



# 空港面航空移動通信システム AeroMACS の研究開発と国際標準化

R&D and International Standardization of  
Aeronautical Mobile Airport Communications System (AeroMACS)

金田直樹 河村暁子 森岡和行  
米本成人 住谷泰人



本稿では、軌道ベース運航の実現に必要な、通信量の増加に対応する高速次世代航空通信システムとして、当研究所で研究開発活動を行い、国際民間航空機関で標準化された空港面航空移動通信システム (AeroMACS: Aeronautical Mobile Airport Communications System) について紹介する。

キーワード: 国際民間航空機関, 航空交通管制, 運航管理通信, 航空安全通信システム, AeroMACS, IEEE 802.16

## 1. はじめに

国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization) の航空需要予測によると、2015 年から 2045 年までの間に旅客キロ数が全世界平均で 4.1% 増加すると予測されている<sup>(1)</sup>。我が国においても長期的な航空交通量の増加が見込まれており、2027 年には 2005 年の 1.5 倍に達すると予測されている<sup>(2)</sup>。これらの航空需要の増加に対応しつつ、安全かつ効率的な航空交通を実現するために、航空機の通過する場所と時刻を同時に管理できる新しい航空交通管理が必要と考えられている<sup>(3)</sup>。

そのような新しい航空交通管理を導入するために運航に必要な情報を関係者間で共有することが必要である。特に航空機が多数集中する空港において、スポットの混雑や地上交通の渋滞が発生し、スポットの正確な状況、地上ハンドリングや機材繰りに関する状況、車両走行状

況などの情報を共有し、航空機の離陸前及び着陸後の一元的な航空交通管理等を十分に行うことが必要とされる<sup>(2)</sup>。離陸前から飛行中、着陸後までの航空機の位置や運航軌道の情報及び気象情報等を共有するための情報基盤の概念は SWIM (System Wide Information Management) と呼ばれ、標準化が行われている<sup>(4)</sup>。しかし、航空機と地上施設間で用いる航空管制通信システムは最大 31.5 kbit/s と高速ではなく<sup>(5)</sup>、運航に必要な情報を関係者間で共有するためには通信速度が不足している。

この問題に対し、欧米及び ICAO において次世代の空港面航空通信システムに関する検討が行われ、5 GHz 帯を利用する空港面航空移動通信システム (AeroMACS: Aeronautical Mobile Airport Communications System) の仕様がまとめられることとなった<sup>(6)~(10)</sup>。当研究所では、AeroMACS の諸性能や問題点について検証するため、国際標準化活動に参画した。本稿では、2. に AeroMACS の概要を紹介し、3. で AeroMACS の実証実験結果を示し、最後に結論と今後の展望を示す。

## 2. AeroMACS の概要

本章では、AeroMACS の特徴、国際標準化の経緯、国際民間航空条約の附属書として定められる標準及び勧告方式 (SARPs: Standards And Recommended Practices) をはじめとする AeroMACS 規格の概要について紹介する。

金田直樹 正員 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  
E-mail kanada@mpat.go.jp  
河村暁子 正員 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  
E-mail kohmura@mpat.go.jp  
森岡和行 正員 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  
E-mail morioka@mpat.go.jp  
米本成人 正員 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  
E-mail yonemoto@mpat.go.jp  
住谷泰人 正員 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  
E-mail sumiya@mpat.go.jp

Naoki KANADA, Akiko KOHMURA, Kazuyuki MORIOKA, Naruto YONEMOTO, and Yasuto SUMIYA, Members (Electronic Navigation Research Institute, National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology, Tokyo, 182-0012 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.106 No.5 pp.400-405 2023 年 5 月

