

実験的アプローチによる 固定飛行経路角降下の一検討

令和元年度(第19回)電子航法研究所研究発表会
令和元年6月7日(金)

※ビクラマシンハ ナヴィンダ, 虎谷大地
航空交通管理領域

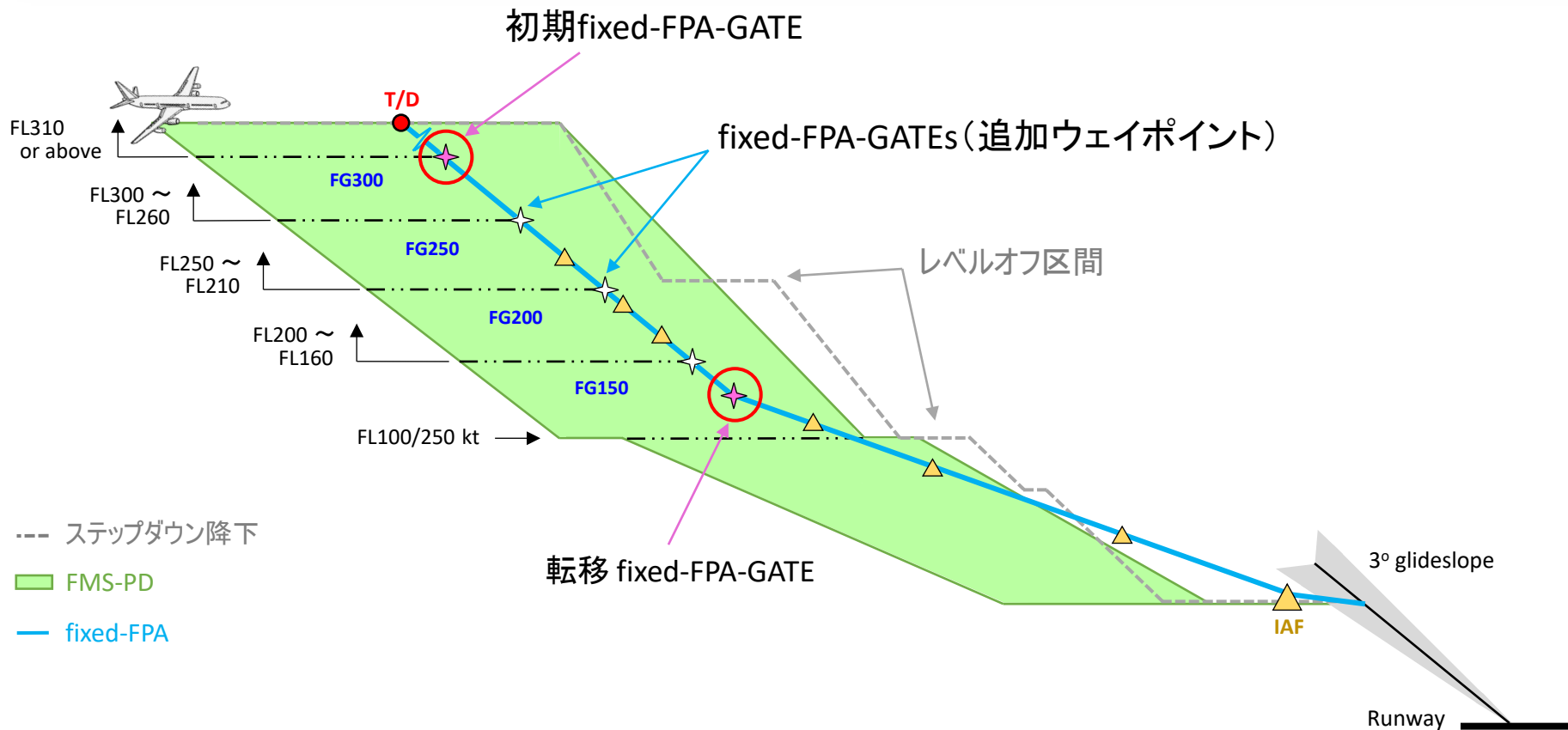


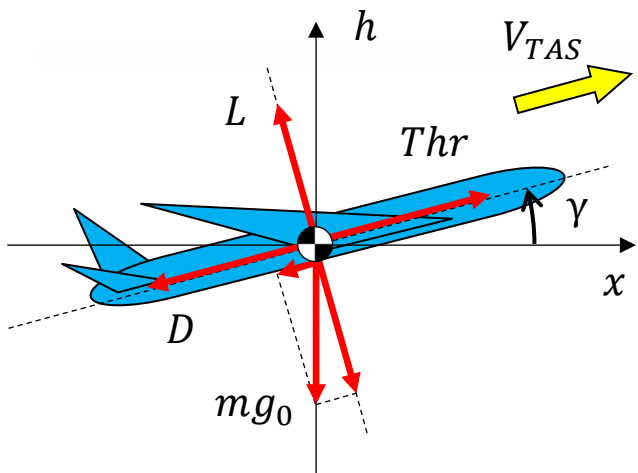
Electronic Navigation Research Institute

