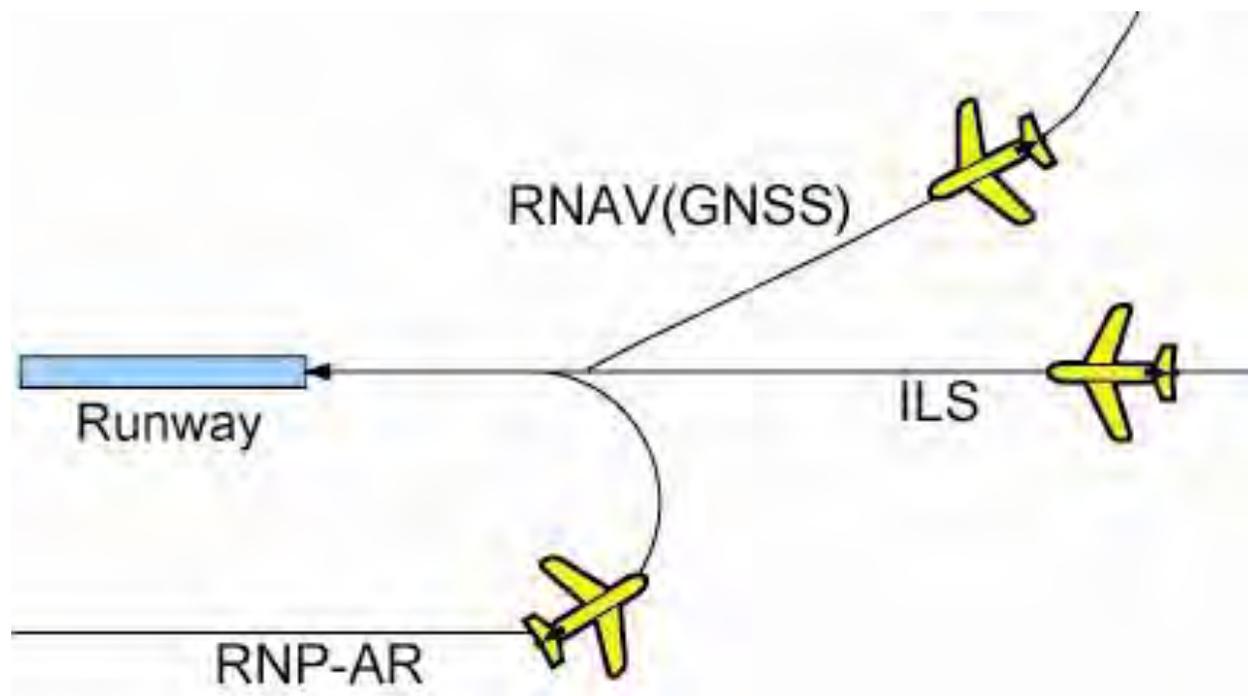


RNP AR等の混合運用に関する 安全性保証のための分析について

航空交通管理領域 天井 治、松岡 猛
海上保安大学校(元航空交通管理領域) 藤田 雅人



内容

1. 研究の背景

RNP AR進入方式と従来方式との混合運用

2. Safety Case

3. 研究の進め方

4. 飛行時間のバラツキの推定

5. ハザード解析手法の検討

6. 航空管制のリアルタイムシミュレーション

7. まとめ

研究の背景

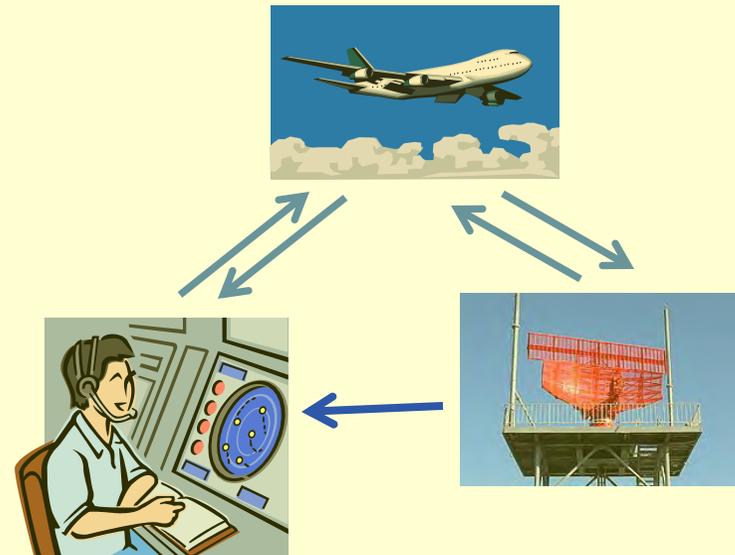
有視界飛行方式 (Visual Flight Rules: **VFR**)

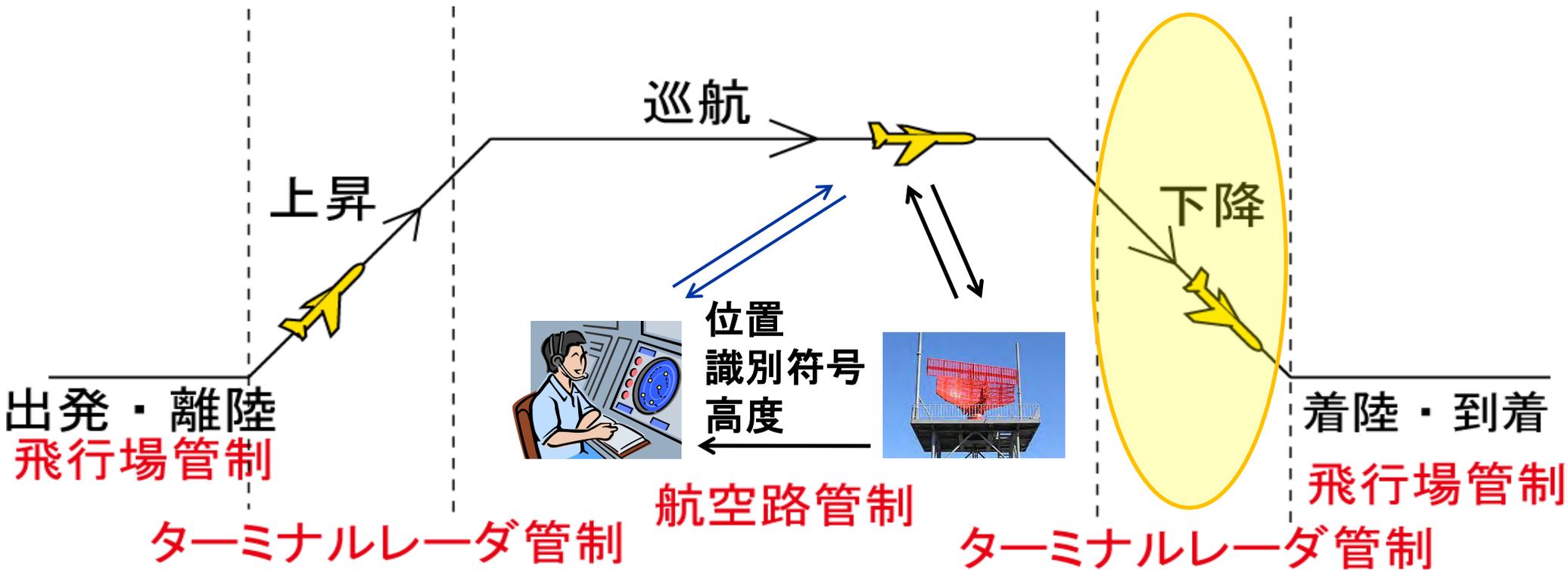
- ・遊覧飛行、航空写真の撮影等
- ・VFR機用の高度帯あり
- ・視程の良い有視界気象状態 (VMC) 時のみ



