



三胴船に働く波浪外力に 関する研究

艦艇装備研究所 システム研究部 水上艦艇システム研究室
防衛技官 土橋 純也

発表次第

- 研究の背景
- 研究の目的
- 計算手法の概要
- 水槽試験の概要
- 計算結果と水槽試験結果の比較
- まとめ
- 今後の課題

研究の背景

— 艦艇の多用途化 —



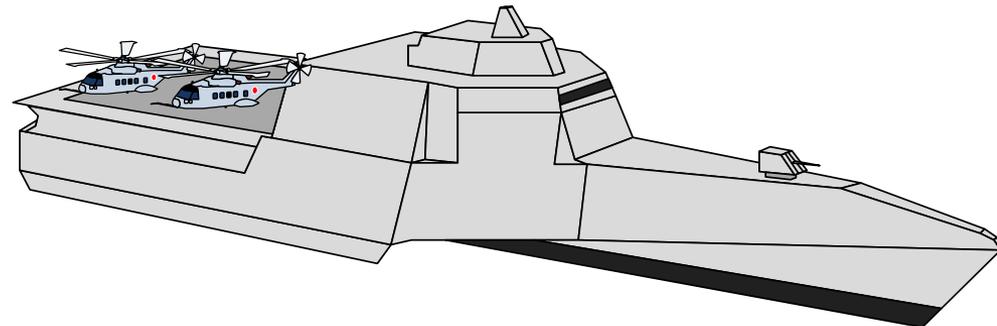
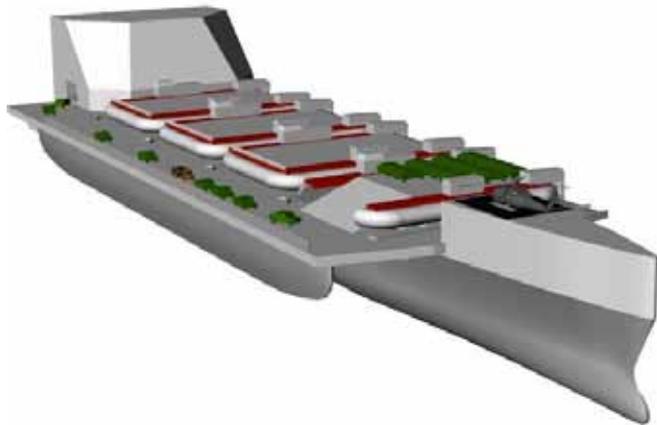
艦艇の多用途化への対応

例) 高速輸送能力の確保、複数機搭載 等



・高速航行性能 ・広い甲板面積

従来の艦艇と異なる性能を持つ有力な選択肢の一つ…… **三胴船**



研究の背景

- 三胴船の特徴 -

三胴船とは

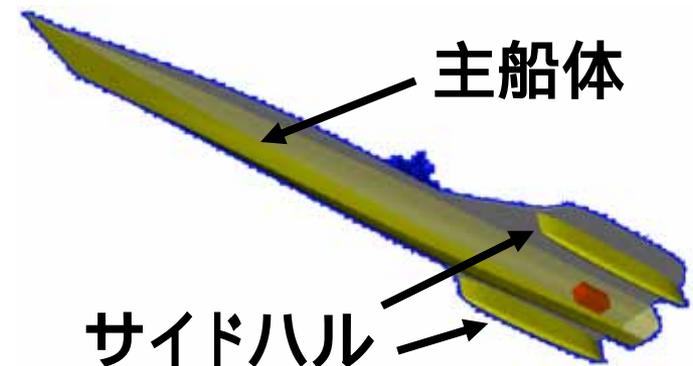
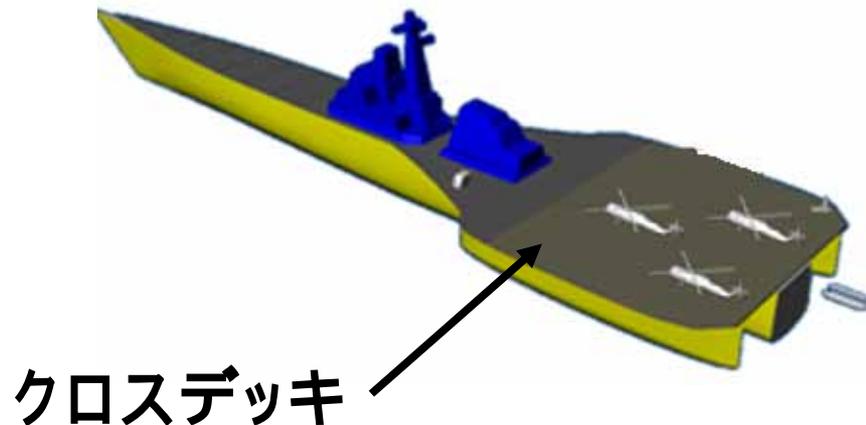
細長い主船体の両脇にサイドハルを設けた船

(特徴)

同じ排水量を持つ在来船舶に比べて広い後部甲板面積を保有

上から見た三胴船

船底から見た三胴船



大型高速三胴船の設計に関する現状

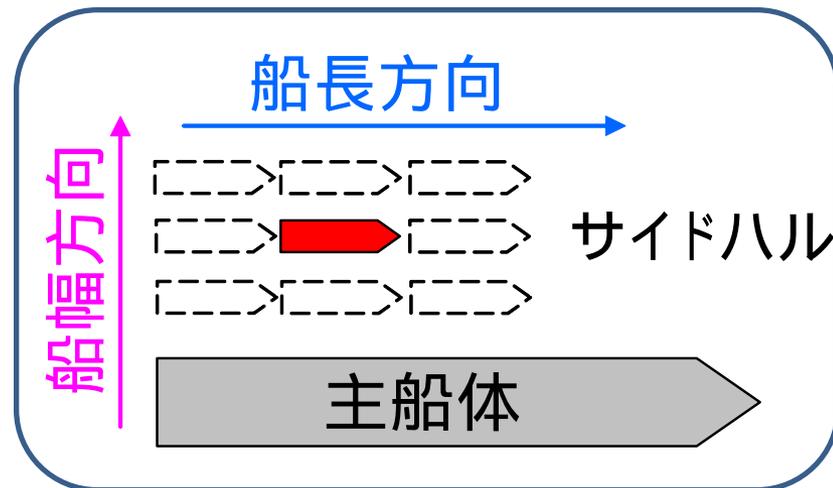
国内での建造実績が皆無であり、大型高速三胴船の設計が困難である。

— 三胴船の設計パラメータ  単胴船と比べ多い

サイドハルの主要目、船長方向、船幅方向の配置

・ サイドハル位置の影響

- 流体力学的性能：抵抗性能
耐航性能 等
- 構造強度：波浪外力



大型高速三胴船の構造設計

構造強度評価に必要な不可欠な波浪外力(特にクロスデッキ部に働く波浪外力)の特性を把握することが重要

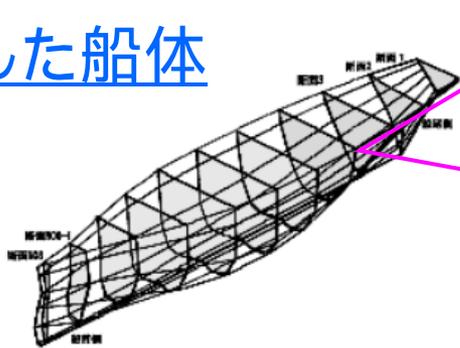
研究の目的

水槽試験および理論計算を実施し、三胴船に働く波浪外力に関する技術資料を得る。

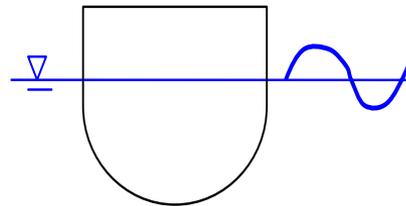
ストリップ法

船体が運動する際に、船体周りの流体から受ける流体力を船体の長さ方向に輪切りにした断面毎に求め、その断面毎の流体力を船長方向に積分し、船全体が受ける流体力とする解析手法

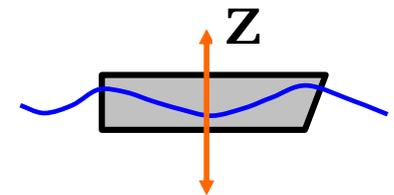
輪切りにした船体



断面の2次元問題



上下揺



船体運動方程式

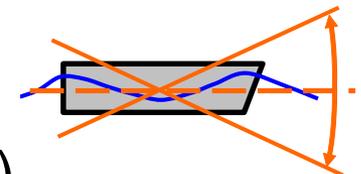
・上下揺

$$m\ddot{z} = F \quad (F: \text{船体に働く上下方向の力})$$

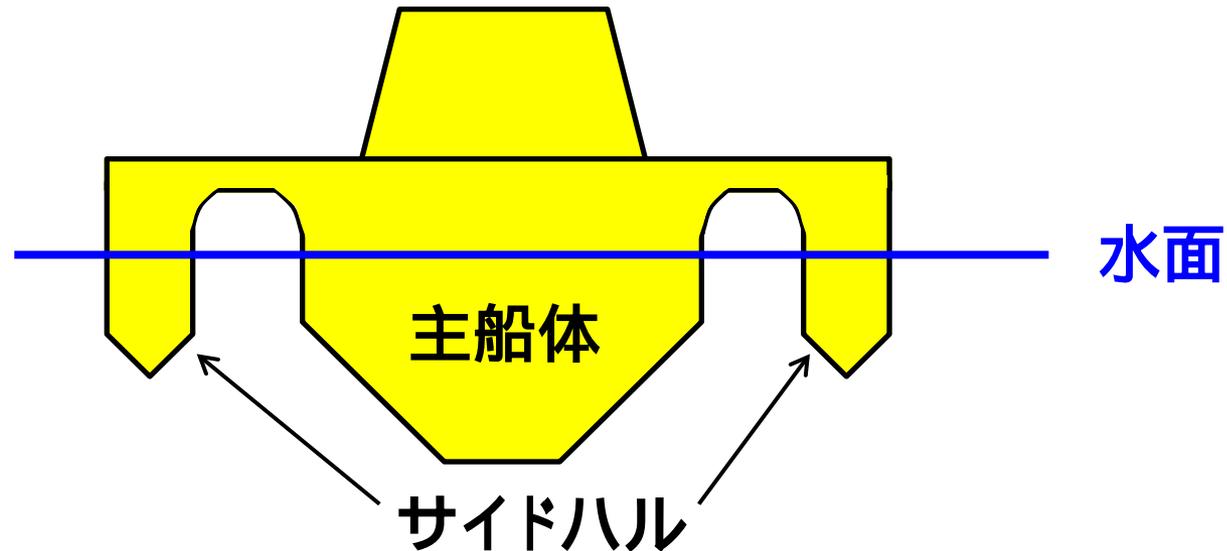
・縦揺

$$I\ddot{\theta} = M \quad (M: \text{船体に働く縦方向のモーメント})$$

縦揺



正面図



計算手法の手順

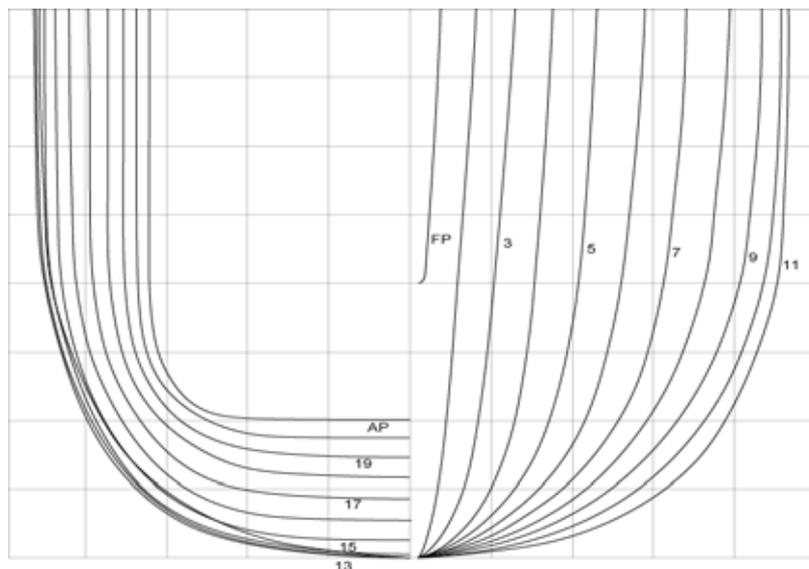
- (1) 主船体とサイドハルの流体力を個別に計算
- (2) 三胴船の船体運動方程式から船体運動を求める

・上下揺 $m\ddot{z} = F$ ・縦揺 $I\ddot{\theta} = M$

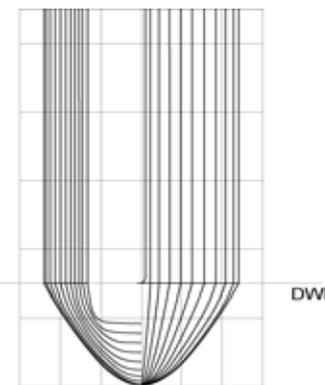
m : 三胴船の質量、 I : 三胴船の慣性2次モーメント

- (3) 三胴船に働く波浪外力を計算

三胴船型



主船体



サイドハル

サイドハルの排水量
: 三胴船全体の排水量の2.5%

主要目

主船体				サイドハル			
水線長 Lm (m)	100	排水量 (トン)	1900	水線長 Ls (m)	35	排水量 (トン)	50

水槽試験の概要

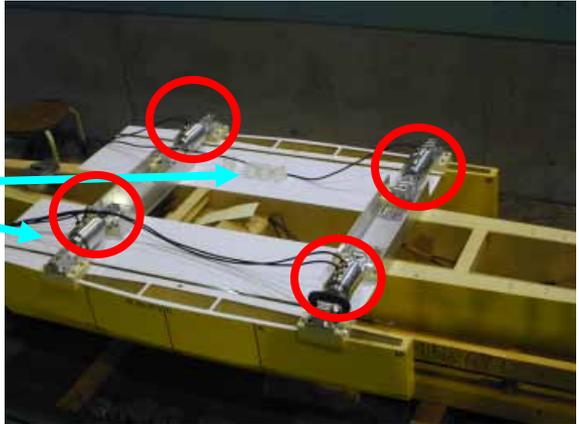
- 模型船とサイドハル位置 -

水槽試験用模型船 (実艦の約1/26)

全体概観



クロスデッキ部概観

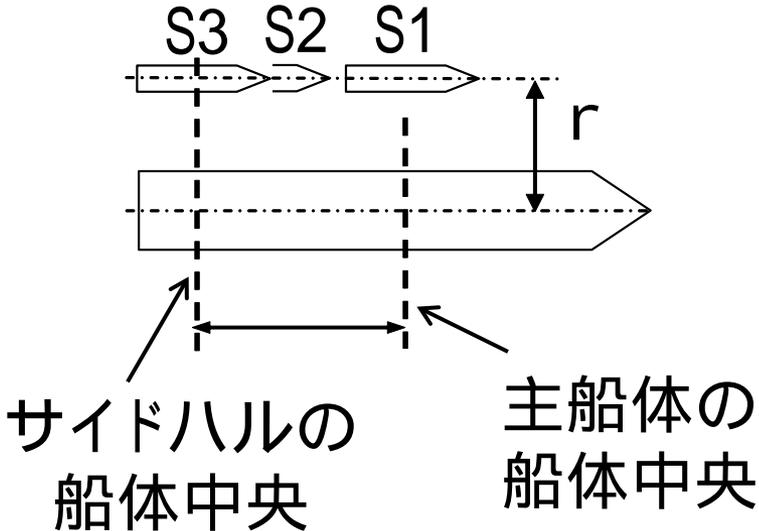


クロスデッキ部

○ 検力計

サイドハル位置

サイドハル位置	船長方向の距離 (m)	船幅方向 r (m)
S1	0.0	0.43
S2	- 0.86	
S3	- 1.24	



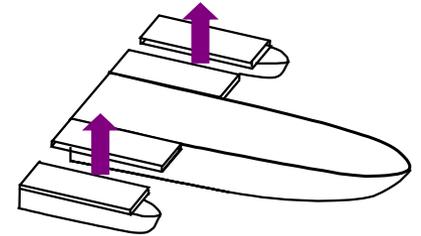
水槽試験の概要

- 計測項目と試験条件 -

計測項目

- 船体運動(上下揺、縦揺)
- 波浪外力(クロスデッキ部に働くせん断力)

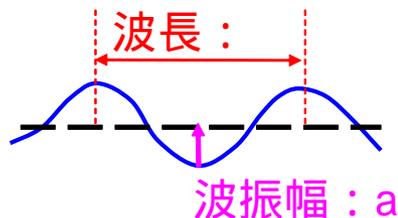
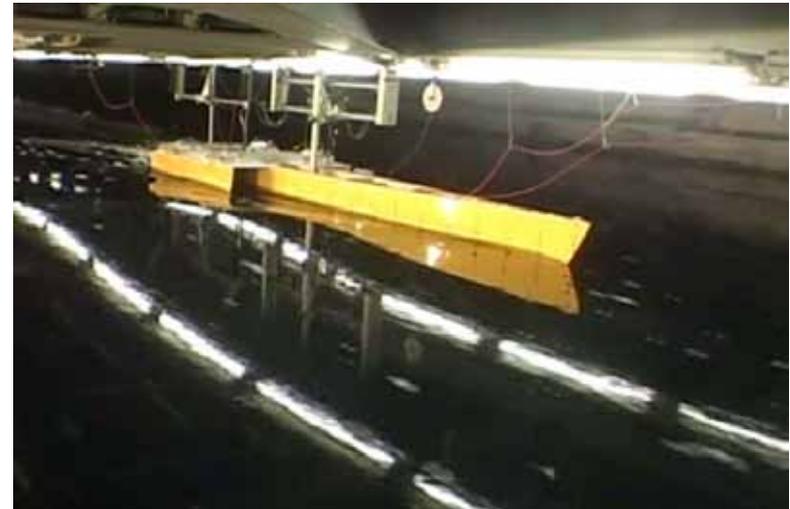
せん断力 : F_z



試験条件

- 船速 : $Fr=0.0 \sim 0.6$
- 入射波の波長船長比 (λ/L_m) : $0.5 \sim 3.0$
- 入射波の振幅 (a) : 2.0 cm
- 波向き : 正面向い波

水槽試験の様子

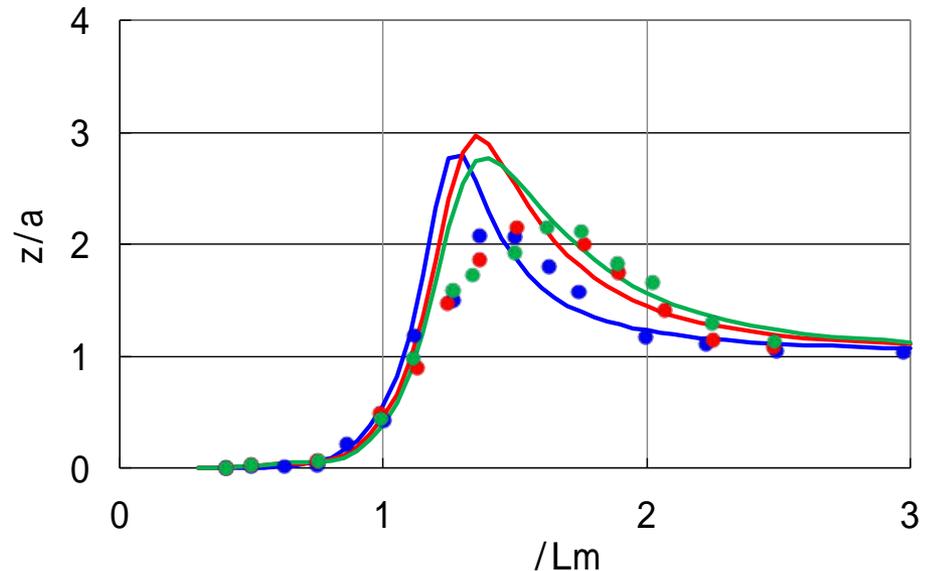
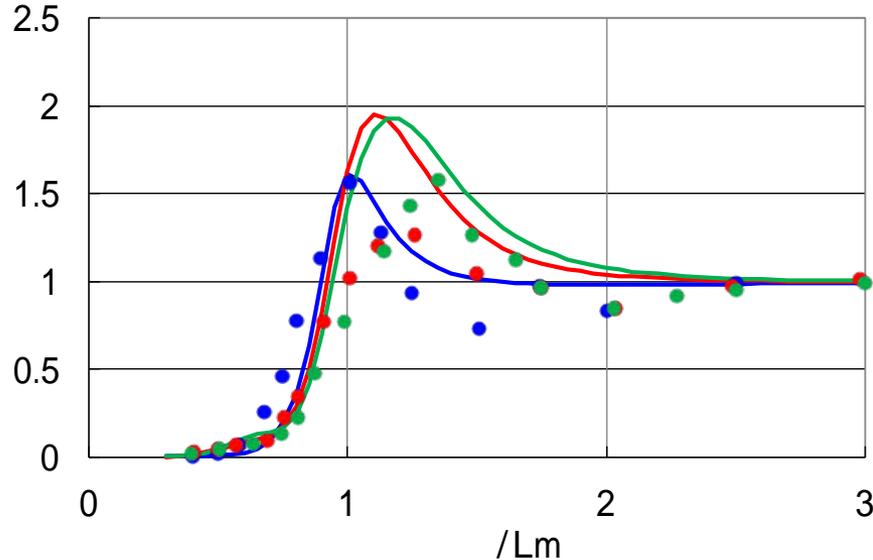


計算結果と水槽試験結果の比較

- 船体運動(上下揺) -

Fr=0.4

Fr=0.6

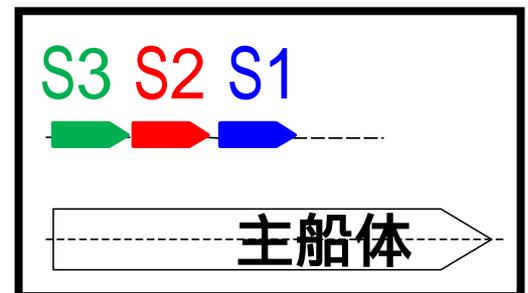


- ・Z:上下揺の振幅
- ・Lm:主船体の船長
- ・a:入射波の振幅
- ・ λ :入射波の波長

— S1 Cal. • S1 Exp.
 — S2 Cal. • S2 Exp.
 — S3 Cal. • S3 Exp.

Cal.: 計算値
 Exp.: 実験値

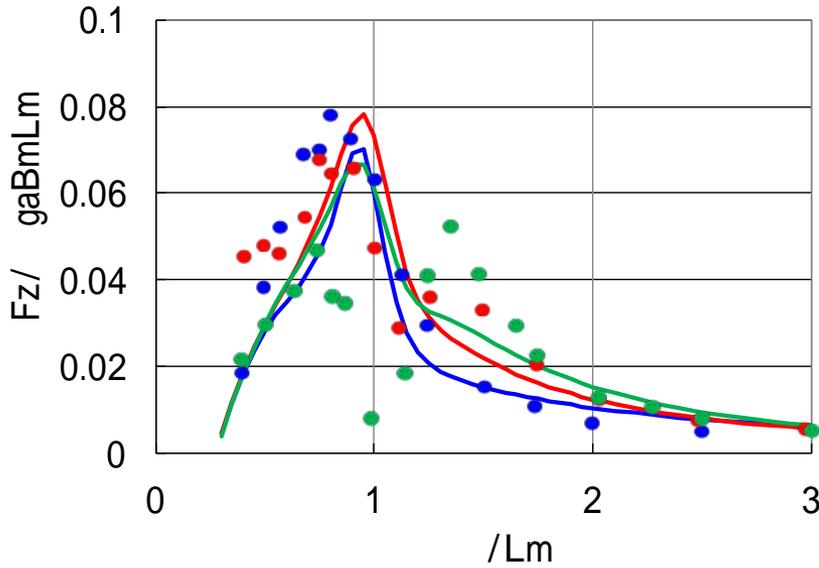
サイドハル位置



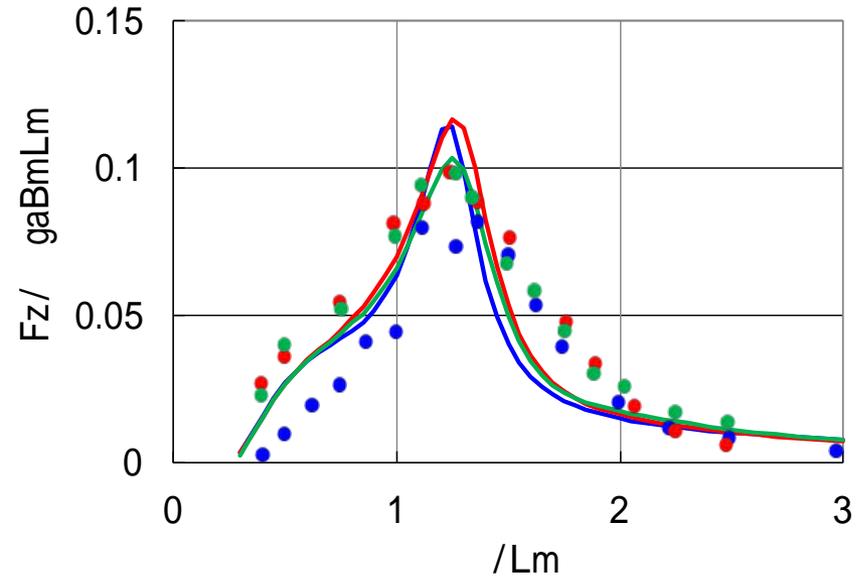
計算結果と水槽試験結果の比較

- クロスデッキ部に働くせん断力 -

Fr=0.4



Fr=0.6



- ・ F_z :せん断力の振幅
- ・ B_m :主船体の水線幅
- ・ ρ :水の密度
- ・ g :重力加速度

— S1 Cal. • S1 Exp.
 — S2 Cal. • S2 Exp.
 — S3 Cal. • S3 Exp.

Cal.: 計算値

Exp.: 実験値

サイドハル位置

S3 S2 S1



まとめ

水槽試験と本研究で作成した理論計算から、三胴船に働く波浪外力を検討した結果、今回用いた船型に対して以下のことが分かった。

船体運動については、ピーク値付近では、実験値と計算結果に多少の差があったが、理論計算により船体運動に対するサイドハル位置の影響を捉えることが可能であることが分かった。

三胴船のクロスデッキ部に働くせん断力については、船体間の干渉が小さくなる高速域になるほど、計算結果と実験値の一致度は良くなることが確認できた。

今後の課題

サイドハルの主要目(水線長、排水量)およびサイドハルの船幅方向が波浪外力に及ぼす影響

主船体とサイドハルとの流体力学的な干渉を考慮した計算手法の構築



水中画像化ソナー用 音響レンズについて

艦艇装備研究所 探知技術研究部 探知機器研究室
(現:海洋信号処理研究室)

防衛技官 奥山 智尚

- 1 . 研究の背景
- 2 . 音響レンズ系設計における課題
- 3 . 音場の数値計算精度の向上
- 4 . 音響レンズが形成する音場の検証
- 5 . まとめ

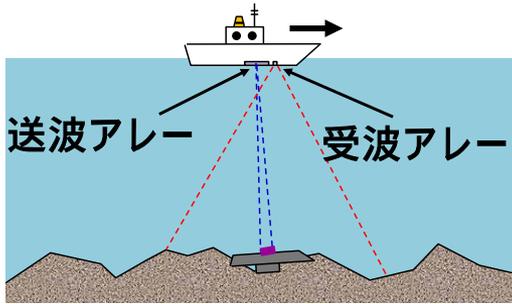
音響による水中の画像化

水中での光学カメラの見通し距離は数十mが限界

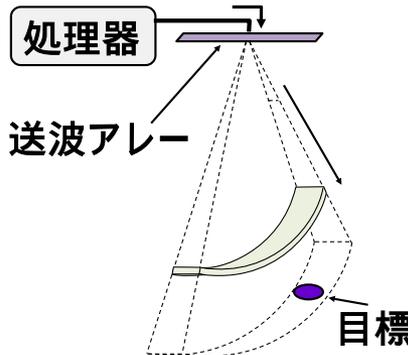
→ より遠くの画像は音響的に得る必要あり(例: マルチビーム測深儀)

クロスファンビーム法

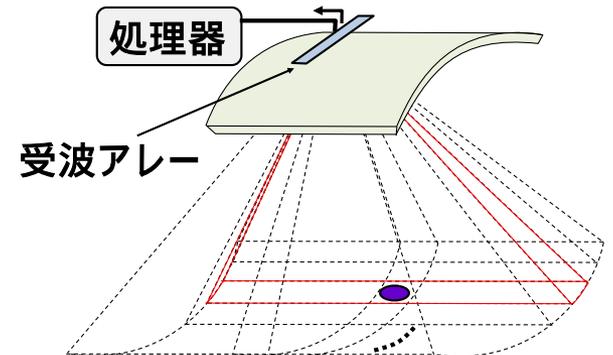
船底に送波アレーと受波アレーを設置



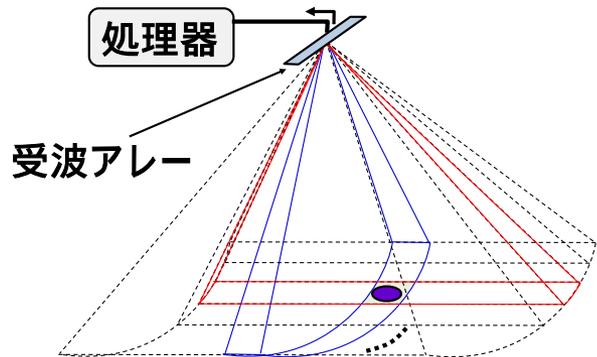
縦に狭い扇状のビームを送波



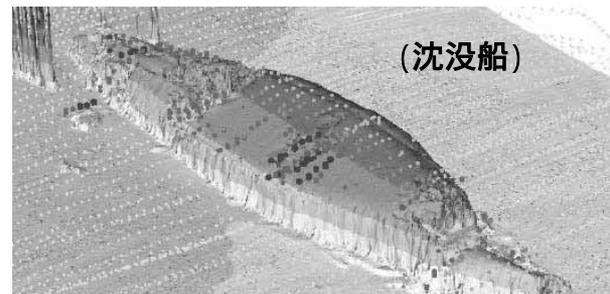
横に狭い複数のビームを用意し、エコーを待ち受け受波



縦横の組合せで位置を特定



定速移動で送受波を繰り返し画像を得る



出典: Lawrence et al, "GEOPHYSICAL TECHNIQUES FOR MARITIME ARCHAEOLOGICAL SURVEYS" 17th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems

画像化ソナーへの音響レンズの適用

クロスファンビーム法はアレーの信号処理により、送受波ビームを電子的走査していた ➡ 電子回路と処理量が問題



ビームの電子的走査に代わり、音響レンズを適用

水と音速が異なる物質をレンズ状に作ることで、光と同様に音が収束する

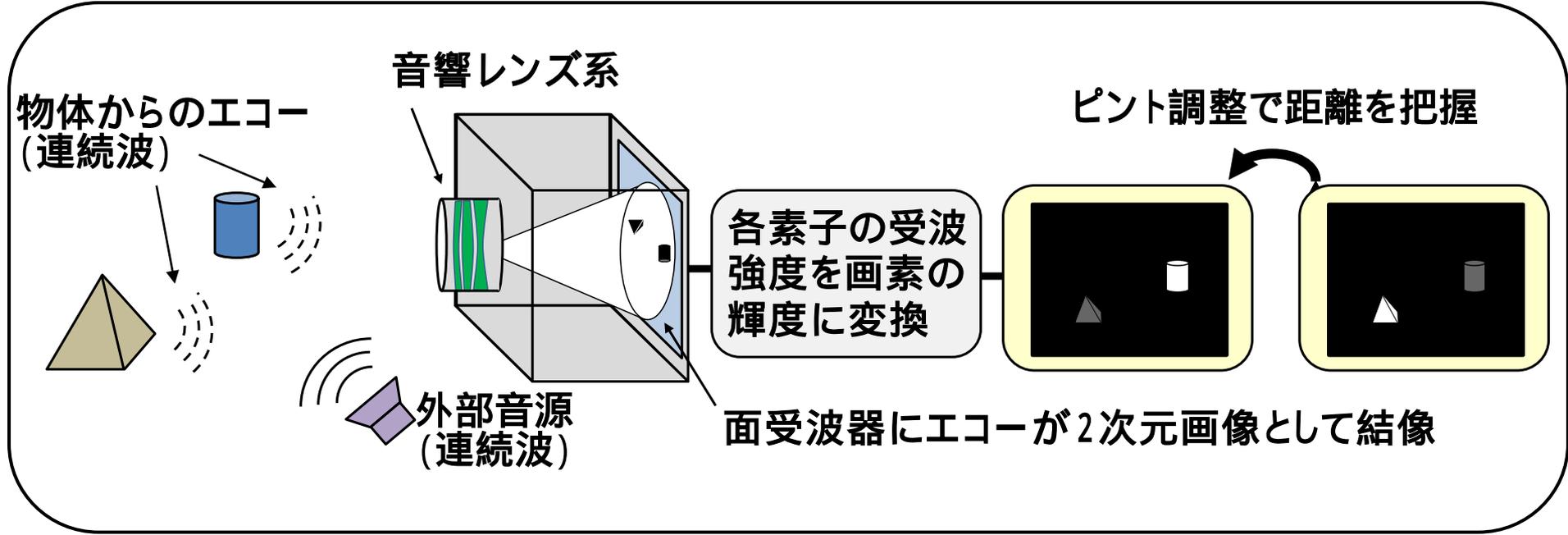
音波

水より音速小

音響レンズによって、目標からのエコーが面受波器内に像を結び、その位置にある素子が受信

面受波器

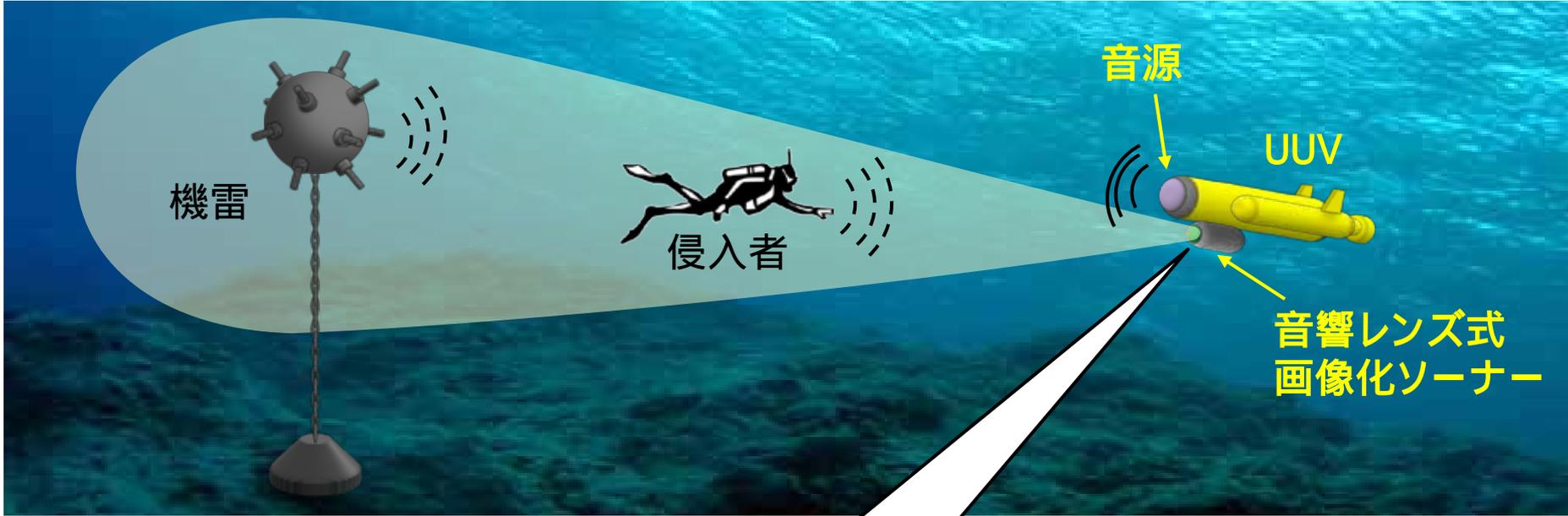
音響レンズ



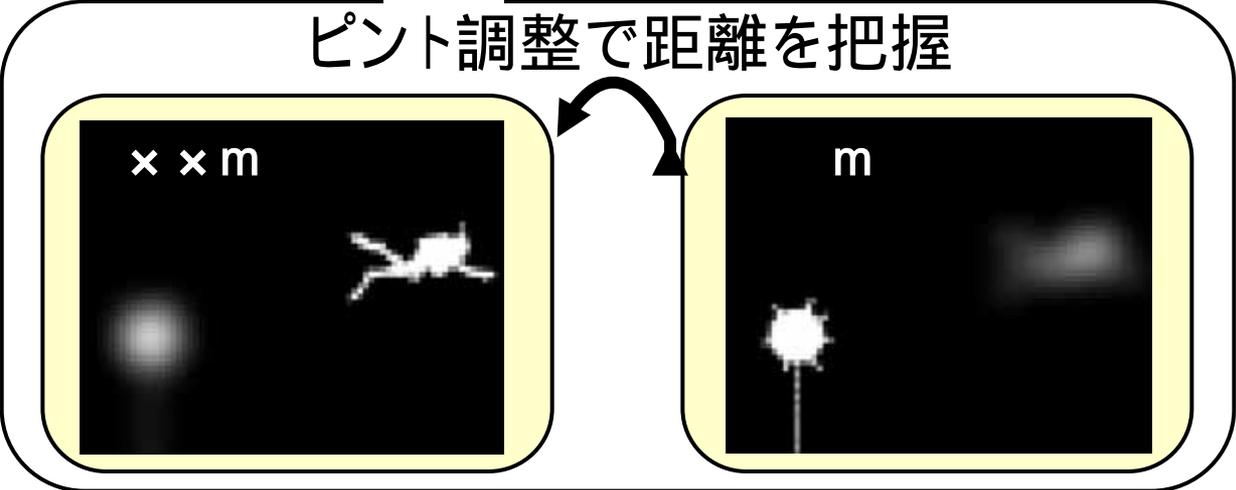
- ▶ 人間の視覚に近い**正面図**を得る
 - ▶ 断続的なパルス波に代わり、**連続波**が使用可能
 - ▶ 画像化に必要な**処理量**を大幅に削減
- } フレームレート
の高速化

