

# 空戦 AI チャレンジ

## 初期行動判断モデル内容説明

主催



防衛装備庁

委託

Nishika 株式会社  
**Nishika**

## 目次

1 初期行動判断モデル .....	2
1.1 航跡に対する付帯情報 .....	2
1.2 目標選択 .....	3
1.3 行動の種類 .....	4
1.4 (s1)通常時の行動 .....	4
1.5 (a1)射撃 .....	5
1.6 (s2)離脱 .....	6
1.7 (s3)回避 .....	6
1.8 針路の補正 .....	7
1.9 目標進行方向及び目標速度の計算方法 .....	8
1.9.1 方向指示 .....	8
1.9.2 速度指示 .....	8

# 1 初期行動判断モデル

本シミュレータは簡易なルールベースによる初期行動判断モデルを R3InitialFighterAgent01 クラスとして提供している。本項ではその行動判断要領及び設定パラメータを示す。

## 1.1 航跡に対する付帯情報

初期行動判断モデルでは、自編隊センサから得ていた航跡情報をそのまま用いるのではなく、以下の情報を付帯情報として付与して行動判断を行う。設定パラメータは表 1.1-1 の通りである。

- (1) センサが失探した瞬間に何もできなくなならないように、失探後も更に  $t_{memory}$  秒間メモリトラックによって航跡を保持する。
- (2) 以下の2種類の射程を計算する。彼我ともに同じ性能と仮定し、彼我ともに直ちに水平飛行に移行して等速直線運動を行った場合の射程である。
  - (a)  $R_{head}$ ・・・目標が直ちに自機を正面に向けて飛んだ場合の最大射程。
  - (b)  $R_{tail}$ ・・・目標が直ちに自機に背を向けて飛んだ場合の最大射程。

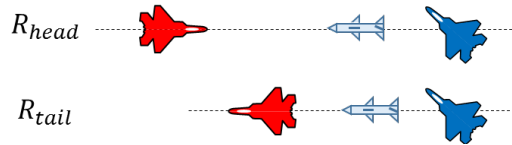


図 1.1-1 各射程の概念図

- (3) 目標に対する各機のセンシング状況を以下の3種類に分類する。
  - (a) OUTSIDE・・・基準探知距離、基準探知角範囲の外に存在する場合。
  - (b) INSIDE・・・基準探知距離から  $L_{limit}[m]$ 、以上内側かつ覆域端から  $\theta_{limit}[deg]$  以上内側に存在する場合であって、自身が回避中でも離脱中でもない場合。
  - (c) LIMIT・・・OUTSIDE と INSIDE の中間に存在する場合。

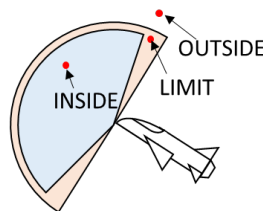


図 1.1-2 センシング状況の分類

- (4) 自編隊のどの機体によって探知された航跡なのかを識別するため、航跡供給元の機体名の情報を保持する。

表 1.1-1 航跡の付帯情報を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中の記号	基準値	単位
tMaxMemory	独自メモリトラックの秒数。	$t_{memory}$	10	s
sensorInRangeLimit	センシング状況を INSIDE と判定するための距離。 センサの基準探知距離 $L_{ref,radar}$ からどれだけ内側かという形式で指定する。	$L_{margin}$	10,000	m
sensorInCoverageLimit	センシング状況を INSIDE と判定するための角度。 覆域端からどれだけ内側かという形式で指定する。	$\theta_{margin}$	5	deg

また、これらの付帯情報を付加した航跡を json 化する際に「空戦 AI チャレンジ\_コンペ内容説明\_minimum.pdf」 1. 5 項の情報に加えて下表の値が追加される。

