

# 第3回空戦AIチャレンジ 基準モデルの簡易説明

主催



防衛装備庁

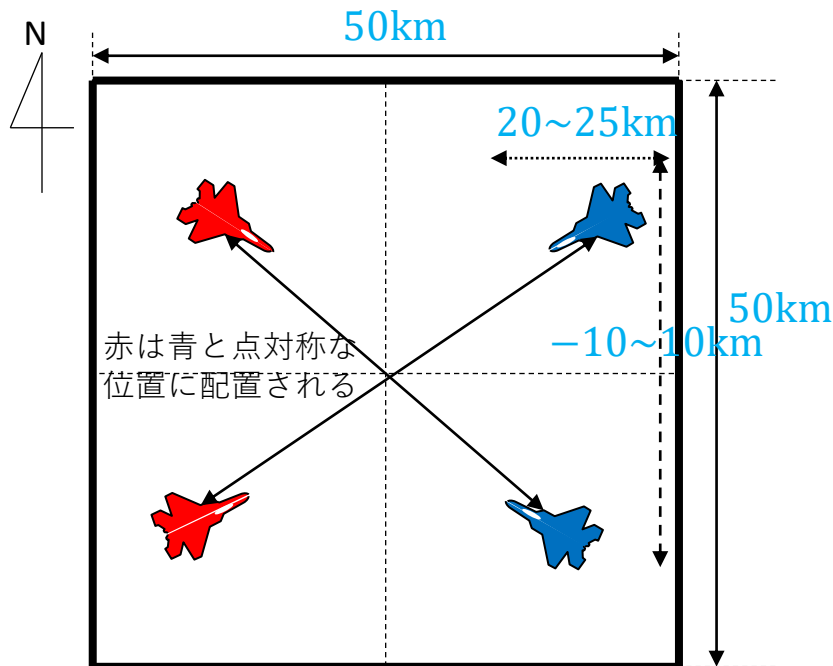
委託



**SIGNATE**  
Empowering Your Potential

# 戦闘場面定義

以降、水色の文字で示す値はユーザーが自由に設定可能なものであり、その基準値（評価用の値）は固定する(ただし初期条件は下記の範囲でランダムに決まる)。



## 【任務設定】

- ・単一機種の2対2による短距離誘導弾を用いた近距離戦闘とし、相手の全滅を目的とする

## 【終了条件】

以下の通りとし、終了時の得点が高い陣営を勝者とする

- (1)いずれかの陣営の機体が全滅し、かつ全滅した陣営の誘導弾が全て消滅したとき
- (2)制限時間300sが経過したとき
- (3)いずれかの陣営の得点が-10点以下となったとき

## 【得点計算】

- (a)相手を1機撃墜するごとに+1点
- (b)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）したとき-1点
  - ・南北方向の場外に出ているとき、-0.01点/(km・秒)

## 【その他の設定】

- ・短距離誘導弾はUTDC無し(戦闘機からの中間誘導無し)とし、シーカによる自力誘導とする
- ・短距離誘導弾は LOBL(射撃前ロックオン)とし、シーカ探知範囲内でのみ発射可能とする
- ・彼我の戦闘機の諸元は常時取得可能とする
- ・味方の誘導弾の諸元は常時取得可能とする
- ・相手の誘導弾の諸元は一定範囲内に接近した場合に取得可能とする

## 【初期条件】 ※1機あたり

- 速度 : 260~280m/s (≈ M0.9)
- 針路 : 東側(Blue)は南西~北西の範囲(西側は + 180°)
- 高度 : 6000~12000m
- 東西位置 : 中心から自陣側に20~25km下がった位置
- 南北位置 : 中心から-10~10kmの範囲

# 戦闘機のモデル

## 【運動モデル】

- ・空力及び推力は、公刊文献から得られるF-16相当の性能値を使用し、6自由度モデルで表現する
- ・最下層の操縦入力はラダー、エルロン、エレベータの舵角及びスロットルとする
- ・燃料消費は勝敗には無関係とする

## 【制御モデル】

- ・AIによる舵角の直接操作は難易度が著しく増大するため、簡易な飛行制御則によって以下の二通りの抽象的なコマンドによる操作を可能とする。
  - (a)ロール、ピッチ、ヨー、スロットルの直接出力(人間の操縦と同等)
  - (b)進みたい方向と進みたい速度による抽象的な出力

