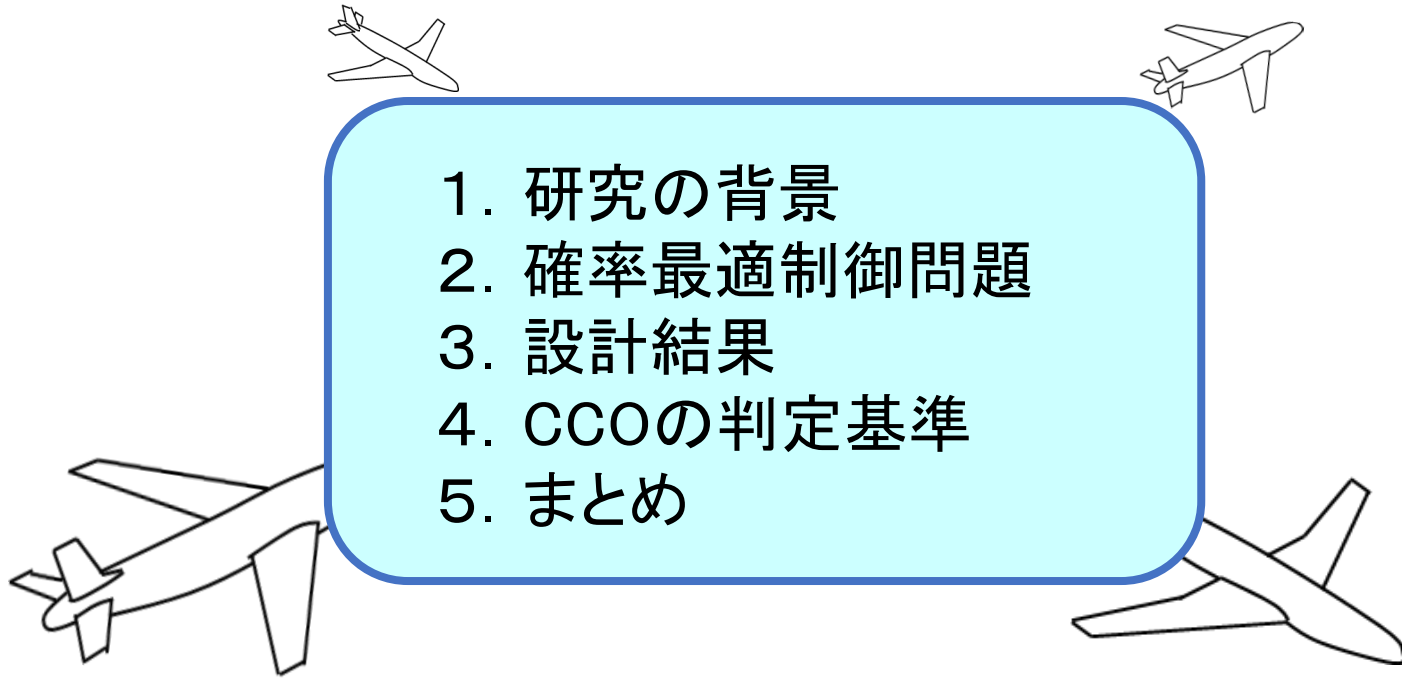


14 安全間隔を考慮したCCO(継続上昇運航)*)

