

空港管制とエアラインの行動からみた 空港容量拡大方法に関する研究

東京工業大学総合理工学研究科教授
運輸政策研究所研究員

屋井 鉄雄
平田 輝満

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

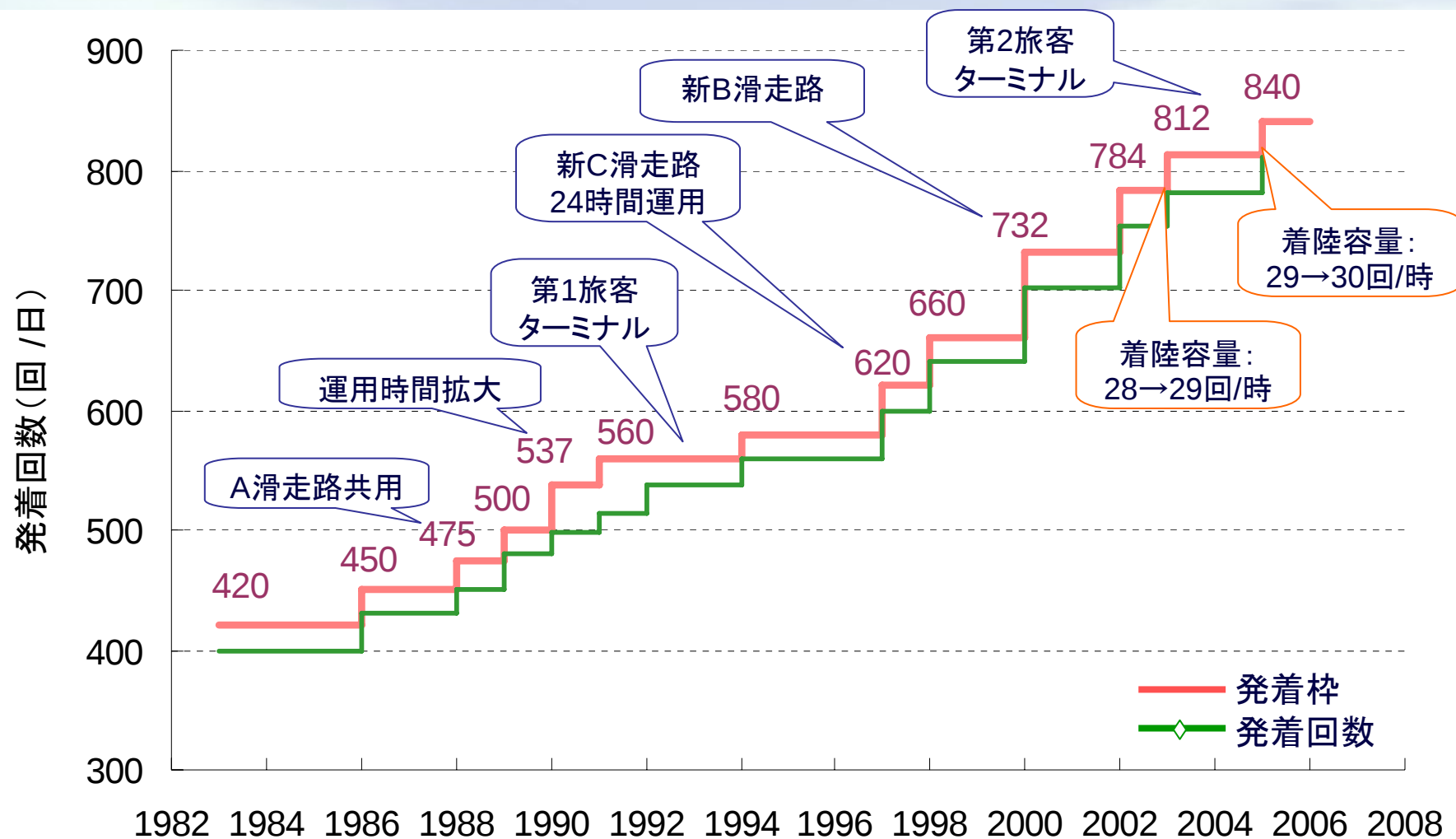
我が国の空港容量の現状

- 首都圏空港では慢性的な容量不足
→ 羽田, 成田で滑走路の新設・延長(2009)中
- 容量拡大後, 再び不足する可能性が大きい
(需要の伸び, 小型多頻度化, 高密ネットワーク化, 国際線枠などの影響)
- 一部の地方空港(福岡, 那覇)でも需給が逼迫
→ 滑走路処理能力を総合的に検討中
(「福岡空港及び那覇空港については…(中略)…滑走路増設等の抜本的な空港能力向上方策について, 幅広い合意形成を図りつつ, 国と地域が連携し, 総合的な調査を進める必要がある」交通政策審議会航空分科会 H14「今後の空港及び航空保安施設の整備に関する方策について」答申)



新滑走路や新空港建設による容量拡大を検討する際に,
既存ストックの有効活用の限界を検討することも重要

羽田空港の容量拡大の推移



(国土交通白書H17より作成)

羽田空港の容量拡大に関わる最近の議論

航空管制の安全に関する研究会

「羽田空港の発着枠の見直しについて」(2005)より

○安全確保を絶対的命題とした上で、空港の利活用の最大化と利用者利便の向上を図ることが課題であり、そのためには航空管制業務の環境改善が急務

○出発に比較して少なく設定されている到着枠をいかに増加させるかがポイントであり、それへの対応が急務

○去年の到着枠増加に関して、安全上問題はない。しかし、ダイヤの偏りが管制業務の困難性を高めているため、設定ダイヤの改善や航空交通管理の高度化など実運航の平準化が必要。また、パイロットには着陸後可能な限り速やかに滑走路から離脱する努力を従来にもまして継続することが期待される。

最近の羽田空港の容量拡大の推移

これまでに、安全性を確保しながら、滑走路占有時間の短縮や進入速度の一定化を図り、着陸容量を増加してきた

最近の着陸容量の増加:

2003年7月: 28→29回/時, 2005年10月: 29→30回/時

現在の羽田空港の容量

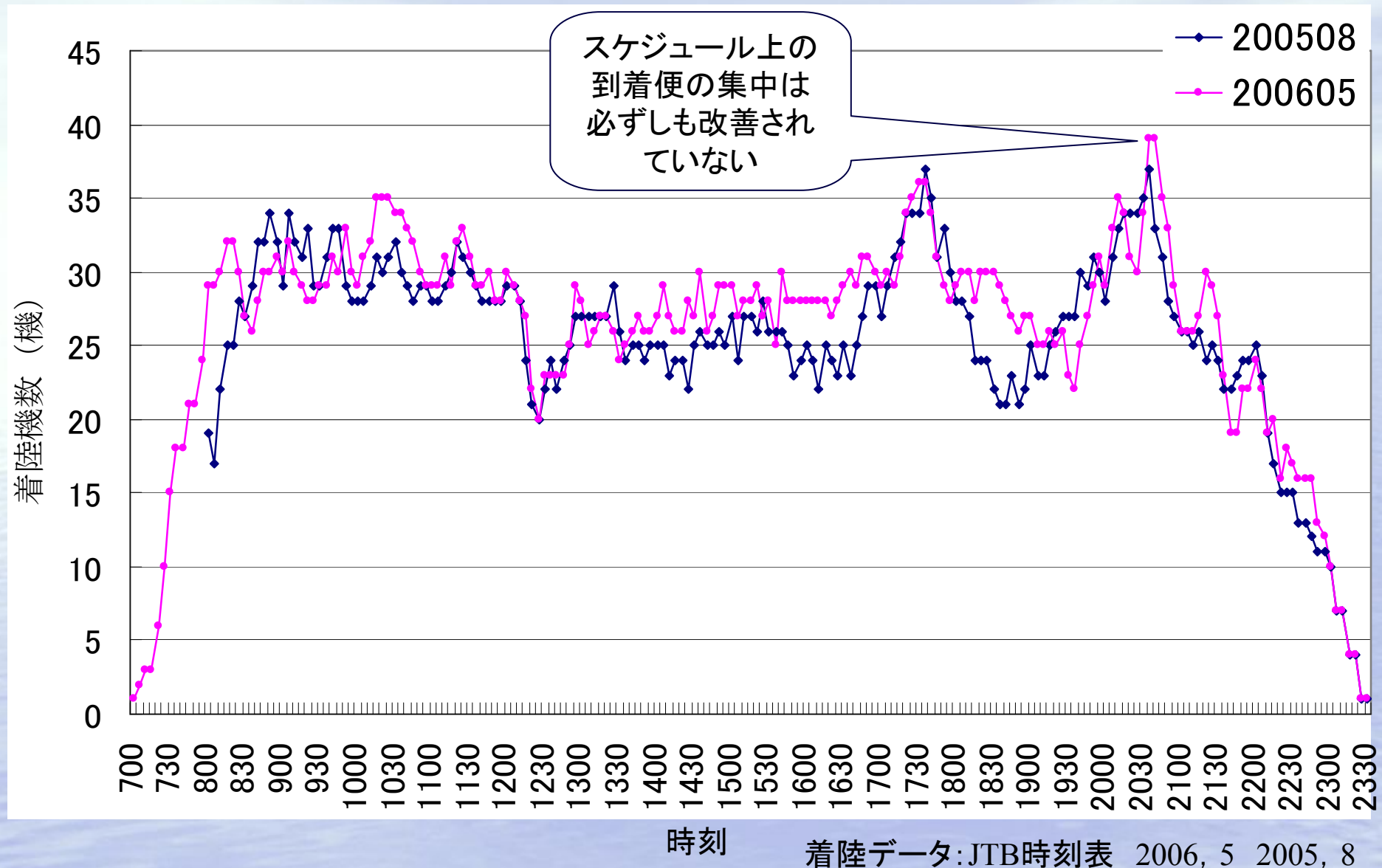
離陸: 32回/時

着陸: 30回/時

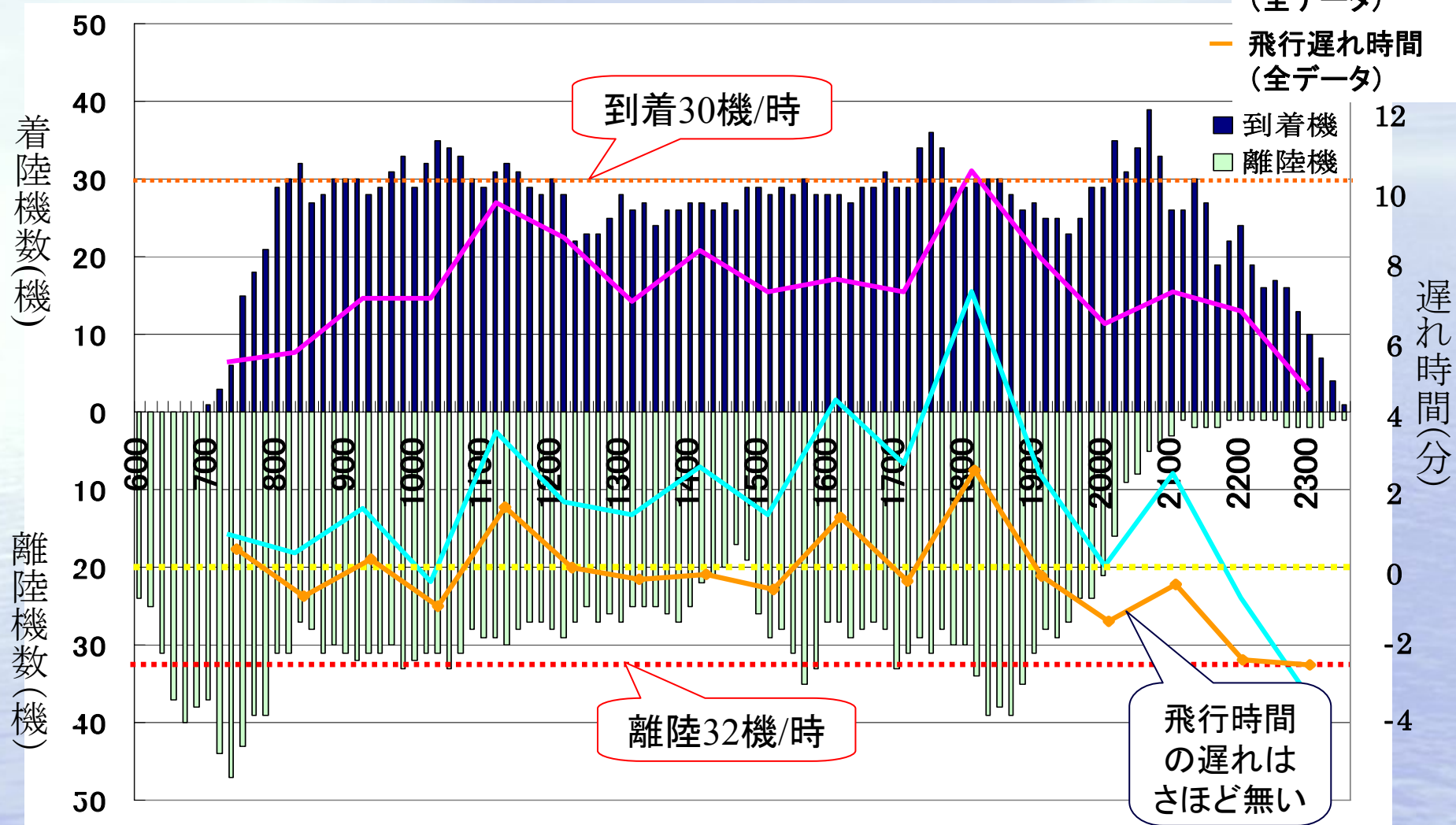


容量拡大には、
着陸容量の増加が必要

羽田空港時間帯別着陸機数（5分刻み）



羽田空港離着陸機数と到着機の遅れ時間



◇遅れ時間分析には5/10からの一ヶ月間、ANA, JALのHPより取得した新千歳, 伊丹, 関西国際, 福岡, 那覇空港発, 羽田空港到着便から出発遅延便(出発時に15分以上遅れた便)を除いた全4198便を対象として行なった

◇離着陸機数: JTB時刻表 2006, 5より

滑走路処理容量の増加策～これまでと今後の取り組み

これまでの取り組み

高速離脱誘導路の整備
着陸時の進入速度の一定化
高速離脱の励行 etc

⋮

これからの
取り組み

⋮

将来的な取り組み

次世代航空管制システムの導入
空域・航空路の再編
新空港, 新滑走路の整備 etc

本研究の対象

- ・滑走路処理容量の考え方再考
- ・効率的な進入方法の検討



容量拡大の可能性

エアライン
パイロット
管制官
利用者の協力も必要

本研究の目的

- 世界の空港における容量の考え方や運用実態をレビューし，わが国と比較する
- 日本における現行の滑走路処理容量算定方法について統計的視点から考察し，新たな算定方法を提案する
- 羽田空港の再拡張後を対象に，複数滑走路の運用方法の柔軟化による容量拡大の可能性を検討する

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. **ルール・実績・容量**
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

2. 規則・実績・容量 ルールに基づく管制の実際

飛行中の機材間のセパレーションがレーダー管制間隔および後方乱気流間隔を満たすように、各機材の飛行速度、方向をコントロール

飛行セパレーションのルール

・レーダー管制間隔

3 NM

(レーダーサイトから
40NM未満のところ)

5 NM

(RDP利用時は
データ処理で精
度が下がると考
えられるため)

・後方乱気流間隔

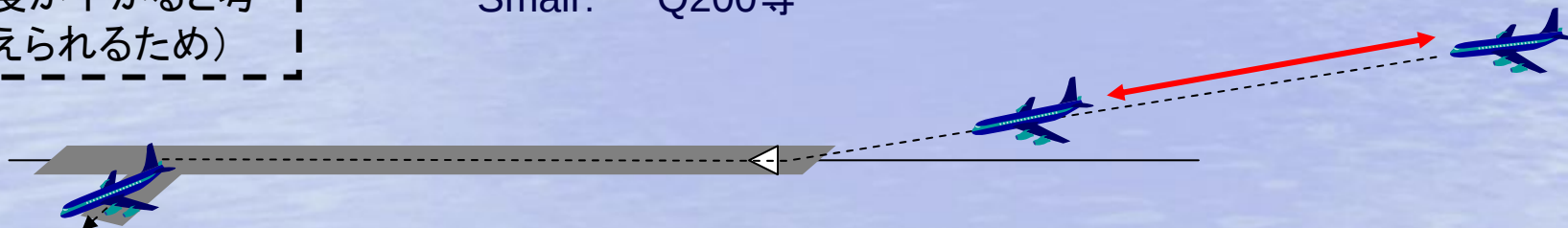
	Heavy	Medium	Small
Heavy	4 NM	5 NM	6 NM
Medium	-	-	5 NM
Small	-	-	-