音響レンズ式画像化ソナーの応用例

音響レンズ式画像化ソナーのUUVへの搭載



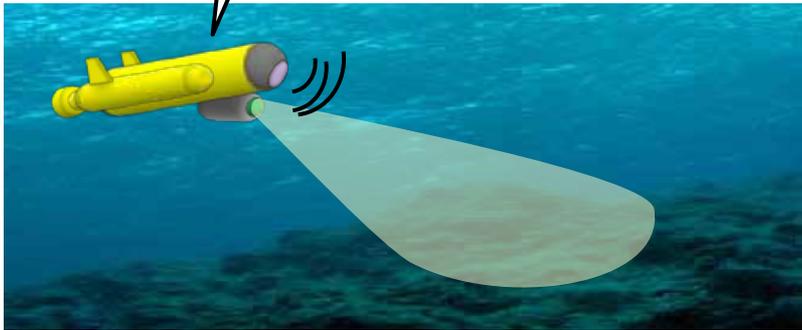
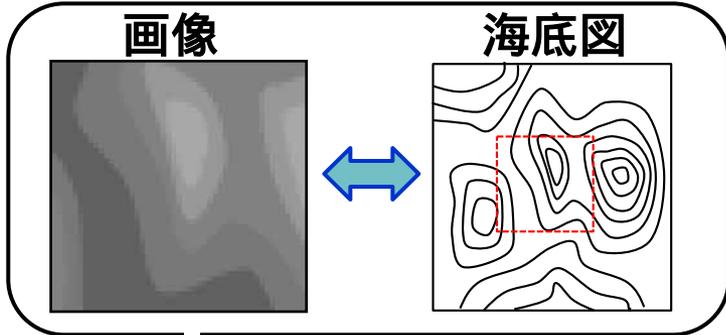
ピント調整で距離を把握



侵入者や機雷等を
発見・類別

UUV用の地形照合

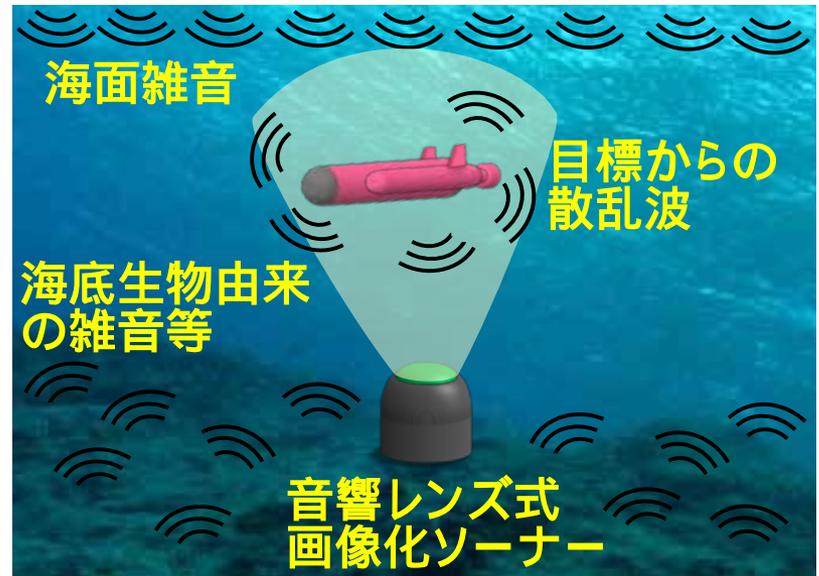
画像をデータ化した海底図と照合し、自分の位置を把握



画像の全領域が同時に得られるため、UUVの運動の自由度が増す

周囲雑音を用いた目標探知

周囲雑音による目標からの散乱波を音響レンズで捉える



低騒音の移動目標に対し、秘匿性を保持したままの探知が可能

音響レンズ系設計の流れ

画像化ソナーが必要とするレンズ系の性能(分解能・収差等)および制約条件(重量・寸法等)を設定

レンズ系の初期案の構造を決定

入射音波に対して
レンズ系が形成する音場を計算

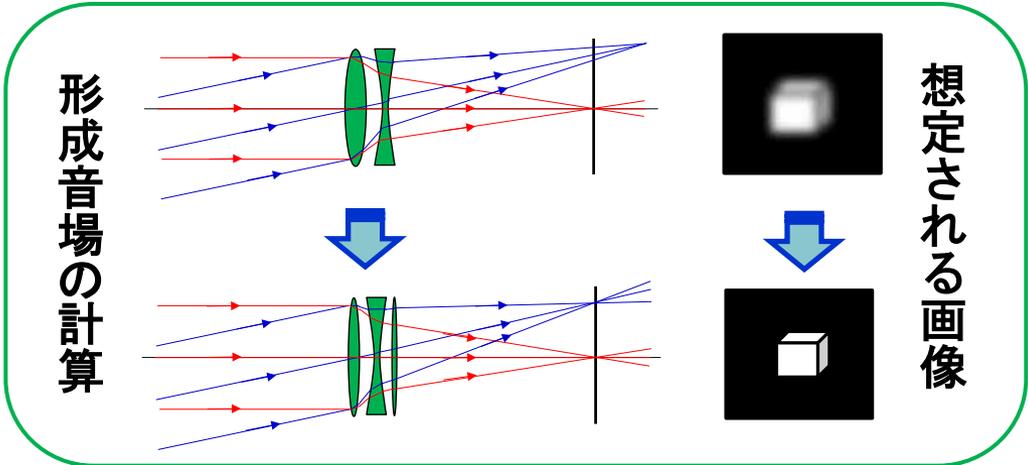
必要とする性能および制約条件を満たすか？

レンズ系の構造を修正

No

Yes

最終案として採用



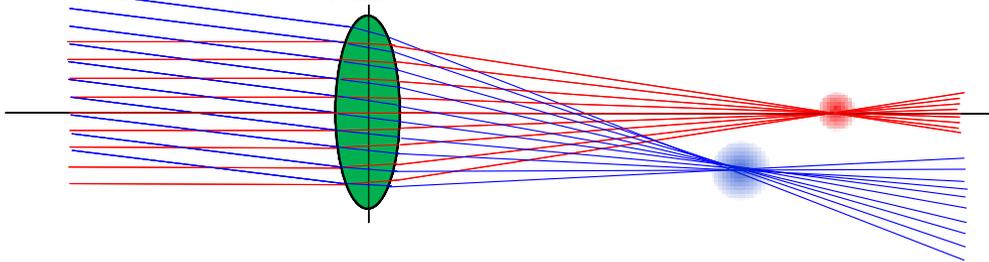
レンズ系が形成する音場を正確に計算する必要がある

幾何光学近似法の問題点

波の伝搬や屈折が音線で表せる幾何光学近似法は計算が比較的容易である一方、**波動性を無視**しているため、波長が長い(低周波)ほど誤差が増大する

画像化ソナーで使用する帯域の音波の波長は可視光線の**数万～数十万倍**だが、光学レンズの寸法とは大差がない

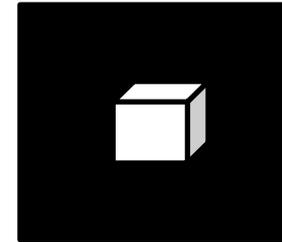
音響レンズ



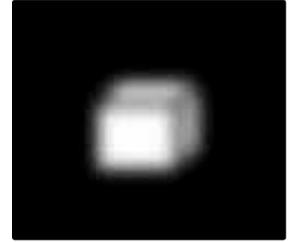
(収差がない場合)

- ・幾何光学近似法では焦点は完全な点
- ・実際は波動性により、焦点はある程度の広がりを持つ

計算結果



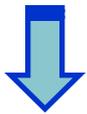
実際の画像



幾何光学近似法では要求が満たされない可能性がある

波動性を考慮する必要がある

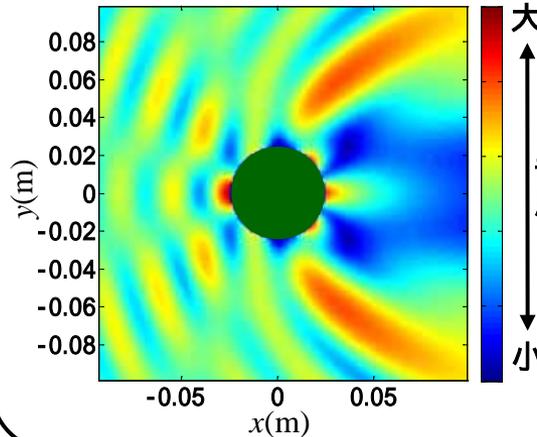
PE法は波動性を考慮した
 計算法の一種だが、後退
 波の影響が扱えない



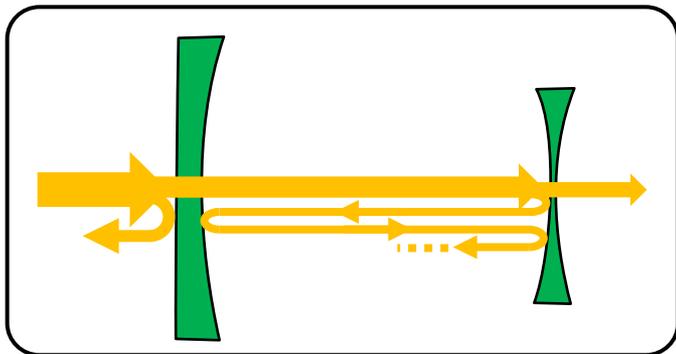
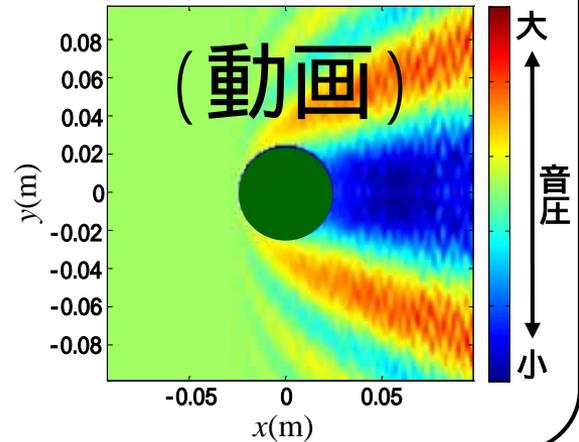
複数枚のレンズ間で起こ
 る多重反射の影響を計算
 できない

円柱に平面波が垂直入射した際の音場
 (解析的な理論解が得られている)

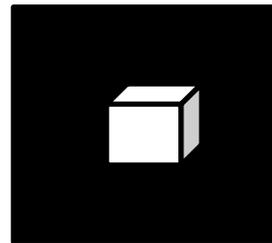
解析的理論解



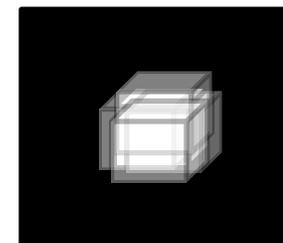
PE法



計算結果



実際の画像



ゴーストが
 発生

PE法では要求が満たされない
 可能性がある

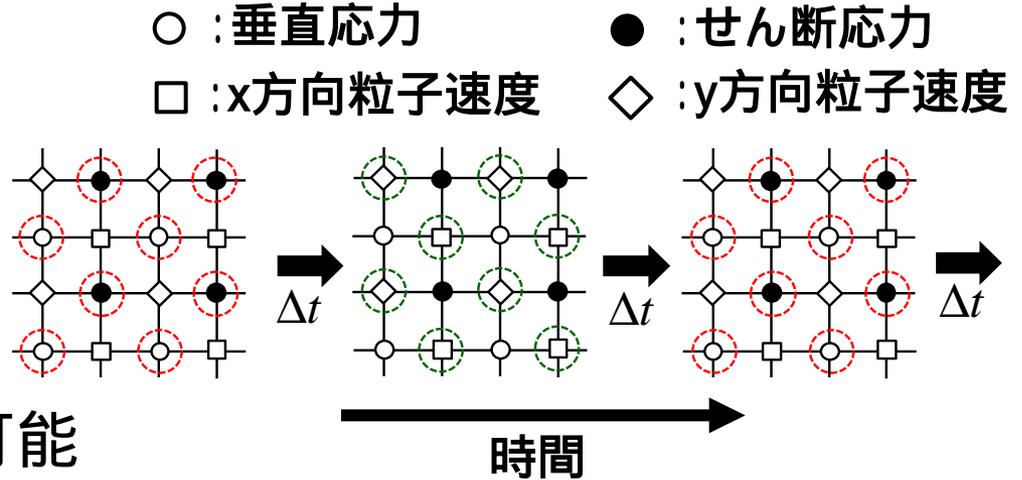
FDTD (時間領域有限差分) 法の適用を検討

FDTD (時間領域有限差分) 法による計算

応力と粒子速度の格子点を交互に配置し、時間的にも交互に計算



物体間の多重反射も計算可能

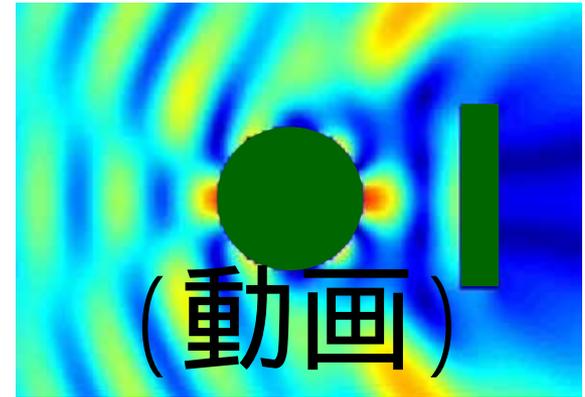
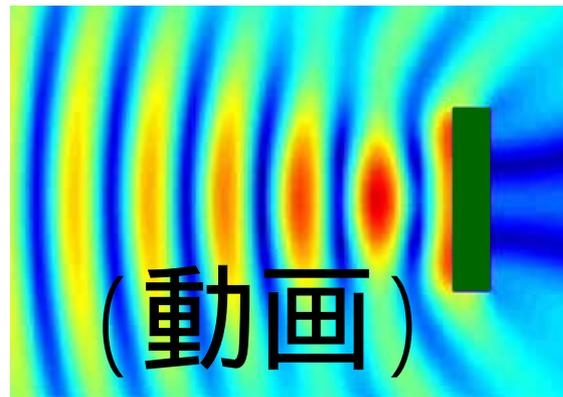
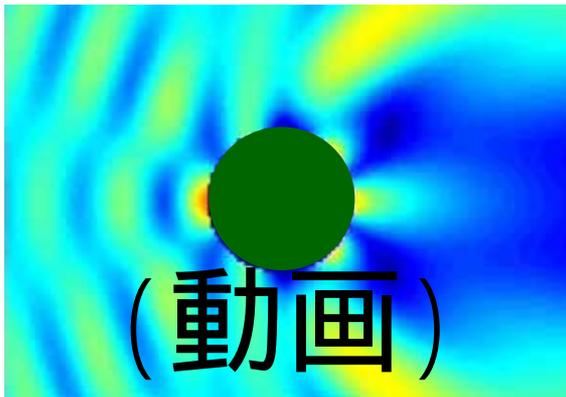


平面波が左から入射し、定常状態になるまでの時間変化の計算結果

アクリル円柱のみ

剛体板のみ

アクリル円柱 + 剛体板



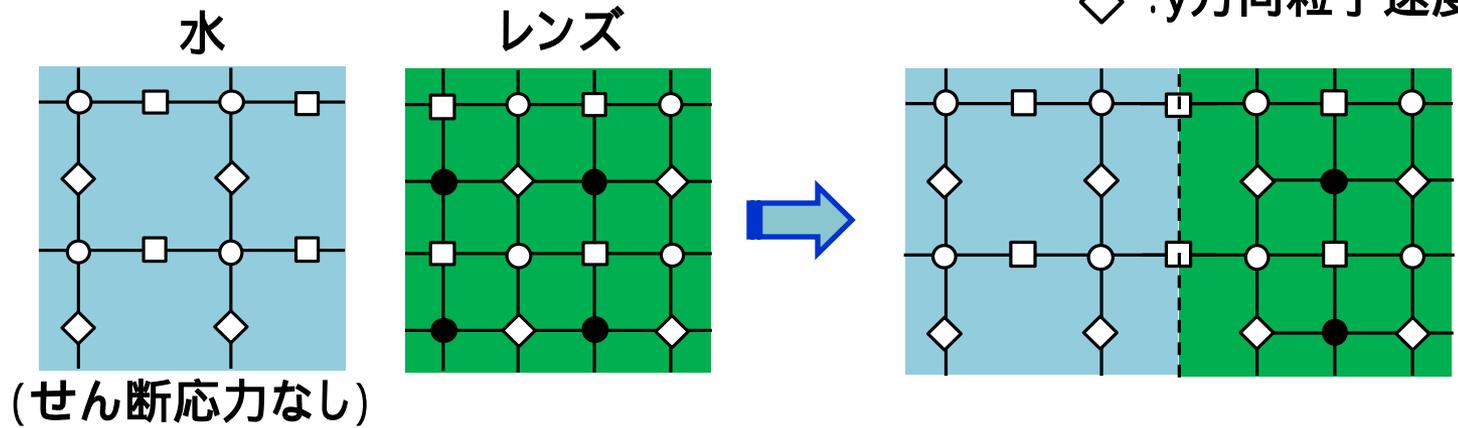
FDTD法では波動性を考慮した複数レンズ系の設計が可能

水とレンズの間の境界条件の設定に関する問題点

FDTD法では、**水とレンズの境界**に粒子速度の格子点を置く \Rightarrow この点の密度をどう設定するか？

- : 垂直応力
- : せん断応力
- : x方向粒子速度
- ◇ : y方向粒子速度

(従来)
境界面に水とレンズの**平均値**を用いたモデル

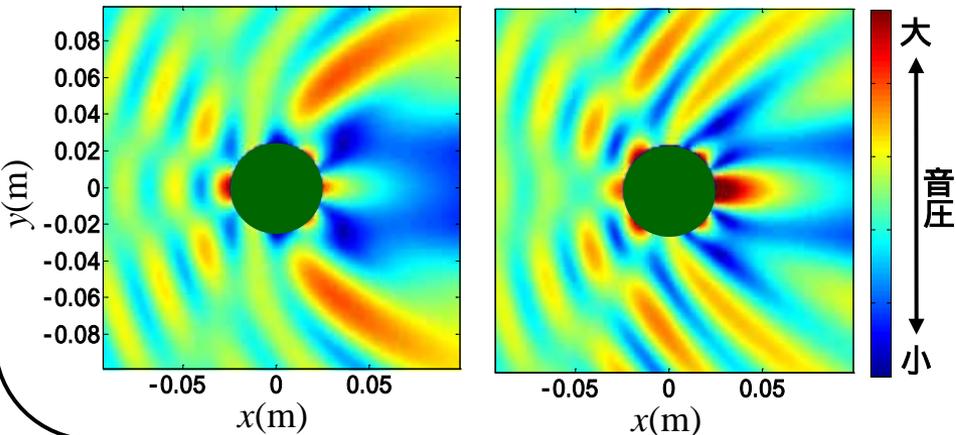


(せん断応力なし)

円柱に平面波が垂直入射した際の音場

解析的理論解

FDTD(従来モデル)

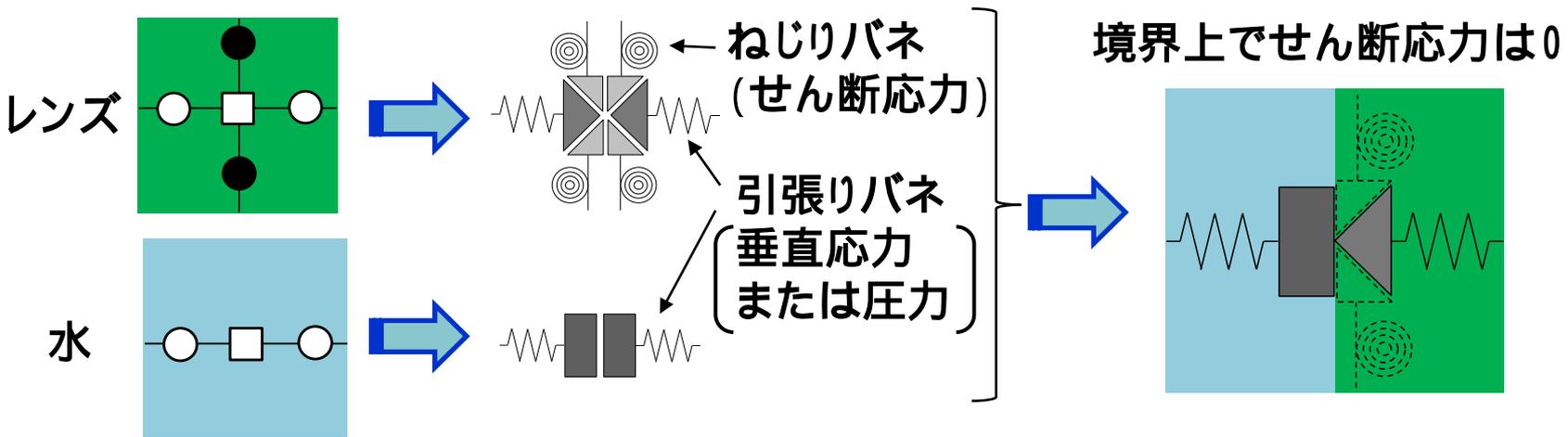


FDTD計算値の誤差が大きい



現実により近い境界条件の設定が必要

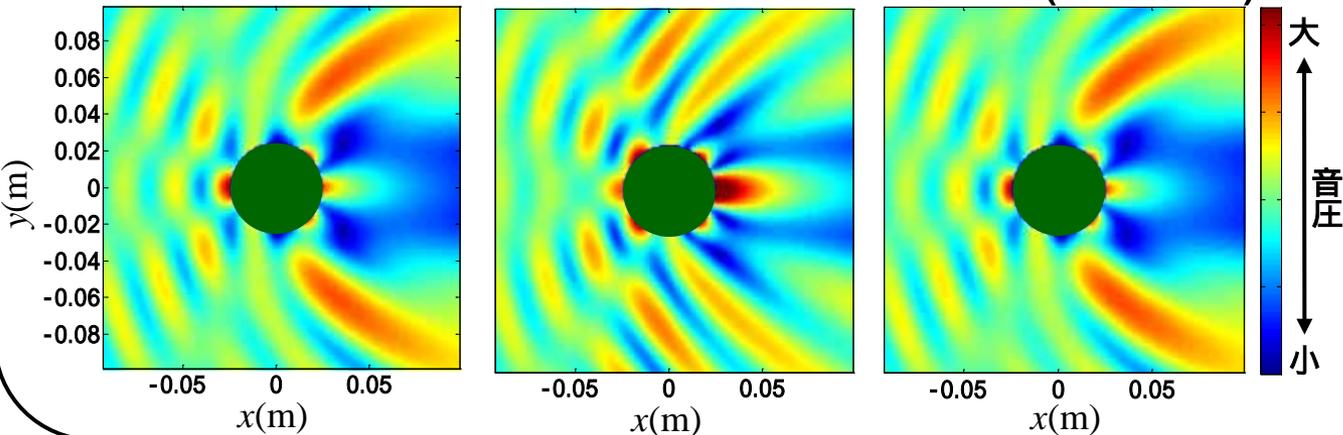
格子点をバネ - 質点系として扱い、バネごとに質量を分割したモデル



境界ではねじりバネを外し、その分だけ**レンズの質量も減らす**

円柱に平面波が垂直入射した際の音場

解析的理論解 FDTD(従来モデル) FDTD(新モデル)



従来の境界条件に比べ、理論解との誤差が小さい

材質	特徴	水に対する屈折率	音が収束する形状
アクリル	音響レンズへの使用実績がある	0.59 (< 1)	凹レンズ
ゴム	屈折率および反射率の調整が可能	1.34 (> 1)	凸レンズ

アクリル(凹レンズ)

ゴム(凸レンズ)

正面

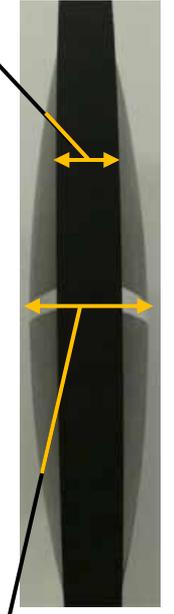
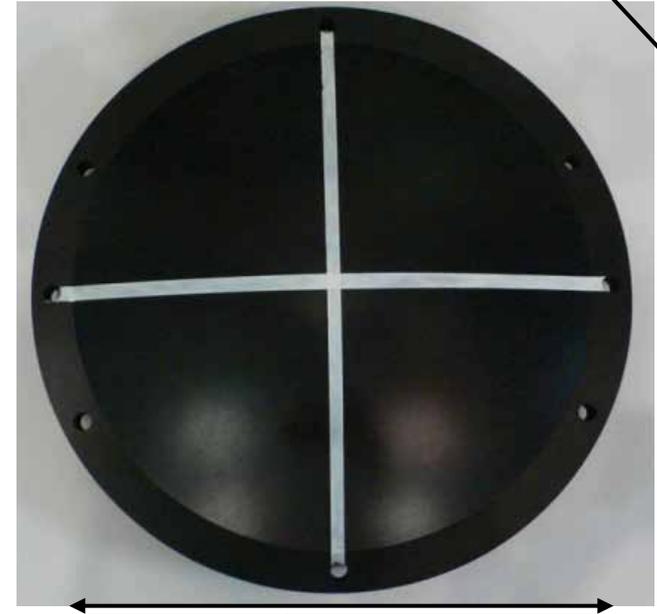
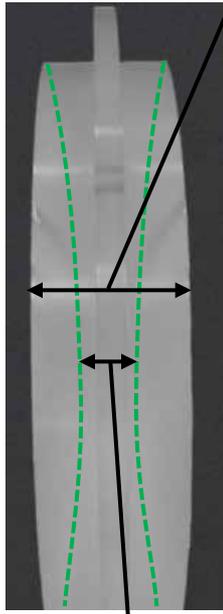
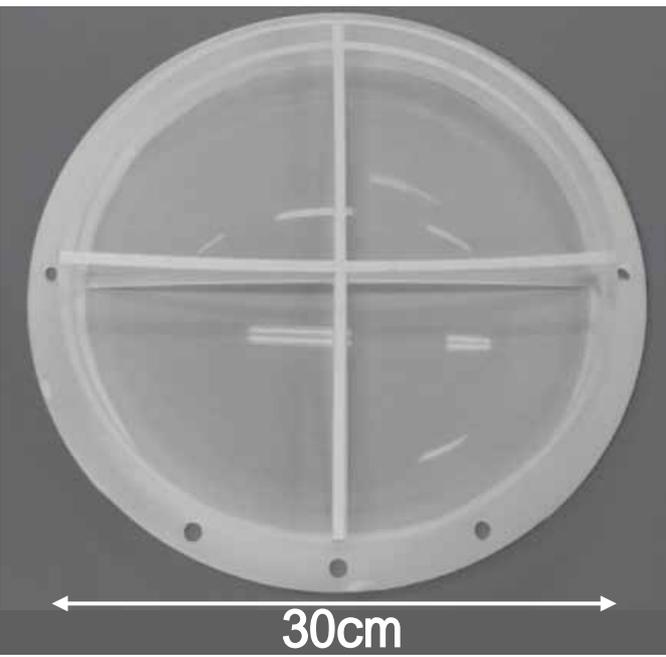
側面

5cm(縁)

正面

2cm

側面

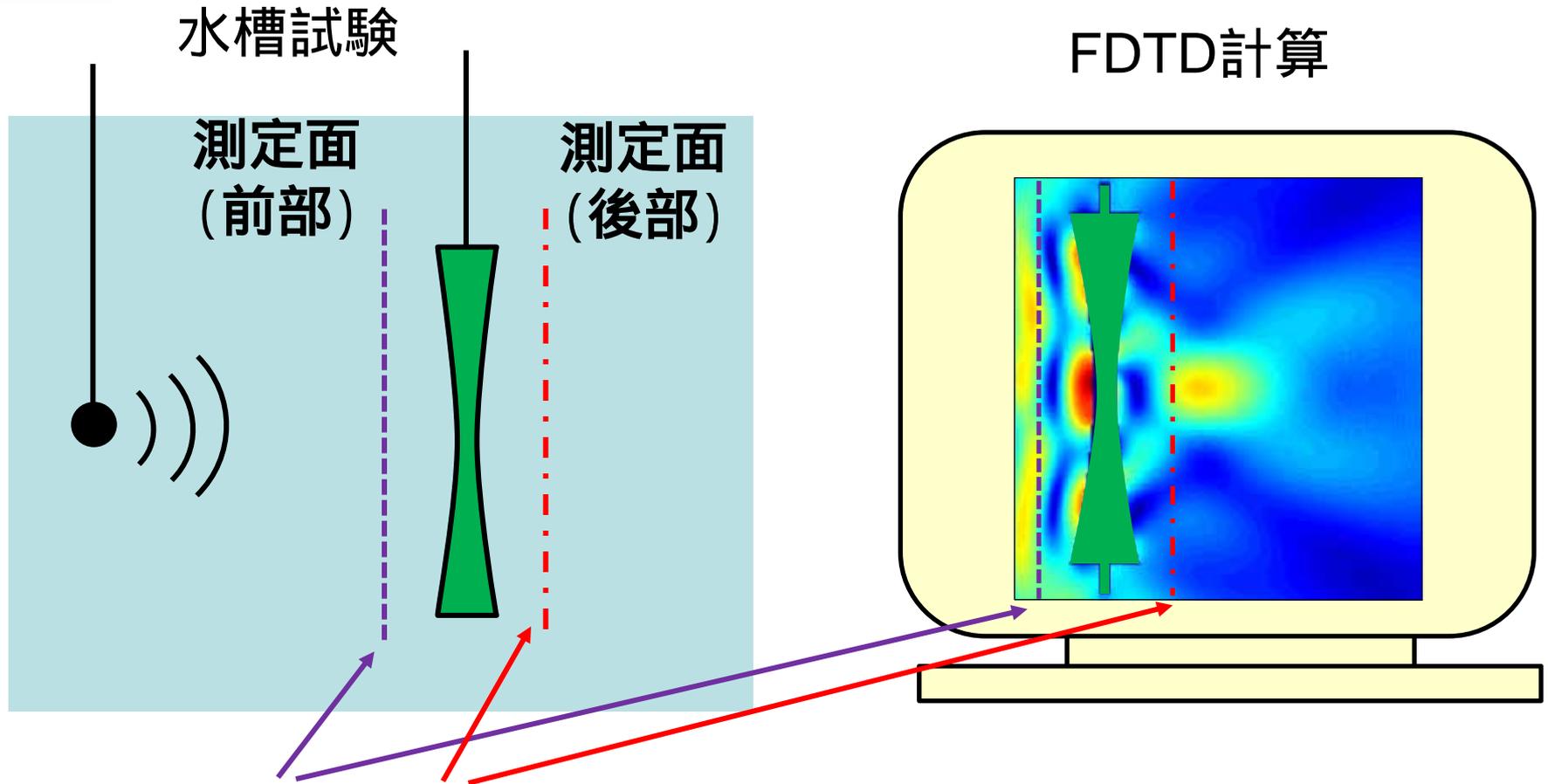


2cm(最薄部)