計器飛行方式 (Instrument Flight Rules: **IFR**)

- ・常に航空管制官の指示に従って飛行
- ・航空会社の定期旅客便

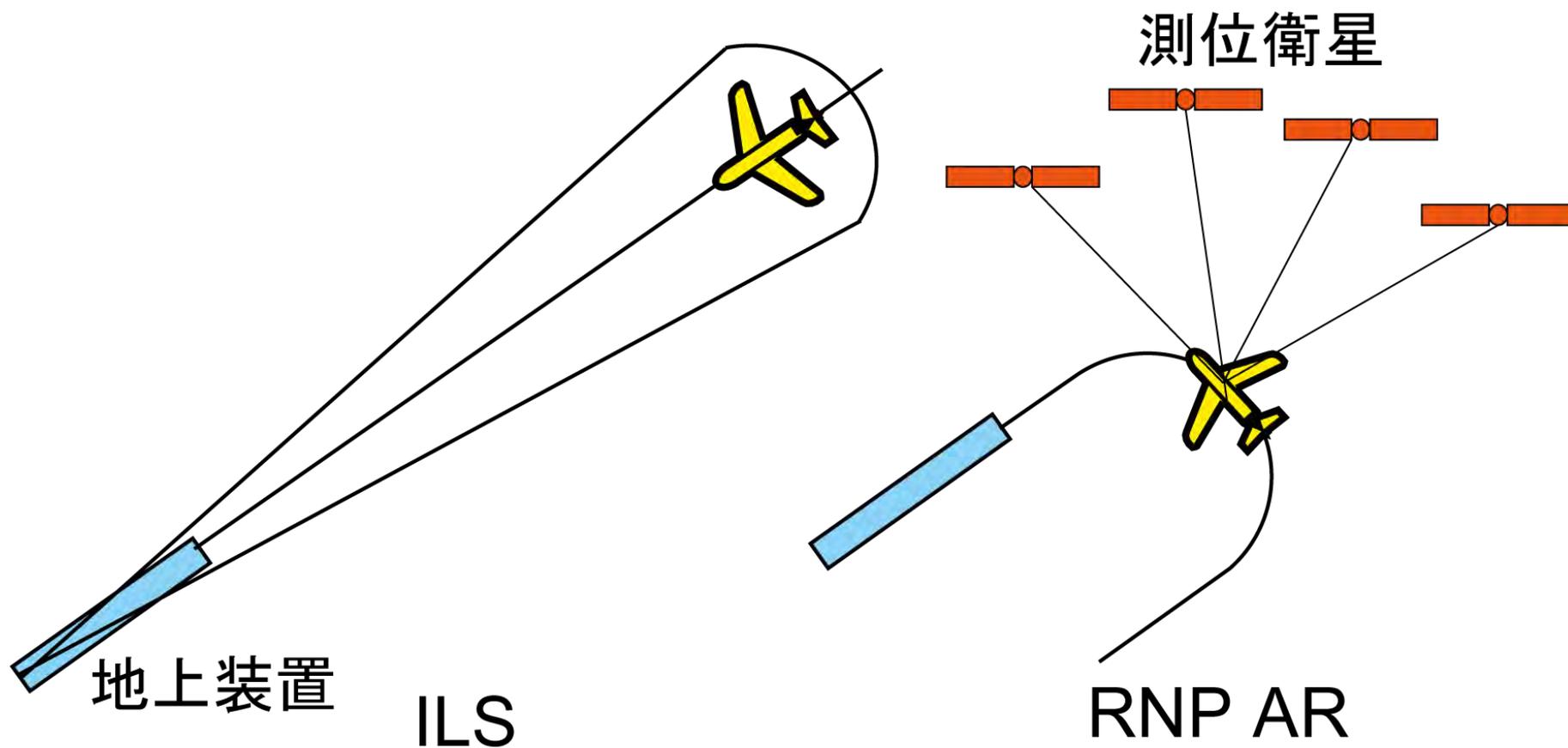




飛行フェーズ

RNP AR (Required Navigation Performance – **Authorization Required**: 特別許可を要する航法性能要件)

- ・効果が見込まれる小規模空港から**順次導入中**
- ・航空機の**航法性能を十分に活用**した飛行方式
- ・**横方向の航法精度**として総飛行時間の95%が**±0.3 NM**(海里 1NM= 1,852 m) (0.3 NM= **556 m**) **以下**となる性能要求
- ・同様の精度での**旋回**(**RF(Radius to Fix) Leg**)も可能
- ・運航は**許可を受けた機体のみ**に限られる。
- ・**パイロットの訓練**が要求される。



ILS進入方式とRNP AR進入方式

※ILS (Instrument Landing System: 計器着陸装置)

- RNP ARを含む幾つかの到着進入方式を同時に実現する**混合進入方式**の実現可能性の検討。

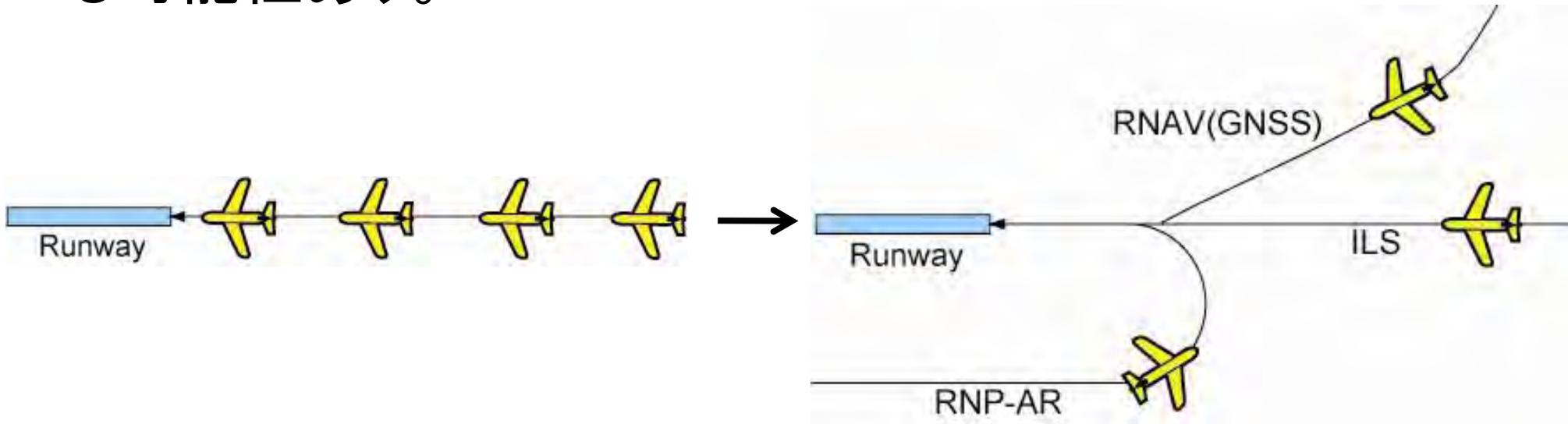
進入方式の例

- ILS(計器着陸装置)進入方式(図の方式1)
- VOR(超短波全方向式無線標識施設)進入方式
- RNAV(広域航法)(GNSS(全地球航法衛星システム))進入方式(図の方式3)
- **RNP AR進入方式**(図の方式2)
- ...



