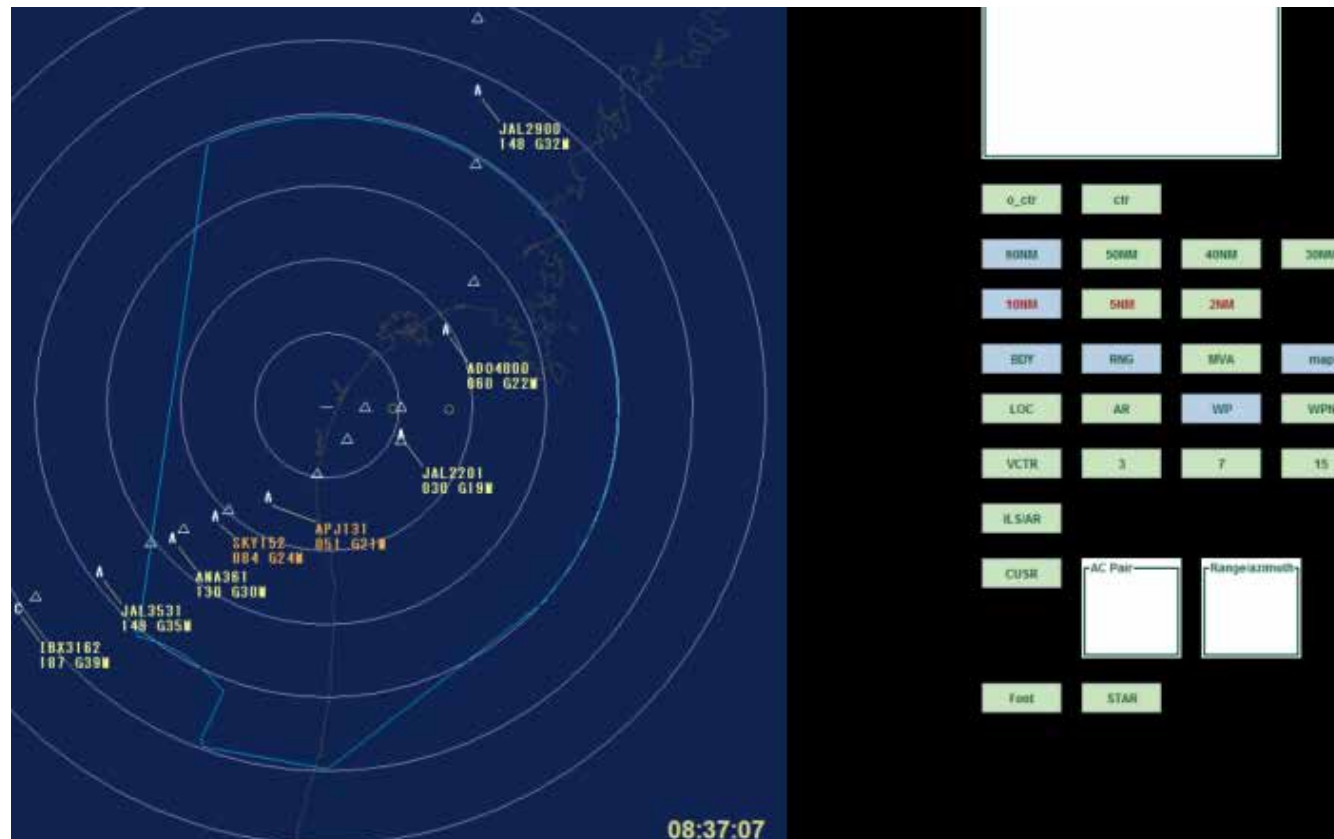


# RNP ARと従来方式の混在環境の 管制リアルタイムシミュレーション

航空交通管理領域 天井 治、松岡 猛



# 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. 航空管制リアルタイムシミュレーション

### 2.1 シミュレータ概要

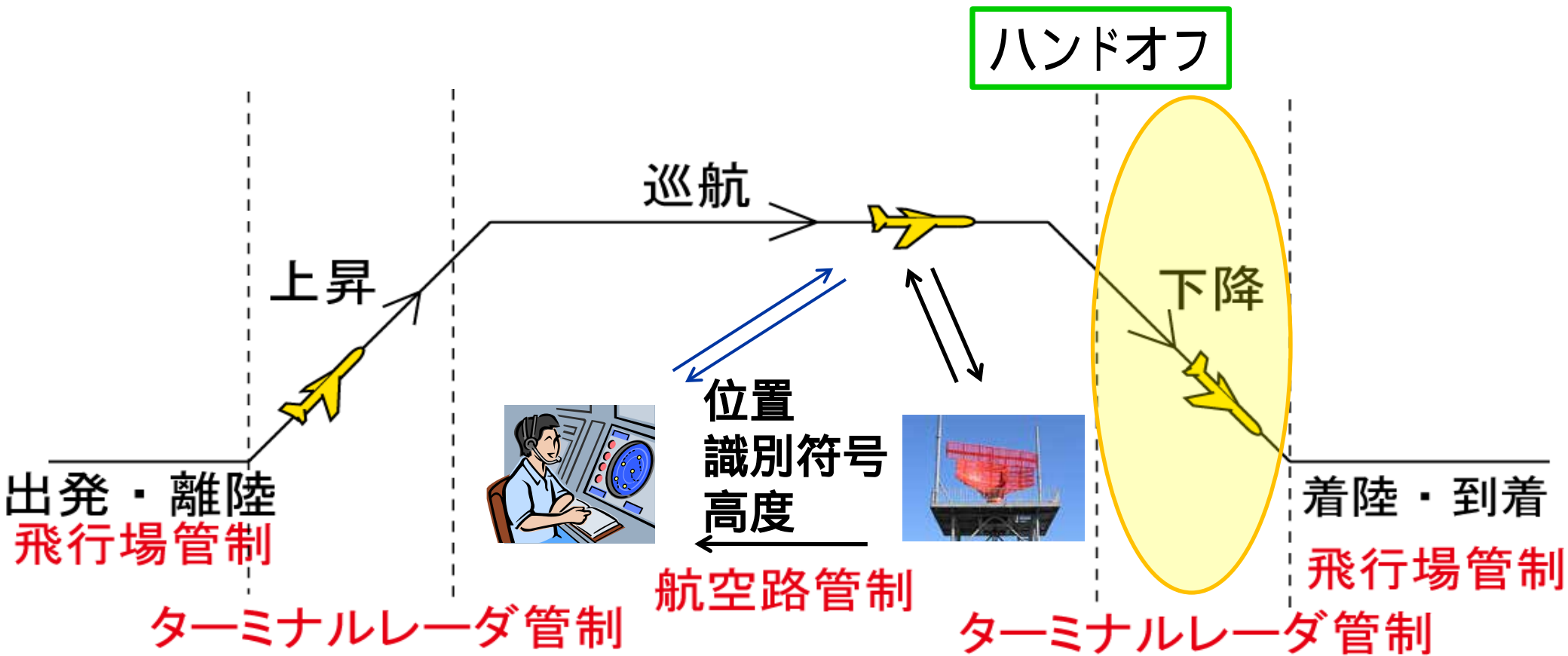
### 2.2 実験概要

変化させる項目、(定量的、定性的)評価量

### 2.3 実験結果

## 3. まとめ

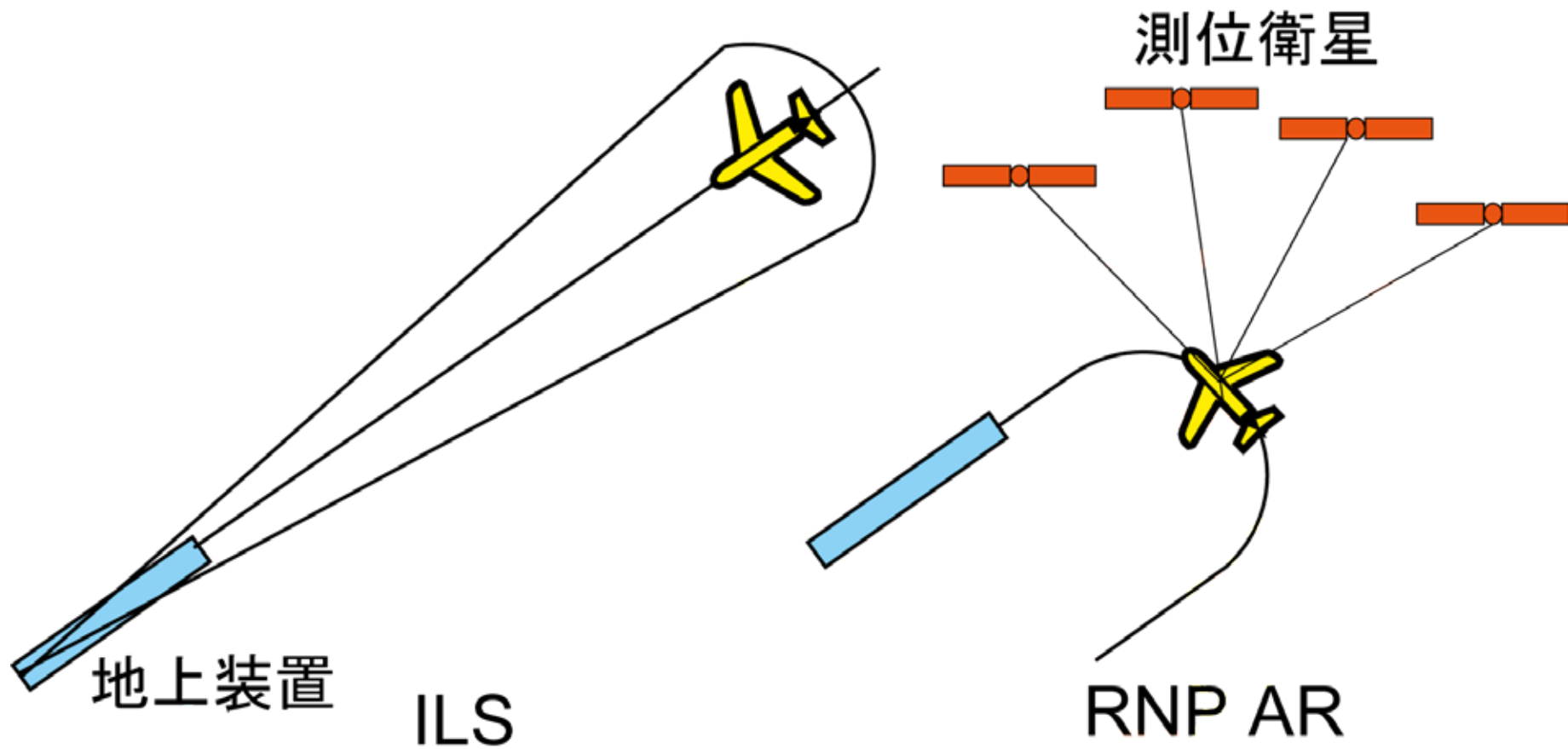
# 研究の背景



# 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)

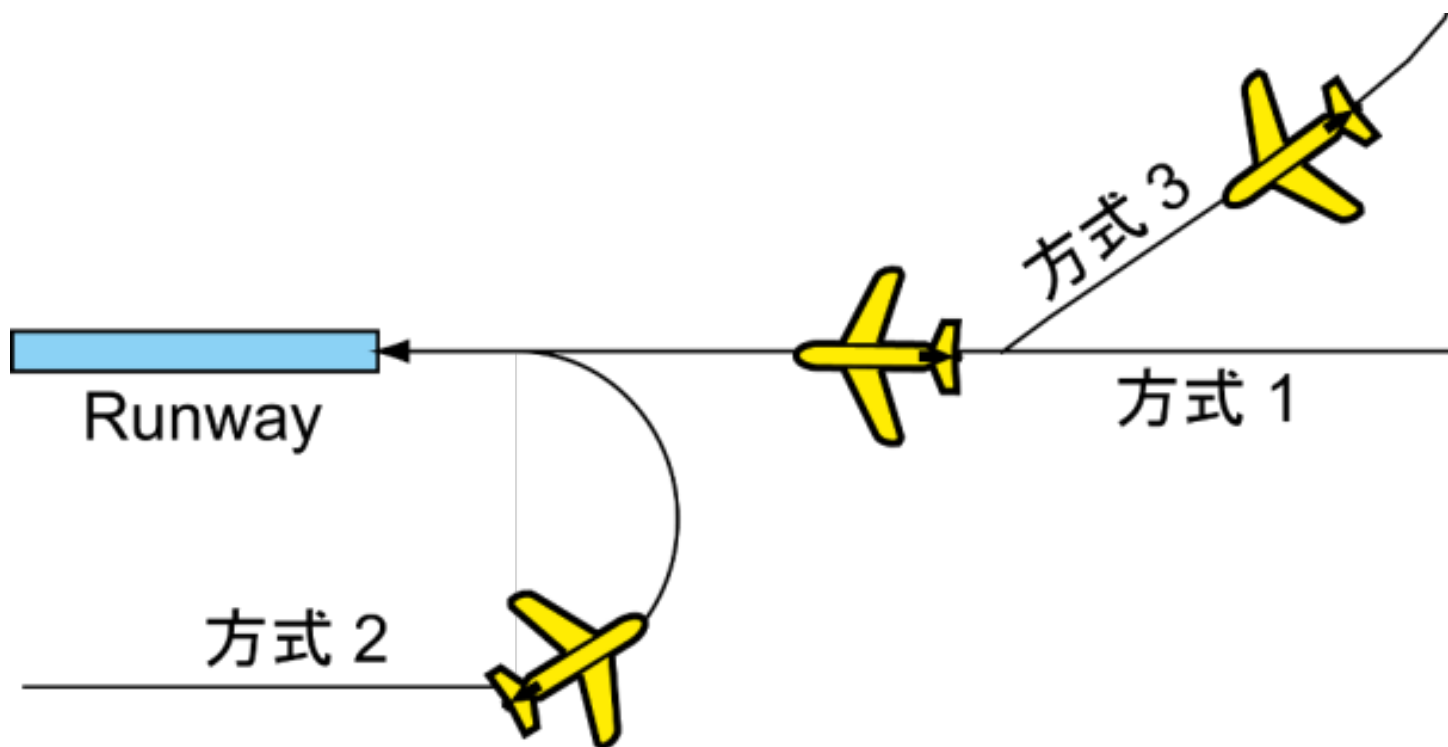
- ・米国では100以上の空港で導入中
- ・効果が見込まれる小規模空港から**順次導入中**(16空港)
- ・航空機の**航法性能を十分に活用**した飛行方式
- ・**横方向の航法精度**として総飛行時間の95%が **±0.3 NM**  
(海里) (0.3 NM= **556 m**) **以下**となる性能要件
- ・同様の精度での**旋回** (**RF(Radius to Fix) Leg**) も可能
- ・運航は**許可を受けた機体のみ**に限られる。
- ・**パイロットの訓練**が要求される。



## ILS進入方式とRNP AR進入方式

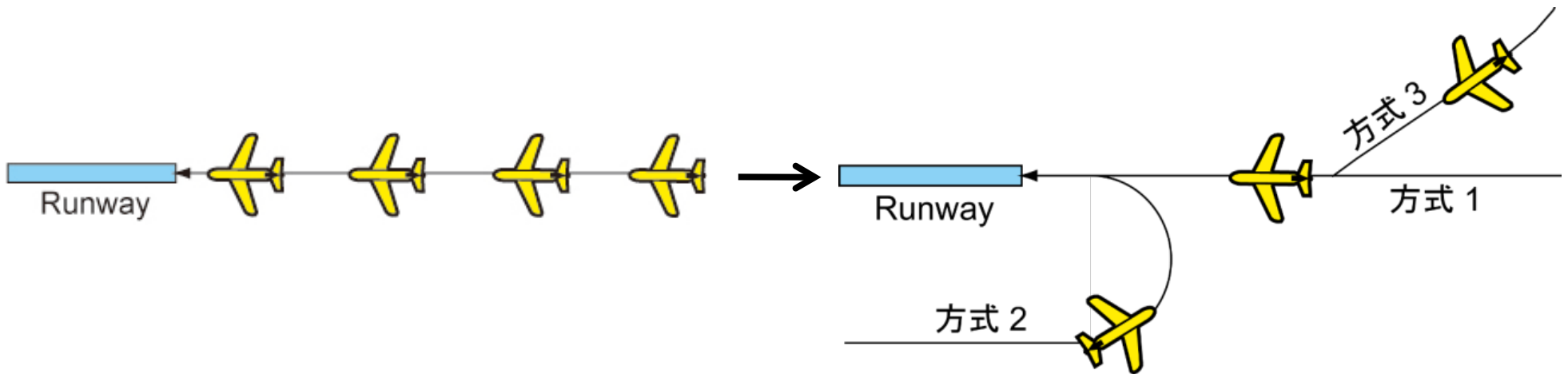
ILS (Instrument Landing System: 計器着陸装置)

同一滑走路に対し、複数の進入方式が設定され、ILS進入方式等の進入と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。



