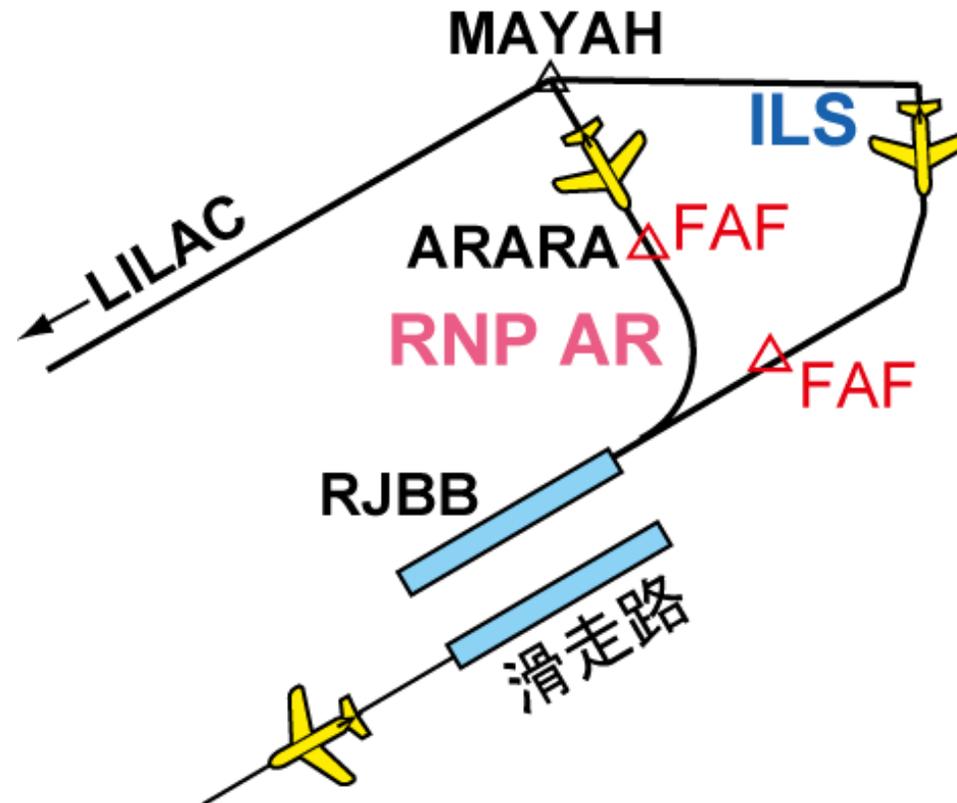


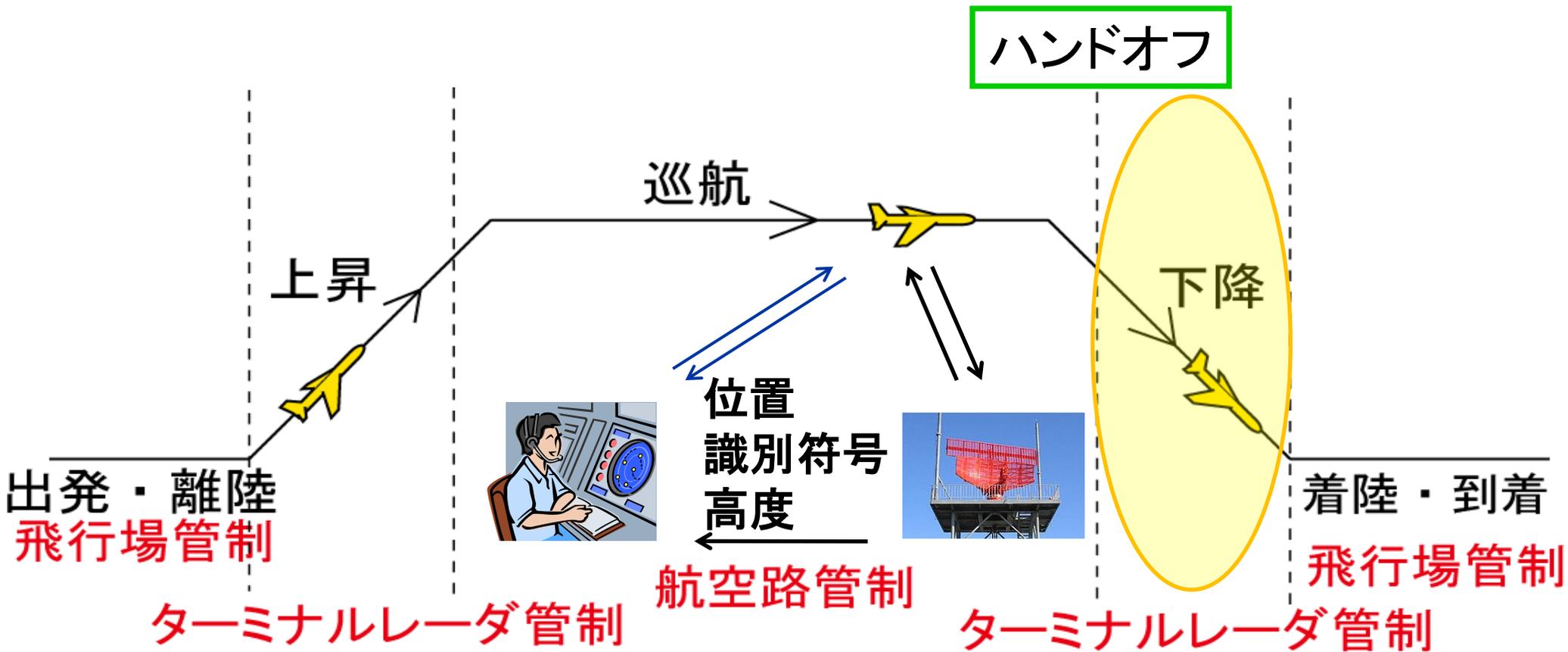
関西国際空港へのRNP AR進入方式 導入の可能性

航空交通管理領域 天井 治・松岡 猛



1. 背景
2. 混合運用
3. 研究の概要
4. 仙台空港ベースの実験で得られた知見
5. 関西国際空港と仙台空港ベースの空域の差異
6. 関西国際空港を対象とした航空管制リアルタイムシミュレーション実験
実験方法と結果
7. まとめ