・航空管制官は通常、飛行中の航空機を**一列に並べる**ことにより航空機の**縦間隔**を保って安全を確保。

・航空機が幾つかの**異なる方向**から進入してくる場合、**新たな考え方、方式の変更や制限の付加**が必要となる可能性あり。



管制間隔基準

航空管制では、安全で効率的な航空機運航のために航空機相互間の**最小安全間隔**（管制間隔）の基準を定めている。

レーダ画面上で航空機の位置を把握して間隔を確保する**レーダ間隔**の基準は、レーダアンテナから**40 NM以内で3 NM**、それ以遠で**5 NM**。

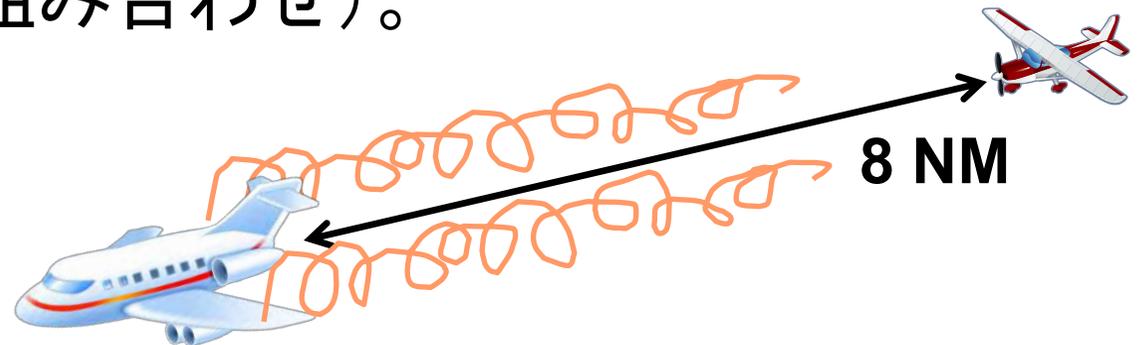
後方乱気流を考慮した場合、最大で**8 NM**（スーパーとスモールの組み合わせ）。

アンテナから**40 NM**



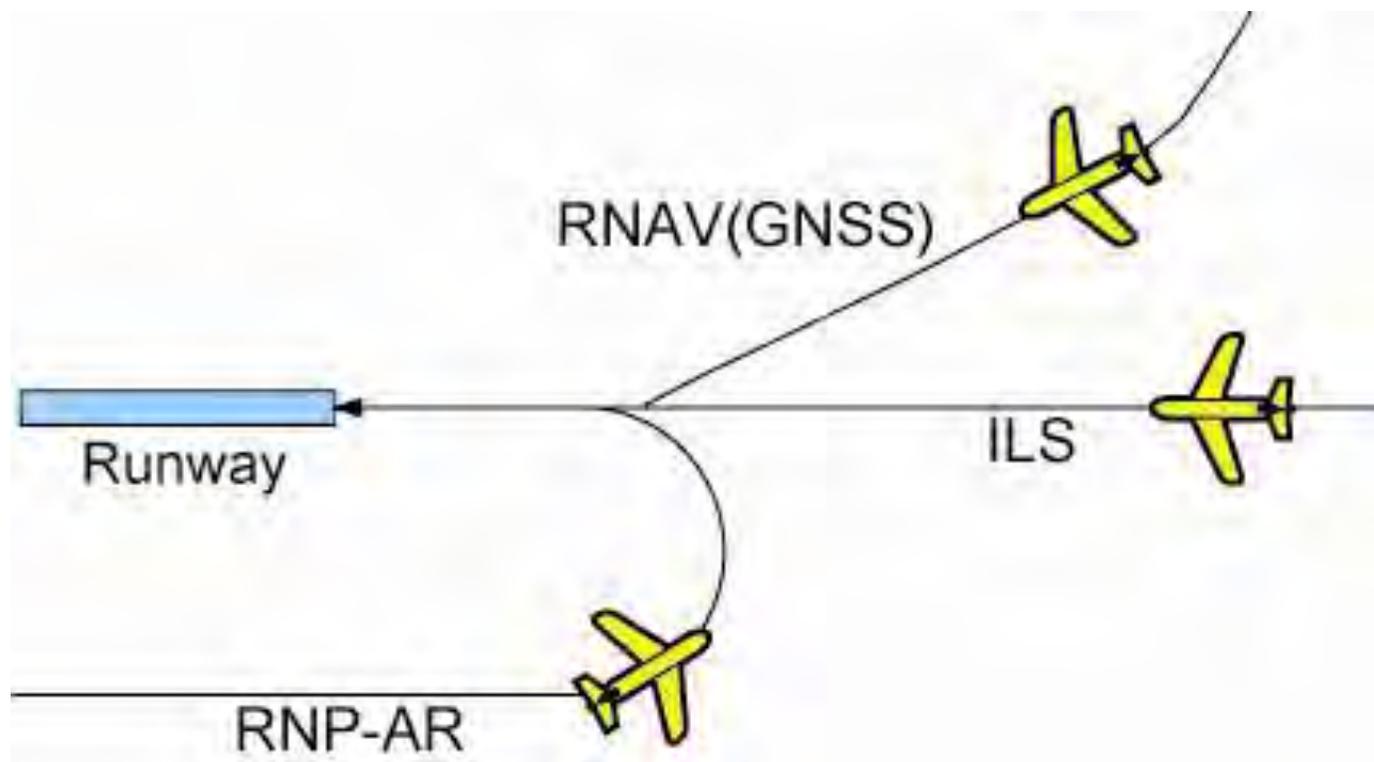
5 NM

3 NM



混合運用方式

同一滑走路に対し、複数の進入方式が設定され、ILS進入方式又はRNAV(GNSS)進入方式等の直線進入とRF(Radius to Fix) Legを含むRNP AR進入方式を実施する到着機が同時に出現するような運用を混合運用と呼ぶ。



Safety Case

Safety Case

証拠に裏付けられた**構造化された議論** (Structured Argument) によって、あるシステムを**安全であると受け入れること**の正当性を示す。

- ・鉄道分野、海上浮体施設、沖合施設、自動車分野、原子力分野、など様々な分野で導入
- ・**航空管制**の分野：欧州の**EUROCONTROL**で研究
Safety Case Development Manual, Nov. 2006.

GSN (Goal Structuring Notation)

議論の記述方法

〇〇は安全と見なせる。

△△のとき、〇〇
は安全と見なせる。

××のとき、〇〇
は安全と見なせる。

△△で且つ□□のとき、
〇〇は安全と見なせる。

△△で且つ☆☆のとき、
〇〇は安全と見なせる。

戦略

AAなので、BBから
得られるCが証拠と
なる。

証拠 C

妥当と見なせる証拠

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Arg.

混合進入の導入により、高度処理のための業務の管制官のワークロードは増加しない。

Str.

航空機が経路・方式に従って飛行しているときとレーダ誘導を実施している場合に分ける。

Arg.

レーダ誘導機と経路・方式に従った飛行の航空機では、前者の高度処理の方が総じて難易度が高い。

Note.

聞き取り調査。

Arg.