・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。





航空管制

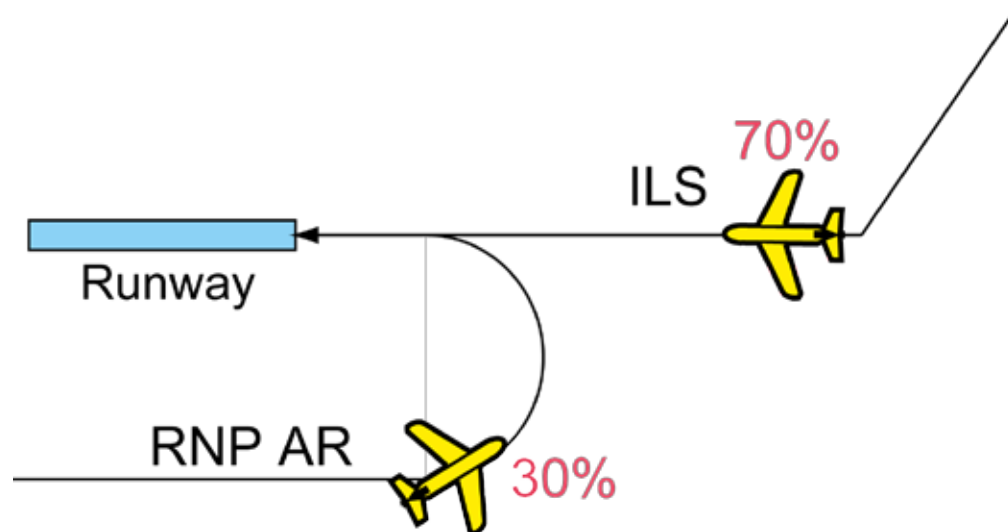
リアルタイムシミュレーション

・混合運用では、異なる方向から来る航空機の到着順序判断 (Sequencing)、間隔付け (Spacing) 必要  
→従来より困難になると予想される。

・このような業務負荷を客観的に示すデータ  
NASA, MITRE → 同一、単一滑走路ではない等

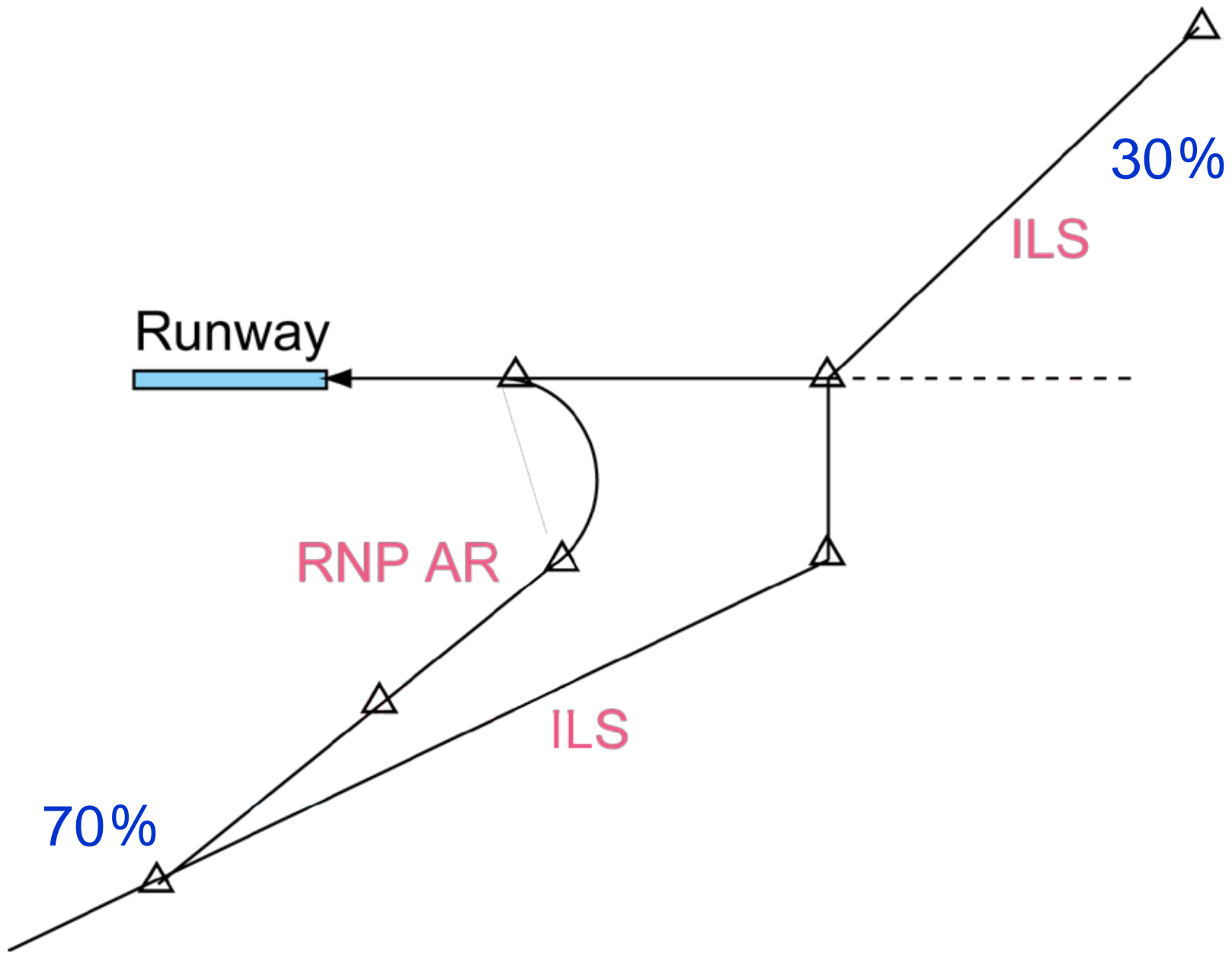


・航空管制経験者によるリアルタイムシミュレーション実験  
・到着機数と混合率の組み合わせでの業務負荷のデータ

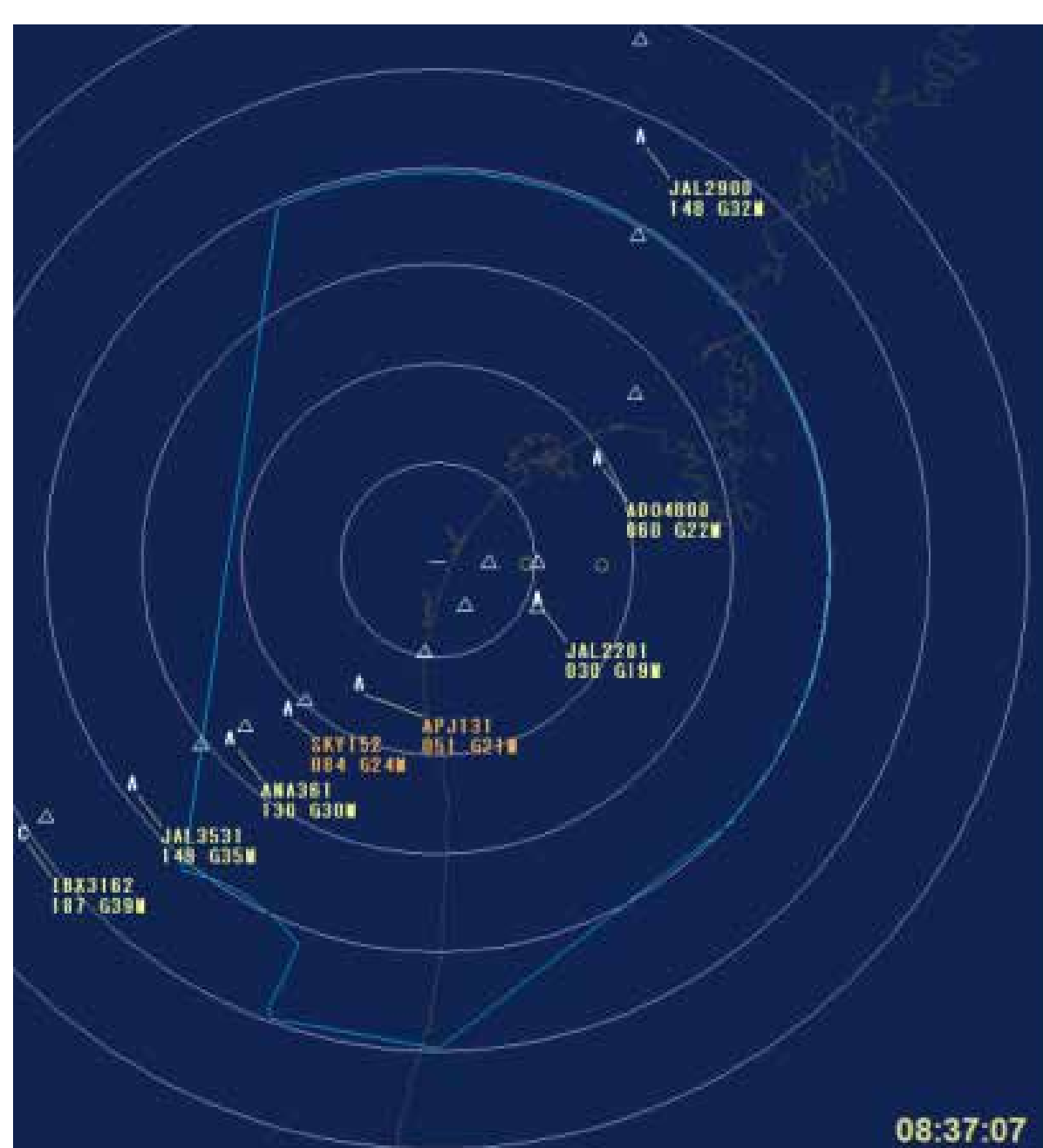


# パソコン上の簡易シミュレータ





設定した経路の概略(一部)



0_CT	CT		
10NM	50NM	40NM	30NM
10NM	5NM	2NM	
DOT	ENG	MYA	TRIP
LOC	AR	WP	WPS
VCTR	3	7	15
ILSAR			
CUSH	-AC Pair	-Range/altmeth	
Font	STAR		

模擬管制卓表示例



パイロット卓画面

管制官役 5名

1人3日(約15試行) 週3日→5週間

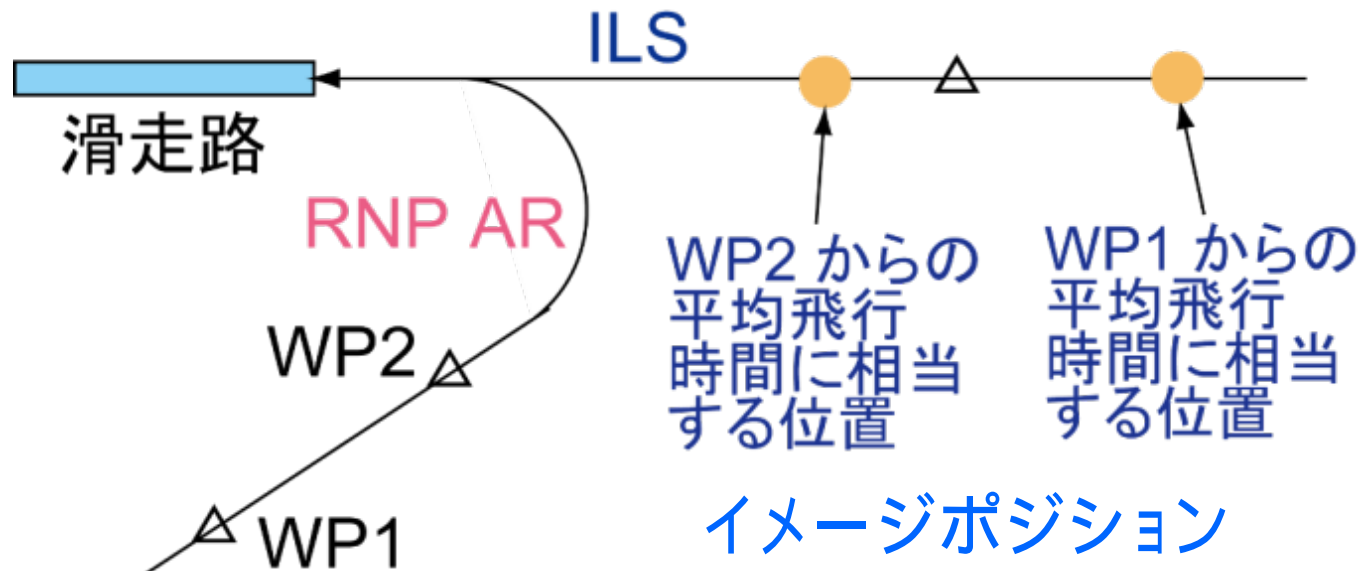