©電子情報通信学会 2023

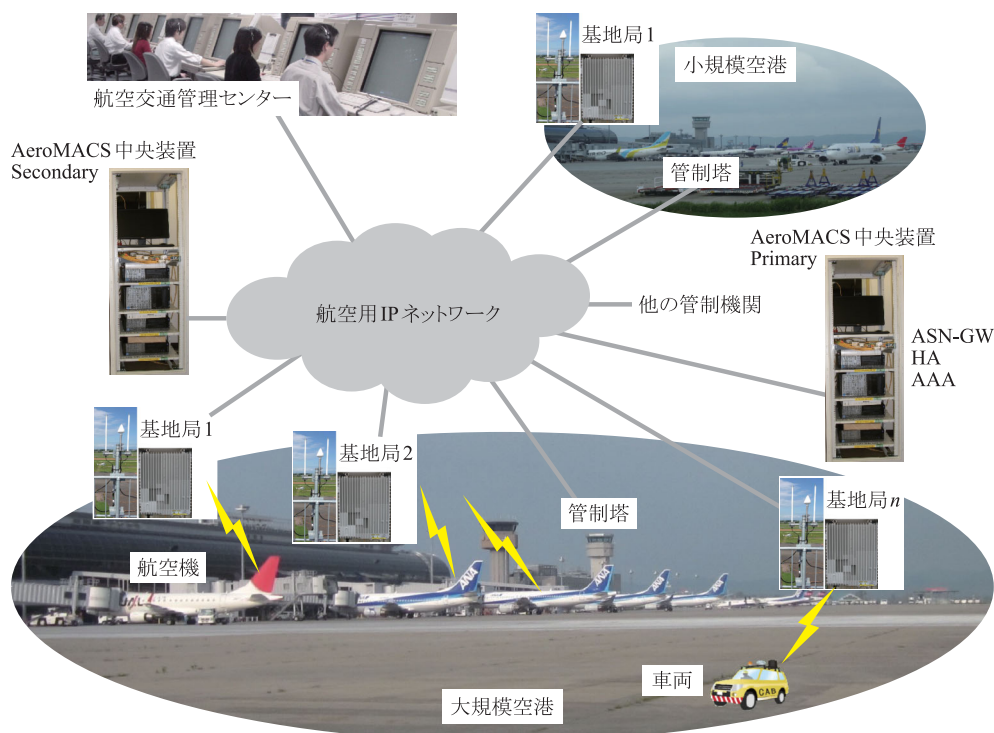


図1 AeroMACS 全体構成概念図 空港面に位置する航空機の AeroMACS 端末は最寄りの AeroMACS 基地局と無線通信を行う。基地局は航空用 IP ネットワークを介し、AeroMACS 中央装置と通信する。AeroMACS 中央装置は認証、承認、課金を行う設備 (AAA: Authorization, Authentication and Accounting)、他の AeroMACS とのローミングを行う設備 (HA: Home Agent)、端末が移動した際に通信する基地局を切り換えるハンドオーバー処理や他のネットワークとの接続処理を担う設備 (ASN-GW: Application Service Network Gateway) より構成される。中央装置は故障に備え 2 式以上を地理的に離して設置し、地上ネットワークを介して国内及び国外の管制機関等と接続される。

## 2.1 AeroMACS の技術的特徴

AeroMACS は電気電子学会 (IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers) の IEEE 802.16-2009 (WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access) 規格を基に策定された<sup>(11)</sup>。このシステムは、空港面で用いられ、飛行の安全性と定時性に関わる移動体と固定局間的高速データリンクを提供する。また、国際電気通信連合・無線通信部門 (ITU-R: International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) が割り当てた航空通信用の周波数を用い<sup>(12)</sup>、国際標準化規格による相互接続性を有し、インターネットプロトコル (IP: Internet Protocol) によるデータ通信を前提に設計された広域無線ネットワーク技術である。図1に想定される AeroMACS の全体構成を示す。

## 2.2 AeroMACS の国際標準化

2003 年に開催された ICAO 第 11 回航空会議にて勧告 7/4 及び 7/5 として将来の航空通信システムの技術的な選択肢の検討及び標準化の必要性が示された<sup>(13)</sup>。この勧告を受け、米連邦航空局 (FAA: Federal Aviation Administration) と欧州航空航法安全機関 (EUROCONTROL: European Organisation for the Safety of Air

Navigation) は 2004 年 10 月から 2007 年 9 月にかけて、2020 年頃に必要となる将来の航空通信システムについて検討し、その検討結果である“Future Communication Study (FCS)”を第 1 回 ICAO 航空通信パネル会合 (ACP: Aeronautical Communications Panel) に報告した。FCS では、管制通信の需要及び実現可能な通信技術の関係から、サービスエリアを洋上、陸域、空港に分けて、それぞれに新しい通信技術が必要と結論付けており、空港における新しい通信技術として IEEE 802.16 技術が選定された<sup>(14)</sup>。

