

# ヘリコプタに適した計器飛行方式 (IFR) 運航の研究

宇宙航空研究開発機構  
研究開発本部 飛行技術研究センター  
ヘリコプタセクションリーダー  
奥野善則

## 有視界飛行方式 (VFR, Visual Flight Rules)

- パイロットが目視によって他機や地形との衝突を回避して飛行する方式
- 許可された空域内では自由な経路を飛行できる
- 有視界気象条件でしか飛行できない

## 計器飛行方式 (IFR, Instrument Flight Rules)

- 管制官の指示に従って飛行する方式
- 定められた航空路しか飛行できない
- 気象条件に左右されない

## SBAS (Satellite-Based Augmentation System)

- 衛星からGPSの補強信号を送信する方式, 日本のMSAS, 米国のWAAS等

## GBAS (Ground-Based Augmentation System)

- 地上局からGPSの補強信号を送信する方式

1. ヘリコプタ運航の現状と課題
2. IFRルート設計ツールの開発
3. ポイント・イン・スペース進入方式の飛行試験
4. ヘリコプタ搭載GPS/MSAS精度評価
5. まとめ

# ヘリIFR運航のニーズ（旅客輸送の例）

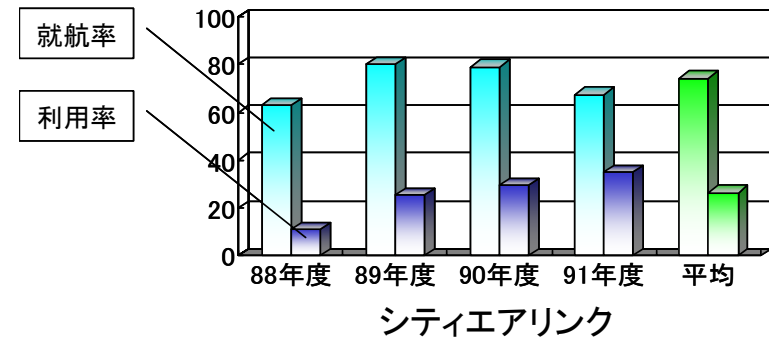


過去国内において10以上のヘリコプタ・コピュータ(2地点間の旅客輸送)が開設  
 または試験的に運航されたが、全てVFRで運航されたため、その多くが就航率の  
 低さや悪気象条件下での事故の発生等の理由によって廃止された。



旅客輸送の就航率(概算)

|           |                            |     |
|-----------|----------------------------|-----|
| ヘリコプタ     | 伊豆愛らんどシャトル<br>( '93-'02平均) | 86% |
|           | シティエアリンク<br>( '88-'91平均)   | 74% |
| 国内便旅客機の平均 |                            | 99% |



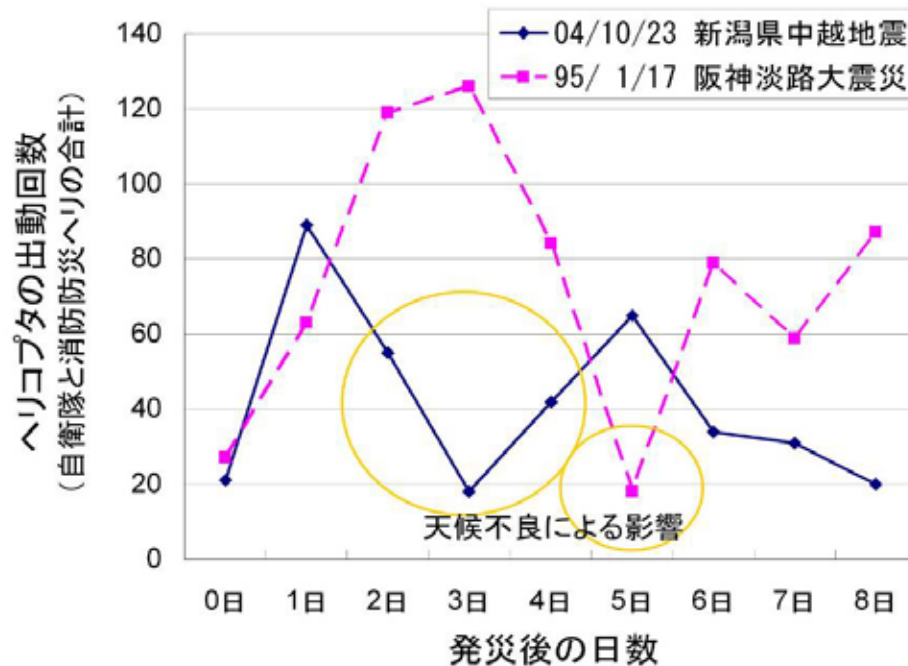
'90年代に**3件の死亡事故**が発生  
 (1990年宮崎10名, 1992年兵庫8名, 1997年愛知8名)

参考資料: 「ヘリコプターの計器飛行方式(IFR)運航に関する調査報告書, 航空局, 平成17年3月, 「同(その2)」, 平成18年3月

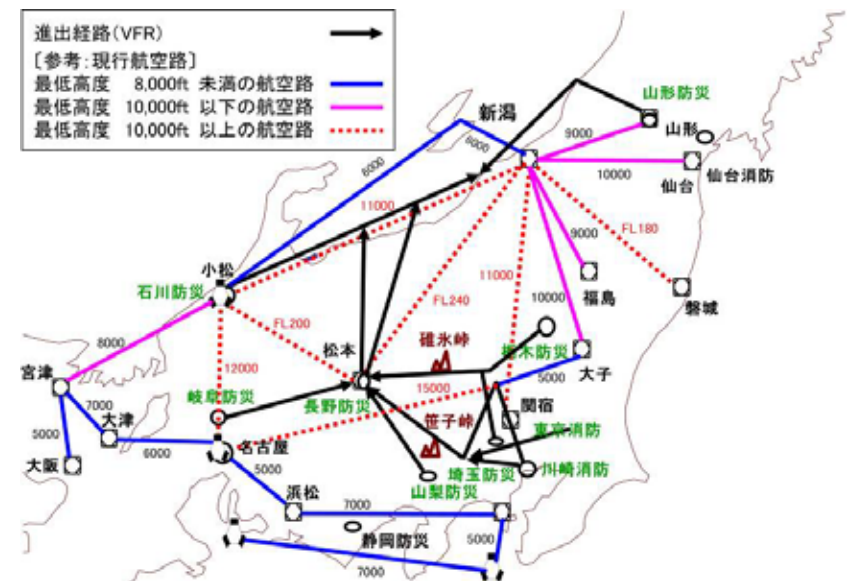
# ヘリIFR運航のニーズ(災害対応の例)



大規模災害発生後の数日間には地上の交通網が遮断され、ヘリコプタが唯一の輸送手段となるが、その間の救援活動は気象条件に大きく左右されている。広域応援出動時に利用可能なIFRルートについて検討が進められている。



救援活動が気象条件に大きく左右される状況は10年間変わっていない



新潟・福島豪雨(平成16年7月)の際のヘリコプタの広域応援飛行ルートの例

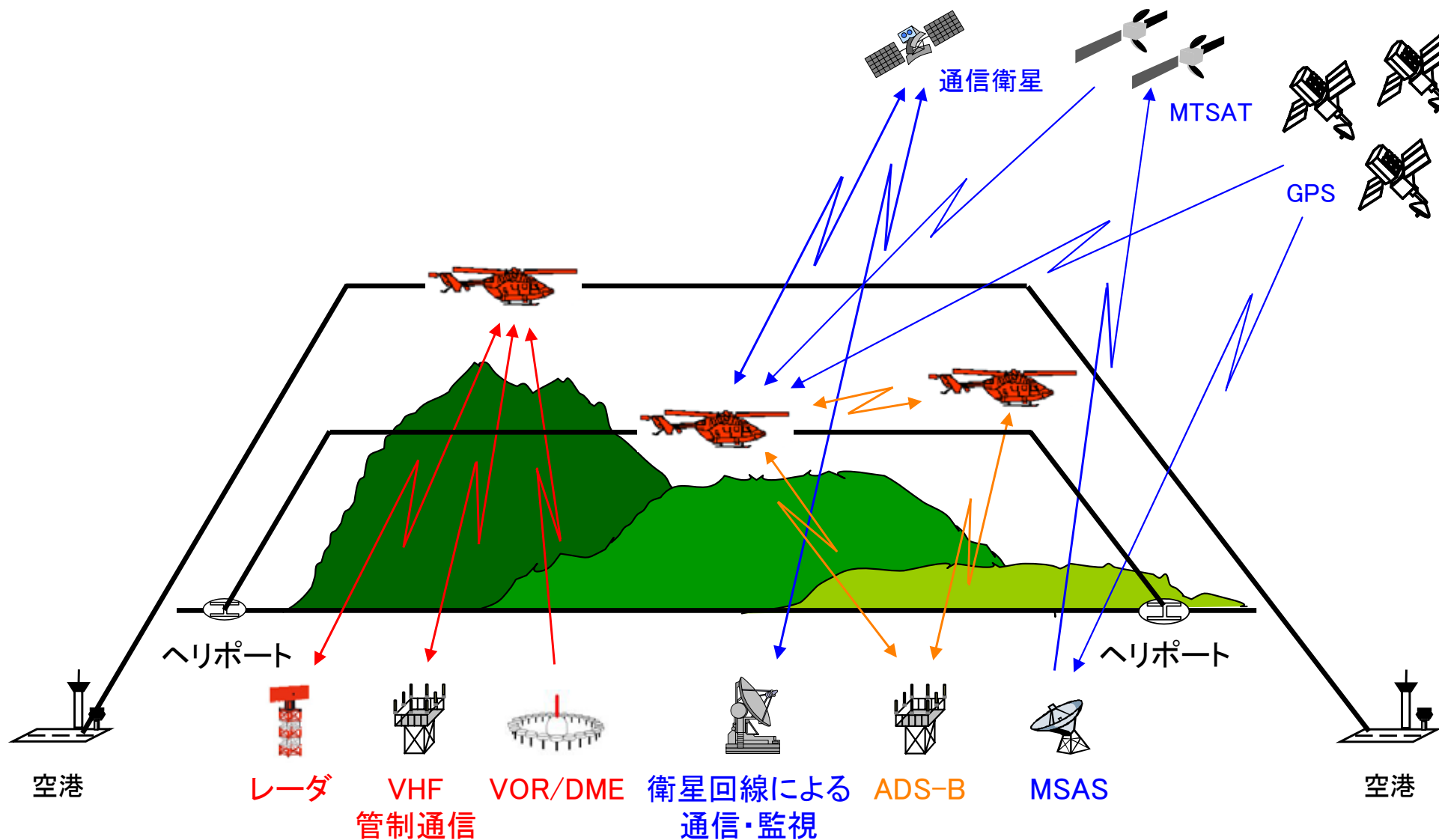
日本列島を横断するIFRルートは特に高度が高く、ヘリコプタでの利用が困難

# ヘリコプタIFR運航の課題と解決策



- ヘリコプタの運航はほとんど(97%以上)が有視界飛行方式(VFR)で行われており, 天候(視程)不良時の安全性・利便性低下の要因となっている.
- 現行の計器飛行方式(IFR)運航の航空路は, 地上の航空保安無線施設(VORやDME等)を結ぶルートであり, ヘリポート間の移動に適さない.
- ⇒ **GPS/MSASを使ったRNAVの導入**
- ヘリポートで計器進入方式が設定されているのは東京ヘリポートが唯一(救急のみ).
- ⇒ **ポイント・イン・スペース(PinS)進入方式の導入**
- ヘリコプタは非与圧でほとんどが防氷装置を持たないため低高度のルートが必要(傷病者搬送時には0.9気圧(3,000ft)が必要な場合もある).
- ⇒ **次世代の通信・監視システム(衛星通信, ADS-B等)の導入**
- ヘリコプタは2地点間移動以外の飛行が多く, ルートが定められるIFRはなじみにくい.
- ⇒ **IFR と VFRの柔軟な移行による運用, GPSグリッド方式の導入等**

