

協調型誘導システムの研究

2023. 3. 14

航空装備研究所 誘導技術研究部
誘導システム研究室

軍用ドローン(※1)の特徴

- 小型・低速かつ長期間滞空可能(※2)
 - ➔ 我的周囲を長時間徘徊(複数機による継続攻撃可能)
 - ➔ 従来装備品での探知が比較的困難
 - ➔ 常時警戒監視が必要であり、隊員に強いストレス
- AIによる自律化が進展
 - ➔ 通信(電波)妨害の効果が限定的
- 巡航ミサイルに比して安価(ミサイル:数千万~数億 ⇒ ドローン:数十万~数百万)
 - ➔ スウォーム(群体)による飽和攻撃が可能(状況把握が困難)
 - ➔ 低価格を維持するため、HPM(※3)対策は限定的と想定

(※1) 広義のドローンには、グローバルホークのような高性能・大型・高価格なUAVも含まれるが、本資料では中型UAV、小型UAV、超小型UAVをドローンと呼称

(※2) 超小型ドローンの滞空時間は、搭載バッテリー容量が小さく限定的

(※3) High Power Microwave: 高出力マイクロ波

主要なドローン攻撃の事例

発生日時・場所	概要
2020.9 ナゴルノ・カラバフ	アゼルバイジャンのドローン攻撃により、アルメニアの防空システム等に被害
2020.10 中国	車両搭載型超小型ドローンによるスウォーム(群体)のデモンストレーション
2022.2~ ウクライナ	ウクライナによるドローンを用いた偵察・攻撃
	ロシアによるドローンを用いた攻撃

軍用ドローン(UAV)の例

小型UAV



アメリカ製UAV
(スイッチブレード300)

<https://news.yahoo.co.jp/byline/obiect/20220727-00307482>



ウクライナで使われるドローン
(R18)

<https://news.yahoo.co.jp/byline/satohitoshi/20220917-00315414>

中型UAV (安価な巡航ミサイルに相当)



イラン製UAV (シャヘド136)

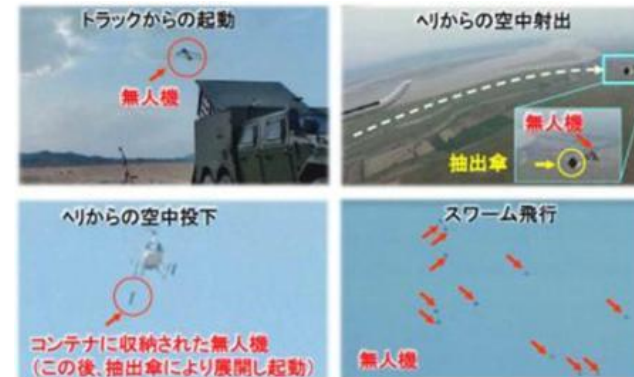
<https://news.yahoo.co.jp/byline/obiect/20221024-00320745>



イスラエル製UAV (Harpy)

<https://news.yahoo.co.jp/byline/obiect/20210312-00227037>

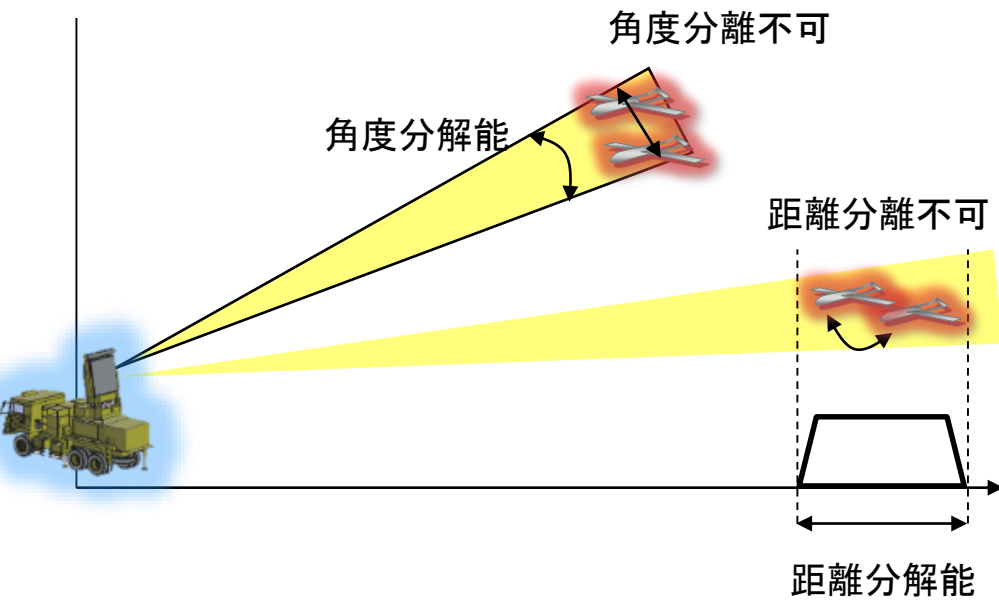
スウォーム(群体)例



中国のスウォーム(群体)

https://videos.dailymail.co.uk/preview/mol/2020/10/15/902971459846452752/636x382_MP4_902971459846452752.mp4 より抜粋

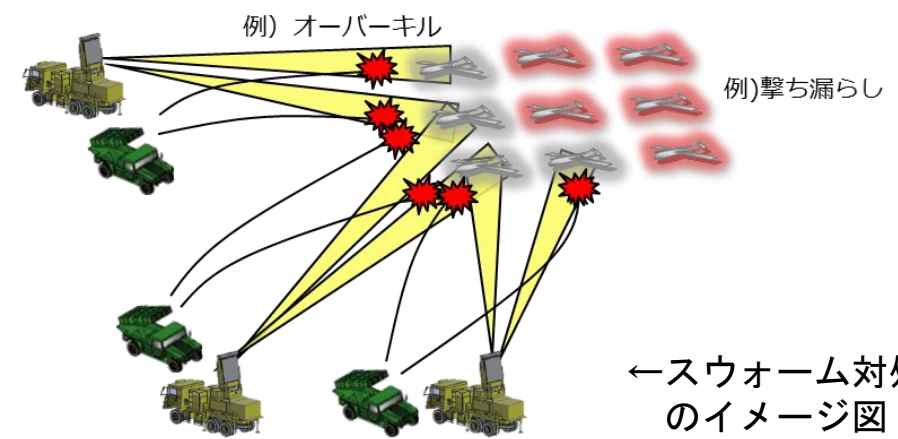
- 従来のレーダではスウォームを構成する個々の機体を正確に把握することが困難



- 脅威側の機数が多く、個々の迎撃アセットが個別に動作した場合、効率的な迎撃が困難
- 脅威側の機数多く、指揮官による迅速な意思決定が必要（指揮官の負担が大きく、特に常続監視が必要な場合に課題）

脅威 1	探知	追尾	射撃計画作成	発射機割当	誘導弾発射	誘導	効果判定	
脅威 2		探知	追尾	射撃計画作成	発射機割当	誘導弾発射	誘導	効果判定
脅威 3		探知	追尾	射撃計画作成	発射機割当	誘導弾発射	誘導	効果判定
脅威 4		探知	追尾	射撃計画作成	発射機割当	誘導弾発射	誘導	効果判定
...								

