



第11回電子航法研究所研究発表会

飛行速度調整による 時間管理の検討

平成23年6月17日

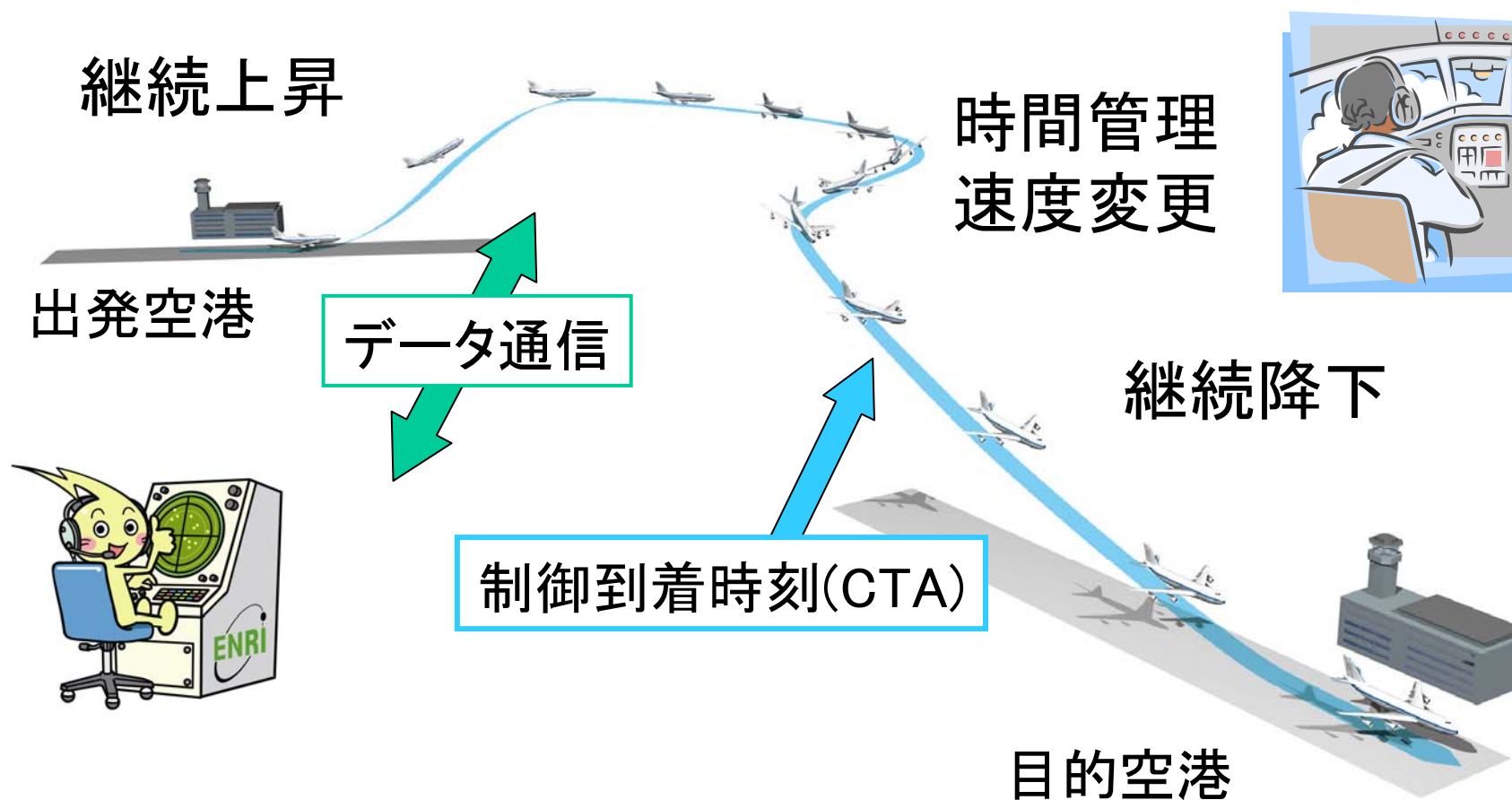
航空交通管理領域

福田 豊、白川 昌之、瀬之口 敦

- ◆ 軌道ベース運用
- ◆ 航空機の軌道予測モデル
- ◆ 降下区間と巡航区間の速度変更
 - 経路延伸による滞留
 - 降下区間の速度変更による時間調整
 - 巡航区間の速度変更による時間調整
- ◆ 速度調整の燃料消費量比較
- ◆ まとめ



軌道ベース運用 (TBO)

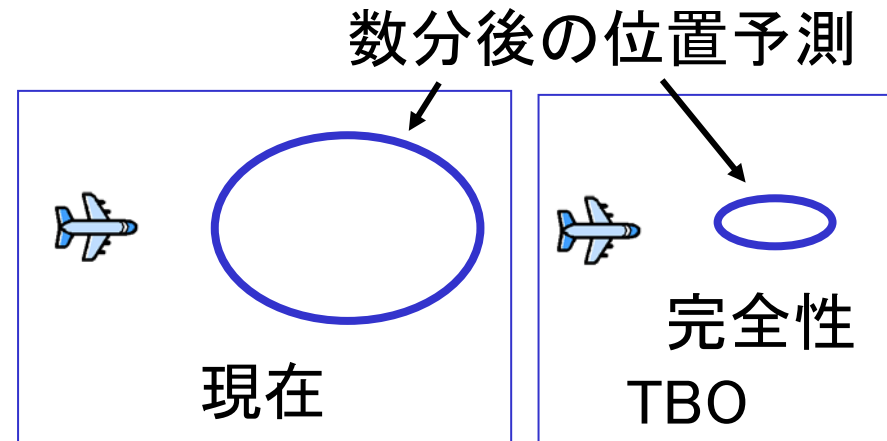


- ◆ トラジェクトリ(軌道): 航空機の空中と地上での運動(位置、時刻、速度など)の記述(ICAO Doc 9854)

