

26. A-SMGCSシステム経路設定機能の開発

推奨経路生成のための
空港面地上走行のモデル化 その2

独立行政法人 電子航法研究所

航空交通管理領域

※山田 泉、青山 久枝

通信・航法・監視領域

二瓶 子朗、角張 泰之、宮崎 裕己

機上等技術領域

古賀 禎

Outline

1. 推奨経路生成機能の概要
2. 地上走行モデル化の手法
3. 仙台空港モデルと実際の運航の比較検証
 - ー 誘導路走行時間再現性について
4. 速度プロファイル詳細モデル化の必要性
5. まとめ

1.1 背景 航空交通増大と空港面

- **低視程条件での空港面運用**
 - 安全と効率を維持する必要性
- **運航の高密度化**
 - 地上走行の円滑性の確保が必須
- **大規模空港特有の問題**
 - 複雑な走行経路

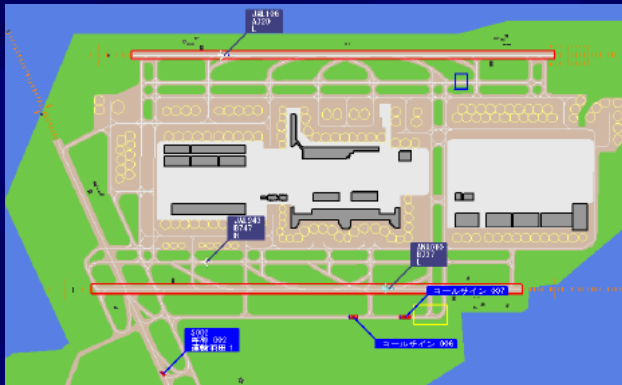
- 飛行中の交通管理と同様、
空港面の**管制支援システム**が必要
⇒ **A-SMGCシステム**