1回のシナリオの試行時間→40分～60分

## 条件

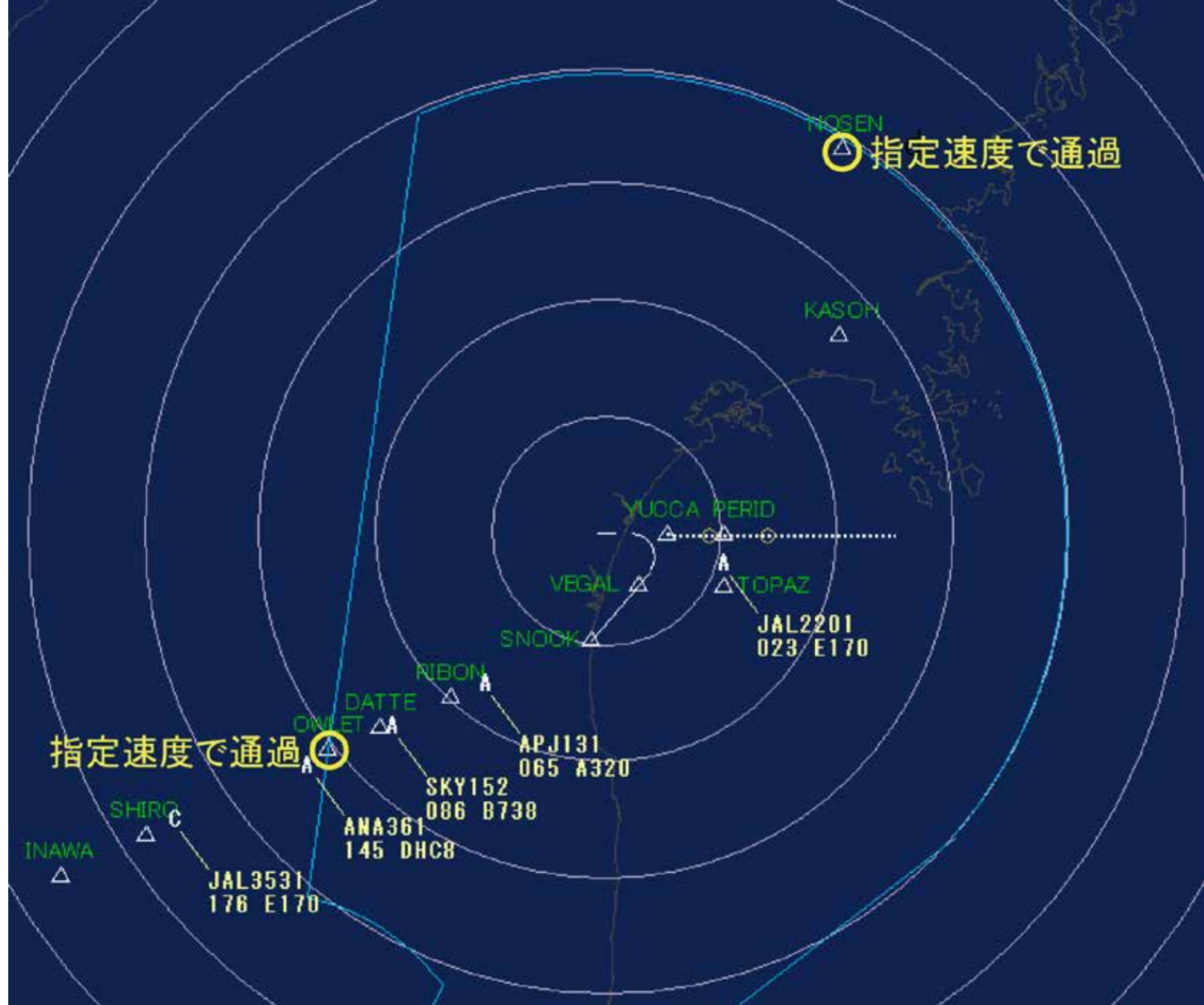
- ・ RNP AR進入を可能な限り許可→必ず許可
- ・ 速度のバラツキ付加(レーダデータ参照)
- ・ 気象条件→設定なし(南西風あり)
- ・ 定められた進入間隔でタワーに移管
- ・ FIXにおける上空待機(Holding)→不許可
- ・ タワー移管後進入復行機→取り扱わない

# 変化させる量

- ・1時間当たりの機数 (15機 ~ 25機 (20機がメイン))
- ・RNP AR便とILS便の混合率 (20% ~ 50%)  
50%=RNP AR便とILS便半々
- ・タワー移管時の航空機間隔の指定値 (5、7、10 NM)
- ・入域FIXにおける速度指定の有無
- ・イメージポジション表示の有無







入域FIXでの速度指定

# 評価指標

## 定量的評価量

- ・ハンドオフ**応答**時間
- ・最大同時取扱**機数**
- ・レーダ誘導の**総迂回**距離
- ・**針路**指示の回数
- ・**速度**指示の回数
- ・タワー移管時の**指定間隔**を切った回数
- ・**異常接近**(コンフリクト)の回数、時間、最小距離

## 定性的評価量

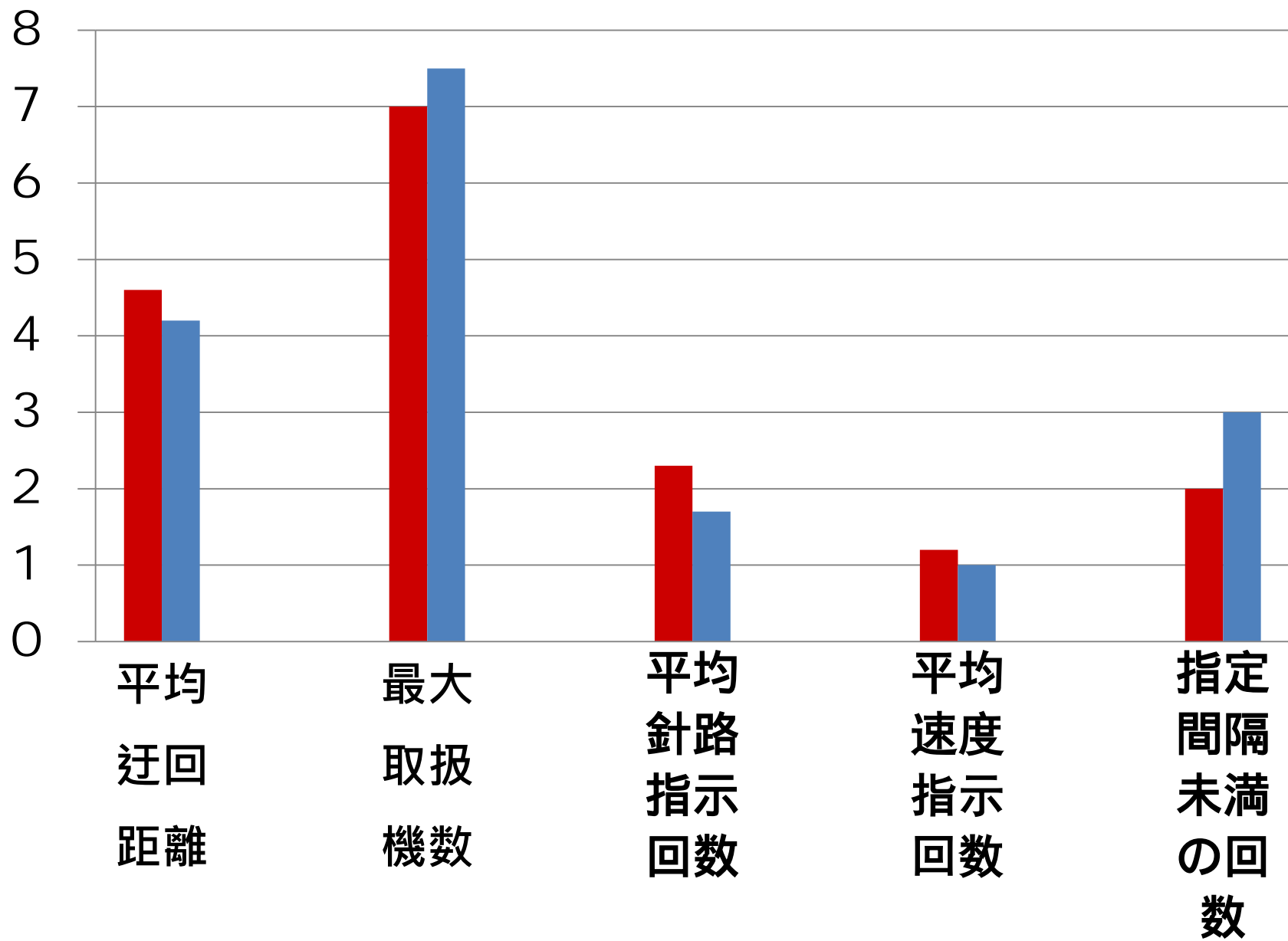
- ・NASA TLX**アンケート**(管制官自身の**主観的評価**)

