

2023年1月19日 13:30 -18:00 神戸国際会議場
サイエンティフィック・システム研究会 合同分科会
「観る、識る、解る、届ける」Session2

研究開発促進のための 航空交通データの提供

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 航空交通管理領域



岡 恵

電子航法研究所の紹介

ENRI : Electronic Navigation Research Institute

1967年 運輸省
電子航法研究所 設立

2016年 国立研究開発法人
海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所
港湾空港技術研究所
電子航法研究所

(本所) 東京都調布市
(岩沼分室) 宮城県岩沼市

航空交通管理 (ATM)
通信・航法・監視 (CNS) 技術

→ 航空交通システムに関する
我が国唯一の研究機関

- ・ 航空の安全性
- ・ 効率性の向上
- ・ 地球環境保全

などに関する研究開発を行っています



電波無響室



SSRモードS地上局



実験用航空機



提供開始時からCARATS Open Dataの作成
研究開発促進の取り組みに参加

本日の内容

- データ提供の背景
 - 航空交通システムの長期ビジョン
- CARATS Open Dataの概要
 - 航跡データ
 - 気象データ
- 研究開発での活用
 - 活用促進の取り組み
 - 研究への活用状況
- データ提供に参加した経験からの概観

本日の内容

- データ提供の背景
 - 航空交通システムの長期ビジョン
- CARATS Open Dataの概要
 - 航跡データ
 - 気象データ
- 研究開発での活用
 - 活用促進の取り組み
 - 研究への活用状況
- データ提供に参加した経験からの概観

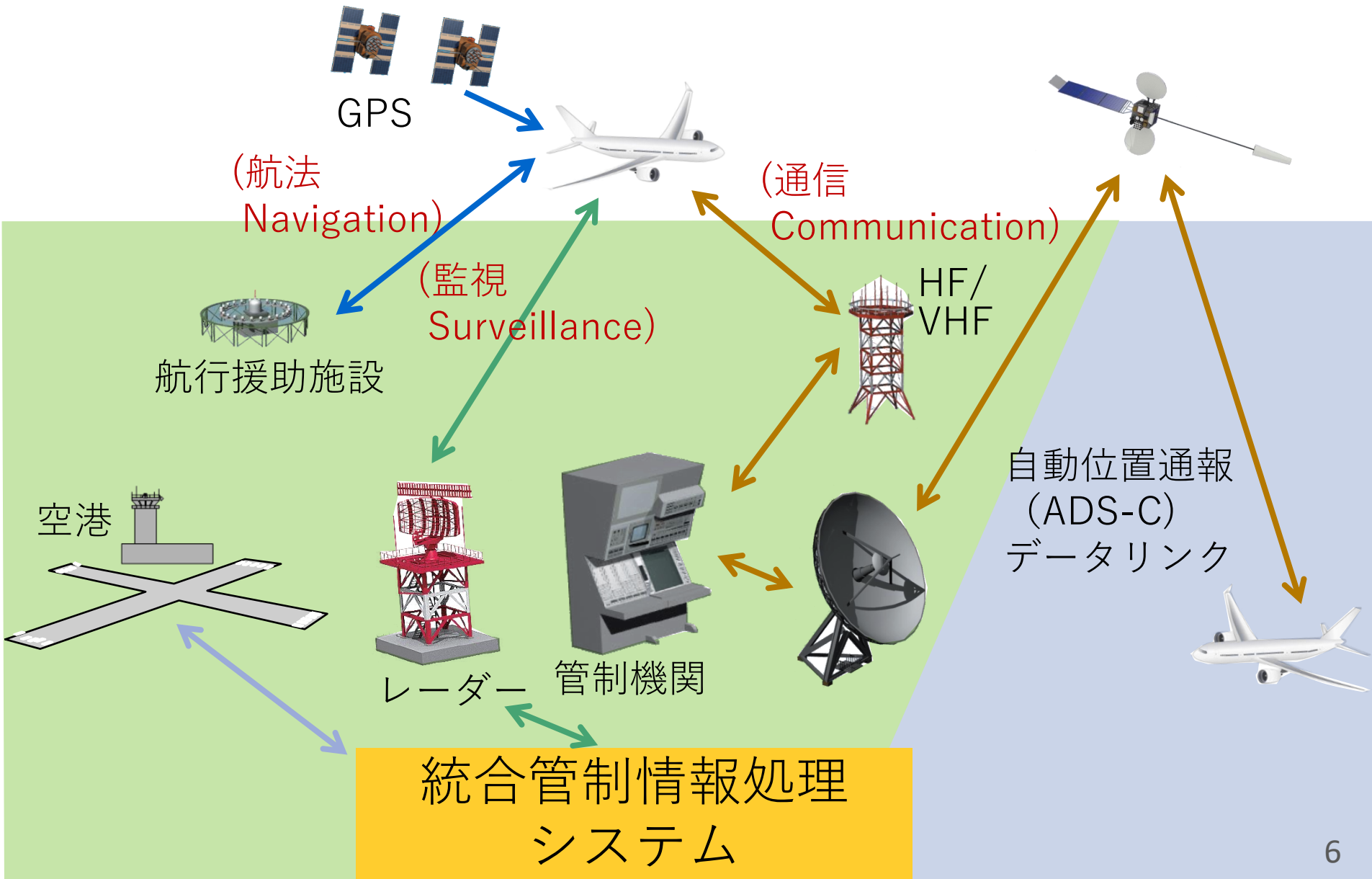
オープンデータ化の推進

- 米国： 2009年 オープンガバメント・イニシアティブ
2013年 政府情報のオープンデータ化を義務付ける大統領令
- 欧州： 2003年 公共セクター情報の再利用指令（PSI指令）
2015年 ODINE開始（スタートアップ育成）
- 日本： 2012年 電子行政オープンデータ戦略
2016年 オープンデータ2.0
2021年 第6期科学技術基本計画
オープンサイエンスとデータ駆動型研究等の推進
- Open Data by Default （2013年 G8オープンデータ憲章）
- FAIR原則 Findable（見つけれられる）、Accessible（アクセスできる）、
Interoperable（相互運用できる）、Reusable（再利用できる）
- オープンサイエンス
オープンアクセス、公共オープンデータ、第4の科学・データ中心科学、市民科学

全世界的なオープンデータ化の推進

- データ中心科学や市民科学の発展
- 研究裾野の拡大・学際的研究の推進、
イノベーションの創出、透明性の向上 への期待

航空交通システム



CARATS 航空交通システムの長期ビジョン

将来の空を見据えた変革の必要性

- ・ 国際的な航空交通需要の増大への対応
- ・ 多様なニーズへの的確な対応
- ・ 国際的なインターオペラビリティの確保

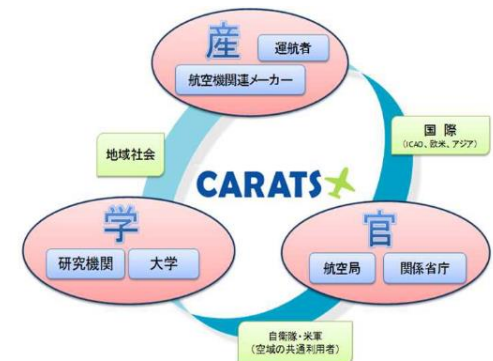
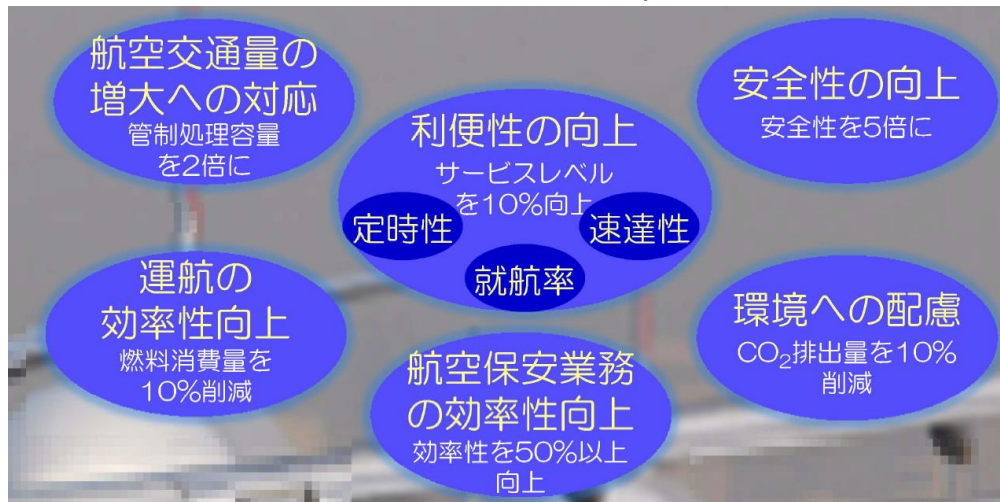


Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems

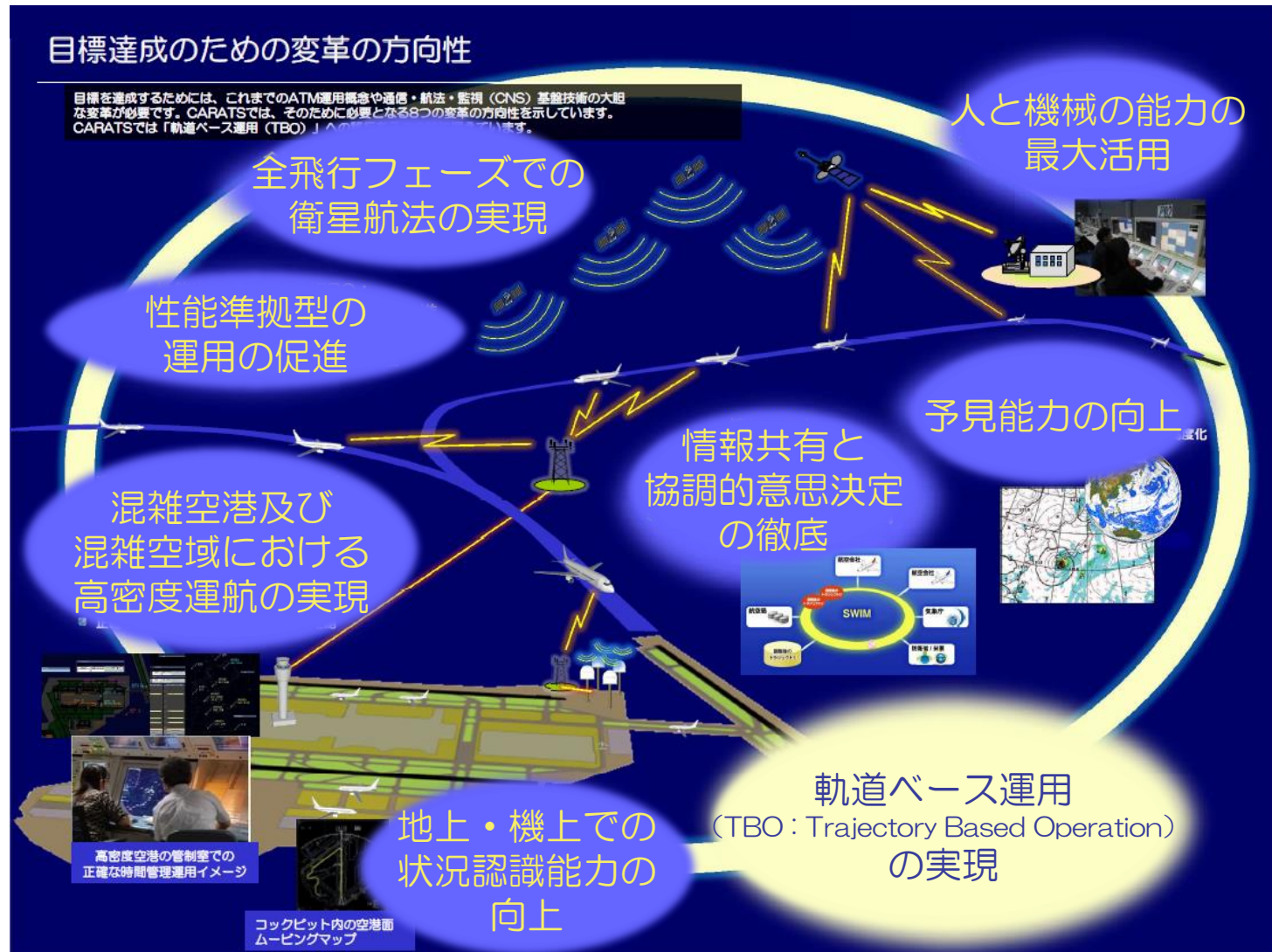
「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン」
2040年に向けて目指すべき目標、変革の方向性等を記述



