



# 飛行計画システムを用いた国内空域における UPR導入時の効果分析

日本航空株式会社オペレーション本部 木下・松本・渡利・杉山

2020.12.03



**JAPAN AIRLINES**



- 1 本研究の背景と目的
- 2 国外空域でのUPR使用実態
- 3 国内空域におけるUPR導入時の効果分析
- 4 結論

# Flight shame



JAPAN AIRLINES



<https://ecotopia.earth/wp-content/uploads/174-1.jpg>  
[https://p.potaufeu.asahi.com/9d76-p/picture/18980430/1f8f6bb9468355627dd05fc5e9fe3aa7\\_640px.jpg](https://p.potaufeu.asahi.com/9d76-p/picture/18980430/1f8f6bb9468355627dd05fc5e9fe3aa7_640px.jpg)  
[https://rimage.gnst.jp/livejapan.com/public/article/detail/a/00/03/a0003859/img/basic/a0003859\\_main.jpg?20200329180140&q=80&rw=750&rh=536](https://rimage.gnst.jp/livejapan.com/public/article/detail/a/00/03/a0003859/img/basic/a0003859_main.jpg?20200329180140&q=80&rw=750&rh=536)

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD



# 環境問題に向けた各種取り組み

2019年度の  
CO<sub>2</sub>削減実績

定期整備中		20,100トン削減
駐機中		800トン削減
出発前		7,100トン削減
離陸時		9,600トン削減
降下中		37,900トン削減
着陸時		5,900トン削減

水のリサイクル▼  
エンジン洗浄▼

補助動力装置（APU）の利用削減▼  
客室シェード施策▼

搭載重量の削減▼  
ルート計画技術の向上▼

早期加速上昇▼

空気抵抗の削減▼

低フラップ角着陸方式  
（Reduced Flap）▼

逆噴射抑制（Idle Reverse）▼

連続降下方式（Continuous  
Descent Operations）▼

フラップや車輪をなるべく  
遅く出す（Delayed Flap &  
Gear）▼

2050年度までに  
CO<sub>2</sub>排出量実質ゼロを目指す

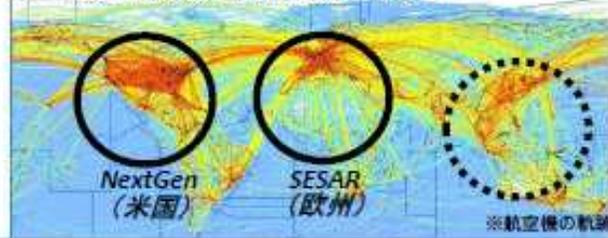


# 研究背景 (CARATS)

航空交通量の増大や運航者、利用者のニーズの多様化に対応し、我が国の経済成長に寄与するとともに、地球温暖化対策等の世界共通の課題にも対応するため、将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS) を策定し、その実現に向けた取り組みを行っている。

## 背景

- ICAOが2025年を目指した航空交通管理に関する指針を策定
- 欧米で上記指針に基づいた長期計画を策定 (米: NextGen、欧: SESAR)
- アジア・太平洋地域における急速な需要増



航空交通量の増大や多様化するニーズに的確に対応するとともに、効率的なサービスの実現を通じ我が国の成長戦略に寄与するためには、航空交通システムの大胆な改革が必要

将来の航空交通システムの構築に当たっては、様々な関係者の協調が必要

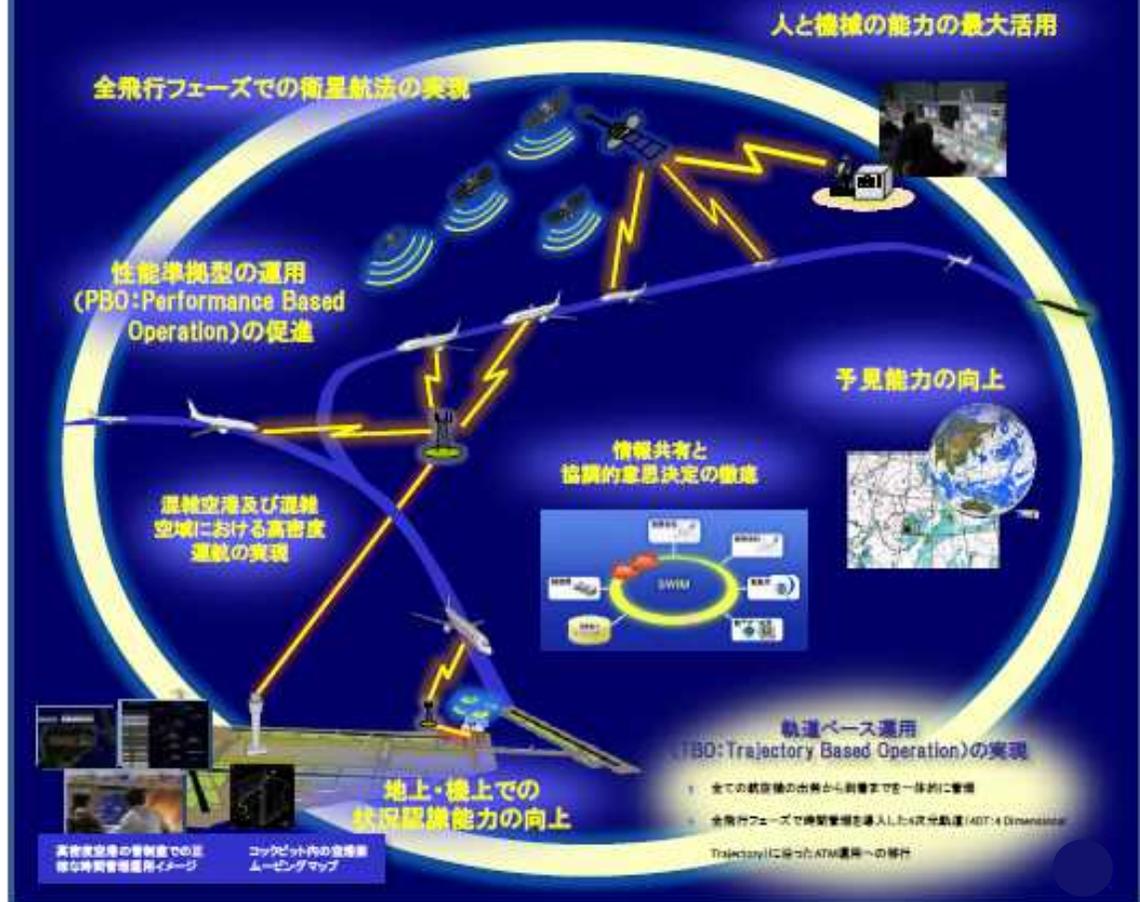
## CARATS (キャラッツ) :

Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems: 航空交通システムの変革に向けた協調的行動

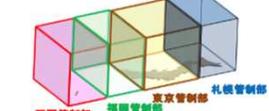


## 変革の方向性

出発から到着までの軌道を最適化する軌道ベース運用 (TBO: Trajectory Based Operation) への移行を中核とする8つの変革の方向性を記述



