

= 問題提起 =

騒音軽減出発方式

~ *Steepest or NADP2* ~

Radio Telephony Meeting

目次

1. はじめに
2. 騒音軽減出発方式の種類
3. 上昇方式による速度と推力変更時期
4. 日本とICAOのNADP2方式
5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証
6. まとめ

1. はじめに

状況・背景

羽田空港の騒音軽減出発方式は、2200UTC～0230UTC及び0600UTC～1000UTCの間、TIARA/BEKLA/ROVER [number] B/C Departureが承認された場合、Steepest Climb ProcedureもしくはNADP2が適用される。

問題点

この2つの騒音軽減出発方式は離陸後の加速開始高度が異なるため、連続して出発する航空機の重量や選択した出発方式の組合せによっては、適切な管制間隔の維持が困難になり、不具合事例の発生も報告されている。

2. 騒音軽減出発方式の種類

① 急上昇方式 (*Steepest Climb Procedure*)

離陸フラップと速度を3,000ftまで維持し、その後加速しながらフラップを格納していく飛行方式。

日本では1975年頃から始まり、今でも一般的な方式で国内14空港(後述)に設定されている。ICAOではNADP1に分類される。

2. 騒音軽減出発方式の種類

① 急上昇方式 (Steepest Climb Procedure) 指定空港

国内：14 空港

Airport		Runway	備考
RJCH	函館	30	
RJSS	仙台	27	
RJTT	東京	22 34R TIARA/BEKLA ROVER B/C	STEEPEST or NADP2
RJAA	成田	All	
RJSN	新潟	10	
RJNS	静岡	All	

Airport		Runway	備考
RJNA	名古屋	All	
RJOO	大阪	All	
RJOM	松山	14	
RJOK	高知	32	
RJFF	福岡	All	
RJFT	熊本	All	
RJFK	鹿児島	All	
RJFM	宮崎	27	

2. 騒音軽減出発方式の種類

② NADP2

通常の上昇方式とほぼ同様だが、高度3,000ftまでフラップを格納できる速度(V_{ZF})を維持して上昇する点異なる。

羽田のTIARA/BEKLA/ROVER〔number〕B/C Departure (通称、荒川ルート)設定に伴い2020年3月26日発行のAIPから掲載

NADP2はNADP1に比べて運航効率の向上とCO2削減の効果があるとされており、インチョン国際空港ではNADP2による上昇を推奨している。

2. 騒音軽減出発方式の種類

② NADP2

RKSI AD 2.21 NOISE ABATEMENT PROCEDURES(19 Oct ' 23)

1. Aircraft Operating Procedures(except helicopters)

1.1 Take off

All departing aircraft should apply ICAO PANS-OPS (Doc 8168) Volume I Noise Abatement Take-off Climb Procedures as follows :

1. Runway 33L/R, 34L/R :

～省略～

2. Runway 15L/R, 16L/R :

Noise Abatement Departure Procedure ONE or TWO (NADP1 or NADP2)

a ～ b ～省略～

c. **For noise abatement and CO₂ reduction using a NADP2 is recommended.**

if for safety reasons (prevention of bird strike), compliance with the recommended procedure is not possible, NADP1 may be used.

2. 騒音軽減出発方式の種類

③ カットバック上昇方式

離陸し一定高度に達した後、航行の安全に支障がない範囲内でエンジン出力を絞った状態のまま騒音の影響が大きい地域を低騒音で飛行し、これら地域を通過後再び出力を上げ通常の上昇を行う方式。