# ヘリコプタに適したIFR運航のイメージ



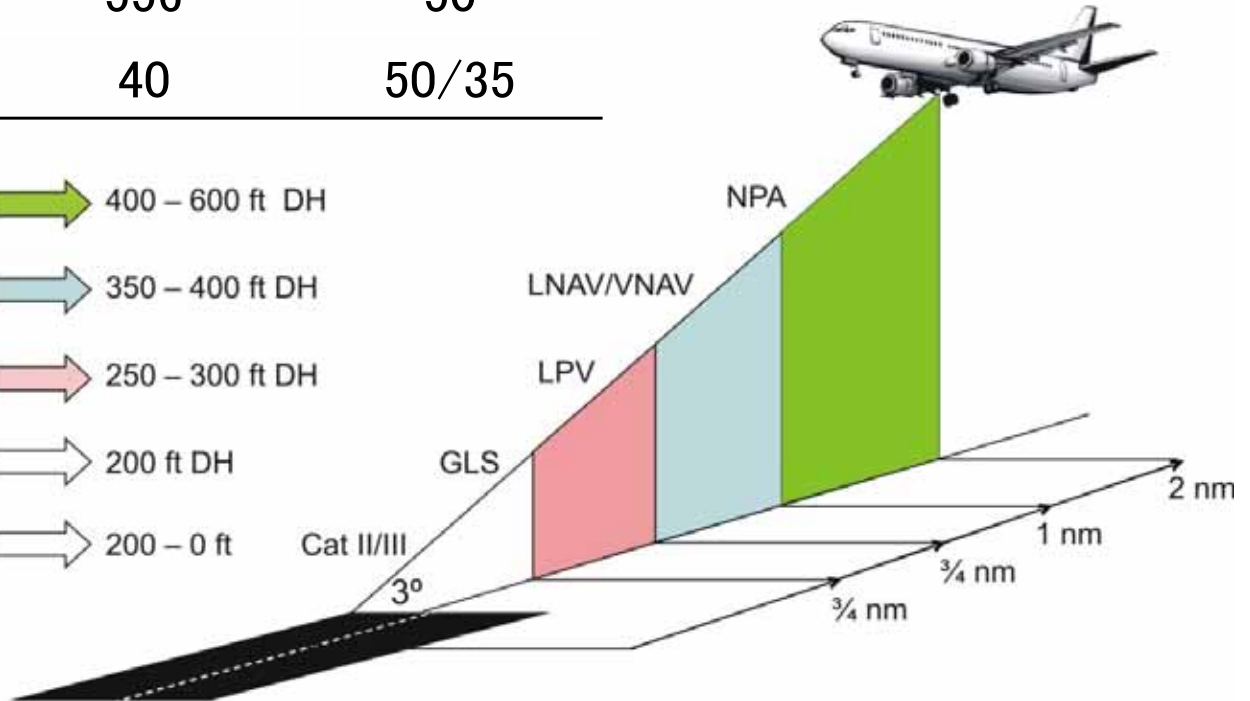
# 衛星航法による進入方式の精度要件



## 主な進入方式のAL

| 進入方式        | 決心高度 [ft] | 水平AL [m] | 垂直AL [m] |
|-------------|-----------|----------|----------|
| NPA         | ≥ 400     | 556      | —        |
| LNAV/VNAV   | ≥ 350     | 556      | 50       |
| LPV (APV-I) | ≥ 250/200 | 40       | 50/35    |

- GPS → 400 – 600 ft DH
- GPS Inertial/SBAS → 350 – 400 ft DH
- SBAS → 250 – 300 ft DH
- SBAS/GBAS → 200 ft DH
- GBAS → 200 – 0 ft



プロテクションレベル (PL):  $10^{-7}$  の測位誤差  
 アラートリミット (AL): 飛行方式ごとに許容される PL  
 アベイラビリティ: PL が AL 以下である確率



1. ヘリコプタ運航の現状と課題
2. IFRルート設計ツールの開発
3. ポイント・イン・スペース進入方式の飛行試験
4. ヘリコプタ搭載GPS/MSAS精度評価
5. まとめ

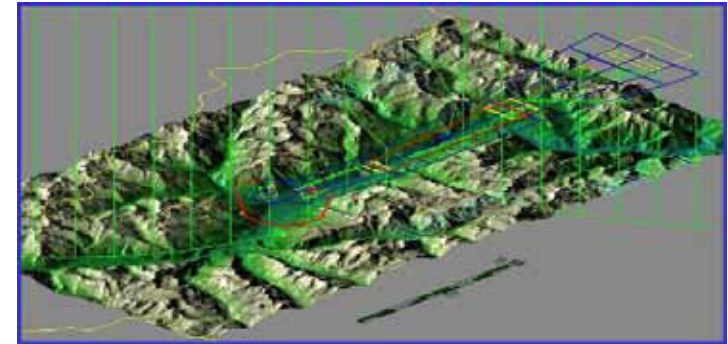
# IFRルート設計ツールの現状と課題



- 我が国では、伊IDS社製“FPDAM (Flight Procedures Design & Airspace Management)”というソフトが導入されている。

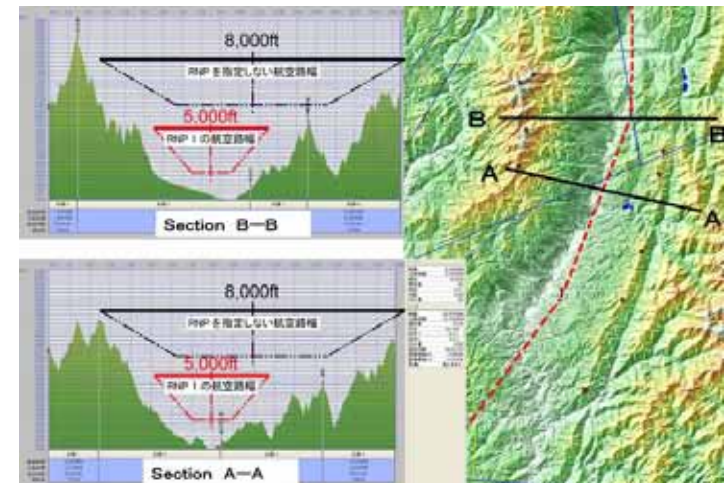
## FPDAMの概要

- 航空路(出発進入を含む)・空域の設計
- GIS/CAD環境によるインターフェイス
- ICAO(PANS OPS)準拠の方式設定
- ルート自体はマニュアルで設計
- 高価(運航者による検討等には使えない)



FPDAM

- 「ヘリコプタIFR等飛行安全研究会」(航空振興財団主催)において、ヘリコプタ用IFRルートの検討が行われているが、「カシミール3D」(地形情報を扱うフリーソフト)等を使った手作業のため、多大な時間を要し、また精度・信頼性の確保が困難。



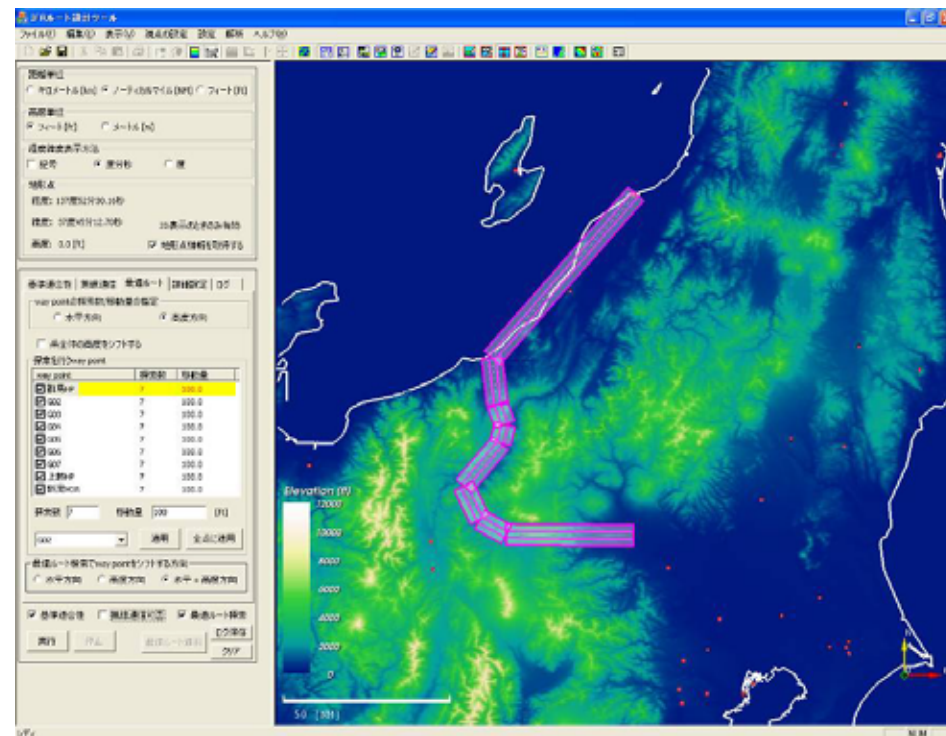
カシミール3Dを使った検討事例 10

# ヘリコプタ用IFRルート設計ツールの開発



- これまで手作業で試行錯誤的に行っていたルートの検討作業を自動化・最適化するツールを開発することにより、労力を軽減するとともに、就航率・安全性の向上を図る
- 運航者等によるルートの検討を支援する  
(黙っていても実現しない)