# 実験結果

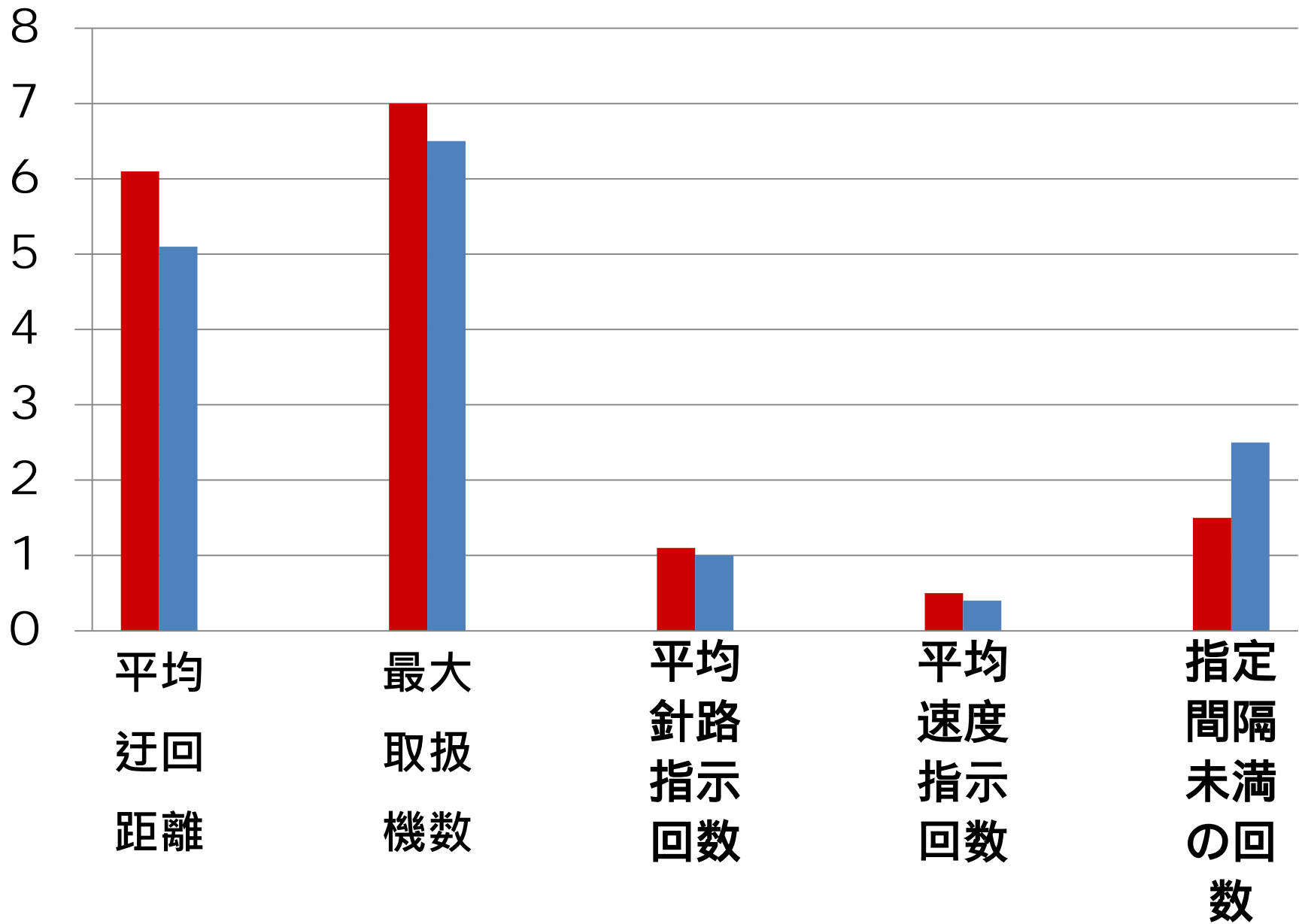
# イメージポジションと速度指定 (IS) の効果

項目	被験者A		被験者B		被験者C	
	有	無	有	無	有	無
平均迂回距離[NM]	4.2	4.6	5.1	6.1	5.0	4.4
同時最大取扱機数	7.5	7.0	6.5	7.0	6.5	6.7
平均針路指示回数	1.7	2.3	1.0	1.1	1.2	1.2
平均ハンドオフ応答時間[秒]	32.7	28.1	39.9	33.9	27.9	30.3
平均速度指示回数	1.0	1.2	0.4	0.5	0.8	1.0
指定間隔未満回数	3.0	2.0	2.5	1.5	0.5	2.0

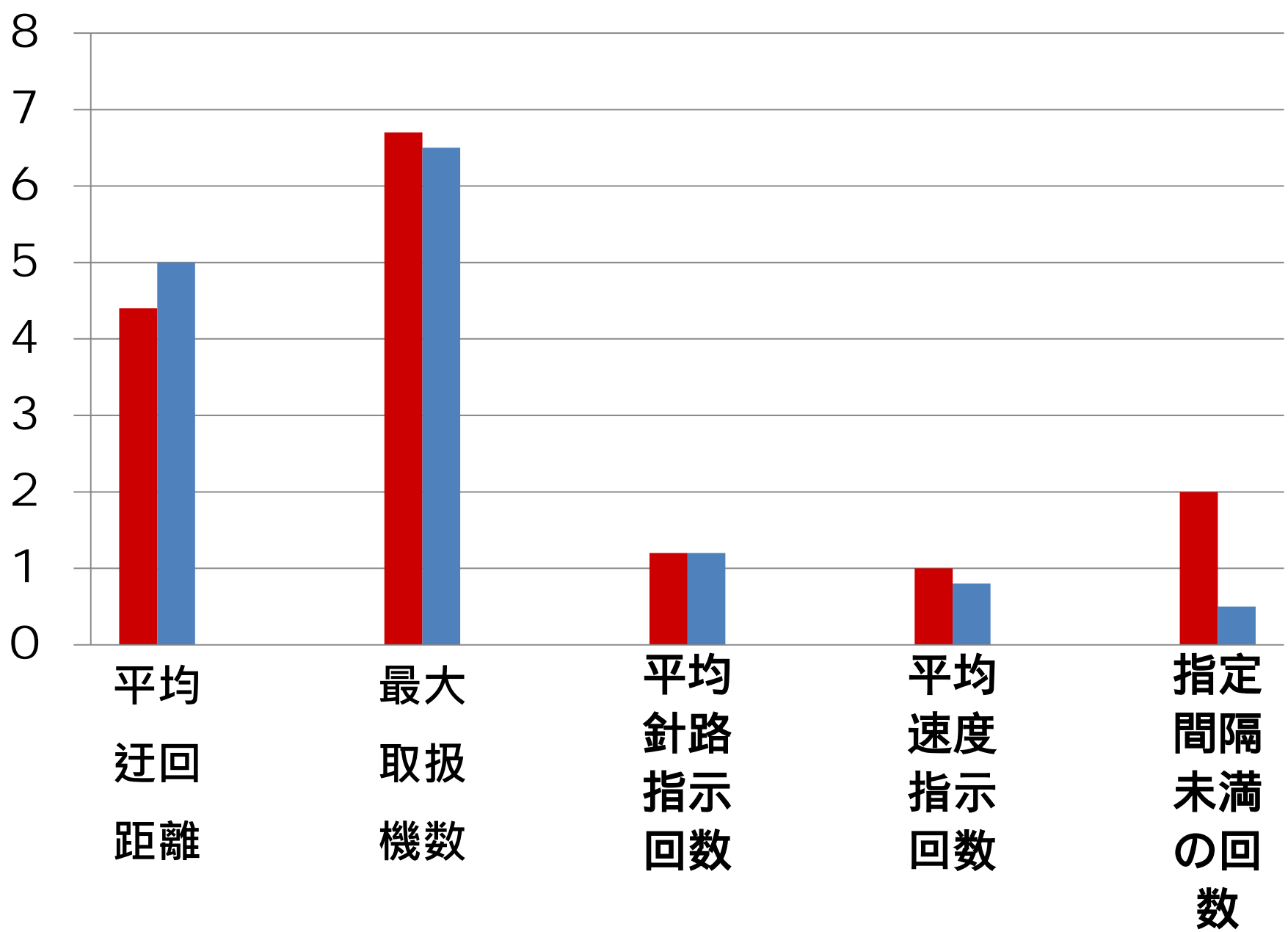
黒 左 右  
 青太字 左 × 2 < 右  
 赤 左 > 右  
 赤太字 左 > 2 × 右



被験者A

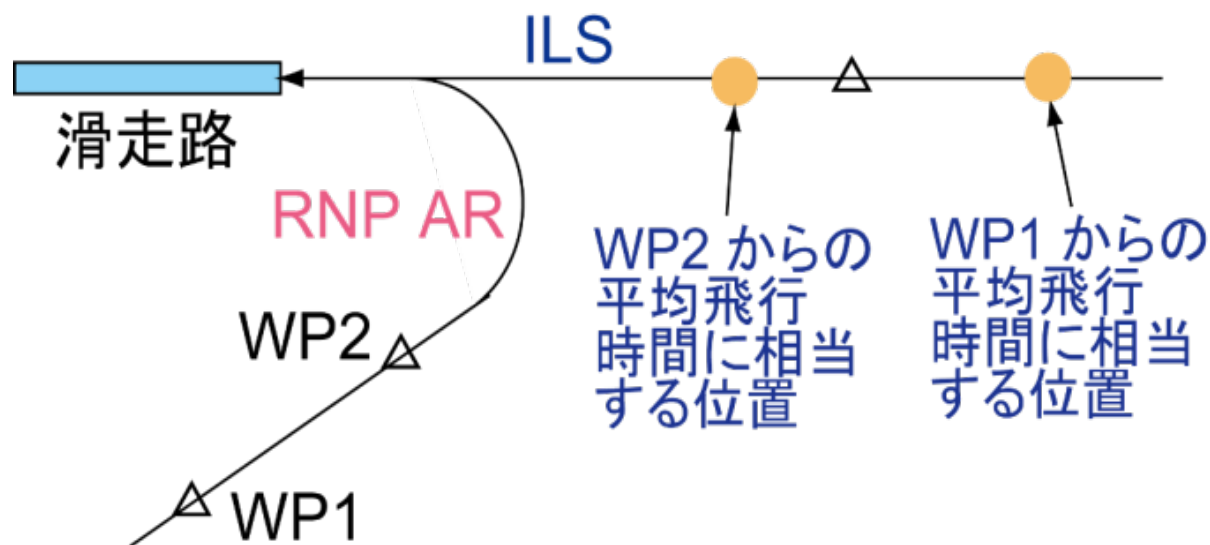


被験者B



被験者C

- ・アンケートでは「ISは効果を感じない」旨の回答多数
- ・アンケート回答  
イメージポジションについて  
「最終確認には使えるが、位置的に順序付けには使えない」  
「滑走路からより遠いWIPに対するイメージポジションを標準到着経路 (STAR) 上に付けられれば効果的」

