

【講演資料・目次】

『**空港運用のさらなる安全と効率化に向けて**
- **電子航法研究所の最近の活動** -』 P1

電子航法研究所
特別研究主幹 植木 隆央

『**欧州が考える将来の航空とEUROCAEによる**
航空関連システムの標準化』 P9

EUROCAE
技術部長 Ms. Anna von Groote

『**遠隔型空港業務支援システムの開発**』 P29

電子航法研究所 航空交通管理領域
主幹研究員 井上 諭

- 休憩（15分） -

『**GBASに関する国際標準化活動への取り組み**』 P46

電子航法研究所 航法システム領域
主幹研究員 吉原 貴之

『**滑走路異物検出システムに関する研究と国内外の動向について**』 P62

電子航法研究所 監視通信領域
上席研究員 米本 成人



電子航法研究所のご紹介

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
Electronic Navigation Research Institute (ENRI)

沿革、業務の概要

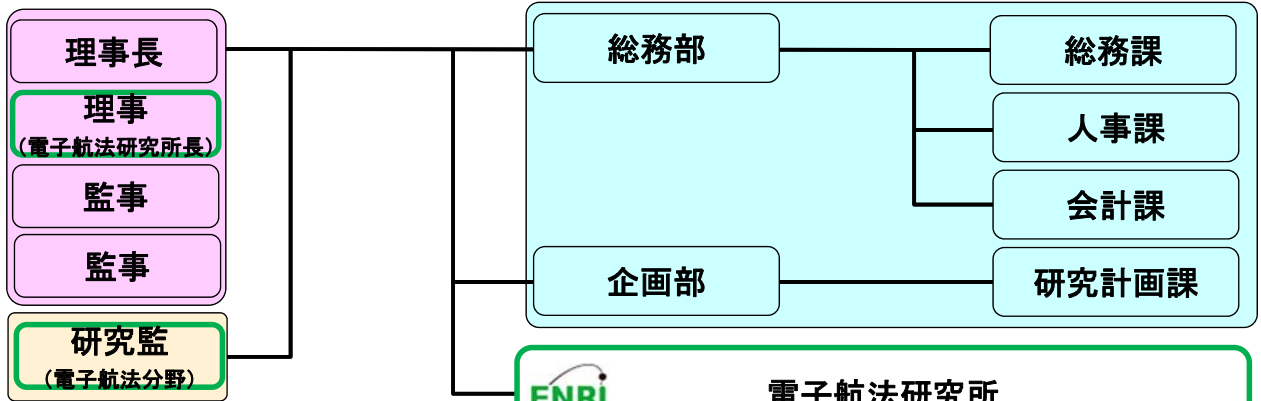
・ 沿革

- 昭和36年4月：運輸省（現在の国土交通省）運輸技術研究所内に電子航法研究室設置
- 昭和42年7月：運輸省 電子航法研究所（創立51年）
- 平成13年4月：独立行政法人 電子航法研究所
- 平成18年4月：非特定独立行政法人（非公務員化）
- 平成27年4月：国立研究開発法人 電子航法研究所
- 平成28年4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

・ 業務の概要

電波や電子機器を利用した航法（＝「電子航法」）により、より多くの航空機が
安全に、円滑に、効率的に運航することができるように航空交通システムの高度化に
関する研究開発を実施。

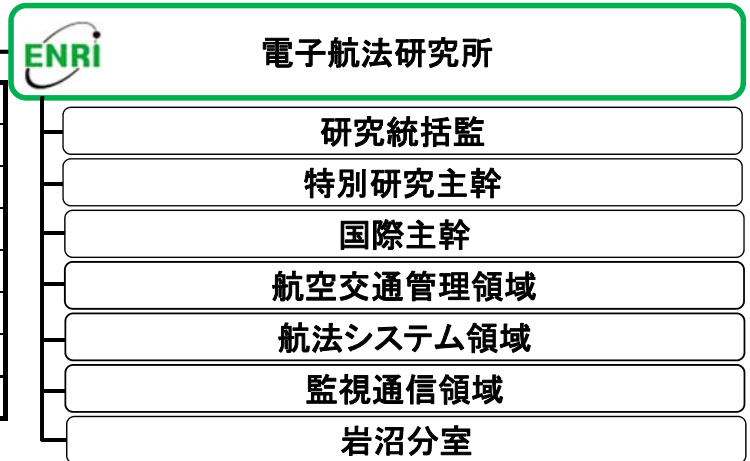




予算額 (百万円)	
H26	1,530
H27	1,467
H28	1,462
H29	1,426
H30	1,444

理事長	1
理事(所長)	1
監事	2
研究監	(1)
研究統括監・国際主幹	1
事務職	14
研究職	42
合計	61

注: () 書きは研究職と兼務
(平成30年4月1日現在)



航空交通管理 (Air Traffic Management)

主に3つの技術で構成

通信 (Communication)

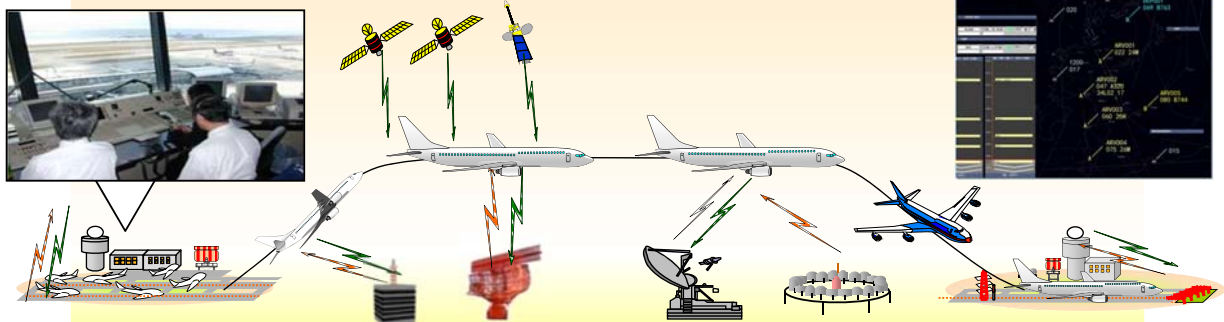
航空機と管制官が
音声等のやりとりをする

航法 (Navigation)

航空機が
自分の位置を知る

監視 (Surveillance)

管制官が
航空機の位置を知る



航空交通システム: ATM及びそれを支えるCNS技術

航空機を安全、円滑、効率的に運航できるようにさまざまなアプローチで航空交通システムの高度化に貢献するための研究を行っています

電波無響室



- 室内で発射されるあらゆる電波を吸収すると共に外来電波を室内に入れない構造
- 無線システムの送受信試験、アンテナの送受信特性の測定等に利用
- 国内最大級の大きさ

- 管制用のレーダーの実験を行っています
- 本所(調布)と宮城県仙台空港に隣接する岩沼分室に1つずつ所有
- 国内の研究所で管制用の実験用レーダーを持っている唯一の研究所

実験用レーダー

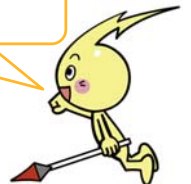


4

実験用航空機

電子航法研究所では、**実際に航空機を用いて**、当研究所で試作・開発されたシステムについて**実飛行による評価試験を実施**。

航空交通システムの試験が可能な
日本で唯一の航空機です



航空機型式:
ビーチクラフトB300型航空機(King Air 350)

登録記号(管制官の呼び名): JA35EN

愛称:「よつば」

電子航法研究所の岩沼分室がある宮城県岩沼市内の小中学生を対象に募集し、応募総数488通より決定

※仙台空港隣接の岩沼分室格納庫に駐機



最大高度:10000m以上(スカイツリーの15倍以上)
最大速度:時速500km以上(自動車の10倍程度)
長さ14.2m、よこ幅17.7m、高さ4.4m
最大離陸重量:6.8t

【主な特徴】

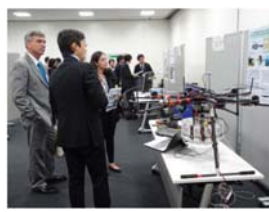
- 運航用に加えて7種類12個の実験用アンテナ
- 実験機材搭載用ラックの設置
- 豊富な実験用電源
- 飛行情報の取得が可能

電子航法研究所は、アジア地域における中核機関を目指して**国際ワークショップを主催**するなど、国内のみならず積極的に国際活動に参画

他機関との密接な交流、連携

- 世界的知名度向上
- 研究員の研究力、交渉力の大幅向上

▼EIWACの様子



連携大学、研究機関の例

- 仏 ニース・ソフィアアンティポリ大学
(University of Nice-Sophia Antipolis)
- 仏 民間航空学院
(Ecole Nationale de l' Aviation Civile)
- 独 ドイツ航空宇宙センター
(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
- 米国 航空宇宙局研究所
(NASA Research Center)
- 韓国 航空宇宙研究院
(Korea Aerospace Research Institute)

6

- 研究所一般公開(毎年4月)
科学技術週間に周囲の研究所と合同で一般公開を開催。
- 研究発表会(毎年6月)
電子航法研究所の1年間の研究内容を発表。
- 国際ワークショップ(EIWAC)
電子航法研究所が(2年に一度)主催する国際ワークショップ。
次回は2019年開催予定。
- 講演会(東京都内にて開催)
EIWACが開催されない年の秋～冬に開催。



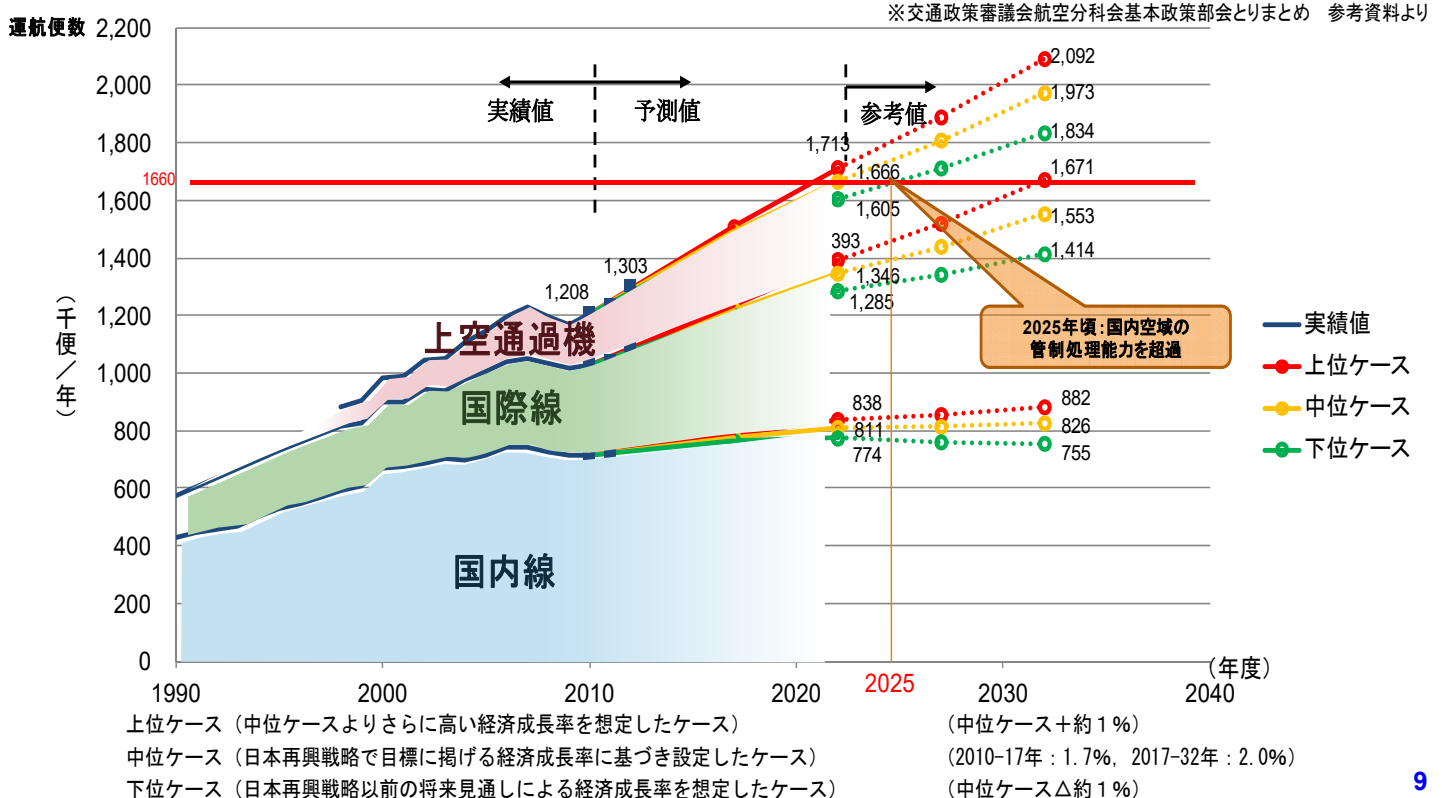
実施時期等については電子航法研究所ホームページに掲載しています。

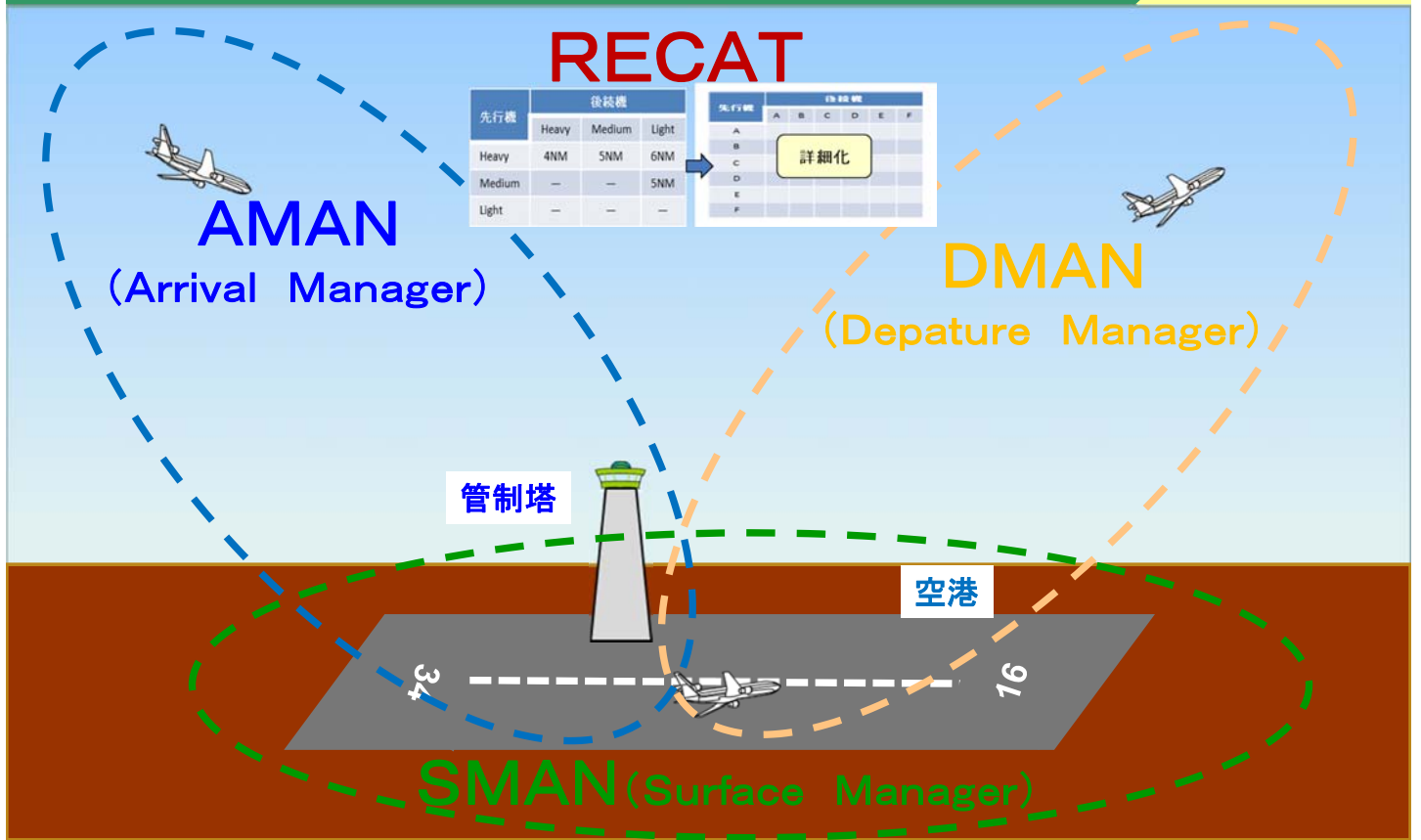
空港運用のさらなる安全と 効率化に向けて

- 電子航法研究所の最近の活動 -

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
Electronic Navigation Research Institute (ENRI)

航空交通量の推移と今後の予測

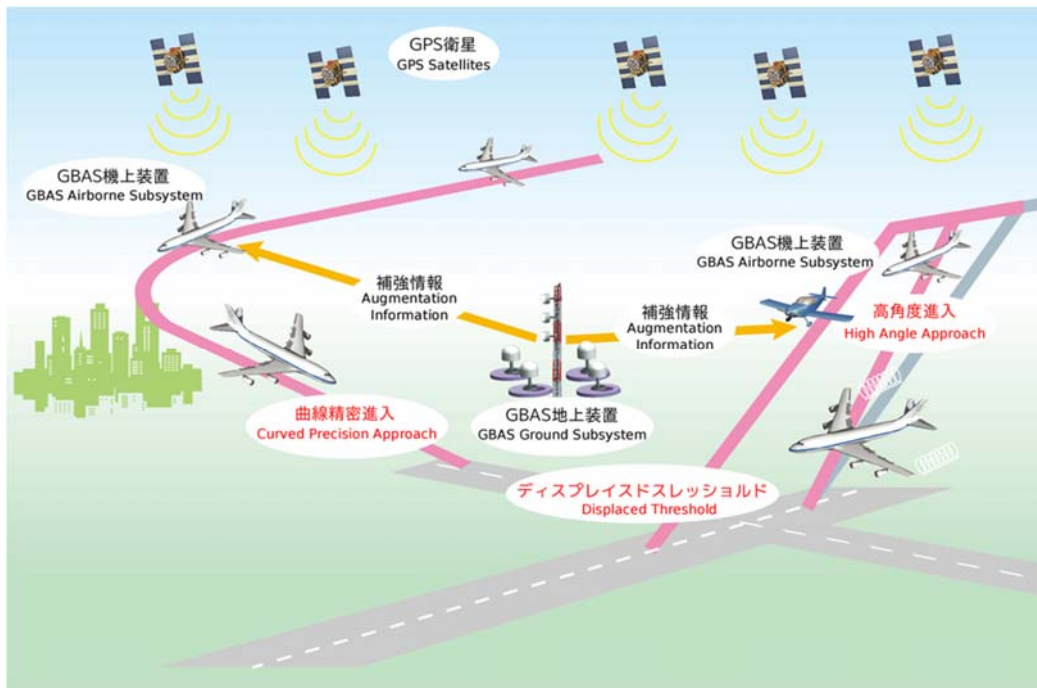




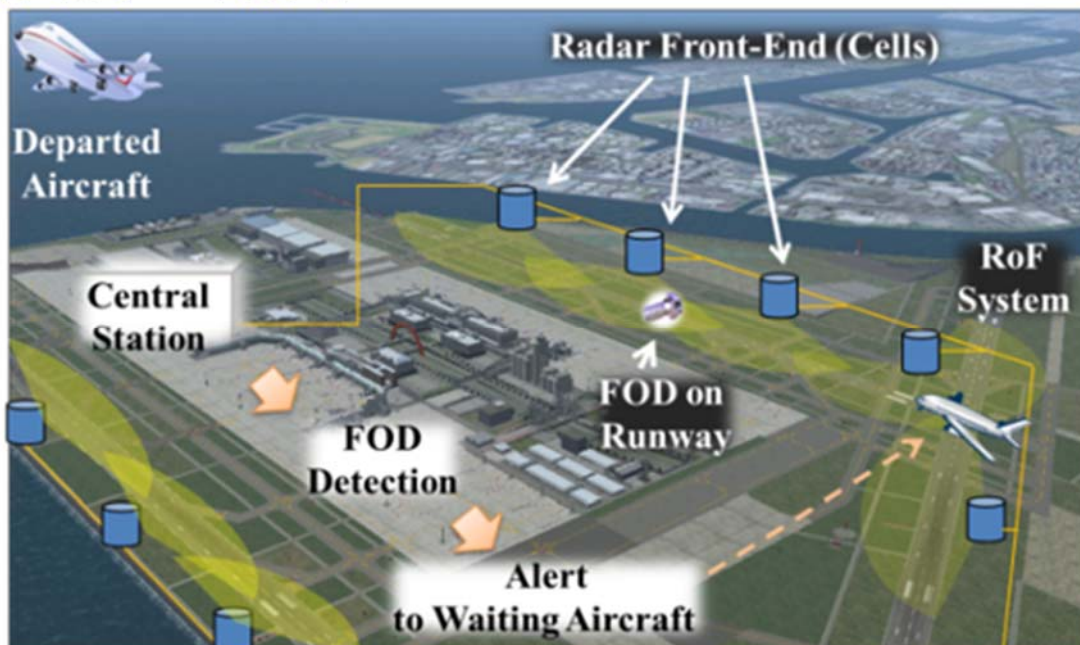
遠隔型空港業務支援システムの開発



GBASに関する国際標準化活動への取り組み



滑走路異物検出システムに関する研究と国内外の動向について



招待講演

欧州が考える将来の航空とEUROCAE による航空関連システムの標準化

EUROCAE 技術部長 Ms. Anna von Groote

14

ご静聴ありがとうございました



ENRI Conference

The European perspective for future aviation and standardisation



Anna von Groote, Director Technical Programme
3 December 2018, Tokyo



EUROCAE Governing Bodies

- Founded in 1963 in Lucerne by ECAC
- President and General Assembly
 - Strategic decisions through “Full Members” votes
- Council
 - Final decision-making body
- Technical Advisory Committee (TAC)
 - Technical and operational advisor to the Council and the General Secretariat
- General Secretariat
 - Day to day management and further development of the Association