A-SMGCSシステム: 4つの基本機能

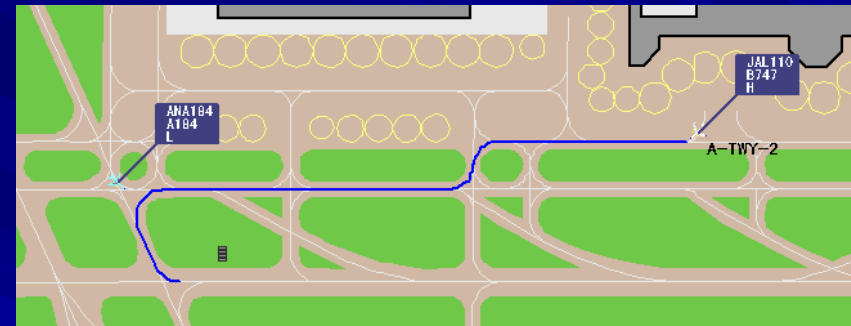
■ 監視機能

- センサ情報を用いて空港内の全移動体を自動識別表示



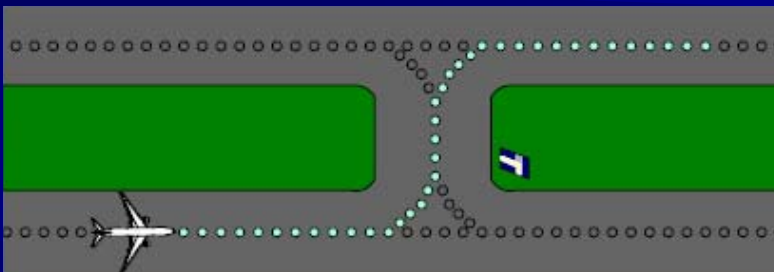
■ 経路設定機能

- 移動体の経路を指定可能
- 手動 / 自動 両方を想定



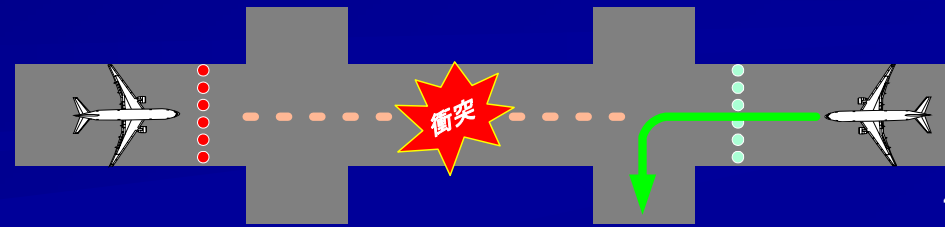
■ 誘導機能

- 経路指示内容を明確に表示

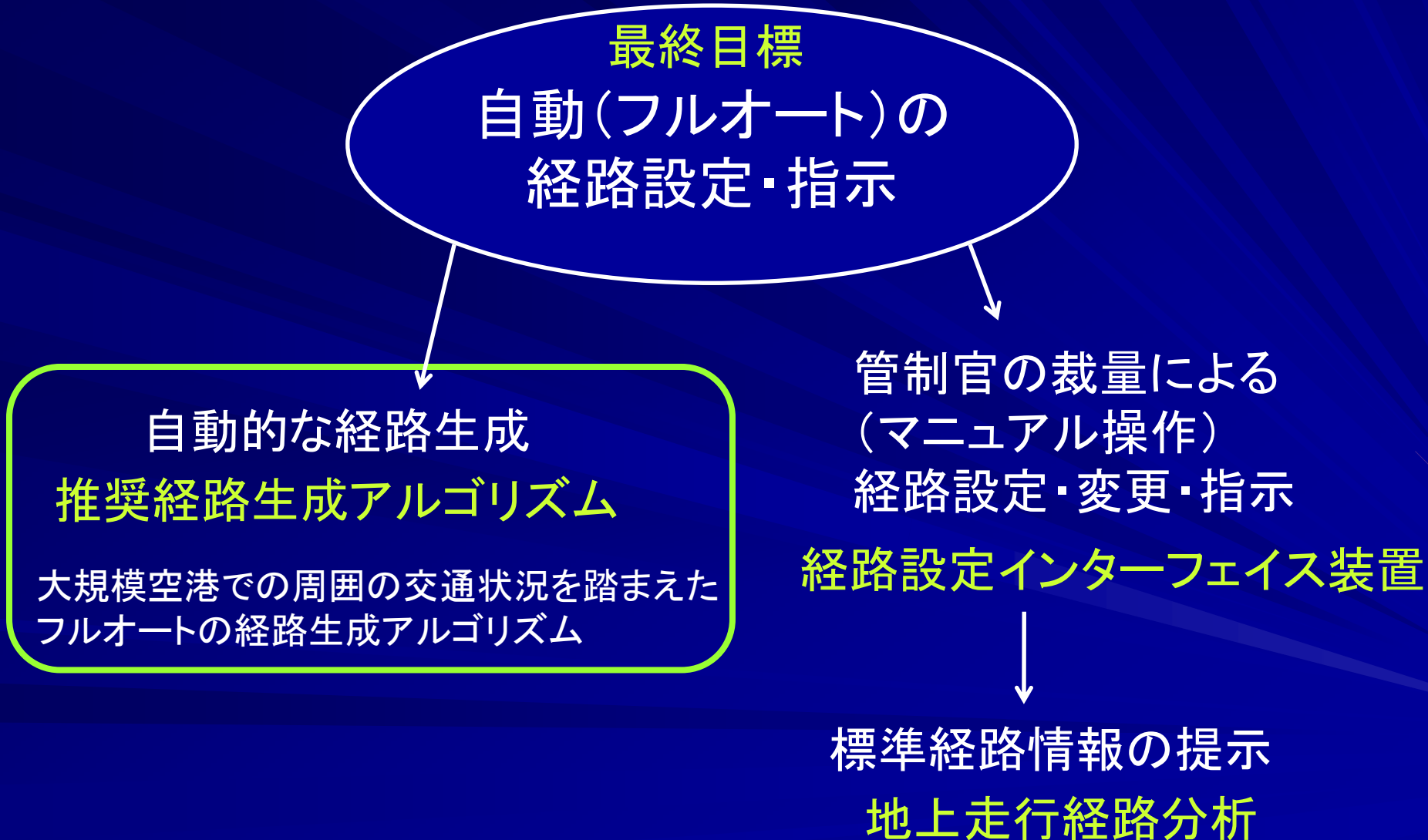


■ 管制機能

- 危険な状況を検知・予測して解決策を提供

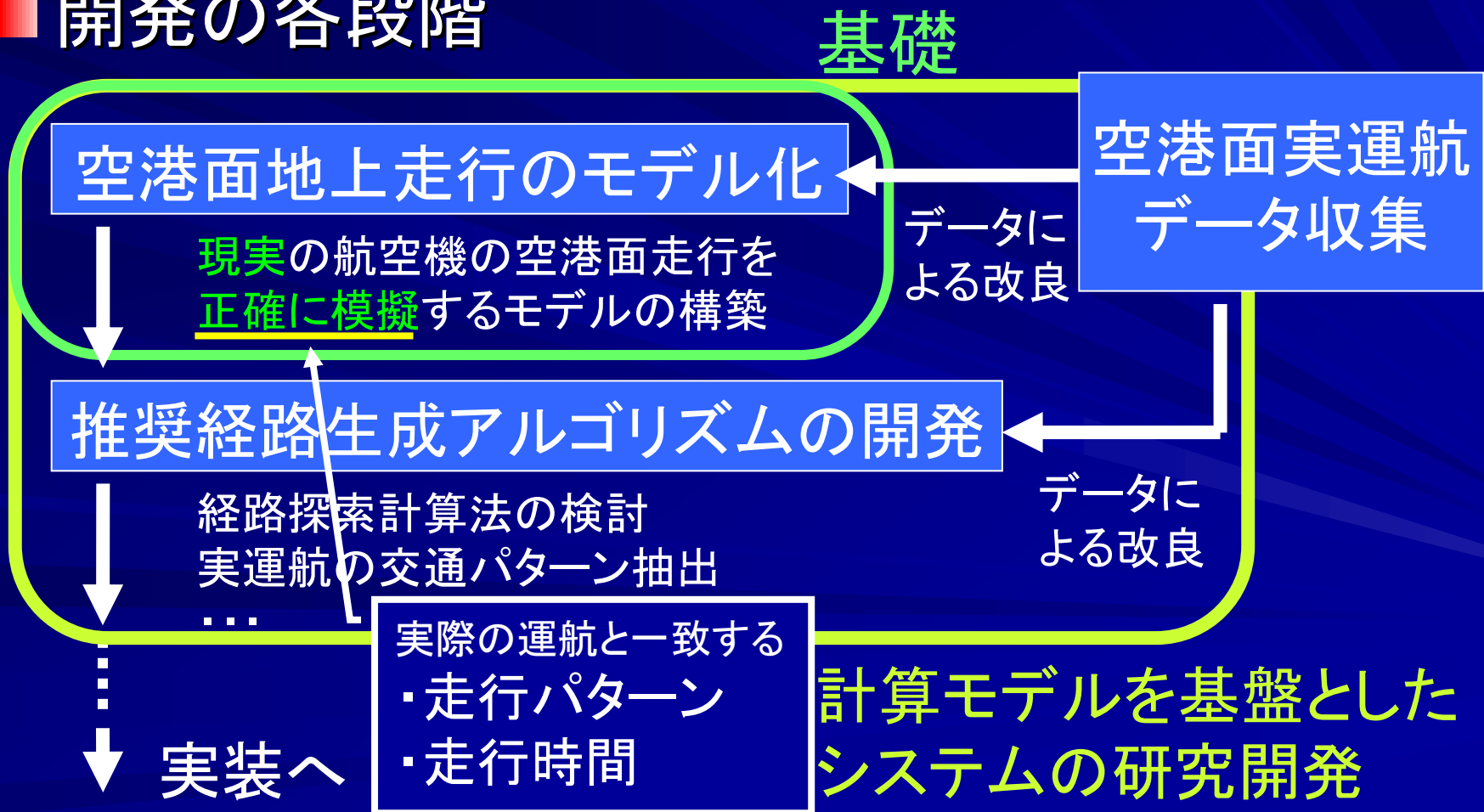


1.2 電子航法研究所が目指す経路設定機能



1.3 推奨経路生成機能の開発

- 経路設定の自動化: 計算機による推奨経路生成
- 開発の各段階



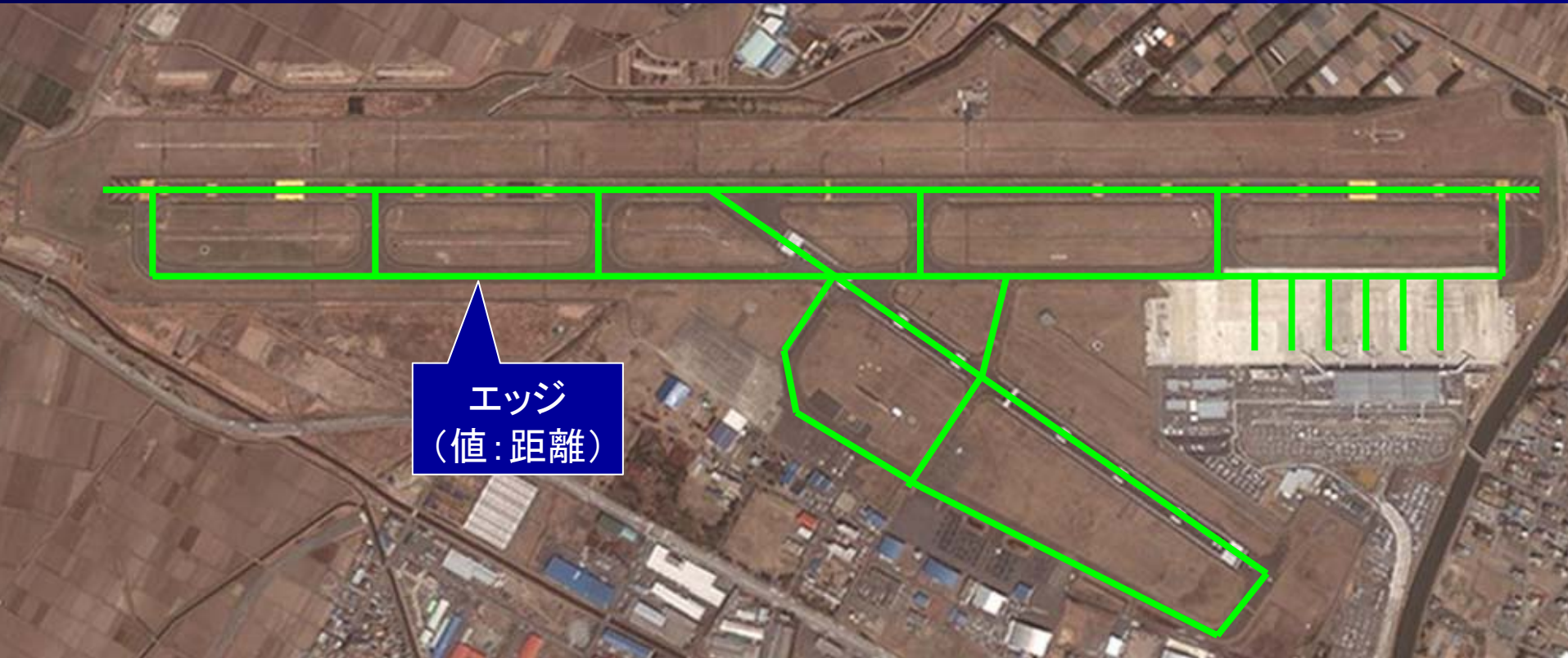
Outline

1. 推奨経路生成機能の概要
2. 地上走行モデル化の手法
3. 仙台空港モデルと実際の運航の比較検証
 - ー 誘導路走行時間再現性について
4. 速度プロファイル詳細モデル化の必要性
5. まとめ