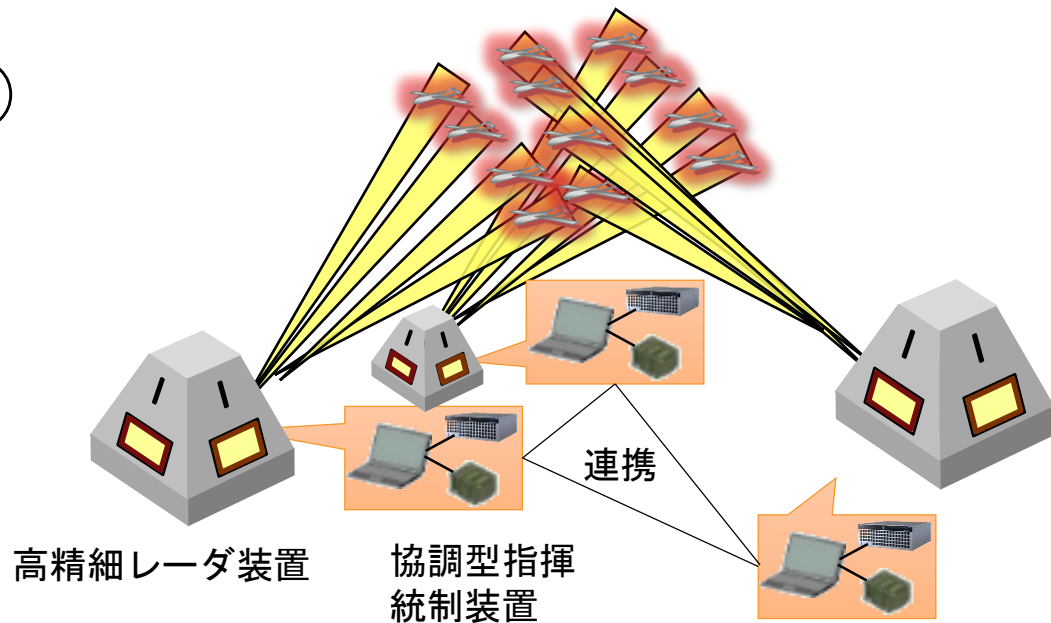
※上図赤枠は指揮官の負担となる作業を表す



協調型誘導システムの研究ではスウォームに対処するため、以下の実現を目指す

- ➡ レーダ能力の向上 → ①の図
- ➡ 限られた能力（レーダリソース、誘導弾）の効率的な使用 → ②の図
- ➡ 指揮官の処理負荷の低減 → ②
- ➡ 個別のアセットが破壊されても、協調動作を継続できる抗たん性の確保 → ②

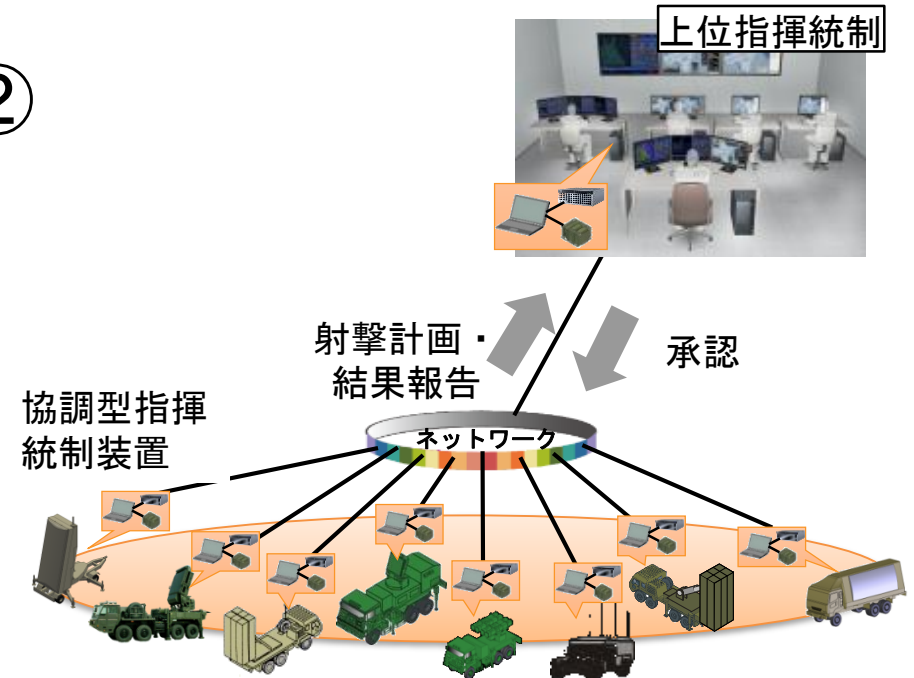
①



- スウォームを構成する個々の機体を観測
- レーダリソースを効率的に分配

多目標同時追尾機能

②



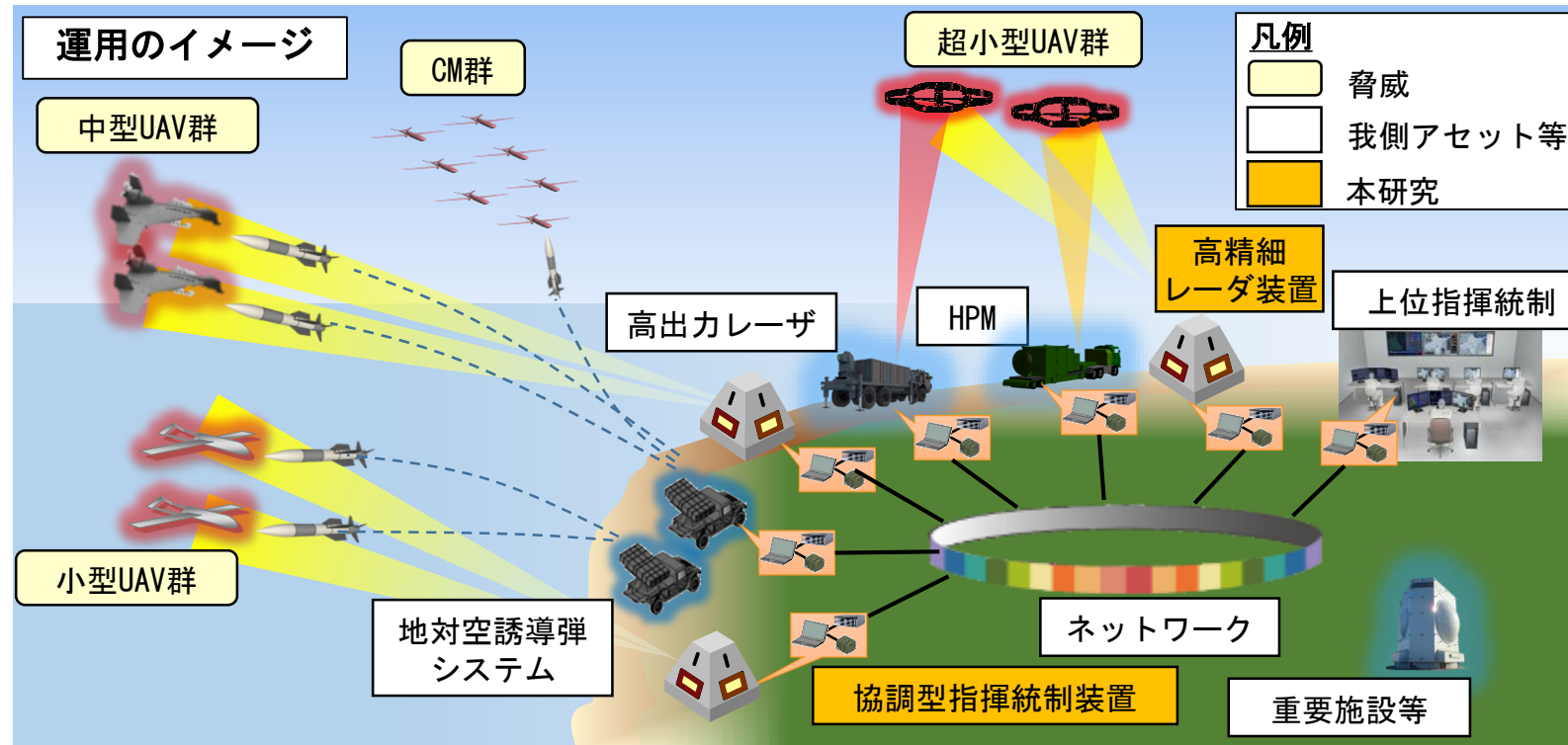
- 予め定めた行動指針に基づき、自動対応
- ネットワークが維持される限り、協調動作を維持