Inputs for Standardisation Membership



EUROCAE facts and figures

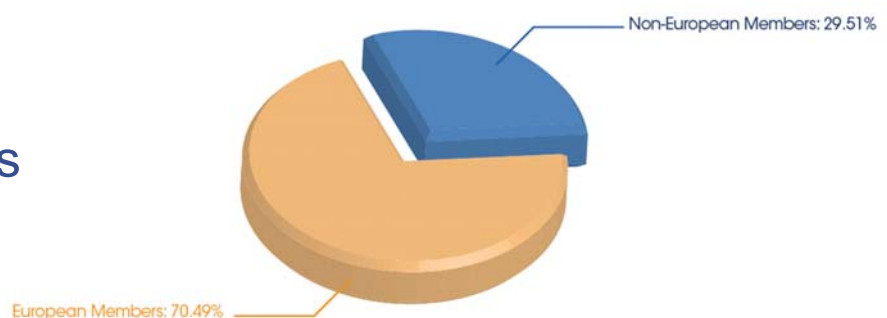
→ 250+ Members (+10% p.a.)

→ 115 in 2010

→ 37 active working groups, 5 dormant

→ 26 in 2010

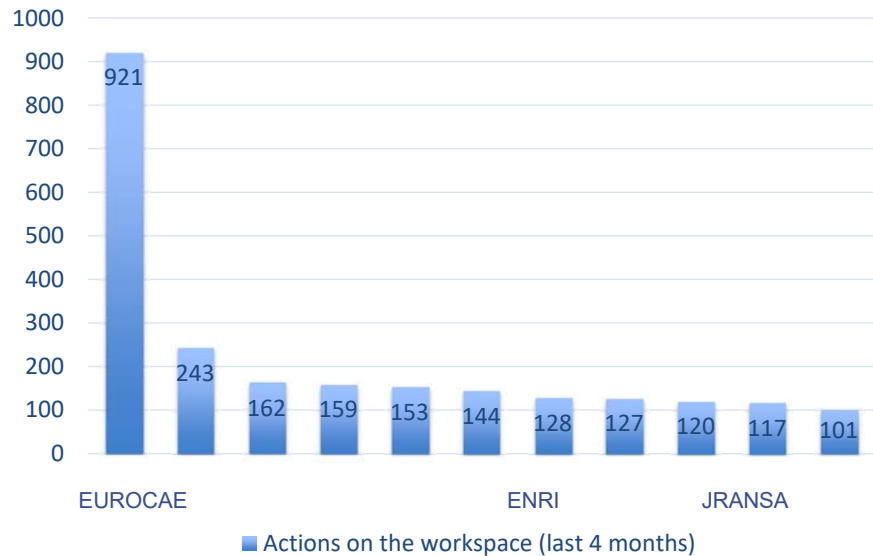
→ 2000+ experts





Most active members

- Non-European members very active
- Top 10:
2 Japanese organisations



EUROCAE process

- Transparent and open process
- Consensus driven development approach
- Standards validation
- Open consultation
- Worldwide recognition
- Worldwide application
- Open for worldwide participation
- By the industry – for the industry





European Standards Coordination Groups



EASCG

www.eascg.eu



EUSCG

www.euscg.eu

ECSCG

to be shortly available at:

www.ecscg.eu



European Standards Coordination Groups

- **EASCG** established in 2015 to coordinate the ATM-standardisation activities, essentially stemming from the European ATM Master Plan, in support of Single Sky implementation.
- **EUSCG** established in 2017 to coordinate UAS-standardisation activities standards linked to the European regulatory framework and UAS Roadmap
- **ECSCG** established in 2018 to coordinate the Cyber Security standardisation activities supporting the regulatory framework

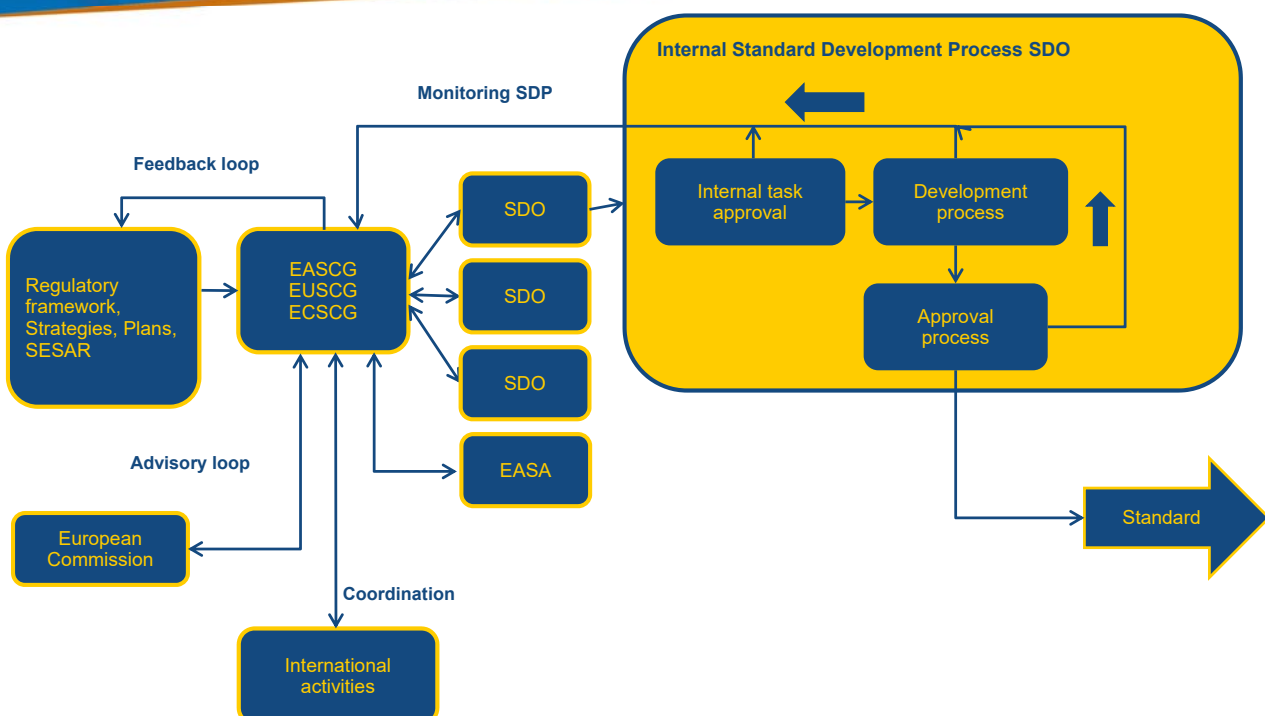


Tasks

- Facilitate the sharing of work among the SDOs thus avoiding the risk of overlapping developments and gaps
- Monitor all relevant processes, resource availability and other related risks and issues
- Provide a forum to manage specific issues and resolution of conflicts
- Advise the EC and other organisations on standardisation matters / issues
- International coordination
- Deliverable: Standardisation Rolling Development Plan (RDP)



Coordination mechanism





Global coordination



RTCA
THE AVIATION GOLD STANDARD SINCE 1935

50 % joint WGs

SAE
INTERNATIONAL

10 % joint WGs



Global Coordination

- Long-standing, very positive relationship with ICAO
- ANConf/13, October 2018
 - AN-Conf/13-WP/55
Industry Standards in Support of ICAO Provisions
- EUROCAE work programme mapped to ICAO
 - GANP, ASBUs, GASP
 - Standards Roundtable
- ICAO provisions reference EDs
 - Currently about 60 instances
 - Expect increase
- Global coordination through international membership





R&D-standardisation-deployment

R&D



Standardisation and Regulation



Deployment



Regulation – Standard



→ PB & RB regulations by EASA, FAA and ICAO

→ Reference to industry standards

→ Standardisation reaction to regulation



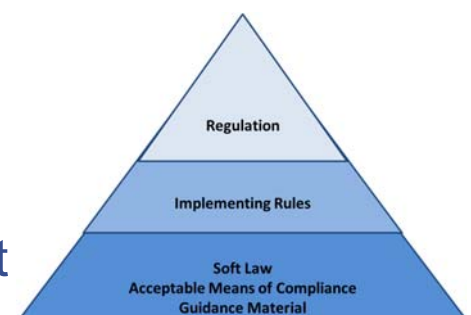
→ Forward looking

→ In anticipation of regulatory requirements

→ Referenced by the regulator

→ EASA, EU, FAA, ICAO

→ ETSO – MOPS, SW, Environment





ETSO – example 2C501

ETSO-2C501
Date : 24.10.03

European
Aviation
Safety
Agency

European Technical Standard Order

Subject: MODE S AIRCRAFT DATA LINK PROCESSOR

1 - Applicability
This ETSO gives the requirements which Mode S Aircraft Data Link Processors that are manufactured on or after the date of this ETSO must meet in order to be identified with applicable ETSO marking.

2 - Procedures
2.1 - General
Applicable procedures are detailed in CS-ETSO Subpart A.
2.2 - Specific
None

3 - Technical Conditions
3.1 - Basis
3.1.1 - Minimum Performance Standard
Standards set forth in EUROCAE document ED-82A dated November 1999.
3.1.2 - Environmental Standard
See CS-ETSO Subpart A paragraph 2.1
3.1.3 - Computer Software
See CS-ETSO Subpart A paragraph 2.2
3.2 - Specific
None

4 - Marking
4.1 - General
Marking is detailed in CS-ETSO Subpart A paragraph 1.2.
4.2 - Specific
None

F - Availability of Referenced Document
See CS-ETSO Subpart A paragraph 3

European Aviation Safety Agency

ETSO-2C501 Date : 24.10.03

Subject: MODE S AIRCRAFT DATA LINK PROCESSOR

1 – Applicability: This ETSO gives the requirements which Mode S Aircraft Data Link Processors that are manufactured on or after the date of this ETSO must meet in order to be identified with applicable ETSO marking.

2 – Procedures

2.1 – General: Applicable procedures are detailed in CS-ETSO Subpart A.

3 – Technical Conditions

3.1.1 – MOPS: set forth in EUROCAE document **ED-82A** dated Nov 1999

3.1.2 – Environmental Standard: See **CS-ETSO Subpart A paragraph 2.1**

3.1.3 – Computer Software: See **CS-ETSO Subpart A paragraph 2.2**

4 – Marking: marking is detailed in CS-ETSO Subpart A paragraph 1.2.

5 – Availability of Referenced Document: See CS-ETSO Subpart A paragraph 3



CS-ETSO – Subpart A General

2. ENVIRONMENTAL AND SW STANDARDS TO MEET TECHNICAL CONDITIONS

2.1 Environmental standards: Unless otherwise stated in the paragraph 3.1.2 of the specific ETSO, the applicable environmental standards are contained in **EUROCAE/RTCA** document **ED-14D/DO-160D**, „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“, change 3 dated December 2002.

2.2 Software standards: If the equipment design implementation includes a digital computer, the computer software must be verified and validated in an acceptable manner. Unless stated otherwise in paragraph 3.1.3 of the specific ETSO, one acceptable means of compliance for the verification and validation of the computer software is outlined in **EUROCAE/RTCA** document **ED-12B/DO-178B**, „Software considerations in Airborne Systems and Equipment Certification“, dated December 1992. For those applicants who elect to use **EUROCAE/RTCA** document **ED-12B/DO-178B** to demonstrate compliance for the verification and validation of the computer software, the following requirements must be met:

(i) This document defines five levels of software:

Level A, B, C, D, and E. The applicant must declare the level (or levels) to which the computer software has been verified and validated.

(ii) If the equipment incorporates more than one software level, appropriate partitioning of different software level is required.



Domains of activities

- Avionics
 - Communication
 - Navigation
 - Surveillance
 - ATM Systems
 - Airports
 - SWIM
- 
- A 3D graphic consisting of a cluster of white and blue cubes arranged in a roughly cubic shape, positioned above a stylized blue and white globe of the Earth.
- Security
 - AIS / MET
 - UAS & General Aviation
 - Miscellaneous
 - Fuel cells
 - Space



Specific activities

- 37 active Working Groups
- Specific activities:
 - Cyber Security
 - Remote tower
 - UAS
 - Latest EUROCAE activities



WG-72 Cyber Security

→ Published documents

- ED-201 AISS Framework Guidance Document
- ED-202A* Airworthiness Security Process Specification
- ED-203A Airworthiness Security Methods and Considerations
- ED-204* Information Security Guidance for Continuing Airworthiness
- ER-013 AISS Glossary
- ER-017 International Aeronautical Information Security Activity Mapping

→ Ongoing work

- ED-205 Security accreditation of ATM systems (Q4/2018)
- ED-201A AISS Framework Guidance Document
- ED-204A Information Security Guidance for Continuing Airworthiness
- ED-xxx Security Event Management

* Joint activity with RTCA



WG-72 Cyber Security

→ Future activities under discussion

- EUROCAE / EASA workshop 31 May 2017

→ Technical Work Programme 2019

- Vulnerability management
- Incidence response and recovery management
- Supply chain security
- Forensic analyses and accident investigation
- Maintenance security
- Development & production security
- Cybersecurity testing
- Risk assessment methodology
- Cyber resilience requirements (overarching & per domain)





WG-28/62/98 GNSS

✈️ WG-28 GBAS

- ✈️ MOPS ED-114B “MOPS for Global Navigation Satellite GBAS Ground Equipment to support Category I/II/III Operations using GPS L1”, exp Q4/2018
- ✈️ Report on status of GBAS MC MF developments in SESAR, exp Q4/2019

✈️ WG-62 Galileo

- ✈️ ED-259 MOPS for GNSS Receiver Using Dual Frequency GPS/Galileo/SBAS, exp initial: Q4/2018
- ✈️ ED-259A MOPS for GNSS Receiver Dual Frequency GPS/Galileo/SBAS, exp Q4/2020; joint with RTCA

✈️ WG-98 RLS

- ✈️ MASPS, exp Q4/2020



WG-83 FOD Detection Systems

✈️ Performance parameters of airport FOD detection systems

✈️ Work programme

- ✈️ ED-235 MASPS for Foreign Object Debris Detection System
 - ✈️ published Feb 2016
- ✈️ OSED on Airport FOD Detection Systems
 - ✈️ Open consultation expected to start in Jan 2019
- ✈️ Next step: ED-235 update if necessary

✈️ Close link to ICAO, EASA





WOBAN – WG-96

→ WG-96 created 2013

→ Joint with RTCA SC-236

→ Deliverables

- **ED-246** Process Specification for Wireless On-Board Avionics Networks (published in July 2017)
- **ED-260** MASPS for Coexistence of Wireless Avionics Intra-Communication Systems within 4 200-4 400 MHz (Open consultation)
- **ED-xxx** MOPS for a Wireless Avionics Intra-Communication System (exp 2021)



Remote and Virtual Towers – WG-100

→ WG-100 created 2014

→ develop standards for Remote Towers including the whole chain from sensor to display

→ 30+ organisations actively contributing

→ Coordination

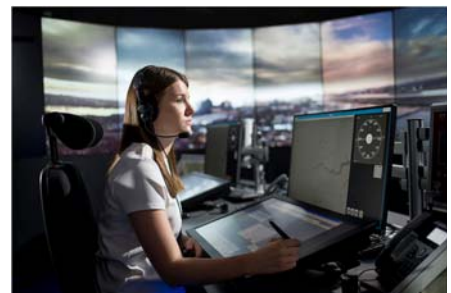
- ICAO, EASA
- SESAR, SESAR2020 PJ05
- EUROCAE WG-41 A-SMGCS





Remote and Virtual Towers – WG-100

- **ED-240: MASPS for Remote Tower Optical Systems**
- the only existing technical standard on Remote Towers
- **ED-240** (2016)
- **ED-240A** (2018)
 - target tracking technologies
- **ED-240B** (planned end of 2020)
 - processing and integration of information produced by existing or emerging surveillance systems/sensors



Remote and Virtual Towers – WG-100

- **EASA**
 - Guidance Material on the implementation of the remote tower concept for single mode of operation (ED Decision 2015-014-R)
 - NPA 2017-21: ED-240 / ED-240A
- **ICAO**
 - GANP / ASBU RATS





Remote and Virtual Towers – WG-100

- Benefits of RVTs
- Examples of implementation
 - Heathrow Airport as remote contingency tower (since 2009)
 - Operating since 2015 at Örnköldsvik Airport (Sweden) from Sundsvall
 - Remote Towers technology undergoing pilot projects in US at 2 GA airports
 - Japan
 - Other countries and regions



SWIM – WG-104

- ED-254 Arrival Sequence Service Performance Standard
- ER-018 SWIM Service Standardisation Package
 - Proposed work programme & prioritised list of SWIM services for future standardisation
 - Lessons learned from standardisation of AMAN service
 - SWIM Service Standardization Template
- Further activities under discussion
 - A-CDM
 - ...

