

M&Sが変える研究開発

防衛省 技術研究本部
先進技術推進センター
研究管理官（M & S技術担当）
小松 勝彦

M&Sとは

Ø モデリング

現実の世界の
現象（物）を
仮想の世界に
置き換える

Ø シミュレーション

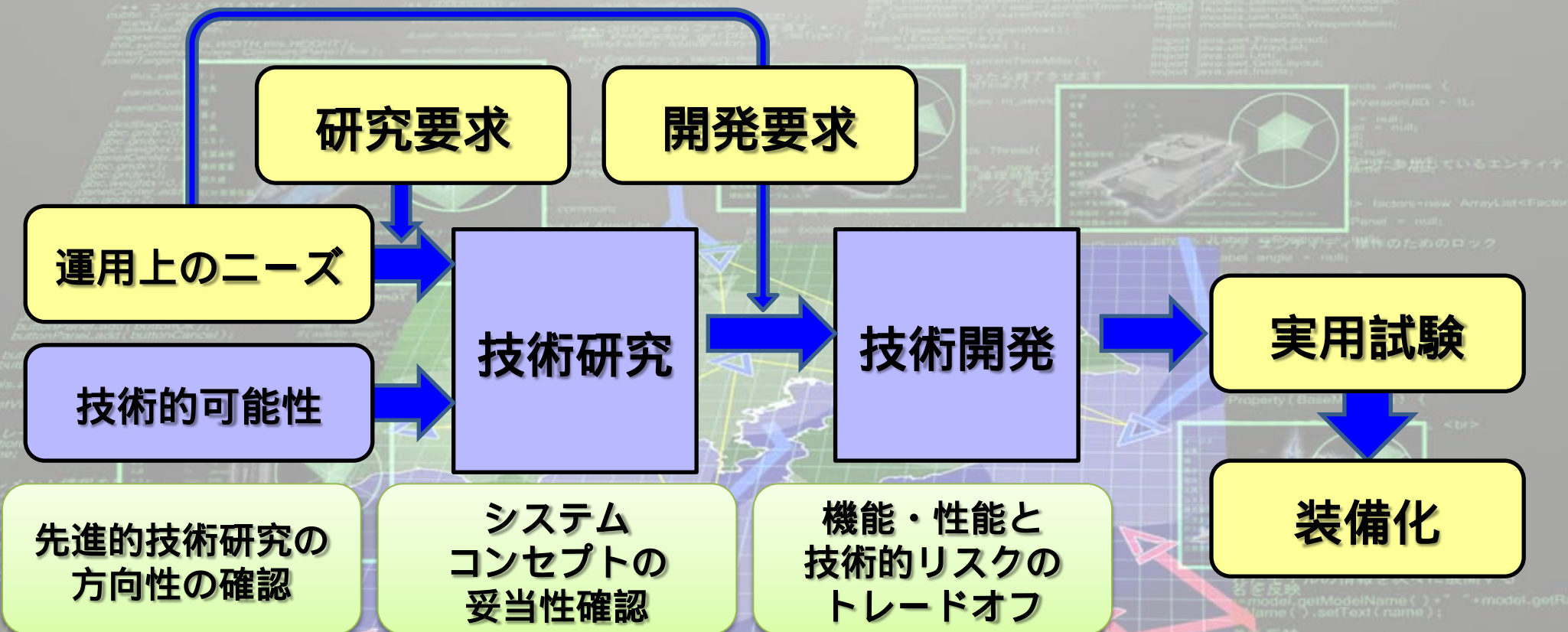
モデルを予め
決められた
ルール（シナ
リオ）で動作



なぜ、M&Sを行うのか？

○まだ存在しない物をモデル化し仮想空間での検証が可能

○先進技術を用いた将来装備品の機能・性能等のパラメトリックスタディによる定量的検討、トレードオフスタディ



○効果的・効率的技術研究開発の実施

- 研究開発の「選択と集中」
- 運用者等の各種検討支援

```

// 名前を反映
model.getModelName() + " " + model.getRa
ame().setText(name);

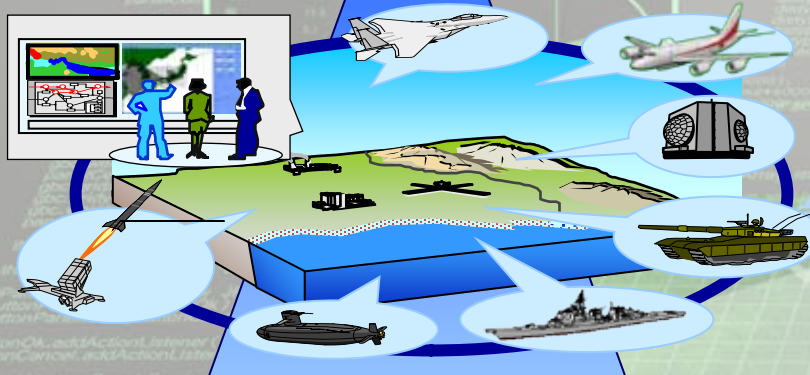
// 所属を反映
model.getBelongUnit();
unitPanel=new FactorPanel("所属部隊");
ime="";
id=form;
Init=null;
new String(upperUnit.getUnitName()+"
upperUnit.getUpperUnit());

// 階層を反映
header.setText("階層");
new String(unitName);

// プラットフォーム名を反映
PlatformModel plat=model.getPlatform();
FactorPanel platPanel=new FactorPanel("プラットフォーム");
platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(),
height+=32;
    
```

M&Sの階層

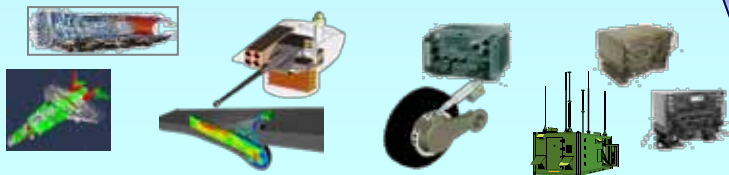
システム統合レベル



システムレベル



コンポーネントレベル



シミュレーションの目的

大規模空間でネットワークにより連携した将来装備システム（SoS: System of Systems）のコンセプト検討等

- シミュレーション統合システム
- 統合防空システムシミュレーション

装備システム構築のための設計支援及び試験評価
（開発官・研究所）

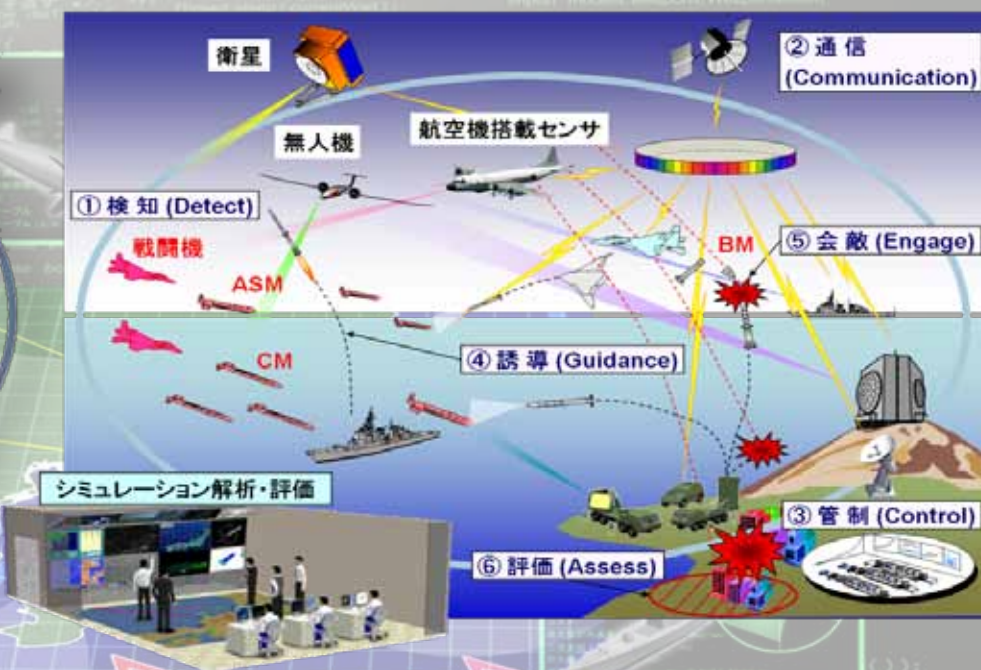
サブシステム、構成要素の設計及び試験評価
（研究所）

シミュレーション統合システム

統合防空システムシミュレーション



ネットワーク化、統合化された将来の装備システムのコンセプト検討



弾道ミサイル、巡航ミサイル、ステルス化された将来の経空脅威に対処する新たなシステムコンセプトの検討

研究開発の「選択と集中」、運用者等の各種検討支援

M&Sツール研究実施線表

年度	17	18	19	20	21	22	23	24	25
シミュレーション 統合システム	研究試作				試験評価がすすみ、試用の段階				
					試験評価				
統合防空システム シミュレーション	試作品の一部が納入され、試験評価の段階				研究試作			試験評価	

○大規模空間でネットワークにより連携した
将来装備システム

○汎用性、将来性、操作性を重視

- 統一されたモデル、シナリオ作成の考え方
- 部品化されたモデルの組み合わせ
- 統一された操作性、GUI

モデルの組合せで装備システムを表現

プラットフォームモデル

指揮モデル

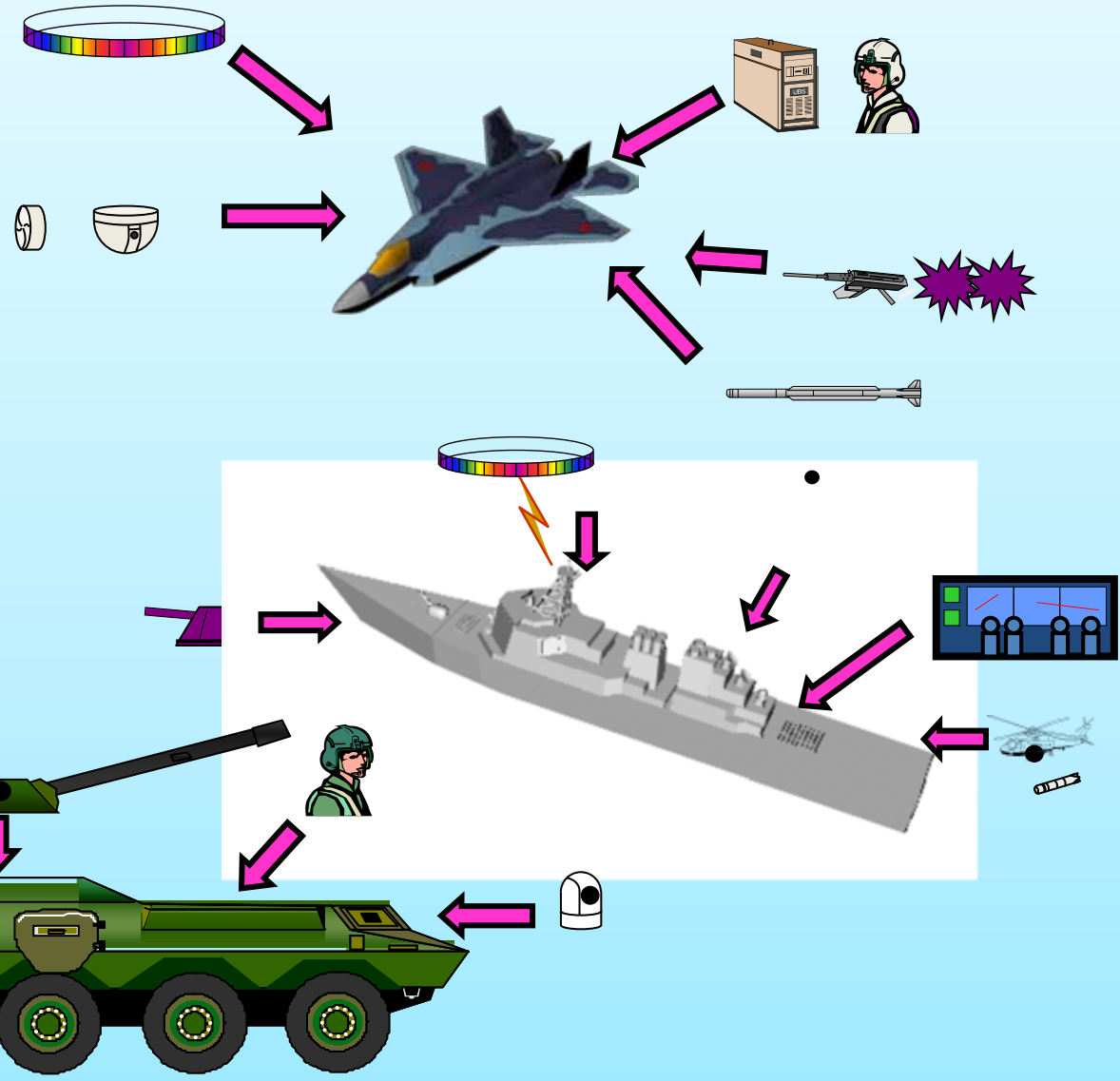
センサモデル

武器モデル

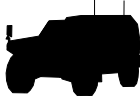
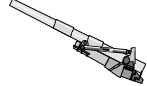
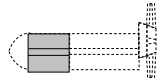
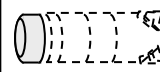
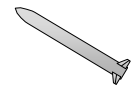
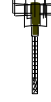
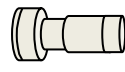
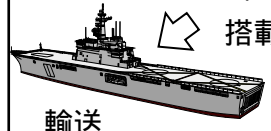
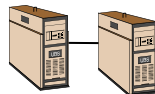
通信モデル

サブシステムモデル

環境モデル



6 分類 30 種類

プラットフォーム (9 種類)	車両	航空機 (固定翼)	航空機 (回転翼)	飛しょう体	艦船	潜水艦	雷体	施設	衛星
									
武器 (8 種類)	直射火器	曲射火器	誘導武器	レーザ 兵器	水雷武器	通常爆弾	ロケット	カウンタ メジャ	-
									-
センサ (9 種類)	電波 (アクティブ)	電波 (パッシブ)	赤外線	レーザ	可視光	紫外線	音響 (アクティブ)	音響 (パッシブ)	磁気
									
通信 (2 種類)	有線	無線		指揮 (1 種類)			サブ システム (1 種類)	 搭載  輸送	
									

```

boolean setScriptFig = true;
boolean setOutputFig = true;
boolean setForceFig = true;
// シナリオにエンティティを追加します。
// 指定する座標は LLA です。
public void addEntity(EntityFactory edEntity, double x, double y, double z, double roll, double pitch, double yaw) {
    new JudgmentConfig();
}

```

```

// プラットフォーム名を反映
PlatformModel plat=model.getPlatform();
FactorPanel platPanel=new FactorPanel(
    platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(),

```

装備システムモデル

装備システム基本モデル
(6分類30種類)

装備システム基本モデル
を組合わせ装備システム
モデルを構築

東側装備品（ 3 1機種 9 9モデル）			
	機種名（機種相当）（無印：ロシア）		
西側装備品（ 3 5機種 9 6モデル）			
装備システムモデル	機種名（機種相当）		
	標準	派生 1	派生 2
戦車	9 0 式戦車	T K - X	7 4 式戦車
自走砲	9 9 式 H S P	X M 2 0 0 1	M 1 0 8
攻撃機	F - 2	F - 2 2	A - 1 0
爆撃機	B - 1	B - 2	B - 5 2
輸送機	C - 1 3 0	C - X	C - 1
哨戒機	P - 3 C	P - X	P - 2 V
攻撃ヘリ	A H - 1	A H - 6 4	O H - 1
戦闘艦	A E G I S 艦	C G (X)	D D 艦
輸送艦	おおすみ型	ワスプ型	みうら型
潜水艦	そうりゅう型	シーウルフ型	おやしお型
通信衛星	SuperBird	MilStar	イリジウム
地上ミサイルシステム	中 S A M	P A T O R I O T	H A W K
地（艦）対空ミサイル	スティンガー	S M - 2	E S S M
:	:	:	:

装備システムモデル
(195モデル)