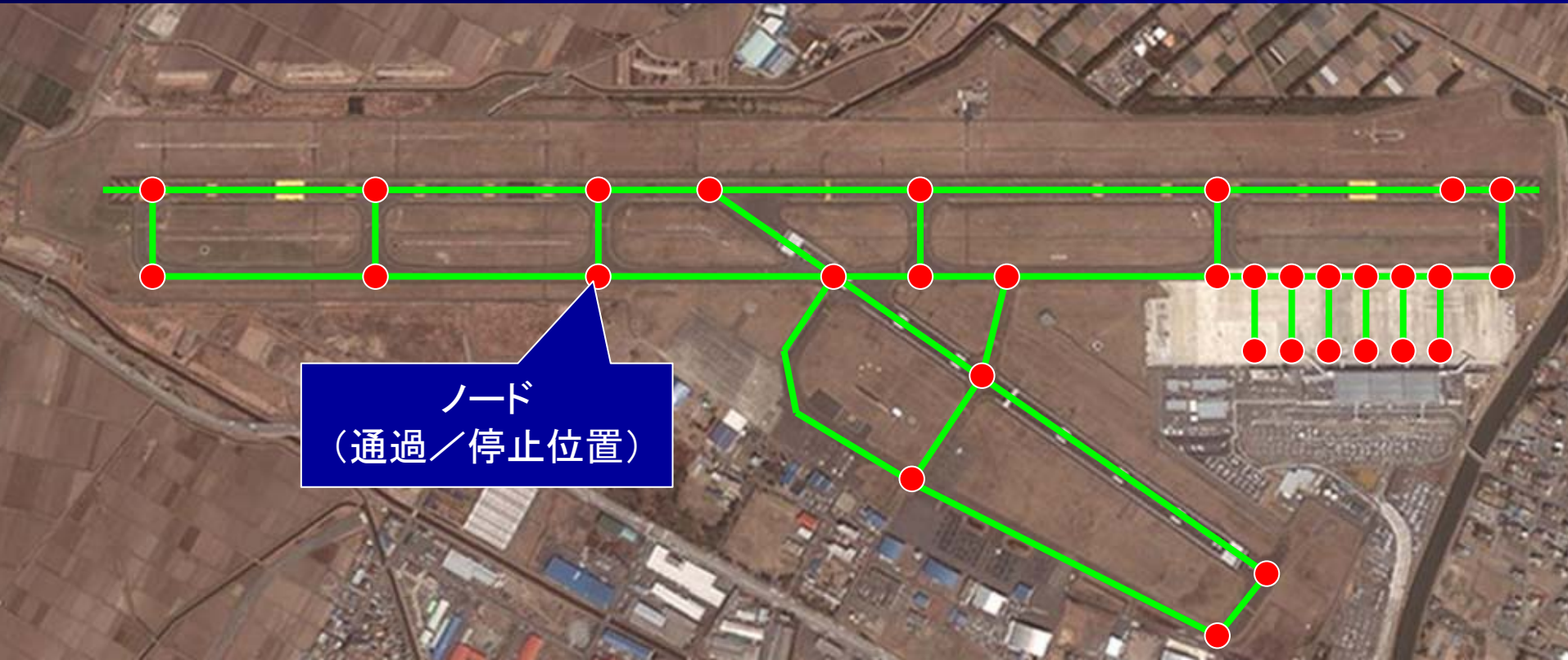
2.1 空港面地上走行のモデル化



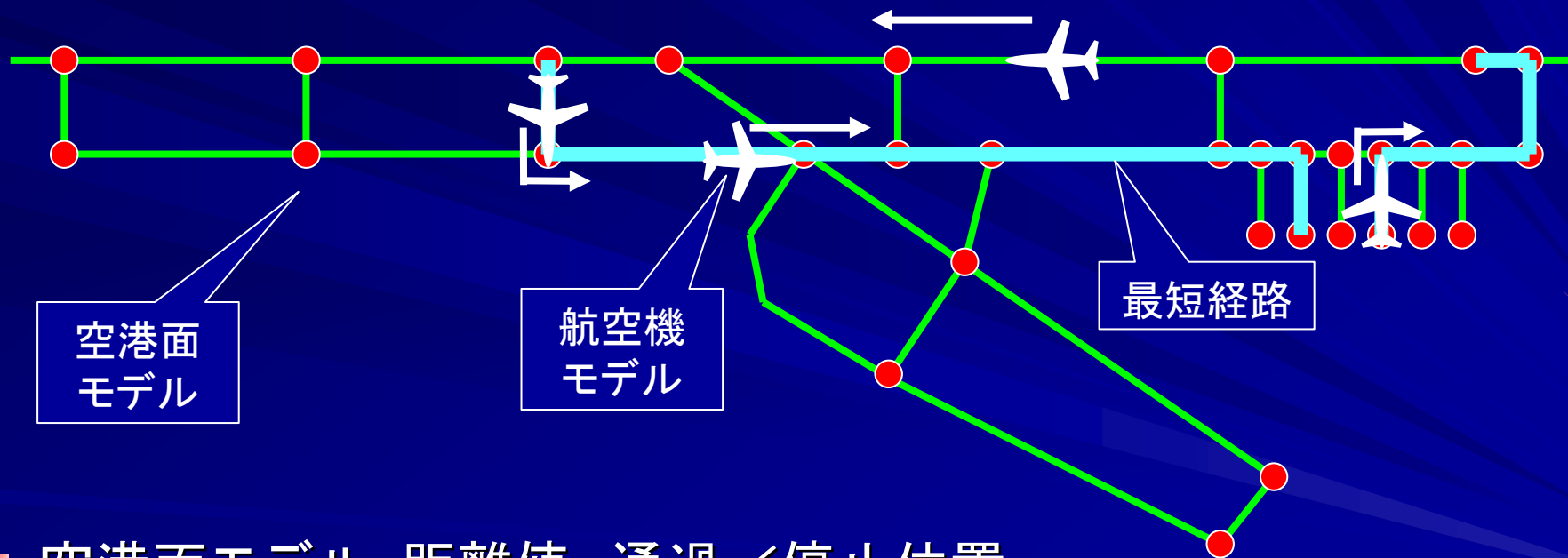
2.1 空港面地上走行のモデル化



2.1 空港面地上走行のモデル化



2.1 空港面地上走行のモデル化

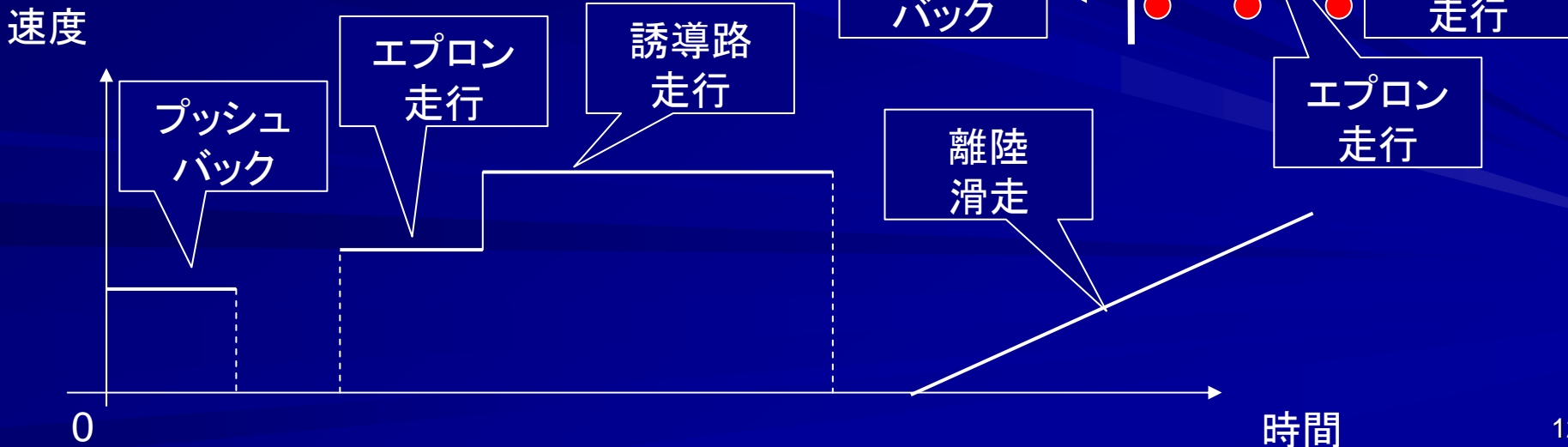


- 空港面モデル: 距離値、通過／停止位置
 - 最短経路探索(Dijkstra法)を基礎とした推奨経路生成アルゴリズム
- 航空機モデル: 速度、停止時間
 - 空港面モデル上を移動することにより、現実の地上走行を模擬