30cm

6cm(最厚部)

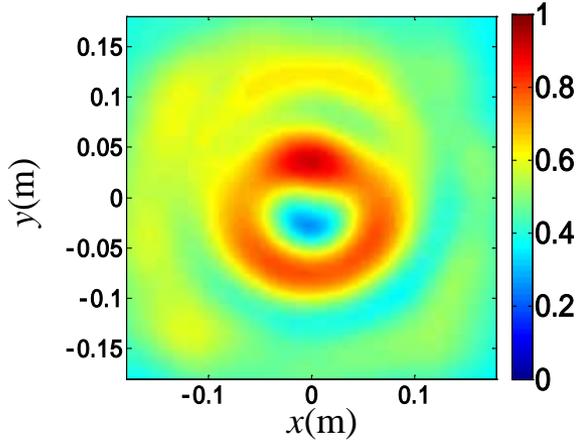
(ともに球面半径は60cm)



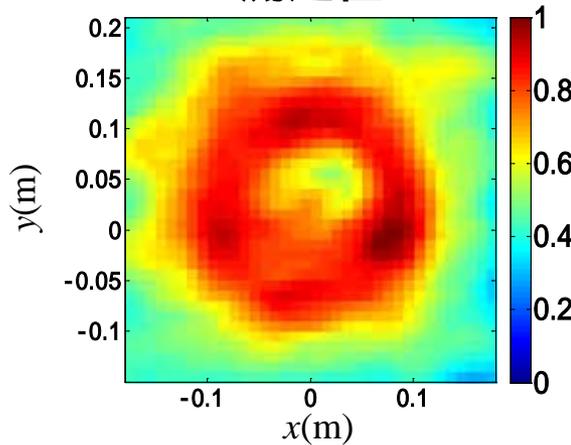
レンズの**前部**と**後部**、それぞれの測定面における音場分布の測定値と計算値を比較

波動性の影響を確認する為、低周波域の音波を使用
(周波数: 16kHz / 波長: 9.4cm)

測定面 (前部)
計算値

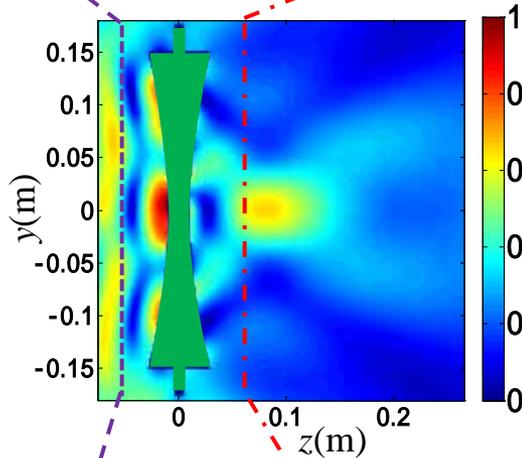


測定値



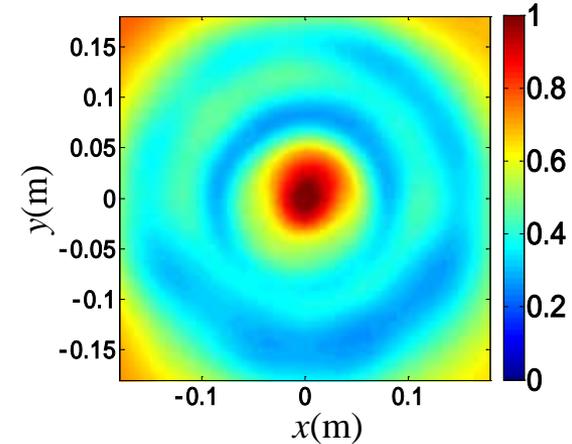
FDTD計算値

凹レンズ

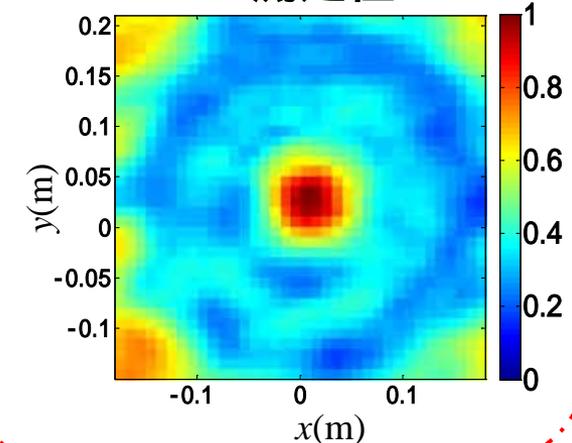


測定面 (後部)

計算値



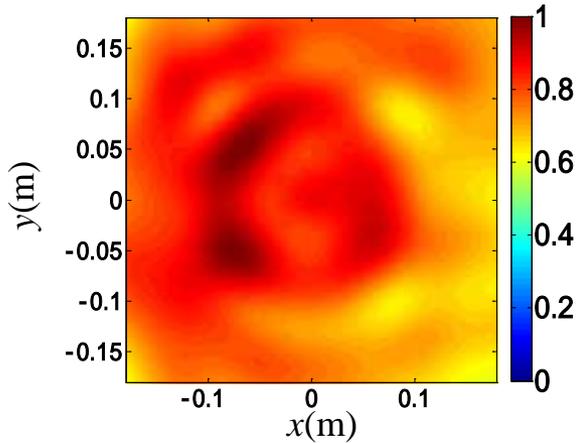
測定値



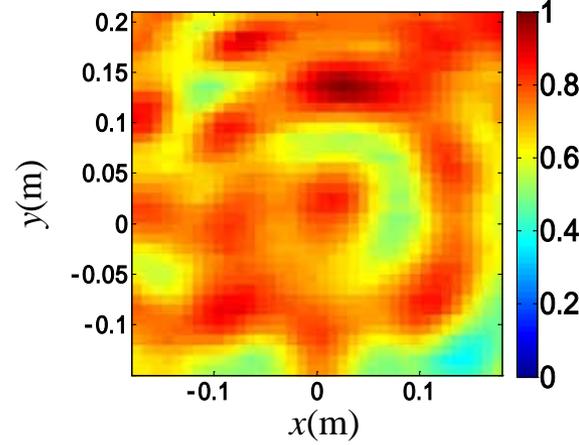
それぞれの画像
における最大値
を1として正規化

FDTD計算値は測定値の音場分布とよい一致が得られた

測定面 (前部)
計算値

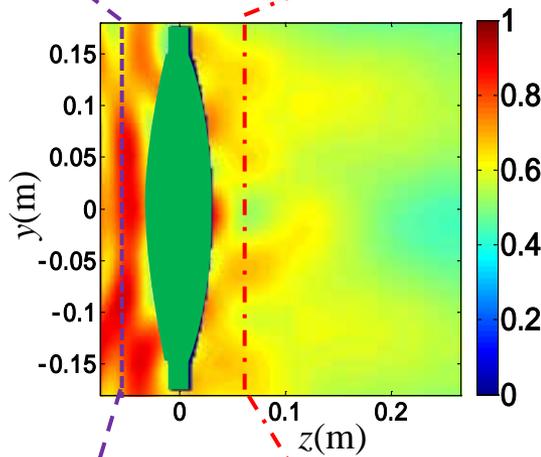


測定値

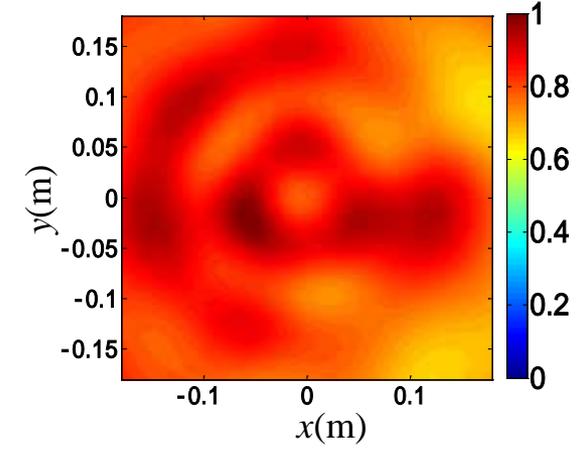


FDTD計算値

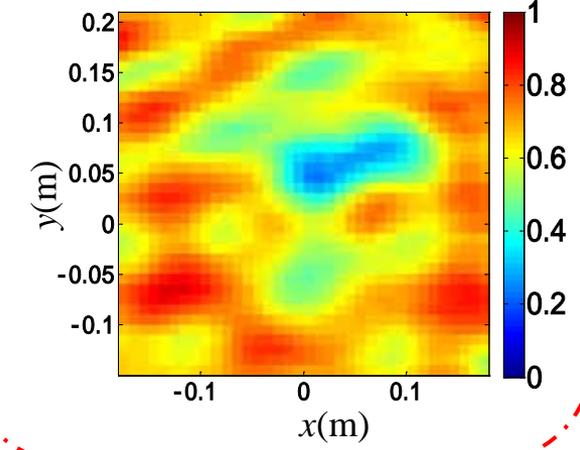
凸レンズ



測定面 (後部)
計算値



測定値



それぞれの画像
における最大値
を1として正規化

FDTD計算値と測定値との差がアクリルより大きい

目的

送受波アレーの信号処理によるビームの電子的走査が不要となる音響レンズ式画像化ソナーに適した音響レンズ系の設計

課題と対策

レンズ設計における波動性及びレンズ間での多重反射の影響を考慮するため、音場の計算にFDTD法を適用し、水とレンズの境界条件のモデルを従来より厳密化

結果

- ・境界条件の厳密化により理論解との誤差が減少
- ・アクリル製レンズにおいてはFDTD計算値が測定値に良く一致

今後の検討

- ・ゴム製レンズにおける誤差の原因の解明
- ・FDTD法による、画像化ソナーに適したレンズ系の最適設計

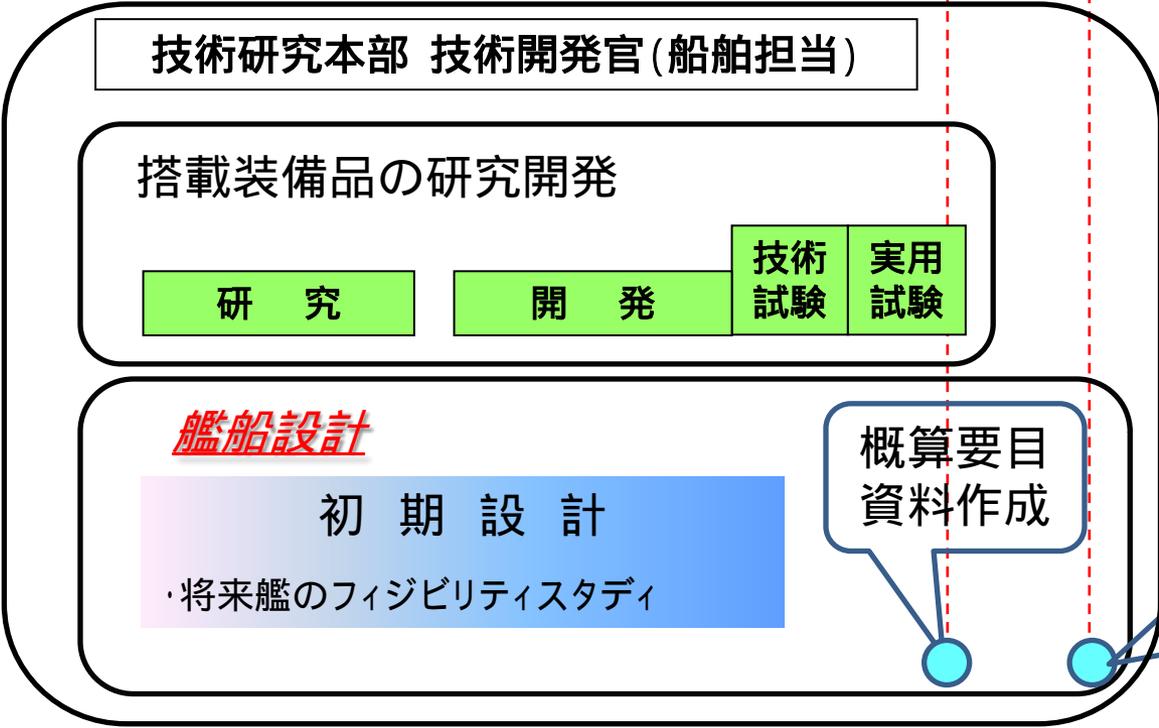
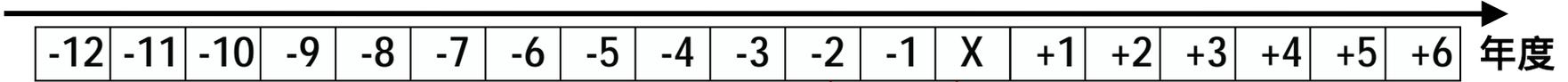


海自初のアジマス推進艦、 しょうなん

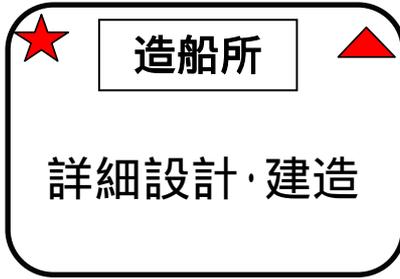
技術開発官(船舶担当)付
首席主任設計官

防衛技官 佐久間 俊

艦船設計の位置づけ



1番艦契約



海洋観測艦しょうなんの概要

L×B×D×d	103×16.4×8.7×4.5
ディーゼル発電機	3基
アジマス推進装置	2基
特 徴	精度の良い艦位保持 精密な海底地形調査

平成22年3月就役



アジマス推進器(プルタイプ)

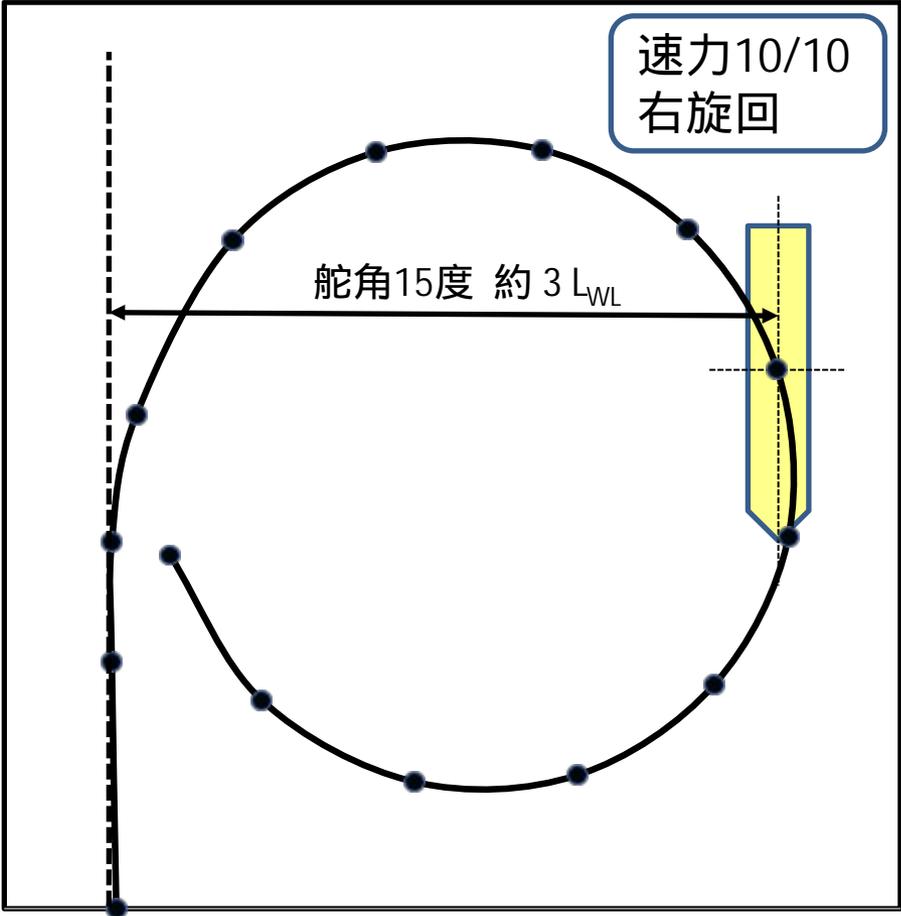
アジマス推進器の特徴

- ・静粛な推進
- ・精度良い定点保持性能
- ・観測作業に伴う細やかな操船(強い舵力)

・保針性の確保が課題



強い旋回力



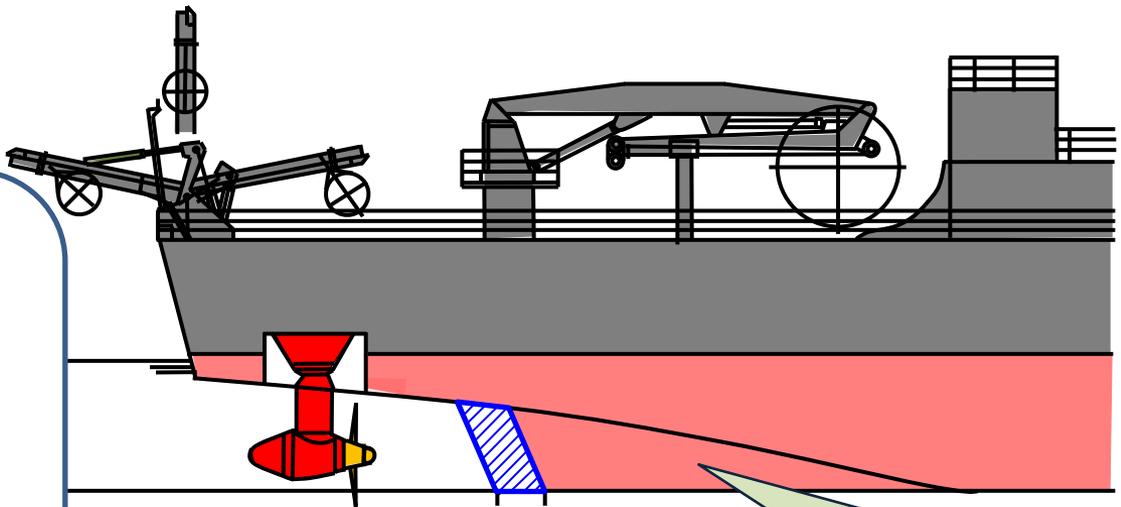
・舵角15度の旋回力は、通常舵の舵角35度の力に匹敵

これを生かして

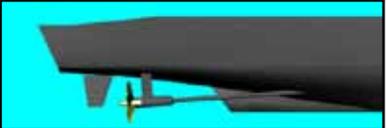
・観測時のきめ細かい操艦
・精度の良い艦位保持
・着棧時の良好な操艦性

実現

保針性の確保



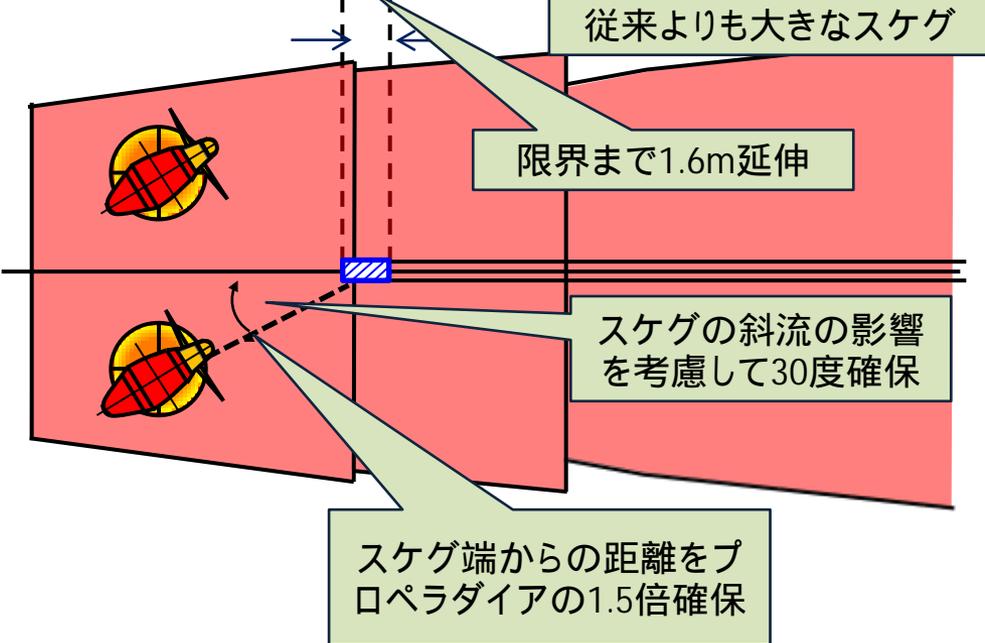
舵が持つ優れた性能



旋回時には旋回力、直進時には保針力を生み出す。

保針性確保のためのポイント

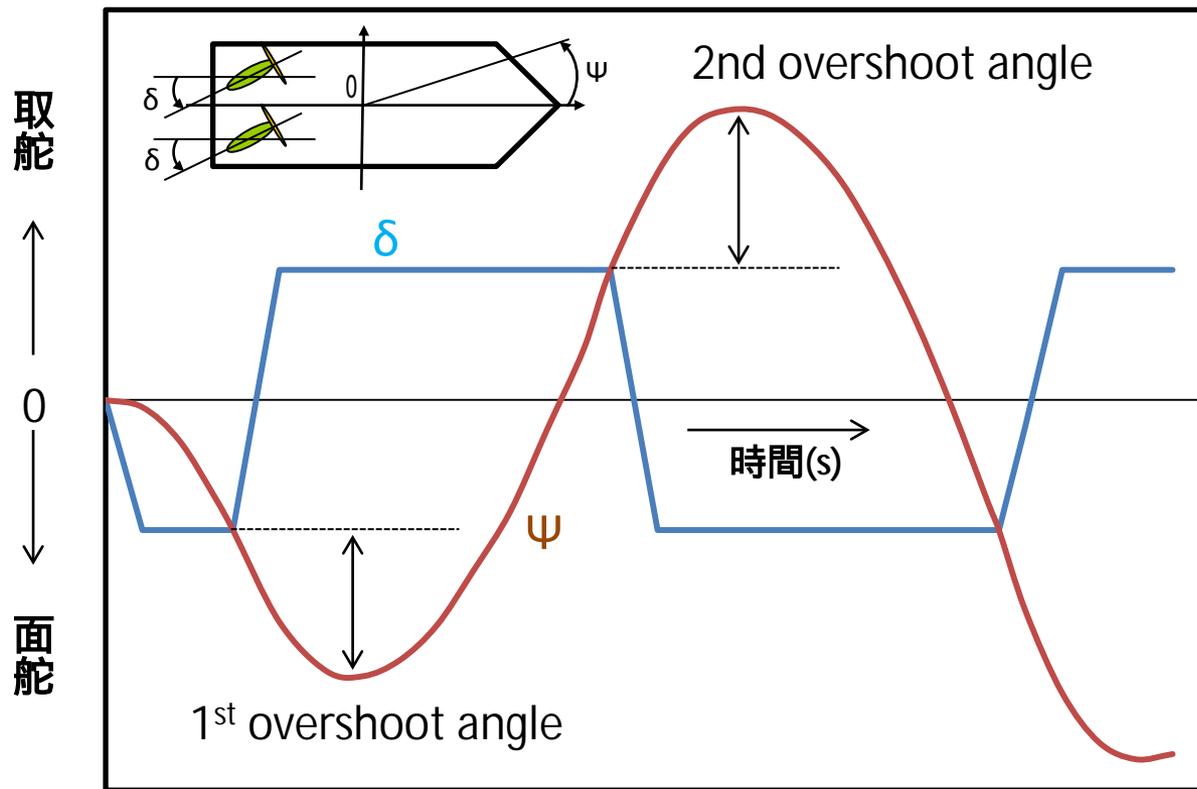
スケグ(整流部)の延伸
適切な転舵速度の設定



保針性の評価 (Z操舵試験)

IMOは、2002年に操縦性基準【MSC137(76)】を勧告し、その中で、1st ,2nd overshoot angleの大きさについても規定された。

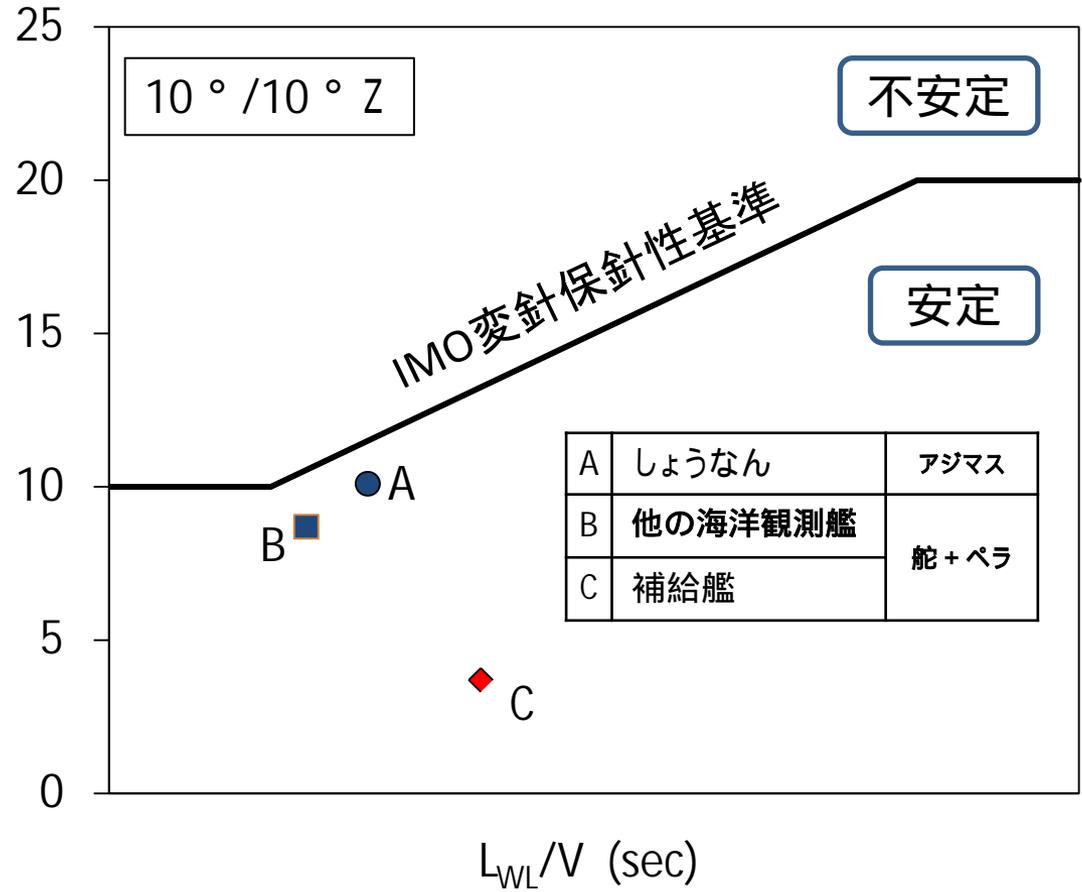
舵角 (δ)、方位角 (ψ) (deg.)



- ・オーバーシュート角の大きさにより、旋回性と保針性とのバランスを評価
- ・本艦の場合、第1オーバーシュート角の大きさが従来艦に比べて大きい

Z試験における第1オーバーシュート角

1st overshoot angle (deg.)

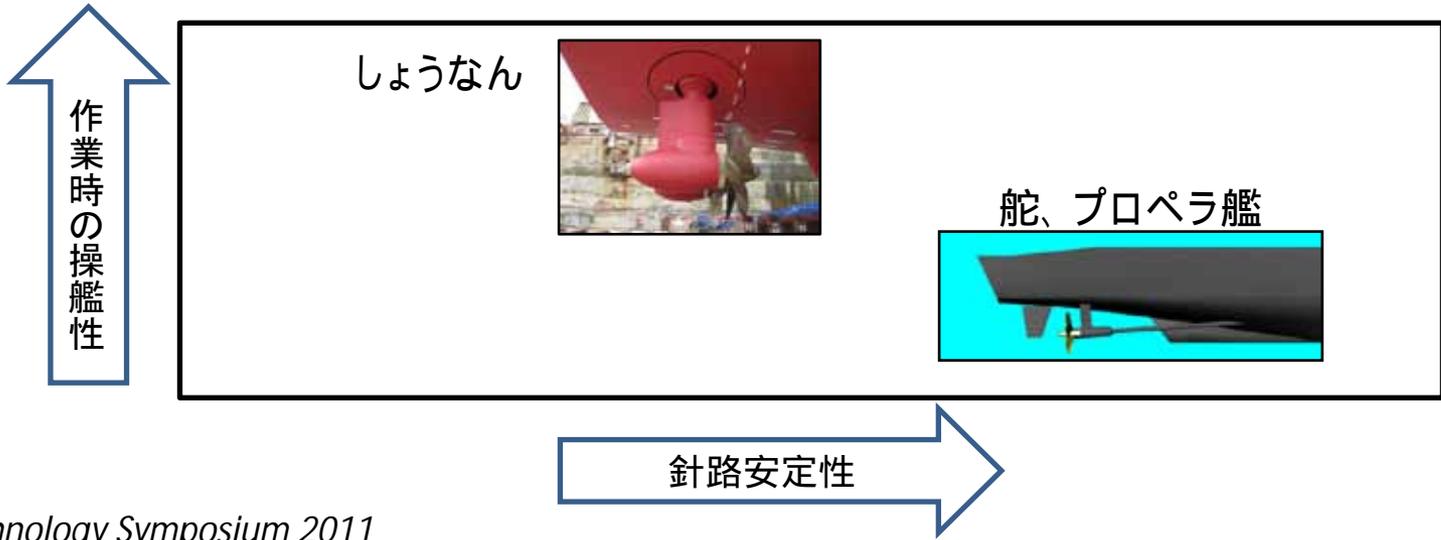


アジマス推進器に関する評価

乗員のコメント

ソーナーオペレーションは良好である。
旋回力が強く、観測作業や着棧時の操艦に便利。
従来艦に比べると当て舵が多いが、港湾などで、方位が振れる
ことはない。
海自初のアジマス艦として、新たな操船を発信したい。

艦船設計者としての評価



まとめ

海自初のアジマス推進器装備艦である、しょうなんは、優れた操艦性能を生かして、観測業務を順調に進めている。

アジマス推進器は、作業時に良好な操艦性能が求められる艦においては有効であるが、通常航行時の保針性が重要な艦においては、今のところ、従来の舵・プロペラシステムが良いと思われる。

海洋観測艦しょうなんの益々のご発展を祈念する。

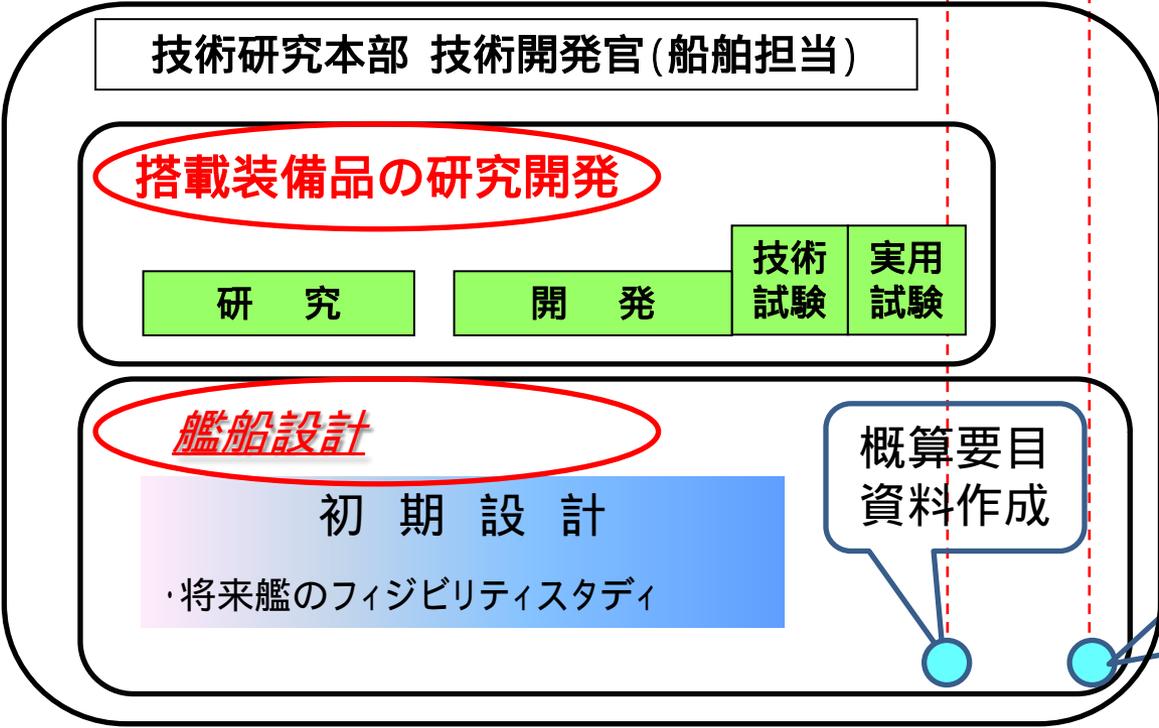
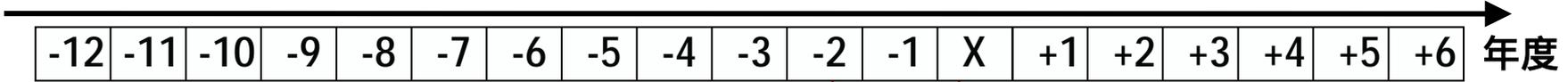


進化を遂げたDDH ひゅうが

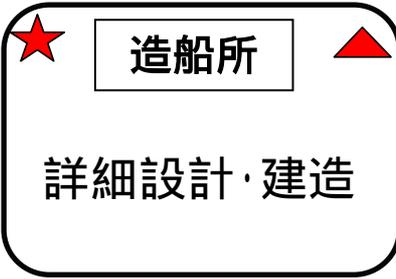
技術開発官(船舶担当)付
主任設計官(護衛艦)