CTA: Controlled Time of Arrival

何故TBOなのか

- ◆ 航空交通量の増加
- ◆ 安全性の確保
- ◆ 運航、管制の効率化
- ◆ 環境問題への対応

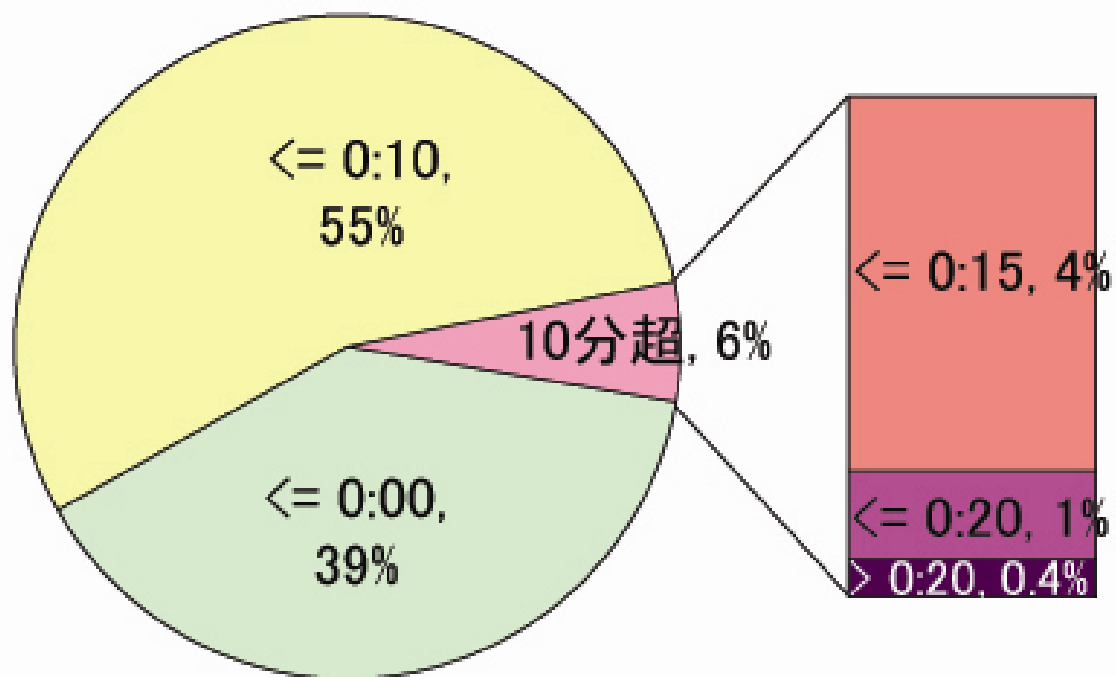


- ◆ 航空機の運航の不確定性の低減(空域資源の節約)
- ◆ 飛行意図の伝達の確実性の向上(データ指向)
- ◆ 戦略性、予測性、安全性の向上(ルールベースの軌道生成・変更、先を見越した制御)

到着機の滞留時間

羽田到着機(2008年)の滞留時間

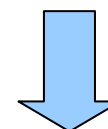
平均値 : 2分(1'58")
標準偏差 : 5分(4'39")



