJ4)で取得した検査データを用いて旋回時のDME誤差について解析し、EUROCAE WG-107にて公表した[7][11][16]。その結果、EUROCAEが策定中のMASPS原案に旋回に関して記載され、我が国での事情を反映することができた。このため、令和3年度の成田空港での飛行実験では旋回に伴うDME誤差についても評価し、CJ4ほど顕著ではないもののBeechcraft B300でも同様に発生することを確認した。MASPSへの記載が適切であることを示すため、検討結果をEURCAE WG-107にて報告することとする。

更に、中長期的なAPNTとして複数局のDME局とのレンジングを用いた測位であるマルチDME測位についての基礎検討を行った。航空局飛行機(CJ4)の検査データを用いて基礎検討を行い、気圧高度も併用した2次元測位により3次元測位よりも高精度化できることを明らかにした[19]。実験用航空機(Beechcraft)による成田空港での飛行実験では8局のDME局が利用できることが分かったため、我が国にとって中長期APNTとしてマルチDME測位が相応しいものと考えられ、後続研究にて検討することとする。

DMEパルスアナライザを用いたエンルート飛行実験では、複数DME局の同時評価に加え、単一DME局の長距離のラジアル検査を行った。XMC局及びKMC局での評価を行った結果、インテグリティ破綻につながる可能性があるマルチパス波形が観測されたものの、測距誤差としてはRNP2に適用できるものであることが分かった。ICAO NSP CNTではSAPRs改訂においてDMEの通達距離を130NMとすることが議論されているが、日本国内に適用するには問題にならないことを確認できた。また、レンジング距離の増大に伴って生じる対流圏誤差についても300km範囲での実験データを取得できた。対流圏については、令和元年度に計算による検討結果[6]をEUROCAE WG-107で公表し[4]、RNP経路適用の際に問題としないことを示したが、エンルート飛行実験により実験的にも確認することができた。

地上DME局のAND/ORモニタロジックの違いによるインテグリティ性能の差については、令和元年度に基礎検討を完了し、国内外で成果を公表した[5][8][11-15]。現在ICAOで進行中の国際標準化状況を参照しながら、実運用機材でのインテグリティ性能を評価するために保守訓練用機材を用いて装置構造を調査した。これらの成果は今後実施する実運用機材でのインテグリティ性能向上方法の

立案に活用する。

### 3. まとめ

本研究では短期的APNTとしてDME/DME測位をRNP経路へ適用する際、欧州EUROCAEでの標準化活動と連携し、航空局飛行検査機CJ4の検査データ及び実験用航空機Beechcraftを用いて国内導入の際の課題を検証した。最大の脅威であるマルチパスについて成田空港を中心に定量的に評価し、概ね問題ないことを確認すると共に旋回時の誤差等の国内事情をEUROCAE標準化文書原案へ反映することができた。飛行実験では多くの地上DME局をトラッキングするとともにそれらが十分な精度を有することが分かったため、国際的に検討され始めているマルチDMEやDME-RAIM(FDE)等に関する後続研究にも活用することとする。

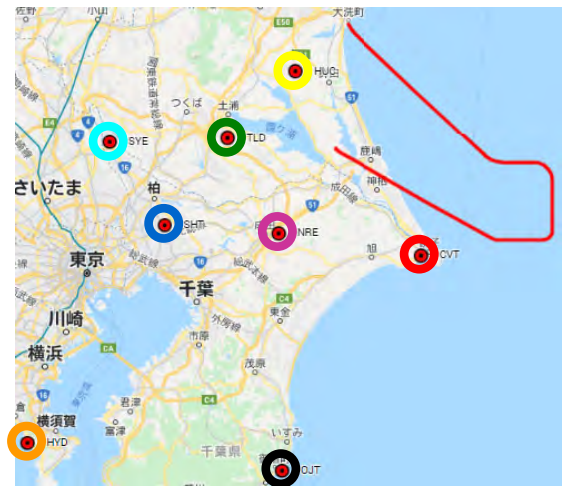


図1 成田飛行実験経路の一例 (SWAMP N)

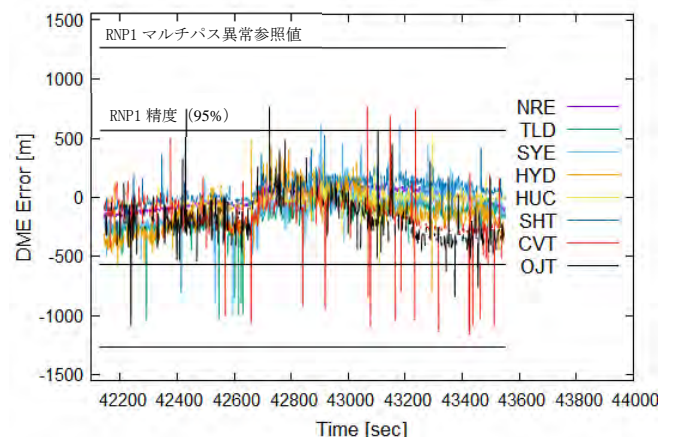


図2 成田飛行実験結果の一例 (DMEパルスアナライザによるDME誤差)

掲載文献

[1] 黒田, 橋本, 須賀, 毛塚, 橋本, “誘電体スラブを用い

- た集束型誘電体レンズホーンアンテナの位相改善効果に関する実験的評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15-4, 2019年9月
- [2] 福田, 毛塚, 上林, “高高度空域における地上航法システムの利用可能性,” 第57回飛行機シンポジウム, JSASS-2019-5185, 2019年10月
- [3] A. Kezuka, “DME SIS Accuracy in Japan,” EUROCAE WG-107 9th Meeting, No.08, Brussel, Oct. 2019.
- [4] A. Kezuka, A. Kambayashi, T. Yoshihara, N. Fujii, “Worst Case Analysis of DME Tropospheric Propagation Delay,” EUROCAE WG-107 9th Meeting, No.08, Brussel, Oct. 2019.
- [5] 毛塚, 横田, “短期的 APNT 構築のための DME のインテグリティ保証その2,” 第24回 CARATS GNSS 検討アドホック会議, 2019年12月
- [6] 毛塚, 上林, 吉原, 藤井, “DME の対流圏遅延誤差のワーストケース解析,” 電子情報通信学会, 技術研究報告, Vol.119, No.407, EST2019-90, pp.59-62, 2020年1月
- [7] A. Kezuka, A. Kambayashi, “DME SIS Error on RNAV Route,” EUROCAE WG-107 12th Meeting, No.08, March 2020.
- [8] A. Kezuka, T. Yokota, “Difference of Integrity Risk between OR and AND Logic in System using Dual Monitor,” EUROCAE WG-107 12th Meeting, No.13, March 2020.
- [9] 橋本, 黒田, 須賀, 毛塚, 橋本, “集束型誘電体レンズアンテナの帯状ゾーニングによる位相改善効果の実験的評価,” 電子情報通信学会総合大会, C-15-22, 2020年3月
- [10] 橋本, 黒田, 須賀, 毛塚, 橋本, “位相平坦かつ軸対称なスポットを有する集束型誘電体レンズホーンアンテナの実験的評価,” 電気学会電子デバイス研究会資料, EDD pp45-49, 2020年4月
- [11] A. Kezuka, “DME Multipath on STAR,” EUROCAE WG-107 15th Meeting, Sept. 2020.
- [12] 毛塚, 齊藤, “GNSS 代替のための DME 地上局のインテグリティ保証,” 第20回電子航法研究所発表会, 2020年9月
- [13] 毛塚, 齊藤, “GNSS 障害時の代替航法に関する欧州標準化と国内検討課題,” 第58回飛行機シンポジウム, 1B08, 2020年11月
- [14] 毛塚, “GNSS 障害に備えたバックアップ航法 (APNT) の構築,” 第13回港湾空港技術講演会, 横浜, 2020年12月
- [15] 毛塚, “GNSS 代替のための DME 地上局のインテグリティ保障,” 航空無線, 106号, pp.38-42, 2020年12月
- [16] A. Kezuka, “DME Tracking Status and Ranging Error on STAR,” EUROCAE WG-107 16th Meeting, No.15, May 2021.
- [17] A. Kezuka, J. Honda, M. Migita, “Observed Large Multipath and Countermeasure in Japan,” EUROCAE WG-107 17th Meeting, No.02, Sept. 2021.
- [18] A. Kezuka, “Recap of Multipath Investigation in Japan,” EUROCAE WG-107 第1回マルチパス専門家会議 (Multipath Tiger-Team), Nov. 2021.
- [19] 田嶋, 毛塚, “飛行試験データによる複数 DME による測位誤差の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2021-73, 2021年12月
- [20] 毛塚, 齊藤, “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,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J105-C, No.6, pp.139-148, 2022年5月 (2021年12月29日早期公開)

## 我が国における高カテゴリーGBAS (GAST-D) 導入のための技術開発【指定研究】

担当領域 航法システム領域  
担当者 ○齋藤 享, 吉原 貴之, 毛塚 敦  
研究期間 令和2年度～令和3年度

### 1. はじめに

我が国では CARATS において GBAS 導入が意思決定され、日本の電離圏環境に対応した GBAS 装置を平成 28～30 年度に整備し、令和 2 年度に運用評価を行った後にカテゴリー I 運航が開始される予定である。高カテゴリー GBAS (GAST-D) については、ICAO における国際標準の策定において、新石垣空港における GAST-D 実験装置を用いた研究開発などを用いて参画してきており、平成 30 年 11 月に GAST-D を含む ICAO SARPs が発効したところである。我が国の GAST-D 導入の意思決定は令和 2 年度に行われる予定である。

GAST-D は、カテゴリー III 運航に必要とされる安全性要件を満足するため、カテゴリー I GBAS とは異なる技術コンセプトが導入されている。更に GAST-D SARPs の検証過程において技術要件に関する大きな修正が加えられている。加えて ICAO 航法システムパネル(NSP)においては、磁気低緯度地域において性能を最大化するための検討が継続して進められている。

当所では、重点研究(平成 23～26 年度)「カテゴリ III 着陸に対応した GBAS (GAST-D) の安全性設計及び検証技術の開発」として GAST-D 検証用プロトタイプの開発を行ったが、GAST-D SARPs の最終版については研究期間のずれからインターフェースのみの対応となっており、詳細な技術検討は行われなかったため、日本における GAST-D 導入に向けた技術検討課題として残されている。

また、ICAO において継続されている磁気低緯度地域における GAST-D 性能の最大化については、磁気低緯度地域における GBAS と電離圏に関する知見を有する日本の技術貢献が期待されているところである。

### 2. 研究の概要

本研究では、GAST-D 特有の技術要件を取り入れた、効率的な総合性能評価手法を開発し、我が国における諸環境を考慮した、我が国の空港環境における GAST-D の総合性能評価を実現することを目標とする。

具体的には、GAST-D 特有の技術要件を取り入れた、総合性能評価手法の開発と、我が国における諸環境を考慮した、GAST-D の総合性能評価技術の開発を行う。

GAST-D 特有の技術要件を取り入れた GAST-D 総合性能評価シミュレータを開発し、日本の空港・電離圏環境の中で GAST-D の性能評価を行う。シミュレータは、電離圏脅威モデルと空港環境(GBAS 基準局設置場所と滑走路配置)、GAST-D インテグリティモニタ性能及び GNSS 衛星稼働状況を入力とし、保証されるレンジ誤差(Eig)を導出し、期待されるアベイラビリティを算出することができるものである。磁気低緯度地域の電離圏環境に対応した技術を取り入れるため、拡張性、柔軟性に優れた設計とする。開発した技術は、日本の空港における GAST-D 導入時の期待性能評価に必須の技術となり、航空局における日本における GAST-D 導入の意思決定に不可欠の情報を提供できるものと期待される。

開発した技術及び知見は、ICAO NSP において行われている GAST-D SARPs 及びガイダンス文書の磁気低緯度地域向け改訂に寄与することができる。また、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

本年度は、令和 2 年度に実施した GAST-D 総合性能評価シミュレータの基礎設計に基づき、シミュレータの実装を行うとともに、高速計算機を調達し、大量計算の準備を行った。また GAST-D アベイラビリティ計算ツールを活用し、GAST-D を用いたカテゴリー I サービスの可能性について検討を行った。

GAST-D は機上装置が電離圏モニタ機能を有するため、GAST-C に比べ電離圏異常による潜在誤差を低下させることができる。従って、GAST-D をカテゴリー I の範囲内で運用することにより、アベイラビリティを向上できる可能性がある。図 1 は、標準的な電離圏環境において、東京における GAST-D によるカテゴリー I 運航のアベイラビリティ検討結果である。電離圏に起因する衛星の潜在レンジ誤差(Eig)が 2.75m であれば、100%のアベイラビリティを期待できることが分かる。Eig の値が大きくなるとアベイラビリティが低下するが、GAST-D が普及すればカテゴリー I 運航の性能向上も期待できることが分かった。

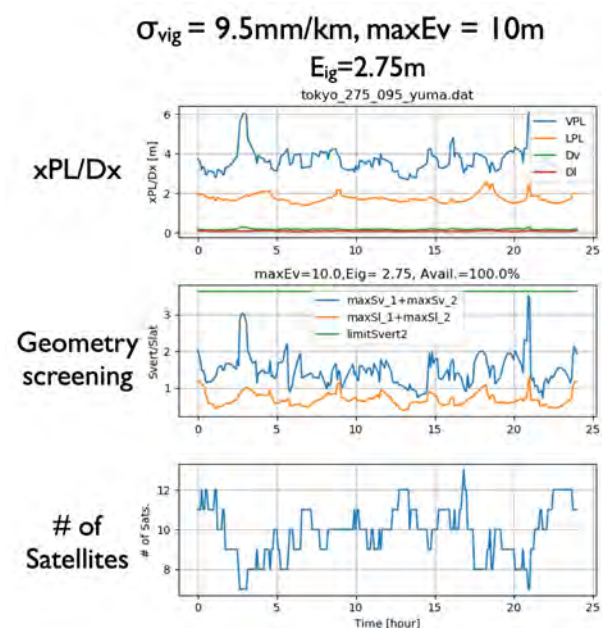


図1 GAST-DによるカテゴリーI 進入の東京におけるアベイラビリティ検討例 [2]。上から保護レベル、機上ジオメトリスクリーニングパラメータ、使用可能衛星数。横軸は24時間

成果を国際基準に反映し普及させるため、ICAO NSP の GBAS Working Group (GWG)電離圏アドホック (IGM ad hoc) に継続的に参加し、GBAS ガイダンスの改訂に参画した。ICAO NSP では GNSS マニュアル(Doc9849)の改訂が進められており、電離圏・対流圏に関する記述の改訂、宇宙天気情報利用に関する新規項目の追加を担当した。また、電離圏と同様に GNSS 電波の伝播路上の自然現象に起因する対流圏遅延に関する GBAS メッセージパラメータ (対流圏スケールハイト) について、GBAS コミュニティにおける情報が錯綜していることを見出した。これに対し、理論的検討をもとに新たなガイダンス案を ICAO NSP に対して提案し、次回 Annex 10 改訂時又は新規 GBAS マニュアルの作成時に取り込まれることとなった [1]。

アジア太平洋地域における GAST-D 導入のための情報共有のためには、ICAO アジア太平洋地域における枠組みを活用し、アジア太平洋地域における GBAS 及び SBAS の導入促進のため、技術課題について情報共有と議論を行うための ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force (ITF) を共同議長 (co-chair) として運営した。2021 年 9 月にはその第 3 回会議がオンラインで開催され、GBAS/SBAS 導入全般に関するガイダンス文書の新規作成、電離圏脅威回避に関するガイダンス文書の改訂が主要課題として議論された [3][4]。これらのガイダンス文書の作成に関しては、専門家による執筆グループ (Experts Group)

が設けられ、当所からは3名が選出されている。また、電離圏脅威回避に関するガイダンス文書は、2016年に当所が主導した ICAO APAC 電離圏問題検討タスクフォース (ISTF) によって作成されたものであり、改訂にあたっては当所が主導して行うこととなった。

#### 4. 考察等

令和3年度は、GAST-D 総合性能評価シミュレータを基礎設計に従い実装を進め、高速計算機を用いた大量計算の準備を整えた。令和4年度から開始される指定研究「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」において、本研究の成果を用いて日本の空港環境における GAST-D の設置技術、性能評価技術の開発を行う。シミュレーション結果については、ICAO NSP GWG IGM ad hoc を通じて他のシミュレーション計算結果の比較・評価を行っていく予定である。

本研究では ICAO 等における国際標準化にも大きく貢献した。ICAO Annex 10 における GBAS ガイダンスへの電離圏、対流圏関連事項の盛り込み、GNSS マニュアル改訂における執筆の分担など、研究成果の国際標準への反映を進めることができた。ICAO APAC 地域においても、GBAS/SBAS ITF を主導し、研究成果をガイダンスとして反映させることを引き続き行っていく。

#### 掲載文献

- [1] S. Saito, T. Yoshihara, G. McGraw, M. Harris, "Guidance on the tropospheric scale height," ICAO NSP JWG/7, 2021 年 4 月
- [2] S. Saito, "GAST D (GBAS approach service type D) in the low latitude region and use for CAT I service," Proc. ION GNSS+ 2021, 2021 年 9 月
- [3] S. Saito, G. Wong, "Review of guidance documents related to ionosphere anomalies," 3rd Meeting of the ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force, 2021 年 9 月
- [4] Saito, G. Wong, "Framework of Guidance Reference on Implementation Process for GBAS/SBAS", 3rd Meeting of the ICAO APAC GBAS/SBAS Implementation Task Force, 2021 年 9 月
- [5] S. Saito, "Ionospheric characterization for GBAS in the low latitude region", The 2nd LAPAN International Symposium on Space Science, 2021 年 11 月
- [6] 齋藤, "宇宙天気と衛星測位: 影響を与えるメカニズムと障害の内容," 第 5 回宇宙天気予報の高度化のあり方に関する検討会 (総務省), 2022 年 3 月

## 多地点からの地上大気光観測を用いたプラズマバブル成長過程の解明【競争的資金研究】

担当領域	航法システム領域
担当者	齋藤 享
研究期間	平成 29 年度～令和 3 年度

### 1. はじめに

本研究は、電気通信大学細川敬祐准教授が代表者の科学研究費補助金基盤研究(B)(17H02967)に、研究分担者として参画して行うものである。

近年の冷却 CCD カメラの普及により、磁気低緯度地域の衛星航法に深刻な影響を与えるプラズマバブルの微弱な夜間大気光を用いた 2 次元観測が精力的に行われているが、観測視野の制限、気象条件による観測の制限により、広域観測を地上観測で実現することは難しかった。しかし、市販の小型暗視カメラを活用した安価な大気光イメージャシステムが実現され、多地点での観測が可能となり、広域撮像、気象条件に対する空間冗長性の確保が可能となると期待されている。

プラズマバブルは、基本的な生成の物理過程は分かっているが、その発生の日々変動を支配する物理過程、発生後の時間発展を支配する成長過程、小スケールプラズマ不規則構造の成長過程など、未解明問題が多く残されている。プラズマバブルを広域撮像観測することにより、その発生に至る電離圏大規模構造の解明や、成長過程の詳細な時間追尾による解明が可能できると期待される。

### 2. 研究の概要

本研究では、市販の小型暗視カメラを用いた安価な大気光イメージャを磁気低緯度地域に多数設置し、プラズマバブルの空間構造の成長過程、小スケール電離圏不規則構造の成長過程を解明する。観測点は当所の石垣観測点を含む南西諸島、台湾、東南アジアに設置し、広域観測を行う。得られたデータを総合し、プラズマバブルの空間構造の成長過程を明らかにする。また、GNSS 観測と合わせて、プラズマバブルの詳細な空間構造と衛星航法への影響の関係を明らかにする。

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

これにより、プラズマバブルに関わる物理過程のうち、プラズマバブルの発生・成長に関わる未解明の問題の解明、プラズマバブルの詳細構造と衛星航法信号への影響の性

能評価、プラズマバブルの広域監視情報の衛星航法に役立つ宇宙天気情報としての利用、小型大気光イメージャの理科教育機材、環境モニタリング機材への応用とそれを用いた超多点観測への道が開ける。

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

### 3. 研究成果及び考察等

本年度は、平成 29 年度～令和元年度に設置した 5 ヶ所(石垣、大宜味、タイ・Chumphon、台湾・台南、フィリピン・Iroio 島)からなるプラズマバブルの成長・伝播過程観測網を用いた観測を実施した。取得されたデータについては、電気通信大学及び台湾国立成功大学と共同で解析を行っているところである。

太陽活動は次第に高まりつつあり、しばしばプラズマバブルが観測されている。2021 年 10 月 31 日、11 月 1 日には石垣島において大規模なプラズマバブルが観測された(図 1)。

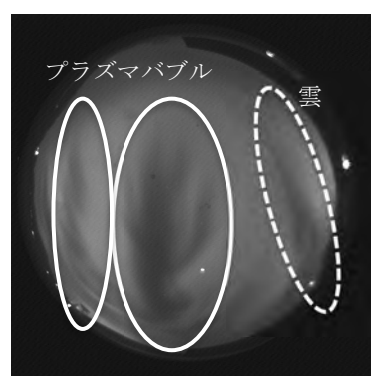


図 1 2021 年 11 月 1 日に石垣で観測されたプラズマバブル画像

2021 年度は 2020 年度に比べてプラズマバブル発生回数が増大するとともに、到達緯度も高くなってきている。当所では、新石垣空港における次世代 GBAS 実験装置を用いた、次世代 GBAS のための電離圏モニタ方式の検証

を行っており、そのために必要な電離圏擾乱時の電離圏データの取得が期待されている。小型イメージャによる連続観測を継続することにより、プラズマバブルの生成過程の解明に加え、次世代 GBAS の方式検証に重要な電離圏状態の情報が GNSS データとは独立に得られると期待される。GNSS における電離圏シンチレーションの影響評価についても、長期データの収集と解析を進めていく予定である。

また、当所の研究活動の広報活動と連携し、石垣島における GBAS 関連実験と電離圏観測に関する広報動画を作成した。この広報動画は電離圏と GNSS に関する教育、アウトリーチ活動に活用していく予定である。

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研究(A)(20H00197)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いる。これらを利用することにより、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充実してきている。

## 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、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。当所としては、プラズマバブルが衛星航法に与える影響の評価を進めるとともに、プラズマバブルの発生予測に基づく影響回避策を提案する。

当所では、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、プラズマバブル発生予測の開発と社会貢献を担当する。

## 3. 研究成果

本年度は、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、成果を取りまとめて国際学術論文誌に投稿した[1]。インドネシア・赤道大気レーダーサイトの電離圏シンチレーション受信機は故障が発生していたが、新型コロナウイルス蔓延による渡航制限がある中、現地技術者との協力により、受信機を交換することができ、2022年3月より観測を再開することができた。

タイ・チュンポンに設置されたVHFレーダーにおいては、プラズマバブルが観測され始めており、2022年1月15日には強い電離圏不規則構造が観測された。

本年度に計画されていた強化観測キャンペーンについては、赤道大気レーダーの落雷被害による故障と、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修理に長期間を要することから延期された。

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[2]。

## 4. 考察等

令和4年度は、タイにおける電離圏シンチレーション観測、VHFレーダー観測などを中心とした観測を進め、プラズマバブルの構造と、GNSSシンチレーション、電離圏遅延量勾配観測結果等の比較を進めるとともに、令和4年度新規指定研究「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レーダーによるプラズマバブル監視のGNSSへの応用について検討する。

また、本年度から延期された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、これに参加する予定である。



掲載文献

- [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,” submitted to GPS Solutions.
- [2] N. Ssessanga, M. Yamamoto, S. Saito, “Assessing the performance of a Northeast Asia Japan-centered 3-D ionosphere specification technique during the 2015 St. Patrick’s day geomagnetic storm,” Earth Planets and Space, 73, June 2021.
- [3] S. Saito, “Observations of the ionosphere by a GNSS network and application for GNSS-based navigation,” ICSANE 2021, Nov. 2021.

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

近年、北極域でロケット観測によって衛星測位に最も影響を与える 100 m スケールの電離圏擾乱は、より大きい 1 km スケールの電離圏擾乱が崩壊する際に発生している可能性が示された。本研究では、VHF シンチレーションの定常観測システムを開発する。更に、VHF シンチレーション観測と既存の GPS シンチレーション観測、短波レーダー観測を同時に実施する電離圏擾乱のマルチスケール観測により、1 km スケールの電離圏擾乱から 100 m スケールの電離圏擾乱が発生していたのか否か、及びその遷移時間を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究成果

2021 年度は VHF シンチレーション受信機開発を行った。2021 年 5 月から 7 月にかけて当所にアンテナを設置した。また、アンプとフィルタを組み上げ受信機を完成させた (図 1)。Software Defined Radio (SDR) と GNU Radio を用いたデータ取得や受信機をコントロールするためのソフトウェアの開発にも取り組み、2021 年 7 月 2 日に 150 MHz 帯のみで初観測を実施した。その後、400 MHz 帯の観測も開始した。順調に観測が行えていることを確認し、2021 年 8 月から観測を自動化した。以後、比較的安定して観測を行っていたが、観測データを見ると、電波を発していない衛星が多いことや、電波を放送していてもその強度が小さい衛星が多いことが分かった。これは、ビーコン

衛星の老朽化によるものと思われる。そこで、本研究ではビーコン衛星だけではなく、気象衛星として利用されている NOAA 衛星の 137 MHz 帯の電波も利用することにした。2021 年 9 月から NOAA 衛星の電波の受信機を制作し、観測を開始した (図 2)。初期観測データと電離圏全電子数の変動指数である ROTI との比較も行うなど、データ解析にも取り組んだ。2022 年 1 月から本格的に受信機を磁気低緯度から高緯度に展開することを見据え、受信機の安定化に取り組み、所外の観測所への設置準備を整えた。

本研究は、科学研究費補助金若手研究 (20K14544) により実施された。

### 掲載文献

- [1] 高橋透, et al., “Suppression of Ionospheric Irregularity Due to Auroral Particle Impact,” Journal of Geophysical Research: Space Physics, Dec. 2021.

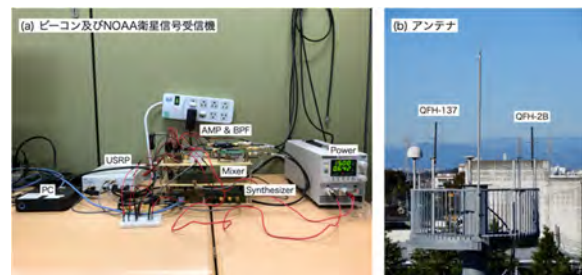


図 1 (a) 制作した受信機, (b) 電子航法研 6 号棟屋上に設置されたアンテナ

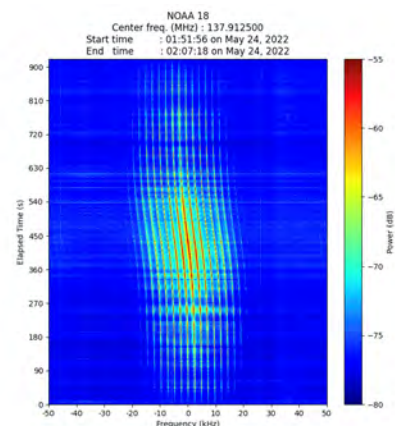


図 2 2022 年 5 月 24 日 01:51:56 UT から 5 月 24 日 02:07:18 UT に観測された NOAA の信号のスペクトル

担当領域 航法システム領域  
 担当者 ○坂井 丈泰, 小田 浩幸, 北村 光教  
 研究期間 令和3年度

## 1. はじめに

災害時の緊急支援物資輸送システムにおいて車両や物資の動態管理は必須であり、位置情報を得る測位の基盤はGPSに代表される衛星航法システムによる。併せて測位補強信号も位置情報の信頼性を担保する重要な要素であり、航空分野向けに開発されたSBASは我が国ではMSASとしてサービスされている。

SBASの信号は僻地山間部やビル建物がある都市部の輸送ルートでは遮蔽されることが多い。SBASを使用できない状況下では位置情報の信頼性を担保できず、災害時にはドローン等のルート選択や車両による輸送経路が制約されかねないほか、輸送拠点となる空港内における車両管理に支障を生じる可能性がある。

衛星からのSBAS信号を受信できない状況でSBASによる補強測位を可能にするためには、インターネットや携帯電話回線等の通信ネットワークを通じてSBASメッセージを提供することが考えられる。本研究では、こうした仕組みをネットワーク型SBASサービスと定義して、技術的要件を調査するとともに、空港内における車両管理を想定して実験を実施した。

## 2. 実施内容と成果

### 2.1 ネットワーク型SBASサービスの要件検討

衛星からSBAS信号を放送するMSASは航空機の安全な運航を目的として開発されたものであるが、その利用範囲は航空ユーザ以外にも拡大している。様々なユーザのSBASの利用にあたり、考えられる問題点を、

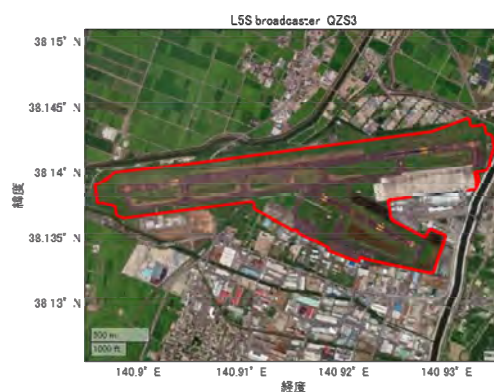
(i) SBAS信号の遮蔽による利用不能、(ii) GPS信号やSBAS信号のレベル低下による性能劣化、(iii) TTA (Time to Alert) やTTFF (Time To First Fix) の劣化、と整理した。これらの解決の手段として、通信ネットワークを通じてユーザにSBASのメッセージやGPS衛星の航法メッセージを送るサービスを、欧州で運用されているEDAS (EGNOS Data Access Service) を参考に検討した。

### 2.2 実証用プロトタイプの構築及び技術実証

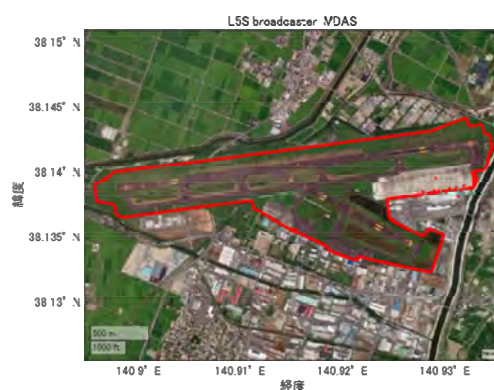
ネットワーク型SBASのサービスのためのプロトタイプを構築し、これによる実証実験を2022年2月に仙

台空港において実施した。当所（東京都調布市）で生成されたSBAS補正データは、インターネット等を通じて仙台空港に送られ、ネットワーク型SBAS対応のプロトタイプ受信機に入力する。

図1は結果の一例であり、静止衛星のSBAS信号はターミナルビル周辺で受信できなかったが、ネットワーク経由ではSBASメッセージを取得できることを確認した。



(a) 静止衛星からのメッセージ受信状況



(b) ネットワークからのメッセージ受信状況

図1 仙台空港における実証実験

## 3. まとめ

本研究では、衛星からのSBAS信号を使用できない状況でSBASによる補強測位を可能にするために、ネットワーク型SBASの仕組みを検討し、技術的要件を調査するとともに、空港内における車両管理を想定して実験を実施した。

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3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, 2カ国目の調査対象国 (対象国2) を確定し, 対象国2において電離圏データ収集環境を構築し初期データ解析を実施する。また, ベトナム及び対象国2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

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。太陽活動が上昇に転じた中, 電離圏擾乱の発生数も増加し, 2021年4月1日から2022年3月14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30日において検出された。そのうち, 最大の電離圏勾配はL1周波数において184 mm/kmであった。この値は令和2年度調査において検出された最大値を大きく上回っている一

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。今後の太陽活動上昇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。

ベトナムにおいては, 過去にベトナムにおいて収集されたデータを用いて電離圏不規則構造の発生特性解析が行われた。電離圏不規則構造は, GNSS 信号のシンチレーションと密接に関連しており, その解析と解釈において研究指導を行い, 電離圏不規則構造は背景電離圏密度が最大となる赤道異常帯ではなく, 磁気赤道寄りの内側にあることを見出した [1]。



図1 ベトナムにおける電離圏データ収集環境

対象国2としては, 令和2年度において選定されたインドネシアについてインドネシア航空宇宙庁(LAPAN, 2021年9月からインドネシア研究革新庁:BRIN に統合)と調整を進め, 電離圏環境調査を行うことを決定した。電離圏データ収集環境として, GNSS 観測装置の設置場所をLAPANと共同で検討し, 令和2年度において選定した候補地6カ所のうち4カ所に設置することを決定した(図2)。GNSS 観測システムとしては, 複数周波数, 複数衛星系信号に対応した, NovAtel GNSS-850 アンテナ及び Septentrio AsteRx SB3 Pro+受信機からなる観測システムを構築した。



図2 選定した観測ネットワーク (1, 4, 5, 6)

インドネシアにおいては, 新型コロナウイルス蔓延に伴

う世界的な半導体不足により観測装置の調達にかかる時間が大きく伸びたこと、航空便の減少による輸送にかかる時間の増加、インドネシア税関における通関作業の遅れから、解析に十分なデータ量が確保できなかったため、インドネシアにおける連続 GNSS 観測網のデータを BRIN-LAPAN によって入手し使用することとした。BRIN-LAPAN による解析により、静穏時電離圏パラメータ( $\sigma_{\text{vig}}$ )として 3.78 mm/km を得た [2]。今回構築した電離圏データ収集環境を用いてデータ収集を進め、電離圏静穏時、擾乱時における電離圏勾配解析を行っていく予定である。

インドネシアにおいては、令和 4 年 3 月 15 日及び 3 月 16 日の 2 日間わたり調査対象国 2 であるインドネシアの研究者・技術者に対して、GBAS 導入のための電離圏環境調査に関する訓練を実施した。当初はインドネシアから技術者を招聘する予定であったが、新型コロナウイルス蔓延の影響により、オンラインで開催した。訓練の具体的内容は、GBAS の概要と電離圏の影響の概説、GBAS における電離圏の影響の回避方法と電離圏脅威モデルの必要性の解説、電離圏脅威モデルの具体的内容、電離圏データ解析手法の解説と実演である。インドネシア側からは 1 日目 43 名、2 日目に 22 名の参加があり、活発な質疑応答が行われた。

#### 4. 考察等

当所が培ってきた研究協力関係を活用し、速やかに調査、データ収集を実施することができた。ベトナムにおいては、太陽活動上昇に伴い多くの電離圏擾乱が検出され、令和 4 年度のデータ収集、解析が重要となる。

コロナウイルス蔓延の影響により、インドネシアにおける電離圏データは十分に得られなかったが、BRIN-LAPAN との協力関係を活用し、既存データを用いた解析を行うことができた。技術指導においても多くの研究者の参加があり、インドネシアにおける GBAS のための電離圏環境解析に対する関心の高さが伺われた。

令和 4 年度においても、本研究に引き続いて調査が行われることが決定しており、ベトナム、インドネシアにおいて、現地協力機関と協力し、データ収集・解析、及び技術指導を行っていく予定である。

#### 掲載文献

[1] Nguyen Thanh, D., Le Huy, M., Mazaudier, C. A., Fleury, R., Saito, S., Nguyen Chien, T., Thi Thu, H. P., Le Truong, T., Nguyen Thi, M., “Characterization of ionospheric irregularities over Vietnam and adjacent region for the 2008-

2018 period,” Vietnam Journal of Earth Sciences, 43, 465-484, Aug. 2021.