## 【センサモデル】

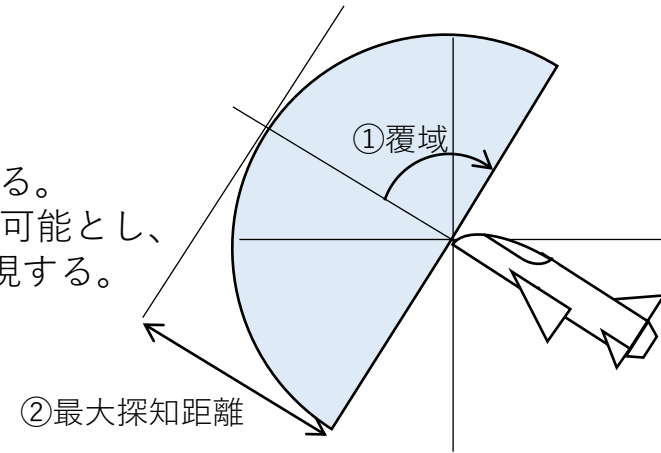
- ・相手の戦闘機の諸元は常時取得可能とする。
  - レーダの覆域を $\pm 180\text{deg}$ 、探知距離を $100\text{km}$ とすることにより表現する。
- ・相手の誘導弾の諸元は一定距離以内に接近したものの到来方向を取得可能とし、MWSモデルの覆域を $\pm 180\text{deg}$ 、探知距離を $10\text{km}$ とすることにより表現する。
- ・誤警報、誤相関は発生させない
- ・探知誤差は発生させない

## 【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とし、細かいモデル化はしない

## 【武装モデル】

- ・搭載弾数は4発とする。
- ・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3秒の遅延を与える



# 誘導弾のモデル

## 【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Tail-controlled誘導弾用のモデルを少しだけ改変して使用する
- 重量、寸法等は上記論文のほか米軍等による公表値も併用し、AIM-9(M型又はX型)と概ね同等となるような値を設定する
- 回転慣性は無視し、迎角 $\alpha$ と舵角 $\delta$ を瞬時に操作できるものとする

## 【制御モデル】

- ロフト飛行はせず、単純な比例制御で旋回させる

## 【センサ(シーカ)モデル】

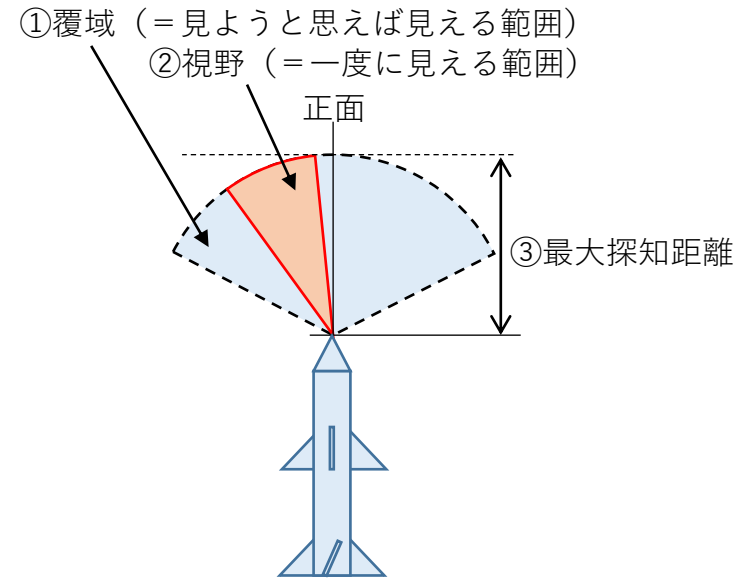
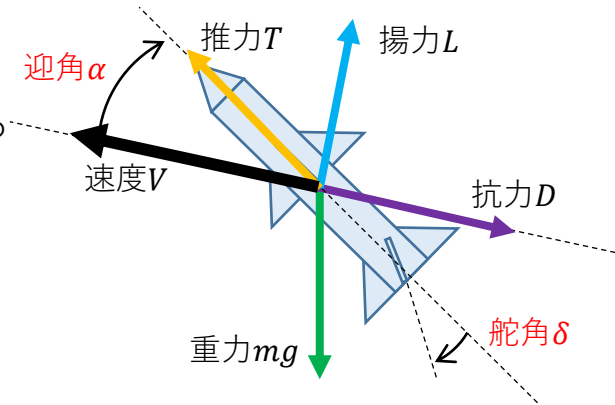
- 覆域及び視野は前方半球( $\pm 90\text{deg}$ )、探知距離は20kmとする
- 誤検出は発生させない
- 探知誤差は発生させない
- LOBL(射撃前ロックオン)とし、目標がシーカ探知範囲内に存在する場合のみ発射可能とする。