空港への到着機の集中



経路延伸による滞留



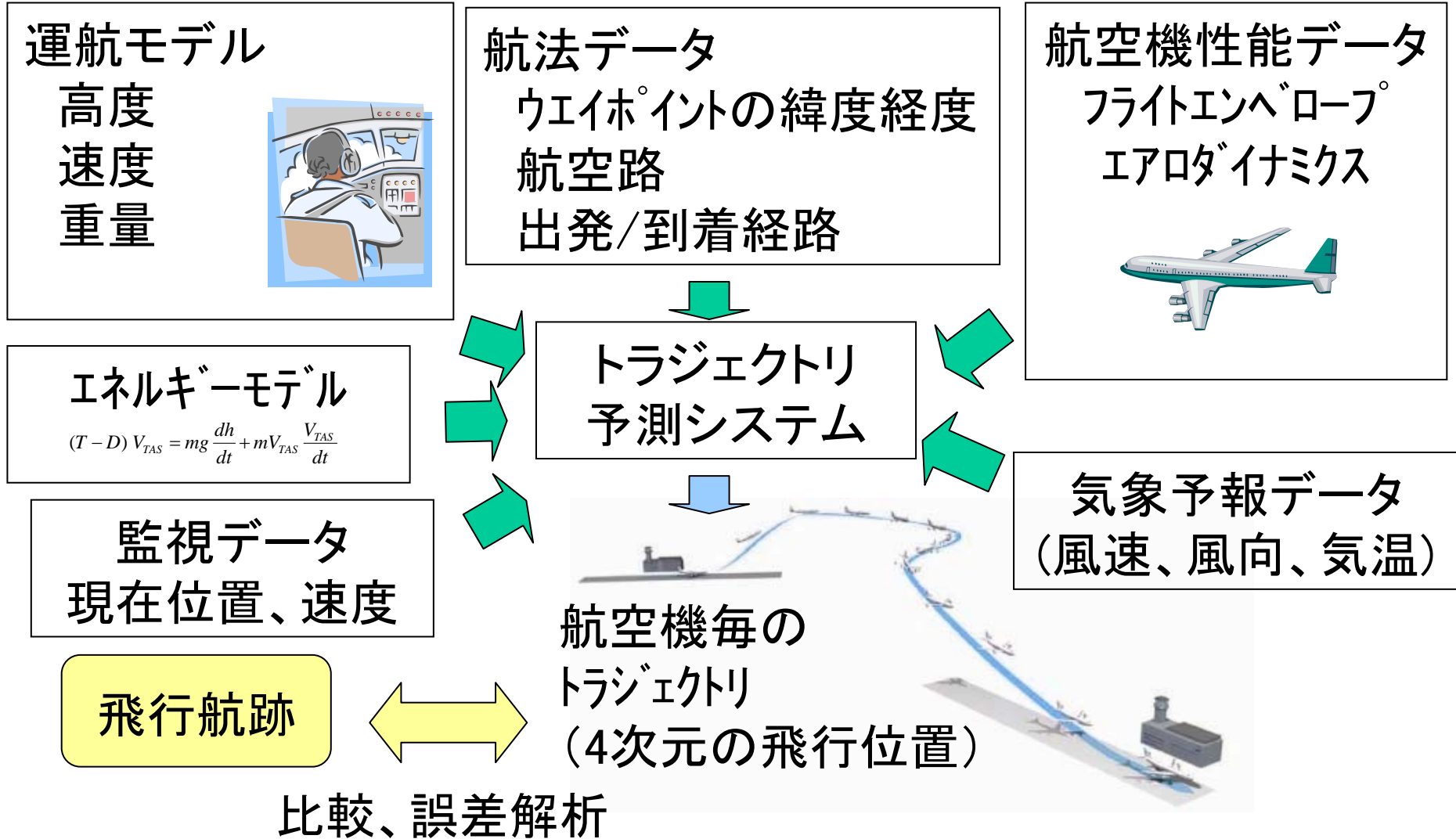
速度変更による時間調整

滞留時間 = 飛行時間実績値 - 経路上の飛行時間の想定値(150マイル内)

第10回発表会: 木村他「ターミナル空域評価手法におけるふたつのアプローチ」より

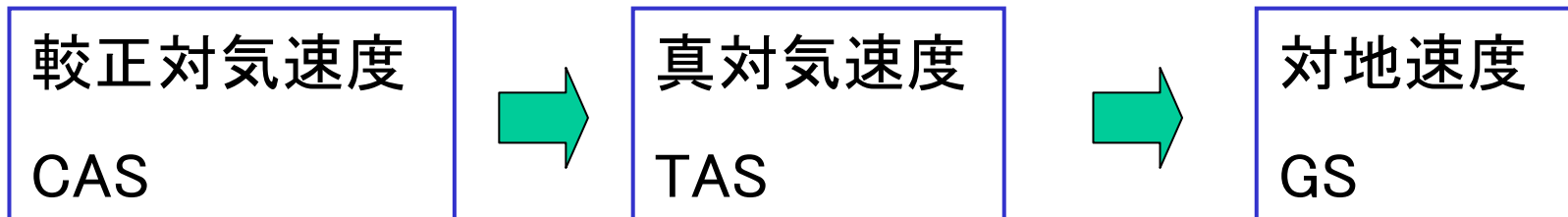


トラジェクトリ予測システムの概要

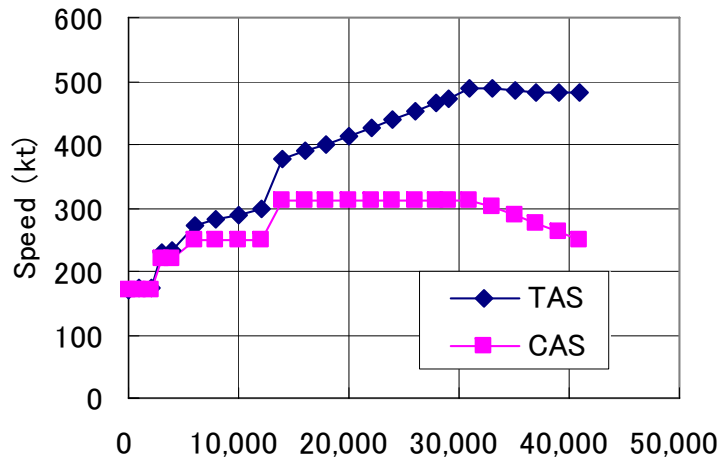


トラジェクトリ予測方法

- ◆ 航空機はCAS、マッハ数を一定で飛行
- ◆ CAS、マッハ数はBADAデータを利用(型式毎)



空気密度・圧縮性の修正

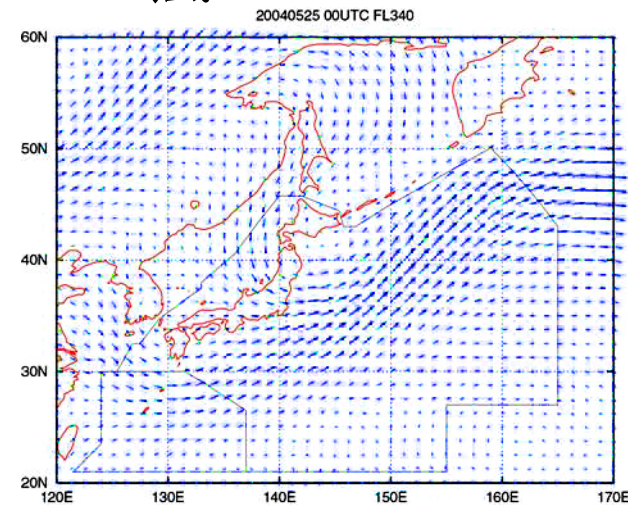


CAS: Calibrated Air Speed Altitude (ft)

TAS: True Air Speed

GS: Ground Speed

+風



BADA: Base of Aircraft Data (EUROCONTORL)

運動計算モデル

- ◆ 質点モデル、エネルギー保存式
- ◆ 航空機に働く力の仕事量の変化率 =
位置エネルギー(高度)と運動エネルギー(速度)
の変化率

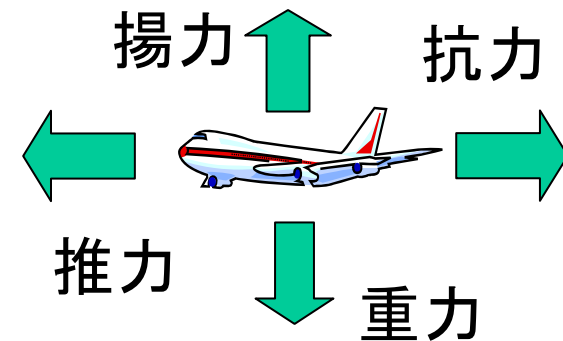
$$(T - D) V_{TAS} = mg \frac{dh}{dt} + m V_{TAS} \frac{V_{TAS}}{dt}$$