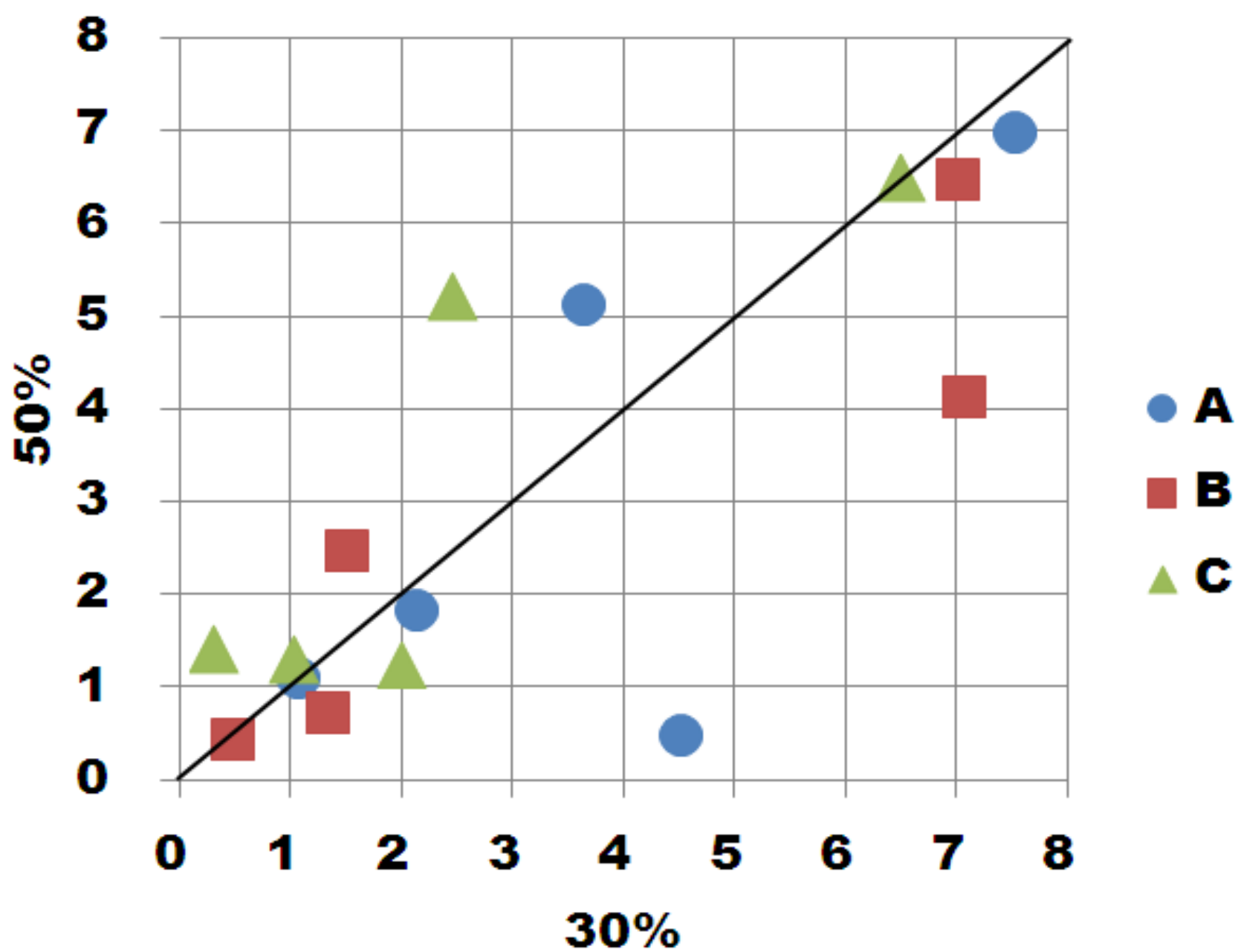




## 混合率30%と50%の比較

項目	被験者A		被験者B		被験者C	
混合率 [%]	30	50	30	50	30	50
平均迂回距離[NM]	3.6	5.1	7.1	4.1	2.5	5.2
同時最大取扱機数	7.5	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5
平均針路指示回数	2.1	1.8	1.3	0.7	1.0	1.3
平均ハンドオフ応答時間[秒]	22.2	38.5	39.4	34.4	25.3	30.0
平均速度指示回数	1.0	1.1	0.5	0.5	0.3	1.4
指定間隔未満回数	4.5	0.5	1.5	2.5	2.0	1.3