行動判断ルール

指揮モデル

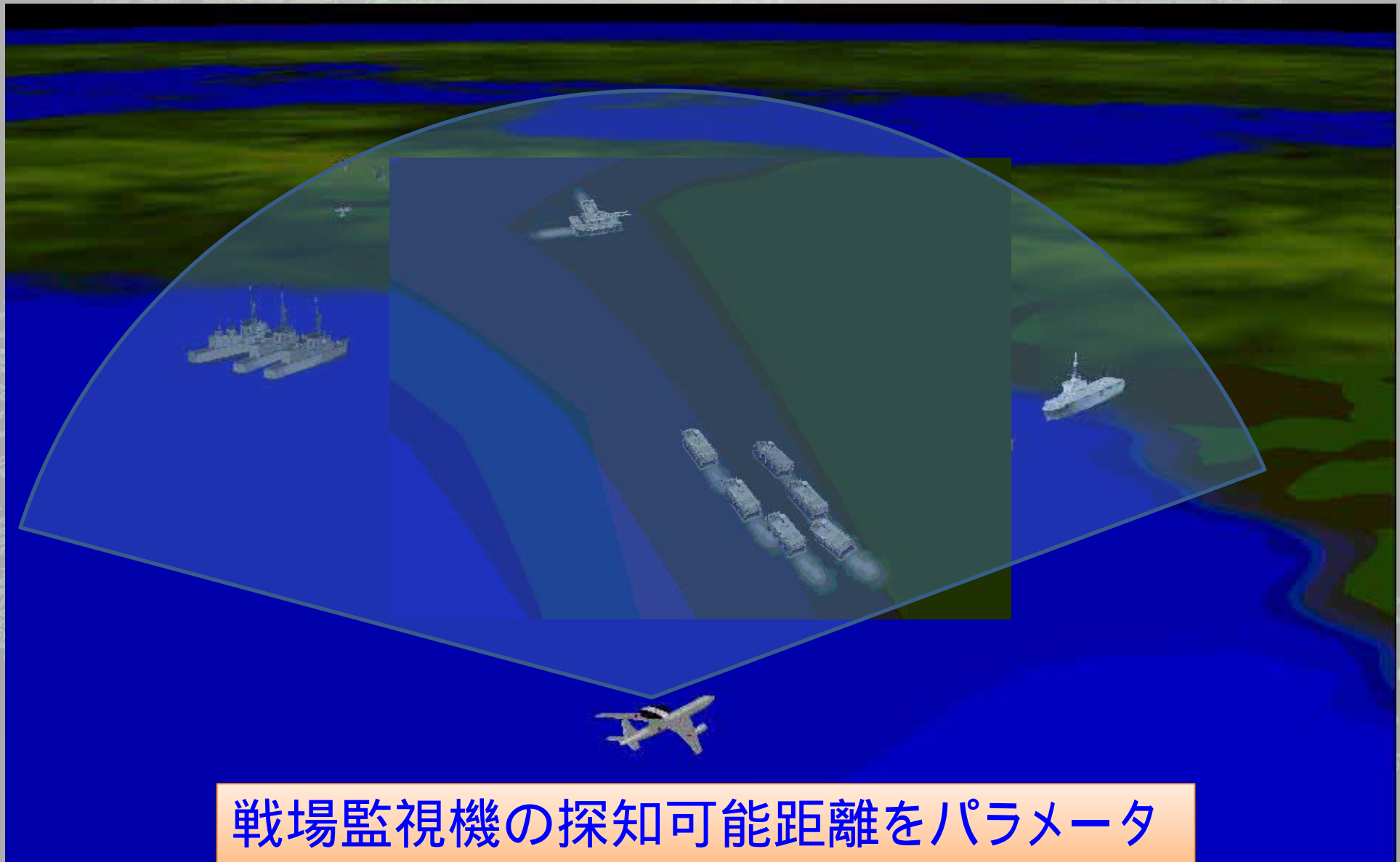


IF~THEN~の組合せによりモデル動作の柔軟な制御が可能

指揮モデルとして実装され、シナリオ中での装備システムモデルの動作を制御

行動タスク
 ルールグループ
 ルールグループ
 行動判断ルール
 行動判断ルール
IF ~ THEN ~

複数の**IF~THEN~**の行動判断ルールをまとめてルールグループとし、複数のルールグループをまとめて行動タスクとする。



戦場監視機の探知可能距離をパラメータ

```
/** シナリオにエンティティを追加します。selfForceFlag = true;
 * 指定する座標は LLA です。 */
public void addEntity(EntityFactory newEntity, double[] pos, Side side) {
```

```
PlatformModel plat=model.getPlatform();
FactorPanel platPanel=new FactorPanel(
platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(),
PlatformModel plat=model.getPlatform();
FactorPanel platPanel=new FactorPanel(
platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(),
```



```

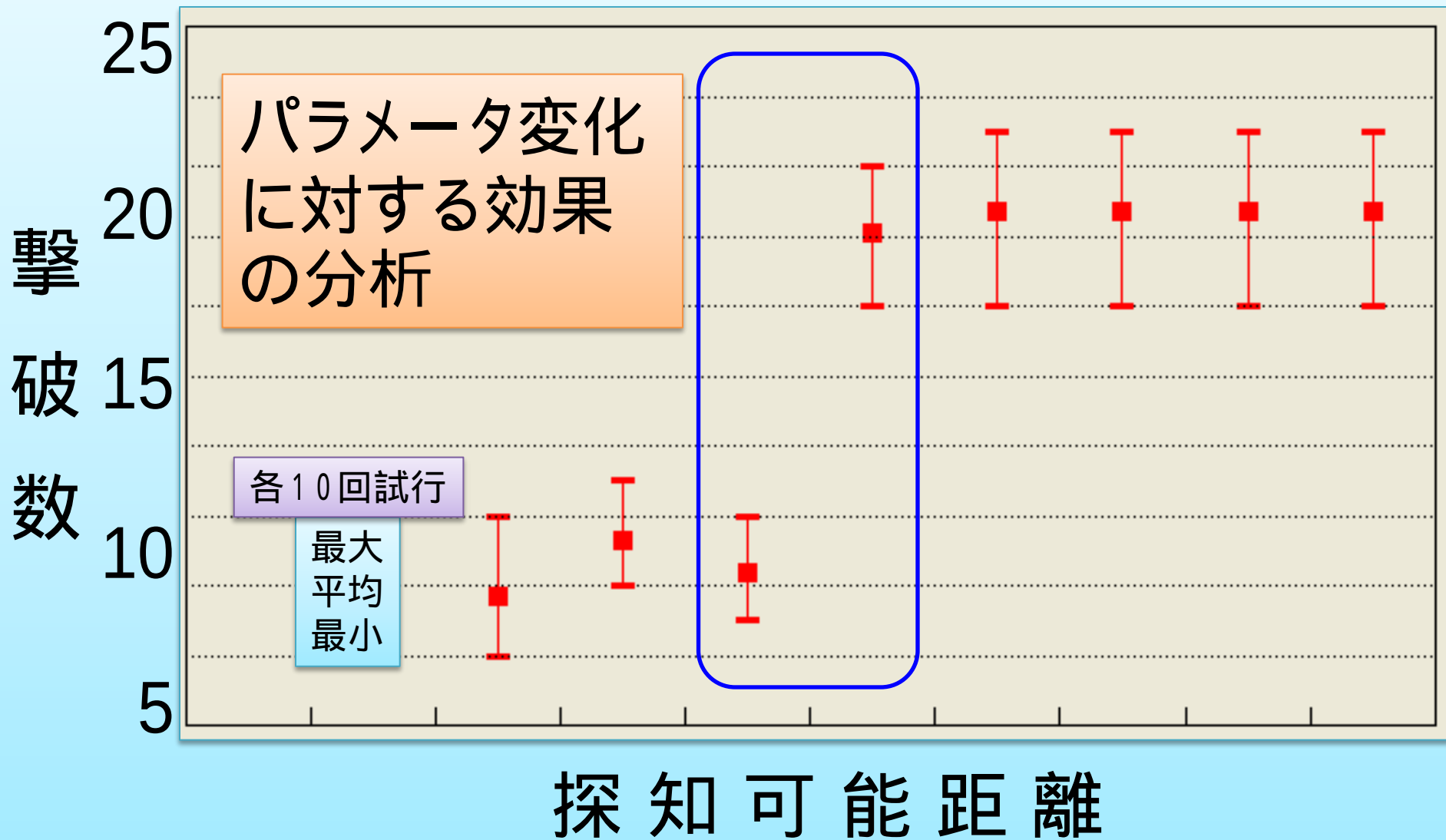
/** シナリオにエンティティを追加します。 */
public void addEntity(EntityFactory newEntity, double[] pos, Side side) {
    setOrderConfig = true;
    m_JudgementConfig = new JudgementConfig();
}

```

```

PlatformModel plat=model.getPlatform();
FactorPanel platPanel=new FactorPanel(
    platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(),
        objectFactorsPanel.getHeight());
}

```



Ø NCW環境下のS o Sシミュレーション

Ø BM、CM、ステルス機等の複合脅威対処シナリオ

Ø 研究開発の構想段階で装備品の全体システムへの運用効果のシミュレーションが可能

- 先進的技術研究の方向性の確認

- システムコンセプトの妥当性確認

- 機能・性能と技術的リスクのトレードオフ

Ø 効率的、効果的な研究開発に活用できるものと期待



技本版 i f の世界 (先進技術が開く新たな戦い方)

防衛省技術研究本部 先進技術推進センター
研究管理官（先進技術担当）付第2計画室
防衛技官 小倉 潤

目 次

1. 目的
2. 先進技術について
3. 先進技術適用効果の検証
4. 先進技術への取り組み
5. まとめ

1 . 目 的

- 新たな技術の適用は戦闘様相を大きく変化させ得ると考えられる。
- シミュレーションにより、技術の差による戦闘様相への影響を明らかにすることで先進技術を装備品に適用する効果を検証する。

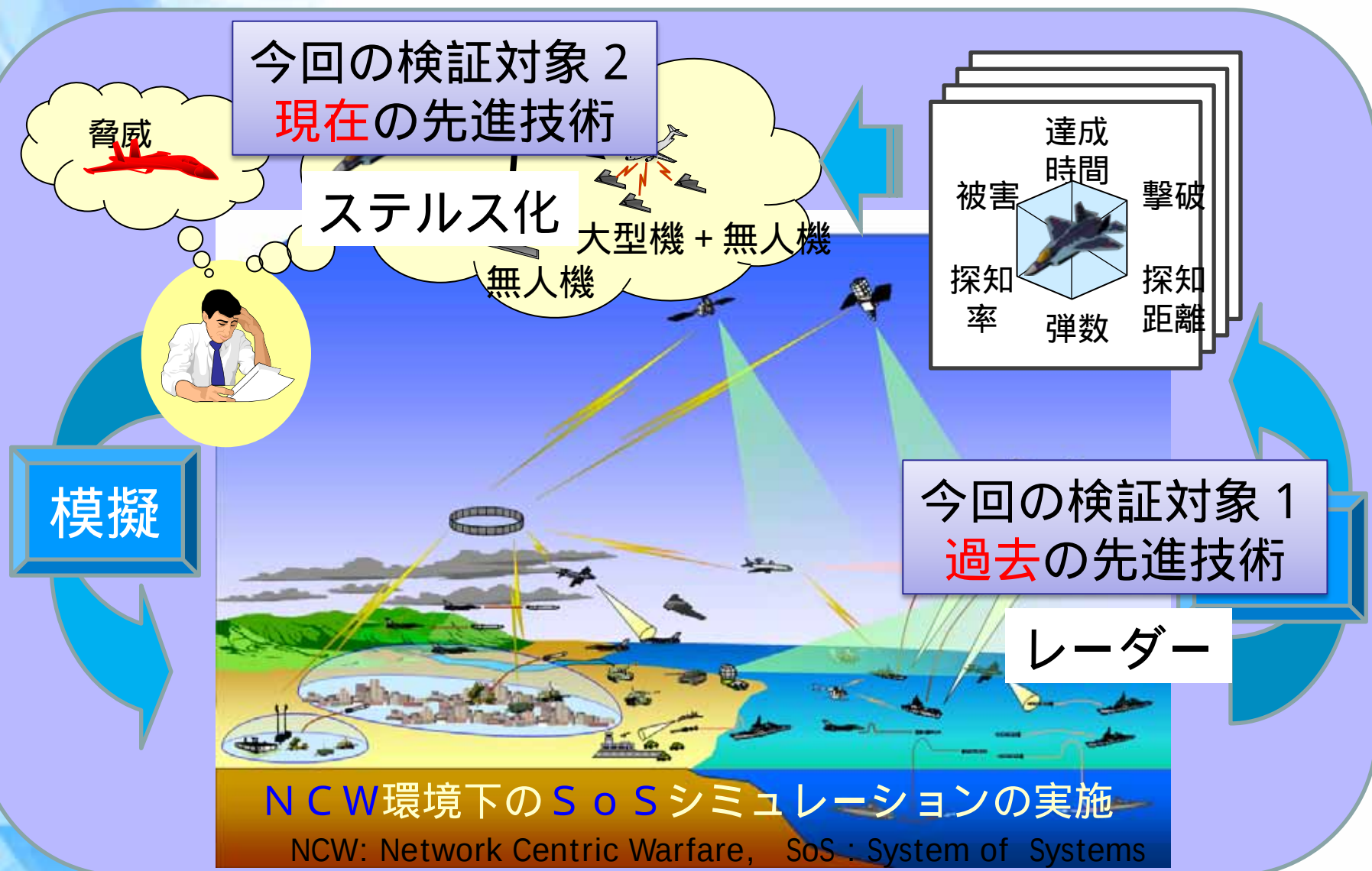
2．先進技術について (戦闘様相を一変させる技術とは)

- ・ 従来の装備システムや戦術が無力化
レーダー vs. 艦艇の夜戦、航空機の奇襲等
- ・ 絶対的優位であった装備システムに対抗が可能
バズーカ砲（対戦車ミサイル） vs. 戦車
- ・ 戦略環境が根本的に変化
大量破壊兵器 vs. 通常兵器
- ・ 装備システムが飛躍的に小型化、性能向上
半導体 vs. 真空管
- ・ 新たな戦い方による能力格差の発生
ネットワーク化 vs. 非ネットワーク化

2．先進技術について (シミュレーションによる検証内容)

- 仮想的な戦闘状況を設定し、**先進技術の適用の有無**が異なる部隊間での仮想的な戦闘についてシミュレーションを行う。
- 先進技術を装備品に適用することの重要性を検証する。

3 . 先進技術適用効果の検証 (シミュレーション統合システム)



3 . 先進技術適用効果の検証 (比較用基本シナリオ)

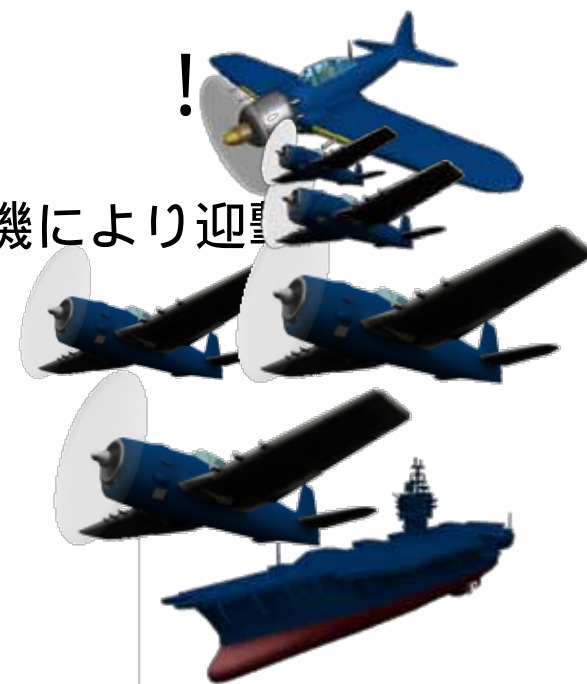
- 目的：比較用基本シナリオを示す。
- 状況：空母対空母による仮想的戦闘
- 編成：（東軍）空母（目視）× 1、偵察機（目視）、攻撃機、戦闘機
（西軍）空母（目視）× 3、偵察機（目視）、攻撃機、戦闘機

(シミュレーション・ルールの概要)

- （西軍）偵察機が目視により索敵。
- （東軍）発見した空母に対し攻撃機により攻撃。
- （西軍）発見した偵察機及び攻撃機に対し戦闘機により迎撃。

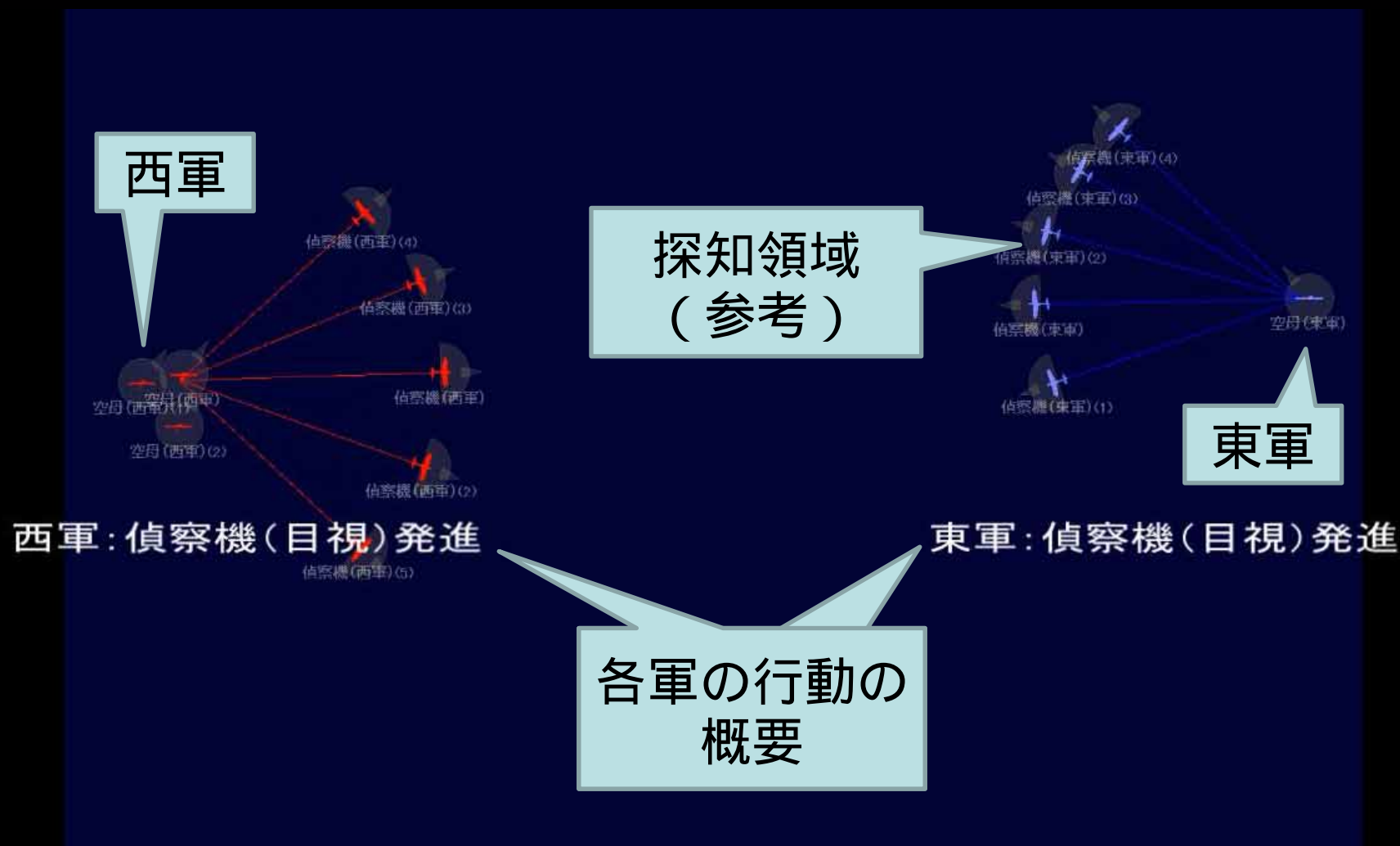


(西軍)



