

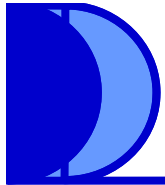
継続降下運航の運用拡大検討のための シミュレーション技術

2018/5/31 電子航法研究所研究発表会

○ 虎谷大地
ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル
平林博子

(航空交通管理領域)





1. 序論

- 継続降下運航
- 軌道計算と数値シミュレーション

2. 数値シミュレーション

- 航空機モデル
- シミュレーション例

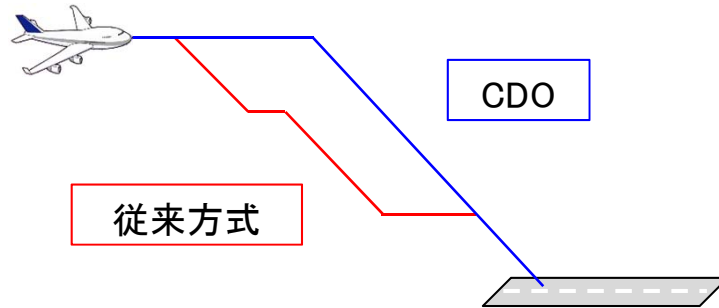
3. CDO軌道のばらつき

- 垂直面におけるCDO軌道のばらつき
- シミュレーション結果

4. まとめと今後の展望

1. 序論

継続降下運航 (CDO: Continuous Descent Operations)

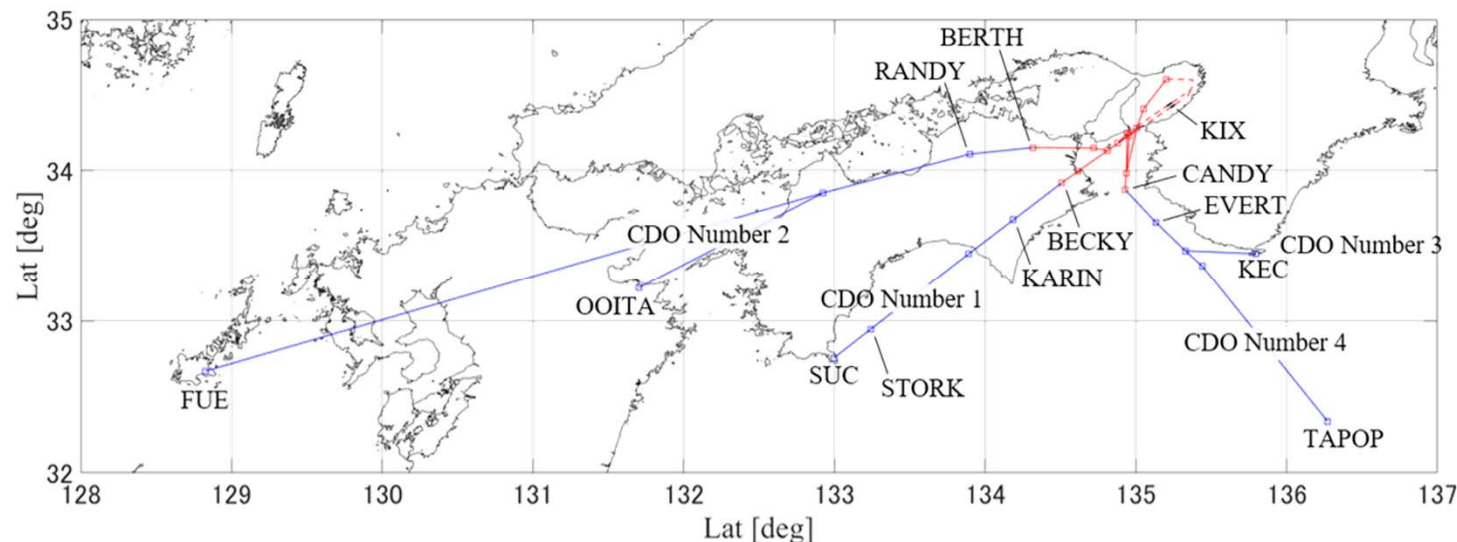


- 従来方式: 管制官の指示によりステップ状に降下
- CDO: アイドル推力を保ったまま降下
- 燃料消費量削減, 騒音削減効果がある
- 管制官が予測しづらい, 速度指示による交通流形成が困難