RNP AR便数とILSの便数が半々のとき、混合率50%



混合率30%と50%の比較

被験者B

RNP AR機の割合増



レーダ誘導すべき航空機の機数が減るために楽

被験者C

RNP AR機がレーダ誘導できないストレス

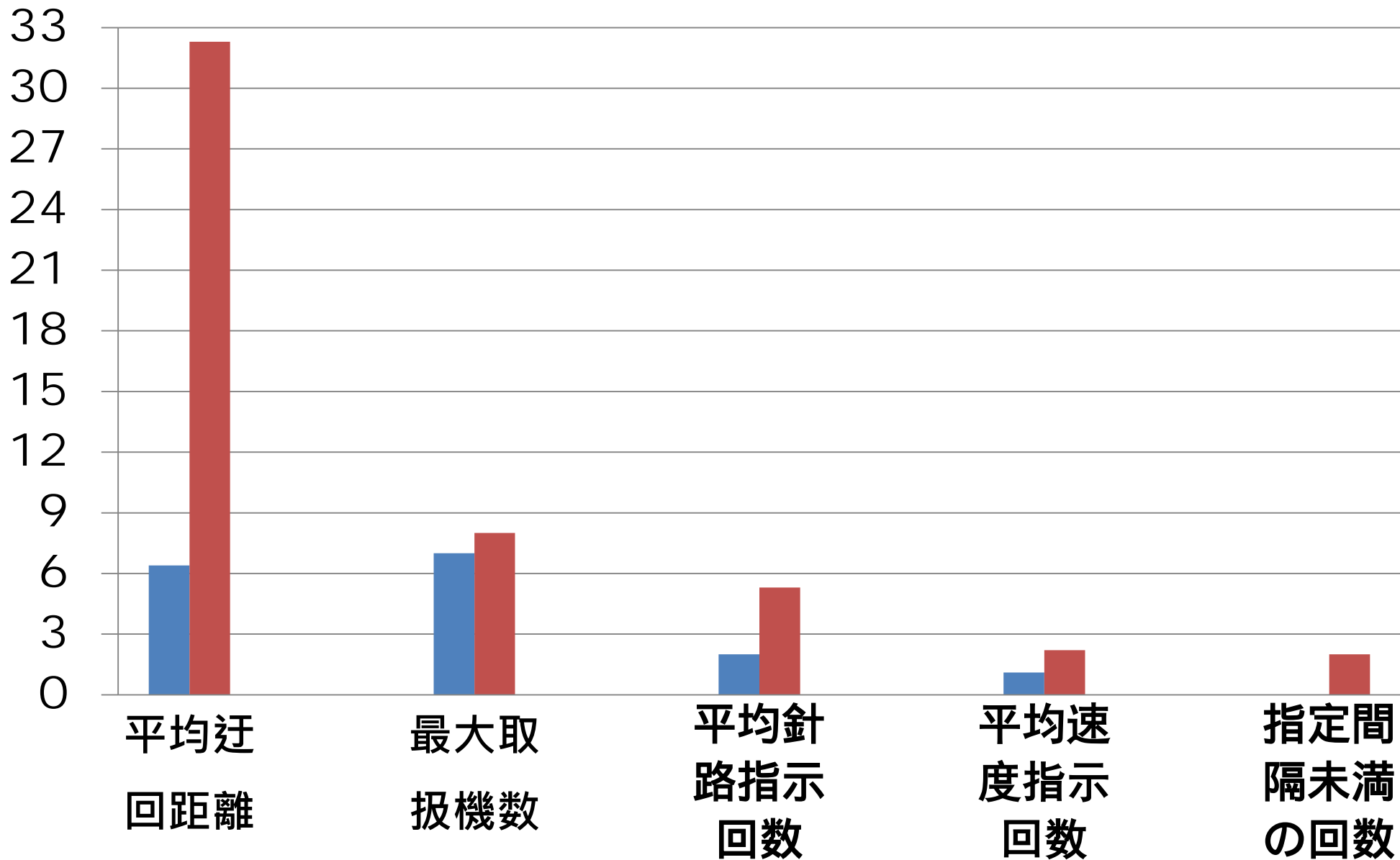


RNP AR機の割合増→ストレス増

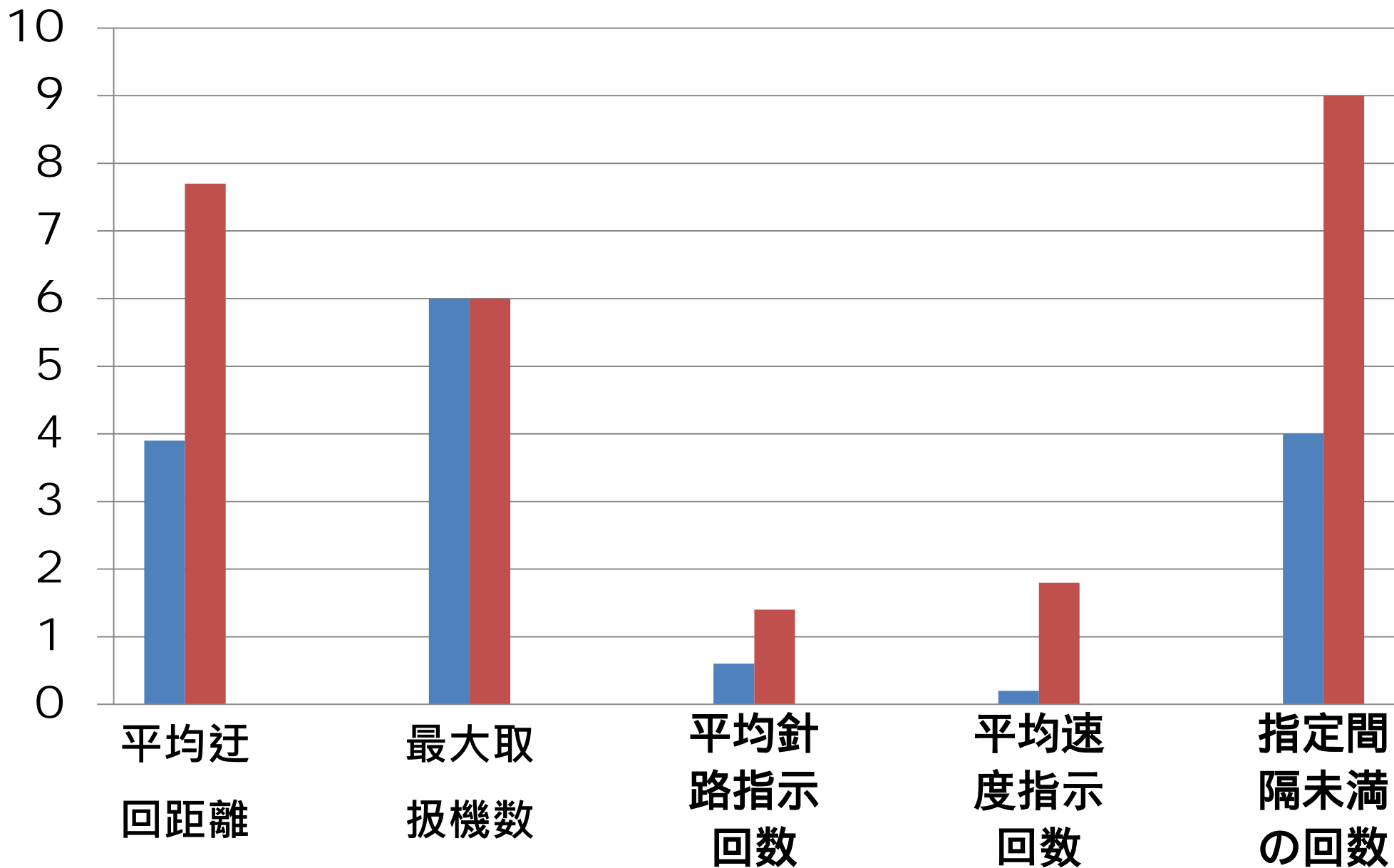
人によりとらえ方が異なり、一概に  
混合率増で管制の困難さ増とは言えない。

## タワー移管間隔が7 NMと10 NMの場合の比較 (1時間当たりの機数20機)

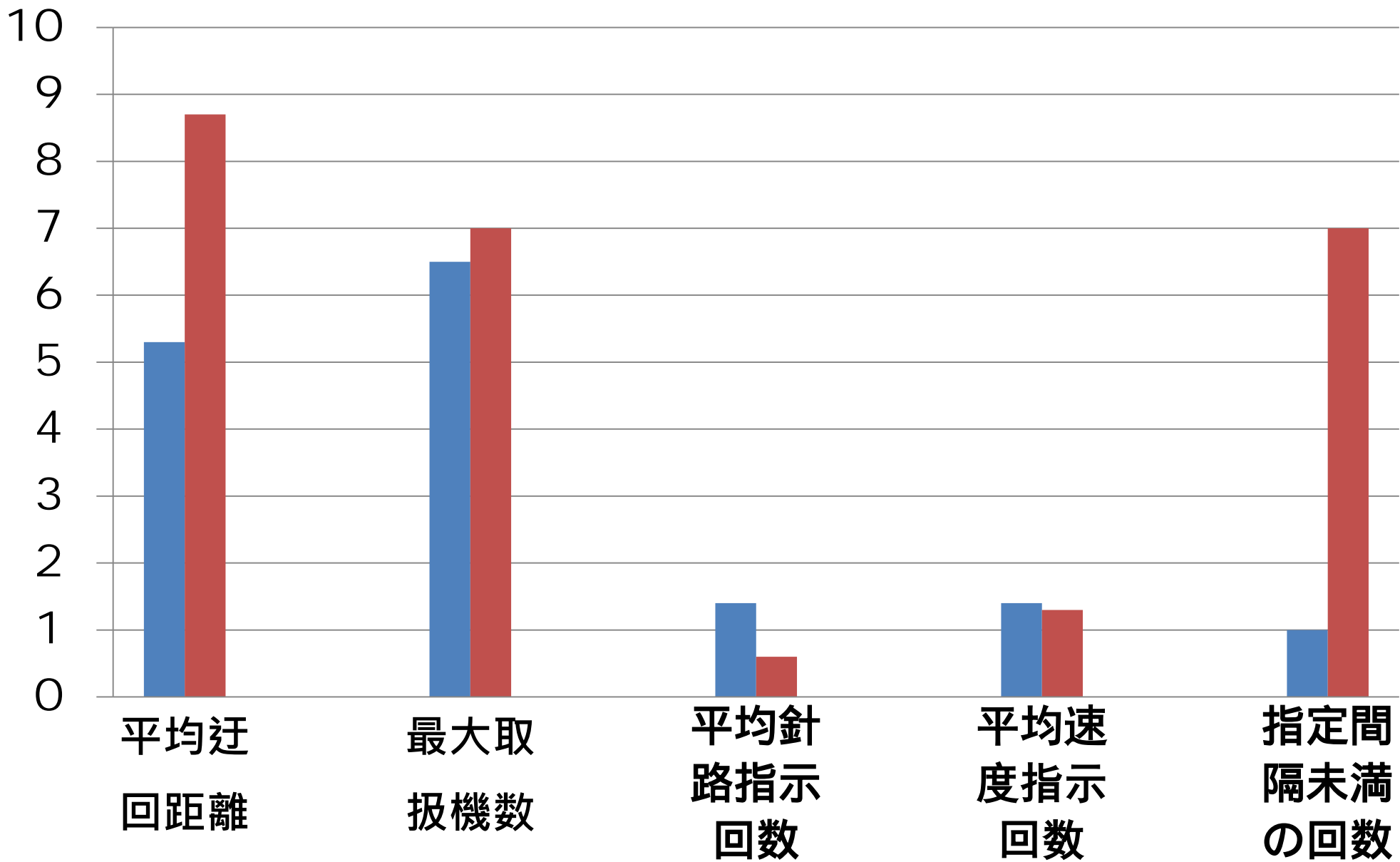
項目	被験者A		被験者B		被験者C		被験者D		被験者E	
タワー移管間隔[NM]	7	10	7	10	7	10	7	10	7	10
平均迂回距離[NM]	6.4	32.3	3.9	7.7	5.3	8.7	6.7	7.3	6.1	21.9
同時最大取扱機数	7.0	8.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	6.0	7.0
平均針路指示回数	2.0	5.3	0.6	1.4	1.4	0.6	1.1	1.3	1.5	2.8
平均ハンドオフ応答時間[秒]	48.1	26.6	31.6	20.9	28.1	35.1	11.0	29.6	10.3	19.5
平均速度指示回数	1.1	2.2	0.2	1.8	1.4	1.3	1.5	1.6	1.2	1.9
指定間隔未満回数	0	2	4	9	1	7	3	7	0	0