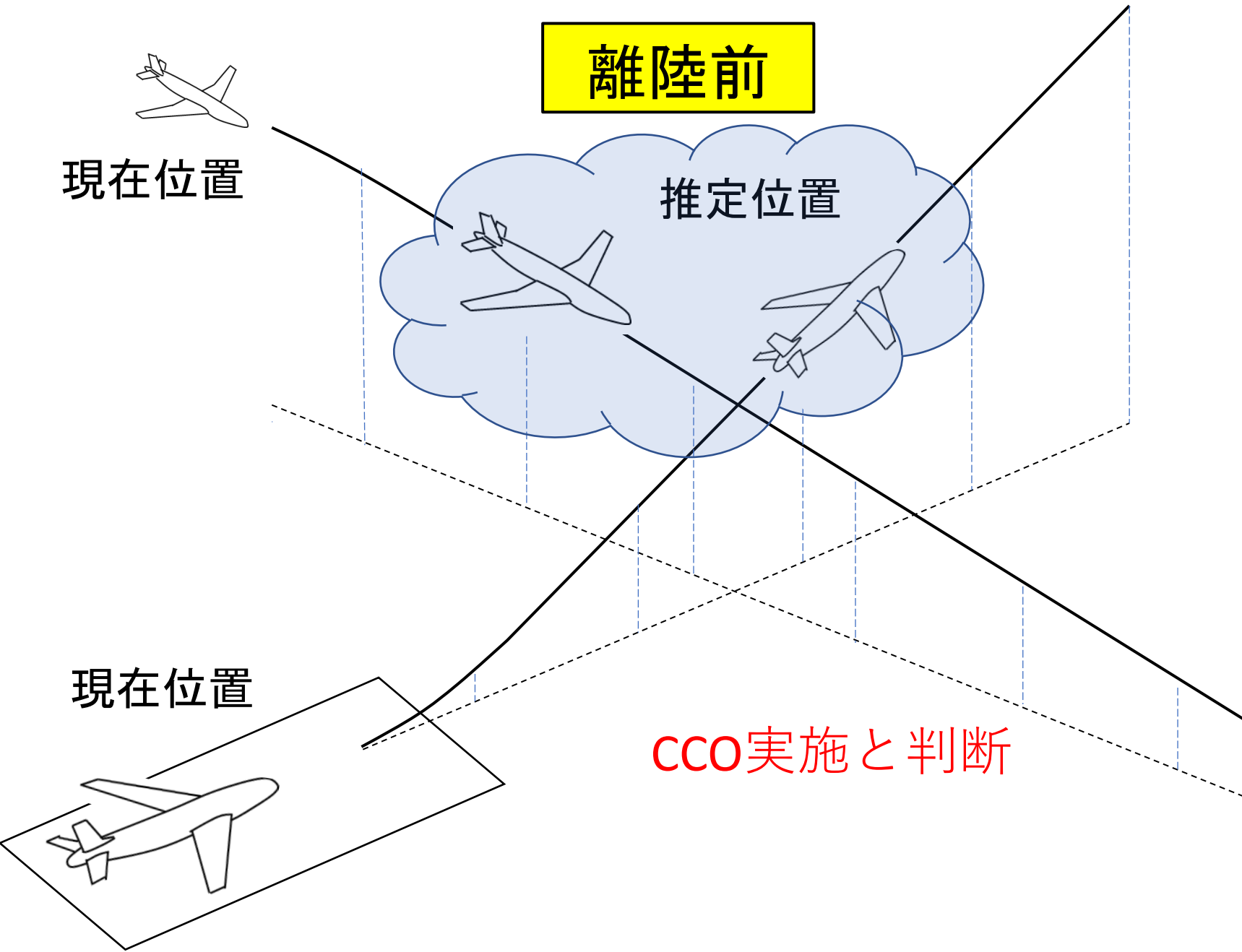


1. 研究の背景
2. 確率最適制御問題
3. 設計結果
4. CCOの判定基準
5. まとめ

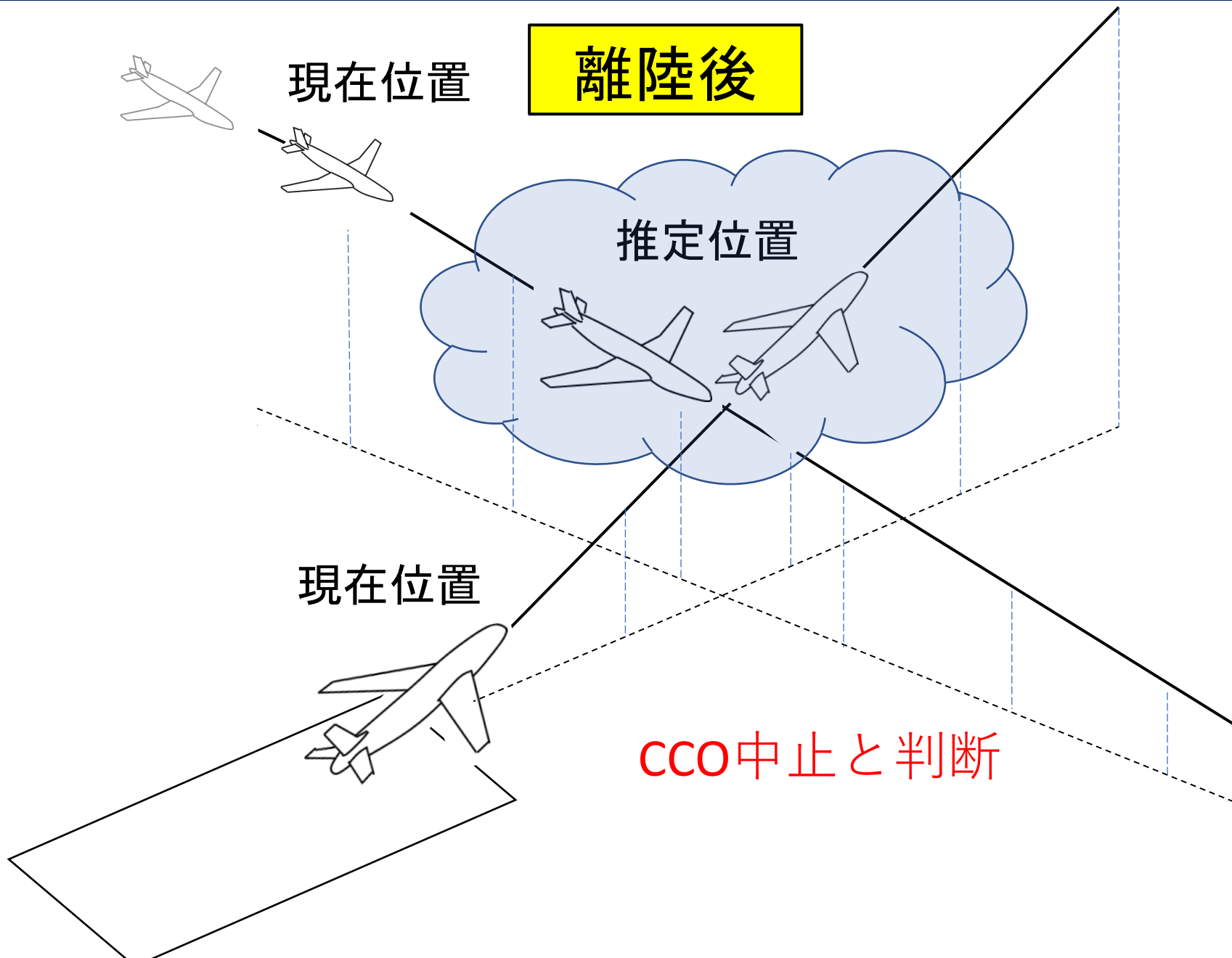
横浜国立大学 上野誠也
航空交通管理領域 平林博子、虎谷大地

*) 平成28年度～平成30年度「安全間隔を考慮したCCO(継続上昇運航)の研究」

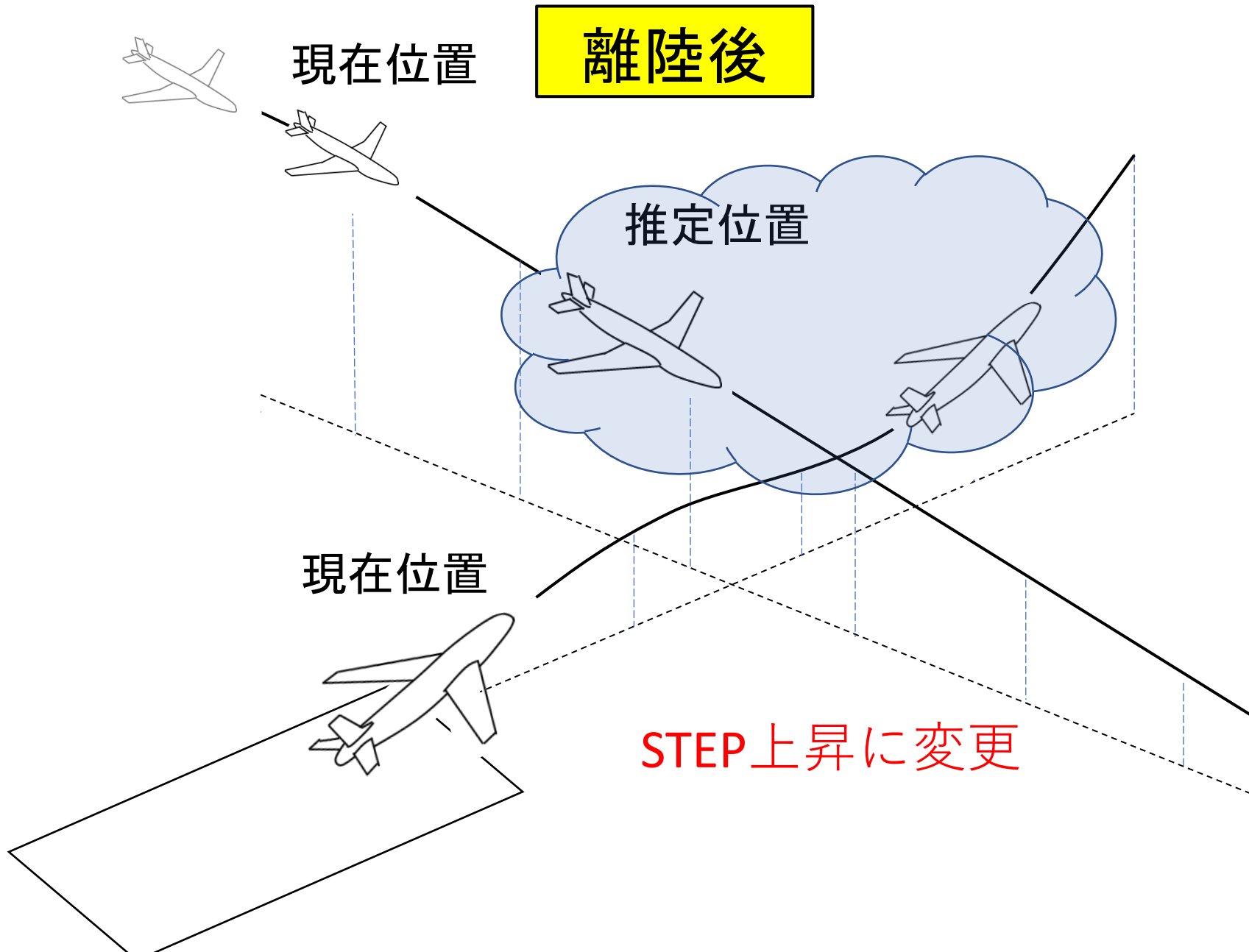
1. 研究の背景



1. 研究の背景



1. 研究の背景



1. 研究の背景

CCOを中止した理由

- ◆相手機の推定位置に**誤差**があった

誤差の発生要因

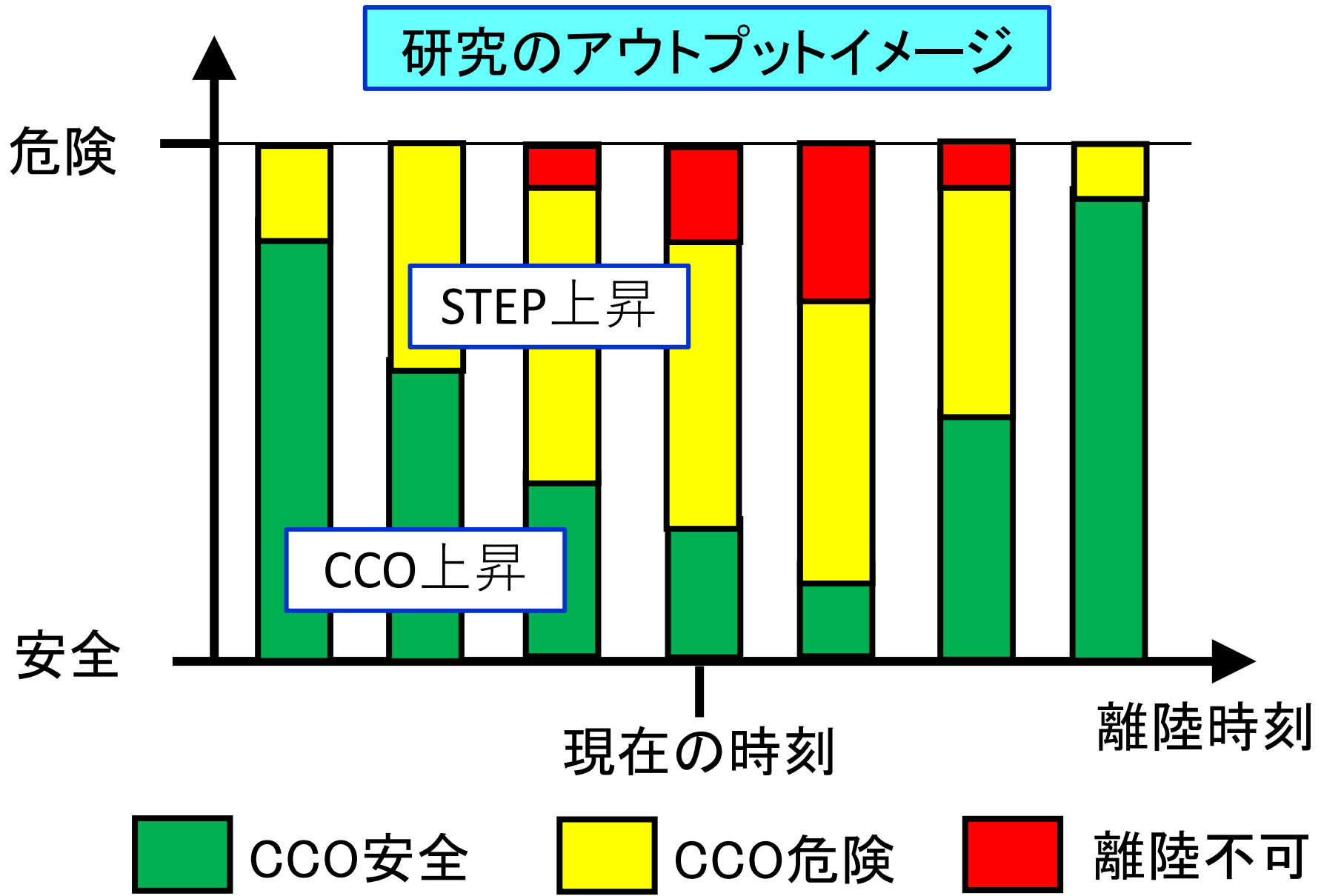
- ✓気象の影響・条件の変化
- ✓操縦の時間／空間的誤差

相手機の将来の推定位置は
確率分布で扱うことが必要



CCOの可否も**確率**で表現し、
判断することが必要

1. 研究の背景



1. 研究の背景

◆研究目標

相手機の推定位置が**確率分布**で与えられるときの安全間隔を確保した軌道を求める。

◇目標1

CCOの可能性を**確率で表現**する

◇目標2

安全間隔を確保した**最適軌道**を求める

⇒確率密度関数を含む最適制御問題