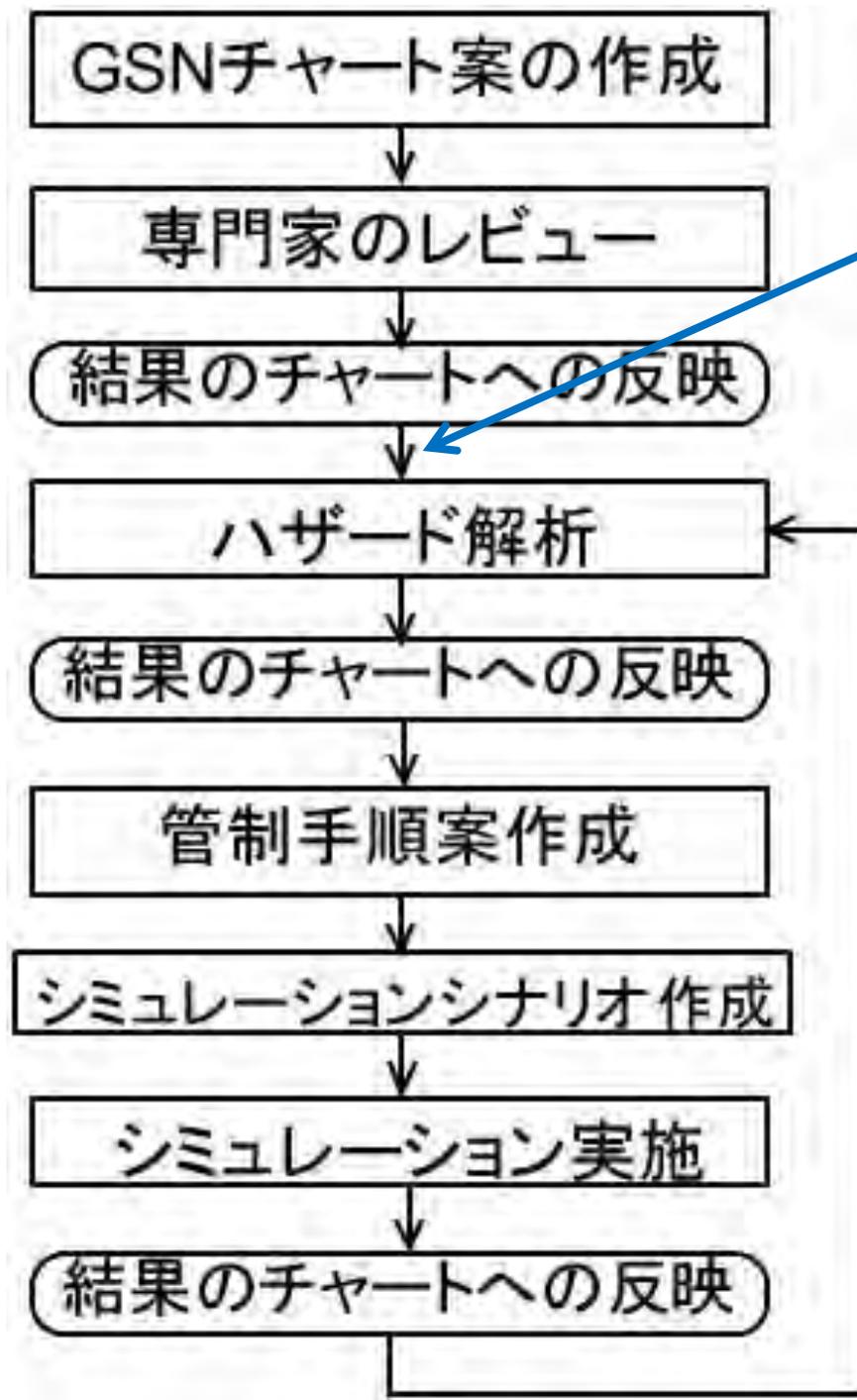
高度処理を行う、ないしは高度に気を使う必要性のあるレーダ誘導の実施回数は、混合進入の導入によって変化しない。

Note.

リアルタイムシミュレーションで検証できる程度の複雑さの仮説？

・重要な状況の見落とし等→多くの人のチェック必要

研究の進め方



- ・管制手順要件の開発
- ・管制手順案粗案の作成
- ・フローチャート作成

ハザードの漏れを可能な限り無くすため

ハザード同定の結果を反映

↓

シミュレーションで得られた結果を反映

↓

更にハザード同定

↓

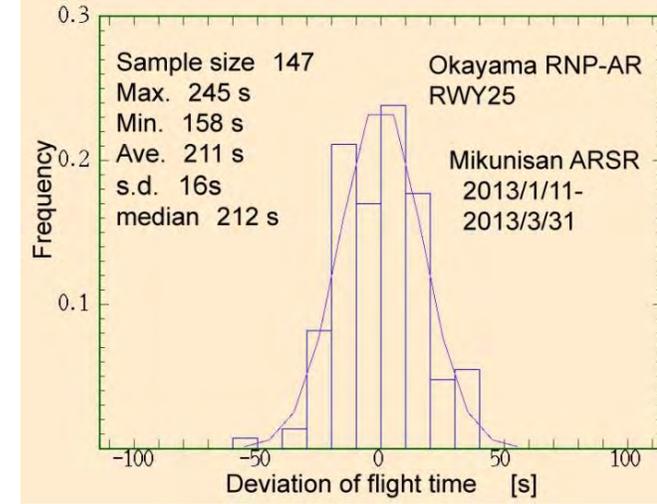
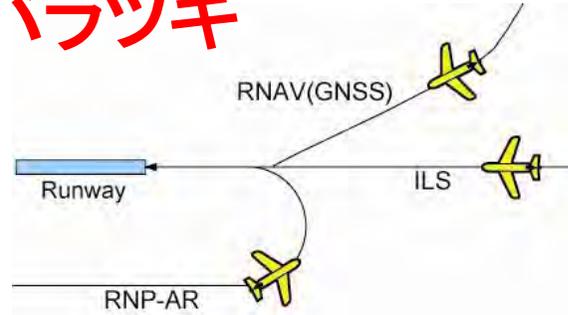
繰り返す

飛行時間のバラツキの推定

航空機の飛行時間のバラツキ

↓
予測性の低下

↓
運用方法の選択、検討に強く関係



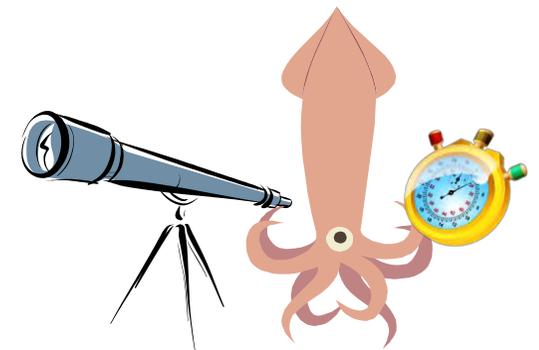
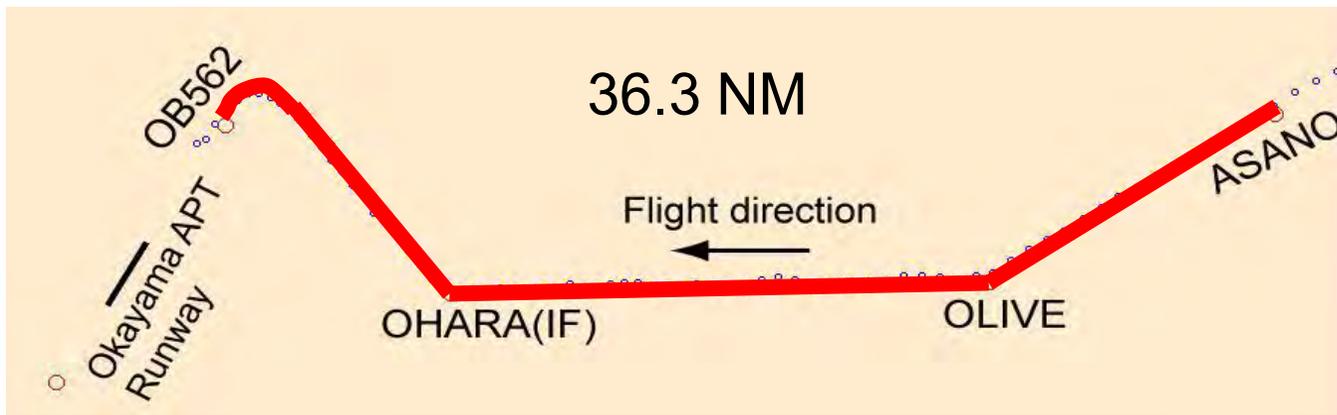
レーダデータ(実測データ)