(東軍)

3 . 先進技術適用効果の検証 (比較用基本シナリオ)



シミュレーション結果の例

3 . 先進技術適用効果の検証 (過去 の 先進技術 の 効果 を トレース)

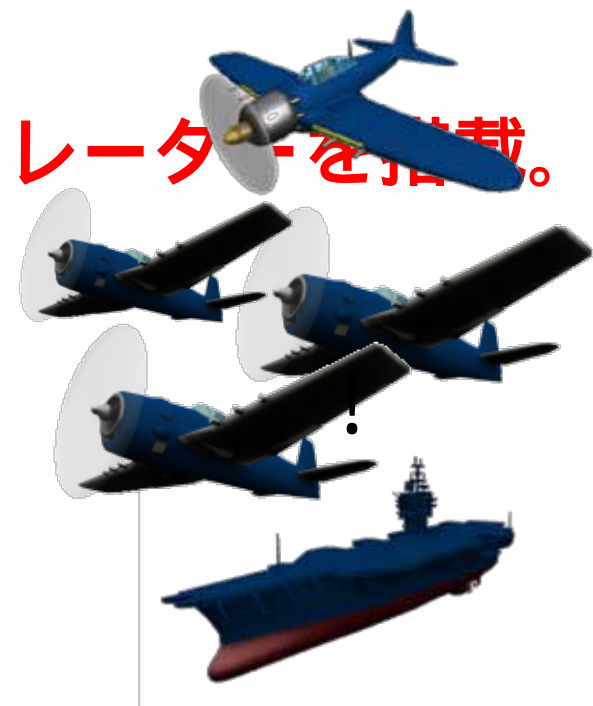
- 目的 : レーダー技術導入による戦闘様相の変化を確認する。
- 状況 : 空母対空母による仮想的戦闘
- 編成 : (東軍) 空母 (レーダー) × 1、偵察機 (レーダー) × 1、攻撃機、戦闘機
(西軍) 空母 (目視) × 3、偵察機 (目視) 、攻撃機、戦闘機

(シミュレーション ・ ルール の 変更 事項)

- (東軍) 偵察機 (1 機) 及び空母にレーダーを搭載。



(西軍)



(東軍)

3 . 先進技術適用効果の検証 (過去の先進技術の効果をトレース)

先進技術適用効果の検証
(過去の先進技術の効果をトレース)

3 . 先進技術適用効果の検証 (**現在**の先進技術の効果を検証)

- 目的 : **ステルス化技術導入**による戦闘様相の変化を確認する。
- 状況 : 空母対空母による仮想的戦闘
- 編成 : (東軍) 空母 (レーダー) × 1、偵察機 (レーダー) × 1、攻撃機、戦闘機
(西軍) 空母 (目視) × 3、偵察機 (**ステルス**)、攻撃機 (**ステルス**)、戦闘機

(シミュレーション・ルールの変更事項)

- (**西軍**) 偵察機及び攻撃機をステルス化。



(西軍)



(東軍)

3 . 先進技術適用効果の検証 (現在の先進技術の効果を検証)

先進技術適用効果の検証
(現在の先進技術の効果を検証)

3．先進技術適用効果の検証 (検証の結果)

シナリオ	空母（西軍） （3隻）	空母（東軍） （1隻）
比較用シナリオ	被弾	沈没
東軍にレーダー 技術を適用		損傷無し
西軍にステルス 技術を適用		沈没



先進技術の適用により戦闘様相が大きく変化

4．先進技術への取り組み （装備化への道のり）

装備システムの例

通信システム

レーダシステム

ソナーシステム

装備化

萌芽的技術の発掘・発芽

ベースとなる技術や発明
（萌芽的技術など）

マルコーニによる
大西洋横断無線通信

広帯域化

マグネトロンの
発明

固体化

トランスデュー
サー・ハイドロ
ホンの高効率化

広帯域化

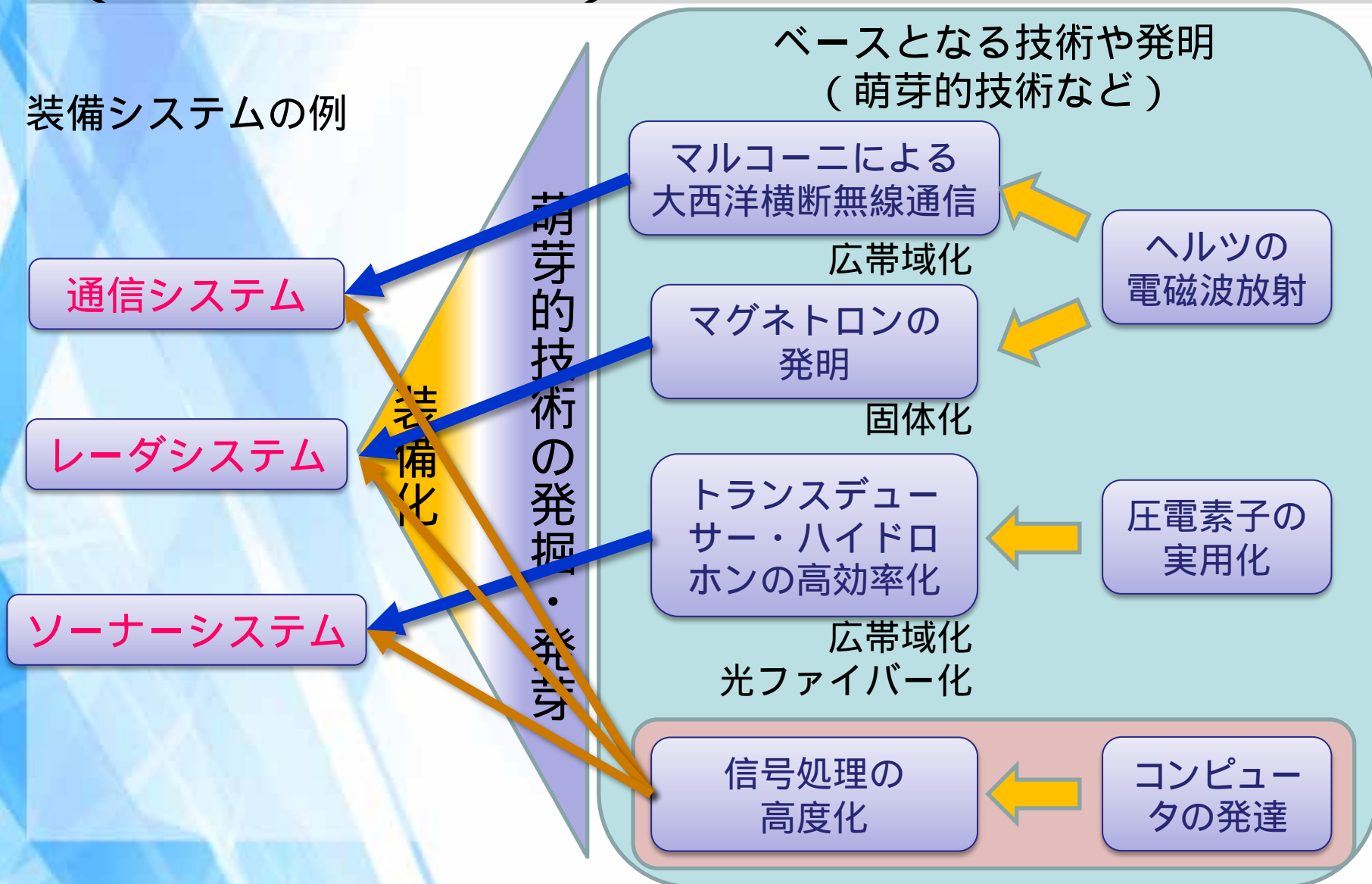
光ファイバー化

信号処理の
高度化

ヘルツの
電磁波放射

圧電素子の
実用化

コンピュ
ータの発達



4 . 先進技術への取り組み (S F 映画などに見る I F の世界から現実世界へ)

S F 映画などの世界	適用可能性のある技術	運用に与える影響
強化スーツ	生体電位センサ 小型アクチュエータ	災害対応 個人装備の能力向上
光線銃	レーザー	リアクションタイムの向上 個人装備の能力向上
空中歩行	ジェットバック (個人飛行推進装置)	空挺部隊の能力向上
光学迷彩	フレキシブルディスプレイ 赤外線放射制御	ステルス性向上
テレパシー	ブレインマシンインターフェース	ゼロカジュアリティ 無人機の遠隔操作
分身の術	ホログラフィー	おとり (欺まん) 対テロ対策



萌芽的技術の発掘・発芽

I F の世界の実現化

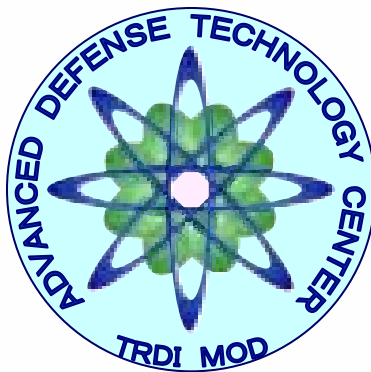
5．まとめ

仮想的な戦闘状況を仮定し、適用される技術の異なる部隊間での戦闘をシミュレーション統合システムにより行った。

引き続き先進技術推進センターでは以下に取り組む。

- 萌芽的技術を発掘し発芽させることで、先進技術の装備システムへの適用を推進する。
- シミュレーション統合システムの活用により、装備システムへの先進技術の適用効果を検証する。

勝敗の鍵はチームワーク (小型移動体の群制御)



先進技術推進センター
研究管理官 (先進技術担当) 付
第1計画室
鍵和田 元

説明事項

- 1 . 背景
- 2 . 目的
- 3 . 運用構想
- 4 . 技術課題
- 5 . 研究の焦点
- 6 . 研究の進め方
- 7 . 本発表のまとめ
- 8 . 将来の研究方向

本研究の背景

市街地等の**遮蔽物が多い地域**には、待ち伏せ等の脅威



事前に、**目標を確実に検知**



遠距離センサでの検知は、**死角があるため困難**

強力な遠距離検知能力による力任せではダメ！



近距離センサを搭載した**多数の移動体**を展開して、死角をなくす**センサネットワーク**を構築

みんなで協力して、
死角がないように
目標を見張る
チームワークが鍵



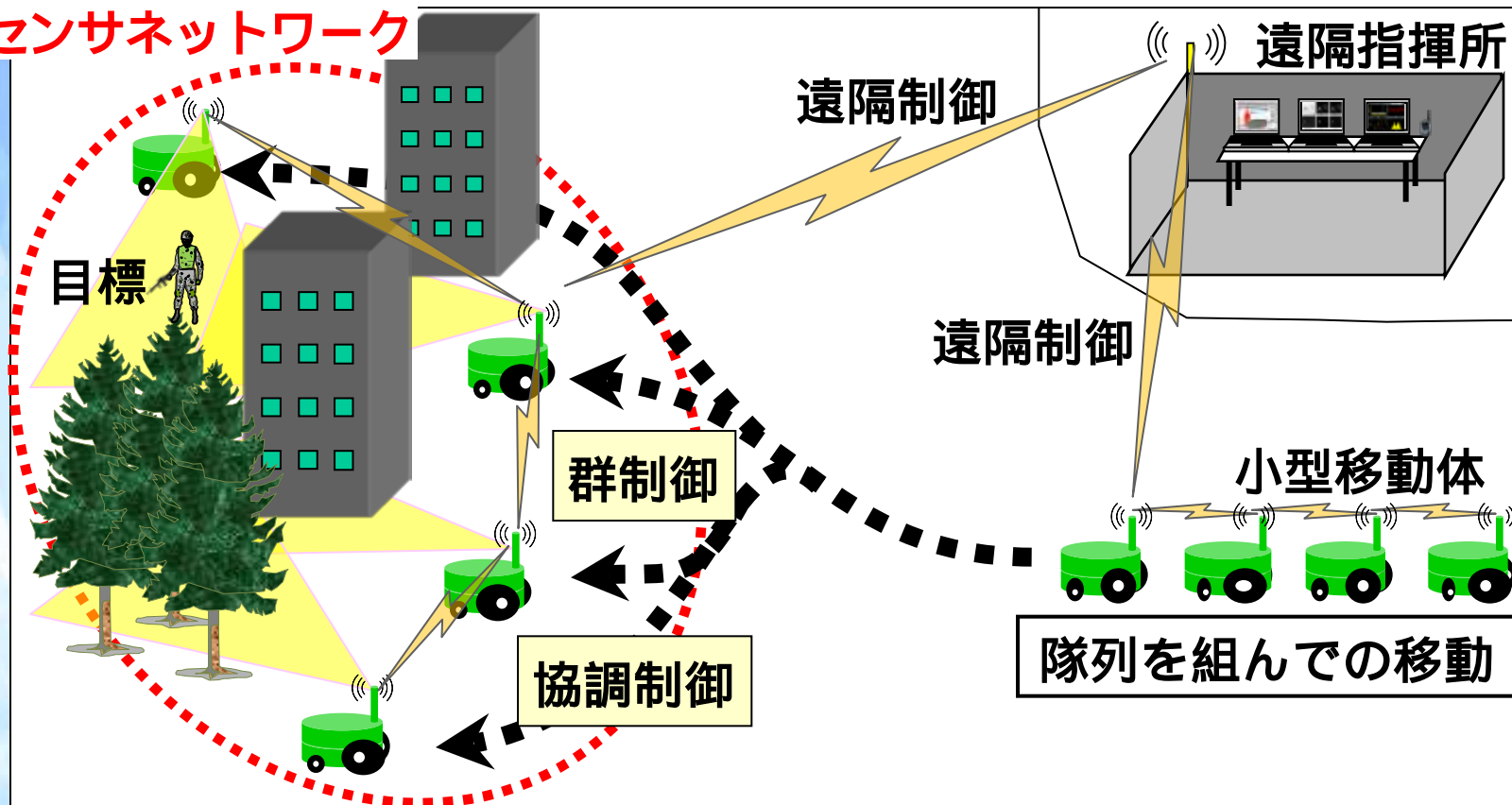
- ・ 多数の移動体を**個別に遠隔制御**することは、**通信**や**信号処理**能力から困難
- ・ **高価な移動体**を多数使用したシステムの**取得は困難**

本研究の目的

個々単独では高い機能を持たない多数の小型移動体を群制御及び協調制御することにより、遮蔽物が多い市街地等における偵察活動等に威力を発揮する低コストな小型移動体システムを実現する。

運用構想図

センサネットワーク



技術課題と研究の進め方

技術課題

研究の進め方

(1) センサネットワークの構築

- a) 移動体全体の相対位置関係の把握
- b) センサネットワークによる目標位置情報取得
- c) 小型移動体の遠隔制御 (群制御、協調制御)
- d) 遠隔指揮所への情報伝送量の低減
- e) 目標識別技術