[2] Supriadi, S., Abidin, H. Z., Wijaya, D. D., Abadi, P., Saito, S., Dwiko, U. P., “Construction of nominal ionospheric gradient using satellite pair based on GNSS CORS Observation in Indonesia,” Earth Planets Space, in press.

令和3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」【受託研究】

担当領域 航法システム領域  
 担当者 ○北村 光教, 坂井 丈泰  
 研究期間 令和3年度

1. はじめに

我が国の衛星測位システムである準天頂衛星システム（QZSS）の開発・整備・運用事業において、2018年11月1日より衛星4機体制による準天頂衛星システム「みちびき」のサービスが行われている。当該サービスは、将来の7機体制構築を含む準天頂衛星システム事業全体の成否を左右する重要なものであって、サービスの実施主体である内閣府から独立した組織が品質評価を行い、サービス品質を維持・改善する計画である。

2. 研究の概要

内閣府による令和3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」は上記品質評価のための業務であり、その一部として当所では一般財団法人日本宇宙フォーラムから本研究を受託した。

本受託研究では、QZSSの測位補強サービスにおけるサブメータ級測位補強サービス（SLAS）及びセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）の性能を評価する。評価期間は2021年4月1日から2022年3月11日である。

3. 研究成果

3.1 サブメータ級測位補強サービス（SLAS）性能評価

SLASは13局の地上監視局を有し、その周辺におけるGNSS測位の測位精度を向上させる補強情報を放送する狭域Differential GPS（DGPS）サービスである。本研究における評価では、日本全域の代表地点として24局の電子基準点を選定し、測位精度評価を行った。その結果、測位誤差の95%値として水平：0.56m、垂直：0.89mという結果が得られ、SLASの有効性が示された。図1はSLASを用いた測位の水平測位誤差と垂直測位誤差の1年間のトレンドである。水平・垂直ともに、若干の精度劣化傾向が見られる。

3.2 センチメータ級測位補強サービス（CLAS）性能評価

CLASはPPP-RTKと呼ばれる高精度測位補強情報を放送するサービスである。日本全域に対して13評価局を選定し評価を実施したところ、静止体測位モードにおける95%誤差は水平：1.7cm、垂直：3.8cm、移動体測位モードにおける95%誤差は水平：3.9cm、垂直：8.2cmという結

果が得られた。図2及び図3は、CLASを用いた静止体及び移動体測位モードにおける測位誤差である。全体を通してセンチメータ級の測位精度を有していることがわかる。

4. おわりに

本研究では、準天頂衛星システムの衛星補強サービスにおけるSLAS及びCLASの評価を実施し、いずれも有用なサービスであることを示した。本研究期間中はまだ太陽活動が比較的静穏であるといえる。そのため、電離圏活動の影響は大きく現れなかったが、今後の増大によるサービスへの影響も予想される。そのため、今後も継続的な評価の実施が必要である。

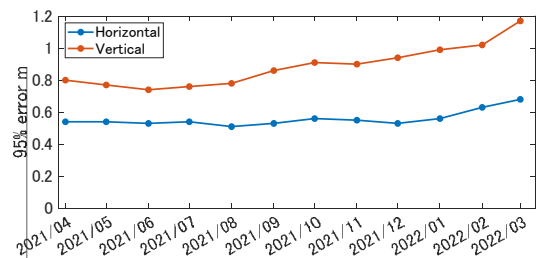


図1 SLAS年間の95%測位誤差（24局合計）

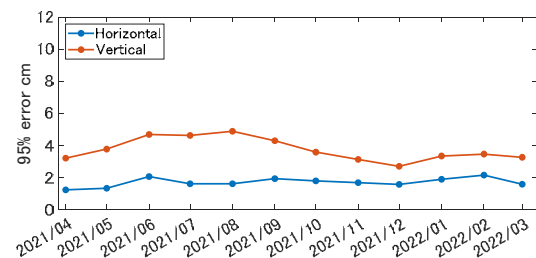


図2 CLAS年間の95%測位誤差（静止体測位モード）

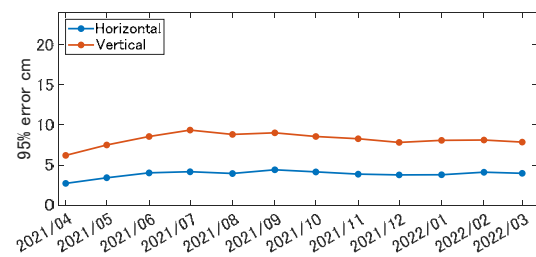


図3 CLAS年間の95%測位誤差（移動体測位モード）

### 3 監視通信領域

#### I 年度当初の試験研究計画とそのねらい

令和 3 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. 滑走路異物監視システムの高度化に関する研究
2. 航空通信基盤の高度化に関する研究
3. 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
4. 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
5. 高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究
6. 航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する研究
7. 空港用マルチ監視技術活用に関する予備的研究
8. 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
9. 量子鍵配送の現状と民間航空への適用に関する調査研究
10. 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
11. 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発
12. 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
13. 簡易類似コンテキストを用いたチーム協調レジリエンス推定に関する実験的研究
14. 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
15. 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
16. 位置検証と位置推定の融合：受信信号強度を例として
17. 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

1～5 は重点研究、6～7 は指定研究、8 は萌芽的研究、9 は調査研究、10～17 は競争的資金による研究である。

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

2 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、既存の AeroMACS プロトタイプも活用しながら、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研究である。

3 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。

4 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た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。

5 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に必要な技術、および高機能空中線を活用して監視機能を実現するために必要な技術を開発する研究である。

6 は、国際的に次世代携帯電話システム等の割り当て検討が行われている 4 GHz 帯において、航空機内データ通信 (WAIC; Wireless Avionics Intra- Communications) 機器と電波高度計および隣接帯域の機器との相互運用性を確保するための共用条件を検討する研究である。

7 は、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にあたり、モード A/C 対応 MLAT、空港面 ADS-B、INCS 技術を空港用マルチ監視技術へ応用するための課題整理と準備を行う研究である。

8 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研究である。

9 は、サイバーセキュリティに対して技術的に機密性が確保される量子鍵配送技術の現状と共に、民間航空の標準規格を調査し、量子鍵配送が民間航空に適用可能か否かを検討、調査する研究である。

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

11 は、多数の機体が高密度に飛行する際、無人航空機と有人航空機の空域共有に必要な安全確保を図るための

情報共有システムについて開発する研究である。当所は、マルチラレーション技術を応用した有人航空機の位置探知システムの研究開発を分担している。

12 は、無人機の山岳地帯での遭難者の捜索、被災地の状況観測等の利用を想定し、山岳等の遮蔽環境でも無人航空機による遠距離の広大なエリアの観測映像を伝送し、長時間滞空可能な固定翼自律 UAV 及びその搭載に適した小型映像中継装置、見通し内外対応が可能な遠隔監視制御装置、アンテナ指向制御方式を有する映像中継システムを実現するための研究である。当所は小型映像中継装置の研究開発を分担している。

13 は、航空交通や医療などの高度な安全が求められる業務領域を想定し、タスク要求や作業条件の変化などの外乱に対する作業チームの適応度（チーム協調レジリエンス）をチーム協調プロセスの変動の監視によって推定する方法を開発し、そのために必要な理論・技術開発、基礎知見を獲得し蓄積することを目的とする研究である。

14 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、MIMO アンテナアレー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。

15 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。

16 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。

17 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。

## II 試験研究の実施状況

「滑走路異物監視システムの高度化に関する研究」では、空港等で行った実証実験の結果を含めて研究全体をとりまとめた。この結果、空港の設置条件を明らかにし、世界トップレベルの探知性能を有することも確認した。

また、評価システムの設置検討とともに、実用化および導入に向けた国内外の活動に参加した。

「航空通信基盤の高度化に関する研究」では、複数の通信システムおよび通信経路に関する評価検討として、VHF データ通信装置を用いた IP 通信実証試験を実施し、次世代航空通信装置への移行が進まない機体でも一定の制限の中で IP 通信に対応できることを確認した。また、市販品が無い LDACS 通信装置について、現在 ICAO 等で策定中の規格・仕様に沿った試作装置を開発した。

「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、現行の運航管理業務の分析に基づく運用プロセスのサービスモデルを提案し、各種情報に対して広域情報品質管理モデルを開発し、世界初の TBO コンセプトによる協調運用に関する実証実験を行った。また、AEROTHAI および FAA と連携し、APAC 地域における SWIM に基づいた情報信頼基盤を構築し、実証実験を行った。さらに、開発した TBO 実験システムを利用して、4DT に基づいた飛行実証実験も行った。

「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、人工知能(AI)を用いた画像認識の精度向上に取り組み、画像処理と知識処理を AR/VR 表示システムに組み込む開発を行った。また、仙台周辺の飛行実験に基づく MLAT データと映像の整合性と精度検証を行い、レーダのない小規模空港の監視環境の改善に役立つコンパクトな監視システム要件のシミュレーションとシステム設計を行った。さらに、R3 年度内の EUROCAE WG100 MASPS の発行に向けた活動にも寄与した。

「高機能空中線を活用した監視技術高度化の研究」では、空中線素子を開発・製作し、指向性制御方式や到来方向推定を実現するアクティブフェーズドアレイ方式、およびこの方式と併用して主に受信機能を向上させるデジタルビームフォーミング方式について開発・検討を進めた。また、ADS-B 位置検証機能および性能概算手順についても開発・評価を進め、メーカーへの技術移転や共同研究、ソフトウェア使用許諾の締結に繋がった。

「航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する研究」では、大学との共同研究の上で、WAIC 周波数帯で、ビーチクラフト B300 型機およびエアバス A320 型機の数値モデルを用いた航空機全体からの詳細な電磁界放射特性を推定可能とする電磁界数値解析法を実現した。また、電波高度計の隣接 5G モバイルシステム周波数帯を含む干渉経路損失(IPL)特性評価測定や電波高度計の干渉発生しきい値を明らかにするための電磁干渉特性評価試験を実施した。さらに IPL 測定系の改善および電波



環境評価システムの構築により、特性測定を高速化した。

「空港用マルチ監視技術活用に関する予備的研究」では、既存監視技術の現状調査と事前検証のためのデータ解析、及び課題の整理を行った。特に、今年度は高度監視の研究において展開した ADS-B 受信機を活用し、NIC 及び NACp のデータを解析したところ、機体への搭載機材に伴う位置精度のばらつきと、同一機材における飛行中の性能の変化が確認できた。

「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、可視光が利用できない空港環境における高雪面等の高精度測定技術を検討し、赤外線ラインレーザーと赤外線カメラを用い、mm 単位で厚さが増加する堆積物について厚さの分布を計測する手法を開発した。

「量子鍵配送の現状と民間航空への適用に関する調査研究」では、量子鍵配送技術の現状と民間航空の標準規格を ICAO 等から調査し、2040 年頃の航空会社の運航と通信・航法・監視のシステムを仮定し、量子鍵配送が適用できる可能性を示した。

「セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発」では、機械走査による W 帯イメージ画像の生成の高速化、ネットワーク化の研究開発、不審物認識システムの統合評価実証試験評価を実施し、危険物の種類によって識別度が低いものはあるが、イメージの動画を用いて人工知能にて着衣の下に隠されている包丁等の危険物を識別できた。

「遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発」では、モード S・モード A/C トランスポンダ搭載機の位置を感知する実験システムについて、処理性能を向上させ、実験システムを用いた実験を行った。この結果、低高度を飛行するモード S および A/C 搭載機の位置を感知できた。また、無人機のリモート識別を行う情報共有システムとの接続試験を行い、リアルタイムで無人機と有人機情報を共有できることを確認した。

「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・隣接チャンネルでの映像伝送・監視制御技術の研究開発」では、機器搭載状態で総重量 10 kg 以下、定常速度 25 m/s、総飛行時間 2 時間の固定翼自律 UAV を設計・製作した。特に、映像伝送システムについては、設計・ハードウェア試作を完了し、要求性能を満足することを確認した。

「簡易類似コンテキストを用いたチーム協調レジリエンス推定に関する実験的研究」では、状況の基本概念によって形式化する理論の提案を行い、これに基づいた行動観察ツール DCAT を開発し、適応的行動の発見を行え

るようにした。

「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、高圧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素子の設計、アンテナアレイ配置法およびアレイ数評価、および MIMO 信号処理回路の構築を実施した。また、複数素子平面アレイアンテナを設計・試作し、アレイ数増加に伴う、仰角放射指向特性の鋭角化と最大利得低下の課題を測定結果から明らかにした。

「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、物理層、MAC 層、アプリケーション層の各要素技術のうち、MAC 層に関して文献調査するとともに、物理層の評価を行うための SDR (Software Defined Radio) プラットフォームの準備を進めた。

「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、提案した理論を ADS-B に応用し、実験した結果、測距誤差を正規分布で近似でき、昨年度導出した理論の前提条件の検証結果が得られた。また、位置推定を位置検証に応用することで、性能向上できる知見も得られた。

「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、アンテナ素子配置と信号処理手法について検証し、計算機シミュレーションの結果を利用してアンテナ素子配置実験装置を設計した。また、各素子に対して各 1 台の汎用ソフトウェア無線機器間をクロック同期させた受信信号の記録に成功した。

本年度は、以上の 17 件の研究・調査に加えて、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. 高高度無人機による制御用通信中継技術に関するアドバイザ
3. ILS 電波解析シミュレーション作業支援
4. VOR 電波障害シミュレーションに関する作業支援
5. RNP 導入に係る解析装置の検討および整理に関する技術支援
6. 滑走路面異物検知装置に関する技術動向調査支援
7. 近距離航空機監視システム性能検証実験支援
8. 電磁波感受性試験
9. 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
10. 欧州リモートタワーシステムに関する技術調査支援

### Ⅲ 試験研究の成果と国土交通政策、産業界、学会等に及ぼす効果の所見

当領域が行う研究は、航空交通の安全性や航空利用者の利便性向上等に関連して航空行政を支援するための基盤技術が多く、ICAO, EUROCAE, RTCA をはじめとする技術・運用基準や国際標準策定等に携わり、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、国内行政の実施する FF-ICE 導入検討会とも連携し、運用面と技術面の課題分析、具体的な運用要件・システム要件の検討を行っている。国際的には、ICAO APAC (アジア太平洋地域) SWIM Task Force(TF)を主導してアジアの標準化作業に参加し、ICAO APAC SWIM Workshop で実証実験を行う等、APAC 地域に情報信頼基盤を導入するための技術課題や実現方法の検討に際し、TF からも評価されている。「航空通信基盤の高度化に関する研究」においては、先行研究から継続的に AeroMACS の飛行を伴う空地通信実験を行うとともに、SWIM と接続して行った評価結果を ICAO に報告し、2022 年以降に発行予定の ICAO IPS SARPs Validation Report への掲載が決定した。また、当所で開発した LDACS 試作装置に関する内容も報告し、意見交換と共に情報収集や LDACS Validation Report の国際相互執筆に取り組む等、ICAO CP (通信パネル) の DCIWG (データリンク通信インフラ作業部会) や各種 WG (作業部会)、PT(Project Team)に積極的に参加している。また、「航空機内データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する基礎研究」においては、EUROCAE WG-96/RTCA SC 236 Joint Plenary (WAIC 標準化) だけではなく、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239 (電波高度計標準化) にも参加し、研究成果を技術基準の策定に反映させる活動を行っている。令和 3 年度は特に、ICAO FSMP (周波数管理パネル) に電波高度計の干渉試験結果に関する寄与文書を提出する等、研究成果を国際標準策定に反映させる活動を実施した。

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」における実験結果を取りまとめ、ICAO SP (監視パネル) および APAC の各種関連会議において ICAO 技術マニュアルへの反映や改訂作業に参画し、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、国際標準化活動にも多大な貢献を行っている。また、高機能空中線の活用策の一つである航空機動態情報ダウンリンク (DAPs) では、受信改善技術に関する当所の検証結果を提出する等、研

究成果の技術文書への反映にも進んで取り組んでいる。以上のようなこれまでの監視関連の研究・開発への取り組みが認められ、令和 3 年度には「広域マルチラテレーション (WAM) の開発」に関し、日本航空技術協会において会長賞を受賞する等、産業界にも多大な効果を与えている。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」では、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的に参画し、研究成果の情報提供を行っており、令和 3 年度における ED-240A Ch.1 の発行に貢献した。同 WG では最新の技術要件 ED-240B の議論も開始され、非光学センサを用いた映像情報との融合による支援技術についても情報を提供しており、今後の活動と共に貢献が期待される。

このように、各研究課題の研究成果は、今後の新たな航空保安システムの技術基準や国際標準等の技術資料として、システムの性能向上や方針策定に貢献している。また当所の研究発表会、電子情報通信学会や日本航空宇宙学会等の国内各種学会、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)

滑走路異物監視システムの高度化に関する研究【重点研究】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森 俊一, 米本 成人, 河村 暁子, 森岡 和行

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

2000年に仏国シャルルドゴール空港で発生した、直前に離陸した航空機から脱落した金属片を原因とするコンコルドの事故以来、滑走路等上の異物（FOD）は非常に重要な空港安全の課題の一つとして認識が高まっている。また、バードストライクなどの突発的な事象は、異物の除去や滑走路の安全確認までに多大な手間と点検時間を発生させることになる。こうした事態は、安全上の問題に加え、航空機の離着陸を制限することから、空港の処理能力や運用効率を低下させる重大な要因となっている。このような背景の下、電子航法研究所（以下、当所）では、主に金属物体を対象に滑走路異物検出システムの研究開発を実施しており、FOD監視システムの探知性能の基準となる滑走路上の1インチ程度の金属片を450 m程度離れたところで検出できる性能を達成したところである。

2. 研究の概要

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

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

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

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



図1 大樹町多目的航空公園における実験状況

表1 MASPS 準拠対象物（寸法 2分の1 以下）探知率結果

対象物	測定数	検知数	検知率(%)
タイヤ片 (高さ5 cm × 幅5 cm)	117	112	95.7
灯火 (直径8.8 cm)	117	117	100
M10ボルト+ナット (長さ4 cm)	135	131	97.0
燃料キャップ (直径4 cm、高さ1.5 cm)	108	107	99.1
コンクリート片 (3片5 cm)	117	117	100
金属片 (高さ7 cm × 幅5 cm)	117	116	99.1

3ヶ年計画の最終年度である令和3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。

- ・これまでの結果取りまとめ（低RCS対象物探知技術の評価試験、異物回収端末ユーザインターフェース（UI）の改善、空港環境および悪天候時の性能評価）
- ・評価システム設置および評価試験の実施
- ・EUROCAE等の国際基準策定会議での発表・提案

3. 研究成果

3.1 これまでの結果取りまとめ

2021年7月に評価システムを用いて一般公開オンラインデモを行い、その結果をもとに2021年8月および11月にそれぞれ大樹町多目的航空公園滑走路（図1）および仙台国際空港で評価試験を実施した。その結果、レーダ送信信号広帯域化による最大10 dB以上のクラッタ低下効果を確認した。また、レーダセンサ高を変化させ、設置高の違いによる滑走路クラッタ変化およびFOD反射電力変化特性を取得した。クラッタを低減しつつ滑走路横断面勾配に対応可能となる最適なレーダセンサ高を明らかにした。さらに、

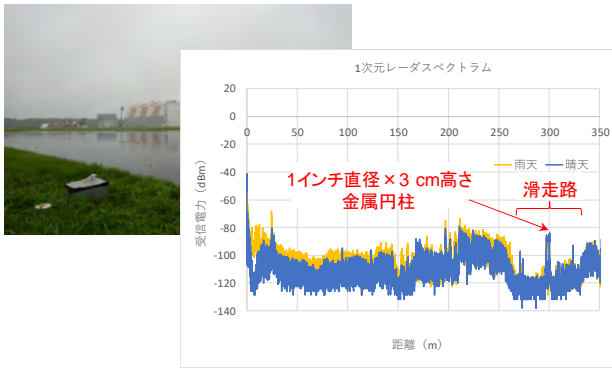


図2 雨天時測定状況および

雨天時 (4 mm/h) における1次元ビートスペクトラム比較

仙台国際空港ではEUROCAE MASPS評価試験を実施し、各辺を半分以下の寸法とした6種の対象物の探知率が規格で定められた95%を超え、世界トップレベルの探知性能を有することを確認した(表1)。

また、雨天データについて、大樹町多目的航空公園での試験結果から降水量4 mm/h程度では滑走路クラッタ、FOD反射電力とも大きな変化が無いことを確認した(図2)。さらに、異物回収端末UIの改善結果として、異物位置の認識性および地図の視認性向上を確認した。

3.2 評価システム設置および評価試験の実施

評価用FOD監視システムの羽田空港設置について、C滑走路の海側部分のILS局舎付近への検討を進めた(図3)。空港転移表面以下においてFOD監視システムの全覆域が最適な入射角条件となるよう、センサ高を設計した。また、設置用鉄塔の設計および鉄塔基礎の設計を実施した。

3.3 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、総務省海外展開事業、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、センサ配置計画、覆域予想、性能検討を実施した。当所実験データに加え、マレーシアのクアラルンプール国際空港における試験結果を分析し、FOD探知率・覆域・誤検知率および雨天影響評価結果等を報告した。これらは、我が国のシステム導入・仕様策定のための基礎データとして社会実装に活用されると同時に、マレーシア側関係者と協力し、FOD監視システムの国際的な導入計画に寄与した。

4. まとめ

令和3年度は、これまでの結果とりまとめと評価システム設置検討を実施し、実用化および導入に向けた国内外の活動に参加した。空港における設置条件を明らかにした上で、世界トップレベルの探知性能を有することを確認した。

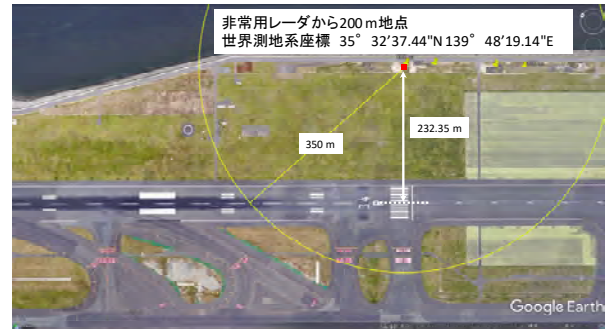


図3 羽田空港C滑走路における設置検討位置

掲載文献

[1] S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, and N. Yonemoto, "Long-Distance Coherent Signal Transmission and Reception Of Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System For Runway Foreign Object Debris Detection", Proceedings of the 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2019), We-Po3-49, pp.1-2, Sep. 2019.

[2] S. Futatsumori, N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, "Research and Development of Airport Surface Foreign Object Debris Detection System", Proceedings of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019), EN-E-2, pp.1, Oct. 2019.

[3] 米本 成人, "滑走路異物監視レーダー-原理から応用まで-", CQ出版株式会社 SDR&信号処理研究会, Apr. 2019.

[4] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 加島 謙一, "滑走路異物探知システム," 2019 Microwave Workshop & Exhibition (2019), Nov. 2019.

[5] 米本 成人, "航空分野における無線利用と最近の話題", UEC無線の会, Jan. 2020.

[6] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 金田 直樹, "光ファイバ無線を利用したレーダ断面積測定システムによる滑走路異物の統計的分析", 電子情報通信学会技術研究報告, MWP2019-63, pp. 93-96, Jan. 2020.

[7] ニッ森 俊一, "空港滑走路異物探知システムの研究開発," 日本機械学会 交通・物流部門ニュースレター, No. 59, Mar. 2020.

[8] 米本 成人, "レーダの仕組みと応用技術 第1回動作原理と基本特性", トランジスタ技術2020年7月号,

- CQ出版社, Jul. 2020.
- [9] 米本 成人, “レーダの仕組みと応用技術 第2回超小型モジュールを例にしたレーダの高周波回路”, トランジスタ技術2020年8月号, CQ出版社, Aug. 2020.
- [10] 米本 成人, “レーダの仕組みと応用技術 第6回複数のレーダとカメラを組み合わせた滑走路異物検出システム”, トランジスタ技術2020年12月号, CQ出版社, Dec. 2020.
- [11] 米本 成人, “レーダの仕組みと応用技術 第7回レーダの歴史と進化”, トランジスタ技術2021年1月号, CQ出版社, Jan. 2021.
- [12] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 柴垣 信彦, 佐藤 洋介, 加島 謙一, “滑走路異物監視システムの高度化に向けた研究開発,” 電子航法研究所研究発表会, 2020年10月
- [13] S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Reflection Angle Dependency Evaluations of Typical Foreign Object Debris on Airport Runway Using Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System”, Proceedings of the 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2020), pp.1-2, Nov. 2020.
- [14] ニッ森 俊一, 米本 成人, 柴垣 信彦, 佐藤 洋介, 加島 謙一, “96 GHz帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物探知システムの各種異物探知率推定 -空港環境測定およびレーダ反射断面積測定による探知率推定-,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120, no. 350, SANE2020-53, pp. 78-83, 2021年1月.
- [15] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, “光ファイバ接続型96 GHz帯広帯域ミリ波レーダにおけるFMCW信号源位相雑音の影響評価測定,” 電子情報通信学会光応用電磁界計測研究会報告, PEM2020-13, pp. 21-25, 2021年1月.
- [16] N. Yonemoto, S. Futatsumori, A. Kohmura, and K. Morioka, “Standardization Activities on Foreign Object and Debris Detection System for Airport”, Proceedings of the 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020), pp. 665-666, Jan. 2021.
- [17] S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Reflection Angle Dependency Evaluations of Typical Foreign Object Debris on Airport Runway Using Optically-Connected 96 GHz Millimeter-Wave Radar System”, Proceedings of the 15th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP 2021), pp.1-4, Mar. 2021.
- [18] ニッ森俊一, 柴垣 信彦, “空港滑走路の安全確保のための滑走路異物探知システムの研究開発,” 日本信頼性学会誌vol. 43, no. 2, pp. 73-78, 2021年3月.
- [19] ニッ森 俊一, “空港滑走路異物探知システムに用いる96 GHz帯ミリ波レーダによる滑走路小異物の反射特性測定—反射角度特性および感度改善効果測定—”, 電子情報通信学会技術研究報告, AMT2021-03, pp. 26-30, Jun. 2021.
- [20] S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Foreign Object Debris Detection Performance Improvement Evaluation of a 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar System in Airport Environments”, Proceedings of the 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2021), pp.1-2, Aug.2021
- [21] ニッ森 俊一, “滑走路異物監視システムの研究開発”, 航空無線109号, Sep. 2021.
- [22] Shunichi Futatsumori, “Development and Field Trial of Airport Runway Foreign Object Debris Detection System”, Airports Authority of India, Aviation Seminar, Nov. 2021.
- [23] S. Futatsumori, N. Yonemoto, N. Shibagaki, Y. Sato, and K. Kashima, “Evaluation of Fundamental Airport Runway Clutter Characteristics Based on 90-GHz Band Millimeter-Wave Foreign Object Debris Detection Radar”, Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA2021), pp.1-2, Nov.2021
- [24] 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”, 港湾空港技術特別講演会 in 関東2021, Nov. 2021.
- [25] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, “ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発”, Microwave Workshop and Exhibition 2021 展示, Nov. 2021.
- [26] ニッ森 俊一, “ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発”, Microwave Workshop and Exhibition 2021, TH2B-01, Nov. 2021.
- [27] Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Norihiko Miyazaki, Noriaki Hiraga, Naruto Yonemoto, “Research and Development Progress of Foreign Object Debris Detection System Based on 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 323, SANE2021-96, pp. 72-75, Jan. 2021.