# CARATS施策導入計画

プロジェクト名	個別施策名	現状 (これまで)	短期 (2020年度)	中期 (2021~2024年度)	長期 (2025年度~)
空域編成	柔軟な空域運用 【別紙1-2】性能準拠型運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>巡航機と上昇・下降機が混在</li> <li>固定的な(公示)経路に沿って飛行</li> </ul>  <p>導入済 混雑セクター境界線変更(OI-1) 訓練空域を動的・効率的運用(OI-2)</p>	<p>管制空域再編 (2018~2024年度)</p> <p>首都圏空域再編 (2018~2019年度)</p> <p>動的ターミナル空域の運用(OI-3)</p> <p>2020年度~ ポイントマージシステム (OI-3: ◆2013)</p>	<p>2022年度~</p> <p>空域の高度分離(OI-4) 高高度でのフリーディング(OI-5) リアルタイムの空域形状変更(OI-6)</p> <p>国内空域上下分離(西日本) (OI-4: ◆2013)</p> <p>公示経路の直行化 (OI-5: ◆2013)</p> <p>局所的な空域形状変更 (OI-6: ◆2013)</p>	<p>2025年度~</p> <p>高高度: 巡航機中心 低高度: 上昇・下降機に専念</p> <p>国内空域上下分離 (OI-4: ◆2013)</p> <p>高高度空域UPR (OI-5: ◆2013)</p> <p>境界高度の変更 (OI-6: ◆2017)</p> <p>可変(高度) 可変(水平面)</p> <p>TBOに適した空域編成(OI-7)</p> <p>高高度空域UPR+DARP (OI-5: ◆2013)</p> <p>境界高度+水平面の変更 (OI-6: ◆2013)</p>
		<p>運航前</p> <p>協調的な軌道生成</p> <p>提示された経路の中から選択</p> <p>事前に調整経路を提示</p> <p>運航者</p> <p>管制機関</p> <p>2019年度~</p> <p>軌道・気象情報・運航制約の共有 (OI-14)</p> <p>XML等で標準化された運航データの共有 (OI-14: ◆2014)</p>	<p>2025年度~</p> <p>コンフリクトのない軌道の生成(OI-17)</p> <p>協調的な運航前の軌道調整(OI-15)</p> <p>システム上での軌道調整 (OI-15: ◆2017)</p> <p>SWIMで他国連携 (OI-15: ◆2017)</p>		
運航中	リアルタイムな軌道修正 高密度運航 情報サービスの向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通流制御は主に出発時刻指定(EDCT)により時間を管理</li> </ul>  <p>離陸後、管制官の指示によって安全間隔を設定、順序付け</p> <p>コンフリクトが発生する可能性</p> <p>管制官とパイロットは音声で交信</p> <p>管制官やパイロットの共有情報(トラフィック、航空/気象情報)は限定的</p>	<p>重点 初期的CFDTによる時間管理(OI-18)</p> <p>2020年度~ 初期的CFDT(再開) (OI-18: 2012導入後中断中)</p> <p>後方乱気流に起因する管制間隔の短縮(OI-26)</p> <p>2019年度~ 区分細分化(RECAT)・固定間隔 (OI-26: ◆2013)</p> <p>空港運用の効率化・空港CDM(OI-23)</p> <p>2019年度~ AMAN/DMAN/SMAN (OI-23-1: ◆2014) 空港CDM(首都圏空港) (OI-23-2: ◆2014)</p>	<p>複数地点CFDTによる時間管理高度化(OI-16)</p> <p>2021年度~ 複数地点CFDT (OI-16: ◆2013)</p> <p>合流地点におけるマージン(OI-19)</p> <p>2022年度~ 固定マージンフィックス (OI-19: ◆2013)</p> <p>高度化 (OI-23-1) 他空港展開 (OI-23-2)</p> <p>2021年度~ 陸域CPDLC(航空路) (OI-29-2: ◆2013)</p> <p>2025年度~ 定型通信の自動化(OI-29) D-TAXI等 (OI-29-1~3)</p>	<p>2025年度~</p> <p>システムの支援によるリアルタイムな軌道修正(OI-22)</p> <p>軌道ベース運用の実現</p> <p>高精度な予測に基づく4次元(空間+時間)の軌道を整然と飛行</p> <p>2025年度~ 動的マージンフィックス (OI-19: ◆2013)</p> <p>動的RECAT (OI-26)</p> <p>ターニングによる空地の軌道共有(OI-21)</p> <p>2025年度~ 4D TRAD FLIPINT</p> <p>航空路3NM管制間隔(OI-27)</p> <p>重点 3NM 3NM 3NM</p>
		<p>観測情報の高度化(EN-4)</p> <p>2019年度~ 新たな衛星観測情報 (EN-4-4: ◆2016)</p> <p>地上約2km → 1kmまで観測可</p> <p>2019年度~ 低高度レーダーエコー (EN-4-2: ◆2012)</p> <p>予測情報の高度化(EN-5)</p> <p>2023年度~ 予測誤差の定量化 (EN-5-4: ◆2017)</p> <p>重点 DAPs気象データ活用 (EN-5-1: ◆2017)</p> <p>気象情報から運航情報、容量への変換(EN-6)</p>	<p>データベース等情報基盤の構築(EN-2) / 情報共有基盤(EN-3)</p> <p>2018年度~ 海外とのIPネットワーク構築 (EN-3: ◆2014)</p> <p>2019年度~ SWIM的な対応 (EN-3: ◆2014)</p> <p>国際標準データ様式採用 (EN-2: ◆2014)</p> <p>デジタルノート (EN-2: ◆2018予定)</p> <p>FF-ICE (EN-2)</p> <p>4D気象データベース (EN-2)</p> <p>重点 SWIM (EN-3: ◆2018予定)</p>		
実現するための技術要素	EN (Enabler)	<p>航空気象</p> <p>&lt;航空路用の例&gt; ・5Kmメッシュ(メソモデル) ・1時間おき ・39時間先まで ・3時間毎に更新</p>	<p>2018年度~ 航空機動態情報の活用(EN-12)</p> <p>DAPs for SSR (EN-12,13: ◆2014)</p> <p>航空路SSRモードS</p>	<p>2022年度~ 気象観測データのダウンリンク(EN-13)</p> <p>風向風速算出機能 (EN-13: ◆2017)</p> <p>2021年度~ VHFデータリンク(EN-14)</p> <p>FANS-1/A+(POA/M2) (EN-14: ◆2013)</p>	<p>重点 ADS-B管制利用 (EN-9,10)</p> <p>将来の通信装置(EN-15)</p> <p>重点 AeroMACS(機上通信) L-DACS (EN-15)</p>
		<p>情報管理</p> <p>導入済 運航情報データベース(EN-2) 2015~ GIS情報データベース(EN-2) 2016~</p>	<p>2015~成田 WAMP/PRM</p> <p>2015~成田 WAMP/PRM</p>	<p>2025年度~ DAPs気象データ活用 (EN-5-1: ◆2017)</p>	

- CARATSロードマップにて国内空域へのUPR導入が掲げられている
- 実運航でどのようにUPRが使用されているかについてはあまり知られていない
- 環境問題は航空産業全体に影響するほどにまで大きくなっており、運航面からこうした問題に早急に対応する必要がある