CARATSの目標



目標達成のための変革の方向性



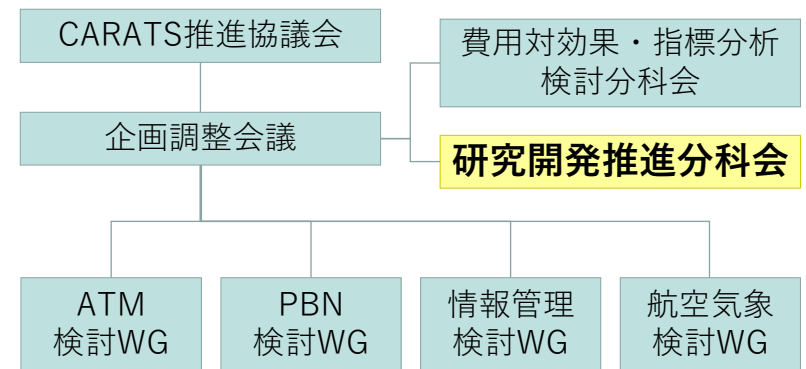
CARATS Open Dataの提供

将来の航空交通システムの構築
→研究開発の推進
→現実に即したデータ

以前は研究に使用できる
実際の航跡データが
ほとんど無い状況

CARATS研究開発推進分科会で検討
(現：研究開発推進SG)

事務局： 航空局交通管制企画課、
航空局管制技術課、
宇宙航空研究開発機構、ENRI



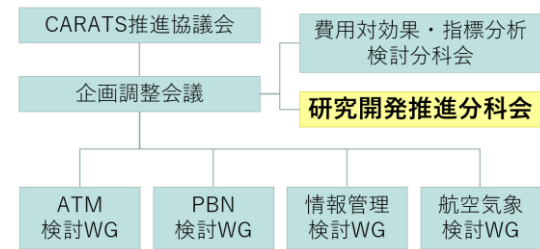
提供開始時のCARATS検討体制

2015年 2月～ 国土交通省航空局より

CARATS Open Data 提供開始

データ提供開始の流れ

研究開発推進の必要性
→データ提供の決定



研究課題の整理

- 解決すべき課題の明確化
- 実施時期・実施機関・成果の活用方法

データ内容の決定

- アンケートやヒアリング
主に大学・研究機関
- 研究に有効な項目
 - 必要なデータの分量

データ取得等の調整

- 管制部門
- 航空会社
- データ作成者

ENRI
(航跡データ)

2015年2月から提供開始

データの段階的な拡充

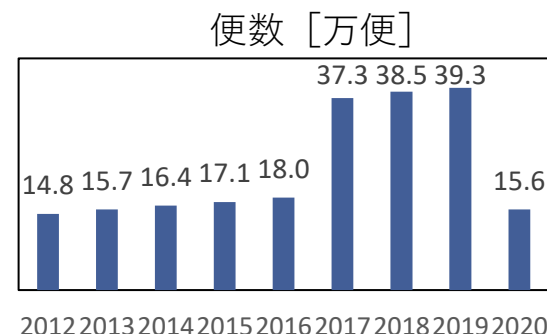
本日の内容

- データ提供の背景
 - 航空交通システムの長期ビジョン
- CARATS Open Dataの概要
 - 航跡データ
 - 気象データ
- 研究開発での活用
 - 活用促進の取り組み
 - 研究への活用状況
- データ提供に参加した経験からの概観

CARATS Open Data の概要

～航跡～

期間 便数	2012年度から 2020年度 まで：合計78週間、延べ約 212万便 2012～2016：奇数月の1週間，2017～2020：毎月の1週間
データ ソース	レーダーデータ（航空路管制、ターミナル管制*、飛行場管制*） 位置通報データ（洋上管制） 飛行計画データ <div>*羽田、福岡のみ</div> <div>2020年度从那覇空港追加</div>
対象 範囲	日本が管轄する 福岡飛行情報区 （レーダー管制空域（2012～2014）、全域（2015～）） 計器飛行方式 による 定期便 （軍用機・自家用機などは対象外）
データ 形式	約 10秒 間隔、時系列のCSV形式 ターミナル：8秒間隔、洋上：数分間隔、飛行場面：1秒間隔



2015～

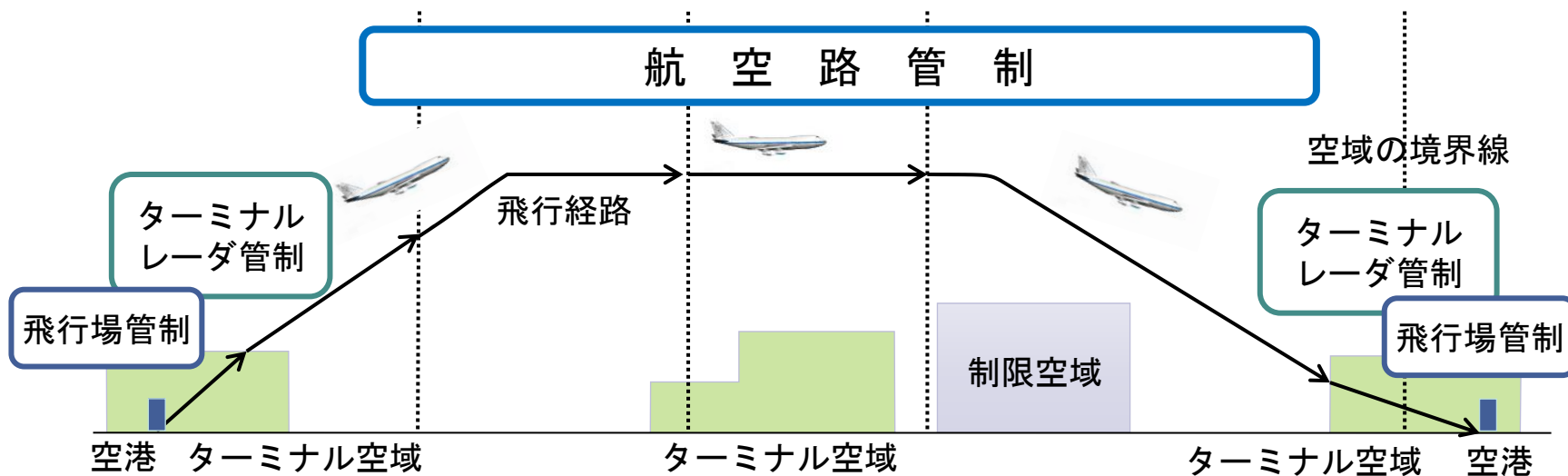


福岡FIR全域

～気象～（2018年度より新規追加）

テキスト (電文形式)	<ul style="list-style-type: none">• METAR/SPECI/SCAN（空港での風向・風速などの実況）• TAF（空港での風向・風速などの予報）• SIGMET（空域での悪天現象の予報）
バイナリ (GRIB2)	<ul style="list-style-type: none">• 1kmメッシュ全国合成レーダーGPV（エコー強度）• 2.5kmメッシュ全国合成レーダーGPV（エコー頂高度）

航空管制



ターミナル管制所

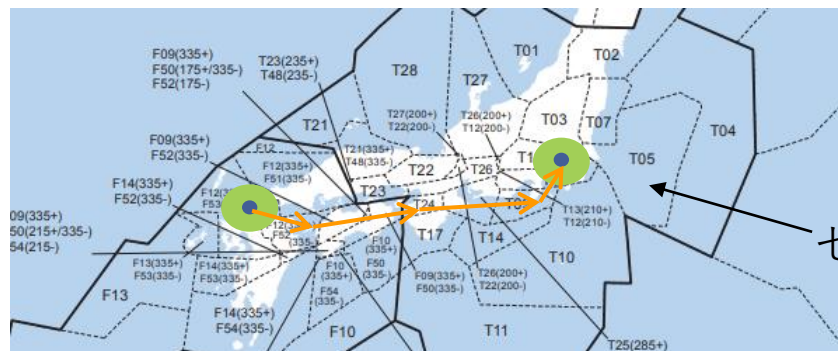


管制区管制所



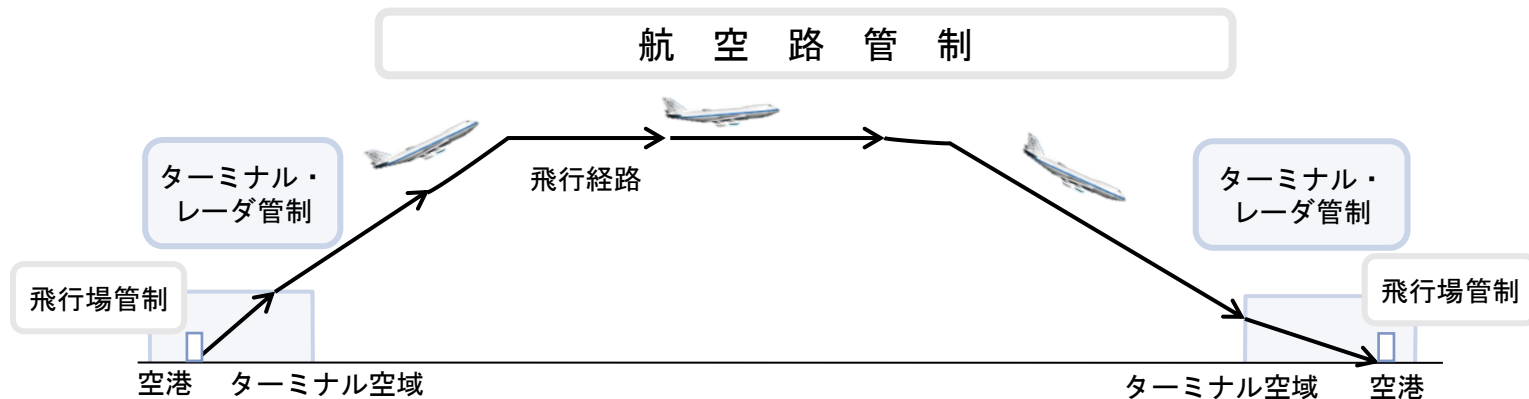
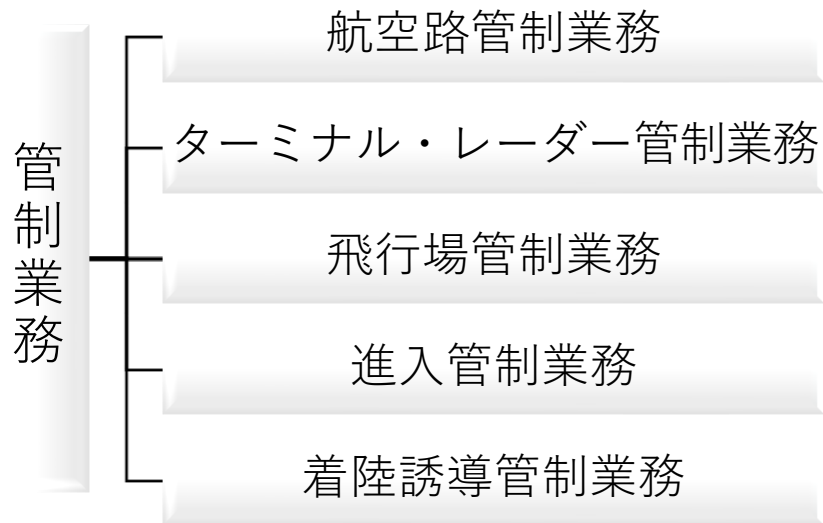
飛行場管制所