## 【データリンクモデル】

- UTDCを無効とし、シーカによる自力誘導のみとする。

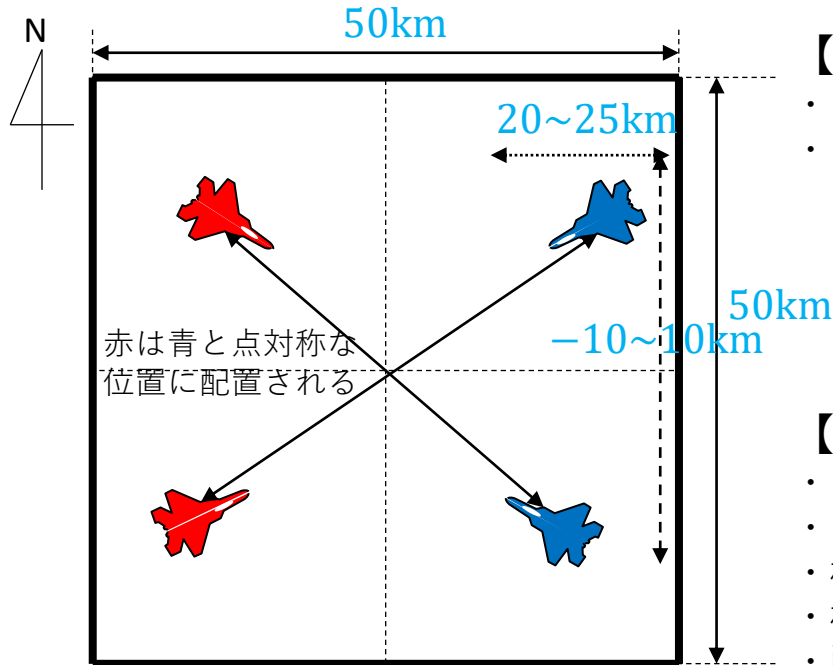
## 【弾頭モデル】

- 目標から50m以内に接近したら必ず命中、撃墜とする。



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

# 行動判断モデル(AI)の要件



## 【行動判断の周期】

- ・ シミュレーションの1tickは0.05秒(20Hz)
- ・ AIの行動判断周期は任意のtick数で個別に設定可能

使うかどうか、どう使うかは  
各参加者の裁量による

## 【AIが使える主な観測情報】

- ・ 自分と味方の機体諸元 (位置、速度、姿勢、角速度、残弾数)
- ・ 自分と味方の誘導弾諸元 (位置、速度、目標ID、誘導状態)
- ・ 相手の機体諸元 (位置と速度のみ)
- ・ 相手の誘導弾諸元 (方向のみ)
- ・ 戦闘開始からの経過時間

## 【AIが出力すべき行動】

- ・ 自分と味方の機動(以下のいずれかによる)
  - (a) ロール、ピッチ、ヨー、スロットルの直接出力
  - (b) 進みたい方向と進みたい速度による抽象的な出力
- ・ 射撃有無と射撃対象

# 初期行動判断モデル

※第2回空戦AIチャレンジで配布された初期行動判断モデルを転用しているため、今年度のルールでは考慮不要な設定項目もある。具体的には赤字で記載した部分についてパラメータ設定により無効化している。

## 行動判断の前提となる概念

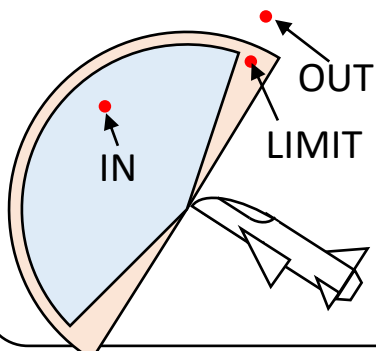
### 失探後の航跡の保持

レーダが失探した瞬間に何もできなくなることを避けるため、失探後も $t_{memory}$ 秒間メモリトラックによって航跡を保持する。

### 探知状況の分類

余裕をもって探知できているのか、探知範囲ギリギリなのかによって行動を変える。

- OUT . . . 探知範囲外
- LIMIT . . . 最大探知距離から $L_{margin}$ 以内または  
覆域端から $\theta_{margin}$ 以内
- IN . . . 上記以外(=余裕がある状況)