協調型指揮統制機能

2

研究目標

- 各種UAVおよびCM等による飽和攻撃に対処するため、「多目標同時追尾機能」と「協調型指揮統制機能」を確立
- 「多目標同時追尾機能」により、スウォームを構成する個々のUAVの航跡を管理
- 「協調型指揮統制機能」により、特定のアセットが機能不全となっても、残存するアセットが協調動作を継続すること、限られたレーダリソースや誘導弾等を効率的に配分することにより迎撃効率向上を追求



CM: Cruise Missile

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

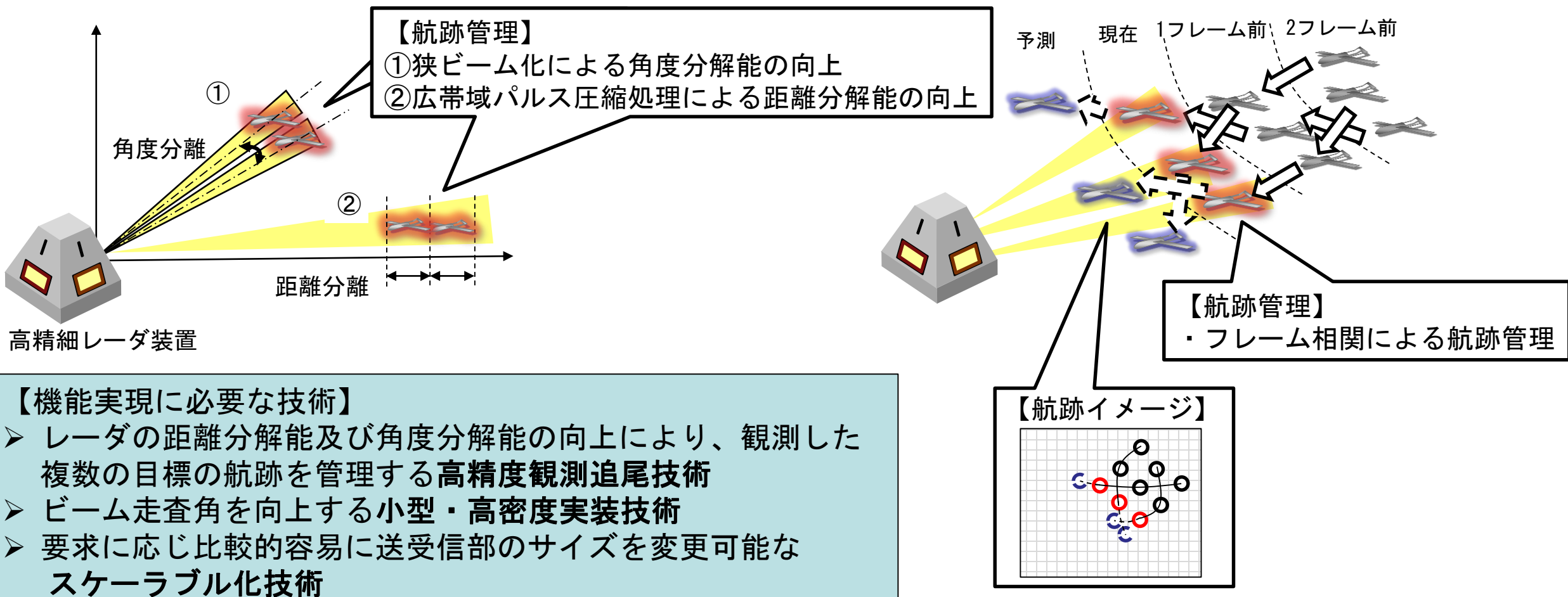
HPM: High Power Microwave

3-1

研究目標① ～多目標同時追尾機能～

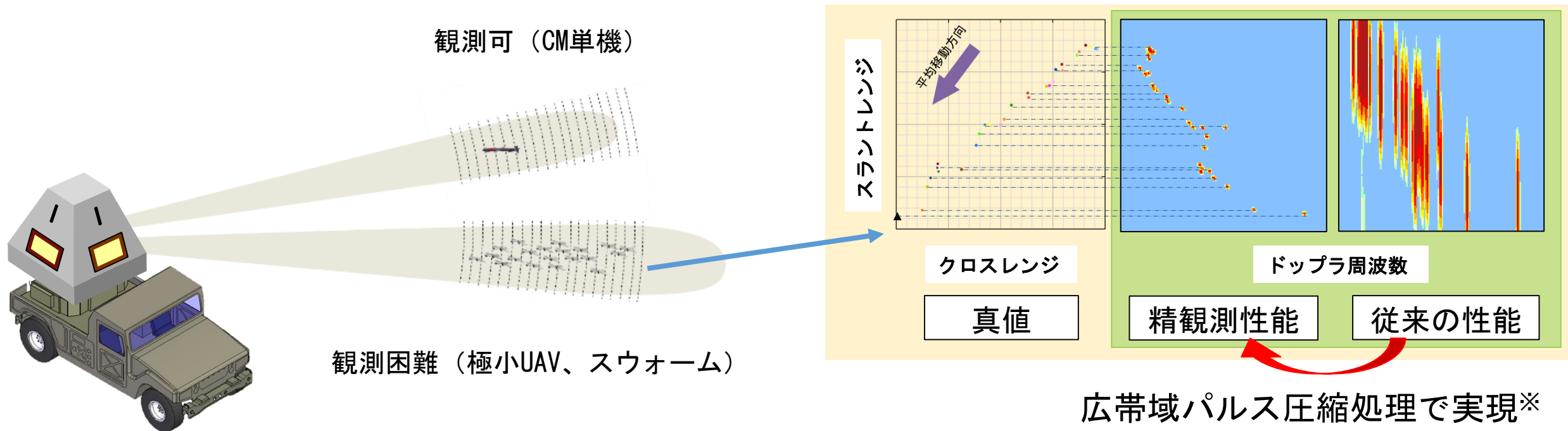
【機能の概要】

一群となって飛来する多数の脅威（スウォーム）を個別に測角、測距するとともに、個別に航跡管理することにより戦域の状況を把握



3-2 多目標同時追尾機能についての本研究での取り組み及びシミュレーション結果

- ハード・ソフト両面において、既存技術より優れた観測精度や追尾性能の実現を目指す
- 本研究では、広帯域パルス圧縮処理を用いて、距離分解能向上を目指した
- その結果、単機/スウォームの探知・判別、スウォームを構成する個々のUAVを分離・識別（下図）を確認