1等海佐 大迫 義谷

艦船設計の位置づけ



1番艦契約



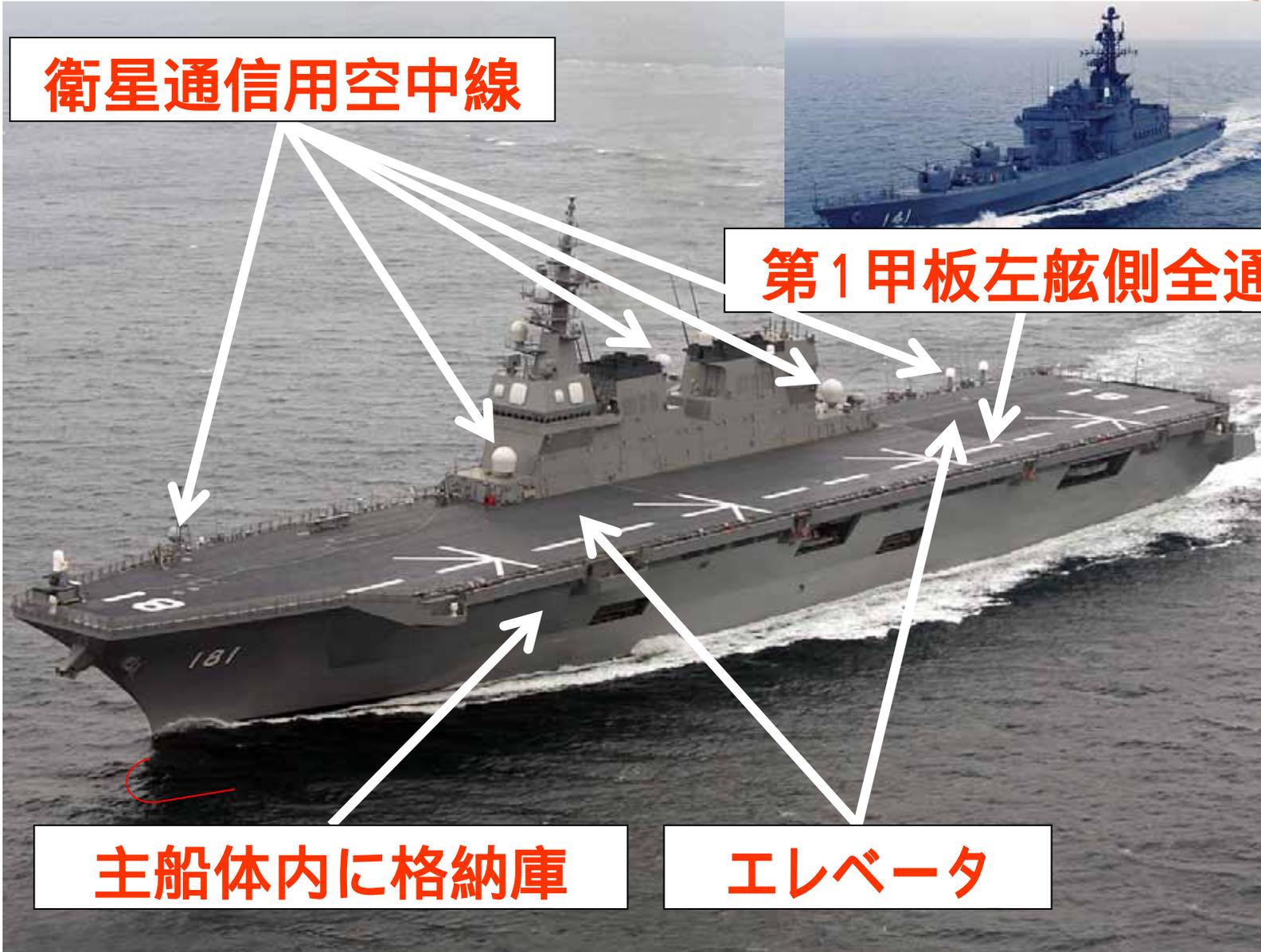
就役

従来のDDHと「ひゅうが」型との比較



項目	ひゅうが	はるな
全長 (m)	197.0	153.0
最大幅 (m)	33.0	17.5
深さ (m)	22	11
喫水(常備) (m)	7.0	5.2
基準排水量 (ton)	13,950	4,950
馬力 (P S)	10万	7万
速力 (kt)	30	31
航空	哨戒ヘリ × 3 掃海・輸送ヘリ × 1	哨戒ヘリ × 3

外観上の進化



衛星通信用空中線

第1甲板左舷側全通

主船体内に格納庫

エレベータ

主要兵装



**射撃指揮装置
(研究開発)**

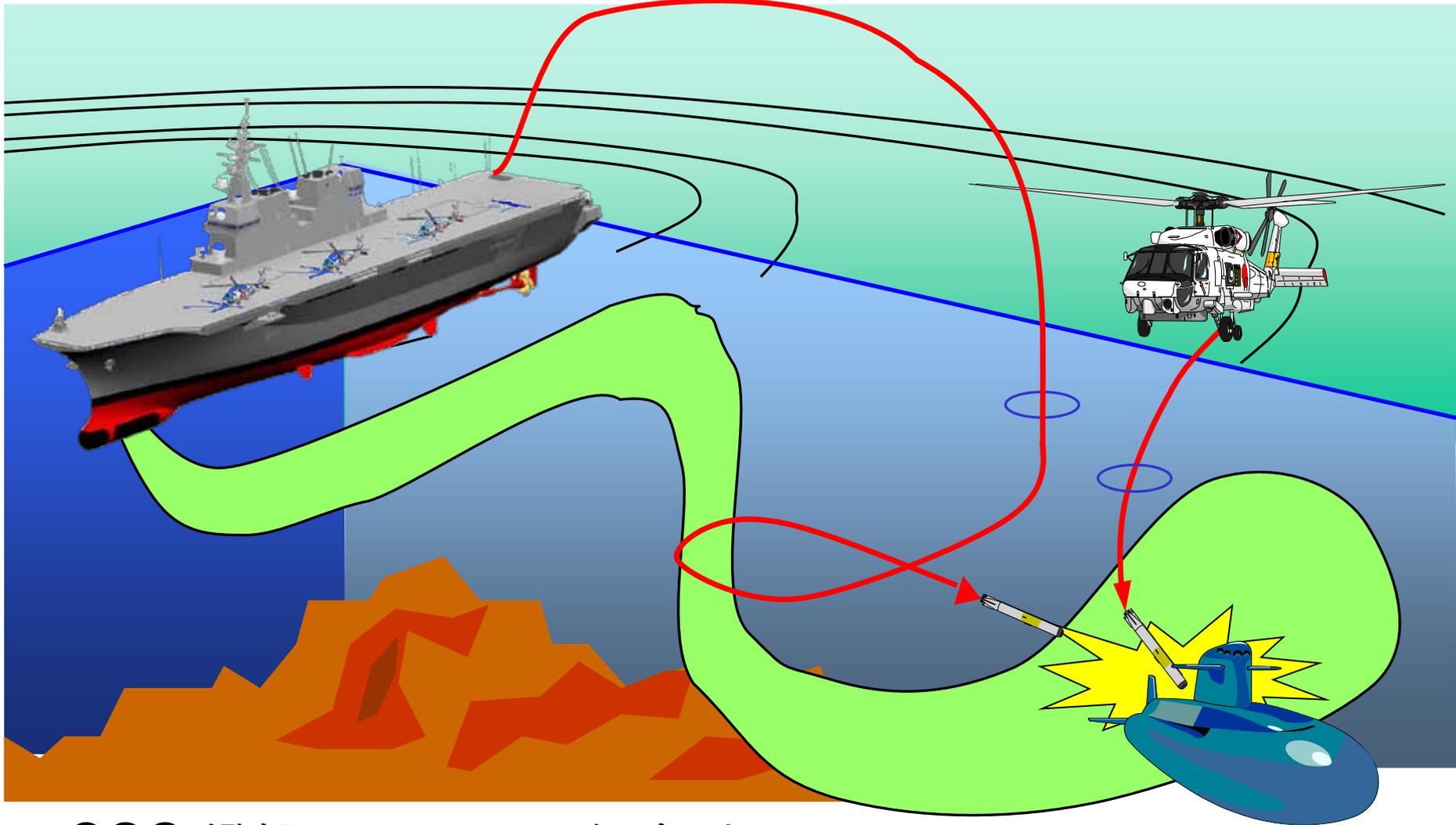
垂直発射装置

高性能20mm機関砲

**水上艦用ソーナーシステム
(研究開発)**

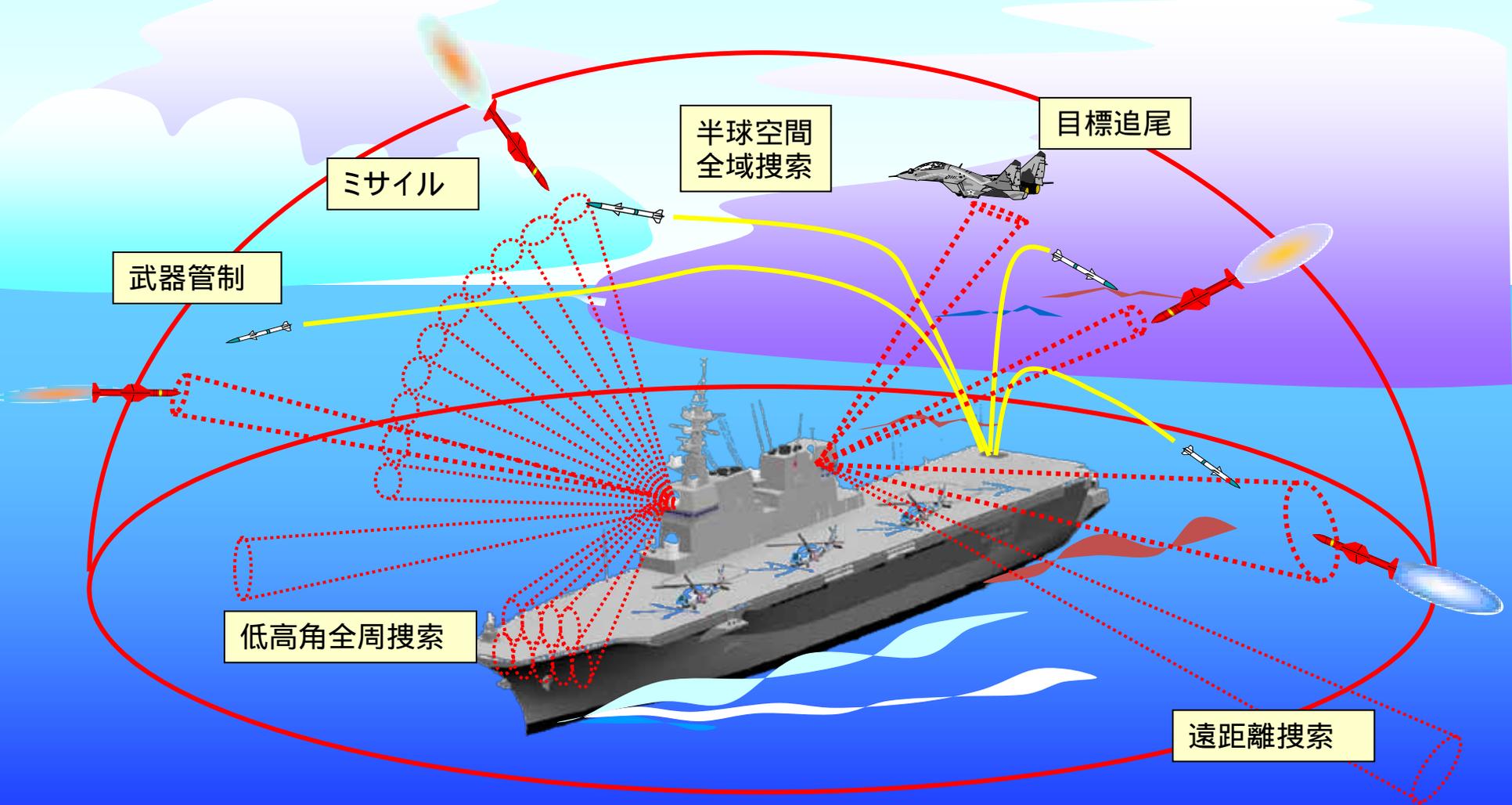
魚雷発射管

水上艦用ソナーシステム概要 (00Q - 21)



00Q:艦船用・ソナー・組成型 (「海上自衛隊電子機器命名基準に関する通達」から)

射撃指揮装置概要 (FCS - 3 : Fire Control System)

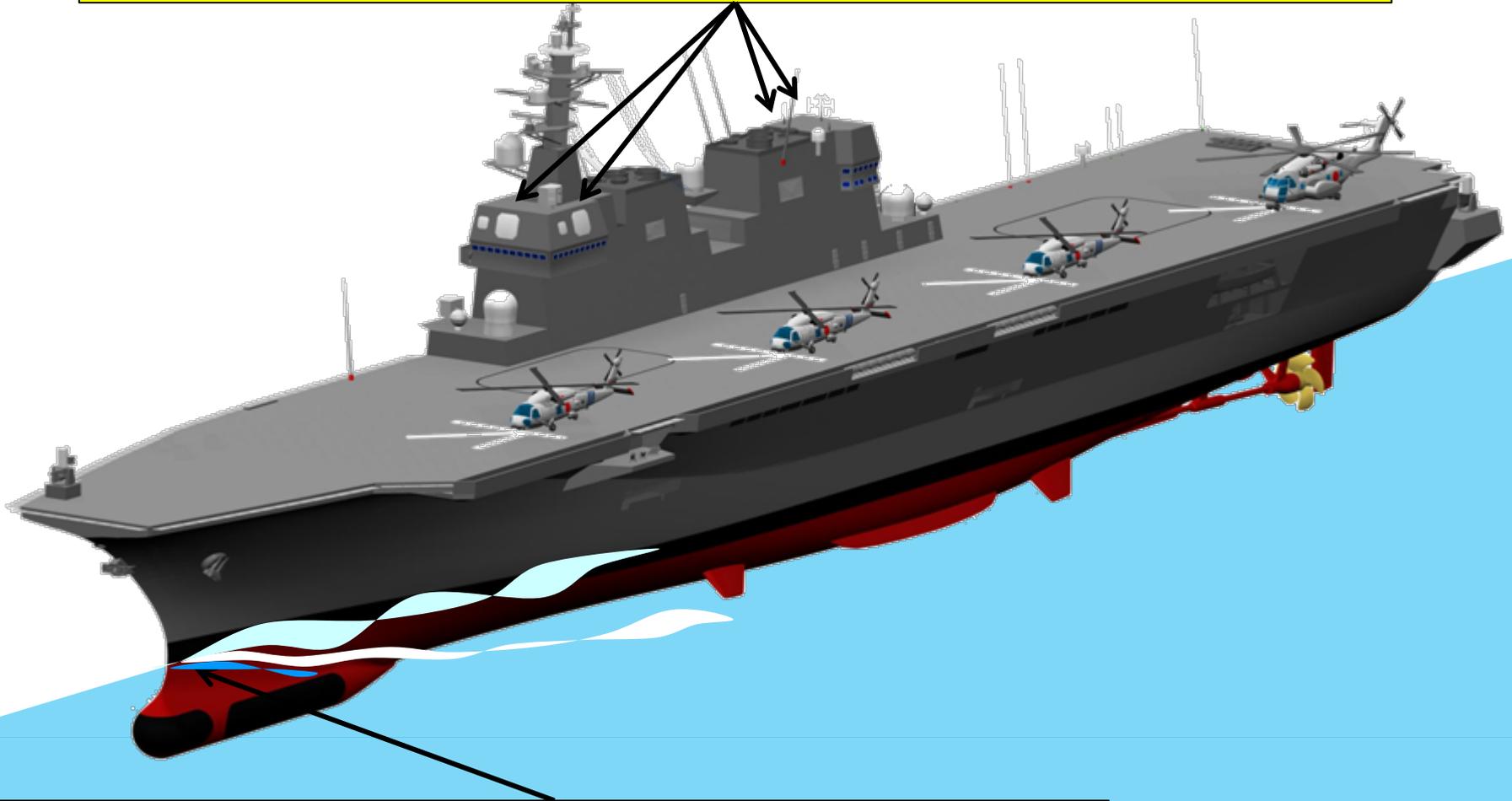


開発品を搭載し、試験を実施した 試験艦「あすか」



艦船設計 (1/3)

水平線上半球空間全域の視界考慮 (射撃指揮装置)



砕波雑音低減考慮 (水上艦用ソナーシステム)

艦船設計 (2/3)

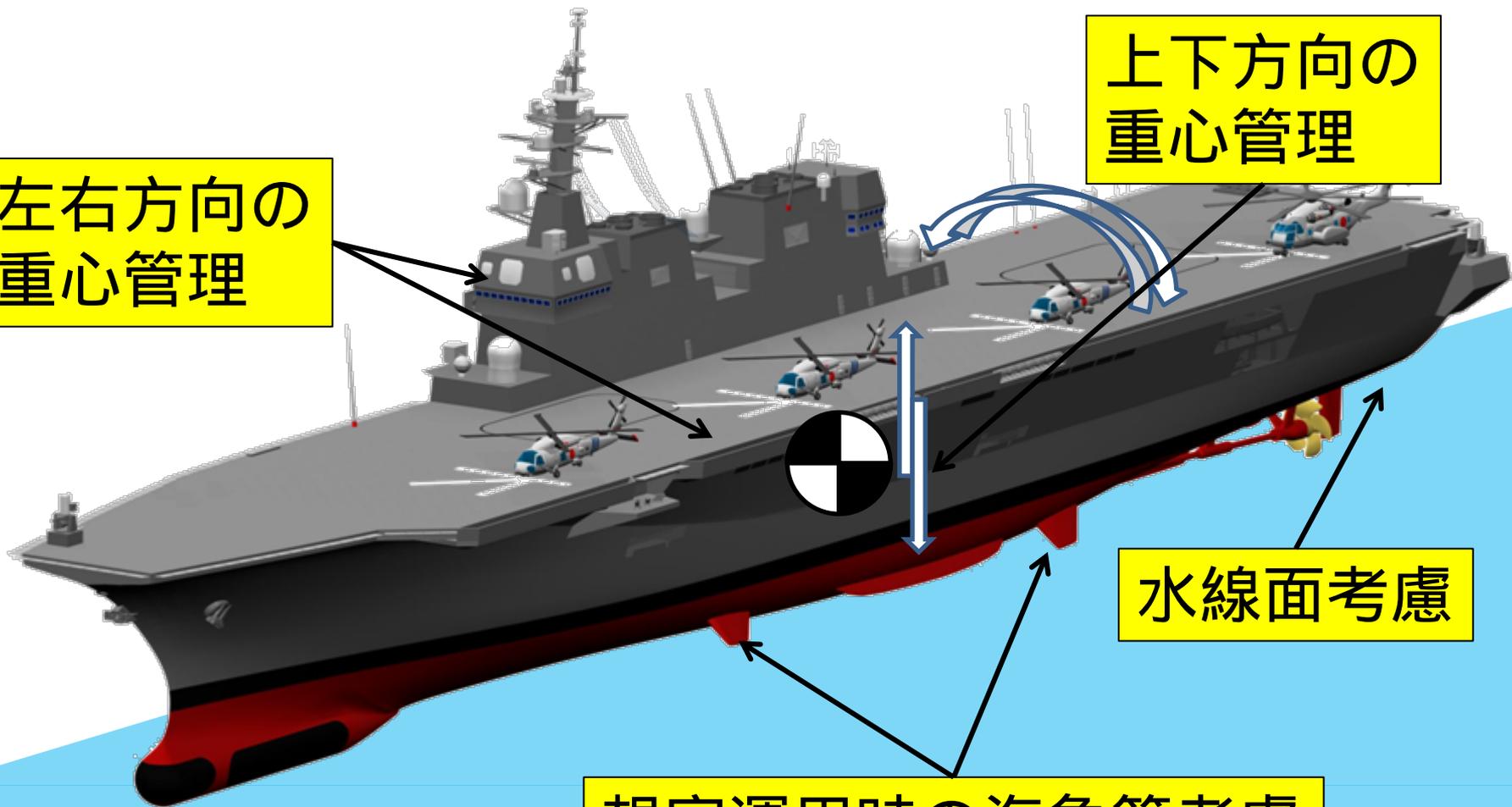
(ヘリコプターの自由着艦要求考慮)

左右方向の
重心管理

上下方向の
重心管理

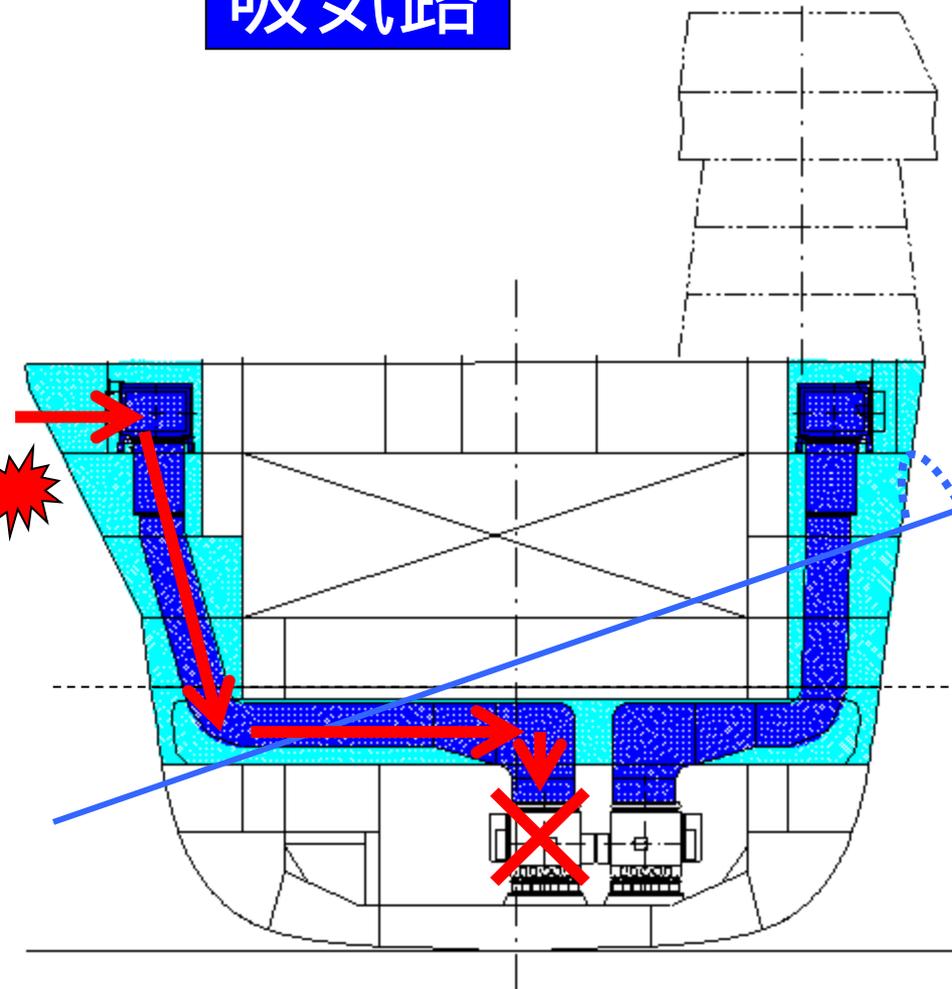
水線面考慮

想定運用時の海象等考慮

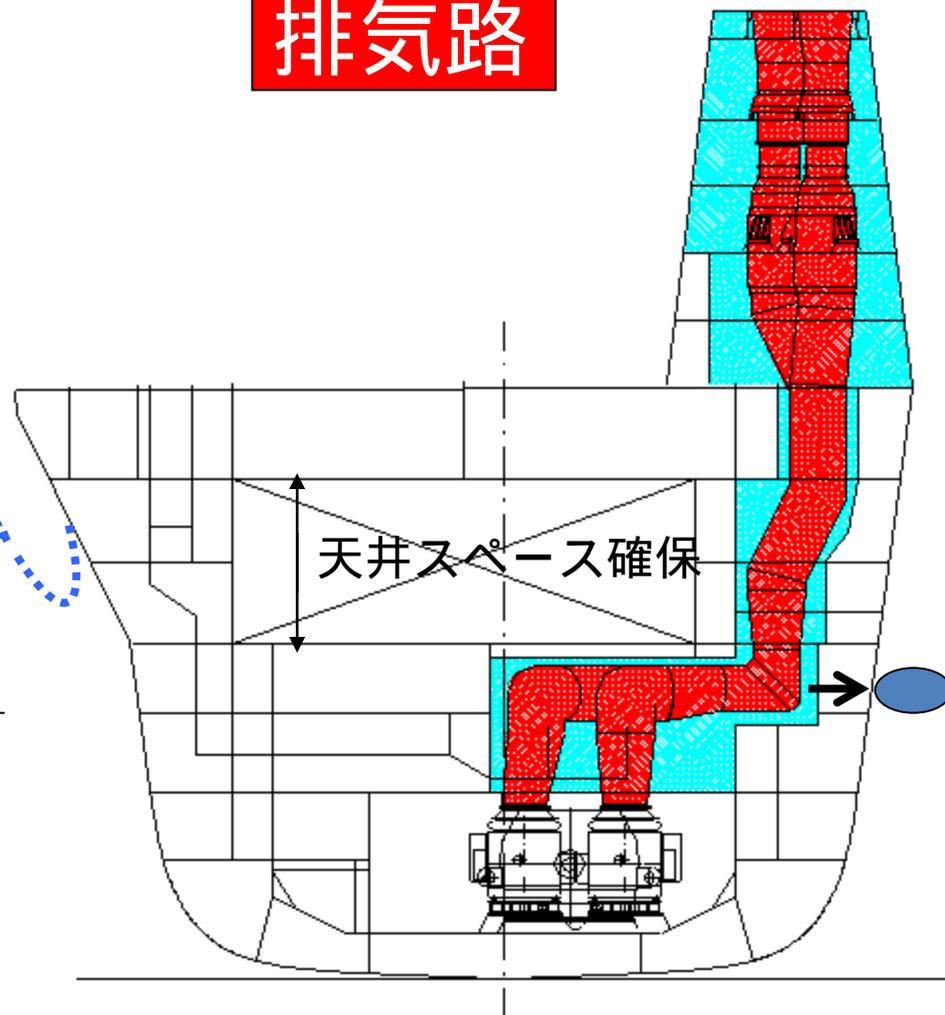


(吸排気管導設要領)

吸気路



排気路







新たな素材を使う えのしま

技術開発官(船舶担当)付
主任設計官

防衛技官 小野 洋史

掃海艇えのしまの概要

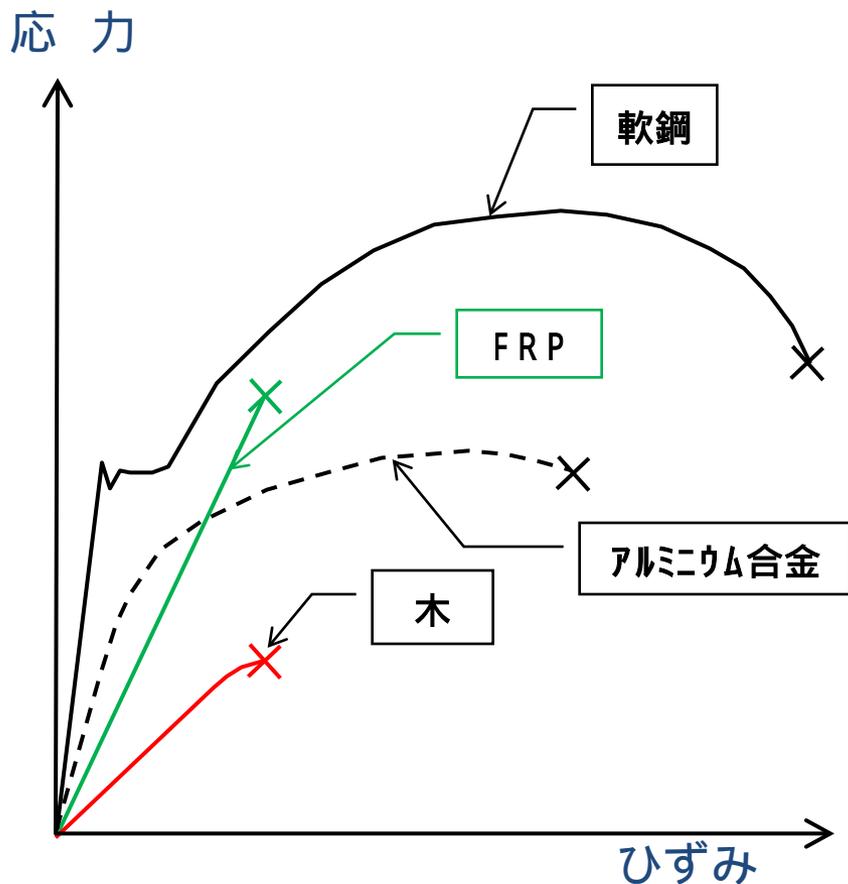
L×B×D×d	60×10.1×4.5×2.5
基準排水量	570 ton
主 機 械	非磁性ディーゼル2基2軸
主 要 兵 装	掃海具一式

平成24年3月就役予定

見た目は「ひらしま型」と同じですが、FRP化により、長さが伸びて、骨格も変わりました。世界最大級のFRP船です。



船体構造にGFRP*を使用し、従来の木造船に比べ、船齢を約2倍に延伸し、ライフサイクルコスト低減を図っています。
注) GFRP : GlassFiber Reinforced Plastic



応力 - ひずみ線図

FRPの力学特性の特徴

- 1 FRPは木より大きな力に耐えられる。
(強度は、素材特性、繊維配向、繊維含有率に依存)
- 2 塑性域がなく、破壊まで弾性域。
(脆性材料的な挙動)
- 3 一般に、金属より剛性が小さい
(1) 変形を考慮した構造設計が必要
(2) 連続性重視の構造が必要

サンドイッチ構造の特徴

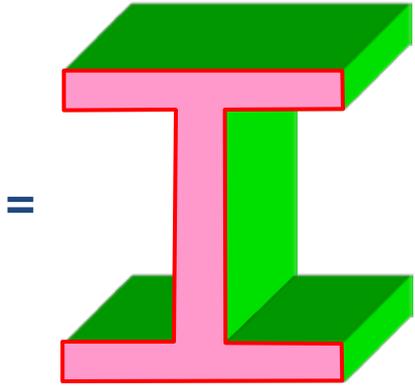
サンドイッチ構造の船体材料としての利点

- 1 軽量で高剛性にできる。
心材で高剛性化が可能
- 2 水中放射雑音の低減特性に優れる。
全船的な雑音低減が可能
- 3 構造が簡素化できる。

サンドイッチ構造



剛性等価の梁



サンドイッチ構造の概念図

高性能化した心材及び接着剤等の出現により、
サンドイッチ構造の利点を活用できるようになりました。

GFRPサンドイッチ構造による構造簡略化

木造



GFRPサンドイッチ構造



ボルト・釘による接合

まきはだ等による防水



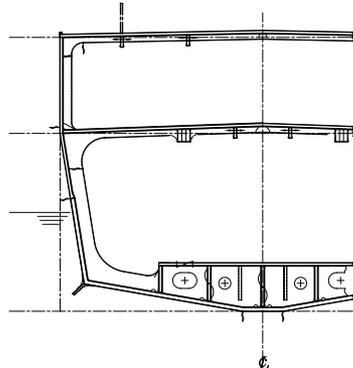
GFRP、接着剤等による接合

GFRPサンドイッチ構造の採用により、部材数及び部材の接合の工数が大幅に低減しています。

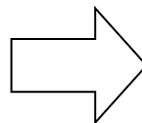
構造設計の概要

基準に基づく初期部材配置例

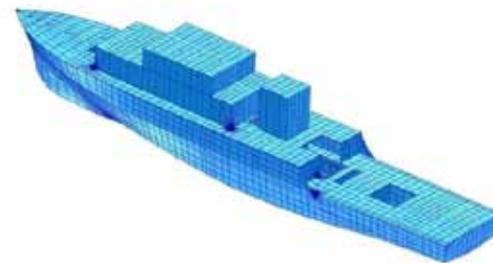
(中央部構造切断図)



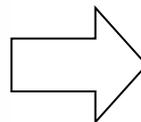
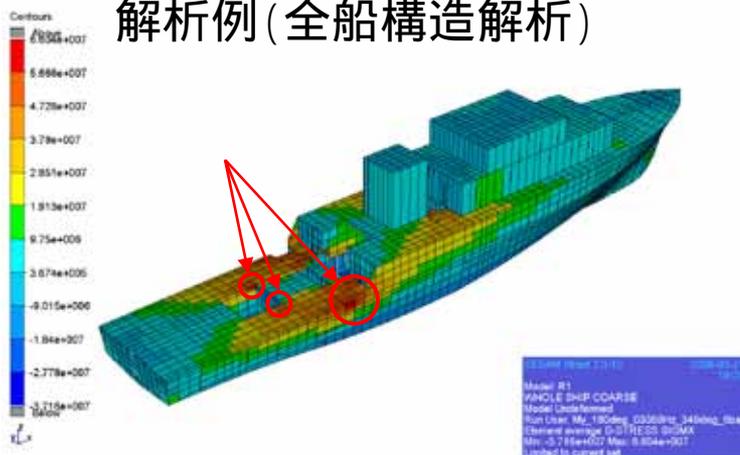
解析モデル化



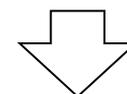
解析モデル例(全船構造解析)



解析例(全船構造解析)



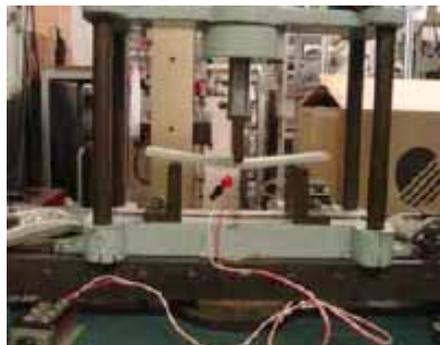
< 対策 >
 ・ 形状の見直し
 ・ 部材寸法の見直し



性能の確認

**全船構造解析のほか
 耐衝撃性能解析及び水中放射音解析を実施しています。**

材料試験による強度確認



設計条件を決める様々な強度試験のほか、耐火性試験も実施し、GFRPサンドイッチ構造適用に際し万全を期しています。

耐久性試験

GFRPサンドイッチ構造を主船体構造とする艦艇の長期使用に対する耐久性及びその影響因子を明らかにするため、促進耐侯性試験及び解析を実施する。

(1) (2) (3) (4)