## 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) 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導入が近づいている。ICAO の標準規格策定が終了している AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System) 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・優先度選択技術の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 2 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模擬した検証システム開発
- 通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査
- 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模擬した検証システム開発

今年度は, 昨年度開発した PC による航空用通信ネットワークの検証システム(図 1 ①)を用いた複数の通信システムおよび通信経路を用いた接続率の推定法の検討, 実アビオニクスによる航空通信の検証システム(図 1 ②)のための, VHF データ通信装置および LDACS(L-band digital aeronautical communication system)試作機の開発, 衛星通信装置の調達を実施した。

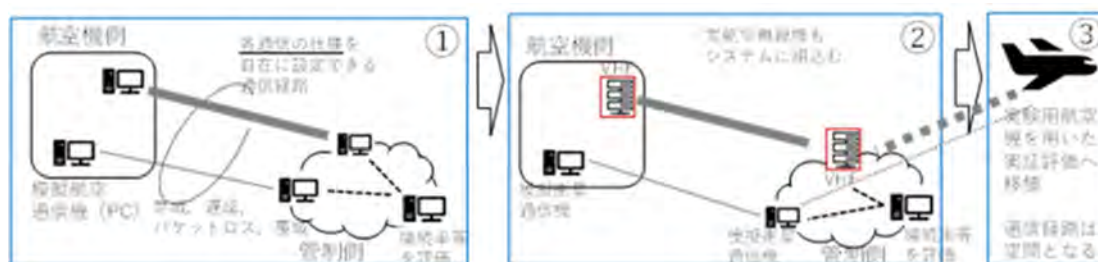


図 1 航空用通信ネットワークの検証システムの構築ステップ

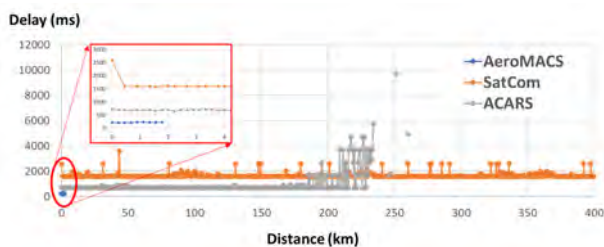


図2 PCによるネットワーク検証システムを用いた通信評価結果の一例



図3 VHF データ通信装置の検証システム

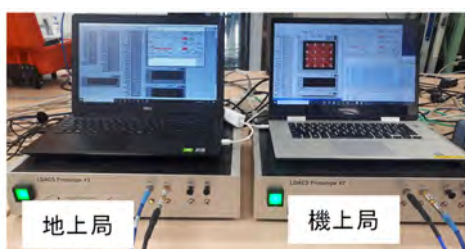


図4 LDACS 試作装置

PCによる航空用通信ネットワークの検証システムを用いた検討では、VHF ACARS、AeroMACS、衛星通信の3つの通信メディアを使用して、航空機が仙台空港滑走路から海上へ離陸し直線的に飛行するシナリオを用意しネットワークシミュレーションと統合した通信評価を実施した。距離と遅延の関係等(図2)から接続率の推定を行った。この推定の信頼性などについては今後の検討課題である。

図3に開発したVHFデータ通信装置の検証システムを示す。VHFデータ通信は、現在の航空データ通信において最も広く用いられている通信メディアである。機上側装置は、小型機によく搭載されるVHFデータ通信装置Collins Aerospace社製VHF-4000を、機体のFMS(Flight Management System)やCMU(communication Management Unit)に接続することなくPCで単独駆動できるようソフトウェアを開発

した。地上側装置は、通常ならば航空通信プロバイダが担う受信・復号作業を、実際の通信と同じARINC規格に沿って行えるAirtel社MTP(Multiple Test Platform)-200という装置を用いる。この装置を用いて、現在のVHF航空データ通信(ACARS)で用いられているテキストベースの通信について次世代のIP通信に適応可能性を検討した。この結果、ARINC841規格MIAM(Media Independent Aircraft Messaging)を用いてバイナリ-テキスト変換を行うことによりIP通信が可能なることを実証した。また、IPフラグメントの分割による1パケットが、ACARSの同一メッセージIDで扱える最大分割数16以下となることも確認できた。一方、通信速度との関係で、送信データ量には制限があることも明らかにした。[3, 9]

さらに、航空通信の検証システムのための次世代航空通信メディアとしてLDACSと衛星通信システムを取り入れる。このうちLDACSについては、未だに国際標準規格の策定途中であり、装置も販売されていない。このため、図4のようにソフトウェア無線機を用いて試作装置を開発した。

### 3.2 通信の秘匿・優先度選択技術の基礎調査

通信の秘匿に関して、航空通信に関する規格・要件を策定している規格化会議(ICAO 通信パネル WG-I)に出席し、各国の検討状況、および性能検証の案の情報を収集している。現在、セキュリティの実装方法には通信相手の認証や通信内容の暗号化等の基本的なプロトコルであるDTLS(Datagram Transport Layer Security)が採用され、マニュアルに記載すべき要件を検討している。

優先度選択技術は、今後の航空データ通信がIPを基盤としてすすめられていくことから、AeroMACSに関する先行研究にて扱ったQoS(Quality of Service)を応用した通信の優先度選択を適用することが可能となる。[4]

### 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はICAO 通信パネル WG-I、周波数管理パネルにて、LDACS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2022年以降に発行予定のIPS SARP's Validation Reportへの掲載が決定し、草稿作成と情報のアップデートを行っている。また、PT-Tへは前節に記したLDACS試作装置について報告し、LDACS Validation Reportの国際相互執筆の取り組みに寄与した。

#### 4. おわりに

令和3年度は本研究の2年目として、昨年開発した航空用通信ネットワークの検証システムを用いた複数のシステムと通信経路に関する評価検討、また実際の航空機で使用できる通信装置を用いた検証システム(VHFデータ通信装置, LDACS試作機, 衛星通信装置)の調達と開発を行った。さらに、従来から使用されているVHFデータ通信装置を用いたIP通信実証試験を実施し、次世代航空通信装置への移行がすすまない機体でも一定の制限の中でIP通信に対応できることを確認した。また、LDACS通信装置は市販品が無いため、現在ICAO等で策定中の規格に沿う仕様を目指して試作装置を開発した。

今後、これまでに開発した検証システム上での接続率等に関する評価検討をさらに進める。また、最終年度の実験用航空機を用いた飛行実験(図1③)を見据え、VHFデータ通信装置と衛星通信装置の航空機への搭載準備、VHFに関しては実験用無線試験局免許の取得もすすめている。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, A. Murata, S. Egami, N. Miyazaki, N. Yonemoto, A. Kohmura, "Flight tests for expanding AeroMACS coverage and air-ground SWIM demonstration", Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) 2021, April 2021.
- [2] K. Morioka, X. Lu, N. Yonemoto, A. Kohmura, "Development of Multi-link Emulator for Heterogeneous Aeronautical Radio Systems," The 16th International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2021 (ICSANE2021), SANE2021-43, pp.61-64, November 2021.
- [3] A. Kohmura, K. Morioka, N. Yonemoto, "Development of air-ground VHF data communication validation system," 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021), p4-19, December 2021.
- [4] 河村暁子, 森岡和行, 長縄潤一, ニッ森俊一, 金田直樹, 呂曉東, 米本成人, 住谷泰人, "AeroMACS を用いた空地通信技術の高度化に関する研究", 電子航法研究所報告技術資料, No.134, pp.33-45, 2021年6月.
- [5] 森岡和行, 米本成人, 河村暁子, "航空無線通信用マルチリンクエミュレータの開発 ~ コンセプトと基本動作確認 ~", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-2-4, 2021年9月.
- [6] 森岡和行, ニッ森俊一, 米本成人, 北折潤, 住谷泰人, 河村暁子, "次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発 ~ システム詳細と IP 疎通まで ~", 日本航空宇宙学会第59回飛行機シンポジウム予稿集, 2021年11月.
- [7] 森岡和行, 呂曉東, 長縄潤一, 宮崎則彦, 米本成人, 河村暁子, "空港面通信システムの覆域拡大に関する実証実験 ~ 上空におけるハンドオーバー実験 ~", 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会予稿集, 2022年2月.
- [8] 森岡和行, ニッ森俊一, 米本成人, 北折潤, 住谷泰人, "次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発 ~ パワーアンプモジュール評価 ~", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2022年3月.
- [9] 河村暁子, 森岡和行, 米本成人, "既存航空用 VHF データ通信システムの IP 化検討", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2022年3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) 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1年目であり、主に以下の研究開発や国際活動を行った。

- ・ 運用面及び技術面の課題分析による広域情報品質管理モデルの提案
- ・ 多地域間の軌道ベース運用を実現するため、国際連携実験システムの構築
- ・ 4次元軌道 (4DT) による飛行実証実験の実施

### 3. 研究成果

#### 3.1 広域情報品質管理モデルの提案

現在、ICAOでは、TBOコンセプトに基づき、航空機的全飛行フェーズの軌道を考慮し、運航に関する状況を認識するとともに最適な航空交通業務の提供及び運航の実現に向けて取り組んでいる。この実現の第一段階として、ICAOは、運航者が時々刻々と変化する気象状態や空域及びその混雑状況等の運航の制約となる情報を考慮した最

適な飛行経路を離陸前に管制機関と自動的に調整できるFF-ICE/R1運用方式の導入を検討している。

ICAOや欧米をはじめとする各国の導入の検討状況を踏まえ、CARATSにおいても、関係者を集めて「FF-ICE/R1導入検討会」を立ち上げ、令和2年から我が国でのFF-ICE/R1の運用要件、システム要件や導入計画等の検討を進めている。SWIMに基づいたFF-ICEの運航管理を実現するためには、現在のテキスト形式の飛行計画や運航に関する制約情報をデジタル形式にするだけでなく、これらの情報を利用して運航者側と管制機関側の自動調整を実現できるサービスモデルの開発も必要となる。

令和3年度は、FF-ICE導入検討会と連携して運用面と技術面の課題を分析し、具体的な運用要件とシステム要件を検討した。また、これらの要件による協調運用を実現するため、具体的な運航管理業務の分析からサービス仕様の作成までの運用プロセスのサービスモデルの開発手順を提案した。この開発手順を利用して、交通流管理に関する具体的な運用シナリオ、情報の流れとデータ形式の分析を行い、具体的なサービス仕様 (サービスの提供者と利用者の確定、サービス間の交換メッセージの定義、実現できる標準情報交換モデル、プロトコルの決定) を作成し、実証実験用の交通流管理サービスを開発した。

また、混在運用環境において、提供できる情報サービスや交換できる情報内容の品質が異なる場合の航空交通管理サービス提供者 (ASP : ATM Service Provider) と空域利用者 (AU : Airspace User) 間の協調的意思決定を実現するため、各種情報の生成から提供、利用までのライフサイクル管理に関する構成要件と検証対象を明らかにし、広域情報品質管理モデルを開発した。

このモデルを用い、明確にした構成要件と検証対象に対して、SWIM 技術インフラ (Technical Infrastructure) の基本サービスや標準情報交換モデルの検証機能などとの連携手法を検討し、国際航空信頼基盤 (International Aviation Trust Framework) のコンセプトに基づいて広域情報も品質管理を実現できる技術的アプローチを提案した。

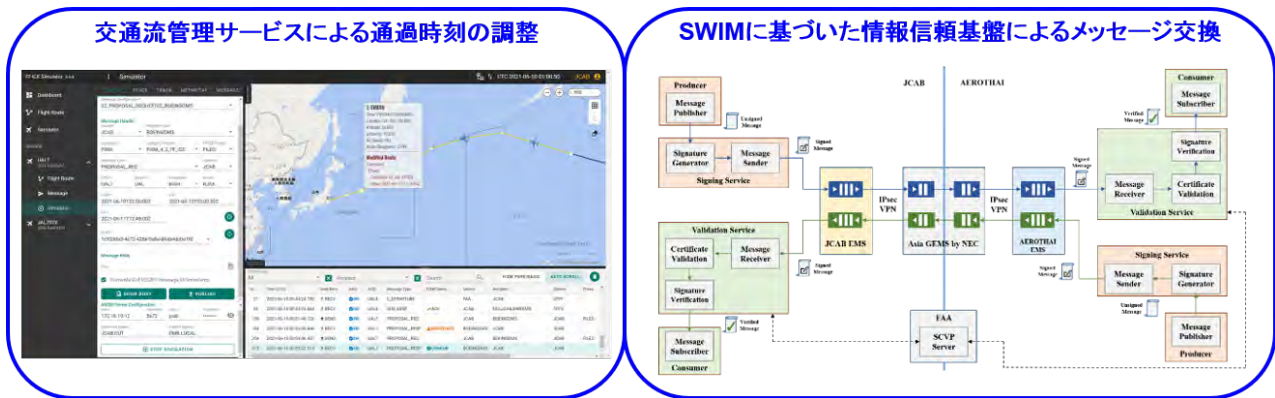


図1 国際連携実験

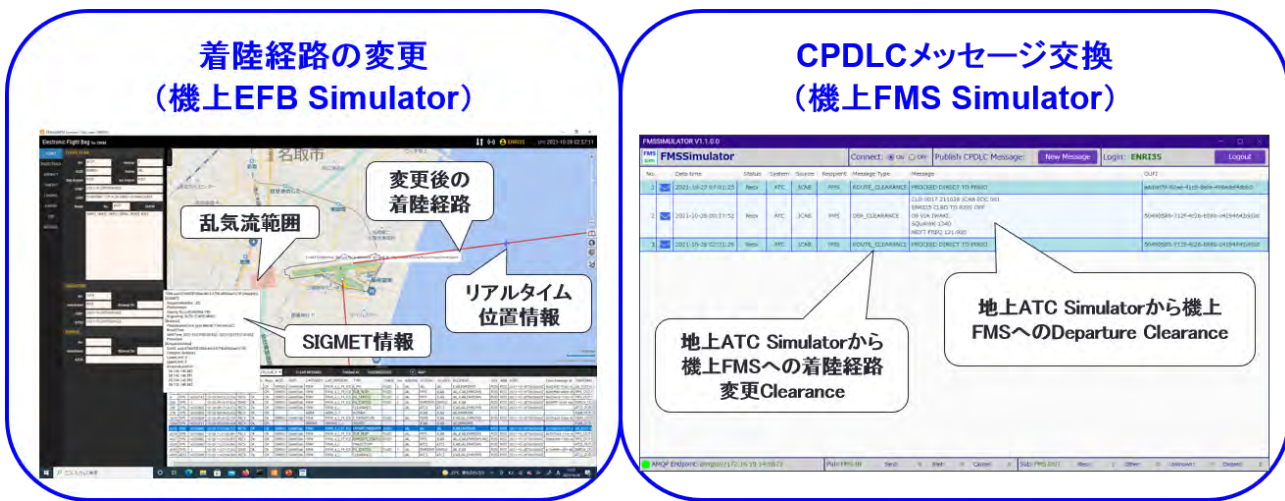


図2 4DT飛行実証実験

### 3.2 国際連携実験と飛行実証実験の実施

令和3年度に提案したモデルと技術的アプローチに基づいた実験システムを開発し、国際連携実験と国内飛行実証実験により性能評価を行った。米国航空局 (FAA)、カナダ、シンガポール、タイと連携して、SWIMやFF-ICEに基づいた軌道ベース運用を実現するため、Multi-Regional TBO Demonstrationの初期 (Phase 1) 実証実験を行った。本実証実験においては、提案技術を用いてFF-ICEサービスと連携するとともにFIXM (Flight Information Exchange Model: 飛行情報交換モデル) メッセージによる指定4次元ポイント (4DP) 通過時刻の自動調整を支援できる航空交通流管理サービスを開発し、FAAを中心とした数か国と連携して世界初のTBOコンセプトにより協調運用に関する技術実証ができた (図1)。令和4年度においては、4次元飛行軌道 (4DT) に基づい

て複数航空機に対応できる交通流管理サービス間の連携に関する実証実験を引き続き計画している。このような国際連携実験の取り組みにより、TBOの導入に向けた運用面と技術面の課題を明らかにでき、ICAO関連会議で議題に取り上げられる等、具体的な運用方法の検討や技術指針の作成を推進できた。

また、アジア諸国と連携して、SWIMに基づいた情報信頼基盤の基本機能を開発するとともに、提案した広域情報品質管理モデルを組み込んだ実験システムも開発した。令和3年度に開催されたICAO APAC SWIM Workshopでは、AEROTHAIとFAAと連携してSigning ServiceとValidation Serviceを用い、ASP間のメッセージ交換実証実験も行った (図1)。この実証実験により、APAC地域に情報信頼基盤を導入するための技術課題や実現方法が検討でき、SWIM Workshopの参加者から高く評価された。本実証実験の結果については、CARATS情報管理検討WG

に報告し、既存施策の調整と新しい施策の検討の推進につながった。これらの研究活動は、地域SWIM導入の技術基準の策定、及び地域SWIM基盤に基づいた協調運用の実現に貢献したといえる。

さらに、空地統合SWIM実験システムに基づき提案した技術を用いて、仙台空港において4DT飛行実証実験を行った。実証実験では、離陸後に、IP Data Linkサービスによる地上管制システム（ATC）と機上飛行管理システム（FMS）間のデータ通信（CPDLC）の機能を検証し、乱気流の影響による着陸経路の変更に関して、機上EFB（Electronic Flight Bag）とFMSが地上SWIMサービスを經由して連携できることを確認できた（図2）。本実証実験により、SWIMに基づいたTBOの導入に向けて機上EFBとFMSを連携させ、管制システムを含む4DTに基づいた戦略的な調整が可能となったことがわかった。

#### 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證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、現行の運航管理業務の分析による運用プロセスのサービスモデルを提案し、各種情報に対して広域情報品質管理モデルを開発した。そして、これらの技術を用いて世界初のTBOコンセプトにより協調運用に関する実証実験を実施した。また、APAC地域において、AEROTHAIおよびFAAと連携して、SWIMに基づいた情報信頼基盤を構築し、実証実験を実施した。さらに、開発したTBO実験システムを利用して、4DTに基づいた飛行実証実験も実施した。次年度は、広域SWIMサービス構築技術を提案し、引き続きTBOに向けて国際実証実験を実施することにより提案技術の有効性を評価する。

#### 掲載文献

- [1] X.D. Lu, “Test System of JCAB,” Multi-Regional TBO Demonstration Guided Discussion 3, online, May 2021.
- [2] X.D. Lu, “Test Report for JCAB-FAA Vignettes,” Multi-Regional TBO Technical Exercise, online, June 2021.
- [3] 呂曉東，森岡和行，古賀禎，“飛行実証実験による空地統合SWIMに関する検討,” 電子航法研究所研究発表会，2021年6月.
- [4] X.D. Lu, “AEROTHAI-JCAB Demonstration on Trust Framework,” ICAO SWIM Workshop, online, July 2021.
- [5] X.D. Lu, “SWIM Infrastructure to Achieve Message Level Security,” ICAO Fifth Meeting of SWIM TF, online, August 2021.
- [6] X.D. Lu, K. Morioka, “Connected Aircraft for Operational Awareness,” IEEE GCCE 2021, online, October 2021.
- [7] X.D. Lu, “Updates of JCAB for Phase 2,” Multi-Regional TBO Technical Interchange Meeting 3, online, October 2021.
- [8] 呂曉東，“MR TBOにおける国際航空信頼フレームワークの構築,” CARATS第46回情報管理検討WG, 2021年11月.
- [9] 呂曉東，“SWIMにおけるFF-ICEやTBO実証実験システムの開発について,” SDECC出前講座, 2021年11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

映像や情報センサ等のデジタル技術により、空港の航空管制システムは新たなシステムへと変わりつつある。この新しい空港のタワーシステムは「リモートタワー」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。）と呼ばれている。これらシステムは、カメラやセンサにより空港の状況を把握するための映像情報や監視対象物の位置情報を取得し、従来の管制塔とは別の場所に設置された管制室に送られ、システムの表示装置に管制塔と同様な視界を表示することで、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

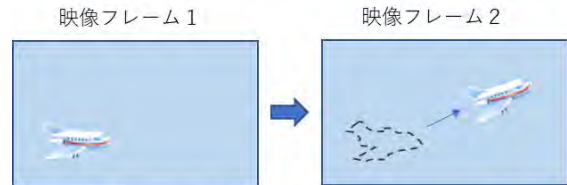
研究開発では、管制塔と同様の視界を再現するシステムに加え、オペレータの業務を主に視覚的に支援する機能により安全性の向上や、効率的な運用が可能なシステムの開発を目指している。

### 2. 研究の概要と活動

本年度は4か年計画の初年度であり、物体の検知と表示に関する課題に対応するため、画像識別による追尾精度向上等に取り組んだ。特にAR/VR表示システムの検討、人工知能(AI)を用いた画像認識の精度向上、コンパクトな監視センサの構成等設計、国際標準化活動等を実施した。

#### 2.1 物体の検知と表示～機能とシステムの概要

RDTシステムでは、管制官を始めとするオペレータの視覚を支援するために、動的な物体を映像情報から検出し、それらをボックス表示する動体検知機能のシステムを開発した。動体検知機能の考え方のイメージを図2に示す。



・映像のフレーム間の比較差分から動体を検出する

図2 動体を検出する基本的な仕組み

映像情報から動体を検出する基本的な考え方は、図2に示すように背景差分法<sup>[1]</sup>を基本とし、映像情報を構成する各フレーム画像の情報を比較し、フレーム間の画像データで差分があることで動いた物体を検出する。実験用に構築したRDTの評価システムでは、管制塔からの視界に相当する画面の画素数は、1枚の画像で3840×2160×6+1920×1080×6のピクセルとなっており、画像データ量が非常に大きいサイズとなる。フレーム間の差分を検出する動体検知の仕組みは、このような大きな画像データの場合でも比較的、高速に処理する利点がある。評価用のシステムでは、上記のサイズの画像データを表示更新レートと同様の30fpsで処理して、ディスプレイ上の映像にリアルタイムに動体検出したターゲット位置を合成表示している。ただし、単純に差分を検出するだけだと、障害物やすれ違いなどによって、検出したターゲットが分断されたり、見失ったりするため、安定した連続検知を行うことが難しくなる（図3）。



図3 障害物により2つに分断された結果の例

そこで、検出されたターゲットの移動方向や移動量等のパラメータを使用して、ターゲットの移動状態を保持しつつ、ターゲットの分裂や分断される状態を補完する技術を加えることで、検知の連続性やノイズの除去等の精度向上ができる技術を開発、導入している。例えば図

3に示す手前の尾翼によって分断された航空機の画像も、移動方向や移動量から同一のターゲットであると判断することで、分断状態を抑制できる。

## 2.2 物体の検知と表示～基本的な動体検知機能に対する課題

2.1で示した検知機能を評価用システムで評価したところ、気象や視程の条件によっても変化して固定値を示すことは難しいが、カメラの設置されている空港内および比較的距離の近い上空などでは、誤検知なども少なく、連続的に良好な検知を行うことができる結果を得た。しかし、いくつかのケースにおいては視程が良い条件であっても、上記で示した差分検出による基本的な手法だけでは、誤検知が起き、逆に検出が難しいケースもあることがわかった。ターゲットが遠方にいる場合に、ターゲットの検出ができない状況下で差分検出の感度を上げた場合、ノイズの誤検知が起きる。このような事象は航空機がアプローチしてくるようなケースで生じる。遠方の航空機が映像では画面上の小さな点でしか見えない状況を、管制官等のオペレータは経験や知識から、その小さな点が航空機であることを認識できる。これを、単純な画像処理の機械で対応する場合、点が航空機であるのか、またはノイズであるのかを判別できない。差分を検出するために感度を上げると雲や少しの背景の変化などのノイズ情報も拾うため、判別は困難になる。一方、ノイズを低くすると、ターゲットが見えていても、検出しづらくなるジレンマが生じる。そこで、これらのノイズを除去するための方法として、次章に詳しく述べる画像識別による追尾精度向上に取り組んだ。

## 2.3 監視センサの構成等設計

仙台ローカルでの飛行実験による MLAT データと映像の整合性と精度検証を実施した。また、小規模空港でも RDT システムのサービス性と安全性を発揮する小型監視センサ技術の導入が期待されているため、レーダーのない小規模空港の監視環境の改善を目指したコンパクトな監視システム要件のシミュレーションとシステム設計等を実施した。

## 2.4 国際標準化活動

RDT は、航空用技術基準として EUROCAE WG100 が設立され、技術要件を策定中である。過去の関連研究以降、コアチームのメンバやエディタとして、議論に継続的に参画、活動し、評価結果等について報告してきた結

果、令和3年11月には MASPS ED-240A Change1 が発行された。また、最新の技術要件 ED-240B の議論も開始され、非光学センサを用いた映像情報との融合による支援技術の情報を提供している。




## 3. 画像識別による追尾精度向上への取り組み

2.2に述べたように、いくつかのケースにおいてはターゲットの移動量や方向による差分検出の技術だけでは検出の精度に問題が生ずる場合があり、これらの問題に対応するために、人工知能を用いた問題解決のアプローチに取り組んだ。一つは画像を認識・識別する手法である。もう一つは、画像処理だけでは認識・識別する情報が十分ではない場合にもターゲットを識別できるよう、業務に関する知識処理を用いた手法である。

### 3.1 画像処理による認識・識別手法

画像処理による認識・識別手法は、最近の AI による認識で最もポピュラーな手法の一つで、ニューラルネットワークなどが良く知られている。これらの基本的な手法は認識・識別したいターゲットの画像を機械学習することで、ターゲットの画像の特徴量を計算機に記憶させる。そして、システムで認識・識別したいターゲットの画像を入力すると、計算機は入力画像の特徴量と学習データとの特徴量を比較し、学習データとどのくらい近いかを出力する。システムは出力結果からターゲットが何であるかを決定する。基本的にはパターンマッチングに則った手法である。ただし、これらのパターンマッチングは判別したいターゲットを入力画像として適切に処理する必要がある。そこで RDT のシステムで使用するためには、パノラマの映像中からターゲットとなる部分の画像を自動的に切り抜き、認識・識別するような仕組みとしている。映像の識別技術を導入することで、ターゲットの判別には有効であることが評価結果から得られた(表1)。表1に示したように、入力情報のターゲット画像は小さくても、航空機のかたちが判別できる程度の情報があれば、高い確率で航空機と判定していることが分かる。

表1 学習データに対する認識・識別をした結果の例

入力画像				
出力	0.9999	1.0000	0.9997	0.9998

ただし、航空機の形をパノラマ画面上で確認できるのは機種にもよるが2NMを超えると厳しくなる。そのため、それより遠方のターゲットをより正確に認識・識別するために、知識処理の手法を合わせてシステムに組み込むことを検討した。

### 3.2 知識処理

本研究では、仙台空港に隣接した岩沼分室において実験システムを設置して評価している。今回は、仙台空港のRWY27にアプローチしてくる航空機に対して、知識処理を行う仕組みを構築した。知識処理の詳細な内容については割愛するが、管制官などのオペレータが経験などに基づくのと同様に知識を記述した。その結果、映像中に点のように見えるターゲットを検出さえできれば、5NM程度でも高い確率で航空機を捉えることができるようになった。5NM以遠でも、ターゲットさえ画像データとして検出できれば9NM程度でも検出はできる。しかし、映像情報を使用するため、遠方になると視程や気象条件次第で、小さい場合にターゲットが画像データとして物理的に検出できない状況があった。このようなケースでは連続性を映像では担保できないため、遠方ターゲットにおける映像データだけの安定的な検出は今後の課題と言える。

## 4. まとめ

本研究ではRDTの実用化に向けて引き続きシステムの研究開発を実施してきた。今回は映像システムにおける動体検知技術の精度向上についての取り組みについて検討し、その評価や課題について整理した。評価で得られた課題は、さらなる機能向上やシステムとしての高機能化に繋げるべく研究を引き続き実施していく予定である。

### 参考文献

(1) 波部, 他, 「動的環境における頑健な背景差分の実現法」, 情報処理学会ワークショップ論文集(1998)

### 掲載文献

[1]Inoue, S. & Brown, M., ENRI Remote Tower Latest Technical Developments., EUROCAE WG-100 #26 (Nov. 2021)

[2]井上 諭, “管制塔のデジタル化に向けて “安全インターフェース最前線, ヒューマンインターフェース学会誌, 23 - 2, (2021)

[3]井上 諭 他 4 名, 遠隔型タワー (リモート・デジタルタワー)のための映像システムと支援機能の開発, 航空管制 (航空交通管制協会誌 2021 - No.4 ) (2021)

[4]吉田 悠, 青山 久枝, 狩川 大輔, 井上 諭, 菅野 太郎, 古田 一雄, 色の誘目度モデルを用いた航空管制レーダー画面の設計指針の検討, 日本人間工学会論文誌-人間工学, Vol.57 No.4, (2021)

[5]井上 諭, デジタル管制塔の実現に向けたデザイン研究, 武蔵野美術大学産学連携成果報告集, (2021)

## 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。このシステムは各センサーの長所を取り入れることができ、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。システムにおいて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

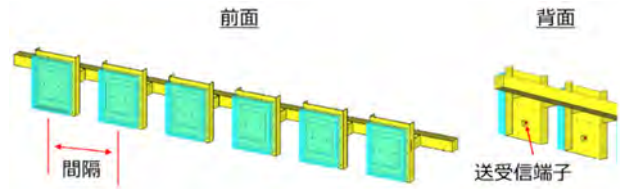
本研究は高機能空中線の素子および指向性制御方式ならびに高機能空中線を活用した SSR・WAM・ADS-B 相当の監視機能に必要な技術を開発する。また、高機能空中線の導入効果を検討する。本年度は3ヶ年計画の1年目であり、以下の内容を実施した。

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

### 3. 研究成果

#### 3.1 空中線素子の開発・製作

様々な監視センサーの送受信要件に対応するためには、電波の指向性制御や到来方向推定が必要となる。これに向け、本年度は6素子のリニアアレーを開発・製作した。図1(a)には構造、図1(b)には写真を示す。電子航法研究所(以下、当所)におけるセクタ型アンテナの実績を踏まえ、金属パッチを採用した。従来品との違いとしては、素子ごとに送受信端子が具備されており、後述する制御方式と組み合わせ、指向性制御や到来方向推定が可能となる。また、相互結合と呼ばれる性能低下要因を低く抑えているほか、実験用に素子間隔が変更可能な構造とした。



(a) 構造



(b) 製作物写真

図1 空中線素子

#### 3.2 指向性制御方式の検討・開発

指向性制御や到来方向推定を実現する方式の検討と開発を行った。検討では、文献調査等をもとにアクティブフェーズドアレイ方式(以下、アクティブ方式)およびデジタルビームフォーミング方式(以下、デジタル方式)を開発の方向性として選定した。アクティブ方式は送受信のための基本方式で、デジタル方式は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。

アクティブ方式については、航空局が所有する実験用地上機材を活用した飛行実験を実施した。当所実験用航空機に対して質問・応答の電波送受信を行い、測定データを取得した。測定データを分析することで、航空路マルチセンサーへの適用に向けた課題を抽出した。その結果、次の2つの課題が明らかとなった。1つ目は覆域の拡大である。図2(a)には送受信が成功した位置を示す。装置の近傍(60NM以下)では良好に送受信できたものの、遠方では成功していない地点が生じており、既存システム(SSR)相当の250NMには到達しなかった。また、2つめの課題は到来方向推定の精度向上である。図2(b)には誤差分布を示す。