Heavy: B747, B767等

Medium: B737, CRJ等

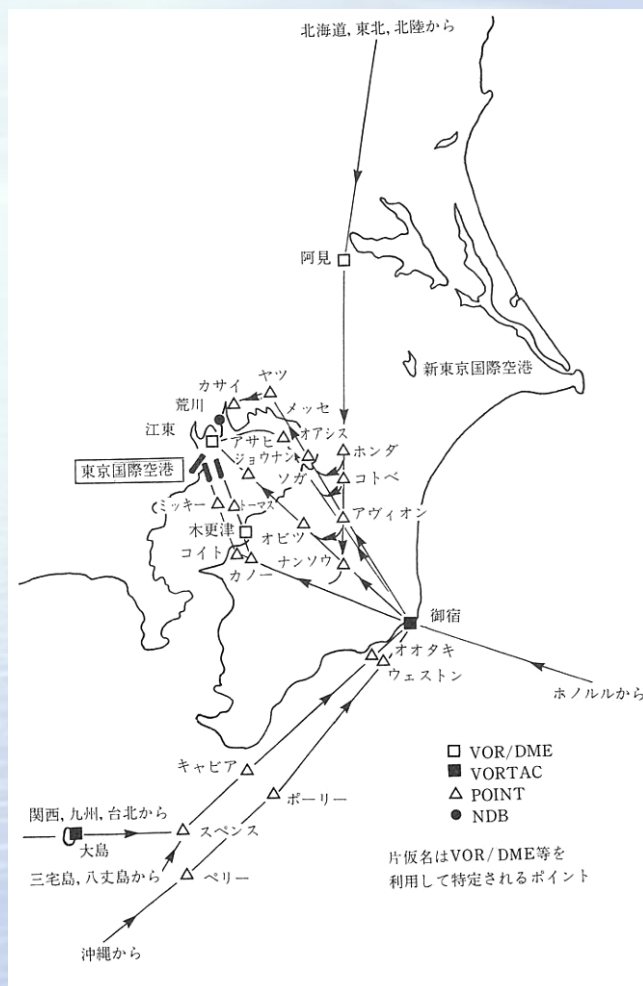
Small: Q200等

* 1NM(海里) = 1.85KM



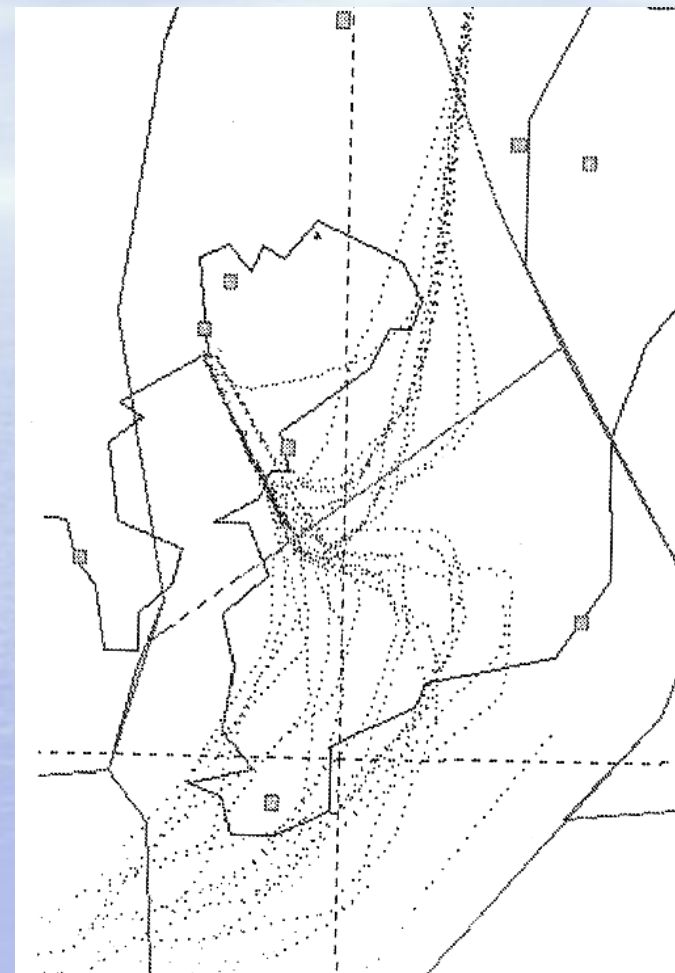
2. 規則・実績・容量

ルールに基づく管制の実際



標準到着経路

(「中野秀夫: 航空管制のはなし」より)



実際の到着経路の例

(「運輸省他: 空港処理容量に関する調査報告書」より)

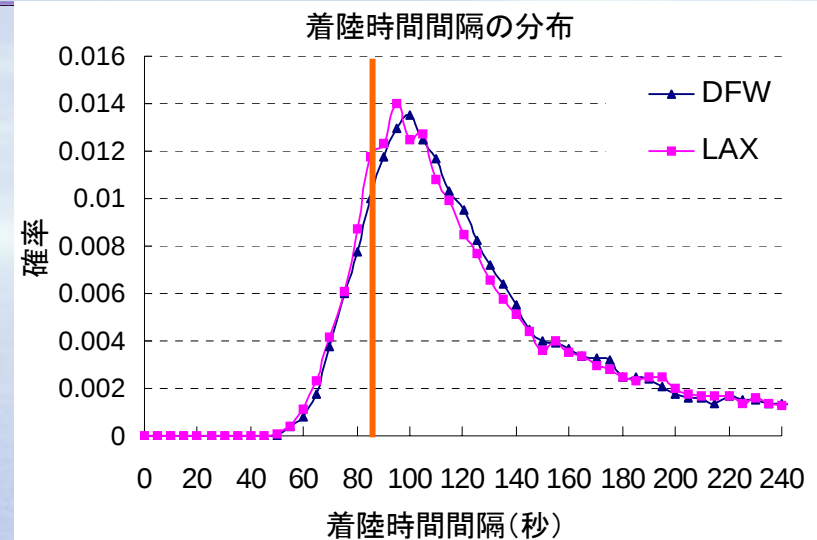
2. 規則・実績・容量 着陸時間間隔

(滑走路進入端で計測)

■ アメリカの空港 (DFW, LAX)

Large機—Large機
(Medium機-Medium機)
VFR時

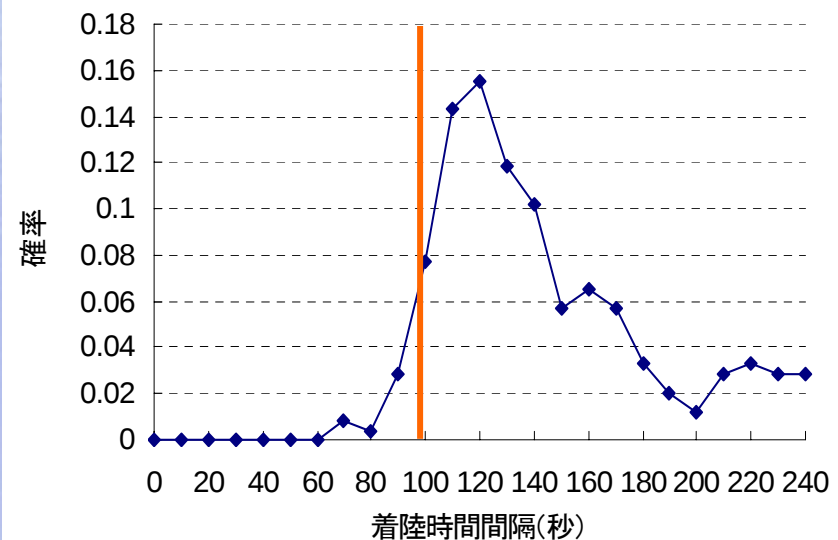
Yu et al (2006)より作成



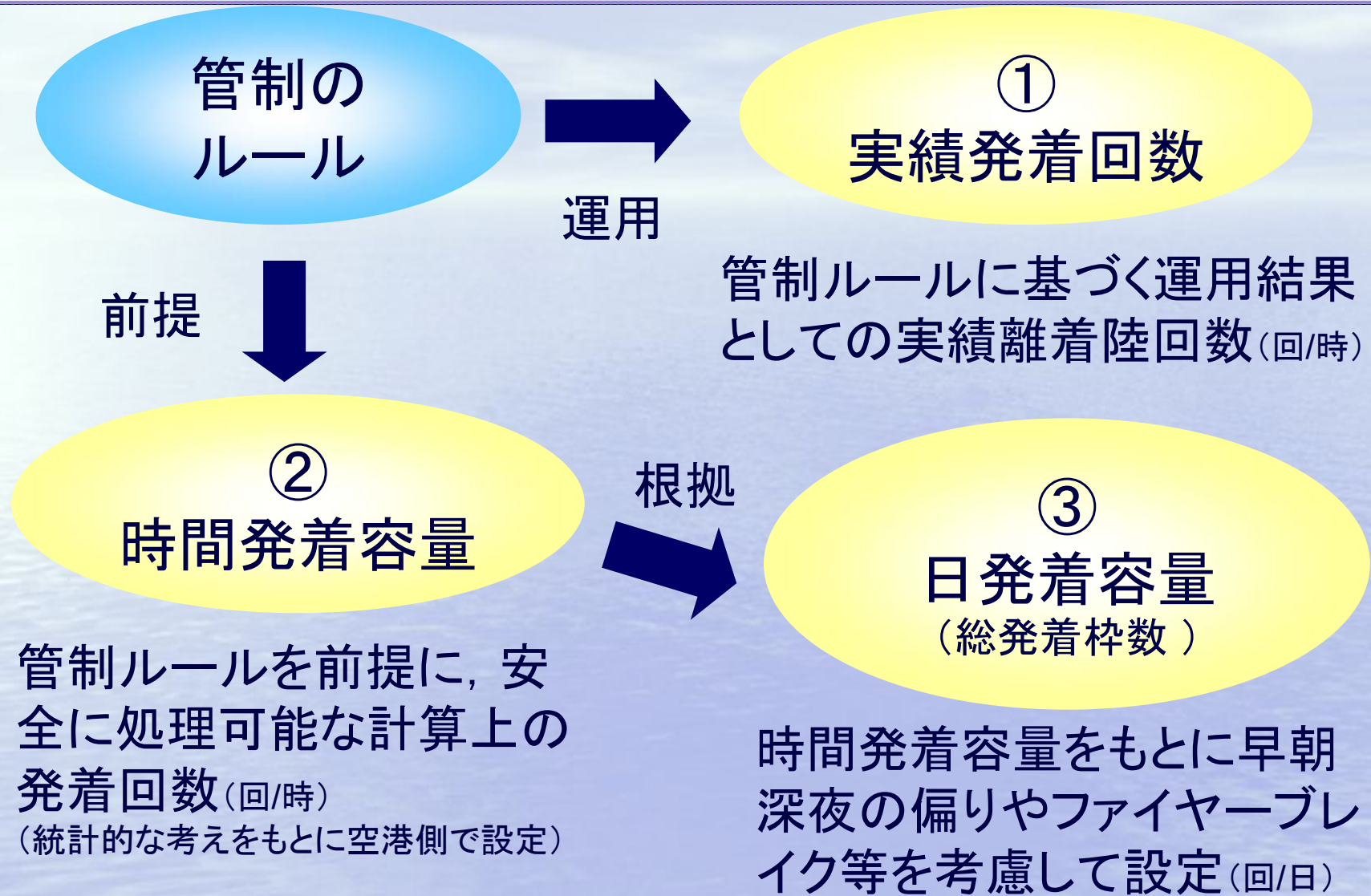
■ 羽田空港

Heavy機—Heavy機
IFR時

航空局観測値(2005年1月)



2. 規則・実績・容量 滑走路処理容量に関わる3つの数値



(羽田空港等における考え方)

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
- 3. 滑走路処理容量の設定方法**
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

3. 滑走路処理容量の設定方法～欧米と日本の違い

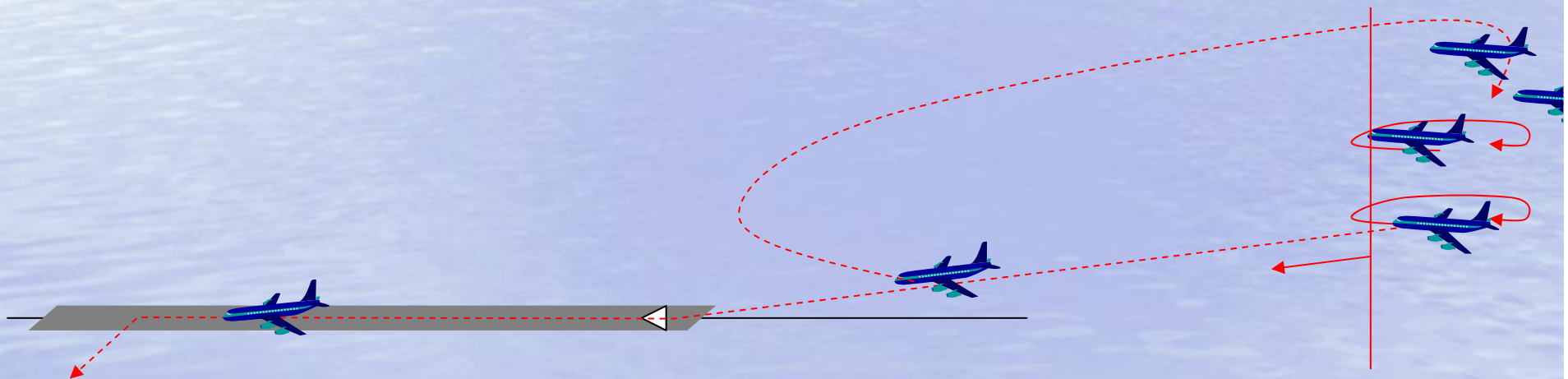
滑走路処理容量: 1時間に処理可能な離着陸数

■ 欧米:

最終進入地点前での**遅れ時間**が, ある値以上にならないように滑走路処理容量を設定(空域が狭いと困難)

■ 日本:

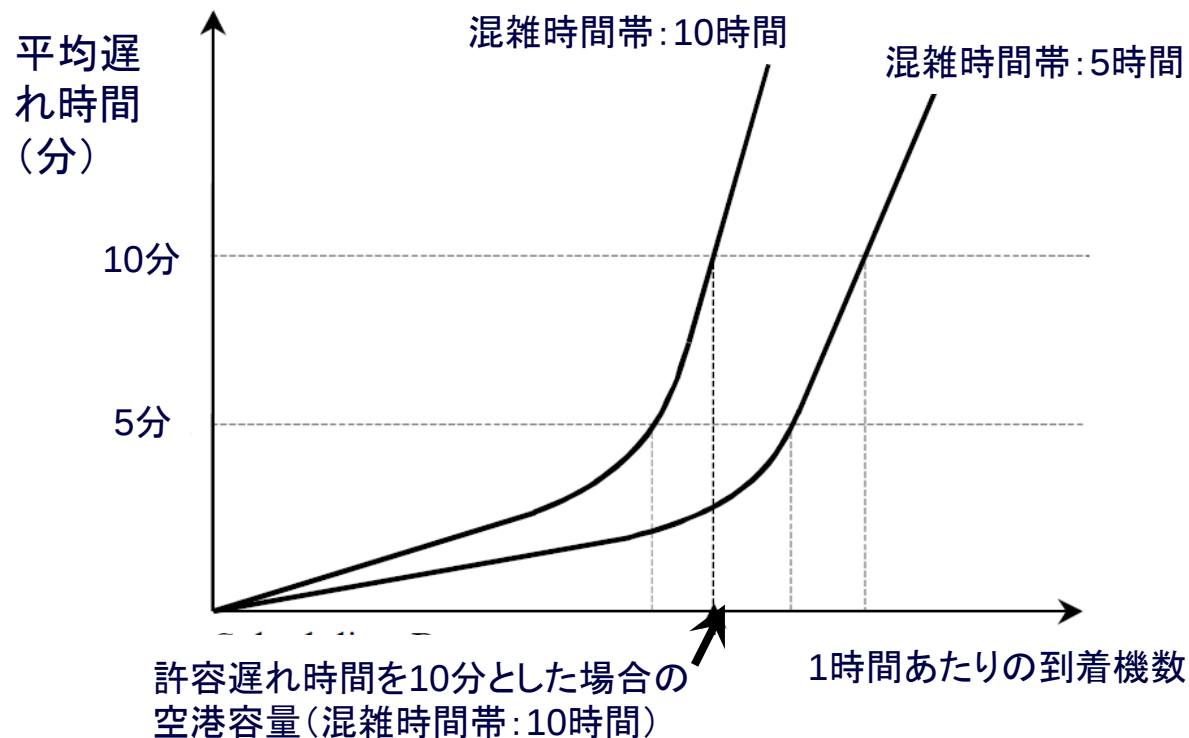
着陸復行の確率が, ある値以下になるように滑走路処理容量を設定(復行が増せば着陸待ちによる遅れ時間が増加)