キセノン促進耐侯性試験装置



初期状態

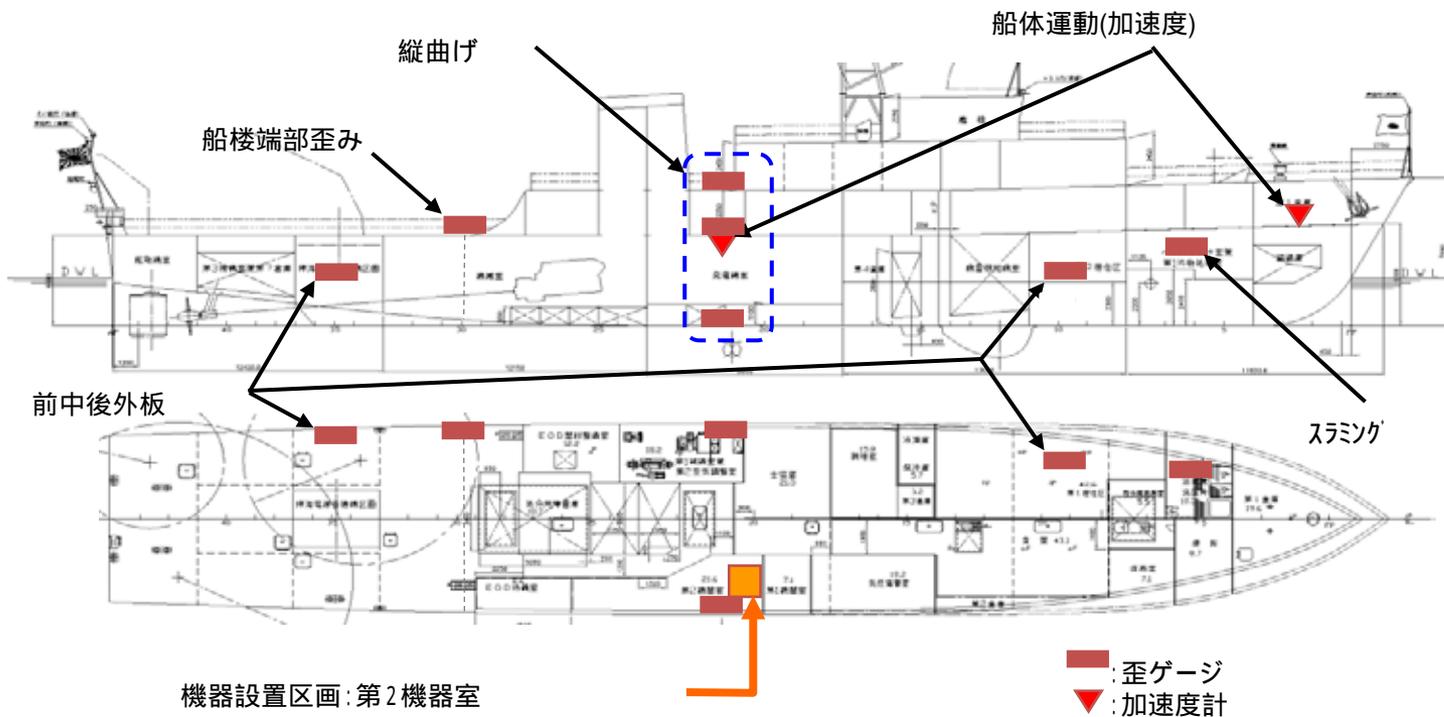


試験終了時

塗装の有無や種類の影響を評価

船体構造応答計測

就役後の実海域における船体強度の健全性について長期間の監視が出来るよう構造モニタリング装置により船体構造応答計測を実施する。



20MSC 構造モニタリング・システム概要図

耐衝撃性試験

艦全体システムとして耐衝撃性に関する総合的な技術的確認を行うため、「えのしま」に対する水中爆発による耐衝撃試験を就役後に実施する。



写真は硫黄島における実機雷処分訓練(掃海隊群提供)

まとめ

海自初の大型FRP艦艇である、えのしまは、各種材料試験、強度試験を経て、順調に建造が進められ、現在試運転を行っているところである。

就役後も能力試験、耐衝撃試験を行い、FRP船体構造を有する掃海艇の性能を確認する計画である。

将来は試験の結果を踏まえ、FRPの特徴を更に生かした新たな艦の設計が望まれている。



X 舵搭載の優れたもの！ そうりゅう

技術開発官(船舶担当)付
主任設計官(潜水艦)

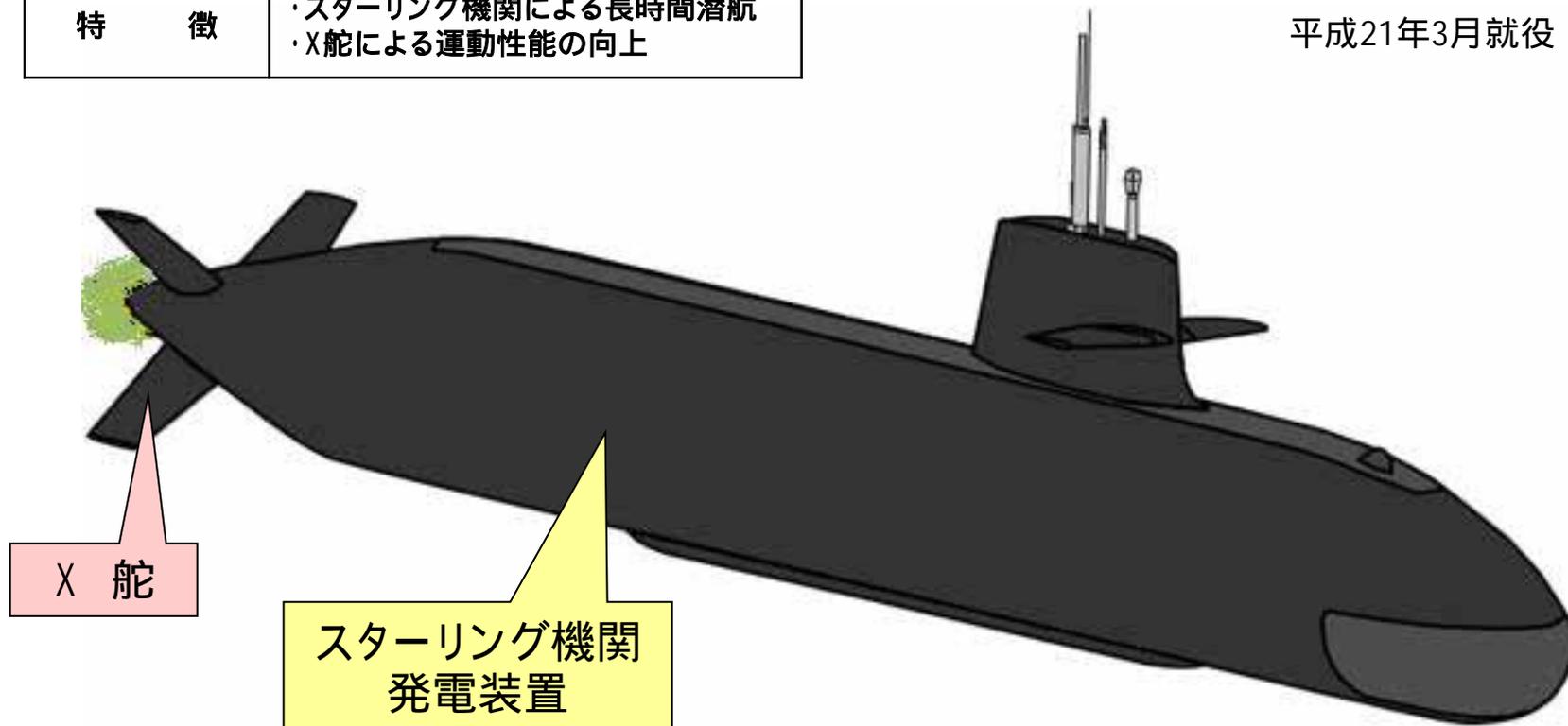
2等海佐 佐野 靖彦

潜水艦「そうりゅう」の概要

L × B × D × d	84 × 9.1 × 10.3 × 8.5m
基準排水量	2,950 ton
推進方式	ディーゼル・スターリング電気推進
主要装備	水中発射管 一式
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・スターリング機関による長時間潜航 ・X舵による運動性能の向上



平成21年3月就役



諸外国のX舵搭載艦

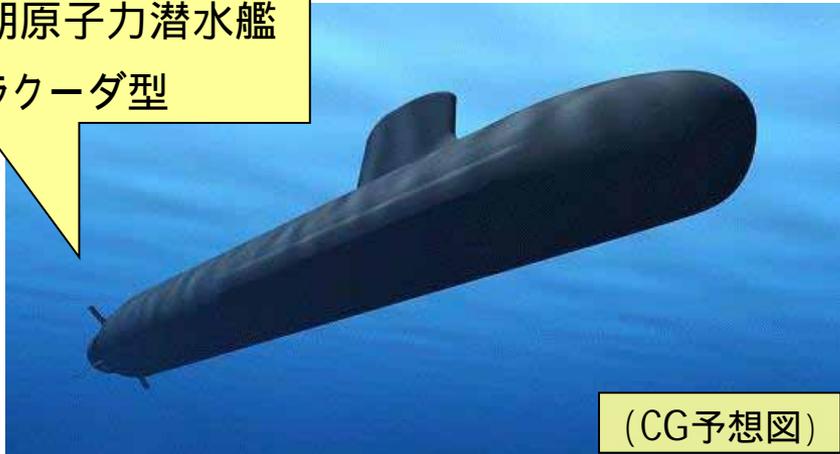
ドイツ海軍
最新鋭AIP潜水艦
U - 212型



オーストラリア海軍
通常動力潜水艦
コリンズ型



フランス海軍
次期原子力潜水艦
バラクーダ型



(CG予想図)

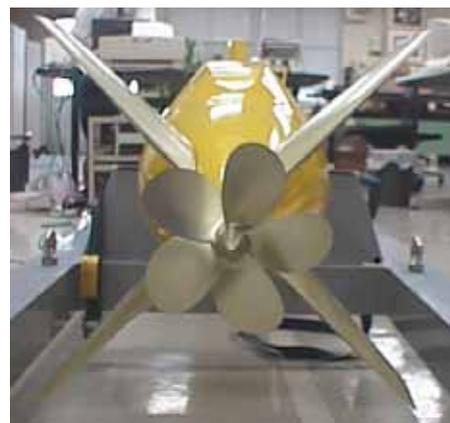
その他、スウェーデン、オランダ等の潜水艦に装備

X 舵の特徴



- ・運動性能(旋回、深度変換)の向上
- ・抗たん性の向上

X 舵潜水艦模型の研究試作

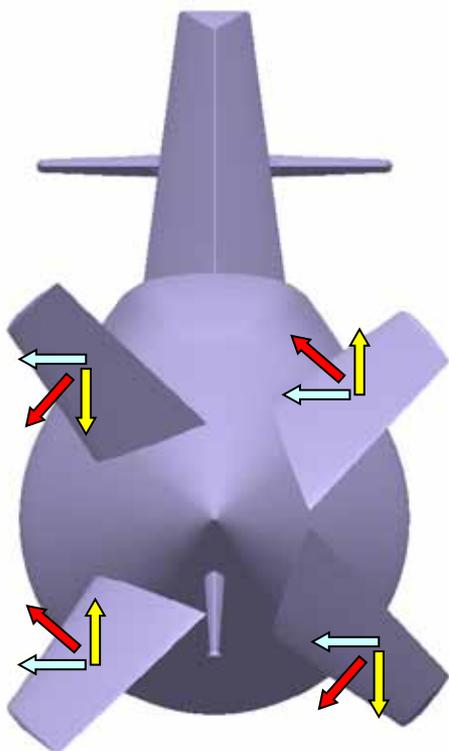


計画・実施：第1研究所(現 艦艇装備研究所)

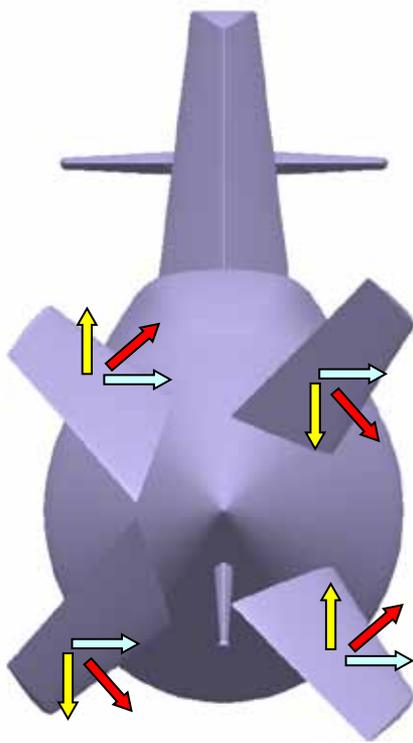
・模型による運動性能の確認
→「そうりゅう」基本設計に反映

X 舵の回頭原理

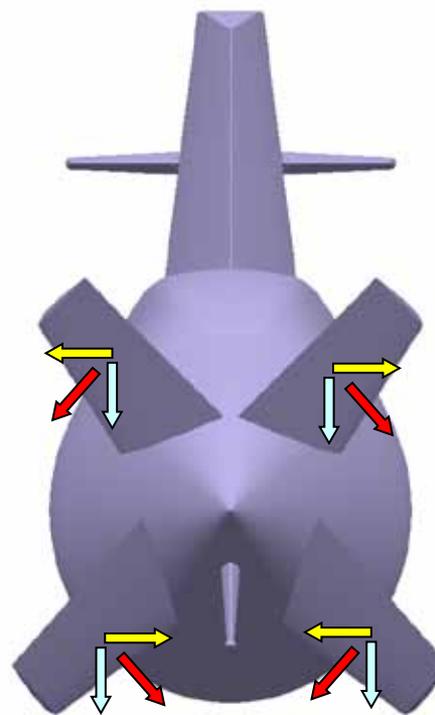
舵力 (舵が効く力) = $\frac{(1 / \sqrt{2}) \times 4 / 2}{1 \text{ 舵当り}}$ 1.4



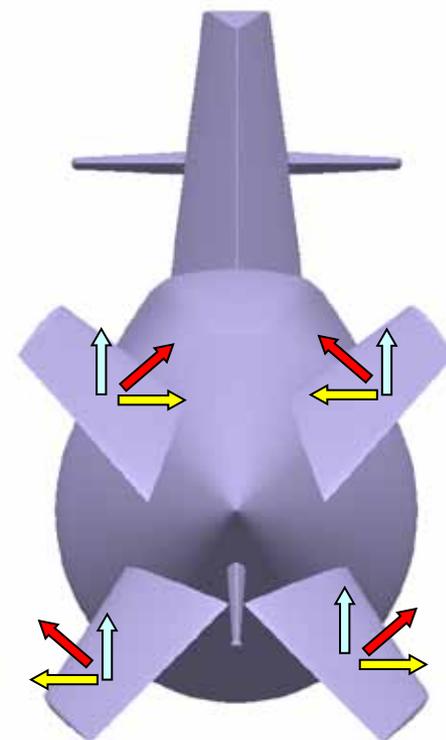
面舵



取舵



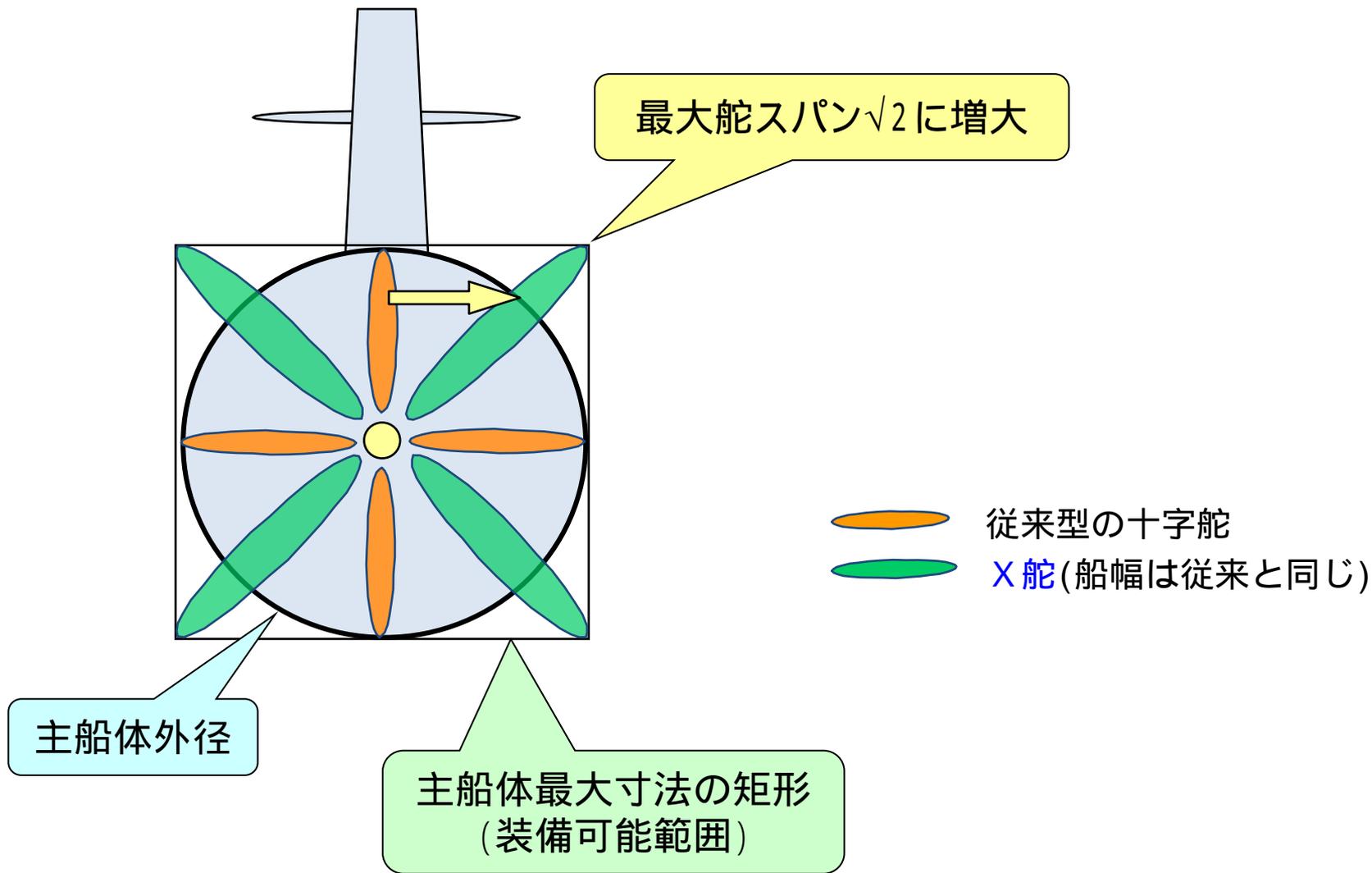
上舵



下舵

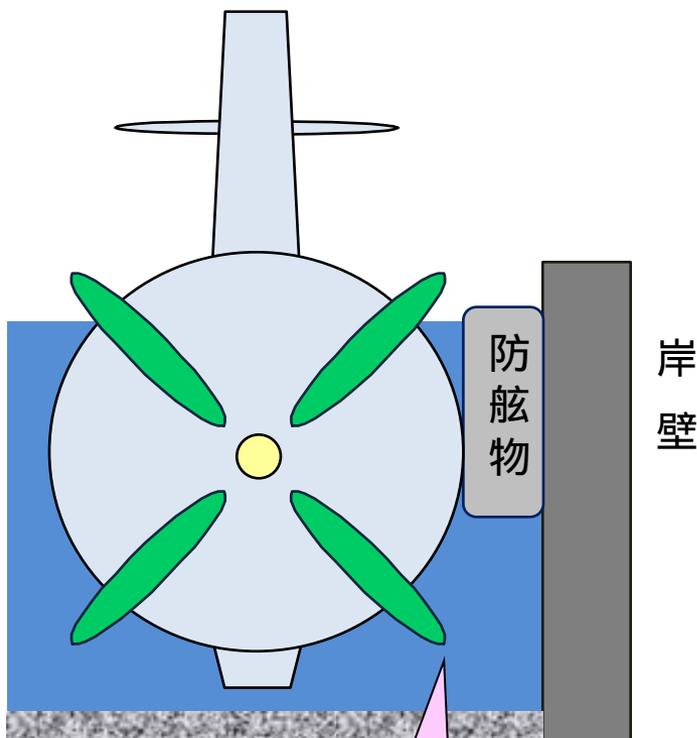
(艦尾から見る)

船体最大幅と舵最大スパンの関係



舵損傷の可能性

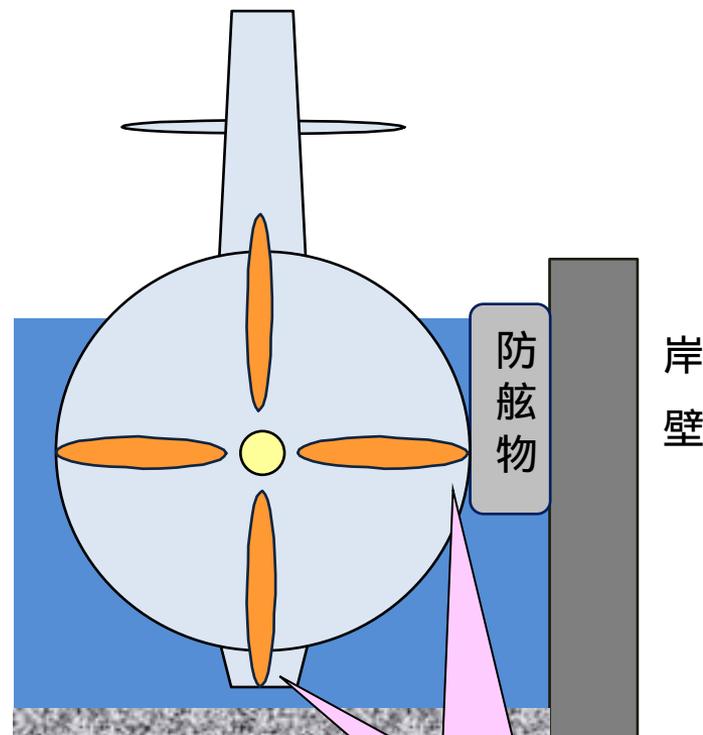
X 舵



海底

接触の可能性小

十字舵

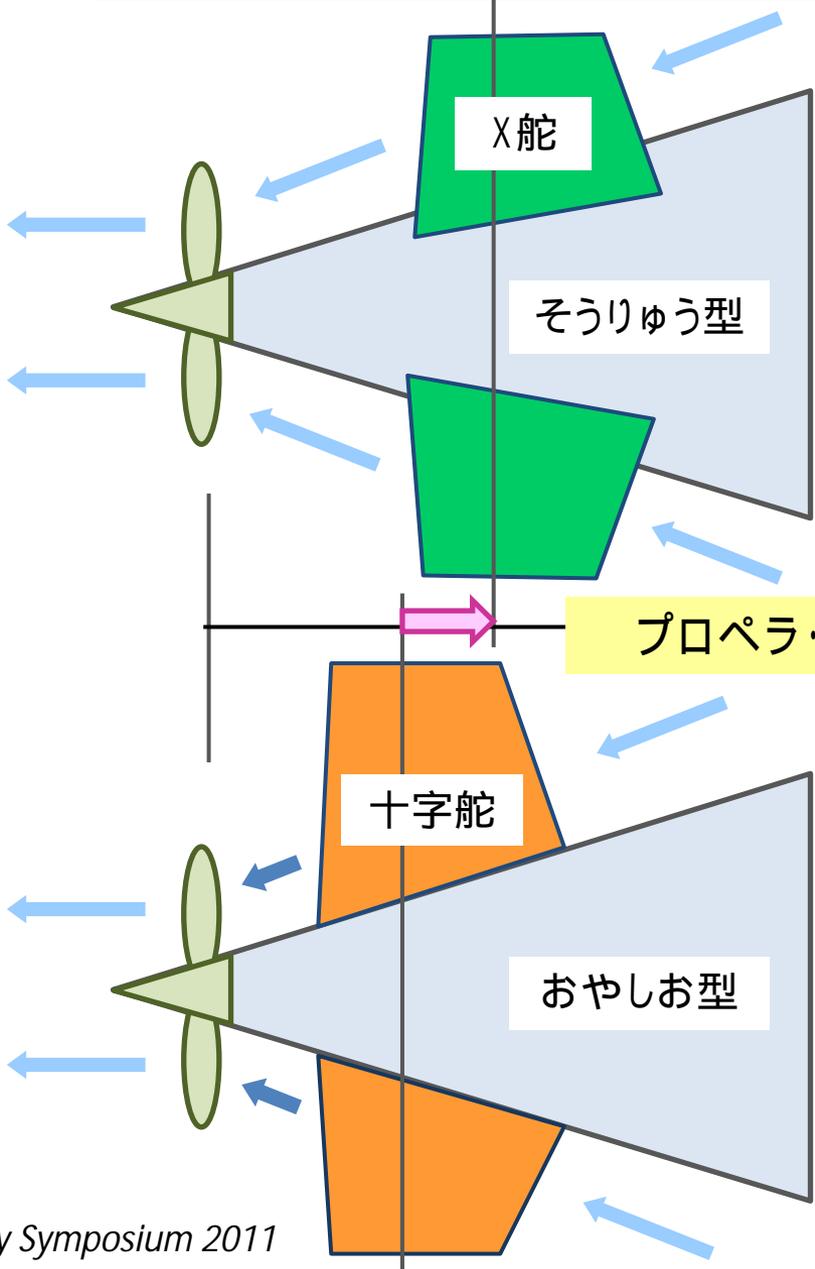


海底

接触の可能性大

(艦尾から見る)

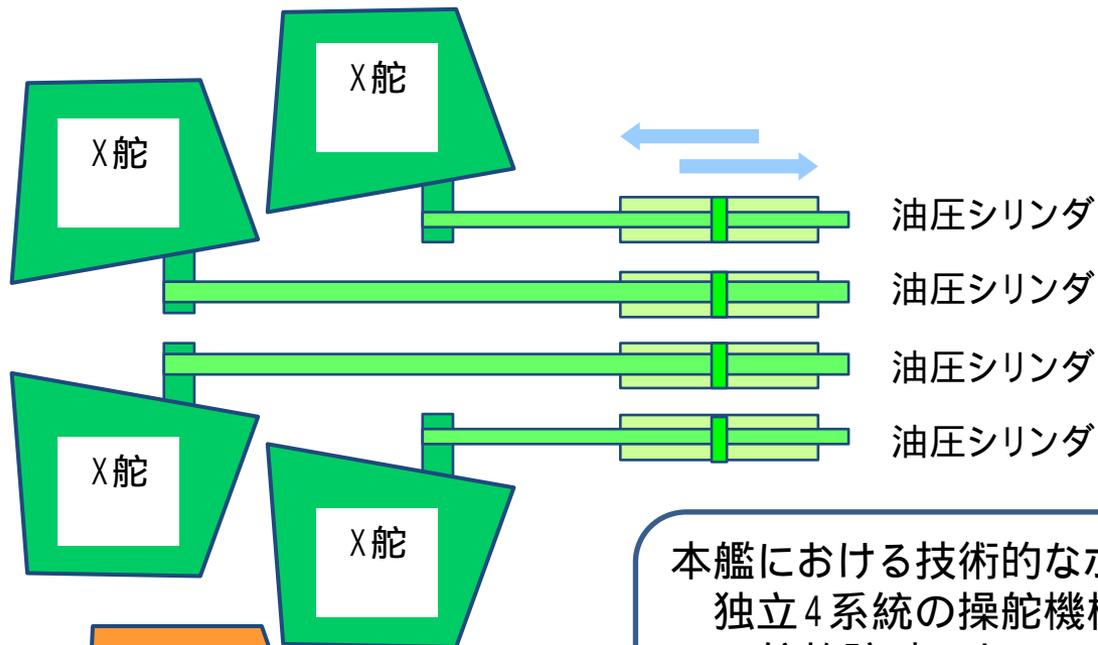
X舵の装備位置



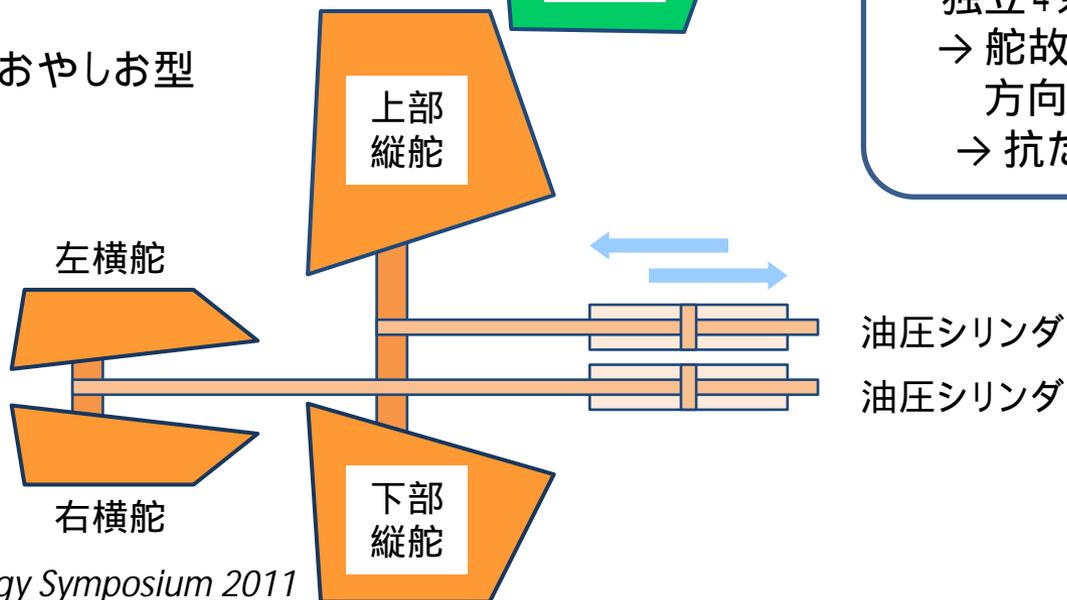
本艦における技術的なポイント
X舵の装備位置を前方へ
→ プロペラ雑音低減に寄与

X舵の抗たん性

そうりゅう型

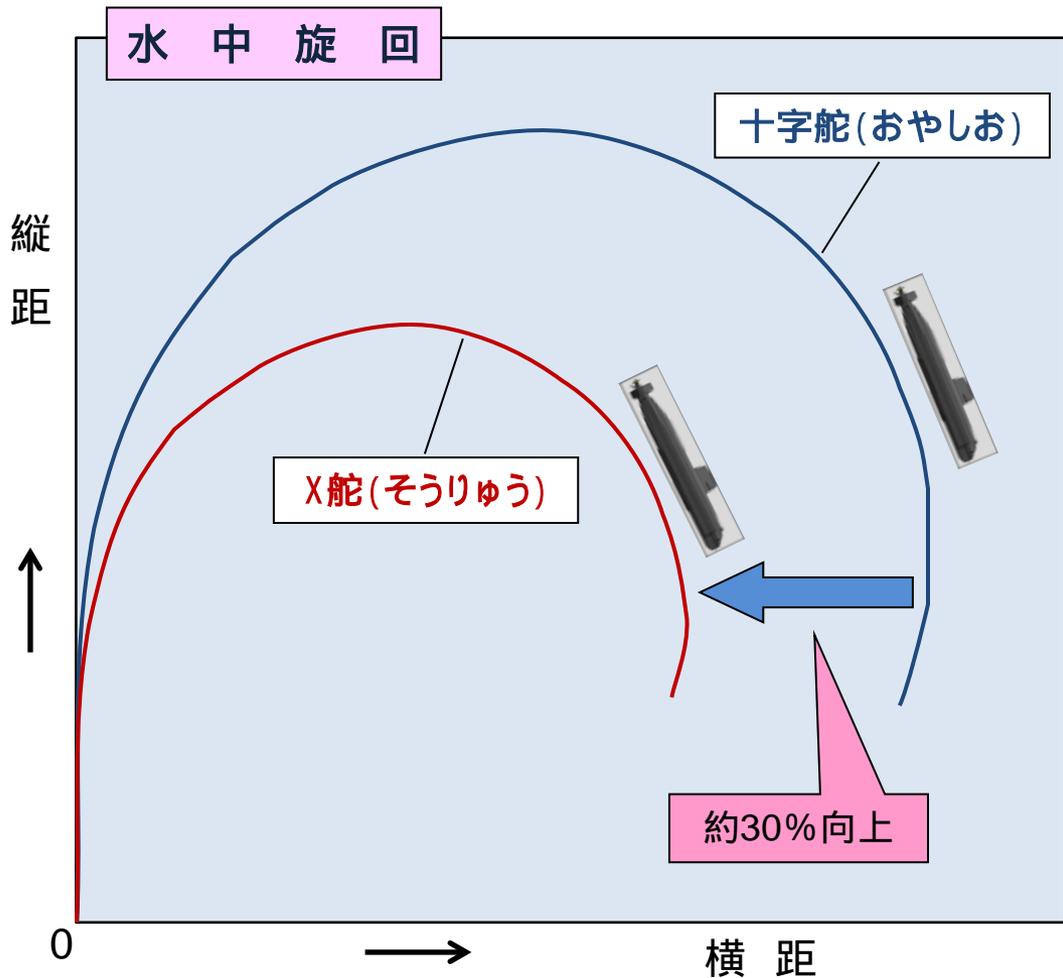


おやしお型



本艦における技術的なポイント
 独立4系統の操舵機構
 → 舵故障時においても上下左右
 方向に操艦可能
 → 抗たん性の向上に寄与

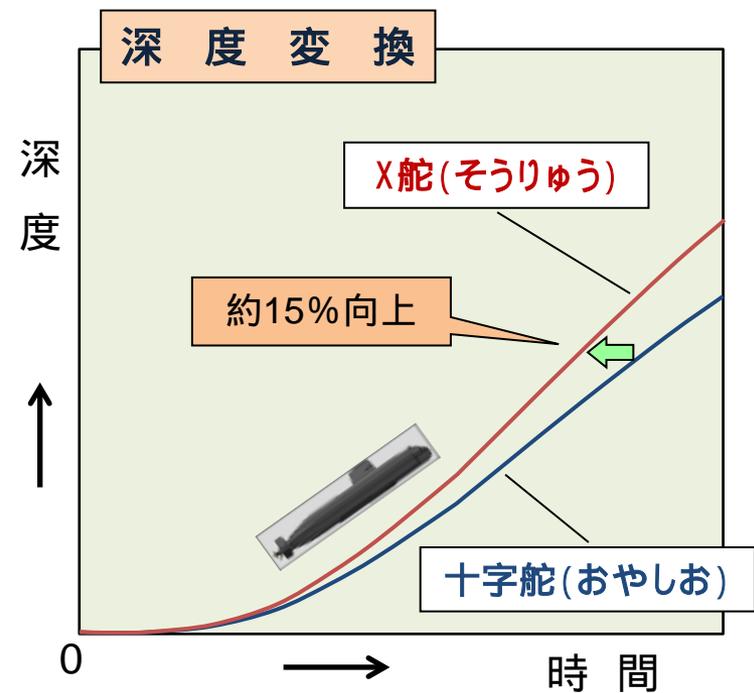
X 舵と十字舵の性能比較



実艦の旋回試験等における運動性能

- 水中旋回: 約30%向上
- 深度変換: 約15%向上

→ 優れた運動性能を確保



まとめ

海自初のX舵搭載艦である、そうりゅう型は、「そうりゅう」「うんりゅう」「はくりゅう」の3隻がすでに就役、その優れた運動性能を生かして、任務に就いている。4番艦「けんりゅう」は現在、海上における試運転を順調に進めており、来年3月に就役する予定である。