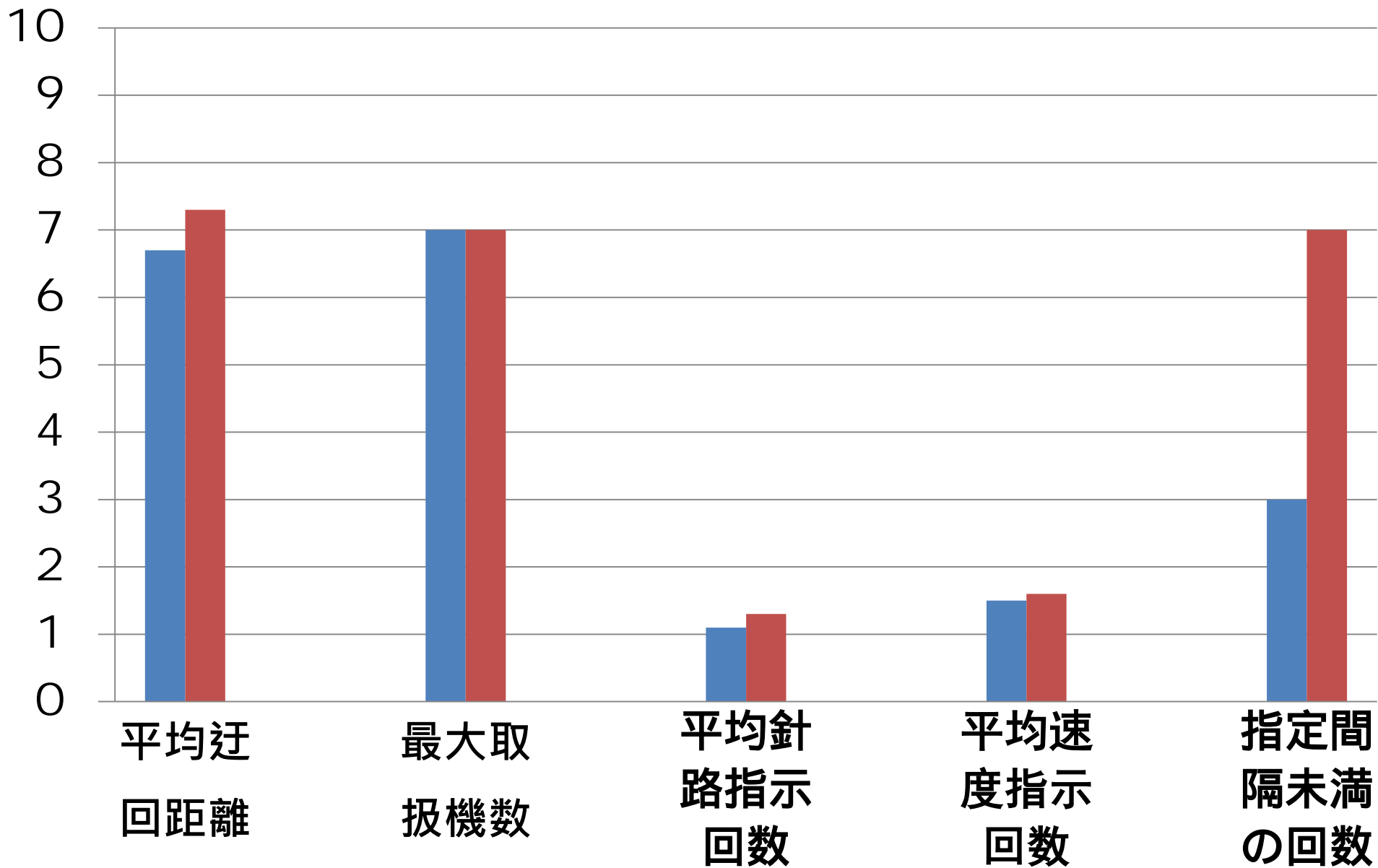
被験者A



被験者B

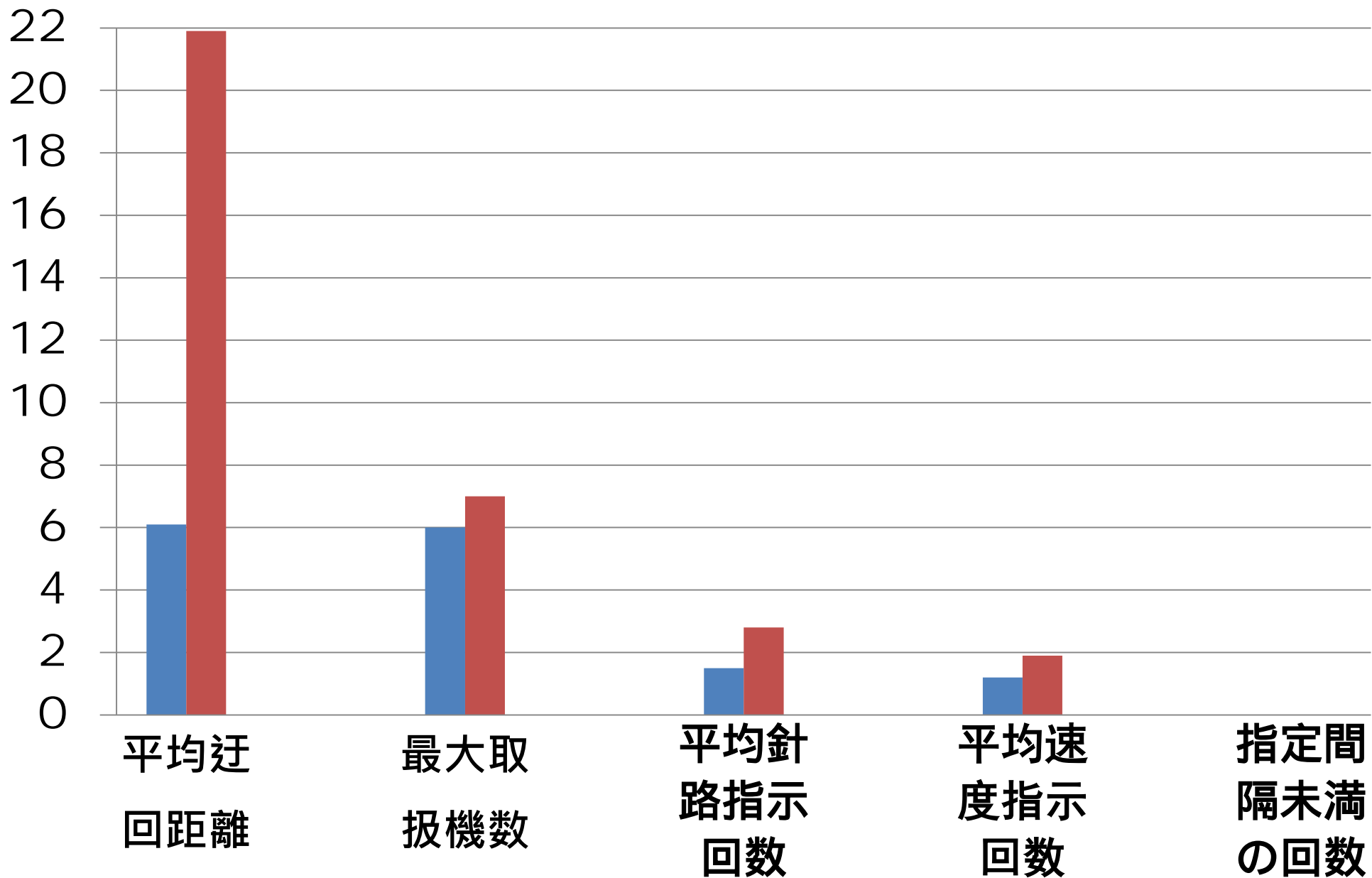


被験者C



被験者D





被験者E

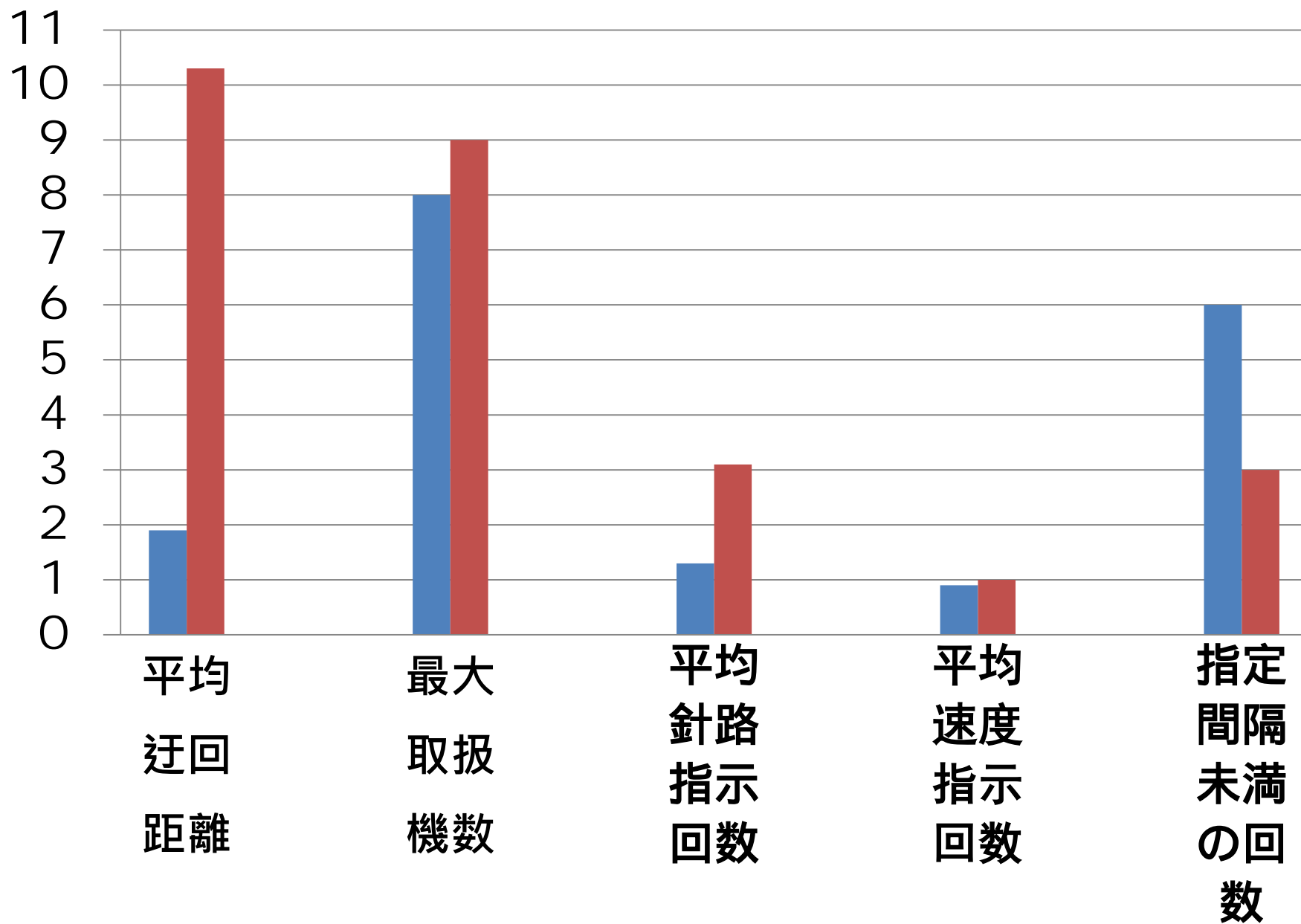
## アンケート

- ・タワー移管間隔が10 NMの場合、入域間隔は15 NMでないといけない
- ・10 NM間隔の場合、ILSの標準到着経路上に**待機経路**が必要

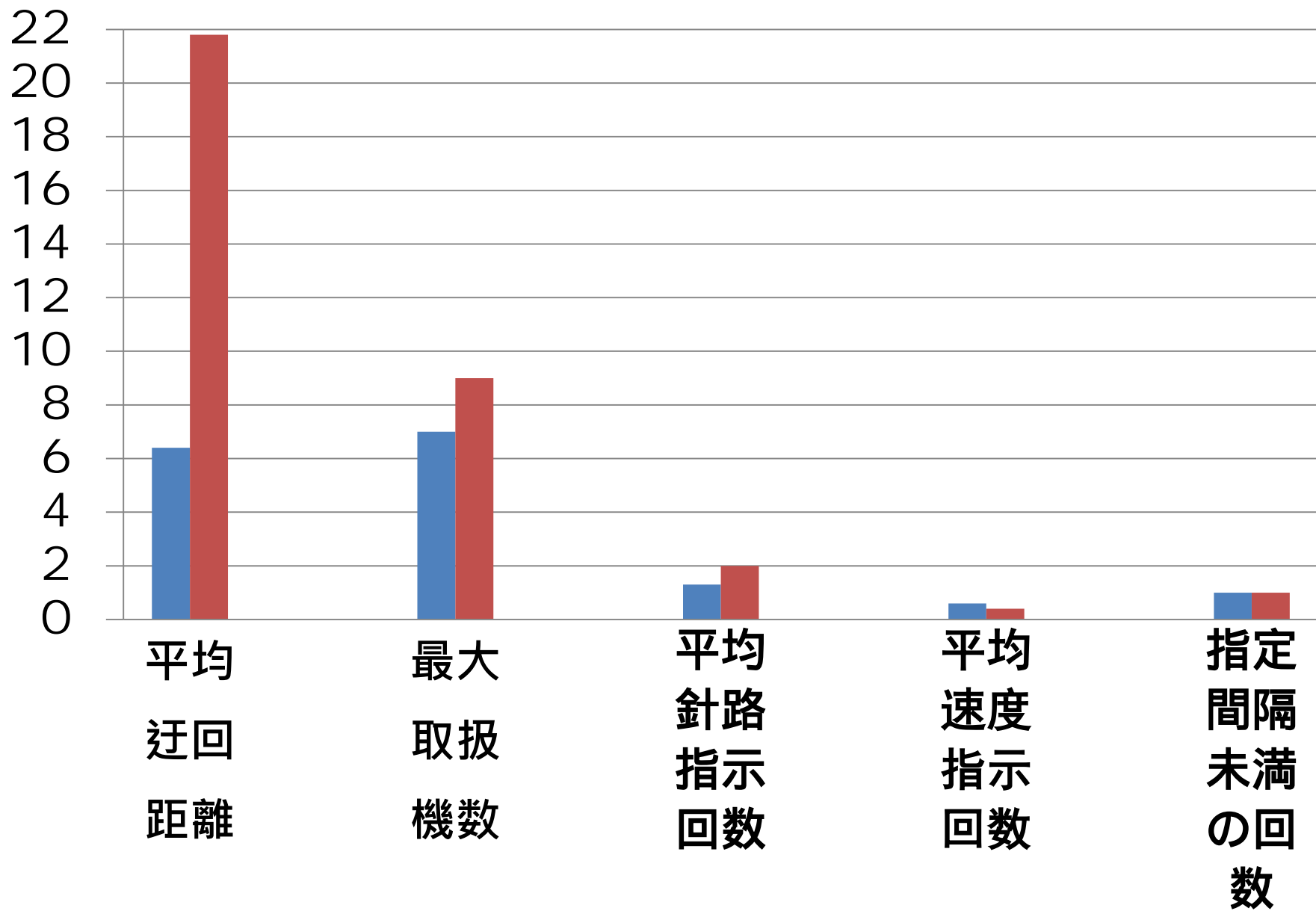


# 1時間当たりの機数が20機と25機の場合の比較 (混合率30%)

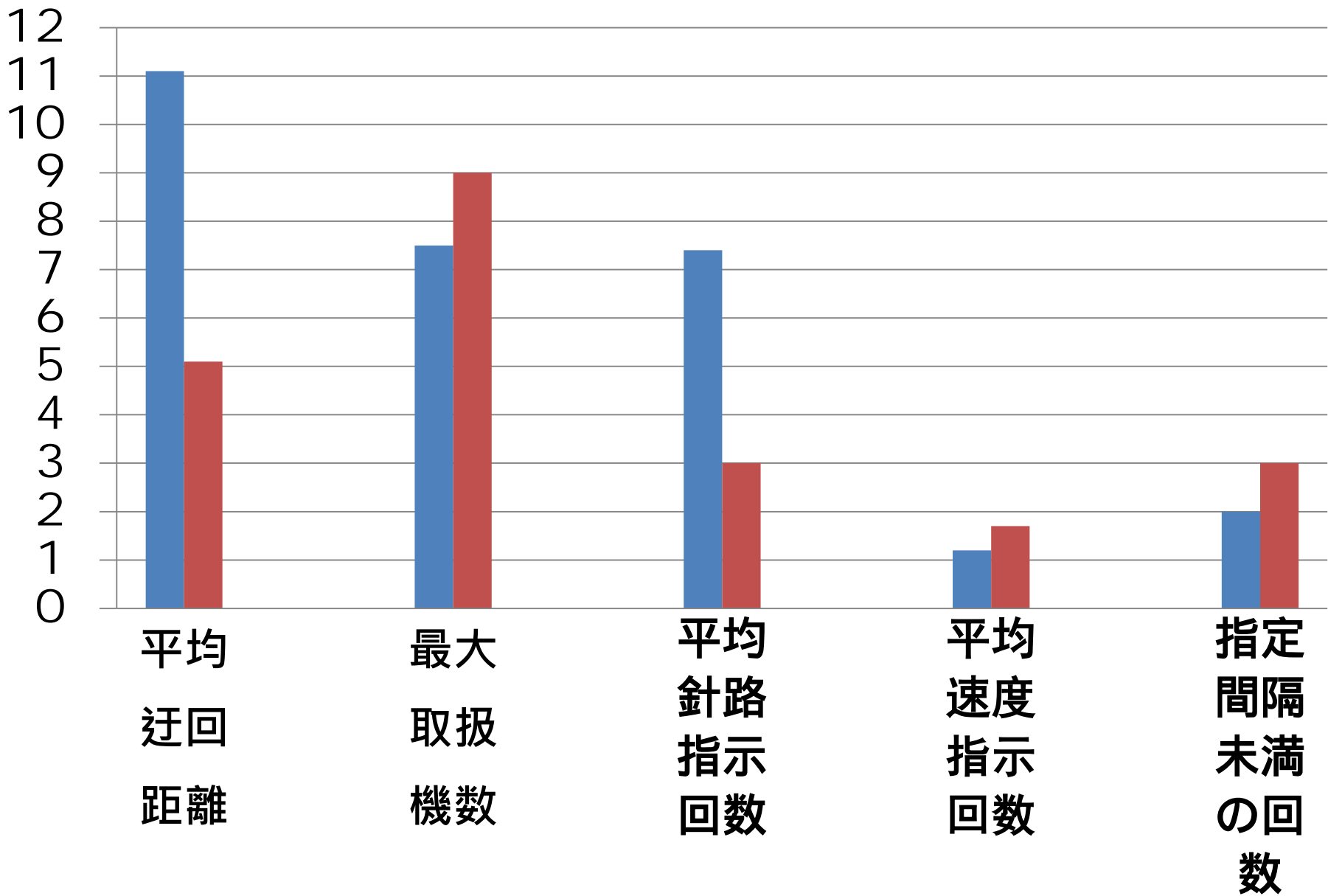
項目	被験者A		被験者B		被験者D		被験者E	
1時間の取扱機数 [機]	20	25	20	25	20	25	20	25
平均迂回距離[NM]	1.9	10.3	6.4	21.8	11.1	5.1	3.4	17.0
同時最大取扱機数	8.0	9.0	7.0	9.0	7.5	9.0	6.0	9.0
平均針路指示回数	1.3	3.1	1.3	2.0	7.4	3.0	1.7	3.7
平均ハンドオフ応答 時間[秒]	17.2	63.8	48.1	43.5	15.6	15.6	41.2	9.8
平均速度指示回数	0.9	1.0	0.6	0.4	1.2	1.7	1.4	0.8
指定間隔未満回数	6	3	1	1	2	3	0	1