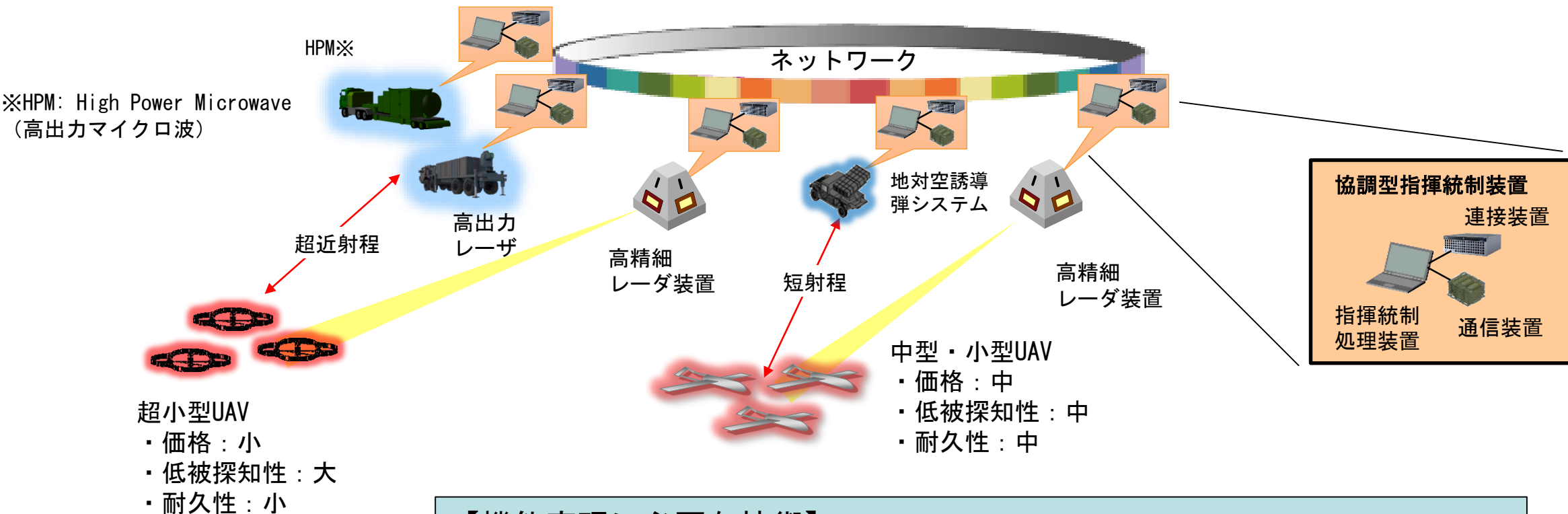
※周波数を変化させた送信波に対し、受信側でパルス圧縮処理を行うことで、距離方向に分離能力の高い波形を得る。これにより、距離分離能が向上する。

4-1

研究目標② ～協調型指揮統制機能～

【機能の概要】

- 既存の我側迎撃アセットに協調型指揮統制装置を接続することにより、各迎撃アセット取得する目標情報を統合
- 各種迎撃アセットを協調動作させることにより、全体としての迎撃性能を最大化



【機能実現に必要な技術】

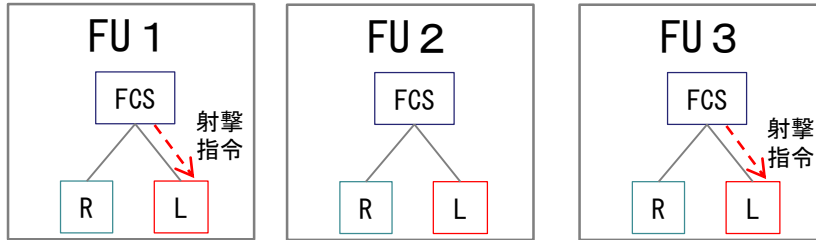
- 複数の迎撃アセットで取得する目標情報を統合する目標情報統合技術
- 迎撃アセットを協調動作させる協調型指揮統制技術

4-2

協調型の指揮統制の詳細（従来の指揮統制との比較）

従来の指揮統制

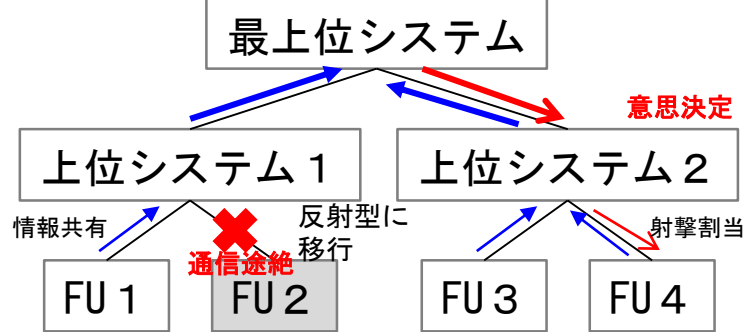
反射型アルゴリズム



- FUが自ら射撃を割り当てを実施。最も単純なアルゴリズム

集中型アルゴリズム

意思決定

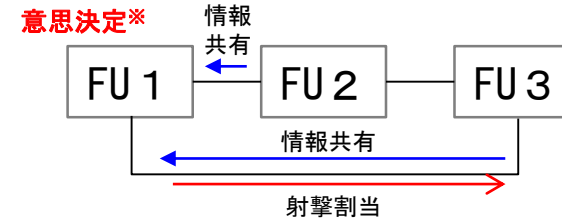


- 最上位システムが、FUのステータス情報を共有して射撃割当を決定
- 情報の集約により、全体最適割当（複数目標の同時割当）が実施可能
- 上位システムとFUとの接続が途絶えた場合、システムとしてFUへの目標情報の配当ができず、一元的な射撃が困難