CDOの現状

- 関西国際空港, 鹿児島空港, 那覇空港への到着方式で導入済み
- 交通流の少ない時間帯(深夜~早朝)の到着便に限られる

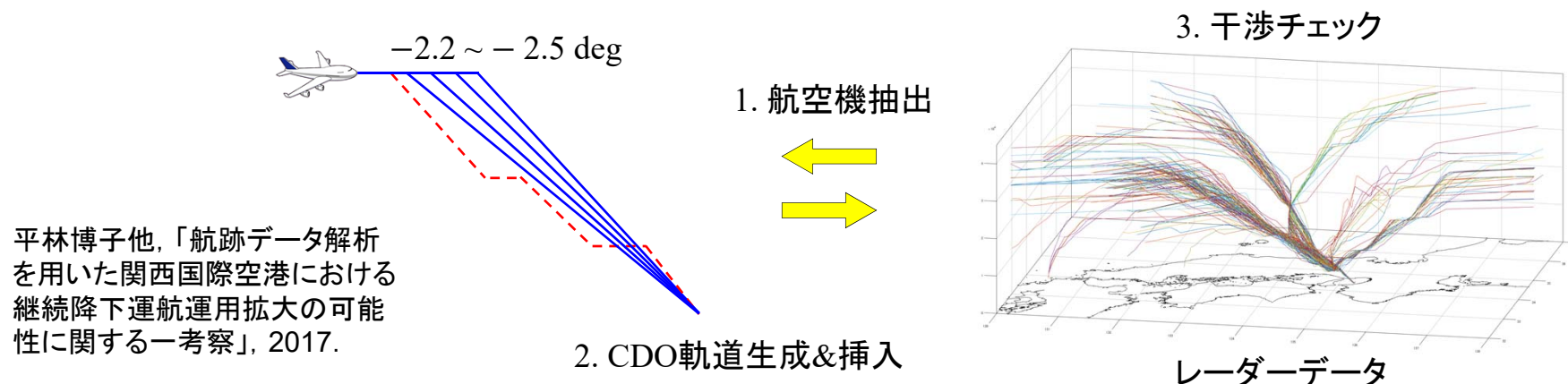
→ CDOの運用拡大が求められている



1. 序論

先行研究

現在の運用時間帯(深夜~早朝)以外でCDOを行った場合, どの程度干渉が発生する可能性があるかを検討

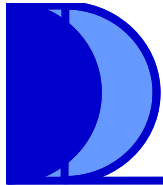


1. CDOと同じ経路を飛行している航空機(CDOを実施していないものも含めて)を抽出
2. CDO軌道を飛行経路角 $-2.2 \sim -2.5$ 度として模擬し, レーダーデータに挿入
3. 他の交通流との干渉が無いかを調べる

運用時間帯のためCDOを実施していない機体がCDOを実施した場合, 他の航空機と干渉が発生するかが検討可能

(ただし, CDO軌道は $-2.2 \sim -2.5$ 度一定と仮定)