推力(燃料消費率と関係)
上昇時: 低減上昇推力モード
降下時: アイドル降下推力モード

抗力
速度など

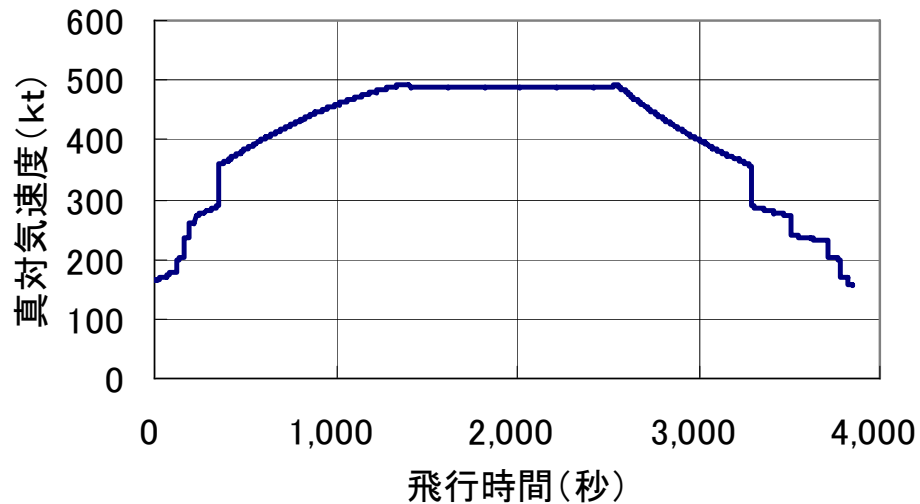
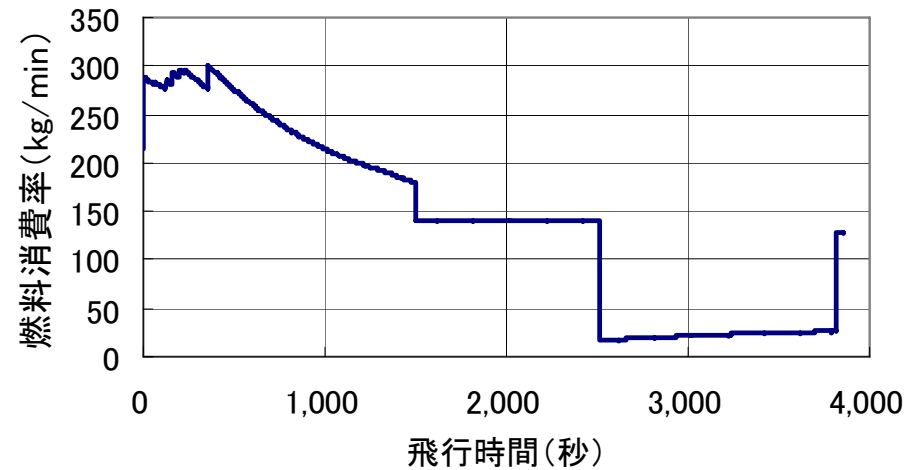
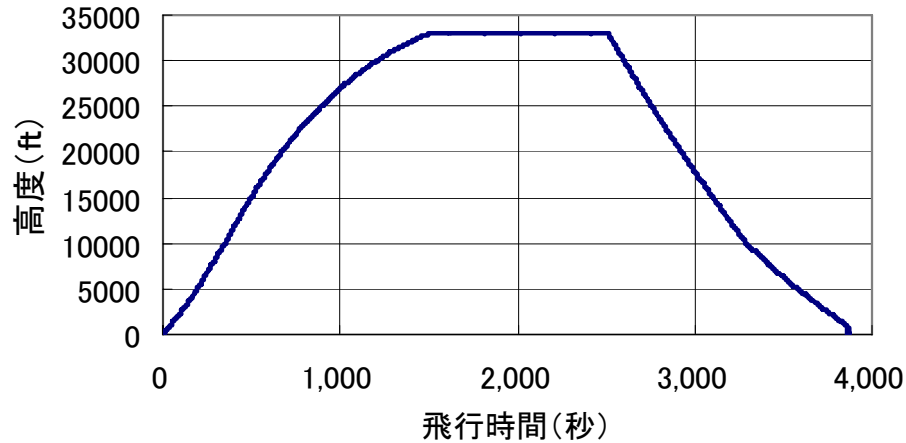
速度
高度毎の速度モデル

機体重量





基準の運航モデル



型式	B777-300
重量	237.6 t
飛行時間	1時間4分
飛行距離	429 NM (795 km)
燃料消費量	8,951 kg
上昇:巡航:降下	
=	68%:26%:6%