FU: Firing Unit, FCS: Firing Control Station, R: Radar, L: Launcher

協調型の指揮統制

分散型アルゴリズム

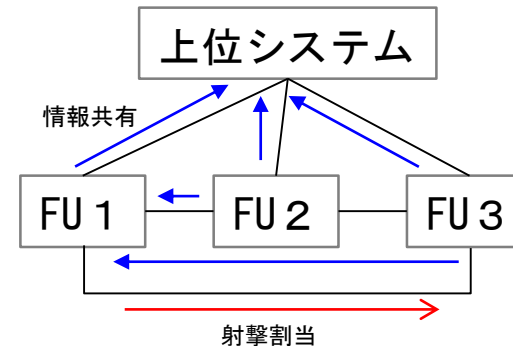


(※) 意思決定を行うFUは状況に応じて変更される

- 部分最適割当（1目標の割当の積み重ね）を実施
- 複数のFUが相互に情報共有して射撃割当を決定
- 戦闘状況によって意思決定するFUが変化

ハイブリッド(分散+集中)型アルゴリズム

意思決定*



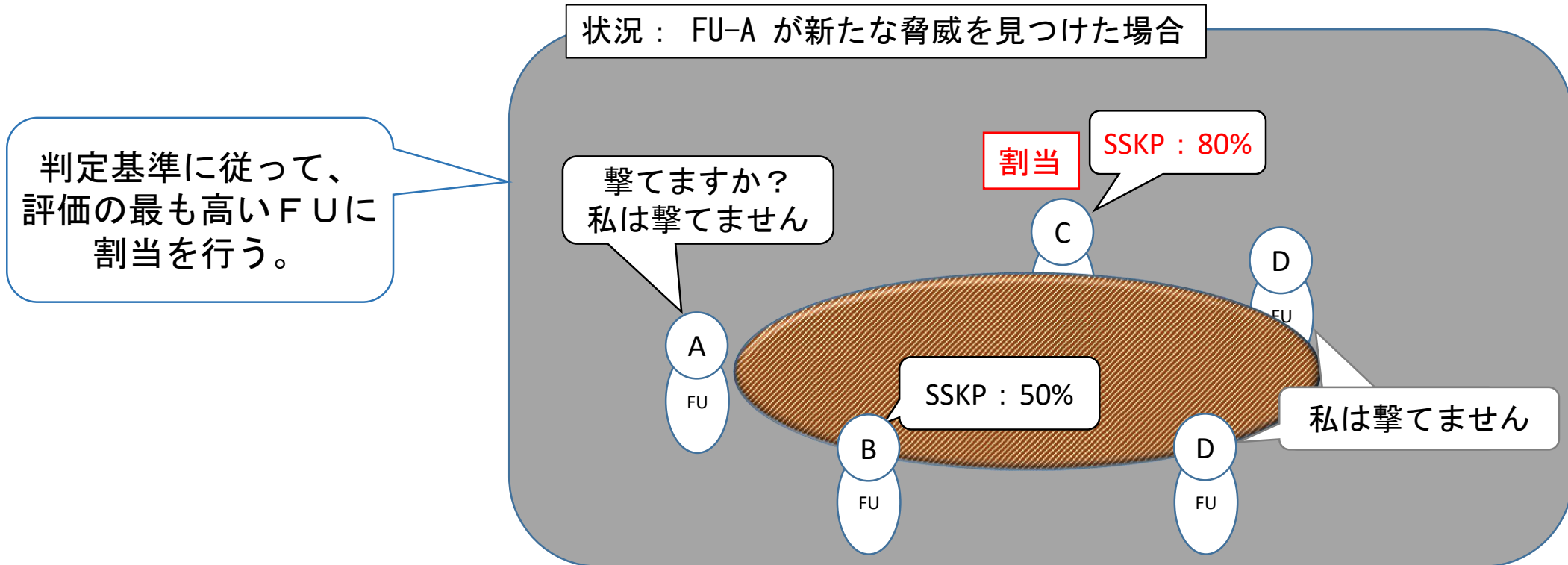
(※) 意思決定を行うFUは状況に応じて変更される

- 分散型アルゴリズムの処理に加え、情報収集時間が十分ある場合、上位システムが全体最適割当を実施

(注) FU（射撃単位）とは、射撃管制装置（指揮官）、レーダ、発射機をまとめたもの

- 各FCSが、撃破確率（SSKP）やレーダ探知確率等の情報を共有
- 例えば、SSKPの数値が最も高いユニットが、ミサイルを発射する動作を実行
- SSKP以外にも、様々な判定基準を設定可能