（“確率最適制御問題”と呼ぶ）

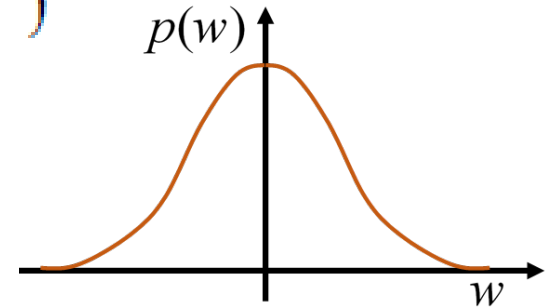
2. 確率最適制御問題

◆ 評価関数

$$J = \int_0^T \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} L(x, u, t, p(w)) dw \right\} dt$$

w : 不確定パラメータ

$p(w)$: 確率密度関数



例) w : 相手機の速度

$p(w)$: 平均 240[m/s]

標準偏差 4[m/s] の正規分布

$L(x, u, t, p(w))$: 相手機との距離の関数

二重積分で記述される評価関数を
最適制御理論で扱うことができない

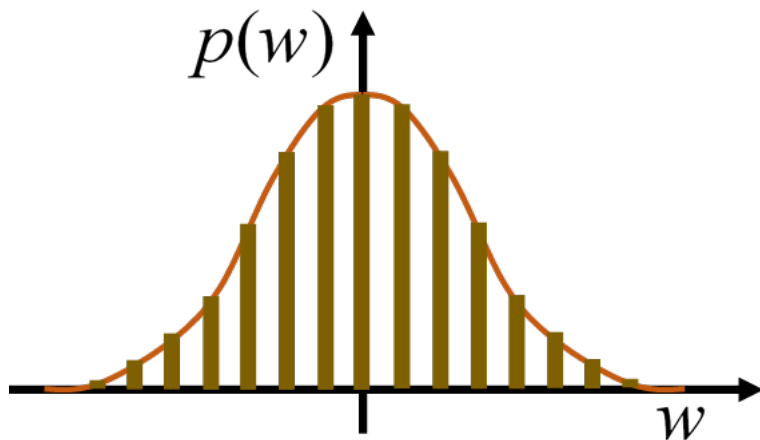
2. 確率最適制御問題

◆ 不確定パラメータの離散化

$$J = \int_0^T \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} L(x, u, t, p(w)) dw \right\} dt$$



$$J = \int_0^T \left\{ \sum_{k=-N}^N \{ L(x, u, t, w_k) p(w_k) \Delta w \} \right\} dt$$