表 1.1 – 2 航跡の付帯情報の json 表現

キー名	本文中の記号	型	概要
idx		int	対応する元の航跡のリストインデックス
distance		double	自機との距離
myRHead	$R_{head}$	double	自機からこの航跡へ射撃する際の $R_{head}$
myRTail	$R_{head}$	double	自機からこの航跡へ射撃する際の $R_{tail}$
hisRHead	$R_{tail}$	double	この目標から自機へ射撃する際の $R_{head}$
hisRTail	$R_{tail}$	double	この目標から自機へ射撃する際の $R_{tail}$
inOurSensor		string	自編隊によるセンシング状況 INSIDE・・・少なくとも1機によるセンシング状況が INSIDE OUTSIDE・・・全ての機体によるセンシング状況が OUTSIDE LIMIT・・・上記以外
inMySensor		string	自機によるセンシング状況。1. 1 項(3)の通り。
numTracker		unsigned int	この目標を感知できている機体の数
numTrackerLimit		unsigned int	この目標を LIMIT の状態で感知している機体の数
trackers		array(string)	この目標を感知できている機体名のリスト
limitTrackers		array(string)	この目標を LIMIT の状態で感知している機体の数
nonLimitTrackers		array(string)	この目標を INSIDE の状態で感知している機体の数
state		string	この目標の更新状況。 TRACK・・・少なくとも1機が感知しており、その情報で更新中 MEMORY・・・メモリトラックによる外挿中 LOST・・・メモリトラックの継続時間上限に達した
memoryStartTime		double	メモリトラックを開始した時刻

## 1.2 目標選択

本モデルは最低限の見方との連携を実現するために、行動の対象を主目標と副目標に分けて考える。主目標は接近や射撃等の対象であり、各機1機のみを選ぶ。副目標はなるべく感知できるように心がける対象であり、味方の主目標と、誘導弾が飛翔中の目標を指すものとする。主目標の選択要領は以下の通りとし、設定パラメータは表 1. 2–1 の通りとする。

- (1) 主目標の候補は、自編隊センサで得ている全航跡と、メモリトラック中の副目標とする。
- (2) 対象が自陣に十分近い、敵陣側扇形範囲内に対象を捉えている味方がいない、のいずれかを満たす候補が存在した場合、その候補を突破阻止対象として扱い、主目標が未割当の味方のうちその候補に最も近い味方の主目標として割り当てる。
- (3) 突破阻止対象を割り当てられなかった機体はそれぞれ自身から距離が最も近い候補を主目標として選択する。

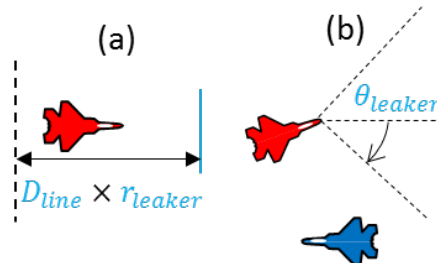


図 1.2 – 1 突破阻止対象の判定(a…距離による判定、b…角度による判定)

表 1.2 – 1 目標選択を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中の記号	基準値	単位
dPrioritizedAimLeaker	相手を Leaker と判定する、自陣からの距離。Ruler の $D_{line}$ に対する比で表す。	$r_{leaker}$	0.1	—
thetaPrioritizedAimLeaker	相手を Leaker と判定する、扇形範囲の中心角。	$\theta_{leaker}$	45	deg

### 1.3 行動の種類

初期行動判断モデルは、表 1.3-1 の 5 種類の state 間を遷移しながら行動を決定していく。これらの state に離散的なイベントである射撃を加えた 6 種類の状態の遷移が本モデルの基本的な振る舞いであり、その概要を図示すると図 1.3-1 のようになる。

表 1.3-1 初期行動判断モデルの状態

変数 state の値	本書での表現	概要
ADVANCE	前進	敵陣側へまっすぐ前進する。副目標を捉えるために少し方位をずらすこともある。
APPROACH_TARGET	接近	主目標の存在する方位に向かって進む。副目標を捉えるために少し方位をずらすこともある。
KEEP_SENSING	横行	主目標を覆域端に捉えるように飛行する。副目標を捉えるために少し方位をずらすこともある。
WITHDRAW	離脱	トリガーとなった彼機から離れるように離脱する。
EVADE	回避	検知した誘導弾に背を向けてダイブし、回避を試みる。