研究の背景



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**(20空港以上)
- ・航空機の**航法性能を十分に活用**した飛行方式
- ・**高精度**
横方向の航法精度として総飛行時間の95%が**±0.3 NM**(海里)(0.3 NM= **556 m**)**以下**となる性能要件
- ・**曲線進入**
同様の精度での曲線進入(**RF(Radius to Fix) Leg**)も可能

RNP AR進入方式の導入の恩恵

- ・狭隘な空域内への経路設定
- ・騒音低減
- ・燃料削減



RNP AR方式の実施には

- ・機体の制約
- ・必要な機材の搭載
- ・乗員訓練等



→ 全ての航空機が直ちにRNP AR方式を実施できない。

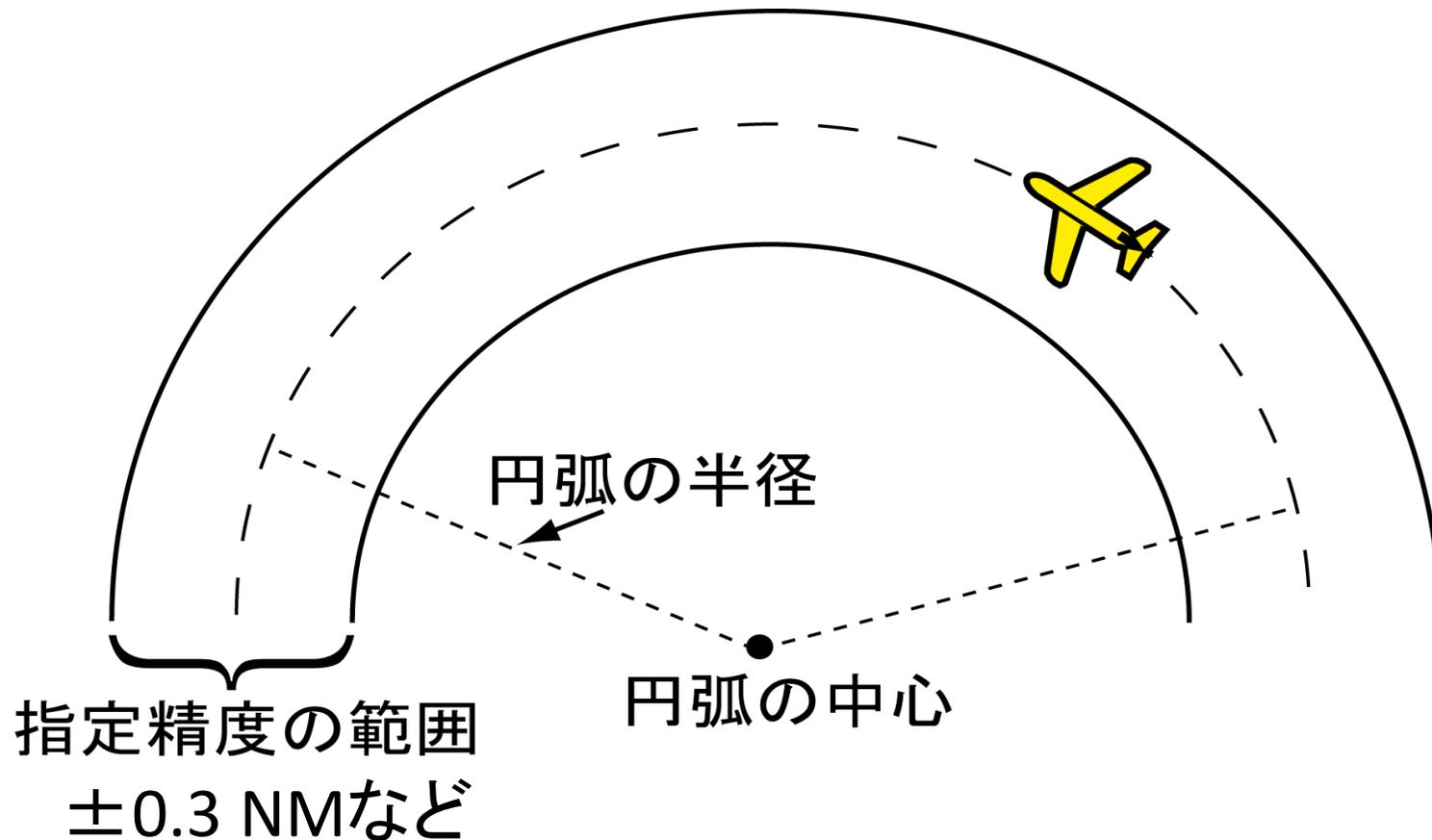
運航者側に便益がなければRNP AR方式に移行され難い。

→ 従来方式とRNP AR方式が混在する状況。

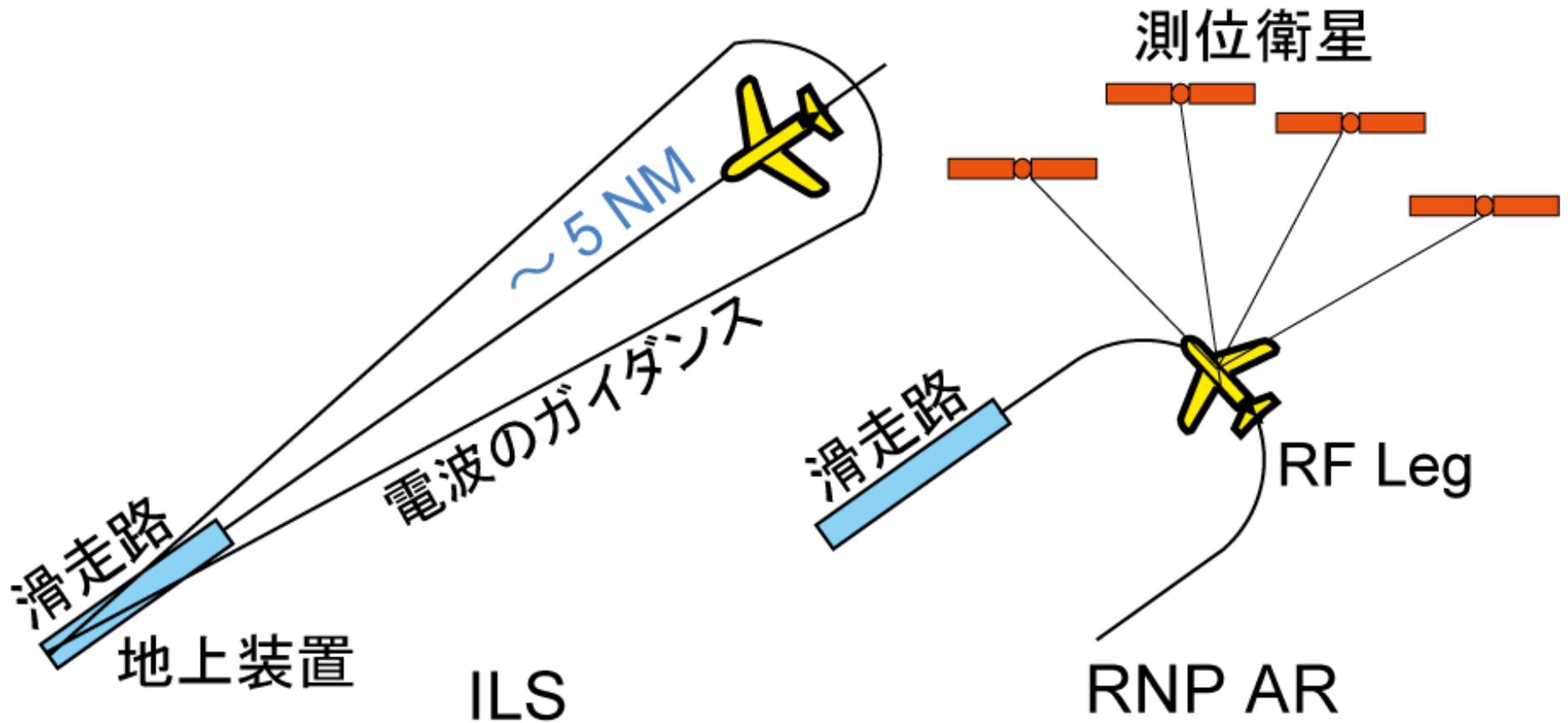
研究の背景

- RF (Radius to Fix) Leg