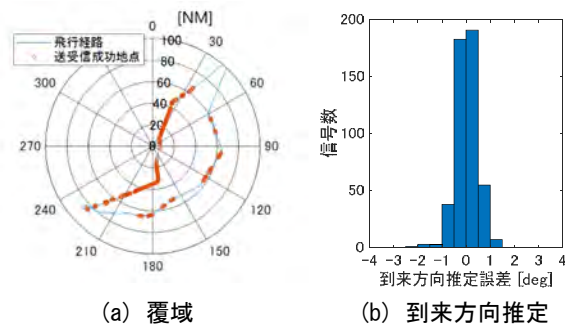


図2 アクティブ方式の実験結果

おおむね $\pm 1^\circ$ の範囲に入っており、到来方向の推定に成功している。しかしながら、精度は誤差の標準偏差で $0.44^\circ$ となり、既存システム相当(SSR)の $0.06^\circ$ には到達しなかった。今後、測定データ分析を継続し、デジタル方式との併用を含めて、課題解決策に取り組む。

デジタル方式については、図3(a)に示す実験用システムを構築した。まず、指向性制御の基本的な動作確認を行った。具体的には、指向性を変化させたときの受信強度の変化を観測して、実際の航空機位置と一致することを確認した。次に、到来方向推定の動作確認を実施した。図3(b)には結果として誤差分布を示す。おおむね $\pm 2^\circ$ の範囲に入っており、到来方向の推定に成功した。誤差の標準偏差は $0.92^\circ$ であった。なお、この結果をアクティブ方式の結果である図2(b)と比較すると誤差が大きい。理由としては、素子に指向性制御を前提としない既製品を用いたためであり、今後、本年度開発した素子を接続することで性能を改善する計画である。

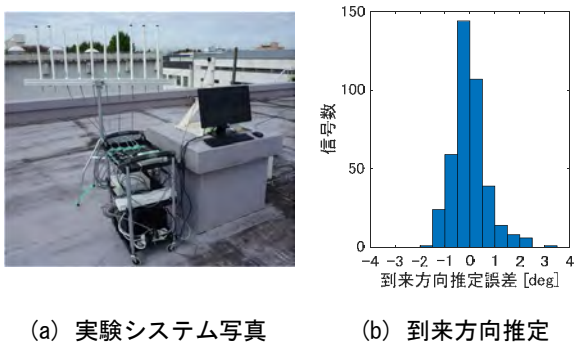


図3 デジタル方式のシステムと実験結果

### 3.3 監視機能の検討・開発

高機能空中線を活用したSSR・WAM・ADS-B相当の監視機能の検討・開発を進めた。検討では、文献調査等をもとに、ADS-B位置検証については先行研究の拡張、測位についてはテイラー級数法の拡張を開発の方向性とすることを決定した。

本年度の開発はADS-B位置検証を中心に進めた。本機能は地上側でADS-B信号の到来方向と到達時間差を測定し、位置情報から予測される値と比較することで、位置情報の正当性を判定する(以下、提案法)。図4には提案法の実験結果例を示す。まず、図4(a)に示すように、ある在空中機のADS-B信号をもとに、不正な位置情報を模擬的に生成した。次に、到来方向と到達時間差の測定データをもとにして判定の基準となる検定量を計算した。結果は図4(b)となり、正当な情報は検定量が低い一方、不正な情報は検定量が高い値に偏り、検知可能であった。上記の結果から、提案法の動作を確認できた。なお、実際には位置関係などの様々な条件で見逃しが発生しうるため、後述するように性能概算手順による網羅的な評価も必要となる。

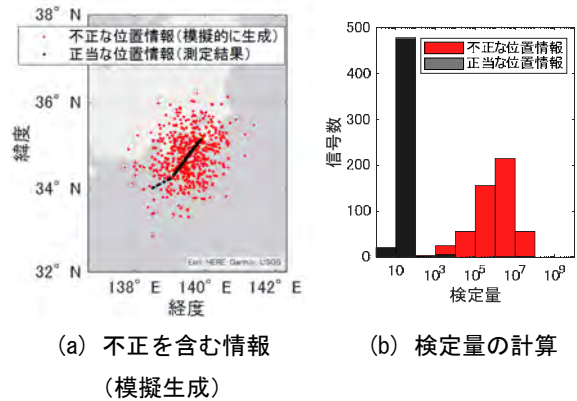


図4 ADS-B検証機能の実験結果例

### 3.4 導入効果の検討

提案法の効果を検討するために性能概算手順を開発した。先行研究において信号到達時間差を使った手順を確立していたため、高機能空中線向けの拡張として到来方向の併用を可能とした。本手順はADS-B位置などを網羅的に変えながら、不正検知の可否を計算し、平均的な検知率を計算するものである。計算例を図5に示す。このような計算を、条件を変えながら行うことで、提案法の効果を試算した。その結果を図6に示す。従来の信号到達時間差のみを使った場合には、受信局配置や測定精度に関する特定の条件下で性能が低下する場合があることが明らかになった。その場合の性能は、図6の「時間差のみ」の値で、95%を下回った。しかしながら、到来方向と併用することで性能を補強できた。補強の度合いは受信局数と測定精度(図中 $\sigma$ の値)で異なるが、粗い精度でも一定の効果があり、高い精度であれば100%に近い検知率となることを確認した。上記の性能概算手順はメーカーへの技術移転にも活用し、共同研究やソフトウェア使用許諾の締結に繋がった。



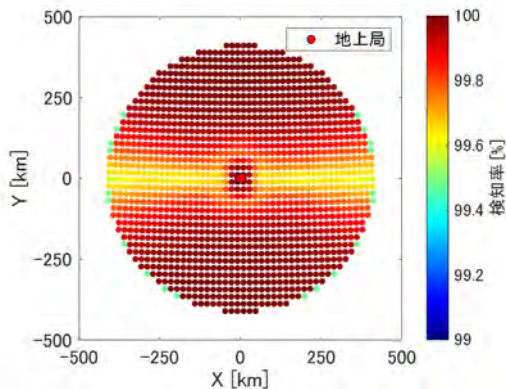


図 5 性能概算手順の例

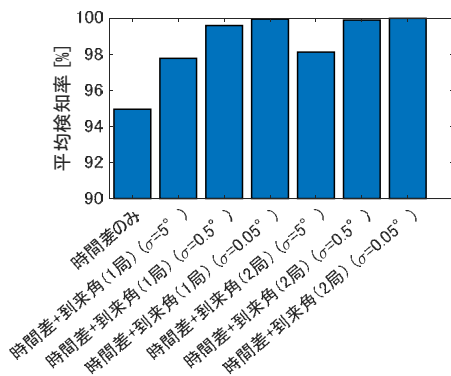


図 6 ADS-B 検証性能の効果試算結果

また各社の違い（受信機性能など）を踏まえて性能概算できる利点がシステムを設計する上での助言に活用できた。

以上、前節から述べた検討、開発、導入効果分析の一連の研究成果は、令和3年度の CARATS 通信・航法・監視ワーキンググループにおいて ADS-B の航空路への監視センサー導入の意思決定の根拠の一つとして、活用された。

### 3.5 国際標準化活動

先行研究から続いて ICAO 監視パネル（SP）やアジア太平洋地域の APANPIRG 関連会議に参画している。監視パネル関連会議では技術マニュアルの改訂を担当している（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）。アジア太平洋地域では監視実施調整会議（SURICG: Surveillance Implementation and Coordination Group）および航空機動態情報ダウンリンク（DAPs: Downlink Aircraft Parameters）会議に参加した。DAPs は高機能空中線の活用策の 1 つでもあり、参加国から提案のあった受信改善技術に関して、当所の検証結果を提出した。これら会議では成果物として技術文書を取りまとめており、今後研究成果の反映を目指す。

### 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、ADS-B 位置検証機能の開発・評価等を進めた。今後は、素子の改修・評価ならびに制御方式の開発・評価を行う。評価にあたっては、空中線と指向性制御方式を接続した実験を行う。また、測位も含めた監視機能の開発・評価ならびに導入効果の検討を進める。

謝辞

実験装置の設置及び評価試験の実施にご協力を頂いている国土交通省の関係各位に感謝の意を表します。

掲載文献

- [1] J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima, T. Koga, J. Kitaori, “Numerical Simulation of Aircraft Position Verification using AOA and TDOA for ADS-B,” ISAP 2021, Oct. 2021
- [2] J. Naganawa, H. Miyazaki, H. Tajima, T. Koga, J. Kitaori, “TDOA and AOA Measurement System for Investigating Aircraft Position Verification,” ICSANE 2021, Nov. 2021.
- [3] H. Miyazaki, “Update of Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/13, April 2021.
- [4] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/13, June 2021.
- [5] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG/14, Nov. 2021.
- [6] H. Miyazaki, “Surveillance Material in Doc 9830 A-SMGCS Manual,” ICAO SP ASWG TSG/14, ASWG TSG 14-13R2, Jan. 2022.
- [7] China, Japan, Singapore and the Secretariat, “Status on the updates to the SI/II codes assignment criteria in Doc 9924,” ICAO APAC SURICG/6, IP/02, Sep. 2021.
- [8] ENRI, “An Evaluation Example of a Non-Cooperative Method for DAPs Data Recognition,” ICAO APAC DAPs WG/5, IP/11 Mar. 2022.
- [9] 宮崎裕己, 長縄潤一, “広域マルチラテレーションの開発,” 航空技術, 第 797 号, pp.24-27, 令和 3 年 8 月.
- [10] 長縄潤一, 宮崎裕己, 古賀禎, 田嶋裕久, 角張泰之, “TDOA と AOA を用いた航空機位置検証法のシステム設計に関する検討,” 信学技報, SANE2021-14, pp.29-34, 2021 年 6 月.
- [11] 長縄潤一, 宮崎裕己, 田嶋裕久, 古賀禎, 北折潤, “AOA と TDOA を併用した航空機位置検証における誤差の考慮,” 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-2-10, 2021 年 9 月.

担当領域 監視通信領域

担当者 ○ニッ森 俊一，米本 成人，河村 暁子，森岡 和行

研究期間 平成30年度～令和3年度

## 1. はじめに

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

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

## 2. 研究の概要

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

本年度は4カ年計画の最終年度であり、次の3項目について並行して研究を進めた。

- (1) これまでの評価結果を踏まえた共用条件の検討/WAIC機器に対する航空機搭載認証のための電磁環境評価方式の検討
- (2) WAIC機器の通信品質を確保するための電波環境評価システムの構築
- (3) WAICおよび航空機電磁干渉に関する国際標準化活動の実施

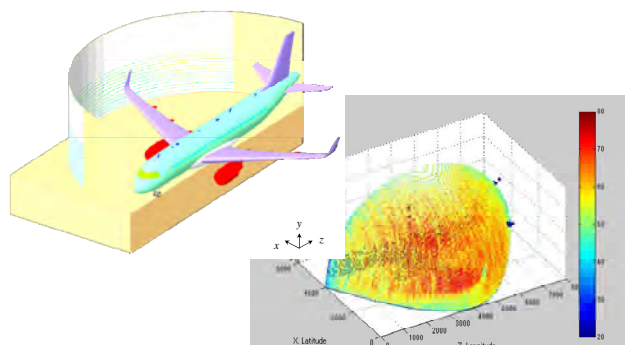


図1 Airbus A320-200 型機数値モデルと解析結果例



図2 ビーチクラフト B300 型機干渉経路損失測定状況

## 3. 研究成果

3.1 これまでの評価結果を踏まえた共用条件の検討/WAIC機器に対する航空機搭載認証のための電磁環境評価方式の検討

北海道大学との共同研究により、WAIC周波数帯での航空機全体からの詳細な電磁界放射特性を推定可能とする電磁界数値解析法について、ビーチクラフトB300型機およびエアバスA320型機の数値モデルを用いて世界で初めて実現した（図1）。また、B300型機/BK117C-2型機（宇宙航空研究開発機構との共同研究で実施）の電波高度計の隣接5Gモバイルシステム周波数帯を含む干渉経路損失（Interference path loss, IPL）特性測定を実施した（図2）。これらの測定結果は、RTCA DO-307Bで引用されている。さらに、電波高度計の干渉発生しきい値を明らかにするため、DO-155に基づく電磁干渉感受性評価試験を実施し、延べ7台の帯域内/帯域外干渉特性の取得を実施した（図3）。



図3. 電波高度計の電磁干渉試験対象機材の一部 (Honeywell RT-300)

### 3.2 WAIC機器の通信品質を確保するための電波環境評価システムの構築

電波高度計周波数帯および隣接周波数帯において、高速にIPL特性測定が可能となるようにIPL測定系の改造およびソフトウェア改修を実施し、前述の小型固定翼機およびヘリコプタのIPL特性評価測定を実施した。また、COTS製品のソフトウェア無線機を用い、隣接周波数帯域を含めた、電波環境評価システムを構築した。

### 3.3 WAIC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ている。ICAO FSMPにおいて、電波高度計の干渉試験結果に関する寄与文書を1件公表した。また、EUROCAE WG-119/RTCA SC-239では、将来の電波高度計規格の策定のため、日本の5Gモバイルシステム基地局のパラメータを報告した。

## 4. まとめ

令和3年度は、WAIC機器と電波高度計の共用条件策定に資する電磁界数値解析推定技術およびIPL特性評価測定、電波高度計の電磁干渉特性評価試験を実施した。また、IPL測定系の改善および電波環境評価システムの構築を実施した。さらに、国際標準化活動を実施し、得られた成果について国内関係者と情報共有し、国内における電波高度計の電磁環境特性の改善および航空機の安全性向上に資する活動を行った。

## 掲載文献

- [1] Shunichi Futatsumori, Tetsuya Sekiguchi, Takashi Hikage, "Propagation Characteristics Estimation for Wireless Avionics Intra-Communication Systems Based on Large-Scale FDTD analysis," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #8 document, May 2018.
- [2] Shunichi Futatsumori, Takashi Hikage, "Microwave Electromagnetic Field Characteristic Inside Carbon Fiber Reinforced Plastic Structures Evaluation Based on Reverberation Chamber and Human Phantom," proc. of 2018 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2018), MO-UE.1P.5, Jul. 2018.
- [3] Tetsuya Sekiguchi, Takashi Hikage, Shunichi Futatsumori, Akiko Kohmura, Naruto Yonemoto, "A Large Scale FDTD Analysis of Propagation Characteristics for Wireless Link Design of 4.4 GHz-band WAIC Installed on Passenger Aircraft," proc. of 2018 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2018), FR-UB.5P.4, Jul. 2018.
- [4] Shunichi Futatsumori, and Naruto Yonemoto, "Experimental investigation of adjacent-band interference into radio altimeter due to LTE-Advanced base stations," ICAO FSMP Working group information paper, FSMP-WG7-IP08, Sept. 2018.
- [5] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 関口 徹也, 日景 隆, 野島 俊雄, "航空機電波高度計と航空機内データ通信の周波数共用基礎検討 -小型航空機における電波高度計の地上放射特性測定-", 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-16, p. 182, Sept, 2018.
- [6] Shunichi Futatsumori, "Radiation power measurement from Beechcraft B300 FMCW radar altimeter," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #10 document, Oct 2018.
- [7] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 大宮 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "大規模 FDTD 解析を用いた航空機外における WAIC 周波数帯伝搬特性推定", 平成 30 年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.115, 札幌市, 2018 年 10 月.
- [8] Shunichi Futatsumori, Norihiko Miyazaki, Tetsuya Sekiguchi, Takashi Hikage, "Evaluation of Aircraft Electromagnetic Field Propagation Characteristics at 4 GHz Wireless Avionics Intra-Communication Band - Numerical Analysis Based on Airbus A320-200 model

- and Field Measurement Using Beechcraft B300 aircraft -," proc. of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2018 (ICSANE2018), IEICE Tech. Rep., vol. 118, no. 287, SANE2018-83, pp. 137-140, Nov. 2018.
- [9] ニッ森俊一, 宮崎則彦, 関口徹也, 日景 隆, 野島俊雄, "4 GHz航空機内データ通信システム用周波数帯における航空機電磁界伝搬特性の基本測定", 第56回飛行機シンポジウム講演集, 2D07, JSASS-2018- 5123, 2018年11月.
- [10] Tetsuya Sekiguchi, Takashi Hikage, Manabu Yamamoto, Toshio Nojima, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Akiko Kohmura, Naruto Yonemoto, "Numerical estimation of propagation path loss for wireless link design of WAIC systems installed on outside aircraft cabin based on large-scale FDTD simulation" IEICE Communications Express, vol. 8, no. 5, pp. 129 – 134, Feb. 2019.
- [11] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 野島 俊雄, ニッ森 俊一, 河村 暁子, 米本 成人, "大規模 FDTD 解析を用いた 4.4GHz 帯 WAIC システムのための機外観測面における伝搬特性推定", 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J102-B, no. 2, pp. 72 – 79, 2019 年 02 月.
- [12] S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, T. Hikage, T. Sekiguchi, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Analysis of radar altimeter interference due to wireless avionics intra-communication systems by using large-scale FDTD method -Investigation on Airbus A320 class passenger aircraft-," Applied Computational Electromagnetics Society Journal, vol. 34, no. 2, pp. 365 – 368, 1054-4887, Feb. 2019.
- [13] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Point Source Transmitting Power Estimation of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Using the Large-Scale FDTD Method," Proceedings of 2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES2019), Apr. 2019.
- [14] T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura and N. Yonemoto, "Numerical Estimation of Propagation Path Loss for Wireless Link Design of WAIC Systems Installed on outside Aircraft Cabin Based on Large-Scale FDTD Simulation," IEICE Communications Express, vol. 8, no. 5, pp.129-134, May 2019.
- [15] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, 日景 隆, 関口 徹也, 野島 俊雄, "航空機内データ通信における国際標準化動向および電磁環境評価", 令和元年度 (第 19 回) 電子航法研究所研究発表会講演概要集, pp.25-28, Jun. 2019.
- [16] S. Futatsumori, N. Miyazaki, T. Sekiguchi, and T. Hikage, "Measurement of Radiation Power from an Aircraft FMCW Radar Altimeter for Investigating Spectrum-Sharing Conditions with Wireless Avionics Intra-Communication Systems," Proceedings of 2019 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2019), WE-UE.1P.2, Jun. 2019.
- [17] T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, T. Nojima, S. Futatsumori, A. Kohmura, N. Yonemoto, "A Large Scale FDTD Analysis of Cross Polarization Characteristics for Wireless Link Design of 4.4 GHz-band WAIC Systems inside and outside Aircraft Cabin," proc. of 2019 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2019), TH-A1.2P.7, Jul. 2019.
- [18] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 野島 俊雄, 大宮 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "大規模 FDTD 解析を用いた 4.4GHz 帯 WAIC システムのための機外観測面における伝搬特性推定", 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 120, AP2019-43, pp. 119-122, Jul. 2019.
- [19] S. Futatsumori, "Interference Pass Loss measurement at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #16 document, Oct. 2019.
- [20] S. Futatsumori, "Measurement of Radiation Power at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft," EUROCAE WG-96/RTCA SC-236 Joint Plenary #16 document, Oct. 2019.
- [21] S. Futatsumori, N. Miyazaki, T. Sekiguchi, T. Hikage, "Electromagnetic Field Strength Evaluations at 4 GHz Wireless Avionics Intra-Communication Band using Experimental Aircraft -Measurements Assuming WAIC Transmitters Installed Inside and Outside of Beechcraft B300 Aircraft-," proc. of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2019 (ICSANE2019), IEICE Tech. Rep., vol. 119, no. 255,

- SANE2019-68, pp. 101-105, Nov. 2019.
- [22] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, 大宮 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "大規模 FDTD 解析による 4.4 GHz 帯 WAIC システムの機外伝搬特性推定", 令和元年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.60, 室蘭市, Nov. 2019.
- [23] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Sekiguchi, T. Hikage, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Height and Angle Characteristics of Point Source Transmitting Power of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Based on FDTD Analysis," Proceedings of 2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES2020), Mar. 2020.
- [24] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 関口 徹也, 日景 隆, 野島 俊雄, "航空機内データ通信周波数帯における小型航空機の干渉経路損失-ビーチクラフト B300 型機を用いた測定評価-", 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-2-4, p.162, 広島市, Mar. 2020.
- [25] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Hikage, T. Sekiguchi, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Height and Angle Characteristics of Point Source Transmitting Power of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Based on FDTD Analysis", Proceedings of the 35th International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES 2020), pp.1-2, July. 2020.
- [26] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 関口 徹也, 日景 隆, 野島 俊雄, "航空機内データ通信周波数帯における航空機電界強度特性評価-ビーチクラフト B300 型機を用いた地上放射特性測定-", 2020 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-5, p.143, 2020 年 9 月.
- [27] S. Futatsumori, N. Miyazaki, T. Sekiguchi, T. Hikage, "Interference Path Loss Measurements of Beechcraft B300 Aircraft at 4 GHz Wireless Avionics Intra-Communication Band," proc. of 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC Europe, 364, Sep. 2020.
- [28] S. Futatsumori, "Interference Path Loss measurement at Wireless Avionics Intra-Communication Band using Beechcraft B300 Aircraft," ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG10, IP05, Sep. 2020.
- [29] 関口 徹也, 日景 隆, 山本 学, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人, "FDTD 解析を用いた WAIC 周波数帯の機外漏洩波特性推定", 令和元年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2020 年 10 月.
- [30] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Hikage, T. Sekiguchi, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Height and Angle Characteristics of Point Source Transmitting Power of Wireless Avionics Intra-Communication Systems Based on FDTD Analysis," Applied Computational Electromagnetics Society Journal, vol. 35, no. 11, pp.1274-1275, Nov. 2020.
- [31] 佐藤 亜衣, 吉田 総希, 日景 隆, ニッ森 俊一, 河村 暁子, 米本 成人, "FDTD 解析を用いた 5G Sub-6GHz 周波数帯の機内-機外伝搬特性推定", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.120, no.350, SANE2020-38, pp.6-9, 2021 年 1 月.
- [32] N. Yonemoto, A. Kohmura, S. Futatsumori, K. Morioka, "The compatibility study between 5G base stations and radio altimeters in Japan and update of the result of measurement campaign," ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG11, WP30, Mar. 2021.
- [33] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 佐藤 亜衣, 尾崎 龍之介, 日景 隆, 野島 俊雄, "小型航空機における航空機電波高度計の干渉経路損失 -ビーチクラフト B300 型機を用いた隣接周波数帯を含む測定評価-", 2021 年電子情報通信学会総合大会, B-2-8, p.173, 2021 年 3 月.
- [34] ニッ森俊一, 宮崎 則彦, 日景 隆, 関口 徹也, 山本 学, 野島 俊雄, "小型航空機における 4 GHz 帯航空機電波高度計の干渉経路損失測定-ビーチクラフト B300 型機を用いた測定評価-", 信学技報, vol. 121, no. 78, SANE2021-12, pp. 17-22, 2021 年 6 月.
- [35] S. Futatsumori, K. Morioka, T. Hikage, T. Sekiguchi, M. Yamamoto, and T. Nojima, "Electromagnetic Field Strength Estimation on Hemisphere Around Aircraft Using FDTD Analysis at the Wireless Avionics Intra-Communication Band", Proceedings of the 36th International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES 2021), pp.1-2, Aug. 2021.
- [36] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, 平賀 規昭, 小林 啓二, 中 福島 健一, "航空機電波高度計周波数帯におけるヘリコプタの干渉経路損失-BK117C-2 型機を用いた測定評価-", 2021 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-26, p.150, 2021 年 9 月.
- [37] S. Futatsumori, N. Miyazaki, A. Sato, R. Ozaki, T. Hikage and T. Nojima, "Measurement of 4 GHz Radio Altimeter Interference Path Loss Including 5G Sub-6 Frequency

Bands Using Beechcraft B300 Aircraft” , Proceedings of the 2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2021) , no.220403, Oct. 2021.

- [38] S. Futatsumori, "Interference Susceptibility Evaluations of Pulsed Radio Altimeters Due to 5G Mobile Base Station Signal," ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG12, Oct. 2021.
- [39] S. Futatsumori, N. Miyazaki, N. Hiraga, K. Kobayashi and K. Nakafukushima, “ Helicopter Radio Altimeter Interference Path Loss Measurement Including Adjacent 5G Mobile Telecommunications Band” , Proceedings of the 2021 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2021,) Nov. 2021.
- [40] S. Futatsumori and N. Miyazaki, “Measurement of Pulsed Aircraft Radio Altimeter Electromagnetic Interference due to Sub-6 5 G Mobile Communication Systems, ” Proceedings of the International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2021 (ICSANE2021), Nov. 2021.

## 空港用マルチ監視技術活用に関する予備的研究【指定研究】

担当領域 監視通信領域  
担当者 ○本田 純一, 大津山 卓哉 (航空交通管理領域),  
松永 圭左, 角張 泰之  
研究期間 令和3年度

### 1. はじめに

航空監視は、監視対象とする空域や運用方式に従って管制官に適切な情報を提供できるように、複数の監視技術を組み合わせるマルチ監視が主流となっている。これまでに航空路を中心に研究が実施されているところ、空港面を中心とした航空監視には、ターミナルビル等の構造物による電波の遮蔽やマルチパスによる信号歪みといった性能低下が発生するなど多くの課題が残されている。将来の運用方式を実現する上で必要な監視技術及びその組み合わせを提案するためには、各種監視技術に対する適切な性能評価手法が必要となる。

本研究は、導入したい監視技術が運用要件を満足しているか判断するために必要な評価方法の確立を目指す上での予備的研究である。令和4年度以降の研究に向けて、空港面及び空港近傍（「空港用」と称す）におけるマルチ監視の性能評価手法を開発するために必要な既存監視技術の現状調査と監視性能の事前検証、及び課題整理を行った。

### 2. 研究の概要

本研究は1ヶ年計画で、下記を実施した。

- ① 動向調査
- ② 既存監視技術の課題整理

### 3. 研究成果

#### 3.1 動向調査

これまでの監視技術の研究は、空港監視や空港面監視といった、ある特定のエリアや要件を対象として移動体を検出するための技術開発ベースの研究であった。しかし、これは監視データを実際に利用する空港運用者の立場からすると、運用方法に必ずしも合致した最適な監視技術が導入されていたわけではない。そこで最近では、国際民間航空機関（ICAO）の監視パネルにおいても運用要件をベースとした監視性能要件に関する議論が行われている。そこでは、運用要件を満足するために必要な監視性能要件（検出率、更新率、遅延等）を整理している。運用方法により監視性能要件が異なるが、現状では航空機の管制間隔3NM及び5NMの要件だけが提案されているのみで、多く

の運用方法に対して決まっていないことが多い。いずれにせよ、国際的な動向からも今後の監視の在り方としては、以下のように整理される。

- (1) 監視性能要件を満足するための監視技術の選択（組み合わせ）・導入が求められる
- (2) 監視性能要件を満足する監視技術であるかどうかを判断するための評価方法が必要となる。

以上のことを念頭に研究を行うことが必要であり、これらを網羅した内容を後継研究にて実施予定である。

#### 3.2 既存監視技術の課題整理

##### 3.2.1 空港用監視における課題

空港用監視では、航空路と異なり、トランスポンド搭載機だけではなく車両等も含めたより多くの監視対象物が存在する。そのため、一次監視レーダ系のPSRやASDE及び二次監視レーダ系のSSR、WAM/MLAT、ADS-B、またはこれらの応用技術を組み合わせたマルチ監視の体系となり、各技術の短所を補完しつつ、監視対象エリアに対して運用者の要件に合致した監視方法を選択・導入する。一方、図1に示すように、空港用監視ではターミナルビル等の障害物による電波の遮蔽やマルチパスによる信号劣化などの外的要因のために、位置精度や検出率といった監視性能も低下する。そのため、ブラインドエリアの解消等、航空路に比べて解決しなければならない課題も多い。

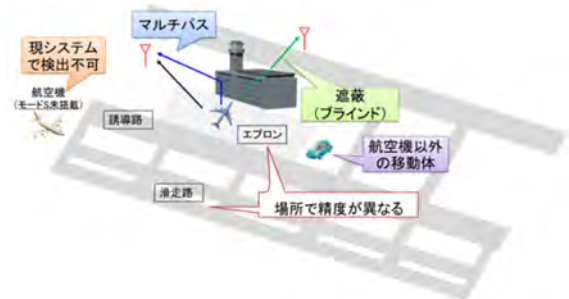


図1 空港用監視における課題

なお、本研究で想定する空港用監視は空港から5NM程度までであり、導入される監視技術は主にASDE、MLAT、ADS-Bもしくはこれらの応用技術になると想定される。また、それぞれの監視技術から出力された監視データを統

合し利用されることも想定されている。

### 3.2.2 MLAT の現状の課題

MLAT は、一般的にモード S トランスポンダを搭載した航空機に対して測位を行う。しかし、小型機等についてはモード A/C トランスポンダのみを搭載するものもあり、空の安全を担保するためにはモード A/C を対象とした監視も必要である。当研究所ではモード A/C 機対応の MLAT の開発を進めてきたが、改めてその特徴について整理したところ、本研究を通して以下の課題が残されていることが分かった。

- ・ 同一アドレス(ファミリービーコン)を持つ複数の航空機を分離(判別)する技術
  - 管理テーブル等の開発が必要
- ・ 初期捕捉
  - ATCRBS の信号長内に複数の信号が入った場合に測位不可となる事象
- ・ 信号数による性能低下
  - 質問・応答の機能を利用するため、質問数の増加が全体の信号数増加につながり、監視性能の低下につながる可能性
  - モード S も含めて測位に利用される信号受信状況について調査が必要

### 3.3.3 ADS-B の現状の課題

ADS-B は、GPS による測位情報を放送するため、位置精度等については GPS の特性に左右される。そのため、衛星からの信号が建物等により阻害されると性能が低下する可能性がある。ADS-B からは位置情報に関連して、NIC(Navigation Integrity Constraint)及び NACp(Navigation Accuracy Constraint - Position)という信頼性情報を得ることができる。令和 3 年度は、高度監視の研究において展開した ADS-B 受信機を活用し、NIC 及び NACp のデータを解析した。表 1 は、仙台空港に設置した受信機で 1 日に亘り取得した NIC の高度別の総数を示す。なお、対象は最新の ADS-B ver2 のみとする。飛行中では、NIC は 7 もしくは 8 となっており、NIC=8 が 98%以上を占める。図 2 に、時間経過による NIC を示す。飛行中に値が変化している場合があり、航空機がターンをする等、衛星からの信号が一部遮断された可能性がある。

以上のように、機体への搭載機材によって位置精度にばらつきがあることと、同じ機材であったとしても飛行中に性能が変化することが分かった。なお、現システムでは飛行中のみを解析対象としているため、今後は地上面のデー

タが取得できるように解析ソフトを改良し、建物の近辺など、より影響の大きなエリアについて性能を評価する。

表 1 高度別の NIC 数

Mode	NIC=1	NIC=2	NIC=3	NIC=4	NIC=5	NIC=6	NIC=7	NIC=8	NIC=9	NIC=10	NIC=11	NIC=12	NIC=13	NIC=14	NIC=15
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2206	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	7894	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	9124	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	11944	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	17124	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	18854	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	18926	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	20472	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	20704	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	23844	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	23884	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	34144	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	39404	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	44244	0	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	142	16224	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	632	21124	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2162	8224	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	1492	8124	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3842	22224	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	1022	11324	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2312	22024	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2542	18924	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	4182	16124	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2382	17624	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3052	14724	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2642	22424	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	5822	24324	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	1212	28224	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	4342	31224	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	1922	115356	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2212	128365	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	2542	141996	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3108	157852	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3355	179201	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3501	197795	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3648	220472	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	3835	245919	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	4101	283227	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	4349	310576	0	0	0	0	0	0
MODE	0	0	0	0	0	0	0	12645	1145809	0	0	0	0	0	0

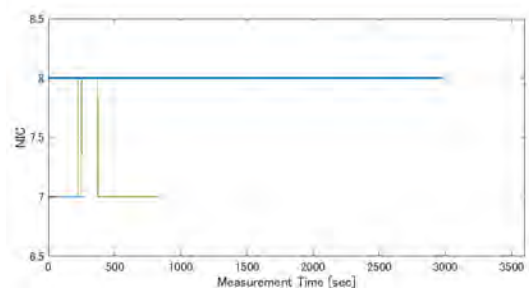


図 2 NIC の時間変化

### 4. まとめ

次年度からの監視性能評価手法の開発に向けて既存監視技術の現状調査と事前検証のためのデータ解析、及び課題の整理を行った。本成果に基づき、より詳細な監視性能の評価を進めていく予定である。

### 掲載文献

- [1] J. Honda, K. Matsunaga, A. Kezuka, and H. Tajima, "Measurement of Localizer Signal Interferences from Hangars in Airport," Proc. ICEAA, pp.154-157, Virtual Aug. 2021.
- [2] J. Honda, M. Watanabe, Y. Makita, T. Otsuyama and R. Geise, "Numerical Simulation and Measurement of Bistatic Radar Cross Section in 75 GHz," Proc. ICEAA, pp.299-300, Virtual, Aug. 2021.
- [3] 本田純一, 松永圭左, 毛塚敦, 田嶋裕久, "ILS 信号干渉シミュレーターの開発 -GS-, " 2021 ソ大講演論文集, B-2-23, p.147, Sep. 2021.
- [4] 米本成人, 本田純一, Robert Geise "風力発電設備の航空無線システムへの電波干渉評価," 洋上風力発電に関するうみそら研発表会, Dec. 2021.
- [5] 本田純一, 米本成人, "風力発電設備の航空用電波への影響に関する初期検討," 2022 総大講演論文集, B-2-29, p.222, March 2022.