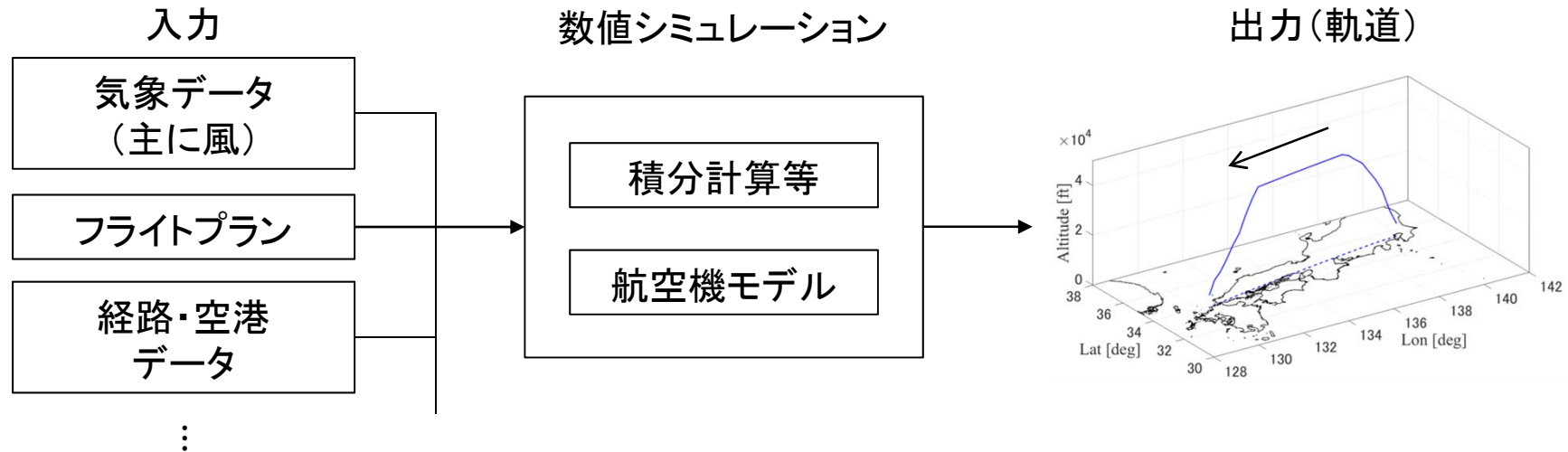
航空機の運動や性能に基づいたCDO機の軌道計算が必要



1. 序論

軌道計算と数値シミュレーション

目的: 航空機の運動や性能に基づいたCDO機の軌道シミュレータの開発



例) 放物運動

入力

- 初期速度

$$V_0 = 100 \text{ [m/s]}$$

- 仰角

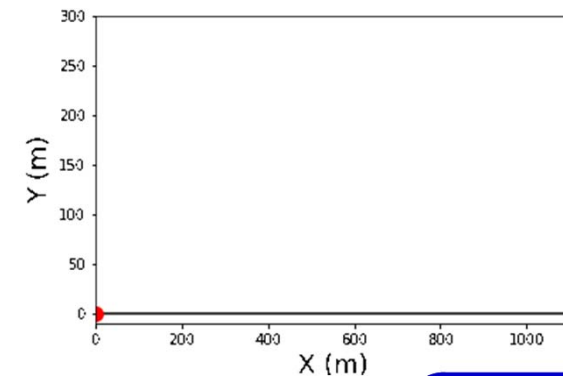
$$\theta = 45 \text{ [deg]}$$

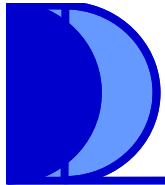
数値シミュレーション

モデル

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_0 \cos \theta t \\ V_0 \sin \theta t - 1/2 g t^2 \end{pmatrix}$$

出力(軌道)





1. 序論

- 継続降下運航
- 軌道計算と数値シミュレーション

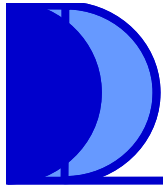
2. 数値シミュレーション

- 航空機モデル
- シミュレーション例

3. CDO軌道のばらつき

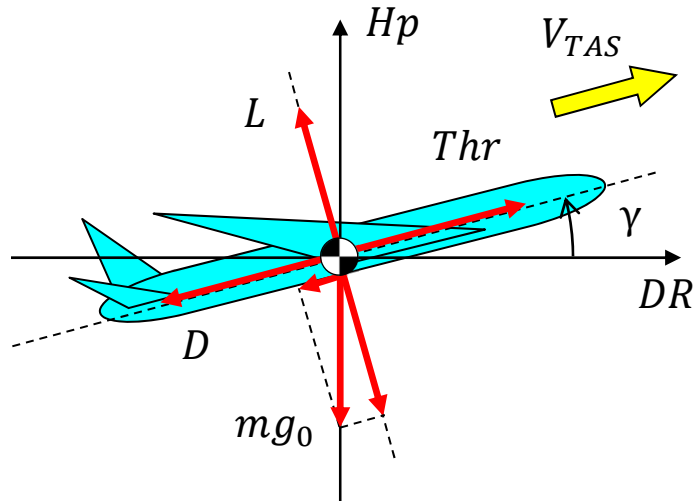
- 垂直面におけるCDO軌道のばらつき
- シミュレーション結果

4. まとめと今後の展望



2. 数値シミュレーション

航空機モデル



V_{GS} : Ground Speed / 対地速度
 V_{TAS} : True Air Speed / 真対気速度
 Hp : 大気圧高度 $ROCD$: 上昇・降下率
 m : 航空機質量 FF : 燃料流量
 Thr : エンジン推力 D : 空気抵抗
 V_{CAS} : Calibrated Air Speed / 校正大気速度

- 運動方程式(質点近似, 垂直面のみ考慮)

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} DR \\ Hp \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{GS} \\ ROCD \\ -FF \end{pmatrix}$$

- 力の釣り合い

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

- 制御入力

- Thr : エンジン推力

- V_{CAS} : CAS $\xrightarrow[\text{変換}]{\text{CAS/TAS}}$ V_{TAS} : TAS

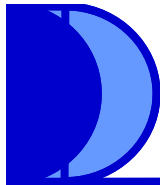
- $ROCD$: 上昇/降下率

- 航空機性能

FF , アイドル推力, D ... BADA4

- 気象データ(風)