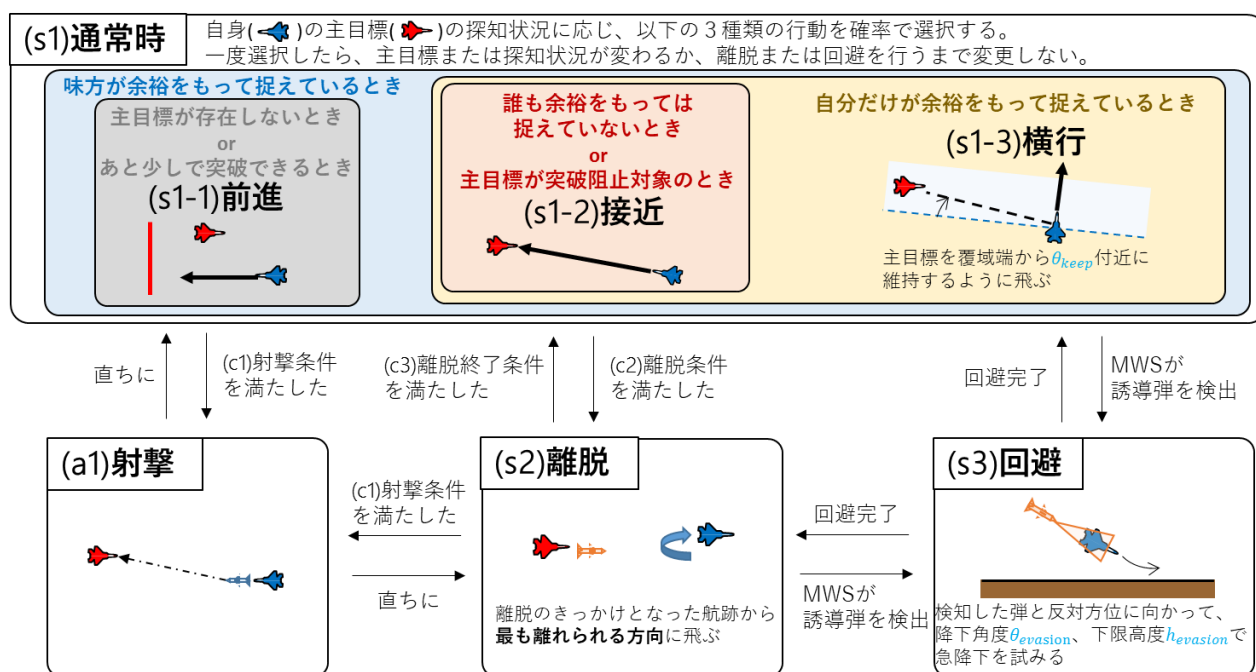


図 1.3-1 基本となる状態遷移

### 1.4 (s1)通常時の行動

回避や離脱を行っていない「(s1)通常時」の行動については、以下のフローに従って選択するものとする。

- (1) 見えている彼機が存在しない、自身が彼防衛ラインに近い、自身から見て彼防衛ライン側扇形範囲内に彼機が存在しない、のいずれかを満たす場合、必ず「前進」とする。
- (2) 自身の主目標が突破阻止対象であるとき、必ず「接近」とする。
- (3) 自身の主目標を味方が余裕をもって捉えているとき、確率で「前進」「接近」「横行」から選択する。
- (4) 自身の主目標を味方が余裕をもって捉えてはおらず、自身でも余裕をもって捉えていないとき、必ず「接近」とする。
- (5) 自身の主目標を味方が余裕をもって捉えてはおらず、自身は余裕をもって捉えているとき、確率で「接近」「横行」から選択する。