2.2 航空機モデル

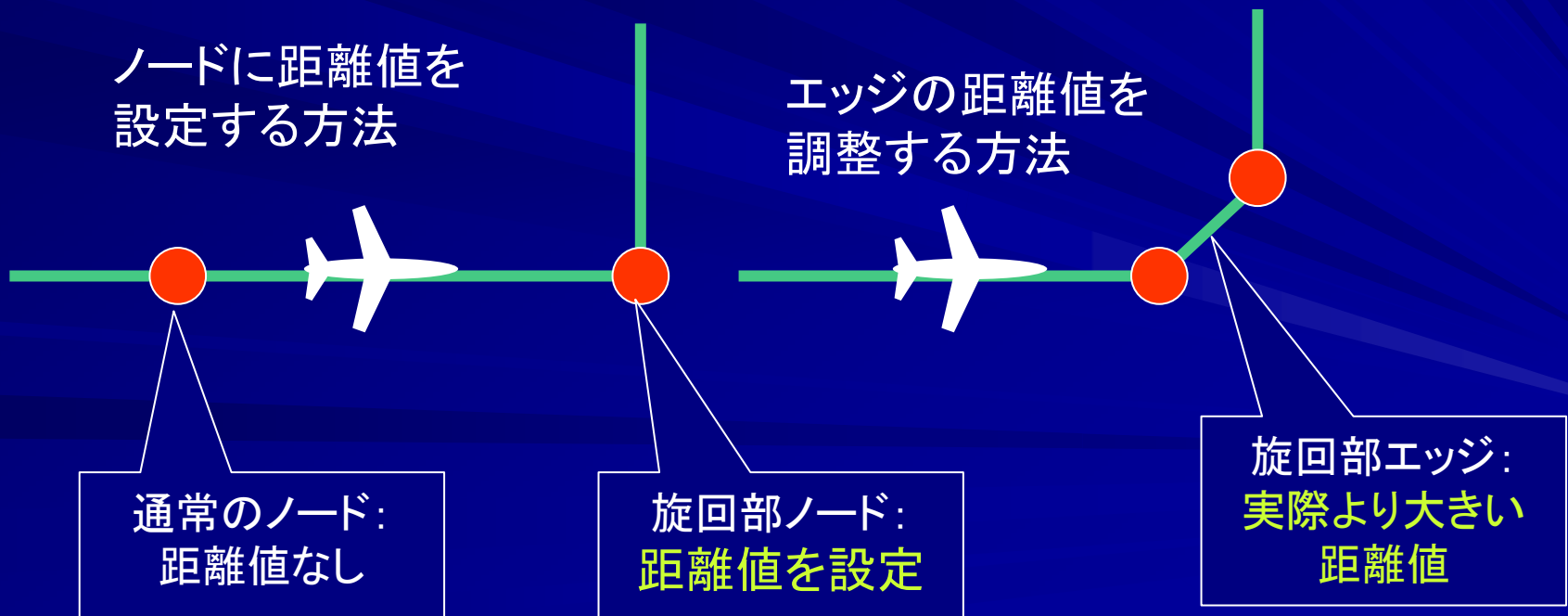
- 走行フェーズ／エリア別の速度による**等速走行**を仮定
 - 可能な限り**単純なモデル**とするため
- 滑走は**等加速度の加速／減速**を仮定

例：出発機の速度変化



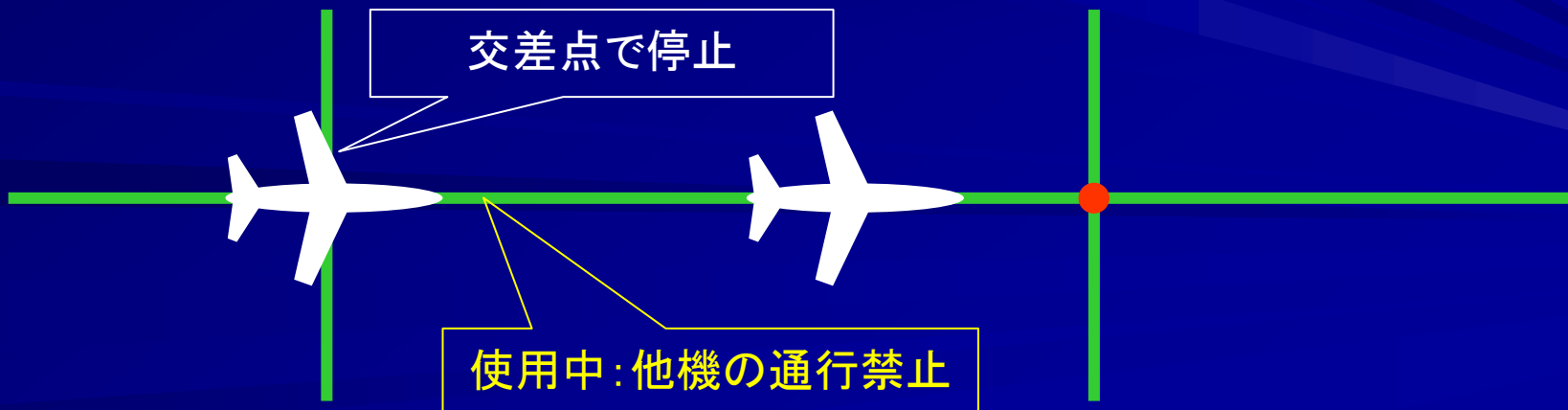
2.3 旋回箇所での処理

- 実際の運航では、旋回部分を減速して通過
→ 減速による走行時間増加を
マップ側の走行距離増加に置き換える



2.4 閉塞制御 複数機環境のシミュレーション

- 一時停止による追突防止等の再現
 - 複数機が走行する状況を模擬するため
- 元となるアイデア... 鉄道の信号機制御
 - 他機が通過中のエッジは通過禁止(区間閉塞)
 - 通過禁止エッジに入らず一時停止

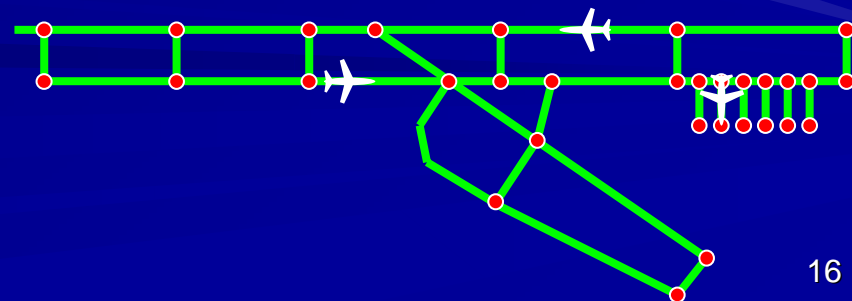


Outline

1. 推奨経路生成機能の概要
2. 地上走行モデル化の手法
3. 仙台空港モデルと実際の運航の比較検証
 - 誘導路走行時間再現性について
4. 速度プロファイル詳細モデル化の必要性
5. まとめ