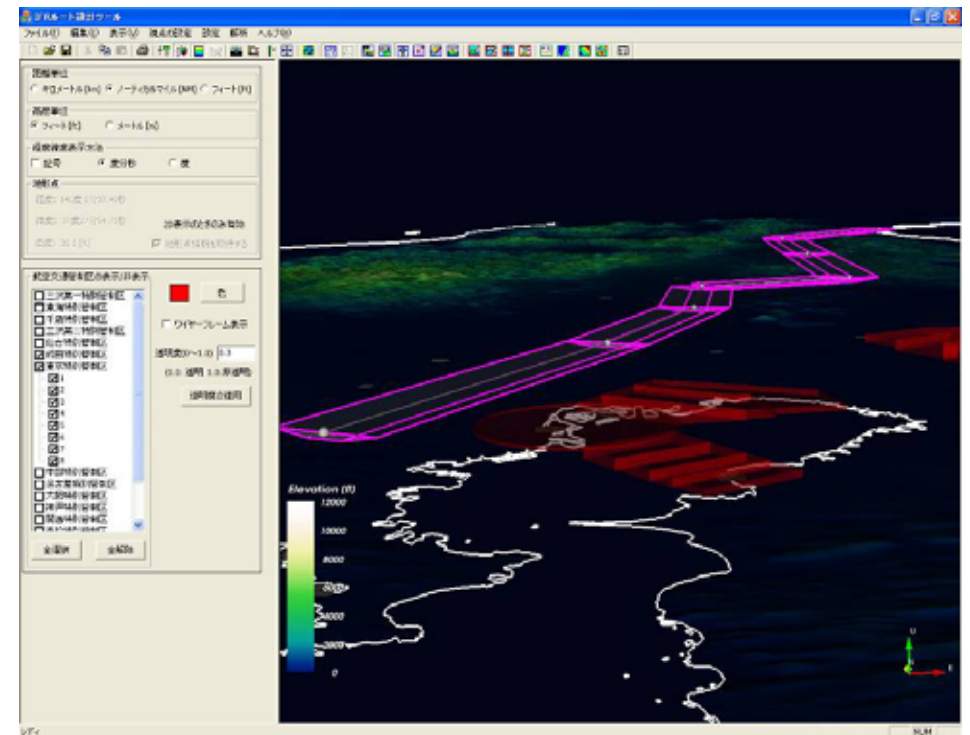
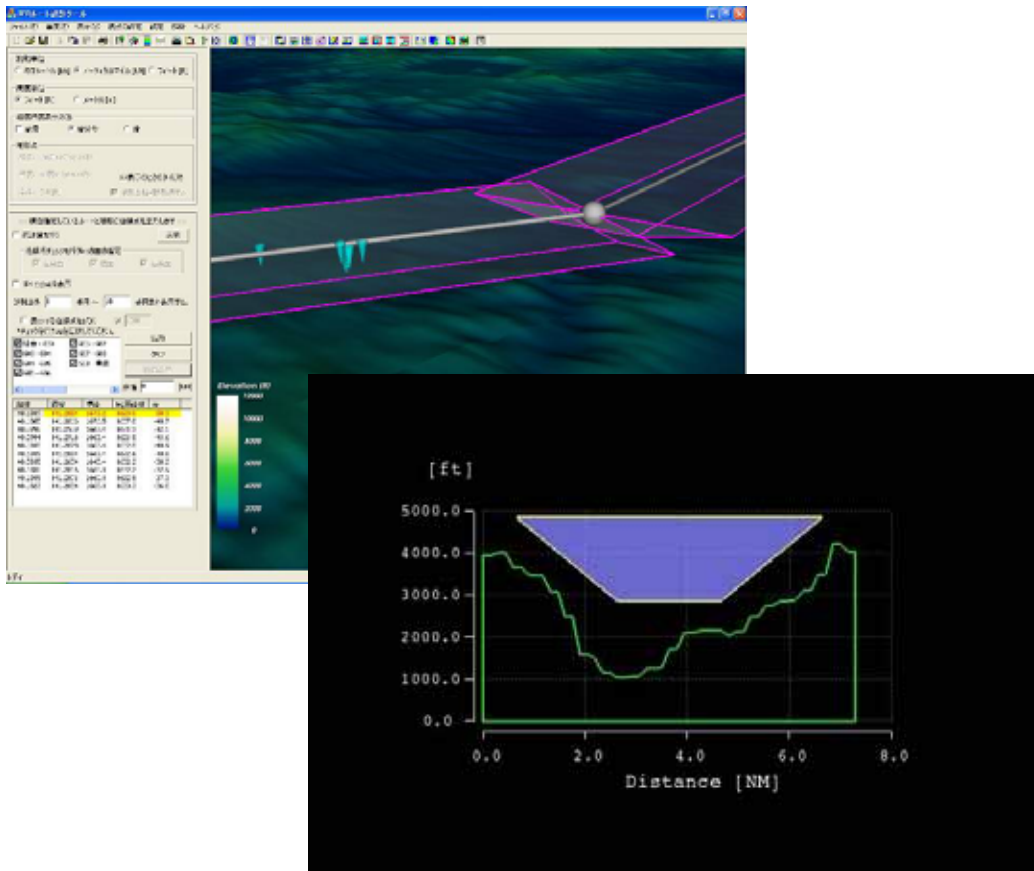
始点・終点と大まかな経由点(WP)を設定すると、経路上の最高高度点の高度が最小になるように各WPの位置・高度を自動的に最適化する



# ルート設計ツールの主な機能



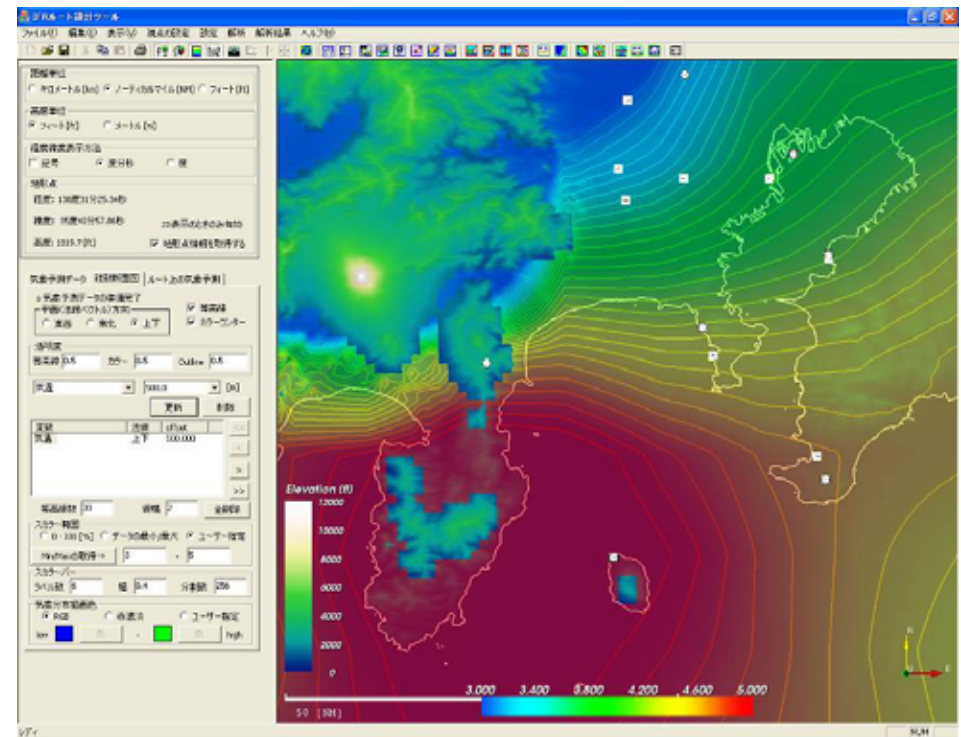
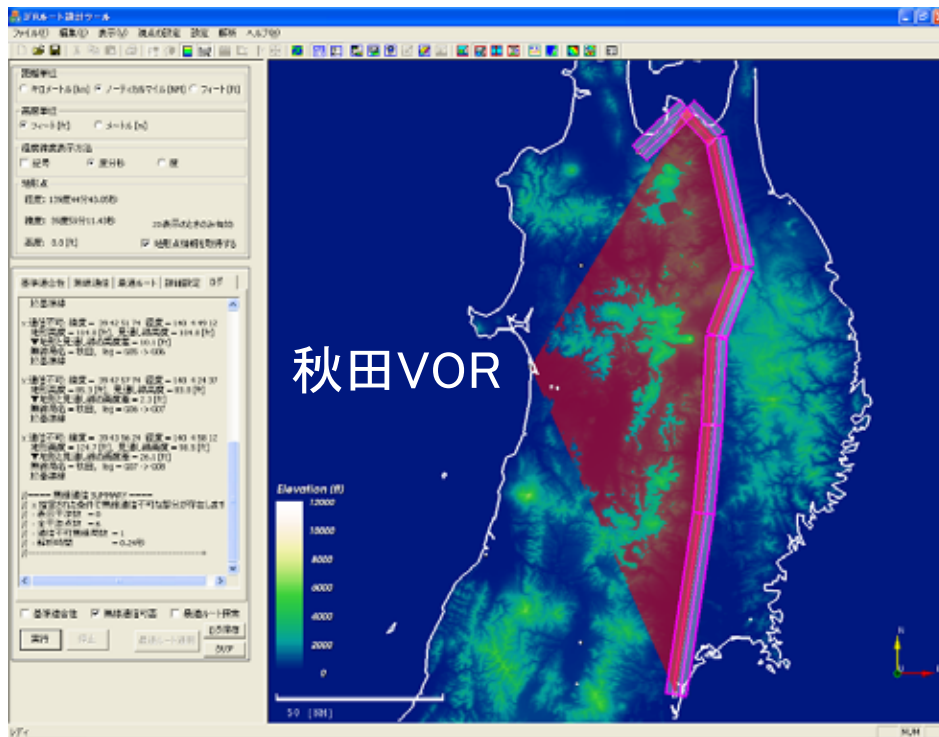
- 指定したRNP(航法精度要件)値に応じて, 航空局・ICAOの基準に準拠して地形との干渉をチェック
- 管制圏, 訓練空域等との干渉をチェック



# ルート設計ツールの主な機能



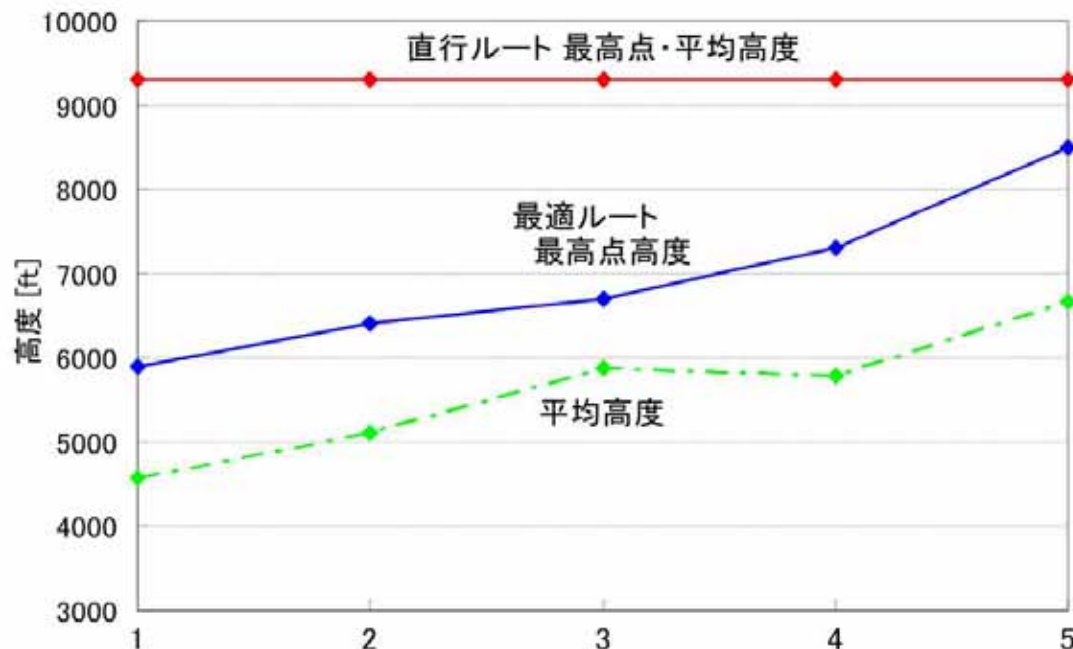
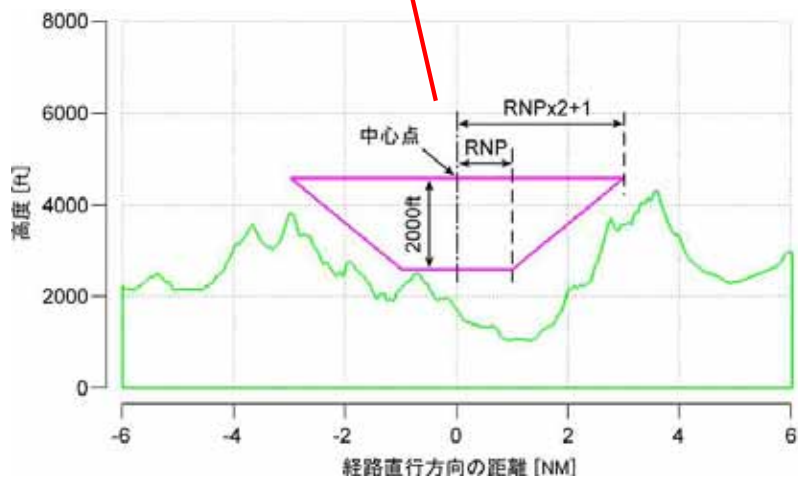
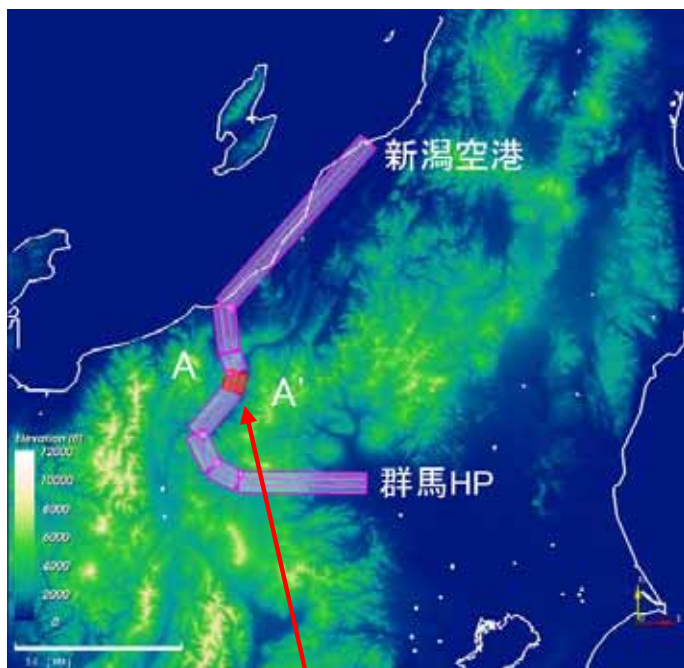
- ルート上の任意の点と地上無線施設（管制通信，VOR/DME等）との見通し線確保をチェック
- ルート周辺の気象（乱気流）予測結果を表示可能