UPRの使用実態について言及するとともに、実運航で使用しているシステムを用いて国内空域へUPRを導入した際の効果について定量的に分析する



## 国外空域でのUPR使用実態

---

# UPRとは



UPR (User Preferred Route) …利用者設定経路

運航者が様々な要素をもとに任意に経路を設定

- ・機種
- ・重量
- ・上層風
- ・運航コスト
- ・定時性

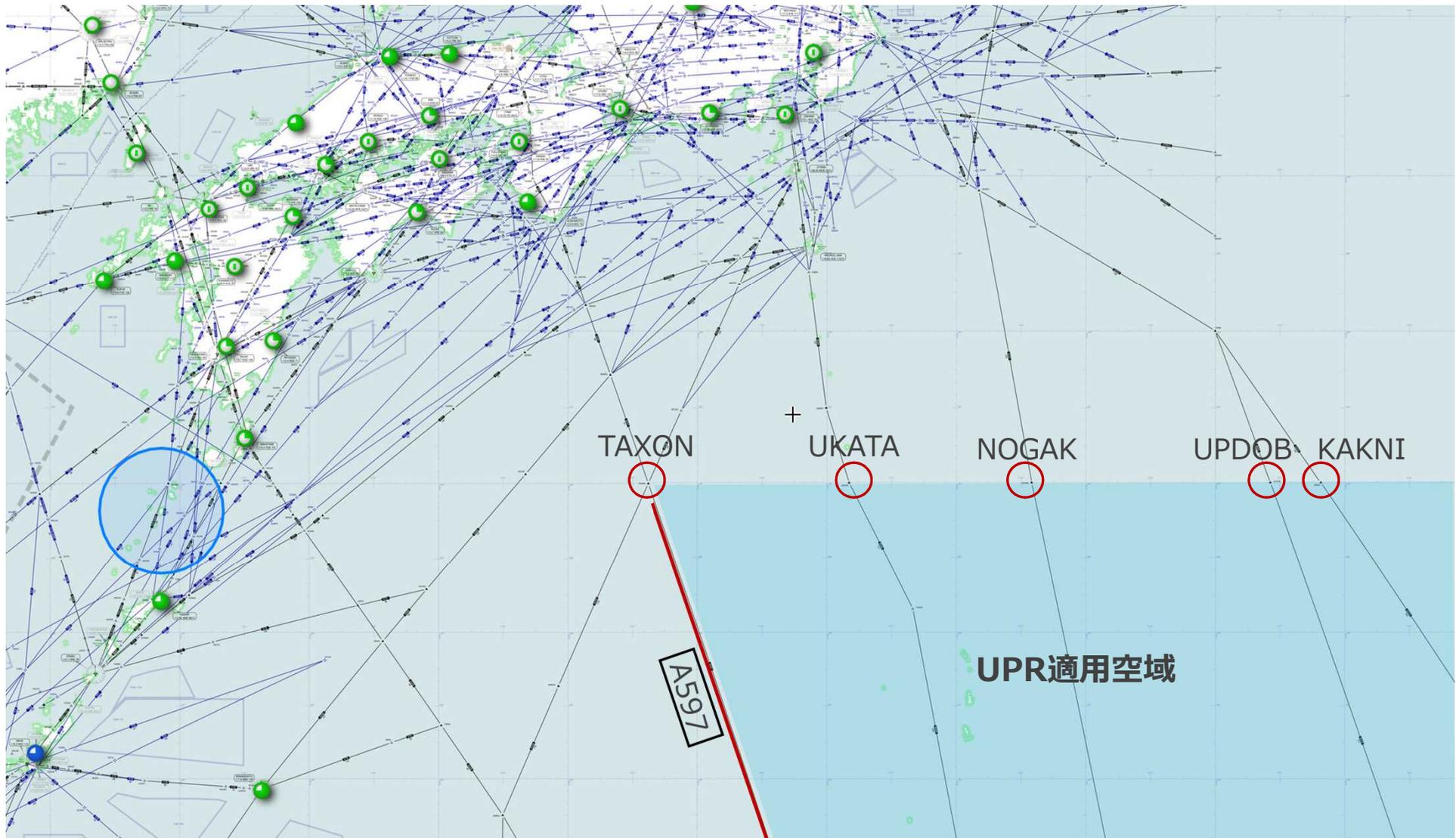
太平洋路線、オセアニア路線で使用



# 国外空域におけるUPRの実態



## オセアニア路線の例



# 国外空域におけるUPRの実態

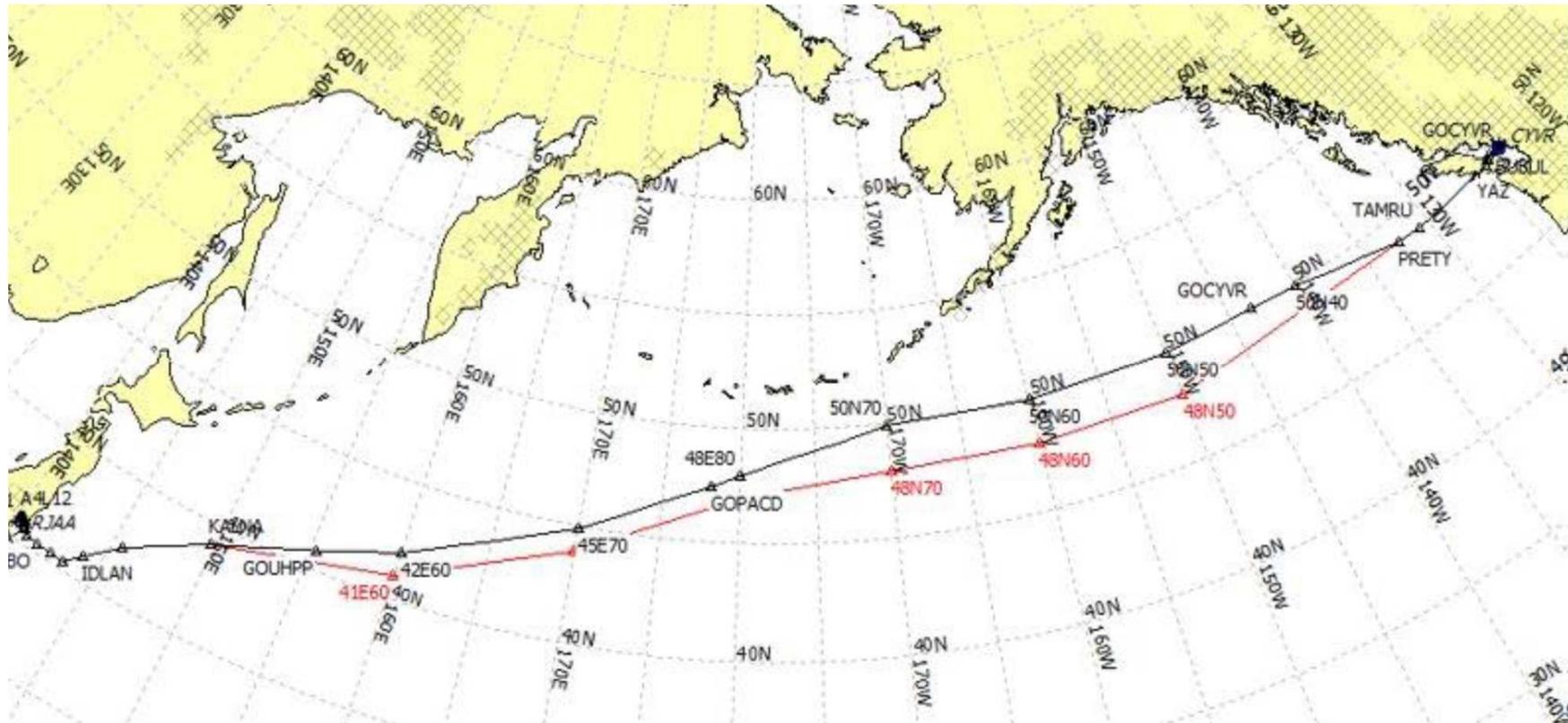


## オセアニア路線の例



# 国外空域におけるUPRの実態

## 太平洋路線の例



飛行時間や燃料消費量以外にも、航路上の気象状態、途中経路における代替飛行場の気象状態、交通流混雑等を勘案しUPR経路を選定するケースがある。



## 国内空域におけるUPR導入時の効果分析

---

# 飛行計画システムについて



SABRE社：米国テキサス州サウスレイクに本社を置くソフトウェア企業

JAL033 -1,HND-BKK,12NOV20,VAR 1, NOT RELEASED - FitPrep

List Flight Variants Details EROPS MEL Comm Met Notam Monitor Info Errors

Pfx FLNr Leg Var Date Status Prt Chain  
 JAL 033 1 1 12NOV20 M << >> RS AS

Apt Sched Est Block Assd CTOT Dep Rwy SID  
 HND 1505 1505 1523 0000 R05 OPPAR3 RW05 001  
 BKK 2205 2156 2152 Arr Rwy STAR  
 7.00 6.51 -6.20 DlyMgmt R01R EASTE3D RUKSA RW01R