国土交通省HP 計器飛行方式
(IFR) 運航の例
<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001358794.pdf>

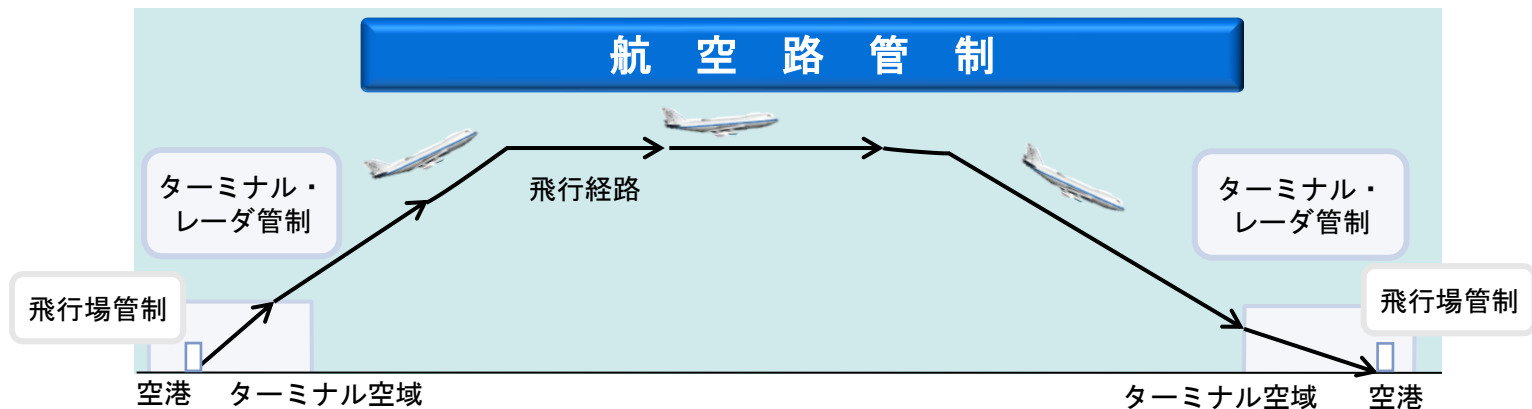


セクター

航空管制業務とデータの拡充



航空管制業務とデータの拡充

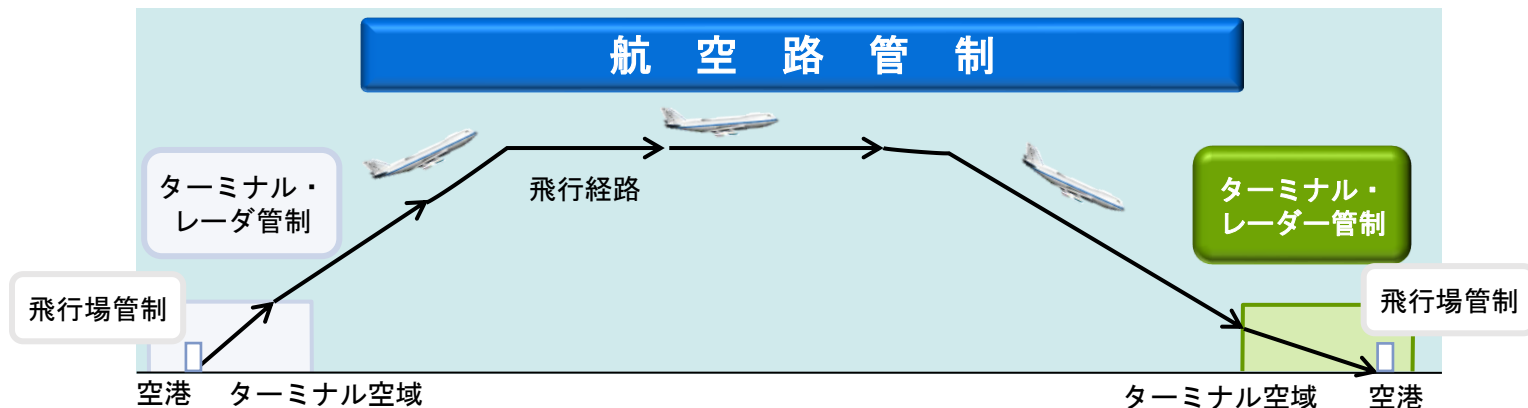


航空管制業務とデータの拡充

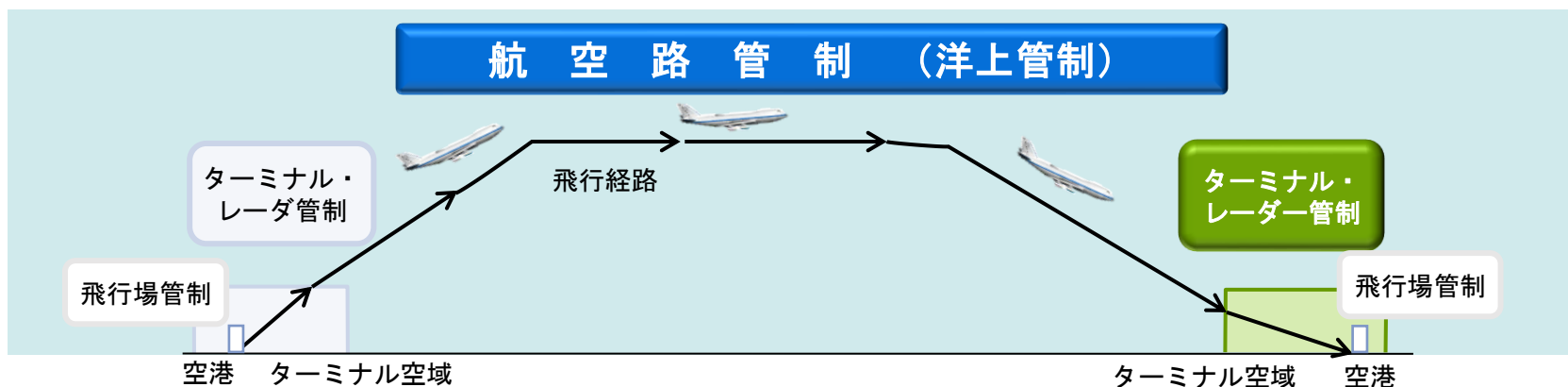


時刻の精度を
1秒から0.1秒単位に

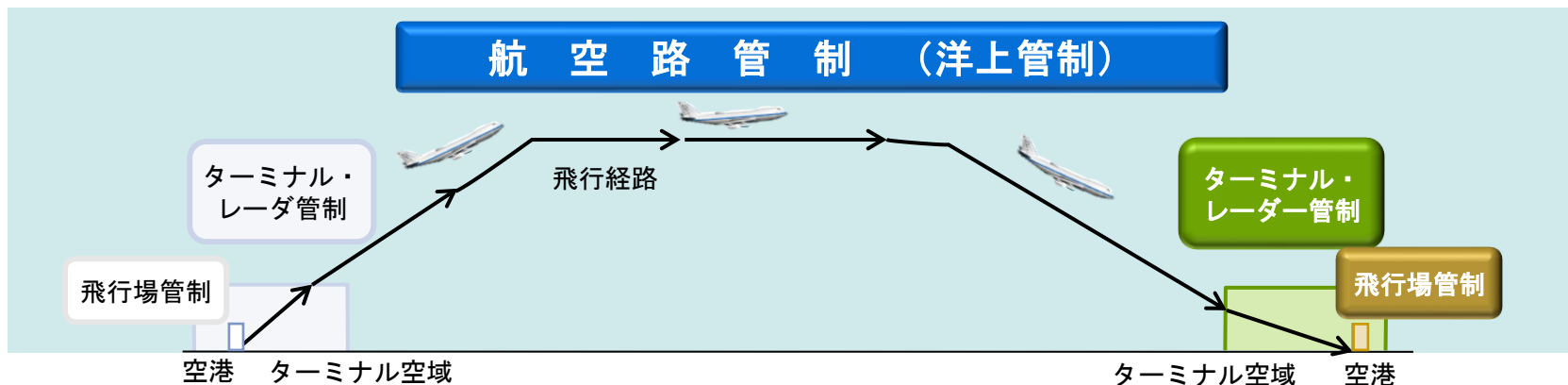
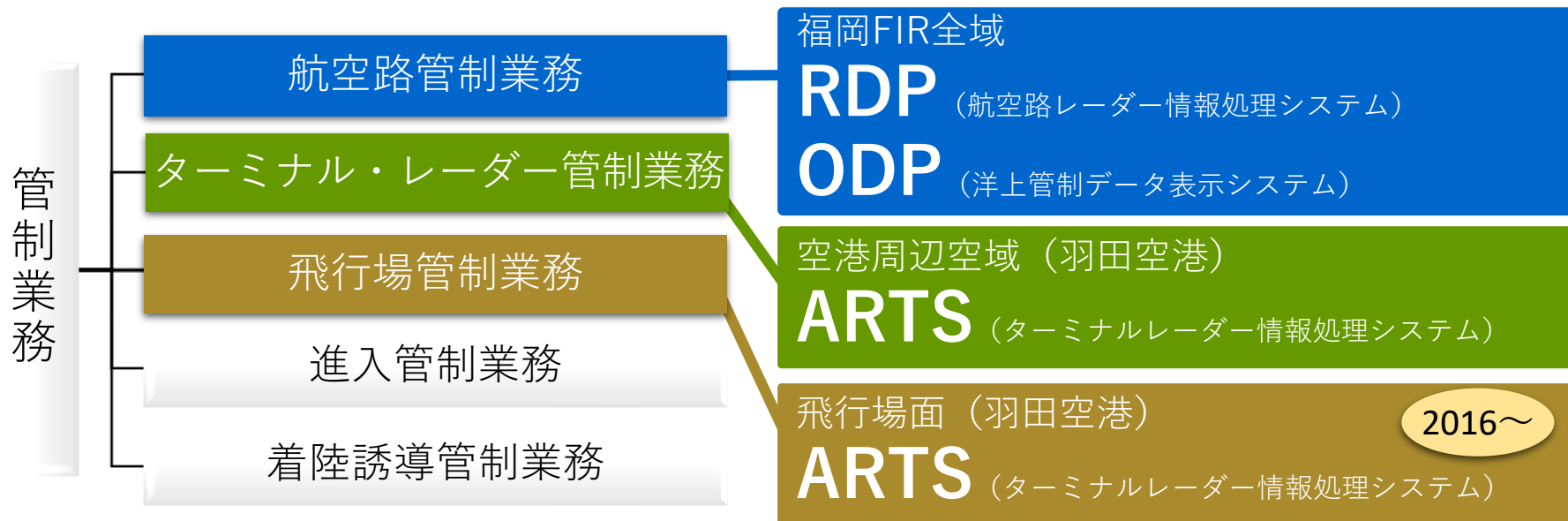
変換での地球形状を
球体から回転楕円体に