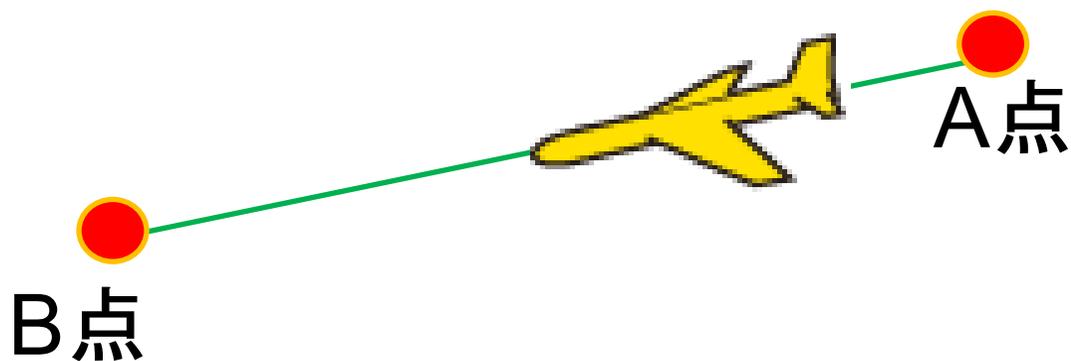
↓
航空機毎の航跡を作成

↓
同一飛行経路を飛行した航空機の飛行時間のバラツキ

↓
飛行方式毎に調査







航空機1 9分30秒

航空機2 10分

航空機3 10分20秒

航空機4 9分50秒

...



標準偏差

表 RNP-AR経路の飛行時間の統計値

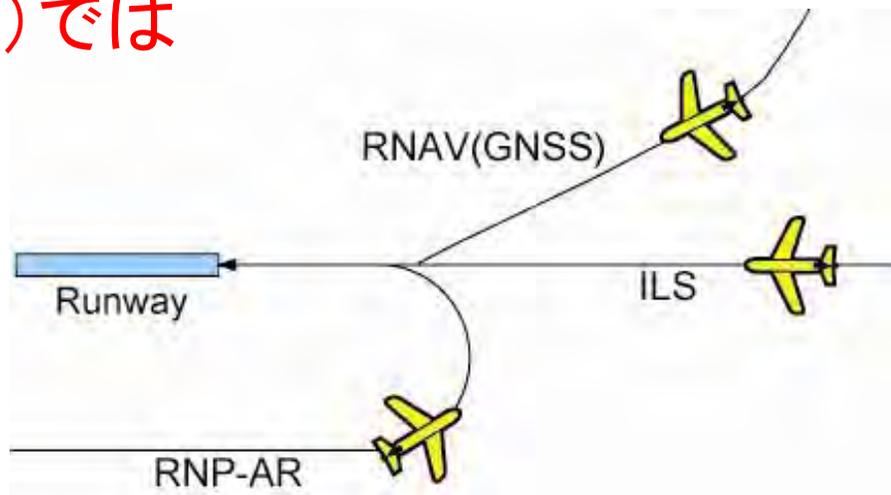
空港	標本数	距離[NM]	最大値	最小値	平均値	標準偏差	m
函館	85便	24.4	582秒	419秒	479秒	31秒	0.065
岡山	43便	36.3	748秒	538秒	648秒	37秒	0.058

※mは(標準偏差／平均値)

バラツキを**35秒**と考えた場合、
独立同分布(正規分布)を仮定すると、**前後間隔のブレの95%値**は次のようになる。

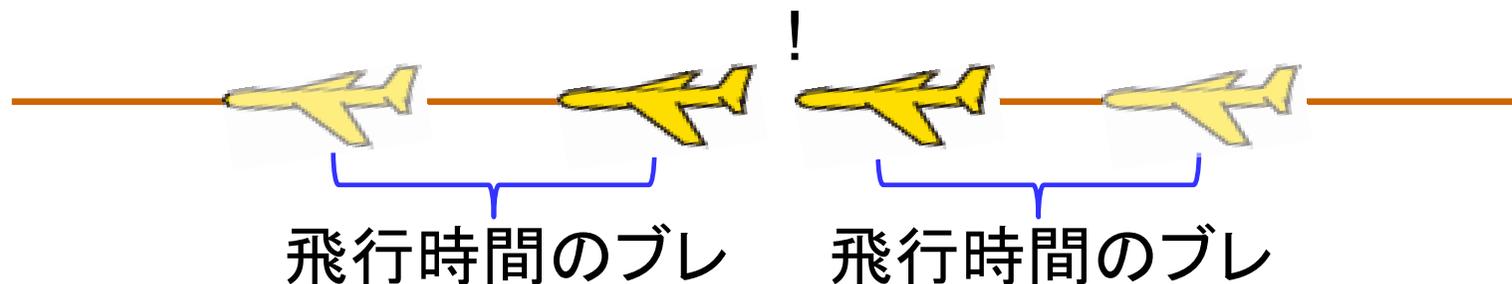
$$2\sqrt{2} \cdot 35\text{秒} = \mathbf{99\text{秒}} \leftarrow \mathbf{大きな値}$$

前後間隔ならばレーダ画面等で確認出来るのでまだ良いが、
別々の方向からの進入(混合進入)では直接確認出来ず危険。



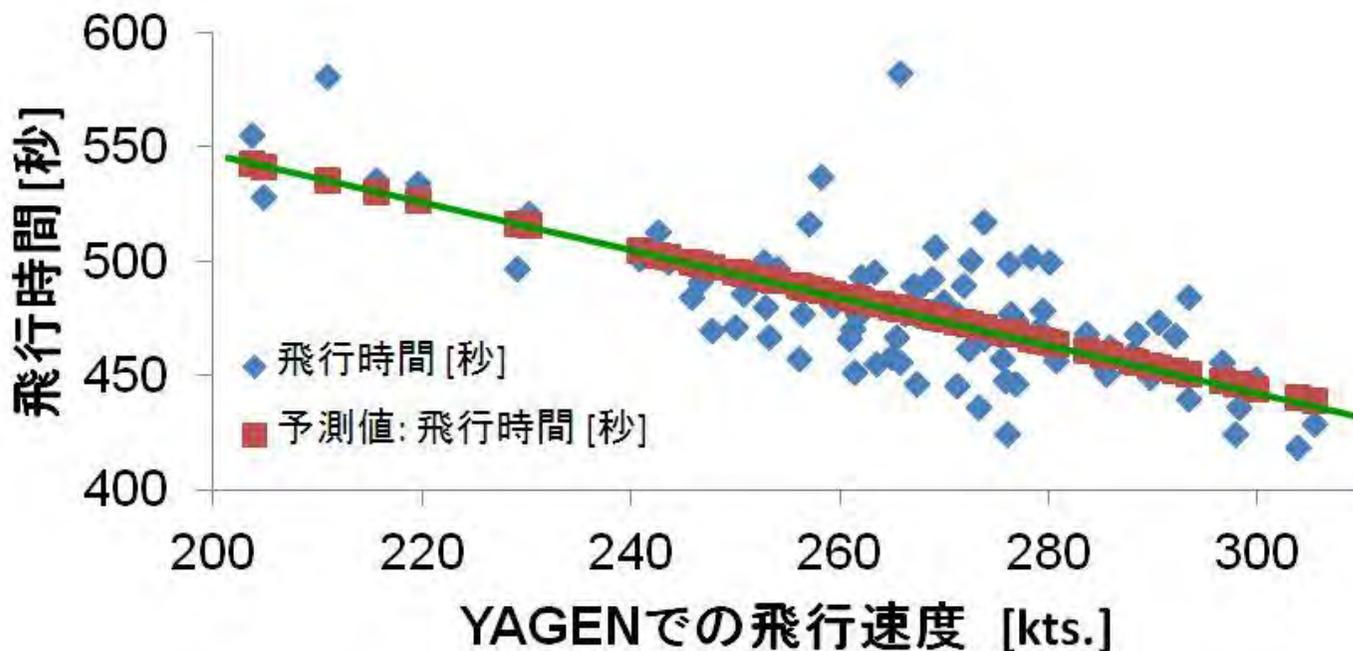
この値の低減策の検討

- (1) **飛行速度**情報の利用
- (2) **高層風**情報の利用 \leftarrow **上手くいっていない**



YAGENにおける対地速度と飛行時間の関係を調査。

- 相関係数 $r=-0.69$ の相関あり。
- 回帰直線と飛行時間との差(残差)の標準偏差は**22.5秒**。
- $2\sqrt{2}\cdot 22.5\text{秒} = \mathbf{64\text{秒}}$
- これは**対地速度**の情報を活用することにより、**飛行時間のバラツキを低減できる可能性**を示唆。
- 現在既にTRADでは対地速度情報が見られる。