Aircraft 788-1 JA828J Crew

Available Routings F1N LOZ NGT-Y52A1-FIX Pantry Ckpt Cabin

Awy	Wpt	EET	RstFL	OptFL	ActFL	WC	Wind	ActMach
1	R05 OPPRJTT		F570	F400	F400	H34	230/ 40 +3	805
2	R05 OPP120X	0:02				H2	204/ 3 +0	
3	R05 OPPHME140	0:03				H9	244/ 11 +2	
4	R05 OPPHME160	0:04				H14	266/ 16 +3	
5	R05 OPPHME180	0:04				H16	264/ 17 +3	
6	R05 OPPR194H	0:05				H6	262/ 18 +3	
7	R05 OPPOPPAR	0:05				H8	260/ 20 +3	
8	DCT JYOGA	0:08				H32	258/ 33 +3	
9	Y566 LAXAS	0:10				H46	262/ 51 +4	
10	Y56 KAGNA	0:12				H56	264/ 57 +5	
11	Y56 (T/C)	0:18				H87	266/ 87 +4	
12	Y56 IBENO	0:22				H87	266/ 87 +4	840

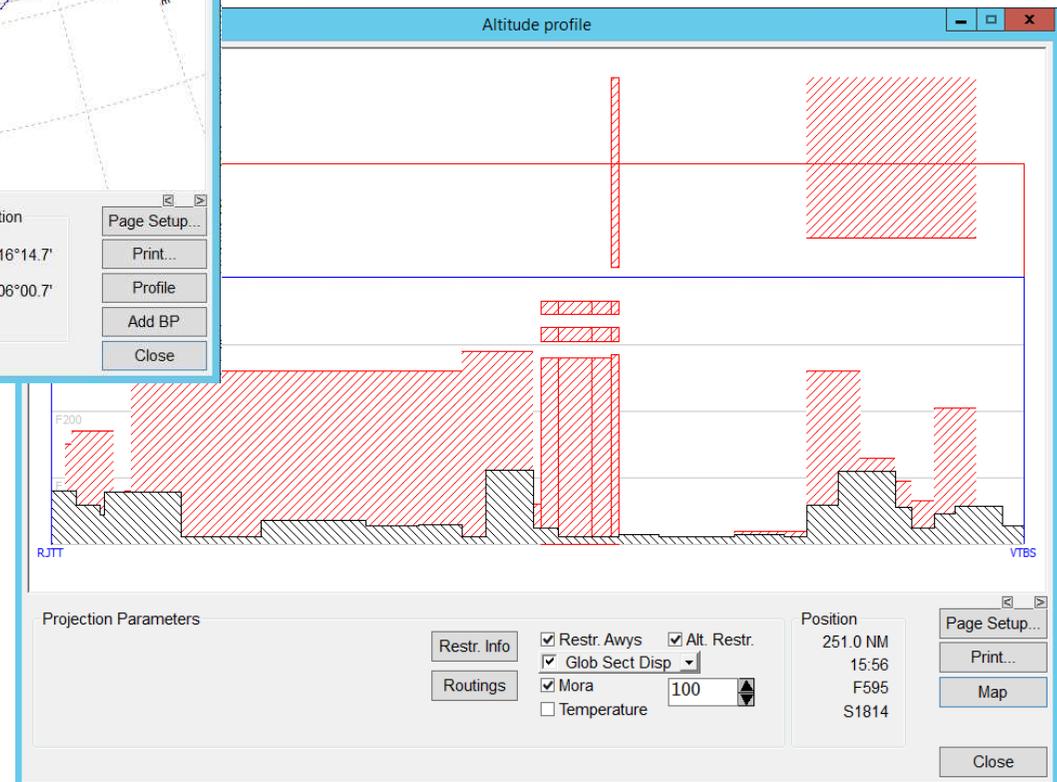
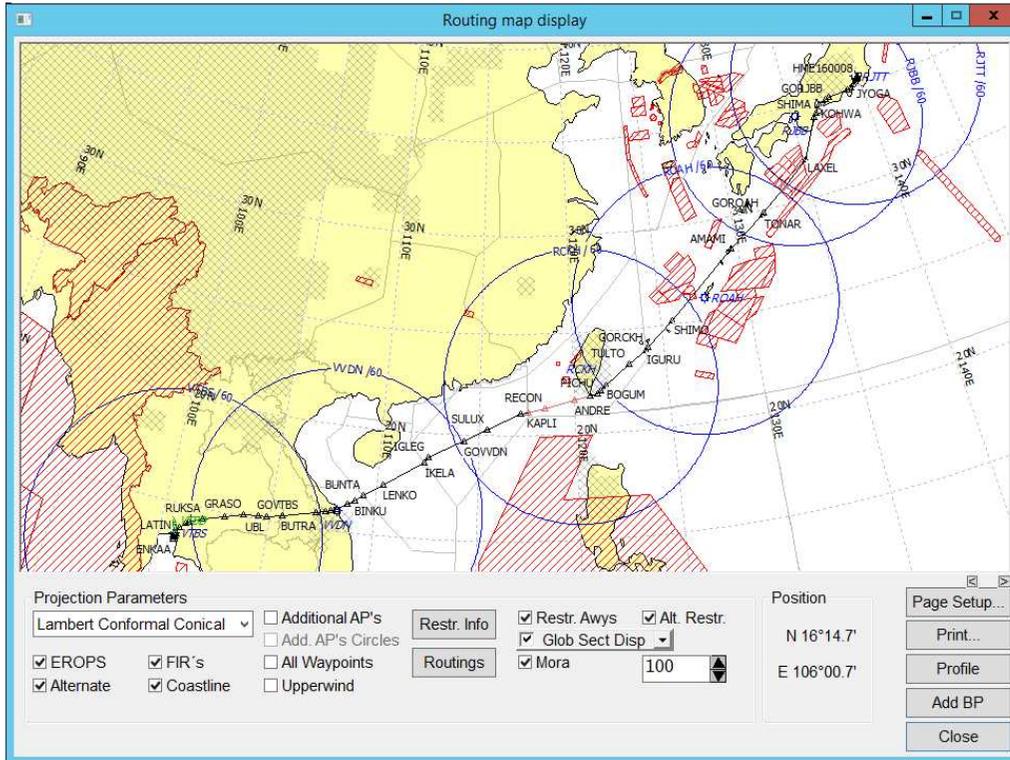
CI/Crz MINF Wind/Load... PSS Enable  
 CostInd 0 WC/ISA -34 3 EROPS  
 FDens lbs/USG 6.68 Special Plg Optimum FL  
 FBias 1015 Terrain Opt Delay  
 PaxW 203 Target ExtraT Avoid R.  
 Value -38/+86 LHV 18590 DlyCst  
 EFRreas Pound System TotCst 13050  
 Act Max Pax 206 Trip 56791  
 Frgt Payload ULoad EZFW 289154 355000 APU 216  
 RZFW 289154 Alt1 3600  
 TOW 357546 502500 Add.A 7255  
 LDW 300755 380000 COMP UNUSA  
 Reqr 69400  
 RemF 11600  
 Uplift 11030