- 近年航空業界において、航空交通量の増大に伴い主要な空港の容量拡大が強く望まれている。
 - 地上による軌道予測の向上が極めて重要
- 将来の航空交通量に柔軟に対応するため、世界的に様々な研究開発が進められている。
 - 潜在的な飛行方式：**継続降下運航** (CDO, Continuous Descent Operation) (Clarke他 2004, Sopjes他 2011, 平林他 2017)
 - アイドル推力を用いた連続的な降下による消費燃料・環境負荷の軽減
 - 飛行管理装置 (FMS)による運航状態に特化した降下プロファイル
 - 降下パスにおけるばらつきが大きい → 地上による軌道予測が困難
 - 日本におけるCDOの運用拡大が課題
- 運航性能と地上による軌道予測のトレードオフに着目する。

 **固定飛行経路角 (fixed-FPA, fixed flight path angle) 降下方式**

方式設計 (fixed-FPA降下経路)





D : 抗力 m : 航空機質量

力の釣り合い式*

$$(\underline{Thr} - D)V_{TAS} = mg_0 \underline{ROCD} + mV_{TAS} \frac{dV_{TAS}}{dt}$$

制御変数

Thr: 推力

V_{CAS} : 較正対気速度

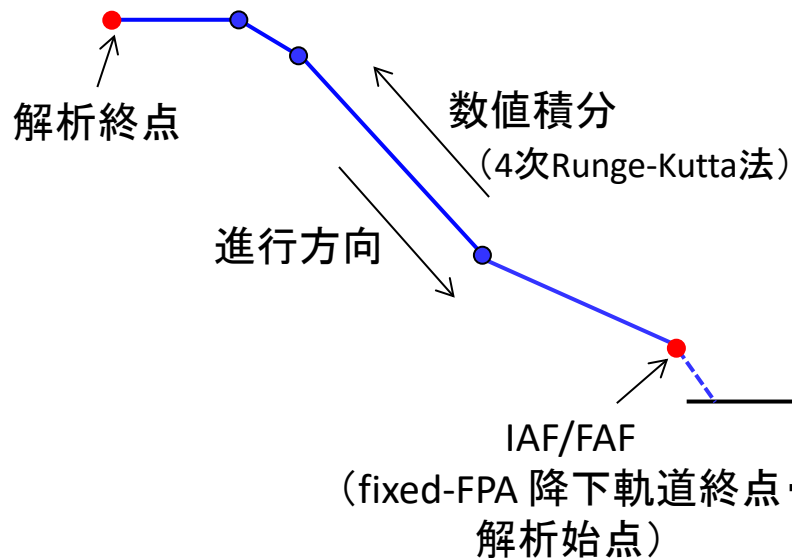
M : マッハ数

変換

V_{TAS} : 真対気速度

ROCD: 降下率 (飛行経路角 γ)

- 質点近似方程式による航空機運動の定式化
- FMSを模擬するため、進行方向の逆方向に数値積分
- Base of Aircraft Data (BADA) による性能データ
- 気象庁提供の数値気象予報データ



*D. Toratani et al., "Simulation Techniques for Arrival Procedure Design in Continuous Descent Operation," Winter Simulation Conference 2018.

- 対象機種: B787-8, B777-200ER, A320ceo
- 対象空港: 関西国際空港 (ICAO code: RJBB)

シミュレーション例

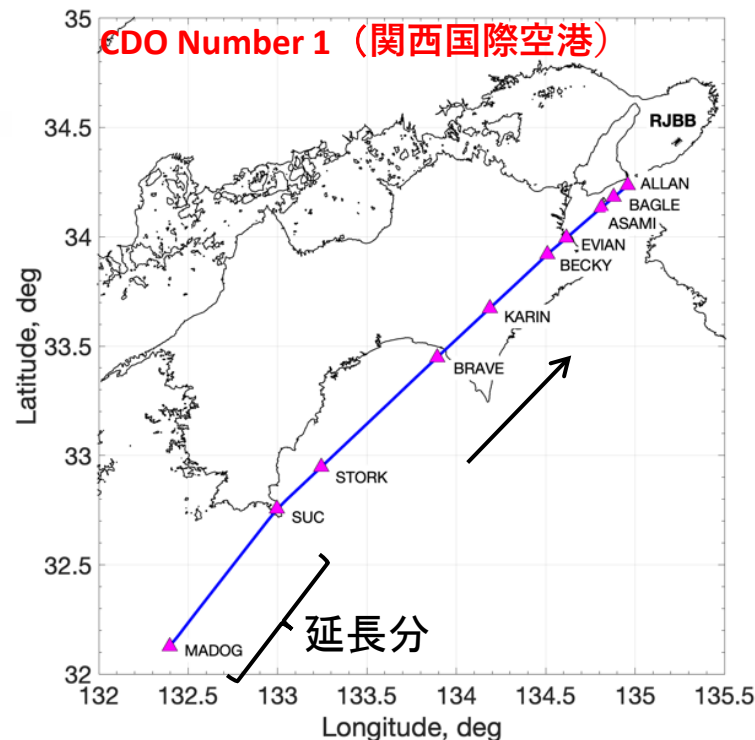
- 対象機種 : B787-8
- 巡航高度/IAS : 33,000ft / 290kt
- 初期fixed-FPA-GATE: 30,000ft
転移fixed-FPA-GATE: 10,000ft
- 実験の詳細:
 - 1) FMS-PD
 - 2) fixed-FPA 26-22
 - 3) fixed-FPA 22-22
 } (FG300, FG100, ALLAN @4,000ft)