# 設計したルート of 例



## ■ 群馬へりポート～新潟空港の日本横断ルート



↑ RNP値 ↑  
5～10年                      ~5年

航空局ロードマップによる実現時期

RNP: Required Navigation Performance  
(航法精度要件)

ツールで設計したルートを実際に飛行し、

- パイロットのワークロードを確認
- 通信の可否を確認
- 地形との間隔, 人工障害物等を目視で確認

# 飛行試験に用いた機材



JAXA実験用ヘリコプタ(三菱式MH2000A)

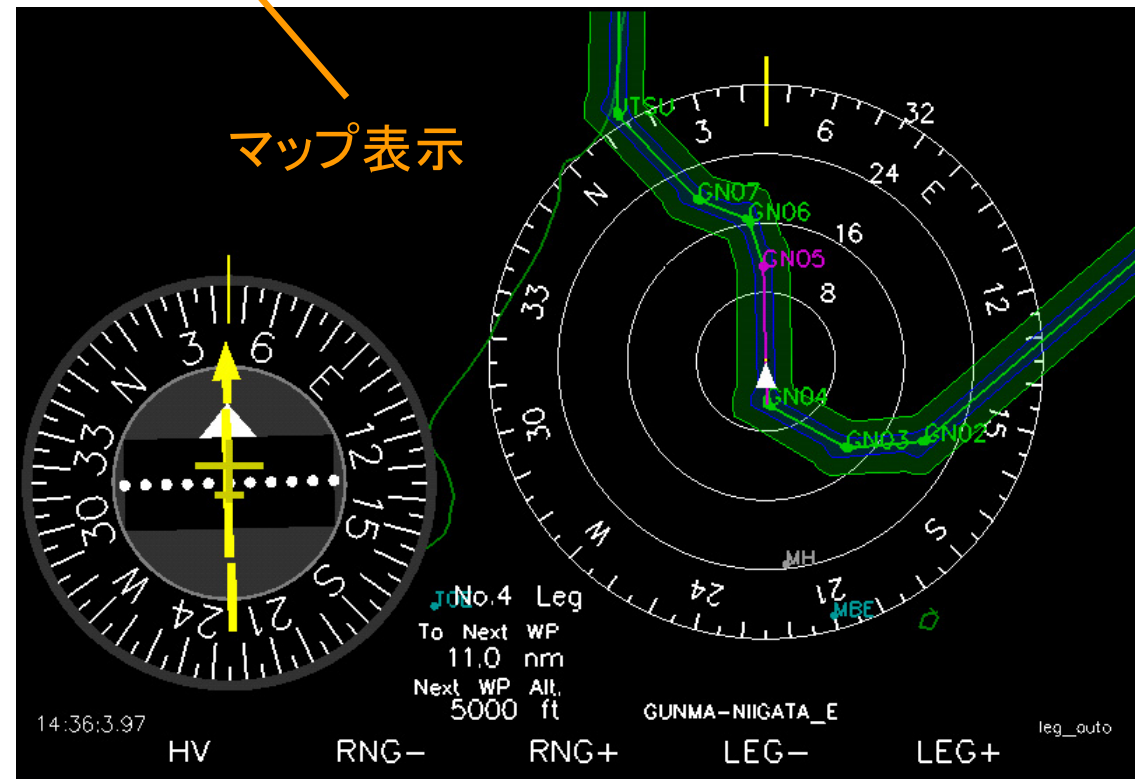


母機計器 (HSI)

コース偏位指針

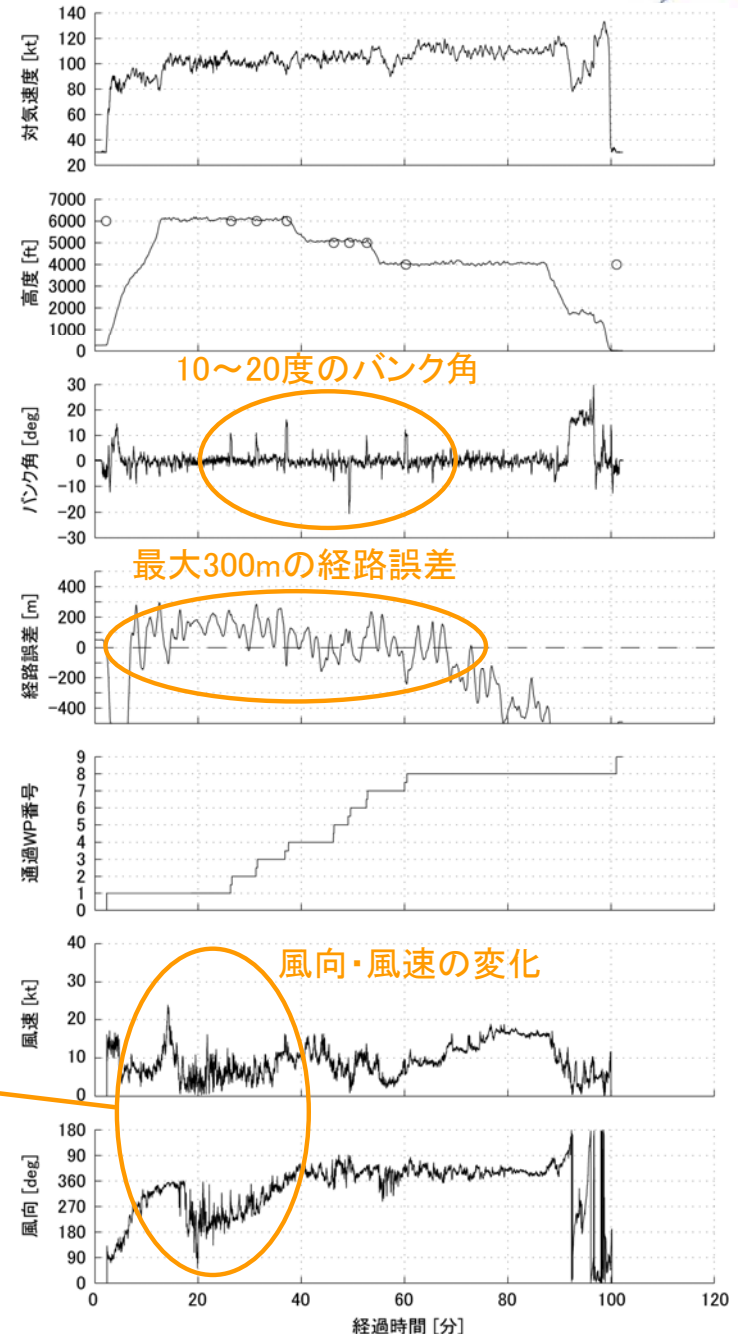
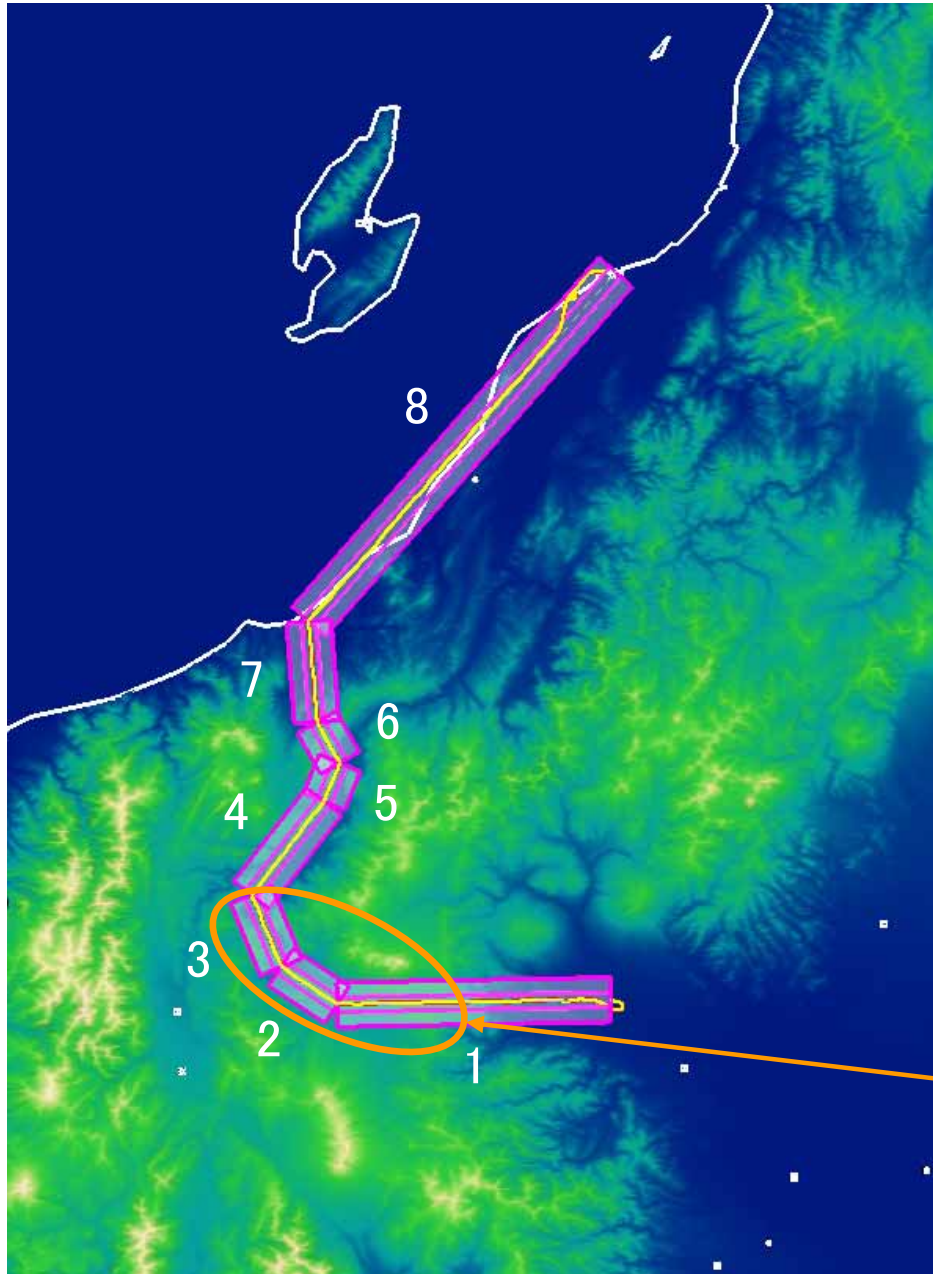
母機計器のHSI(水平状況指示装置)と  
JAXA開発のマップ表示を使用