## 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

図1に示すように、赤外線カメラと水平ラインレーザーで、2組のセンサを構築した。滑走路に見立てた監視区域を設定し、レーザー線が直交する向きに配置した。そこで、ラインレーザーの仰角を調整し、監視区域の中央に照射するように調整する。滑走路を模擬した板にレーザーで十字線を描画して観測すると、図2に示されるように、板のわずかな凹凸に応じてレーザー線が横にシフトすることが確認された。また、1～3mmの厚さの基準となる板を配置して、レーザー線の移動量を観測した(図3)。その結果、物体の厚さに比例して、レーザー線が照射している方向に水

平移動することが示された。

### 4. まとめ

本研究では可視光が利用できない空港環境における高雪面等の高精度測定技術の検討を行った。赤外線ラインレーザーと赤外線カメラを用いて、mm単位で厚さが増加する堆積物の厚さの分布を計測する手法を開発した。



図1 滑走路模擬実験と各センサの配置

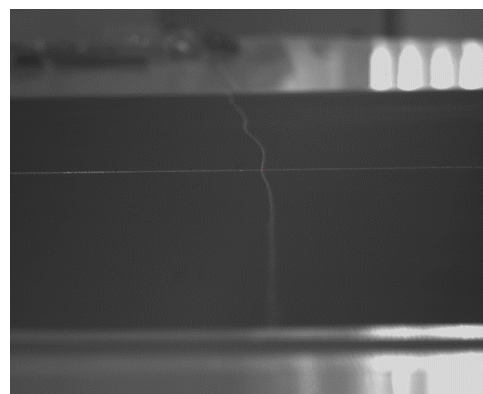


図2 滑走路模擬板上のレーザー線

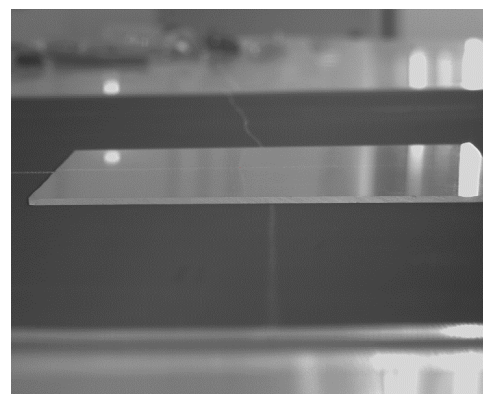


図3 3mm基準板を配置した場合のレーザー線の移動

## 量子鍵配送の現状と民間航空への適用に関する調査研究【調査研究】

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3年度

### 1. はじめに

安全な航空交通を実現するため、国際民間航空機関(ICAO)は重要な情報通信システムとデータのサイバーセキュリティ対策を求めている。サイバーセキュリティ対策は機密性、完全性、可用性に大別できる。現在は、公衆網により接続された送信者と受信者が公開鍵暗号を用いて鍵と呼ばれる乱数を安全に共有することにより機密性が確保される。公開鍵暗号の解読に必要な計算時間はスパコンでも数万年以上必要と見積もられ、事実上解読不可能であるが、計算速度が高速化すると、現実的な計算時間で公開鍵暗号が解読される懸念がある。

量子鍵配送は量子力学の基本原則を用いて送信者と受信者が鍵を共有し、送信者と受信者が協力することで共有した鍵の機密性を保証できる。量子力学の基本原則は将来も変わらないと考えられるため、量子鍵配送は長期的に安全であると考えられ、民間航空の将来的なサイバーセキュリティ対策として有望である。

本調査研究は6ヶ月間の期間で、量子情報技術政策、量子鍵配送及び要素技術に関する文献調査と共に、サイバーセキュリティ対策として量子鍵配送の民間航空への適用可能性を検討した。

### 2. 調査研究の概要

量子情報技術政策に関する文献調査として、我が国の量子技術イノベーション戦略、米国の国家量子イニシアチブに基づく連邦政府の研究開発、及び欧州連合の Horizon Europe に基づく量子技術フラッグシップについて調査した。また、国内外の量子鍵配送及び要素技術の動向を調査した結果、欧米及び我が国の目標、研究開発の規模、及び重点分野を明らかにした。さらにこの結果に基づき、量子鍵配送の民間航空への適用可能性を検討した。検討の一環として、航空会社が航空機を安全に運航するための通信、航法、監視を例とした実現可能性を試算した。図1に航空機と地上施設間の量子鍵配送での適用例を示す。

### 3. 成果

実現可能性の試算にあたり、通信、航法、監視の国際的な将来動向として、2040年までのICAOの航空交通シ

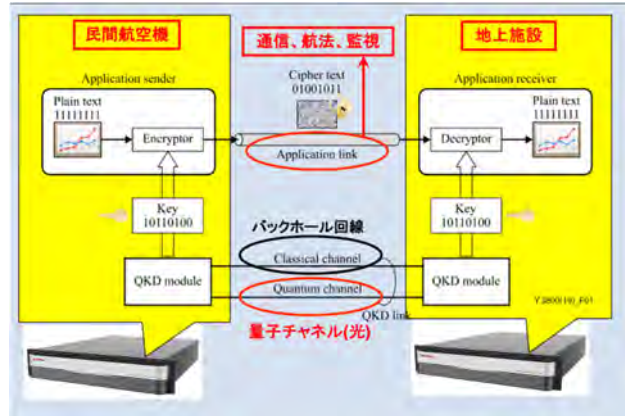


図1 量子鍵配送の民間航空機と地上施設間での適用例

テムの計画を示す世界航空交通計画(GANP)第6版、及び Aviation System Block Upgrades(ASBUs)を用いた。2040年に利用予定がある通信、航法、監視技術のうち、日本の混雑空域で必要と考えられ、装備に必要な追加費用が少ないと考えられる技術として、通信、航法、監視それぞれ、VHF Digital Link Mode-2 connectionless, 2周波マルチコンステレーション地上型衛星航法補強システム、拡張スキット方式 Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B)を選定した。試算[1]の結果、実現可能性があり、量子鍵配送を民間航空のサイバーセキュリティ対策として適用できる可能性があることがわかった。

### 4. おわりに

近年、民間航空の情報通信システムとデータのサイバーセキュリティ対策が必要とされている。本調査研究により、長期的に安全なサイバーセキュリティ対策として量子鍵配送を民間航空で利用できる可能性が確認できた。次年度は令和4年度科研費基盤研究(C)「安全なADS-Bを実現するための空海面量子鍵配送方式」にて、引き続きADS-Bをアプリケーションとして想定し、実環境下で量子鍵配送の性能評価に必要な伝送特性を測定予定である。

### 掲載文献

[1]金田直樹, 宮崎裕己, “将来の航空通信・航法・監視への量子鍵配送の適用可能性検討,” 2022 信学総大 B-2-9, 通信講演論文集 1, pp.302, Mar.2022.

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

担当領域 監視通信領域

担当者 ○米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行

研究期間 令和元年度～令和3年度

### 1. はじめに

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

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

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

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

### 2. 研究の概要

本研究は総務省の「電波資源拡大のための研究開発」(JPJ000254)の一環として実施され、3年計画の3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。

令和元年度	広帯域パッシブ受信技術の確立 広帯域符号変調技術の確立 機械走査によるW帯イメージ画像の取得
令和2年度	広帯域複数パッシブ受信アレイの構築 2周波広帯域符号変調信号生成技術の構築 2次元機械走査によるW帯イメージ画像の生成の高速化
令和3年度	機械走査によるW帯イメージ画像の生成の高速化 ネットワーク化の研究開発 不審物認識システムの統合評価実証試験評価

### 3. 研究成果

危険物の映像を取得するため、レーダー用に割り当てられたW帯の2つの周波数帯を利用する2周波イメージャを開発した。送信機32個を1次元アレイに並べ、それと直交するように受信機32個を1次元アレイに並べて、各送受信機の組み合わせによる距離レスポンスから、合成開口処理により、3次元空間の反射強度を計算して、映像を作成した。図1に撮影した包丁と78GHz帯と94GHz帯の2周波帯を使用して映像化した包丁の3次元イメージの正面図を示す。単一の周波数帯で撮影する時、同一の送受信機位置によって、局所的に反射波が得られる。2つの周波数帯では中心波長が異なることから、包丁の刃の部分の光る場所が少しずつ異なる結果が得られた。2つの周波数帯を合成することで、刃の上で反射が得られる個所が塗りつぶされ、刃全体が映像として得られた。

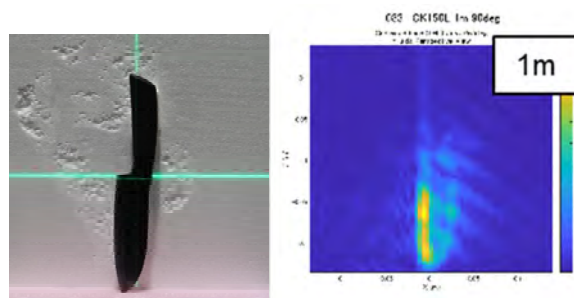


図1 包丁を撮影した場合の3次元イメージ

また、共同研究先で開発された2次元受信アレイのイメージャと、1次元アレイによるミリ波レーダー、人工知能による危険物識別システムを接続した統合監視システムを構築した。(図2)

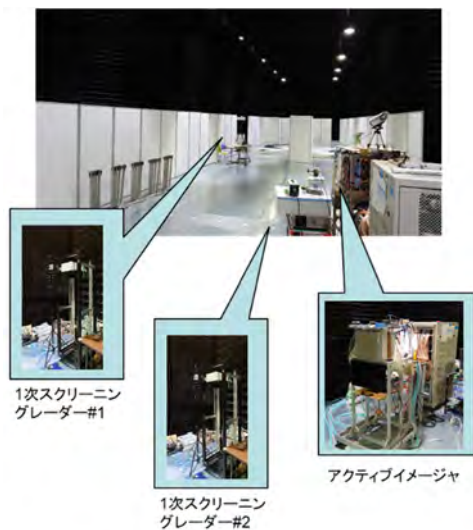


図2 統合監視システム評価のセットアップ

1次スクリーニングレーダーは電波無響室の半分をそれぞれ受け持ち、距離16m、画角30度の範囲で、検出した人物を追跡しつつ危険物所持の確信度をネットワーク経由で統合監視システム本体に転送する。イメージャのデータは、撮影した動画を危険物判定システムに転送し、学習させた銃、包丁等の危険物データベースと照合し、イメージャが生成する動画の中に含まれた物体を識別する。

実験のシナリオとして、フィールドを歩行する人物を2つのレーダーで検査し、双方のレーダーで危険物を所持していると判定された人物について、イメージャにて2次スクリーニングを行うこととした。

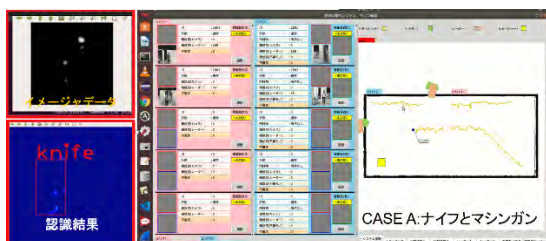


図3 統合監視システムの表示と危険物認識の例

実験の結果、危険物の種類によって識別度が低いものがあったが、イメージャの動画を用いて人工知能にて着衣の下に隠されている包丁等の危険物を識別できることが示された。図3に表示と危険物認識の一例を示す。

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

#### 掲載文献

- [1] 米本成人, 森岡和行, 河村暁子, ニッ森俊一, 渡辺優人, “セキュリティ強化に向けたハイブリッドイメージングシステムの熱雑音パッシブ受信機に関する基礎実験,” 2020年電子情報通信学会総合大会, B-2-16, March 2020
- [2] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 牧田 芳男, “セキュリティ検査用ハイブリッドイメージングシステムのためのパッシブ電波イメージング技術の基礎検討,” 信学技報, vol. 120, no. 8, MW2020-1, pp. 1-5, 2020年4月
- [3] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 牧田 芳男, “セキュリティ検査用ハイブリッドイメージングシステムのための合成開口処理による電波イメージングの基礎実験,” 信学技報, vol. 120, no. 101, MW2020-31, pp. 89-93, 2020年7月
- [4] 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 牧田 芳男, 能美 仁, 能美 陽, 宮脇正典, “ミリ波レーダーによる隠された危険物検出の試み討,” 信学技報, vol. 120, no. 250, SANE2020-30, pp. 19-24, 2020年11月.
- [5] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Yoshio Makita, “Passive Radio Imaging of Hybrid Radar System for Security Inspections,” the 17<sup>th</sup> European Radar Conference 2020, January 2021
- [6] 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行, 牧田芳男, “セキュリティ検査用ハイブリッドイメージングシステムの相関受信方式に関する一検討”, 信学技報, vol. 121, no. 4, MW2021-2, pp. 6-10, 2021年4月.
- [7] 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行, 平賀規昭, “セキュリティ検査用電波イメージングのための2周波数帯利用時の距離精度改善効果の一検討”, 信学技報, vol. 121, no. 78, SANE2021-11, pp. 12-16, 2021年6月.
- [8] 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一, 森岡和行, 牧田芳男, 村田博司, “誘電体レンズを透過する熱雑音の相関受信方式による複素電力測定”, 信学技報, vol. 121, no. 107, MW2021-17, pp. 28-33, 2021年7月.
- [9] Naruto Yonemoto, Akiko Kohmura, Shunichi Futatsumori, Kazuyuki Morioka, Noriaki Hiraga, “Dual-band MMW Radar Imaging System to Detect Concealed Weapons for Security Inspections”, 2021 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), 2021年10月.
- [10] 米本成人, “セキュリティ検査のためのミリ波イメージャー-危険物検出のための電波画像化技術-”, マイクロウェーブ展2021 TH2B ワークショップ, 2021年11月.
- [11] Naruto Yonemoto, “Dual-Mode Sensing by Hybrid Imaging

System to Detect Weapons for Security Inspections” , The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications,, 2021 年 12 月.

[12] IEC TC103 WG6, IEC Technical Report 63385-1 Ed.1, TRANSMITTING EQUIPMENT FOR RADIOCOMMUNICATION -SHORT RANGE RADAR TECHNOLOGIESAND THEIR PERFORMANCE STANDARDS - Part 1: System applications of short range radar, 2020 年 10 月 14 日提案, 2021 年 11 月 28 日修正.

遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発【競争的資金研究，NEDO】

担当領域 監視通信領域

担当者 ○古賀 禎，呂 暁東，角張 泰之，河村 暁子，平林 博子(航空交通管理領域)，  
長縄 潤一，虎谷 大地(航空交通管理領域)

研究期間 令和元年度～令和3年度

1. はじめに

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

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

2. 研究の概要

本研究開発全体では，福島ロボットテストフィールド(RTF)に無人航空機の機体識別および位置情報を共有するための通信システムのプラットフォームを整備する。機体識別や位置情報共有のための通信機を搭載した無人航空機を飛行させ，通信システムの実証をする。また，複数の有人航空機と無人航空機の空域共有に必要な情報共有のための技術および試験システムを開発し，有人航空機の飛行情報に関する仮想情報シミュレータ等を用いた運航管理システムとの相互接続性の評価を実施する。通信機および地上局や相互接続性は，令和元年度に各々要件定義と設計，令和2年度に通信機および地上局の試験システムの開発とともに，相互接続性評価のための情報共有システムを実装し，令和3年度に各々RTFでの実証実験を実施する。

さらに，これらの情報共有を補完・補強する通信システム及び情報共有システムを運航管理システムに統合するためのアーキテクチャ設計を実施し，空域シミュレー

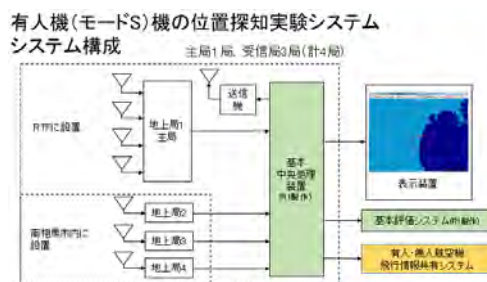


図1 システム構成



図2 受信局の配置（南相馬市）

ションによってシステムワイドの安全性を評価する。各システムの仕様及び共通インターフェース等の策定においては，国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し，要件などの検討及び策定を行った上で，通信システム及び情報共有システムの開発及び各種試験に反映させる。

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

3. 研究成果

令和3年度は，令和2年度までに構築したモードS・モードA/Cトランスポンダ搭載機の位置を探知する実験システムについて，処理性能を向上させるとともに実験システムを用いた実験を実施した。また，無人機のリモート識別を行う情報共有システムとの接続試験を行った。図1にシステムの構成を示す。システムは，福島ロボットテストフィールドを主受信局とし，南相馬市内3か所

に受信局を設置している。図2に南相馬市内における配置を示す。

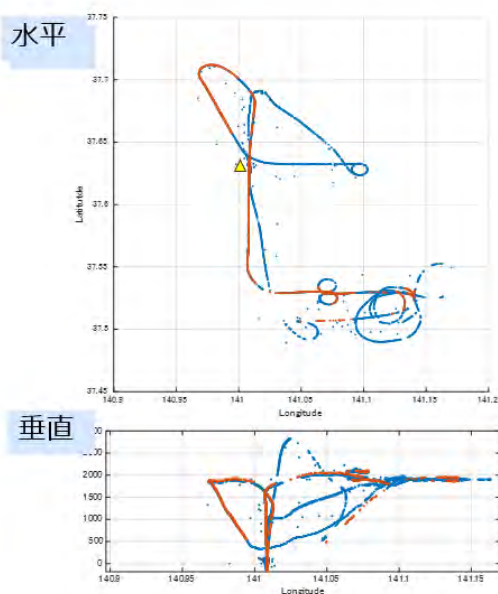


図3 ヘリ探知実験(モードS, ADS-B)-総合実験R3.12  
青航跡：モードS, 赤航跡：ADS-B, △RTF位置

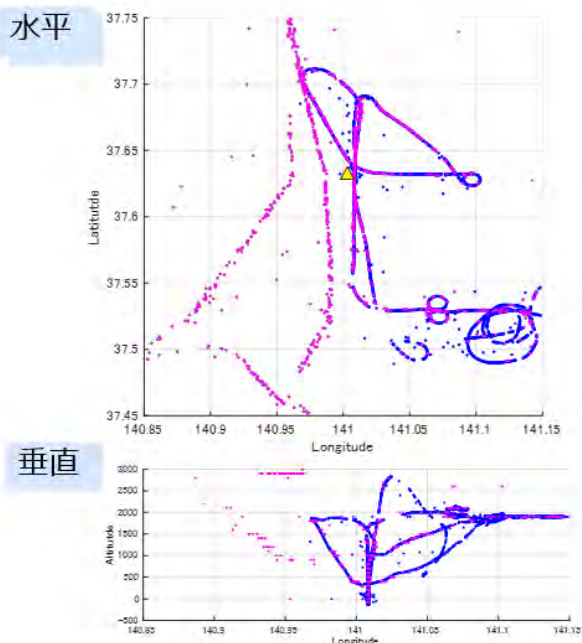


図4 ヘリ探知実験(モードS, モードA/C)-総合実験R3.12  
青航跡：モードS, マゼンダ航跡：モードAC, △RTF

図3は、モードSトランスポンダを搭載したヘリコプターのモードS信号による位置探知実験の結果を示す。比較のためADS-B位置も表示する(ヘリコプタ搭載の簡

易ADS-B送信機によるものである)。ヘリ探知実験(モードS)では探知範囲としては福島RTFを中心に15km, 高度2000ftの有人機を探知している。在空機を監視する実験では15kmの範囲において高度1000ftを飛行する有人機を探知している。高度が高い場合には30km(緯度, 経度0.3度相当)の範囲を探知している。ただし, RTFから離れるほど位置精度, 検出率が低下する。

図4は、モードSトランスポンダを搭載したヘリコプターのモードA/C信号による位置探知実験の結果を示す。ヘリ探知実験(モードA/C)では探知範囲としては福島RTFを中心に10km, 高度2000ftの有人機を探知している。モードA/Cについては、モードSと比べると位置探知精度, 検出率が低下していた。

このほかに、情報共有システムを含めた総合評価を行った。ここでは、有人機位置探知システムで探知した有人機の位置情報は、MLAT(モードS, モードA/C)メッセージおよびADS-Bの位置メッセージとしてインターネット回線を通じて情報共有システムへと送信される。情報共有システムでは、表示画面上は無人機および有人機の位置が、リアルタイムで表示されることを確認した。

#### 4. まとめ

電子航法研究所は、無人航空機と有人航空機の空域共有に必要な技術として、有人機の位置を探知するシステムの開発を行った。本システムを、RTFおよび南相馬市内に設置し、有人機位置の探知実験を行った。RTF周辺の低高度を飛行するモードSおよびA/C機の位置を探知できることを確認した。また、情報共有システムとの接続試験を実施し、リアルタイムで無人機と有人機情報を共有できることを確認した。

#### 掲載文献

[1] NEDO, 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発,

<https://nedo-dress.jp/introduction/introduction-2-1-14>

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・隣接チャンネルでの映像伝送・監視制御技術の研究開発【競争的資金研究，SCOPE】

担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○古賀 禎  
 研究期間 令和3年度

1. はじめに

本研究開発では，無人機の山岳地帯での遭難者の捜索，被災地の状況観測等の利用を想定し，山岳等の遮蔽環境でも無人航空機による遠距離の広大なエリアの観測映像を伝送するため，長時間滞空可能な固定翼自律 UAV 及びその搭載に適した小型映像中継装置，見通し内外対応が可能な遠隔監視制御装置，アンテナ指向制御方式を有する映像中継システムを室蘭工業大学および兵庫県立大学とともに提案し（図 1），システムの実現に必要な 4 つの技術開発を 3 か年で開発する。

- ① 5.7 GHz 帯を使用した映像伝送中継装置
- ② ①に使用する送受信アンテナに対する固定翼 UAV 搭載用アンテナ指向方向制御技術。
- ③ 見通し内，見通し外通信に対応した 169 MHz 帯無線通信モジュールを用いた遠隔監視制御系
- ④ 長時間滞空可能な小型固定翼

本研究開発は総務省 SCOPE(JP215001002)の委託を受けており，電子航法研究所は①の一部の開発を担当する。

2. 研究の概要

令和3年度はプロジェクト全体において，機器搭載状態で総重量 10 kg 以下，定常速度 25 m/s，総飛行時間 2 時間の固定翼自律 UAV を設計・製作し，部分的に実験検証を行った。また，映像伝送システム，アンテナ指向方向制御系，遠隔監視制御系の設計を完了し，映像伝送システムについては設計・ハードウェア試作，アンテナ指向方向制御系及び遠隔監視制御系（特に円偏波アンテナ）については設計・シミュレーションにより要求性能を満たすことを確認した。

3. 研究成果

電子航法研究所は，UAV 搭載用 5.7GHz 映像中継装置の一部である小型軽量の送受信フロントエンド部の開発，およびユニットの設計および評価用デバイスを用いた性能検証を実施した。図 2（上段）に評価用デバイスによる試作ユニットの外観および構成を示す。送信性能については 5.7GHz 映像伝送装置で最大許容値 30dBm の出力が可能であることを確認した。受信性能については

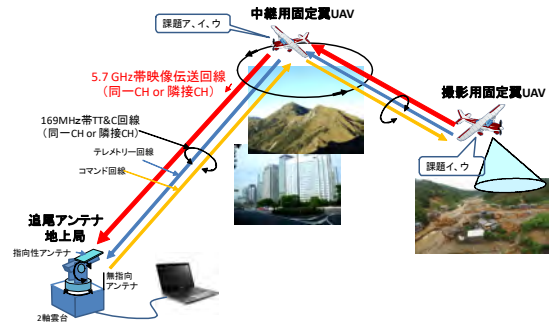


図 1 提案システム

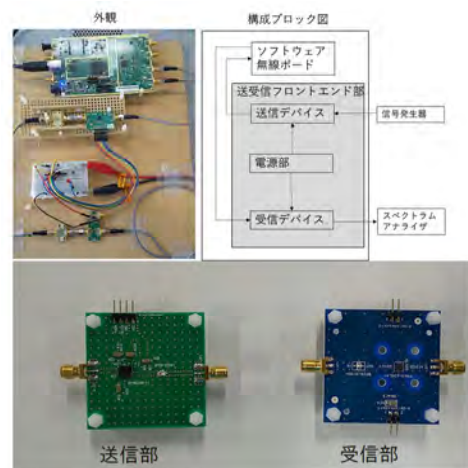


図 2 評価用試作ユニット

-80dBm 程度の受信性能を確認した。また，本送受信フロントエンド部と 10dB 以上の受信アンテナ利得を組み合わせることで 3km 遠方へのデータ伝送実現を期待できる。さらに，小型軽量化のため，プリント基板上に半導体部品を実装した送受信フロントエンド部ボードを製作した。図 2(下段)の左が送信部，右が受信部となる。各ボードは 5cm 四方・重量 10g 程度であり，UAV 機搭載用の小型軽量ユニット（重量 100g 以下）を実現した。送信ボードは送信出力約 29dBm，受信ボードは利得約 25dB とあり所望の性能を有することを確認した。各種測定を行い，次年度以降に実施予定の信号処理部の設計・実装に必要なデータを取得した。



担当領域 監視通信領域  
 担当者 ○井上 諭  
 研究期間 令和元年度～令和3年度

## 1. はじめに

航空交通や医療、大規模プラント運用など高度な安全が求められる多くの業務がチームによってなされているが、安全を実現するためには、“チーム協調”における適応性に関する実験研究や、特に、現場指向かつ十分なデータに基づく信頼性、汎用性へのアプローチが重要であるが、これらの研究例や研究手法の提案は少ない。そこで、本研究では、航空交通業務への適用を目指したチーム協調プロセスを監視、評価するための認知行動指標（チームレジリエンス指標）開発とそれに必要な基盤技術開発を目指している。現実の「安全」とは、状況の変化に対する適応能力（レジリエンス）を有する個体が集合し連関することで実現される総体的な成果であるといえる。レジリエンス工学[1]は上記の観点を基盤とし、実務者の日常的な適応を分析して、システムの総体的な安全を実現する方策を探る学問であるが、この目的を達成するには、マニュアルなどの理想化された業務過程を研究するだけでは不十分であり、実務の行動観察研究を重点的に行う必要がある。観察研究の多くは対象を撮影、録音した動画、音声を紹介して行われる。従来、分析は対象となる行動や発話のラベリングを行い発生頻度などの統計量を評価する質的研究のアプローチがとられることが多い。一方レジリエンス工学の観察研究では、実務者がどのような状況の変化に対し、どのように対処し、結果としてどのような状況を形成したか記録する必要がある。単純なラベリングと統計量だけでは、状況や行動の連関を分析することは困難である。この問題に対処するためには、まず「状況」とは何かについて理論的に考察し、状況の構成要素と構造を形式化する必要がある。形式に従って状況と行動を記録することで、従来手法よりも客観的かつ効率的に実務者のレジリエンスを記述、分析、考察できることが期待される。本研究では、状況の理論的な形式化を行い、それらの有用性を実践的に検証するために、RAG 業務をケーススタディとして実業務のレジリエンス分析を行った。本研究は JSPS 科研費基盤研究(B)19H02384 の助成を受けて 3 か年計画で実施し、今年度は最終年度である。

## 2. 状況の形式化

人間が認識し得るものはすべて状況たり得るが、人間が認識し得ないものはすべて状況たり得ないという仮説を立てる。この仮説から、状況の記述形式は人間の認識の記述形式と一致することが推論される。よってここでは、人間の認識がどのような形式に従うかを考えればよい。本研究では、状況/認識を構成する要素を次の六つの概念であると理論立てる。まず Kant に従い、第一に「空間」第二に「時間」を基本概念とする。そして、第三に空間を充填する「実体」、第四に時空間を充填する「事象」を基本概念とする。第五に実体や事象が持つ特徴である「状態」を基本概念とする。最後の基本概念は認識が持つ「様相」である。様相とは「～だった（記述的様相）」「～だろう（予述的様相）」「～べきである（規範的様相）」「～が可能である（可能的様相）」という認識の方向性を指す。

## 3. 検討事項

### 3.1 記述的情况分析に関する検討

#### 3.1.1 「空間」

記録上、空間は状態の一種として扱うことができる。情況式で書くと、以下のような変換に当たる。

$$n \in ENTITY, p \in PLACE, t \in TIME, position \in STATE$$

$$n(p,t) \equiv n(t). position(p)$$

#### 3.1.2 「時間」

事象や実体の存在は期間、もしくは複数の期間として記述する。例えば観測下  $[t_0, t_3]$  に人物 A が存在し、 $[t_1, t_2]$  に発話をした、という具合に記録する。状態は時間特性の異なる静的状態と動的状態の二種類に分けて記録する。静的状態は観測下で変化がないものや、実体や事象の時間積分的特徴量を指す。例えば人の性別、発話の内容などである。発話内容は発話という事象全体に対する特徴（＝”積分的”特徴量）であるため、静的とされている。一方、動的状態は変化があるものを指し、ある時点に対して定義される。

### 3.1.3 「情況因子（実体・事象・状態）のクラスとインスタンス」

実体・事象・状態インスタンスが「何であるか」は、情況式においてはそれがどのような因子クラスに属しているかによって記述される。例えば、ある人によるある発話は、次のように記述される。

その実体が人であり、その事象が発話であり、その状態が発話内容であることは、一行目の集合式で説明される。

$h \in Human \subset ENTITY, sp \in Speak \subset EVENT,$   
 $content \in STATE, speaker \in ROLE$   
 $sp. speaker(h). content(hello)$

### 3.1.4 「情況因子（実体・事象・状態）インスタンス同士の関係性」

因子インスタンス同士は、空間的包含・役割・状態保有といった静的関係性と、因果・時間的連続といった動的關係性を持つ。これらを記録する必要がある。静的関係性については、連想法で抽出された因子クラス同士の関係性から自動補完することができる。動的關係性のうち、時間的な連続性は記録された事象や状態の時系列を見ることで判定することができる。因果的な関係性は、時間的な連続性から更にそこに因果関係があることを推論する必要がある。