中心と半径を指定された円弧を中心としたRNP X(0.3など)で飛行。



研究の背景



ILS進入方式とRNP AR進入方式

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

混合運用

今後の、より取り扱い機数の多い空港への展開

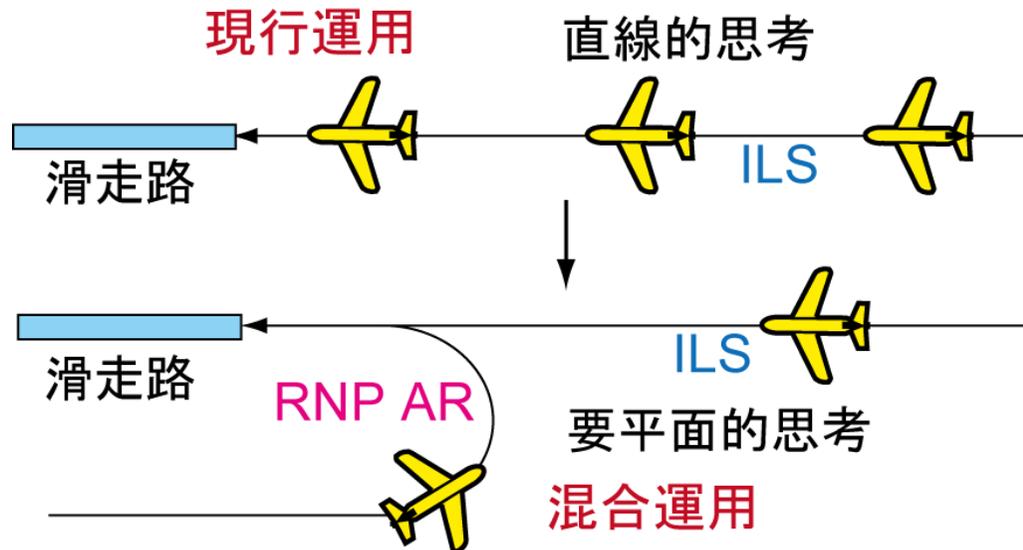
→同一滑走路にてRNP ARを含む複数の進入方式を同時に
行う混合運用の実現可能性の評価必要

・現在航空管制官→航空機の縦間隔を保つての安全の確保

→通常、航空機を一列に整列

・航空機が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必要

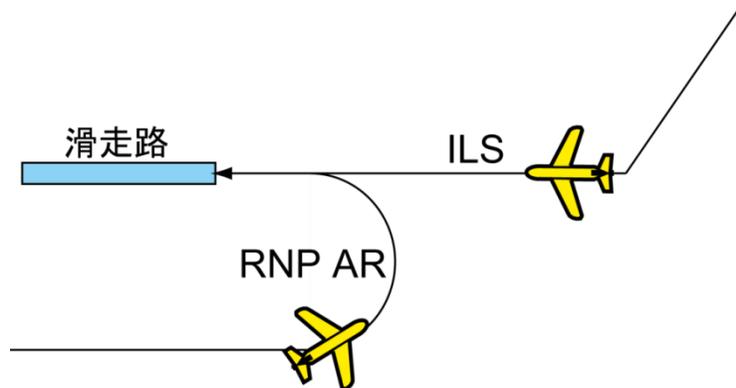


研究の概要

- ・CARATS研究課題(RNP展開における機材の適合、非適合混在に係る受容可能性検証方法等の検討)を推進するための研究
- ・平成25年度～平成29年度の5カ年計画。(延長)
 - ・平成26～27年度 仙台空港ベースの空域での検討・実験
 - ・平成28年度 関西国際空港の空域における検討・実験