飛行試験は有視界気象条件で実施





# 取得した飛行データの例

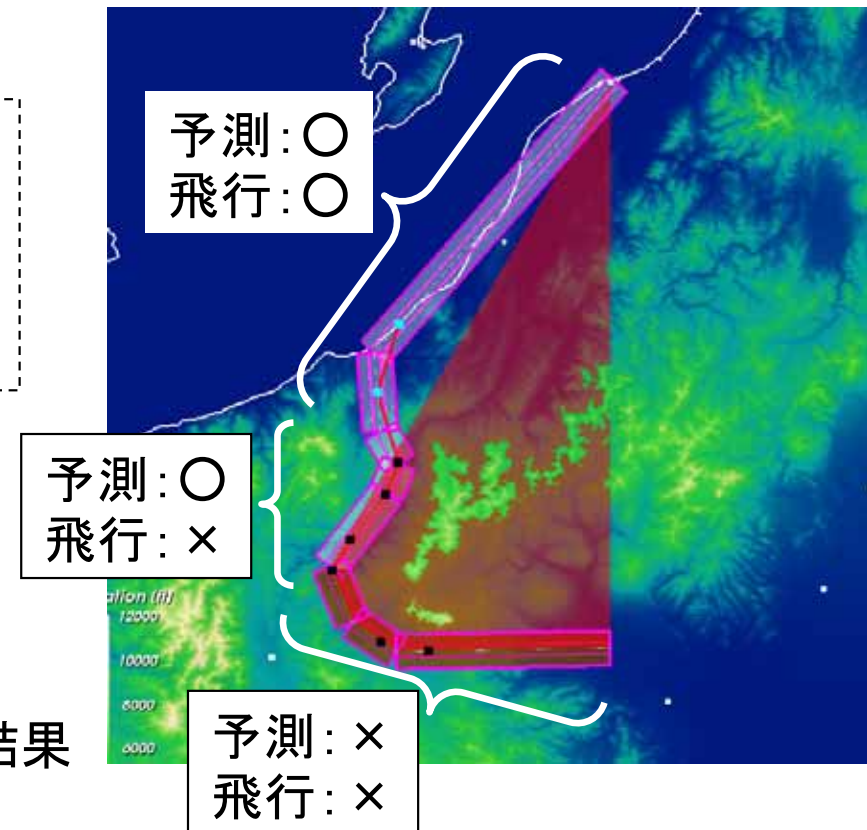


# 飛行評価による通信確認結果



- 今回飛行したルートはRNP1で極限まで高度を下げたケースであり、通信の確保は考慮せずに設計した。  
(実用化の際には、リモート局の設置や衛星通信の導入等が必要)
- 通信可否の確認結果では、一部区間で予測と異なる結果が得られた。  
(距離の影響?)

見通し線は確保できるが、通信不可だった区間があった。  
(通信可否判断では、出力や距離の影響を考慮していない。)



新潟RCAGとの通信確認結果

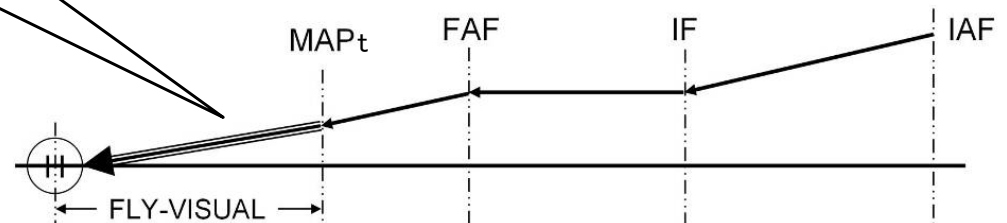
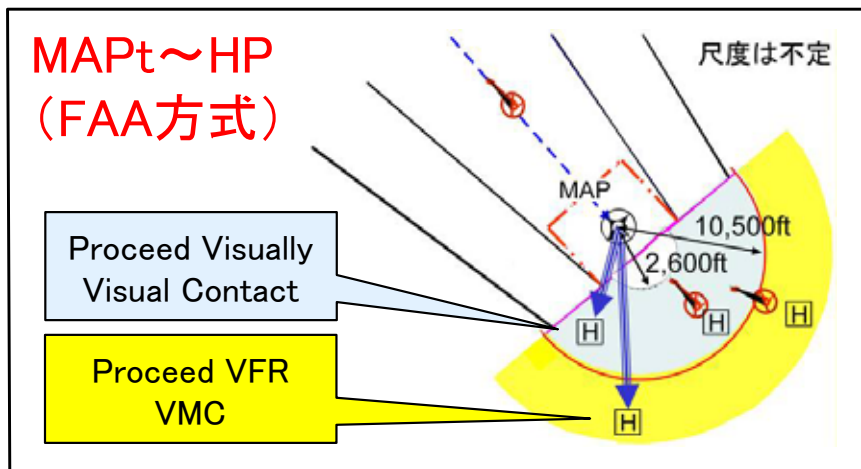
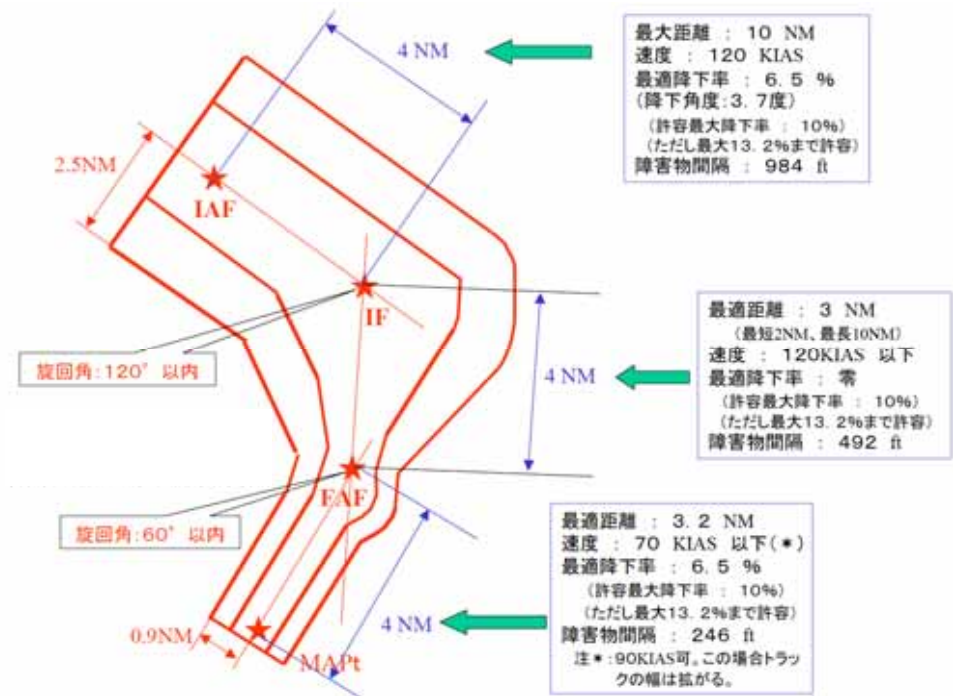
1. ヘリコプタ運航の現状と課題
2. IFRルート設計ツールの開発
3. **ポイント・イン・スペース進入方式の飛行試験**
4. ヘリコプタ搭載GPS/MSAS精度評価
5. まとめ

# ポイント・イン・スペース (PinS) 進入方式とは



## GPSを使った非精密進入方式

滑走路にアラインすることなく進入復行点 (MAPt) を空間上の任意の位置に設定できるため、ヘリポートの立地条件に依存せず計器進入方式の設定が可能。



- IAF: Initial Approach Fix
- IF: Intermediate Fix
- FAF: Final Approach Fix
- MAPt: Missed Approach Point

|       | FINAL          | INTERMEDIATE  | INITIAL        |
|-------|----------------|---------------|----------------|
| 最適距離  | 3.2NM          | 3NM (2~10NM)  | 最大10NM         |
| 最大速度  | 70kt (90kt可)   | 120kt (90kt可) | 120kt (90kt可)  |
| 最適降下率 | 6.5% (最大13.2%) | 0% (最大13.2%)  | 6.5% (最大13.2%) |
| 障害物間隔 | 75m            | 150m          | 300m           |

# PinS基準策定の経緯



- 米国で1997年に制定 (FAA ORDER 8260.42A)
- ICAOで2006年に国際基準化 (PANS-OPS)
- 同年, 我が国でも基準化 (国空制第111号『飛行方式設定基準』)
- 国際基準は米国基準をもとにしているが, 進入速度, 航路幅等が異なっている (例えばIAFでの速度, 航路幅は  
米国基準が 70kt, 2.0NM,  
国際基準が120kt, 2.5NM )
- MAPtからヘリポートまでは国際基準では定められておらず, 各国の事情に合わせて独自に定めることになっている (我が国ではまだ基準化されていない).

本基準に準拠した進入方式を実際に設計し、飛行することにより、有効性と課題を明確化するとともに、取得したデータを関係機関に提供し、実用化・普及の促進に貢献する。

以下の2カ所をモデルケースとした。

## ①群馬ヘリポート～成田空港間

我が国で数少ない**旅客輸送**が行われている路線。前橋から成田まで陸路で3時間、ヘリコプタで1時間（飛行時間は40分）。

## ②立川飛行場

広域**防災基地**として各官公庁等の防災関係機関の施設が集約、大規模災害時の人員・物資輸送の拠点。

# PinS飛行試験の実施内容



- 関東地方は多数の空域が混在するため、進入経路も複雑になる。パイロットのワークロード，飛行技術の観点から基準の適用性を評価する。
- マニュアルで操縦した場合の設定経路への追従精度を定量的に評価する。
- GPSおよびMSASの受信状況を定量的に評価する。
- 管制機関との通信状況を確認する。
- 従来型の計器を用いて飛行する場合とマップ表示を用いる場合を比較し、マップ表示の必要性，有効性を評価する。

従来型計器(HSI)



