

第2回 空戦AIチャレンジ 問題設定の概要説明

主催



防衛装備庁

委託



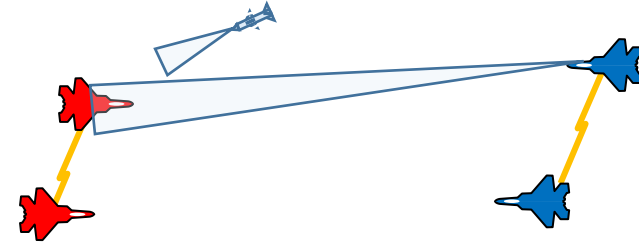
SIGNATE
Empowering Your Potential

戦闘場面の定義

以降、水色の文字で示す値は自由に設定可能なものであり、その基準値（評価用の値）は本資料の末尾に示すとおり

【戦闘場面】

戦闘機編隊どうしがお互いに目視できない遠方においてレーダーで相手を追尾しつつ、中距離空対空誘導弾を射撃しあうことにより行われる戦闘



【初期条件】

- 速度 : V_{init}
- 針路 : 各陣営の進攻方向正面
- 高度 : h_{init}
- 東西位置 : 各防衛ライン上
- 南北位置 : 中心から南北に $\pm D_{init}$ の範囲内でランダム

$2 \times D_{line}$

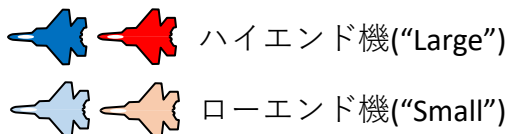
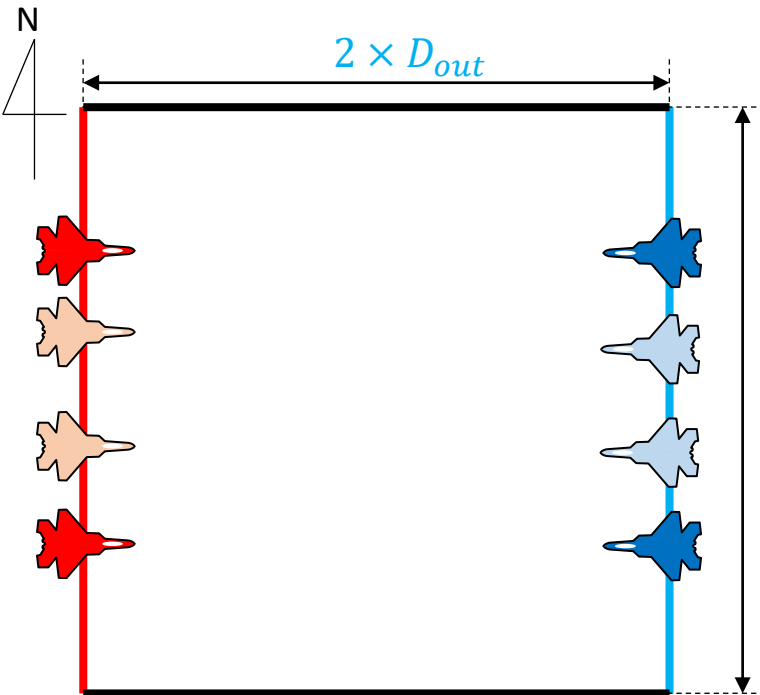
使うかどうか、どう使うかは
各参加者の裁量による

【A I が使える主な観測情報】

- ・自分と味方の機体諸元（位置、速度、残弾数、残燃料）
- ・自分と味方の誘導弾諸元（位置、速度、目標ID、誘導状態）
- ・レーダーで捉えている相手の機体諸元（位置と速度のみ）
- ・MWSが捉えている相手の誘導弾諸元（方向のみ）