大きな柱は次の通り。

- ・航空管制リアルタイムシミュレーション実験
- ・混合運用モデル作成
- ・開発済みのハザード解析手法を用いた準備的ハザード解析



航空管制リアルタイムシミュレーション実験(仙台空港ベース)

どのような方式でどのくらいの交通流なら混合運用可能か？



航空管制リアルタイムシミュレーション実験にて調査

The screenshot displays an ATIS simulation interface. On the left is a radar display with concentric range rings and various aircraft tracks. Aircraft labels include ENR331 122 B707, ENR152 016 B738, ENR131 005 A320, VIKCA, VER10, VEGAL, TOPAZ, NRI3162 052 CRJ7, ENR301 040 DHC8, MPA4800 038 B737, MPA3531 063 E170, KASOH, MPA2900 142 CRJ1, and ENR331 122 B707. A legend in the bottom right of the radar area shows 'AC Pair' (blue bar), 'Range/azimuth' (grey bar), and '08:43:53'.

On the right is a control panel with a '操作マニュアル' (Operation Manual) section and a grid of buttons. The manual lists:

- 1) オフセンター機能：地図の中心を移動する。
 - a. [o_ctr] ボタンを押下する。
 - b. レーダー画面上で地図の中心の移動先を左クリックする。
 - c. 中心を初期位置に戻す場合、[ctr] を押下する。
 - d. 再度、[o_ctr] ボタンを押下し、地図を終了する。
- 2) レンジ機能：地図の縮尺を変更する。
 - [60NM], [50NM], [40NM], [30NM] ボタンの何れかを押下すると地図の中心から指定距離までの範囲を拡大・縮小して表示する。
- 3) レンジマーク機能：レンジマークの間隔を変更する。
 - [10NM], [5NM], [2NM] ボタンの何れかを押下すると、指定した間隔のレンジマークを表示する。
- 4) 速度ベクター表示機能：有航路線に速度ベクター線を表示する。
 - a. [VCTR] ボタンを押下する。
 - b. [F3], [F7], [F15] ボタンの何れかを押下する。
 - c. 再度、[VCTR] ボタンを押下すると、速度ベクターは非表示となる。

The control panel buttons include:

o_ctr	ctr		
60NM	50NM	40NM	30NM
10NM	5NM	2NM	
BDY	RNG	MVA	map
LOC	AR	WP	WPN
STAR	IIP		
VCTR	3	7	15
ILS/AR	trail		
CUSR			

航空管制リアルタイムシミュレーション実験(仙台空港ベース)



実験イメージ

仙台空港ベースの実験で得られた知見

1. AR運航の利点を生かすためには**AR機最優先**(AR運航の要求は必ず許可, レーダ誘導不可, 速度調整は可)の条件が必要。
2. AR機の割合を**30%**と**50%**とに違えた場合, 管制の難しさは管制官の考え方の違いにより異なり, **どちらが難しいとは一概に言えない**。
3. 1時間当たりのIFR到着機数が**25機以上**の場合等は, 待機経路の設定なしでは管制処理は**困難**。
4. レーダ画面上でILS機とAR機との**表示色を違える**ことは大変効果的。(実験ではILS機を黄色, AR機を橙色で表示)

仙台空港ベースの実験で得られた知見(続き)

上述の知見を踏まえて、

IFR到着機密度**20機/時**

AR機の混合率**30%**

AR機最優先(AR運航の要求は必ず許可, レーダ誘導不可, 速度調整は可)
の条件にて総計**80回程**の試行

定量的/定性的評価量とをそれぞれ調べて得られた知見は、

1. 定量的評価量は従来運用より**混合運用が困難度増を示唆しない**。←**仙台空港ベース**では
2. **最大同時取扱機数**の平均値は**従来運用の方が大きい**。
3. **定性的評価量**は**被験者による差異が大きい**が、従来運用の方が**困難と感じた被験者もいた**。