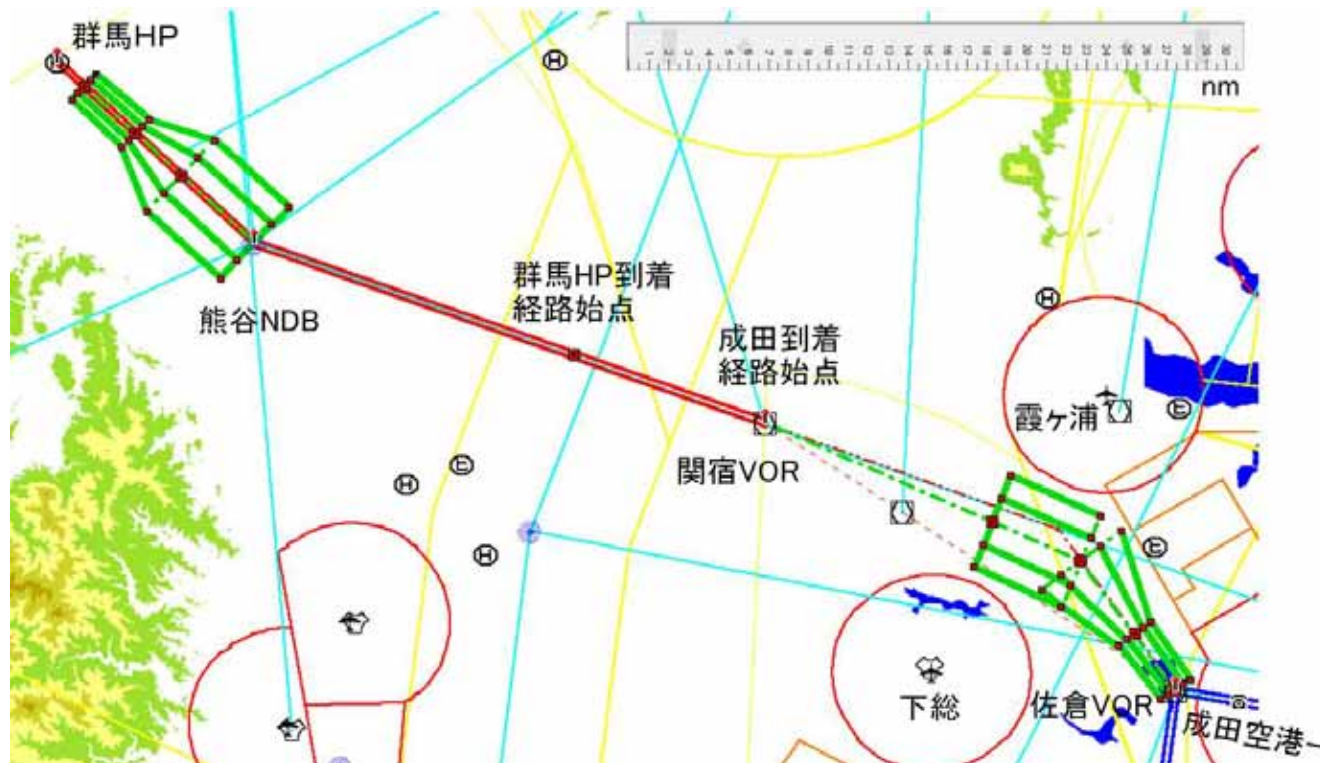
マップ表示



# 設計したルート(その1:群馬HP~成田)



- 群馬HPから熊谷NDB, 関宿VORを経由し, 佐倉VORをMAPtとする.
- 群馬HP周辺は比較的障害物も無く, 直線的な経路が設定可能であるが, 成田側は下総と霞ヶ浦の管制圏を避けるよう旋回する必要がある.
- MAPt後の成田空港までの進入経路は現行のVFRと同じとする.

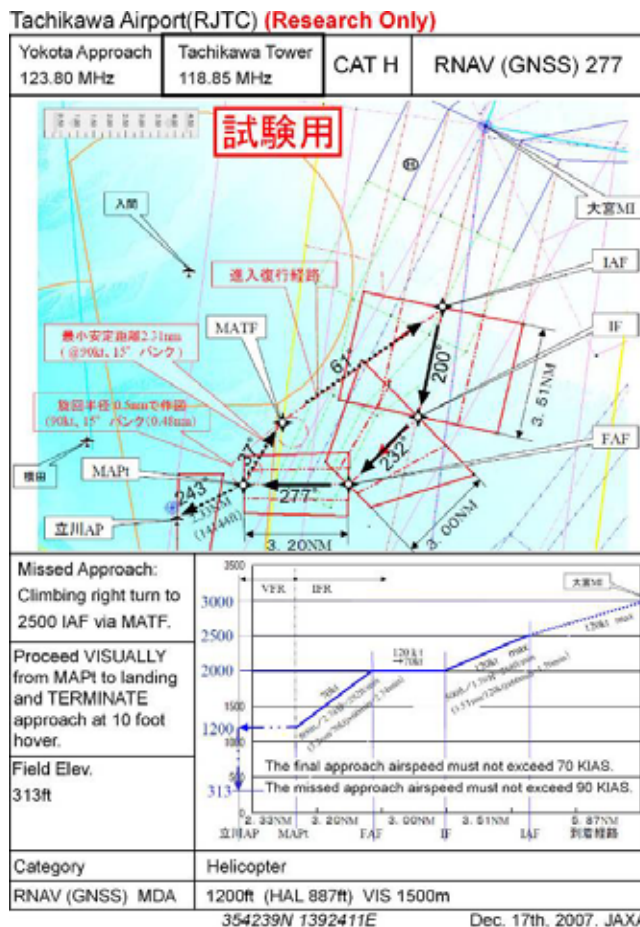




# 設計したルート(その2:立川飛行場)



- 北からの進入(方式Ⅰ)と南からの進入(方式Ⅱ)を設定.
- 方式Ⅰは, 大宮NDBから入間, 横田の管制圏を迂回して進入.
- 方式Ⅱは, 横須賀VOR方面から進入して荏田NDBをIAFとする.

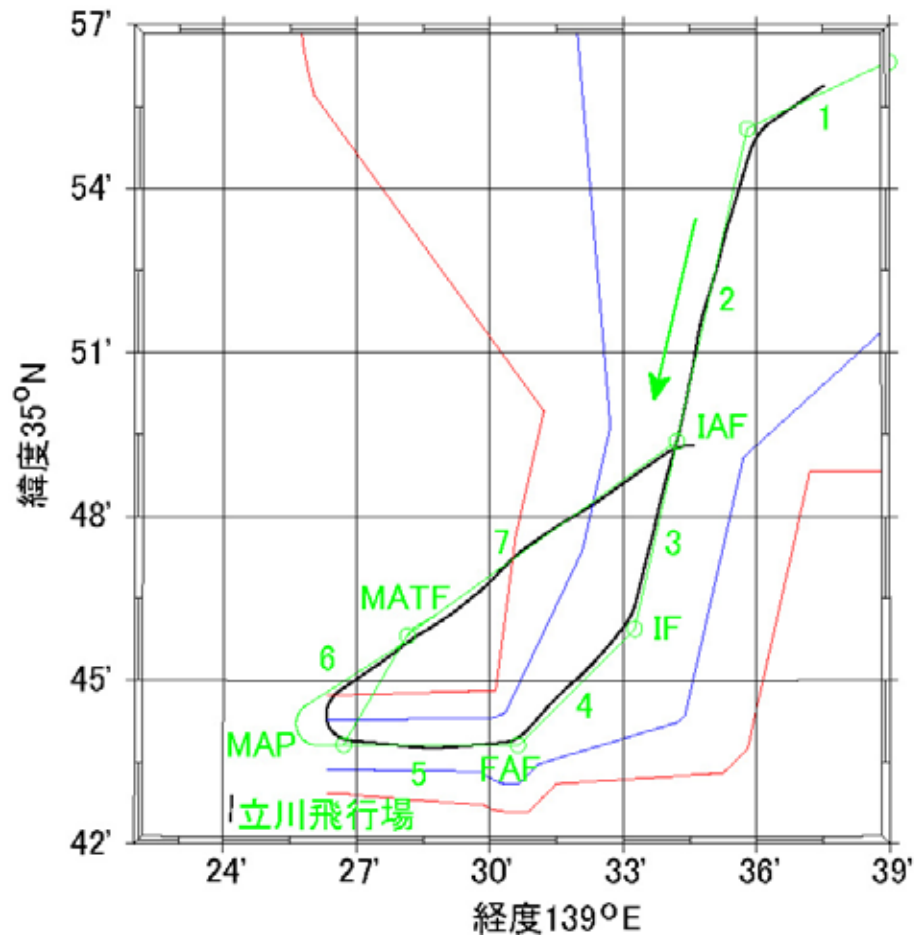


方式Ⅰ

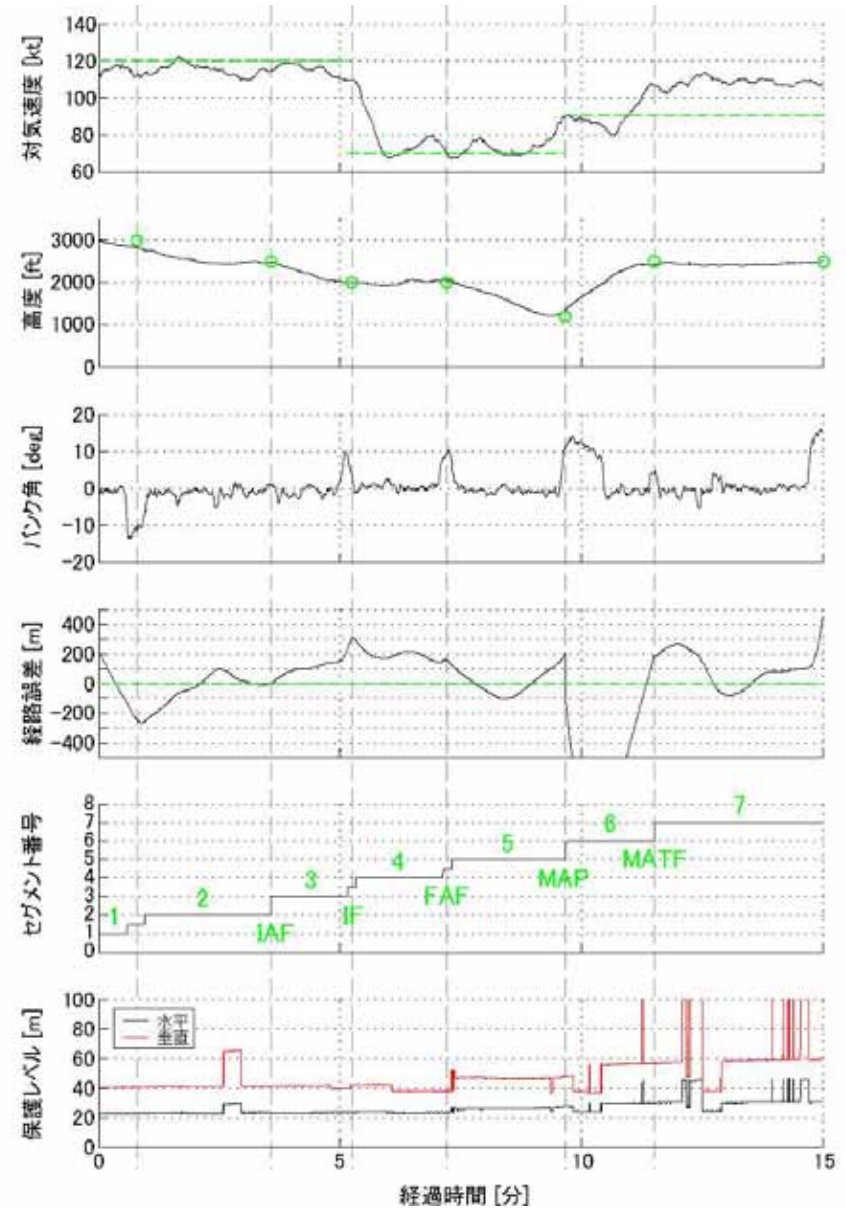


方式Ⅱ

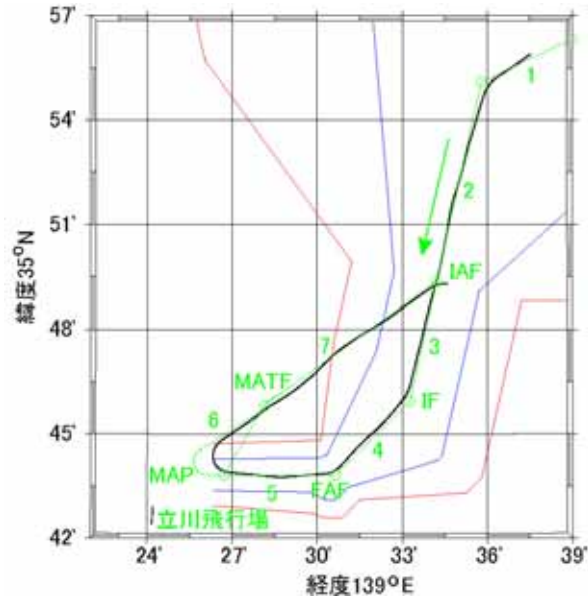
# 飛行試験データの例



立川, 方式 I (北からの進入)