将来は、そうりゅう型での使用実績を踏まえ、X舵の特徴を更に生かした設計を行っていく所存である。



軽量戦闘車両システムの研究 (防護構造車体)について

陸上装備研究所システム研究部

戦闘車両システム研究室

防衛技官 本多 啓介

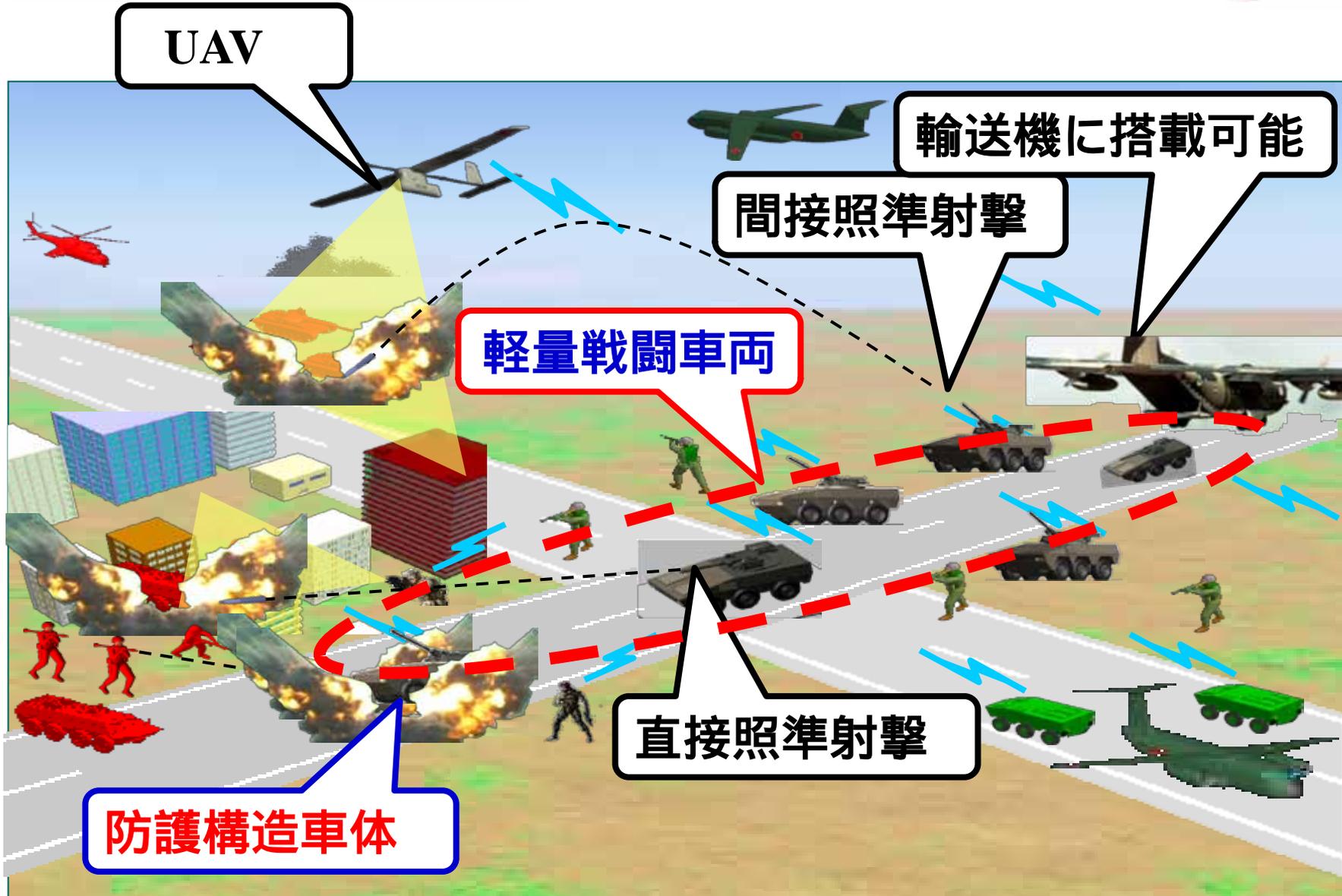
1. コンセプト
2. 背景
3. 軽量戦闘車両システムの特徴
4. 防護構造車体の特徴
5. 防護構造車体
6. まとめ

- **軽量コンパクトかつ新たな脅威や多様な事態に対応**

この相反する性能の両立が軽量戦闘車両システムの課題。

高脅威地域において軽量戦闘車両システムの安全性を確認するために必要な機能を付加。

軽量戦闘車両システムの特徴



背景：IED等の爆発物による被害の状況

(1) MRAP 車両



(2) HMMWV



MRAP:耐地雷・待ち伏せ攻撃防護車

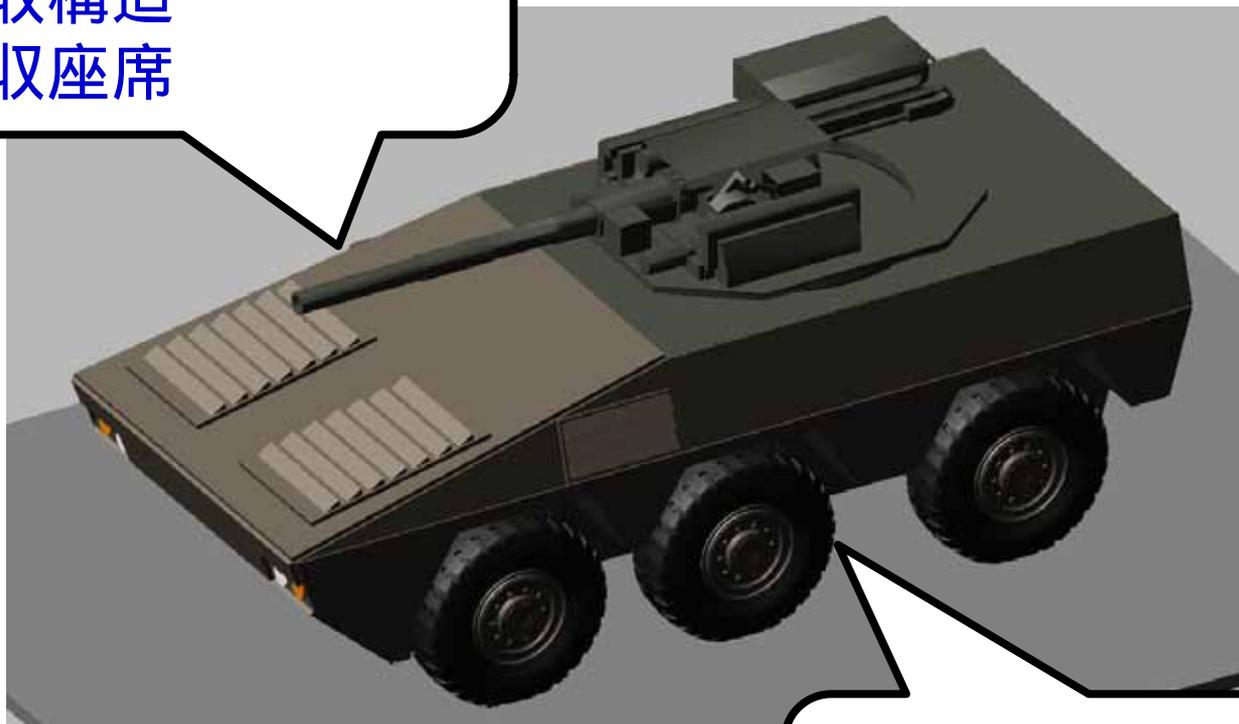
HMMWV: 高機動多用途装輪車両

出典:ALJAZEERA.net

防護構造車体の特徴

防護構造車体(耐爆車体)

- ・車体底板構造
- ・衝撃吸収構造
- ・衝撃吸収座席



- ・車高可変型懸架装置
(インホイールモータ)
- ・車体地上高可変構造

研究試作の概要

研究試作(その1)

(H22-24年度)



システム設計



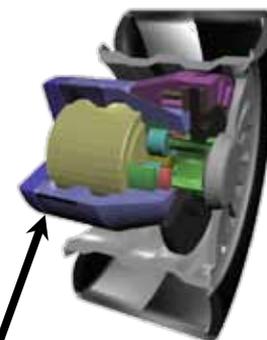
シミュレーションモデル

システム設計
(その2)



低反動試験砲(基本機構部)

試験弾



防護構造車体
(モータ・インバータ)

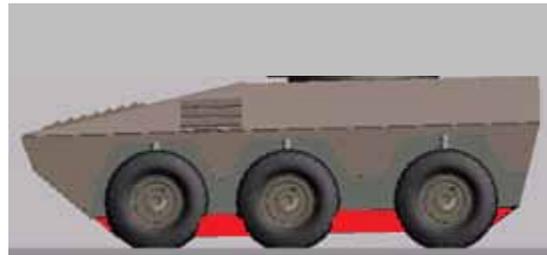
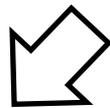
研究試作(その2)

(H23-25年度)

防護構造車体 (耐爆車体)

システム設計条件

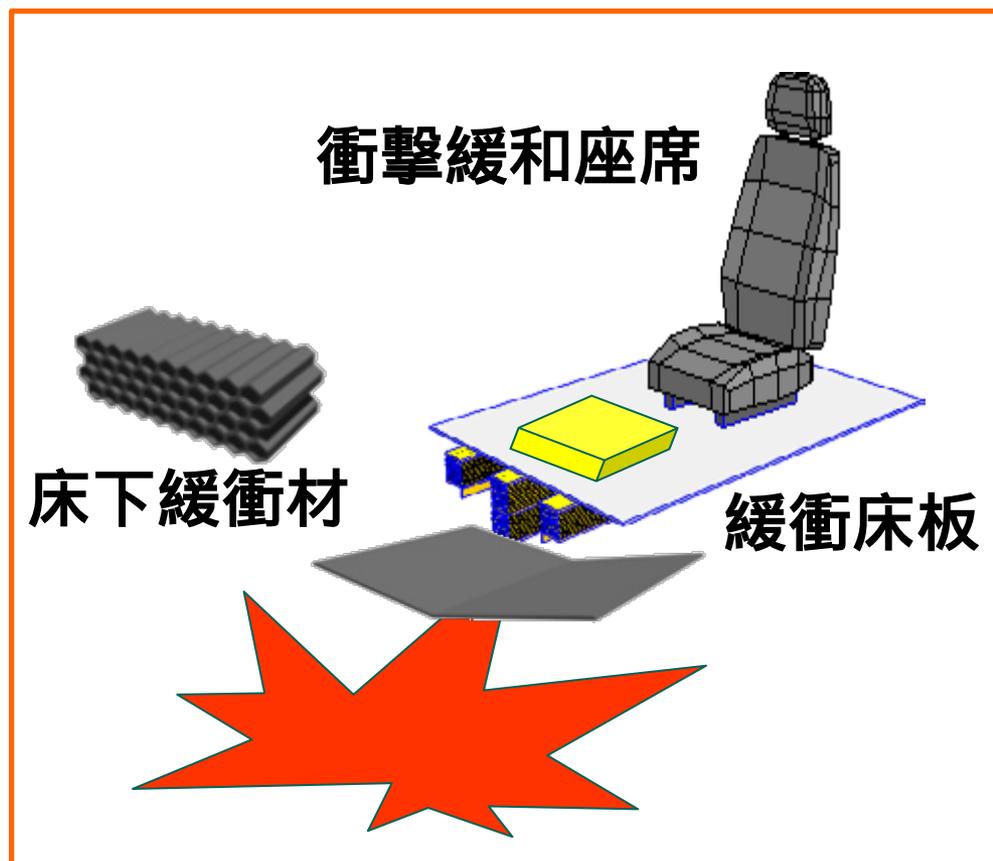
	LCV 中核型	LCV 耐爆型	LCV 中核派生型
火砲	搭載	非搭載	搭載
乗車人員	4名	~ 10名	4名
全備質量	16t	16t	20t
耐爆性			



LCV : Lightweight Combat Vehicle (軽量戦闘車両)

防護構造車体 (耐爆車体)

IED等の爆発の影響を受ける車体の底板、衝撃吸収構造、床板、座席等から、人体が受ける影響及び車体内での人体の挙動を把握



IED等の爆発



・爆風による衝撃
・破片の飛散



底板の貫通防止

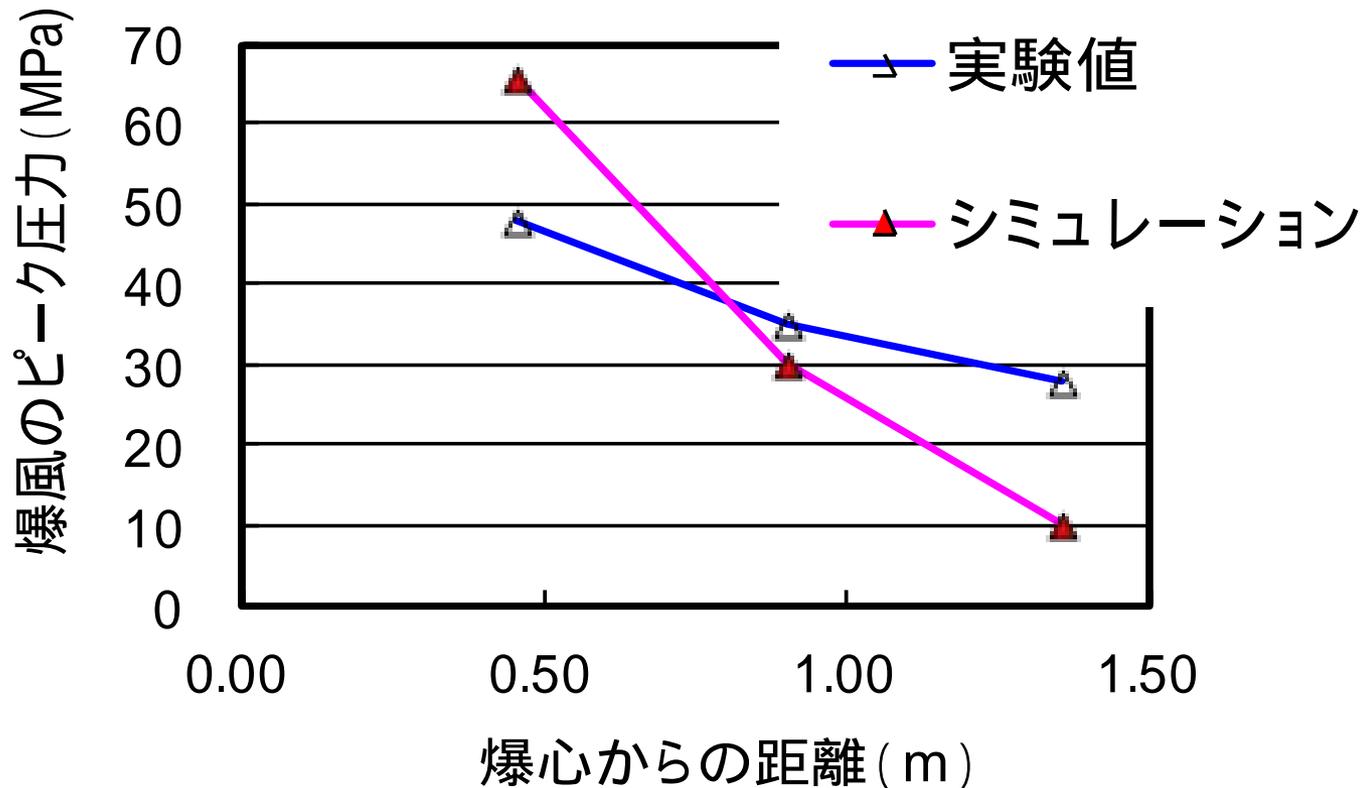


乗員への被害の軽減

防護構造車体 (耐爆車体)

爆心からの距離による爆風ピーク圧力

STANAG 4569 level4 相当



車体地上高可変構造



従来型車両



車体地上高可変構造

防護構造車体 (モータ・インバータ)

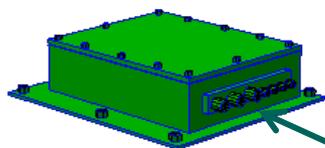
研究試作品の概要

インホイールモータ

ステータ

ロータ

約600mm以下

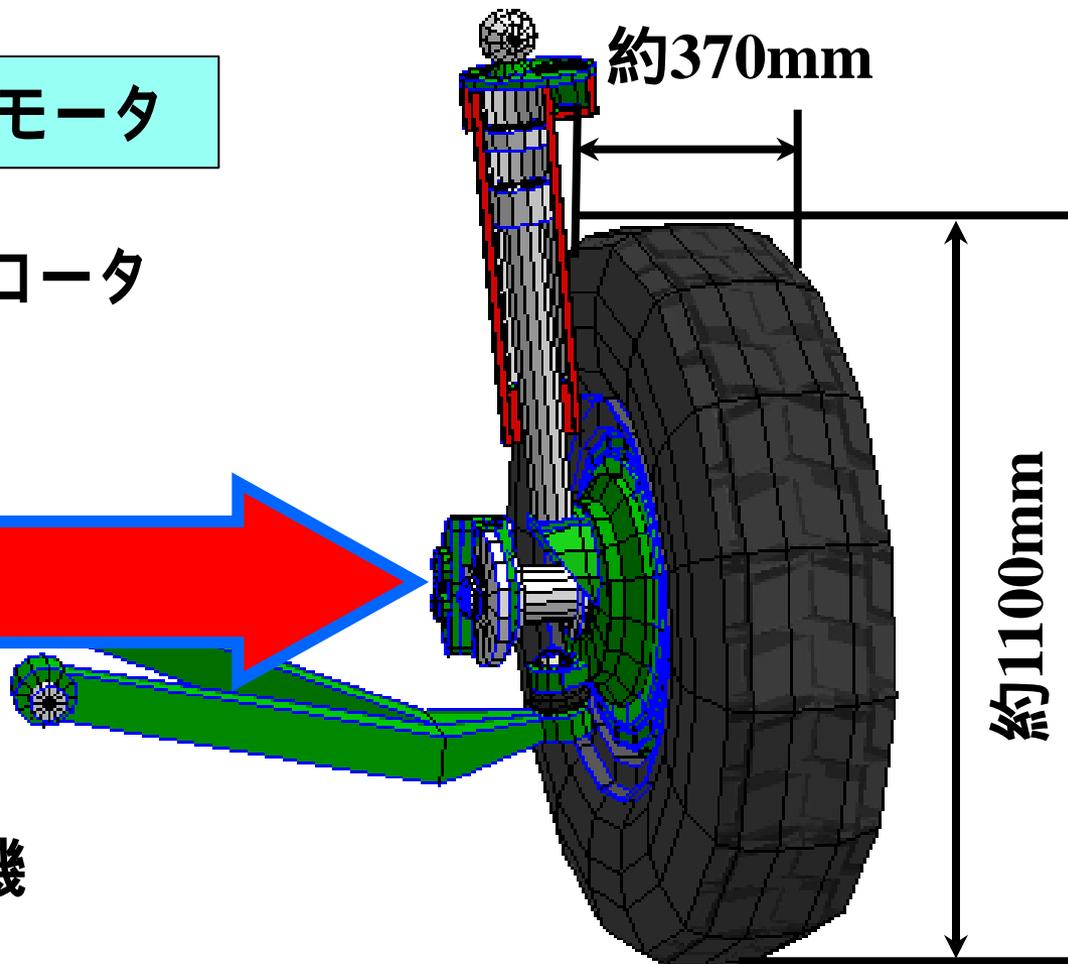
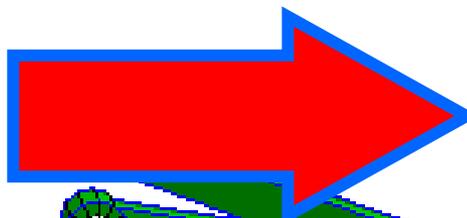


インバータ

減速機

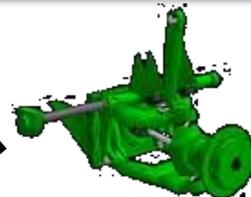
約370mm

約1100mm



防護構造車体 (モータ・インバータ)

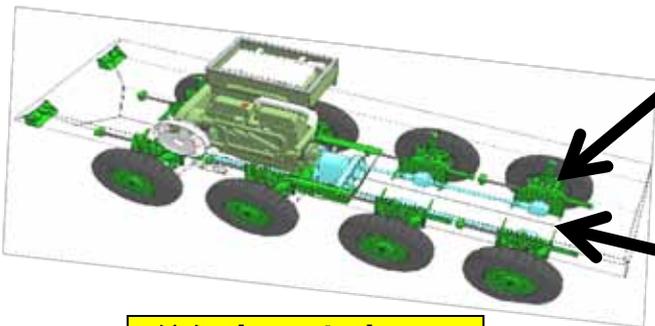
インホイールモータの特徴



懸架装置



インホイールモータを採用することにより、
車高の可変が可能



従来型車両

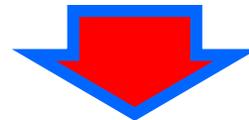
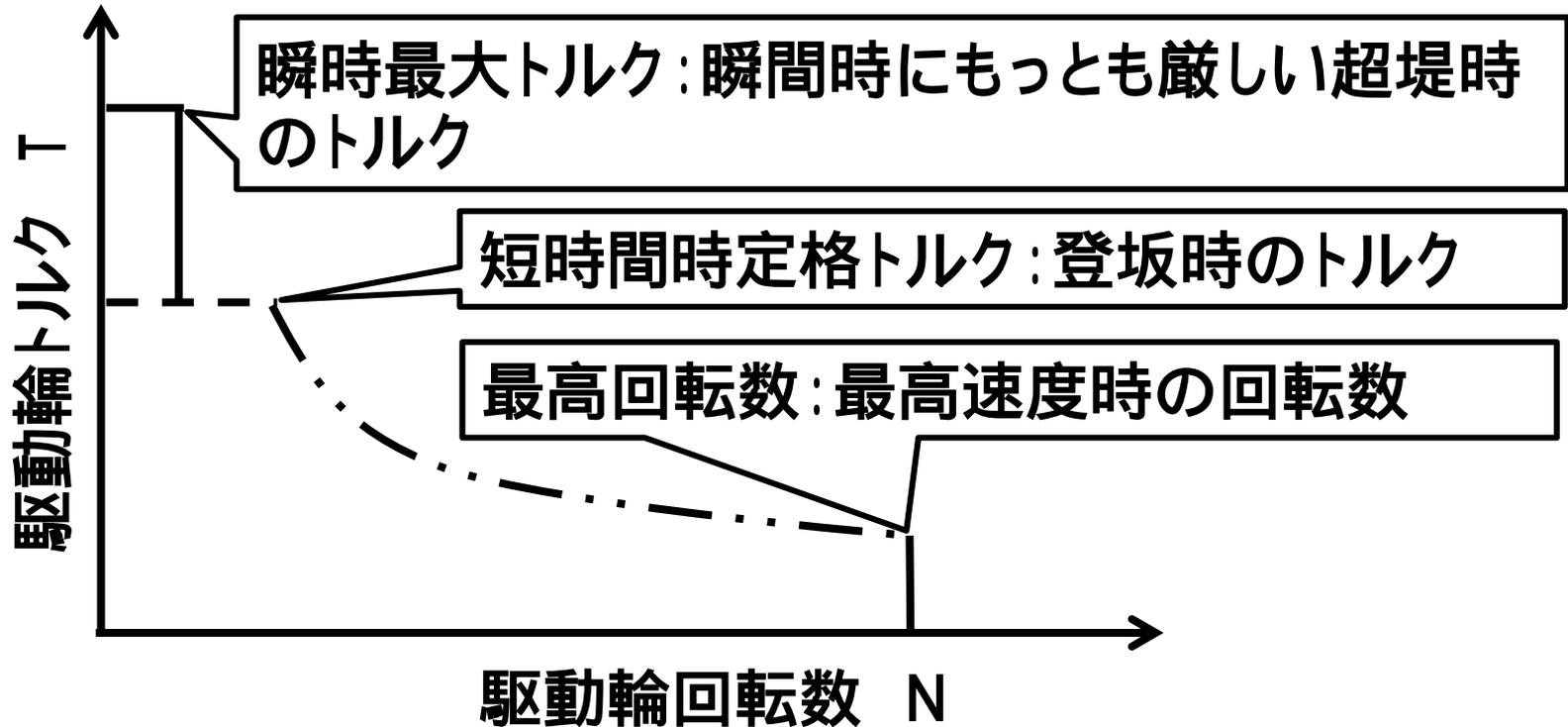


動力伝達装置

独立分散駆動型電気駆動システムを採用
することにより、動力伝達装置が不要とな
り、乗員スペースの拡大が可能

防護構造車体への検討の幅が広がることから、
乗員の安全性を格段に上げることが可能

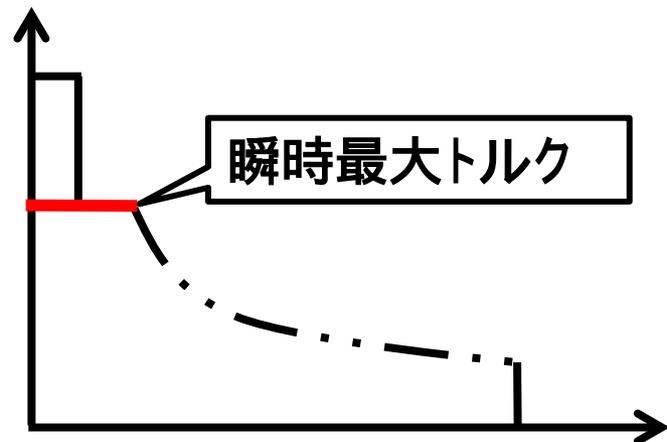
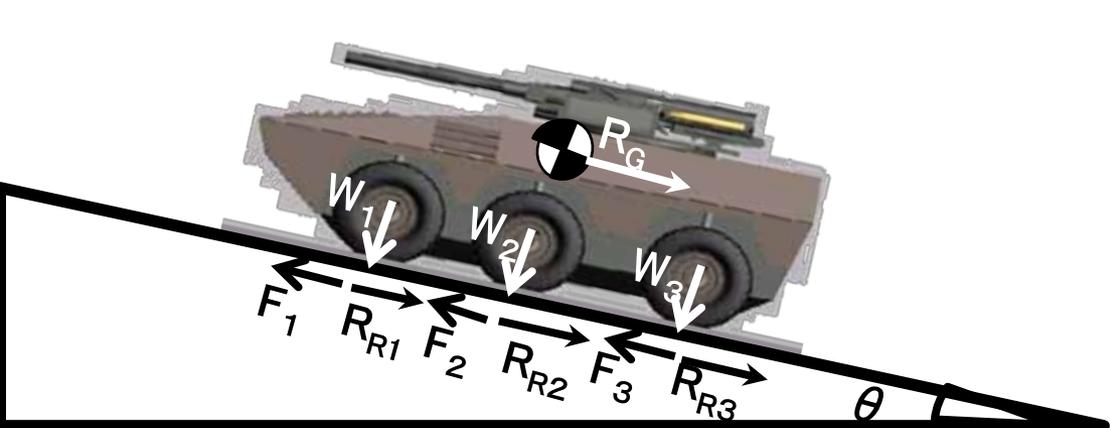
動力性能の検討例



インホイールモータの仕様へ反映

防護構造車体 (モータ・インバータ)

短時間最大トルクの検討例



3軸車両 (6輪) 【LCV 中核型、LCV 耐爆型】

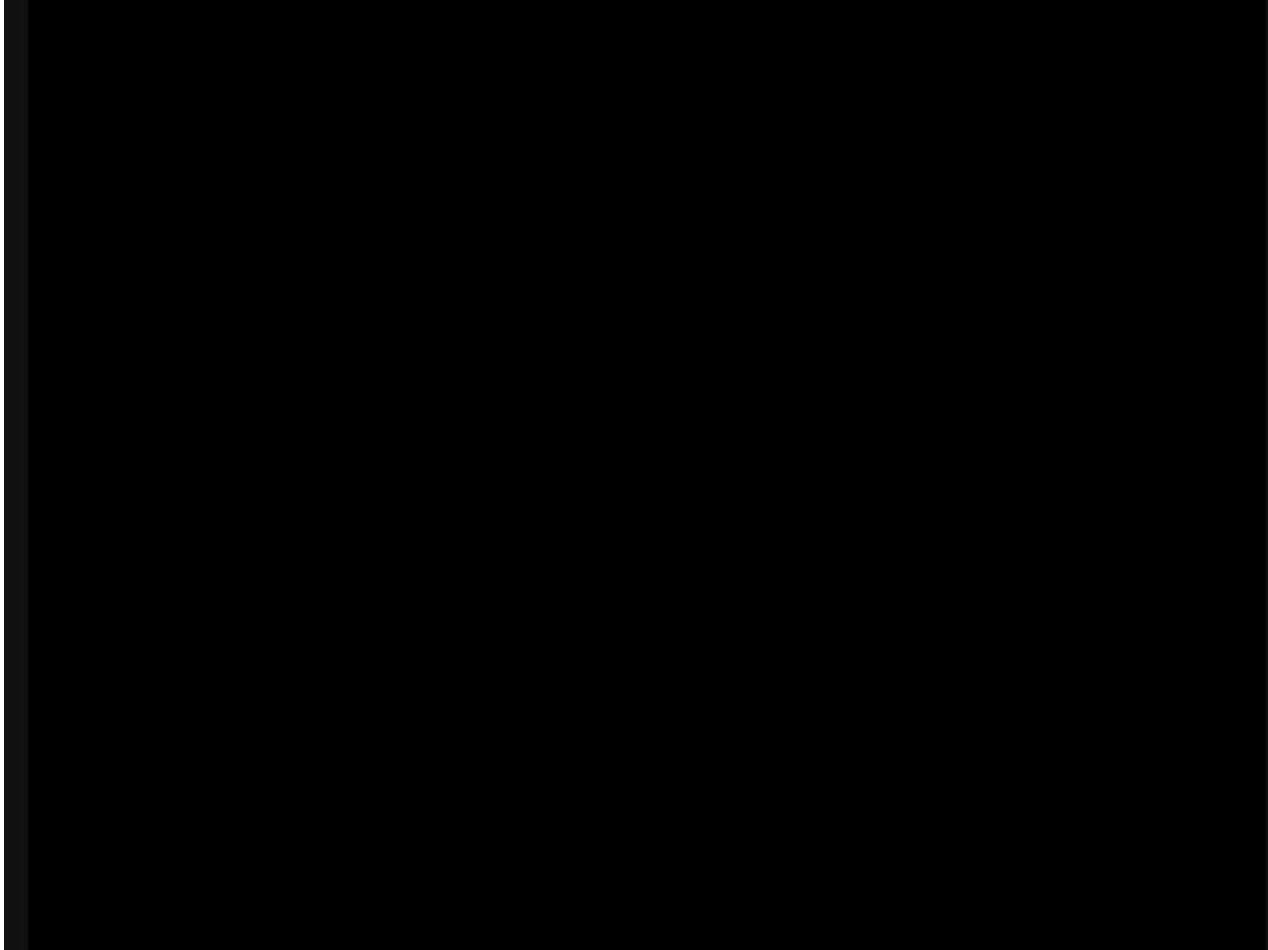
$$T = \frac{F_i \times r_d \times R}{2} / 1000 \text{ [kNm]}$$

- : 31° (60% 登坂)
- μ : 0.7 (路面摩擦係数)
- R_G : 走行抵抗
- R_{Ri} : 各軸の転がり抵抗
- W_i : 第*i*軸垂直抗力
- F_i : 各軸の最大駆動力
- r_d : タイヤ動負荷半径 (0.53m)

LCV : 軽量戦闘車両

	LCV 中核型	LCV 耐爆型
1輪当り短時間最大トルク	12.9 kN以上	12.9 kN以上

軽量戦闘車両システム(イメージ)



- 1．車両乗員防護のために、車体地上高可変構造、車体底板構造、衝撃吸収構造、衝撃吸収座席に関する研究を実施中
- 2．車体地上高を可変にし、車内配置の自由度を増すため、インホイールモータ駆動装置を試作中
- 3．今後、インホイールモータについて、トルク特性、出力特性、寸法等に関する技術資料を得ることにより、その実現性を確認する予定



先進材料の動的特性について

陸上装備研究所 弾道技術研究部

耐弾・耐爆構造研究室

防衛技官 山田 順一

発表内容

- 1 研究の目的
- 2 実施内容
- 3 研究の流れ
- 4 供試品
- 5 試験方法
- 6 試験結果
- 7 数値シミュレーション
- 8 まとめ
- 9 今後の予定