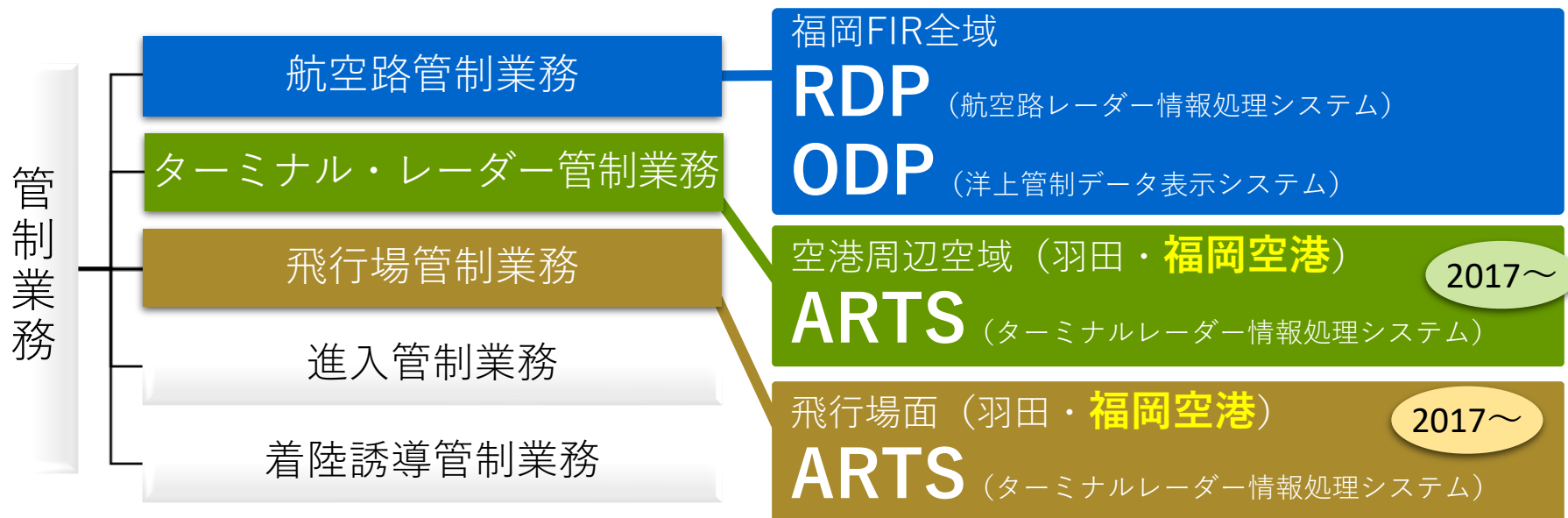
航空管制業務とデータの拡充



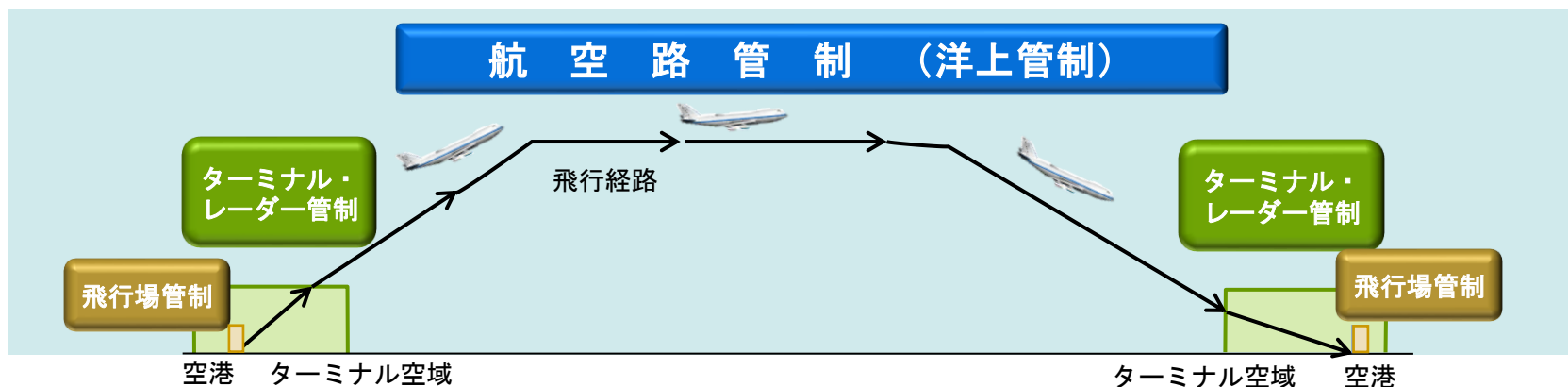
航空管制業務とデータの拡充



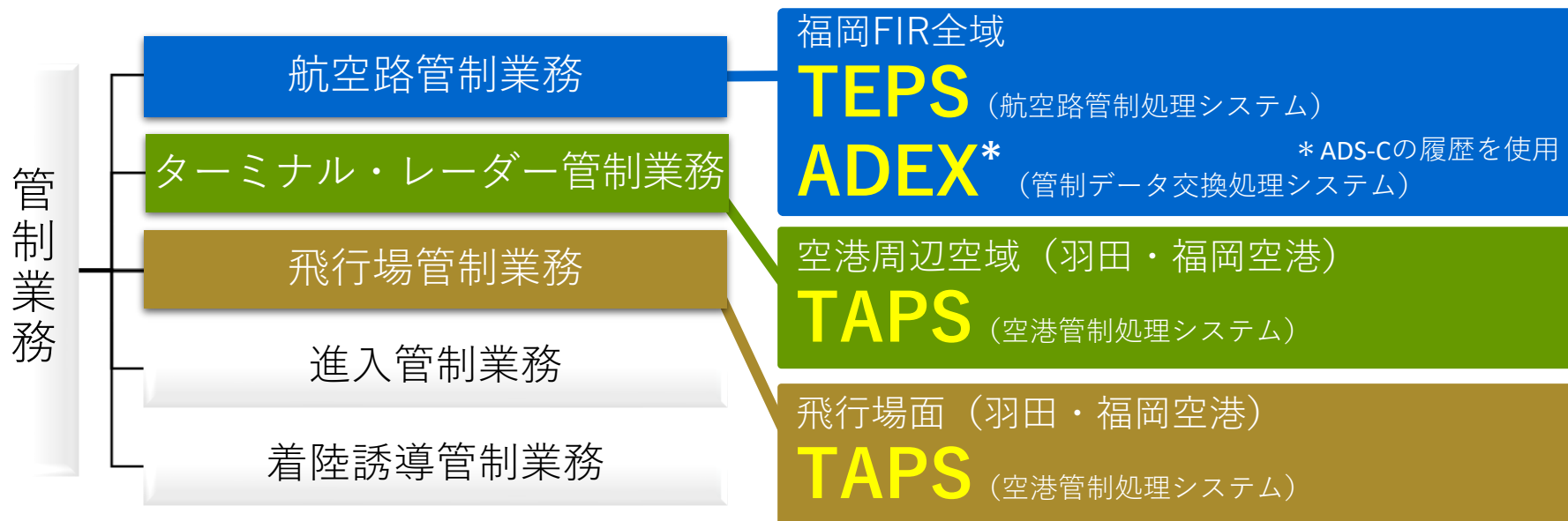
航空管制業務とデータの拡充



2 か月ごとに 1 週間のデータから
毎月 1 週間のデータに

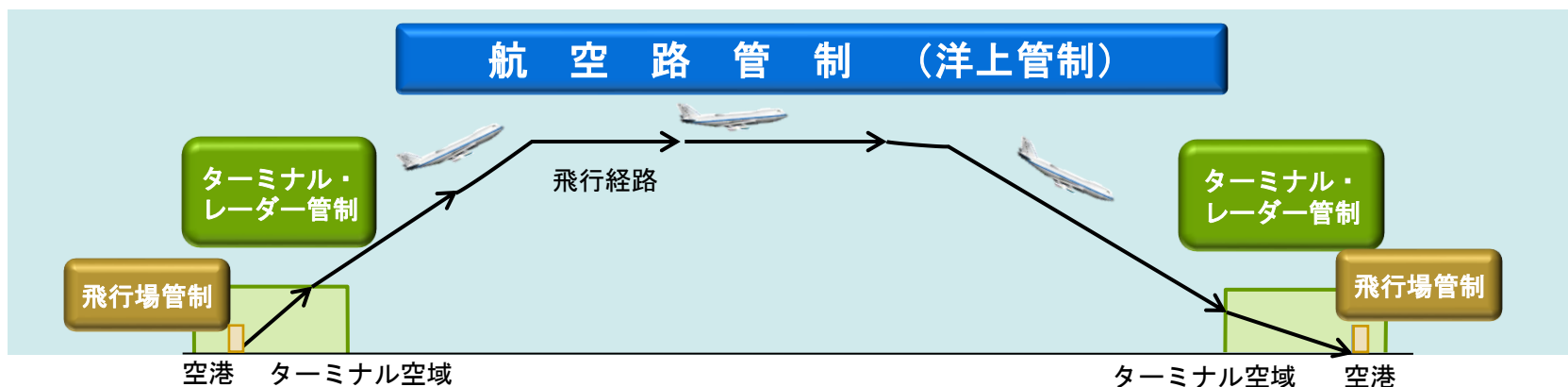


航空管制業務とデータの拡充

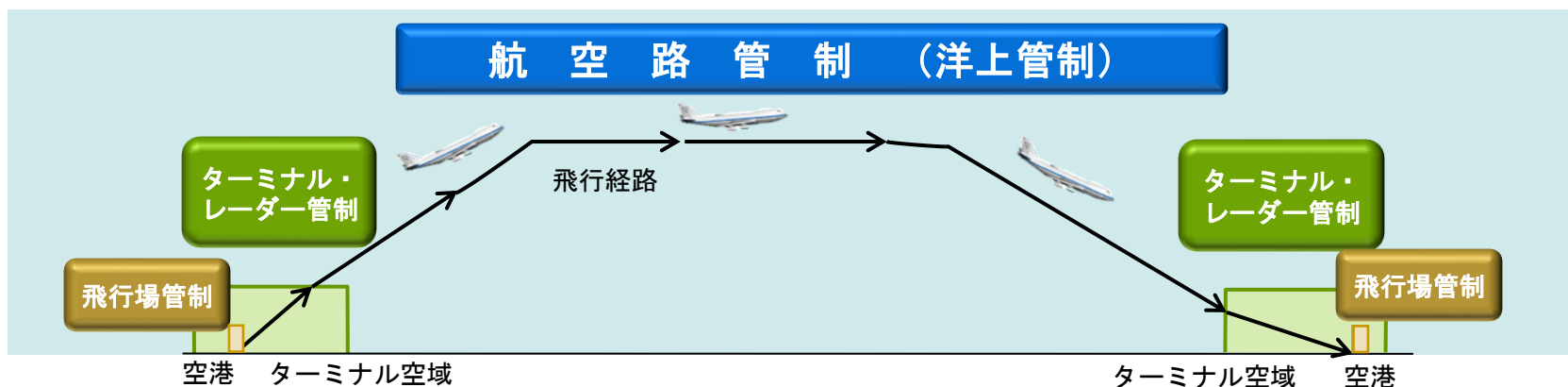
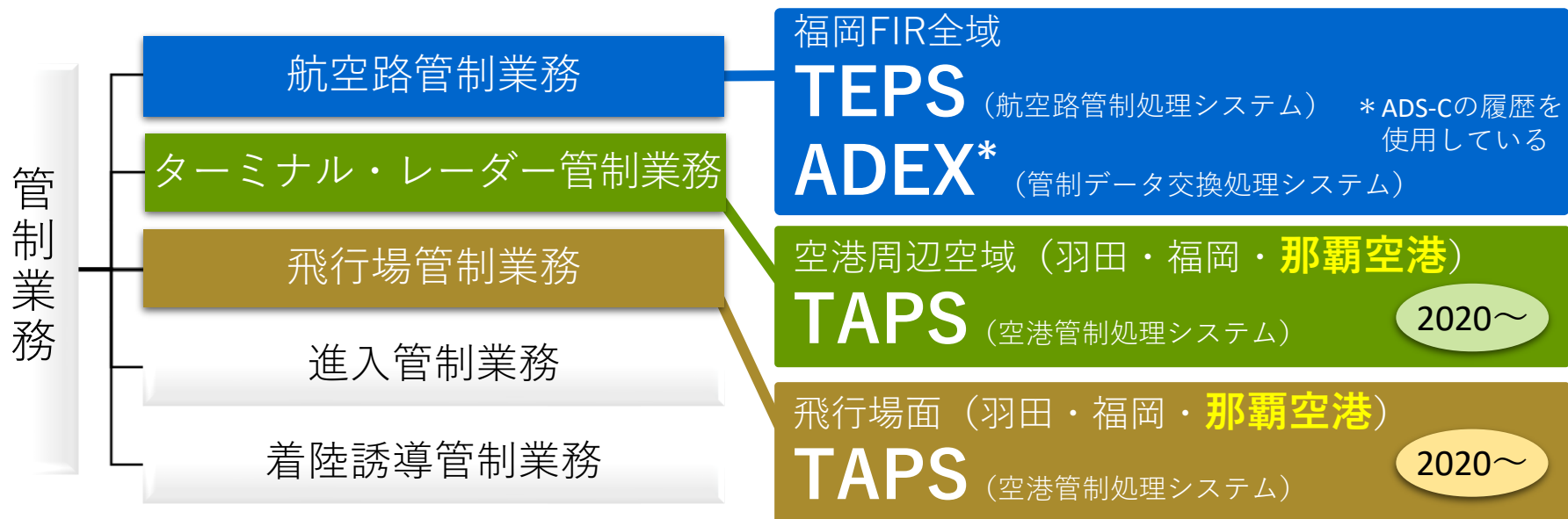


2018年から気象データが追加

2019年までに
段階的に新管制システムへ移行



航空管制業務とデータの拡充



データの拡充の一覧

年度	提供開始 時期	データ 期間	気象 データ	データソース				便名	時刻 精度	地球 形状
				航空路 管制	ターミナル 管制	洋 上 管制	飛行場 管制			
2012	2015年2月	奇数月 の一週間	含まれ ない	四 管 制 部	含まれ ない	含ま れ ない	含まれ ない	FLT0001 一日単位 で割振り	秒 単位	球体
2013 2014	2016年8月				羽田空港				含ま れ ない	含まれ ない
2015	2017年10月					羽田空港	含 む			
2016	2018年8月				羽田空港 福岡空港				含 む	羽田空港
2017	2019年8月	毎月 一週間	METAR SPECI SCAN TAF SIGMET 合成 レーダー GPV			羽田空港 福岡空港	羽田空港 福岡空港	AP00001 一週間単 位で割振り		
2018	2021年12月				羽田空港 福岡空港				含 む	羽田空港 福岡空港
2019	2022年11月					羽田空港 福岡空港 那覇空港	含 む			
2020	2022年11月									

航跡データの形式