DP DEST2 ALT2  
 Shifted ETO/Mach Auto Fair WX Fair Comm Dest Auto (open)  
 0 1 Add Altn VTBD 17 0 Isolated Mach 805  
 JAL728/13NOV BKK KIX

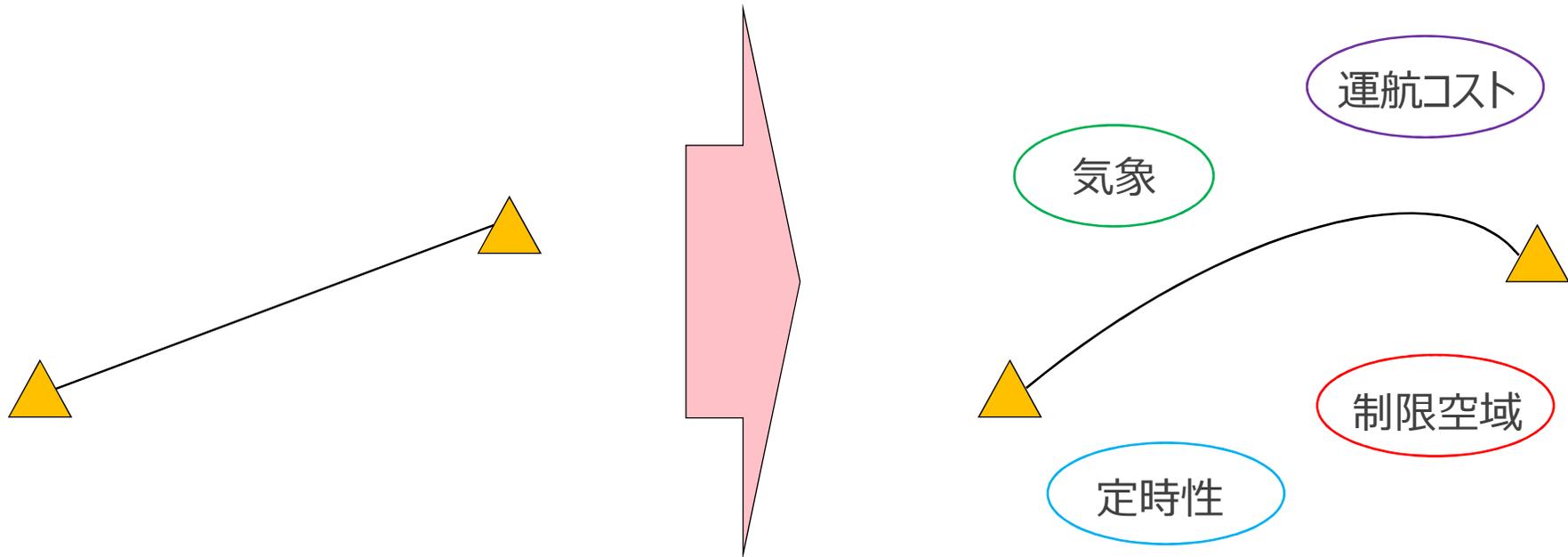
Edit Rtg.. Calc Print Add BP F.Msg Save Show FE FPL Val Rel. Flt. New Flt. Edit Info. Map Help