### 3.1.5 「様相」

記述的情況分析は認知的状態を含まない。分析内容が研究者の Descriptive（記述的）認知状態である点においてのみ、様相が関わる。

## 3.2 記述的情況分析ツール（DCAT）

情況/認識を構成する基本概念に基づいて行動観察の分析支援ツールを開発した。DCAT による行動観察は、動画または音声から読み取れる実体・事象・状態を時系列に沿って記録していくことで行われる。DCAT を図 1 に示す。

再生ペインで動画または音声ファイルを再生する。多視点、多分割のファイルの再生に対応している。インスタンスペインの時間軸上に実体・事象・状態を記録する。事象のインスタンスであれば、発生時刻（time）、その事象が何か（class）、関わる実体は何か（role）、事象が持つ状態は何か（state）などを記録できる。例えばある発話の記録は、time:{10.3s-15.9s}, class:{発話, 質問}, role:{話し手

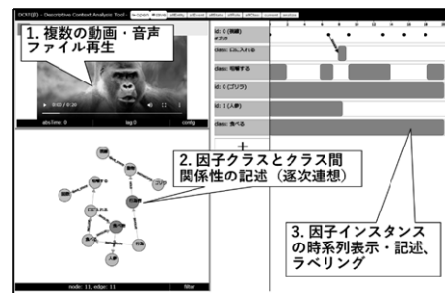


図 1 DCAT の編集画面

=A, 聞き手=B}, state: {内容=“XXX?”}のような構造を持つ。クラスペインには、class のオントロジーを入力する。オントロジーとは、概念と概念間関係性で構成されるネットワークである。クラス間の一般的な関係性（e.g. 質問は発話の一種）を保持しておくことで、インスタンスの記述を効率的に行うことができる。

## 4. まとめ

本研究では情況の基本概念によって形式化する理論の提案を行い、これに基づいた行動観察ツール DCAT を開発し、適応的行動の発見を行えるようにした。

## 掲載文献

- [1]Kanno T., Mitsuhashi D., Inoue S., et al., Formalization and quantification of team contexts for meso-cognitive studies, Proc. Int'l Conf. on Human Systems Eng. And Design: 838-844 (2019).
- [2]Inoue S. and Kanno T., Cooperative Work Analysis in Case of Aerodrome Flight Information Services, Proc. Int'l Conf. Human Computer Interaction, pp.568-574 (2020)
- [3]Mitsuhashi D., Kanno T., Inoue S., et.al., An Extended Framework for Context Modeling, Proc. Int'l Conf. Applied Human Factors and Ergonomics, pp.18-25 (2020)
- [4]Mitsuhashi D., Kanno T., Inoue S., et al., Symbolic context model for resilience engineering, Proc. Int'l Conf.on Applied Human Factors and Ergonomics, 35—43 (2021).
- [5]三橋 大地, 菅野 太郎, 浅谷 公威, 古田 一雄, 井上 諭, 狩川 大輔, 野々瀬 晃平, 記述的情況分析ツールの開発とレジリエンス工学への応用, 人間工学, 57(supplement): 2—5 (2021)

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4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帯ミリ波レーダを中心センサデバイスとして、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用ミリ波レーダを開発している。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、探知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、パラボラ反射板等の3次元構造を有する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、パラボラアンテナは容積が大きくなると同時に、機械走査となるため、探知対象物への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：構造の異なる複数の送電線や鉄塔等のRCS特性を測定評価し、アンテナに求められる偏波特性等を明らかにする。
- (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：線状障害物の探知に適したMIMO合成アンテナ特性を実現する。従来パラボラ反射板アンテナを用いて機械走査を行っていた方位角方向走査について、MIMO開口面合成技術によるアンテナアレイを用い、高速指向性電子制御を実現する。
- (3) MIMOレーダを用いた長距離からの線状障害物探知

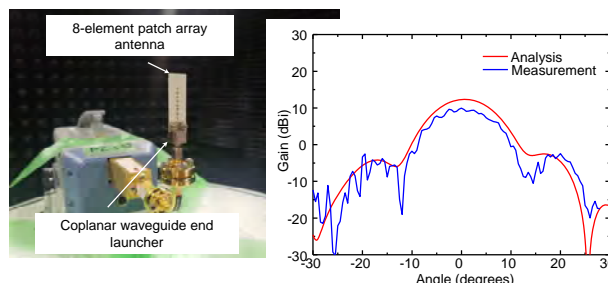


図1 76 GHz 帯多素子平面アレイアンテナの測定状況および仰角指向特性評価結果

技術：線状障害物のRCS評価結果から、ミリ波MIMOレーダアンテナの方位角方向に必要な送受信アレイ数を明らかにする。

## 3. 研究成果

令和3年度は主として、高圧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素子の設計、アンテナアレイ配置法およびアレイ数評価、およびMIMO信号処理回路の構築を実施した。複数素子平面アレイアンテナを設計・試作し、アレイ数増加に伴う、仰角放射指向特性の鋭角化と最大利得低下の課題を測定結果から明らかにした(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4年度はミリ波MIMOレーダ実験系構築および評価等、航空機用ミリ波MIMOレーダを実現するための検討を実施する。

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, “ヘリコプタ周辺障害物探知支援のためのミリ波レーダの活用”, 第34回日本航空技術協会航空安全シンポジウム, Feb. 2022.
- [2] ニッ森 俊一, 宮崎 則彦, “76 GHz帯ミリ波レーダ用多素子平面アレイアンテナの設計および試作評価”, 2022年電子情報通信学会総合大会通信講演論文集, pp. 227, Mar. 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げることができる。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

2年目である本年度は、MAC層に関して、文献調査を中心に実施した。マルチホップネットワークに関するルーティングの代表例として、AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector Algorithm), DSR (Dynamic Source Routing Protocol), DSDV (Destination Sequenced

Distance Vector), OLSR (Optimized Link State Routing Protocol)等が提案されている。このうち AODV と DSR は、通信開始時のみ経路を生成し、相手と通信できなくなるまで同じ経路を利用する Reactive 型と呼ばれるものである。Reactive 型は、通信の発生頻度が低く、ネットワーク構成が頻繁に変化するネットワークに有効である。

一方、DSDV と OLSR は、一定間隔ごとに経路を生成することにより、通信を即座に開始できる Proactive 型と呼ばれるものである。通信の発生頻度が高く、ネットワーク構成が頻繁に変化しないネットワークに有効である。

また、位置情報ベースのルーティング方法も提案されており、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)等の位置情報を活用した方式も有望である。今後、昨年度にネットワークシミュレータへ組み込んだ航空機移動モデルを用いてこれらのプロトコルの比較を実施する予定である。

また、物理層の評価を行うための準備として、SDR (Software Defined Radio) プラットフォームの調達も行った。調達した SDR プラットフォームは、16x16の MIMO (Multiple Inputs and Multiple Outputs)を評価できるものである。半導体不足の影響で、納期が年度末となつてしまい、本年度は調達した SDR プラットフォームを用いたシステム構築ができなかった。次年度以降この評価システムを用いて、航空無線に適した変調方式や MIMO 方式の開発・評価を実施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位相変調方式(CPM)と MIMO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。

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。比較的新しい技術であり、基礎的な理論の確立が求められている。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、多数の研究成果と応用例がある。位置検証と位置推定の代表例は 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

本研究は3ヶ年計画である。これまでに主に①を実施し、理論を導出した。令和3年度は②および③を進めた。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 ADS-B 応用に向けた実験

ADS-B に対して理論を応用するための実験を行った。実験では在空機の信号を受信し、その受信信号強度から航空機までの距離を逆算した。逆算にあたっては、正確な送信電力が未知であることへの対処、ならびに大気減衰と自由空間損失を同時に考慮するテイラー級数法を提案した。96時間のデータを収集し、266フライトを分析した。また、過去の実験データも併せて分析した。図1にはある一機の例を示しており、おおよその距離を推定できている。なお、指向性アンテナを利用したため、メインビームで測定できた信号のみを分析対象とした。分析の結果、測距誤差を正規分布で近似できることを確認した。これは昨年度に導出した理論の前提条件となっており、その検証結果が得られた。一方で、測距誤差は標準偏差で17.2 km～18.6 km と

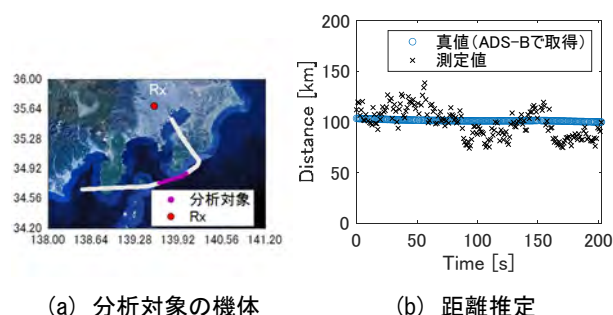


図1 実験結果の一例

なった。ADS-B の最大覆域を考えると位置検証には利用できるものの、位置推定には有効性が限られる。そのため、測距精度の向上が今後の課題となった。

#### 3.2 理論の活用による知見導出

実験結果を踏まえて理論の数値計算を行い、有用な知見の導出を試みた。性能指標としては不正な位置情報の検知率を評価した。理論を活用すると、位置推定を位置検証に応用する「間接法」および位置推定を経ない「直接法」を定式化できるため、優劣を比較した。その結果、間接法のほうが高い検知率を示した。すなわち、位置推定を位置検証に応用することで、性能を向上できることを明らかにした。

### 4. まとめ

本年度は提案した理論をADS-Bに応用し、位置推定を位置検証に用いることで、性能向上が可能であるとの知見を得た。今後は新たな課題である受信信号強度による測距の精度改善に取り組む。

#### 掲載文献

[1] 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.

[2] J. Naganawa, "Comparison of Direct and Localization-based Methods for Position Verification using Distance Measurement," 2021 IEEE TENCON, pp. 179-184, Dec. 2021.

## 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【競争的資金研究】

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ヵ年で実施する。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 円形アレーアンテナ外観

### 3. 研究の成果

本年度は、まずアンテナ素子配置と信号処理手法について検証した。前述の通り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ので、近距離航空機監視システム受信局1局に対して少なくとも水平面内で等方向性があるアンテナ素子配置と信号処理手法をモデル化し、計算機シミュレーションを行った。シミュレーション結果から、図1に示すような7素子からなる円形アレーアンテナが本研究の目的に適しているとの結論を得た。このアレーアンテナの形状は半径等の差を除けばエスパアンテナで多く使われている形状と同じであり、MUSICによる到来角推定アルゴリズムも同様に適用できることもわかった。なおエスパアンテナとは異なり、アレーの各素子で個別に信号サンプリングを要する。

この結果を利用してアンテナ素子配置実験装置の設計を行った。各素子に対して各1台の汎用ソフトウェア無線機器(USRP)を接続し、全USRP間をクロック同期させて受信信号を記録することとした。

### 4. まとめ

本年度はアンテナ素子配置の検証から実験装置の設計までを実施した。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トランスボンド応答信号の到来方向推定,” 2022 電子情報通信学会総合大会, no.1, B-2-23, p.216, Mar.2022.

## 4 研究所報告

当研究所の令和3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
134	令和3年6月	制限されたデータを用いた空港需要と交通流変化の予測手法	航空交通管理領域	ブラウン マーク 平林 博子
		[技術資料] 衛星航法システムにおける継続性の評価法	航法システム領域	坂井 丈泰
		[技術資料] 大規模空港における継続降下運航の運用拡大に関する研究	航空交通管理領域	平林 博子 ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル 虎谷 大地 瀬之口 敦 岡 恵 江口 昌広 福島 幸子
		[技術資料] AeroMACSを用いた空地通信技術の高度化に関する研究	監視通信領域	河村 暁子 森岡 和行 長縄 潤一 ニッ森 俊一 金田 直樹 呂 暁東 米本 成人 住谷 泰人

## 5 受託研究

当研究所の令和3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
(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3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
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
MVR受託研究 11及び12号機 特性試験	住友重機械工業(株)	米本 成人
令和三年度高高度無人機による制御用通信中継技術に関するアドバイザ業務	(株) 三菱総合研究所	米本 成人
令和3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
(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)	小田 浩幸
SLAS性能改善解析調査	内閣府	北村 光教
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
ILS電波シミュレーション解析の作業支援	(株) 日本空港コンサルタンツ	本田 純一
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	坂井 丈泰
VOR電波障害シミュレーションに関する作業支援	(一財) 航空保安無線システム協会	本田 純一
(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)	米本 成人
「GBAS(地上直接送信型衛星航法補助施設)展開整備に関する詳細調査」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	齋藤 享
「新千歳空港・千歳飛行場の同時平行ILS/PAR進入運用の導入後安全性評価に関する調査」の支援業務	(一財) 航空交通管制協会	森 亮太
航空機性能に応じた新たな運航方式の展開に関する基礎調査の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	吉原 貴之
RNP導入に係る解析装置の検討及び整理に関する技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	本田 純一
滑走路面異物検知装置に関する技術動向調査研究支援	(一財) 航空保安無線システム協会	二ッ森 俊一
「北部九州地区におけるターミナル管制業務に関する調査」の技術支援	(一財) 航空保安研究センター	平林 博子
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
「東京国際空港における同時RNAV進入運用の導入後安全性評価に関する調査」の支援業務	(一財) 航空交通管制協会	森 亮太
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
近距離航空機監視システム性能検証実験支援	リオン(株)	北折 潤
タイ国スワンナプーム空港地域における「電離圏調査及び電離圏脅威モデルの妥当性確認」の技術支援	(一財) 航空保安無線システム協会	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)	米本 成人
装置の電磁波感受性実験	アルウェットテクノロジー(株)	米本 成人
2021年度将来の航空交通システムに関する長期ビジョンの実現のための計画の策定等に関する調査分析支援	(株) 三菱総合研究所	岡 恵
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
欧州のリモートタワー・システムに関する技術調査支援	(株) 航空システムコンサルタンツ	井上 諭



## 6 共同研究

当研究所の令和3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	(大) 新潟大学	バイスタティック測位による航空機の監視技術の実験的研究	H30. 8. 22 ~ R4. 3. 31
監視通信領域	(大) 室蘭工業大学	無人航空機の監視通信システムの研究	H30. 8. 22 ~ R4. 3. 31
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	(国研) 情報通信研究機構	LPWA/DTN環境における光網制御管理機能の再建技術の研究	H30. 11. 14 ~ R3. 3. 31
航法システム領域	ドイツ航空宇宙センター	次世代GBAS及び宇宙天気情報利用に関する共同研究	H30. 12. 20 ~ R3. 12. 20
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 ~ R5. 3. 31
航空交通管理領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	航空交通流管理のための運航パフォーマンス評価指標の開発	R1. 7. 29 ~ R4. 3. 31
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	(大) 北海道大学	航空機データ通信 (WAIC) における電磁環境評価に関する研究	R1. 10. 7 ~ R4. 3. 31
監視通信領域	DSNA フランス航空局技術管理センター	航空機の衝突回避と無人航空機の空域統合に関する研究	R1. 11. 4 ~ R4. 11. 4
航空交通管理領域	(学) 慶應義塾大学	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	(大) 電通通信大学	Es層によるVHF帯航空航法・通信電波の異常伝播の影響評価と監視に関する研究	R2. 4. 1 ~ R4. 3. 31
航法システム領域	三菱電機 (株)	日本周辺の高精度測位補強サービス (CLAS) の電離圏遅延量予測モデルの精度向上に関する検討	R2. 5. 18 ~ R3. 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 ~ R4. 3. 30
監視通信領域	(国研) 宇宙航空研究開発機構	無人機運航管理への応用を想定した小型有人航空機探知技術の基礎検討	R2. 9. 9 ~ R4. 2. 28
監視通信領域	(国研) 情報通信研究機構	リニアセルレーダシステムの応用研究開発	R2. 10. 27 ~ R4. 3. 31
	(学) 早稲田大学		
	(株) 日立国際電気		
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)	RoF技術を用いたマルチラテレーションシステムの海外展開を通じた周波数の国際協調利用促進に関する評価研究	R2. 12. 1 ~ R4. 3. 31

実施領域	相手方	研究課題	契約期間
航法システム領域	(大) 東京大学	DFMC SBAS信号認証に関する研究・実証実験及びフィールドテスト	R3. 2. 1 ~ R4. 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 ~ R4. 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 ~ R4. 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		
監視通信領域	(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
航法システム領域	東日本旅客鉄道 (株)	GNSSを用いた列車位置検知における保護レベル算出手法の改良	R3. 7. 6 ~ R4. 2. 15
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 ~ R4. 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
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・アトミックス・エアロノティカル・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	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	R3. 11. 1 ~ R4. 3. 31
航法システム領域	(大) 大阪府立大学	GNSS信号の反射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		

## 7 研究発表

(1) 第21回研究発表会（令和3年6月9日，6月10日）web開催

令和3年6月9日

1. 監視システム信号環境の動向と測定評価  
航空交通管理領域 大津山 卓哉  
監視通信領域 本田 純一  
宮崎 裕己
2. 定期航路フェリーを活用した海洋観測と  
これからの大気観測の試み  
港湾空港技術研究所 細川 真也
3. ADS-B方式高度監視に係るADS-B幾何高度基準の判別  
監視通信領域 松永 圭左  
金田 直樹  
宮崎 裕己
4. 遠隔型タワーのための映像システムと支援機能の開発  
監視通信領域 井上 諭  
角張 泰之  
米本 成人  
古賀 禎  
航空交通管理領域 ブラウン マーク

令和3年6月10日

5. 東京国際空港を対象とした到着管理の研究開発と応用  
航空交通管理領域・東京大学 伊藤 恵理  
航空交通管理領域 蔭山 康太  
大津山 卓哉  
天井 治  
宮沢 与和  
東京理科大学 立川 智章  
関根 将弘  
東京大学 加藤 古都  
日笠 航希  
森川 暢明  
ドイツ航空宇宙研究所 Juergen Rataj  
Michael Fineke  
デルフト工科大学 Mihaela Mitici  
ドレスデン工科大学 Michael Schultz  
南洋理工科大学 Srinivas Athota  
Vu Duong
6. AIを用いた不安定進入の要因分析  
航空交通管理領域 森 亮太
7. MSASの測距機能とその性能評価  
航法システム領域 坂井 丈泰  
北村 光教  
渡邊 浩志
8. 基準局での信号受信とGBASへの着陸機の影響  
航法システム領域 齊藤 真二

## ポスターセッション

令和3年6月9日

令和3年6月10日

1. モードSトランスポンダの応答遅延特性の計測  
監視通信領域 角張 泰之  
古賀 禎
2. ADS-B導入に向けた脆弱性対策と補完用WAM技術の開発  
監視通信領域 長縄 潤一  
宮崎 裕己  
田嶋 裕久
3. GPS時刻参照による楕円測位誤差の基礎評価  
監視通信領域 北折 潤  
井上 諭  
福井医療大学 塩見 格一
4. パッシブレーダによる移動体検出について  
監視通信領域 本田 純一  
大津山 卓哉
5. ILS電波干渉シミュレータの開発状況報告  
監視通信領域 本田 純一  
松永 圭左  
田嶋 裕久  
航法システム領域 毛塚 敦
6. 無人航空機の監視における有人機向け技術の応用  
監視通信領域 河村 暁子  
森岡 和行  
二ッ森 俊一  
米本 成人  
角張 泰之
7. ミリ波を用いたヘリコプタ障害物監視支援技術  
監視通信領域 二ッ森 俊一  
森岡 和行  
河村 暁子  
米本 成人
8. 滑走路上の薄い水や氷の膜厚を計測する技術の開発  
監視通信領域 米本 成人  
河村 暁子  
二ッ森 俊一  
森岡 和行
9. 飛行実証実験による空地統合SWIMに関する検討  
監視通信領域 呂 曉東  
森岡 和行  
古賀 禎

### 【Room1】

1. 負荷平準化指向の離散的空域編成  
筑波大学 猿渡 康文  
防衛大学校 鶴飼 孝盛  
中央大学 鳥海 重基  
航空交通管理領域 蔭山 康太
2. 機械学習を活用した飛行時間予測精度の改善  
航空交通管理領域 岡 恵  
蔭山 康太  
中村 陽一  
虎谷 大地
3. 統合管制情報処理システムのデータに関する調査  
航空交通管理領域 住谷 美登里

### 【Room2】

1. 無人航空機と有人航空機の空域共存に向けて  
航空交通管理領域 平林 博子  
虎谷 大地  
監視通信領域 河村 暁子
2. レーダー監視下RNP2経路における横間隔短縮の検討  
航空交通管理領域 森 亮太
3. 福岡FIRの高高度空域におけるフリールーティング概念について  
航空交通管理領域 ブラウン マーク  
平林 博子  
ピクラマシンハナヴィンダキトマル  
村田 暁紀  
虎谷 大地  
長岡 栄
4. 羽田空港D滑走路出発便の地上走行における順序付けに関する考察  
航空交通管理領域 山田 泉  
青山 久枝

## (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
Complementing regional ground GNSS- STEC computerized ionospheric tomography (CIT) with ionosonde data assimilation (イオノゾンデアンシメレーション補完を用いた地上GNSS観測による地域電離圏トモグラフィ)	Nicholas Ssessanga (京大大学生存圏研究所) 山本 衛 (京大大学生存圏研究所) 齋藤 享 (京都大学) 西岡 未知 (情報通信研究機構)	令和3年4月	GPS Solutions
Anomaly detection and cause analysis during instrument landing system approach using recurrent neural network (再起型ニューラルネットワークを用いたILS進入時の異常検知および原因分析)	森 亮太	令和3年4月	Journal of Aerospace Information Systems
Space weather benchmarks on Japanese society (日本社会に対する宇宙天気の影響評価)	石井 守 (情報通信研究機構) 塩田 大幸 (情報通信研究機構) 埜 千尋 (情報通信研究機構) 海老原 祐輔 (京都大学) 藤原 均 (成蹊大) 石井 貴子 (京都大学) 一本 潔 (京都大学) 片岡 龍峰 (国立極地研究所) 古賀 清一 (宇宙航空研究開発機構) 久保 勇樹 (情報通信研究機構) 草野 完也 (名古屋大学) 三好 由純 (名古屋大学) 長妻 努 (情報通信研究機構) 中溝 葵 (情報通信研究機構) 中村 雅夫 (大阪府立大学) 西岡 未知 (情報通信研究機構) 齋藤 享 佐藤 達彦 (日本原子力研究開発機構) 津川 卓也 (情報通信研究機構) 余田 成男 (京都大学)	令和3年5月	Earth, Planets and Space
Multi-objective takeoff time optimization using cellular automation-based simulator (セルオートマトンを利用したシミュレータに基づく離陸時刻の多目的最適化)	関根 将弘 (東京理科大学) 立川 智章 (東京理科大学) 伊藤 恵理 藤井 孝藏 (東京理科大学)	令和3年5月	IEEE Access
Data-Driven Simulation for Evaluating the Impact of Lower Arrival Aircraft Separation on Available Airspace and Runway Capacity at Tokyo International Airport (データ駆動型シミュレーションによる東京国際空港の滑走路と空域容量を制限した場合の到着間隔削減効果の評価)	関根 将弘 (東京理科大学) 加藤 古都 (東京大学) 藤山 康大 伊藤 恵理	令和3年6月	Aerospace
Assessing the performance of a Northeast Asia Japan-centered 3-D ionosphere specification technique during the 2015 St. Patrick's day geomagnetic storm (2015年St. Patrick's day地磁気嵐時の日本を中心とした北東アジア域における電離圏3次元トモグラフィの性能評価)	Nicholas Ssessanga (京都大学) 山本 衛 (京都大学) 齋藤 享	令和3年6月	Earth, Planets and Space
PSTEP: project for solar-terrestrial environment prediction (PSTEP: 太陽地球環境予測計画)	草野 完也 (名古屋大学) 一本 潔 (京都大学) 石井 守 (情報通信研究機構) 三好 由純 (名古屋大学) 余田 成男 (京都大学) 齋藤 享 共著者他45名	令和3年8月	Earth, Planets and Space
Characterization of ionospheric irregularities over Vietnam and adjacent region for the 2008-2018 period (ベトナム周辺における2008-2018年の電離圏不規則構造の特徴について)	Dung Nguyen Thanh (IGP-VAST/VAST科学技術大学院大学) Minh Le Huy (IGP-VAST/VAST科学技術大学院大学) Christine Amory-Mazaudier (Sorbonne大/ICTP) Rolland Fleury (LAB-STICC) 齋藤 享 Thang Nguyen Chien (IGP-VAST) Hong Pham Thi Thu (IGP-VAST/VAST科学技術大学院大学) Thanh Le Trung (IGP-VAST) Mai Nguyen Thi (IGP-VAST)	令和3年8月	Vietnam Journal of Earth Sciences
色の誘目度モデルを用いた航空管制レーダー画面の設計指針の検討	吉田 悠 (KDDI総合研究所) 青山 久枝 狩川 大輔 (東北大学大学院) 井上 諭 菅野 太郎 (東京大学大学院) 吉田 一雄 (東京大学大学院)	令和3年8月	人間工学 (論文誌)
Effects of Input Data Uncertainties on an Air Traffic Control Difficulty Index (入力データの不確定性の航空管制難度指標への影響)	長岡 栄 Mark Brown DELAHAYE Daniel (ENAC)	令和3年9月	IEICE TRANSACTIONS on Communications (電子情報通信学会 英文論文誌B)
Separation Correction by Speed-Adjustment for Aircraft on Air Routes to a Congested Airport (混雑空港に至る航空路上の航空機群の速度調整による間隔是正)	松永 博英	令和3年9月	International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation (IJMMNO)
Probabilistic Risk Assessment of Solar Particle Events Considering the Cost of Countermeasures to Reduce the Aviation Radiation Dose (太陽高エネルギー粒子イベントによる航空機被ばく対策のコストを考慮した確率的リスク評価)	藤田 萌 (京都大学・思修館) 佐藤 達彦 (日本原子力研究開発機構) 齋藤 享 山敷 庸亮 (京都大学・思修館)	令和3年9月	Scientific Reports
Implementation of a Long-Range Air Traffic Flow Management Concept for the Asia-Pacific Region (新しい航空交通流管理であるLRATFM概念のアジア太平洋地域への実装)	Michael Schultz (ドレスデン工科大学) Daniel Lubig (ドレスデン工科大学) Ehsan Asadi (ドレスデン工科大学) Judith Rosenow (ドレスデン工科大学) 伊藤 恵理 Srinivas Athota (南洋理工大学) Vu N. Duong (南洋理工大学)	令和3年9月	IEEE Access
Study of structures of the sporadic E layer by using dense GNSS network observations (稠密GNSSネットワーク観測によるEs層の構造に関する研究)	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3年12月	NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation
マルチバスモニタリングによるGNSSスプーフィング検知の研究	小林 海斗 (東京海洋大学) 久保 信明 (東京海洋大学) 坂井 丈素	令和3年12月	日本航空宇宙学会論文集 (和文論文集)

Suppression of Ionospheric Irregularity Due to Auroral Particle Impact (オーロラ粒子によって生成された電離圏擾乱の抑制)	高橋 透 Andres Spicher (The Arctic University of Norway) Francesca Di Mare (University of Oslo) Douglas E. Rowland (NASA) Robert F. Pfaff (NASA) Michael R. Collier (NASA) Lasse Clausen (University of Oslo) Jøran Idar Moen (University of Oslo & University Centre in Svalbard)	令和3年12月	Journal of Geophysical Research: Space Physics
MSAS信号による測距精度の評価	坂井 丈泰 北村 光教	令和3年12月	測位航法学会論文誌
Modeling Aircraft Departure at a Runway using a Time-varying Fluid Queue (時変流体待ち行列を用いた滑走路における航空機の出発モデル)	伊藤恵理 Mihaela Mitici(デルフト工科大学) Michael Schultz(ドレスデン工科大学)	令和4年2月	Aerospace
Clustering-based iterative optimization method for aircraft landing sequence under crowded condition (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法)	村田 曉紀 高玉 圭樹 (電気通信大学) 佐藤 寛之 (電気通信大学) Delahaye Daniel (French Civil Aviation University)	令和4年2月	電気学会 論文誌C
In-flight profile updates by appropriate cost index selection-operational perspective (適切なCI選択による飛行中の飛行プロファイル更新-運用の観点から)	森 亮太	令和4年3月	Transactions of the JSASS
Electron-neutral collisions effects on Langmuir probe in the lower E-region ionosphere (E領域下部における電子-中性粒子衝突のラングミュアプローブへの影響)	Stefen Brask (University of Oslo) Sigvald Marholm (University of Oslo) Francesca Di Mare (University of Oslo) Sayan Adhikari (University of Oslo) Andres Spicher (The Arctic University of Norway) 高橋 透 Wojciech Miloch (University of Oslo)	令和4年3月	Physics of Plasmas