00:00:01.0 , AP00001 , 31.478958 , 126.609246 , 30066 , B763
 00:00:01.0 , AP00002 , 33.195376 , 133.649586 , 36748 , A333
 00:00:01.5 , AP00003 , 35.289176 , 133.370610 , 32000 , B77W
 00:00:10.5 , AP00001 , 31.471519 , 126.635655 , 30025 , B763

時刻

便名

緯度

経度

高度

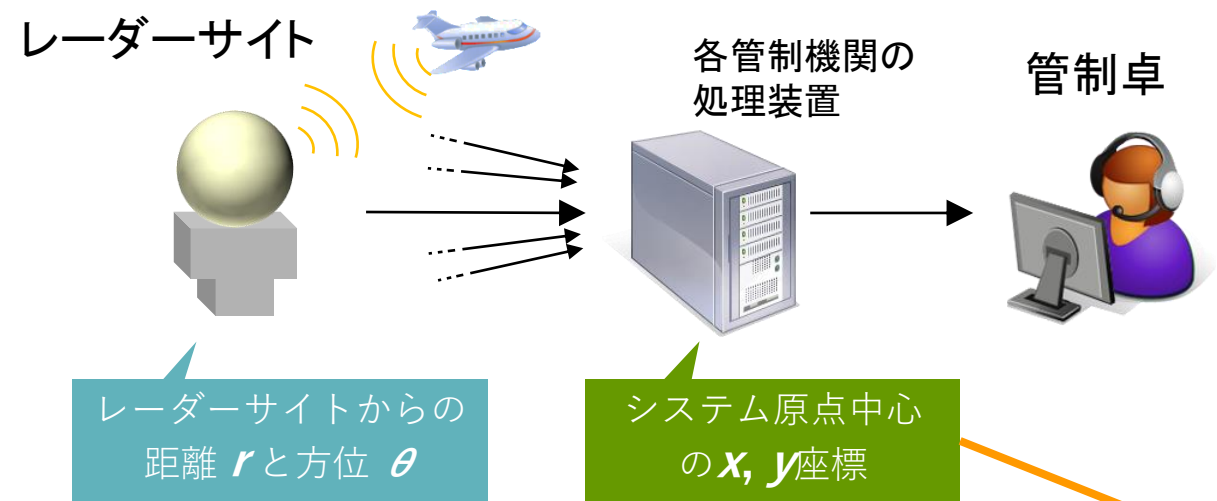
型式

時：分：秒 (日本時間)	月略称+ 5桁の番号	度単位 小数点以下6桁		ft単位	国際機関が 定めた略号
データ時刻 (2013から、 1/10秒単位)	仮想便名	平滑xy座標から変換 (新システムでは変換無し)		平滑高度	航空機型式

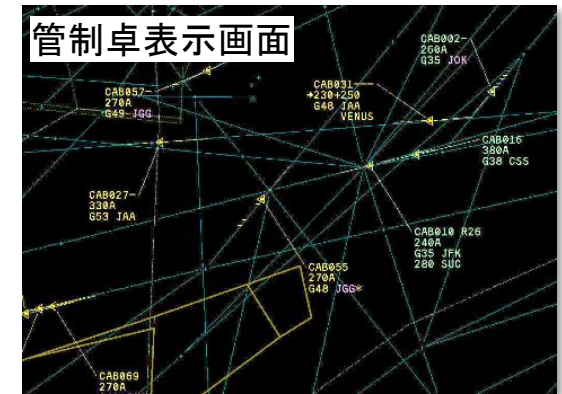


- 便名は、飛行中、飛行場面の航跡ファイル共通
- 日またがり便は前後の日で同一の便名

航跡データの作成方法



洋上・新システムでは位置情報が
緯度経度で記録される



出典: 国土交通省

データ作成

座標変換

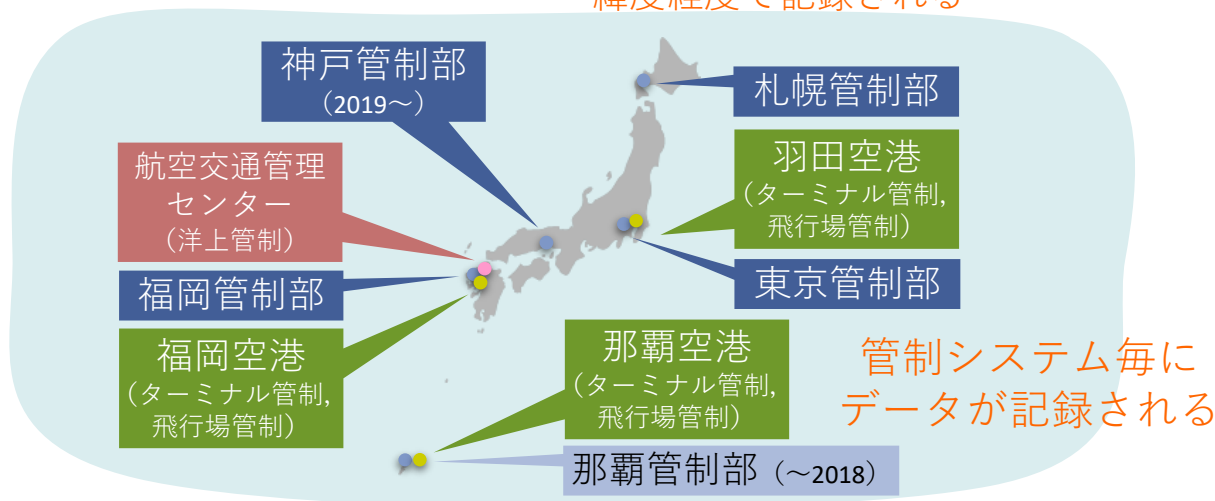
- ・角距離の算出
- ・球面三角法
- 緯度 経度

2012 球体
2013～回転楕円体



航跡の結合

精度の高い航跡を優先



管制システム毎に
データが記録される

参考文献

- 1) 岡、福田：「航空交通のオープンデータとその活用」、電子情報通信学会 システム数理と応用研究会 (2017)
- 2) 岡、福田、中村、上島：「航空交通の運用データの一般公開と活用 (その3)」、第50期 日本航空宇宙学会年會講演会1D04 (2019)

航跡の結合方法

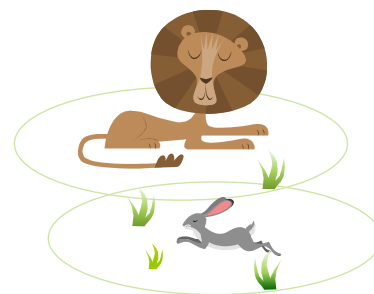
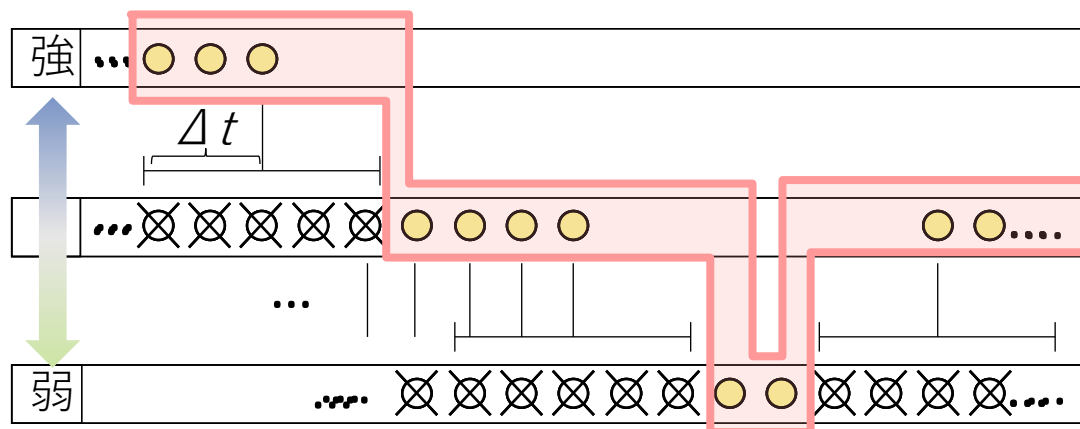
各システムのデータは重複している