ほとんど研究
されていない
分野であり、
本研究の焦点

(2) 小型移動体本体の実現

- a) 障害物回避や荒地を走破できる移動能力
- b) 小型高性能な動力源
- c) 自律移動技術
- d) 移動体の小型化・軽量化・低コスト化技術

既存の研究
があり、
**他研究の成
果を活用**

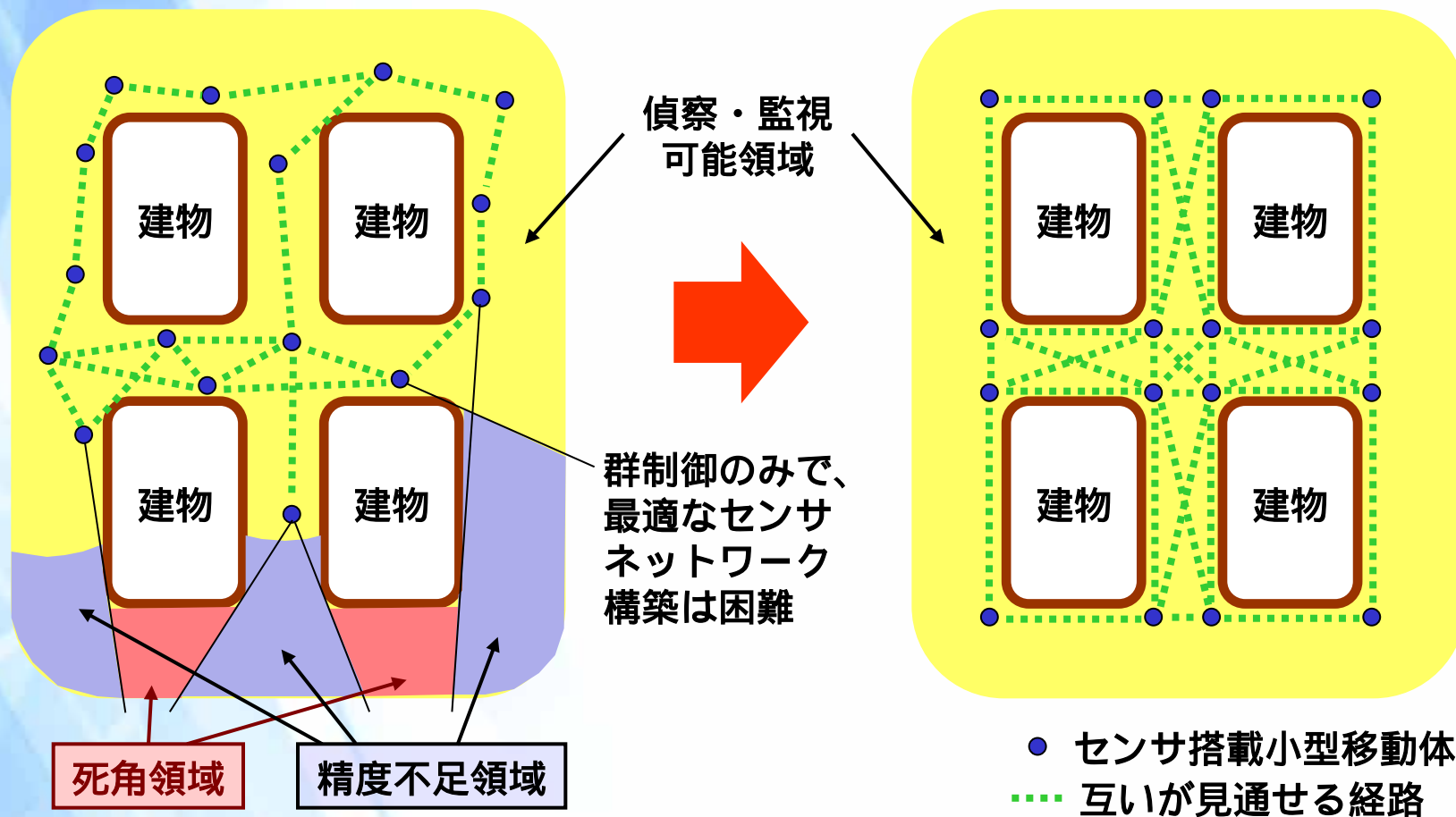
センサネットワークの構築（群制御と協調制御）

群制御のみ

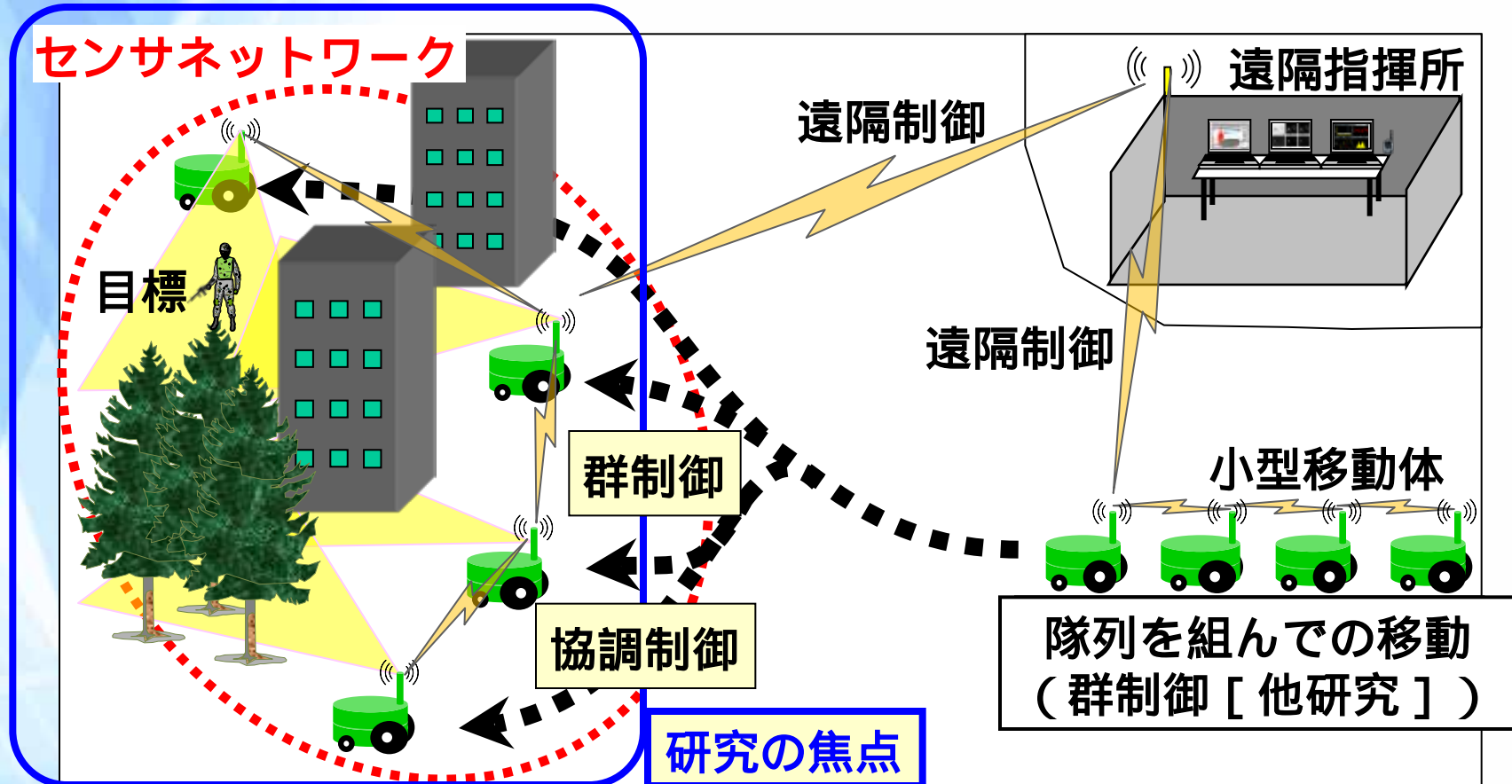
群制御とは、群れを作る制御であり、個々の移動体が他からの情報なしで群れを作るのが理想

群制御 + 協調制御

協調制御とは、限られた情報交換の下で、ある仕事を協調して実行する制御



研究の焦点

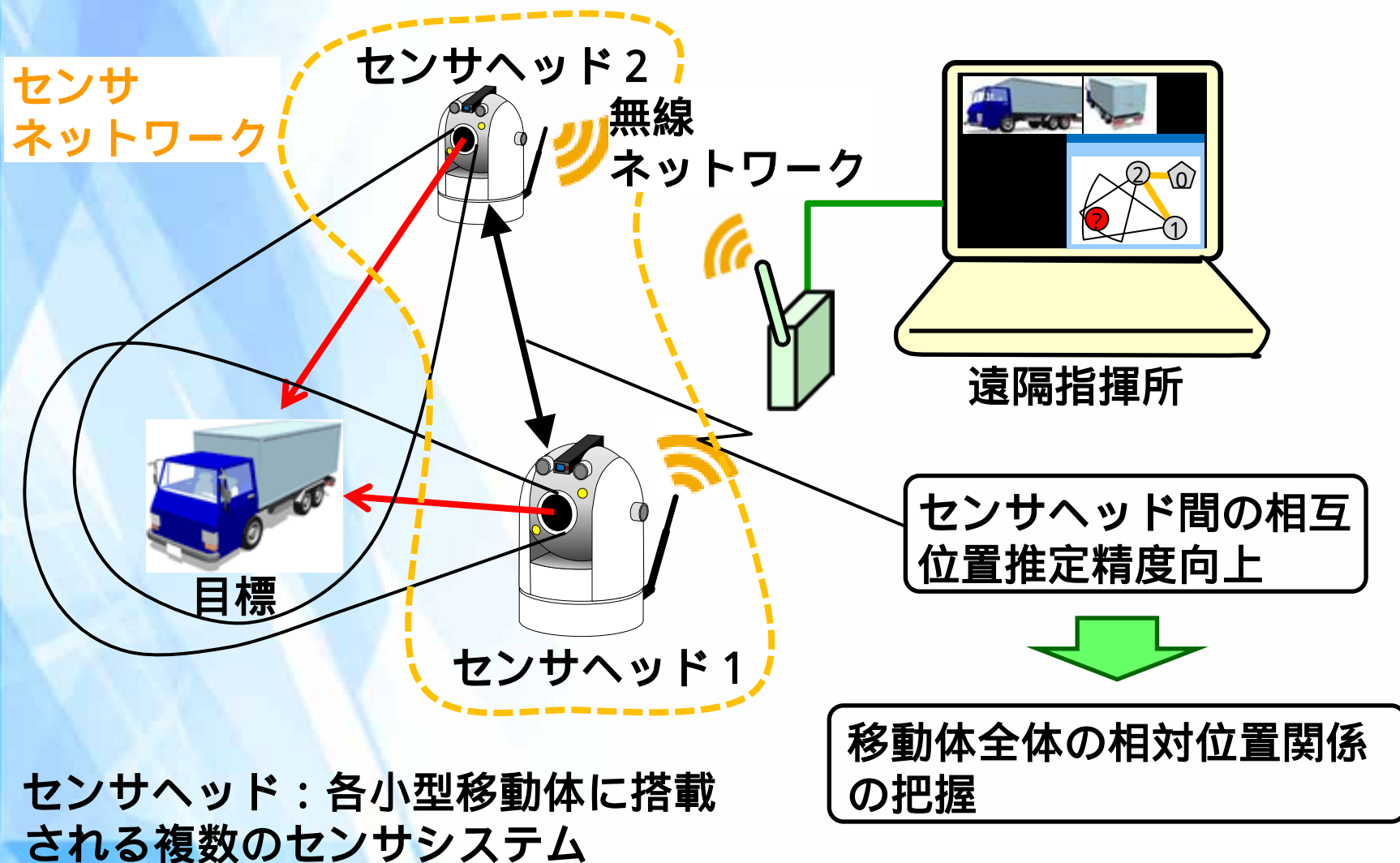


協調制御に
よる機能

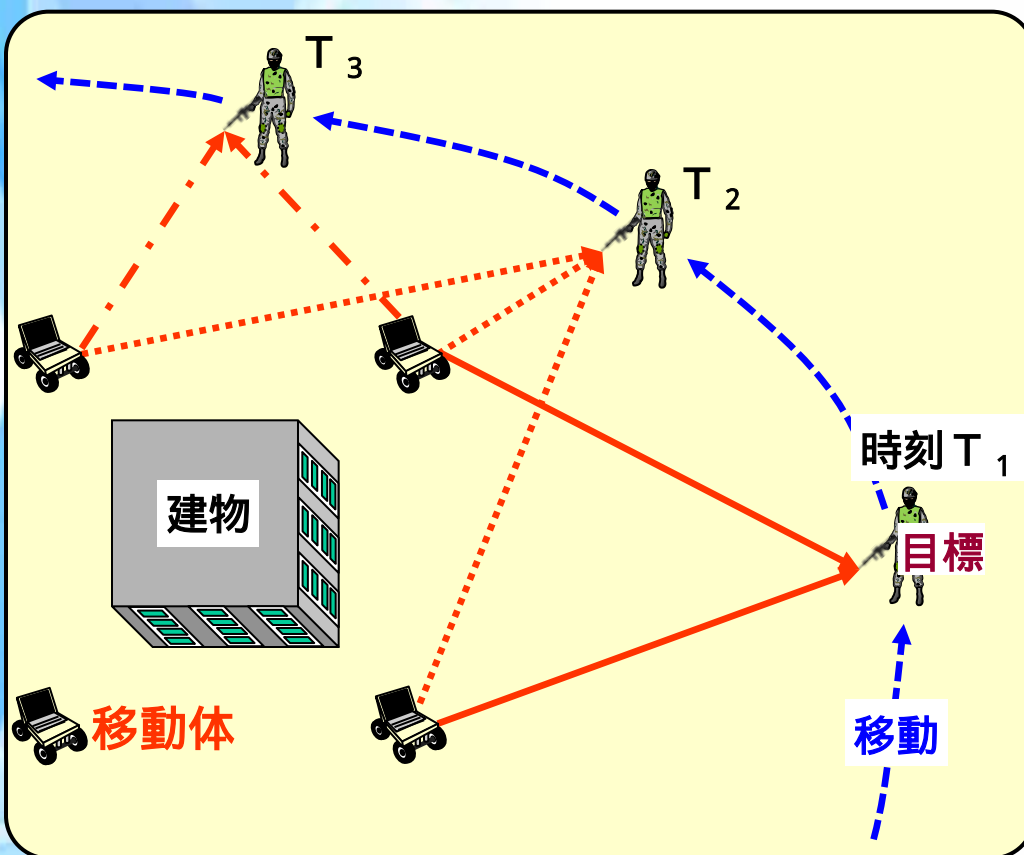
センサネットワークによる目標情報取得
遠隔指揮所への情報伝送量の低減

研究の進め方（相対位置関係把握と目標位置情報取得）

複数のセンサヘッドと目標との相対位置情報から、
センサネットワークに対する目標位置情報を取得

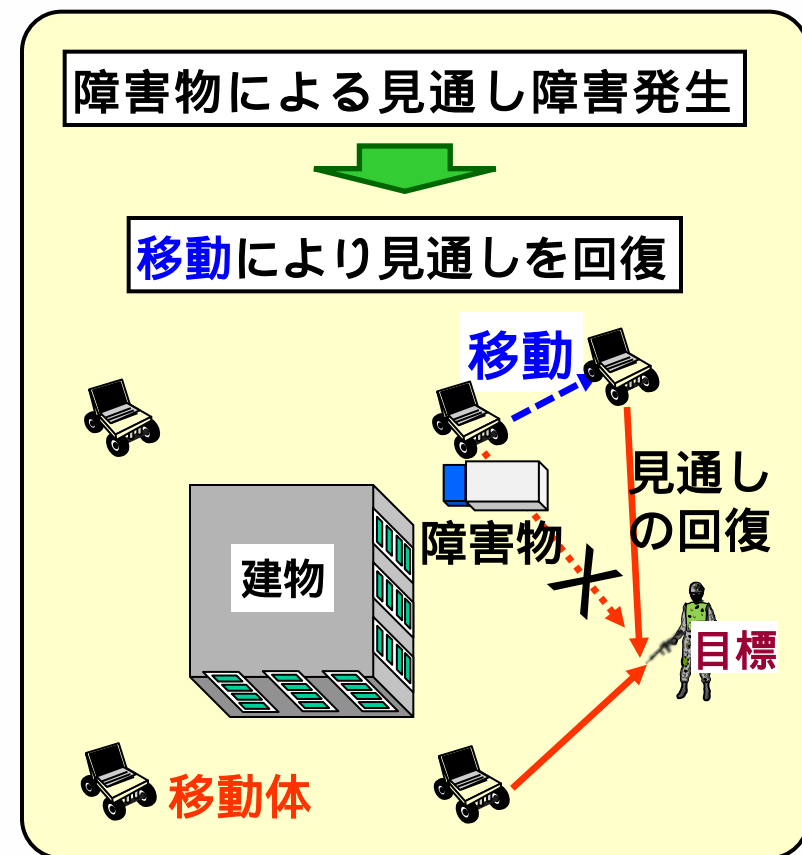


研究の進め方（群制御と協調制御）



(1) 目標の追尾

センシング領域を協調制御により繋げていき、死角のないシームレスな追尾

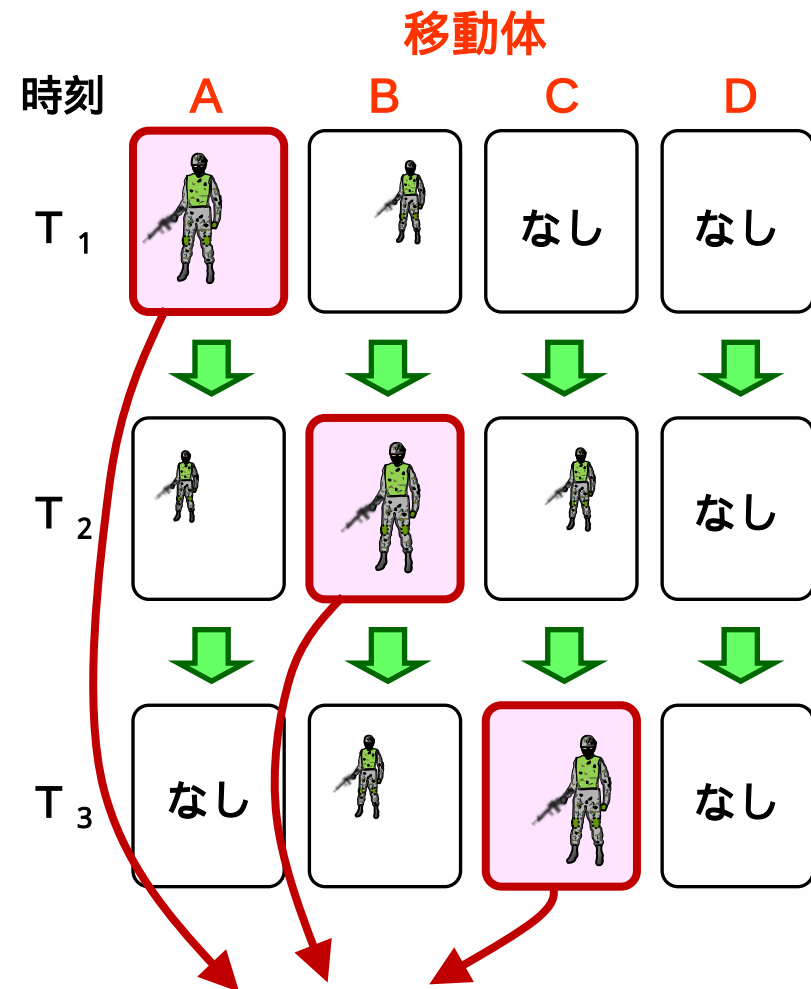
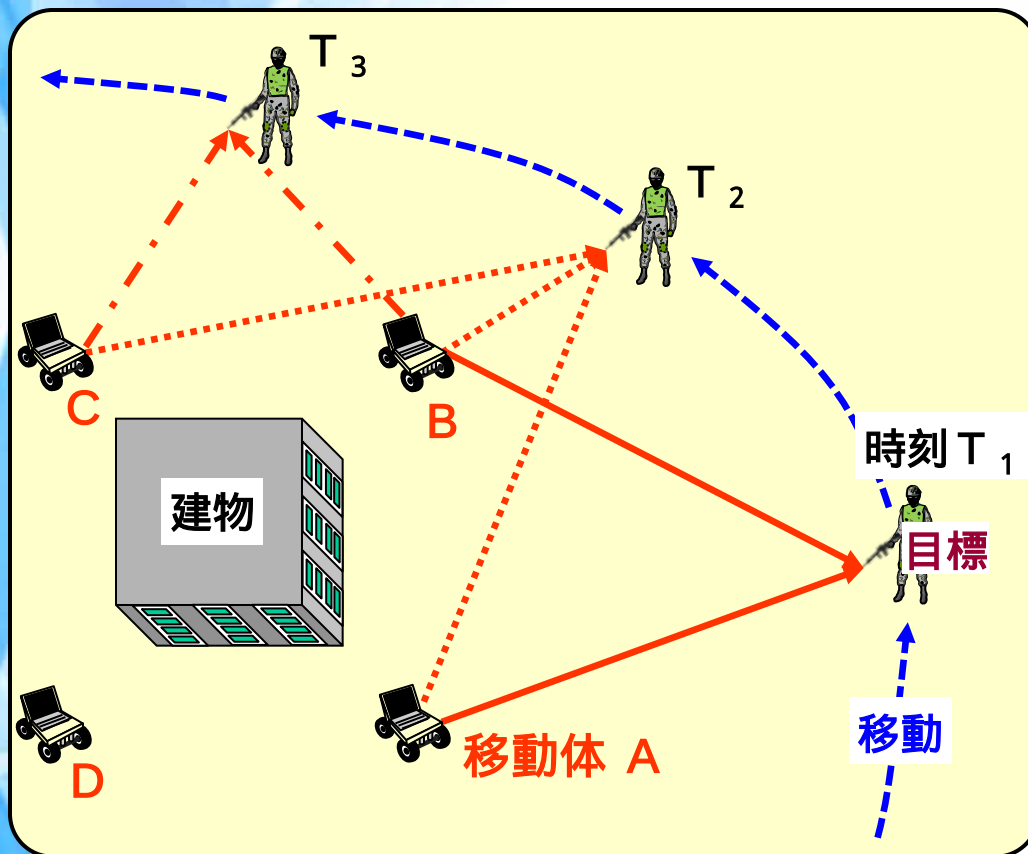