仮想仙台と関西国際空港の差異

仮想仙台と関西国際空港の空域の差異

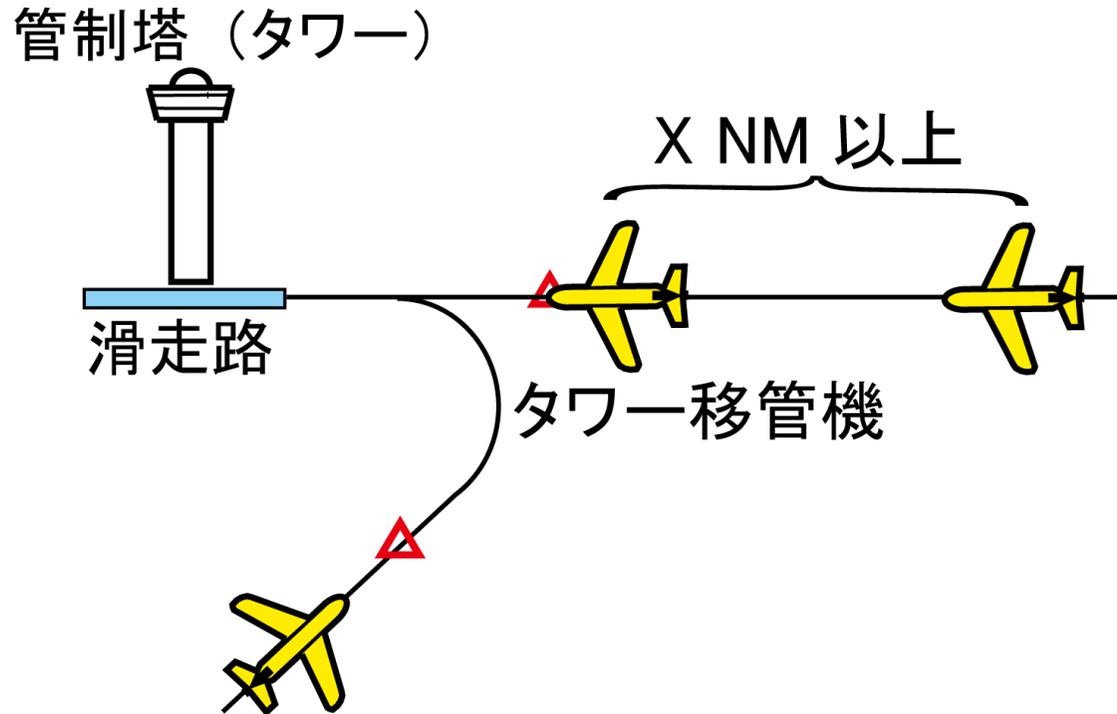
項目	仮想仙台	関西国際空港
滑走路	1本	2本（1本ずつ到着専用、出発専用）
空域	広い（滑走路の南東でレーダ誘導）	狭い（実質的にAWAJI以降レーダ誘導不可能）
周辺空港	特に考慮せず	大阪国際（伊丹）、神戸、八尾考慮
ILS進入	屈曲のみ	旋回後の会合（RWY24）
到着経路数	2（南西1、北1）	5（北1、西1、南西1、南1、南東1）

仮想仙台と関西国際空港の差異

仮想仙台と関西国際空港の空域の模擬の差異

項目	仮想仙台	関西国際空港
管制官役	1名	2名
パイロット役	1名	2名
出発機	模擬せず	模擬して表示。 管制指示にも対応
進入復行機	非表示	表示
タワー移管間隔	7 NM	3 NM
周辺空港対応	なし	伊丹、神戸、八尾

タワー移管間隔

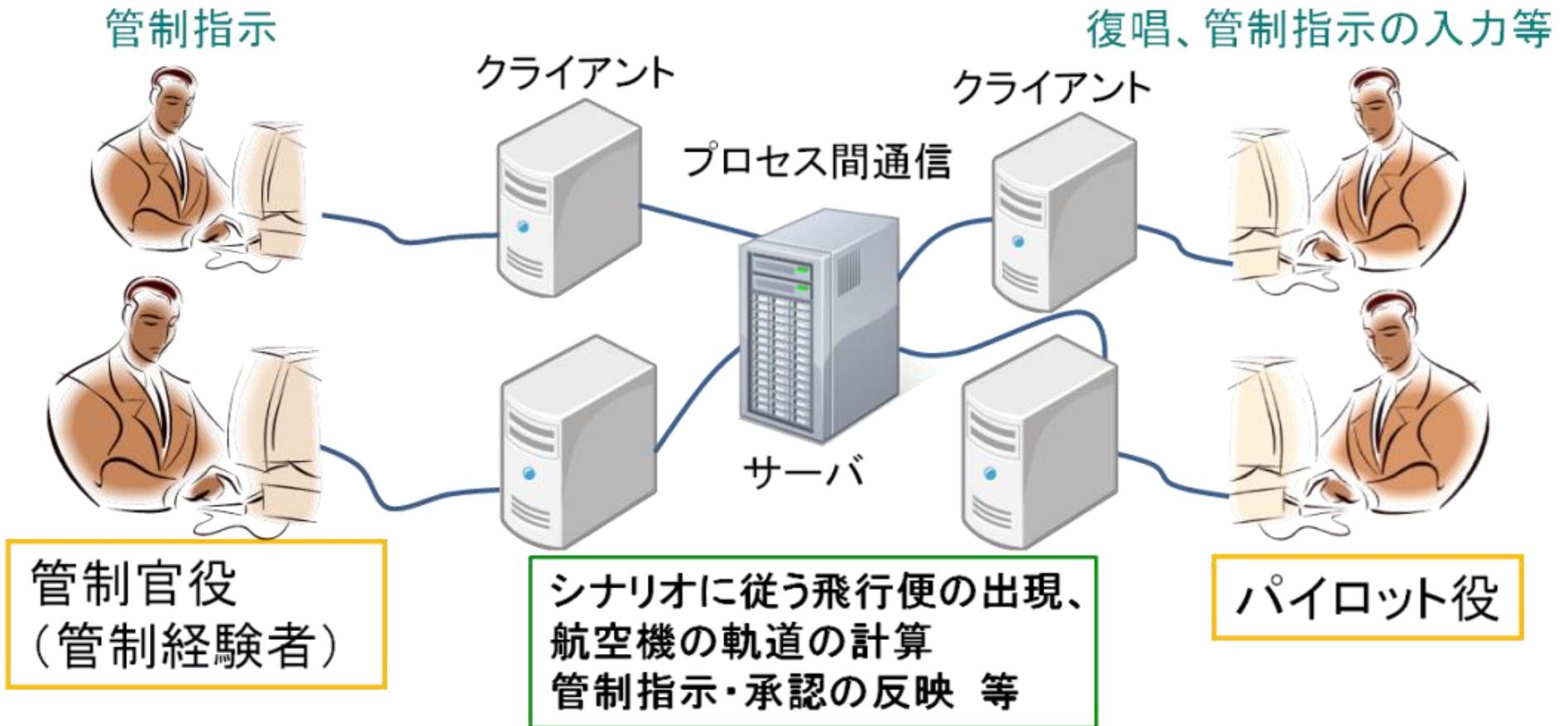


タワー移管:ターミナルレーダ管制官から**管制塔**の管制官への航空機の受け渡し

7 NM:2機の到着機の間に出発機が出せる間隔

3 NM:レーダ間隔

航空管制リアルタイムシミュレーション実験 (関西国際空港)