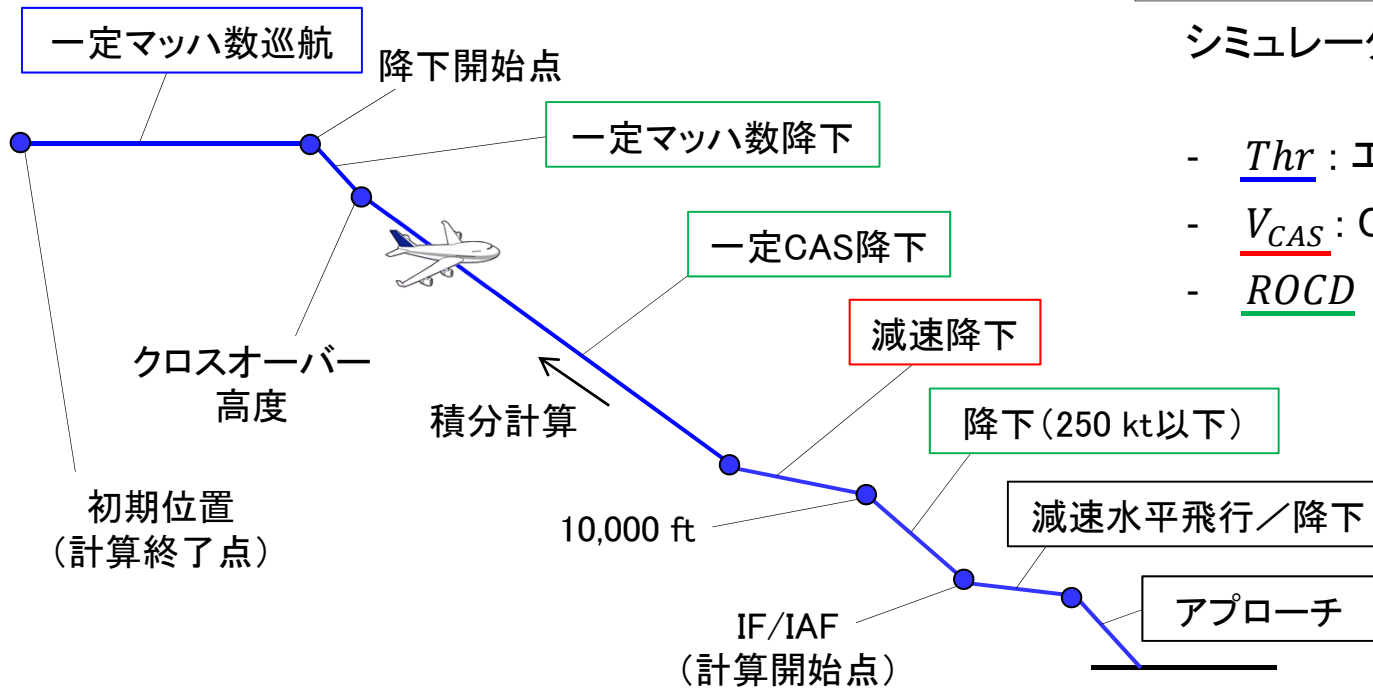
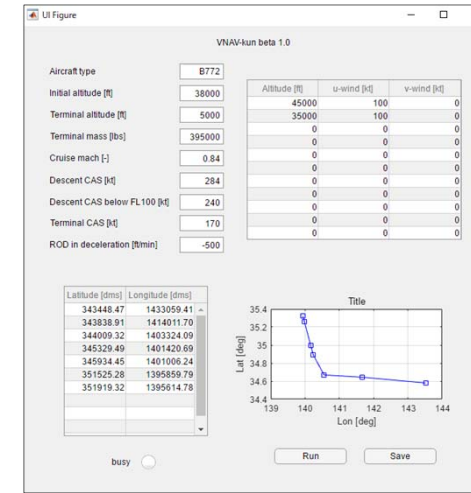
気象庁数値予報データ (MSM)



2. 数値シミュレーション

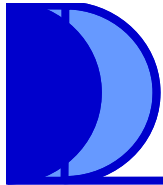
計算の流れ

Flight Management System (FMS) を模擬した軌道計算



シミュレータ入力画面

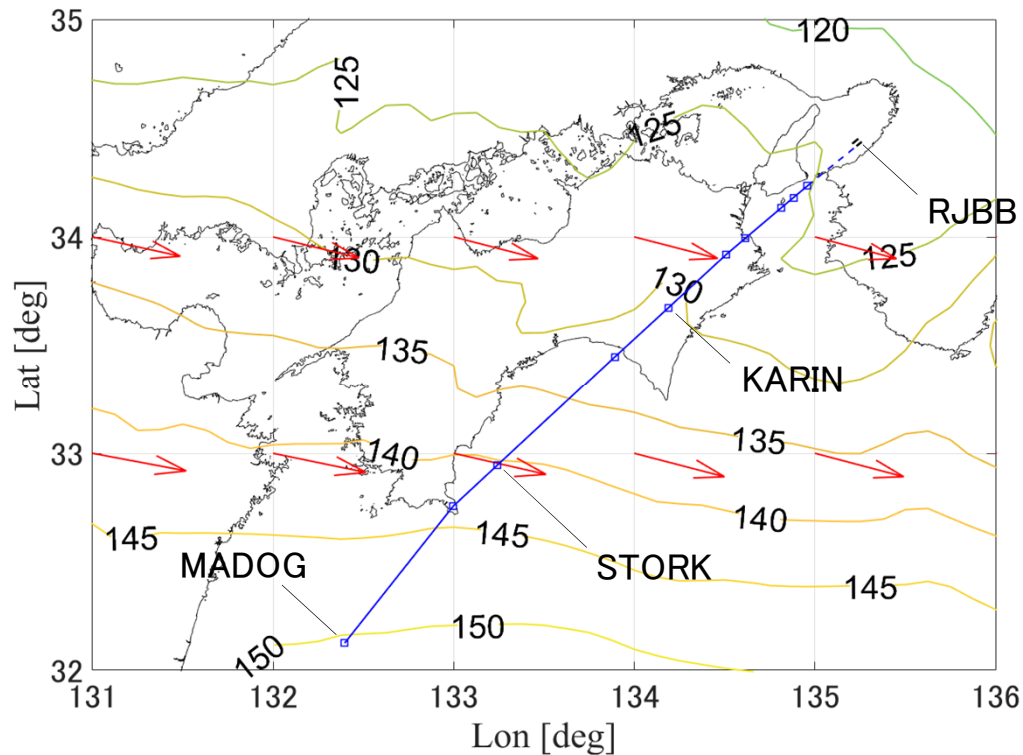
- Thr : エンジン推力
- V_{CAS} : CAS \rightarrow V_{TAS} : TAS
- $ROCD$: 上昇/降下率