多数(2N+1)のモデルを同時に扱う最適化を行う



【欠点】最適化計算が膨大となり非実用的

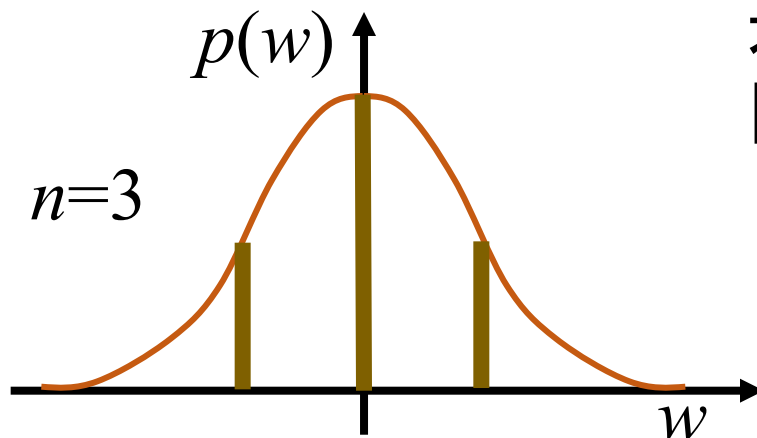
2. 確率最適制御問題

◆ 少ないモデルによる近似

$$J = \int_0^T \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} L(x, u, t, p(w)) dw \right\} dt$$



$$J = \int_0^T \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ L(x, u, t, w_i) \underline{\rho(w_i)} \right\} \right\} dt$$



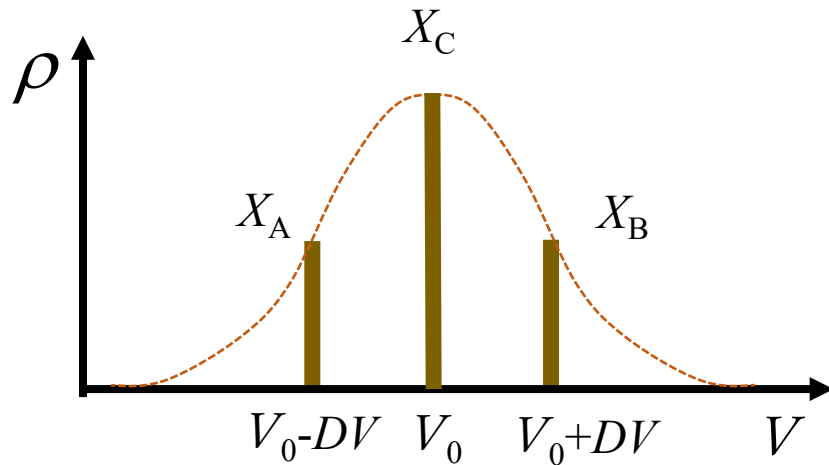
速度の異なる3機に対して
同時に上昇軌道の最適化

【課題】

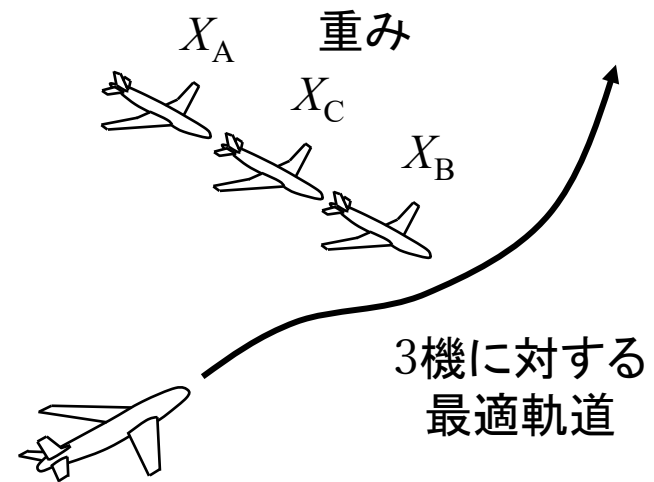
- 分布(w_i)をどう選ぶ
- 重み(ρ)をどう選ぶ

2. 確率最適制御問題

◆モデルの設定

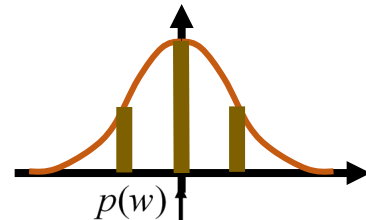


◆最適軌道の設計



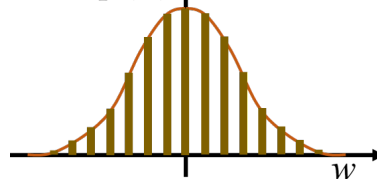
◆評価（得られた最適軌道を用いて評価値の比較）

離散評価



$$J = \int_0^T \left\{ \sum_{i=1}^n \{L(x, u, t, w_i) \rho(w_i)\} \right\} dt$$

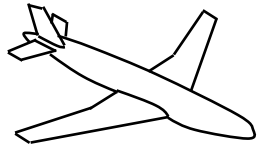
連続評価



$$J = \int_0^T \left\{ \sum_{k=-N}^N \{L(x, u, t, w_k) p(w_k) \Delta w\} \right\} dt$$

3. 設計結果

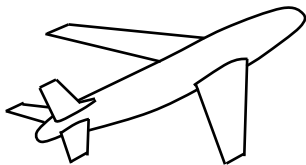
◆シミュレーション条件



降下機(直進飛行)

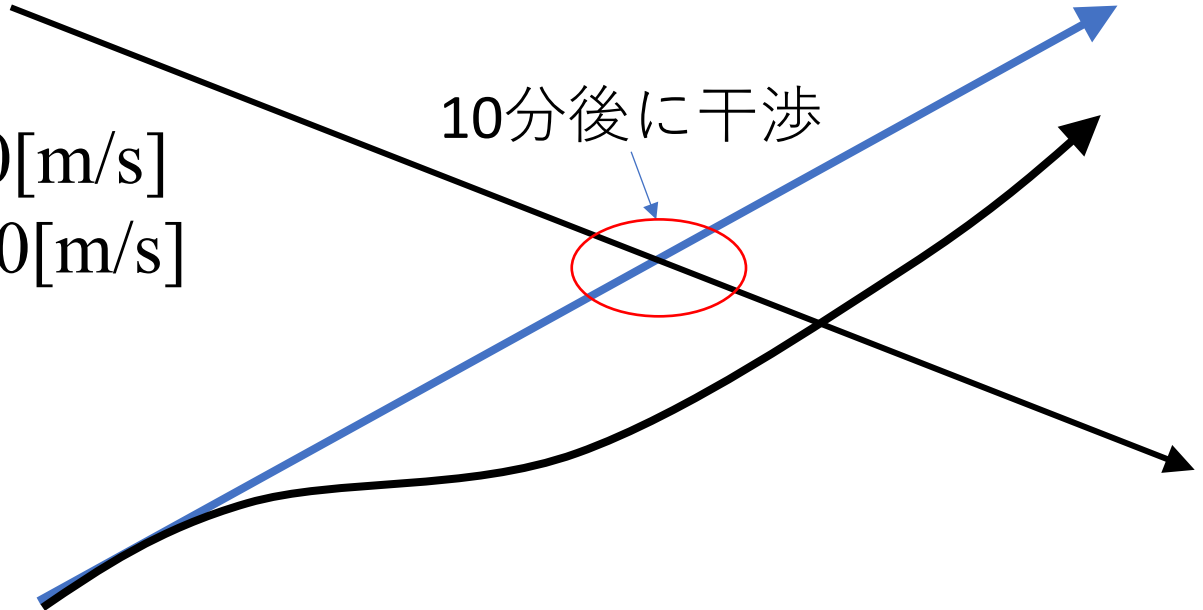
平均 $V_0=240$ [m/s]
標準偏差 4.0[m/s]