- 気象条件:

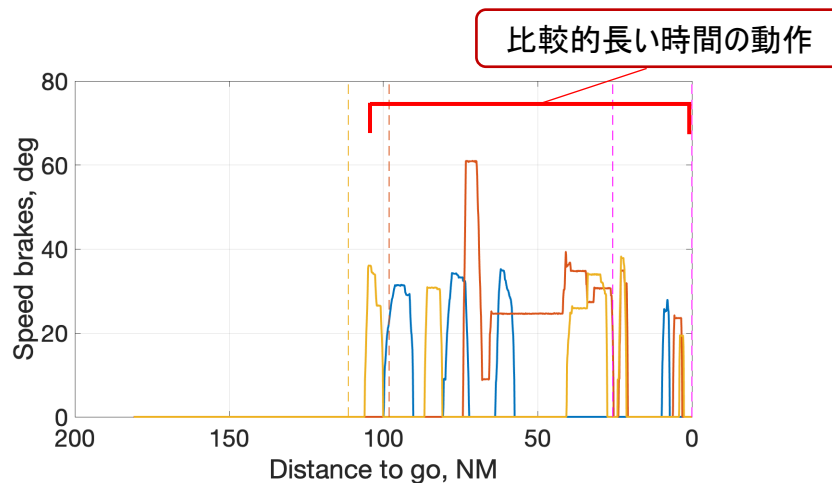
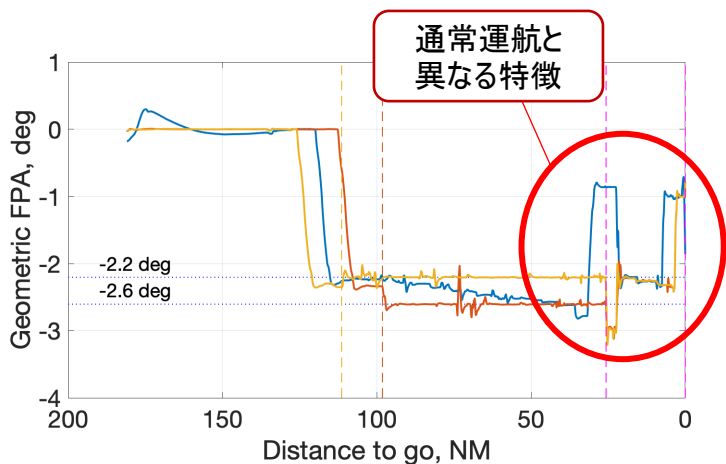
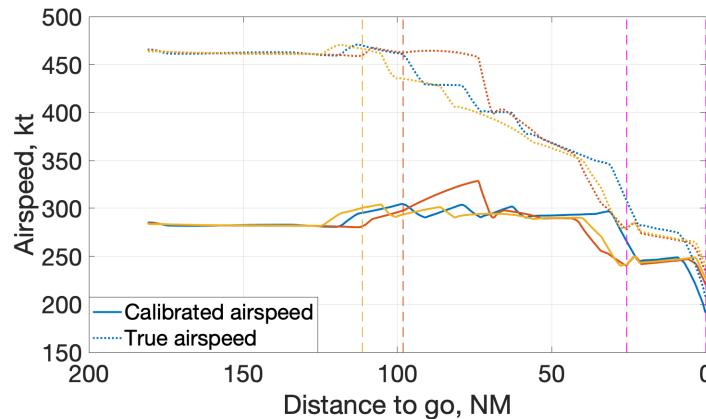
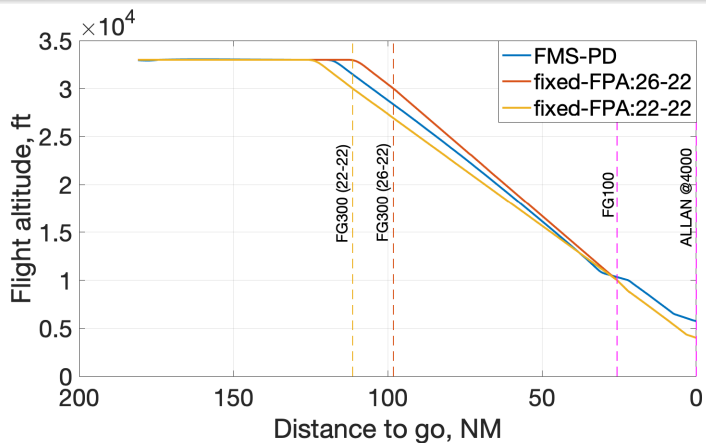
40,000ft	33,000ft	100ft
100kt / 270°	100kt / 270°	0kt / 270°