上記フローを図示すると図 1.4-1 のようになり、設定可能なパラメータは表 1.4-1 の通りである。

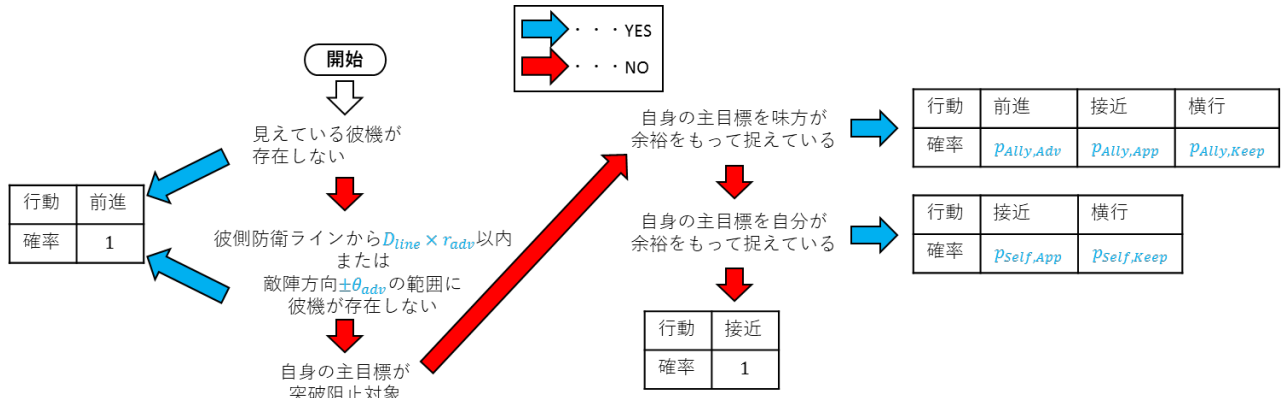


図 1.4-1 通常時の行動選択フロー

表 1.4-1 通常時の行動を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中 の記号	基準値	単位
dPrioritizedAdvance	前進を優先する、敵陣からの距離。Ruler の dLine に対する比で表す。	$r_{adv}$	0.1	—
thetaPrioritizedAdvance	前進を優先する、扇形範囲の中心角。	$\theta_{adv}$	45	deg
pAdvanceAlly	条件(3)において「前進」を選ぶ重み。	$p_{Ally,Adv}$	60	
pApproachAlly	条件(3)において「接近」を選ぶ重み。	$p_{Ally,App}$	30	
pKeepSensingAlly	条件(3)において「横行」を選ぶ重み。	$p_{Ally,Keep}$	10	
pApproachMySelf	条件(5)において「接近」を選ぶ重み。	$p_{Self,App}$	30	
pKeepSensingMySelf	条件(5)において「横行」を選ぶ重み。	$p_{Self,Keep}$	70	
thetaKeepSensing	「横行」時に主目標を捉えようとする覆域端からの角度。	$\theta_{keep}$	10	deg

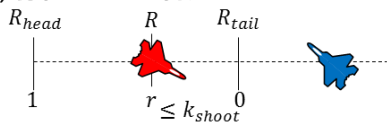
## 1.5 (a1)射撃

初期行動判断モデルは、自機が射撃可能な状態(弾切れでなく、人間介入モデルに射撃出力を処理する余力があること)であるときに(1)～(3)の射撃条件を全て満たす航跡がある場合に、射撃を試みるものとする。

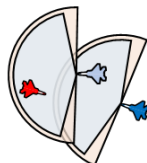
- (1) その航跡との距離を、 $R_{tail}$ を0、 $R_{head}$ を1として線形変換した値 $r$ が $r < k_{shoot}$ 以下であること。
- (2) その航跡を自編隊のうち1機以上が余裕をもって捉えていること。
- (3) 自身がその航跡に対して射撃した誘導弾のうち飛翔中のものが $N_{simul}$ 発以下であること。

射撃条件を満たした航跡が複数存在した場合は、条件(1)における $r$ が最も小さい航跡を射撃対象として選択する。各射撃条件のイメージは図 1.5-1 の通りであり、設定パラメータは表 1.5-1 の通りである。

(1)射程による判定



(2)探知状況による判定



(3)射撃状況による判定

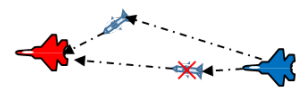


図 1.5-1 各射撃条件のイメージ

表 1.5-1 射撃を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中 の記号	基準値	単位
kShoot	その航跡が射程内であると判定する閾値	$k_{shoot}$	0.45	
nMslSimul	1 航跡に対する同時射撃数の上限	$N_{simul}$	1	

## 1.6 (s2)離脱

初期行動判断モデルは、自身が保持している全ての航跡を対象とし、彼側の $R_{tail}$ を0、 $R_{head}$ を1として線形変換した値 $r$ が $r < k_{break}$ 以下となった航跡が一つでも存在した場合、その航跡に背を向けられる方位に向けて離脱を行うものとする。複数の航跡が条件を満たしていた場合は、それらの間隔が最も広く空いている方位に向けて離脱を行うものとする。離脱の終了は、離脱条件を満たす航跡が存在しない状態が $t_{withdraw}$ 秒継続したときとする。

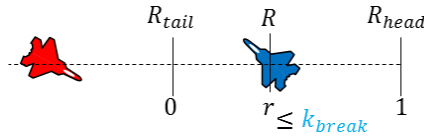


図 1.6-1 離脱条件のイメージ

表 1.6-1 離脱を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中 の記号	基準値	単位
kBreak	その航跡からの射程内であると判定する閾値	$k_{break}$	0.25	
tWithdraw	離脱条件を満たさなくなってから離脱を終了するまでの待機時間	$t_{withdraw}$	50	s

## 1.7 (s3)回避

初期行動判断モデルは、自機のMWSが誘導弾を検知している場合、最優先で回避を試みるものとする。回避は検知した弾と反対の方位に降下角度 $\theta_{evasion}$ 、下限高度 $h_{evasion}$ で全速力で降下することで行うものとし、複数の弾を検知している場合は検知リストの先頭にあるものを対象として回避する。

表 1.7-1 回避を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中 の記号	基準値	単位
thetaEvasion	回避時の降下角度	$\theta_{evasion}$	45	deg
hEvasion	回避時の下限高度	$h_{evasion}$	2000	m