SSKP : Single Shot Kill Probability



4-4

評価シミュレーションの概要

飽和攻撃を想定した以下のシナリオの下、各アルゴリズムについて比較検討を実施

攻撃の概要

中型UAV※1 40機 × 2波

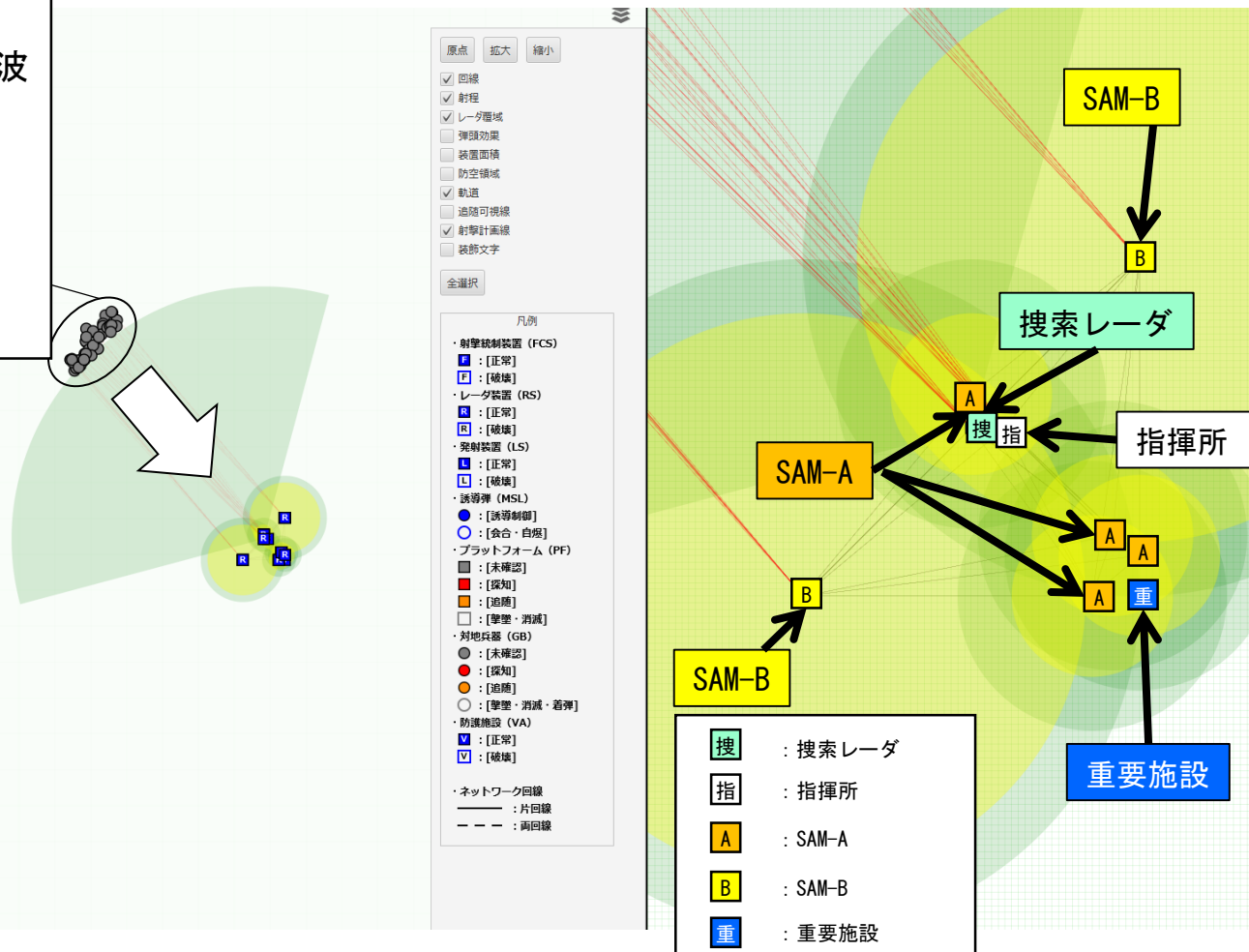
【1波目】

- ・ 捜索レーダに12発
- ・ 指揮所に12発
- ・ SAM-Bに8発ずつ

【2波目】

- ・ 重要拠点に40発

※1 中型UAVは自爆攻撃を実施すると想定
(安価なCMとして使用されると想定)



シミュレーションにおける各アセットの配置イメージ

捜索レーダの設定

- ・ 探知数制限無し

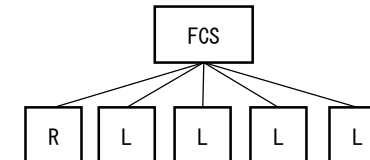
指揮所の設定

- ・ 集中統制のハブ
- ・ 管理数制限無し

SAM-Aの設定

- ・ 搭載弾数4発/1L (計16発) ※2

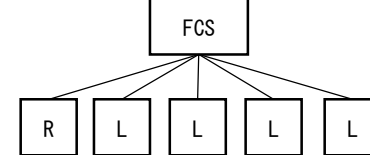
FUの構成



SAM-Bの設定

- ・ 搭載弾数6発/1L (計24発) ※2
- ・ SAM-Bの射程はSAM-Aの射程のおおよそ3倍強として設定

FUの構成

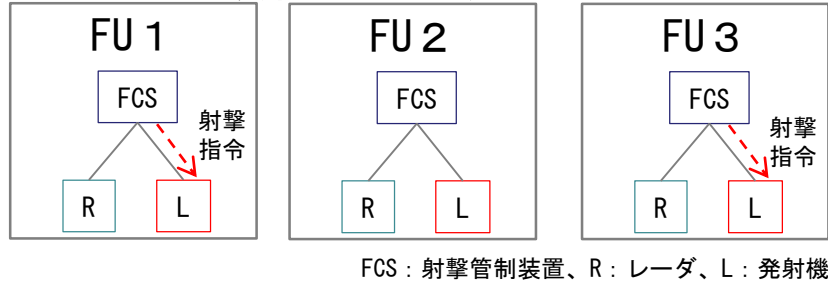


FCS : 射撃管制装置
R : レーダ、L : 発射機

※2 搭載弾数は仮の値である。

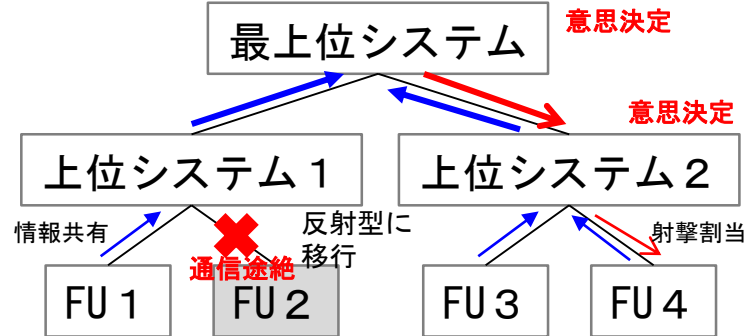
従来の指揮統制

反射型アルゴリズム



- FUが自ら射撃を割り当てを実施。最も単純なアルゴリズム

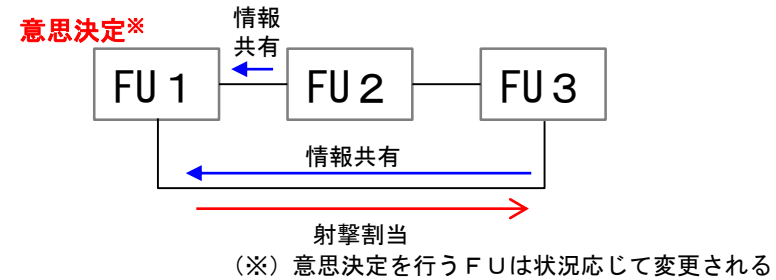
集中型アルゴリズム



- 最上位システムが、FUのステータス情報を共有して射撃割当を決定
- 情報の集約により、全体最適割当（複数目標の同時割当）が実施可能
- 上位システムとFUとの接続が途絶えた場合、システムとしてFUへの目標情報の配当ができず、一元的な射撃が困難