そのまま結合→重複部分がギザギザの航跡になる
各システムのエリアを決める
→データの欠損がある場合は航跡が欠けてしまう

高精度のデータを使用し重複なく結合したい

弱肉強食アルゴリズム

それぞれのデータは“縄張り”を持ち、
縄張り内の自分より**弱い**もの→**食べる**（削除する）
自分と**同じ**か**強い**もの→**食べない**（削除しない）



位置精度の高いデータを優先
ターミナル管制 > 航空路管制 > 洋上管制

同レベルの場合、航空機の位置
に近い管制システムを優先

● ... 結合データ

⊗ ... 削除されたデータ

変換で難しかった点

管制システムのデータには様々な識別情報が記録されている

DBC、コールサイン、トラック番号…

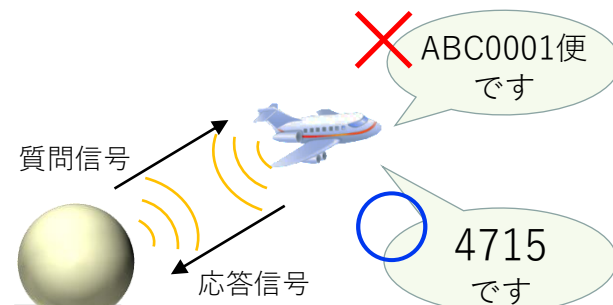
(Discrete Beacon Code)

他管制システムのデータや飛行計画情報と照合するには複数のキーが必要

管制システムは24時間稼働 (コールサインも含め一意ではない)

→ 割当て時間を考慮した照合が必要

- 途中で到着空港、飛行方式、DBCなどが変わる便
- 着陸後同一コールサインで出発する経由便
- データの欠如や観測エラー



対照表

4715	ABC0001	羽田空港発	新千歳空港着
5080	DEF0001	福岡空港発	成田空港着

別便を同一便／同一便を別便と識別してしまうと

- 位置が大幅に飛ぶギザギザの航跡
- 途中で途切れた航跡
- 対象外の便の航跡

出発から到着までの一つの便の識別が難しい

- 識別情報テーブルの作成
- データ点列の距離による照合
- 空港到着の判別による便の混合の検出
- 手作業でのチェック

将来的には…

GUFID (Globally Unique Flight Identifier)
UUID (Universally Unique Identifier) を
使用した便の識別

気象データ（テキストデータ 電文形式）

- METAR/SPECI/SCAN

METAR：定時飛行場実況気象通報式

SPECI：特別飛行場実況気象通報式

SCAN：航空気象観測所実況気象通報式

に示される形式

【内容】空港で観測、通報された気象実況

風向・風速、視程、滑走路視距離、天気、雲、気温・露点温度、QNH など

【データの単位】空港毎に毎時または30分毎に更新

（SPECIは重要な気象の変化があった場合に通報）

- TAF

TAF：運航用飛行場予報

【内容】風向・風速、視程などの予報

【データの単位】空港毎に一日4回発表（随時修正）

- SIGMET

SIGMET：シグメット情報（航空機の運航の安全に影響すると思われる航空路上の特定の天気現象の発現又は予想について、気象監視局が発表する情報）

【内容】悪天現象の予報

雷電・乱気流（WS）、台風（WC）、火山灰（WV）など

【データの単位】福岡FIRで悪天現象が予想された場合に随時発表

気象庁 航空気象通報式

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tsuhoshiki/koukuu/koukuu3_16.pdf

配信資料に関する仕様 No.12105

<https://www.data.jma.go.jp/suishin/shiyou/pdf/no12105.pdf>

気象データ（バイナリデータGRIB2形式）

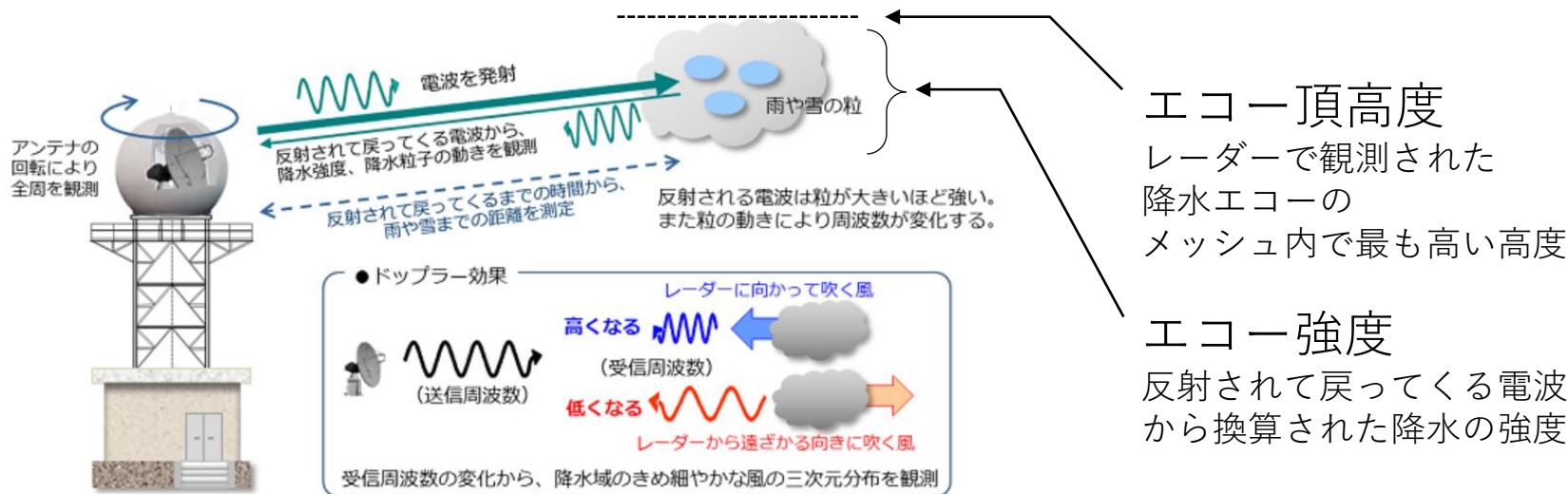
- 1kmメッシュ全国合成レーダーGPV（エコー強度）
- 2.5kmメッシュ全国合成レーダーGPV（エコー頂高度）

【内容】 気象レーダーで観測したエコー強度（レーダーで観測される換算降水強度）
エコー頂高度（レーダーで観測される降水エコーの高さ）

【データの単位】 全国、10分間隔で1つのgrib2ファイル、1日分で144個のファイル

気象庁HP 国際気象通報式・別冊

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tsuhoshiki/kokusaibet/kokusaibet_35.pdf



気象庁HP 気象レーダーによる観測の概要

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/radar/kaisetsu.html>

本日の内容

- データ提供の背景
 - 航空交通システムの長期ビジョン
- CARATS Open Dataの概要
 - 航跡データ
 - 気象データ
- 研究開発での活用
 - 活用促進の取り組み
 - 研究への活用状況
- データ提供に参加した経験からの概観

研究開発の促進

活用促進フォーラムの開催

- 2015年から毎年開催
- 大学、研究機関、一般企業等の参加
- 研究事例の紹介、意見交換など

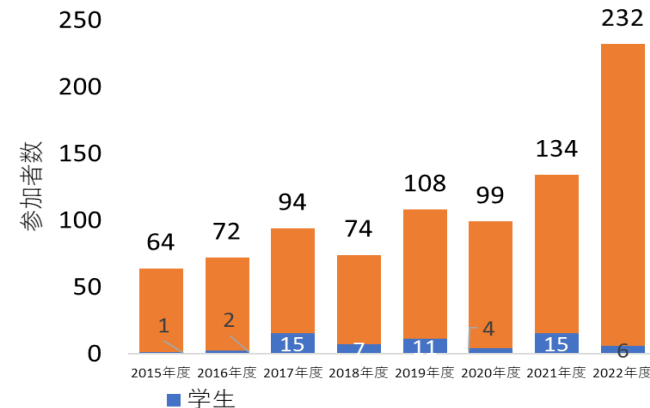
2022年12月14日
CARATS オープンデータ
活用促進フォーラム

CARATSサイト

- 推進協議会資料
- ロードマップ
- 研究開発成果
- データ取得方法
→オンラインでの提供
- フォーラム情報



https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr13_000006.html



CARATSオープンデータ活用促進
フォーラム参加者数の推移

CARATS研究開発推進SG資料 2022年12月

ENRI CARATS Open Data 関連情報サイト

- ツールや資料など
- 運航特性データも
提供予定



https://www.enri.go.jp/research/carats_open_data/index.html

ツールの提供

研究促進
裾野拡大

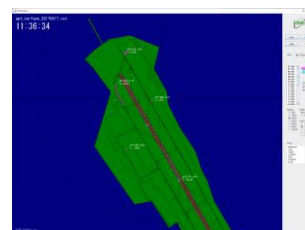


手軽に使用できる分析ツールや
アルゴリズム（処理手順）の公開

飛行中航跡 動画表示ツール
「PlotTrack」

飛行場面航跡 動画表示ツール
「PlotSurface」

出発・到着空港推定ツール
「MakeApt」



```
6000,B738,NORTHERN,ROTA  
6146,A320,IGURU,,,ROAH  
6440,E190,RJOO,,,RJFK  
0610,A320,RJAA,,,RJFT  
1975,A320,BITT,,,RIIE
```

- JAVAで動作
- CARATS Open Dataと一緒に提供
- 電子航法研究所で作成

出発・到着空港推定ツール

CARATS Open Data

```
08:00:00.0,AP00533,25.995265,127.180835,6146,A320
08:00:00.0,AP00501,32.466773,132.001527,26440,E190
08:00:00.0,AP00587,35.713651,139.443414,30610,A320
```