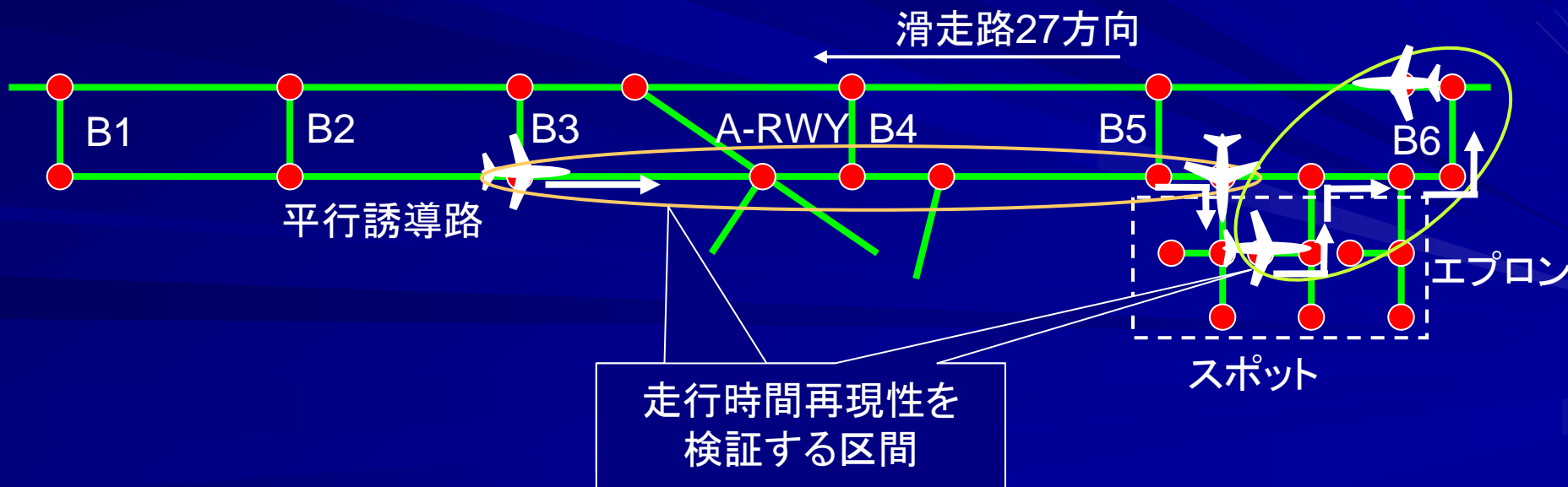
3.1 誘導路走行時間再現性検証

- モデル化した空港：仙台空港
- 検証シミュレーション条件
 - 航空機モデルパラメータは型式ごとに設定
 - 実際の運航を模擬したシナリオ
 - プッシュバック開始／着陸時刻
 - 走行経路、使用スポット
- 検証の方針
 - 実測値とシミュレーション再現値の比較
 - 誘導路走行時間再現性に注目



3.2 取得した実運航データ

- 取得日：平成17年10月27,28日（滑走路27運用）
- 移動開始時刻、各地点通過時刻、走行経路を記録
- 出発機：72機 プッシュバック開始から離陸まで
- 到着機：60機 着陸からスポット到着まで



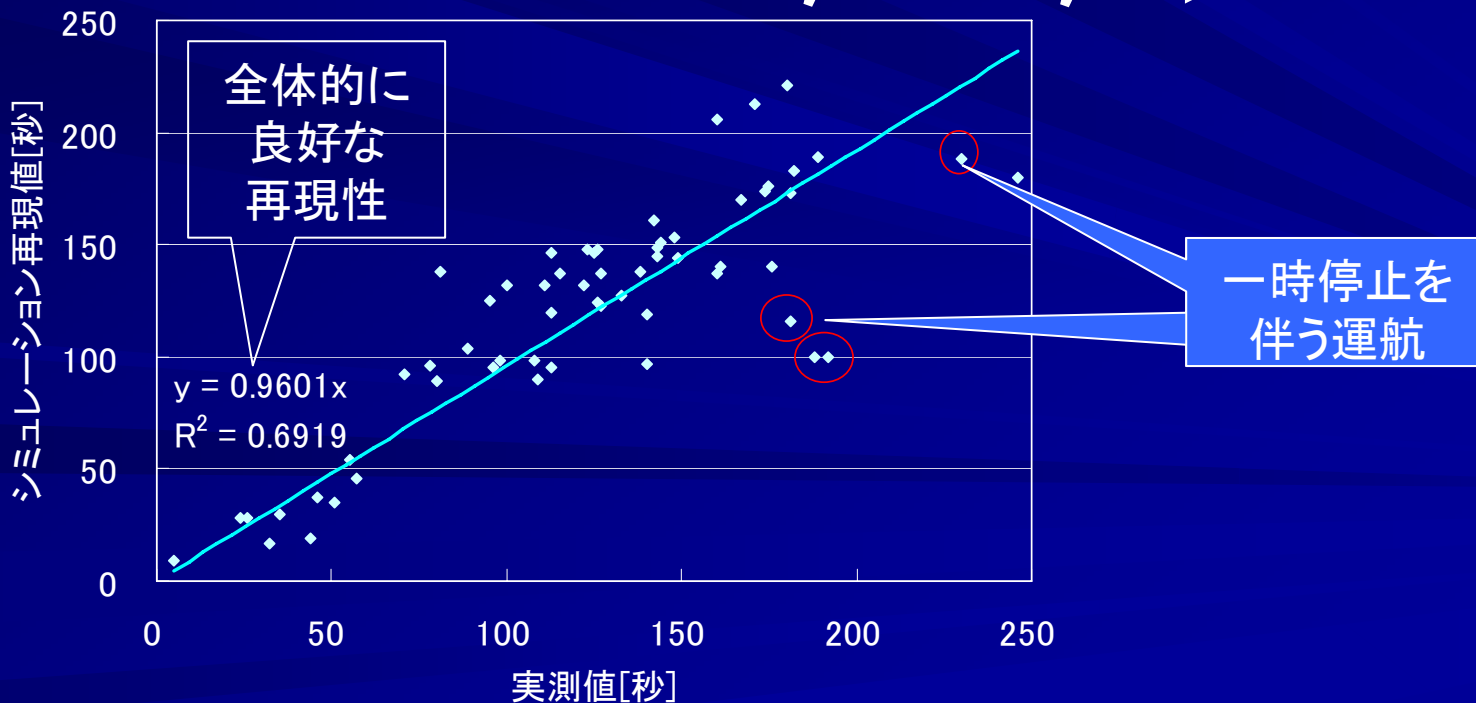
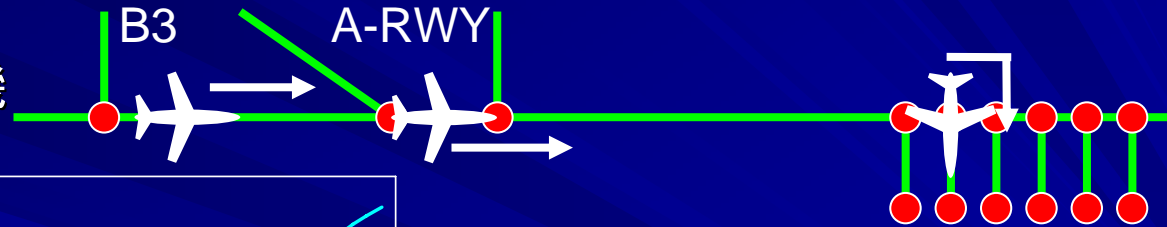
3.3 誘導路走行時間再現性：到着機