この結果を受け、航空用技術基準を策定する米国 RTCA 第 223 特別委員会 (SC-223: Special Committee 223) 及び欧州民間航空電子装置機関 (EUROCAE: European Organisation for Civil Aviation Equipment) 第 82 作業部会 (WG-82: Working Group 82) にて、実際に機器を製作するために必要な仕様が議論され、この技術を AeroMACS と名付け、プロファイル及び最低運用性能基準 (MOPS: Minimum Operational Performance Standards) がまとめられた<sup>(7)~(10)</sup>。

上記の活動に並行して、2011 年 9 月に開催された ICAO ACP 全体作業部会 (WG-W: Working Group of the Whole) 第 4 回会合にて、AeroMACS の検討を行う

空港面作業部会（WG-S: Working Group Surface）の設立が認められた。ICAO ACP WG-S は RTCA SC-223 と EUROCAE WG-82 と連携し、最終的に AeroMACS を IEEE802.16-2009 規格ベースで検討することとなった。WG-S で検討された内容は、ICAO 通信パネル第 1 回会議（CP/1: Communications Panel/1）に報告され、成果として国際民間航空条約第 10 附属書第 3 巻に AeroMACS 規格の追記が提案され<sup>(15)</sup>、第 90 改正にて収録された<sup>(6)</sup>。

### 2.3 AeroMACS 規格の構成

前節で述べたような経緯から AeroMACS 規格は複数の団体の文書により構成される。最上位の文書である ICAO SARPs は国際民間航空条約第 10 附属書 “Aeronautical Telecommunications” 第 3 巻 “Communication Systems” の Part I, Chapter 7 “Aeronautical Mobile Airport Communications System (AeroMACS)” を指す。SARPs では周波数、帯域幅、等価等方放射電力（EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power）などの基本要件が規定され、詳細な事項などは ICAO Document 10044 “Manual on AeroMACS” に規定される。RTCA 及び EUROCAE の文書は、相互接続に必要なパラメータを規定するプロファイル<sup>(7), (8)</sup>や、米国及び欧州における MOPS<sup>(9), (10)</sup>が規定される。IEEE 802.16-2009 及び WiMAX Forum の文書は WiMAX 技術に関する通信システムとしての基本規格や必要な機能が記載

される。

ICAO SARPs の構成は以下のとおりである。7.1 節は用語の定義、7.2 節に概要と RTCA DO-345<sup>(9)</sup>、EUROCAE ED-222<sup>(10)</sup>との関係が記述される。7.3 節は一般の事項として AeroMACS がサポートするサービスやアーキテクチャの概要が記述される。7.4 節には無線に関する規定が記述される。幾つかの規定を表 1 に抜粋する。7.5 節は性能規定、7.6 節に外部とのインタフェース、7.7 節にアプリケーション要件が規定される。

表 1 AeroMACS の無線部規定（抜粋）

周波数	5,030 MHz から 5,150 MHz まで
帯域幅	5 MHz
複信方式	時分割複信（Time Division Duplex）
多重化	直交周波数分割多重（OFDM）
変調方式・符号化率	64 QAM: 3/4, 2/3（端末からの送信はオプション） 16 QAM: 3/4, 1/2 QPSK: 3/4, 1/2, 1/2 with repetition 2
水平方向 EIRP	30 dBm（端末）、39.4 dBm（基地局）
偏波	端末：垂直 基地局：垂直（水平はオプション）
アンテナ構成	SISO（MIMO はオプション）
その他	帯域外放射は ITU-R の規定に従う

SISO: 単一入力単一出力（Single-Input Single-Output）  
MIMO: 複数入力複数出力（Multiple-Input Multiple-Output）



図 2 AeroMACS の送受信装置のハードウェア構成

### 3. AeroMACS の実証実験

AeroMACS は、前章で紹介したとおり国際標準化が完了した、唯一の次世代航空通信システムである。本章では、電子航法研究所で行った航空情報共有基盤 SWIM との接続実験、及び標準化当初の目的であった空港面（地上）での利用を空港周辺上空まで拡大するための試みについて実験結果とともに示す<sup>(16)</sup>。