※LIMITを無効化。  
ルールに合わせて  
常にINとなる。

### 「目標」の考え方

最低限の味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。

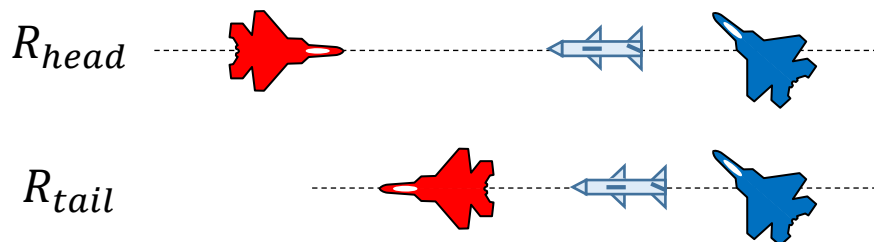
- 主目標 . . . 接近や射撃等の対象であり、1機のみを選ぶ。
- 副目標 . . . 味方の主目標と、誘導弾が飛翔中の目標を指し、なるべく探知できるように考慮する。

### 射程計算

以下の2種類の射程を計算し、射撃可否や離脱要否を判定する。いずれも、直ちに彼我ともに水平飛行に移行した場合の値とする。

$R_{tail}$  . . . 目標が自機に背を向けて飛んだ場合の射程  
(いわゆる $R_{max2}$ に近いものとして簡易的に表現)



$R_{head}$  . . . 目標が自機を正面に向けて飛んだ場合の射程



# 初期行動判断モデル

## 基本となる状態遷移

### (s1)通常時

後退不要なときは、自身(  )の主目標(  )の探知状況に応じ、以下の3種類の行動を確率で選択する。  
*treconsider* 経過、主目標又は探知状況の変化、後退、離脱又は回避の実施が発生した場合には選択し直す。

※突破・帰還目的での  
前進・後退を無効化

帰還できなく  
なりそうなとき

### (s1-4)後退



余剰燃料が距離換算で  
 $L_{fmargin1}$  未満

余剰燃料が距離換算で  
 $L_{fmargin2}$  以上

味方が余裕をもって捉えているとき

主目標が存在しないとき  
or  
あと少しで突破できるとき

### (s1-1)前進



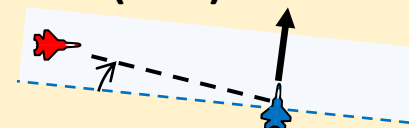
誰も余裕をもっては  
捉えていないとき

### (s1-2)接近



自分だけが余裕をもって捉えているとき

### (s1-3)横行



主目標を覆域端から  $\theta_{keep}$  付近に  
維持するように飛ぶ

直ちに

(c1)射撃条件  
を満たした

(c3)離脱終了条件  
を満たした

(c2)離脱条件  
を満たした

回避完了

MWSが  
誘導弾を検出

### (a1)射撃



(c1)射撃条件  
を満たした

直ちに

### (s2)離脱

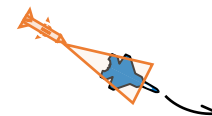


離脱のきっかけとなった航跡から  
最も離れられる方向に飛ぶ

回避完了

MWSが  
誘導弾を検出

### (s3)回避



検知した弾と反対方向に向かって、  
降下角度  $\theta_{evasion}$ 、下限高度  $h_{evasion}$   
で急降下を試みる

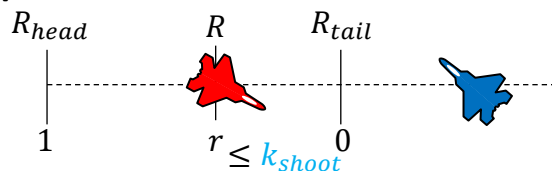
# 初期行動判断モデル

## 状態遷移の条件

### (c1)射撃条件

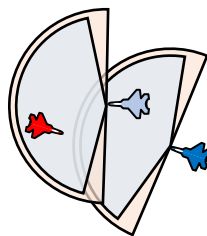
以下の(1)～(3)をすべて満たす航跡がある場合に、射撃する

#### (1)射程による判定



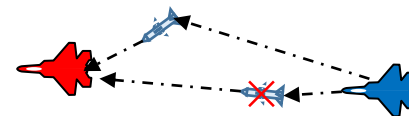
その航跡に対する $R_{tail}$ を0、 $R_{head}$ を1としたときに、現在の距離 $r$ が $k_{shoot}$ 以下であること