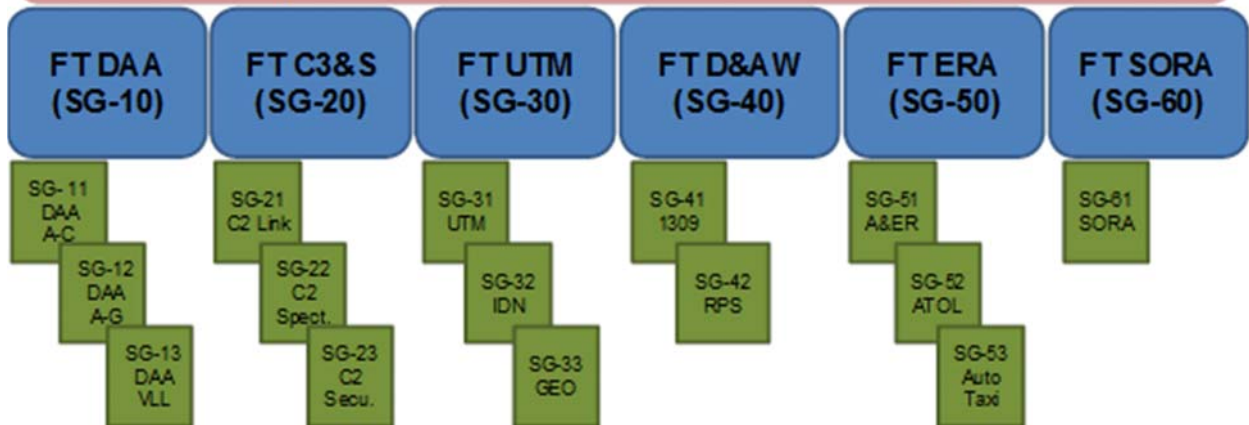




UAS – WG-105

Steering Committee (SG-0)

(Co-chairmen, Secretaire, FT leads, TPM)



WG-106 EFB

→ WG-106 Electronic Flight Bag (EFB)

→ Created in 2016

→ Deliverable:

→ ED-xxx MOPS for Electronic Flight Bag (EFB) Software Applications, expected Q4/2018

→ Support to EASA ETSO



WG-109 RWIS

→ Created Feb 2018

- to develop minimum requirements for RWIS to define the performances expected from the systems and the way of verifying that the latter reach them.
- ICAO Global Reporting Format

→ Deliverable

- MASPS for Runway Weather Information Systems with a targeted deadline – 2020



→ Kick of meeting 23-24 May 2018

- 25 participants representing the whole spectrum of stakeholders



New activities

→ SESAR 2020

- Next update of the European ATM Master Plan in 2018 under the **overall theme of “the digitalisation of aviation infrastructure”** with particular focus on Drones and CNS.

→ EASA RMP

→ ICAO

- GASP
- GANP - ASBUs
- Standards Roundtable

→ EUROCAE TWP





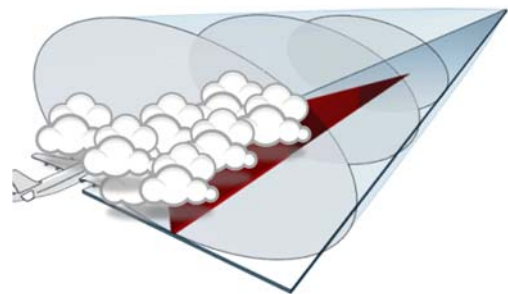
New activities – TWP 2019

- Digitalisation / digital transformation
- Automation - autonomous flying
- Artificial intelligence
- Virtualisation: virtual centres, virtual tower, augmented reality for TWR controllers
- Space
- Security
- Future airport-related work



EUROCAE Role

- Strong reliable partner for
 - Industry
 - R & D
 - user and
 - regulator
- to reach the destination





EUROCAE Symposium

Toulouse, 25 - 26 April 2019

EUROCAE Symposium
& 56th GENERAL ASSEMBLY



→ Topics:

- New vehicles and autonomy trends in aviation
- Connectivity and digital services
- Airport developments
- Innovative ATM solutions
- Innovative aircraft systems
- Satellite-based services



For further information...



www.eurocae.net

Christian Schleifer-Heingärtner

Phone: +33 1 49 46 19 66 | christian.schleifer@eurocae.net

Anna von Groote

Phone: +33 1 49 46 19 71 | anna.vongroote@eurocae.net



Le Triangle, 9-23 Rue Paul Lafargue
93200 Saint Denis - France
www.eurocae.net

遠隔型空港業務支援システムの開発

- リモートタワー研究の取り組みについて -



平成30年12月3日(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 井上 諭



Copyrights © 2014-2018 Electronic Navigation Research Institute, All Rights Reserved.

目次

- ・ リモートタワーとは？
- ・ 国際標準化と世界のリモートタワーの取り組み
- ・ 日本におけるリモートタワーに関連した動き
- ・ 映像システム技術
- ・ 監視センサ情報との融合

リモートタワーとは？

リモートタワーのコンセプトと特徴

Copyrights © 2014-2018 Electronic Navigation Research Institute, All Rights Reserved.

リモートタワーとは？



※SESAR Operational Concept より

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.



リモートタワー(デジタルタワー)

- 空港のタワー業務を遠隔地に置かれたセンターから運用できるシステム



各地のリモート空港



- パノラマカメラ(光学、IR等)
- PTZカメラ(光学、IR等)
- 監視センサー(レーダー、MLAT,ADS-B等)
- 気象情報センサー
- 無線通信

通信ネットワーク



運用センター

- パノラマディスプレイ(AR合成)
- PTZ表示
- カメラ操作・制御パネル
- 運用業務用支援情報パネル
(飛行情報等)
- 監視センサー情報パネル
- 気象情報パネル
- 通信端末

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

リモートタワーシステムの特徴

- IoT技術を活用した新しい空港管制システム
＜空港と管制センターをネットワークで結ぶ新しく効率的な管制業務の仕組み＞
- 映像識別(AI)や監視センサー情報を活用した業務支援機能
＜AIによる精度の高いターゲット検出および拡張現実技術(AR)による管制官の状況認識を支援する高い安全性と操作性＞
- 安全性と経済性を両立する遠隔型空港管制システム
＜情報技術を活用した高い安全性と、
タワーの立替建設や維持費の圧縮、限られた人的資源の効率的な配置＞



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

国際標準化と世界のリモートタワーの取り組み

欧米をはじめとしたリモートタワー導入に関する動きと技術開発動向について

Copyrights © 2014-2018 Electronic Navigation Research Institute, All Rights Reserved.

リモートタワーオペレーション (Remote Tower Operation)

- リモートタワーはICAO ASBUのBlock 1に(B1-81 Remote Operated Aerodrome Control Tower)として示されている

- <B1-81: Remote Operated Aerodrome Control Tower>

The performance objective is to provide safe and cost-effective ATS to aerodromes, where dedicated local ATS is no longer sustainable or cost effective, but there is a local economic and social benefit from aviation

Summary Table of Aviation System Block Upgrades*			
Block 0 Available Now	Block 1 Global Deployment by 2018	Block 2 Global Deployment by 2023	Block 3 Global Deployment from 2028
Performance Improvement Area 1: Greener Airports			
Improved Airport Accessibility	Optimised Airport Accessibility		
Increased Runway Throughput through Wake Vortex Separation	Increased Runway Throughput through Dynamic Wake Vortex Separation	Advanced Wake Vortex Separation (Time-based)	
Improved Runway Safety (A-SMGCS)	Enhanced Safety and Efficiency of Surface Operations (A-SMGCS/ ATSA-SURF)	Optimised Surface Routing and Safety Benefits (A-SMGCS Level 3-4, ATSA-SURFIA and SVS)	
Improved Airport Operations through A-CDM	Optimised Airport Operations through A-CDM		
	Remote Operated Aerodrome Control Tower		
Improved Traffic Flow through Runway Metering	Improved Approach and Departure Management through Integration	Linked AMAN/DMAN	Integrated AMAN/DMAN/ SMAN

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

国際標準化に向けた動き

- ICAO ATMOPS Panel
PANS-ATM (ICAO Doc.4444)の改訂
7.1.1.2.1 に対応(改訂検討を継続中)
- SESAR JU
OSED (Operational Services and Environment Description)の発行
現在進行形: PJ05(Multiple Airport)のValidation
- EUROCAE WG-100
MAPSP ED-240, ED-240Aの発行
- EASA RMT.0624
Guidance Material の発行



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

EUROCAE WG-100(Remote/Virtual Tower)の取り組み

- WG-100
 - ・2014年から開始
(現在まで17回開催、欧州以外も含む)
 - ・Activeメンバー: 30~35名程度
(ANSP、メーカー、研究機関、コンサルタント等)
- MASPS (Minimum Aviation System Performance Specifications)策定
 - ・ED-240: Remote Tower Optical Systems (2016年8月発行)
光学センサ(カメラ)に関する要件や技術検証手法(・遅延、・フレームレート、
・PTZシステム反応時間、・対象物の検知と認識基準等)
 - ・ED-240A: Visual Tracking and PTZ Object Following (2018年10月発行)
光学センサ(カメラ)による物体追跡やPTZによる追尾のための要件や技術検証手法
(・ターゲットトラッキング表示、・検知、追尾率基準、・ミストラッキング、
・ターゲットロス率に関する基準等)



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

EUROCAE WG-100(Remote/Virtual Tower)の取り組み

• 今後のWG-100

•ED-240B:

Extension covering the processing and integration of information produced by existing or emerging surveillance systems/sensors, such as PSR, SSR, SMR, WAM/MLAT and/or ADS-B, etc.

> RT用のカメラを除く監視センサ情報の技術基準とタグやラベリング等の表示表現の基準について検討

> ドキュメント発行予定時期:2020年の第4四半期



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

リモートタワー研究(海外事例)

- 欧米ではシステムコンセプトは完成済み
- 運用に向けてシステムの性能や妥当性の評価が行われている
- **リモートタワーに取り組んでいる世界のANSP**
LFV(スウェーデン), DFS(ドイツ), Avinor(ノルウェー), NATS(英国)
Hungarocontrol(ハンガリー), SESAR JUプロジェクト(PJ05-DLR
(ドイツ), ENAV(イタリア), IAA(アイルランド), Aena(スペイン), etc.)
DSNA(フランス), FAA(アメリカ), CAA(シンガポール),
StateATMCo.(ロシア)
- **取組んでいる欧米メーカー**
 - SAAB(スウェーデン)
 - Frequentis(オーストリア)
 - Searidge(カナダ)& Thales(フランス)
 - Kongsberg & IndraNavia(ノルウェー)
 - IANS(ロシア) 他多数

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

(例) スウェーデンのリモートタワー

- LfVはMalmöにリモートタワーセンターを建設しÖrnköldsvik空港で評価テストを2012年より開始
- スウェーデン航空安全局より運用許可が下り、2015年2月よりATCタワーとして実運用を開始
- 世界最初の実運用リモートタワー



LFV Sundsvall RTC 訪問 2015年

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

日本におけるリモートタワーに関連した動き

日本の現状と電子航法研究所における取組の概要

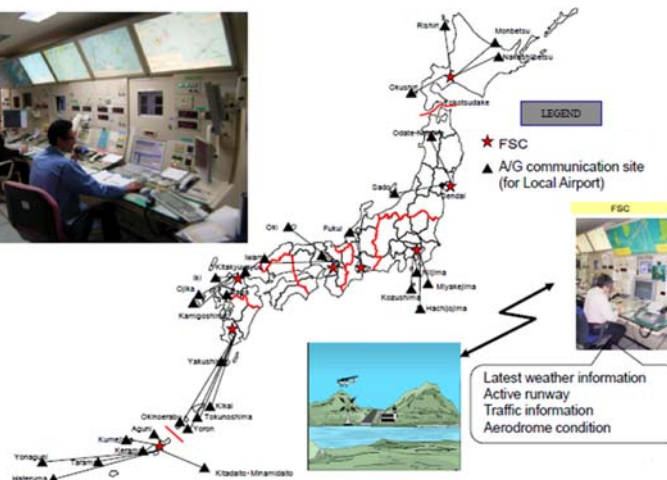
電子航法研究所での研究内容(技術の紹介)

日本の状況

日本のリモート業務の歴史

他飛行場援助業務 (Remote Air-Ground communication services)

- ITVモニタで空港をモニタリング
⇒ 小規模空港向け
- 交通量が少ない
⇒ マルチタスク(2空港)運用



- 高機能化RAGシステム
 - ITVモニタに
パノラマビューを追加
 - パフォーマンスの向上

- 諸外国と同様に近い将来にデジタルシステム導入について検討中...

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

リモートタワーを構成する技術

ビジュアルシステム (パノラマ映像システム)

< タワーから見える視界を再現するための仕組み >

- パノラマカメラシステム (360° パノラマビュー: 光学 / 高感度 / IR, ハウジング性能)
- PTZカメラシステム (望遠機能: 光学 / 高感度 / IR)
- マルチディスプレイシステム (360° パノラマビュー, 支援情報AR合成表示)
- ネットワーク転送技術 (高圧縮法 / ハイスピードエンコーダー)?

監視センサー (ターゲットトラッキング)

< センサー情報を駆使した、視覚補完・業務支援のための仕組み >

- 映像情報ベーストラッキング (映像認識 / 動体検知・認識)
- 位置情報センサーベーストラッキング (MLAT, ADS-B, ASDE等の監視センサー)
- 映像と位置情報を合わせた拡張現実型支援情報を提供するシステム
(位置センサーデータの立体射影とARの補正)

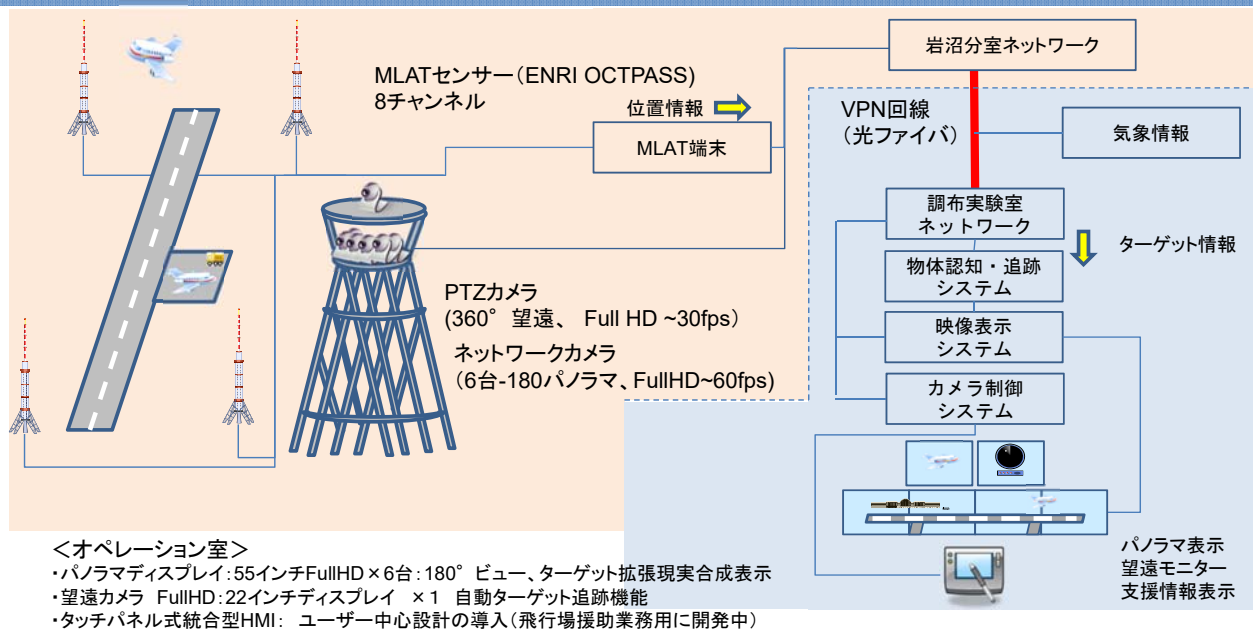
HMI (統合型インタフェース)

< ユーザーが使いやすい、ミスを起こしにくい機能とデザイン >

- カメラシステムコンソール
- ユーザー中心設計 (ユーザー (管制官、運航情報官業務) に最適化)
- 拡張現実、表示の最適化、統合化された情報・操作パネル設計

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

ENRIの実験施設 (岩沼分室(仙台空港隣接)⇔調布実験室)



- ・ リモートタワーの基本コンセプトから実用技術仕様の検討へ
 - 日本の空港の運用に対応したシステムスペックを導く

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

テストシステム (ENRIでの実験)

- プロトタイプシステムをENRI岩沼分室に設置し、システムの性能評価を開始

◆ テストシステム仕様

- ✓ パノラマ映像用カメラ: Full HD / H.264 / 30fps
- ✓ 通信システム: 光回線(回線帯域: 100Mbps) 伝送距離: 約300km
- ✓ 監視センサー: MLAT (ENRI OCTPASS)
- ✓ PTZカメラ: Full HD / H264 / 30fps
- ✓ AIによる物体識別および物体追跡、支援情報表示機能



仙台空港隣接 (ENRI岩沼分室)

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

実験用カメラマルチカメラ(岩沼分室設置)



served.

リモートタワー制御卓(調布実験室)



d.

映像表示システム技術

Copyrights © 2014-2018 Electronic Navigation Research Institute, All Rights Reserved.