#### 3.1 AeroMACS の実験構成

AeroMACS の実証実験は、基地局及び機上局（移動

局）を試作し実施する。機上局は、車両または実験用航空機に搭載し、空港面を移動しながら、また空港周辺を飛行しながら通信実験を行う。図2に機上局のハードウェア構成を示す。本実証実験では、図2の基地局と移動局は図3に示すとおり VPN サーバを通して SWIM ネットワークに接続している。

#### 3.2 AeroMACS の空港面における実証実験及び SWIM への接続

AeroMACS の規格策定時の想定では、空港内に設置した無指向性アンテナを含む基地局と、空港面（誘導路

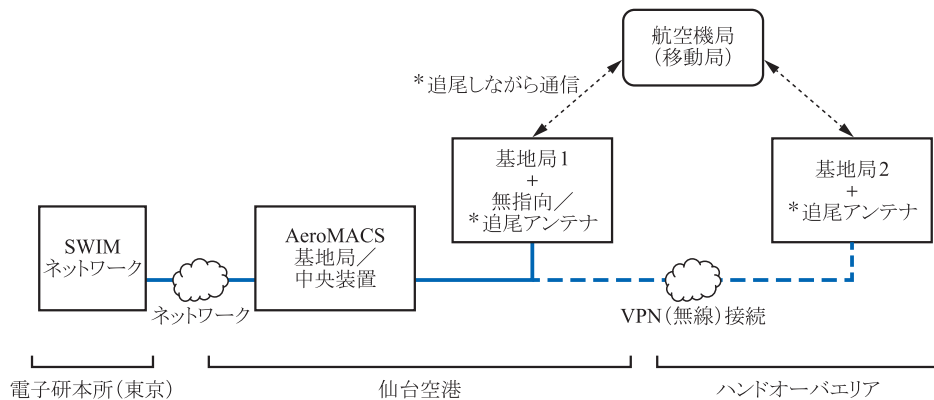


図3 SWIM を含む構成図

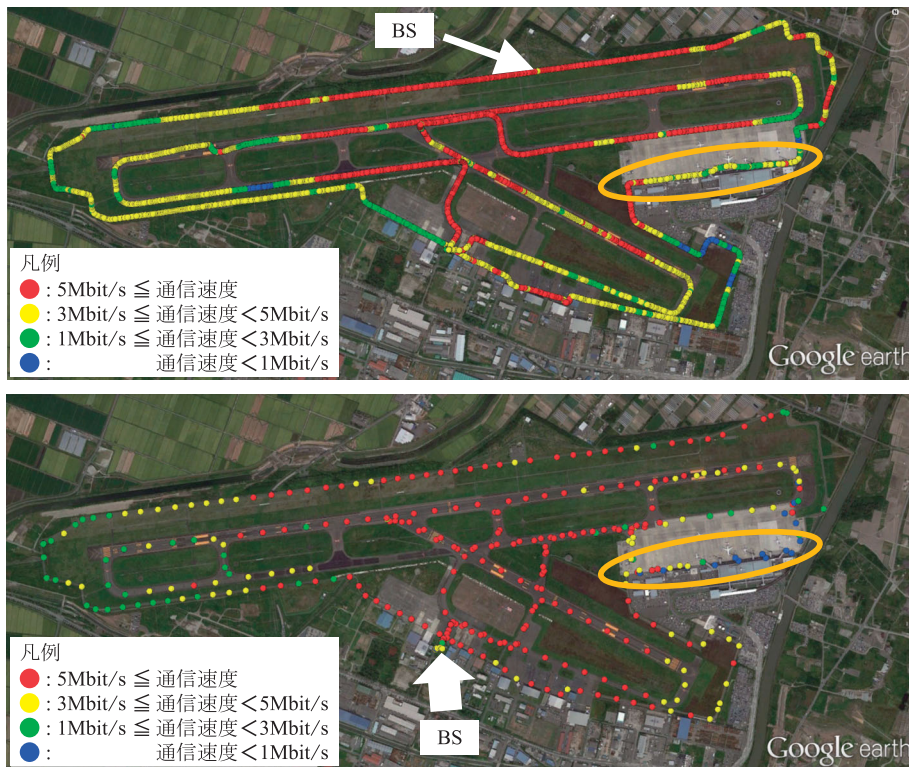


図4 基地局 (BS) の場所による通信速度の変化

や駐機スポット)上の航空機とが通信を行う。図4は、仙台空港内の誘導路及び滑走路を車両にて走行し通信速度を記録した結果である。空港には、ハンガーやターミナルビルに接続されたPBB (Passenger Boarding Bridge: 図中オレンジの円で囲んだエリア)などの構造物による遮蔽を原因として通信速度が低下するエリアがあること、基地局 (BS) の位置を適切に選択することでこれを回避できることを明らかにした。また、空港内に2局の基地局を設置しハンドオーバーが可能であることも実証実験にて確認した。

### 3.3 AeroMACS の利用範囲拡大

AeroMACS が、空港面 (地上) における利用を前提として標準化されていることは既に述べた。更に、他の通信メディアとの接続や利便性を考慮し、空港周辺でも AeroMACS を利用できるよう飛行時の覆域拡大について検討を行った。

具体的には、地上 30 m に設置した高利得アンテナを基地局に用い、航空機の位置情報を基に機体を追尾し通信を行う。機上局は実験用航空機の機体前方上下にアンテナを設置した。

航空機を仙台空港周辺上空で飛行させながら空地の通信速度や受信信号強度を測定した。この結果、基地局から 16km 離れたエリアを飛行中でも通信を行うことができた。更に、2局の基地局間の飛行中におけるハンドオーバーの試みも行った。

本実験においては、AeroMACS を地上基地局と航空機移動局をつなぐリンクの無線通信媒体として SWIM 基盤へ接続しており、更に、機内ではパイロット向けの様々な情報を共有する EFB (Electronic Flight Bag: 図5) を模擬したタブレット端末への情報配信試験も並行



図5 パイロットの EFB (Electronic Flight Bag) 利用イメージ画面は SWIM 用情報。(写真は安全のため地上停機時に撮影。)

して実施した。この中で、現在飛行中の全ての航空機の位置情報や移動速度、目的地などの基本情報の視覚的な共有、気象情報・NOTAM (Notice To Airmen) の表示、またパイロット、運航会社、管制官の三者間で飛行計画を表示し調整するようなやりとりも可能であることを確認した。

## 4. おわりに

本稿では、航空機と管制機関をつなぐ空港面移動通信システム AeroMACS の研究開発と国際標準化について紹介した。

現在のところ、AeroMACS は航空機搭載装置の製品化が行われていないため空地通信装置として普及するに至ってはいないが、当該標準自体は中国をはじめとした各国の空港で駐機スポットからの出発許可などに利用されている<sup>(17)</sup>。

また、ICAO 通信パネルでは、AeroMACS の基盤となる WiMAX 規格にのっとりチップセット等の供給減少を受けて、AeroMACS の標準を同一周波数で 5G 規格を基盤として更新していく方向も打ち出されている。しかしながら、航空関係の標準規格は、ICAO と ITU の両方での審議が必要となり規格策定まで 10 年近い長期の期間を要する。よって特に変革の速い通信分野においては時代に合った通信規格を維持することが非常に難しく、これが航空業界の課題となっていくと考えられる。