■ 数秒～数十秒の誤差範囲内で実際の運航を再現

－ 一時停止を伴う場合に大きな外れ値

■ 滑走路横断

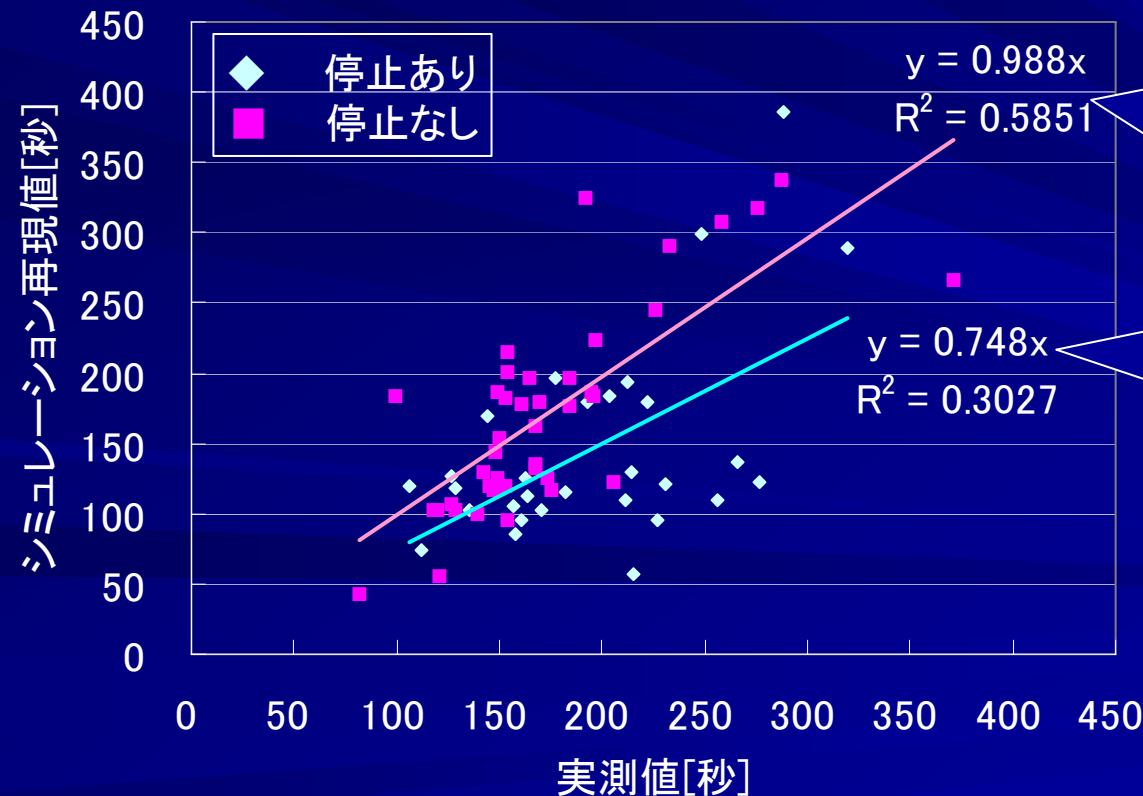
■ エプロンでの待機



3.3 誘導路走行時間再現性：出発機

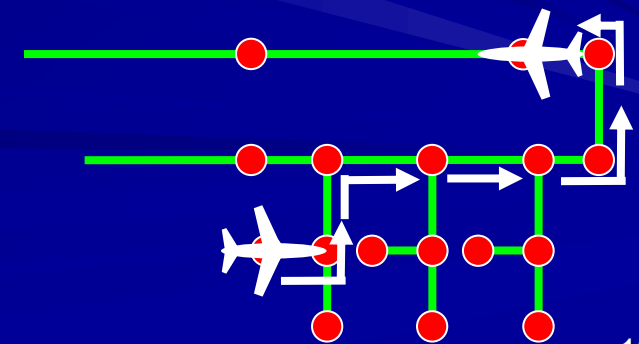
■ 再現性に大きなバラツキ

- 特に、走行中に一時停止を伴う場合にバラツキ大



全体的な傾向では再現性良好に見えるがバラツキが大きい

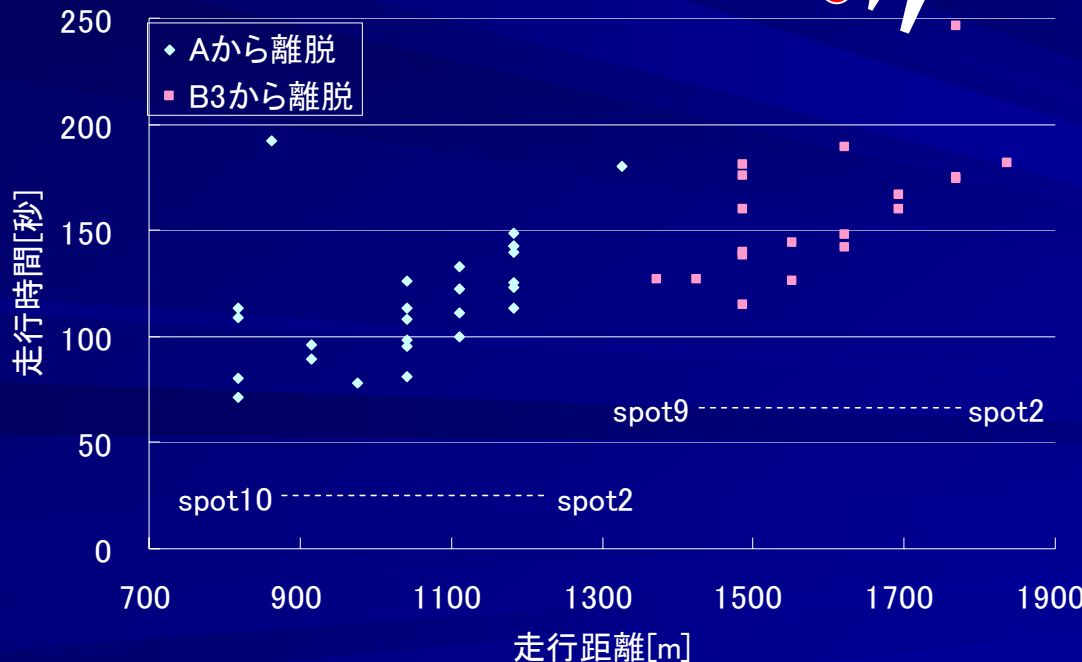
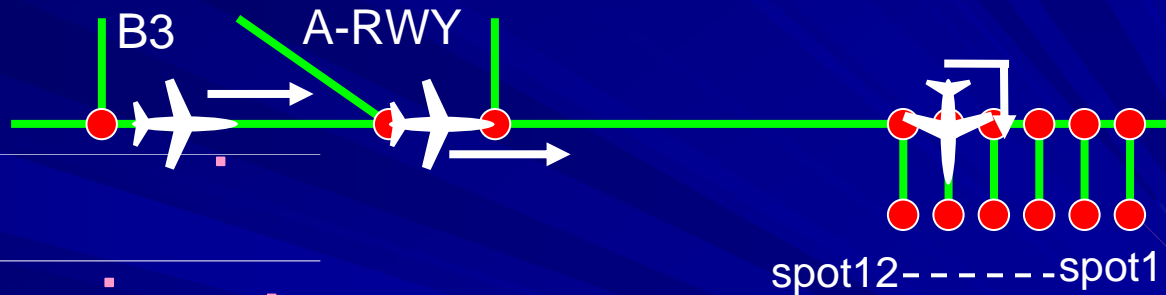
一時停止を伴う場合、再現値が実測値を下回る傾向にある