映像システムの特徴

1. 可視光カメラ映像とパノラマ表示

- (日の出、日の入り・夕暮れ、逆光等の条件でも肉眼より見やすい
(光量やコントラストなどを自動調整)
- (360° の映像を任意の角度で監視可能)

2. 移動体検出技術(視覚支援1)

映像内の移動物体を検出し、ディスプレイに任意に表示することで、注意喚起や見落とし防止に寄与

3. 移動体追尾技術(視覚支援2)

検出機能と連動し、特定の移動体をPTZカメラで追尾し、ディスプレイ表示可能
制御パネルより、検出ターゲットを選択することで、移動体を監視しやすくなる
(管制官が双眼鏡で監視するタスクをカバーできる。)



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

研究開発のフォーカス



□ リモートタワーの実用化に向けた技術検討

- カメラシステム
 - 光学カメラの仕様検討
様々な運用条件に対応可能な機器性能の評価、選定を検討する
(撮像方式、カメラ台数、露光/シャッタースピード、解像度、画素数、フレームレート等の検討、ズーム機能、レスポンス)
 - 現在の「ENRIシステム」の要求仕様
光学カメラ共通仕様:レイテンシー:1秒以内
 - * パノラマ用Fixedカメラ: H.264以上 CCTV用ネットワークカメラ
(解像度:FULL HD, 画角:横30° × 縦60° (1台あたり))
 - * PTZカメラ
CCTV用ネットワークカメラ+DCサーボ雲台
(解像度:FULL HD, ズームにより画角は可変)
(雲台旋回性能:60° /秒以上(EUROCAE仕様)
(リアクションタイム:(片道)500ms以内)
※ 夜間性能は検討中, 赤外線(IR)カメラを試験予定

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

パノラマ映像系技術

- 映像表示システム構成のバランス
(大画面画像を分割しマルチモニタに表示する構成)
- <カメラ設定>
解像度: 200万~500万画素
ビデオフレームレート: 30fps
圧縮率&映像データ帯域: Full HD H.264、6Mbps
カメラ水平画角: 30° /1台
システム構成:固定カメラ6台(180°)+PTZ1台
・360° 14台のカメラ(固定12台+PTZ2台)
で100Mbps以下にするための仕様
- <性能検証結果>
 - ・映像遅延: 0.6秒以下(岩沼-調布間)
 - ・パケットロス: 0.1% 未満
 - ・
- <夜間性能>
 - ・ 高ゲイン時のノイズの許容範囲とカメラ性能のバランス(検討課題)



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

映像ターゲットトラッキング技術

- リモートタワーオペレーションで活用される主要技術の一つ

- 映像情報を基に航空機や移動体車両などを追跡し、画面上にタグ(ラベル)の支援情報を表示する
- 差分による検知及びAI技術による識別を組み合わせることで精度の高いターゲット検出を実現する



検知 + 認識・識別 = 精度の高いターゲット検出および追跡

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

映像情報を基にしたターゲットトラッキング技術

- 映像情報を基に物体追跡を行うためには、映像情報からソフトウェアにより動きの検出処理をし、移動するターゲットを認識できることが必要
- 物体追跡に適したアルゴリズムはどのようなものがあるのか
 - テンプレートマッチング
 - パーティクルフィルター
 - CAMSHIFT
 - モーションテンプレート
 - オプティカルフロー
 - 背景差分法



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

映像情報を基にした物体検知の問題点

問題点: 前方にある遮蔽物によって分断される

- 動く物体が遮蔽物によって隠れてしまった場合には分かれてしまう



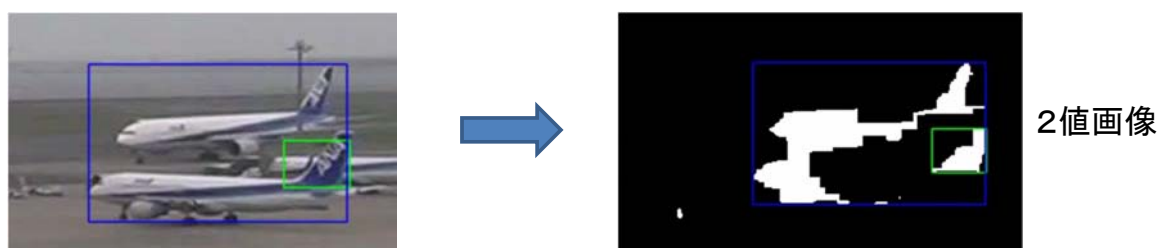
背景差分法から得られたものを追いかけるだけでなく、物体自らがパスを予測し、追跡を行うアルゴリズムを追加することによって、遮蔽物や物体が重なった場合にも分断せずに追跡することができるようになった



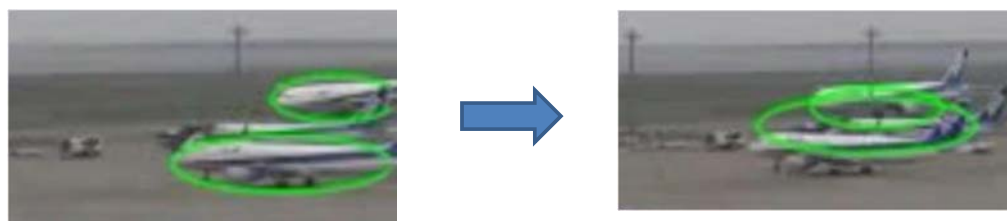
Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

映像情報を基にした物体検知の問題点

- 問題点: 複数の物体が重なった場合、それぞれの物体として認識されない
 - 2個の物体が重なって1個の物体として認識されてしまう



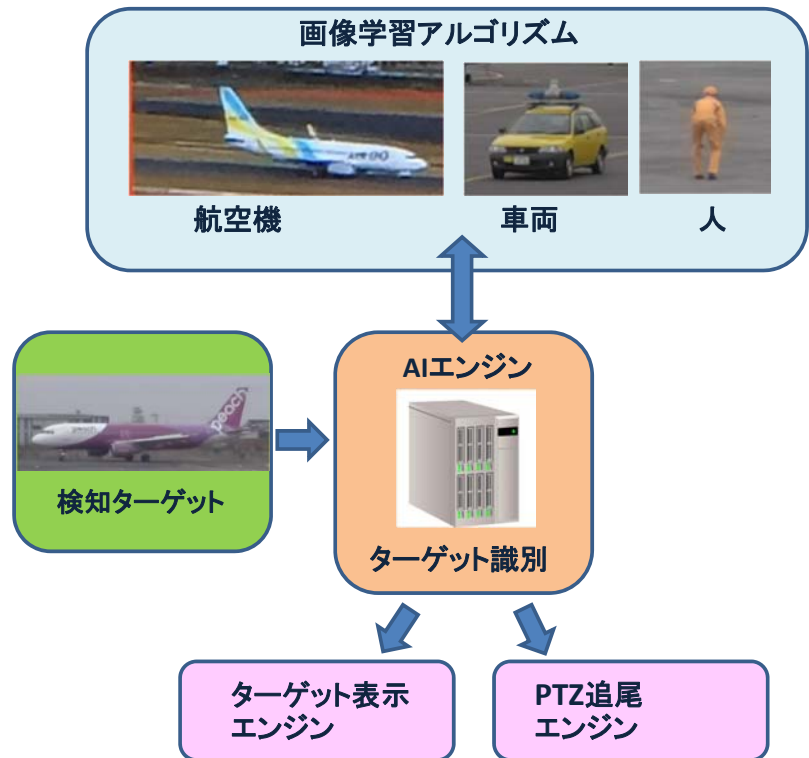
追跡したい対象物の情報をもとにカルマンフィルタを用いて推測する
その中からHellinger距離を測定し、最も近いものを選択すると、物体が重なった場合でも、1つにならず、それぞれにマークをキープできる



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

AIを用いた識別機能

- 移動体検知で捉えたターゲットをAI学習アルゴリズム(ニューラルネットワーク)で識別させる
- 航空機、車両、人等を識別し、「誤検知」、「検知ロス」を低減したターゲット検出表示を実現すると共に「任意のターゲット」の追尾を選択的に正確に行えるようになる
- 技術要件“Visual Tracking Range Performance”(VTRP)の定義及び評価検証に有効



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

監視センサ情報との融合

研究開発のフォーカス

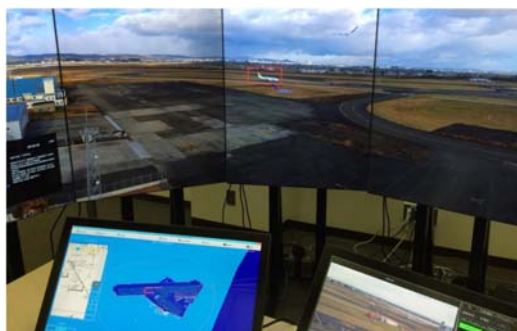
- 監視センサトラッキング技術
 - センサ情報に基づいたラベリングタグ表示
(飛行計画情報との接続による便名等のラベリングが可能)
 - 監視センサ情報を融合したトラッキング精度向上
(ENRI OCTPASS(MLAT)等のAsterix 10準拠の位置情報を用い
映像トラッキングの精度補正、ディスプレイの表示補正に活用)
 - トラッキングに用いる監視センサー情報を活用した空港周辺監視
- 現在の「ENRIシステム」の要求仕様
 - センサー:MLAT(OCTPASS)センサー 8チャンネル
データ更新レート:1~2 / 秒
 - Mode A/C/S、ADS-B 対応
 - 合成画面表示の平滑化技術を検証中
 - 映像との位置誤差の検証中
 - レーダー画面の代替として業務用HMIへの統合



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

監視センサ情報を用いるメリット


- 着陸前や離陸時など遠方飛行状態および低視程時の状態においてもターゲット検出および追尾性能が可能となる性能向上に寄与
- ラベリング表示(便名、行き先、使用滑走路、ルート等)を用い、オペレータは運用に必要な情報をルックダウンすることなく確認が可能
- 悪天、荒天、夜間など低視程時においても航空機や車両の位置確認が可能
- フライトプランとリンクし、航空機や車両のRWYへの誤進入等の状態を検知し、警報を促すサポートシステム機能の拡充



Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

タワー業務にデジタル技術を用いる効果と可能性

- **運用の効率化（タワー業務のIoT化）**
 - 遠隔地の空港をネットワークで繋ぎ、センターで集中的に運用することによりオペレータの配置や運用の柔軟性が増すとともに、効率的な運用が可能
また、タワーの維持管理や建設費用の圧縮に寄与
- **映像機能、AIによる映像処理情報、監視センサ情報による視覚補助、目視強化**
 - カメラによる明るさ調整、AIによる精度の高いターゲット検出、運用に必要な情報がインテグレートされたラベリングタワービューおよび支援機能の提供

 ・天候や視程環境に左右されない安全な運用環境の構築
・オペレータのワークロード低減
- **様々なタワー環境への応用**
 - 空港の遠隔運用だけでなく、既存タワーの業務においても、監視死角エリアの解消や低視程時の目視強化や状況認識支援として活用可能

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

-
- 御清聴ありがとうございました。

Copyrights © ENRI, All Rights Reserved.

GBASに関する 国際標準化活動への取り組み

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 航法システム領域

吉原 貴之

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

1

発表内容

- GBASの概要と国際動向
 - カテゴリー I (CAT-I)
 - カテゴリー III (CAT-III)
- CAT-III GBASの国際標準化
 - 国際標準原案と検証作業
 - 電子航法研究所での研究開発
 - ICAOへの検証結果のフィードバック
 - アップデート
- 電離圏脅威モデルの構築と検証
 - アジア太平洋地域の磁気低緯度モデル
- まとめ

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

2

GBASの概要と国際動向

GNSSと航空航法への利用

- GNSS (Global Navigation Satellite System)
 - GPS (米国)
 - GLONASS (ロシア)
 - Galileo (欧州)
 - Beidou (中国)
- GNSSへの期待
 - 全ての飛行フェーズをサポート (Gate-to-gate)
 - 地上の無線航行支援施設に依存しない → 効率的な経路と運航
 - 将来の4次元航法
- 航空航法における安全性要件
 - Accuracy、Integrity、Continuity、Availability
- GPS単独での利用では不十分
 - ユーザー側でGPS衛星の故障が瞬時にわからない
- 着陸へのGPS利用には補強システムが必要

2018/12/3

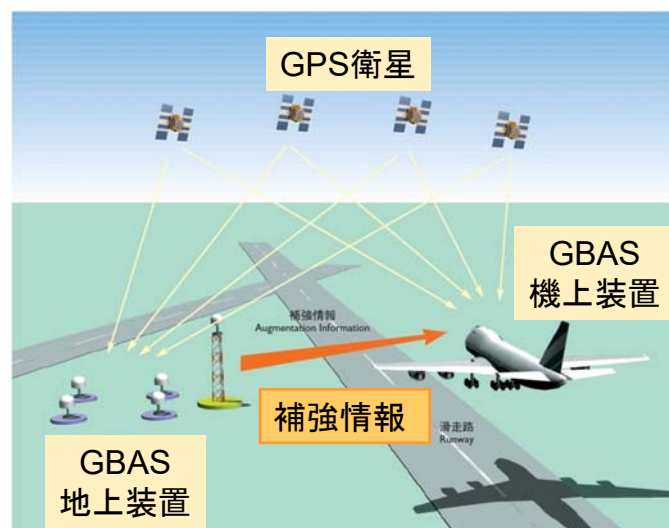
平成30年度 電子航法研究所講演会

3

GBASの概要と国際動向

GBAS (Ground-based Augmentation System)

- 精密進入着陸をサポート
 - カテゴリーⅢまで
- GBAS基準局
 - 4式のGPSアンテナ & 受信機
- GBASデータ処理装置
 - 補正情報
 - インテグリティ情報
- VHF送信局
 - VDB (VHF Data Broadcast)
 - 周波数: 108~118MHz
- 国際民間航空機関 (ICAO) の標準及び勧告方式 (SARPs)
 - カテゴリーⅠ: 2001年11月発効
 - カテゴリーⅢ: 2018年11月発効



2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

4

GBASの概要と国際動向

GBASの利点

従来システム(ILS)の制限解消

- 安定した進入経路(航法システム誤差:1m以下) → 設置コスト
 - 周辺障害物件(周辺地形)の影響により進入経路の乱れを生じない
- 複数進入経路に対応 → 機材コスト
 - 1式の地上設備で全ての滑走路端に進入方式を設定可能
- 設置制限に対応(コース・オフセットが生じない) → ミニマ低下
- 制限区域(クリティカルエリア、センシティブエリア)の保護が不要 → 管制間隔

将来の運航による利点

- 自由度の高い進入経路設定が可能(高度運用) → 運航効率

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

GBASの概要と国際動向

カテゴリー I (CAT-I) の国際動向

◆ 運用している空港

- ブレーメン空港(ドイツ北部) 2012年2月
- ニューアーク空港(米国NJ州) 2012年9月
- ヒューストン空港(米国TX州) 2013年4月
- マラガ空港(スペイン) 2014年5月
- シドニー空港(オーストラリア) 2014年5月
- フランクフルト空港(ドイツ) 2014年9月
- チューリッヒ空港(スイス) 2014年10月
- ブリスベン空港(オーストラリア) 2017年5月
- ロシア: 120空港のうち一部でサービス開始

世界のGBAS配置



<http://www.flygls.net> by Airbus

◆ 運用に向け活動している空港

- リオデジャネイロ(ブラジル) ➢ 東京国際空港
- チェンナイ空港(インド) ➢ 香港など

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

6

GBASの概要と国際動向

機上装備の動向 (GLS) CAT-I GBAS

Boeing	GLS装備	主な搭載航空会社(計画も含む)
B737NG	オプション	United, Airberlin, Qantas
B787	標準装備	ANA, JAL, United, ...
B747-8	標準装備	NCA, Lufthansa
B777X	計画中(標準装備)	
Airbus	GLS装備	主な搭載航空会社(計画も含む)
A380	オプション	9 customers
A320	オプション	31 customers
A330	オプション	7 customers
A350	オプション	25 customers

ボーイング社は2030年に737クラス以上のメインライン機の約半数にGLSが搭載されると予測



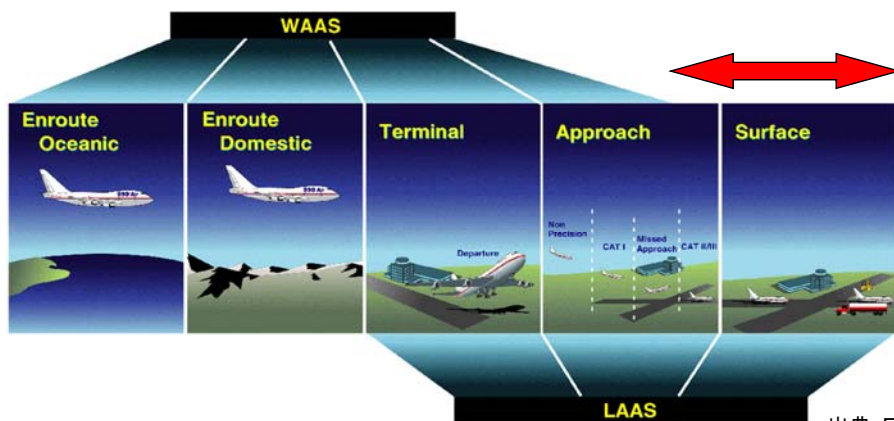
Multi-Mode Receiver

[J.Willett, "Rockwell-Collins Current GBAS Relevant Activities," 10th IGWG, June, 2009]

GBASの概要と国際動向

CAT-IIIへの進展

- GNSS運航への移行
 - CAT-III精密進入の技術的実現性の見通しが重要
- GBAS: GNSSによるCAT-IIIをサポートする唯一の規格



出典: FAA

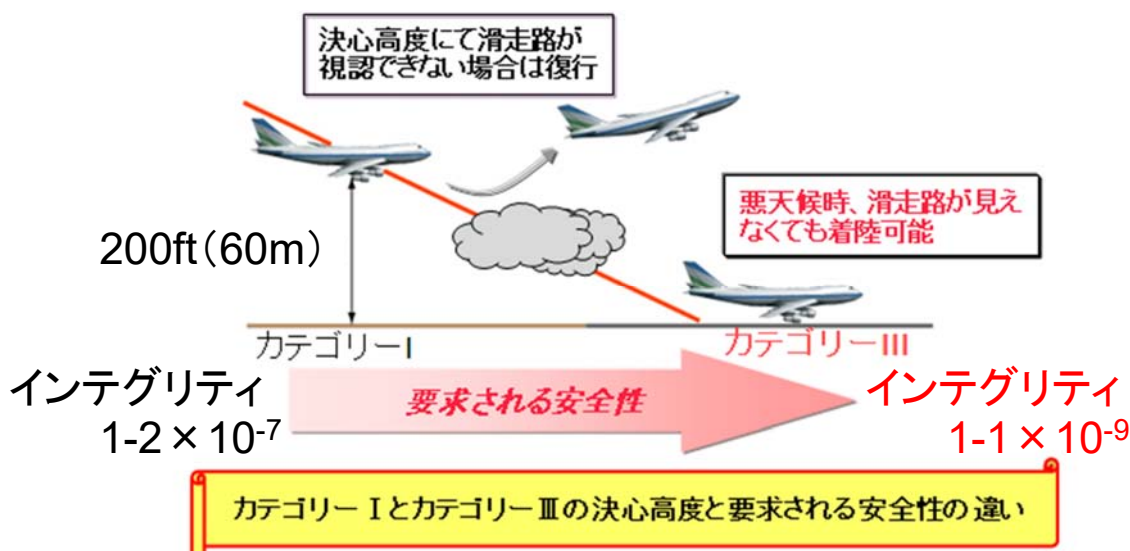
GBASの概要と国際動向

カテゴリIII (CAT-III)の国際動向

- GBAS Approach Service Type D (GAST-D)
 - 1周波信号(GPS/L1-C/A)を使用したCAT-III GBAS
- 国際標準
 - ICAO SARPs 改訂: 2018年11月発効
 - RTCA(航空無線技術委員会) ICD(インターフェイス管理文書)、MOPS(最低運用性能基準)の改訂: 2017年7月発刊
- 研究開発された地上装置の評価空港
 - アトランティックシティ空港(米国)
 - フランクフルト空港(ドイツ)
 - ツールーズ空港(フランス)
 - 新石垣空港(日本)
- 研究開発された機上装置
 - Honeywell社(大型機用、ビジネス機用)
 - Thales社(大型機用)
- 航空機の対応
 - ボーイング社: B777X(オプション)など2020年に計画
 - エアバス社: SESARの枠組みに協力

CAT-III GBASの国際標準化

安全性要件の違い(インテグリティ)



カテゴリIIIは着陸から滑走路のロールアウトまでサポート

CAT-III GBASの国際標準化 特徴

■ CAT-I GBASとの関係

- CAT-III運用はCAT-I運用の安全性要件を包含
- 最終的に利用可能なサービスは機上装置に依存
 - CAT-III地上装置はCAT-I補強メッセージに加えてCAT-III補強メッセージを放送

■ GBAS Approach Service Type (GAST)