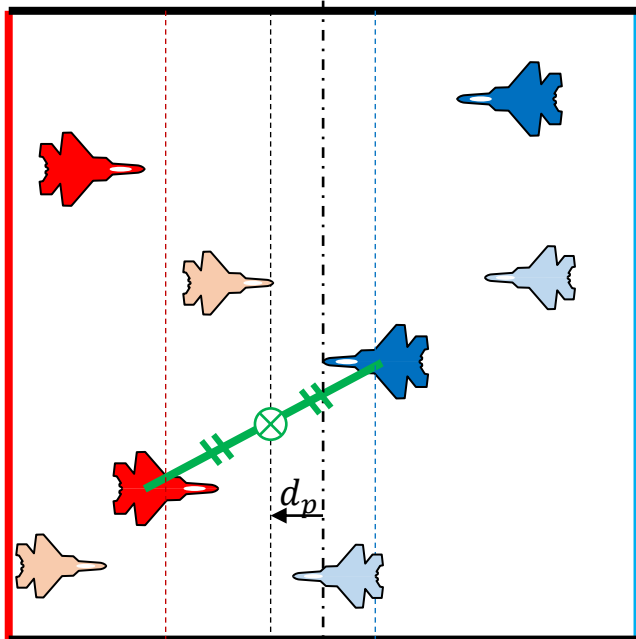
【行動判断の周期】

- ・シミュレーションの1tickは0.05秒
- ・A I の行動判断周期は1.0秒(=20tick)



勝敗に関するルール

戦域中心線



【終了条件】

- (1) いずれかの陣営が全滅（被撃墜または墜落）し、かつ以後の撃墜の可能性が消滅したとき
- (2) 戦闘開始から t_{min} が経過した以降において、全機が各々の防衛ラインより後方まで下がった時
- (3) 制限時間 t_{max} が経過したとき
- (4) いずれかの陣営の得点が p_{Disq} 点以下となったとき

終了条件を満たしたときの得点が高い陣営を勝者とする

【得点計算】

- (a) 相手のハイエンド機を1機撃墜するごとに $+p_{Hit, Large}$ 点、ローエンド機を1機撃墜するごとに $+p_{Hit, Small}$ 点
- (b) 終了条件(1)を満たしたとき、未突破の陣営に「そこから突破して更に帰還可能な」ハイエンド機が存在している場合、 $+p_{Break}$ 点(妨害を受けずに突破できるとみなせるため)
- (c) ハイエンド機が防衛ラインを突破したとき、 $+p_{Break}$ 点
- (d) ペナルティとして、随時以下の減点を与える
 - ・ 墜落（地面に激突等）したとき、ハイエンド機は $-p_{Crash, Large}$ 点、ローエンド機は $-p_{Crash, Small}$ 点
 - ・ 南北方向の場外に出ているとき、 $-p_{Out}$ 点/(km・秒)

(補足) 残燃料による帰還可否の判定について

- ・ 防衛ラインまでの進出、防衛ラインからの帰投それぞれに全燃料の25%を消費するものとする。
- ・ 終了時の残燃料が所要量を上回っていれば帰還可、下回っていれば帰還不可とする。
- ・ 所要量は、全燃料の25% + $1.1 \times$ 「終了時の位置から最小燃費での巡航で自陣防衛ラインへの到達に必要な量」とする。
- ・ 帰還不可の場合、墜落と同等のペナルティを与える。
- ・ なお、基準モデルにおいて最小燃費となるのは高度9,000m、速度250m/s付近(推力は約42%Military)である。

機体モデル(本体)

● 運動・制御モデル

①運動モデル

- ・ 空力、重力、推力は、公刊文献から得られるF-16相当の性能値を使用
- ・ より現実に近い挙動とするため、いわゆる6自由度のフルモデルとする
(機体の操作はラダー、エルロン、エレベータといった舵面となる)
- ・ 燃料の消費は[AFCEC 13]に記載されているIdle,Military,Max ABそれぞれの条件におけるfuel flow rateの値を直接用いて線形補間する。

[Stevens 15] Stevens, Brian L., et al. "Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Controls Design, and Autonomous Systems." John Wiley & Sons, 2015.

[Krus 19] Krus, Petter, and Abdallah, Alvaro. "Modelling of Transonic and Supersonic Aerodynamics for Conceptual Design and Flight Simulation." Proceedings of the 10th Aerospace Technology Congress, 2019.