## 文 献

- (1) ICAO, "Long-term traffic forecasts : passenger and cargo," April 2018. [https://www.icao.int/sustainability/documents/ltf\\_charts-results\\_2018\\_edition.pdf](https://www.icao.int/sustainability/documents/ltf_charts-results_2018_edition.pdf)
- (2) 国土交通省, "将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS)," 2010. [https://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_CARATS.html](https://www.mlit.go.jp/koku/koku_CARATS.html)
- (3) ICAO, "Global air traffic management operational concept," Document 9854, 2005. [https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854\\_cons\\_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854_cons_en[1].pdf)
- (4) ICAO, "Manual on flight and flow-information for a collaborative environment (FF-ICE)," ICAO Document 9965, AN/483, 2012.
- (5) ICAO, "VHF air-ground digital link (VDL)," ICAO Annex 10, vol. III, Chapter 6, 2007.
- (6) ICAO, "Aeronautical mobile airport communications system (AeroMACS)," ICAO Annex 10 Amendments 90, vol. I, ICAO, Montreal, Nov. 2016.
- (7) RTCA SC-223, "Aeronautical mobile airport communication system (AeroMACS) profile," DO-345, RTCA, Washington DC, Feb. 2014.
- (8) EUROCAE WG-82, "Aeronautical mobile airport communications system (AeroMACS) profile," ED-222, EUROCAE, Nov. 2013.
- (9) RTCA SC-223, "Minimum operation performance standards (MOPS) for the aeronautical mobile airport communication system (AeroMACS)," DO-346, RTCA, Washington DC, Feb. 2014.
- (10) EUROCAE WG-82, "Minimum operational performance standards (MOPS) for the aeronautical mobile airport communication system," ED-223, EUROCAE, 2013.
- (11) IEEE, "IEEE standard for local and metropolitan area networks, part