伊丹、福岡空港で1977年頃から数年間実施。

2. 騒音軽減出発方式の種類

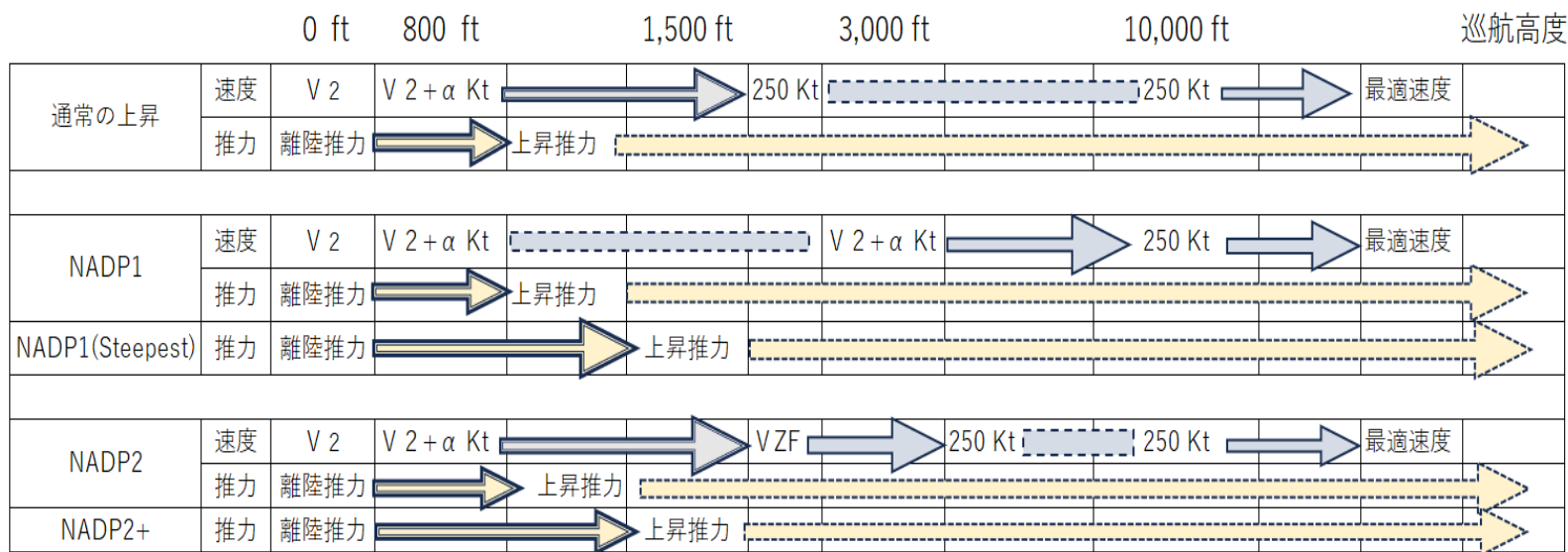
③ カットバック上昇方式(ワシントンナショナル空港)



離陸時の上昇は1,500ftまで行い、
1,500ft において真夏日の最大離
陸重量において500ft/mの上昇率
になるとコンピューターが計算した推
力まで減じること。
この推力を DCA から 10NM の地点
まで維持した後に通常の推力まで増
加させること。— 以下略 —