- アプローチサービスをA~Dに再整理

GAST-D

サービスタイプ	A	B	C	D
進入方式	(APV-I)	(APV-II)	CAT-I	CAT-III

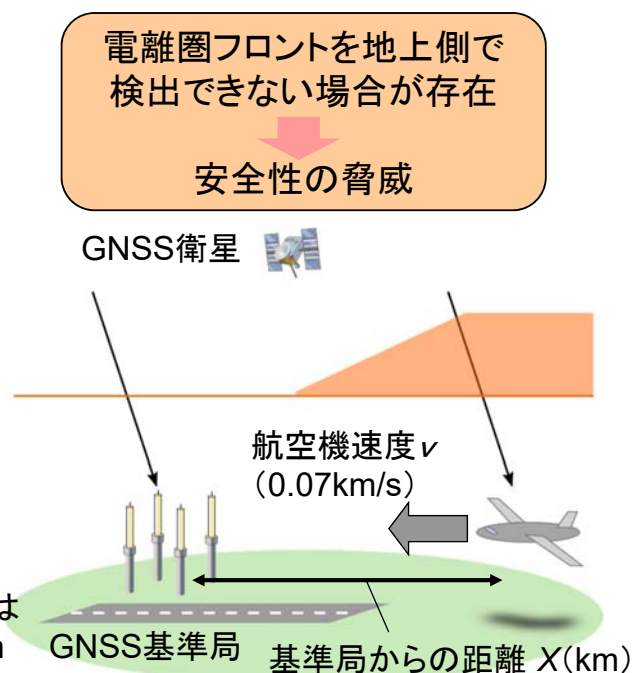
CAT-III GBASの国際標準化 GBASと電離圏遅延

- 電離圏遅延によるレンジ誤差
 - コード擬似距離:遅れ
 - 搬送波位相擬似距離:進み
- コード擬似距離を搬送波位相の変化分でスムージング
 - 電離圏遅延の影響が増大
- 局所的な遅延量の変化
 - 空間勾配 (mm/km)
 - 最大レンジ誤差の目安

$$\delta I \cong \frac{dI}{dx} (x + 2\tau v)$$

空間勾配: 300mm/km
航空機速度 v : 0.07km/s
スムージング時定数 τ : 100秒

この例では
最大5.1m

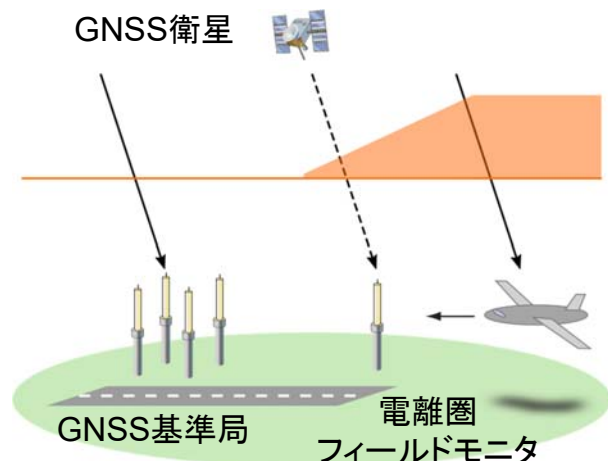


CAT-III GBASの国際標準化

CAT-Iにおける電離圏脅威の軽減策

- 最悪ケースの想定
 - 潜在的なレンジ誤差
 - 地上装置で航空機側の測位結果をシミュレーション
- ジオメトリ・スクリーニング
 - 航空機側で許容できない測位誤差を生じる可能性のあるGPS衛星の組み合わせを排除
- 電離圏フィールドモニタ(IFM)
 - 進入経路に近い場所に設置
 - 潜在的なレンジ誤差の大きさを小さくする

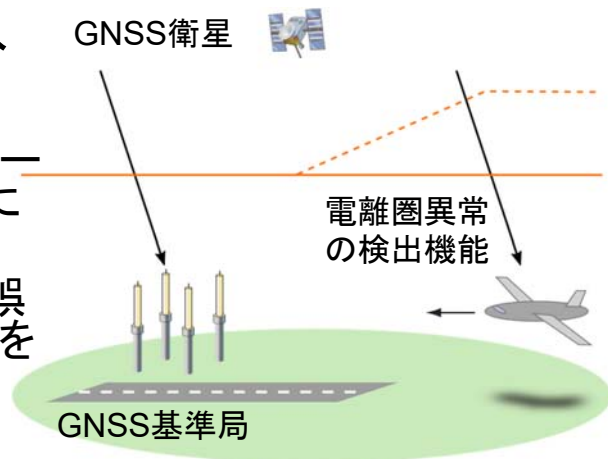
SARPs発効から運用開始まで約10年を必要とした



CAT-III GBASの国際標準化

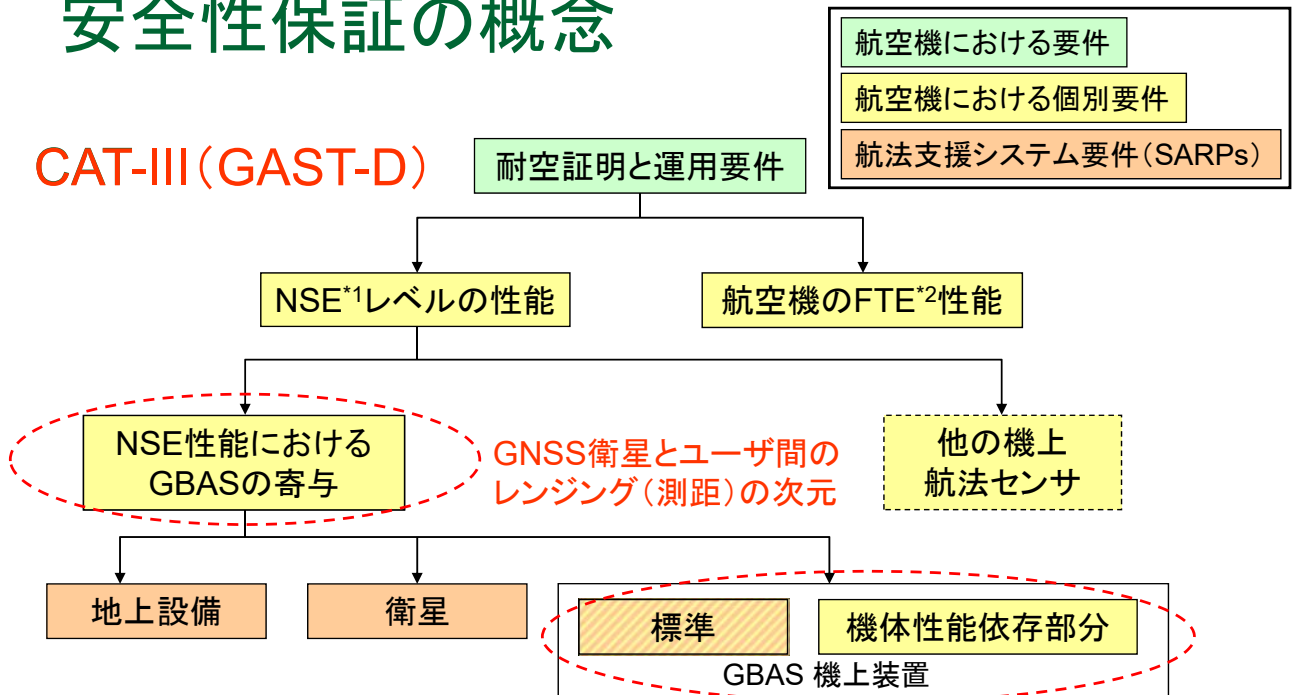
CAT-IIIにおける電離圏脅威の軽減策

- CAT- I よりも高い安全性要件
 - 地上装置：電離圏異常(空間勾配)を検出するモニタ具備
 - 航空機側：電離圏異常を検出モニタ(DSIGMA等)を具備
- GBAS地上装置の役割分担に変更が生じた
 - 従来：電離圏異常を含むユーザ測位誤差を規定値以内に保証
 - 最終版：レンジング(測距)誤差が規定値以内であることを保証



CAT-III GBASの国際標準化 安全性保証の概念

CAT-III (GAST-D)

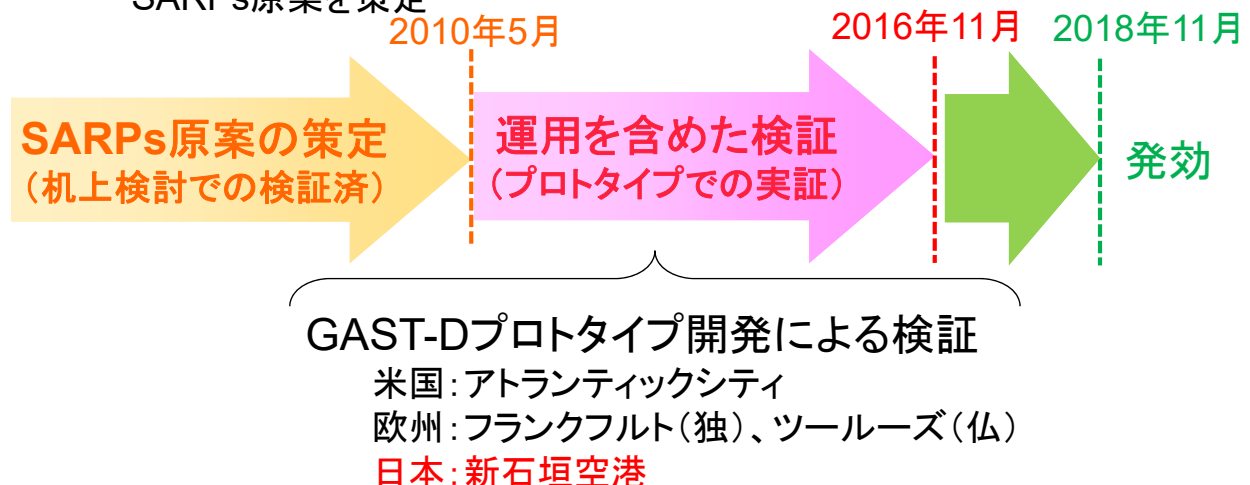


*1: 航法システム誤差、*2: 飛行技術誤差

CAT-III GBASの国際標準化 GAST-D国際標準原案の検証

■ GAST-D国際標準化作業

- ICAO航法システムパネル(NSP)の作業部会(カテゴリーII/IIIサブグループ; CSG)で机上検討による実現可能性の検証を完了したSARPs原案を策定



CAT-III GBASの国際標準化 運用を含めた検証

- SARPs原案にもとづく実証実験の必要性
 - 実際に規定されたSARPs原案の要件に基づいてプロトタイプシステムを構築し、それらの妥当性の検証と必要に応じた修正
 - 高い安全性が要求されるシステムの安全性評価は設計検証が一体であるため、プロトタイプ構築により見通しが得られる
- 電子航法研究所(ENRI)における研究用地上装置開発
 - 検証結果のICAO 作業部会へのフィードバック
 - 日本における安全性評価に係る要件の明確化
 - 電離圏現象の違い: 日本は磁気低中緯度、欧米は中高緯度
 - 平成24年3月より開発着手 → 平成25年9月に完了
 - NECと製造契約を締結
 - システム安全性設計検証の手順はSAE (Society of Automotive Engineers, Inc.) 準拠
 - 合計23回の設計検証会議

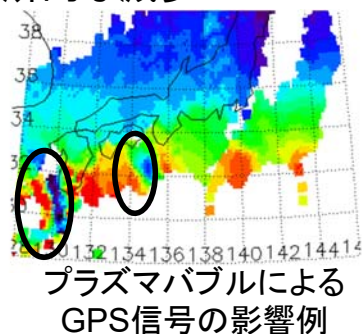
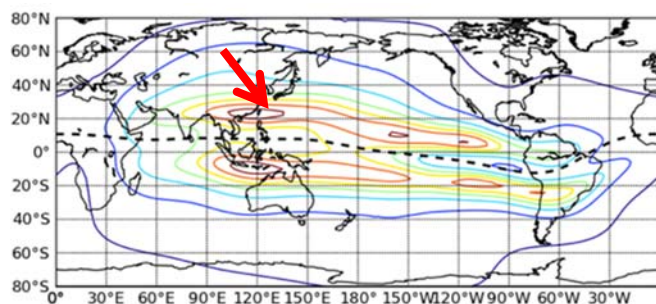
2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

17

CAT-III GBASの国際標準化 ENRI: 電離圏異常への検証に重点化

- 重点化した検証内容
 - 地上／機上の連携による電離圏異常検出
 - 電離圏空間勾配モニタ等の異常検出モニタ性能と実現性
- 新石垣空港
 - GAST-D検証活動で唯一、磁気低緯度地域における検証
 - プラズマバブル: 電離圏の密度の局所的な減少



2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

18

CAT-III GBASの国際標準化

ENRI: 新石垣空港での検証実験

- 空港環境下での長期安定性試験
 - 安全性設計で仮決めした設定値を実環境下で検証
 - アベイラビリティを考慮した性能評価と設定値の最適化
 - 四季を通じたデータ収集で安全性を脅かす事象の発生がないか確認
- GAST-D SARP原案の妥当性検証
 - 飛行実験を含む電離圏擾乱下でのインテグリティモニタ性能評価と実証
 - 滑走路を含むVDB覆域要件の実現性検証
 - サイトング要件(機器の設置要件)の妥当性検証
 - 電離圏脅威モデルの妥当性検証

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

19

CAT-III GBASの国際標準化

ENRI: 研究用地上装置の設置



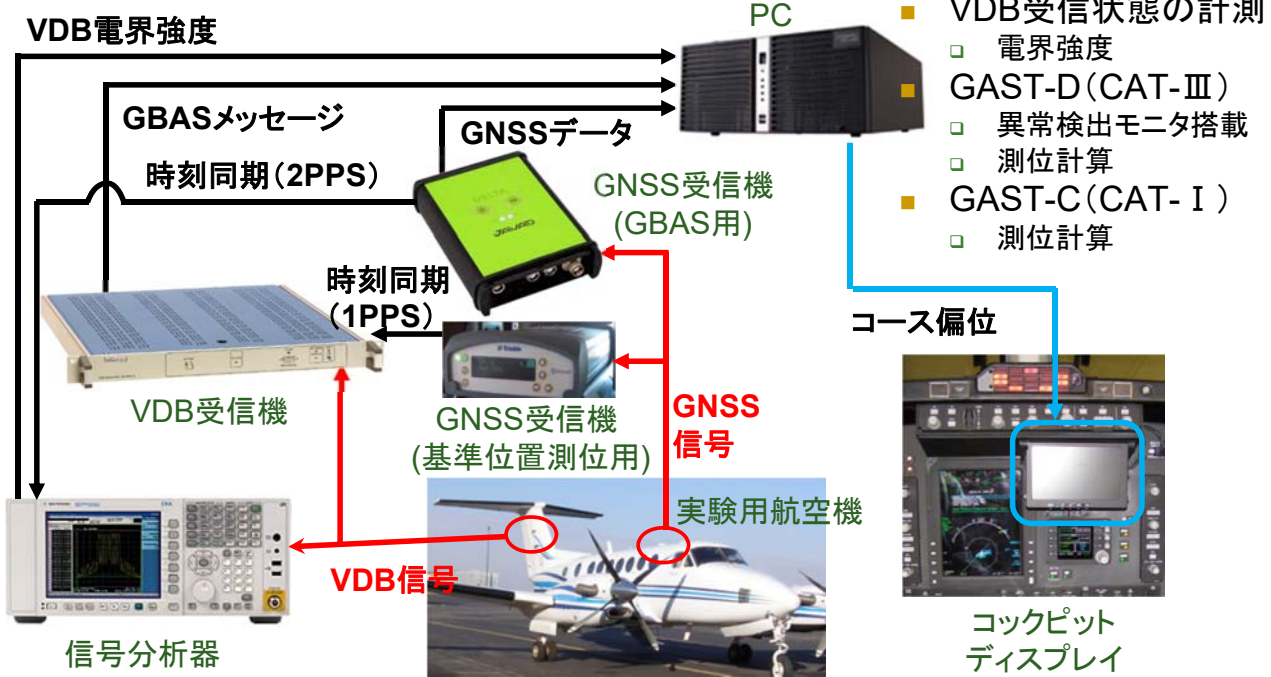
2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

20

CAT-III GBASの国際標準化

ENRI: GAST-D機上評価装置



※リアルタイムだけでなく、オフラインでの計算も可能

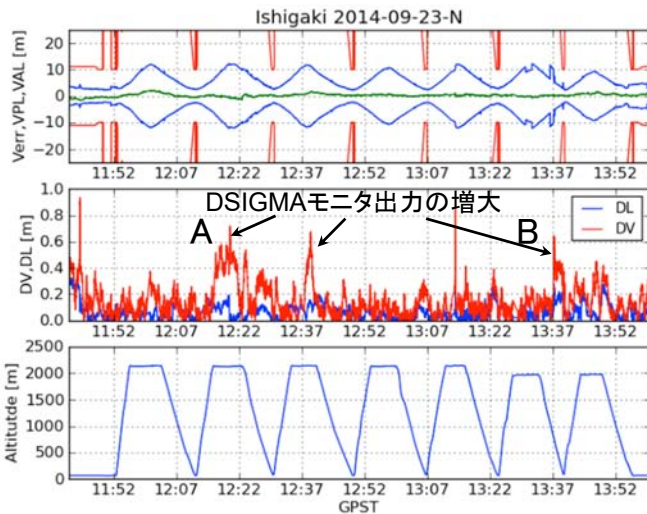
2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

21

CAT-III GBASの国際標準化

ENRI: 飛行実験



緑: 垂直誤差
青: 垂直保護レベル
赤: 垂直警報限界

DSIGMAモニタ
青: 横方向成分
赤: 垂直成分

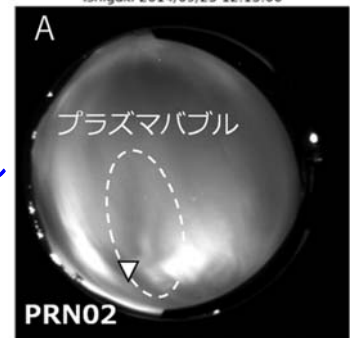
飛行高度
WGS-84楕円体高

[S. Saito et al., proc. of ION GNSS 2015, Tampa, FL, Sept., 2015]

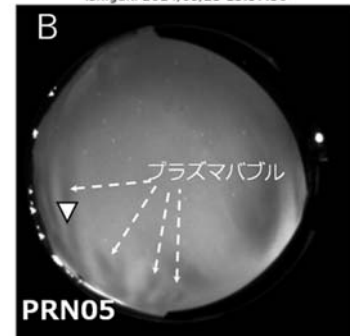
- 航法性能に関してインテグリティ破綻はないことが確認された
- 機上の電離圏異常モニタであるDSIGMAモニタが電離圏擾乱に反応(大気光イメージャによるプラズマバブル観測との対比)

大気光イメージャ

Ishigaki 2014/09/23 12:13:00



Ishigaki 2014/09/23 13:37:30



2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

22

CAT-III GBASの国際標準化

ENRI:ICAOへのフィードバック

- 検証マトリックス
 - NSP作業部会(CSG)がSARPs最終案とりまとめ時に運用検証の結果として添付
 - SARPs最終案に記載されている各要件に対する検証結果(これまで議論されたWorking Paperの内容)を対応づける一覧表
 - 米国、欧州、日本の検証結果を全て取り込む
- 電子航法研究所の実施した主な内容
 - 電離圏擾乱下における飛行実験により地上と機上の連携による電離圏脅威を軽減する技術方式の有効性を実証
 - 電離圏脅威モデルについて当初想定(500mm/km)を超える空間勾配の存在を提示
 - 滑走路上の電界強度要件の検証に本研究で実施したシミュレーションが有効であること
 - 最終段階まで議論を継続した電離圏アドホックグループに参加