管制官役1: **関空到着機** ⇔ パイロット役1 (パイロット役2は支援)

管制官役2: **調整官役**、神戸空港到着機のハンドオフ受取

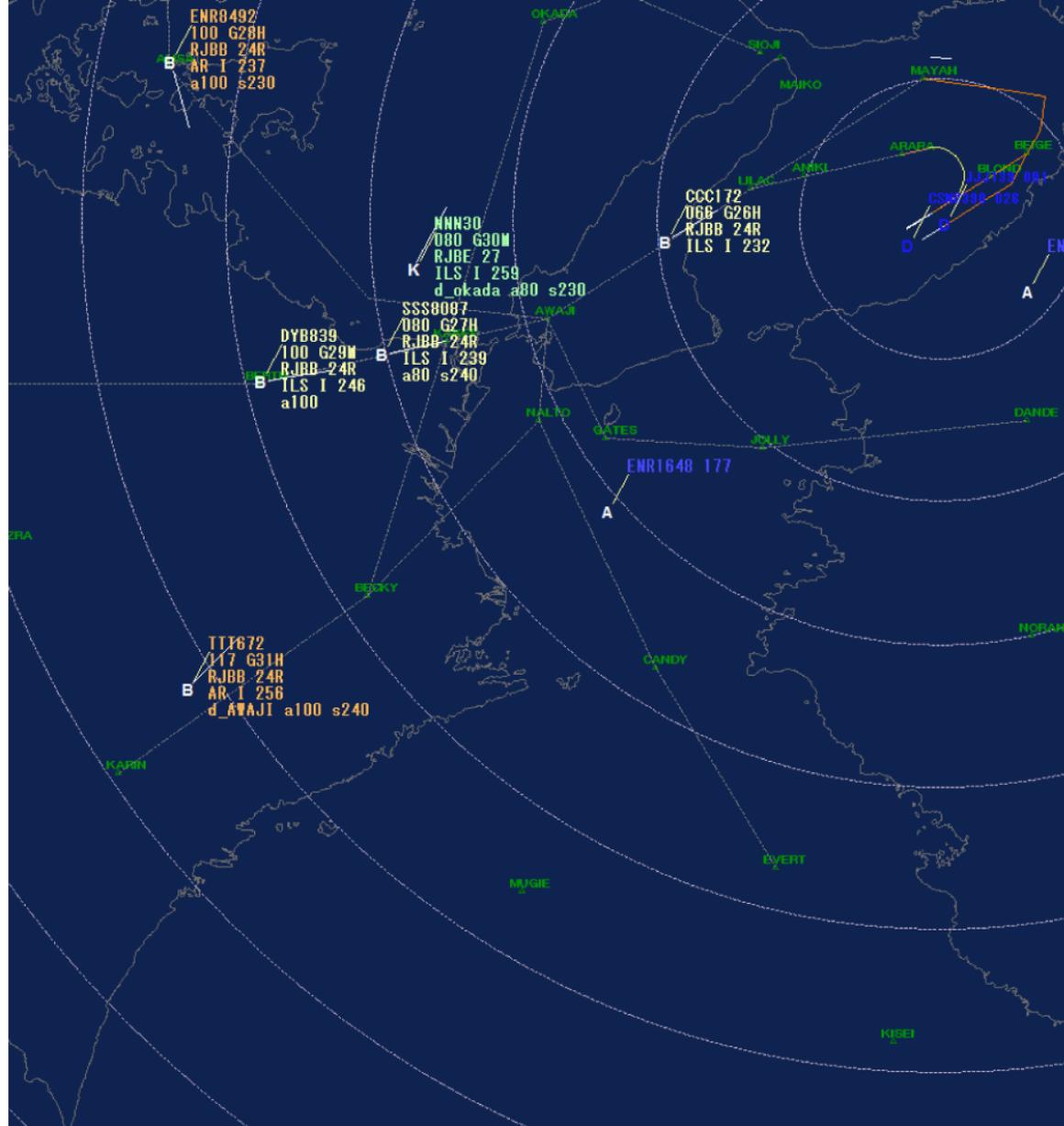
出発機: シナリオ通りに出発 (手動での発出も可能)



o_ctr	ctr		
80NM	60NM	50NM	40NM
30NM	20NM	10NM	5NM
10NM	5NM	2NM	
BDY1	BDY2	BDY3	
RNG	MVA	map	
ILS	AR	WP	WPH
STAR	HP		
VCTR	3	7	15
ILS/AR	trail		
CUSR			
Dep	Arrival	DataBlock	
NNN30	Handoff		