3. 上昇方式による速度と推力変更時期

① 上昇方式毎の速度と推力の変化



V_2 =離陸速度 $\alpha = 10 \sim 20$

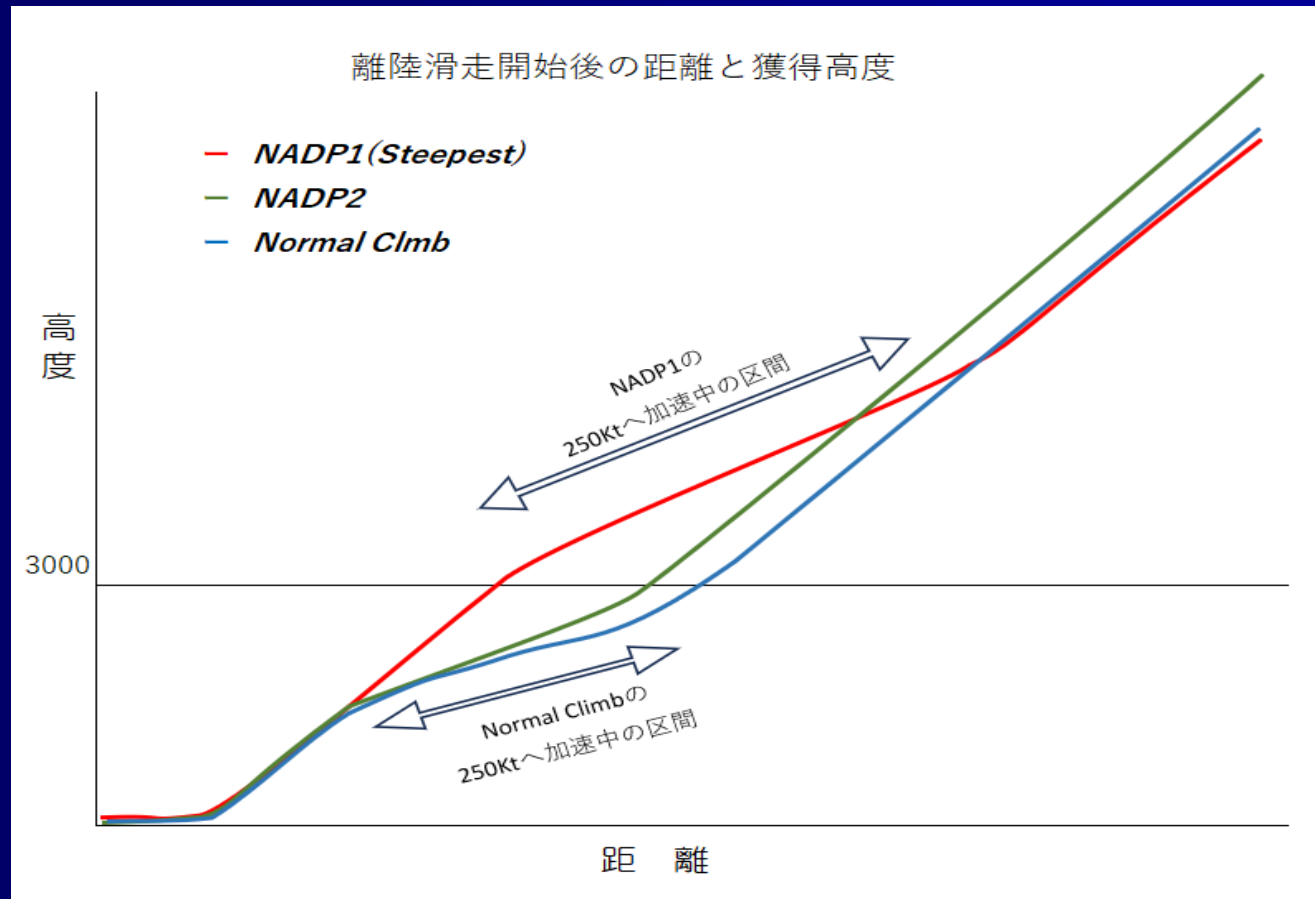


速度を維持



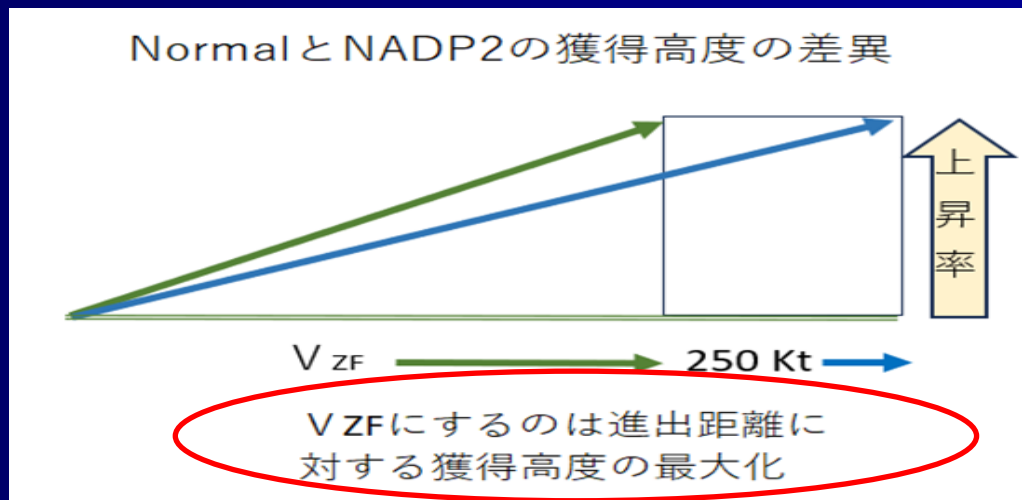
3. 上昇方式による速度と推力変更時期

② 上昇方式による高度断面図



3. 上昇方式による速度と推力変更時期

② 上昇方式による高度断面図



- ・NADP1(Steepest)が3,000ftに一番早く到達するのは、エネルギーを高度獲得のために優先して使うから
- ・NADP2は3,000ftまで V_{ZF} で飛行するため、効率的な上昇を行える
- ・Normal Climb(通常の上昇)は3,000ftまでNADP2より速度が速いため進出距離に対して獲得高度が小さい

4. 日本とICAOのNADP2方式

① AIP AD1.1 6.5.3.2 NADP2

6.5.3.2.1 離陸より800フィートAGLまで

- ・離陸推力
- ・離陸フラップまたは騒音軽減のための最適フラップ
- ・最大上昇勾配が得られるような速度
(機体姿勢角の制限 範囲内であること)

例: $V_2 + 10\text{kts}$ または $1.3V_s$ いずれか大きい速度での上昇

4. 日本とICAOのNADP2方式

① AIP AD1.1 6.5.3.2 NADP2

6.5.3.2.2 800 フィート AGL 以上において

- ・上昇を維持しつつピッチ角を減じ、ゼロ・フラップ速度（フラップの展開を必要としない速度）に向けて加速する。
 - a) 第1段階のフラップとスラットの格納の操作と共に推力を減じる。もしくは
 - b) フラップとスラットの格納後に推力を減じる。
- ・3,000フィートAGLまでは、上昇を維持しつつゼロ・フラップ速度 +10~20ktsに加速し、その速度を維持する。

4. 日本とICAOのNADP2方式

② 「800ft以上」は安全上の理由(推力変更・Flap操作)

ICAO Doc 8168 Aircraft Operations
Chapter 3 AEROPLANE OPERATING PROCEDURES

3.3 DEVELOPMENT OF PROCEDURES