CAT-III GBASの国際標準化

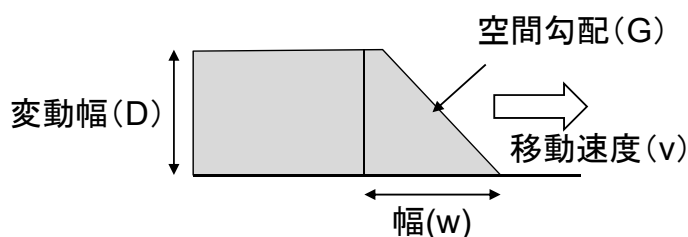
SARPs原案からの主な変更点

- 電離圏レンジ誤差パラメータの追加とサイティング要件の緩和
 - 原案では300mm/km以上の電離圏空間勾配モニタの検出性能要件とともに、GNSS基準局(中心)が滑走路端まで5km以内という要件が存在したが、電離圏空間勾配モニタにおいて対流圏遅延変動が誤差要因になりうることを示された
 - 滑走路端で保証する電離圏レンジ誤差を表現するパラメータをGBAS放送メッセージ(タイプ2)に追加するとともに、滑走路端まで5km以内という一律な要件は無くなった
- 他に、VDBメッセージの認証方法の変更など
- 航空機側処理(SARPsの範囲外)の変更
 - RTCA MOPSで規定する内容であるが、地上/機上の電離圏脅威の軽減という点で重要
 - 電離圏異常モニタの1つにおいて、検定統計量が位置の次元からレンジの次元で判定など

電離圏脅威モデルの構築と検証

電離圏脅威モデル

- GBASの安全性設計及び検証で電離圏異常の影響の影響範囲を定める必要がある
 - 例えば、GAST-D SARPs原案の技術及び運用検証ではガイドンスマテリアルに記載されている以下の脅威モデルを使用



Moving Wedge Ionospheric Anomaly Model

パラメータ	範囲
幅(w)	25-200 km
変動幅(D)	0-50 m

移動速度(v)	空間勾配上限
$v < 750$ m/s	500 mm/km
$750 \leq v < 1500$ m/s	100 mm/km

電離圏脅威モデルの構築と検証

ICAO APAC Ionospheric Studies Task Force (ISTF)

- アジア太平洋地域 (APAC) のGNSS導入に関して、電離圏脅威を回避するための支援を行う目的で2011年7月に設立
 - 電離圏データ収集・共有・解析
 - 電離圏特性解析
 - 必要に応じて地域に共通する電離圏脅威モデルを開発
 - 宇宙天気の影響の検討
- 2016年7月のAPANPIRG^{*1} CNS作業部会に最終報告
 - アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル
 - GBAS、SBASにおける電離圏脅威に対するガイダンス文書
- 電子航法研究所も積極的に参画
 - 議長、タスクリーダーなどを担当

*1: Asia-Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group

電離圏脅威モデルの構築と検証

ISTFの活動概要

■ 会議

- 実会議 6回
- 電話会議 14回

■ 主な成果

- 8ヶ国・地域・機関からデータ提供
- 共通データフォーマットの策定
- GBAS脅威モデルに関して共通解析ツール決定
 - LTIAM (Long-Term Ionosphere Anomaly Monitoring): 米国FAA及び韓国KAISTが開発(2周波観測をベース)
 - SF-CBCA (Single-Frequency Carrier-Based and Code-Aided): 電子航法研究所が開発(1周波観測をベース)
- 既存のGBAS電離圏脅威モデルを超える電離圏遅延の空間勾配を検出

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

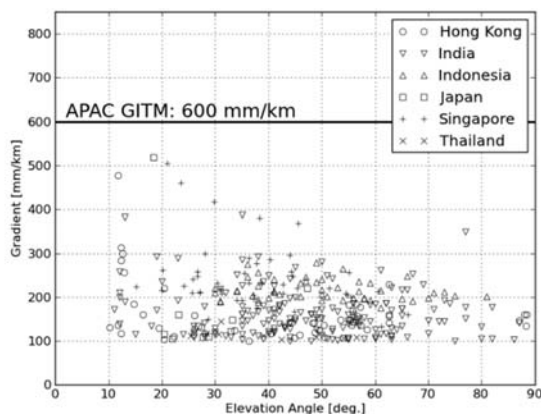
27

電離圏脅威モデルの構築と検証

アジア太平洋地域の磁気低緯度

■ アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル

- <https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/APANPIRG%20Iono%20TM%20GBAS.pdf>



仰角によらず一定値を採用

今後のデータの蓄積により
脅威空間の削減の可能性あり

■ 電離圏異常に関するGBAS安全性評価のガイダンス文書

- <https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/GBAS%20safety%20assessment%20guidance.pdf>

2018/12/3

平成30年度 電子航法研究所講演会

28

ICAO会議の招致

2015年2月

- 国土交通省航空局と協力し、2つの会議を沖縄県石垣市で併催
 - ICAO NSP CSG
 - ICAO APAC ISTF/5
- 新石垣空港のGAST-D地上研究装置の見学会を実施
 - 13カ国・機関、約50名が参加



ICAO NSP CSG会議



見学会の様子



ICAO APAC ISTF/5会議

まとめ

- GBASの概要と国際動向
 - GNSSでCAT-III精密進入までサポートが可能な唯一の規格
 - CAT-IIはICAO SARPsが発効後に電離圏脅威への対策が必要になったため、2012年に運用が開始されるまで約10年要した
 - CAT-III GBAS (GAST-D) SARPsは2018年11年に発効
- CAT-III GBASの国際標準化
 - ICAO NSP作業部会では2010年5月からSARPs原案の運用検証を開始
 - 電子航法研究所もこれに参画し、唯一、磁気低緯度地域で検証
 - 電離圏擾乱下で飛行実験を実施し、地上／機上の連携で電離圏脅威を軽減するGAST-D基本コンセプトの有効性を実証
- 電離圏脅威モデルの構築と検証
 - アジア太平洋地域の磁気低緯度GBAS共通脅威モデル構築
- これらの過程で国土交通省航空局と協力し、ICAO会議を招致
 - 新石垣空港のGAST-D研究装置や飛行実験、電離圏観測等の一連の活動の認知度が向上
 - ICAOへの検証成果の提示や提案がしやすい土壌ができた

今後のGBAS標準化活動

- GAST-D
 - 磁気低緯度地域における電離圏の影響軽減のためのガイダンス策定等のために電話会議を中心としたアドホックグループへの継続参加
 - DF / MC^{*1} GBAS
 - 2周波信号(L1及びL5)、複数コア衛星信号を使用したCAT-III GBAS
 - ICAO SARPs標準化作業
 - 近年、GAST-D SARPsと同様にDevelopment baseline SARPs(SARPs原案)の策定、それにもとづいた運用検証を経てSARPs最終案とするといった流れが標準的な手順
 - DFMC SBAS SARPsでも同様の手順で実施(DFMC GBASも同様)
 - ICAO NSP GBAS作業部会(GWG)での計画
 - 2020年:コンセプト策定
 - 2022年:技術検証済みSARPs原案の策定
 - 2024年:運用検証済みSARPs最終版策定
 - 2026年:DF/MC GBAS SARPs発効
- *1: DF / MC: Dual Frequency / Multi-Constellation

謝辞

- GAST-D研究用地上装置の新石垣空港への設置、データ収集につきまして、国土交通省航空局、気象庁那覇航空測候所、沖縄県土木建築部空港課、ならびに石垣市建設部空港課の関係者に多大なるご協力を賜りましたことに深く感謝を申し上げます。

滑走路異物検出システムに関する研究と 国内外の動向について

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所（MPAT）

電子航法研究所（ENRI）

監視通信領域

米本 成人、河村 暁子、ニッ森 俊一、森岡 和行

概要

- ENRIにおける空港面異物監視システムの概要
 - リニアセルレーダーシステム
 - 高感度カメラ
 - ハイブリッドセンサーシステム
 - 成田空港における予備試験と結果
- 国際規格の検討状況
- まとめ

空港面異物監視システム開発の背景 -コンコルドの事故（パリ、2000年）-

- チタン製金属片（42cm x 3cm）
→直前に離陸したDC10より脱落
→燃料タンクに穴
→墜落



→空港面の安全性を向上するため、異物（FOD）検出が必要



- Concorde Accident-
Le Monde (France)

空港の安全、および効率的運用

- 日常の定期検査：1日2回。
- 様々な障害発生により臨時点検
- 発生した障害の98.5%で異物は未発見



- 滑走路閉鎖により実運用時間の減少



- FODの有無の確認（常時監視）
- 効率的な空港運用には障害発生後の臨時点検の迅速化が必要

2015年4月～12月における
羽田空港の滑走路閉鎖の統計値

障害	滑走路閉鎖	異物検出	滑走路閉鎖時間(分)
鳥衝突	395	3	3221
異物	37	0	420
オイル漏れ	10	5	440
緊急着陸	4	2	25
路面異常	3	2	189
その他	17	2	217
計	466	14	4512

2016年12月21日CARATS情報管理WG資料3より抜粋

研究の目標

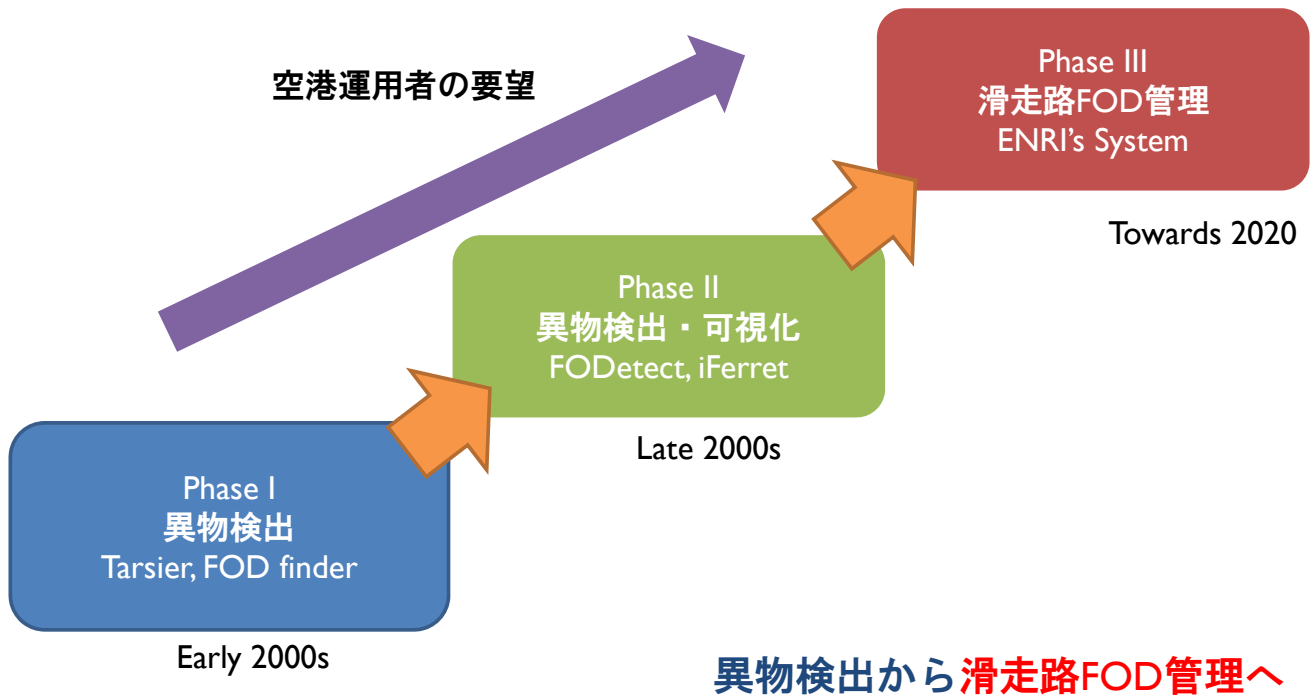
- 小さな金属片を検出できる滑走路異物検出システムの開発
 - 微小金属片（1インチ程度）の検出
 - 滑走路状態の表示
 - 24時間/365日、あらゆる天候下での運用
 - 空港の設置基準、様々な制約への対応



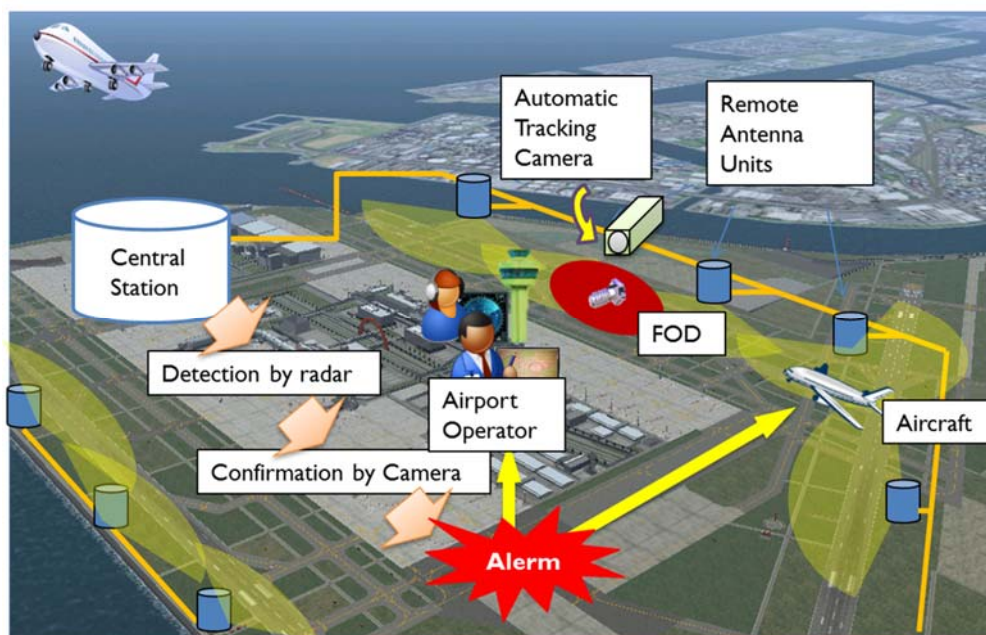
FOD検出システムの特長

性能要件	Tarsier	iFerret	FODetect	FOD finder	我々の目標
センサー方式	レーダー	カメラ	ハイブリッド	レーダー	ハイブリッド
設置場所	滑走路付近	滑走路付近	滑走路脇	車上	滑走路付近
センサーの数	2基/滑走路	8~10基/滑走路	30~50基/滑走路	1基/台	8-12基/滑走路
常時監視	○	○	○	×	○
更新頻度	×	×	×	×	10秒以内
FOD撮影	△	○	○	×	○
冗長性	×	×	○	×	○
設置コスト	×	△	×	○	△→○

空港面異物監視システムへの要望



滑走路異物監視システムの概要



- レーダーと高感度カメラにより異物の状況を迅速に把握し、効率的な空港運用をサポート

リニアセルレーダー (ネットワーク型レーダー)

- 一つのレーダーは数百m程度しかカバーできない。
- 監視範囲を広げるため、多数の遠隔アンテナが必要
- 将来的な監視範囲の拡張やシステムの高度化に対応

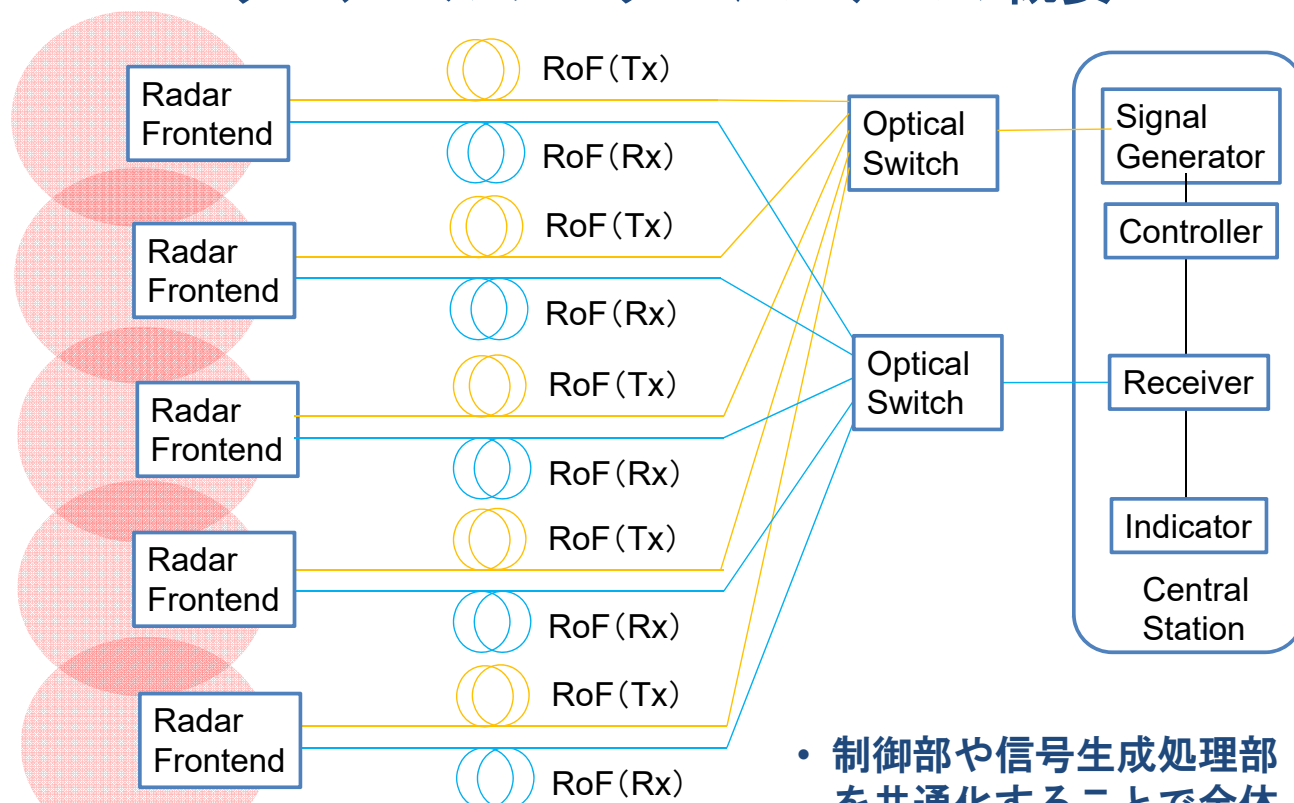


- ネットワーク型レーダーシステムの提案
→リニアセルレーダーシステム (一列に並んだレーダー)



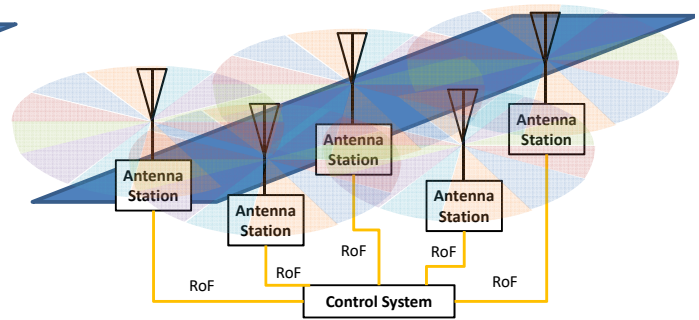
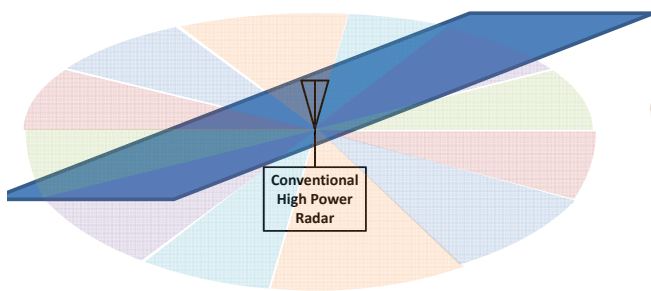
- 中央装置で多数のレーダーシステムと送受信
→アナログ信号伝送が有利
→ファイバー無線(RoF)を利用したミリ波レーダーシステムを構築