10分後に干渉



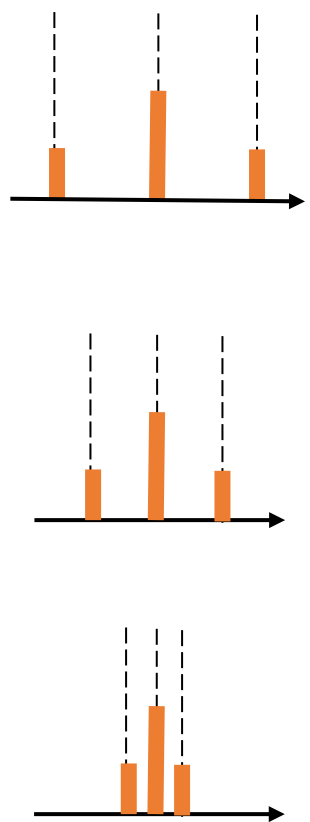
上昇機(最適回避)

初速 $V_0=240$ [m/s]

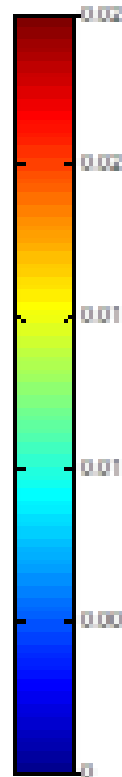
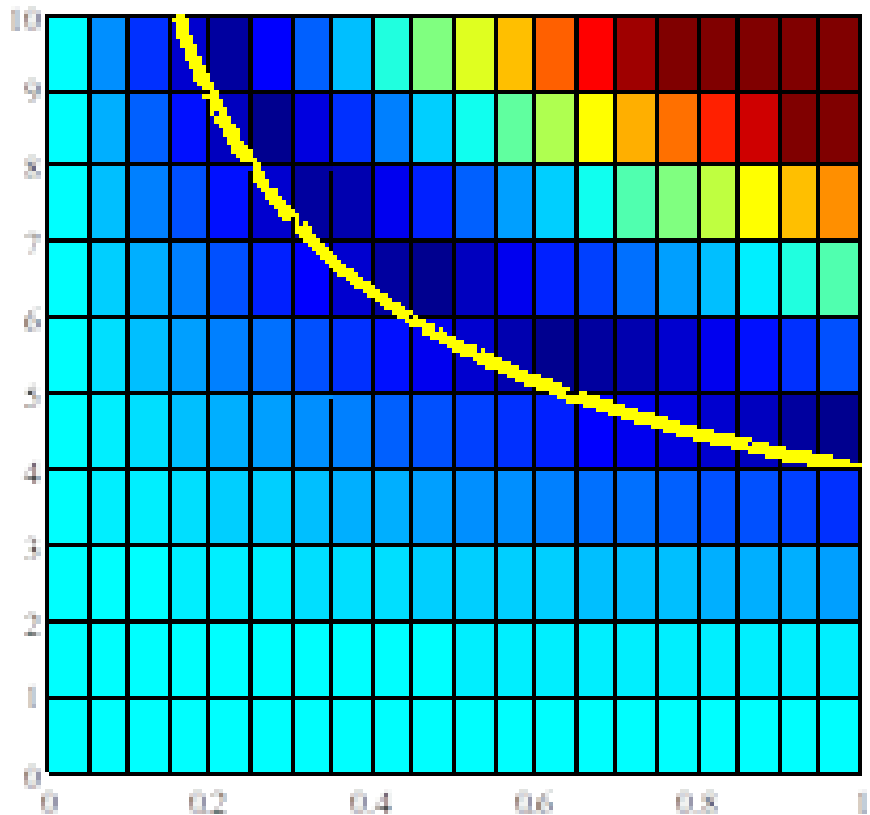


3. 設計結果

標準偏差 4.0[m/s]



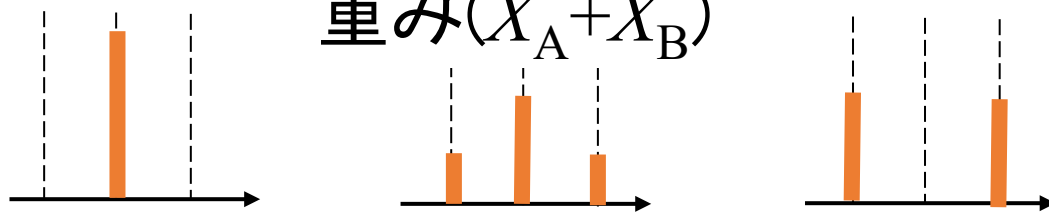
分布(DV)



評価(離散評価—連続評価)

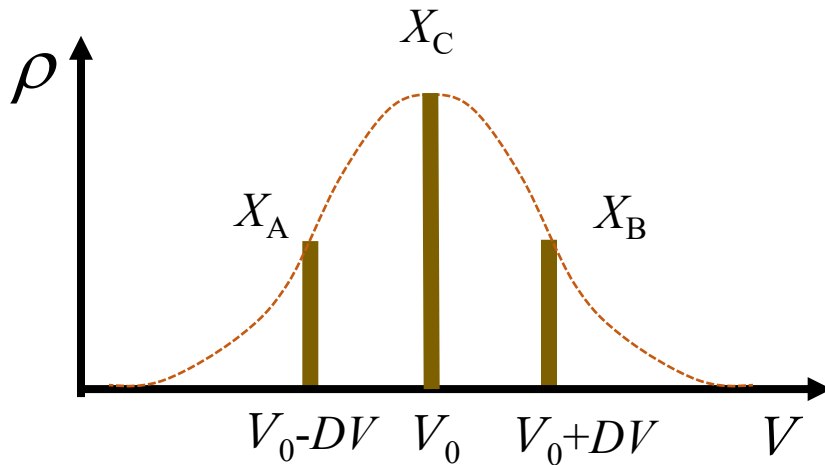
良 ↔ 悪

重み($X_A + X_B$)