# 飛行試験データの例



一次区域幅の  
経路追従精度 (m) 最大30%以下

| セグメント | $\sigma$ | 95%値 | 最大値 |
|-------|----------|------|-----|
| 2     | 133      | 284  | 406 |
| 3     | 138      | 339  | 443 |
| 4     | 103      | 308  | 376 |
| 5     | 91       | 180  | 285 |
| 全体    | 129      | 276  | 443 |

## 運航カテゴリとアラートリミット

|             | 水平     | 垂直      |
|-------------|--------|---------|
| エンルート       | 4 NM   | 規定無し    |
| ターミナル       | 1 NM   |         |
| 非精密進入       | 0.3 NM |         |
| LNAV/VNAV   | 0.3 NM | 50 m    |
| LPV (APV I) | 40 m   | 50 m    |
| GLS CAT I   | 40 m   | 10~15 m |

## GPSの水平/垂直保護 アラートリミットの 最大10%以下

| 飛行日時    | 平均値       | 95%値      | 最大値        |
|---------|-----------|-----------|------------|
| 12/12PM | 26.1/47.7 | 28.0/54.9 | 28.9/85.3  |
| 12/18AM | 21.7/41.9 | 22.6/43.9 | 22.6/45.4  |
| 12/18PM | 26.5/48.3 | 30.8/66.5 | 46.1/110.0 |
| 12/19AM | 22.6/44.4 | 24.4/48.2 | 25.3/49.1  |
| 12/19PM | 27.0/49.4 | 30.8/65.5 | 47.0/110.3 |
| 全体      | 24.6/46.1 | 30.8/60.1 | 47.0/110.3 |

(立川方式 I, 全フライトの統計値)

# 飛行試験結果のまとめ



- 設定経路に対する飛行精度は一次区域幅に対しても十分な余裕があり、飛行技術上問題ないことが確認された。
- MAPt通過後、旋回角度が大きかつ次のFIXまでの距離が短いため、進入復行する際にワークロードがやや高い(許容範囲以内)という指摘があった。(空域を最小限にするため、許容される最大旋回角度(120度)を適用した。)
- MSASを利用した場合の水平保護レベルは、旋回を含む全ての飛行区間で非精密進入のアラートリミット以下であった。(ただし、APV I のアラートリミットは越えるケースが見られた。)
- 無線交信(横田アプローチ, 立川タワー)はコース全域で感明良好であった。
- マップ表示があった方が経路の変化を予測できるためワークロードが低い。ただし、コースに慣熟し、進入チャートが記憶できていれば従来計器(HSI)のみで問題なく飛行可能。

# 関係機関からの参加者のコメント



今回の飛行試験では、航空局(保安企画課, 管制技術課), 自衛隊(立川基地管制官), 東京消防庁(パイロット)等の関係者に同乗いただいた。

得られた主なコメントをまとめる。

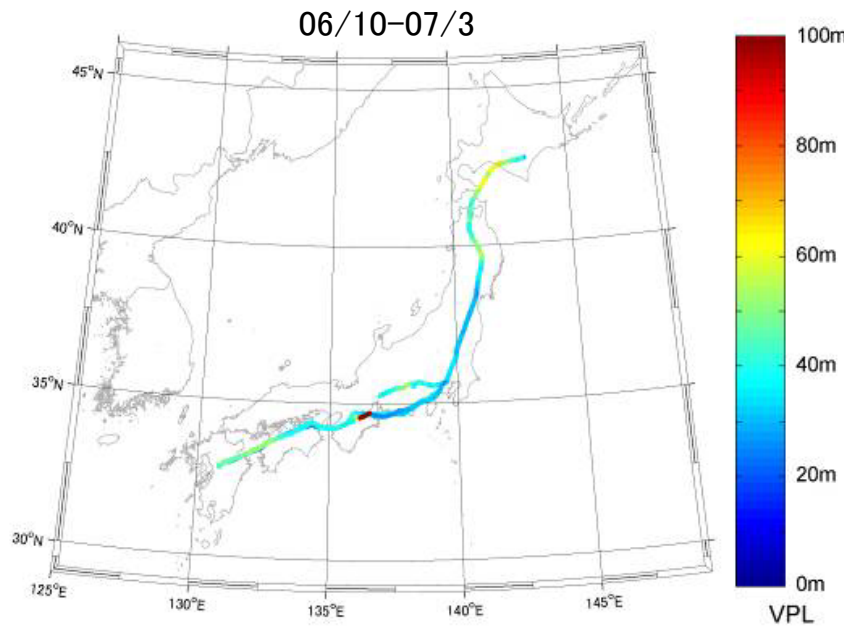
- 立川ではGCAによる計器進入が行われているが, 方式 I が実現すればより効率良い運航が可能になる。
- MAPt以降をVFRとするかIFR(Fly Visually)にするかについては, 管制(間隔設定)のやりやすさを考えるとIFRの方が良い(ただし, 管制の体制が整っている飛行場・ヘリポートの場合)。
- 管制官にとって横田から立川に管制が移る時のセパレーションの確保が問題。
- 中間進入セグメントでのレベルオフは不要ではないか。ワークロード, 燃費, 騒音の観点からも無い方が良い。
- MAPtはもう少し立川飛行場に近い方が良い(今回は場周経路への接続を考慮した)。
- 進入中にGPSが使用不可となった場合の手順も検討が必要。

1. ヘリコプタ運航の現状と課題
2. IFRルート設計ツールの開発
3. ポイント・イン・スペース進入方式の飛行試験
4. **ヘリコプタ搭載GPS/MSAS精度評価**
5. まとめ

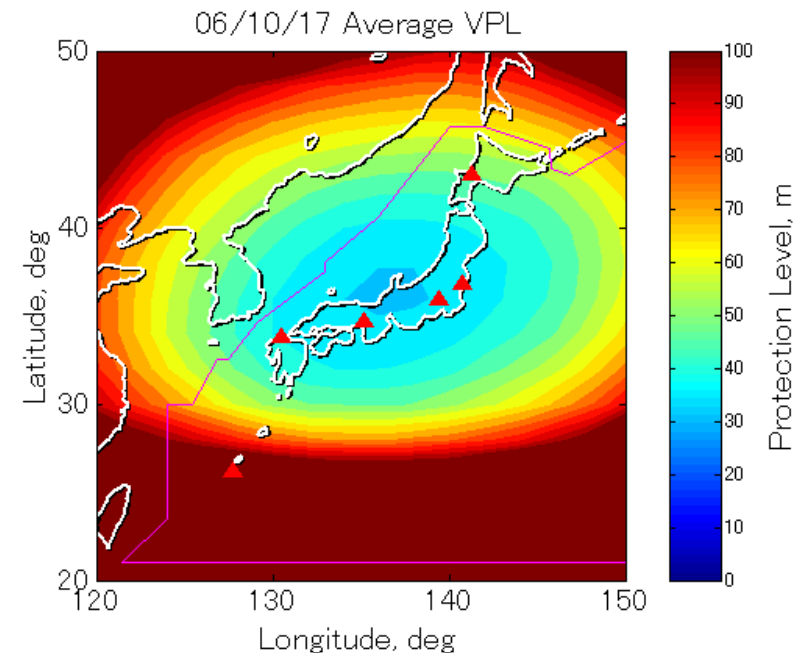
# ヘリコプタによるMSAS精度飛行評価



- JAXAの実験用ヘリコプタにGPS/SBAS受信機(古野電気製GW-10II)を搭載し, 飛行中の精度評価を行った.



MSAS飛行評価結果の例



MSAS地上評価結果の例  
(ENRI資料より)



GPS/SBAS受信機搭載状況

# ヘリコプタによるMSAS精度飛行評価



| フライト<br>番号 | 実施日      | 飛行空域    | PL平均値[m]<br>(HPL/VPL) | 利用性*[%] |           |            |
|------------|----------|---------|-----------------------|---------|-----------|------------|
|            |          |         |                       | NPA     | LNAV/VNAV | LPV(APV-I) |
| F1         | 06/10/30 | 帯広～青森   | 28/50                 | 100.0   | 50.9      | 50.9       |
| F2         | 06/10/30 | 青森～花巻   | 30/46                 | 100.0   | 67.4      | 67.4       |
| F3         | 06/10/31 | 花巻～調布   | 19/32                 | 100.0   | 99.9      | 99.9       |
| F4         | 06/11/08 | 調布～名古屋  | 23/41                 | 100.0   | 93.0      | 93.0       |
| F5         | 06/11/17 | 伊勢湾H～調布 | 27/38                 | 100.0   | 96.0      | 96.0       |
| F6         | 07/03/12 | 調布～伊勢湾H | 26/40                 | 100.0   | 91.1      | 91.1       |
| F11        | 07/03/22 | 伊勢湾H～調布 | 17/29                 | 100.0   | 99.9以上    | 99.9以上     |
| F7         | 07/03/12 | 伊勢湾H～高松 | 31/37                 | 100.0   | 99.4      | 99.3       |
| F10        | 07/03/22 | 高松～伊勢湾H | 41/59                 | 100.0   | 78.3      | 78.3       |
| F8         | 07/03/12 | 高松～熊本   | 24/30                 | 100.0   | 99.9以上    | 99.9以上     |
| F9         | 07/03/22 | 熊本～高松   | 29/47                 | 100.0   | 63.1      | 63.1       |