2. 数値シミュレーション

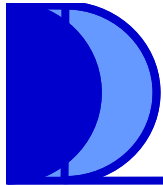
シミュレーション条件

- 関西国際空港 (RJBB) に到着するCDO Number 1 (+MADOG)
- 従来方式とCDOを比較
- 機種はCDO Number 1でCDOを実施している代表的な機種



シミュレーション条件

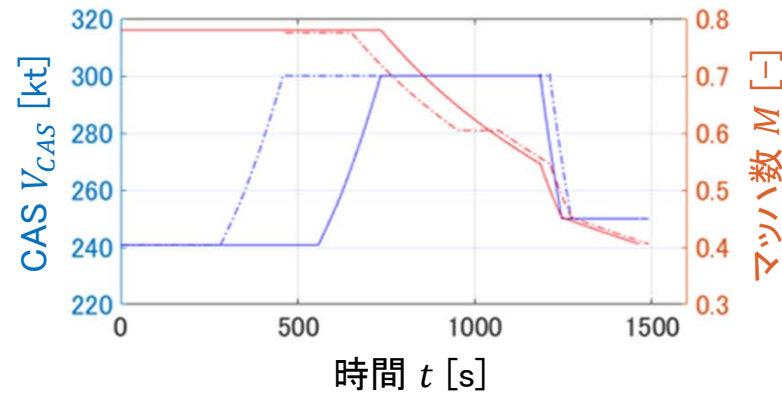
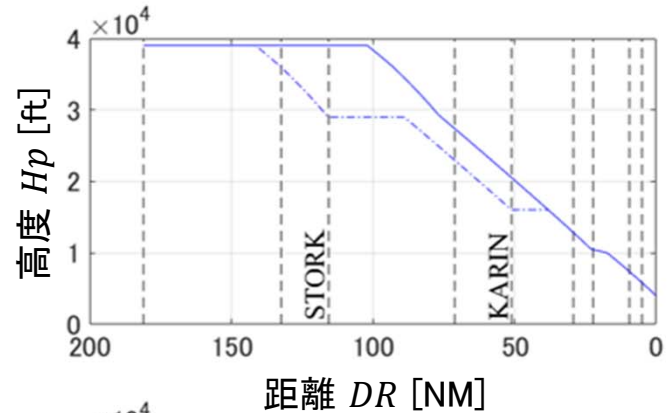
巡航高度	FL390
終端高度 (at ALLAN)	4,000 ft
巡航速度	0.79
降下CAS	300 kt
降下CAS (10,000 ft 以下)	250 kt
降下率(減速時)	500 ft/min



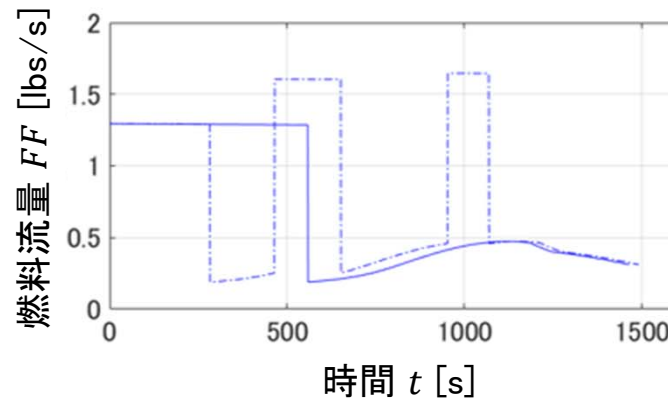
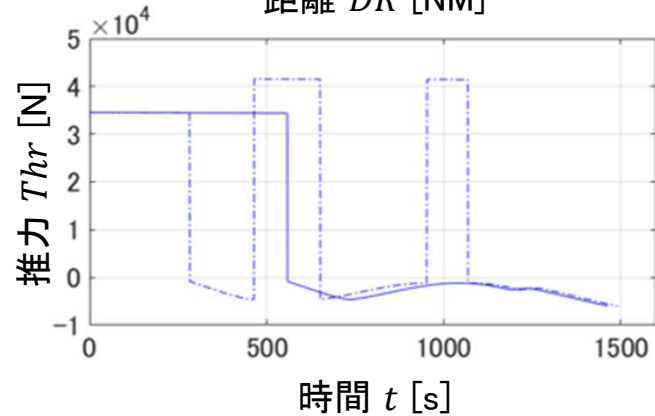
2. 数値シミュレーション