## 1.8 針路の補正

初期行動判断モデルは、以上のロジックに従い行動を選択し、進行方向を計算するが、その他に以下の三つの要素を考慮して進行方向の補正を行うものとする。

### (1) 副目標の追尾

本来の針路から $\theta_{extra}$ 以内の変更によって自身が捉えられる副目標が増える場合、捉えられる副目標が最大となるように針路を補正するものとする。

### (2) 高度維持

回避中を除いて、 $\pm\theta_{stable}$ 以内のピッチ角で一定高度 $h_{normal}$ を維持しようと試みるものとする。

### (3) 場外の防止

南北方向の場外に出てしまうことを防ぐため、以下の三つの観点で補正を行うものとする。

(a) 南北方向の場外から内側に $d_{limit,dir}$ の位置より外側にいるとき、判定ラインを超過した距離に応じた補正量で外側への進行を制限する。

(b) 北方向の場外から内側に $d_{limit,keep}$ の位置より外側で横行機動を開始するときは、候補となる二つの進行方向のうち、戦域中心に近づく方を選択するものとする。

(c) 南北方向の場外から内側に $d_{limit,turn}$ の位置より外側にいるとき、目標針路への旋回は場外側に向かないような旋回軸で実施するものとする。

各針路補正のイメージは図 1.8-1 に示す通りであり、設定パラメータは表 1.8-1 の通りである。



図 1.8-1 各針路補正のイメージ

表 1.8-1 回避を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中の記号	基準値	単位
thetaModForSensing	副目標を追加で捉えるための補正角度の上限	$\theta_{extra}$	10	deg
thetaStable	高度維持のピッチ角制限	$\theta_{stable}$	15	deg
hNormal	高度維持の目標高度	$h_{normal}$	10,000	m
dOutLimit	場外防止のために進行方向を直接補正する判定ラインの場外からの距離	$d_{limit,dir}$	10,000	m
dOutLimitKeepSensing	場外防止のために横行機動の方向を制限する判定ラインの場外からの距離	$d_{limit,keep}$	20,000	m
dOutLimitTurnAcis	場外防止のために旋回軸を制限する判定ラインの場外からの距離	$d_{limit,turn}$	10,000	m



## 1.9 目標進行方向及び目標速度の計算方法

戦闘機モデルに対する制御出力は以下の要領で計算するものとする。なお、飛行制御モデルは「空戦 AI チャレンジ\_コンペ内容説明\_minimum.pdf」1. 3. 1. 4 項(2)の方向・速度指示モデルを使用するものとする。

### 1.9.1 方向指示

方向指示は、目標進行方向 $\mathbf{d}_d$ を与える「空戦 AI チャレンジ\_コンペ内容説明\_minimum.pdf」1. 3. 1. 4 項(2)(a-1)の方式を採用するが、前項までの各行動に応じて水平方向成分 $\mathbf{d}_{d,h}$ とピッチ角 $\theta_{d,v}$ (下向き正)を独立に計算し、

$$\mathbf{d}_d = \mathbf{d}_{d,h} \cos \theta_{d,v} + (0, 0, \sin \theta_{d,v})^T$$

とする。ただし、 $\mathbf{d}_{d,h}$ が現在の針路から $45^\circ$ 以上離れている場合、戦闘機への制御出力としては同じ方向に $45^\circ$ 回転させた方位を $\mathbf{d}_{d,h}$ として用いるものとする。

### 1.9.2 速度指示

速度指示は、通常時は目標加速度 $a_d = a_{nominal}$ で指定し、回避中は目標スロットルコマンド $p_{cmd} = 1$ として最大推力を指定するものとする。また、飛行速度が制限値 $V_{min}$ を下回った場合は $V_{recovery}$ 以上に回復するまでの間、通常時・回避中を問わず目標速度 $V_d = V_{recovery,dst}$ として指定するものとする。速度指示に関する設定パラメータは表 1.9-1 の通りである。

表 1.9-1 速度指示を特徴づけるパラメータ

変数名	意味	本文中 の記号	基準値	単位
nominalAccelCmd	通常時の目標加速度	$a_{nominal}$	2	m/s <sup>2</sup>
minimumV	速度回復を優先しはじめる速度	$V_{min}$	200	m/s
minimumRecoveryV	速度回復を終了する速度	$V_{recovery}$	220	m/s
minimumRecoveryDstV	速度回復中の目標速度	$V_{recovery,dst}$	250	m/s