Ready Legacy Standard P

# 飛行計画システムについて

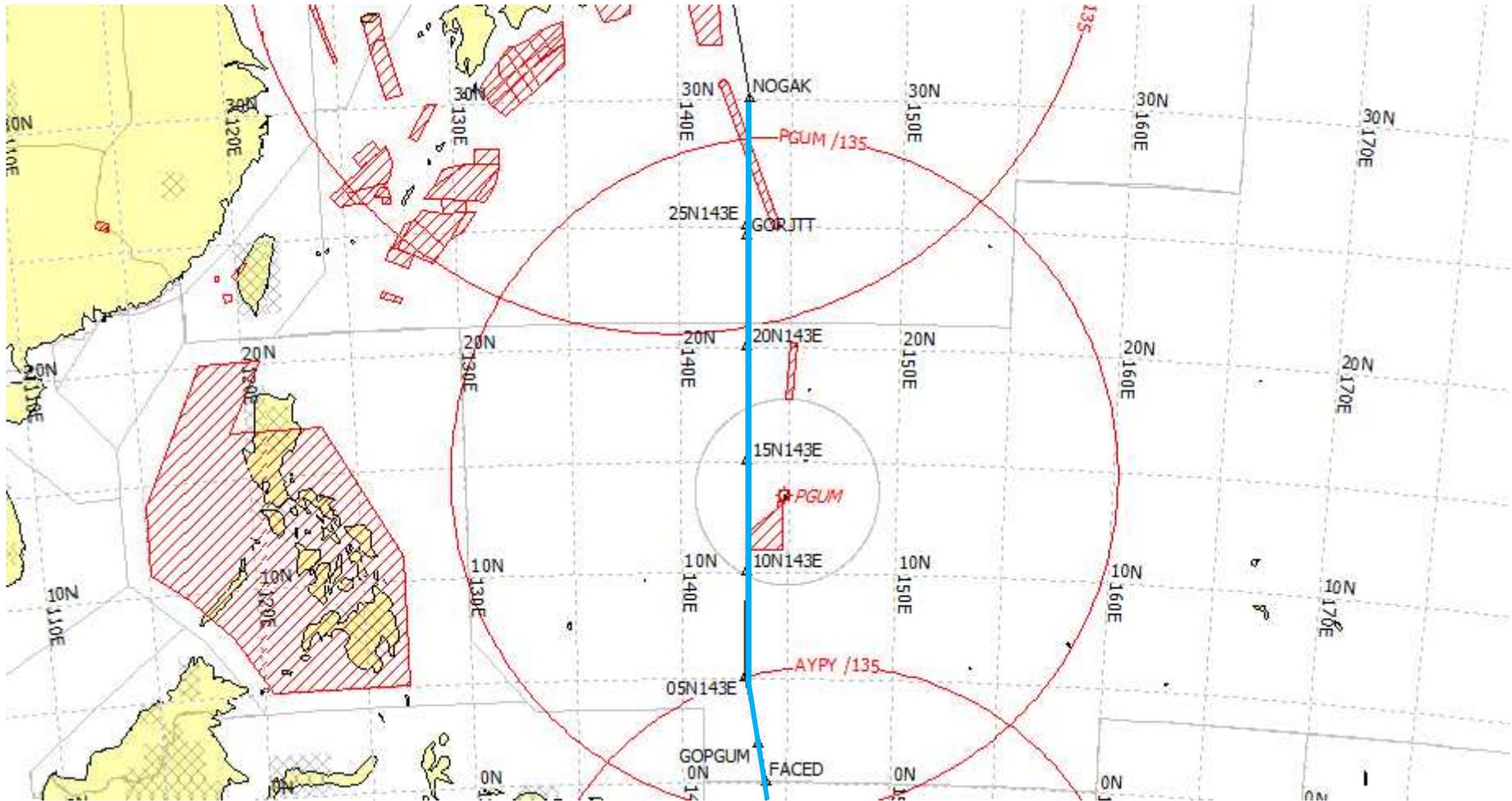


## Route Optimizer機能

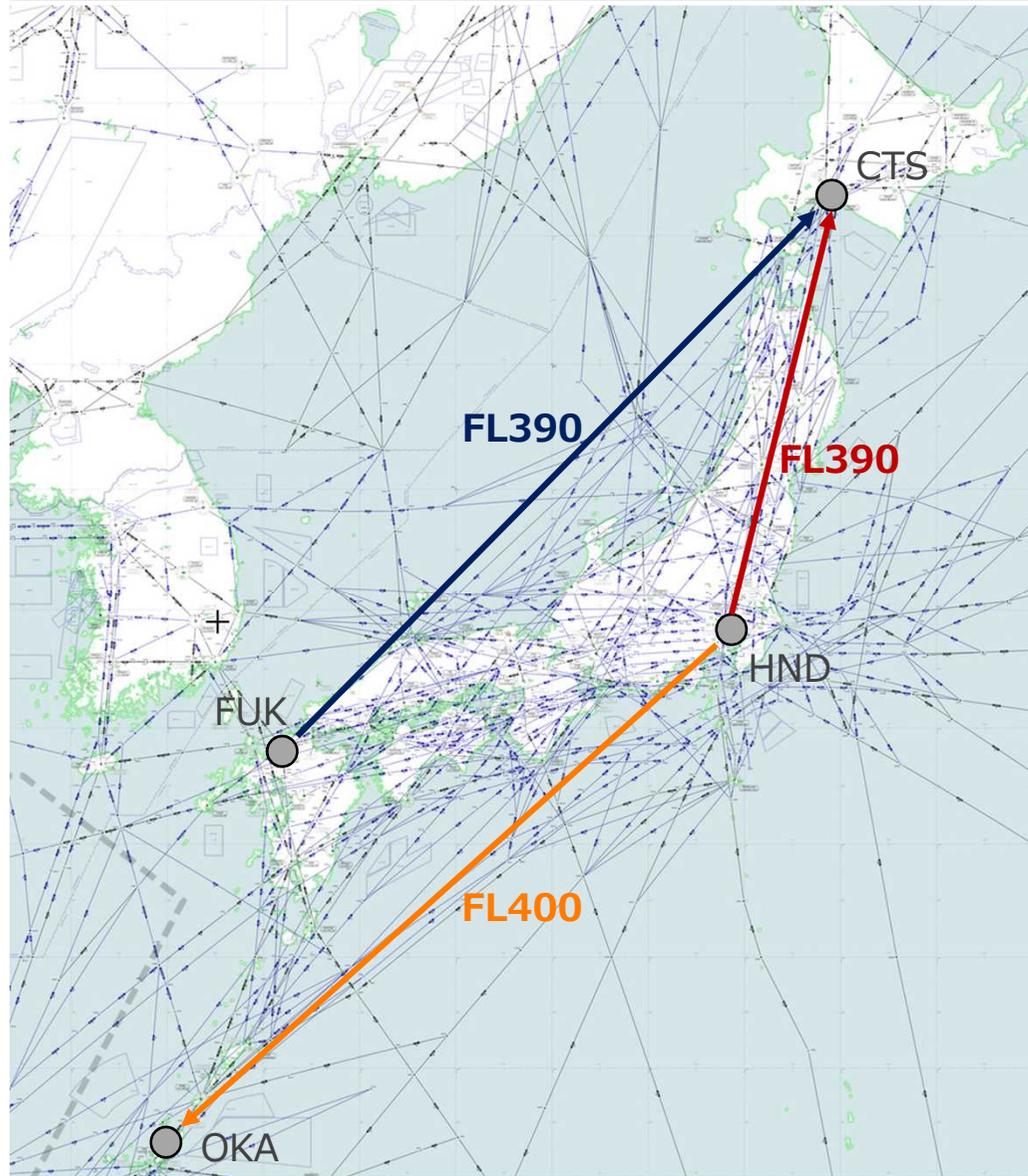


Waypoint間のRouteを各要素を加味して自動生成する機能を有する

# UPRでの使用例



# 収集データ諸元



- データ収集期間  
2020.5.1～2020.6.30 (計366サンプル)
- ZFWT 300000LBS
- 想定機材 ボーイング式787型機
- 固定経路・OPT経路双方において  
- 燃料消費量  
- 飛行時間  
の2種類のデータを収集



# UPR導入時の効果分析



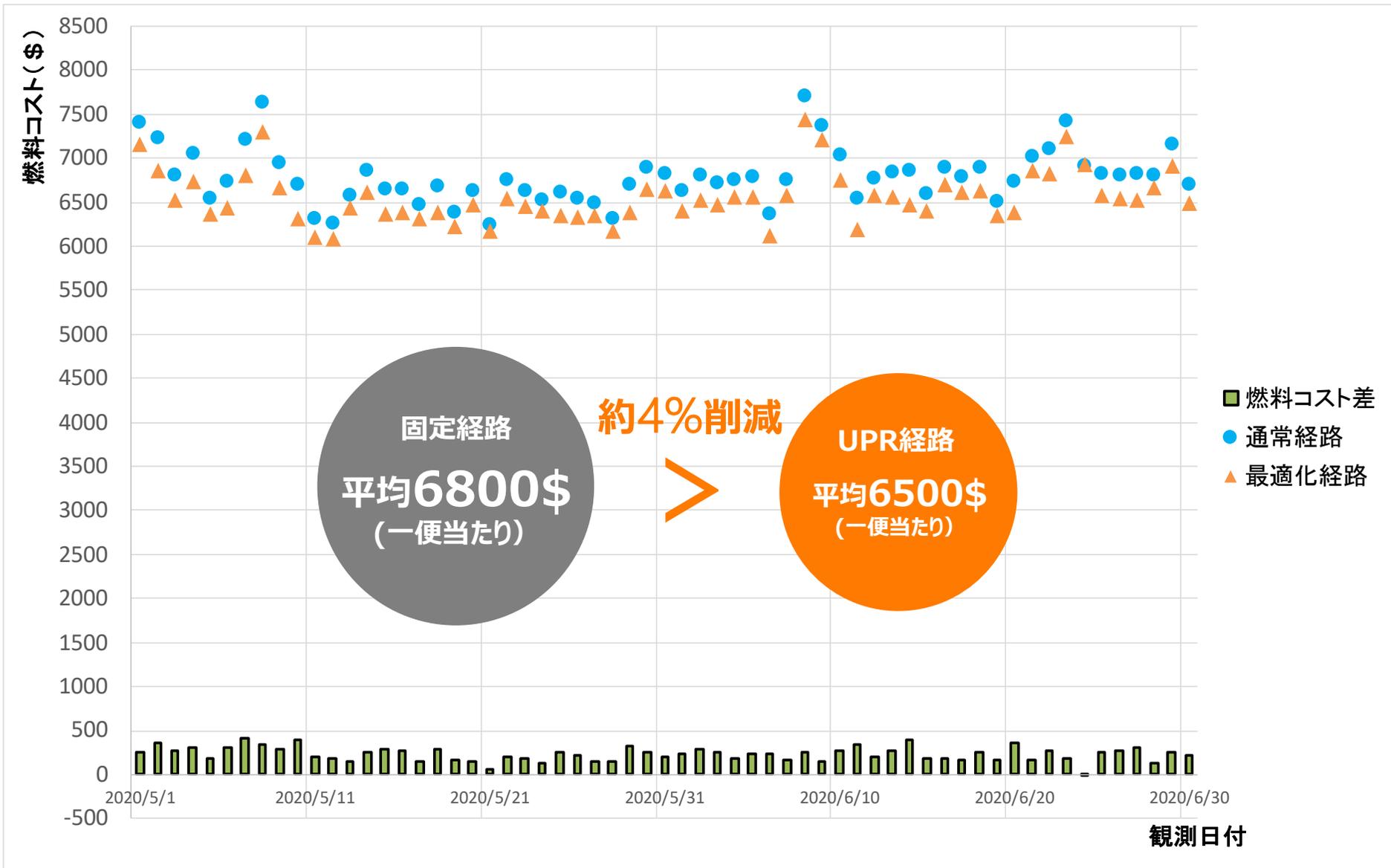
	HND→CTS		HND→OKA		FUK→CTS	
	通常経路	最適化経路	通常経路	最適化経路	通常経路	最適化経路
平均消費燃料(LBS)	12498	12356	22082	21476	18335	17709
F値	0.86		1.07		1.12	
t値	1.38		2.63 <sup>*</sup>		4.25 <sup>*</sup>	
平均飛行時間(h:m:s)	1:11:09	1:10:15	2:12:50	2:09:05	1:49:14	1:45:18
F値	0.83		1.05		1.23	
t値	1.36		2.70 <sup>*</sup>		4.39 <sup>*</sup>	