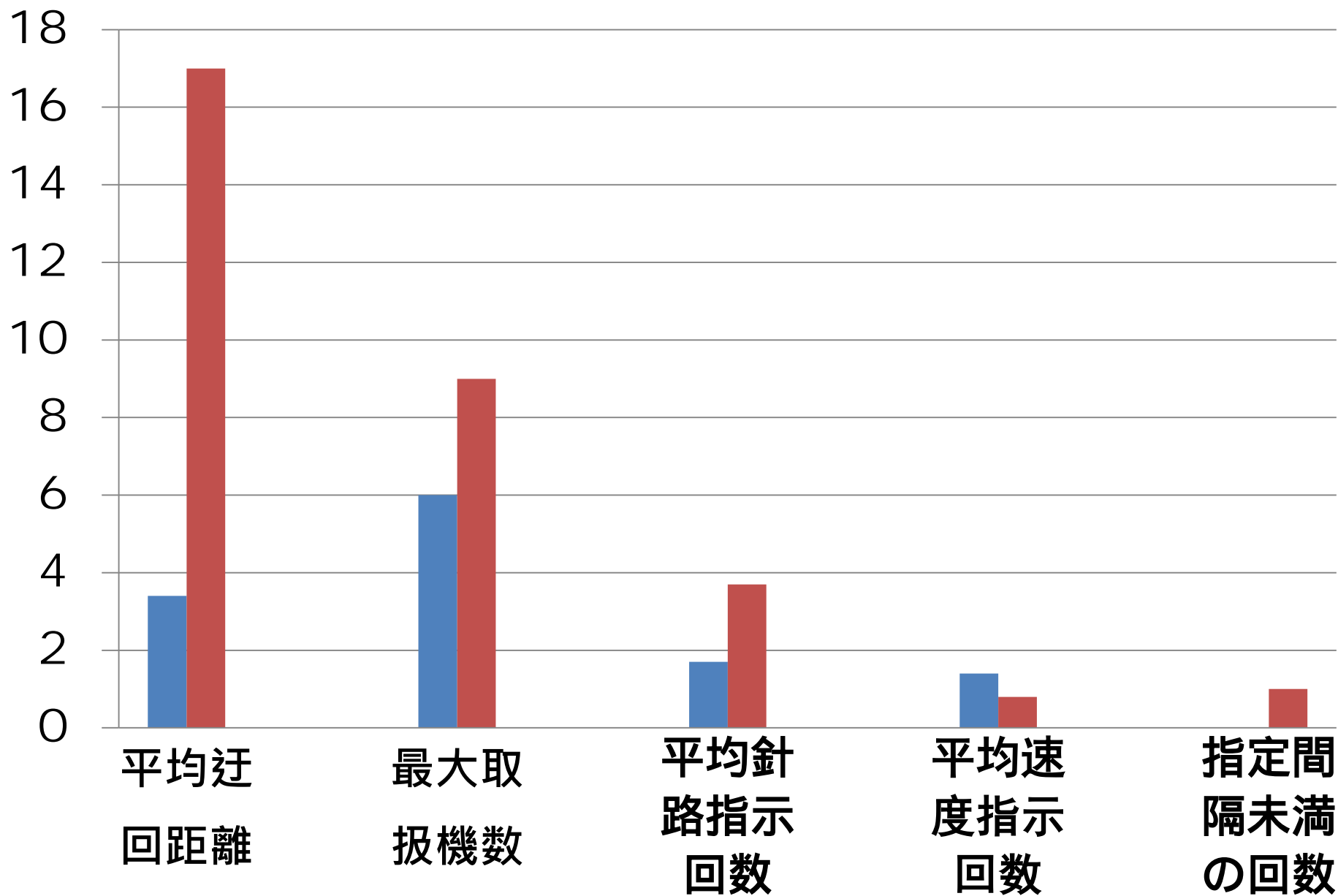
被験者A



被験者B



被験者D

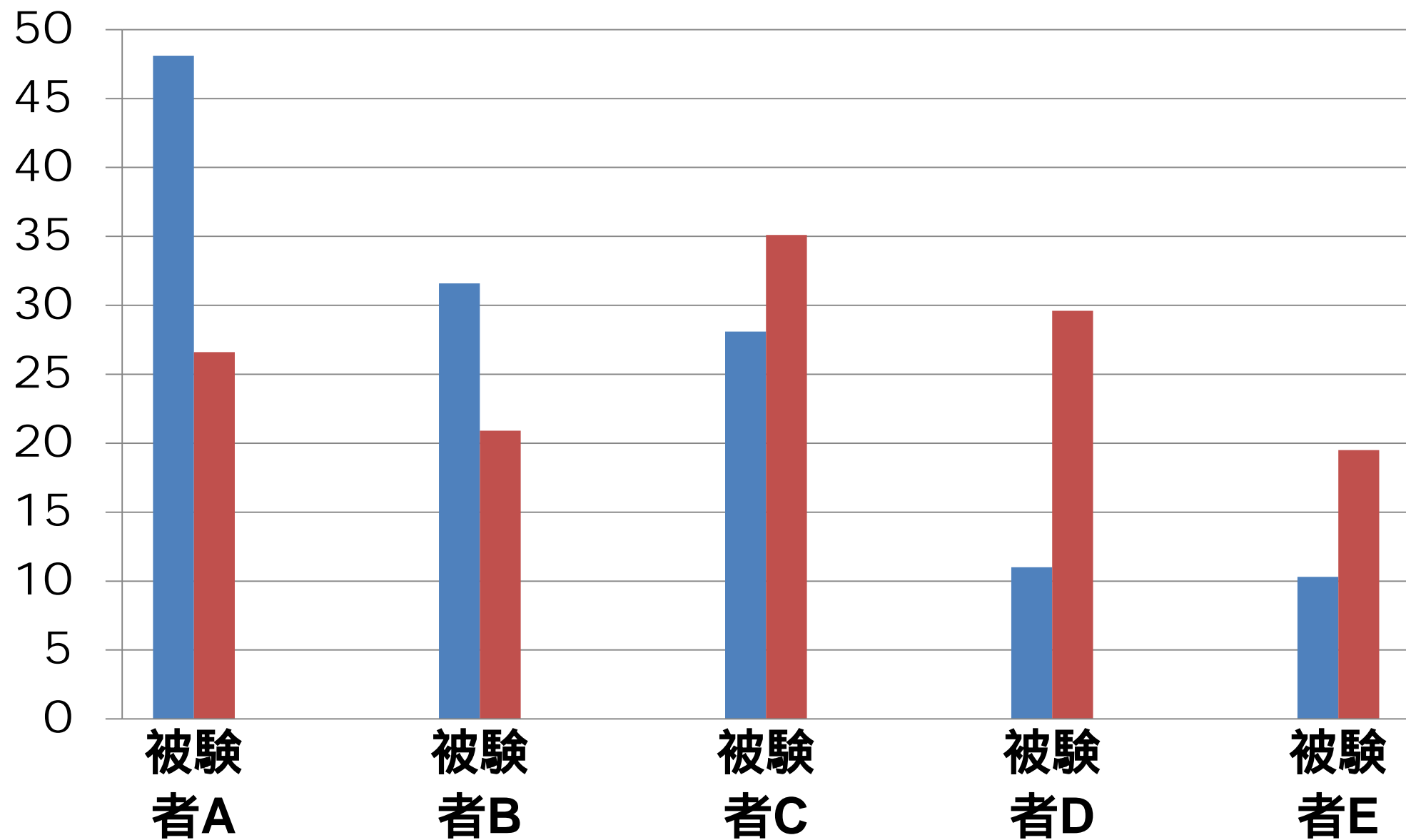


被験者E

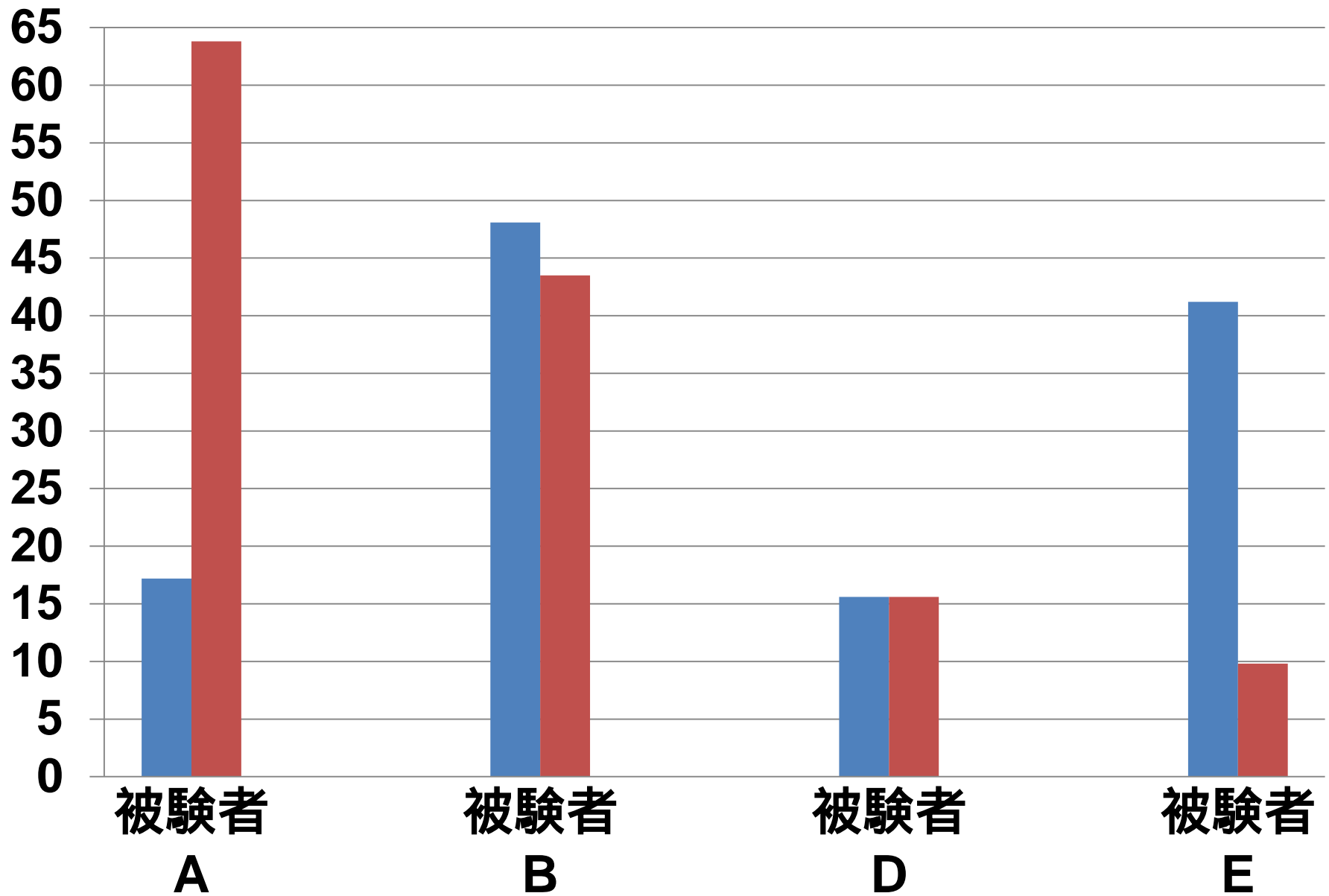
## アンケート

- ・25機の時もILSの標準到着経路 (STAR) 上に待機経路が必要
- ・タワー移管間隔5 NMは同方向の交通流のみなら楽になるが混在すると困難
- ・しっかりしたプリプランニングが必要





平均ハンドオフ対応時間の差異(タワー移管間隔)



平均ハンドオフ対応時間の差異(1時間あたりの機数)

## 平均ハンドオフ対応時間

予想            管制の困難度に従って長くなる。

実験結果    人によりまちまちでそうとは言えない。

•混合運用でのRNP AR便の優先

→First come, first serveの仮定を崩す。

•RNP AR便の優先→ILS便の迂回必要

•取扱機数増→ILS機に対する待機経路必要

•RNP AR便とILS便との表示色の変更→効果的。

# まとめ

RNP ARとILS進入方式との**混合運用の可能性**  
→航空管制**リアルタイムシミュレーション**実験

- イメージポジション**の表示や入域FIXでの**速度指定**  
→現在の方法では**効果薄**
- RNP AR機の割合**30%**と**50%**との比較  
→一概に**どちらが難しい**とは言えない。
- タワー移管間隔10 NM**、1時間当たり**25機**  
→**待機経路**の設定なしでは管制処理は困難。
- RNP AR便とILS便との**表示色の変更**  
→**効果的**。

## 今後の課題

- ・ 風向風速を変更可能にする。
- ・ 機種毎の速度プロファイルへの対応
- ・ 更なるリアルタイムシミュレーション実験



ご清聴ありがとうございました。