ハザード解析手法の検討

Arg.
混合進入の導入により、高度処理のための業務の管制官のワークロードは増加しない。

Str.
航空機が経路・方式に従って飛行しているときとレーダ誘導を実施している場合に分ける。

Arg.
レーダ誘導機と経路・方式に従った飛行の航空機では、前者の高度処理の方が総じて難易度が高い。

Arg.
高度処理を行う、ないしは高度に気を使う必要性のあるレーダ誘導の実施回数は、混合進入の導入によって変化しない。

Note.
聞き取り調査。

Note.
リアルタイムシミュレーションで検証できる程度の複雑さの仮説？

GSNチャート案



混合進入方式における管制手順要件の開発

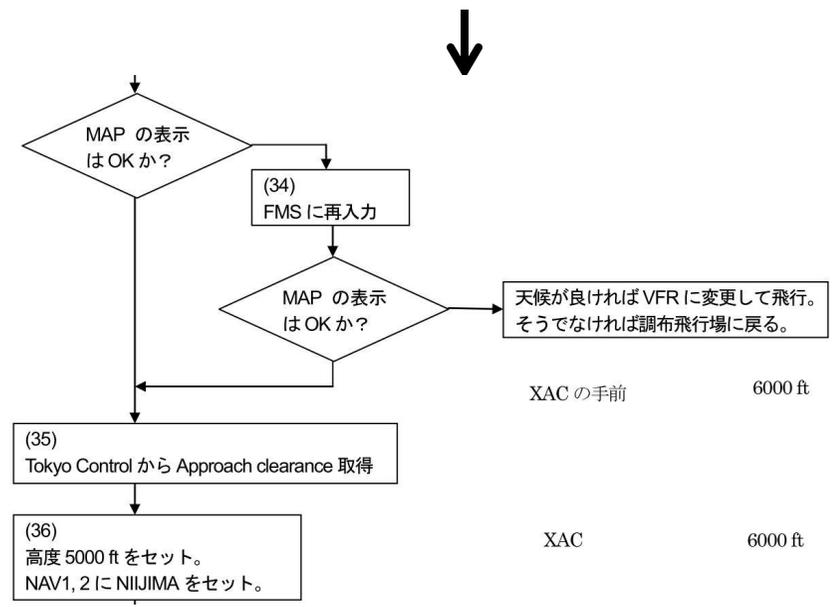


管制手順案素案作成

GSNチャート作成時に見過ごされたハザードの同定

ハザードの原因	エラータイプ	故障モード／人的過誤	解析の出発点
同右	同右	作成したリストから選定	正常状態からのズレ・異常
機器の見やすさ／情報の見やすさ／作業場所の緊張感の欠如	うっかりしたやり間違い	パイロットのキー入力間違い／ボタンの押し間違い	フローチャートに沿って異常状態を抽出
疲労	不注意	勘違い／混同	RWY, STAR, TRANSITION, APPROACH等のFMSへの入力ミス
責任感の欠如／他人の過度な信頼／作業環境の問題／作業場所の緊張感の欠如	注意散漫	幾つかの項目の確認忘れ	フライトプラン確認で見落とし
			MAP確認せず

当該フローチャートへのHAZOPの適用



当該素案に基づくフローチャート作成

HAZOP (HAZard and OPerability studies)

1974年に英国のImperial Chemical Industries社によって開発された**化学プラント**に対する**安全性評価手法**

ハザードを思いつき易くするための手法
定常状態からのズレを考える。

・ガイドワード

ガイドワードの例

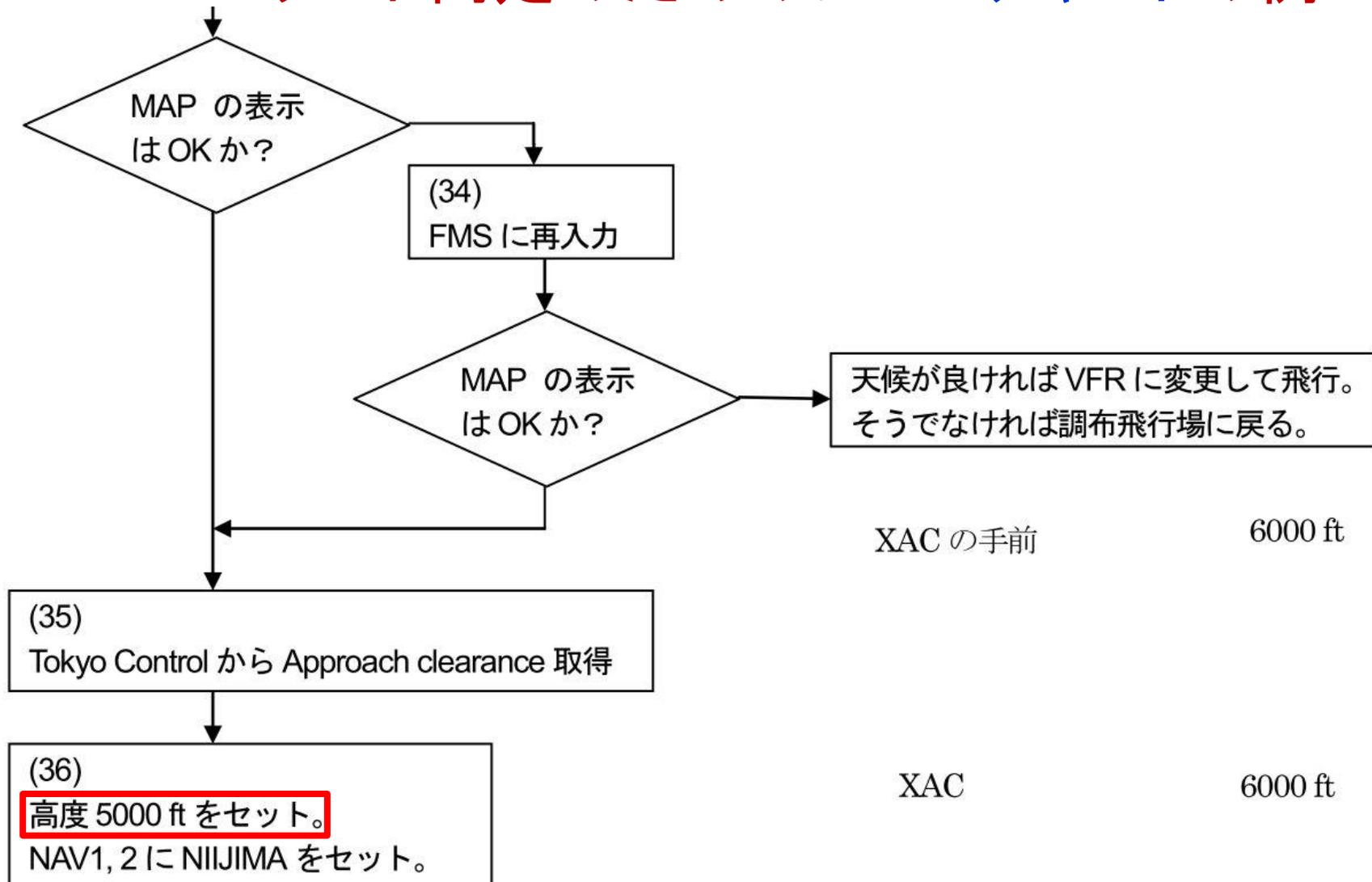
・高い、低い

5,000 ftより高い、低い。

・ない

Tokyo Controlからのclearanceがない。

ハザード同定のためのフローチャートの例



このようなフローチャートに基づいて、例えば、**5,000 ft**ではなく**4,000 ft**にセットしてしまった場合の影響等を考える。

ハザード原因の特定(人的過誤等)