滑走路処理容量と遅れ時間（欧米ケース）

欧米では、滑走路処理容量を決定する場合、**想定される遅れ時間**について考慮している

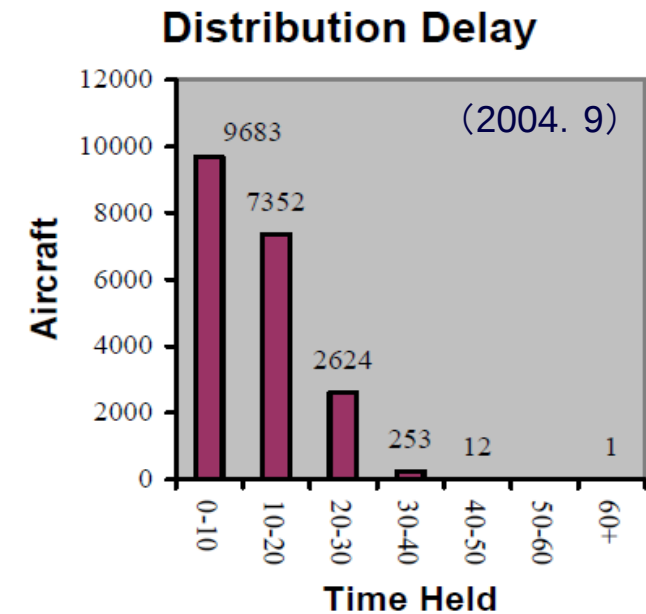
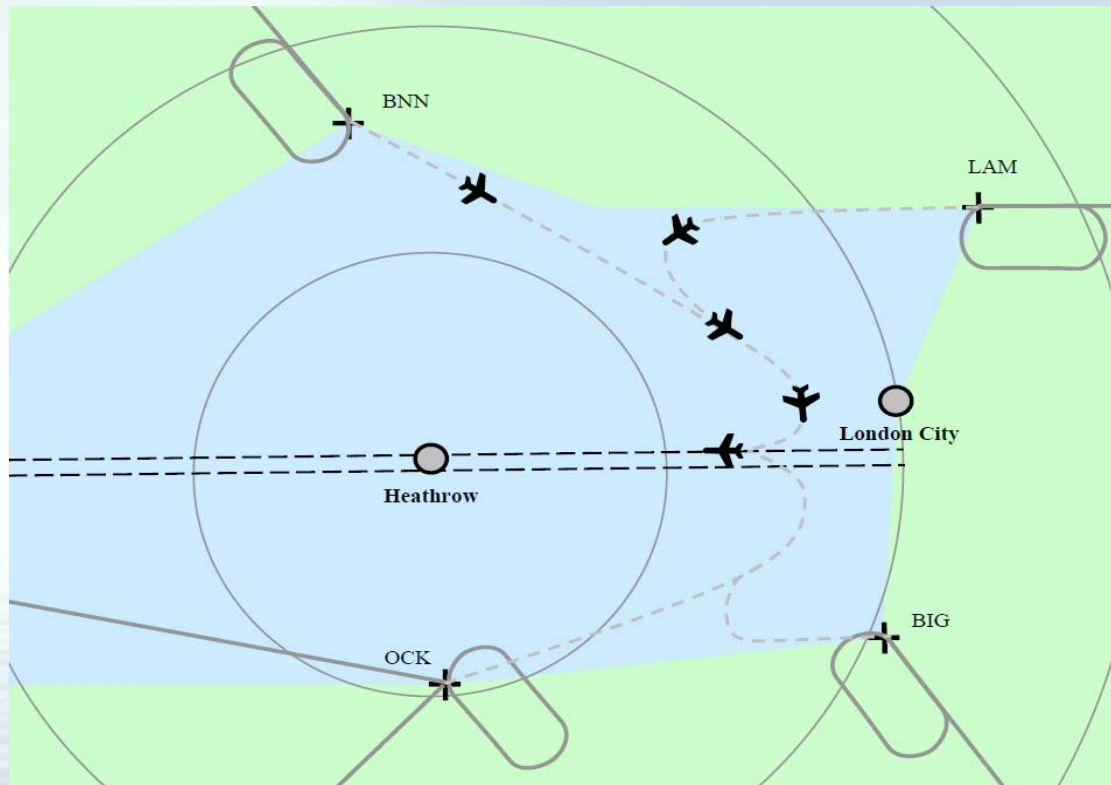
滑走路処理容量を増やし、到着する機材が増えると、着陸前に空中で待機させられる可能性が高まり、遅れ時間が増加する。そのため、**許容する遅れ時間**の大小によって滑走路処理容量が変わる



出典)

B. S. Tether and J. S. Metcalfe (2001)

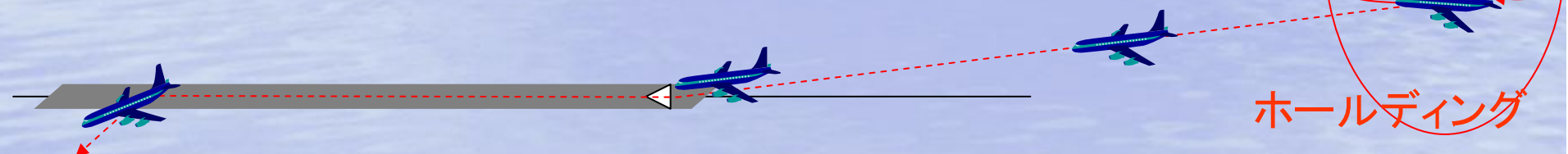
遅れ時間 ～ヒースロー空港（英）の例



出典) EUROCONTROL「Report on Punctuality Drivers at Major European Airports」2005

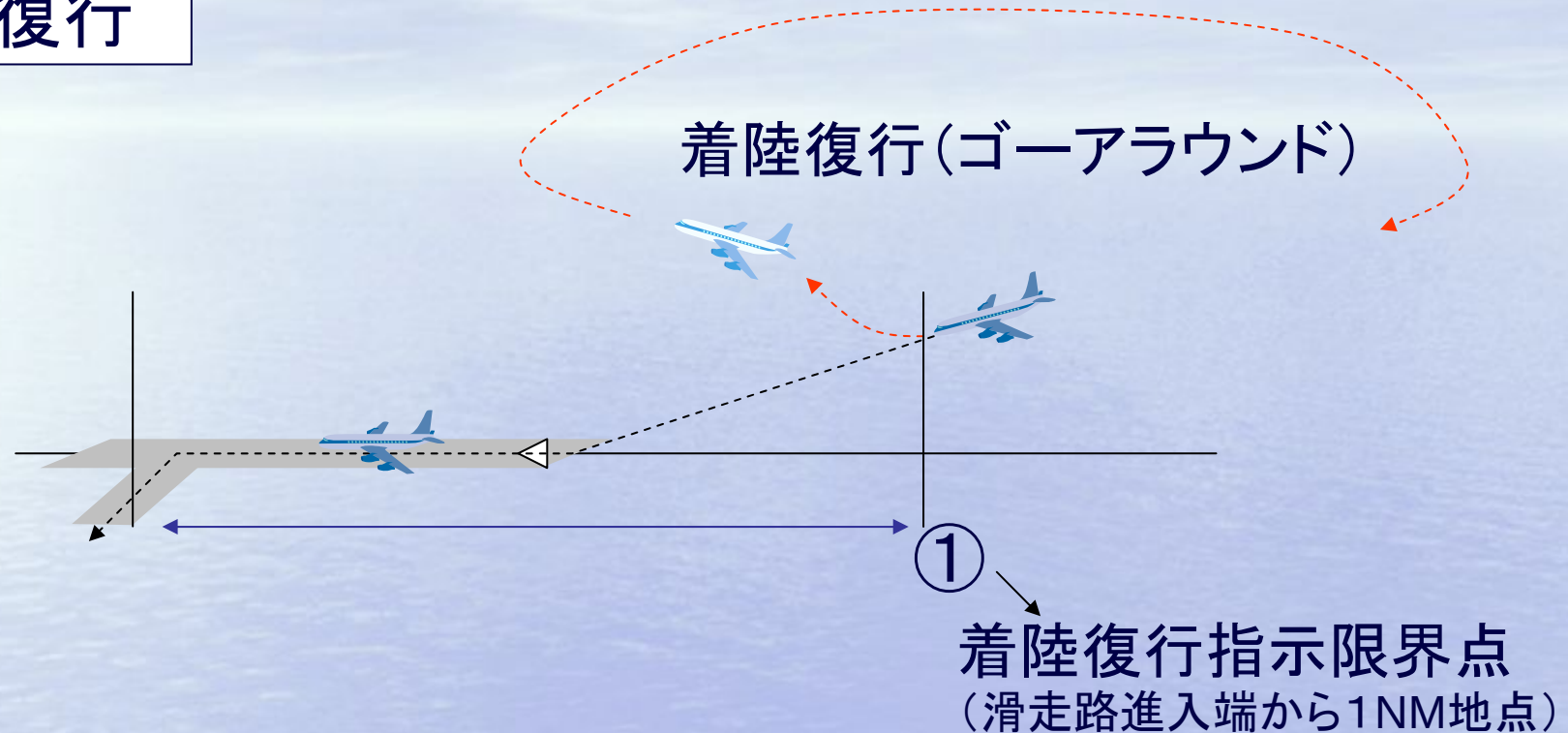
出典) Paul Johnson: Application of Wake Turbulence Separation at London Heathrow, WakeNet 2 Workshop 2005

10分程度の遅れ時間を許容することで過剰気味の容量を設定し、着陸機を常にホールディングさせることで、滑走路の使用効率を最大化している



滑走路処理容量と着陸復行率（日本ケース）

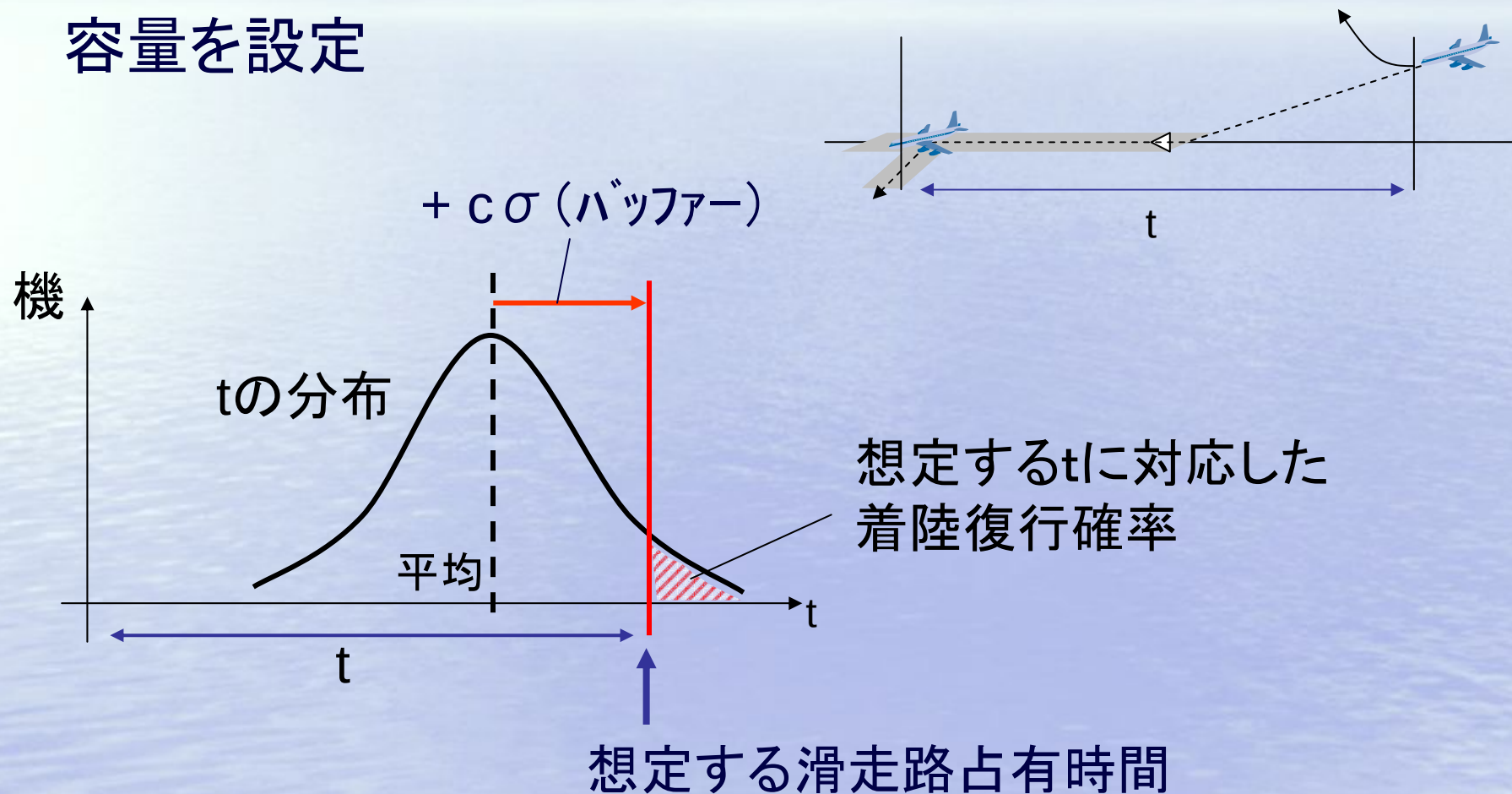
着陸復行



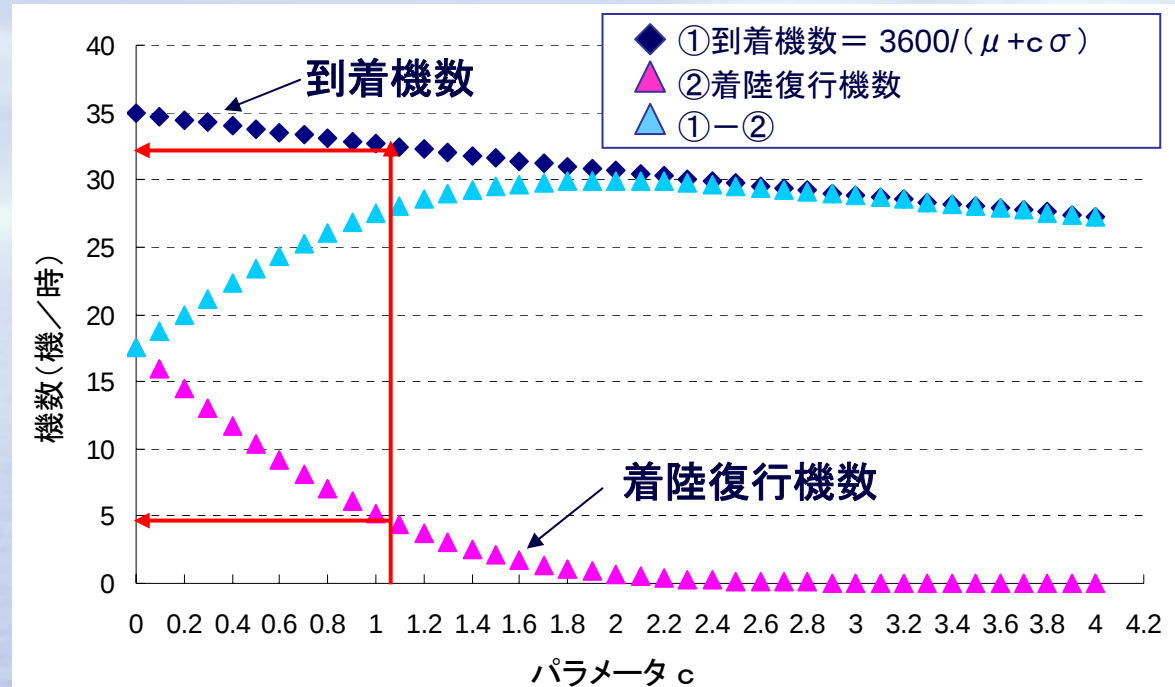
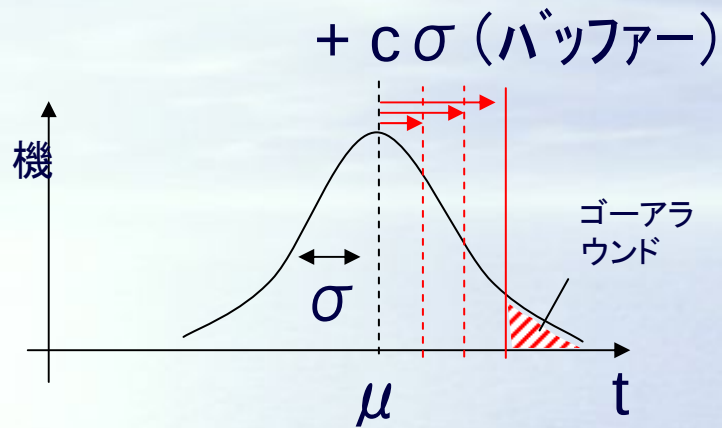
①の時点で先行機が滑走路上に存在する場合、
着陸復行を行うことが基本的なルール
(先行機が滑走路上で一定距離を越えれば着陸許可を出せる例外もあり)

滑走路処理容量と着陸復行率（日本ケース）

着陸機が滑走路を占有している時間 t の観測値をもとに、復行確率がある値以下になるように滑走路処理容量を設定



滑走路処理容量と着陸復行率（日本ケース）



パラメータ c を大きく設定し、バッファを大きくすると、着陸復行する確率が減少するが、容量(到着機数)は減る.