前提条件:

- 機体重量・コストインデックスは、典型的な値の設定
- 必要に応じてスピードブレーキを使用可
- FMSと機外風は同一の値



CDO ルート	詳細
RWY06R CDO Number 1	SUC → Y53 RNAV → BECKY ... → BECKY ALFA ARRIVAL [高度制限] Cross KARIN at or above FL160 Cross BECKY at or above 9,000ft Cross EVIAN at or above 6,000ft Cross ALLAN at or above 4,000ft

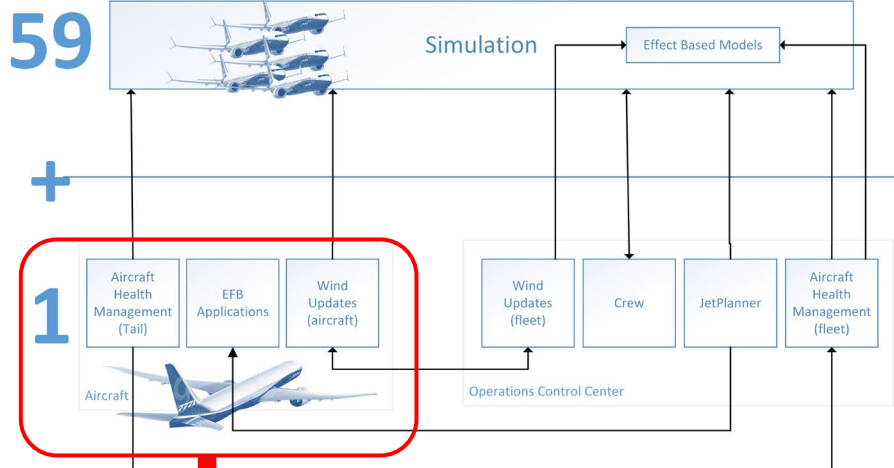


	FMS-PD	Fixed-FPA 26-22 (FMS-PD結果との比較)	Fixed-FPA 22-22 (FMS-PD結果との比較)
燃料消費量 (lbs)	2043	2185 (+142)	2081 (+38)
飛行時間 (s)	1508	1512 (+4)	1535 (+27)

実機によるfixed-FPA降下の実証実験

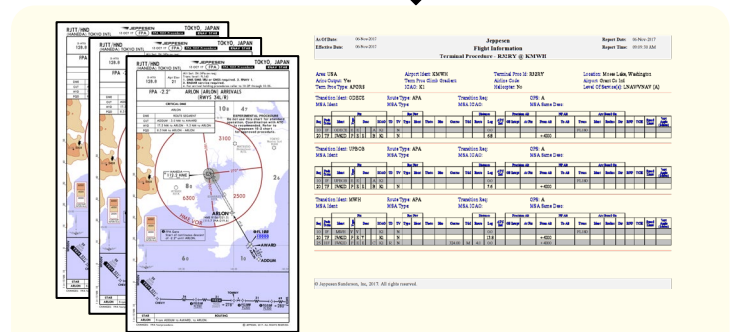
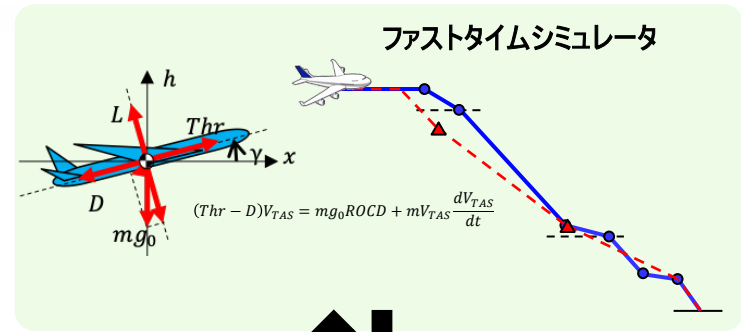
Boeing Eco-Demonstrator 2018

Jeppesen Digital Airline / 59+1 Technical Demonstration



fixed-FPA 降下対象航空機

- 対象空港: グランド郡国際空港 (モーゼスレイク)
- 対象機種: Boeing 777-200F (FedEx社提供)