1. 研究の目的

近年進歩が著しい先進材料の動的な材料特性を評価し、将来装甲への適用を検討する。

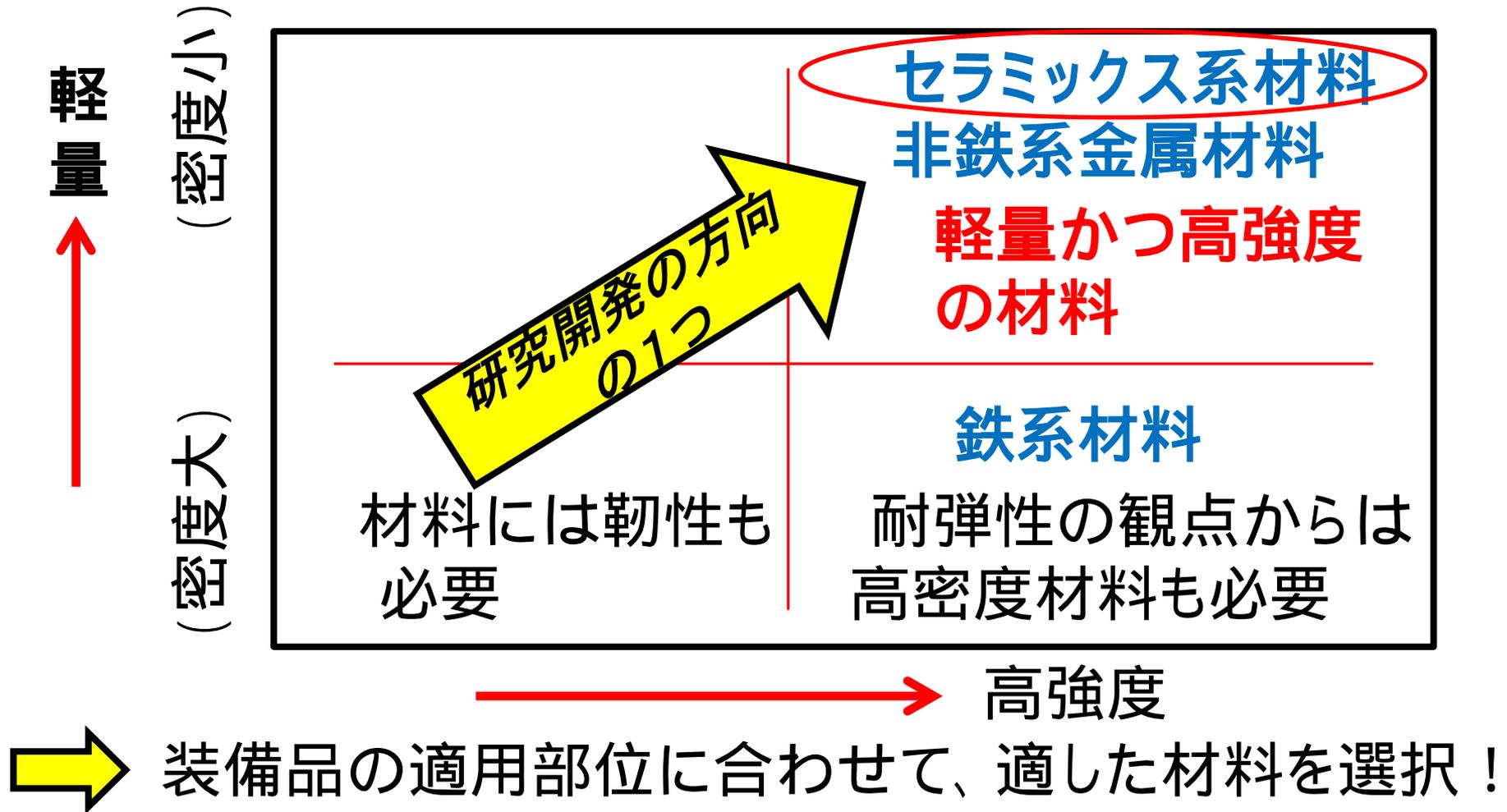
2. 実施内容

将来の装甲材料として適用可能と考えられる高強度セラミックス等の動的な材料特性を、平板衝突試験により計測した。取得したデータを材料モデルに適用し、数値シミュレーションにより耐弾性能を予測した。

3. 研究の流れ (1 / 4)

耐弾材料に求められる特性とは？

軽くて強い



3. 研究の流れ (2 / 4)

先進材料としての将来装甲への適用可能性のある材料を選定

・セラミックス系材料

従来の常圧焼結法、ホットプレス法に比べ静的材料特性値である曲げ強さ、硬度等の静的特性が向上している**パルス通電加圧(放電プラズマ)焼結法**に注目！

・非鉄系金属材料

密度が鉄系の約1/5、従来材より高強度

→ 高強度マグネシウム合金

低ヤング率かつ高強度なチタン合金 → チタン合金

3. 研究の流れ (3 / 4)

装甲候補材料の基礎データ

- ・ 静的特性
- ・ 動的特性

静的及び動的的特性データを
基に材料モデルの構築

数値シミュレーション
耐弾性能予測
(実射試験の事前検討)

シミュレーションの妥当性
等の検討

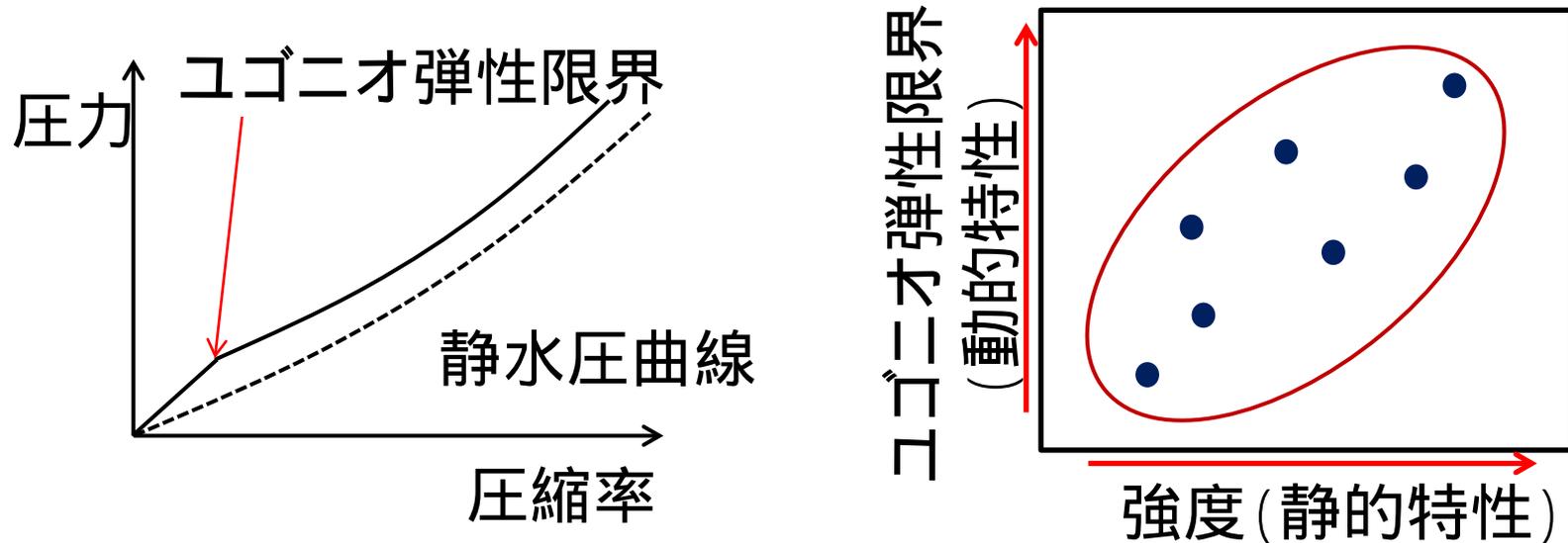
将来装甲への適用検討



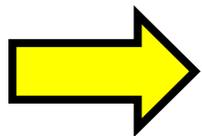
実射試験 (射撃試験、静爆
試験)
各種材料の耐弾性評価

3. 研究の流れ (4 / 4)

数値シミュレーションによる耐弾性予測のためには**ユゴニオ弾性限界 (動的な弾性限界) 等の動的特性データが必要!**



一般的に、静的強度の高い材料はユゴニオ弾性限界も高い傾向にある。



静的特性の向上が期待される放電プラズマ焼結法に注目した。

4. 供試品 (1 / 2)

放電プラズマ焼結法は常圧焼結法よりも強度が向上

セラミックス	焼結方法	密度 (g/cm ³)	曲げ強度 (MPa)	ビッカース硬さ
炭化ホウ素A (B ₄ C) 1	PECS 2	2.81	472	3340Hv
炭化ホウ素B (B ₄ C)	NS 3	2.41	395	3023Hv
アルミナ (Al ₂ O ₃) 4	PECS 2	3.98	556	2110Hv
アルミナ (従来材)	NS 3 ホットプレス法	3.94	300 ~ 400	1800 ~ 2000Hv

- 1) 炭化ホウ素Aの成分 (B₄C80wt%+TiB₂20wt%)
- 2) PECS : パルス通電加圧(放電プラズマ)焼結法
- 3) NS : 常圧焼結法(相対密度95.9%)
- 4) アルミナの成分 (Al₂O₃99wt%以上)

4 . 供試品 (2 / 2)

放電プラズマ焼結法は従来材よりも静的特性値が向上

セラミックス	焼結方法	密度 (g/cm ³)	曲げ強度 (MPa)	ビッカース硬さ
炭化ケイ素 A (SiC)	PECS	3.23	719	2490Hv
炭化ケイ素 B (SiC)	PECS	3.17	705	2460Hv
炭化ケイ素 (従来材)	NS	3.10	400	2200Hv

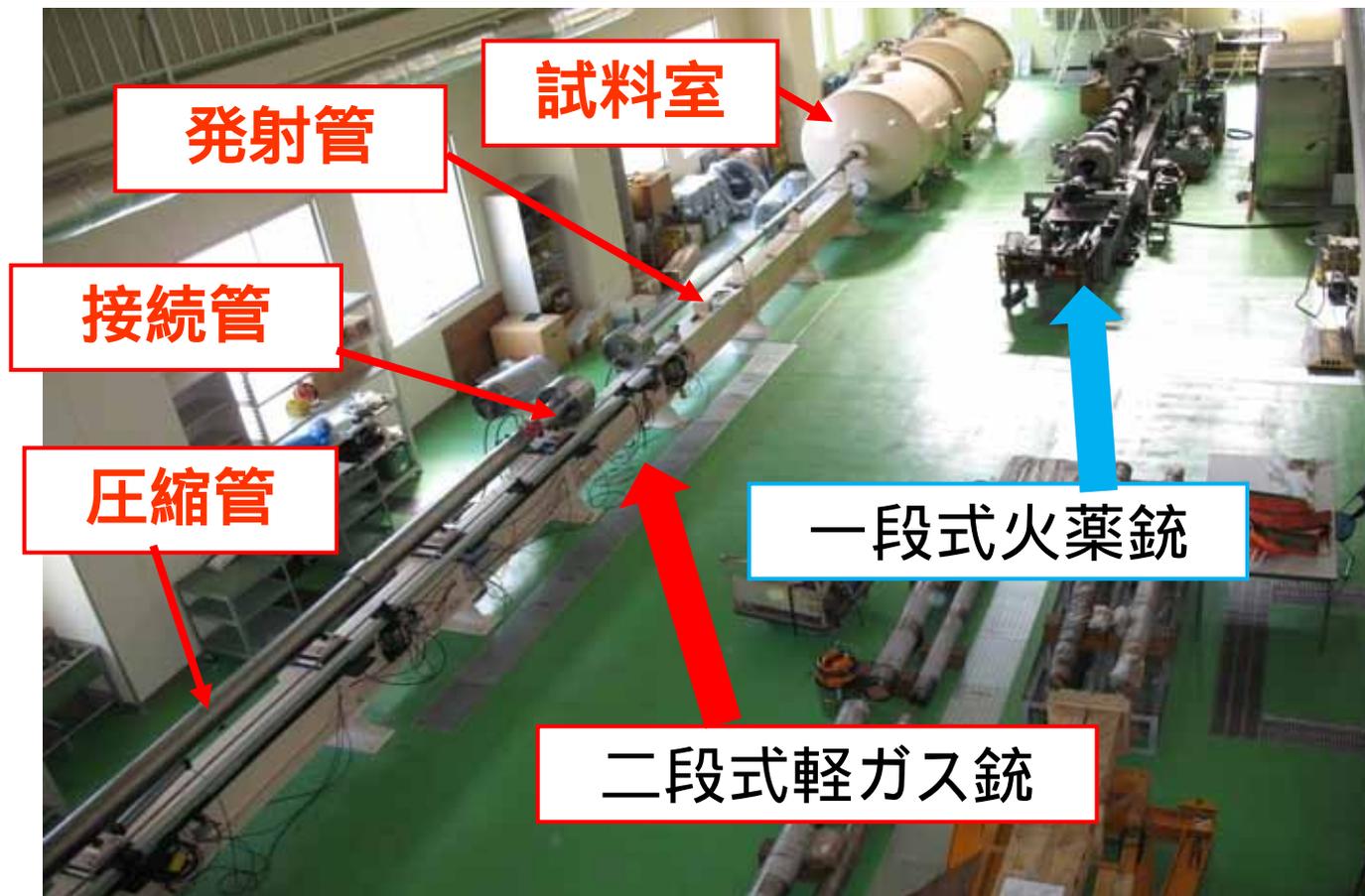
炭化ケイ素Aの成分

(SiC93wt%+アルミナ4wt% +Y₂O₃3wt%)

炭化ケイ素Bの成分

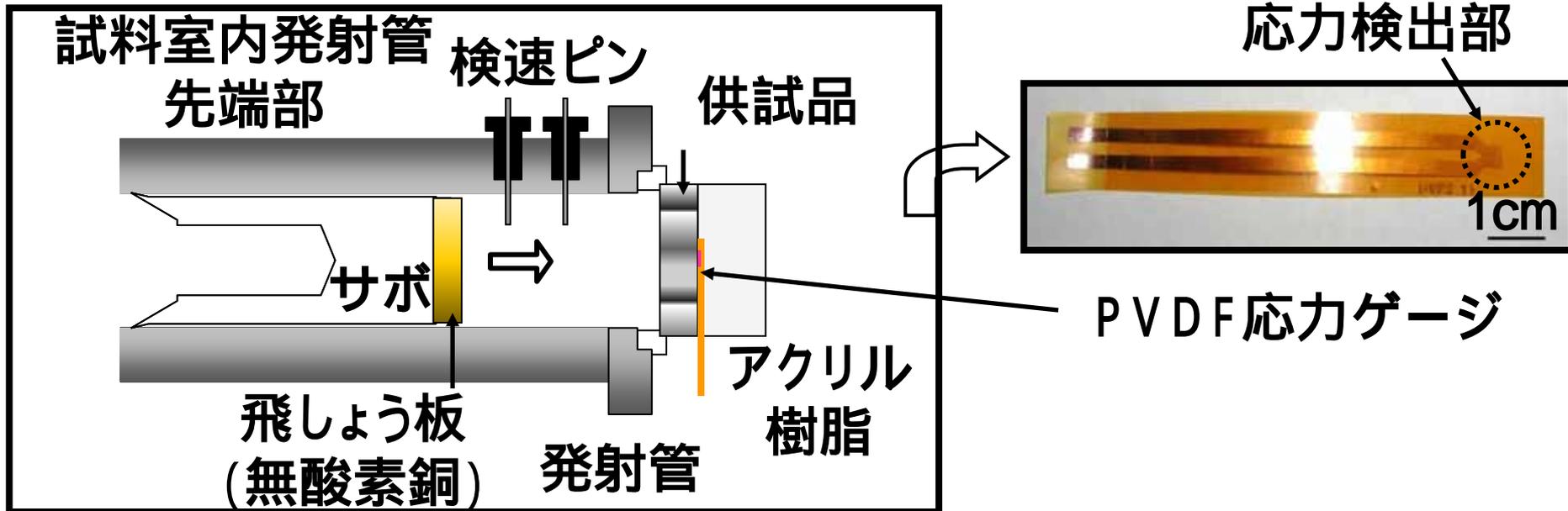
(SiC92.4wt%+Al5wt%+B0.6wt%+C 2wt%)

5 . 試験方法 - 試験装置 -



- ・一段式火薬銃の主要諸元
発射管内径： 40mm、飛しょう体速度1.5km/s(330g)、 2km/s(100g)
- ・二段式軽ガス銃の主要諸元
発射管内径： 25 mm、飛しょう体速度：4 km/s(100g)、 7 km/s(30g)

5. 試験方法 - 平板衝突試験 -



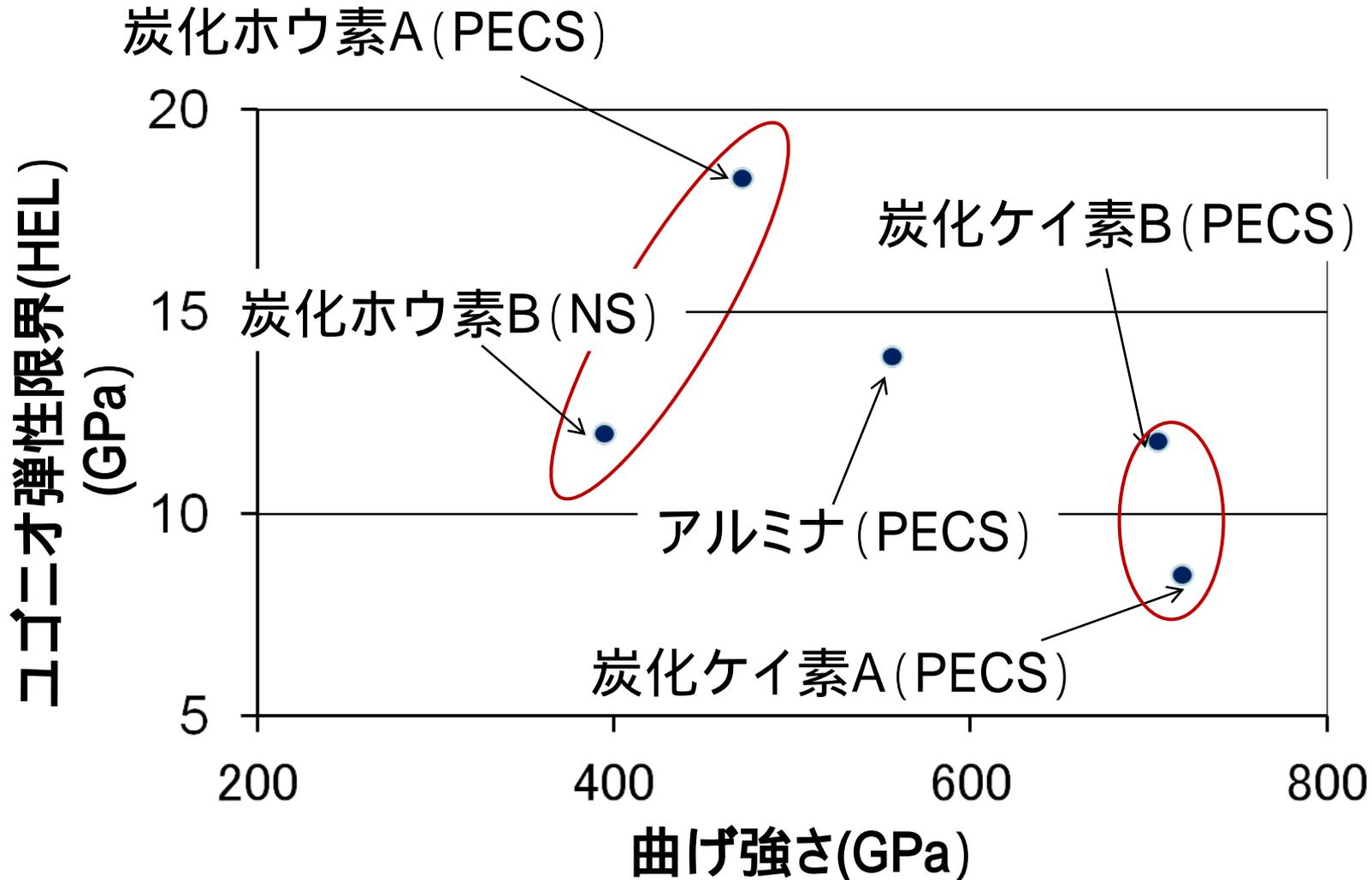
ゲージ方式の供試品設置例

- ・応力履歴を取得。
- ・最大10 GPaまで測定可能。

:PVDF:ポリフッ化ビニリデン

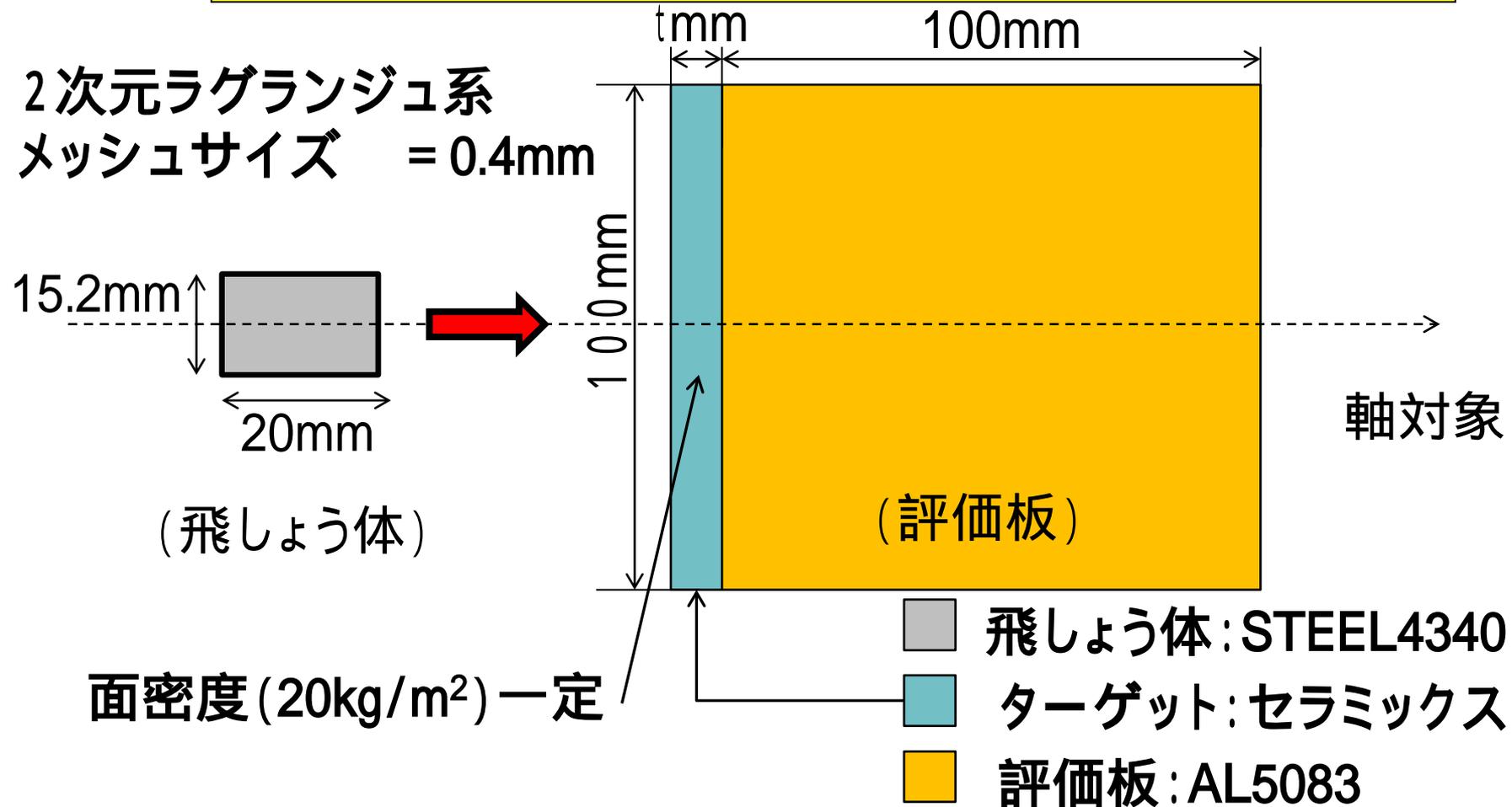
6. 試験結果 (セラミックス系)

- ・ プラズマ焼結法による炭化ホウ素の方がHELが高い。
- ・ 同じプラズマ焼結法でも成分の相違によってHELが変わる。



7.数値シミュレーション

7.1 シミュレーションによる侵徹現象解析モデル

ターゲット
材質炭化ケイ素B
(PECS)アルミナ
(PECS)炭化ホウ素A
(PECS)炭化ホウ素B
(NS)

厚さt(mm)

6.4

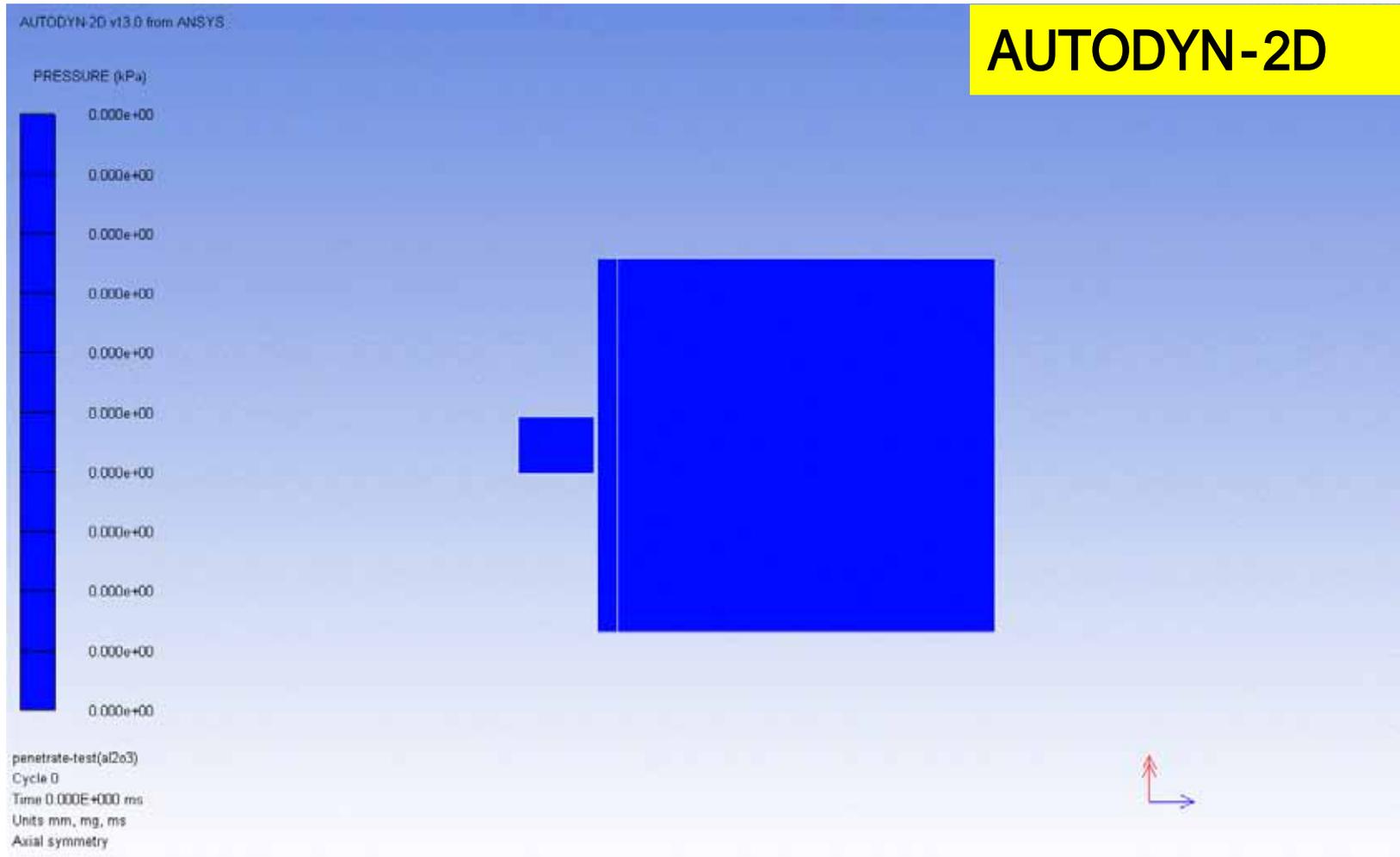
5.2

7.2

8.4

7. 数値シミュレーション

7.2 シミュレーションによる侵徹現象 (圧力分布)



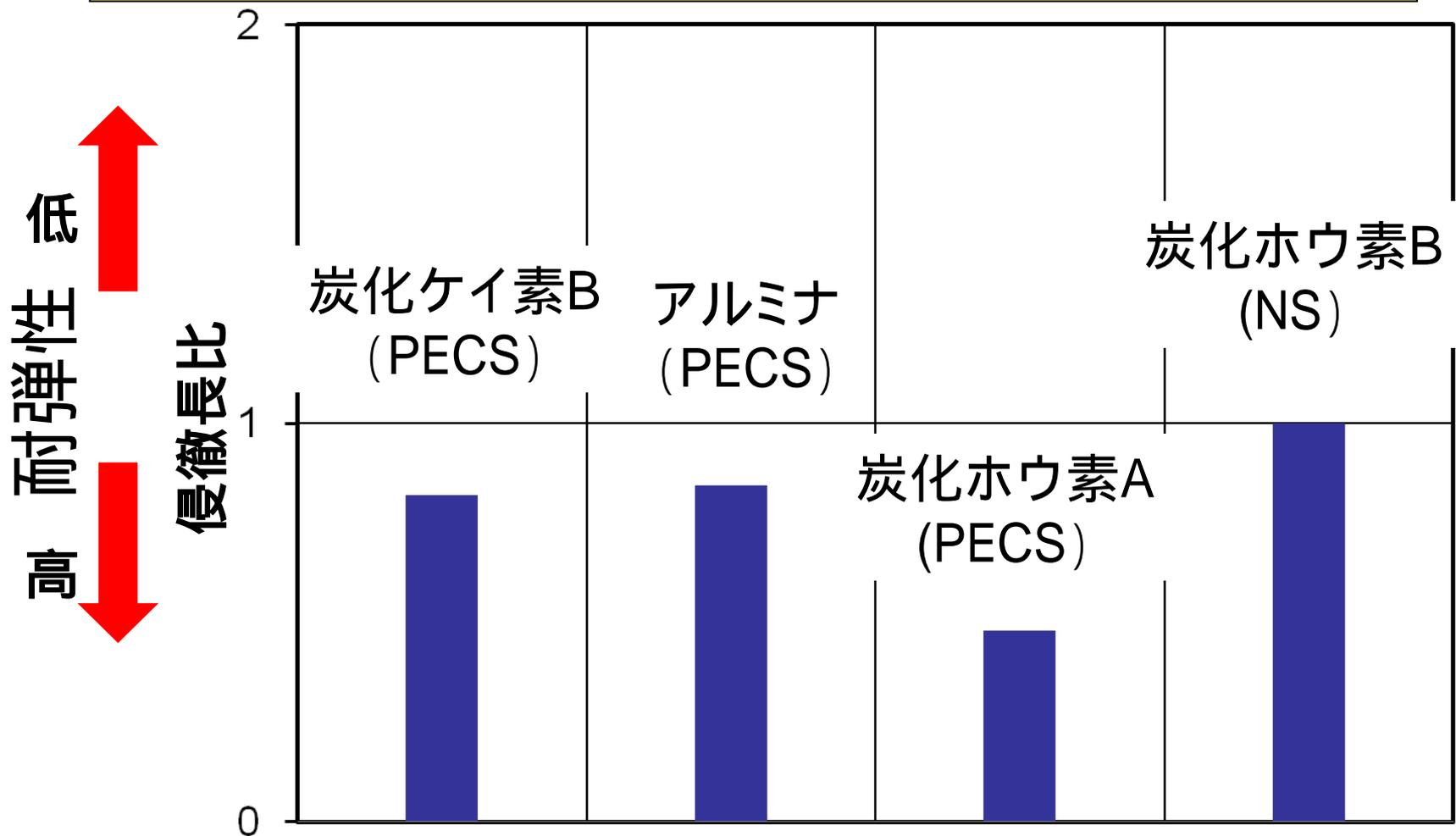
ターゲット材質

アルミナ (PECS)

飛しょう体速度

1500 m/s

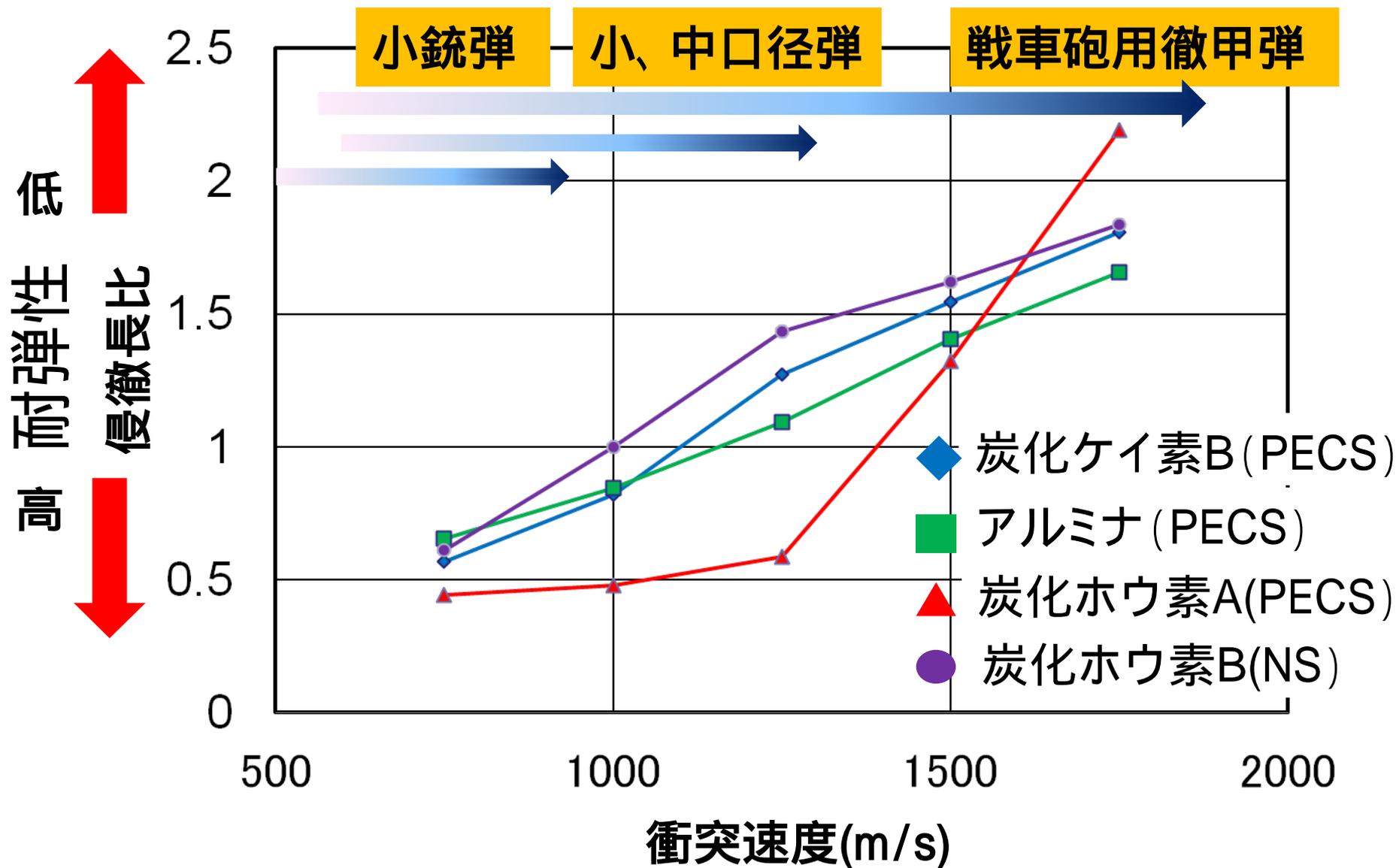
7.3 侵徹シミュレーション解析結果(1/2)