許容する着陸復行率を設定 $\Rightarrow$ 容量が決定

3. 滑走路処理容量の考え方 ～まとめ

- ◇海外空港では、各空港で許容遅れ時間を設定し、発着容量を決めている
- ◇日本では、許容遅れ時間の概念を使用しておらず、着陸復行の確率をもとに容量計算をしている
- ◇両者の関係、現状の遅れ時間の実態等进行分析し、今後、「遅れ時間を許容する発着容量の設定法」についても議論が必要

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

4. 欧米の空港の実績と容量

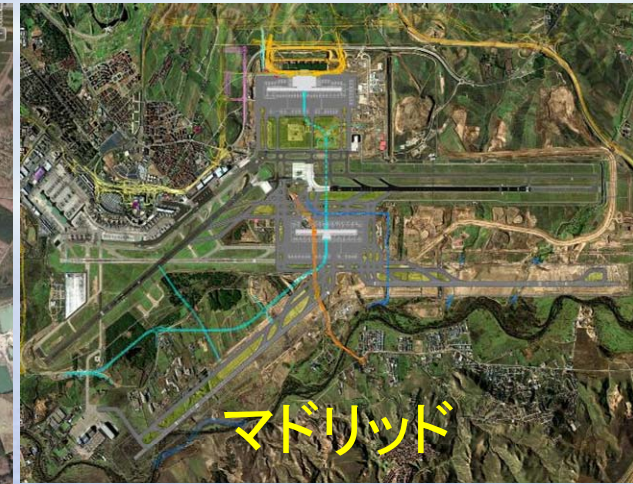
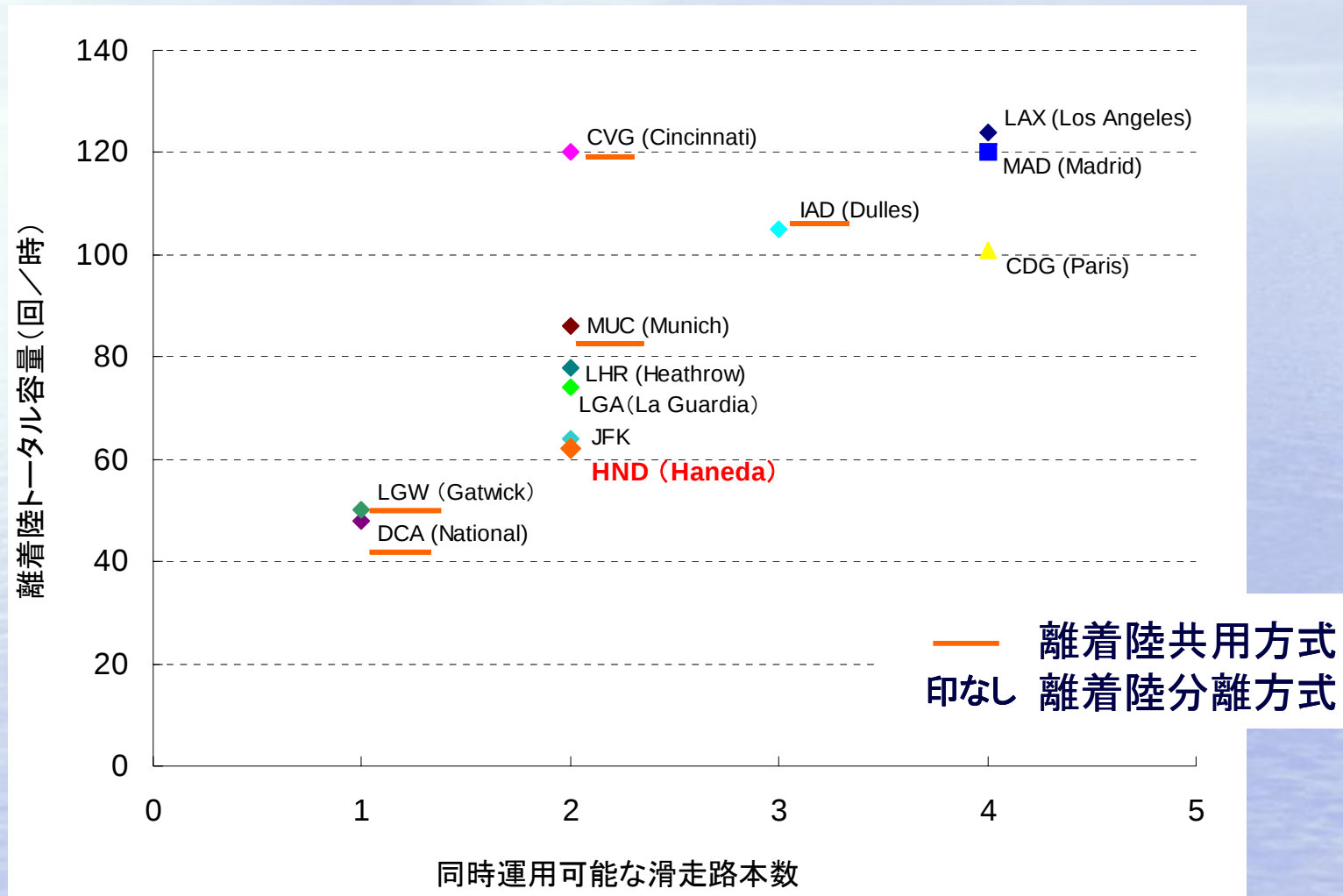


写真: 空港会社, Google Earth

様々な空港デザインが存在

4. 欧米の空港の実績と容量

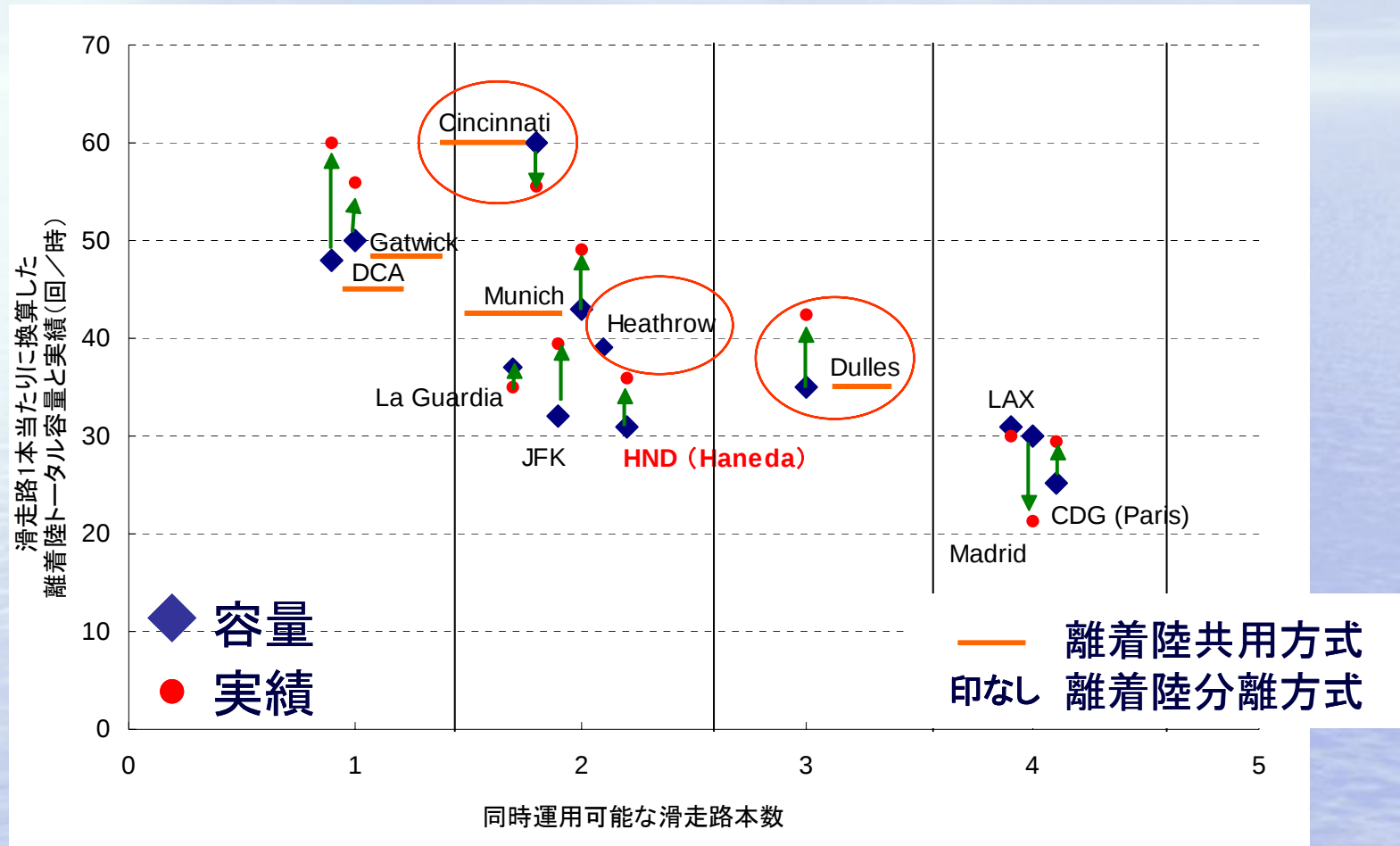
～滑走路本数と離着陸トータル容量の比較



滑走路容量: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」

4. 欧米の空港の実績と容量

～滑走路一本あたり換算の離着陸トータル容量と最大離着陸実績の比較

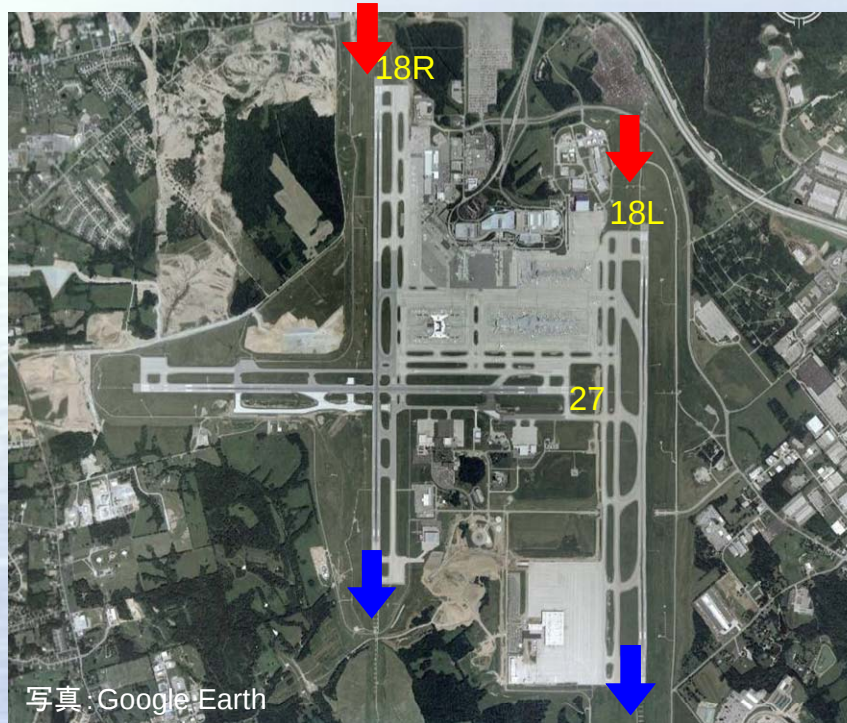
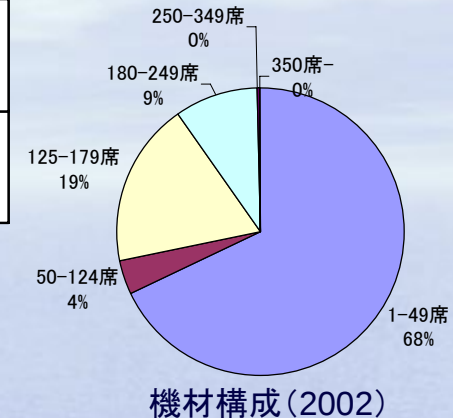


滑走路容量: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」
離着陸回数実績: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「ASPM」

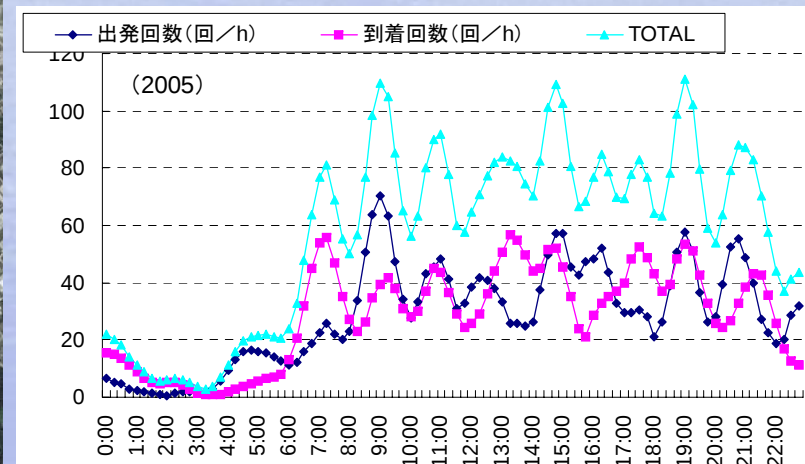
4. 欧米の空港の実績と容量

～シンシナティ空港（米）

容量 (Declared) : 回/時 (2002)			許容遅延時間 min	滑走路本数	ピーク時発着回数 (回/時) 2005年	ピーク時着陸回数 (回/時) 2005年
着陸容量	離陸容量	トータル				
60	60	120	8	18R-36L(3353) 18L-36R(3048) 09-27(3048)	111	56



滑走路容量等: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」, FAA:ASPM



(FAA ASPMより作成)

1本の滑走路で離着陸を交互に行う運用方法
小型機材の割合が非常に高い(70%がRJ)

➡ 羽田の2倍の容量

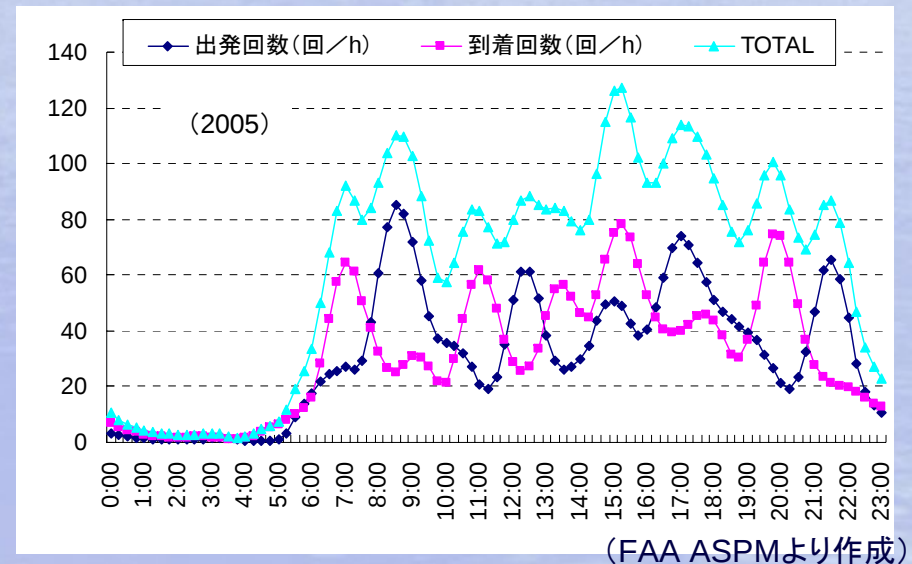
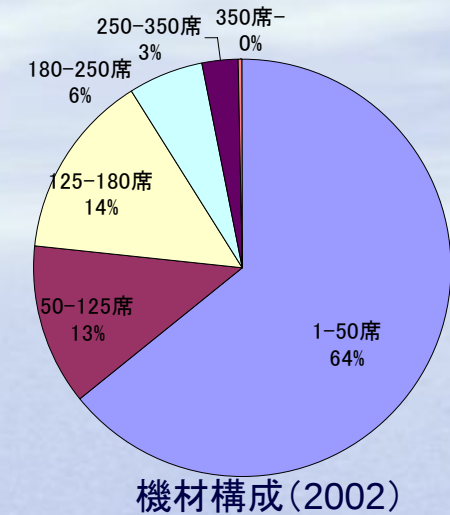
4. 欧米の空港の実績と容量

～ダレス空港（米）

容量 (Declared) : 回/時 (2002)			許容遅延時間 min	滑走路本数	ピーク時発着回数 (回/時) 2005年	ピーク時着陸回数 (回/時) 2005年
着陸容量	離陸容量	トータル				
45	60	105	-	1L/19R (3,506) 1R/19L (3,505) 12/30 (3,201)	127	78



滑走路容量等: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」,
FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」, FAA:ASPM