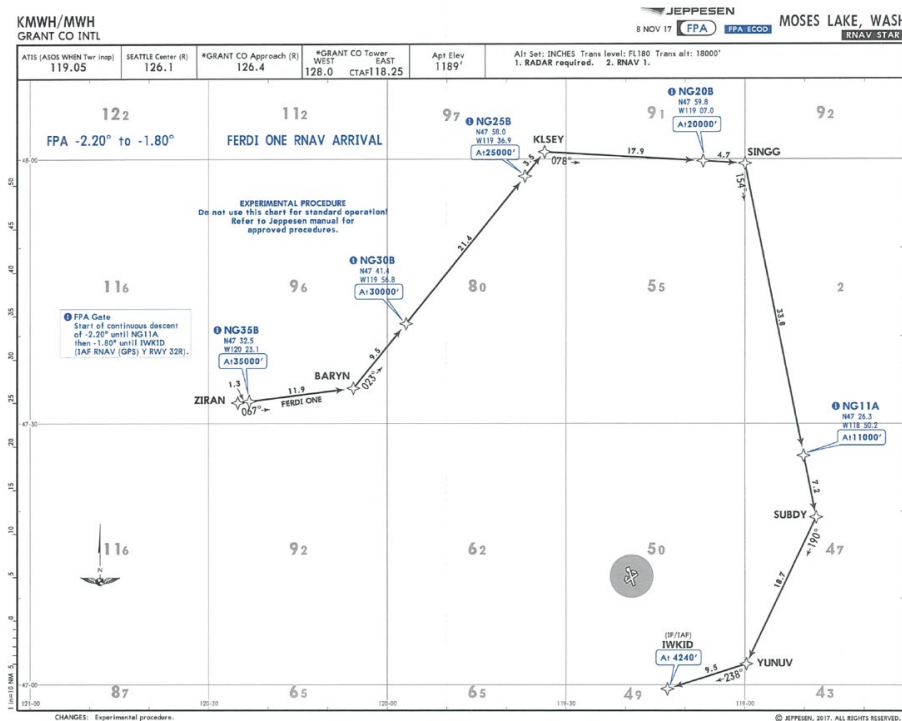
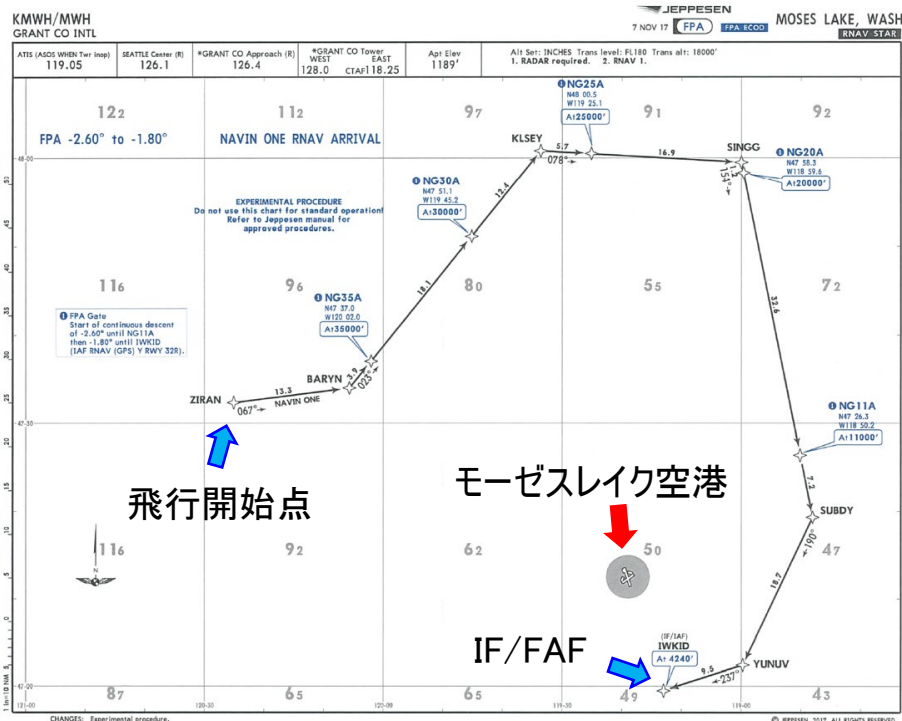