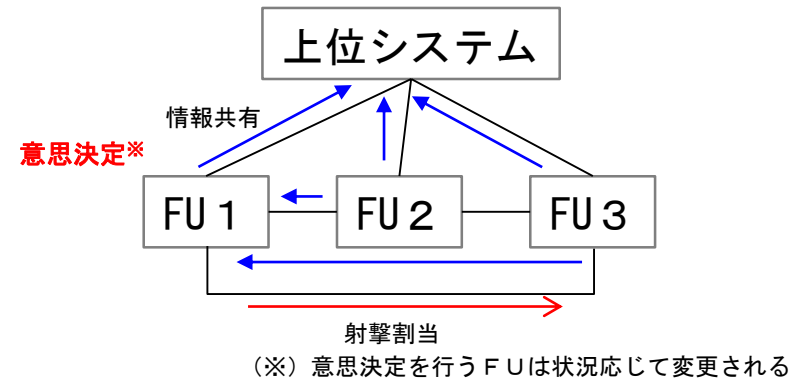
協調型の指揮統制

分散型アルゴリズム



- 部分最適割当（1目標の割当の積み重ね）を実施
- 複数の射撃単位（FU）が相互に情報共有して射撃割当を決定
- 戦闘状況によって意思決定するFUが変化

ハイブリッド(分散+集中)型アルゴリズム



- 分散型アルゴリズムの処理に加え、情報収集時間が十分ある場合、上位システムが全体最適割当を実施

(注) FU (射撃単位) とは、射撃管制装置 (指揮官)、レーダ、発射機をまとめたもの

○各F Uが迎撃可能な目標に対して誘導弾を発射するため、オーバーキルが多発

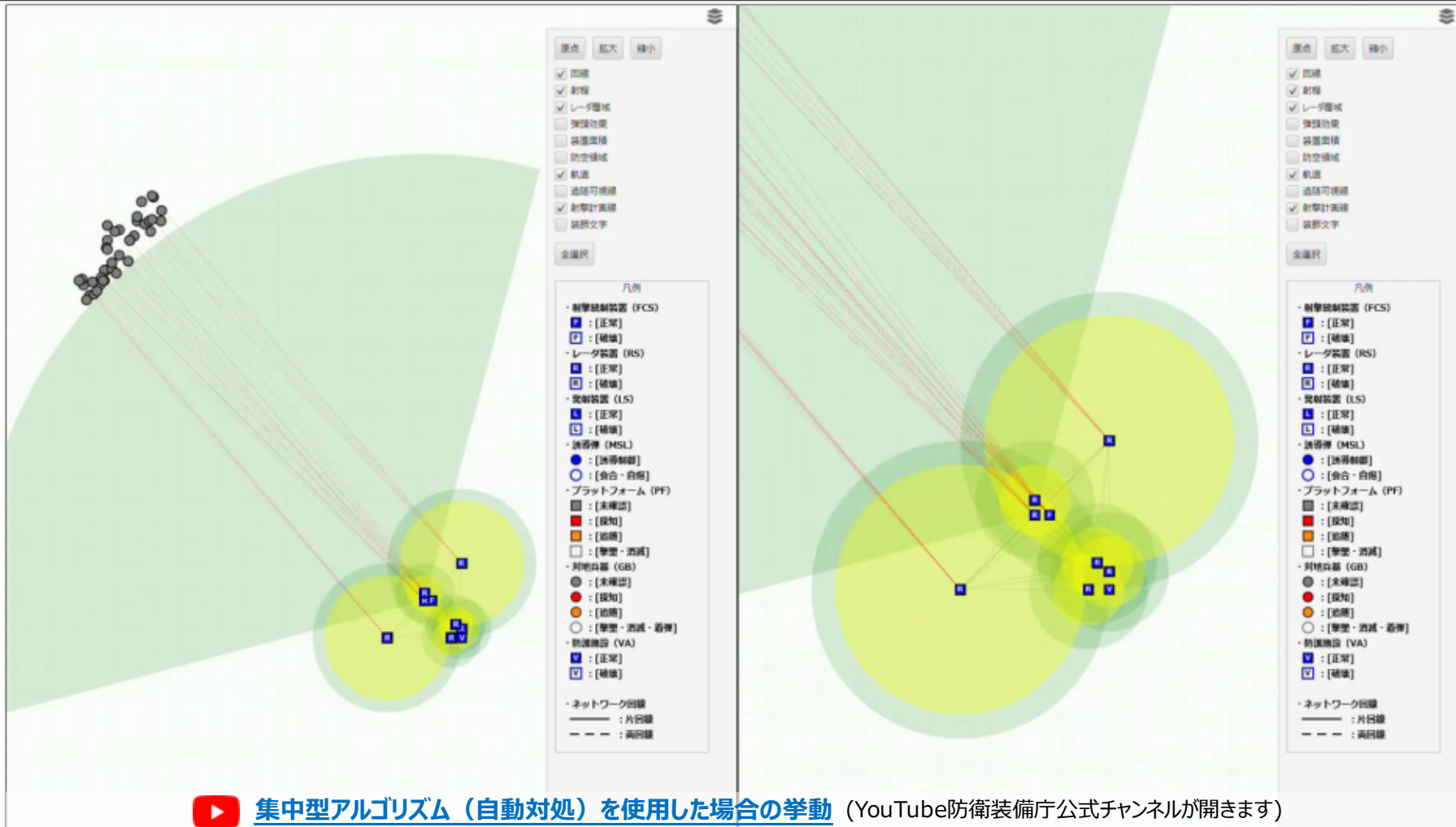
反射型アルゴリズムを使用した場合の挙動 (YouTube防衛装備庁公式チャンネルが開きます)

現在日時: 2021/01/01 12:00:00 画面 1 / 2

4-7

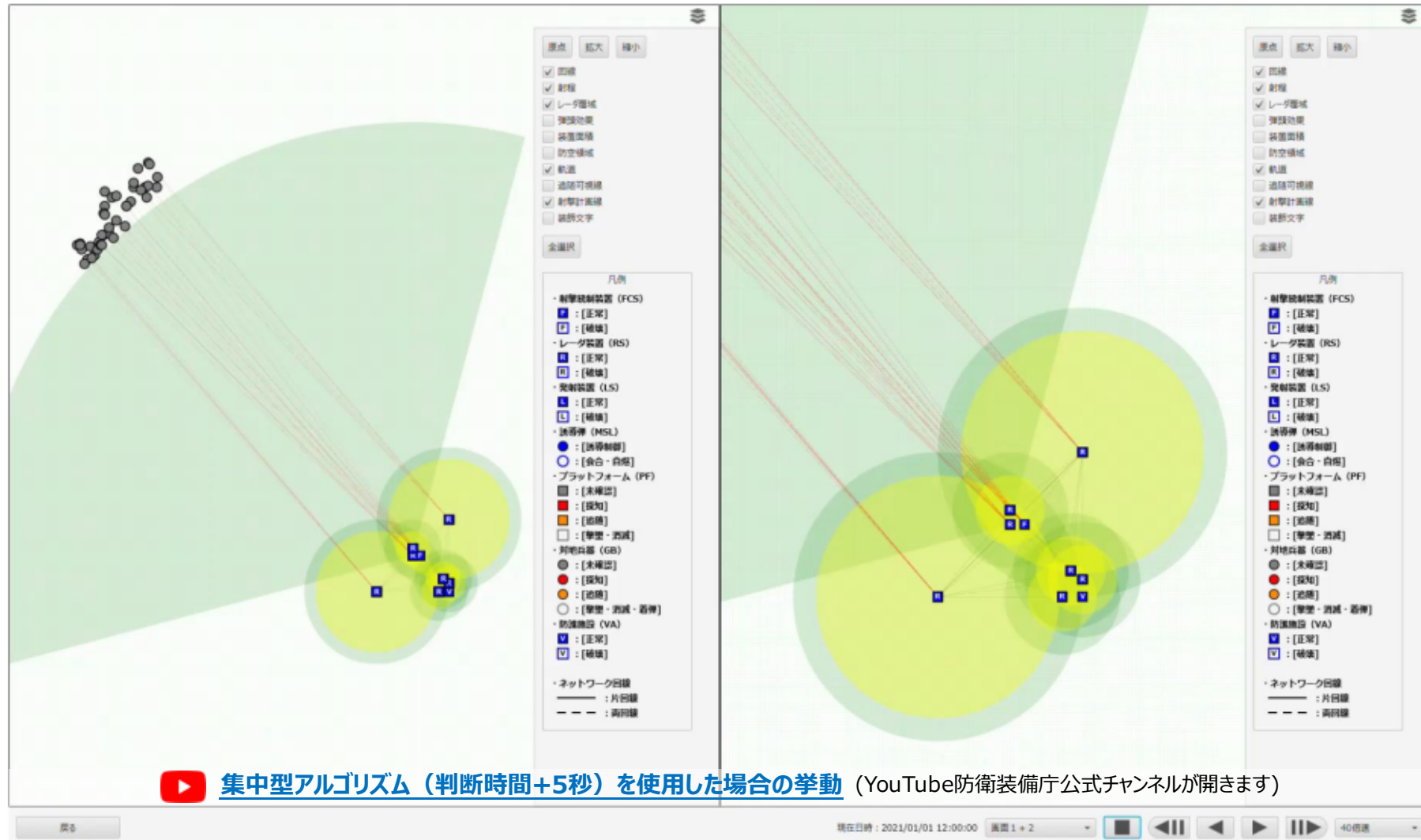
集中型アルゴリズム(自動対処)の結果

- 警戒監視レーダからの情報を用いたネットワーク射撃 (EOR) を実施
- 飽和攻撃により、中央指揮所の情報の集約量、指示の量が増加し、対処に遅延
- 指揮所が破壊された場合、反射型に対処となり迎撃効率が大幅に低下 (オーバーキル多発)