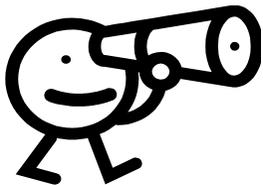
CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)を適用



CREAMでは特定される結果が一般的過ぎ



航空管制への適用には、そのままでは無理がある



欧州 (EUROCONTROL)

HERA (Human Error Reduction in Air traffic management) - JANUS

- ・ **航空管制に特化**した人的過誤の分析手法
- ・ 航空機運航に関する情報少ない

米国 (国防総省)

HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)

- ・ 119の航空機事故の分析
- ・ **航空機運航を主体**とした人的過誤の分類

一長一短



双方の人的過誤の分類リストを**併せたリスト**を作成

←	←	←	解析の出発点
ハザードの原因	エラータイプ	故障モード/ 人的過誤	正常状態からの ズレ・異常
同右	同右	作成したリスト から選定	フローチャートに 沿って異常状態を 摘出
機器の見やすさ/ 情報の見やすさ/ 作業場所の緊張 感の欠如	うっかりしたや り間違い	パイロットの キー入力間違 い / ボタンの 押し間違い	RWY, STAR, TRANSITION, APPROACH等の FMSへの入力ミス
疲労	不注意	勘違い / 混同	フライトプラン確 認で見落とし
責任感の欠如 / 他人の過度な信 頼 / 作業環境の 問題 / 作業場所 の緊張感の欠如	注意散漫	幾つかの項目 の確認忘れ	MAP確認せず

航空管制の リアルタイムシミュレーション

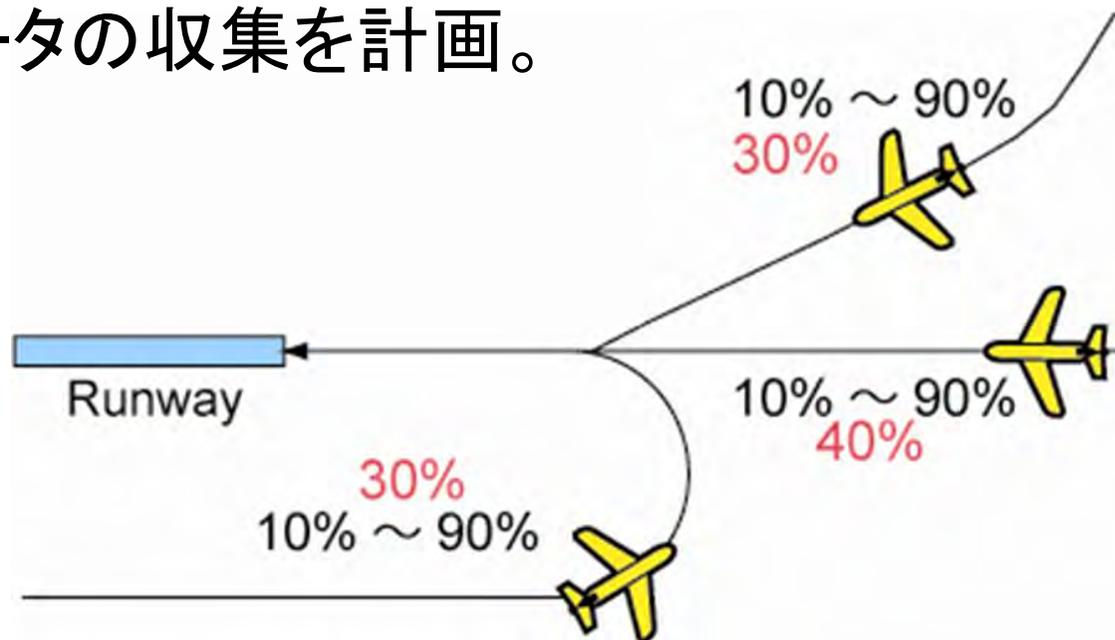
- ・混合運用では、別々の方向から来る航空機に対し、どの便を先に進入させるか等を管制官の**到着予測時刻**等から決定。

- ・こういった**業務負荷を客観的に示すデータ**は見当たらない。



- ・航空管制経験者に**実際に管制模擬**をしてもらう**リアルタイムシミュレーション実験**を実施。

- ・**混雑度と混合率**の組み合わせで**業務負荷がどのように変わるか**等のデータの収集を計画。

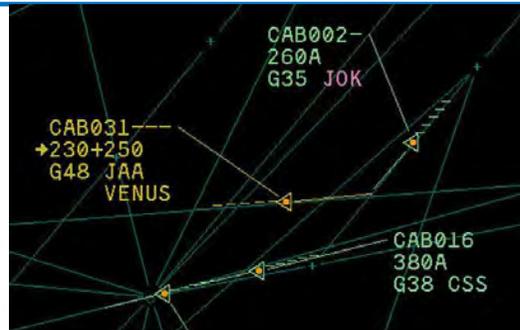


リアルタイムシミュレーション実験

パソコン上の簡易シミュレータ

次のパラメータを変化させて模擬

- ・到着機数
- ・混合率



(イメージ)

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr14_000012.html より

管制指示の入力、
パイロット・リクエスト



管制官役
(管制経験者)