AC Pair
Range/azimuth

09:28:06



Operation Command Input

callsign

Command

Operation Log

コマンドログ

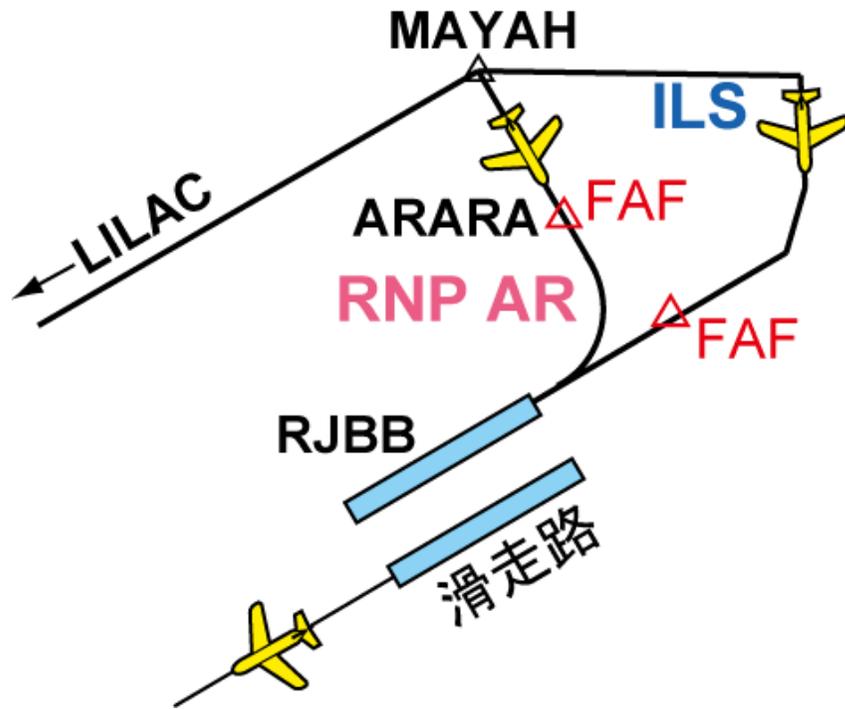
TTT627: a100 s240 da

ENR8492: a100 s230

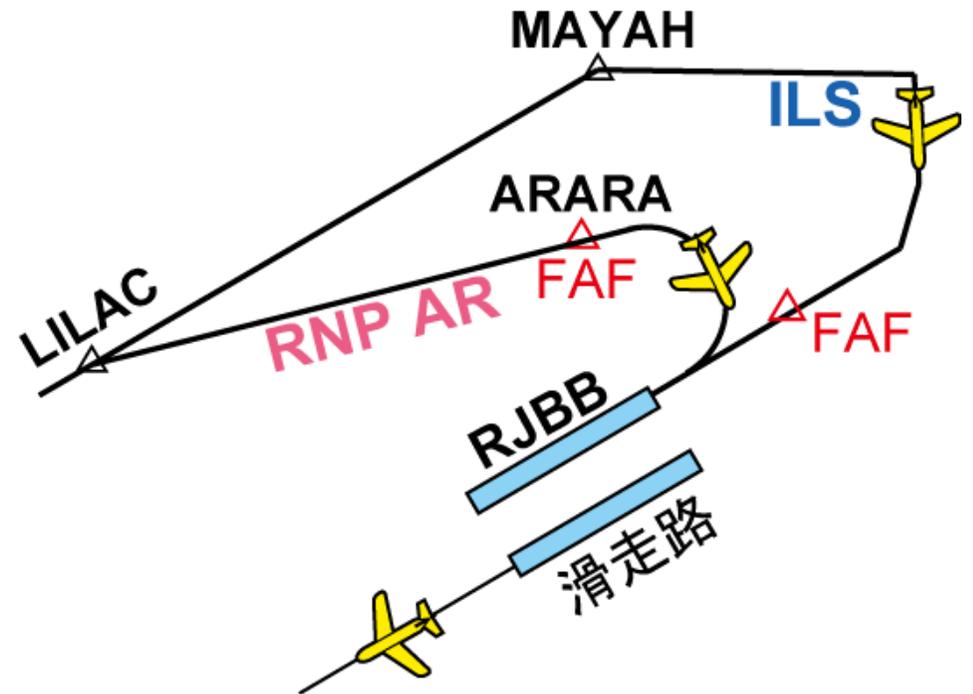
Error Log

エラーログ

航空管制リアルタイムシミュレーション実験 (関西国際空港)



AR経路案1



AR経路案3

航空管制リアルタイムシミュレーション実験 (関西国際空港)

実験シナリオの種類

項目	種類	値／備考
IFR到着便数	現行	21機／時 (18時頃のピーク時)
	3年後の予測値	28機／時 (関空1.3倍、伊丹空港1.06倍、神戸空港1倍)
混合率	0%	ILS機のみ
	10%	実質的に 17%
	15%	実質的に 25%
	30%	実質的に 40～50%
AR経路	MAYAH-ARARA (経路案1)	7試行 (ILS機のみ4試行) で使用
	AWAJI-ARARA	14試行 (ILS機のみ0試行) で使用
	LILAC-ARARA (経路案3)	24試行 (ILS機のみ2試行) で使用

実験の条件

- RNP AR進入は必ず許可。
- RNP AR機への経路短縮となる針路指示のみ許可。
- RNP AR機の速度調整は可。
- ILS機へは従来通りのレーダ誘導、速度調整等可。
- FAF (Final Approach FIX) までにタワーに移管。

RNP AR機最優先

欧米でもBest-Equipped, Best-Served (BEBS、良い機材(装備)には良いサービスを)という考え方あり。

RNP AR運航にはトレーニングなどコストが大変掛かるため、運航メリットの有無が重要。メリットがあればRNP AR運航の増加を促進できると考える。

評価指標

定量的評価量

- 最大同時取扱機数
- レーダ誘導の平均迂回／短縮距離
- 平均追加飛行時間 (ARのメリット確認)
- 平均速度調整回数
- タワー移管間隔 (実行値≠3 NM)

定性的評価量

- NASA TLXを基にしたアンケート
(管制官自身の主観的評価)

航空管制リアルタイムシミュレーション実験 (関西国際空港)

質問票

日付	シミュレーションシナリオ番号	氏名
----	----------------	----

時間的負担

作業はどの程度急がされ、あるいは慌しかったですか？

10段階評価で○印もしくは✓印を必ず付けて下さい。

<input type="checkbox"/>									
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

低い

高い

慌ただしさを感じた場合、どのような場面で特に慌ただしさを感じましたか？

()

評価尺度の定義

時間的負担	作業頻度あるいは作業ペースにより、どの程度の時間的圧力を感じましたか。ペースはゆっくりでのんびり、あるいは急速で慌ただしかったですか。
-------	---

努力

今回の試行にどの程度の努力が必要とされましたか？

10段階評価で○印もしくは✓印を必ず付けて下さい。

<input type="checkbox"/>									
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

低い

高い

航空管制リアルタイムシミュレーション実験 (関西国際空港)

実験スケジュール

1回のシナリオの**試行時間** 40分～50分

1日の**試行回数** 4回程

実験開始前後のスケジュールの変化

順番	実験開始前	実験開始後
1	現行 混合率0%	現行 混合率0%
2	現行 混合率30%	現行 混合率30%
3	予測値 混合率0%	現行 混合率10%
4	予測値 混合率10%	現行 混合率15%
5	予測値 混合率15%	現行 混合率30%
6	予測値 混合率30%	予測値 混合率0%