[Hendrick 08] Hendrick, P., Bourdiaudhy, K., and Herbiet, J. F. "A Flight Thrust Deck for the F100 Turbofan of the F-16 Aircraft." 26th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), 2008.

[Webb 77] Webb, T. S., Kent, D. R., and Webb, J. B. "Correlation of F-16 aerodynamics and performance predictions with early flight test results." Agard Conference Proceedings. N 242, 1977.

[AFCEC 13] Air Force Civil Engineer Center. "Air Emission Guide for Air Force Mobile Sources." Air Force Civil Engineer Center, 2013.

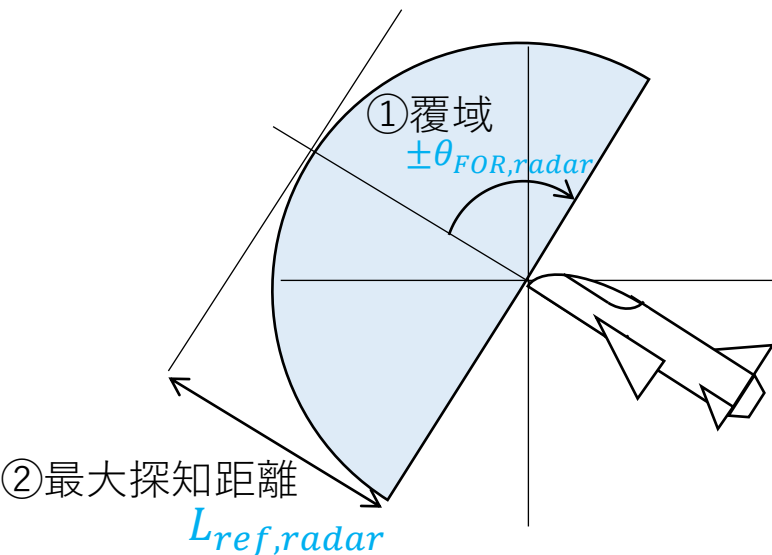
②制御モデル

- ・ AIに舵面を直接操作させるのは難易度が高いため、AIには「飛びたい速さ」と「飛びたい方向」を出力させ、簡易な飛行制御則によってこの出力に従うように飛行させるものとする
- ・ ただし、直接操作することを妨げるものではない(飛行制御則の改変も許容する)

機体モデル(ペイロード)

● センサ(レーダ)モデル

- ・ ①覆域、②探知距離の2つの値で性能を表現
- ・ 戦闘が成立するように「キリのよい値」を設定
- ・ 誤警報・誤相関は発生させない
= 見えたら本物で、必ず識別できる
- ・ 探知誤差は発生させない
- ・ 探知範囲内ならば必ず探知できる
- ・ A W A C S、地上レーダはなし



● データリンクモデル

一切の制約なく完全な情報共有を可能

- ・ 遅延、切断は発生しない
- ・ 通信可能距離の制限もなし
- ・ 情報量の制限もなし

● 武装モデル

- ・ 誘導弾は1機あたり N_{msl} 発(ハイエンド機のみ)
- ・ A I は「射撃有無」と「目標ID(1機)」を出力
- ・ 人間による承認を模した遅延時間として
射撃操作から発射までに $\Delta t_{h,delay}$ 秒の遅延

誘導弾モデル(本体)

● 運動・制御モデル

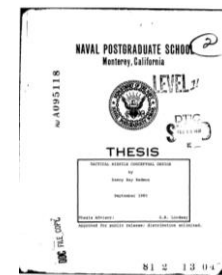
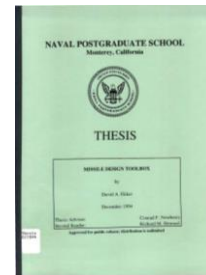
①運動モデル

- ・空力、推力は、米海軍大学院(Naval Postgraduate School)の論文として公開されているもの(AMRAAM相当)を使用
- ・回転については、迎角 α と舵角 δ を瞬時に操作できるものとする