3.3.1 Noise abatement procedures shall be developed by the aircraft operator for each aeroplane type (with advice from the aeroplane manufacturer, as needed) and approved by the State of the Operator **complying at a minimum with the following safety criteria.**

- a) Initial power or thrust reductions **shall not be executed below a height of 240 m (800 ft)** above the aerodrome elevation.
- b) The level of power or thrust for the flap/slat configuration, after power or thrust reduction, shall not be less than:
 - 1) for aeroplanes in which derated take-off thrust and climb thrust are computed by the flight management system, the computed climb power/thrust; or
 - 2) for other aeroplanes, normal climb power/thrust.

4. 日本とICAOのNADP2方式

③ 日本とICAOの違い その1

AD1.1 飛行場/ヘリポートの利用

6.5.3.2 NADP2

離陸し一定高度に達したのち、上昇を維持しながらフラップを格納し、速度の増加に伴う揚力の増加により高度を獲得する方式である。ジェット輸送機における代表的な方式は次のとおりである。

6.5.3.2.1 離陸より800フィートAGLまで

- ・ 離陸推力
- ・ 離陸フラップまたは騒音軽減のための最適フラップ
- ・ 最大上昇勾配が得られるような速度（機体姿勢角の制限範囲内であること）
例： $V_2 + 10\text{kts}$ または $1.3V_s$ のうちいずれか大きい速度での上昇

6.5.3.2.2 800フィートAGL 以上において

- ・ 上昇を維持しつつピッチ角を減じ、ゼロ・フラップ速度（フラップの展開を必要としない速度）に向けて加速する。
 - a) 第1段階のフラップとスラットの格納の操作と共に推力を減じる。もしくは
 - b) フラップとスラットの格納後に推力を減じる。
- ・ 3000フィートAGLまでは、**上昇を維持しつつゼロ・フラップ速度 + 10 ~ 20ktsに加速し、その速度を維持する。**