(\* : 1%有意)

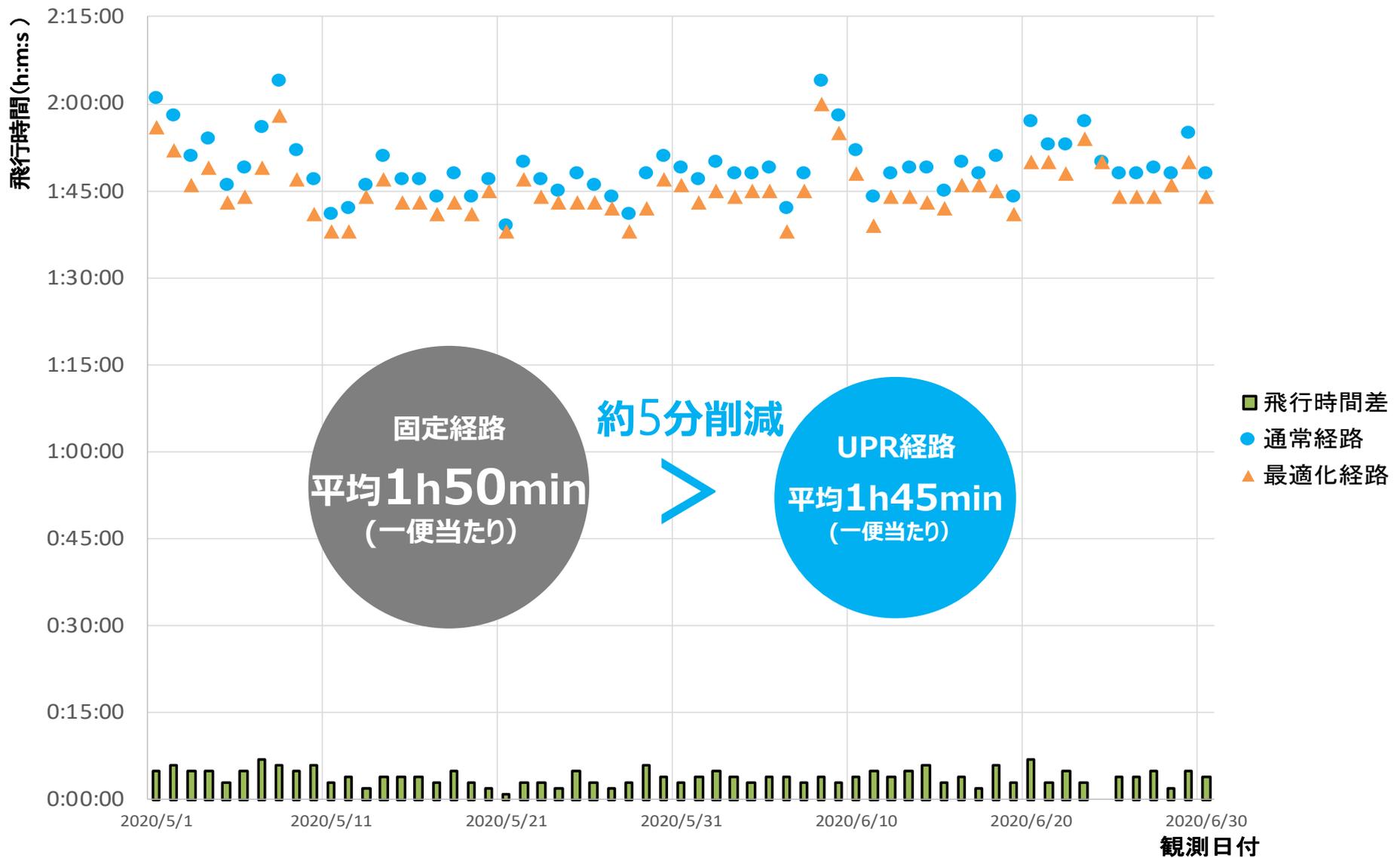
全ての路線で**UPR使用時に燃料消費量・飛行時間ともに小さくなる**ことが明らかとなった