3.4 走行距離と走行時間の関係

■ 到着機：実際の走行時間

- 走行距離と走行時間が**ほぼ比例関係**
→ 等速走行モデルが当てはまる
- **直進距離が長い**



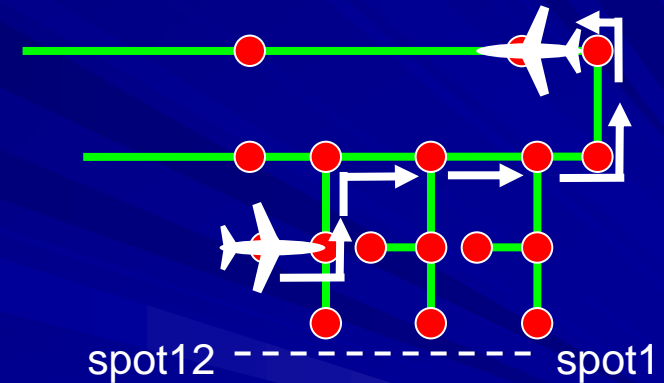
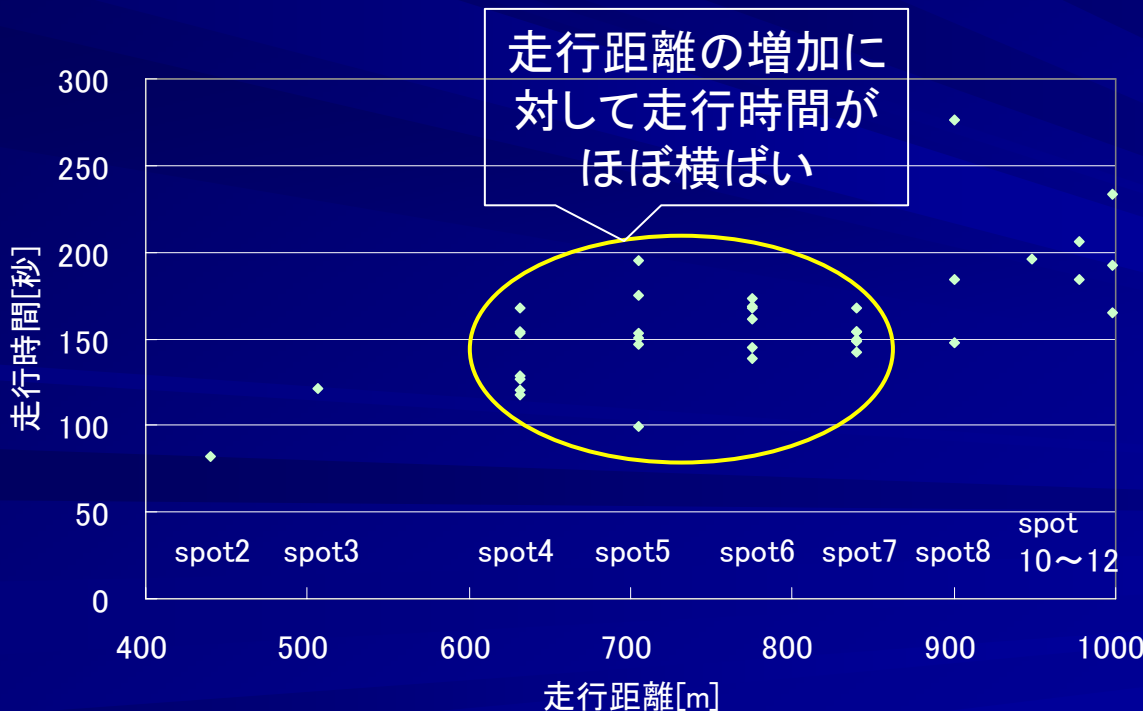
直進距離：700～1,800m
 (A離脱：700～1,300m
 B3離脱：1,200～1,800m)

旋回距離：80m程度
 (エプロン進入時の旋回)

3.4 走行距離と走行時間の関係

■ 出発機：実際の走行時間

- 走行距離と走行時間が**必ずしも比例しない**
→ 等速走行モデルの当てはまりが悪い
- **直進距離が短い**



直進距離: 0~650m

旋回距離: 350m程度
(エプロンから平行誘導路、
B6誘導路から滑走路まで)

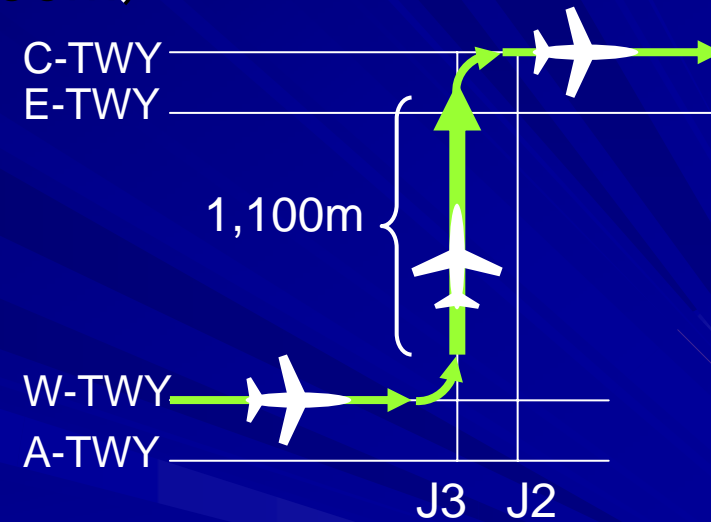
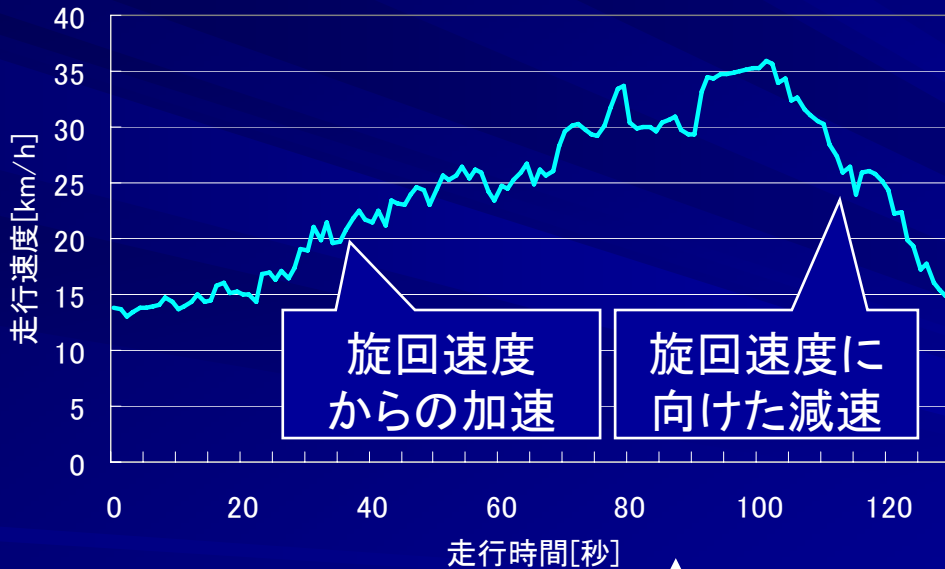
Outline

1. 推奨経路生成機能の概要
2. 地上走行モデル化の手法
3. 仙台空港モデルと実際の運航の比較検証
 - － 誘導路走行時間再現性について
4. 速度プロファイル詳細モデル化の必要性
5. まとめ

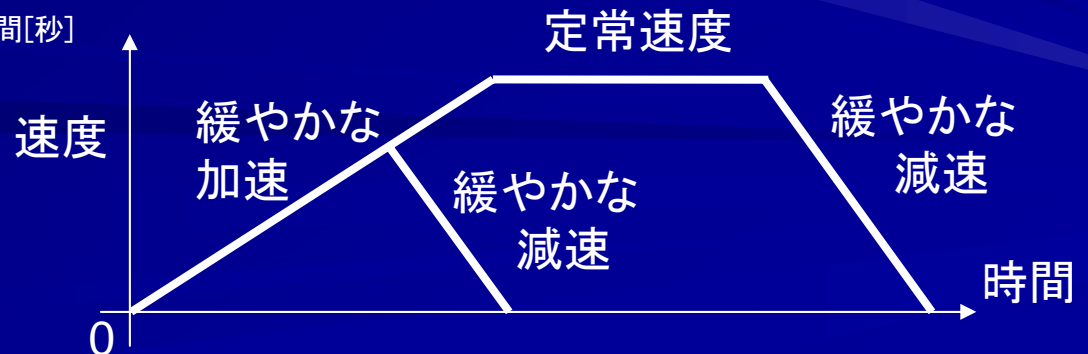
4.1 走行速度に関する考察

■ 実際の運航の速度プロファイル例

－ 羽田：J3誘導路での直進走行(1,100m)