2本の滑走路で最大80回近く着陸

ハブ空港 → 離陸・着陸をまとめて交互に行う運用方法

4. 欧米の空港の実績と容量

～ヒースロー空港（英）

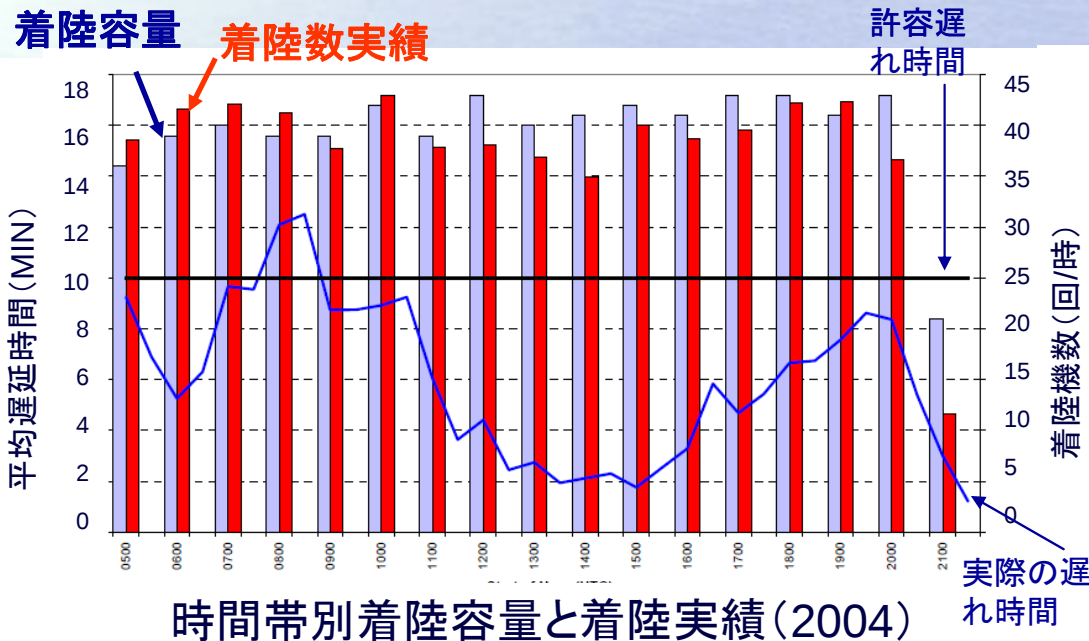


容量 (Declared) : 回/時 (2002)			許容遅延時間 min
着陸容量	離陸容量	トータル	
44	43	78	10

滑走路容量等: 出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」, FAA:ASPM

2本の滑走路をそれぞれ離陸・着陸専用として分離運用
(ピーク時のみ限定的に離着陸共用)

参考) Heathrow Airport interim Master Plan: Draft for Consultation 2005



容量一杯まで使用

ある程度の遅れ時間を許容して容量を増加

出典) A report by the CAA on the work of the Aerodrome Congestion Working Group, February 2005

4. 欧米の空港の実績と容量

まとめ～ヒースロー空港を例に

容量の簡単な試算:

前提条件: **セパレーション**: レーダー間隔2.5NM + 後方乱気流間隔(4, 5, 6NM)で容量を決定(滑走路占有時間は十分小さいと仮定), **機材構成**: **【H 30%, M 70%, S 0%】**, **平均着陸速度**: 140NM, **安全率(バッファー間隔)**: 0~0.5NM

推定容量: **38~44回/時**

仮に、羽田においてヒースロー並みの運用をしたら...

容量の簡単な試算:

前提条件: **セパレーション**: レーダー間隔3NM + 後方乱気流間隔(4, 5, 6NM)で容量を決定(滑走路占有時間は十分小さいと仮定), **機材構成**: **【H 70%, M 30%, S 0%】**, **平均着陸速度**: 140NM, **安全率(バッファー間隔)**: 0~0.5NM

推定容量: **31~35回/時**

前提条件: **セパレーション**: レーダー間隔 3NM → 2.5NM

推定容量: **32~37回/時**

4. 欧米の空港の実績と容量

～まとめ

- 滑走路処理容量には、様々な要因が影響
- 機材構成、滑走路運用方法、また、許容遅延時間などによって、滑走路処理容量も大きく異なる

滑走路処理容量の設定に関する考え方は？



本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

日本の滑走路処理容量の算定方法（着陸）



容量(機/時) = $3600 / (\text{着陸機1機の処理に要する時間 } T)$

着陸機1機の処理に要する時間 T: ①+②+③の時間

時間 ①	滑走路進入端から1NM地点(着陸か復行かの決断点)までの所要時間	実測値27秒(平均)
時間 ②	滑走路進入端を通過して滑走路縁を通過するまでの所要時間	実測値 57秒(平均) + バッファー19秒(バラツキを考慮: 99.5%が着陸可能)
時間 ③	滑走路縁から誘導路上の停止線を通過するまでに要する時間	実測値を元に15秒

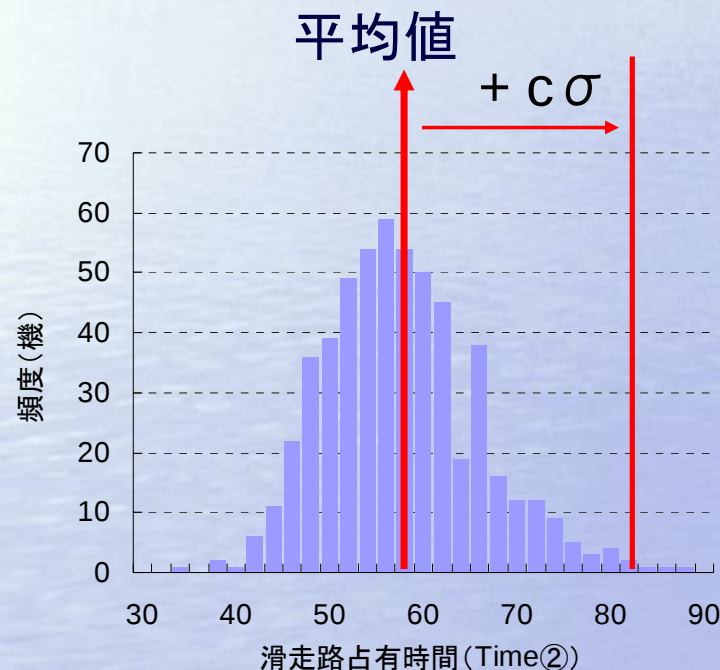
このバッファーの考え方に着目

滑走路処理容量の算定時のバッファ

滑走路占有時間にはバラツキが存在するため、ある程度のバッファを平均値に加えて容量を算出

バッファ：滑走路占有時間の標準偏差 × パラメータc

(本分析ではGiven)

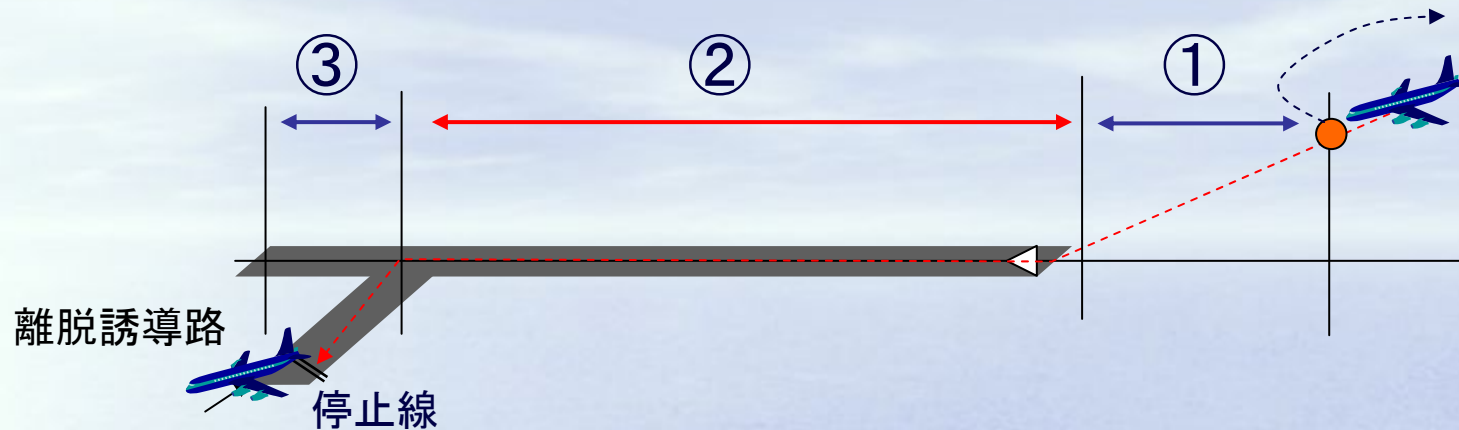


羽田Aラン占有時間の観測値(航空局 2005.1)

現在は、単純に全サンプルの平均と標準偏差をもとに算出

この標準偏差の定義について、2つの視点から検討

(1) 対象区間の全所要時間を1つの確率変数と考えた場合



現在: ①と③を定数として扱い, ②のみ確率変数としている



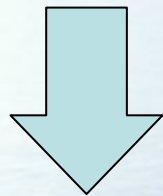
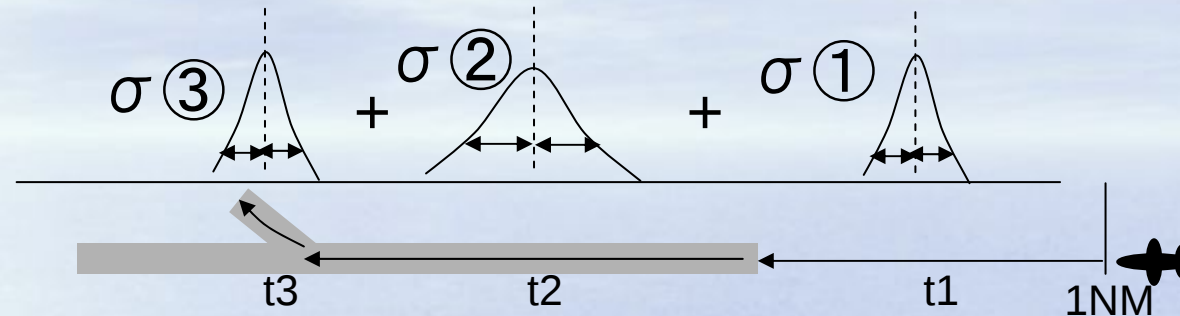
提案: ①②③のトータルの時間を1つの確率変数と考え, その全分散をもとに信頼区間を算出

各区間の所要時間の間に**相関関係(共分散)**がある場合, バッファーの大きさを決める分散の値が変わってくる

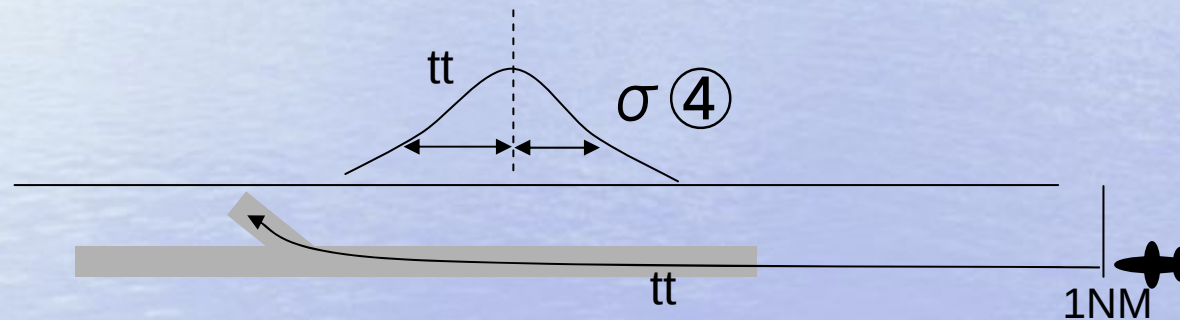
相関の例) ②で遅れた機材は, ③を速く通過しようとする
②を高速で通過した機材は, そのまま③も速く通過

(1) 対象区間の全所要時間を1つの確率変数と考えた場合

現在



提案



* 全分散④ = 分散①+分散②+分散③+①②③の共分散

(1) 試算結果

2004年11月データ

注) 時間①は定数のまま扱っている

	占有時間＋安全率	着陸処理容量
現在の 方法	120.89(秒)	29.8(回/時)
新提案 方法	121.60(秒)	29.6(回/時)

t2とt3の...	サンプル数	共分散	相関係数	相関係数の 有意判定(P値)
全誘導路データ	537	4.58	0.10	P=0.02*
A6&A6/6N	291	2.41	0.08	P=0.19
A8&A8/A9	246	-0.25	-0.01	P=0.91
A6	210	0.46	0.01	P=0.84
A6/6N	81	5.26	0.21	P=0.06
A8	223	0.60	0.02	P=0.78
A8/A9	23	-10.92	-0.38	P=0.08

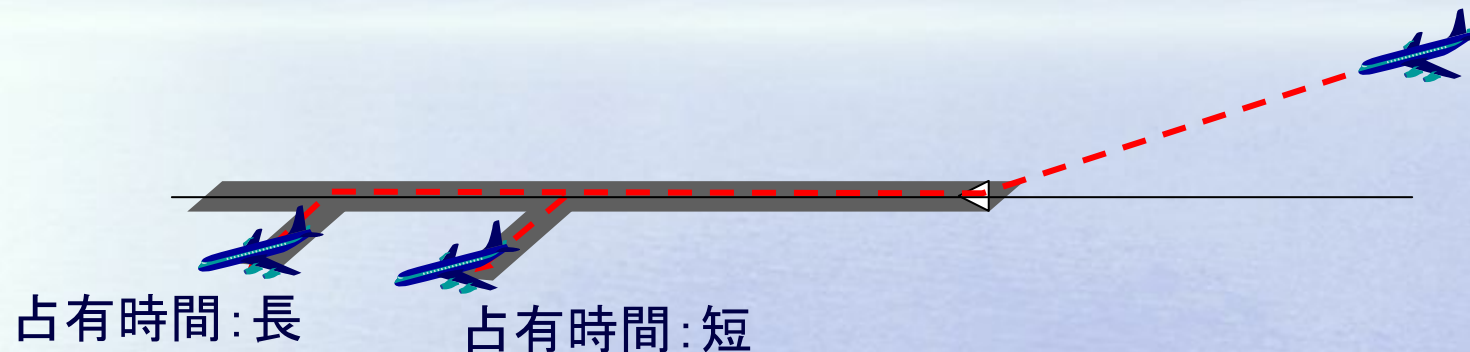
2005年1月データ

	占有時間＋安全率	着陸処理容量
現在の 方法	119.66(秒)	30.1(回/時)
新提案 方法	114.88(秒)	31.3(回/時)

t2とt3の...	サンプル数	共分散	相関係数	相関係数の 有意判定(P値)
全誘導路データ	539	-0.73	-0.02	P=0.58
A6&A6/6N	317	0.13	0.01	P=0.91
A8&A8/A9	222	-5.69	-0.19	P=0.01**
A6	225	-1.57	-0.08	P=0.24
A6/6N	92	-0.06	0.00	P=0.96
A8	111	0.62	0.02	P=0.82
A8/A9	111	-6.23	-0.32	P=0.00**

(2) 離脱誘導路の位置に着目した容量算定方法

滑走路占有時間は離脱する誘導路の位置によって異なる



使用する誘導路の位置

【機材の影響】: 大型機→遠い誘導路, 小型機→近い誘導路

【到着スポット位置の影響】: スポットに近い誘導路を使用する傾向



この違いを容量算定方法に反映

羽田空港の誘導路使用状況

5. 容量算定方法に関する統計的検討



誘導路別の滑走路占有時間の平均と機材別の使用割合

A6	A6系			
	機 材	B747,B777	B767,A300	B737,A320,MD
	サンプル数	72	147	98
	平 均(秒)	44.69	44.52	43.95
	標準偏差	6.12	5.60	6.49

A8	A8系			
	機 材	B747,B777	B767,A300	B737,A320,MD
	サンプル数	105	80	37
	平 均(秒)	54.39	54.30	54.59
	標準偏差	7.93	7.84	8.29