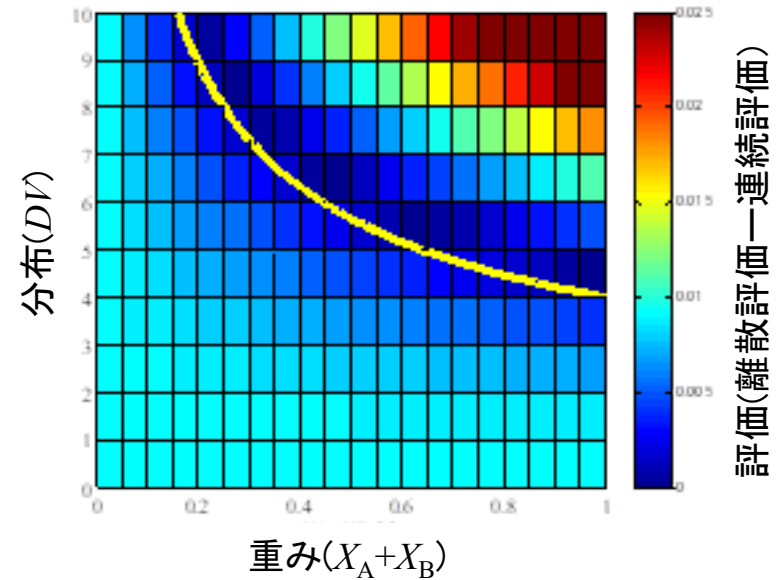


3. 設計結果 (黄色の線)

◆3機モデル標準偏差



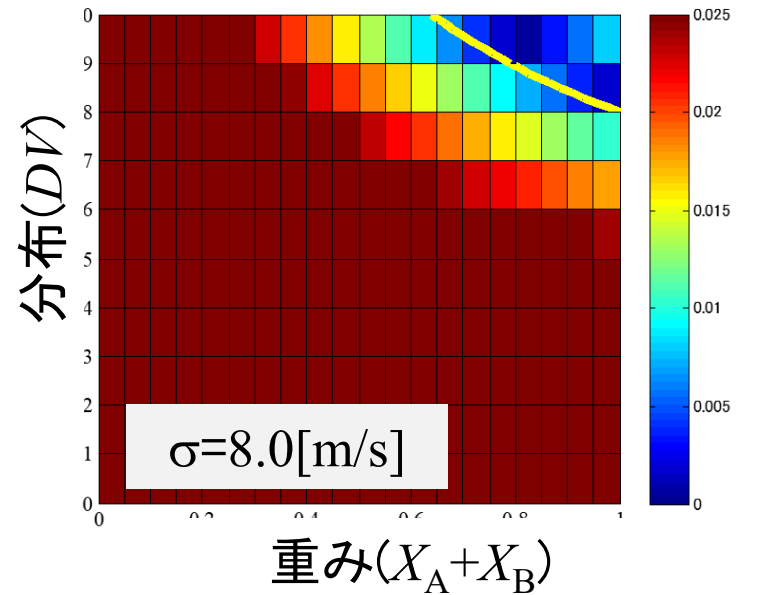
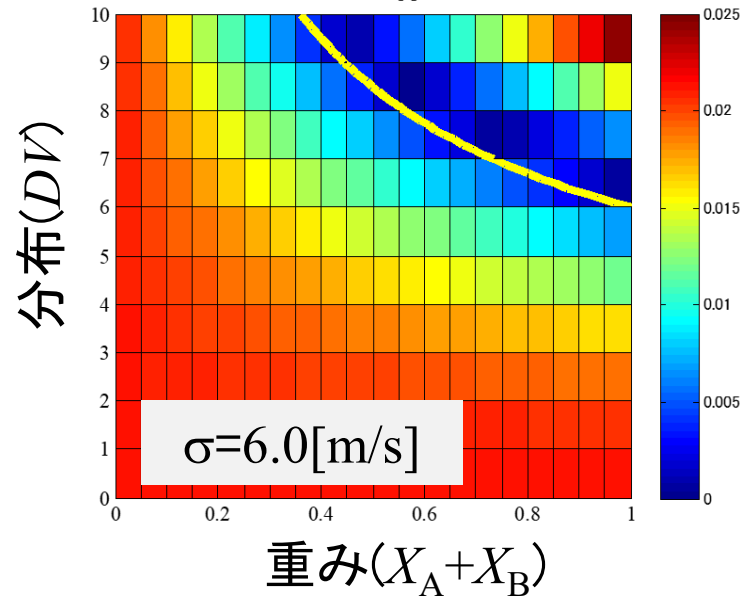
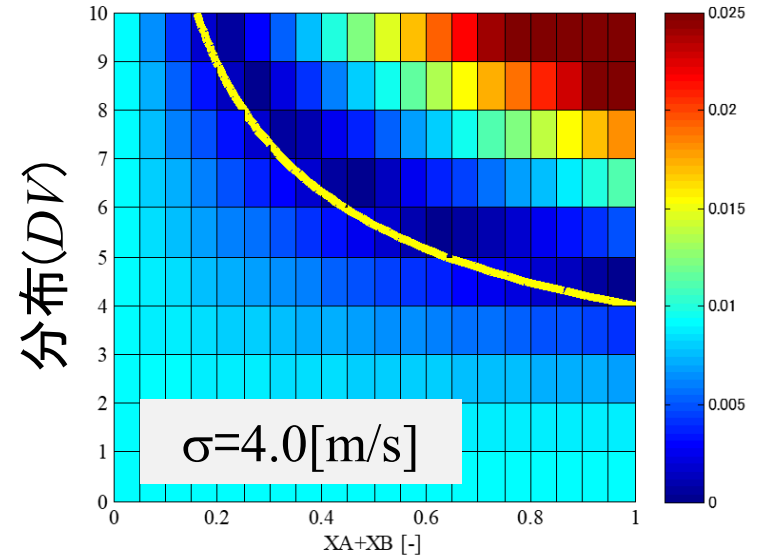
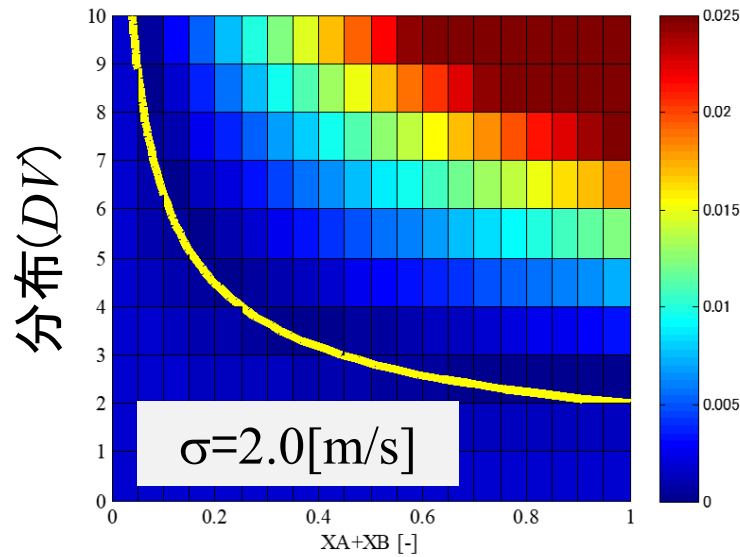
$$\sigma^2 = DV^2 (X_A + X_B)$$