6.5.3.2.3 3000 フィートAGL 以上において

- ・ 巡航高度に到達する為の速度に向けて加速を行う。



4. 日本とICAOのNADP2方式

③ 日本とICAOの違い その2

PANS-OPS volume III (Nov'20) Appendix to Chapter 3 NOISE ABATEMENT DEPARTURE CLIMB GUIDANCE

4/11/21

3. NOISE ABATEMENT DEPARTURE CLIMB — EXAMPLE OF A PROCEDURE ALLEVIATING NOISE DISTANT FROM THE AERODROME (NADP 2)

3.1 This procedure involves initiation of flap/slat retraction at or above the prescribed minimum altitude (240m (800ft) above aerodrome elevation) but before reaching the prescribed maximum altitude (900m (3 000 ft) above aerodrome elevation). The flaps/slats are to be retracted on schedule while maintaining a positive rate of climb. Intermediate flap retraction, if required for performance, may be accomplished below the prescribed minimum altitude.

The power or thrust reduction is initiated at a point along the acceleration segment that ensures satisfactory acceleration performance. At the prescribed maximum altitude, a transition is made to normal en-route climb procedures. The initial climbing speed to the noise abatement initiation point is not less than V_2 plus 20 km/h (V_2 plus 10 kt).

3.2 In the example shown below, on reaching 240 m (800 ft) above aerodrome elevation, the aircraft body angle/angle of pitch is decreased, **the aeroplane is accelerated towards V_{zf} , and the flaps/slats are retracted on schedule.**

Power or thrust reduction is initiated at a point along the acceleration segment that ensures satisfactory acceleration performance. A positive rate of climb is maintained to 900m (3 000 ft) above aerodrome elevation. On reaching this altitude, a transition is made to normal en-route climb speed.

4. 日本とICAOのNADP2方式

③ 日本とICAOの違い その3

PANS-OPS volume I Appendix to Chapter 3 NOISE ABATEMENT DEPARTURE CLIMB GUIDANCE **before Mar 15, '07**

3. NOISE ABATEMENT DEPARTURE CLIMB _EXAMPLE OF A PROCEDURE ALLEVIATING NOISE DISTANT FROM THE AERODROME (NADP 2)

3.1 This procedure involves initiation of flap/slat retraction on reaching the minimum prescribed altitude. The flaps/slats are to be retracted on schedule while maintaining a positive rate of climb. The power reduction is to be performed with the initiation of the first flap/slat retraction or when the zero flap/slat configuration is attained. At the prescribed altitude, complete the transition to normal en-route climb procedures.

3.2 This noise abatement procedure is not to be initiated at less than 240m(800ft) above aerodrome elevation.

3.3 The initial climbing speed to the noise abatement initiation point is V_2+20 to 40km/h(10 to 20kt).

3.4 On reaching an altitude equivalent to at least 240m(800ft) above aerodrome elevation, decrease aircraft body angle/angle of pitch while maintaining a positive rate of climb, accelerate towards VZF and either.

- a) reduce power with the initiation of the first/slat retraction; or
- b) reduce power after flap/slat retraction.

3.5 Maintain a positive rate of climb, and **accelerate to and maintain a climb speed of $V_{zf}+20$ to 40km/h(10 to 20kt) to 900m(3 000ft) above aerodrome elevation.**

3.6 On reaching 900m(3 000ft) above aerodrome elevation, transition to normal en-route climb speed.

3.7 An aeroplane should not be diverted from its assigned route unless:

- a) in the case of a departing aeroplane it has attained the altitude or height which represents the upper limit for noise abatement procedure; or
- b) it is necessary for the safety of the aeroplane (e.g. for

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

① FFS環境設定

AIRPORT	RJTT RWY34R
SID	ROVER 2B Departure
AIRCRAFT	BOEING 737-800
GROSS WT	145,000 LBS
TAKEOFF THRUST	22K(シナリオ3B: 24K)
FLAP	5
CLIMB THRUST	MCLT
THRUST REDUCTION ALT	1500FT
SURFACE WIND	CALM
TEMP/QNH	30°C /2992