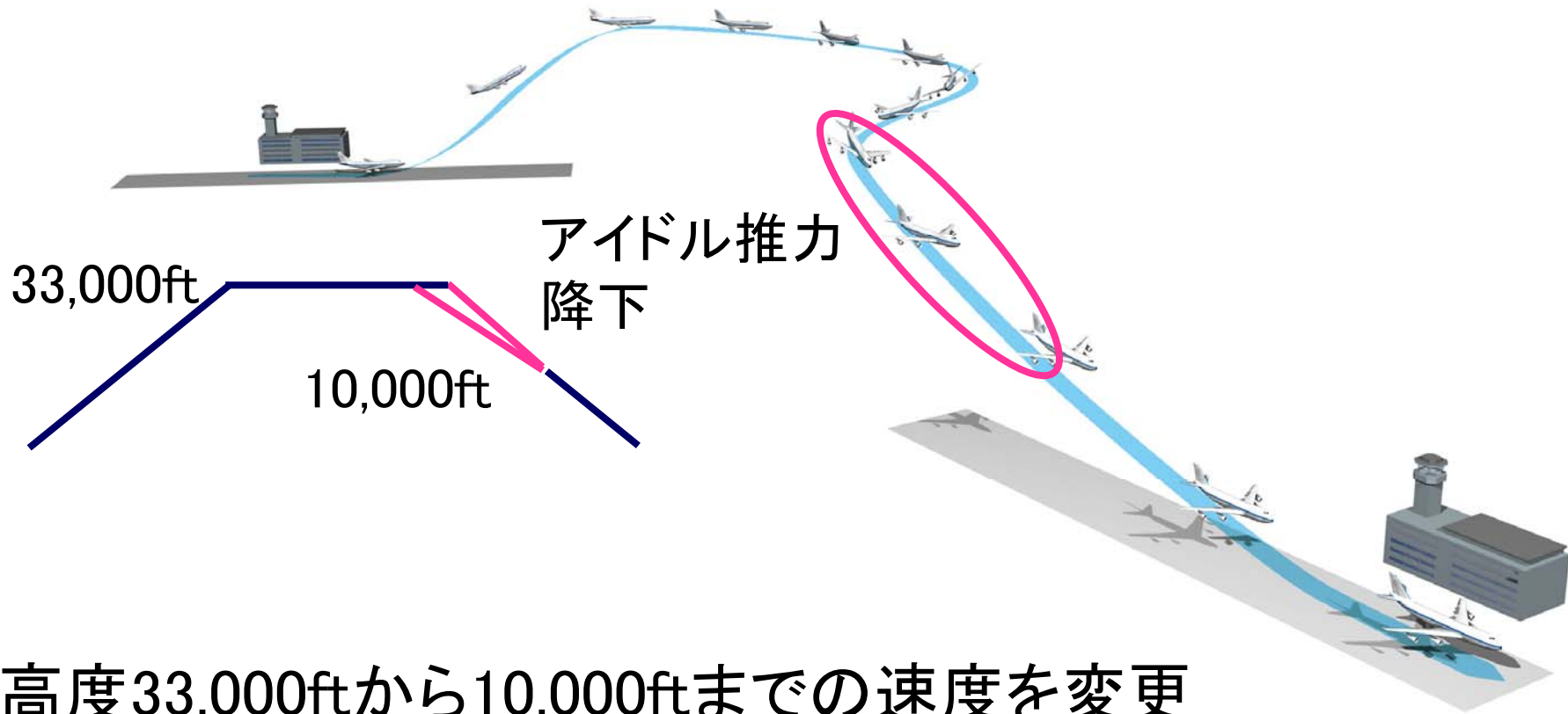
経路延伸による滞留



高度15,000ft、CAS 310ktで水平飛行
燃料消費率 132 kg/min、TAS 383 kt
5分間滞留 659 kg増加、32マイル増加
10分間滞留 1,318 kg増加、64マイル増加



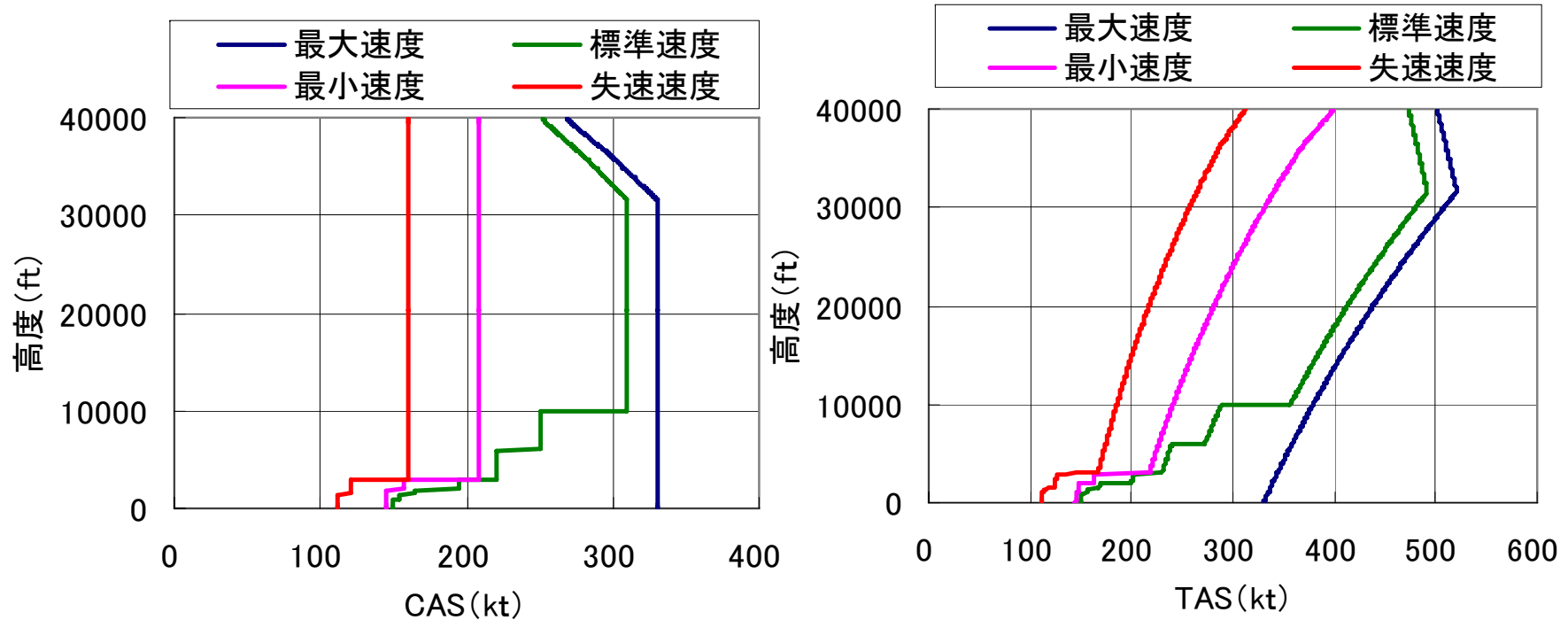
降下区間の速度変更



高度33,000ftから10,000ftまでの速度を変更
速度調整範囲内の250kt~310kt(標準)