各便のデータ開始・終了点
に近い**空港・FIX**を推定

MakeApt

空港の
緯度・経度

FIR 境界線上 FIX
の緯度・経度

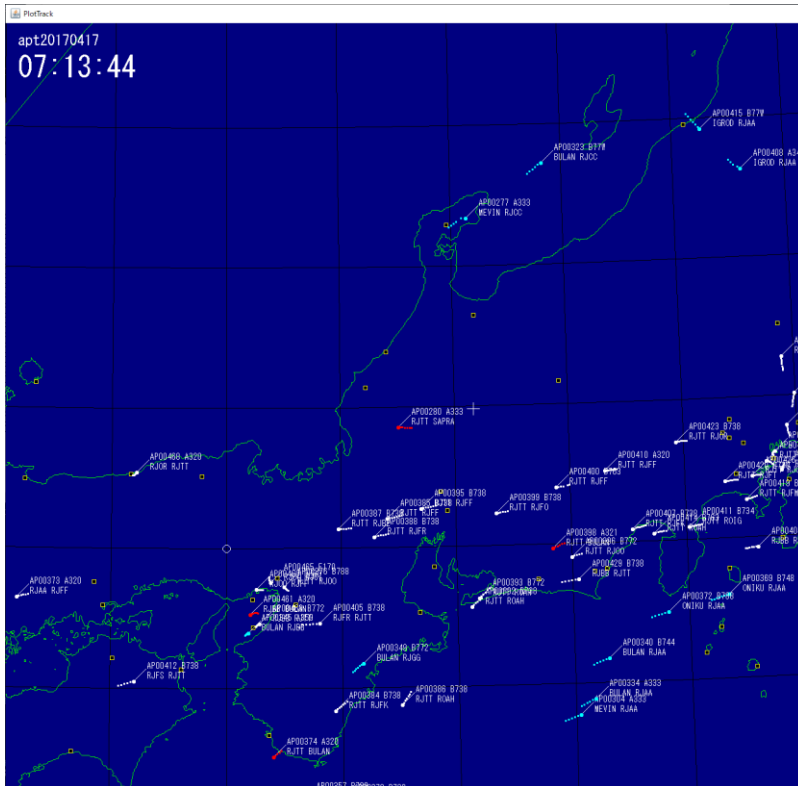
出力結果

```
08:00:00.0,AP00533,25.995265,127.180835,6146,A320,IGURU,ROAH
08:00:00.0,AP00501,32.466773,132.001527,26440,E190,RJOO,RJFK
08:00:00.0,AP00587,35.713651,139.443414,30610,A320,RJAA,RJFT
```

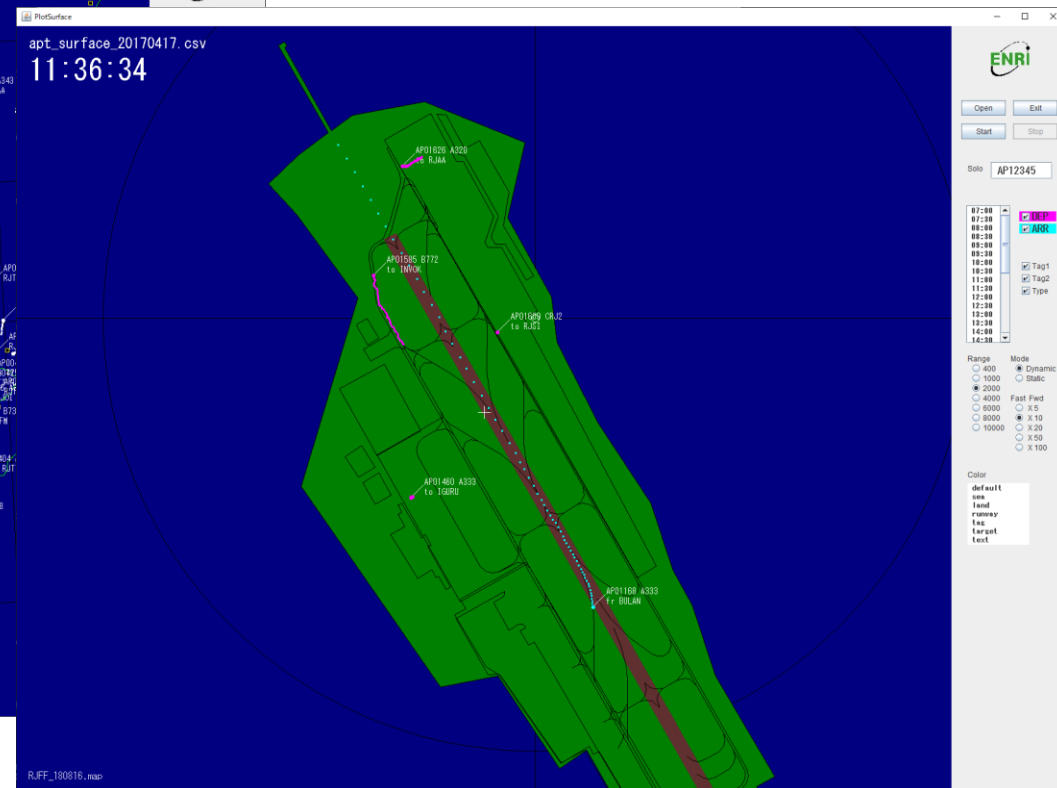
出発・到着空港や
入域・出域FIXを
末尾に付加して出力

航跡動画表示ツール

PlotTrack (飛行中の航跡)



PlotSurface (飛行場面の航跡)



MakeAptの出力を読み込むことで
色分け表示、属性による絞り込みが可能

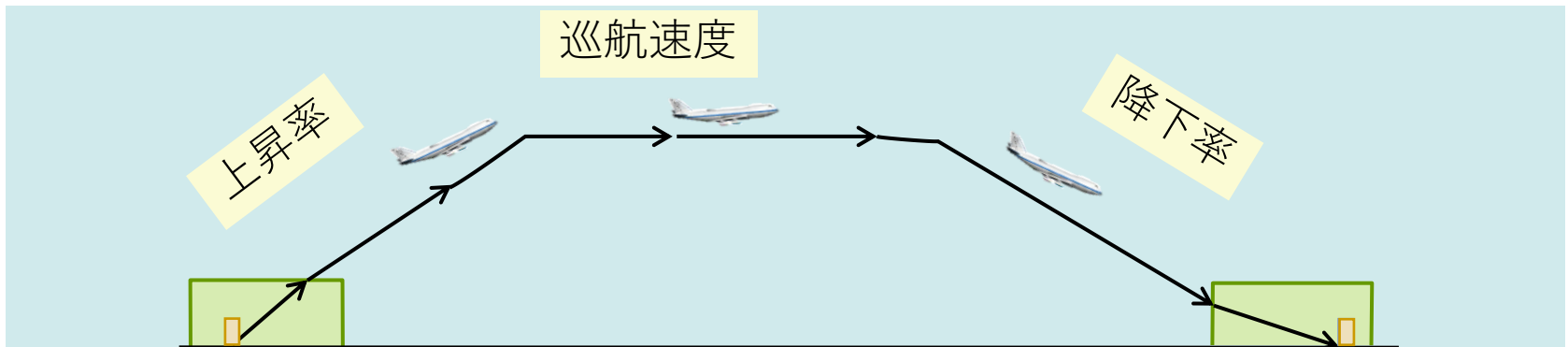
福岡FIRにおける運航の特性データ

運用やシステムの改善案

➡ シミュレーションによる検証

航空交通を模擬するには、

航空機・管制・気象などのモデル化が必要



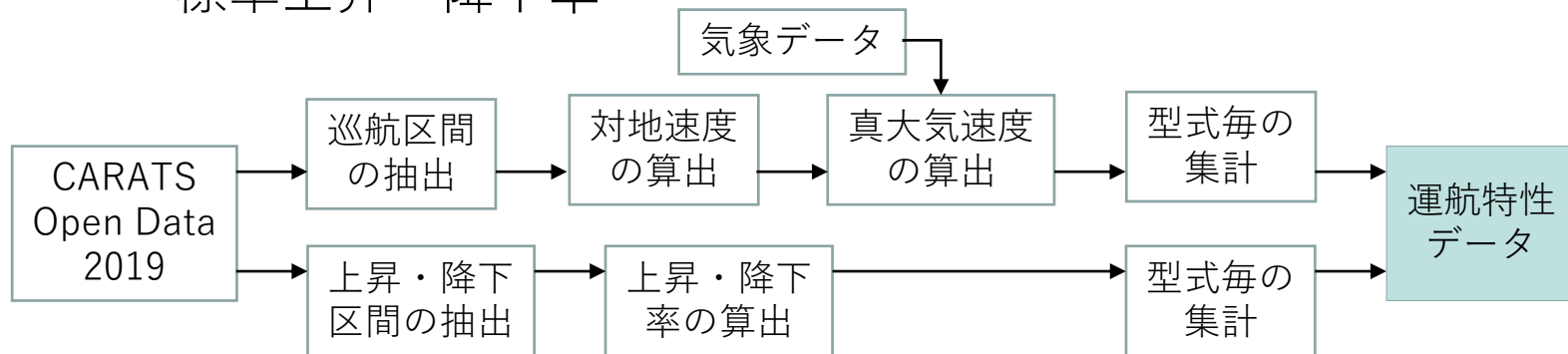
出発空港、到着空港、経路、型式、巡航高度などの飛行計画情報を用意

各便の軌道を生成 ➡ 交通流の模擬

改善案の有効性の検証

特性データの公開

- CARATS Open Data2019を使用して標準的運航の値を算出
 - 標準巡航速度
 - 標準上昇・降下率

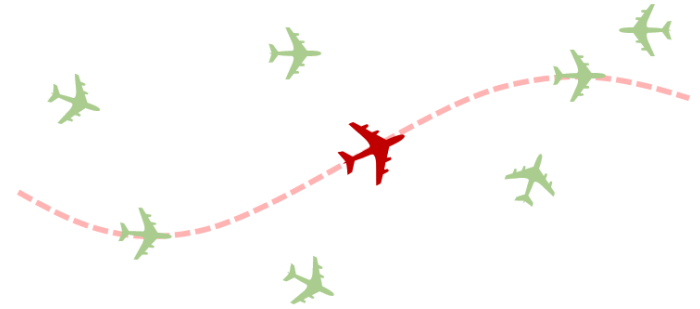


- 国内の航空機運航を模したシミュレーションへの一助に
- ENRI CARATS Open Data 関連情報サイトにて
来年度 公開予定



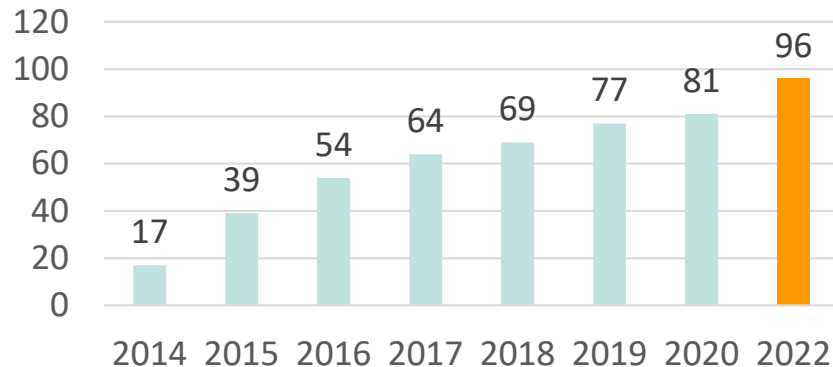
CARATS Open Dataの利点

- 大規模である
 - ✓ サンプルが多い
 - ✓ 交通“状況”を見ることができる
- 無料である
- 誰でも利用可
 - ✓ 他分野からの参入の奨励
- 多くのユーザが使用する
共通のデータ
 - ✓ 分析結果の相互比較
 - ✓ 利用方法やノウハウの共有