(b)標準化会議

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
DME Tracking Status and Ranging Error on STAR (STARにおけるDMEの捕捉ステータスと測距誤差)	毛塚 敦	令和3年4月	EUROCAE WG-107
Guidance on the tropospheric scale height (対流圏スケールハイトに関するガイダンス)	齋藤 享 吉原 貴之 Gary McGraw (Collins Aerospace) Matt Harris (Boeing)	令和3年4月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 7
Coordination with METP on Space Weather (宇宙天気に関するICAO気象パネルとの調整について)	齋藤 享	令和3年4月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 7
QZSS standardization follow-up (準天頂衛星システムの標準化に関する続報)	松田 国幸 (航空局) 岸 信隆 (内閣府) 井下 亨 (航空保安無線システム協会) 坂井 丈泰	令和3年4月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 7
Distribution estimation of geometric height difference between HMU and ADS-B (HMUとADS-Bの幾何高度差の分布推定)	金田 直樹 松永 圭左 宮崎 裕己 丸塚 康弘 (国土交通省)	令和3年4月	ICAO Regional Monitoring Agencies Coordination Group (RMACG) Monitoring Systems Standards Subgroup (MSSS) 4
Update of 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の更新)	宮崎 裕己	令和3年4月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1:
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3年4月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 13
Consideration of Ground Speed Distribution (対地速度分布の考察)	森 亮太	令和3年5月	ICAO Separation and Airspace Safety Panel (SASP) 3
ADS-B GEOMETRIC HEIGHT REFERENCE DETERMINATION USING HMU DATA (HMUデータを用いたADS-B幾何高度基準の判別)	松永 圭左 金田 直樹 宮崎 裕己 丸塚 康弘 (航空局交通管制部管制課空域調整整備室)	令和3年6月	ICAO Regional Monitoring Agencies Coordination Group (RMACG) 16
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3年6月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 1:
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3年6月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 1:
TRANSMITTING AND RECEIVING EQUIPMENT FOR RADIO COMMUNICATION - SHORT-RANGE RADAR TECHNOLOGIES AND THEIR PERFORMANCES (無線通信用送受信機 短距離レーダー技術とその性能 第1部短距離レーダーのシステム応用)	米本 成人	令和3年7月	IEC TC103 WG 6
SWIM Infrastructure to Achieve Message Level Security (SWIMインフラによるメッセージセキュリティの実現)	呂 曉東	令和3年8月	ICAO Asia and Pacific (APAC) SWIM Task Force (TF) 5
Status on the updates to the SI/II codes assignment criteria in Doc 9924 (Doc 9924におけるSI/IIコード割り当て規準の更新状況)	中国航空局 宮崎 裕己 シンガポール航空局 ICAO APACセクレタリ	令和3年8月	ICAO Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group (APANPIRG) Surveillance Implementation Coordination Group (SURICG) 6
Observed Large Multipath and Countermeasure in Japan (日本において観測された大きなマルチパスとその対策について)	毛塚 敦 本田 純一 石田 勝之 (航空局)	令和3年9月	EUROCAE WG-107
Review of guidance documents related to ionospheric anomalies (電離圏異常に関するガイダンスのレビュー)	齋藤 享 George Wong (香港航空局)	令和3年9月	ICAO Asia/Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF)
Framework of Guidance Reference on Implementation Process for GBAS/SBAS (GBAS/SBAS導入プロセスに関するガイダンスの骨子)	齋藤 享 George Wong (香港航空局)	令和3年9月	ICAO Asia/Pacific (APAC) GBAS/SBAS Implementation Task Force (GBAS/SBAS ITF)
Interference Susceptibility Evaluations of Pulsed Radio Altimeters Due to 5G Mobile Base Station Signal (パルス型電波高度計の5Gモバイルシステム基地局信号に対する耐電磁干渉特性評価)	ニッ森 俊一	令和3年10月	ICAO Frequency Spectrum Management Panel (FSMP) Working Group (WG) 12
INTERVAL MANAGEMENT PRESENTATION PACKAGE (IMプレゼンテーションパッケージ)	伊藤 恵理 大津山 卓哉 IM ad-hoc Group	令和3年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) 12
UPDATED PROPOSAL FOR PANS-OPS PROVISIONS FOR IM PROCEDURE (PANS-OPSIにおけるIMプロシージャ規定の更新案)	伊藤 恵理 大津山 卓哉 IM ad-hoc Group	令和3年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) 12
Proposals for IM section in the PANS-OPS (PANS-OPSの改訂案(IM)に関する章)	伊藤 恵理 大津山 卓哉	令和3年10月	ICAO Surveillance Panel (SP) Airborne Surveillance (AIRB) ad-hoc
ENRI Remote Tower Latest Technical Developments (ENRIリモートタワー最新技術開発状況)	井上 諭 ブラウン マーク	令和3年11月	EUROCAE WG-100
Recap of Multipath Investigation in Japan (日本におけるマルチパス調査の要約)	毛塚 敦	令和3年11月	EUROCAE WG-107 Multipath Tiger Team
Progress on Space Weather Job Card (宇宙天気ジョブカードに関する進捗)	齋藤 享 NSP Space Weather ad hoc group	令和3年11月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 8
Updated GAST X Proposal (GAST X提案に関する情報更新)	Tim Murphy (Boeing) Matt Harris (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace) Linda Lavik (Indra Navia) Morten Topland (Indra Navia) Mutaz Tuffaha (Indra Navia)	令和3年11月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 8
GBAS Status Update in Japan (日本におけるGBASステータスアップデート)	齋藤 享 吉原 貴之 福島 荘之介 松田 国幸 (航空局)	令和3年11月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 8
Guidance on determination of the tropospheric refractivity, its uncertainty and scale height (対流圏屈折指数、その不確実性及びスケールハイト決定についてのガイダンス)	吉原 貴之 齋藤 享	令和3年11月	ICAO Navigation Systems Panel (NSP) -JWGs 8
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3年11月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 1:
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3年11月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) 14
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2月	ICAO Surveillance Panel (SP) Aeronautical Surveillance Working Group (ASWG) Technical Subgroup (TSG) 14
Radio altimeter interference path loss measurements of helicopter (ヘリコプタにおける電波高度計干渉経路損失の測定)	ニッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭 小林 啓二 (宇宙航空研究開発機構) 中福島 健一 (宇宙航空研究開発機構)	令和4年2月	ICAO Frequency Spectrum Management Panel (FSMP) Working Group (WG) 13

An Evaluation Example of a Non-Cooperative Method for DAPs Data Recognition (非協動的DAPsデータ認識手法の評価例)	長縄 潤一 森 亮太 古賀 禎	令和4年3月	ICAO Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group (APANPIRG) Mode S Downlinked Aircraft Parameters (DAPs) Working Group 5
--	-----------------------	--------	---

(c) 国際会議

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
Test System of JCAB (JCABの実験システムについて)	呂 曉東	令和3年5月	Multi-Regional TBO Demonstration
A Flight Route Generation Tool to Evaluate Oceanic Operations (洋上空域での航空機運航を評価するための飛行経路生成ツールの紹介)	平林 博子 ブラウン マーク	令和3年5月	The Meeting of the Informal Pacific ATC Co-ordinating Group (IPACG) PM26
ATM Research using machine learning or artificial intelligence (機械学習や人工知能を用いたATMの研究)	森 亮太 岡 恵 虎谷 大地	令和3年6月	FATS WG 29
Test Report for JCAB-FAA Vignettes (JCAB-FAA実証実験の報告)	呂 曉東	令和3年6月	Multi-Regional TBO Demonstration
AEROTHAI-JCAB Demonstration on Trust Framework (信頼基盤によるAEROTHAIとJCABとの実証実験)	呂 曉東	令和3年7月	ICAO SWIM Workshop
Status of GBAS related studies of ENRI (電子航法研究所におけるGBAS関連研究の現状について)	齋藤 享 吉原 貴之 福島 荘之介	令和3年9月	第36回 Landing and take-off (LATO/36)会議
Integrated Arrival, Departure, and Surface Traffic Simulation at Tokyo International Airport (到着・出発・空港面を統合した東京国際空港の航空交通シミュレーション)	伊藤 恵理 藤山 康太 (東京理科大学) 関根 将弘 (東京理科大学) 加藤 古都 (東京大学)	令和3年11月	AirTOP User Group Meeting
Development and Field Trial of Airport Runway Foreign Object Debris Detection System (滑走路異物監視システムの開発と空港試験)	ニッ森 俊一 柴垣 信彦 (㈱日立国際電気)	令和3年11月	Aviation Seminar
Updates of JCAB for Phase 2 (Phase 2に向けてJCABの進捗状況)	呂 曉東	令和3年11月	Multi-Regional TBO Technical Interchange Meeting #3
GBAS R&D Status in Japan (日本におけるGBAS関連の研究開発状況)	齋藤 享 吉原 貴之	令和4年1月	GBASに関する調査・意見交換会議(PANYNJ, Air Services Australia, ENAIRE, FAA)
Feasibility Study of Free routing Airspace Operation over the North Pacific Airspace (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	令和4年2月	The Meeting of the Informal Pacific ATC Co-ordinating Group (IPACG) /47
Characterization of the ionosphere for GBAS (GBASのための電離圏評価)	齋藤 享	令和4年3月	Training Course of Ionospheric Data Analysis for GBAS



## (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
Task Modeling in Air Traffic Control with Trajectory-based En-route Traffic Data Processing System (航空路管制処理システムによる航空管制官タスクモデル)	孟 成柱 (筑波大学理工情報生命学術院) 伊藤 誠 (筑波大学理工情報生命学術院) 平林 博子 瀬之口 敦	令和3年5月	2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
Investigation of Support Algorithm for Air Traffic Controllers' Arrival Separation Management (航空管制官の到着間隔づけのための支援アルゴリズムの検討)	虎谷 大地 吉原 貴之 藤井 直樹 瀬之口 敦 山田 泉	令和3年6月	16th IFAC Control in Transportation Systems
Symbolic Context Model for Resilience Engineering (レジリエンス工学のための記述的コンテキストモデル)	三橋 大地 (東京大学大学院) 菅野 太郎 (東京大学大学院) 井上 諭 狩川 大輔 (東北大学) 野々瀬 晃平 (電力中央研究所) 浅谷 公威 (東京大学大学院) 古田 一雄 (東京大学大学院)	令和3年7月	International Conference on Applied Human Factor and Ergonomics (AHFE) 2021
Aircraft-Receiver Distance Estimation using ADS-B Signal Strength for Position Verification Application (位置検証のためのADS-B信号強度を用いた航空機と受信局の距離推定)	長縄 潤一 宮崎 裕己	令和3年8月	10th IEEE AP-S Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communication (IEEE APWC)
Electromagnetic Field Strength Estimation on Hemisphere Around Aircraft Using FDTD Analysis at the Wireless Avionics Intra-Communication Band (航空機内データ通信周波数帯におけるFDTD数値解析を用いた航空機周辺の半球状電磁界強度推定)	ニッ森 俊一 森岡 和行 日景 隆 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 関口 徹也 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 山本 学 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 野島 俊雄 (北海道大学 大学院情報科学研究院)	令和3年8月	2021 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium
ETA and Wind Prediction Accuracy Improvement Using Numerical Weather Forecast and Aircraft Surveillance Data (数値予報と監視データを用いたETAおよび風予測精度の向上)	Yohann Gillet (ENAC) 森 亮太	令和3年8月	AIAA Aviation Forum
Numerical Simulation and Measurement of Bistatic Radar Cross Section in 75 GHz (75GHzにおけるバイスタティックRCSの数値シミュレーションと測定)	本田 純一 牧田 芳男 大津山 卓哉 渡邊 優人 (JAXA) Robert Geise (TUBS)	令和3年8月	ICEAA-IEEE APWC
Measurement of Localizer Signal Interferences from Hangars in Airport (空港内の格納庫からのLOC信号干渉の測定)	本田 純一 松永 圭左 毛塚 敦 田嶋 裕久	令和3年8月	ICEAA-IEEE APWC
Semi-CDO: An arrival separation management algorithm for continuous descent operation (Semi-CDO: 継続降下運航のための到着間隔管理アルゴリズム)	和田 真治 (慶応義塾大学) 井上 正樹 (慶応義塾大学) 虎谷 大地	令和3年9月	SICE Annual Conference 2021
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に対するデータ駆動型解析手法)	虎谷 大地 中村 陽一 岡 恵	令和3年9月	USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar 2021
Feasibility Study of Free routing Airspace Operation over the North Pacific Airspace (北太平洋上空域でのフリールート空域運用の実現可能性)	平林 博子 武市 昇 (東京都市大学) ブラウン マーク	令和3年9月	USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar 2021
Numerical Simulation of Aircraft Position Verification using AOA and TDOA for ADS-B (ADS-Bに向けた信号到来角と信号到達時間差を用いた航空機位置検証の数値シミュレーション)	長縄 潤一 宮崎 裕己 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和3年10月	2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
Estimation of 1090MHz Signal Types Used in Aircraft Surveillance System (航空機監視で利用される1090MHz信号種類の推定)	本田 純一 角張 泰之 大津山 卓哉	令和3年10月	2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
Measurement of 4 GHz Radio Altimeter Interference Path Loss Including 5G Sub-6 Frequency Bands Using Beechcraft B300 Aircraft (ビーチクラフトB300型機を用いた5 Sub-6帯を含む4 GHz航空機電波高度計の干渉経路損失測定)	ニッ森 俊一 宮崎 則彦 佐藤 亜衣 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 尾崎 龍之介 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 日景 隆 (北海道大学 大学院情報科学研究院) 野島 俊雄 (北海道大学 大学院情報科学研究院)	令和3年10月	2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)
Connected Aircraft for Operational Awareness (コネクテッド航空機による運用状況感知)	呂 曉東 森岡 和行	令和3年10月	IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) 2021
Helicopter Radio Altimeter Interference Path Loss Measurement Including Adjacent 5G Mobile Telecommunications Band (隣接5Gモバイルシステム周波数帯を含むヘリコプタ電波高度計の干渉経路損失測定)	ニッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭 小林 啓二 (宇宙航空研究開発機構) 中福島 健一 (宇宙航空研究開発機構)	令和3年11月	2021 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)
Evaluation of Pulsed Aircraft Radio Altimeter Electromagnetic Interference Characteristics due to Sub-6 band 5G Mobile Communication Systems (Sub-6帯5Gモバイルシステムによるパルス型電波高度計の電磁干渉特性評価)	ニッ森 俊一 宮崎 則彦	令和3年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE) 2021
Comparison of Direct and Localization-based Methods for Position Verification using Distance Measurement (測距を用いた位置検証のための直接法と測位法の比較)	長縄 潤一	令和3年12月	2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON)
Development of air-ground VHF data communication validation system (空地VHFデータ通信検証システムの開発)	河村 暁子 森岡 和行 米本 成人	令和3年12月	International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC)

## (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
Flight tests for expanding AeroMACS coverage and air-ground SWIM demonstration (AeroMACSの覆域拡大に関する飛行実験と空地SWIMのデモンストレーションについて)	森岡 和行 呂 曉東 長縄 潤一 村田 晁紀 江上 周作	令和3年4月	Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2021
Research and Development of a manned aircraft surveillance system for UTM (UTMのための有人機監視システムの研究開発について)	古賀 禎	令和3年4月	Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) 2021
Foreign Object Debris Detection Performance Improvement Evaluation of a 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar System in Airport Environments (90GHz帯ミリ波レーダのFOD探知性能向上評価のための空港環境試験)	ニッ森 俊一 米本 成人 柴垣 信彦 (㈱日立国際電気) 佐藤 洋介 (㈱日立国際電気) 加島 謙一 (㈱日立国際電気)	令和3年8月	46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)
ANALYSIS OF PILOT OPERATIONAL STRATEGY DIFFERENCE USING NEURAL NETWORK (ニューラルネットワークを用いたパイロット戦略の分析)	森 亮太	令和3年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2021
Designing Aircraft Traffic Flows Using Data-driven Queuing Models (データ駆動型待ち行列モデルを用いた航空交通流の設計)	伊藤 恵理 加藤 吉都 (東京大学) 日笠 航希 (東京大学) Michael Shultz (ドレスデン工科大学)	令和3年9月	Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) 2021
GAST D (GBAS approach service type D) in the low latitude region and use for CAT I service (低緯度地域におけるGAST Dのカテゴリ-Iアプローチへの利用について)	齋藤 享	令和3年9月	International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+) 2021
Alternative Architecture for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS (2周波・複数衛星系GBASアーキテクチャにおける対策)	Tim Murphy (Boeing) Matt Harris (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace) Linda Lavik (Indra Navia) Morten Topland (Indra Navia) Mutaz Tuffaha (Indra Navia) 齋藤 享	令和3年9月	International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+) 2021
Off-block Time Prediction Using Operators' Prediction History (運航者の予測履歴を用いたオフブロック時刻の予測)	森 亮太	令和3年10月	Digital Avionics Systems Conference (DASC) 2021
An Analysis of Flight Routes and Considerations for Free Route Airspace Implementation in Fukuoka FIR (福岡 FIRへのフリールート空域導入のための飛行経路分析及び考察)	ブラウン マーク 平林 博子 Keumjin Lee (韓国空港大学)	令和3年11月	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)
Evaluating the Influence of Weather Prediction Accuracy on Aircraft Performance Estimation (運航性能評価における数値予報気象データ精度の影響に関する一検討)	ピクラミンハ ナヴィンダ キトマル 中村 陽一 瀬之口 教	令和3年11月	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)
Quantitative Evaluation of Controlled Arrival Flow Connecting into Point Merge System at Tokyo International Airport (東京国際空港におけるポイントマージシステムに接続する制御を受けた交通流の定量的評価)	アンドレエバ 森 アドリアナ (宇宙航空研究開発機構) 虎谷 大地 生地 将英 (宇宙航空研究開発機構) 松野 賀直 (宇宙航空研究開発機構)	令和3年11月	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)
A Study on Optimal Runway Assignment Using Simulated Annealing (焼きなまし法による滑走路割り当て最適化の検討)	中村 陽一 森 亮太	令和3年11月	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)
Dual-band MMW Radar Imaging System to Detect Concealed Weapons for Security Inspections (セキュリティ検査のための隠された武器を検出する2周波ミリ波レーダーイメージングシステム)	米本 成人 河村 暁子 ニッ森 俊一 森岡 和行 平賀 規昭	令和3年11月	IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA) 2021
Evaluation of Fundamental Airport Runway Clutter Characteristics Based on 90 GHz Band Millimeter-Wave Foreign Object Debris Detection Radar (90 GHz帯FOD探知レーダを用いた滑走路面クラッタ特性の基本評価)	ニッ森 俊一 米本 成人 柴垣 信彦 (㈱日立国際電気) 佐藤 洋介 (㈱日立国際電気) 加島 謙一 (㈱日立国際電気)	令和3年11月	IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA) 2021
TDOA and AOA Measurement System for Investigating Aircraft Position Verification (航空機位置検証研究のための到達時間差(TDOA)と到来角(AOA)の測定システム)	長縄 潤一 宮崎 裕己 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和3年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE) 2021
Development of Multi-link Emulator for Heterogeneous Aeronautical Radio Systems (ヘテロニアス航空無線のためのマルチリンクエミュレータ開発)	森岡 和行 呂 曉東 米本 成人 河村 暁子	令和3年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE) 2021
Modeling of Aircraft Routes under Severe Weather Conditions (悪天における航空機の回避経路のモデル化)	中村 陽一 瀬之口 教	令和4年1月	ALAA Scitech Forum
Performance of DFMC SBAS broadcasted from Japanese QZSS in Oslo, Norway (日本の準天頂衛星から放送されるDFMC SBASのノルウェー・オスロにおける受信実験)	高橋 透 齋藤 享 北村 光教 坂井 丈泰	令和4年2月	International Technical Meeting (ITM) 2022
Ionospheric Gradient Monitoring for Dual Frequency Multi-Constellation GBAS (3周波複数衛星系GBASのための電離圏勾配モニタ)	Tim Murphy (Boeing) Matt Harris (Boeing) Glucaia Balvedi (Boeing) Gary McGraw (Collins Aerospace) Joel Wichgers (Collins Aerospace) Linda Lavik (Indra Navia) Morten Topland (Indra Navia) Mutaz Tuffaha (Indra Navia) 齋藤 享	令和4年2月	International Technical Meeting (ITM) 2022

(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
Economic impacts of atmospheric radiation storm on aircraft operations and potential use of space weather information (太陽放射線嵐の航空機運航に対する経済的影響及び宇宙天気情報の利用可能性)	齋藤 享 ピクマシムハ・ナヴィンダ 佐藤 達彦 (日本原子力開発機構) 塩田 大幸 (情報通信研究機構)	令和3年6月	日本地球惑星科学連合大会 2021
Observations of the ionosphere by a GNSS network and application for GNSS-based navigation (GNSSネットワークを用いた電離圏観測とGNSS航法への応用)	齋藤 享	令和3年11月	International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics (ICSANE) 2021
Ionospheric Characterization for GBAS in the low latitude region (磁気低緯度におけるGBASのための電離圏特性解析)	齋藤 享	令和3年11月	The 2nd LAPAN International Symposium on Space Science
Dual Mode Sensing by Hybrid Imaging System to Detect Weapons for Security Inspections (セキュリティ検査の武器検出のためのハイブリッドイメージングシステムによる2種モードによるセンシング)	米本 成人 河村 暁子 二ツ森 俊一 森岡 和行 牧田 芳男	令和3年12月	The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)
Complex Power Measurement of Millimeter-Wave Signal through Dielectric Lens by Correlation Receiving Method for Security Inspections (セキュリティ検査のための誘電体レンズを通過したミリ波信号の複素電力計測)	村田 博司 (三重大学) Arie Sotiawan (三重大学) 河村 暁子 二ツ森 俊一 森岡 和行 牧田 芳男 米本 成人	令和3年12月	The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)

## (g) 国内学会

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
航空交通データの収集・整備・提供	岡 恵 古賀 禎 瀬之口 敦	令和3年4月	第52期 日本航空宇宙学会 年会講演会
セキュリティ検査用ハイブリッドイメージングシステムの相関受信方式に関する検討	米本 成人 河村 暁子 二ッ森 俊一 森岡 和行 牧田 芳男	令和3年4月	電子情報通信学会 マイクロ波研究会 (MW)
衛星測位のセキュリティ	坂井 丈泰	令和3年5月	ISSスクエア水平ワークショップ
航空機運航における気象要因の定量化に向けた研究	中村 陽一 瀬之口 敦	令和3年5月	第144回 日本航海学会 春季講演会
記述的情況分析ツールの開発とレジリエンス工学への応用	三橋 大地 (東京大学大学院) 菅野 太郎 (東京大学大学院) 浅谷 公威 (東京大学大学院) 古田 一雄 (東京大学大学院) 井上 諭 狩川 大輔 (東北大学大学院) 野々瀬 晃平 (電力中央研究所)	令和3年5月	第62回 日本人間工学会 大会
SLAS評価結果の報告	北村 光教 坂井 丈泰	令和3年5月	日本航海学会 GPS/GNSS研究会 春季研究会
GPS/GNSSの基礎と高精度測位技術	坂井 丈泰	令和3年6月	測位航法学会 全国大会セミナー
TDOAとAOAを用いた航空機位置検証法のシステム設計に関する検討	長縄 潤一 宮崎 裕己 古賀 禎 田嶋 裕久 角張 泰之	令和3年6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)
小型航空機における4 GHz帯航空機電波高度計の干渉経路損失測定	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 日景 隆 (北海道大学 大学院情報科学研究 院) 関口 徹也 (北海道大学 大学院情報科学 研究院) 山本 学 (北海道大学 大学院情報科学研 究院) 野島 俊雄 (北海道大学 大学院情報科学 研究院)	令和3年6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)
セキュリティ検査用電波イメージングのための2周波数帯利用時の距離精度改善効果の一検討	米本 成人 河村 暁子 二ッ森 俊一 森岡 和行 平賀 規昭	令和3年6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)
空港滑走路異物探知システムに用いる96 GHz帯ミリ波レーダによる滑走路上小異物の反射特性測定-反射角度特性および感度改善効果測定-	二ッ森 俊一	令和3年6月	電子情報通信学会 無線端末・アンテナシステム測定技術研究会 (ATM研)
航空交通管理におけるデジタルツインの応用	伊藤 恵理	令和3年6月	日本シミュレーション学会誌
Decay of ionospheric irregularity due to auroral particle impact (オーロラ発光に関連した電離圏イレギュラリティの減衰)	高橋 透 Andres Spicher (University of Oslo) Francesca Di Mare (University of Oslo) Douglas E. Rowland (NASA) Robert F. Pfaff (NASA) Michael R. Collier (NASA) Lasse Clausen (UiO) Jørn Idar Møen (UNIS)	令和3年6月	日本地球惑星科学連合大会 2021
災害時輸送におけるシミュレータの活用	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) 小濱 英司 (港湾空港技術研究所) 山田 泉 大矢 陽介 (港湾空港技術研究所) 青山 久枝 松倉 洋史 (海上技術安全研究所)	令和3年7月	第21回 海上技術安全研究所 研究発表会
2D-FDTD法とRay-tracing法を併用した空路面電磁界解析手法のFull-wave解析との比較	渡邊 恵 (青山学院大学) 橋本 真輝 (青山学院大学) 須賀 良介 (青山学院大学) 毛塚 敦 橋本 修 (青山学院大学)	令和3年7月	電子情報通信学会 エレクトロニクスシミュレーション研究会 (EST)
誘電体レンズを透過する熱雑音の相関受信方式による複素電力測定	米本 成人 河村 暁子 二ッ森 俊一 森岡 和行 牧田 芳男 村田 博司 (三重大学)	令和3年7月	電子情報通信学会 マイクロ波研究会 (MW)
航空交通の容量管理のための航空路管制業務作業量計測ツールの開発	平林 博子	令和3年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム 2021
GEONET ROTIを用いたEs層の構造・特性の解析	齋藤 亨 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3年9月	第15回 MUレーダー/赤道大気レーダーシンポジウム
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	吉原 貴之 瀬之口 敦 毛塚 敦 齋藤 亨 古賀 禎	令和3年9月	第15回 MUレーダー/赤道大気レーダーシンポジウム
衛星ビーコン観測によるスボラディックEs層の構造の研究	高橋 透 齋藤 亨	令和3年9月	第15回 MUレーダー/赤道大気レーダーシンポジウム
セルオートマトンを用いた航空交通流の多目的巡航速度最適化	関根 将弘 (東京理科大学大学院) 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3年9月	第20回進捗計算学会研究会
ILS信号干渉シミュレータの開発-GS-	本田 純一 松永 志左 毛塚 敦 田嶋 裕久	令和3年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
航空機電波高度計周波数帯におけるヘリコプタの干渉経路損失-BK117C-2型機を用いた測定評価-	二ッ森 俊一 宮崎 則彦 平賀 規昭 小林 啓二 (宇宙航空研究開発機構) 中福島 健一 (宇宙航空研究開発機構)	令和3年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
AOAとTDOAを併用した航空機位置検証における誤差の考慮	長縄 潤一 宮崎 裕己 田嶋 裕久 古賀 禎 北折 潤	令和3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適用条件に関する一検討	渡邊 恵 (青山学院大学) 橋本 真輝 (青山学院大学) 須賀 良介 (青山学院大学) 毛塚 敦修 (青山学院大学)	令和3年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
無人航空機運航のリスク解析について	天井 治	令和3年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
航空無線通信用マルチリンクエミュレータの開発～コンセプトと基本動作確認～	森岡 和行 米本 成人 河村 暁子	令和3年9月	電子情報通信学会 ソサイエティ大会
CLASを用いたSLAS性能改善に関する検討	北村 光教 坂井 丈泰	令和3年10月	GPS/GNSSシンポジウム 2021
GNSS観測網を用いたスボラディックE層の特性とGNSSへの影響の研究	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3年10月	GPS/GNSSシンポジウム 2021
航空機の炭素排出削減を支えるGNSS技術 経路間隔と衝突危険度モデルの変遷	坂井 丈泰 森 亮太	令和3年10月 令和3年10月	第33回情報伝送と信号処理ワークショップ 日本航海学会 航空宇宙研究会
Observation of ionospheric irregularity by using scintillation of VHF to UHF satellite signals (VHFからUHF帯衛星ビーコンを用いた電離圏イレギュラリティの観測) 東京国際空港到着便の滑走路運用に関する一分析	高橋 透 齋藤 享 宮沢 与和 虎谷 大地 中村 陽一 森 亮太	令和3年11月	第150回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会 第59回 飛行機シンポジウム
次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発～システム詳細とIP疎通まで～	森岡 和行 ニッ森 俊一 米本 成人 北折 潤 住谷 泰人 河村 暁子	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
洋上航空交通運用評価のための経路データを用いた代表風選択	平林 博子 ブラウン マーク 武市 昇 (東京都立大学)	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
GuGust+GI待ち行列モデルを用いた航空機の到着交通流の分析および制御	日笠 航希 (東京大学) 伊藤 恵理	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
航空機の到着時刻予測に適した機械学習手法の検討	森川 暢明 (東京大学) 伊藤 恵理 矢入 健人 (東京大学)	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
無操縦者航空機の導入に向けた運用環境定義の検討	虎谷 大地 小手川 達也 (GA-ASI)	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
機械学習を用いた航空機の地上走行時間予測の検討	加藤 吉都 (東京大学) 蔭山 康太 伊藤 恵理	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
東京国際空港の到着機を対象とした滑走路割り振りのシミュレーション評価	関根 将弘 (東京理科大学大学院) 立川 智章 (東京理科大学) 蔭山 康太 伊藤 恵理	令和3年11月	第59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位置の分析	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3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
管制指示コマンドデータに基づく航空路管制セクターの分類	孟 成柱 (筑波大学) 伊藤 誠 (筑波大学) 平林 博子 村田 暁紀	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
レーダーエコーに基づく航空機の悪天における回避経路の生成	中村 陽一 瀬之口 敦	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
可搬型衛星航法補強装置によるRNP to xLS飛行評価について	齋藤 真二 福島 荘之介	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
エンルート空域におけるFIM速度制御による到着時間間隔の調整	加地 信一郎 (慶應義塾大学大学院) 高橋 正樹 (慶應義塾大学) 伊藤 恵理	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
L5 SBASによる信号認証機能の基礎検討	坂井 丈泰 北村 光教 小田 浩幸	令和3年11月	第65回 宇宙科学技術連合講演会
SBASによる鉄道車両測位に向けたGNSS受信信号の品質監視とマルチパス誤差モデルの構築	吉原 貴之 北村 光教 小田 浩幸 坂井 丈泰	令和3年11月	第65回 宇宙科学技術連合講演会
SLAS測位精度向上に関する研究	北村 光教	令和3年11月	第65回 宇宙科学技術連合講演会
国際海運における二酸化炭素削減方策検討のためのインタラクティブシミュレーション	虎谷 大地 馬 沖 (海上安全技術研究所) 吉田 隼基 (日本海事協会) 大西 弘益 (商船三井) 河邊 拓樹 (東京大学) 樺方 和夫 (東京大学)	令和3年11月	日本船舶海洋工学会 秋季講演会
実航跡の特徴を抽出した航跡生成に関する研究	森 亮太	令和3年11月	第59回 飛行機シンポジウム
Impacts of VHF anomalous propagation on aeronautical navigation systems and the Es layer structure and dynamics (Es層によるVHF異常伝播が航空航法システムに与える影響及びEs層構造・変動の検討)	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3年11月	第150回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会
GBASの脅威となる低緯度電離圏電子密度急勾配の相関特性について	中村 真帆 齋藤 享 吉原 貴之	令和3年11月	第150回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会及び講演会
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 智章 (東京理科大学) 藤井 孝藏 (東京理科大学) 伊藤 恵理	令和3年12月	進化計算シンポジウム 2021
大規模災害時における空港面運用に関するシミュレータを用いた検討	青山 久枝太郎 (海上技術安全研究所) 荒谷 隆博 (海上技術安全研究所) 間島 泉 山田 今込	令和3年12月	第64回 土木計画学研究 発表会・秋大会
飛行試験データによる複数DMEによる測位誤差の検討	田嶋 裕久 毛塚 敦	令和3年12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)
ガウス過程回帰を用いた旅客機の軌道予測精度の向上ーターミナル空域における降下機の較正対気速度のモデル化ー	虎谷 大地	令和4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)
Research and Development Progress of Foreign Object Debris Detection System Based on 90 GHz Band Millimeter-Wave Radar (90 GHz帯ミリ波レーダを用いた滑走路異物探知システムの研究開発状況)	ニッ森 俊一 森岡 和行 宮崎 則彦 平賀 規昭 米本 成人	令和4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)

空港面通信システムの覆域拡大に関する実証実験～上空におけるハンドオーバー実験～	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2月	電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE)
関東周辺の空域における監視信号環境に関する考察	大津山 卓哉 本田 純一	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
既存航空用VHFデータ通信システムのIP化検討	河村 暁子 森岡 和行 米本 成人	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
円形アレーを用いたトランスポンダ応答信号の到来方向推定	北折 潤一 植見 格一 (福井医療大学)	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
76 GHz帯ミリ波レーダ用多素子平面アレイアンテナの設計および試作評価	二ッ森 俊一 宮崎 則彦	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
将来の航空通信・航法・監視への量子鍵配送の適用可能性検討	金田 直樹 宮崎 裕己	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
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	橋本 真輝 (青山学院大学) 須賀 良介 (青山学院大学) 毛塚 敦 橋本 修 (青山学院大学)	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
滑走路異物検出のための光ファイバ接続型マルチスタティックレーダシステム	米本 成人 河村 暁子 二ッ森 俊一 森岡 和行 宮崎 則彦	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
意図に関する情報提示がチームパフォーマンスに与える影響に関する実験研究	竹井 しのぶ (東北大学大学院工学研究科) 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3月	第189回 ヒューマンインタフェース学会研究会
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4年3月	電子情報通信学会 総合大会
次世代陸域航空無線通信システムのプロトタイプ開発～パワーアンプモジュール評価～	森岡 和行 二ッ森 俊一 米本 成人 北折 潤一 住谷 泰人 河村 暁子	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会
風力発電設備の航空用電波への影響に関する初期検討	本田 純一 米本 成人	令和4年3月	電子情報通信学会 総合大会