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

② 動画上映

1) S1	Steepest	22K	Default
2) S2	NADP2	22K	Intervention
3) S3A	NADP2	22K	Modified
4) S3B	NADP2	24K	Modified

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

③ FLAP MANUEVERING SPEED の比較

FLAP Maneuvering Speed

Sea Level *B737-800*

WEIGHT (1000LB)	MANEUVER SPEED (KIAS)				
	FLAPS				V ₂ *
	V _{ZF} (0)	1	5	15	Max th, FLP5
145	211	190	170	150	146
加速中⇒	190	170	V _{ZF} : Zero Flap Speed		

FLAP Maneuvering Speed

B787-8

WEIGHT (1000LB)	MANEUVER SPEED (KIAS)				
	FLAPS				V ₂ *
	V _{ZF} (0)	1	5	15	Max th, FLP5
480	242	222	202	177	
460	238	218	198	176	160
440	235	214	195	175	
420	231	209	191	171	154
400	227	204	187	167	
380	223	199	183	163	147
360	221	196	181	161	
340	217	192	177	157	139
320	213	188	173	153	
300	209	184	169	149	131
280	205	180	165	145	
260	201	176	161	141	122
240	200	175	160	140	

V_{ZF} : Zero Flap Speed

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

④ STEEPEST CLIMBによる上昇

1. 800ftまで

ピッチ角(12~16°)

FLAP角(5° 重量により15°)

V2+10~20ktの速度 及び 離陸推力を維持

ギヤ・アップ操作(180ft)

LNAV(280ft)、VNAV Speed(540ft)

2. 800ft通過後

::::: 周波数切替指示(900ft)

::::: ディパーチャーとの交信(1,440ft ~1,900ft)

離陸推力 ⇒ 上昇推力(1,500 ft : *default*)

ピッチ角、FLAP角、速度は維持

3. 3,000ft通過後

機首を下げる(ピッチ角 : 8~12°) ⇒ 加速開始(3,300ft)

FLAP角 5° ⇒ 1° (3,520ft)

FLAP角 1° ⇒ 0 (3,720ft) ⇒ 250Kt (5,300ft)

* ()内の高度はシミュレーター実施時の値

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

⑤ NADP2による上昇 (InterventionによるMCP操作)

1. 800ftまで

ピッチ角(12~16°)

FLAP角(5° / 最大離陸重量では15°) : 離陸前にセット

V2+10~20ktの速度 及び 離陸推力を維持

ギヤ・アップ操作(140ft)

LNAV(240ft)、VNAV Speed(520ft)

2. 800ft通過

// (操作が重なるリスク)//

機首を下げる(ピッチ角:8~12°) ⇒ VZFに向け加速を開始

:: :: :: : タワーからの周波数切替指示(1,080ft)

離陸推力 ⇒ 上昇推力(1,500ft/ default)

:: :: :: : ディパーチャーとの交信(1,520ft ~1,760f)

FLAP角(5° ⇒ 1° : (1,840ft))

FLAP角(1° ⇒ 0 : (2,300ft))