16: Air interface for broadband wireless access systems,” IEEE Std. 802.16-2009, May 2009.

- (12) ITU, “Radio regulations, edition of 2012,” 5.443C and 5.444B, ITU, Geneva, Feb. 2012.
- (13) ICAO, “Report on agenda item 7,” 11th Air Navigation Conference, Working Paper 202 (ANConf/11-WP202), ICAO, Montreal, Oct. 2003.
- (14) B. Philips and J. Pouzet, “Communications operating concept and requirements,” ICAO Aeronautical Communications Panel/1, Information Paper 5, ICAO, Montreal, May 2007.  
<https://www.icao.int/safety/acp/Lists/ACP%20Meeting%20List/AllItems.aspx>
- (15) ICAO, “Amendment proposal for annex 10 on AeroMACS SARPs,” ICAO Communications Panel/1 Working Paper 3, ICAO, Montreal, Dec. 2014.  
<https://www.icao.int/safety/acp/ACPWGF/Forms/ACPWGW.aspx>
- (16) 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, June 2021.
- (17) L.H.Y. Zhang and A. Liu, “AeroMACS application at HongQiao airport of China,” 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCSIT), pp. 1088-1093, Oct. 2020.

(2022年11月30日受付 2022年12月16日最終受付)



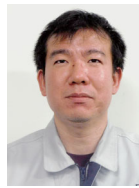
かなだ なおき  
金田 直樹 (正員)

2002 独立行政法人電子航法研究所入所後, IP による航空通信網, 高速移動体通信システム, ADS-B の幾何高度基準面推定, 航空交通情報共有基盤に関する研究等に従事。現在, (国研) 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所監視通信領域主任研究員, 日本航空宇宙学会会員。



こうむら あきこ  
河村 暁子 (正員)

2007 独立行政法人電子航法研究所入所。以来, 航空通信, 無人航空機, 電磁干渉に関する研究開発に従事。2011~2012 仏ニュースフィアアンティポリス大電子アンテナ研究所客員研究員。現在, (国研) 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所監視通信領域主幹研究員, 博士 (工学)。IEEE 会員。



もりおか かずゆき  
森岡 和行 (正員)

2005 北大卒。同年(株)アルチザネットワークス入社。2011 情報通信研究機構, 2013 電子航法研究所入所。2014 信州大大学院博士課程了。2022 ドイツ航空宇宙センター通信航法研究所客員研究員。この間, デジタル無線通信システムの研究開発に従事。現在, (国研) 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所監視通信領域主任研究員, 博士 (工学)。IEEE, IEEJ 各会員。



よねもと なると  
米本 成人 (正員)

1995 佐賀大・理工卒。1997 佐賀大大学院工学系研究科博士前期了。2000 佐賀大大学院博士後期了。同年運輸省電子航法研究所入所。2005~2006 仏ニュースフィアアンティポリス大電子アンテナ研究所客員研究員。2011 から, 東京海洋大大学院准教授を併任。航空通信, 航空用レーダ, 電磁干渉に関する研究に従事。現在, (国研) 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所監視通信領域上席研究員, 博士 (工学)。IEEE, EuMA 各会員。



すみやま やすと  
住谷 泰人 (正員)

1993 北大・工・電気卒。同年運輸省電子航法研究所に入所以来, 航空機衝突防止装置, パイロット用画像視覚援助, 航空通信等システムの研究に従事。博士 (工学)。現在, (国研) 海上・港湾・航空技術研究所研究監, 及び同研究所電子航法研究所監視通信領域長, 日本航空宇宙学会会員。