#### (2)探知状況による判定



その航跡を自身か味方のいずれか1機が余裕をもって捉えていること

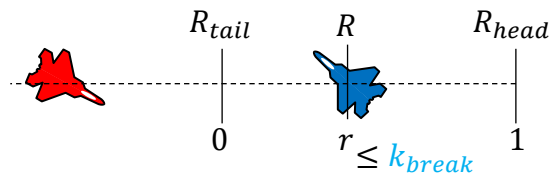
#### (3)射撃状況による判定



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

### (c2)離脱条件

以下の条件を満たす航跡が一つでもあった場合、離脱する



その航跡から自身に対する $R_{tail}$ を0、 $R_{head}$ を1としたときに、現在の距離 $r$ が $k_{break}$ 以下となったとき

### (c3)離脱終了条件

離脱条件を満たさない状態が $t_{withdraw}$ 秒継続したとき、離脱終了とする

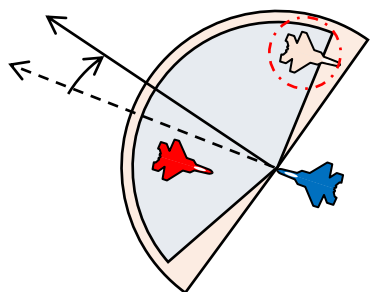


# 初期行動判断モデル

## 針路の補正

各状態において計算された進行方向に対し、以下の3つの観点で補正を行う。

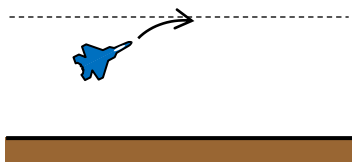
### (o1)副目標の追尾



本来の針路から $\theta_{extra}$ 以内の変更によって捉えられる副目標が増える場合、針路を補正する。

※ルール上常に探知可能なため  
この観点での針路補正を無効化

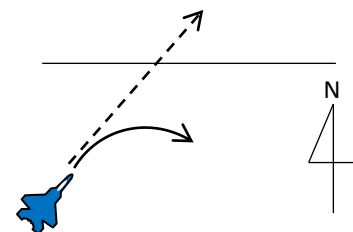
### (o2)高度維持



・回避中でないときの高度は、通常時は $h_{normal}$ に、離脱時は $h_{withdraw}$ に、後退時は $h_{RTB}$ に維持する。

・高度維持の際のピッチ角は、通常時は $\theta_{normal}$ 以内、離脱時は $\theta_{withdraw}$ 以内、後退時は $\theta_{RTB}$ 以内とする。

### (o3)場外の防止



- ・南北方向の場外から $d_{limit,dir}$ 以内のとき、針路を内向きに補正する。
- ・南北方向の場外から $d_{limit,keep}$ 以内で横行機動を開始するとき、進行方向が場外から内向きとなるように選択する。
- ・南北方向の場外から $d_{limit,turn}$ 以内のとき、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。

## 加減速の制御

- ・通常時の推力は $T_{nominal}$ 、MWS作動時の推力は $MaxAB(=1.0)$ とする
- ・後退時は速度を $V_{RTB}$ に維持しようとする
- ・速度が $V_{min}$ を下回った場合、 $V_{recovery}$ 以上に回復するまで、 $V_{recovery,dst}$ を目標値として加速しようとする

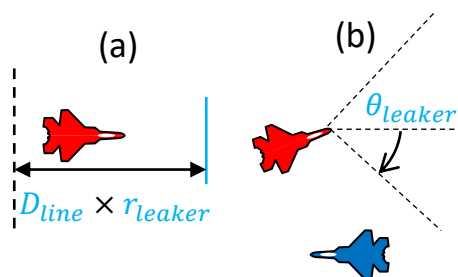
# 初期行動判断モデル

## 主目標の選択

全航跡（メモリトラックを含む）から、主目標を選択する。

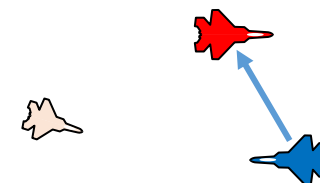
### (t1)突破阻止

※突破阻止を無効化



- (a) 自陣から  $D_{line} \times r_{leaker}$  以内  
 (b) 自陣方向  $\pm \theta_{leaker}$  の範囲に我機が存在しない  
 のいずれかを満たす彼機は突破阻止対象として、  
 ラインに近い彼機から順に、それぞれ最も近い  
 未割当の我機を割り当てる