航空路チャート・航法データベースの設計

Boeing Eco-Demonstrator 2018

NAVIN ONE RNAV ARRIVAL -> RNAV (GPS) Y RWY 32

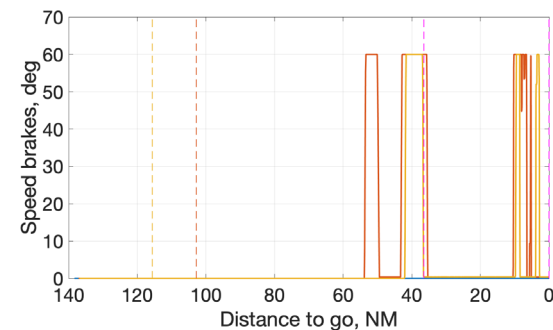
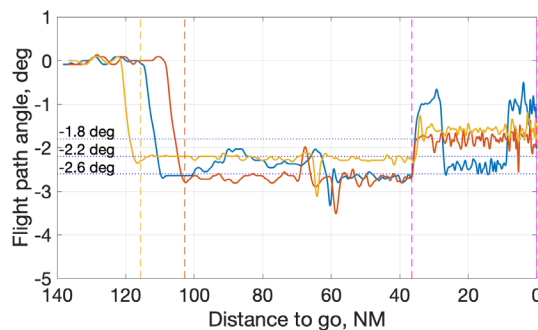
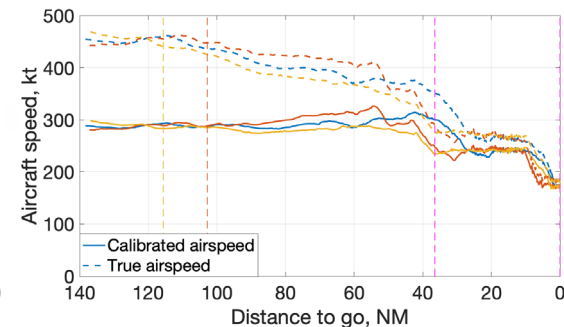
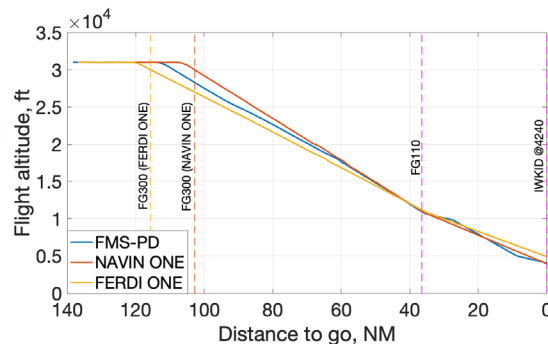
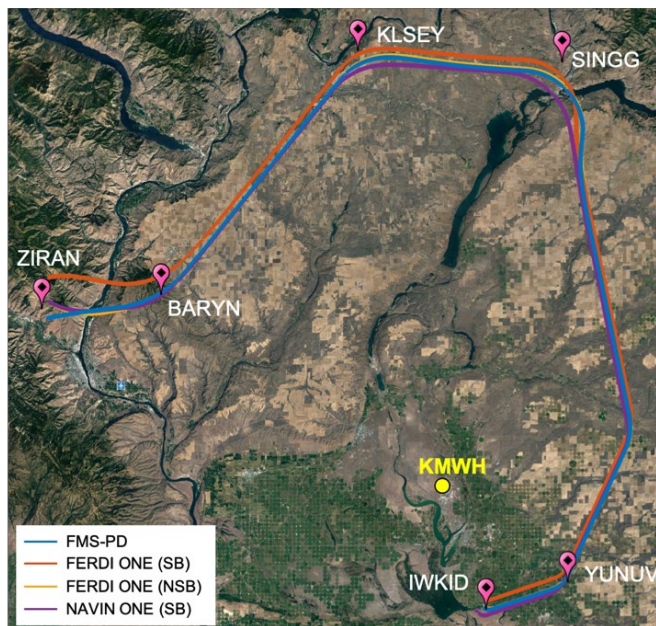
FERDI ONE RNAV ARRIVAL -> RNAV (GPS) Y RWY 32