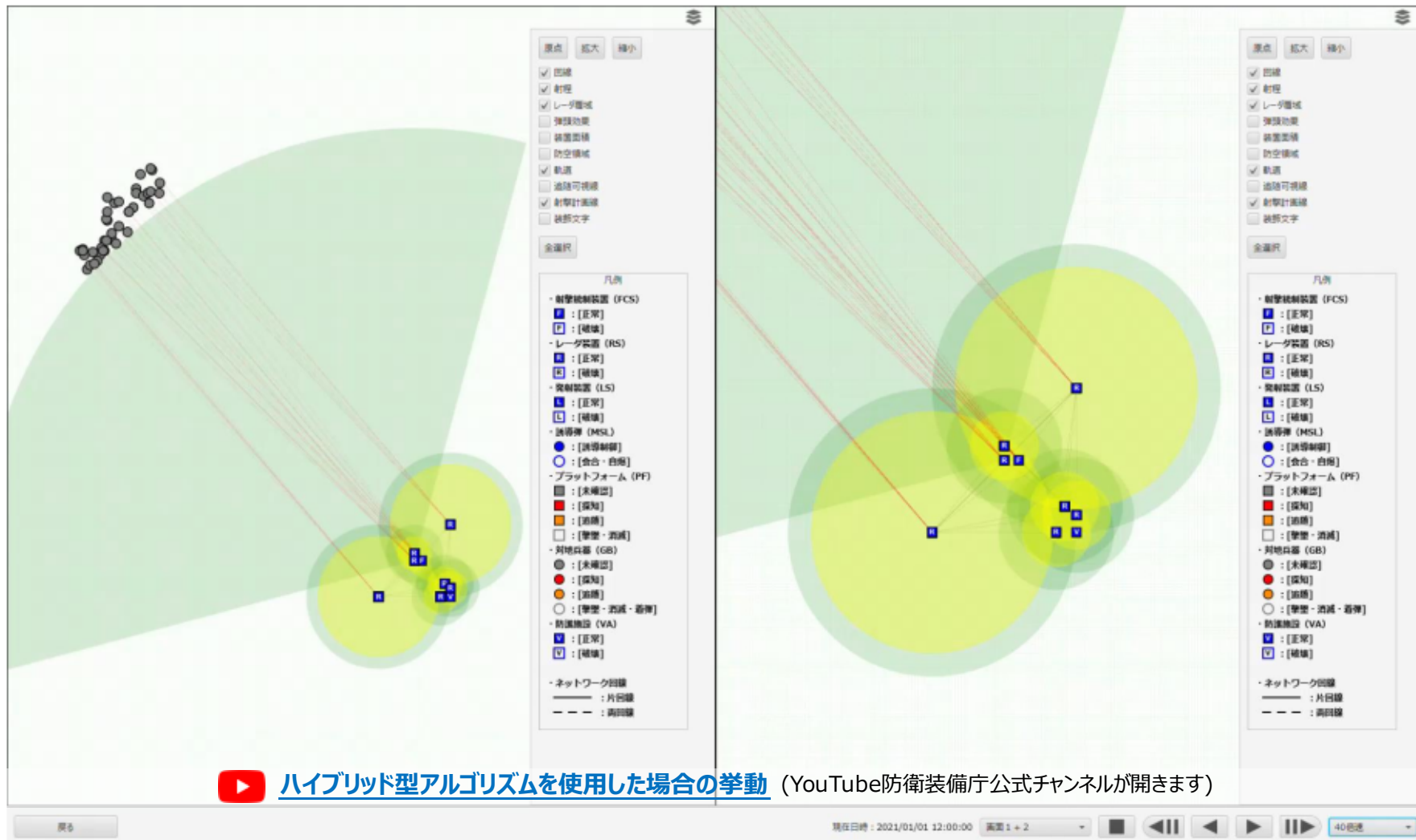


[集中型アルゴリズム\(自動対処\)を使用した場合の挙動](#) (YouTube防衛装備庁公式チャンネルが開きます)

- 各F Uにおける指揮官の判断時間として5秒を設定（各アセットが射撃判断の際に5秒の遅延が発生）
- 判断時間による遅延が蓄積し、自動対処に比べて迎撃効率が低下



- 警戒監視レーダからの情報を用いたネットワーク射撃（EOR）を実施
- 指揮所が破壊された場合でも、各F Uが連携可能なため、迎撃効率の低下は限定的



4-10

シミュレーション結果のまとめ

- 集中型（自動対処）は、指揮所が破壊された後は反射型アルゴリズムで迎撃を行うためオーバーキルが増加（指揮所の破壊前のオーバーキルは0）
- 集中型（判断時間+5秒）は、射撃判断の遅れにより発射弾数が少なくなり、結果的にオーバーキルも減少
- ハイブリッド型は、反射型や集中型に比べ効率的な迎撃を実現

目標数：80					反射型				集中型 (自動対処)				集中型 (判断時間+5秒)				ハイブリッド (分散+集中)型			
保有弾数					発射弾数	命中弾数	オーバーキル数	重要施設等への弾着数	発射弾数	命中弾数	オーバーキル数	重要施設等への弾着数	発射弾数	命中弾数	オーバーキル数	重要施設等への弾着数	発射弾数	命中弾数	オーバーキル数	重要施設等への弾着数
搭載弾数	発射機	FU	小計																	
A	4	4	4	64																
B	6	4	2	48																
合計					108	53	47	25	108	60	30	18	55	41	3	36	92	80	0	0
迎撃率 (命中弾数/目標数)					66.3%				75.0%				51.3%				100%			
1命中に要する弾数 (発射弾数/命中弾数)					2.35発				1.80発				1.34発				1.15発			

- 本研究において、協調型誘導システム実現に必要な要素の内、多目標同時追尾機能と協調型指揮統制機能の概念検討を完了した。
- シミュレーションを用いて、従来の指揮統制と協調型の指揮統制を比較し、協調型の方が迎撃効率において優れていることを確認した。
- 本研究の成果を活用し、令和5年度から令和8年度まで実施する予定の研究試作では群目標追尾レーダと協調型統制装置を試作し、実機での有効性を実証し、将来の拠点防空システムの実現を目指す。