(h) その他

表題名	発表者	発表年月	発表学会/機関名
通信・放送・測位 (太陽地球圏環境予測オープン・テキストブック)	齋藤 亨 津川 卓也 (情報通信研究機構)	令和3年4月	太陽地球圏環境予測オープン・テキストブック
管制塔のデジタル化に向けて	井上 諭	令和3年5月	ヒューマンインタフェース学会誌
令和2年度交通運輸技術開発推進制度研究成果報告書 (「大規模災害時における海上・航空輸送に関わるボトルネック解析-マルチエージェントシステムによるシミュレータ開発-」)	青山 久枝	令和3年5月	国土交通省 (関連を含む)
東京国際空港における舗装の点検・補修計画の効率化を目指した交通データの活用について	青山 久枝 伊藤 恵理 山田 泉 伊豆 太 (港湾空港技術研究所)	令和3年5月	マルチラテレーションによる交通量把握等に関する意見交換会
ATEC 5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 第1回WG資料	ニッ森 俊一 福島 荘之介	令和3年6月	5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 SWG1 第1回WG
ADS-C CDPの衝突危険度モデルの概要	森 亮太	令和3年6月	CARATS推進協議会 ATM検討WG 軌道ベース運用検討アドホックADS-C CDP導入検討WG
Pythonによる数値計算法の基礎	橋本 修 (青山学院大学) 毛塚 敦	令和3年6月	Pythonによる数値計算法の基礎
航空管制システムにおけるリスク・レジリエンス	福島 幸子	令和3年6月	リスク・レジリエンス工学概論
固定飛行経路角降下方式に関する研究の紹介	ピクラマジンハ ナヴィンダ キトマル 虎谷 大地 平林 博子	令和3年6月	航空無線108号
リスク・レジリエンス工学概論 航空管制におけるリスクマネジメント	青山 久枝	令和3年6月	筑波大学 リスク・レジリエンス工学概論
GPSによる位置情報の雑音	坂井 丈泰	令和3年6月	超スマート社会の実現に向けて障害となる雑音の影響を低減するための技術調査専門委員会
無人機・有人機間の情報共有における高度計正に関する研究	虎谷 大地	令和3年7月	ISO/TC20/SC16, 無人航空機国際標準化国内委員会
GNSSの原理から基本的な測位アルゴリズム・プログラミングまで	坂井 丈泰	令和3年7月	SAPTオンラインスクール
ATMから考えるUAMの高密度交通管理	虎谷 大地	令和3年7月	UAM ConOps有志勉強会
中部DME不具合の原因分析に対する協力依頼報告書	本田 純一 毛塚 敦	令和3年7月	航空局技術管理センター
東京海洋大学大学院生 (博士前期課程) に対する集中講義資料	天井 治	令和3年7月	東京海洋大学
東京海洋大学大学院生 (博士後期課程) に対する集中講義資料	天井 治	令和3年7月	東京海洋大学
日本航海学会春季研究会でみちびきの将来計画や性能評価報告	北村 光教 坂井 丈泰	令和3年7月	内閣府のみちびきWebサイト
航法システムと航空管制技術の動向と課題	福島 荘之介	令和3年7月	名古屋大学大学院工学研究科航空機開発GPL養成講座 (第13回)
ATEC 5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 第2回WG資料	ニッ森 俊一 福島 荘之介	令和3年8月	5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 SWG1 第2回WG
広域マルチラテレーションの開発	宮崎 裕己 長縄 潤一	令和3年8月	航空技術
研究活動の紹介	ピクラマジンハ ナヴィンダ キトマル	令和3年8月	第2回 航空機運航における新技術と騒音予測に関する検討会
ATEC 5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 SWG1 第1回WG資料	ニッ森 俊一 福島 荘之介	令和3年9月	5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 SWG1 第1回WG
CARATS施策MET-4およびTBO-2 (旧ID: EN-6およびOI-15) 関連のENRI研究開発の進捗報告	瀬之口 敦 中村 陽一 平林 博子	令和3年9月	CARATS推進協議会 ATM検討WG/航空気象検討WG合同会合
CARATS施策MET 4-3 (旧OI-26) 関連のENRI研究開発の進捗報告	吉原 貴之 藤井 直樹 瀬之口 敦 山田 泉 虎谷 大地	令和3年9月	CARATS推進協議会 ATM検討WG/航空気象検討WG合同会合
全体最適のための新たな航空交通モデルの開発	立川 智彦 (東京理科大学) 関根 將弘 (東京理科大学) 藤井 孝藏 (東京理科大学) 伊藤 恵理 (東京大学) 都築 伸理 (東京大学) 柳澤 大地 (東京大学) 西成 活裕 (東京大学) 安福 健祐 (大阪大学)	令和3年9月	学会誌「計算工学」
航空交通管理領域ポスターセッション	福島 幸子	令和3年9月	航空交通管理協会誌
滑走路異物監視システムの研究開発	ニッ森 俊一	令和3年9月	航空無線109号
電子航法研究所発表会 監視通信領域ポスターセッションの様子	住谷 泰人	令和3年9月	航空無線109号
ADS-B 方式高度監視に係るADS-B 幾何高度基準の判別	松永 圭左 金田 直樹 宮崎 裕己	令和3年9月	航空無線109号
電子航法研究所発表会のご報告	研究計画課	令和3年9月	航空無線109号
AIを用いた不安定進入の要因分析	森 亮太	令和3年9月	航空無線109号
航空路と出発進入方式	森 亮太	令和3年9月	日本航空宇宙学会誌
RNP to xLS進入方式の研究フライアビリティと飛行実証	福島 荘之介 齊藤 真二 森 亮太	令和3年10月	ATEC新進入・出発方式WG会議
Use of OpenSky-Network Data for Free Route Research (フリールート研究のためのOpenSky-Networkデータの活用について)	ブラウン マーク	令和3年10月	ENRI~KAUフリールーティング共同研究定例会
空中リスク推定に向けた飛行データ分析について	虎谷 大地	令和3年10月	航空イノベーション推進協議会 無操縦者航空機委員会 (JRPAS)
遠隔型タワー (リモート・デジタルタワー) のための映像システムと支援機能の開発	井上 諭 張 泰之 米本 成人 古賀 禎 ブラウン マーク	令和3年10月	航空管制
電子航法研究所の取り組み (管制の高度化による運航方式の改善)	高橋 健一 福島 幸子 福島 荘之介	令和3年10月	航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会
滑走路異物監視システム性能評価実験動画	鈴木 紀雄大	令和3年10月	電子航法研究所 ホームページ
DAPsデータの概要と気象情報の利用について	古賀 禎 吉原 貴之	令和3年10月	都公社次世代イノベーション創出プロジェクト/航空機DAPsデータの取得利用技術の指導
MR TBOにおける国際航空信頼フレームワークの構築	呂 曉東	令和3年11月	CARATS推進協議会 情報管理検討WG
滑走路異物探知システム	ニッ森 俊一	令和3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
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3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
ヘリコプタ障害物監視支援システム	ニッ森 俊一	令和3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
各種電波応用機器の開発	米本 成人	令和3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
ミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発	ニッ森 俊一	令和3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
セキュリティ検査のためのミリ波イメージャ	米本 成人	令和3年11月	Microwave Workshop & Exhibition 2021
滑走路異物監視システムの実用化に向けた研究開発	ニッ森 俊一	令和3年11月	港湾空港技術特別講演会 in 関東 2021
性能準拠型航法(PBN)	森 亮太	令和3年11月	日本航空宇宙学会誌
GBAS基準局でのGPS信号受信とGBASへの着陸機の影響	齊藤 真二	令和3年12月	航空無線110号

第2報：総務省情報通信審議会報告書RTCA報告書の比較	福島 荘之介 二ッ森 俊一	令和3年12月	5G基地局とRAの周波数共用に関する調査・研究 SWG1 第4回WG
CARATS オープンデータの 概要説明	岡 恵	令和3年12月	CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
additional time in terminal airspace(KPI08)と最大可能調整幅	岡 恵	令和3年12月	CARATS推進協議会 ATM検討WG 軌道ベース運用検討アドホック
航空局様ご提供データ活用報告会	福島 幸子 藤山 康太	令和3年12月	国土交通省（関連を含む）
風力発電設備の航空無線システムへの電波干渉評価	米本 成人 本田 純一 Robert Geise（ブラウンシュバイク工科大学）	令和3年12月	海上・港湾・航空技術研究所 洋上風力発電に関するうみそら発表会
ENRIの研究(ATM/CNS)	森 亮太	令和3年12月	航空技術・政策・産業持論
航空交通データの収集・整備・提供	岡 恵 古賀 禎 瀬之口 敦	令和3年12月	日本航空宇宙学会誌
脱炭素化に向けた新しい曲線経路を飛行実証（プレスリリース）	福島 荘之介 齊藤 真二	令和3年12月	電子航法研究所 ホームページ
電波高度計と5Gモバイルシステムの共用検討についての最新動向 -各国における基地局との共用条件比較-	二ッ森 俊一	令和4年2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 第26回技術検討作業班
航空機動態情報を利用した短期の風予測精度向上	森 亮太	令和4年2月	第16回航空気象研究会
SBASの最新動向	坂井 丈泰	令和4年2月	QBIC海外展開WG
ヘリコプタ周辺障害物探知支援のためのミリ波レーダの活用	二ッ森 俊一	令和4年2月	第34回航空安全シンポジウム
GNSS Positioning Program （GNSS測位のプログラム）	坂井 丈泰	令和4年3月	GNSSサマースクール
COVID-19の航空産業への影響と維持・運輸・製造・管制	李家 賢一（東京大学） 伊藤 恵理	令和4年3月	学術の動向
マルチラテレーションによる航空機位置情報の活用	青山 久枝	令和4年3月	国土交通省（関連を含む）
令和3年度 交通運輸技術開発推進制度 研究成果報告書	青山 久枝 福島 幸子 山田 泉	令和4年3月	国土交通省（関連を含む）
電子航法研における監視システムの信号環境測定	大津山 卓哉	令和4年3月	航空無線111号
宇宙天気と衛星測位: 影響を与えるメカニズムと障害の内容	齋藤 享	令和4年3月	第5回宇宙天気予報の高度化のあり方に関する検討会
宇宙天気と航空機運航: 影響を与えるメカニズムと障害の内容	齋藤 享	令和4年3月	第6回宇宙天気予報の高度化のあり方に関する検討会
デジタル管制塔の実現に向けたデザイン研究	井上 諭	令和4年3月	武蔵野美術大学 ビジョンとUXデザイン



## 8 知的財産権

当研究所の令和3年度末(R4.3.31)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
電波反射体を用いた測定装置	米本成人 塩見格一	H14.6.28	3623211	H16.12.3
画面情報表示方法、システム及びコンピュータプログラム	塩見格一	H15.1.24	4412701	H21.11.27
無線ネットワークシステム、移動局および移動局の制御方法	二瓶子朗	H14.11.19	4097254	H20.3.21
無線通信ネットワークシステム	二瓶子朗	H15.3.28	4141876	H20.6.20
無線通信ネットワークシステムおよび無線ネットワークシステムの制御方法	二瓶子朗	H14.11.19	4097133	H20.3.21
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
電波反射体を用いた測定装置(分割出願)	米本成人 塩見格一	H14.6.28	3772191	H18.2.24
電波反射体を用いた移動体の航法方法(分割出願)	米本成人 塩見格一	H14.6.28	3840520	H18.8.18
全方向性を有する誘電体レンズ装置。	米本成人	H16.8.19	3822619	H18.6.30
高周波信号のデジタルI/Q検波方法	田嶋裕久 古賀禎 小瀬木滋	H16.9.15	3874295	H18.11.2
誘電体レンズを用いた電磁波の反射器、発生器及び信号機	米本成人	H17.1.18	3995687	H19.8.10
移動体の測位方法及びその測位装置	古賀禎 田嶋裕久	H17.2.21	4736083	H23.5.13
航空管制システム及び航空管制システムで用いられる携帯情報端末	塩見格一 金田直樹	H17.6.21	4625954	H22.11.19
航空路管制用管制車における順序・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
衛星航法システムにおける電離層遅延量の補正方法及びその装置。	坂井丈泰	H19.9.25	4644792	H22.12.17
全方向性を有する誘電体レンズ装置を用いた電磁波の反射器を有するアンテナ。	米本成人 河村暁子	H20.10.28	4812824	H23.9.2
作業適正判定システム	塩見格一	H20.10.31	5035567	H24.7.13
作業監視システム	塩見格一	H20.10.31	4936147	H24.3.2
GPS衛星信号の品質監視機能を有するGPS衛星信号品質監視方法及びGPS衛星信号の品質監視機能を有するGPS衛星信号品質監視装置	齊藤真二	H21.6.4	5305395	H25.7.5
衛星航法システムにおける測位誤差の補正方法及びその装置。	坂井丈泰	H22.3.25	5305413	H25.7.5
衛星航法システムにおける電離圏異常を検出する方法及びその装置。	藤田征吾	H22.8.20	5305416	H25.7.5

発 明 の 名 称	発 明 者	出願(国内)年月日	登録番号	登録年月日
直線偏波の制御方法及びその装置。	ニッ森俊一 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)	ニッ森俊一 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
レーダー装置における相互干渉を回避する方法及びこの方法を用いた監視装置。	ニッ森俊一 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
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
レーダーシステム及びレーダー探索方法	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

## 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
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法 PCT出願 (アメリカ国内)	塩見格一	H14. 10. 23	US 7030780	H18. 4. 18
航空管制用表示装置における航空機位置表示方法 PCT出願 (欧州)	塩見格一	H14. 10. 23	EP 1450331	H17. 12. 28
移動局及び移動局側通信制御方法及び基地局及び基地局側通信制御方法及び通信システム PCT出願 (イスラエル国内)	金田直樹 塩見格一	H16. 6. 1	IL 171970	H26. 2. 1
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
積雪特性を測定する方法及びその装置及びこの積雪特性を測定する方法を利用した融雪災害の予測監視方法及びその装置	吉原貴之 齋藤 享 毛塚 敦	H30. 11. 8	2018-210796
質問信号送信システム及び質問信号送信方法	角張泰之 古賀 禎	R1. 9. 20	2019-171749
GNSS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

### ②海外

無し

# 第 3 部 現 況



# 1 令和3年度に購入した主要機器

試験用滑走路異物監視システム広帯域化改修 1式
試験用滑走路異物監視システム用ミリ波レーダ 円偏波化改修 1式
準天頂衛星L5S信号対応受信機の機能追加 1式
信号発生器 1式
ファイルサーバ 1式
4GHz帯光遅延線路 1式
航空機用衛星通信アンテナ 1式
GPSレシーバー 2式
準天頂衛星L5S信号対応受信機 1式
GNSSセンチレーション受信機 1式
航空路監視技術実験用アレーアンテナ 1式
ネットワークカメラ 1式
マルチRF入力ポートGNSS受信機2 1式
高性能ワークステーション 1式
VDB空中線 1式
試験用滑走路異物監視システム羽田空港設置用接続部材 1式
無線評価ボード 1式
ATCトランスポンダ 2式
付帯設備(機器収容架固定金具等) 1式
L2スイッチ 1式

## 2 主要施設及び機器

### 1 電波無響室

電子航法の分野では、電波を送受信するアンテナの性能や空間中の電波伝搬特性が機器の性能に大きく影響する。このため、アンテナおよび電波伝搬に関する試験研究が重要になっている。当研究所では、これらの試験研究のための実験施設として、電波無響室を整備した。

電波無響室はシールド壁内部を電波吸収材で被覆した構造を持っている。シールド壁により電波が遮蔽されるため、外来電波の影響を受けず研究所周辺への干渉を防止することができる。さらに、電波吸収材により電波の反射を抑制できるため、電波無響室内は広大な自由空間と同様な伝搬特性を実現できる。

電波無響室内では、アンテナの送受信特性測定や空港モデルを用いた着陸進入コースの電波伝搬特性測定などが行われてきている。また、各種の干渉妨害に関する測定実験も行われている。

〔要目概要〕

内装寸法： 32.0 m×6.2 m×4.2 m

周波数範囲： 1～110 GHz

無反射範囲： 23m 以上

反射減衰量： 50dB 以上

遮蔽減衰量： 90dB 以上

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

### 2 アンテナ試験塔

アンテナ試験塔は、昭和52年に建設され、VORの研究などで使用されてきた。

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

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

〔要目概要〕

高さ： 19.15 m

### 3 ネットワークシステム

当研究所のネットワークシステムは、共用電子計算機システムの一部として昭和50年台に所内LANが整備されたものに端を発するが、当初は外部組織とのネットワーク接続はなかった。平成5年、研究を効率的に進める上での電子メールの必要性が研究所内で認識され、日本のインターネットの草分けであるJUNET(Japan University Network)に接続し、電子メール及びネットニュースの利用を開始した。その後、平成7年に当時の科学技術庁の管理下にあった省際研究情報ネットワーク(IMnet: Inter-Ministry Research Information Network)に光ケーブル専用線で接続し、電子メールとネットニュースの他、www や ftp, telnet 等の現在のインターネットの基礎となるサービスを楽しむようになった。当時の光ケーブル専用線のデータ転送帯域は、192kbps であった。現在は、国立情報学研究所が提供する学術情報ネットワーク(SINET: Science Information Network)を利用して、1Gbpsの帯域で外部とのネットワーク接続を行っている。

一方、所内LANの構成に目を向けると、IMnetに接続を始めた頃に所内の各建屋毎にサブネットを割り振る形態を採用した。現在はVLANという形で研究グループ毎にサブネットを分けているが、当時の形態が現在の所内LAN構成の基礎となっている。

現在の所内回線は、平成20年に実施した構内光ケーブル布設(増設)により、計算機室～各建屋間において10GBASE-LRのイーサネット通信を実現している(調布本所～岩沼分室間を除く)。また、各建屋内においては、各端末(パソコン)は主に1000BASE-Tのイーサネットにより所内LANに接続されている。

現在、ネットワークシステムを構成するサーバ群は、電子メール、www、ファイル共有、グループウェア、VPN、無線LAN等のサービスを提供し、研究及び事務に不可欠なシステムとして運用されている。

#### 4 実験用航空機

電子航法の実験や試験のために航空機をもつことは、当研究所の特色である。

昭和40年7月より、米国のビーチクラフトスーパーH-18型機を使用した。その後、使用10年を経過し、部品入手が困難になったため当機の更新を計画し、昭和49、50年度に米国のビーチクラフトB-99を購入し、昭和50年10月に当研究所に引き渡された。昭和51年1月から運用を開始したが、調布における運用制限のため、同年10月当研究所岩沼分室が宮城県岩沼市に設置されたことにより仙台空港を定置場とした。

ビーチクラフトB-99は、平成23年3月11日に発生した東日本大震災による津波にて被災、全損となったため、平成24、25年度にビーチクラフトB300を購入した。同機は平成25年5月に引き渡され、同年7月から運用を開始した。

[更新機の諸元・性能]

登録番号：JA35EN

型式：Beechcraft B300 (KingAir350)

全長：14.23 m

全幅：17.65 m

全高：4.36 m

全備重量：6.8 t

最大巡航速度：263 kt

最大航続距離：3,268 km

離陸滑走路長：1,006 m

着陸滑走路長：821 m

発動機：Pratt & Whitney Canada PT6A-60A

プロペラ：Hartzell HC-B4MP-3C

アビオニクス：Collins Pro Line 21

### 3 刊行物

当研究所の発行する刊行物は、下記のとおりである。

電子航法研究所報告（不定期刊行）  
電子航法研究所 研究長期ビジョン報告書（不定期刊行）  
電子航法研究所研究発表会講演概要（年刊）  
電子航法研究所年報（年刊）  
電子航法研究所要覧〈案内〉（年刊）

### 4 行事等

当研究所の令和3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>)

研究発表会〔令和3年6月9日（水）～6月10日（木）Web開催〕

令和3年度（第21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553名）

公開実験〔令和3年7月9日（金）Web開催〕

第1回電子航法研究所公開実験を開催した。

滑走路異物監視システムについて5号棟2階会議室より概要を説明しその後、

屋外で実験する様子をWeb配信を行った。

（接続者数延べ175名）

第93回出前講座〔令和3年8月2日（月）Web開催〕

管制技術課、管制技術課技術管理センター

運用課航空情報・飛行検査高度化企画室、運用課飛行検査センター

1. GBASの概要
2. GBASの原理1:GPS測位からGBAS偏移
3. GBASの原理2:安全を保つ仕組み
4. VDBが放送する電波とデータ
5. 航空機上でのGBAS計器・表示の概要
6. GBASを運用していく上での注意点

（航法システム領域 領域長 福島 荘之介）

第94回出前講座〔令和3年11月18日（木）Web開催〕 交通管制企画課システム開発評価・危機管理センター

1. ENRI SWIM Test Bedの構築について
2. FIXMに基づいたFF-ICEサービスの開発について
3. SWIMにおける異種サービス間の連携について

（監視通信領域 主幹研究員 呂 暁東）

第95回出前講座〔令和3年12月7日（火）〕 広島空港事務所 1階会議室（南）

1. GBAS(Ground Based Argumentation System)の概要
2. GBASの動向
3. 円弧旋回をともなう新たな飛行方式(RNP to xLS)
4. 広島空港における飛行評価実験

（航法システム領域 領域長 福島 荘之介）

第96回出前講座〔令和4年1月24日（木）〕 航空保安大学校

1. ICAOの動向と次世代衛星航法

（航法システム領域 領域長 福島 荘之介）

第97回出前講座〔令和4年3月25日（金）Web開催〕

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

（航法システム領域 上席研究員 坂井 丈泰）



第1回 オンライン説明会（令和4年1月採用）〔令和3年7月29日（木）Web開催〕

1. 所長挨拶（所長 福田 豊）
2. 公募に関する説明（人事課 畠山 佳代子）
3. 研究所紹介（人事課 畠山 佳代子）
4. 業務説明（監視通信領域 主幹研究員 呂 曉東）
5. 先輩研究員からのメッセージ  
(監視通信領域 主幹研究員 本田 純一)  
(航空交通管理領域 主任研究員 虎谷 大地)  
(航法システム領域 主任研究員 北村 光教)

第2回 オンライン説明会（令和5年4月採用）〔令和4年3月18日（金）Web開催〕

1. 所長挨拶（所長 福田 豊）
2. 公募に関する説明（人事課 畠山 佳代子）
3. 研究所紹介（人事課 畠山 佳代子）
4. 先輩研究員からのメッセージ  
(航空交通管理領域 主任研究員 虎谷 大地)  
(航法システム領域 任期付研究員 高橋 透)  
(監視通信領域 主任研究員 長縄 潤一)

令和3年度第1回評議員会〔令和3年5月31日（月）〕

評議員会において業務実績及び自己評価について外部評価を実施した。

1. 電子航法に関する研究開発等
2. 分野横断的な研究の推進等(電子研部分)
3. 研究開発成果の社会への還元(電子研部分)
4. 戦略的な国際活動の推進(電子研部分)

令和3年度第2回評議員会〔令和4年3月2日（水）〕

評議員会において下記課題に関する外部評価を実施した。

- 事後評価課題「PBNとGBASを活用した高度な計器進入方式に関する研究」  
「滑走路異物監視システムの高度化に関する研究」  
事前評価課題「環境に配慮した効率的な進入着陸に関わる技術開発」  
「空港用マルチ監視技術活用に関する研究」

講演会〔令和4年1月18日（火）～1月19日（水）Web開催〕

令和3年度電子航法研究所講演会をオンラインセミナーで開催した。

(接続者数 170名)

テーマ「航空交通管理における最新研究動向と空港運用を支える監視技術に関する国際ワークショップ」

1. 航空交通管理にデジタル変革をもたらす研究開発  
(電子航法研究所 伊藤 恵理)
2. ANAホールディングスの目指すUAMの世界と課題について  
(ANAホールディングスデジタルデザインラボ 保理江 裕己)
3. Airspace and Passenger Management considering COVID constraints  
(ドレスデン工科大学 Michael Shultz)
4. A Way to Fully Automated ATC  
(ドイツ航空宇宙センター Juergen Rataj)
5. NASA Air Traffic Management eXploration(ATM-X):Developing the Future of Air Traffic Management  
(アメリカ航空宇宙局 Kurt Swieringa)
6. Special Talk from Civil Aviation Authority of Malaysia  
(マレーシア航空局 Shairyzal Bin Mohamad)
7. Special Talk from Malaysia Airports Holdings Berhad  
(マレーシア・エアポーツ・ホールディングス Shahrnizam Bin Abd Jamil)
8. FODD System Performance Through Field Trial at Kuala Lumpur International Airport  
(マレーシア工科大学 Sevia Mahdaliza Idrus)
9. 90GHz帯滑走路異物監視システムに用いるRCSシミュレーション  
(日立国際電気 柴垣 信彦)
10. 96GHzミリ波レーダを用いた滑走路異物監視システムの研究開発状況  
(電子航法研究所 ニッ森 俊一)

## 5 職員表彰

令和3年度は該当者なし

# 付 録



## 1. 略語表

略語	英語	日本語
<b>A</b>		
ABAS	Aircraft-Based Augmentation System	機上型衛星航法補強システム <b>用語解説 (ABAS)</b>
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	航空機衝突防止装置 <b>用語解説 (ACAS)</b>
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自動的に提供するシステム
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 <b>用語解説 (ADS-B)</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 Service 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 <b>用語解説 (APV)</b>
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 <b>用語解説 (ASA)</b>
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 <b>用語解説 (A-SMGCS)</b>
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(ICAO 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>B</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
<b>C</b>		
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 <b>用語解説 (CAT-I,II,III)</b>
CCO	Continuous Climb Operation	継続上昇運航
CDA	Continuous Descent Approach/Arrival	連続降下進入方式

CDM	Collaborative Decision Making	協調的意思決定 <b>用語解説 (CDM)</b>
CDMA	Code Division Multiple Access	符号分割多重接続
CDO	Continuous Descent Operation	継続降下運航 <b>用語解説 (CDO)</b>
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
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	航空機が特定点を通過する際の時間管理
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 <b>用語解説 (CNS)</b>
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
CSG	Category II/III Subgroup	カテゴリーII/IIIサブグループ(ICAO NSP)
<b>D</b>		
DAPs	Downlink Aircraft Parameters	航空機動態情報 <b>用語解説 (DAPs)</b>
DA コンバータ	Digital Analog Converter	デジタル-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 <b>用語解説 (DGPS)</b>
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 <b>用語解説 (DME)</b>
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）
DSR	Dynamic Source Routing	ダイナミックソースルーティング
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
DTLS	Datagram Transport Layer Security	データグラムトランスポート層セキュリティ
<b>E</b>		
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 <b>用語解説 (EFB)</b>
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 年より主催変更により 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 <b>用語解説 (EUROCAE)</b>
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 <b>用語解説 (EUROCONTROL)</b>
EVS	Enhanced Vision System	エンハンスド・ビジョン・システム
<b>F</b>		
FAA	Federal Aviation Administration	米国連邦航空局 <b>用語解説 (FAA)</b>
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ズ電波を監視する装置) <b>用語解説 (ILS)</b>
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 <b>用語解説 (FMS)</b>
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(ICA0)
<b>G</b>		
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 <b>用語解説 (GBAS)</b>
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 <b>GNS 用語解説 (GEONET)</b>
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 <b>用語解説 (地上喚起 Comm-B)</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 <b>用語解説 (GNSS)</b>
GP	Glide Path	グライド・パス <b>用語解説 (ILS)</b>
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
<b>H</b>		

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)
<b>I</b>		
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 Science	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
IEE	The Institution of Electrical Engineers	英国王立電気学会(現 IET:英国電気学会)
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
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
<b>J</b>		
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
<b>K</b>		
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
<b>L</b>		
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 <b>用語解説 (LPV-200)</b>
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。 <b>用語解説 (ILS)</b>
<b>M</b>		
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	Multi Input Multi 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 <b>用語解説 (マルチラテレーション)</b>
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism	国土交通省
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。 <b>用語解説 (GNSS)</b>

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 <b>用語解説（MU レーダ）</b>
MUSIC	MUltiple Signal Classification	MUSIC 法（強いて訳せば，多重信号分類法）
<b>N</b>		
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
NAV	Navigation or Navaids	航法，または航行援助施設
NCAR	The National Center for Atmospheric Research	米国大気科学研究連合
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	National Aerospace Laboratory	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
<b>O</b>		
OCTPASS	Optically Connected Passive Surveillance System	光ファイバ接続型受動監視システム
OLSR	Optimized Link State Routing	最適化リンクステートルーティング
OPD	Optimized Profile Descent	最適プロファイルの降下

OSD	Operational Service and Environment Description	運用サービス及び環境の記述
<b>P</b>		
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 <b>用語解説 (PBN)</b>
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
<b>Q</b>		
QoS	Quality of Services	サービス品質
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	準天頂衛星システム <b>用語解説 (準天頂衛星システム)</b>
<b>R</b>		
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 <b>用語解説(RNAV)</b>
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。 <b>用語解説(RNP 適合機)</b>
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(ICA0)
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 <b>用語解説 (RVSM)</b>
<b>S</b>		
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) <b>用語解説 (インテグリティ)</b>
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 (ICA0)
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	静止衛星型衛星航法補強システム <b>用語解説 (SBAS)</b>
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
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 <b>用語解説 (SSR)</b>
STAR	Standard Terminal Arrival Route	標準到着経路
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) <b>用語解説 (SWIM)</b>
<b>T</b>		
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 <b>用語解説 (TBO)</b>
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)
<b>U</b>		
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 <b>用語解説 (ウルトラワイドバンド)</b>
<b>V</b>		
VAL	Vertical Alert Limit	垂直警報限界 <b>用語解説 (保護レベルと警報限界)</b>
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 <b>用語解説 (VDL)</b>
VFR	Visual Flight Rules	有視界飛行方式 <b>用語解説 (VFR)</b>
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 <b>用語解説 (VOR/DME)</b>
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)
VRS	Virtual Reference Station	仮想基準点 用語解説 (VRS)
<b>W</b>		
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	Wifi	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
<b>0-9</b>		
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) 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 50 m (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 は 250ft まで。LPV 200 は WAAS の性能に基づき、LPV において警報限界 35m とし、DA 200ft 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) 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: Decision Height, 滑走路末端からの高さ) 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 決心高 (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) 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)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 Operation)
-------	--------------------------------

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

<b>[CNS]</b>	(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。

<b>[DAPs]</b>	(Downlink Aircraft Parameters)
---------------	--------------------------------

航空機動態情報のダウンリンク技術。

SSR(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。

<b>[DGPS]</b>	(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

<b>[DME]</b>	(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 63 MHz 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

<b>[EFB]</b>	(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

<b>[EUROCAE]</b>	(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。

<b>[EUROCONTROL]</b>	(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。

<b>[FAA]</b>	(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), 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カライザ、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)
----------	-------------------------------------

京都大学生存圏研究所 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別によらず、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ことなく直行的、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、航空路標準計器出発方式(SID)、標準到着経路(STAR)進入方式に用いられている。

→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平成



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。

<b>[SBAS]</b>	(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否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。独自の解決策が求められる。

→GNSS

<b>[SSR]</b>	(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。

→拡張キット

<b>[SWIM]</b>	(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ず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。

<b>[VDL]</b>	(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(2.4kbps)である、誤り訂正機能がなく、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通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 Radorange / 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。

<b>[拡張スキッタ]</b>	(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

<b>[高カテゴリ]</b>
----------------

計器着陸装置の性能が高いこと。

→CAT I, II, III

<b>[航空機動態情報]</b>	(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

<b>[コンティニューイティ]</b>	(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

<b>[コンフリクト]</b>	(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。

<b>[準天頂衛星システム]</b>	(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。日本上空には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 $\alpha$ - $\beta$ 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(航空機が通る道)のこと。

軌道管理、軌道ベース運用等が将来の航空交通管理システム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位置、時刻、速度などのこと。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  $6\sigma$  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。

[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3年度 電子航法研究所年報

令和4年8月25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, Jindaijihigasi-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。