参考文献

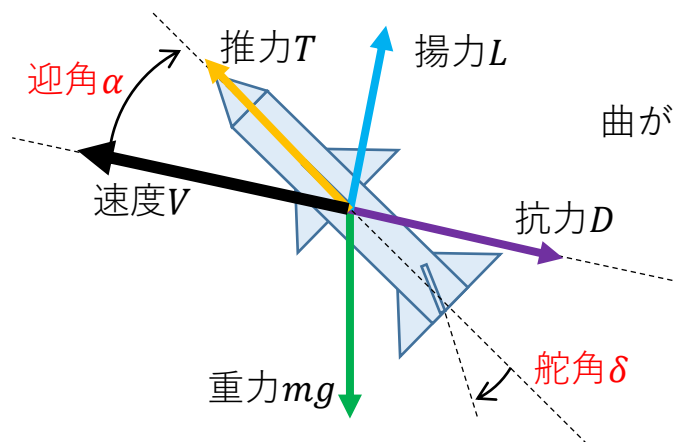
[Ekker 94] Ekker, David A. Missile Design Toolbox. Diss. Monterey, California. Naval Postgraduate School, 1994.

[Redmon 80] Redmon, Danny Ray. Tactical Missile Conceptual Design. Naval Postgraduate School Monterey CA, 1980.