(2) センサネットワークの復旧

群制御及び協調制御により、センサネットワークを維持

本研究の実施にあたっては、大学との連携を計画

研究の進め方（情報伝送量の低減）

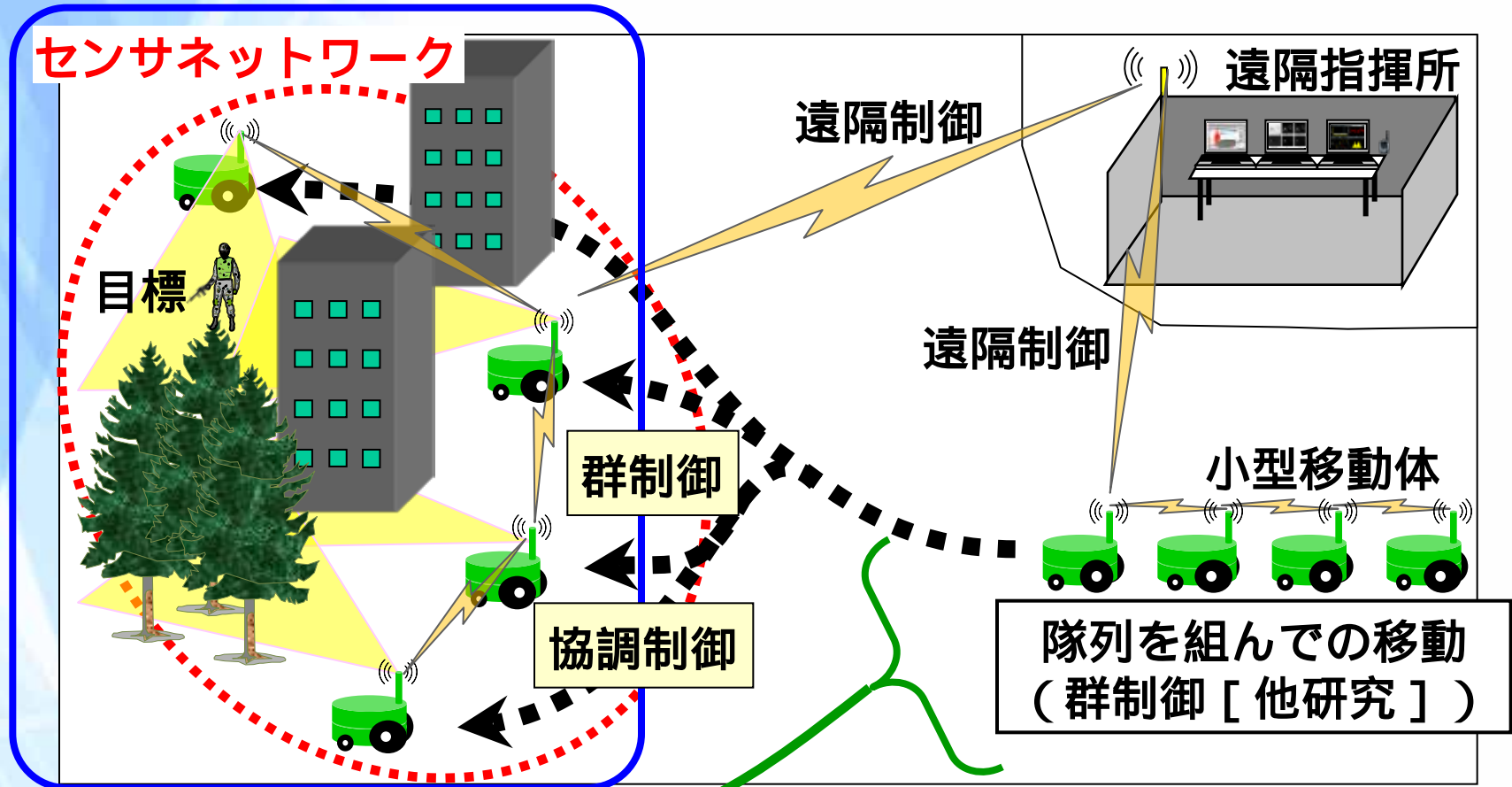


有効な情報を抽出してから、そのデータを
伝送することで、情報伝送量を低減

本発表のまとめ

- (1) 市街地等の遮蔽物が多い地域においても、目標を確実に検知することが可能な複数の小型移動体を用いた偵察システムを提案
- (2) ほとんど研究されていない複数の移動体を用いたセンサネットワークの構築に向けて、技術課題や研究の進め方について、研究計画を提示

将来の研究方向

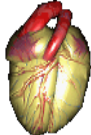


本研究の成果

他研究の成果

遮蔽物が多い市街地等における偵察活動等に威力を発揮する**低コストな小型移動体システム**を実現

研究構想に関する発表

声で判定, 隊員のドキドキ 

Voice Analysis Reveals Soldier's Beat

(心身状態を推定する音声特徴の研究)

(Prosodic Features of Speech for Estimating Mental and Physical Stress)

23.11.10

先進技術推進センター

研究管理官(ヒューマンエンジニアリング技術担当)付

人間工学技術推進室

菊池 浩人, 大西 洋一, 柳原 康功, 塩塚 稔也, 齋藤 靖之, 長嶋 満宏

発表の流れ

背景

目的

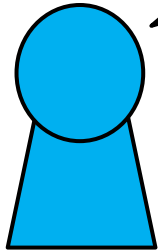
方法

まとめ

背景

はじめに

あの件、大丈夫か？



Verbal

言語
7%

Vocal

音声
38%

表情
55%

Visual

はい。

声の高さ
声の強さ
発話のリズム
発話のテンポ
口の開け方



背景

はじめに

音声で相手の何が分かりますか？

感情

幸福感、驚き、恐れ、悲しみ、怒り、嫌悪



疲労

倦怠感、疲労困憊



虚偽

ん？、あやしい、うそついてるな…

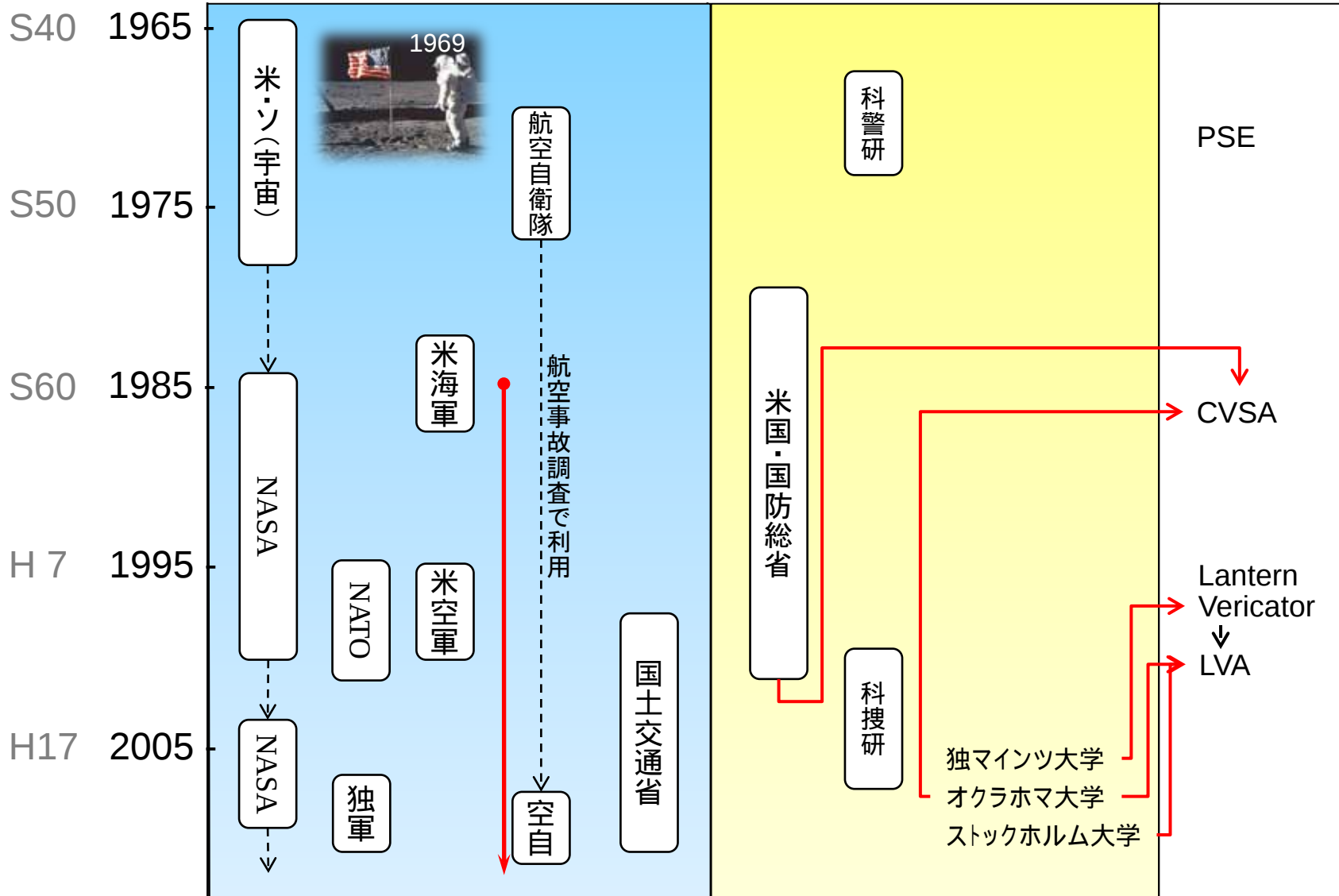


背景

感情、疲労

虚偽検出

市販ソフト



背景

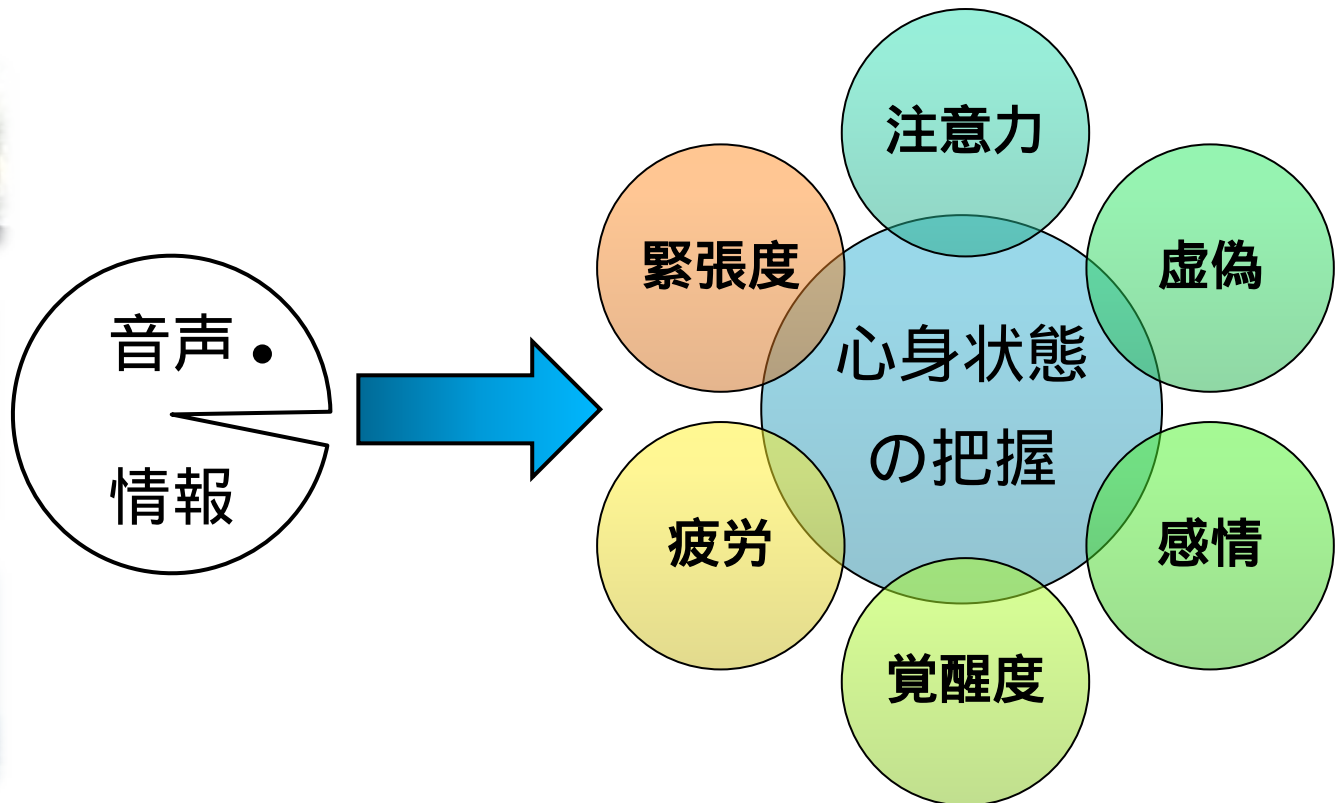
目的

方法

まとめ

目的

隊員等に負荷を与えず非接触的に得ることができる、音声情報によって心理・生理的な状態を推定する方法及び評価に関する技術資料を得る。

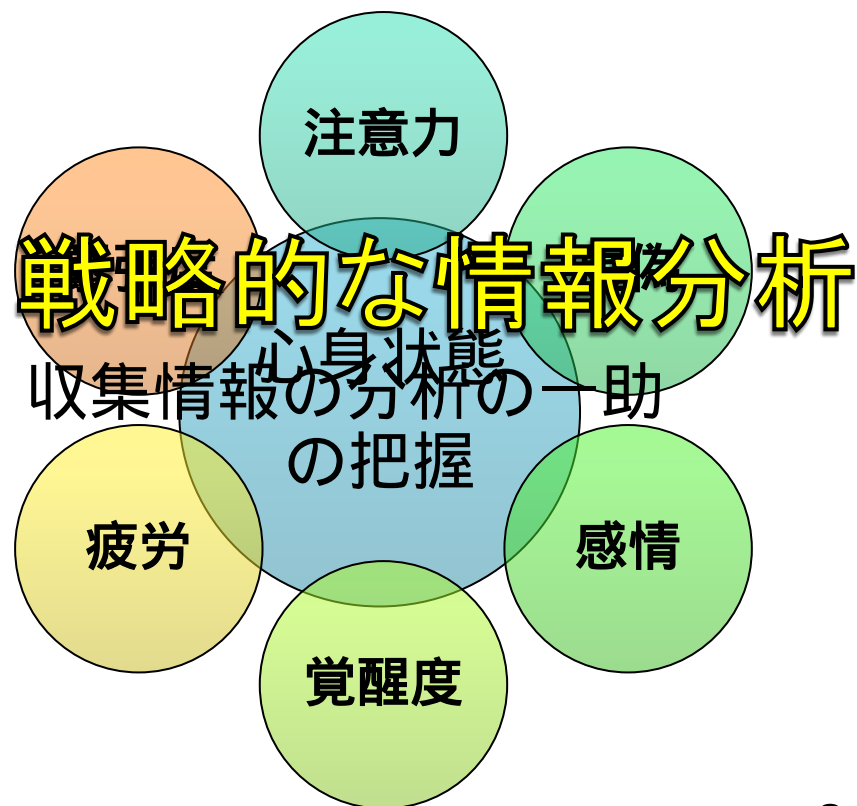


目的

期待される効果

保有戦力の最大発揮及び安全確保

指揮官による隊員の心身状態把握、隊員自身へのフィードバック



目的

成果の運用例(概念図)