研究発表会
2018/5/31
虎谷大地

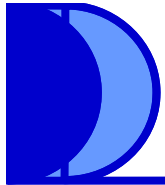
シミュレーション結果



実線: CDO
鎖線: 従来方式



	飛行時間 [s]	燃料消費量 [lbs]
従来方式	1,491	1,177
CDO	1,464	1,041
従来方式-CDO	27	136



1. 序論

- 継続降下運航
- 軌道計算と数値シミュレーション

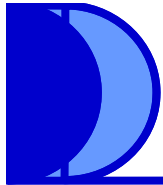
2. 数値シミュレーション

- 航空機モデル
- シミュレーション例

3. CDO軌道のばらつき

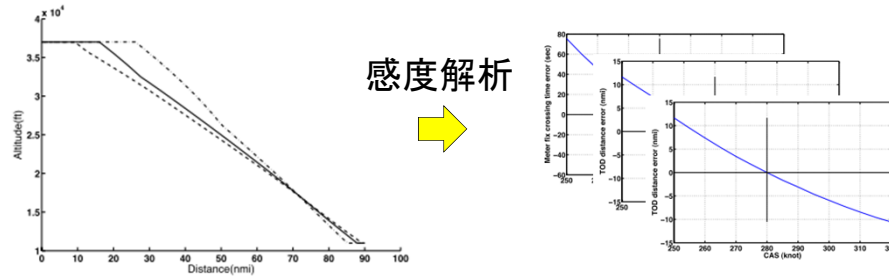
- 垂直面におけるCDO軌道のばらつき
- シミュレーション結果

4. まとめと今後の展望



3. CDO軌道のばらつき

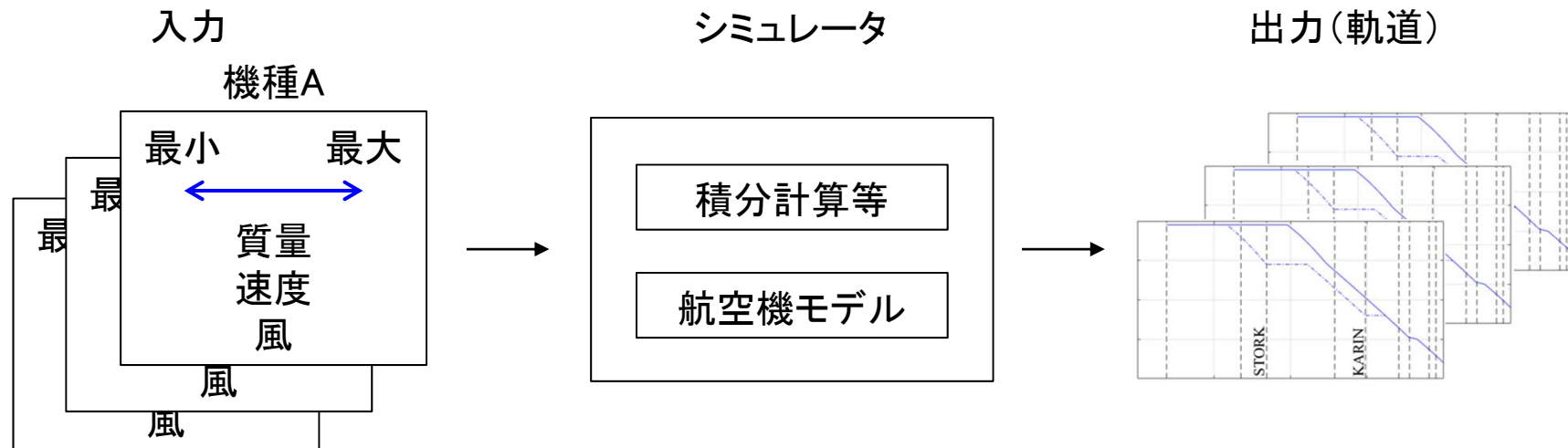
垂直面におけるCDO軌道のばらつき

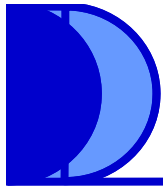


M. Xue et al., "Improvement of Trajectory Synthesizer for Efficient Descent Advisor", 2011.

CDOで降下する航空機の垂直面軌道は主に、以下の要素によって変化する。

- 機種
- 航空機質量
- 降下速度
- 風





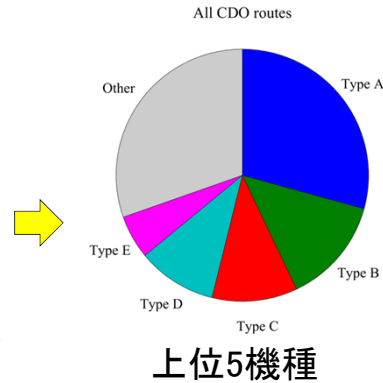
3. CDO軌道のばらつき

シミュレーション条件

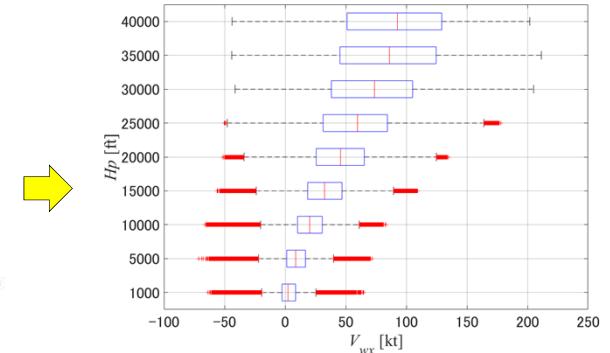
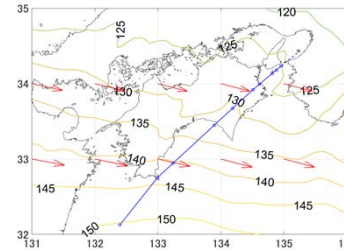
機種



飛行情報処理システム
(2017年1年間分)



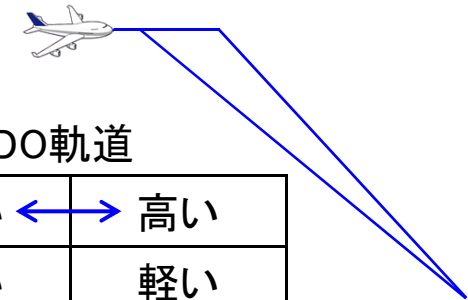
風



航空機質量, 降下速度 (CAS)

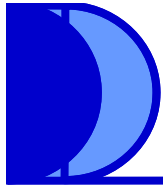
	最小	最大
質量	1.2×OEW	MLW
速度 (CAS)	250 kt	V_{MO}