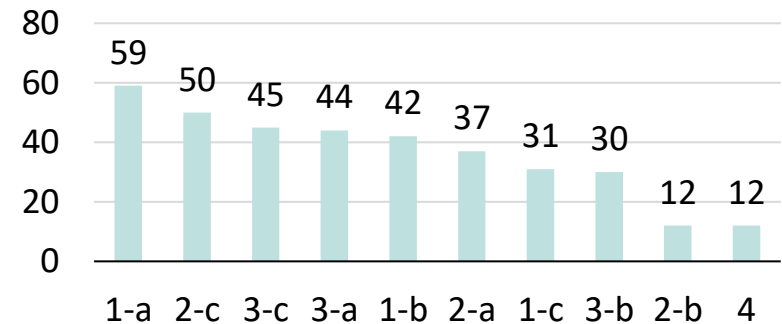


データ提供機関数および論文件数

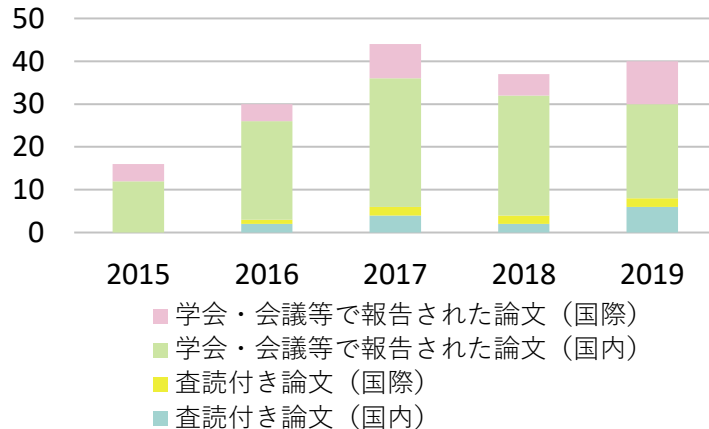
提供機関数の推移
(2022年12月現在)



CARATS Open Dataの利用目的
(2019年10月アンケートによる調査)



CARATS Open Dataを利用して
公表された論文件数

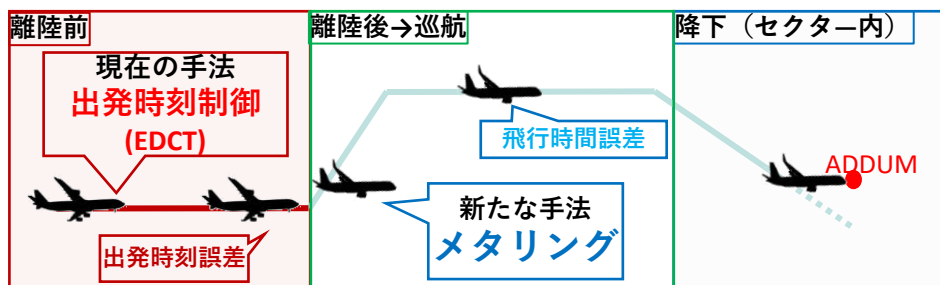


1. CARATS Open Dataそのものの分析
 - 1-a 現状の運航の分析 (例: 着陸間隔の分析)
 - 1-b 統計値の算出 (例: 出発・到着機数)
 - 1-c データ内容の可視化 (例: 航跡表示)
2. CARATS Open Dataを使用したモデルの作成
 - 2-a 運航のモデリング (例: 飛行速度のモデル)
 - 2-b 管制のモデリング (例: 順序間隔付けモデル)
 - 2-c シミュレーションへの活用 (例: シミュレーションパラメータ推定)
3. CARATS Open Dataを使用した評価
 - 3-a 新たな運航方式がもたらす潜在的便益の評価 (例: 最適軌道の導入による便益)
 - 3-b 軌道の飛行時間の評価 (例: 軌道予測の正解としての活用)
 - 3-c 実交通流のサンプルとして (例: 新たな運航方式のアルゴリズムの評価)
4. その他の使用方法

航空交通管理分野の研究事例

航空交通流管理における到着時刻管理の効果

川根祥範, 武市昇 (東京都立大学) 第58回飛行機シンポジウム, オンライン開催, 2020年11月25-27日.
効率的な時間管理を実現する初期的CFDT再開に向けた貢献 <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001477978.pdf>

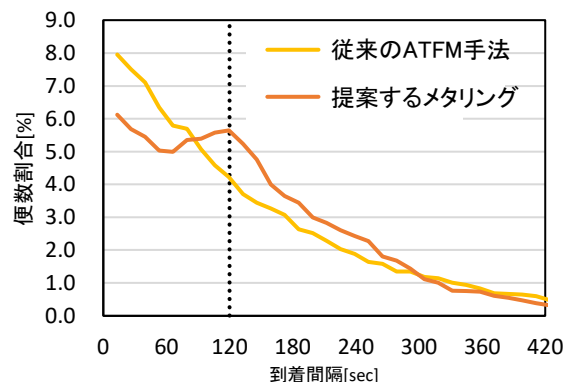
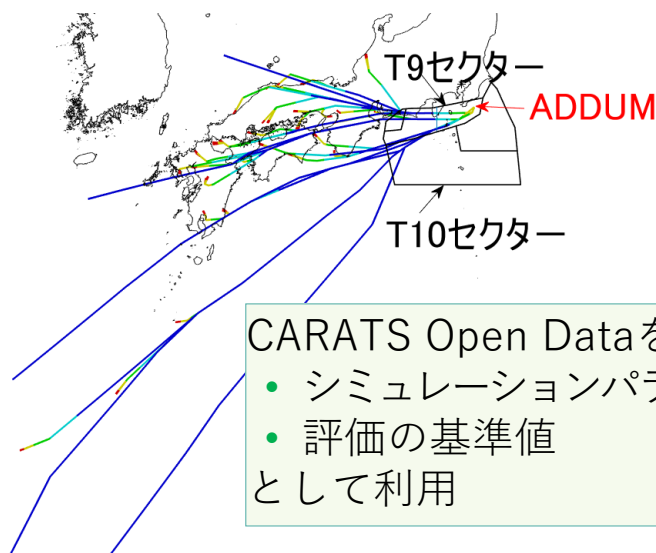


現在の手法：出発時刻制御

出発時刻のばらつきが大きい
→ 出発時刻制御のみでは
交通流を十分に調整できない

出発時刻制御とメタリング (飛行中の時間管理) の組合せの提案

→ 出発時刻誤差の影響の解消・便益の向上をシミュレーションにより検証



提案手法の
有効性の確認

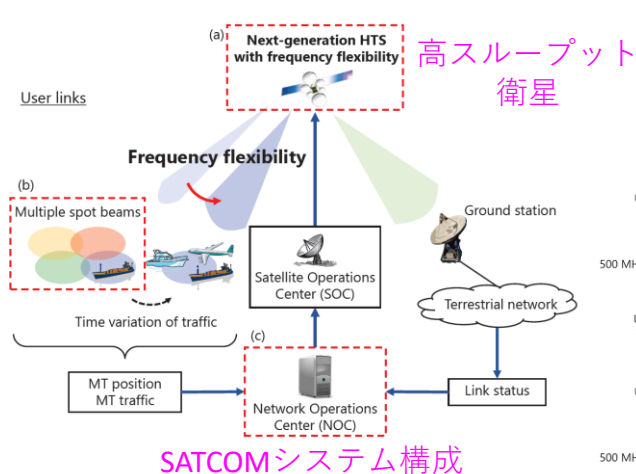
- 到着時の調整時間が減少
- 到着セクター入域までに航空機間の間隔を調整
- 運航コストの減少

航空交通管理以外の分野の研究事例

Performance Evaluation of Frequency Flexibility in High-Throughput Satellites : Application to Time-Varying Communication Traffic

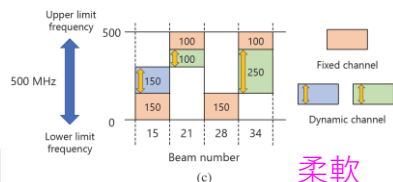
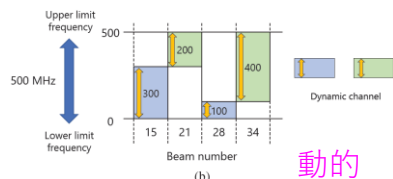
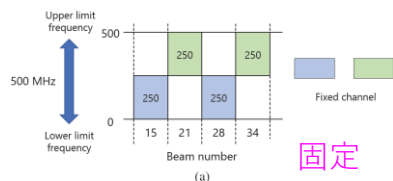
(高スループット衛星における周波数柔軟性の性能評価: 時間変動する通信トラフィックへの適用)

Yuma ABE, Mitsugu OKAWA, Amane MIURA, Kazunori OKADA, Maki AKIOKA, Morio TOYOSHIMA (NICT)
TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN 18.3 (2020): 93-100.



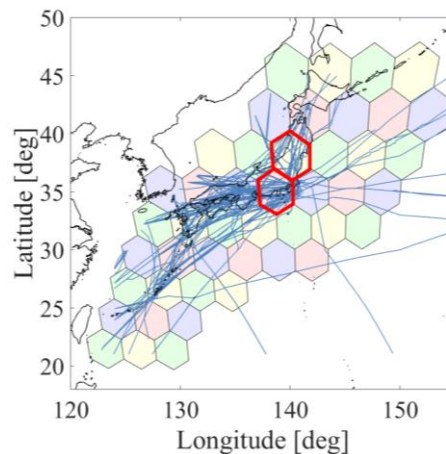
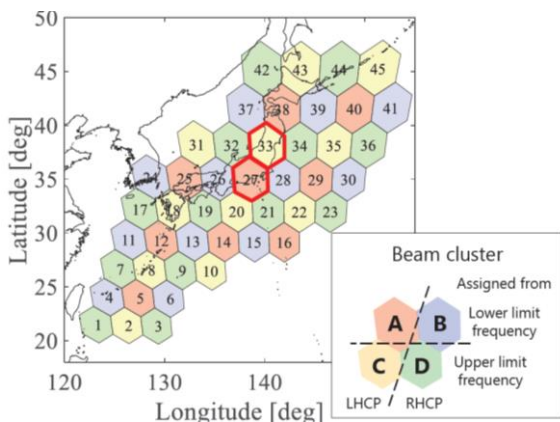
固定的な帯域割当
→通信のピーク時に
対応できない

動的な帯域割当
→切替制御が煩雑



柔軟なチャネル割当

→最大容量の超過防止
→切替制御回数の抑制



→トラフィックの多い時間帯でも切替制御回数を抑制しながら
高スループットを確保

提案手法の有効性の確認

本日の内容

- データ提供の背景
 - 航空交通システムの長期ビジョン
- CARATS Open Dataの概要
 - 航跡データ
 - 気象データ
- 研究開発での活用
 - 活用促進の取り組み
 - 研究への活用状況
- データ提供に参加した経験からの概観

データ提供に参加した経験からの概観

データ提供により感じられた変化

- ・ 航空交通管理の分野の研究者の拡大
- ・ 共通の研究基盤に基づく研究成果やノウハウの共有
- ・ 異分野の研究者のデータ活用による新たな視点

良かったと考えられる点

- ・ スモールステップ 「一歩一景」
- ・ ユーザーニーズの丁寧な汲み上げ
- ・ 利用促進のための取り組み
- ・ ユーザーの視点に立ったデータ生成

データ提供に参加した経験からの概観

今後の課題

- ・ より高品質で利便性の高いデータ
- ・ ツールや関連情報などの更なる活用の促進
- ・ 航空交通管理の問題点の明確化
 - ・ 指標値による定量的な評価

まとめ

CARATS Open Dataの取り組み

- CARATS Open Dataは航跡と気象のデータからなる航空局から無料で提供されている航空交通データ
- 航跡データは統合管制情報処理システムのデータから作成した日本の管制空域 全域を対象とする大規模な航跡データ
- フォーラムの開催やツールの提供などの活用促進により現在国内外90機関以上で利用されている

今後の方針

- 研究開発推進SGでデータ拡充やタイムリーな提供の検討
- ENRIでは運航特性データなどデータ利用に便利な情報をサイトにて提供予定

データの取得申請

「CARATS」で検索してください

https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr13_000006.html