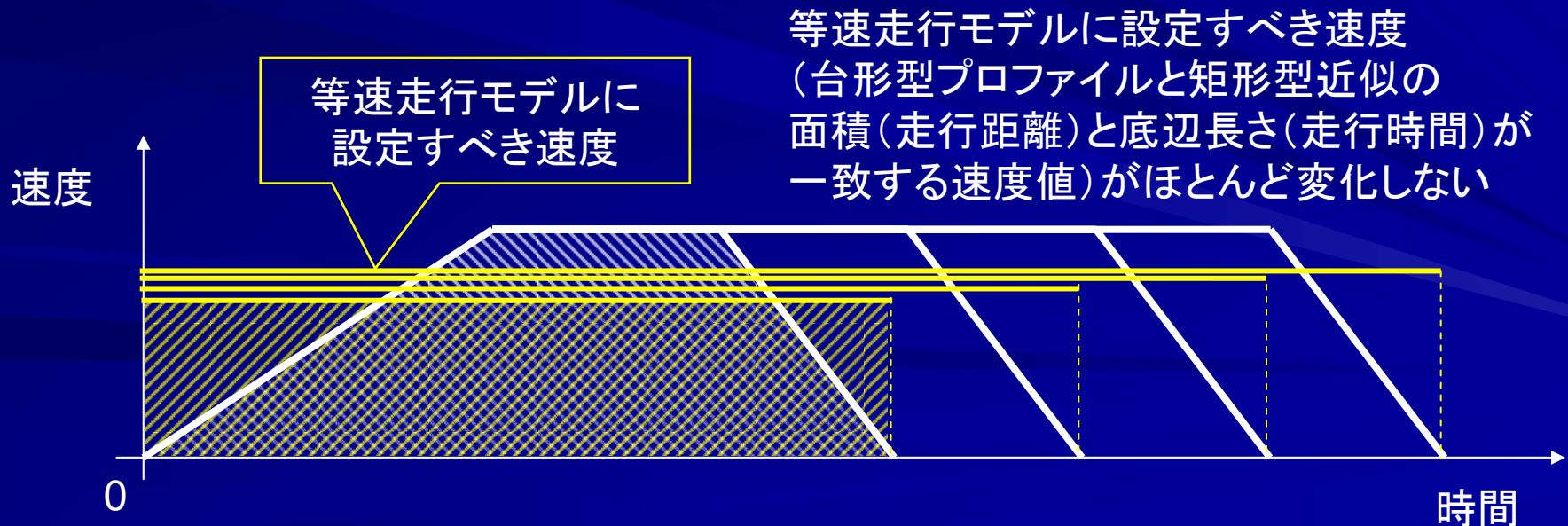


－ より現実的な速度モデル



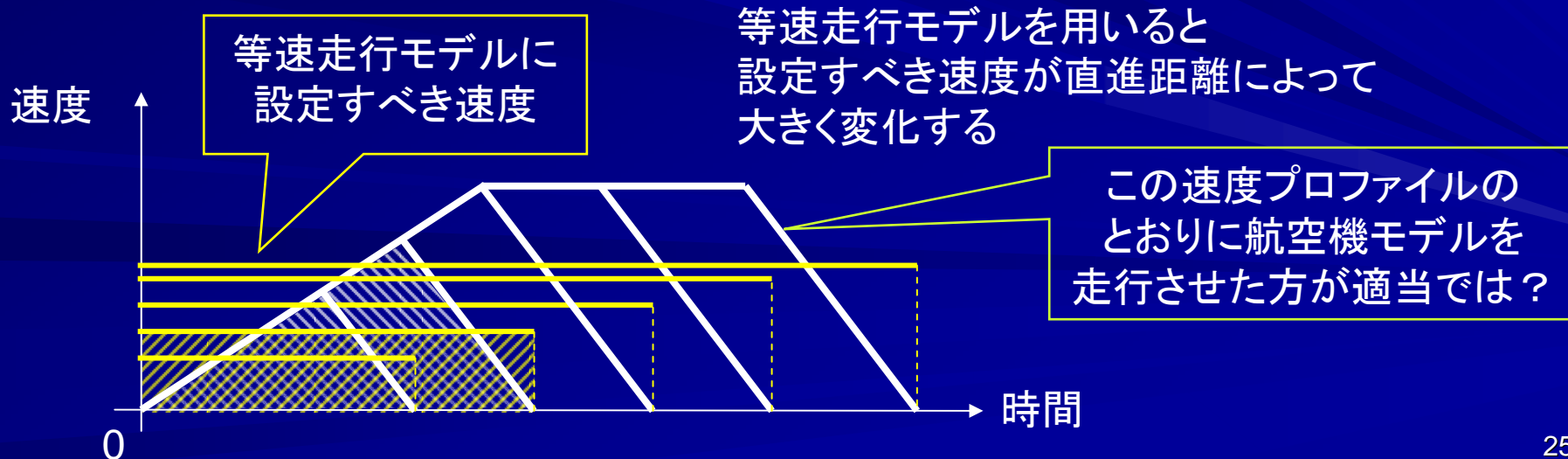
4.2 直進距離と等速走行モデルの妥当性

- 直進距離が長い場合、
等速モデルの当てはまりが良い
 - 一定常的な速度で走行する時間の割合が大きく、
加減速フェーズの影響が小さい



4.2 直進距離と等速走行モデルの妥当性

- 直進距離が短い場合、
等速モデルの当てはまりが悪い
 - 一定常速度まで加速せず減速を開始する場合があるため
- 等速走行モデルを用いる限り、直進距離に応じて
速度パラメータを調整する必要が生じる
 - モデル調整が煩雑となる



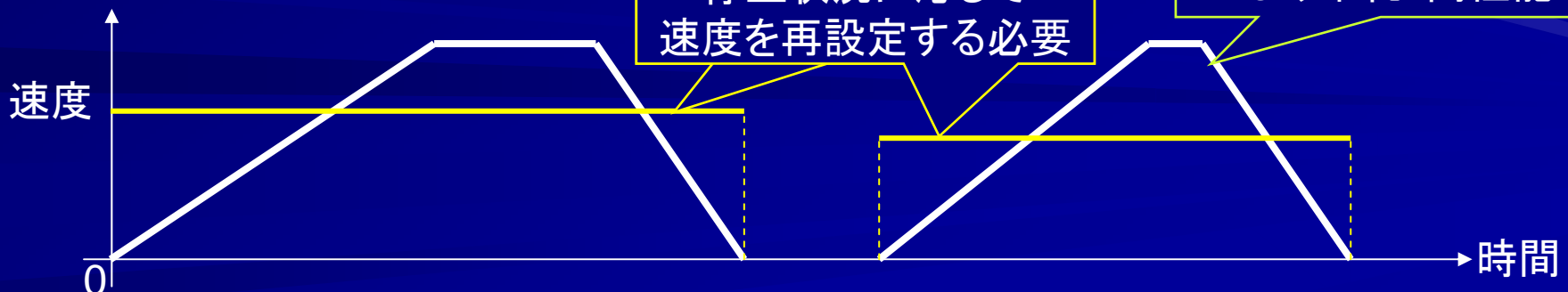
4.3 今後の課題

■ 加減速を考慮した航空機運動のモデル化

- 直進距離の短い経路での走行時間再現性
- 一時停止を含む場合の走行時間再現性

⇒ 経路形状が複雑・多様となる**大規模空港の混雑状況**を模擬するため有効

一時停止を含む走行の
速度プロフィール



5 まとめ

- 等速走行を仮定して航空機地上走行のモデル化を行った
- 実運航データと地上走行モデルのシミュレーション再現値との比較検証を行い、誘導路走行時間の再現性について検証した
- 直進距離が長い走行では良好な再現性が得られた
- 直進距離が短い走行では加減速を考慮したモデル化を行う必要性が明らかとなった
 - 経路形状により直進が短い場合
 - 走行中に一時停止を行う場合

謝辞

運航状況調査にご協力いただきました
東京航空局仙台空港事務所
東京航空局東京空港事務所
電子航法研究所岩沼分室
の関係各位に深く感謝いたします。