→占有時間:A6<A8

→大型機ほどA8を使用する傾向

エアライン別の誘導路使用割合

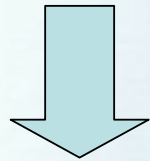
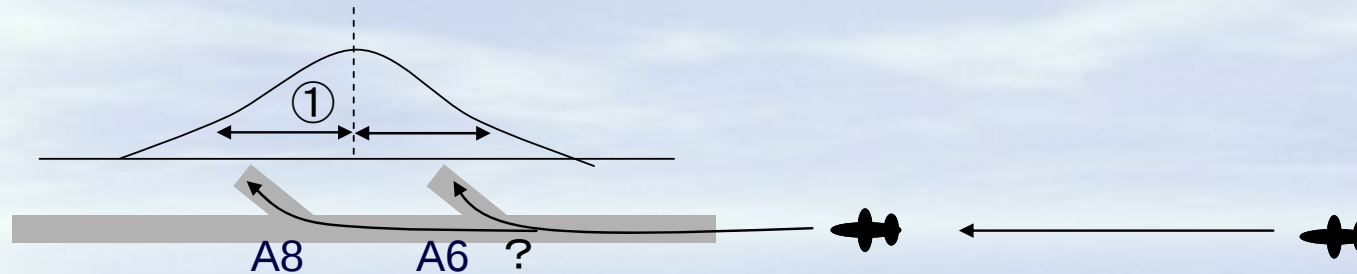
	2004年11月		2005年1月	
	機数(J系)	機数(A系)	機数(J系)	機数(A系)
A6&A6/6N	131	160	240	76
A8&A8/A9	123	122	95	127

→T2オープン後, T2に向かうためのA8使用

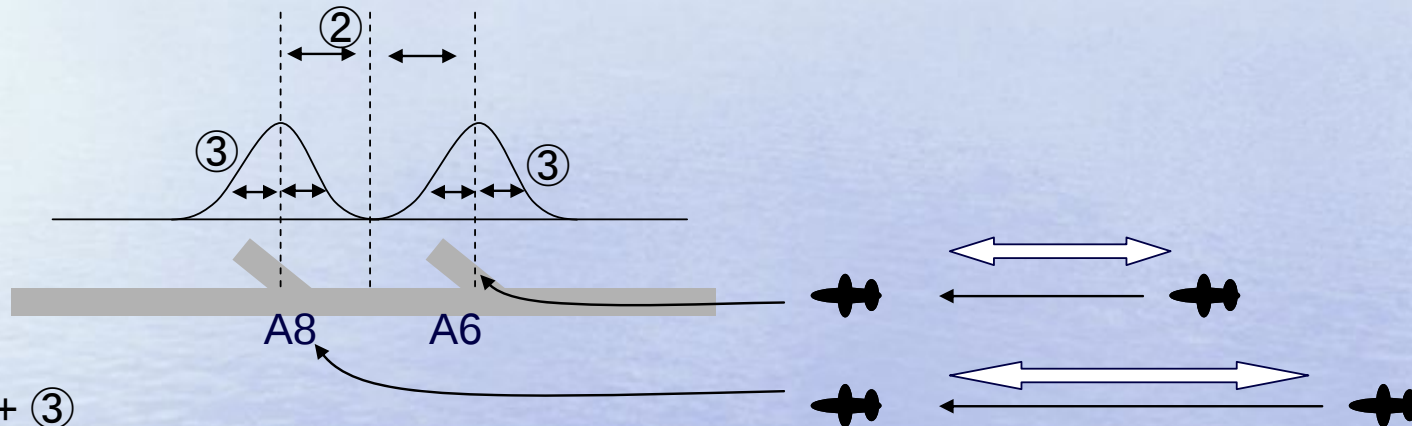
* 各データ: 航空局提供

柔軟なセパレーション設定をした場合のバッファの設定

現在



提案



$$* ① = ② + ③$$

従来は全変動である①でバッファを算出



最終進入時の間隔付けを離脱誘導路別にコントロールすることを想定すると、②の誘導路間の変動を考慮する必要がなくなり、③の誘導路内の変動のみを考慮すればよいことになる

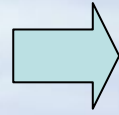
容量の試算結果

[現在]

ROT + バッファ

$$= E(ROT) + c\sigma(ROT)$$

where

 $E(ROT)$: ROTの平均, $\sigma(ROT)$: ROTの標準偏差

[提案]

ROT + バッファ

$$= w_6(E_{A6}(ROT) + c\sigma_{A6}(ROT)) + w_8(E_{A8}(ROT) + c\sigma_{A8}(ROT))$$

where

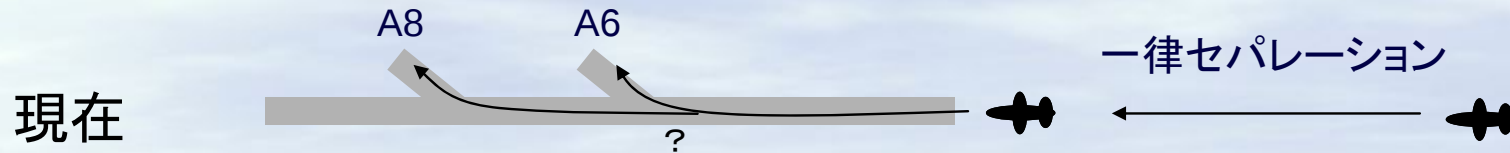
 w_6 & w_8 : A6, A8離脱誘導路の使用比率 $E_{A6}(ROT)$ & $E_{A8}(ROT)$: A6, A8使用時のROTの平均 c : 安全率パラメータ, $\sigma_{A6}(ROT)$ & $\sigma_{A8}(ROT)$: A6, A8使用時のROTの標準偏差

使用データ(Aラン占有時間観測値: 航空局2004.11)

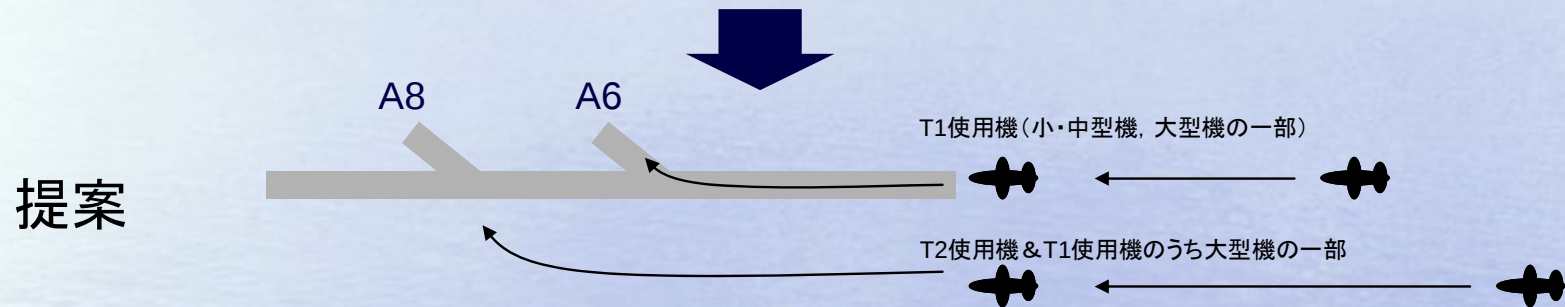
w6: A6利用割合	0.54
w8: A8利用割合	0.46
$E_{A6}(t_2)$: A6使用機のt2平均 (秒)	50.54
$\sigma_{A6}(t_2)$: A6使用機のt2標準偏差 (秒)	5.30
$E_{A8}(t_2)$: A8使用機のt2平均 (秒)	62.70
$\sigma_{A8}(t_2)$: A8使用機のt2標準偏差 (秒)	6.77
$E(t_2)$: 全サンプルのt2平均 (秒)	56.11
$\sigma(t_2)$: 全サンプルのt2標準偏差 (秒)	8.76
信頼区間を与える係数	2.60

	占有時間 + 安全率	着陸処理容量
現在の 方法	120.89(秒)	29.8(回/時)
新提案 方法	113.65(秒)	31.7(回/時)

柔軟なセパレーション設定の実現可能性について



セパレーション設定時に、使用する誘導路の位置は考慮していない



先行機が大型機の場合は
後方乱気流間隔により大きな
セパレーションが必要

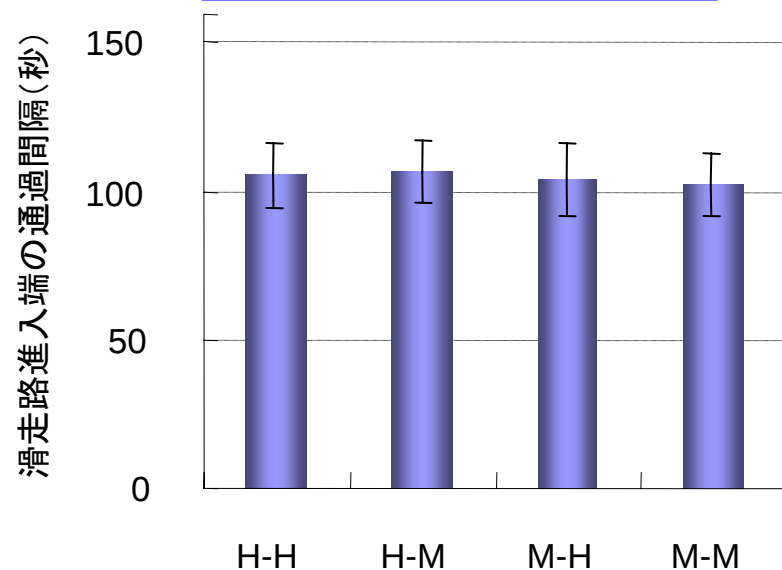
大型機はA8を
使用する傾向

もしくは、使用するターミナル位置なども考慮して、事前に使用する誘導路を把握することが可能か？

柔軟なセパレーション設定の実現可能性について

柔軟なセパレーション設定は可能か？

羽田空港

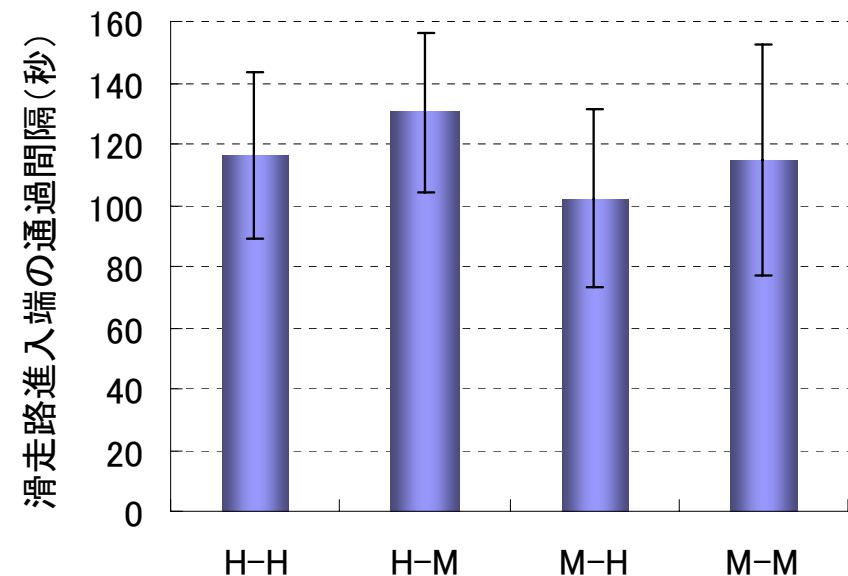


機材の組み合わせ (先行-後続機)

有意差なし

航空局 (2005) データより作成

ロサンゼルス空港



機材の組み合わせ (先行-後続機)

*HH-MM以外有意差あり

Airport Monitor上で目視計測したデータより作成

H: Heavy, M: Medium

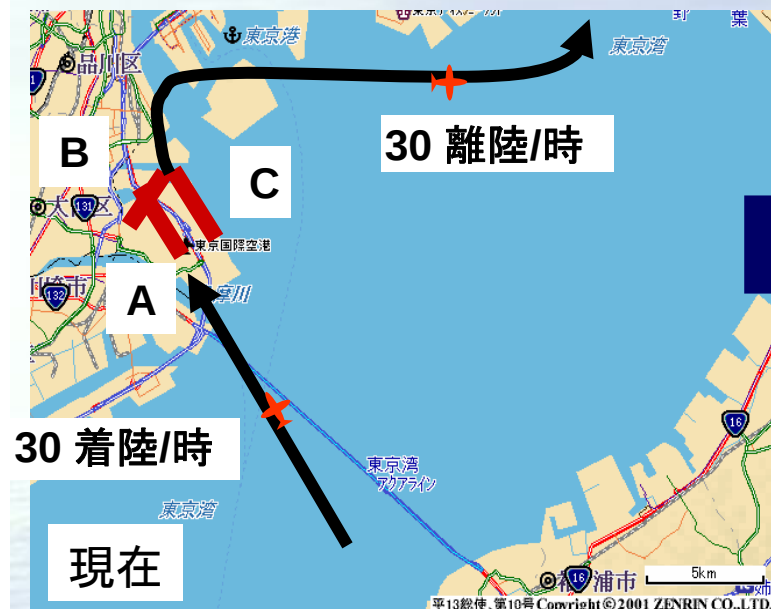
本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析

羽田の再拡張後の運用方法



年間の発着容量：
29.6万回→40.7万回(1.4倍)
(840回/日 →1114回/日)



Cラン離着陸共用
Cラン着陸とDラン離陸：従属運用

複数滑走路の運用方法に関する基礎的検討

世界の空港では、滑走路を離着陸共用で使用するなど、多くの離着陸回数を実現している



再拡張後の羽田空港において、滑走路の運用方法を工夫することにより、どの程度離着陸回数が増加可能か、基礎的な検討を行う

幾つかの運用方法を検討し、簡易な容量算定シミュレーションにより容量増加の可能性を分析

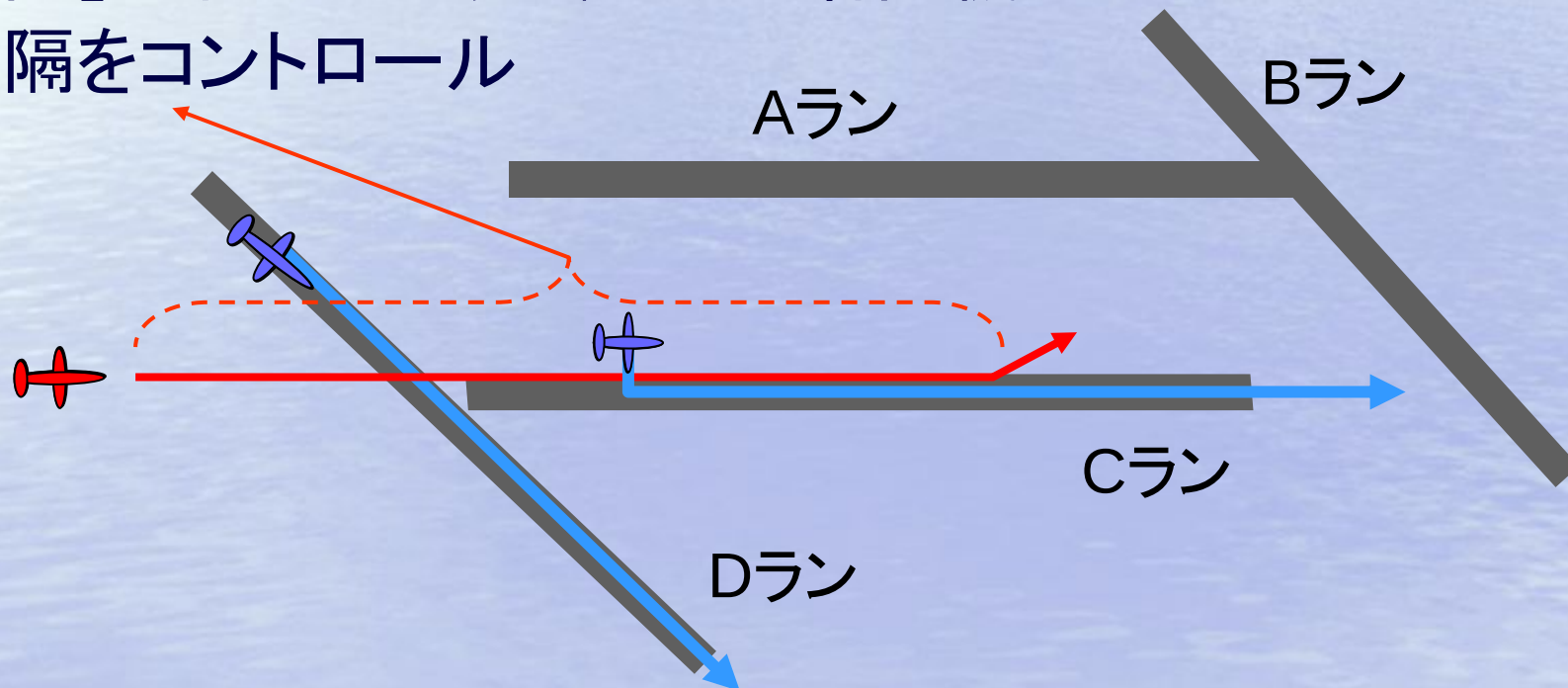
1. 「Cラン着陸」及び「Cラン離陸・Dラン離陸」の交互運用
2. 機材別の滑走路運用
3. エアライン別の滑走路使用