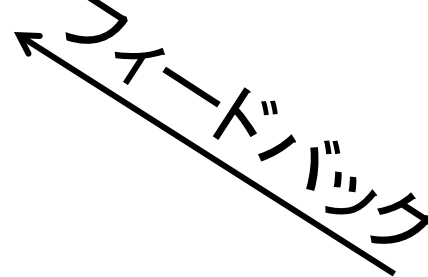
隊員の心身状態把握



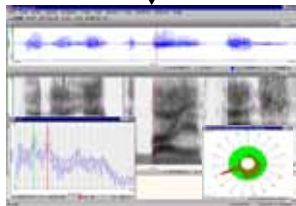
指示、助言



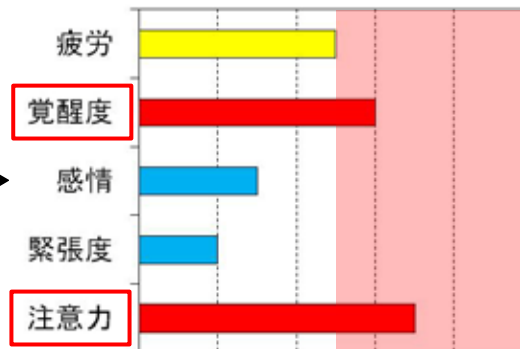
フィードバック



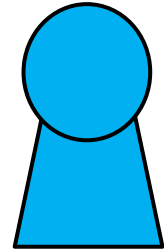
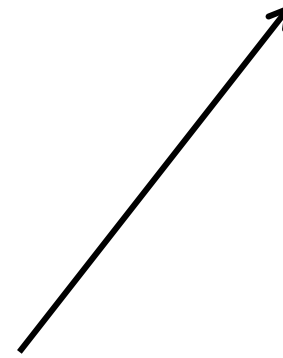
音声入力



音声分析
アルゴリズム



分析結果



背景

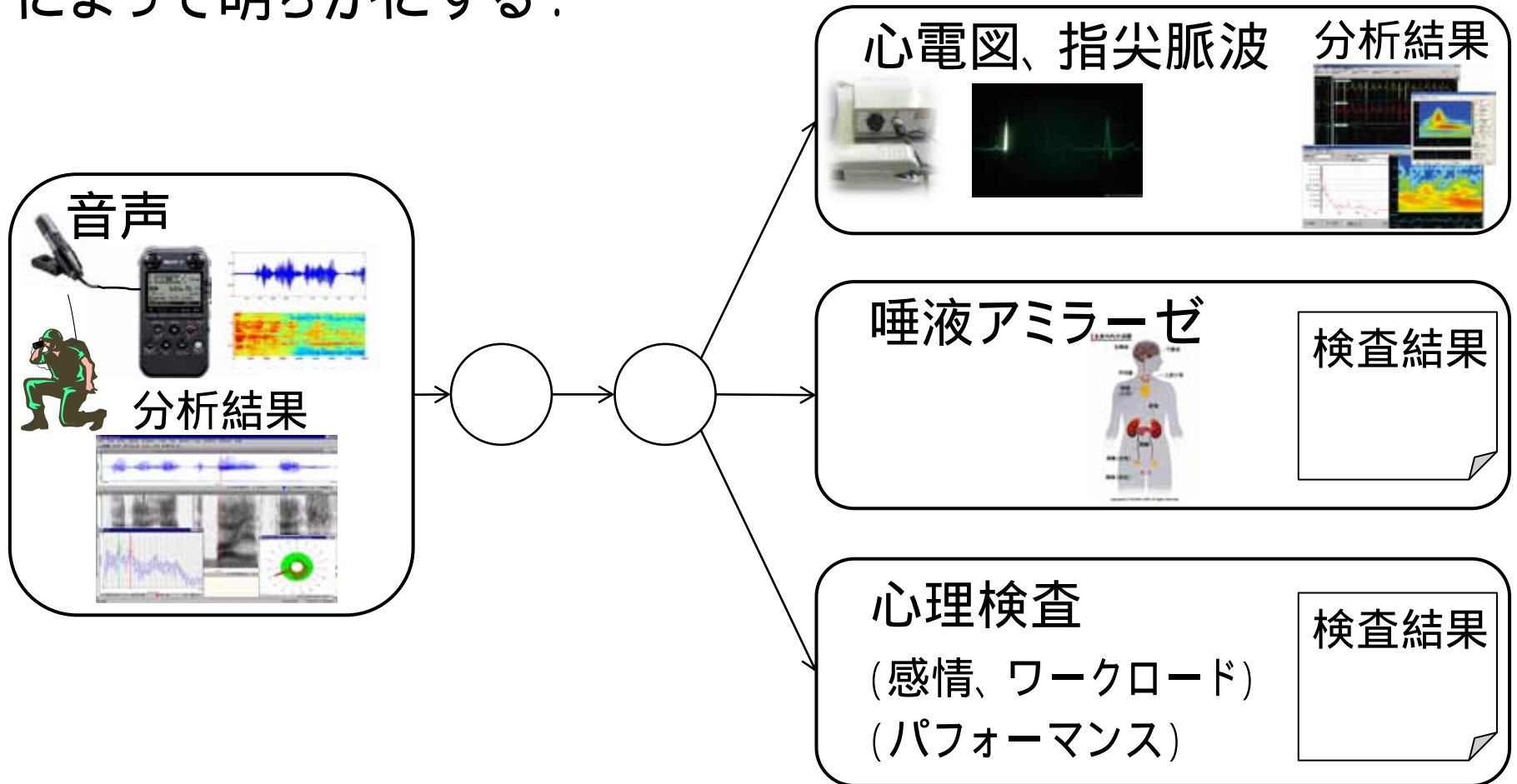
目的

方法

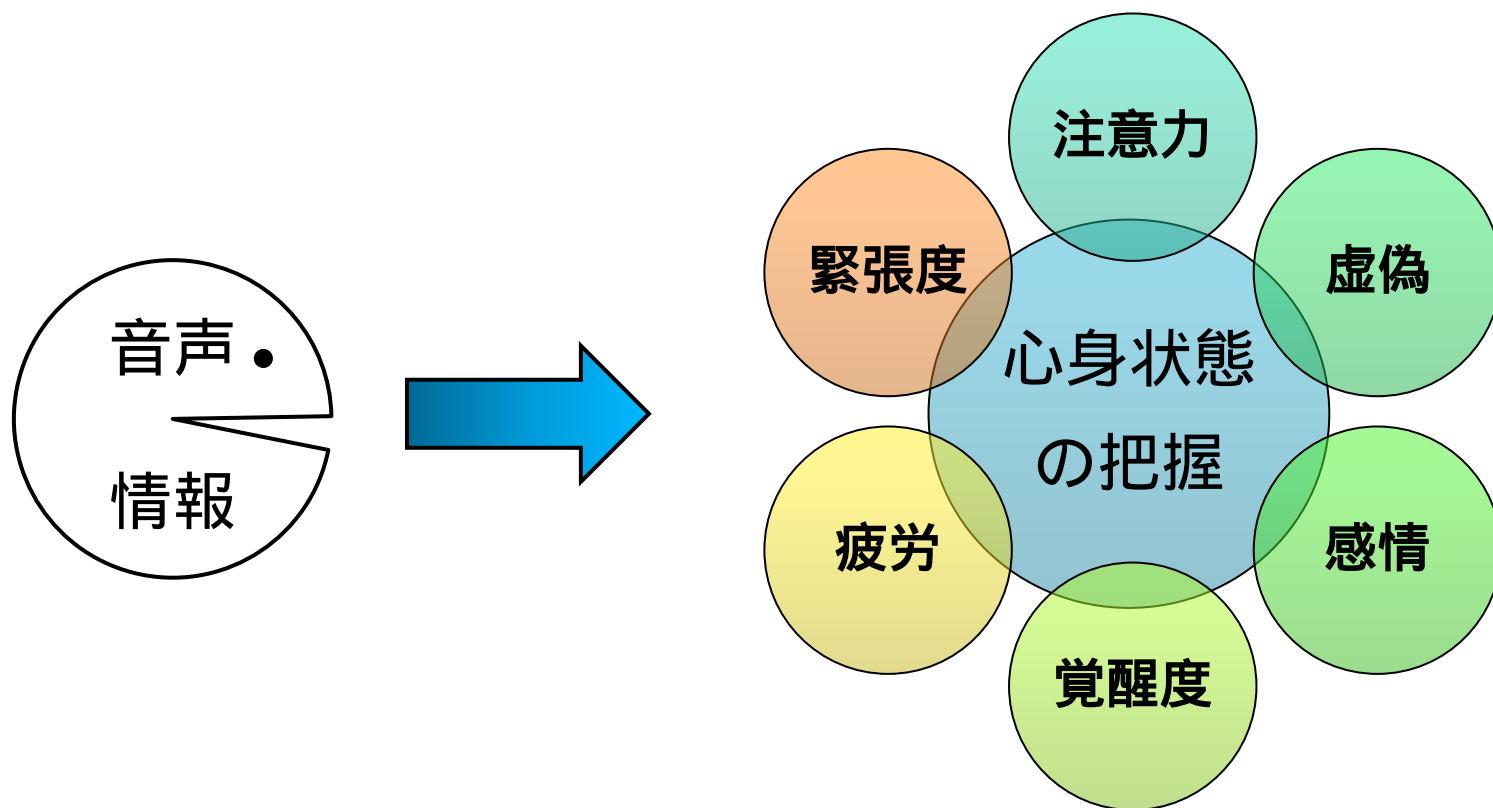
まとめ

方法

「声」と「心」・「身体」の状態を表す指標との関係を統計的手法によって明らかにする。

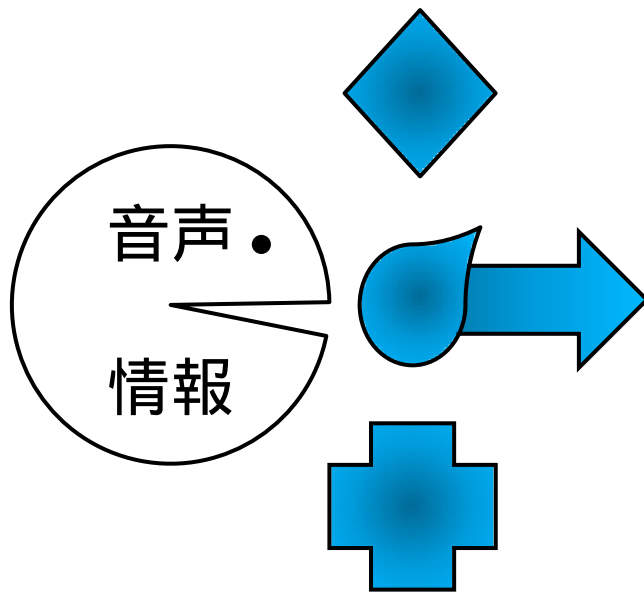


方法

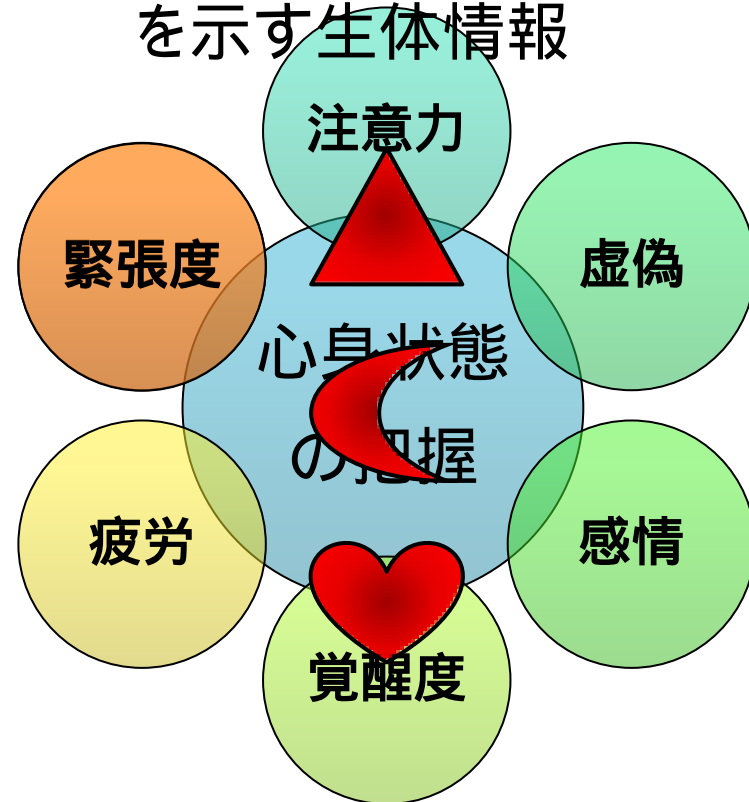


方法

音声情報



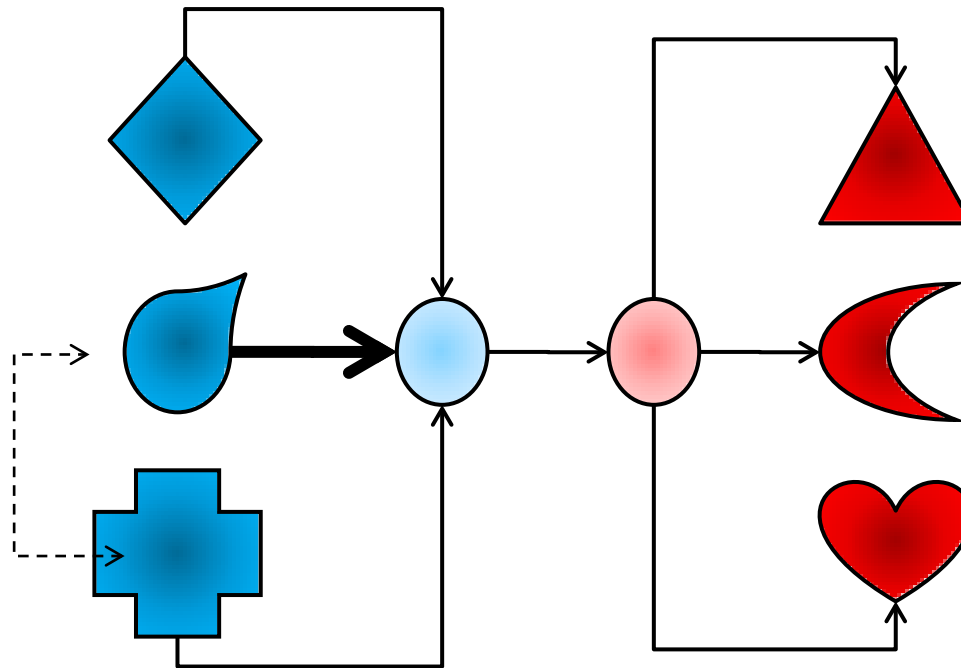
交感神経系の亢進
を示す生体情報



方法

音声情報

交感神経系の亢進
を示す生体情報



共分散構造分析

こんな方法でわかるの？

方法

参考とする先行研究

(航空自衛隊 航空安全管理隊 航空事故調査部 自主研究)

菊池 (2009).

操縦時のストレスがパイロットの音声及び自律神経応答へ及ぼす影響.
早稲田大学大学院修士論文(人間科学).

研究指導: 実験心理学及び人間工学の教授

論文審査: 音声言語学及び生体情報工学の准教授

Hiroto Kikuchi (2010).

Effects of Mental Stressors during Flight on Prosodic Features of Speech
and Autonomic Nervous Responses.

Annual Seminar of the International Society of Air Safety Investigators.