3. 3,000ft通過

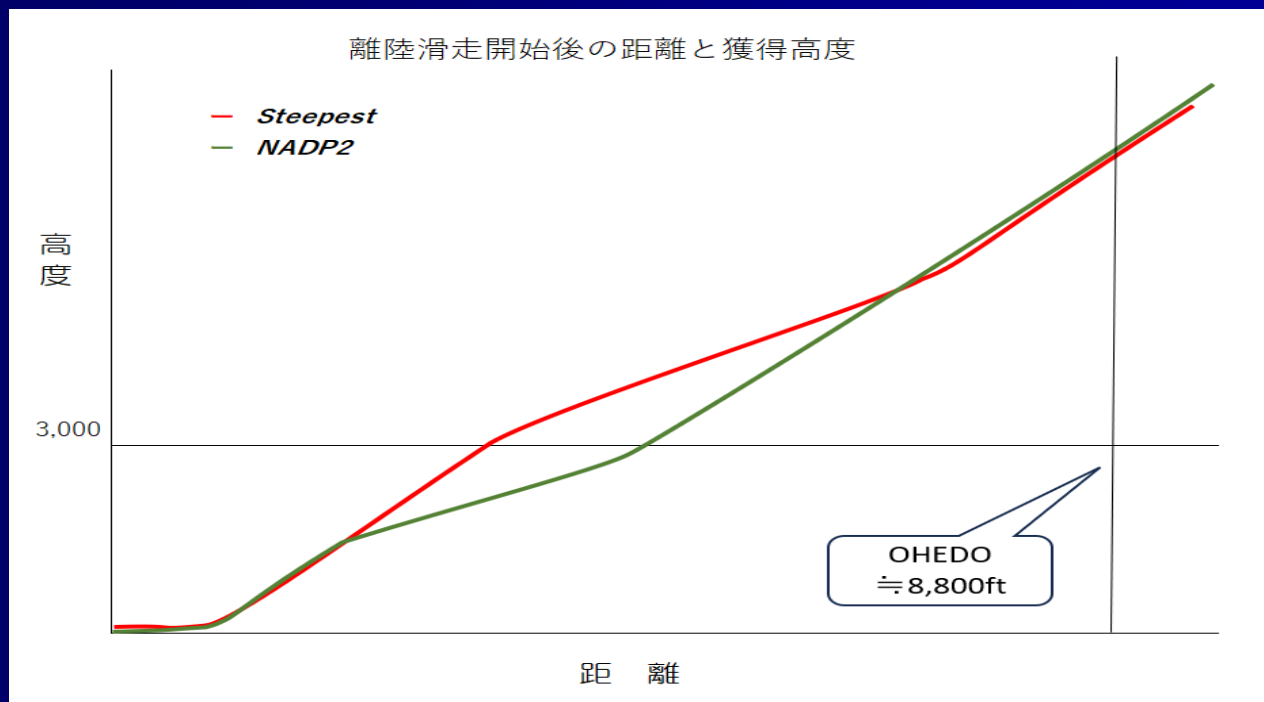
VZF ⇒ 250Kt : (3,300ft~4,800ft)