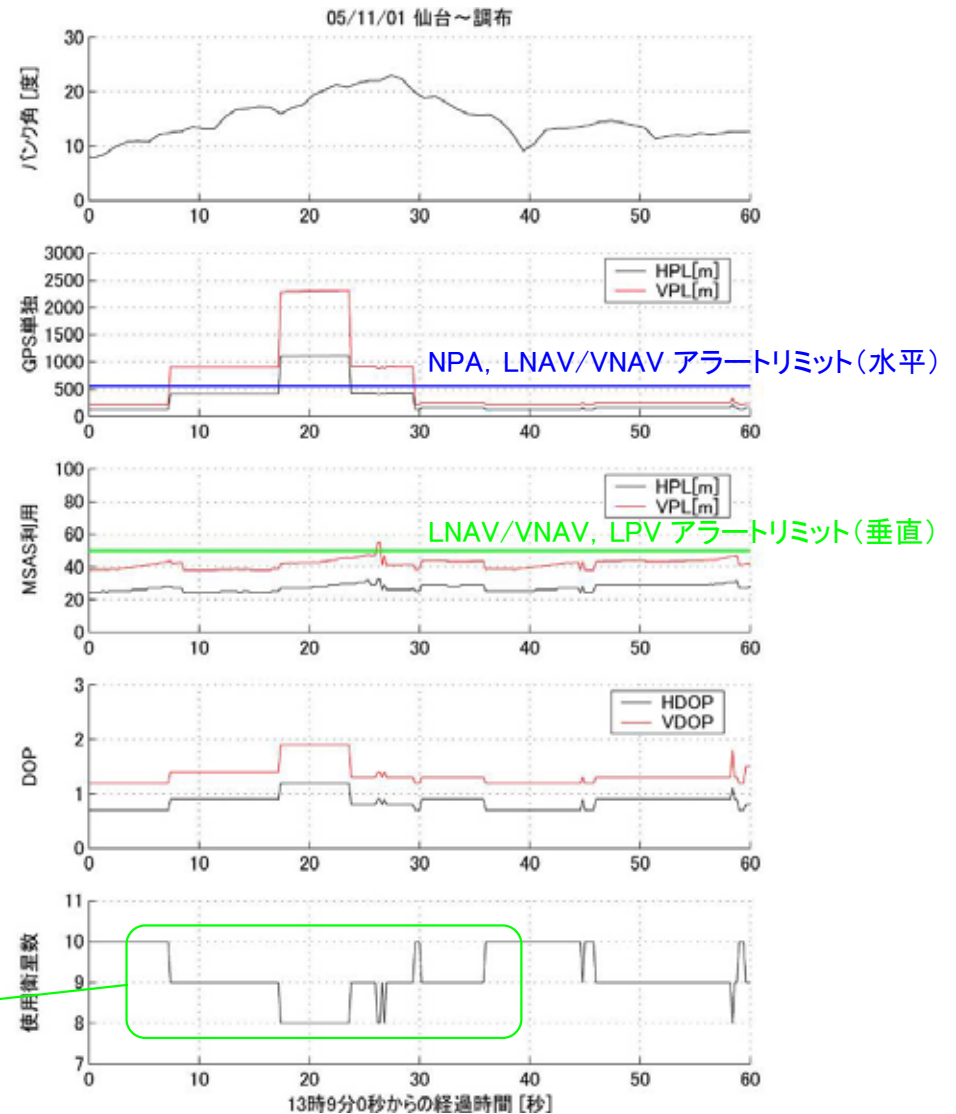
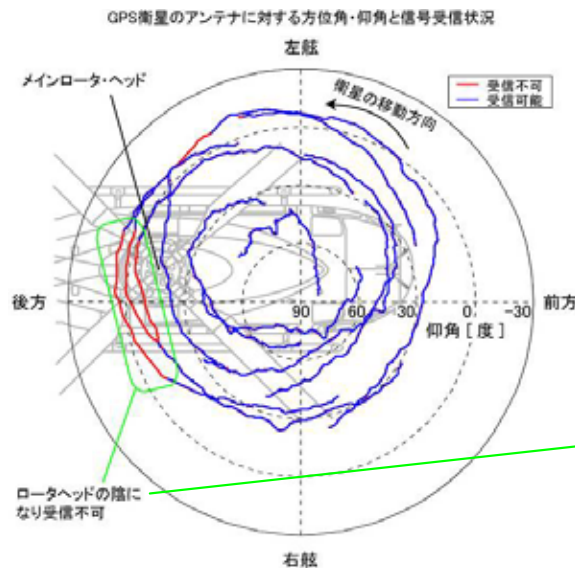
\*1フライト(1～2時間程度)で算出した値



# 遮蔽・マルチパスの影響評価



- ヘリコプタは胴体より上部にメインロータやエンジン等があるため、GPS衛星の仰角が低い場合に、電波の遮蔽・マルチパス等の問題が生じやすい。



# 遮蔽・マルチパスの影響評価



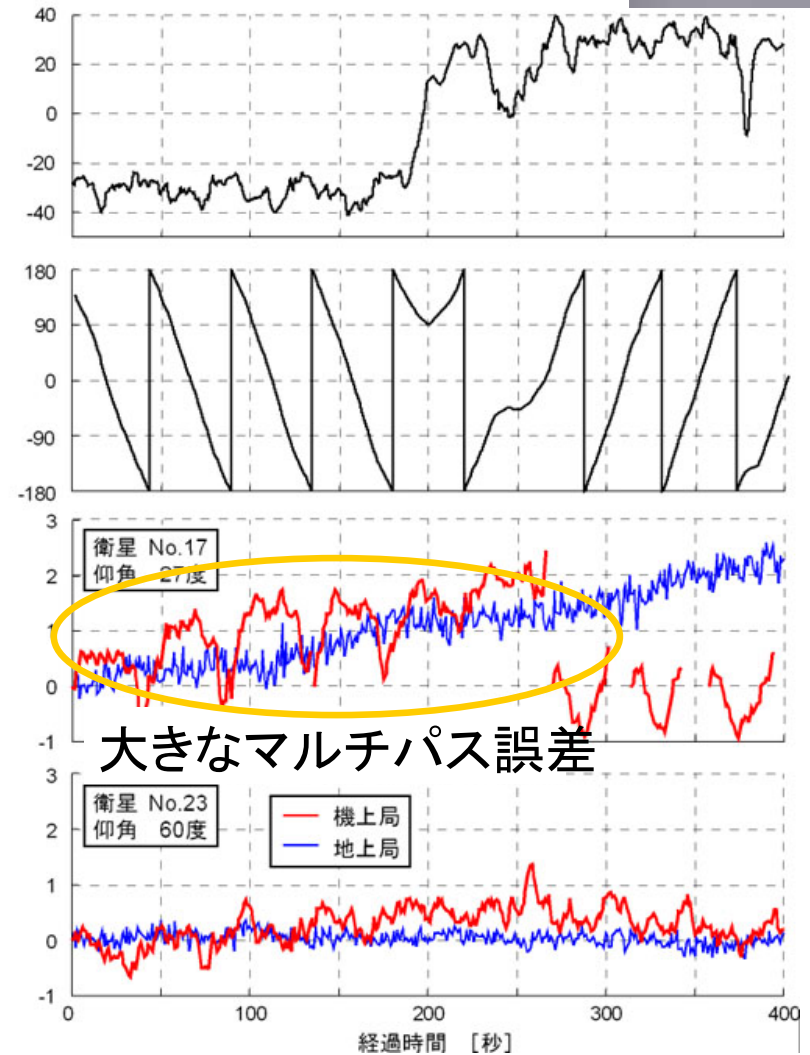
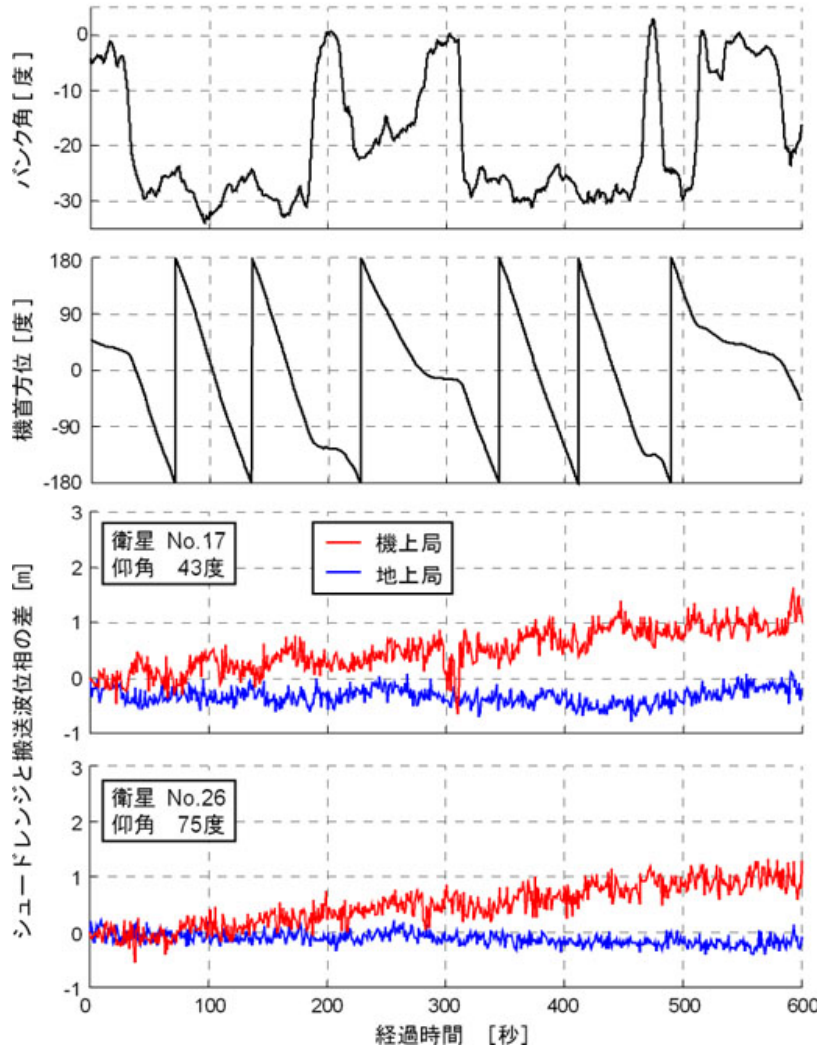
エンルート，非精密進入では大きな問題とはならないが，精密進入の実現の際には技術課題となる可能性がある。



固定翼機 (MuPAL- $\alpha$ ) の場合



ヘリコプタ (MuPAL- $\epsilon$ ) の場合



# まとめ



- GPS/SBAS (MSAS) の実用化によって、ヘリコプタに適した IFR 運航が可能になりつつある。
- 一方で、実際の方式設定はあまり進んでいないのが現状。
- 防災等の公共ニーズの高い分野から導入を図り、一般運航にも拡大することが期待される。
- JAXA では、関係機関との連携により、必要な技術開発を進める。

# 今後の予定



## ■ GBASを使ったヘリポートへの精密進入方式の研究開発計画

- 旅客機ではILSやGBASを使った精密進入が実現されているが、設置面積やコストの制約でヘリポートには設置できない。
- 空港に設置されたGBASを使って近隣のヘリポートに精密進入方式を設定する技術の研究開発を行う。

### 【主な技術課題】

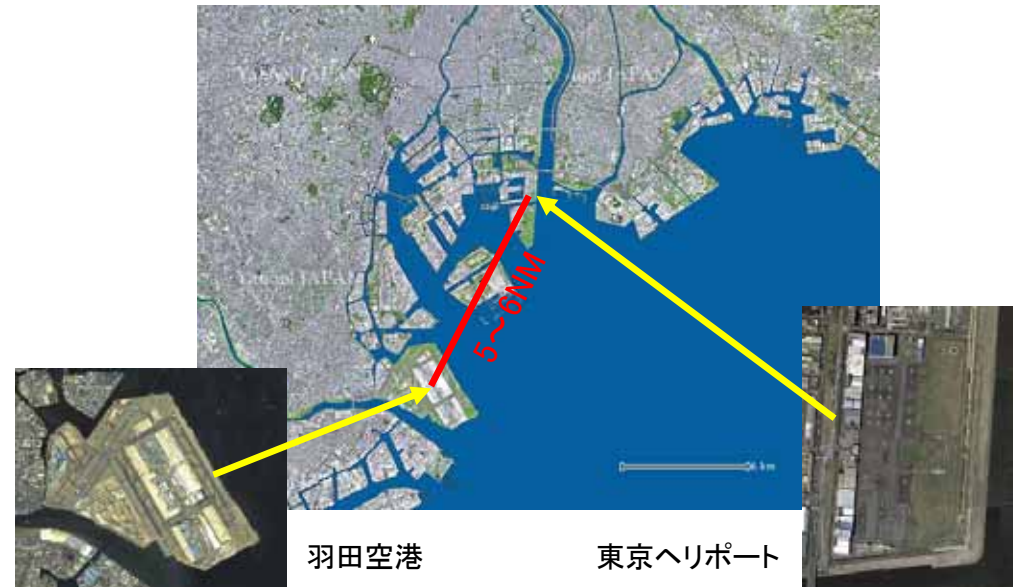
- ヘリコプタの特性を考慮した進入方式の開発と飛行実証
- 空港近隣におけるGBASのインテグリティ（信頼性）の評価・向上

ILS: 計器着陸システム

GBAS: 地上局を用いたGPSの補強システム

### 【適用事例】

- 羽田空港のGBASを使って東京ヘリポートに方式を設定



東京ヘリポートでは現在我が国で唯一の計器進入方式が設定されているが、羽田空港のトラフィックへの影響から、利用は救急患者搬送の場合に限定されている。GBASの利用により、羽田との干渉を避けつつ、就航率向上が可能になる。