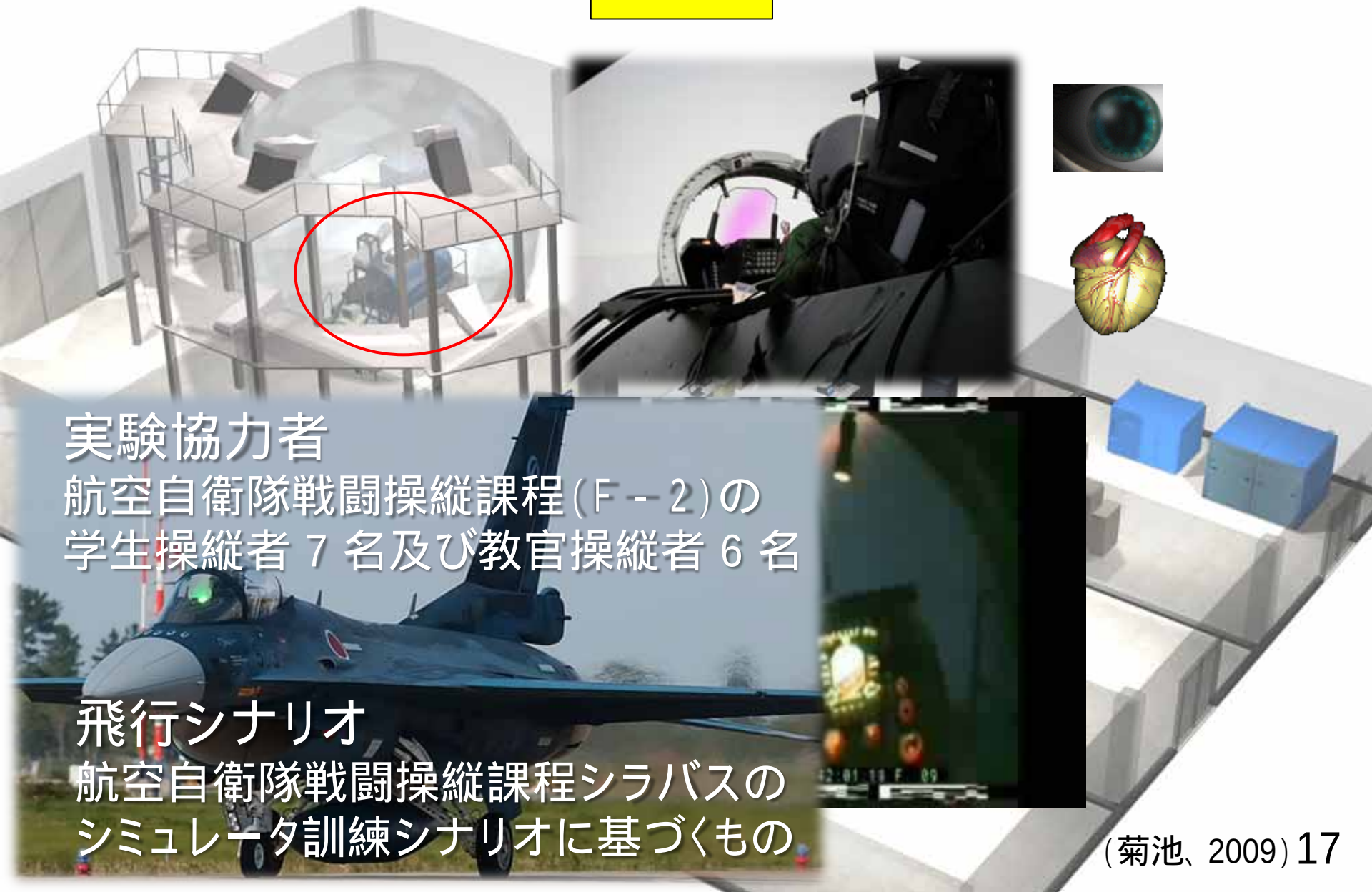
(国際事故調査官協会年次研究会)

2011年3月、ストックホルム大学言語学部副部長
(Lacerda教授)に研究の実験手順、分析手法及
び結果を説明したところ、興味深い研究であるとの
評価を得た。



方法

参考とする先行研究



実験協力者

航空自衛隊戦闘操縦課程 (F-2) の
学生操縦者 7 名及び教官操縦者 6 名

飛行シナリオ

航空自衛隊戦闘操縦課程シラバスの
シミュレータ訓練シナリオに基づくもの

方法

参考とする先行研究

音声情報

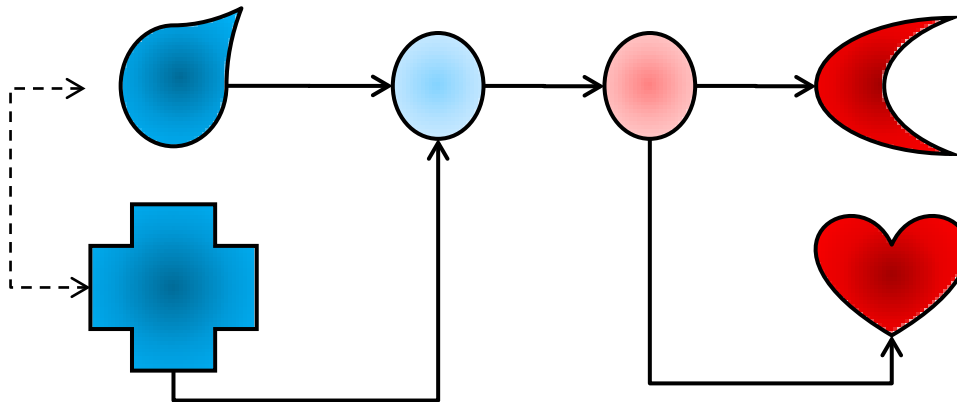
交感神経系の亢進
を示す生体情報

音声基本周波数
(声の高さ)

瞳孔径
(瞳孔の開き具合)

周波数ジッタ
(周波数の変動成分)

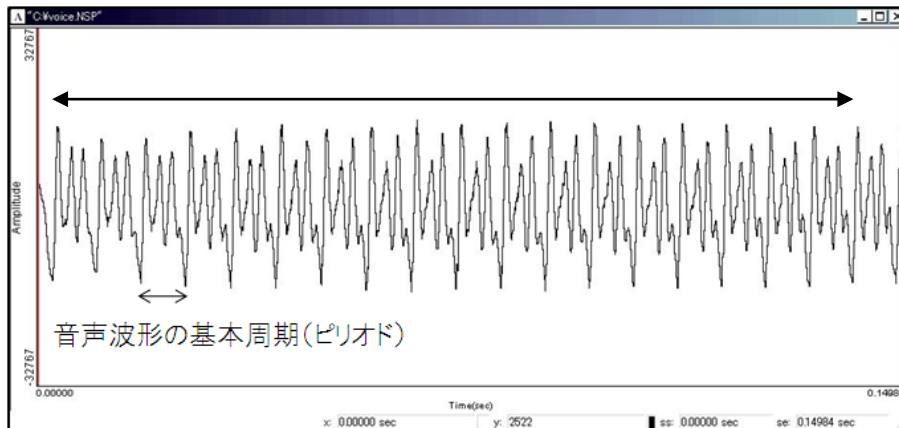
心拍数
(ドキドキ具合)



方法

参考とする先行研究

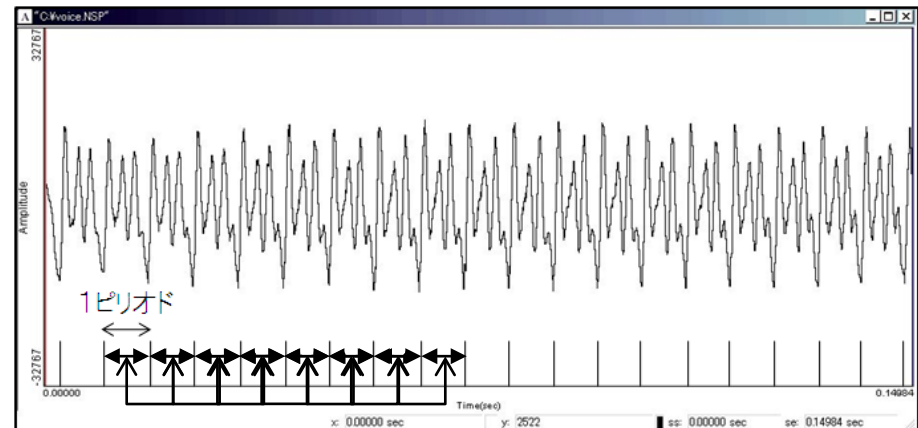
音声基本周波数 (声の高さ)



$$F0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F0^{(i)} \quad F0^{(i)} = \frac{1}{T0^{(i)}} \quad \text{: ピリオド間音声基本周波数}$$

$T0^{(i)}$, $i=1,2,\dots,N$: 抽出ピッチ・ピリオド・データ
N: 抽出ピッチ・ピリオド数

周波数ジッタ (周波数の変動成分)



$$\text{Jitter} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T0^{(i)} - T0^{(i+1)}|$$

$T0^{(i)}$, $i=1,2,\dots,N$: 抽出ピッチ・ピリオド・データ
N: 抽出ピッチ・ピリオド数

方法

参考とする先行研究

具体例を見てみたい・・・

自律神経応答を推定する音声指標の適用例
(先行研究)

自律神経応答を推定する音声指標の適用例

Miracle on the Hudson

2009年1月15日 15時30分

USAirways #1549(A320)

NY La Guardia空港→NC Charlotte空港

離陸上昇中、エンジンに鳥を吸い込み、推力喪失し、不時着水

搭乗員5名、乗客150名 全員生還

15:28.50" どの滑走路でも着陸できない。右手の teterboro 空港はどうだろう。

15:28.34" 着陸できない

15:28.11" 着陸できない。川に着水することになるだろう。

15:29.03" (teterboro 空港へ着陸) したい。

15:29.25" (右旋回) できない。

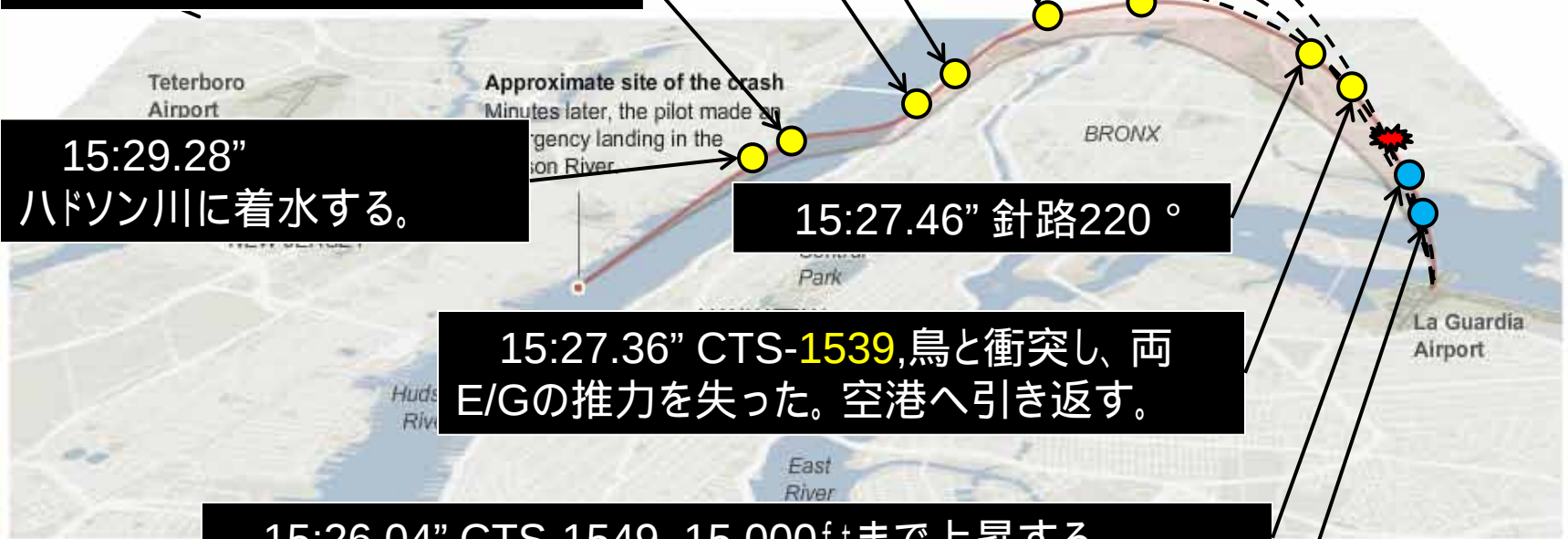
15:29.28" ハドソン川に着水する。

15:27.46" 針路220°

15:27.36" CTS-1539, 鳥と衝突し、両 E/G の推力を失った。空港へ引き返す。

15:26.04" CTS-1549, 15,000ft まで上昇する。

15:25.51" CTS-1549, 高度700ft, 5,000ft まで上昇する。





CTS-1549, 高度700ft, 5,000ftまで上昇する。

CTS-1549, 15,000ftまで上昇する

CTS-1539, 鳥と衝突し、両E/Gの推力を失った。
空港へ引き返す。

針路220°

着陸できない。川に着水することになるだろう。

着陸できない

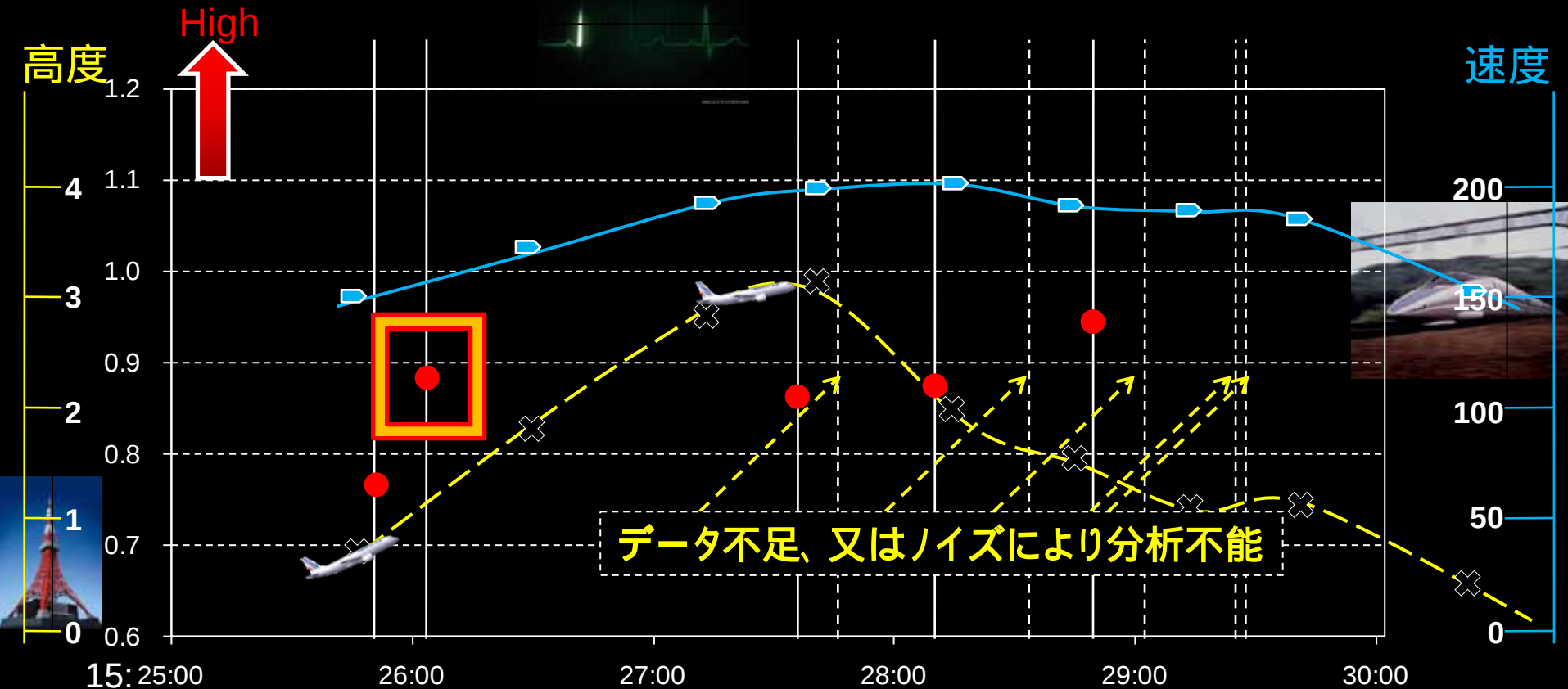
どの滑走路でも着陸できない。
右手の teterboro 空港はどうだろう。

(teterboro 空港へ着陸) したい。

(右旋回) できない。

ハドソン川に着水する。

● 自律神経応答推定音声指標 (ストレス・レベル) (菊池、2009, 2010)



交信記録はFAA 公開データ (http://www.faa.gov/data_research/accident_incident/1549/)

背景

目的

方法

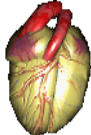
まとめ

まとめ

隊員等に負荷を与えず非接触的に得ることができる、音声情報によって心理・生理的な状態を推定する方法及び評価に関する技術資料を得ることを目的とした研究を実施する。

本研究については、スウェーデン国防研究所との技術交流を実施する方向で調整中である。

研究構想に関する発表

声で判定, 隊員のドキドキ 

Voice Analysis Reveals Soldier's Beat

(心身状態を推定する音声特徴の研究)

(Prosodic Features of Speech for Estimating Mental and Physical Stress)

23.11.10

先進技術推進センター

研究管理官(ヒューマンエンジニアリング技術担当)付

人間工学技術推進室

菊池 浩人, 大西 洋一, 柳原 康功, 塩塚 稔也, 齋藤 靖之, 長嶋 満宏

科学技術者交流計画に基づく米陸軍ネイティック 兵士研究開発技術センターでの研究交流

技術研究本部 先進技術推進センター

研究管理官(ヒューマンエンジニアリング技術担当)付 NBC防護技術推進室

防衛技官 樫本 薫

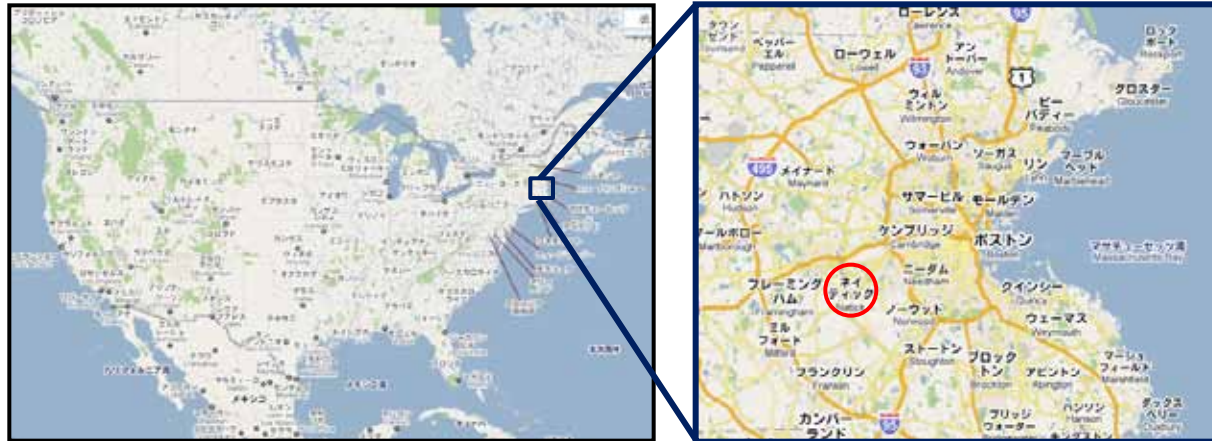
本発表の概要

日米科学技術者交流計画 (E S E P) に基づき、
米陸軍ネイティック兵士研究開発技術センター
(U S A r m y N S R D E C) に、平成22年1月から
平成23年7月まで約18ヶ月間滞在した。