速度調整範囲



CAS: Calibrated Air Speed

TAS: True Air Speed

速度調整範囲

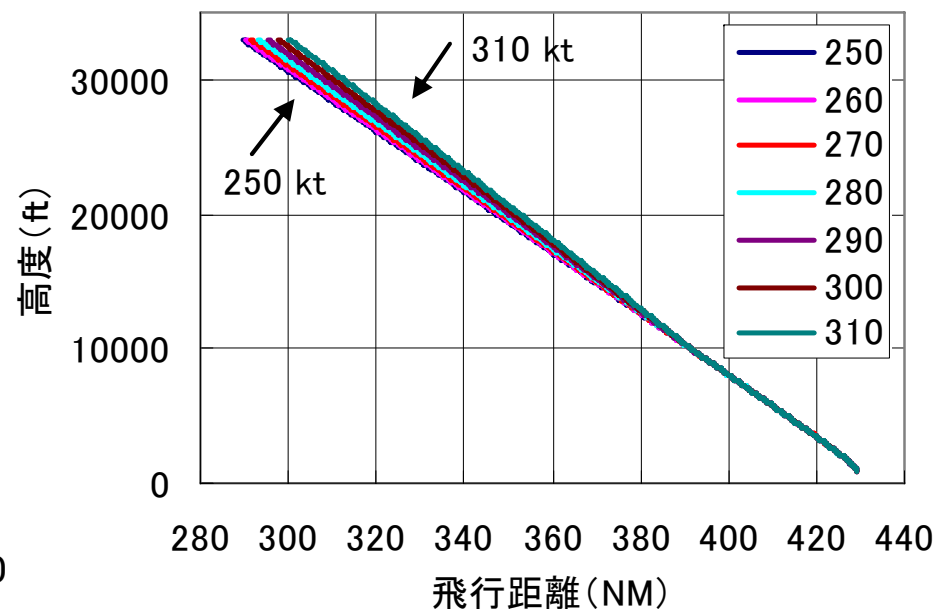
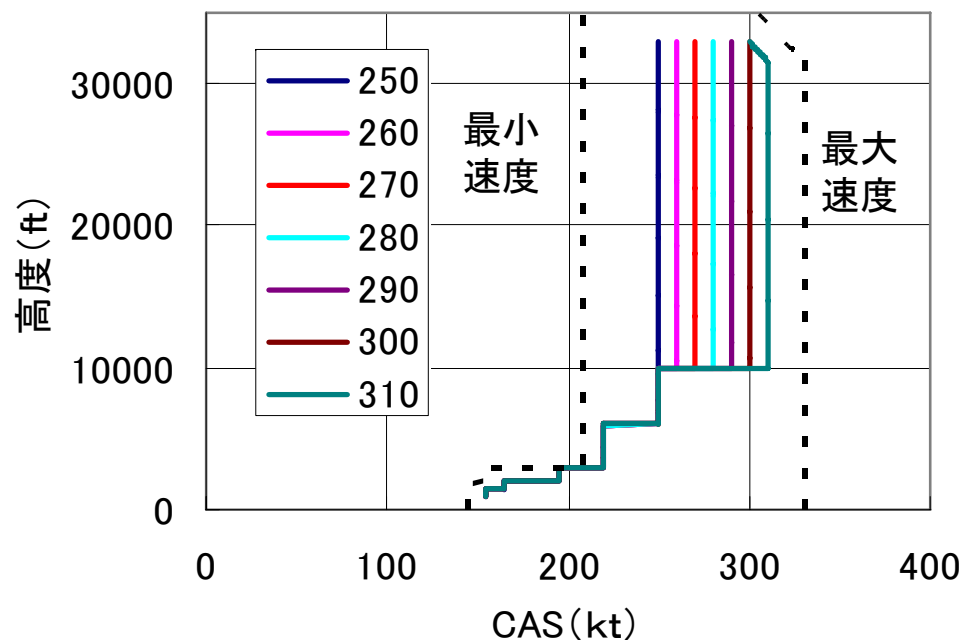
最大速度 = マッハ数 (M.89)、CAS (330 kt)

最小速度 = 失速速度 × 安全率 (208 kt)

標準速度 = 運航モデル (M.85、CAS 310 kt)



降下速度変更と高度プロファイル



降下速度を変更 (CAS250kt~310kt) 33,000ft~10,000ft
低速の場合は、降下区間距離が長い。
降下開始点 (TOD) の位置を変更する。(約11マイル)

TOD: Top Of Descent



降下速度毎の比較

CAS (kt)	飛行時間 (秒)	飛行時間差 (秒)	飛行距離 (NM)	飛行距離差 (NM)	降下時燃料消費量 (kg)	巡航補正燃料 (kg)	燃料消費量合計 (kg)	燃料節約量 (kg)
310	1,345	0	128.9	0.0	566.2	0.0	566.2	0.0
300	1,391	46	131.4	2.5	571.9	-42.6	529.3	-37.0
290	1,440	95	133.8	4.9	599.1	-83.3	515.9	-50.4
280	1,489	144	135.9	6.9	614.3	-118.7	495.6	-70.7
270	1,539	194	137.6	8.7	631.6	-148.5	483.1	-83.2
260	1,588	243	138.9	10.0	648.6	-170.5	478.0	-88.2
250	1,635	290	139.6	10.7	664.8	-182.8	482.0	-84.2