リニアセルレーダーシステムの概要



- 制御部や信号生成処理部を共通化することで全体として低コスト化

リニアセルレーダーの特長

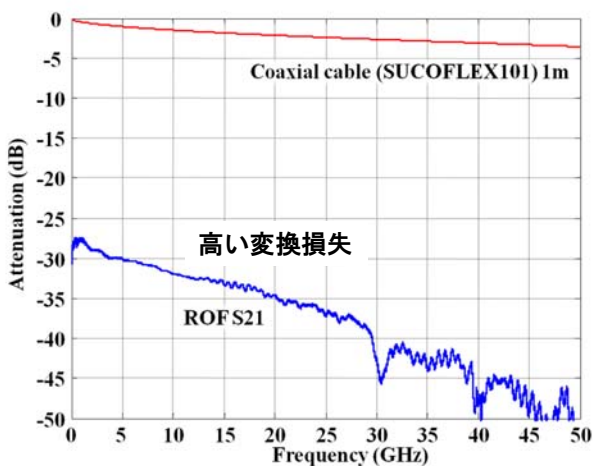


- 低いアジマス制度
- 高い消費電力
- 周波数再利用が困難

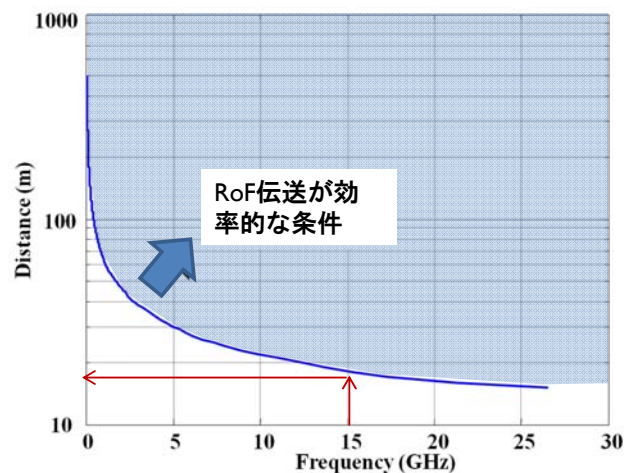
- 比較的良いアジマス精度
- 低い消費電力
- 周波数再利用が容易

RoFの信号伝送特性

RoFと同軸ケーブルの伝送損失(1m)

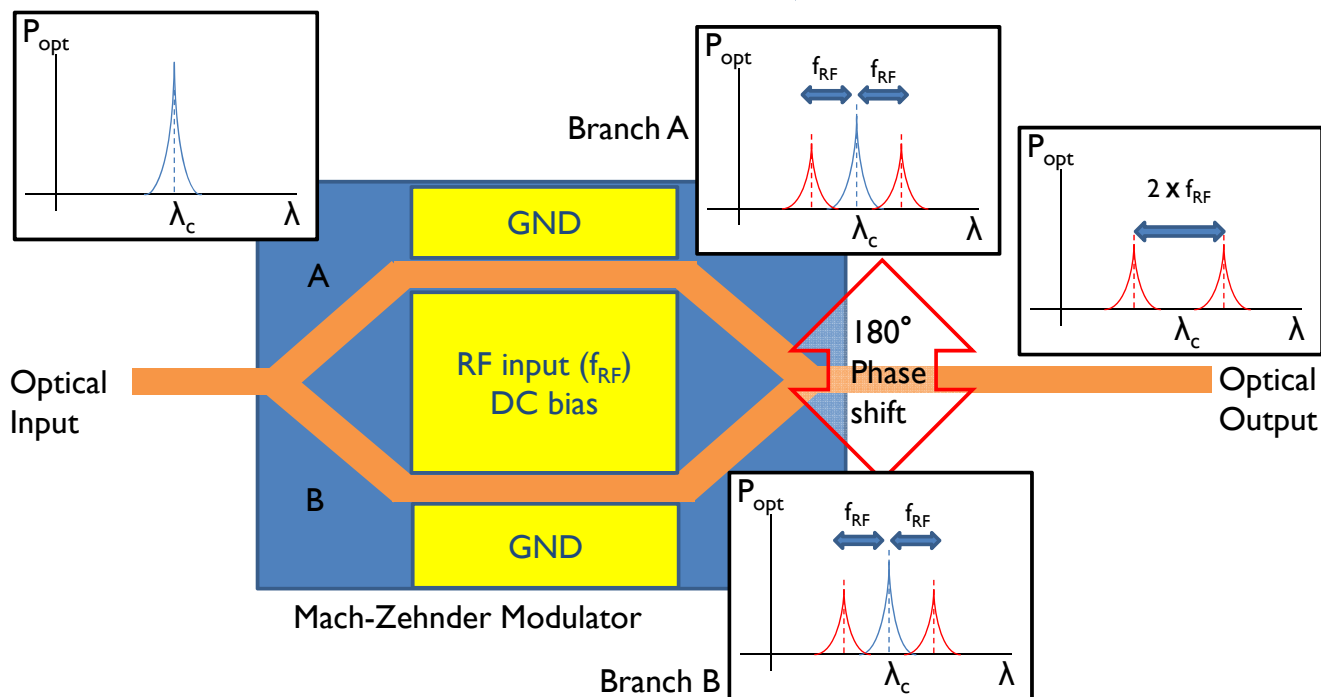


RoF伝送が優位な条件



高周波、長距離伝送ではRoFが有利

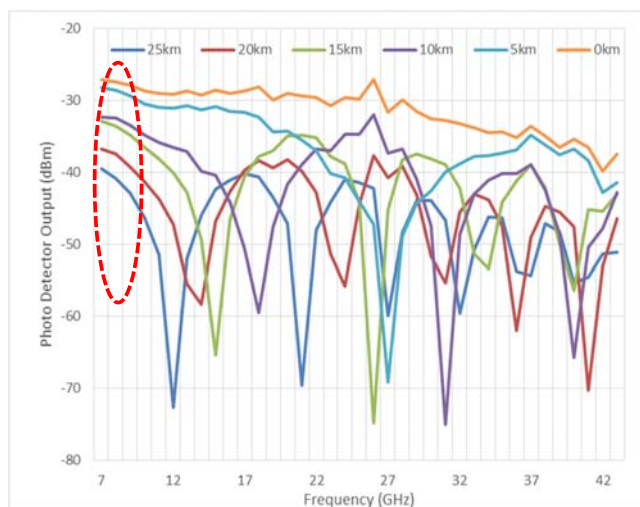
光2トーン伝送



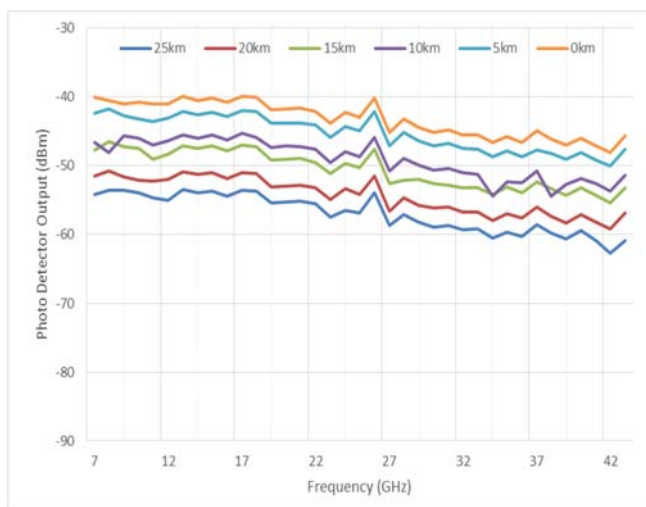
RoFを通過することで無線周波数が2倍

13

ファイバー分散の影響



通常のRoF

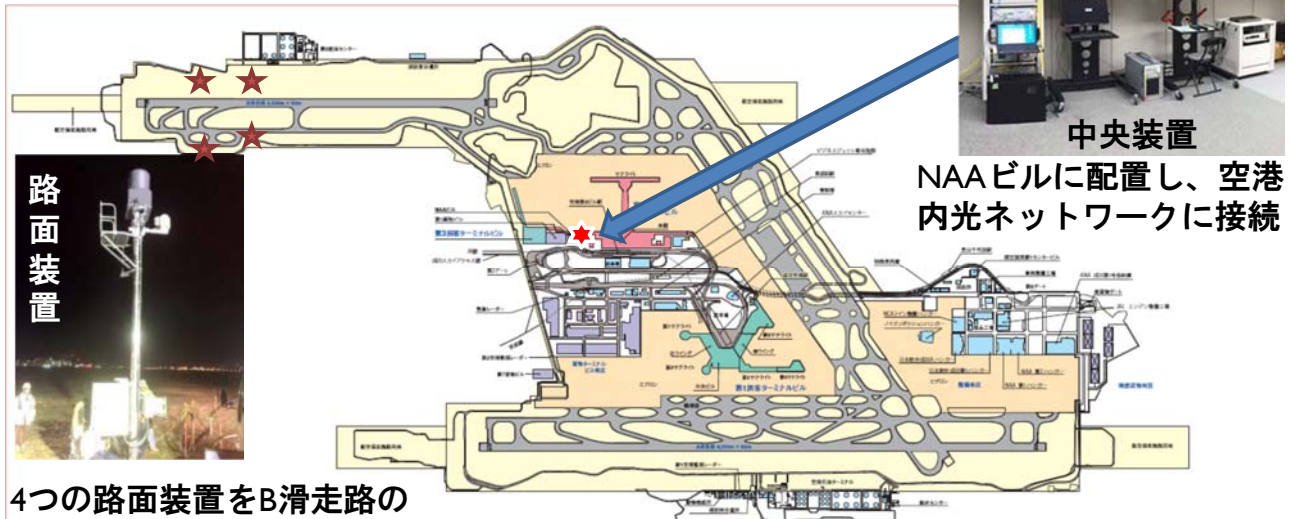


光2トーン伝送

- 光2トーン伝送でファイバー分散の影響を除去

14

成田空港に設置したFODDS

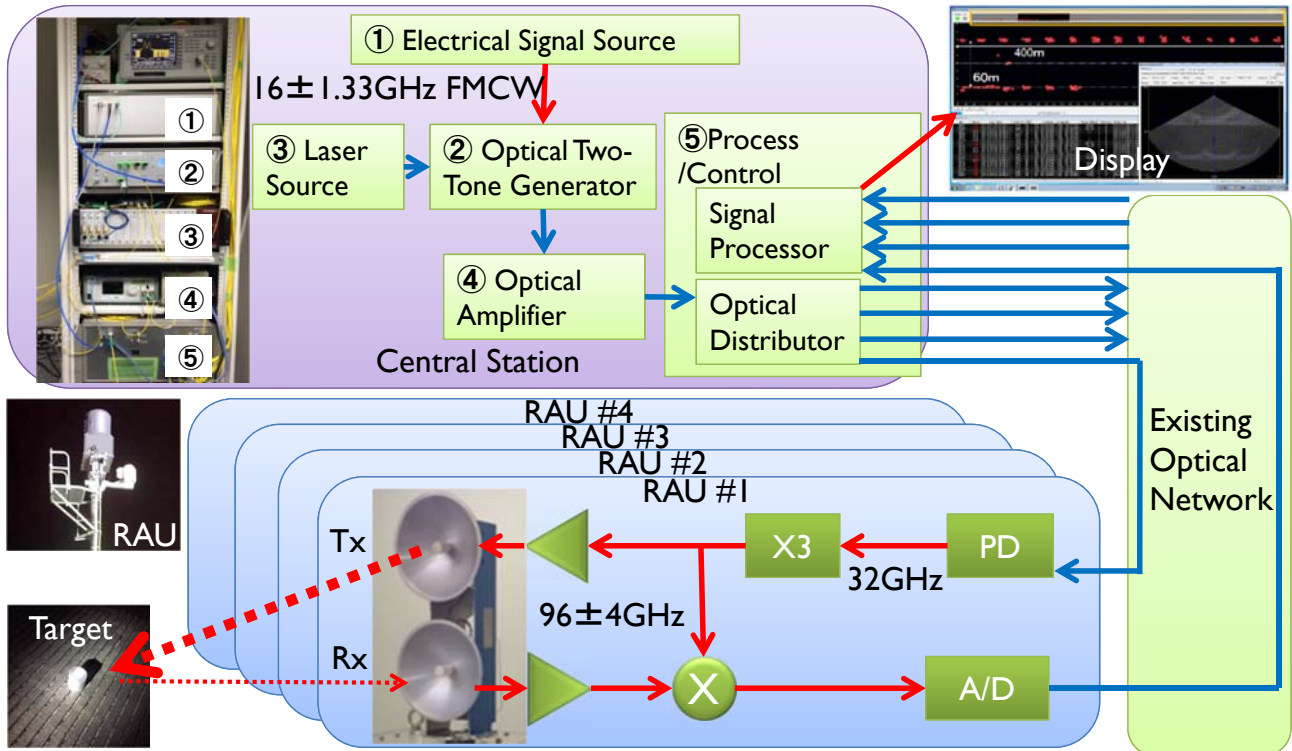


Reference: http://www.naa.jp/jp/airport/pdf/layout_01.pdf

FODDSの外観

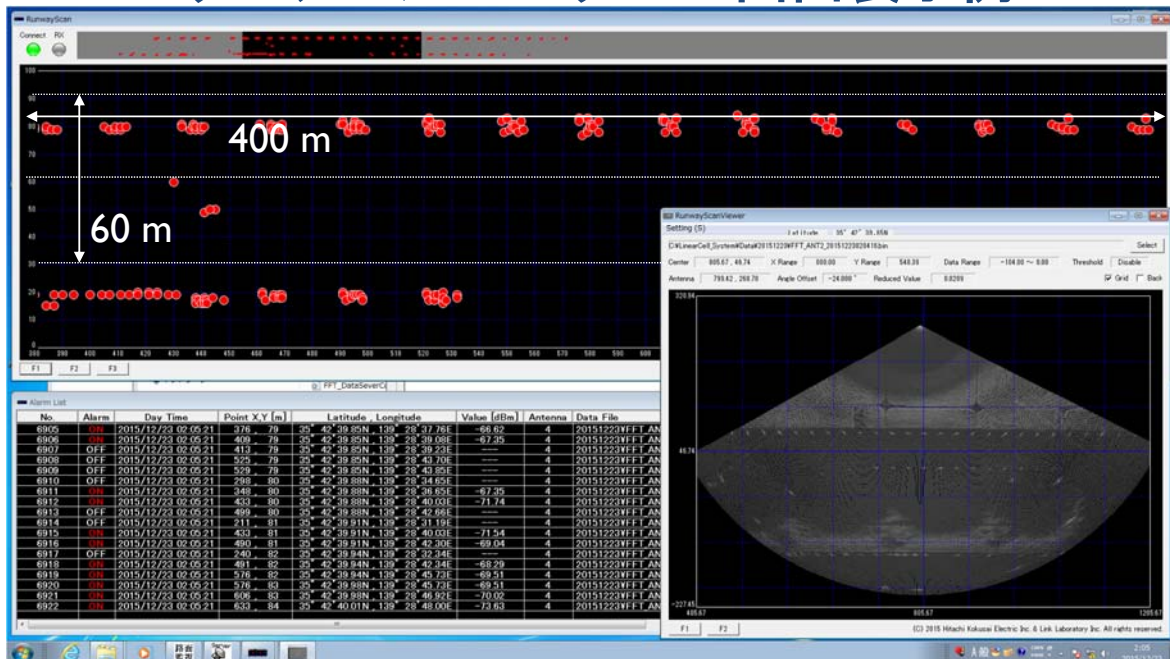


リニアセルレーダーの構造



- 450m離れた1インチの標準反射体（小）を検出できる性能

リニアセルレーダーの画面表示例



- 4秒おきにデータを定誤警報確率 (CFAR)処理して異物の有無を判定し、連続して検出されたものを抽出して記録

高感度カメラ

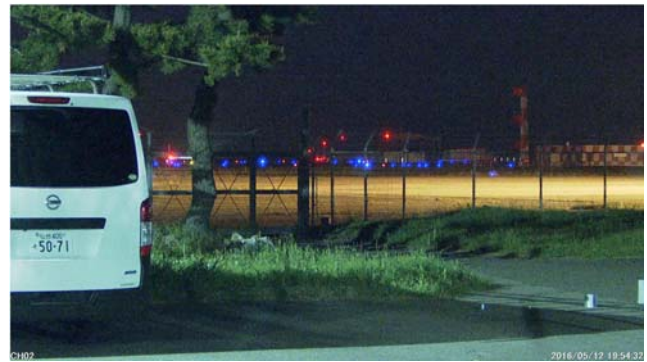
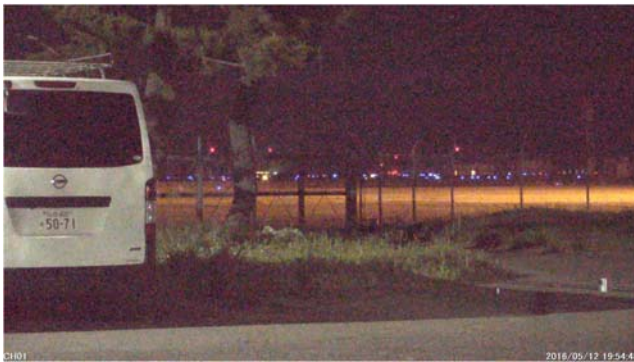
- カメラの感度は夜間の異物認識のカギ
- 夜間性能を向上させた新規開発カメラの性能評価

①1CMOS カメラ (既製品)

光学倍率: 最大30倍
画素サイズ: Full HD
受光素子: 1/2.8 CMOS sensor x 1

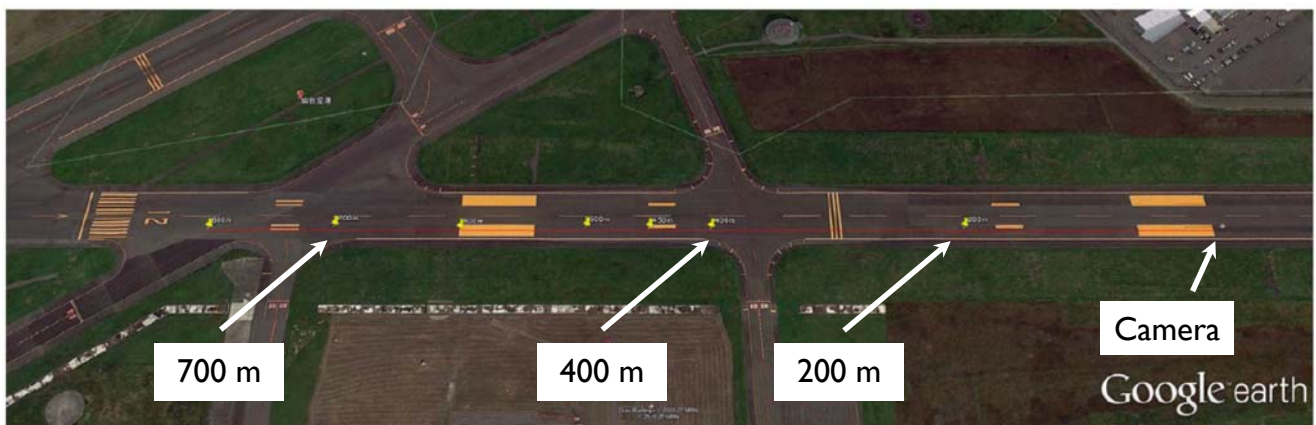
②3CMOS カメラ

光学倍率: 最大35倍
画素サイズ: Full HD
受光素子: 1/2.86 CMOS sensor x3



カメラ性能試験の条件

- 夜間の仙台空港滑走路上にサンプルとカメラを設置
- カメラとサンプルの距離を変えて映像を取得
(200m, 400m, 700m)