OEW: 運航空虚重量
MLW: 最大着陸重量
 V_{MO} : 最大運航速度



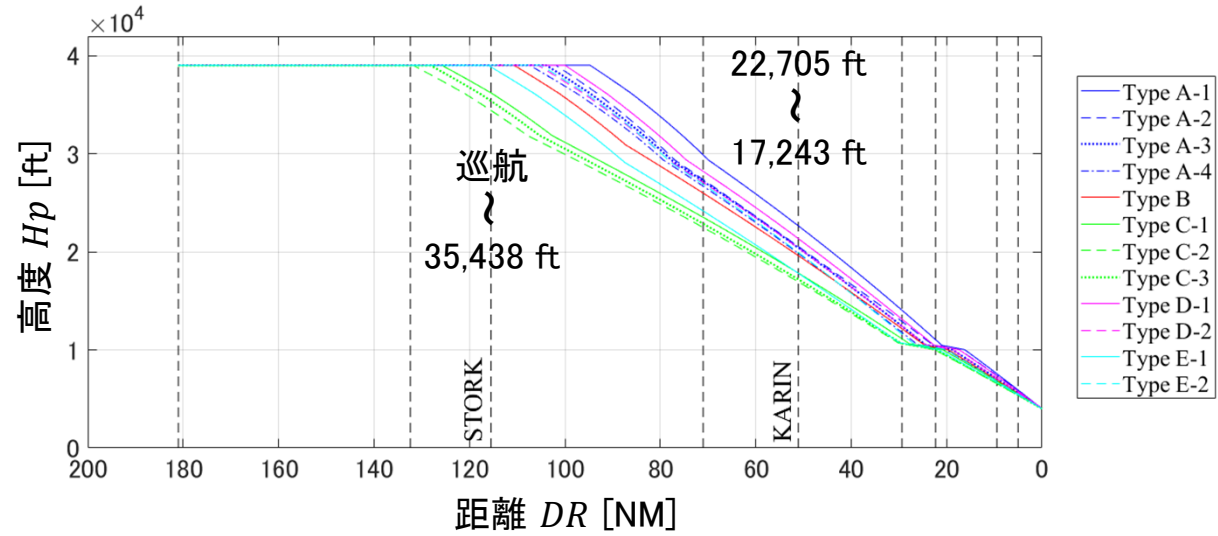
垂直面のCDO軌道

	低い ←	→ 高い
質量	重い	軽い
速度	遅い	速い
風	追い風	向かい風

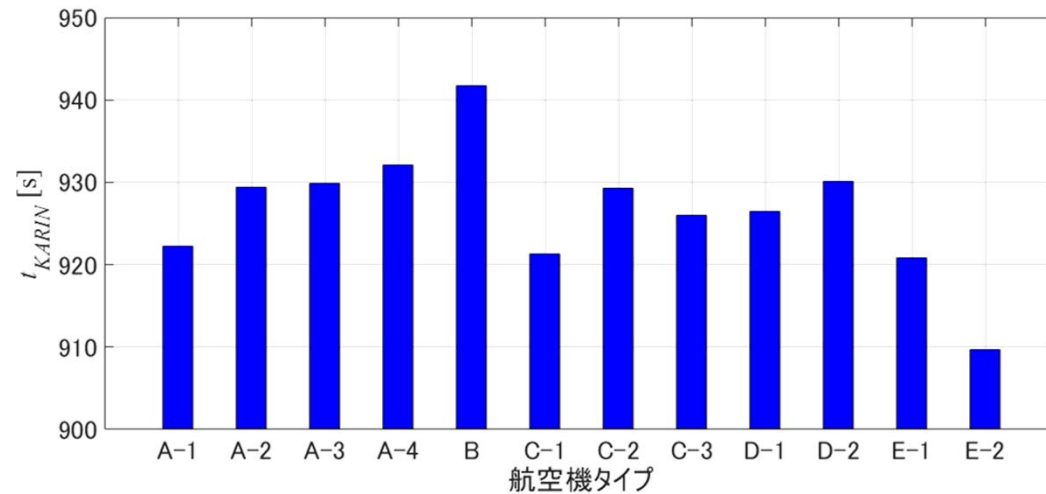


3. CDO軌道のばらつき

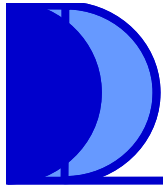
シミュレーション結果(機種によるばらつき)



機種によるCDO軌道のばらつき

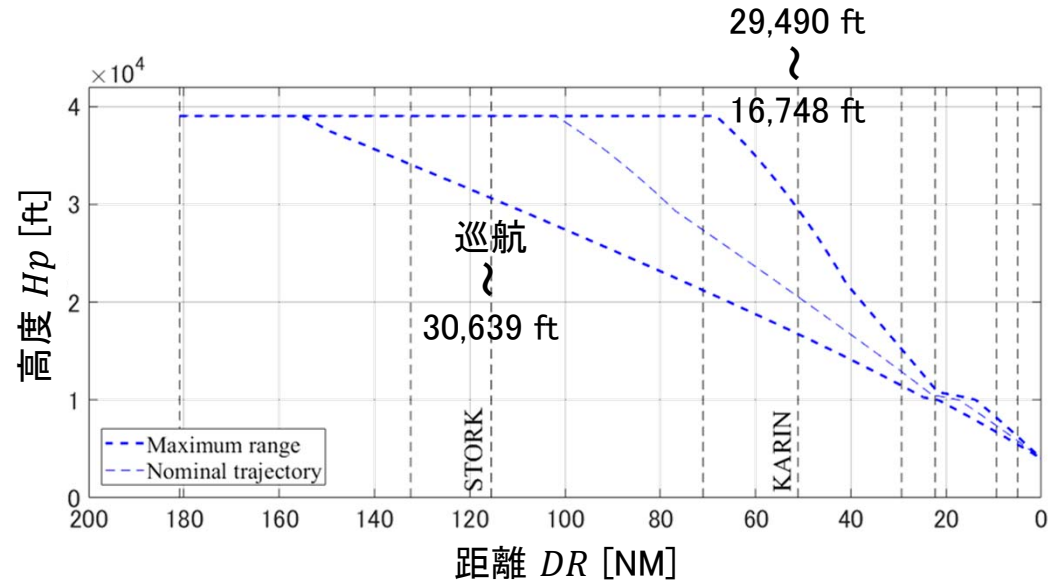


機種によるKARIN通過時間のばらつき



3. CDO軌道のばらつき

シミュレーション結果(質量・速度・風によるばらつき)

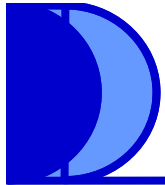


質量・速度・風によるCDO軌道の最大範囲 (Type A-2)

質量・速度・風による通過時間のばらつき