本発表では、その成果について発表する。

派遣先の概要

所在地: 米国マサチューセッツ州ネイティック



グーグルマップより転載

- ・ネイティックはボストンから西南西に距離約30 km離れており、研究所は湖に突き出た半島上に所在する。
- ・個人用装備品の研究開発業務を主に実施している研究機関。



研究対象



Personal Protective Ensemble

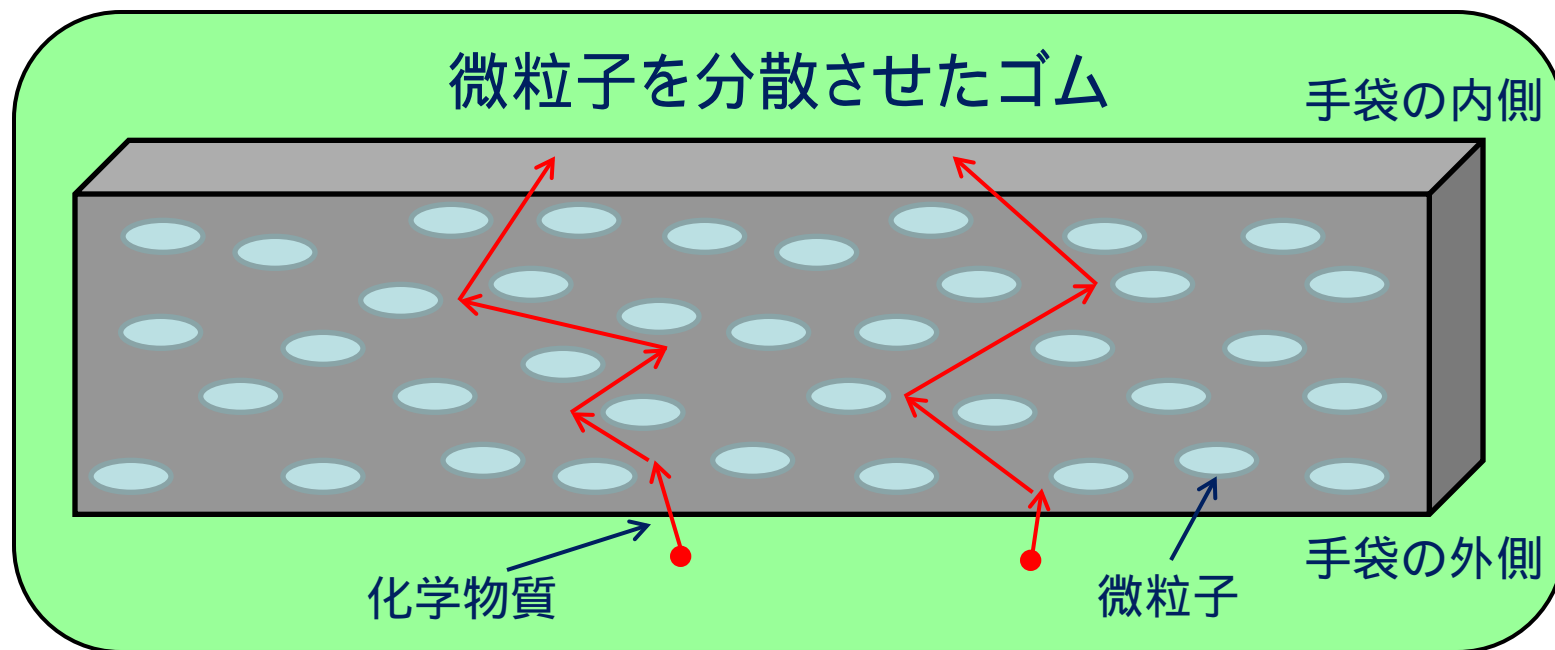


ブチルゴム手袋

- ・外部に接触した化学薬品等の危険物質が内部へと浸透して肌に触れないよう、厚手の構造となっている。
- ・薄型化できれば、着用した状態における機器等の操作性が向上する。

研究目的

高分子材料(ゴム材料)に微粒子を分散させることで、より耐浸透性能(防護性能)の高いゴム素材の開発に資する。



ナノ粒子等を分散させると、内部を移動する化学物質の経路が複雑になるため、浸透に要する時間が増大し、耐浸透性能を向上させることができる。

研究の進め方

1

- ゴム素材及び微粒子の選定

ポリイソブチレン、シリカ、テフロン、カーボンナノチューブ

2

- 試験片の作製

射出成形機で混合し、プレス機で薄型のフィルム状に加工

3

- 浸透特性(防護性能)試験

内部に浸透させた化学物質の重量変化から拡散係数を算出

研究に用いた素材

種類	物質名(省略形)	化学式	備考
高分子(ゴム)	ポリイソブチレン (PIB)	$\text{[CH}_2\text{C(CH}_3)_2\text{]}_n$	分子量500,000
微粒子	シリカ(SiO_2)	SiO_2	球状 (直径12nm)
	ポリテトラフルオロ エチレン(テフロン)	$\text{[CF}_2\text{CF}_2\text{]}_n$	球状 (直径1mm)
	カーボンナノチューブ (CNT)	C	チューブ状 (直径2nm、長さ15mm)

ブチルゴムの主成分であるポリイソブチレンを高分子(ゴム)素材として選んだ。ゴム素材に分散させる微粒子は、市販されている、かつ、比較的普及しているものの中から3種類選び、それぞれ単独で用いた。

試験片の作製



射出成形機

<http://www.daca.com/productsdaca/mcpage.html>



プレス機

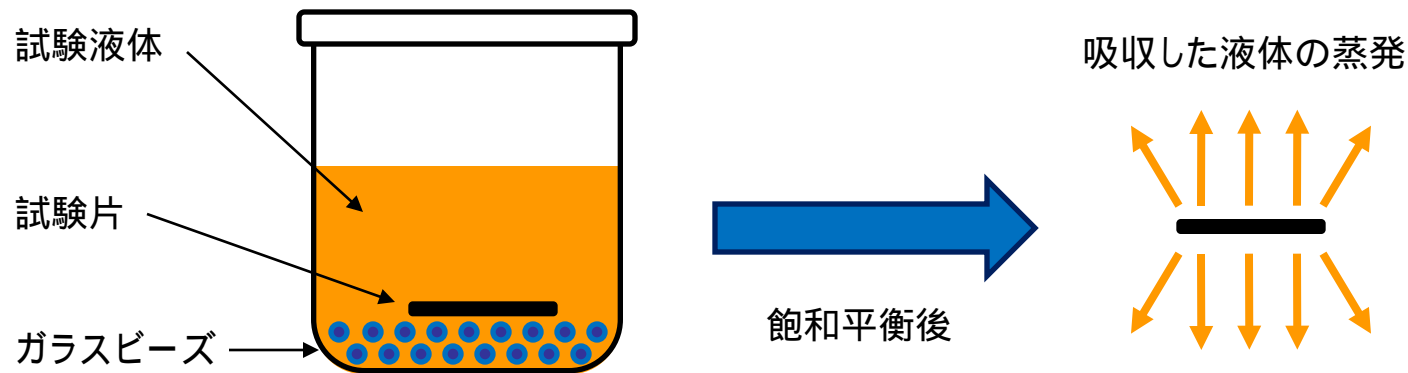
<http://www.internationalcrystal.net/icl77a.htm#>

1. ゴム素材と微粒子を射出成形機により混合して材料を得た。
2. 1の材料をプレス機によりシート状に加工して試験片(直径約45mm、厚さ約15mm、重量約0.26g)を得た。

浸透特性試験(1 / 3)

重量測定法による試験手順

1. 試験片を試験液体に浸漬する。
2. 試験片に液体を吸収させて、飽和平衡に達するまで放置する。
3. 試験片を液体から取り出し、試験片表面に残った液体を拭き取ってから、電子天秤で重量の減少を時間の関数として測定する。

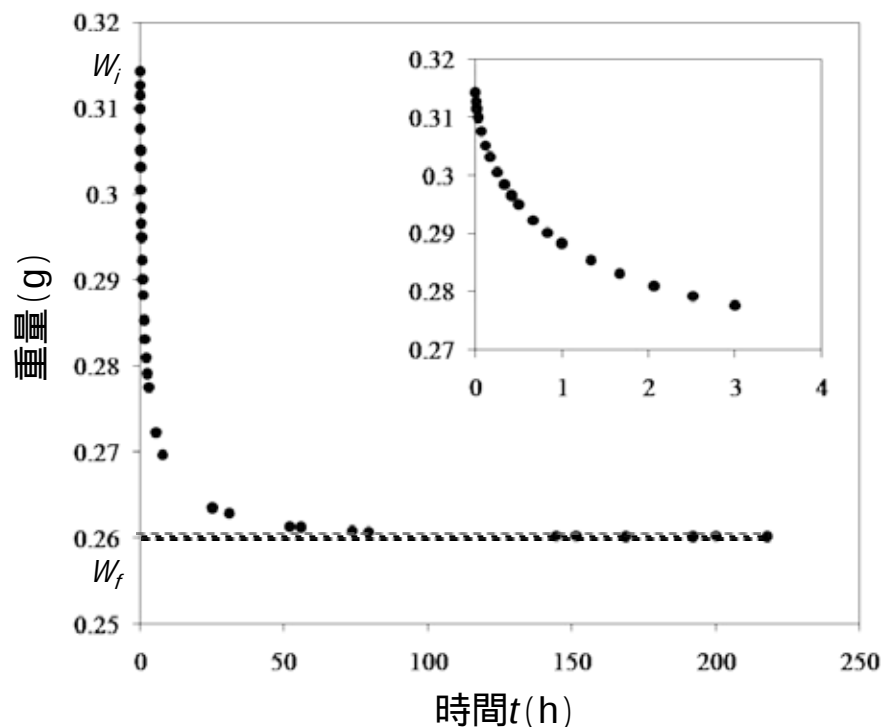


液体として酢酸エチル、*N,N*-ジメチルホルムアミド、1,2-ジクロロエタンの3種類を用いた。

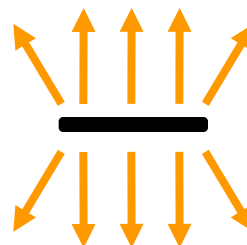
(ASTM1001-99a Standard Guide for Selection of Chemicals to Evaluate Protective Clothing Materials 参照)

浸透特性試験(2/3)

典型的な試験片重量の時間変化(酢酸エチルの場合)



吸収した酢酸エチルの蒸発



http://japan.mt.com/jp/ja/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/MX-UMX/XP26.html

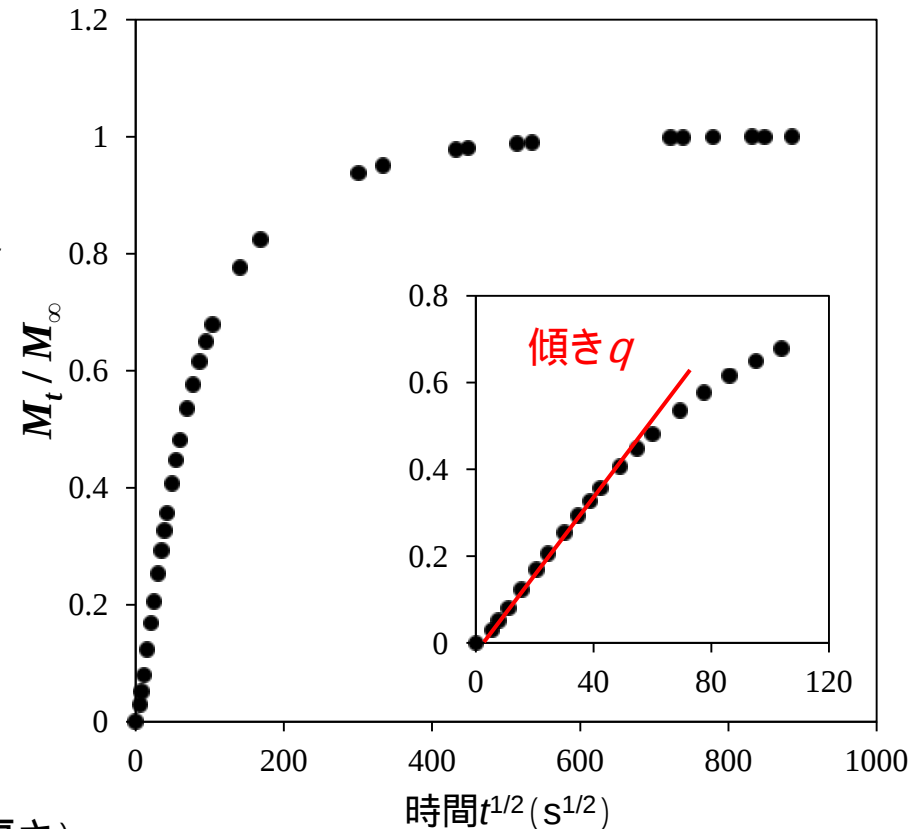
試験片重量(W_t)は、初期値(W_i)から時間経過とともに減少し、終了値(W_f)で一定となった。

浸透特性試験(3 / 3)

拡散係数の算出(データ解析)

1. 蒸発した試験液体の割合 (M_t/M_∞) を時間 ($t^{1/2}$) に対してプロットする。
ここで、 $M_t = W_i - W_t$ 、 $M_\infty = W_i - W_f$ である。
2. 試験開始から直線的に増加している部分の傾き q を求める。
3. 得られた傾きから以下の式により、拡散係数 (D) を計算する。

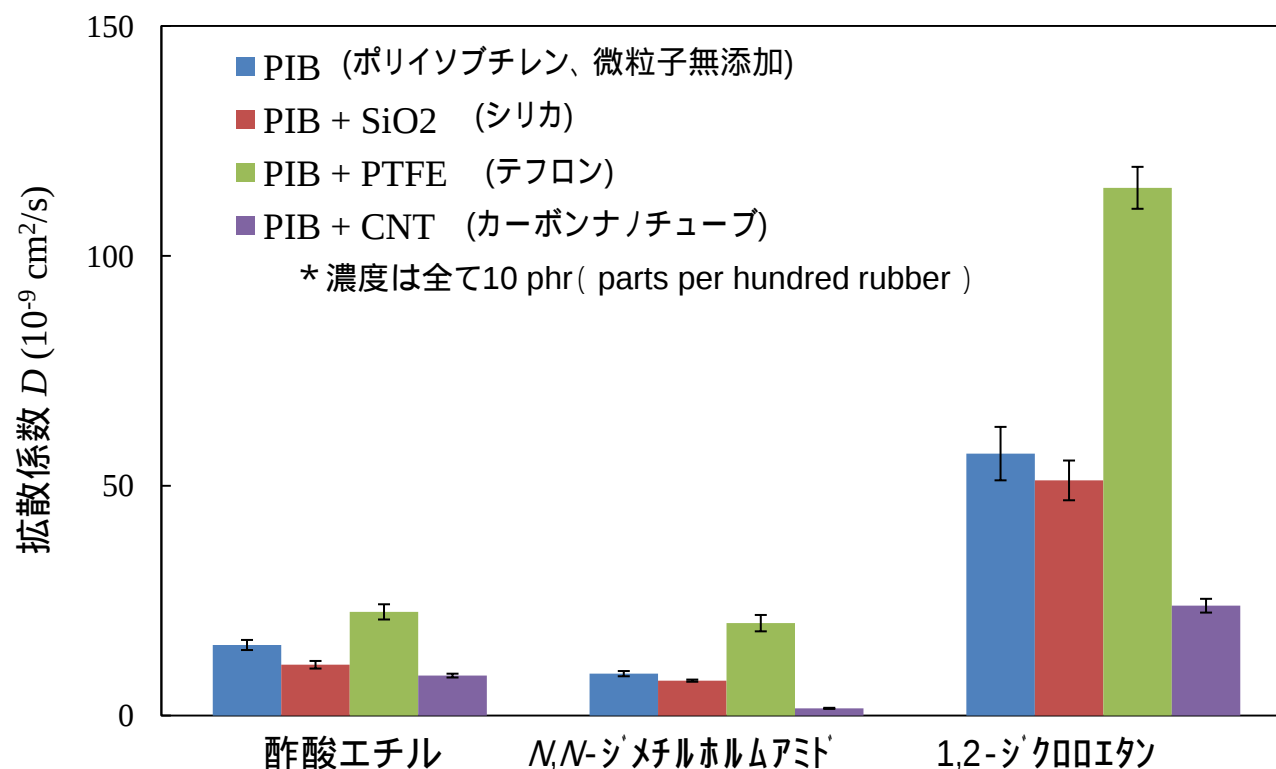
$$D = \frac{\pi q^2 h^2}{16} \quad (\text{ここで、} h \text{ は試験片の厚さ})$$



試験片重量の試験結果をデータ解析することで、試験片内部を浸透する液体の拡散係数を見積もることができる。

試験結果

試験液体ごとの拡散係数



結果

拡散係数の値がいずれの化学物質でも小さい値を持つカーボンナノチューブを添加したゴム材料の耐浸透性能が最も優れているものと考えられる。

まとめ

1. 平成22年1月より平成23年7月までの18ヶ月間、米陸軍NSRDECに滞在し、微粒子を添加したゴム材料について浸透特性(防護性能)試験を実施し、内部を浸透する化学物質の拡散係数を見積った。
2. 得られた拡散係数から、カーボンナノチューブを添加したゴム材料が、無添加のゴム素材や他の微粒子を加えたゴム材料よりも耐浸透性能(防護性能)に優れていることが分かった。