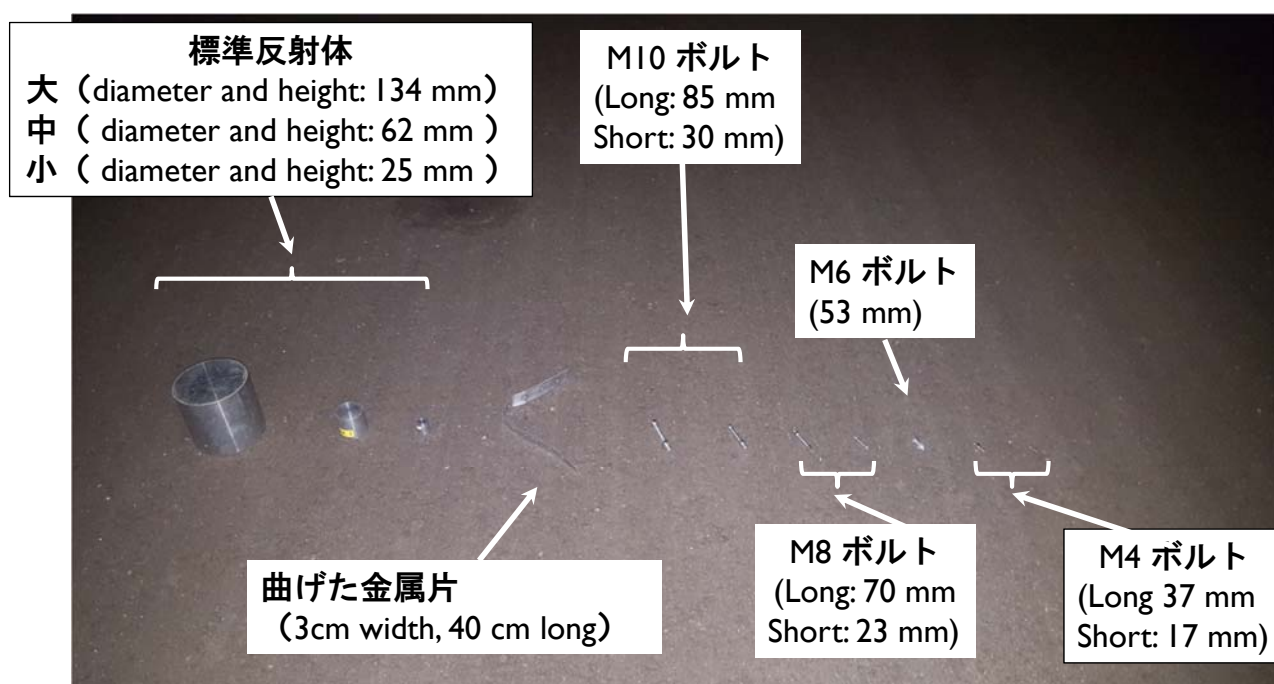


試験時の環境条件



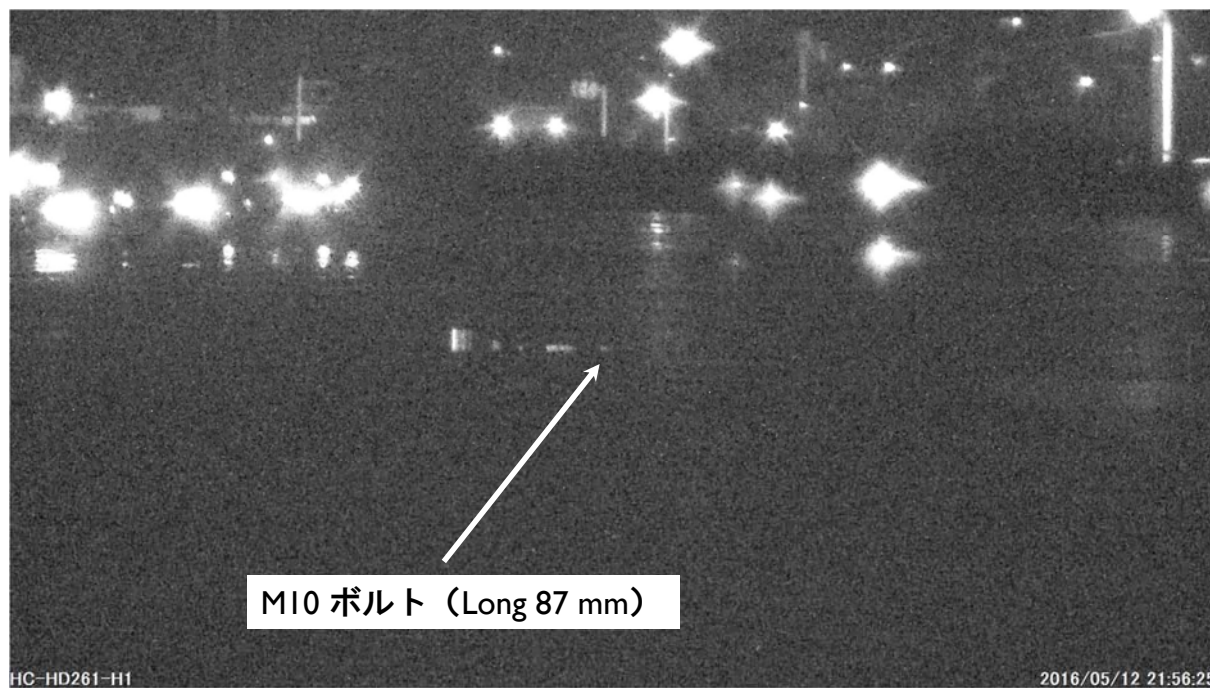
- 滑走路灯は点灯、その他の補助灯火は無し

試験サンプル



- 11種類の試験サンプルを距離を変えて配置し撮影

距離 200 m (1 CMOS)



- 長い M10 ボルトより大きな物体は検出可能

距離 200 m (3 CMOS)



- すべてのサンプルが検出可能

距離 400 m (1 CMOS)



- 標準反射体（大、134mm）のみ検出可能

距離 400 m (3 CMOS)



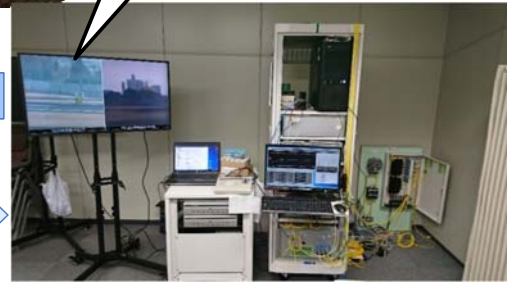
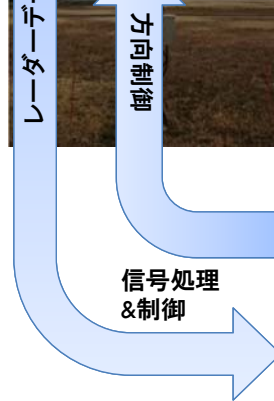
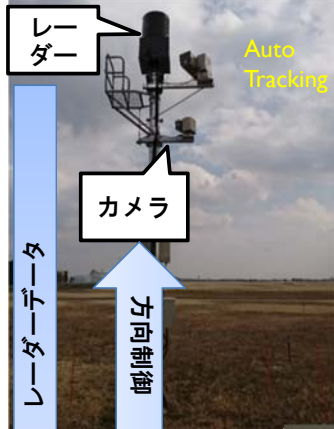
- すべてのサンプルが検出可能

FOD検出と自動追跡

- あらかじめ監視区域を設定する。
- 直前のレーダー測定と比較して、新しく発生した事象を抽出し、2回連続で検出された箇所を特定。(移動物体、ランダムノイズを除去)
- レーダーで抽出された場所を自動的にカメラで撮影。

→レーダーで検出された物体を瞬時にディスプレイに表示

滑走路脇（センサー）

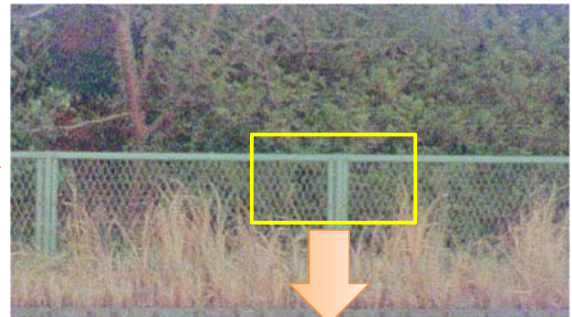


空港ビル（中央装置）

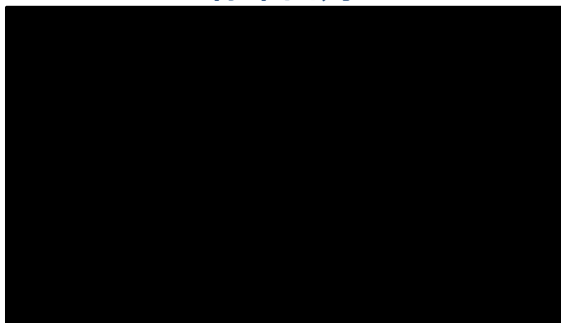
夜間撮像性能の評価



標準画角



中間ズーム



iphoneで撮影した風景



最大ズーム

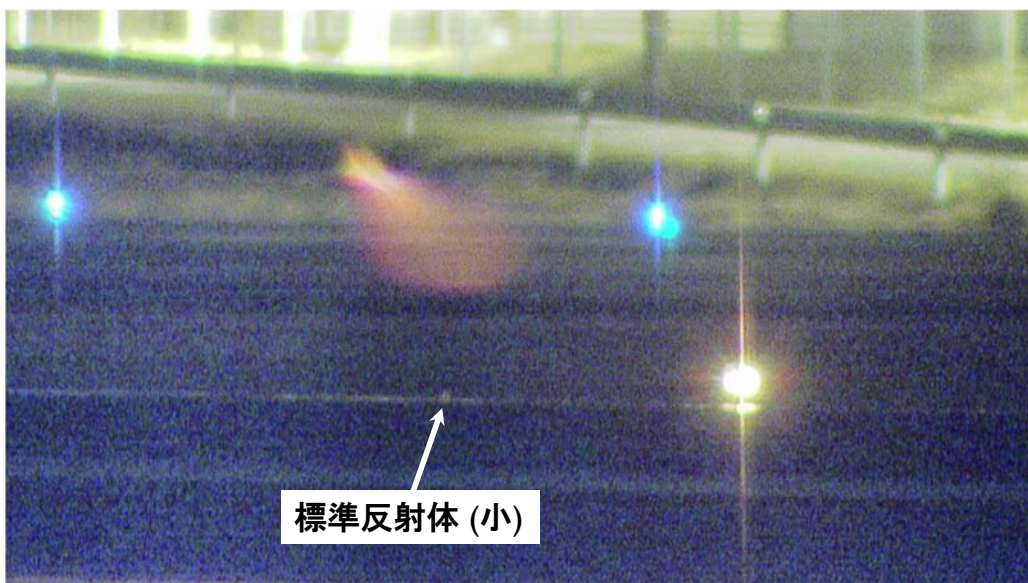
- 各色それぞれ積分処理を行うことで、暗い映像から色を再現

検出の一例



- 滑走路上の異物を自動で検出、撮影

検出結果



標準反射体 (小)

- 1inchの金属片を迅速に検出可能

国際規格等の進捗の状況

- ICAO Aerodrome Design and Operations Panel
 - 2012年頃から、FOD検出システムに関する議論を開始
 - 2016年7月Annex14 Volume Iの改訂（FODの定義と除去義務）
- FAA
 - 2007年頃より、FOD検出システム導入に関して各種試験を実施
 - 2009年9月AC150/5220-24 Foreign Object Debris Detection Equipment
 - 2010年9月AC150/5210-24 Airport Foreign Object Debris Management
- EUROCAE WG-83
 - 2010年ごろから、FOD検出システムに関する議論を開始
 - 2016年2月 ED-235 (MASPS: Minimum Aviation System Performance Specification)
 - 現在 ED-XXX (OSED: Operational Services and Environmental Definition) 作成中



EUROCAE WG-83の活動

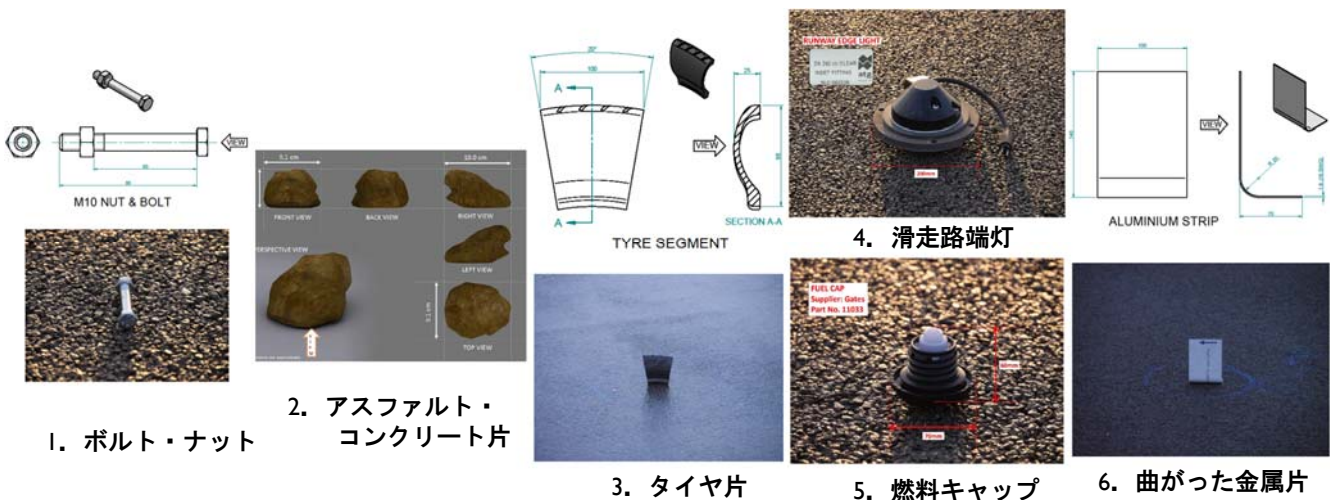
- 欧州における技術基準等を作成
- メンバー：空港運用者、機器メーカー、管制機関等
- 2010年頃に設立
欧州のFOD検出システムに関するMASPS (Minimum Aviation System Performance Specification)の策定活動
- 2012年に議長が交代
- 2016年2月 MASPS ED-235発行
- 現在 ED-XXX (OSED: Operational Services and Environmental Definition) 作成中



EUROCAE MASPS(ED-235)の概要

- 多様なセンシング技術を許容すべく、最低限度の性能要件と評価法を記載
- 全4章にて構成
 - 1章 一般事項
 - 2章 システム概要
 - システム構成
 - 空港面監視と検出
 - 警報 (Alerting)
 - ハザード評価
 - 位置表示
 - 複数物体検出
 - データ記録
 - ユーザーインターフェース
 - 3章 システム性能
 - 性能仕様
 - 基本機能
 - 物体検出
 - 位置精度
 - 連続検査
 - 検出時間
 - 4章 試験及び確認
 - 検出すべき物体
 - 検出時間(標準物体で4分以内)
 - 位置精度(5m以内)
 - 誤警報率(100回警報の15%未満)

検知率評価の標準物体



- 6種類の代表的な異物サンプルを用いて検出確率を求める。

誤検知・未検知

MASPSの定義

False Alert: 検出の瞬間に監視している場所に物が何もない場合にシステムが発する警報

False Alarm: Alertに基づき運用者がFODを除去するための行動を起こしたが異物がない場合

False Alert rate: 飛行場において設定された単位時間に15%を超えない頻度

Object detection: 良好な天候条件で95%、
ベンダーによって設定された天候下で90%の検知確率

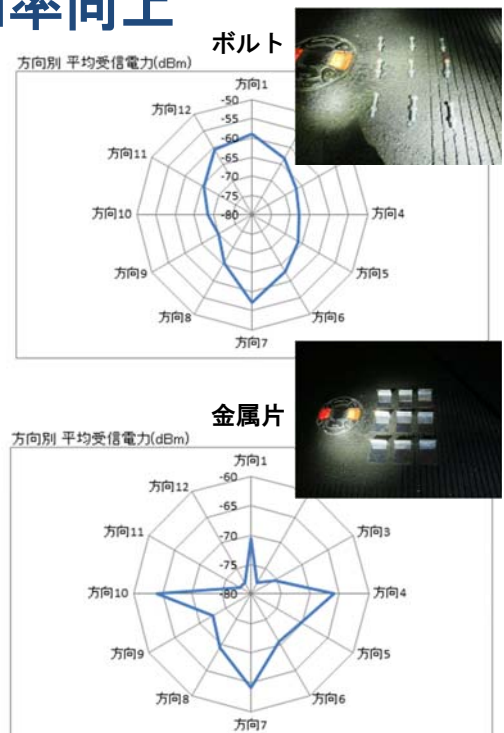
		Object detection	
		ある	ない
警報	出る	正常状態 Object detection rate >95% in clear weather >90% in adverse weather condition	誤検知 False Alert Rate <15%/unit time False Alert Rate
	出ない	未検知 サイズが小さい物体は物理現象 として検出しづらい。	正常状態

単純形状物体の検知率向上

- 一つのアンテナ局で各種異物の反射強度測定
- 電波の入射角度を変えて測定
- 単純形状の物体は鏡面反射の影響で反射強度が著しく低い角度が存在



→複数アンテナ局の適切な配置による検出確率向上手法の検討



EUROCAE OSED策定の進捗

- 自動FOD検出システムを利用した空港のFOD運用管理に関する運用業務環境条件のガイダンス
- 現在はWGドラフトが作成され、メンバー内の意見集約中
- 全8章にて構成
 - 1章 前書き
 - 2章 目的、範囲
 - 3章 運用への取り組み
 - リスク分析
 - 4章 検出と対応
 - 運用環境
 - 警報時の対応
 - データ保全
 - 5章 システムの安全対策
 - 安全
 - セキュリティ
 - 6章 システムの運用保守
 - 定期、不定期保守
 - 試験・校正
 - 7章 訓練
 - システム運用者
 - 場面管理者
 - 8章 コンプライアンス

国内の検討状況

- FAA AC, EUROCAE ED等海外の規格動向を踏まえて検討
- CARATS情報管理WGにて導入にかかる検討
- 関係各署をメンバーとする勉強会を実施中
 - システム概要
 - 国際規格の整理
 - 実オペレーションを想定した評価実験

まとめ

- 空港面のFOD監視用ハイブリッドセンサーシステムの紹介
 - 90GHz帯で8GHzの帯域幅により高精度測定が可能
 - 複数のレーダー画像を合成することで単体よりも平面的な分解能が向上
 - 夜間のFOD映像取得のため高感度カメラを開発
 - 滑走路上の1インチの金属円柱を検出するために十分な性能を達成
- 国際的な各種規定の設定状況を紹介
 - EUROCAE WG-83の活動内容を紹介
 - 試験によって、誤検知と未検知を分類するような仕様
 - 試験に利用される標準物体の寸法は比較的大きい

39

今後の課題と取り組み

- 空港に合わせたセンサー位置設計
- 鳥や鏡面反射物体の検出率向上.
- 悪天候時の性能劣化の評価

謝辞

- 本研究の一部は総務省の電波資源拡大のための研究開発として実施されました。
- 本研究は日立国際電気、情報通信研究機構、鉄道総合技術研究所との共同研究として実施されました。

40