特に、**飛行距離が長い路線ほど有意に差が出る**ことが検定より証明された

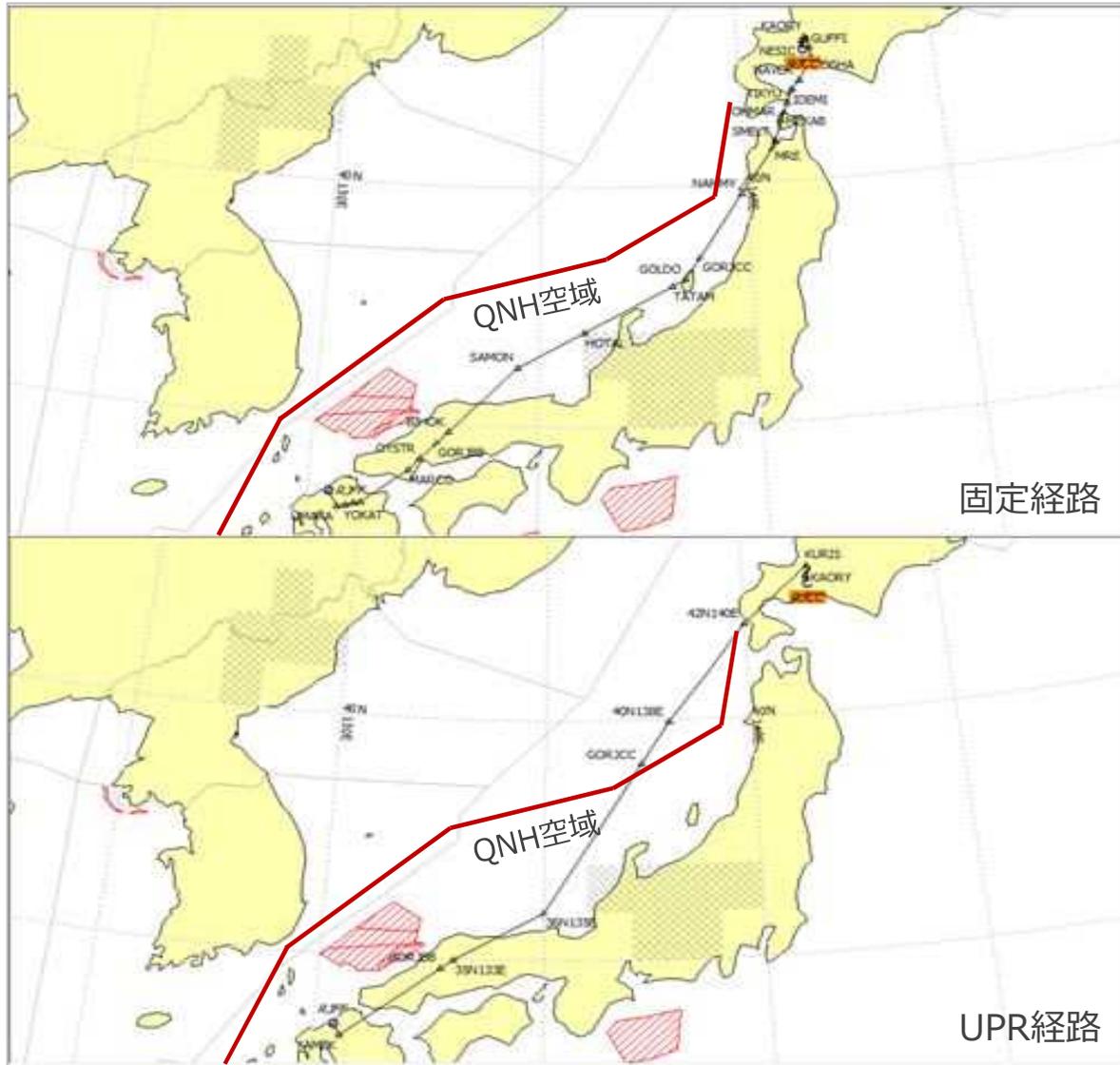
# FUK→CTS路線における燃料コスト分析結果



# FUK→CTS路線における飛行時間分析結果



# 航法援助施設利用料に着目した分析



我が国においては、QNH空域とそれ以外とで施設利用料が異なる

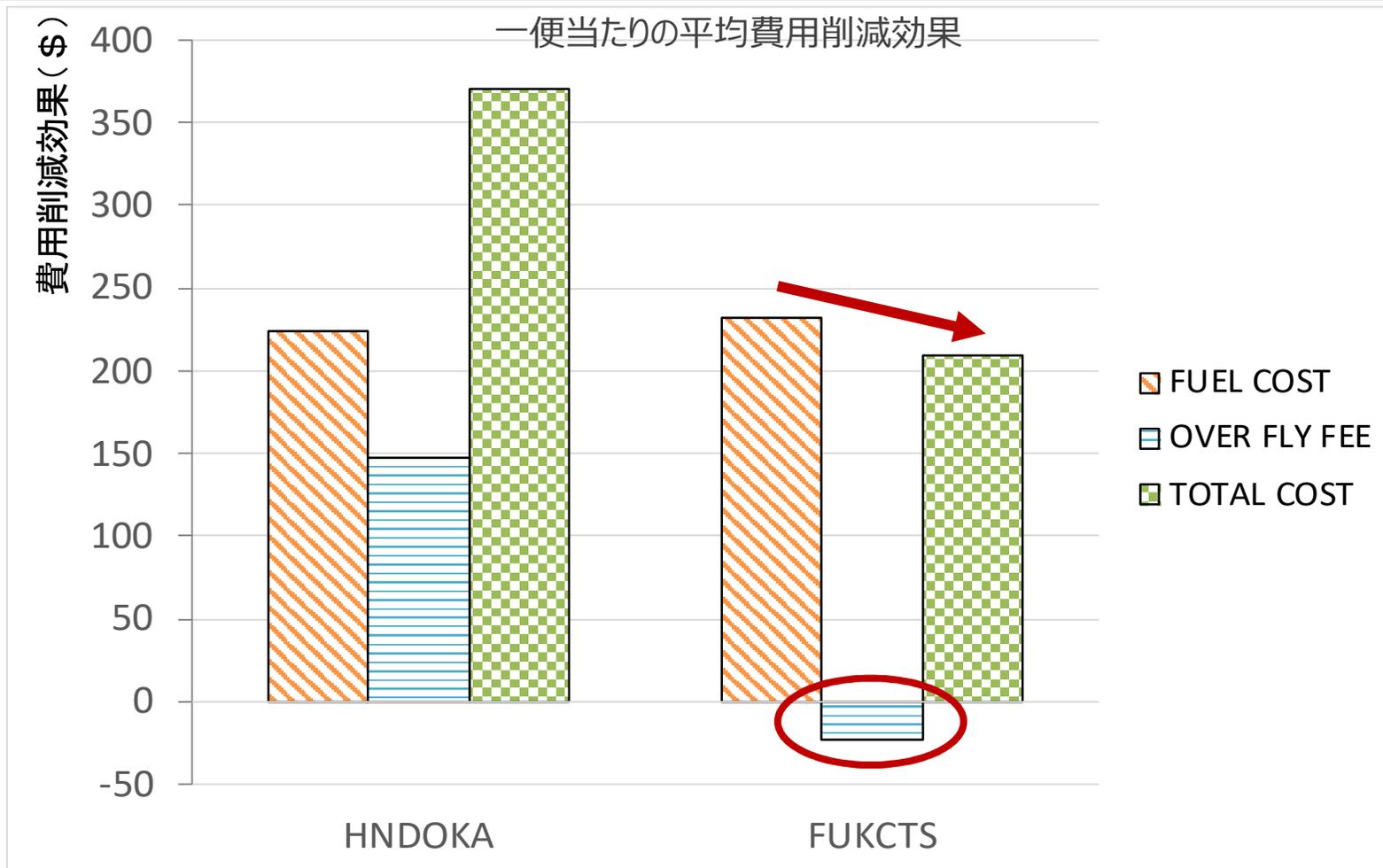


UPRで作成した場合QNH空域外に出てしまうケースが存在



**UPRの方が割高になる可能性**

# 航法援助施設利用料に着目した分析



**FUK→CTS路線**においては、**約28%の発生率**でこういった逆転現象が発生

# CO<sub>2</sub>排出量に着目した考察



	平均削減消費燃料CO <sub>2</sub> 換算(kg-CO <sub>2</sub> /便)
HND→CTS	204
HND→OKA	869
FUK→CTS	897

FUK→CTSの場合



- 実運航に使用している飛行計画システムを用いて、燃料消費量及び飛行時間について固定経路とUPR経路の比較を行い有意差があることを明らかにした
- UPR経路の設計方法によっては、固定経路に比べて航法援助施設利用料が割高になってしまう可能性があることを示唆した

## 今後の課題

- 実運航に即したUPR経路の設定
- 検証路線の拡充

- 国土交通省第1回将来の航空交通システムに関する研究会配布資料,  
<https://www.mlit.go.jp/common/000039362.pdf>
- 国土交通省資料  
<https://www.mlit.go.jp/common/001194884.pdf>
- 宮本侑斗, 原田明德, ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ, 宮沢与和, 船曳孝三,  
BADAモデルを用いた旅客機の軌道最適化による運航効率の評価,  
AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL  
AND SPACE SCIENCES, vol. 13, pp. 1-10, 2014.
- 永栄賢也, 国内長距離路線に対するDynamic Weather Routing, 第55回飛行機シンポジウム, 2017



ご清聴ありがとうございました