	STORK	KARIN
高高度 [s]	632.9	1251.0
低高度 [s]	381.9	849.5

- 機種・質量・速度・風により, CDO機の垂直面軌道が大きくばらつくことを示した.
- ただし実際の運航で, 質量・速度・風が最大・最小値となることはほぼ無い.



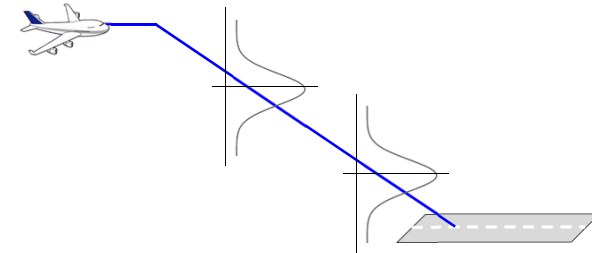
4. まとめと今後の展望

研究発表会
2018/5/31
虎谷大地

- CDOの運用拡大を検討するために必要な, 数値シミュレーションの計算手法について述べた.
- 従来方式とCDOのシミュレーション結果を比較し, CDOの便益を示した.
- CDOで降下する航空機の軌道のばらつきを示した.

! ただし, 実際の運航ではより小さなばらつきとなる.

→ 質量・速度についても実運航の分散を取得し, 軌道のばらつきを分散で示す.



- レーダーデータを用いた解析に数値シミュレーションを組み込み, 航空機の運動や性能に基づいて, CDO運用拡大の可能性を検討する.