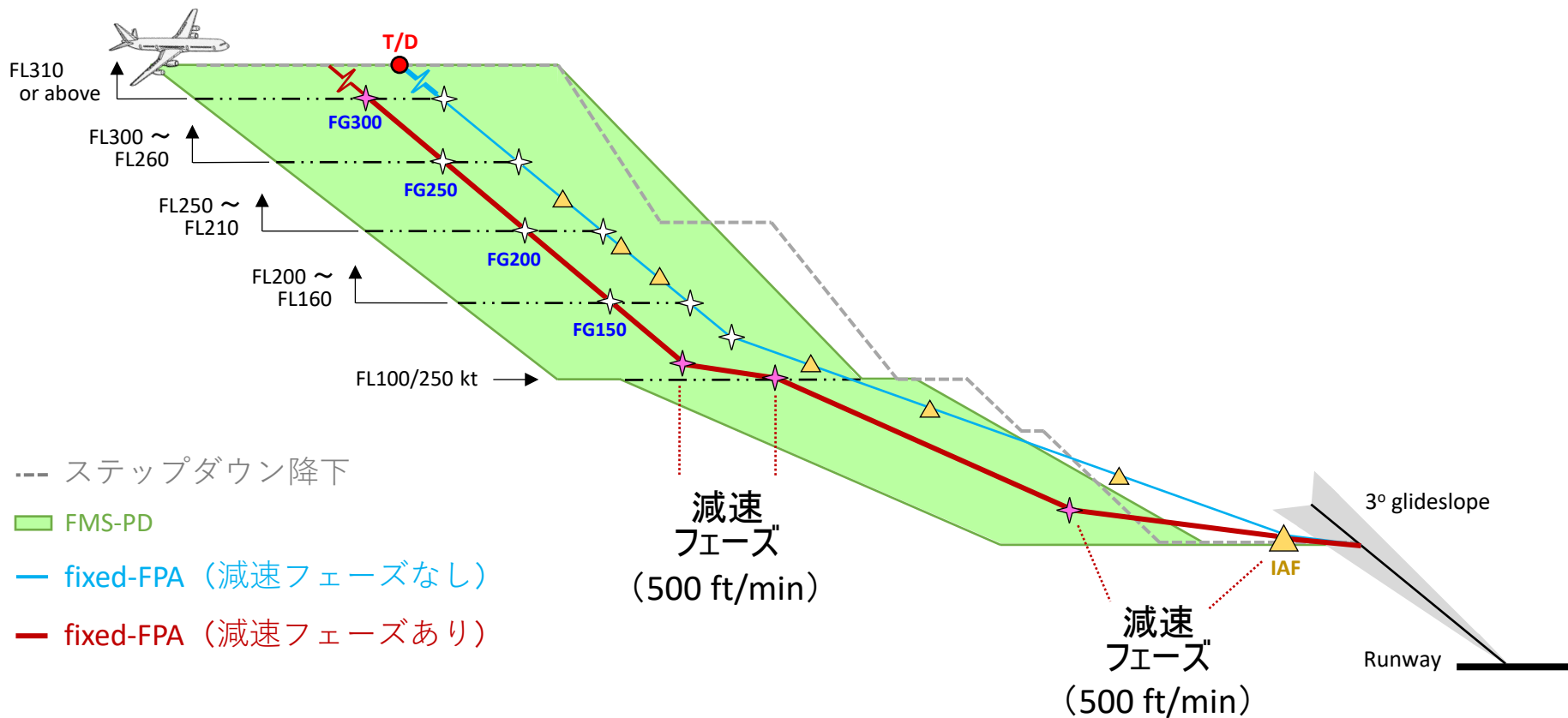
ZIRAN -> NG11A : -2.60° ⇨ NG11A -> IWKID : -1.80°

ZIRAN -> NG11A : -2.20° ⇨ NG11A -> IWKID : -1.80°

- 巡航高度: 31,000ft
- 初期fixed-FPA-GATE: 30,000ft
- 転移fixed-FPA-GATE: 11,000ft



- 提案したfixed-FPA降下の有効性を示すことができた。
- 高高度と比べて低高度の飛行セグメントでは、定められた降下パスに沿って飛行することが困難である。
 - 低高度における高度・速度制限を保つために、減速のセグメントが必要であることが分かった。



--- ステップダウン降下

■ FMS-PD

— fixed-FPA (減速フェーズなし)

— fixed-FPA (減速フェーズあり)