プロセス
間通信

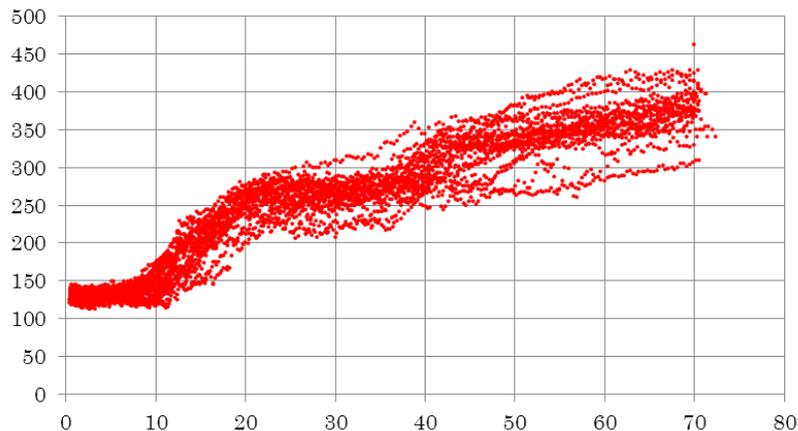
シナリオに従う飛行便の出現、
航空機の軌道の計算
管制指示・承認の反映 等



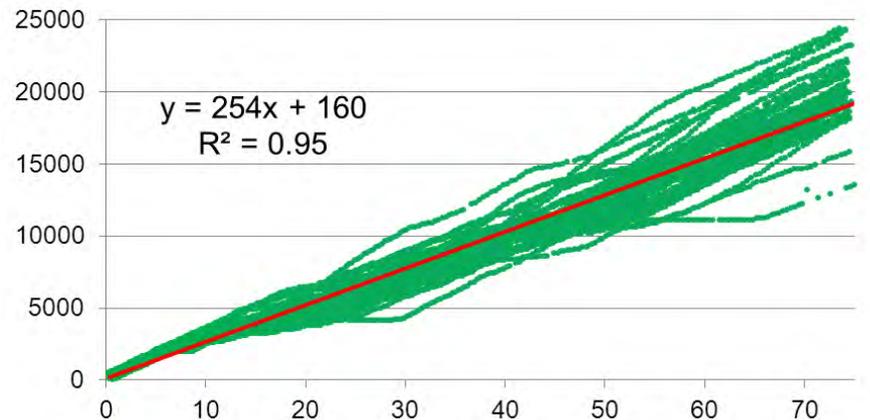
パイロット役

現況

- パソコン上で**シミュレータプログラム**を作成中。
- ターミナル管制運用手順(管制官の思考過程を含む)を**フローチャート化**中。
- **レーダデータの解析**により、RNP AR進入便等の航空機の**速度、高度プロファイル**のデータを作成。
- **レーダデータの解析**により、同一経路を飛行する航空機の**飛行時間のバラツキ**を解析中。



速度プロファイル



高度プロファイル

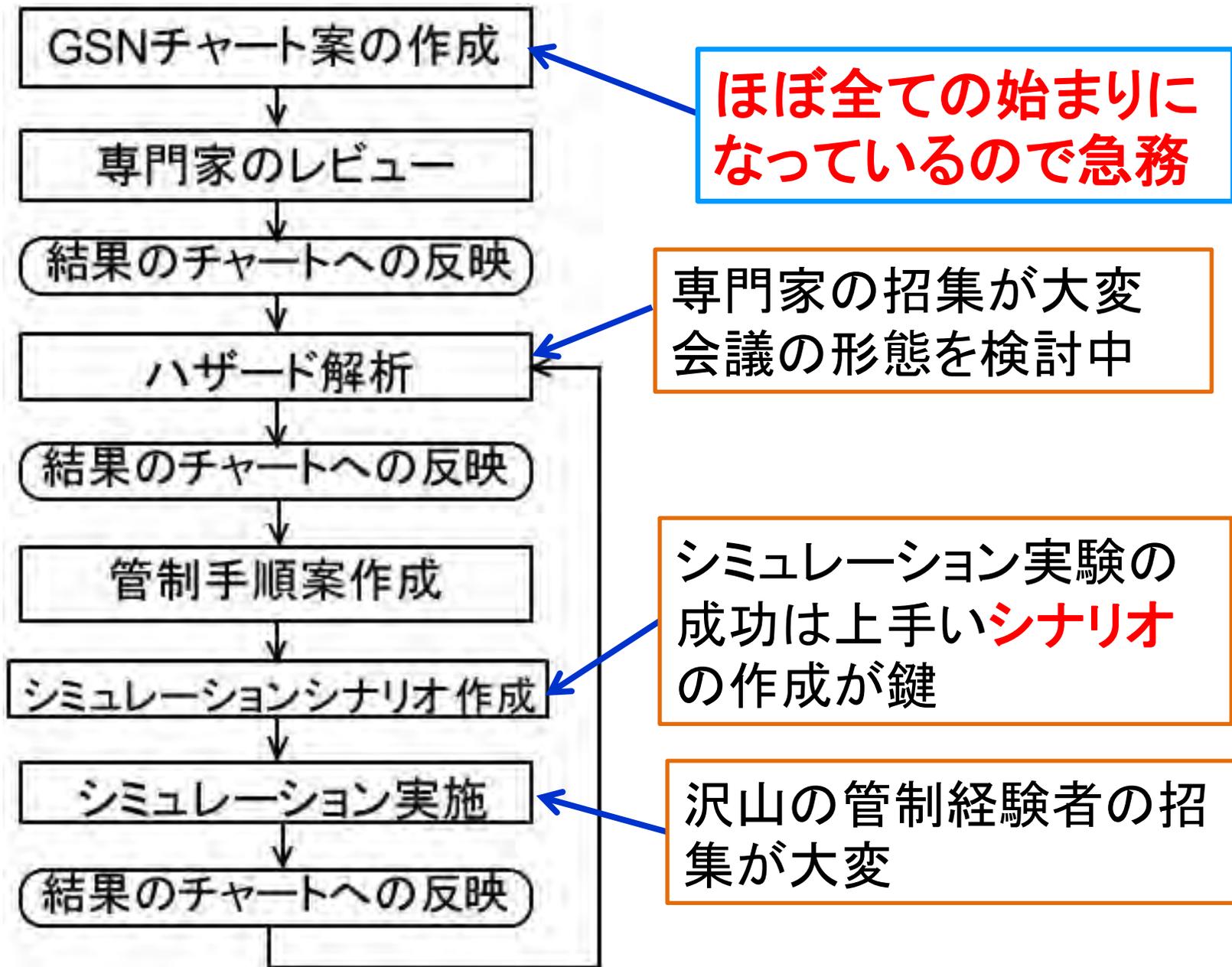
まとめ

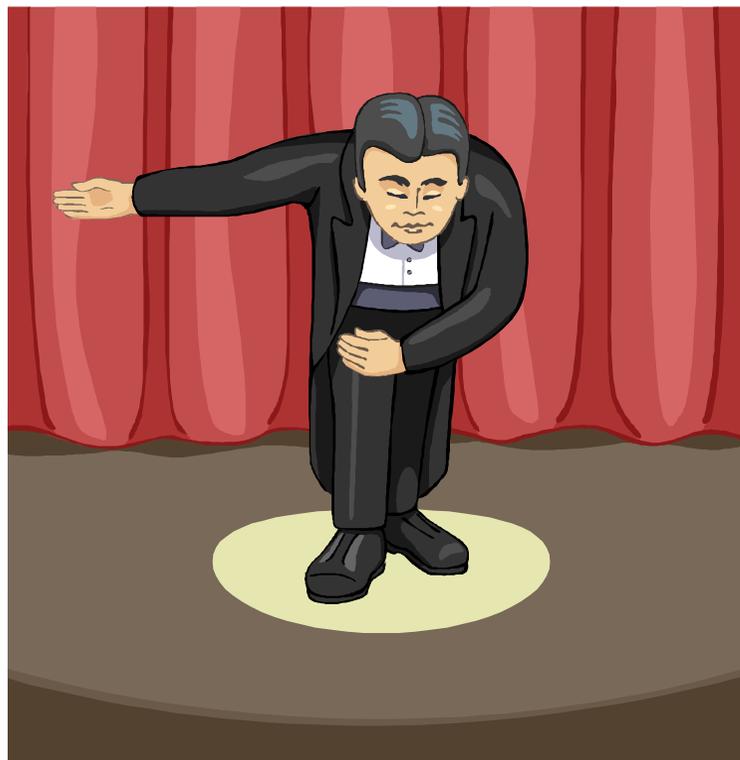
混合運用方式の安全性評価等について、**Safety Case**の考え方に基づいた**GSNチャート**の作成を中心に行う方法を述べた。

研究の進捗状況と現在までに得られた知見について述べた。

- **飛行時間のバラツキ**の推定
 - ・30秒程のバラツキ→**対地速度の利用**で**22.5秒**
- **ハザード解析手法**の検討
 - ・**HERA-JANUS**と**HFACS**のリストの統合
- **管制リアルタイムシミュレーション**
 - ・シミュレータ・プログラム作成中
 - ・レーダデータの解析

今後の作業・課題





ご静聴、ありがとうございました。