※現行はIFR到着機21機／時，

予測値は3年後の交通量でIFR到着機28機／時

変更理由: 現行機数で混合運用難

実験結果 (関西国際空港)

混合率

一番機は管制対象外となったことから除外
交通流の集中する時間帯を重点的に実験



混合率10% → 実質的に17%

混合率15% → 実質的に25%

混合率30% → 平均値36%, 最大値50%

平均速度調整回数 (最終日のみの平均値)

ILS機 1.9回

AR機 1.4回

頻度が現実的か？速度調整値が妥当か？

→ パイロット等に位置に応じて要確認

実験結果 (関西国際空港)

同時取扱機数

現行・混合運用

最大同時取扱機数の平均値は9.7機(殆どの試行で**10機**)

同時取扱機数が**7機以上の時間**の割合

→平均値**49%**, 最大値は68%

予測値・ILS機のみ

最大同時取扱機数 **11機**

同時取扱機数が7機以上の時間の割合 **88%**

同時取扱機数が**7機以上**では**管制が困難**と言われている。

仮想仙台→IFR到着機20機/時で最大同時取扱機数

混合運用で**7機未満**

取扱対象となる距離

仮想仙台**60** NM程, 関空**100** NM程←**最大要因**?

実験結果 (関西国際空港)

迂回距離と追加飛行時間

AR機優先方式 → ILS機が割を食う

AR機への経路短縮以外の針路指示は不許可

→速度調整回数が増、昨年度までの実験にて確認済

混合運用での平均追加飛行時間 ILS機はAR機の1.8倍

ILS機のみでの平均追加時間 それらの平均値付近

ILS機とAR機の迂回距離と追加飛行時間

進入方式	平均迂回距離 [NM/機]	平均追加飛行時間 [分/機]
ILSのみ	1.5	1.9
混合運用		
ILS	1.2	2.3
RNP AR	-0.6	1.3

実験結果 (関西国際空港)

評価量同士の相関関係

相関係数の絶対値 $|r|$ が0.4以上...「相関あり」

評価量の相関関係

評価量1	評価量2	r
ILS平均追加飛行時間	混合率	-0.66
ILS平均追加飛行時間	AR平均追加飛行時間	0.53
ILS+AR平均追加飛行時間	ILS+AR平均迂回距離	0.47
ILS平均速度調整回数	ILS平均迂回距離	-0.4
非達成感	混合率	-0.49

タワー移管間隔

タワー移管間隔の平均値...**9.9 NM**

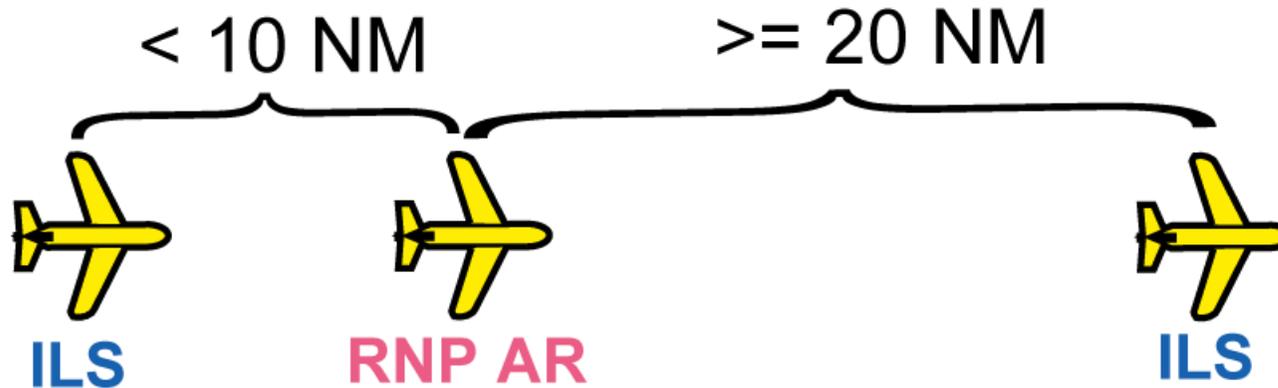
滑走路近傍での間隔の平均値...6.9 NM

滑走路近傍でのILS機とAR機との間隔確保...実験中課題

実験結果 (関西国際空港)

被験者のコメント

- ・ 入域経路が5つのため、**早期順序付け**が必要
- ・ AWAJIから40~50 NMを飛行するため、**早い段階からの頻繁な速度調整**必要
- ・ LILAC辺りまでに前後の航空機を含めた次の**3機相互間**の間隔設定が必要



- ・ **調整官役**の効果大

今後の実験計画

- 比較的**交通流の少ない時間帯**を対象とする。
時間帯毎の交通流の分析必要
- **混合率も10%**など少なめに設定する。
- **風の影響**を加えて、**速度のバラツキ**も再検討
- LILAC付近での**速度指定FIX**を検討
- 引き続き**調整官役**を配置
- **入域時刻にもバラツキ**を付加

まとめ

RNP AR進入方式

→取り扱い便数の多い空港へ展開するためには**同一滑走路にて、RNP ARと従来進入方式とを同時に行う混合運用**の実現可能性の検討が重要

CARATS研究課題推進のために行っている研究のうち、**関西国際空港**での**航空管制リアルタイムシミュレーション**実験の方法と結果について述べた。

現在のピーク時の交通量（**IFR到着機21機／時**）での実験
→**仙台空港ベースよりも難しいと被験者に感じさせる結果**
3年後の予測交通量に対する混合運用の実験→**未実施**

今後は**関西国際空港にて比較的交通量の少ない時間帯**を限定し、**バラツキ等**の条件はより**厳しく**した実験を計画

ご清聴ありがとうございました。