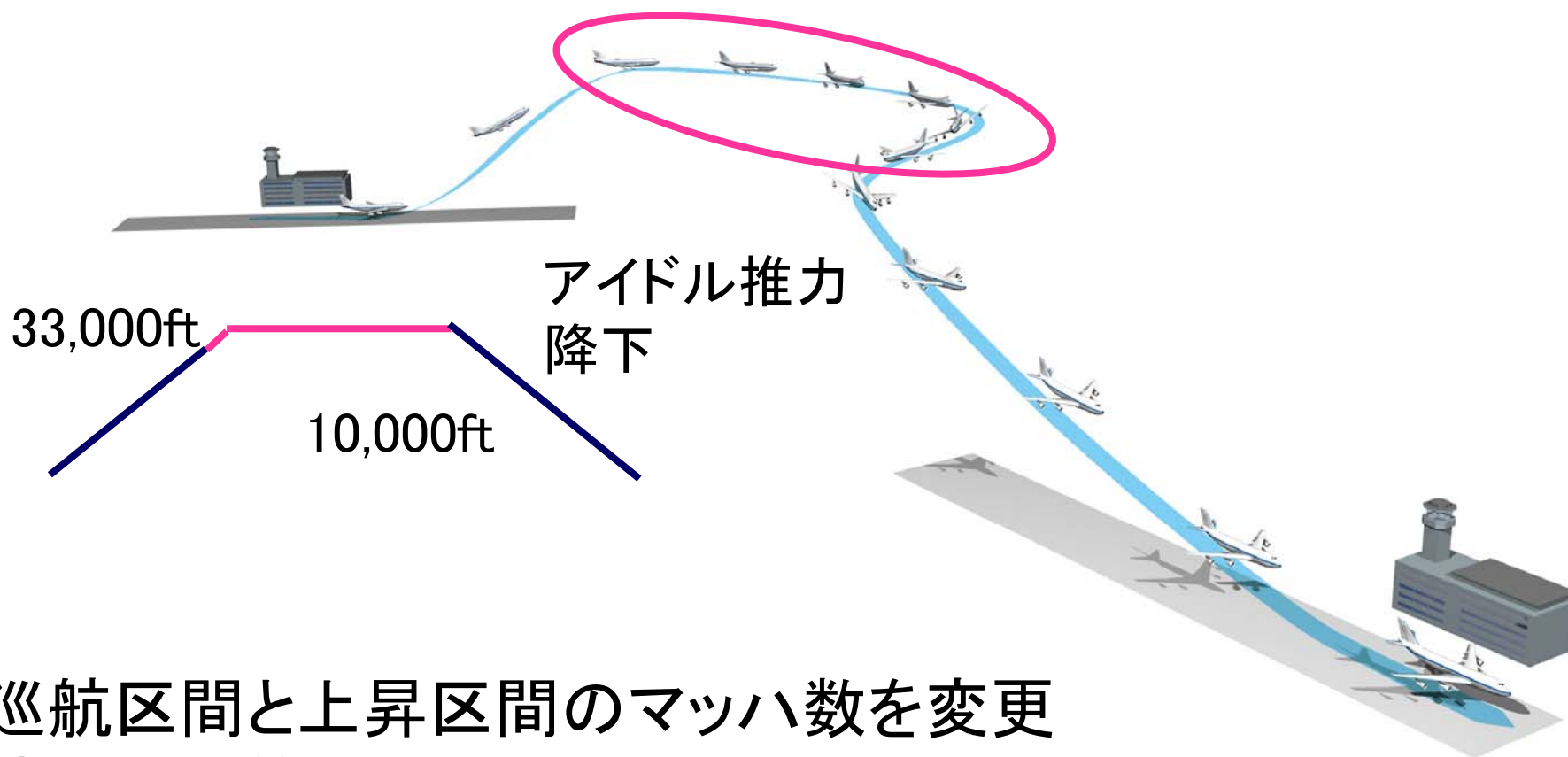


降下速度変更まとめ

- ◆ 降下速度を低下 (310kt→250kt) する場合、
- ◆ 飛行時間が長くなる。(290秒)
- ◆ 飛行距離が長くなる。(11マイル)
- ◆ 降下開始点 (TOD) の位置を変更し、巡航区間が短縮される。
- ◆ 降下区間の消費燃料は増加、巡航区間の燃料が減少、全体として減少する。(85kg)



巡航区間の速度変更

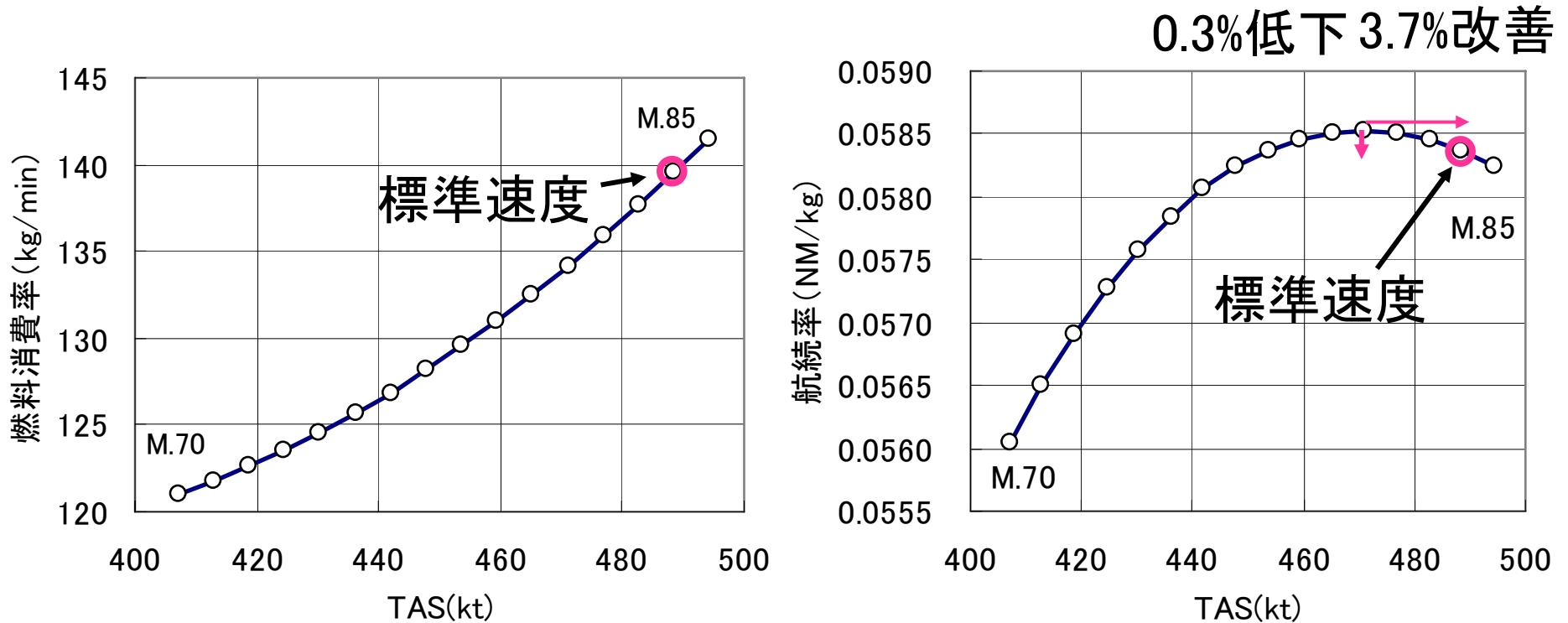


巡航区間と上昇区間のマッハ数を変更
速度調整範囲内のM.70~M.84(標準)~M.85
巡航速度範囲CAS 208 kt(最小)~330 kt(最大)、~M.89
33,000 ftのM.70はCAS換算値246 kt