* ()内の高度はシミュレーター実施時の値

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

⑥ 距離と獲得高度の比較

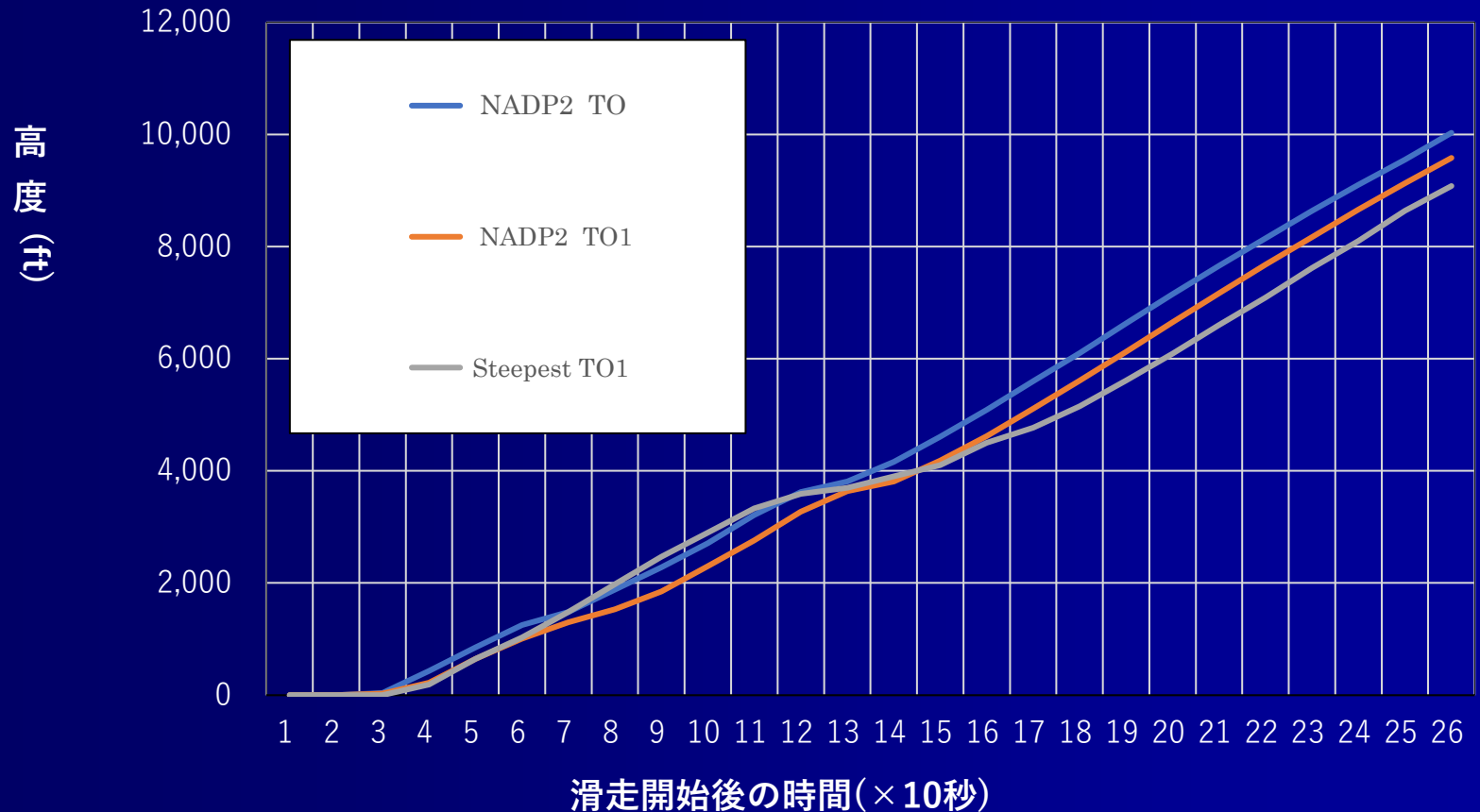


OHEDOまでの時間：
Steepest 約265秒、NADP2 約250秒

獲得高度
Steepest 約8,800 ft、NADP2 約8,800 ft

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

⑦ 時間と獲得高度の比較



5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

⑧ 所要時間・獲得高度・消費燃料の比較

Steepest (Default) TO1(22K)

OHEDO

所要時間: **265**sec

獲得高度: **8830**FT

消費燃料: **1140**LB=6600LB-5460LB

NADP2 (Modified) TO1(22K)

OHEDO

所要時間: **253**sec

獲得高度: **8830**FT

消費燃料: **1090**LB=6600LB-5510LB

NADP2 (Modified) TO (24K)

OHEDO

所要時間: **247**sec

獲得高度: **8890**FT

消費燃料: **1100**LB=6600LB-5500LB

5. 獲得高度・FIX到達時間・消費燃料のFFS検証

⑨ 管制間隔への影響

- 1) B737-800で同一条件下で測定したOHEDO通過時間の差は15秒であった。
通過高度(約8,800ft)とIASからTASを計算し、通過時間の差から進出距離の差(間隔の短縮)を計算すると、約1.2 NMとなる。
- 2) V_{ZF} が250kt以上になる機体が250ktまで加速したと仮定した数値シミュレーションの結果では間隔の短縮は2.1NM程度となった。
- 3) V_{ZF} まで加速(280kt)したと仮定した場合、間隔の短縮は3.3NM程度となる。後続機が離陸端を通過した時の初期間隔が6~7NMあっても、10,000ftを通過するまでに3~4NMに間隔が縮まってしまうことを示唆している。

6. まとめ

- ・羽田空港の荒川ルートSIDに適用される2つの騒音軽減出発方式について、獲得高度・FIX到達時間・消費燃料の観点から比較検証結果を解説してきました。
- ・航空法第一条が改正され、運航者は騒音軽減に加え脱炭素化という環境面への配慮も求められるようになりました。
- ・どちらの騒音軽減出発方式を選択するか、明日からのフライトで考えてみませんか。

= 問題提起 =

騒音軽減出発方式

~ *Steepest or NADP2* ~

ご清聴ありがとうございました

また来年もお会いしましょう…

Radio Telephony Meeting