① Cラン離着陸の交互運用

再拡張後：**Cランが離着陸共用**（Dラン離陸機とも依存関係）

国で公表している本運用方法において、どの程度まで離着陸回数が上げられるかを分析

「Cラン着陸機」の間に、「C・Dランからの離陸」が行えるように、Cラン着陸機の間隔をコントロール

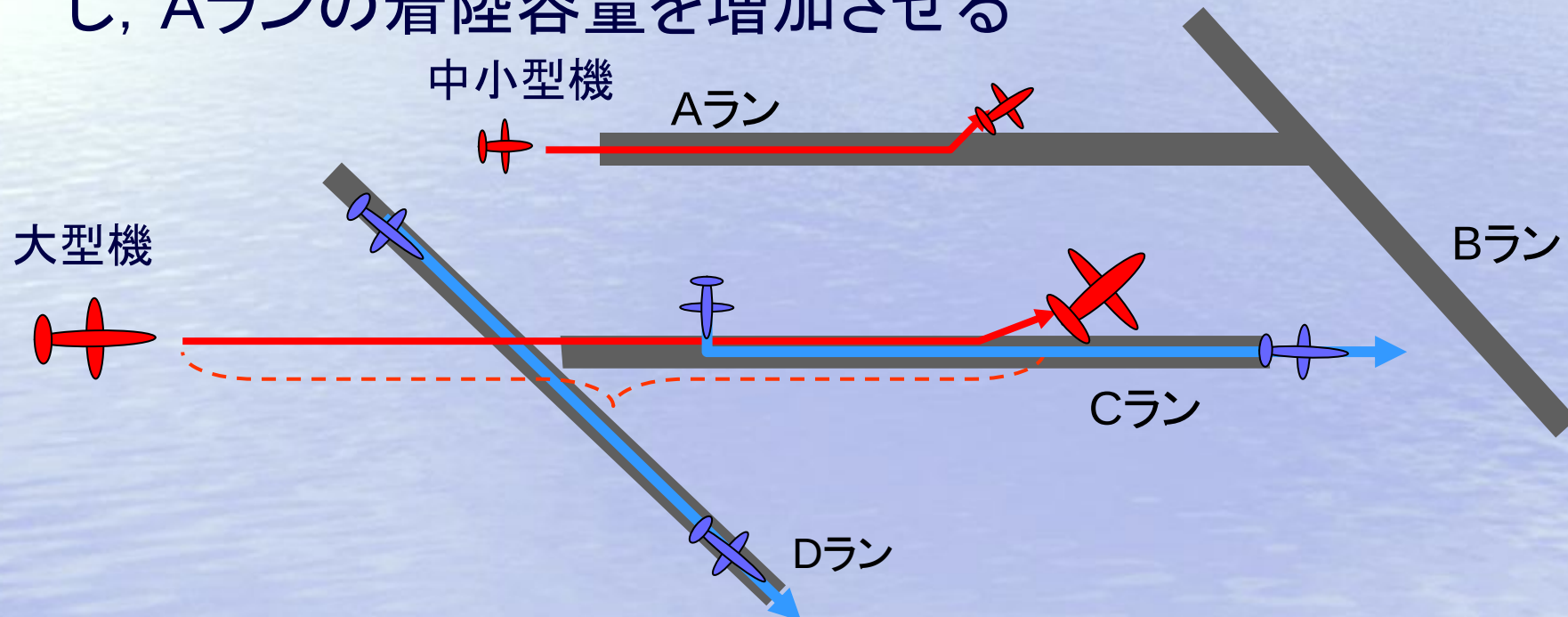


② 機材別滑走路使用

オペレーション①では、Cラン着陸機のセパレーションが機材の大小に関係なく比較的大きく設定される(C,Dランからの離陸機のため)



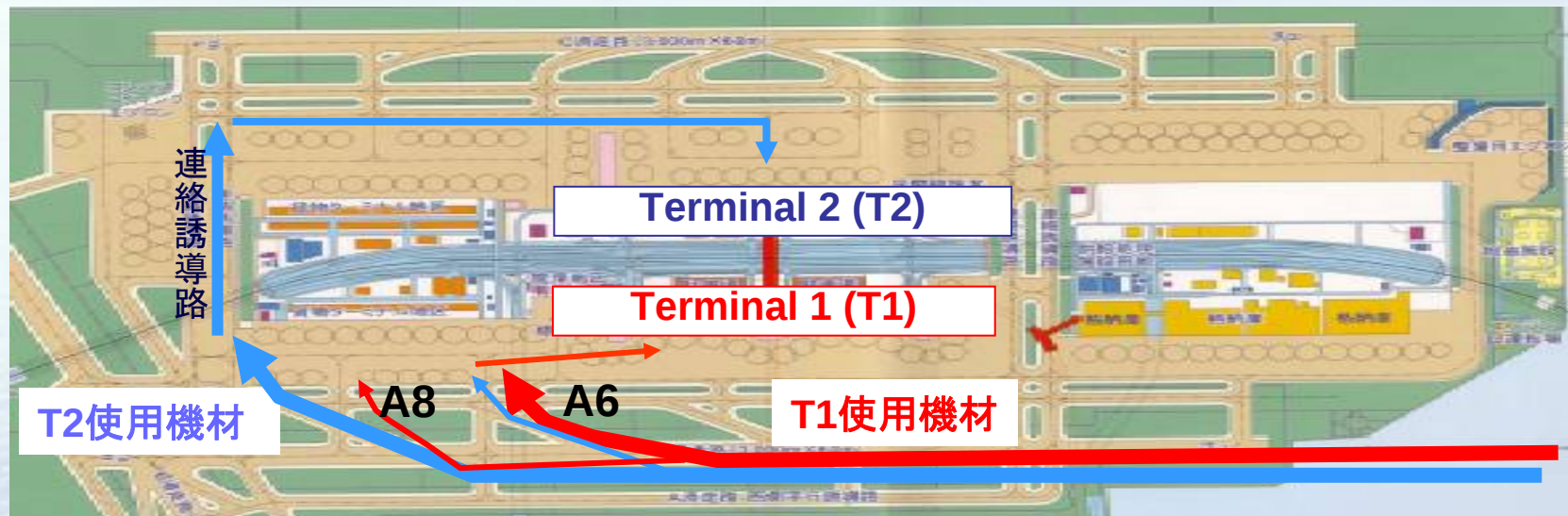
着陸機のうち大型機はCラン，中小型機はAラン着陸とし，Aランの着陸容量を増加させる



③ エアライン別滑走路使用

着陸滑走路と使用ターミナルの位置関係が滑走路占有時間に影響を与えている

例)



現在Aランが着陸専用となっているが(北風時), ターミナル2を使用しているエアラインの機材は, 空港反対側に早く到着できるA8誘導路を使用する傾向がある

滑走路占有時間の増加

② エアライン別滑走路使用

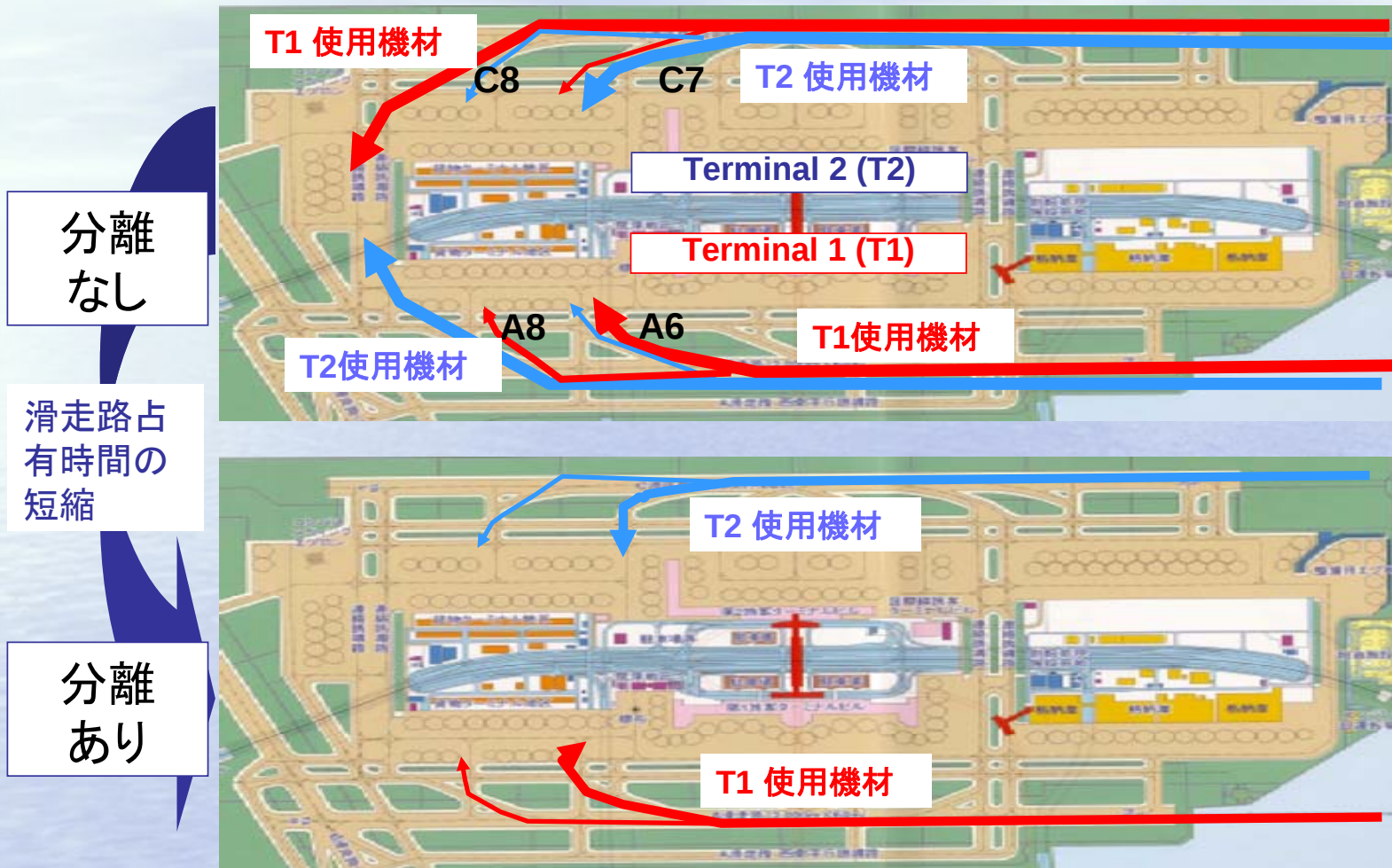
再拡張後は、AランとCランの2本の滑走路を着陸に使用



エアライン別（使用ターミナル別）に着陸滑走路を使用することで、滑走路からの高速離脱を促すことは可能か？

タクシング時間の短縮、燃料の節約、機材の運用効率向上、また地上管制の簡素化などの効果もあり

② エアライン別滑走路使用



エアライン別の着陸滑走路使用により. A6, C7からの離脱が増加

④ 機材の小型化による容量変化

機材の小型化が進展すると、セパレーションの短縮や滑走路占有時間の短縮につながり、容量も変化する。

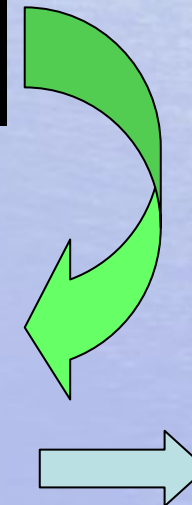
単純に機材構成が変化した場合の容量変化を分析

羽田空港における現在の機材構成(2005)

Medium	Heavy	
B737,A320series	B767,A300series	B747,B777series
0.248	0.753	

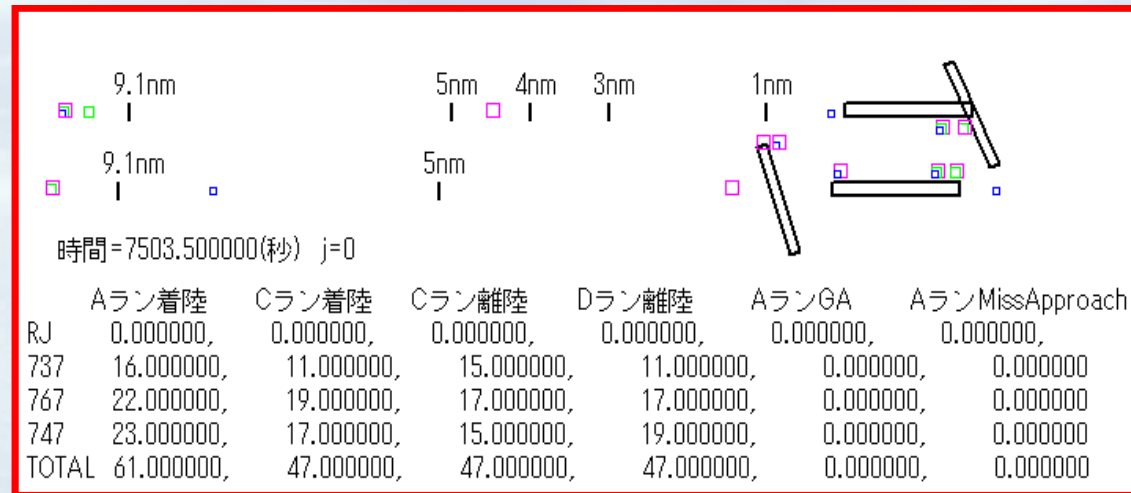
機材構成比率を変化

Medium	Heavy	
B737,A320series	B767,A300series	B747,B777series
0	1	
0.2	0.8	
0.4	0.6	
0.6	0.4	
0.8	0.2	
1	0	



感度分析

空港容量算定シミュレーション



羽田空港周辺部を対象とした，離着陸機のミクロな挙動を再現可能なシミュレーションシステム

- 機材ごとの特徴を考慮(安全間隔, 速度, 滑走路占有時間, etc)
- 複数滑走路間のインタラクションを考慮



羽田空港における滑走路占有時間の実測値(航空局提供, 2005)を使用して, 航空機の挙動をキャリブレーション

シミュレーション分析の結果

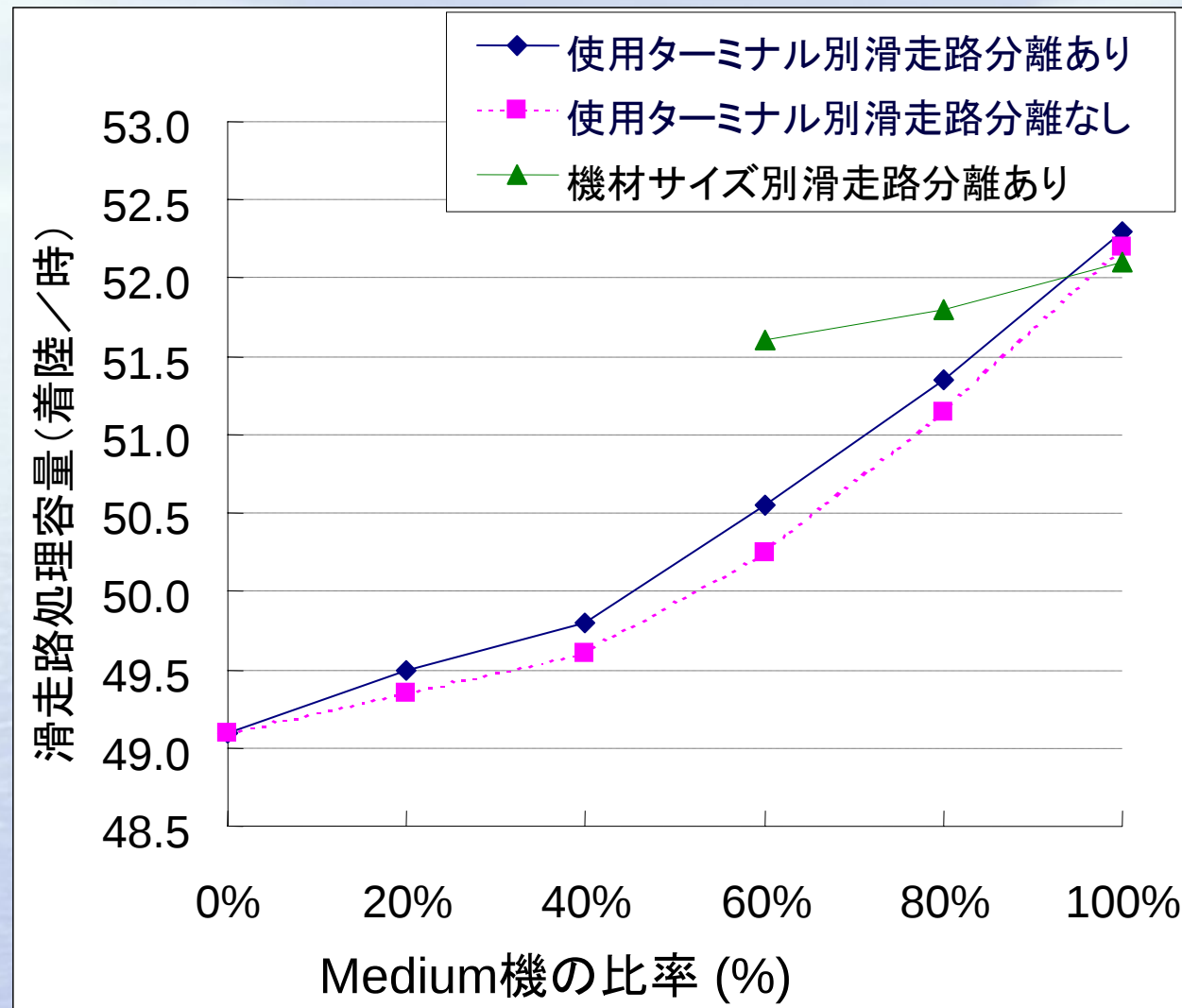
Senario		国交省 公表値	A	B	C
(運用方式1)Cラン離着陸交互運用		—	○	○	○
(運用方式2)滑走路の機材別運用		—	—	○	—
(運用方式3)滑走路のエアライン別運用		—	—	—	○
滑走路処理容量 (回 / 時)	Aラン着陸	28.0	30.1	31.6	30.5
	Cラン着陸	12.0	19.0	18.6	19.0
	Cラン離陸	12.0	24.9	25.0	24.9
	Dラン離陸	28.0	24.9	25.3	25.1
	着陸TOTAL	40.0	49.1	50.2	49.5
	離陸TOTAL	40.0	49.8	50.3	49.9