黄色の線: 3機モデルの標準偏差と正規分布で与えた標準偏差が一致する点

3. 設計結果

標準偏差 2.0~8.0[m/s]の結果

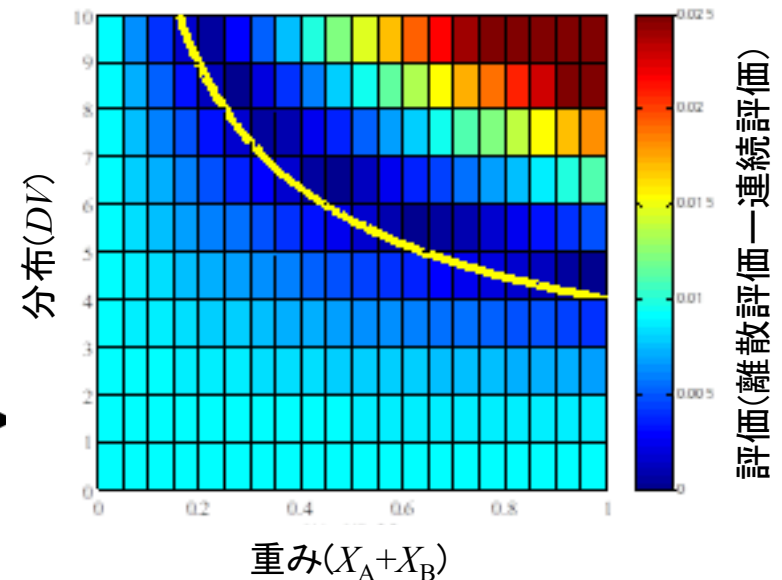
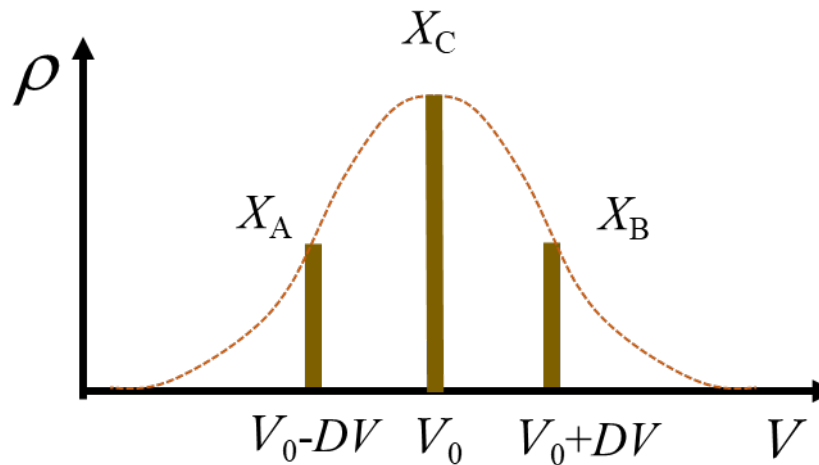