②制御モデル

- ・ロフト飛行はせず、単純な比例制御で旋回

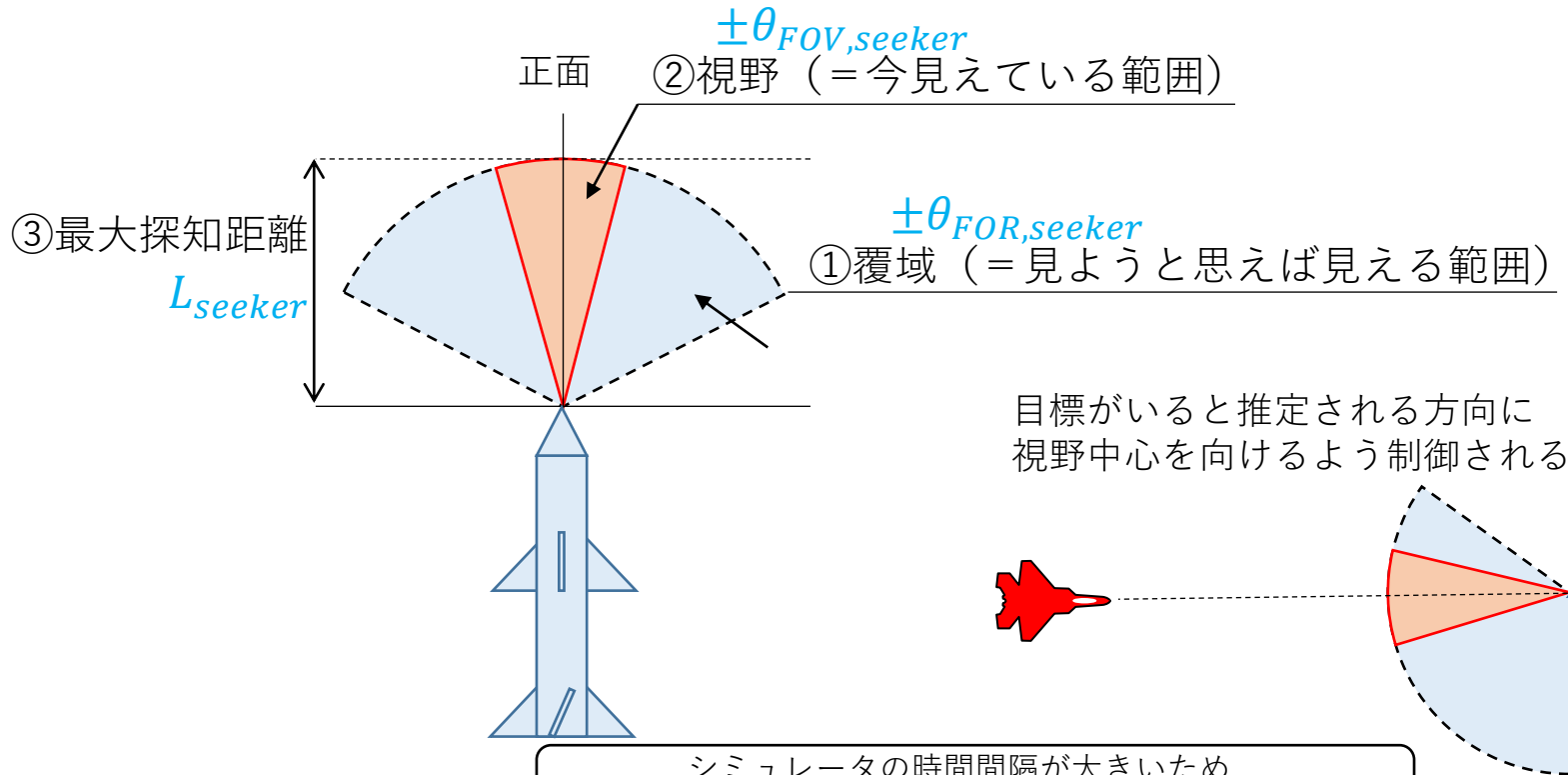


曲がるために必要な力から α (と δ)を逆算する

誘導弾モデル(ペイロード)

● センサ(シーカ)モデル

- ・ ①覆域、②視野、③探知距離の3つの値で性能を表現
- ・ 戦闘が成立するように「キリのよい値」を設定
- ・ 範囲内に目標が存在した場合は必ず真の諸元を取得可能
- ・ シーカで目標を捉えると、相手のMWSに検出される



● 弾頭モデル

シミュレータの時間間隔が大きいので、「すり抜け」が発生しないように大きめの値とする

- ・ 目標から d_{hit} 以内に接近したら命中、撃墜とする

基準値の一覧(本資料中に登場したもののみ)

| 大項目 | 小項目 | 本資料中の変数名 | 値 | 単位 | 備考 |
|--------|---------------|------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 戦域の広さ | 南北 | D_{out} | 75,000 | m | |
| | 東西 | D_{line} | 100,000 | m | |
| 初期速度 | 速さ | V_{init} | 300 | m/s | |
| | 向き(針路) | — | 270(青側) 90(赤側) | deg | 真北が0、東側が正 |
| 初期位置 | 高度 | h_{init} | 10,000 | m | |
| | 東西 | — | 100,000 | m | それぞれの防衛ライン上 |
| | 南北 | D_{init} | 20,000 | m | 範囲内でランダム |
| 得点計算 | 最大戦闘時間 | t_{max} | 2,400 | s | |
| | 最小打ち切り時間 | t_{min} | 300 | s | 全機帰投した場合 |
| | 失格となる点数 | p_{Disq} | -10 | | |
| | 撃墜の加点 | $p_{Hit, Large}$ | 0.5 | | 墜落や帰還不可による自滅は撃墜の2倍の重みとする |
| | | $p_{Hit, Small}$ | 0.25 | | |
| | 墜落や帰還不可のペナルティ | $p_{Crash, Large}$ | 1.0 | | |
| | | $p_{Crash, Small}$ | 0.5 | | |
| | 防衛ライン突破時の加点 | p_{Break} | 1.5 | | |
| | 場外のペナルティ | p_{Out} | 0.01 | $(\text{km} \cdot \text{s})^{-1}$ | |
| 機体モデル | 覆域 | $\theta_{FOR, radar}$ | 90 | deg | |
| | 探知距離 | $L_{ref, radar}$ | 100,000 | m | |
| | 搭載弾数 | N_{msl} | 10 | 発 | |
| | 射撃遅延時間 | $\Delta t_{h, delay}$ | 3 | s | |
| 誘導弾モデル | 覆域 | $\theta_{FOR, seeker}$ | 60 | deg | |
| | 視野 | $\theta_{FOV, seeker}$ | 15 | deg | |
| | 探知距離 | L_{seeker} | 10,000 | m | |
| | 命中判定距離 | d_{hit} | 300 | m | |