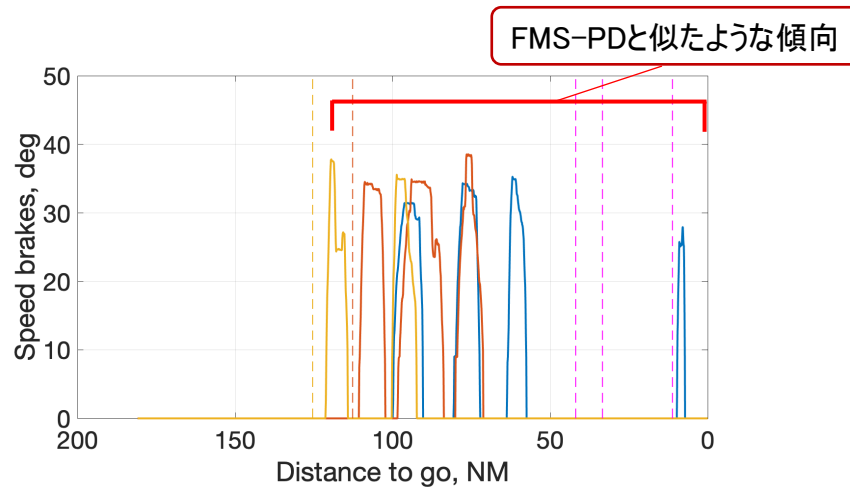
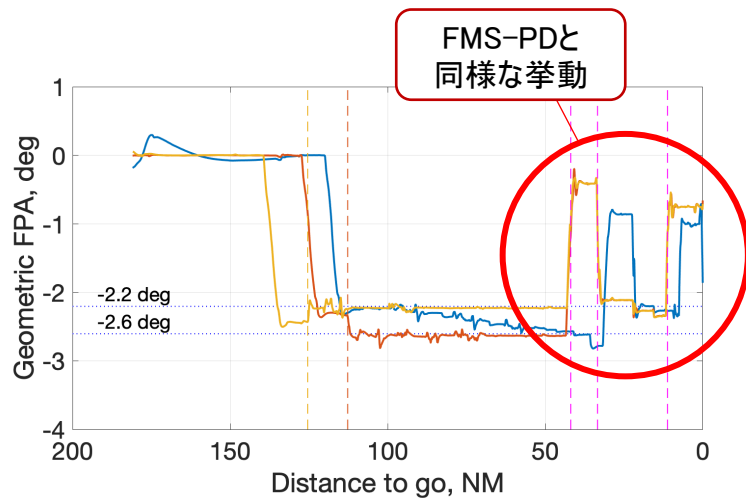
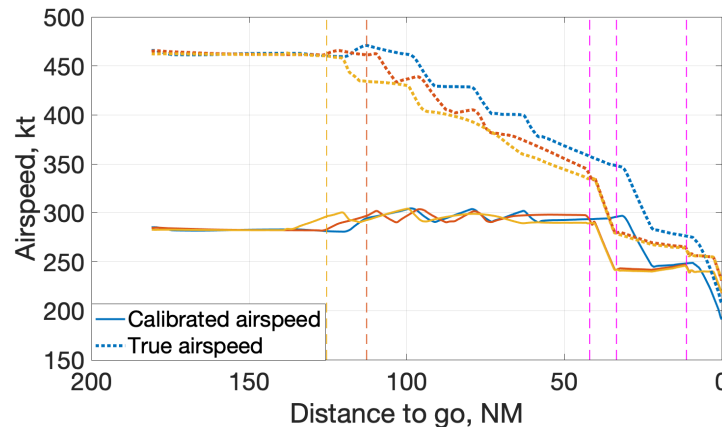
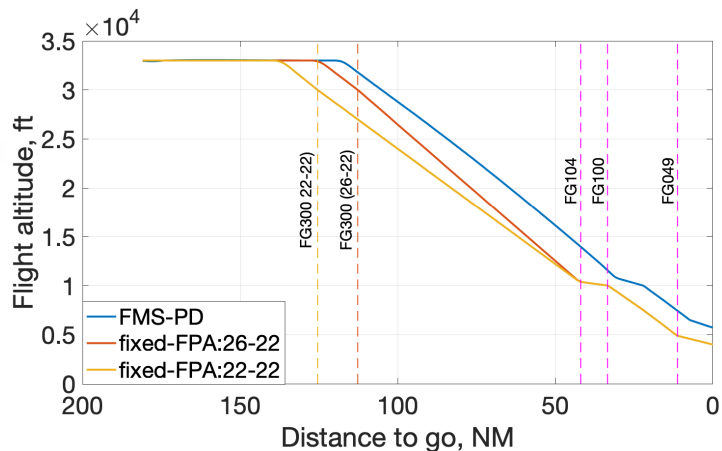
減速
フェーズ
(500 ft/min)

減速
フェーズ
(500 ft/min)

3° glideslope

Runway

IAF



	FMS-PD	fixed-FPA 26-22 (減速フェーズなし)	fixed-FPA 22-22 (減速フェーズなし)	fixed-FPA 26-22 (減速フェーズあり)	fixed-FPA 22-22 (減速フェーズあり)
燃料消費量 (lbs)	2043	2185 (+142)	2081 (+38)	2138 (+95)	2178 (+135)
飛行時間 (s)	1508	1512 (+4)	1535 (+27)	1579 (+67)	1606 (+98)

- 降下角を固定したfixed-FPA降下コンセプトを提案し、運用における妥当性について評価検討を行った。
 - ファストタイム及びリアルタイムシミュレータによる検証実験を基に方式設計の検討
 - 実機を用いた実証実験によるfixed-FPA運用の実現における要件の確認

- 得られた結果から、
 - 従来の航空機性能を基にfixed-FPA降下の実現が可能である。
 - 従来の運用制限を考慮するためには、減速フェーズを設けたfixed-FPA降下の提案が有効である。

- 機種によって適切なパスを定めることができれば、燃料消費量を抑えながら飛行時間の抑制に対して柔軟に応えられる。

- fixed-FPA降下の適用範囲の拡大にあたり、次世代アプローチシステム(xLS)等の導入により、従来の制限が緩和されることが期待される。

- 実運用におけるベクター飛行やホールディング等による遅延の吸収に対する速度制御を加えたfixed-FPA降下の有効性について検討する.
- 複数機の運用環境でfixed-FPA降下を行うことによる課題を洗い出し、対策について検討する.
- 人口密度の高い地域への適用の可能性を図るため、fixed-FPA降下による騒音・環境負荷について議論する.

謝辞

フルフライトシミュレータ実験の実施に当たり、全日本空輸株式会社(ANA)より技術的なサポートをいただきましたことに深く御礼申し上げます。

A sunset over an airport tarmac. The sun is a large, bright yellow-orange orb in the center of the sky, casting a warm glow. The sky is filled with soft, orange and yellow clouds. In the foreground, the dark silhouette of an ANA airplane is visible on the tarmac. The tail of the plane has "ANA" written on it, and the number "787" is visible on the fuselage. The background shows the dark silhouettes of airport buildings and structures.

ご清聴ありがとうございました。

お問い合わせ: navinda@mpat.go.jp