CAS: Calibrated Air Speed



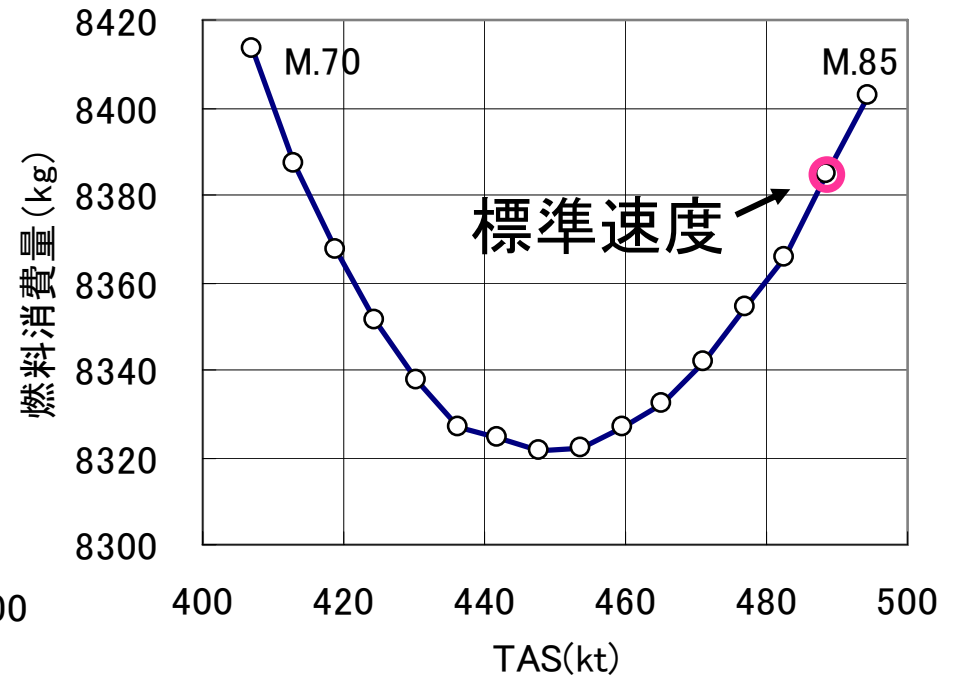
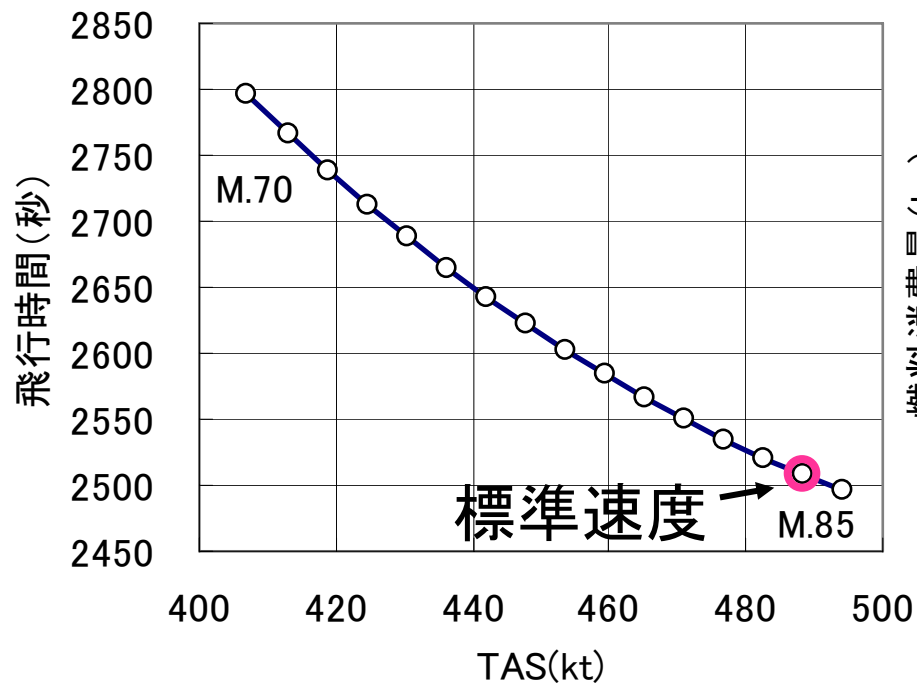
巡航速度の変更



マッハ数をM.70～M.85に変更する。
燃料消費率は、低速度が小さい。
航続率は、M.81が最大となる。



飛行時間と燃料消費量



離陸からTODまでの飛行時間と燃料消費量

M.70はM.84(標準速度)より、飛行時間は 288秒長い。

燃料消費量は 29 kg 増加する。



速度調整の燃料消費量比較

- ◆ 約5分間の経路延伸の滞留 659kg増加
- ◆ 降下区間の速度調整(250kt) 85kg節約
- ◆ 速度調整の便益 743kg (全消費燃料の8.3%改善)

- ◆ 約10分間の経路延伸の滞留 1,318 kg増加
- ◆ 降下区間速度(250kt)巡航区間(M.70)
- ◆ 55kg節約
- ◆ 速度調整の便益 1,373kg

- ◆ 航空機の速度調整による時間管理の実現性と便益について検討した。
- ◆ 降下区間および巡航区間での速度調整による時間調整について、シミュレーションにより、経路延伸による滞留と比較した。
- ◆ 速度調整による時間調整が経路延伸による滞留と比較して、燃料消費量を低減できることが確認できた。



今後の課題

- ◆ より現実的な運航を想定した燃料消費量の比較
- ◆ 時間管理の制御手法の開発
- ◆ 将来の航空交通シナリオを想定した時間管理のシミュレーション