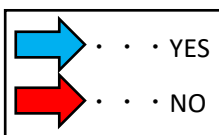
### (t2)距離優先



自機に最も近い彼機  
を主目標とする

## 通常時の行動選択

開始



見えている彼機が  
存在しない

自身の主目標を味方が  
余裕をもって捉えている

自身の主目標を自分が  
余裕をもって捉えている

彼側防衛ラインから  $D_{line} \times r_{adv}$  以内  
または  
敵陣方向  $\pm \theta_{adv}$  の範囲に  
彼機が存在しない

自身の主目標が  
突破阻止対象

※突破狙いの前進を無効化

※探知状況に依存せず、接近と横行の  
2種類から選択するような値を設定

行動	前進
確率	1

行動	前進	接近	横行
確率	$p_{ally,adv}$	$p_{ally,app}$	$p_{ally,keep}$

行動	接近	横行
確率	$p_{self,app}$	$p_{self,keep}$

行動	接近
確率	1

# 場面設定に関する基準値一覧(資料中で言及したもののみ)

大項目	小項目	値	単位	備考
戦域の広さ	南北	25,000	m	
	東西	25,000	m	
初期速度	速さ	260~280	m/s	
	向き(針路)	225~315 (青側)	deg	真北が0、東側が正 赤側は青側+180[deg]
初期位置	高度	6,000~12,000	m	
	東西	20,000~25,000	m	中心から自陣側への距離
	南北	-10,000~10,000	m	中心からの距離
得点計算	最大戦闘時間	300	s	
	失格となる点数	-10		
	撃墜の加点	1.0		
	墜落のペナルティ	1.0		
	場外のペナルティ	0.01	(km・s) <sup>-1</sup>	
戦闘機モデル	レーダ覆域	180	deg	
	レーダ探知距離	100,000	m	
	MWS覆域	180	deg	
	MWS探知距離	10,000	m	
	搭載弾数	4	発	
	射撃遅延時間	3	s	
誘導弾モデル	シーカ覆域	90	deg	
	シーカ視野	90	deg	
	シーカ探知距離	20,000	m	
	命中判定距離	50	m	

# 初期行動判断モデルの基準値一覧(資料中で言及したもののみ)

項目		本資料中の変数名	値	単位
航跡の保持		$t_{memory}$	10	s
探知状況の分類		$L_{margin}$	0	m
		$\theta_{margin}$	0	deg
基本遷移	共通	$t_{reconsider}$	10	s
	横行	$\theta_{keep}$	10	deg
	回避	$\theta_{evasion}$	45	deg
		$h_{evasion}$	4,000	m
	後退	$L_{fmargin1}$	0	m
		$L_{fmargin2}$	0	m
射撃条件		$k_{shoot}$	0.25	
		$N_{simul}$	2	
離脱条件		$k_{break}$	0.15	
		$t_{withdraw}$	30	s
針路の補正		$\theta_{extra}$	0	deg
		$\theta_{normal}$	10	deg
		$h_{normal}$	12,000	m
		$\theta_{withdraw}$	15	deg
		$h_{withdraw}$	8,000	m
		$\theta_{RTB}$	10	deg
		$h_{RTB}$	9,000	m

項目		本資料中の変数名	値	単位
針路の補正		$d_{limit,dir}$	10,000	m
		$d_{limit,keep}$	20,000	m
		$d_{limit,turn}$	10,000	m
加減速の制御		$T_{nominal}$	1.0	
		$V_{RTB}$	250	
		$V_{min}$	200	m/s
		$V_{recovery}$	220	m/s
		$V_{recovery,dst}$	250	m/s
主目標の選択		$r_{leaker}$	-1	
		$\theta_{leaker}$	180	deg
通常時の行動選択		$r_{adv}$	-1	
		$\theta_{adv}$	180	deg
		$p_{Ally,Adv}$	0	
		$p_{Ally,App}$	60	
		$p_{Ally,Keep}$	40	
		$p_{Self,App}$	60	
		$p_{Self,Keep}$	40	