3. 設計結果

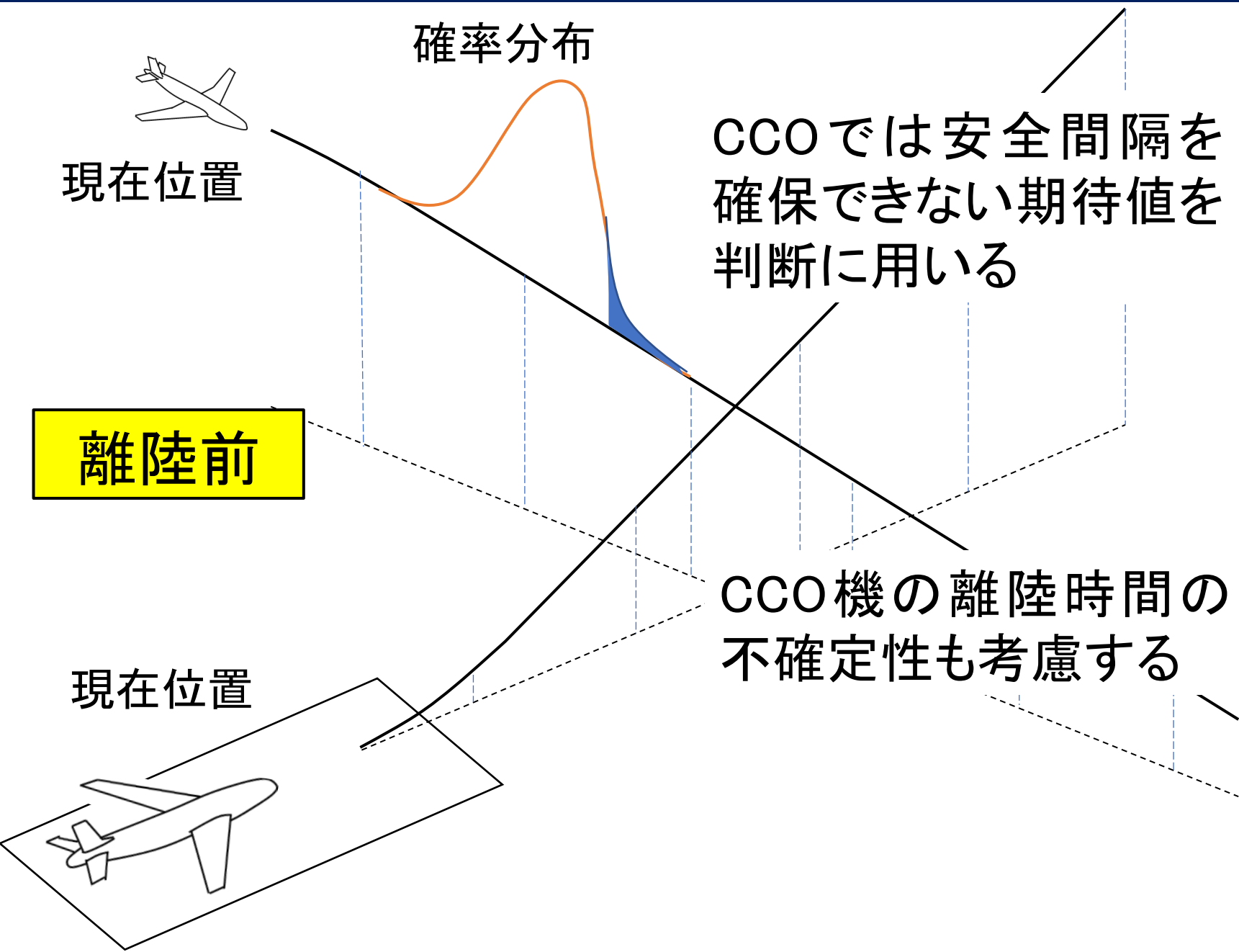
◆ 結論

確率分布を持つ相手機は3機のモデルで近似することができる。その3機の分布は標準偏差が実機の標準偏差と等しくなるように選ぶ。

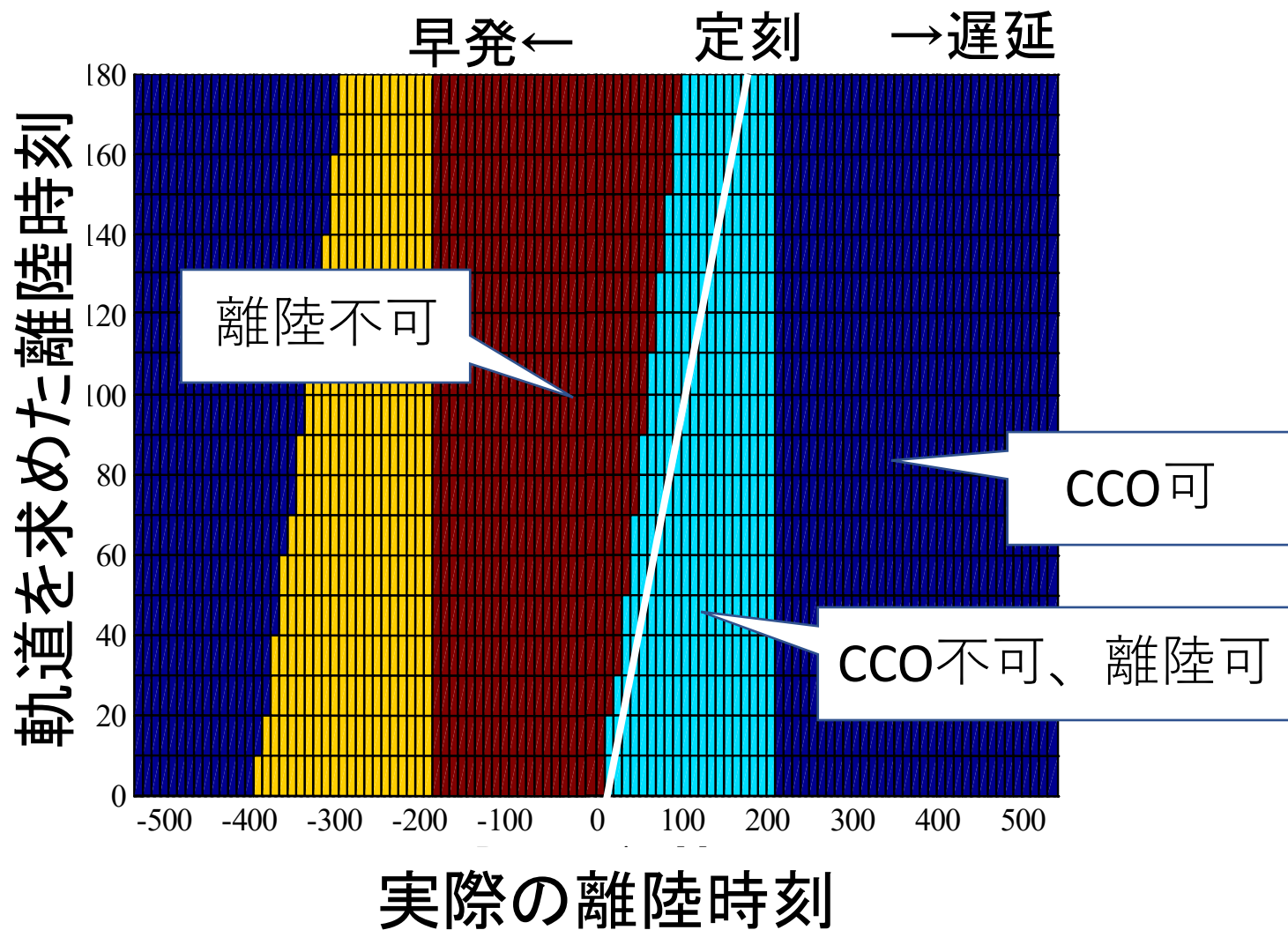
計算の収束性がよい重み/分布を選ぶとよい。



4. CCOの判定基準



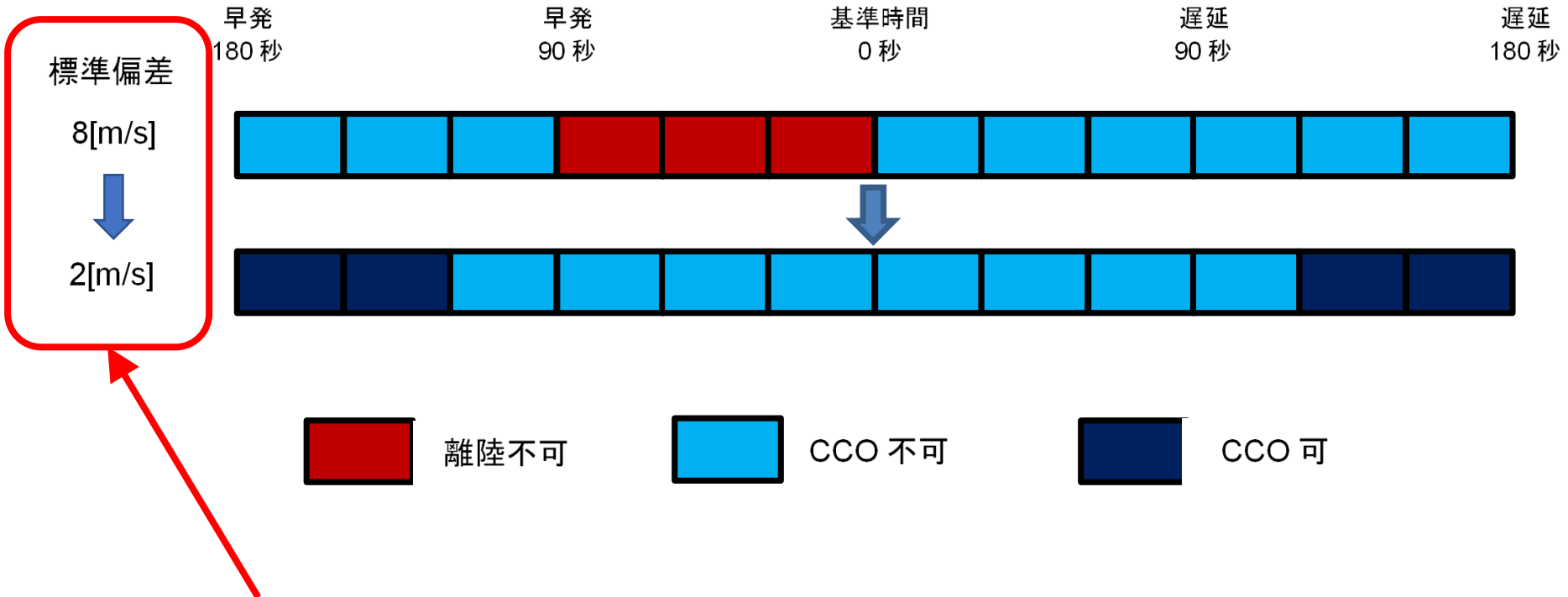
4. CCOの判断基準



※安全性が確保できない期待値が閾値を越えた時を不可とする

4. CCOの判断基準

実際の離陸時刻



相手機の接近に伴い、不確定性が低下し、
CCO可能な離陸時間帯が広がる

※安全性が確保できない期待値が閾値を越えた時を不可とする

5. まとめ

- ◆ 降下機との安全間隔を確保したCCO機の離陸可能性の判定に、不確定性を導入した。
- ◆ 少ない機数(3機)で相手機をモデル化し、上昇機の最適軌道を求めることを提案した。
- ◆ 降下機の不確定性の標準偏差と等しくなるモデル化が有効であることが示された。
- ◆ 降下機ならびに上昇機の不確定性を考慮することでCCOの判断ができることを示した。

謝辞

本研究の機会をいただいた電子航法研究所殿に謝意を表す。