離着陸共用のCランの運用を効率化することで容量増加の可能

滑走路を機材サイズ別に運用することで若干の容量増加が可能

機材の小型化による容量変化



機材の小型化により、発着容量は増加

まとめと検討すべき課題

シミュレーション分析のまとめ

- 羽田空港再拡張後の容量拡大について、特に離着陸共用となるCランの効率的運用により容量拡大の可能性がある
- 再拡張後には、機材の小型化が進展すると思われるが、機材の特徴を考慮し、機材別の滑走路運用方法などの工夫による容量拡大の可能性もある

検討課題

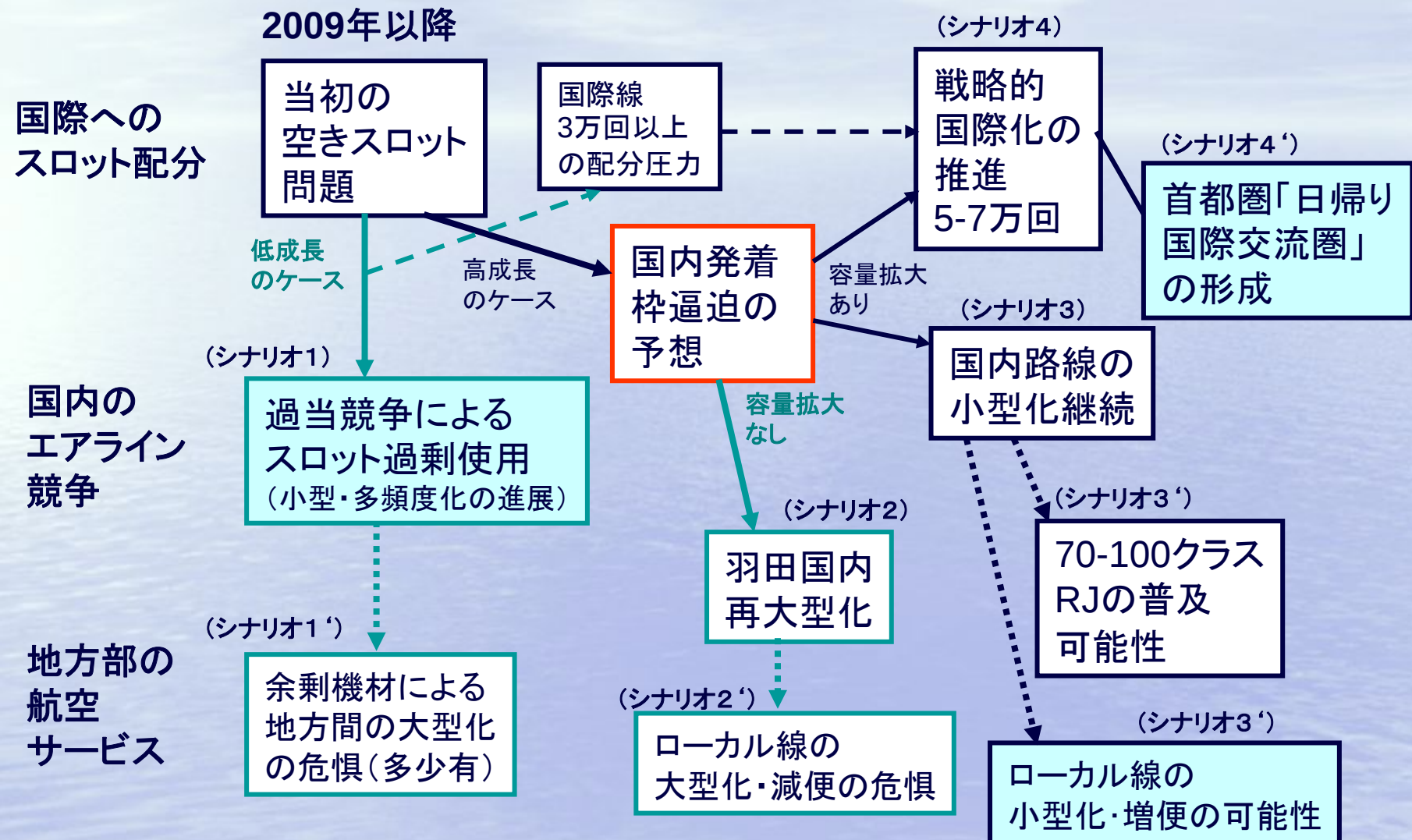
空港周辺空域における対応（各機材の飛行方面に対応した離着陸経路などとの関係）
etc

本日の発表内容

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究

1. 研究の背景と目的
2. ルール・実績・容量
3. 滑走路処理容量の設定方法
4. 欧米の空港の実績と容量
5. 容量算定方法に関する統計的検討
6. 再拡張後の容量拡大方法に関する分析
7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

羽田空港の再拡張後に想定されるシナリオ



7. 羽田容量拡大の意義と今後の課題

○羽田空港の国際化

→わが国自らの空港戦略を東アジアに向けて発信すべき時期

○羽田空港の国際線ターミナルは都心まで20-30分の位置

→アジアのビジネス客は、到着後1時間で都心の会議に出席可能

◇近隣諸国から首都東京への「日帰り国際交流圏」

(同日中に帰国できる路線)を設定

→交流圏内からの路線を首都圏の任意の空港でカバー

(ソウル, 瀋陽, 大連, 北京, 青島, 上海, 杭州, 台北などが入り,

香港や広州あたりは境界上として開設可能)

→東アジアの主要都市と首都東京とが、日帰りビジネス圏として
強固に結びつく意義やアピール効果は大きい

○首都圏が、「日帰り国際交流圏」構想で、
羽田空港等からの路線展開を推し進め、
欧州で発達した日帰り出張形態を日常化
→そのリアリティを地方部に波及させる

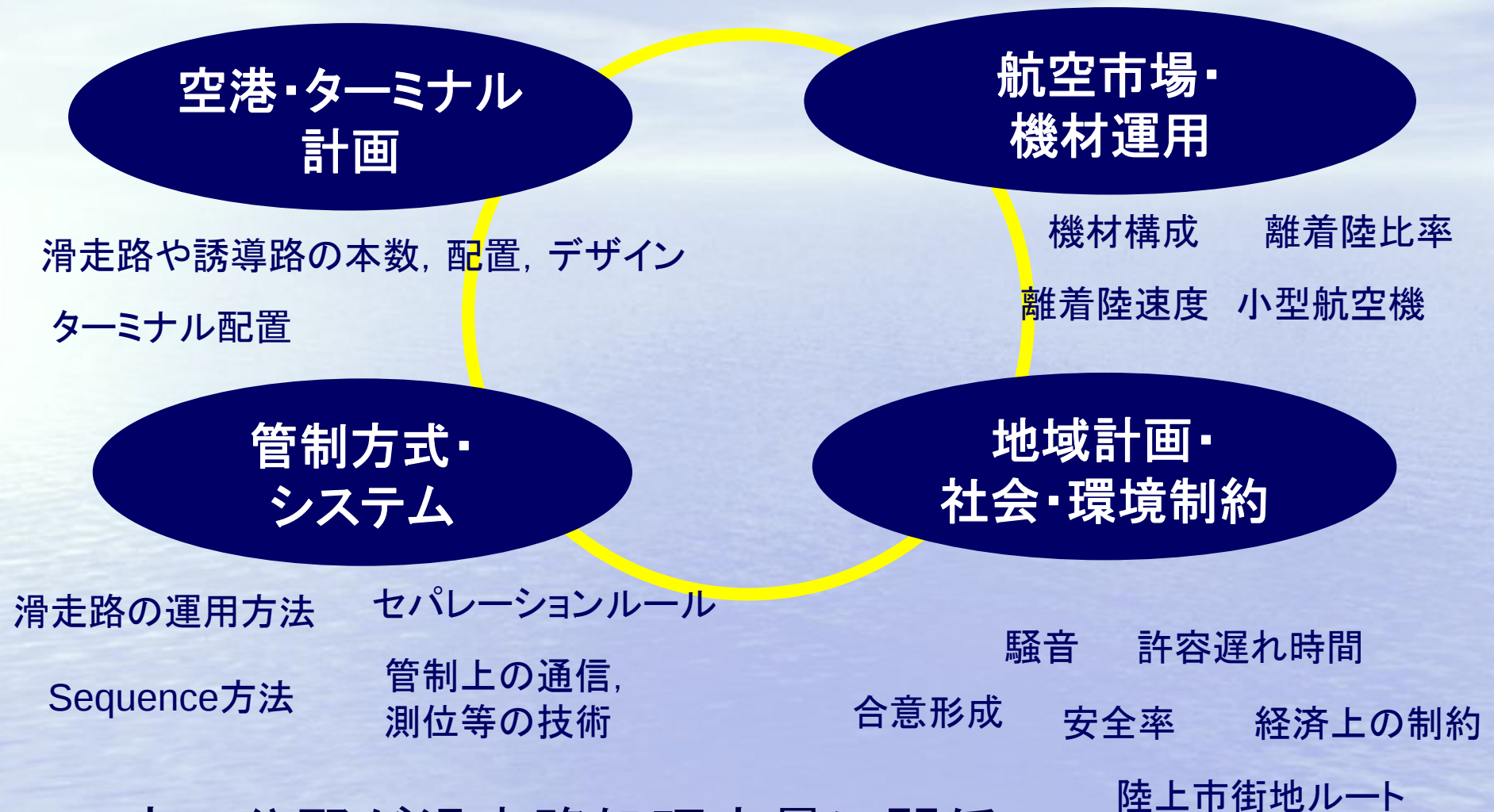
(福岡等は東京とは別に日帰り交流が進展するのでは)

→羽田であれば中型機以上の就航が中心

○「首都圏第3空港」の前に、羽田空港の活用限界を見極める

→ 「容量拡大可能性の総合的検討」
の重要性を再確認

滑走路処理容量に影響を与える諸要因



広い分野が滑走路処理容量に関係
→複数分野を研究対象とする必要性

空港容量拡大のための課題

- ①管制機器の更新や新しいシステムの積極導入
(費用対効果の極めて大きな分野)
 - ②管制官の業務体制や組織の見直し改善
(管制側の対応)
 - ③管制システムと滑走路や誘導路のデザイン,
ターミナルのデザイン等の総合的検討
(空港, ターミナルビルへの対応)
 - ④エアラインの機材運用パターンやダイヤの調整
(エアライン側の対応)
 - ⑤一定の遅れを許容する発着容量の設定
(旅客側の理解)
 - ⑥低騒音機材の内陸部への発着経路の検討
(地域社会の合意)
- などの総合的検討が必要

管制方式・システム

Landing time interval

Andrewsら^[2001], Rakesら^[2005], 3)^[2006]は着陸時間間隔を統計的に分析し, 管制官・パイロットの行動特性を考慮した着陸間隔分布を算出し空港能力評価をしている.

⇒performance measure

Separation

Janicら^[2006]は新しいseparation Sequencingの考え方を提案し, Baggら^[2006]は各進入経路における機材ごとのseparationをmodel化することで共に最大空港容量を算出している.

⇒capacity enhancement

Runway configuration

pitfield^[1999]らは運用方式や滑走路配置を考慮し, 運用方式ごとの容量を分析している
Cao^[2005]らは離着陸優先順位を運用時間, 滑走路ごとに設定して容量を算出している

⇒capacity estimation

地域計画, 社会・環境制約

Delay and separation

Ignaccoloら^[2004]は待ち行列理論を発展させたsimulation分析を用い, 機材構成や管制に関する新技術の導入を考慮し, 単一滑走路の着陸容量と遅延時間の関係を定量的に分析している

⇒delay and capacity enhancement

Safety and separation

Yueら^[2004]は待ち行列理論を用い着陸時間間隔を算出し, agent base modelを用いて航空交通流の増加が安全性, 着陸可能機数, 遅延時間に与える影響について分析している.

⇒safety and capacity enhancement

空港・ターミナル計画

空港処理容量に 関わる研究のレビュー

航空市場・機材運用

航空管制データの積極的公開について

米国では航空管制関連データを広く公開
(WEB上でも簡単に入手可能)

- 例)
- TranStat (Bureau of Transport Statistics, DOT)
 - ASPM- Aviation System Performance Metrics System (FAA)
 - PDARS- Performance Data Analysis and Reporting System (FAA, NASA)
 - Airport Monitor



研究活動の活性化による航空交通システムの改善を期待

データの公開, 幅広い活用によるデータベース自体の改善

(“About TranStat”より)

(例: ASPM)

我が国でも航空管制関連データの積極的公開が, 今後の研究進展, 社会的合意形成の推進等のために望まれる

本日の発表のまとめ

空港管制とエアラインの行動からみた空港容量 拡大方法に関する研究

- ①欧米とわが国の滑走路処理容量に対する
考え方と実態を比較し，相違点を明らかにした
- ②統計分析によって羽田の滑走路処理容量を
更に増加させる可能性を示した
- ③羽田空港再拡張後の運用方式と容量増加の
可能性を分析した
- ④羽田空港再拡張後の更なる容量拡大の意義を論じた

参考データ，資料

1. DOT: TranStat (<http://www.transtats.bts.gov/>)
2. FAA: ASPM- Aviation System Performance Metrics System (<http://www.apo.data.faa.gov/>)
3. FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」
4. IATA「Airport Capacity / Demand Profiles 2003」
5. A report by the CAA on the work of the Aerodrome Congestion Working Group, 2005
6. EUROCONTROL: Report on Punctuality Drivers at Major European Airports, 2005
7. FAA: Airport Capacity and Delay, Advisory Circular 150/5060-5
8. FAA: Near Term Capacity Initiatives, 1992
9. Heathrow Airport interim Master Plan, Draft for Consultation, 2005
10. Airport Monitor (LAX): <http://www4.passur.com/lax.html>
11. 運輸省他：空港処理容量に関する調査報告書，H11
12. 中野秀夫：航空管制のはなし，H17
13. 航空管制の安全に関する研究会：羽田空港の発着枠の見直しについて，H17
14. 交通政策審議会航空分科会：今後の空港及び航空保安施設の整備に関する方策について－答申，H14
15. 国土交通白書 H17

等

参考データ，資料

1. Milan Janic: The Problem of Airport Capacity in Europe: A Case of London Heathrow Airport
2. B. S. Tether and J. S. Metcalfe: Horndal at Heathrow? Co-operation, Learning and Innovation: Investigating the Processes of Runway Capacity Creation at Europe's most Congested Airports, 2001
3. Rader-based analysis of the efficiency of runway use, John W.Andrews, John E.RobinsonⅢ, AIAA Guidance, Navigation & Control Conference, 2001
4. Statistical Modeling and Analysis of Landing Time Interval Case Study: Los Angeles International Airport, Jasenka Rakas, TRB Annual Meeting, 2005, CD-ROM
5. Methodology for estimating airport capacity and throughput performance using PDARS, Jasenka Rakas, ATRS, 2006, CD-ROM
6. A model of the ultimate capacity of dual dependent parallel runways, Milan Janic, TRB Annual Meeting, 2006, CD-ROM
7. Improved model for estimation of terminal airspace capacity, Debashish Bagg, Rajkumar S. Pant, ATRS, 2006, CD-ROM
8. Monte Carlo Comes to Rome: a note on the estimation of unconstrained runway capacity at Rome Fiumicino International Airport, D.E.pitfield, E.A.Jerrard, Journal of Air Transportation Management, 1999, No.5, pp185-192
9. Studies of capacity estimation of the airport with two parallel runways, Yihuna Cao, Yong Chen, The Aeronautical Journal, 2005, pp395-401
10. A Simulation Model for Airport Capacity and Delay Analysis, Matteo Ignaccolo, Transportation Planning and Technology, 2004, vol..26, No.2, pp 135-170
11. Airport Terminal-Approach Safety and Capacity Analysis Using an Agent-Based Model, Yue Xie, John Shortle, Proceeding of the 2004 winter simulation conference, 2004,

等