面密度一定、衝突速度1000m/sにおける侵徹長比での比較

7.数値シミュレーション

7.4 侵徹シミュレーション解析結果(2 / 2)



8. まとめ

- 1 プラズマ焼結法によるセラミックスに関しては、ユゴニオ弾性限界は高い傾向にある。
- 1 平板衝突試験に基づく動的特性データから、材料モデルを構築し、侵徹シミュレーションを実施した。
- 1 衝突速度が 1500m/s 近辺まではプラズマ焼結による炭化ホウ素の耐弾性は良好であったが、衝突速度が 1500m/s を超える高速度領域に対して耐弾性が低下する傾向が見られた。

9. 今後の予定

- Ⅰ セラミックス等の各種供試品に対し2段式軽ガス銃の利用により更なる高圧条件下での材料特性データを取得し、材料モデルへ反映させる。
- Ⅰ セラミックス等に対する耐弾性試験（静爆試験，射撃試験）の結果から材料モデルを検討し、数値シミュレーションの精度を向上させる。
- Ⅰ 将来戦闘車両等の装甲材料の設計に利用。



将来浮橋の方向性に関する一考察

陸上装備研究所 機動技術研究部 施設器材研究室

防衛技官 國方貴光

- 目 的**
- ↓
- 現状分析**
- ↓
- 性能向上検討**
- ↓
- 将来展望**
- ↓
- まとめ**
- 1 . 研究の目的
 - 2 . 浮橋の重要な特徴
 - 3 . 浮橋の技術動向
 - 4 . 軽量・高強度の意義
 - 5 . 軽量・高強度の方法
 - 6 . 荷重負荷を求める計算モデル
 - 7 . 計算モデル(上下する水面の場合)
 - 8 . 計算結果
 - 9 . 新しい環境での運用例
 - 10 . 応用可能な新しい技術
 - 11 . 将来浮橋の方向性
 - 12 . まとめ

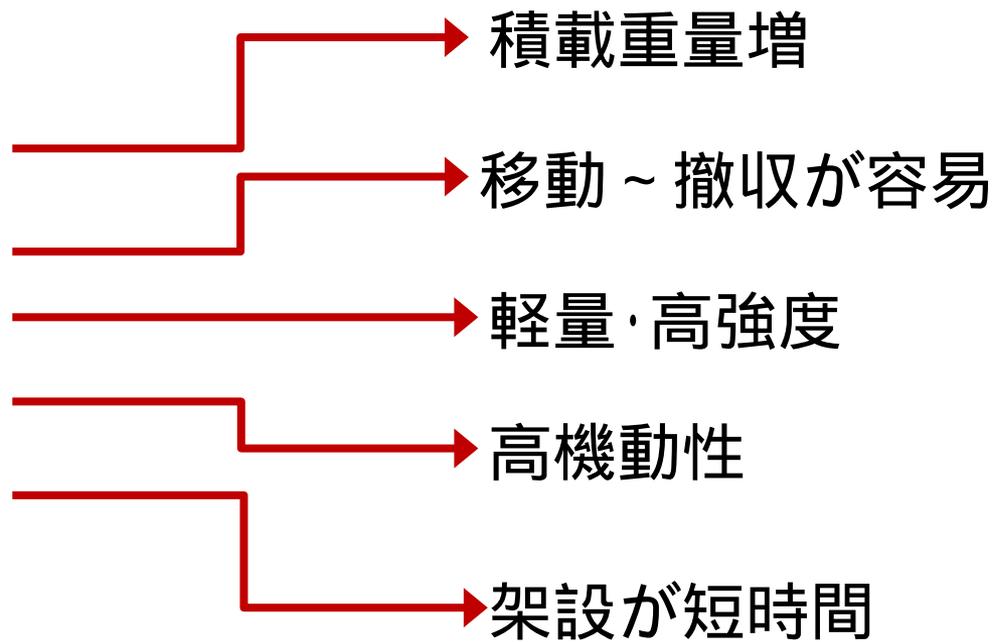
1. 研究の目的

現有浮橋の特徴、運用環境、応用可能な新しい技術から、将来に求められる浮橋の方向性について検討する。

92式浮橋



軽量・高強度



現在 ~ 将来に求められる浮橋

1. 軽量

目的地まで素早く移動し、
短時間で架設～撤収ができる。



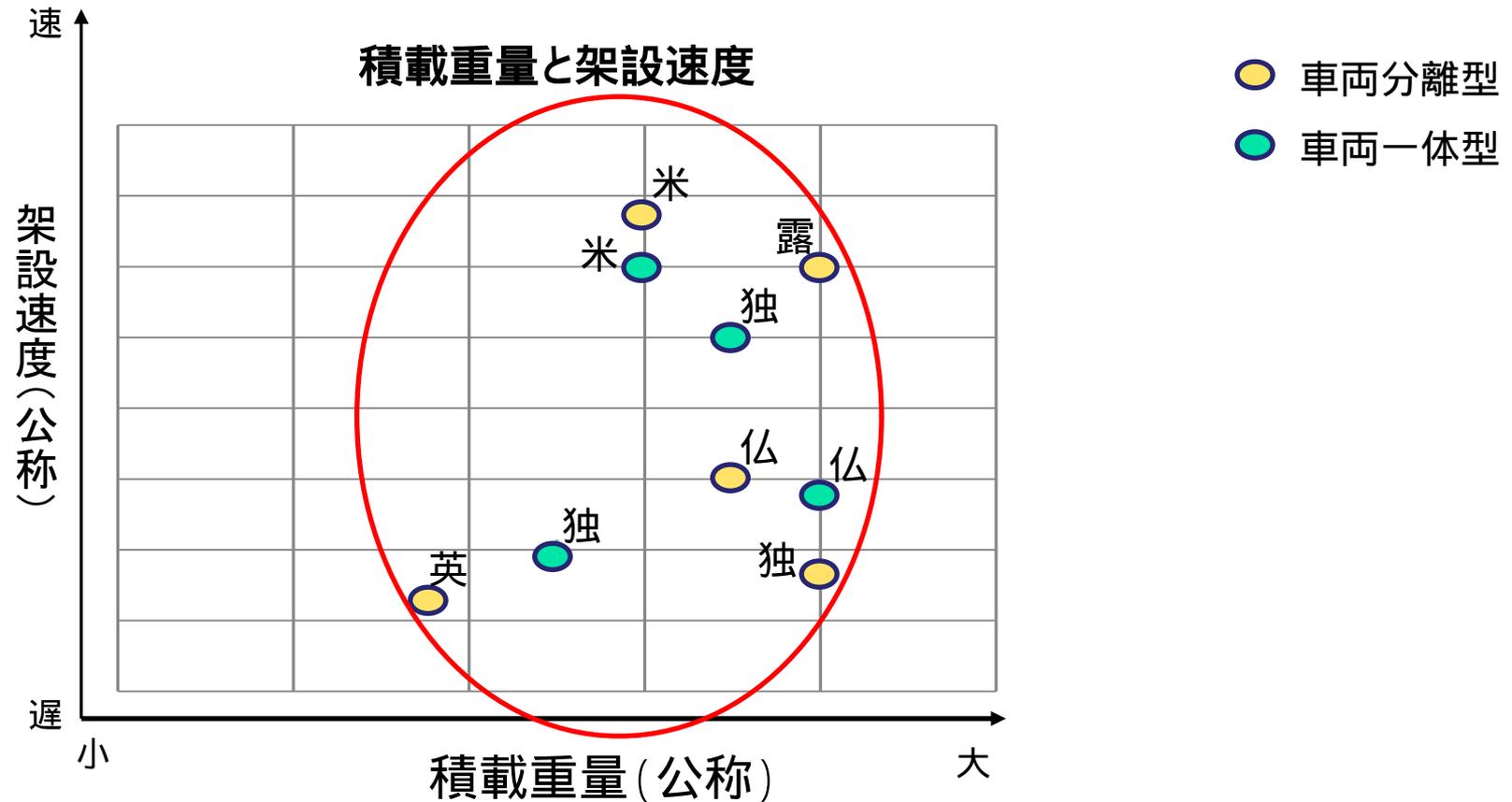
92式浮橋の専用運搬車

2. 高強度

戦車のような重車両を通過
させられる強度がある。



戦車が通過する92式浮橋



積載重量(高強度)の分布範囲は狭いことから、今までは積載重量(高強度)を重視した開発傾向にあった。

4 . 軽量・高強度の意義

軽量・高強度であると、浮橋としての有用性が高い。

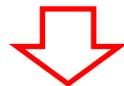
- 1 . 浮橋の基本性能が向上する
より重い車両が通過可能(積載重量増)、より容易に移動～撤収の一連の工程が終了
- 2 . 他の性能の向上が期待できる
機動性の向上、架設の短時間化が期待できる
- 3 . より負荷がかかる新しい環境での運用が期待できる
上下する水面(例:海上)で使用

1 . 軽量で強度がある材料の使用



現状の材料(アルミ合金、高張力鋼)より軽量で強度がある材料(例 炭素繊維強化プラスチック)を使用

2 . 最大荷重負荷を想定した最適な強度設計



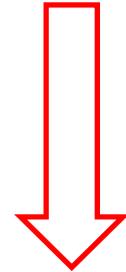
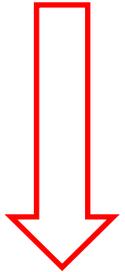
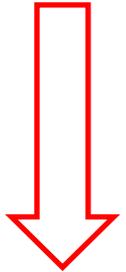
運用環境を考慮し、浮橋にかかる荷重負荷の最大値を計算により求める。

6. 荷重負荷を求める計算モデル

積載物の荷重
と荷重位置

浮橋自身の荷重
と荷重位置

環境に起因する
負荷要因



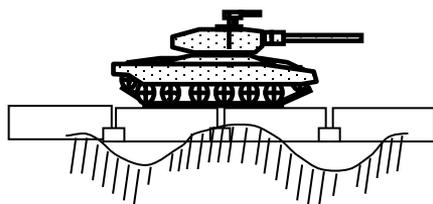
積載物を載せた浮橋の荷重関係のモデル化

負荷要因の
モデル化

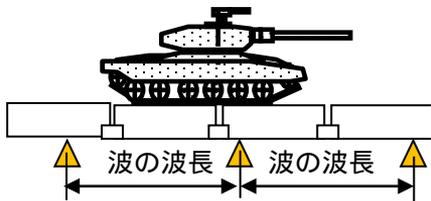


7-1. 計算モデル (上下する水面の場合)

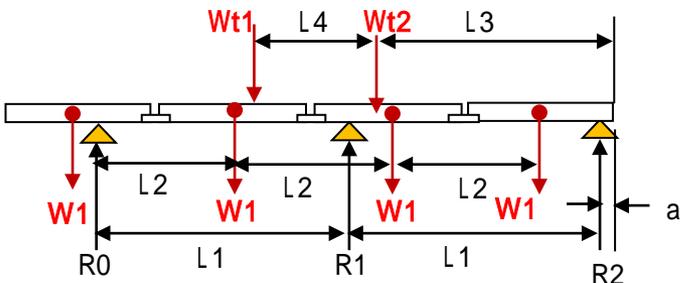
新しい環境での運用の可能性を検討するため、運用環境を考慮して荷重負荷を求める数値計算を実施した。



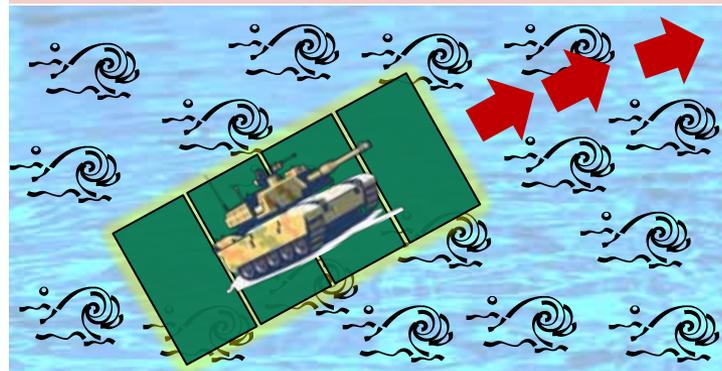
水との接点 支持点



荷重位置 (w) は同一、
支持点位置 (R) は変化



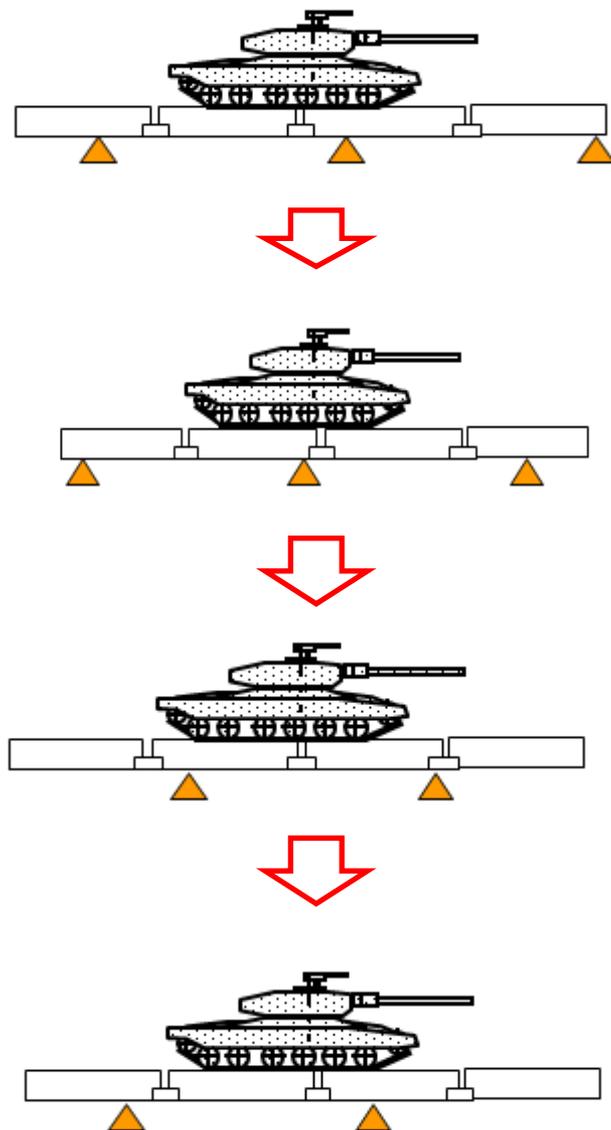
上下する水面で使用する場合
(門橋形態)



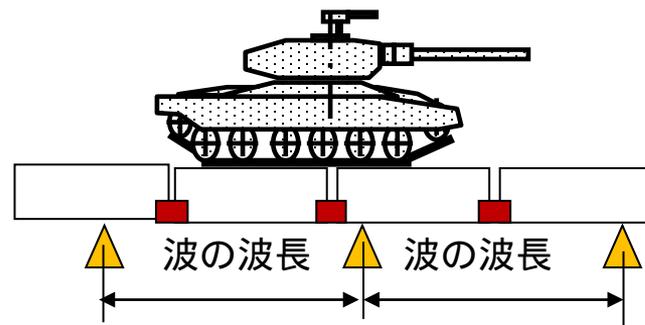
計算条件

- ・風浪階級: 3
- ・積載重量: 戦車相当
- ・浮橋の浮力: 92式浮橋と同等
- ・浮橋の重量: 92式浮橋と同等
- ・浮橋の材質: アルミ合金

7 - 2 . 計算モデル(上下する水面の場合)

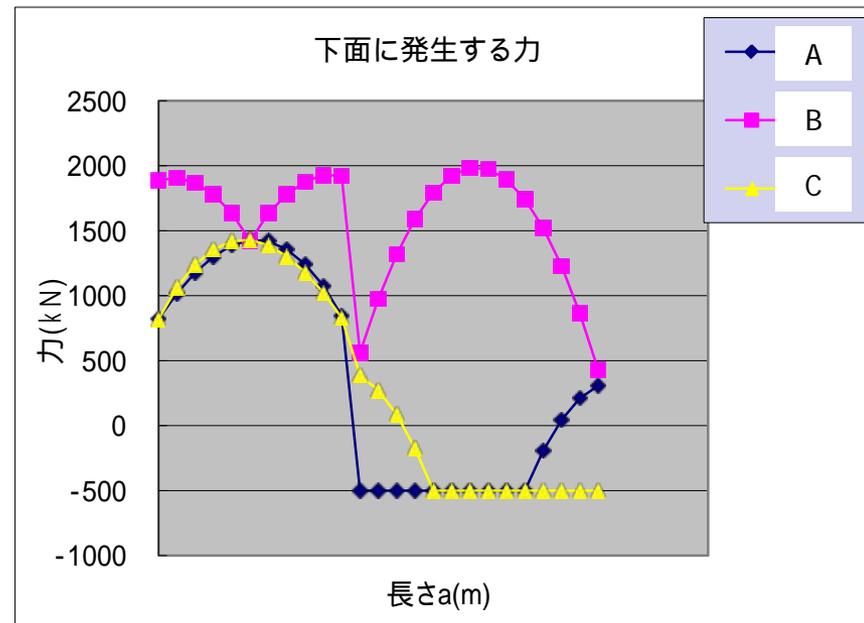
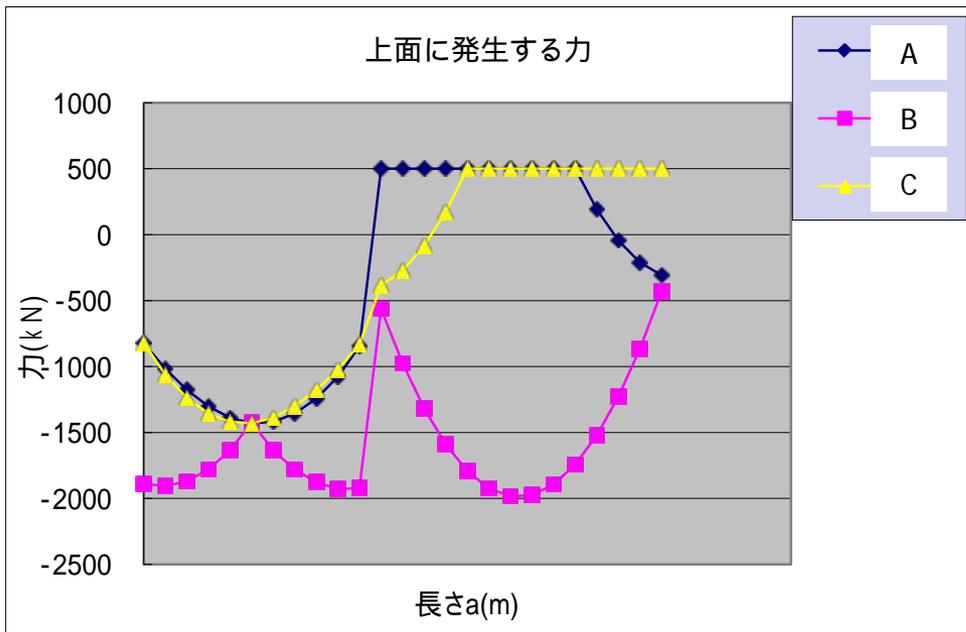
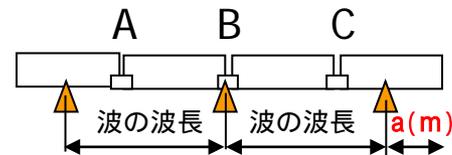
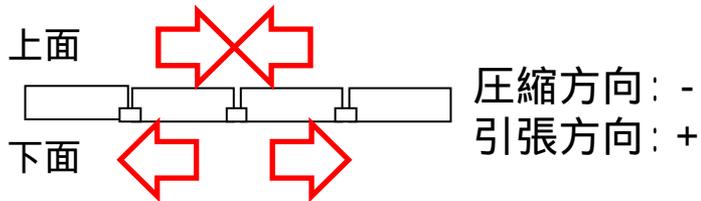


進行する波を移動する支持点として近似し、支持点が移動する時に負荷が集中しやすい連結部にかかる力を計算により求める。



■ : 連結部

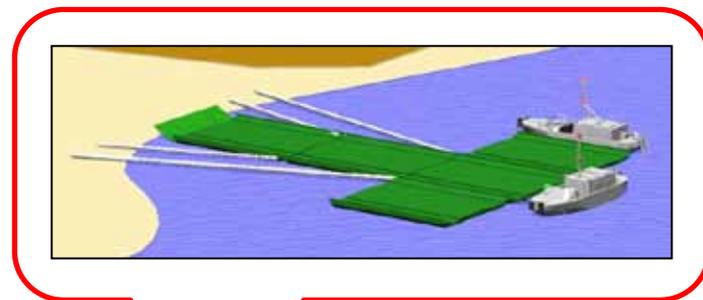
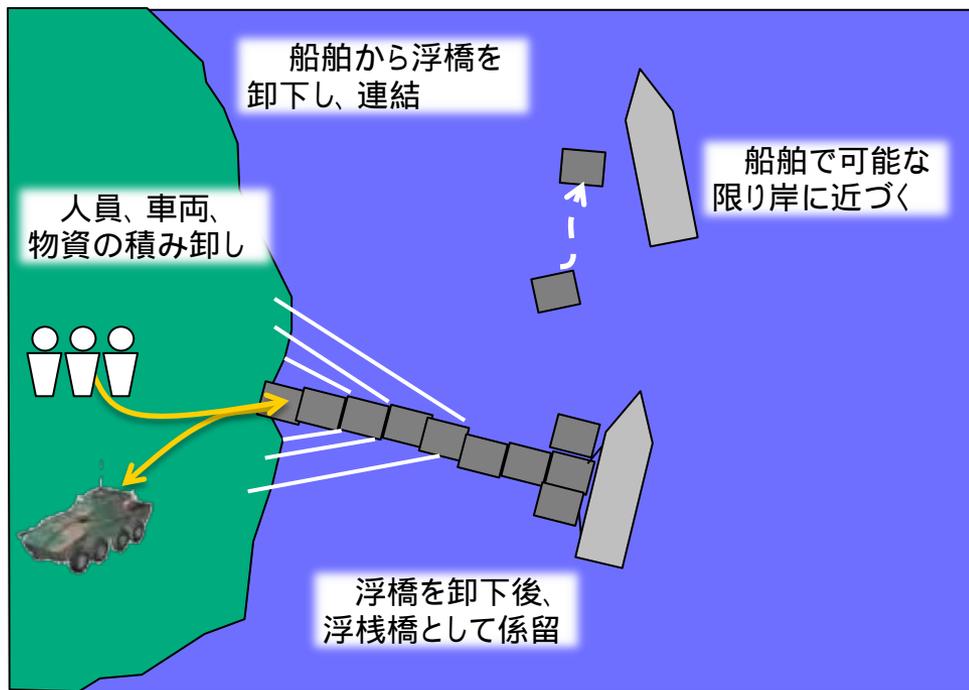
▲ : 支持点



- 1 荷重の大きさと連結部の位置より、Bの箇所が一番大きな負荷がかかる。
- 2 想定される最大負荷は、現有浮橋の最大許容負荷から大きく掛け離れていない。

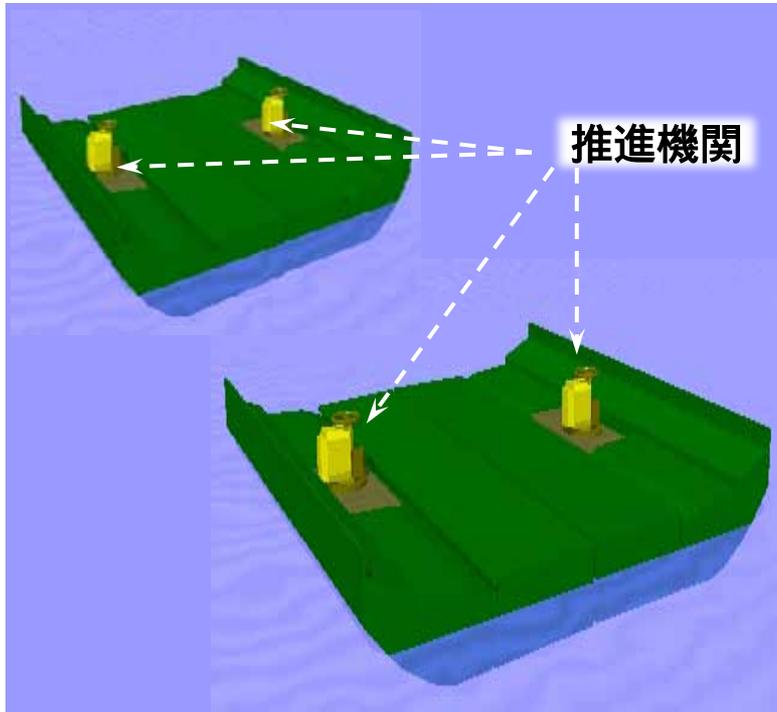
9. 新しい環境での運用例

海上で浮棧橋として利用



港湾が整備されていない島嶼部で
浮棧橋化し、人員、車両、物資の
積み卸しに利用

自立推進



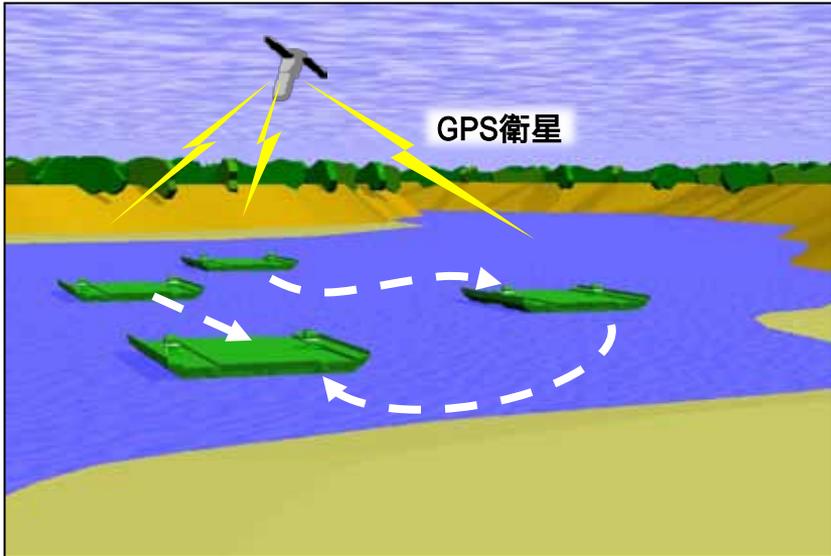
推進機関により自立推進



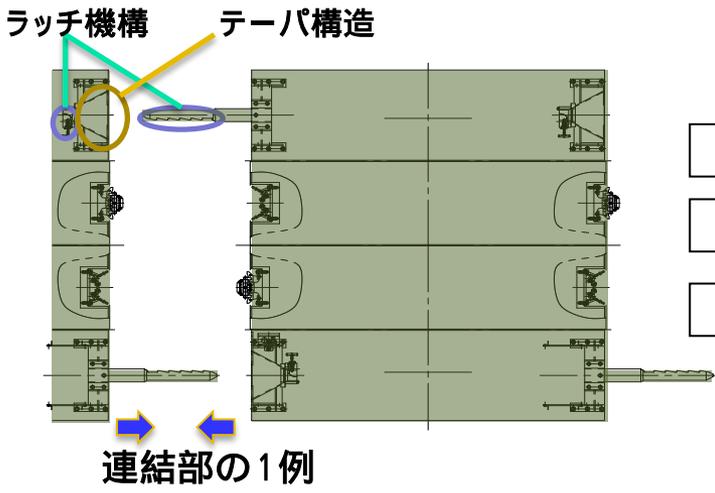
厳しい運用環境でも使用可能

10 - 2 . 応用可能な新しい技術

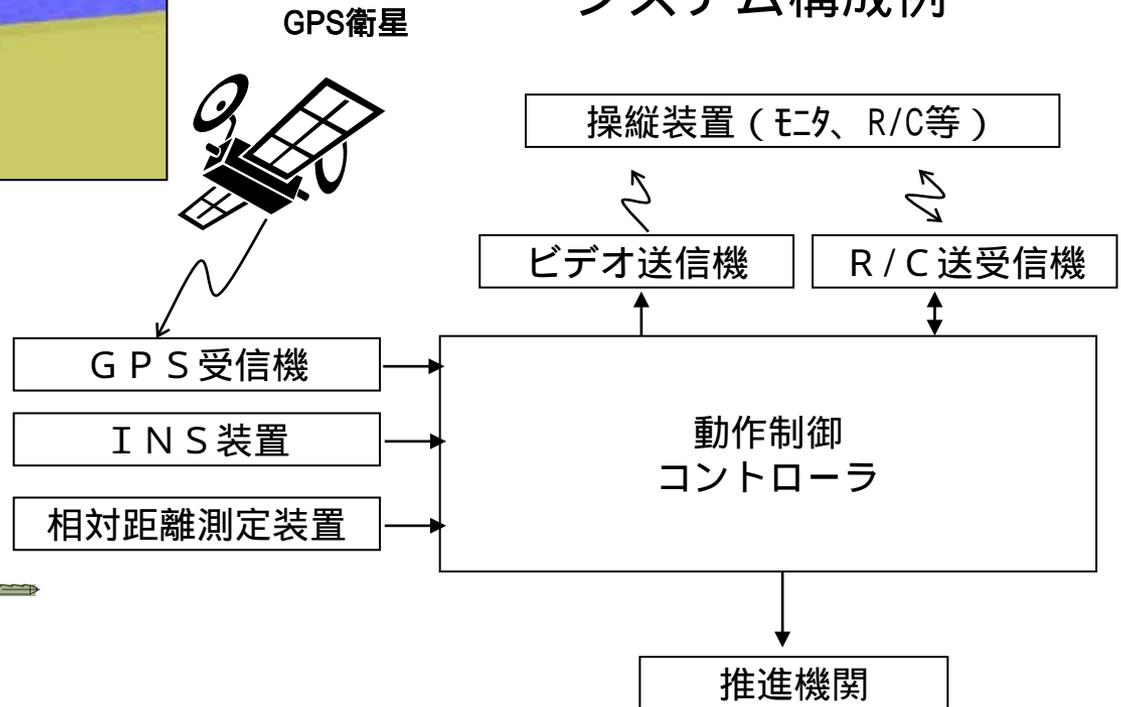
自動連結



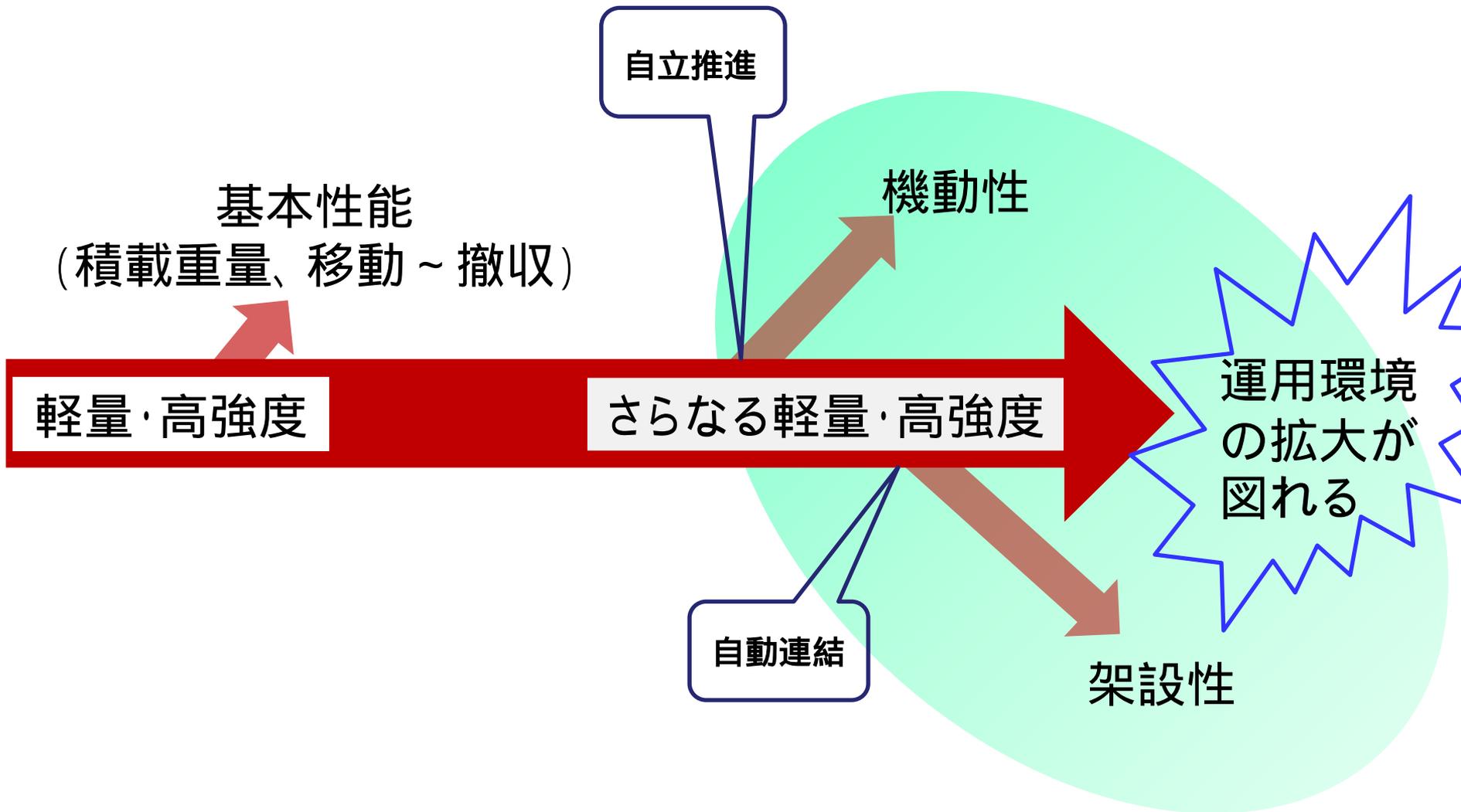
GPS-INSにより絶対位置、相対距離測定装置により相対位置を計測し、高精度の位置情報を得ることでスムーズな連結を実現



システム構成例



11. 将来浮橋の方向性



新たな環境での浮橋の運用可能性

上下する水面における荷重負荷は、現有浮橋の最大許容負荷と比較して大きく掛け離れていないことから、連結部の部材を厚くする、高強度な材料(炭素繊維強化プラスチック等)を使用することで、負荷の大きい新たな環境での運用が見込める。

機動性の向上、架設の短時間化

自立推進機関により移動の自由度が増し、機動性の向上が見込める。また、自動連結機構により架設の短時間化が図れる。

将来浮橋の方向性

基本性能の向上、運用環境の拡大、機動性の向上、架設の短時間化を実現するには、浮橋の軽量・高強度を優先して進めることが重要である。

超音速飛しょう用将来推進装置の研究

平成23年 11月 9日

防衛省 技術研究本部 航空装備研究所
誘導武器技術研究部 ロケット推進研究室

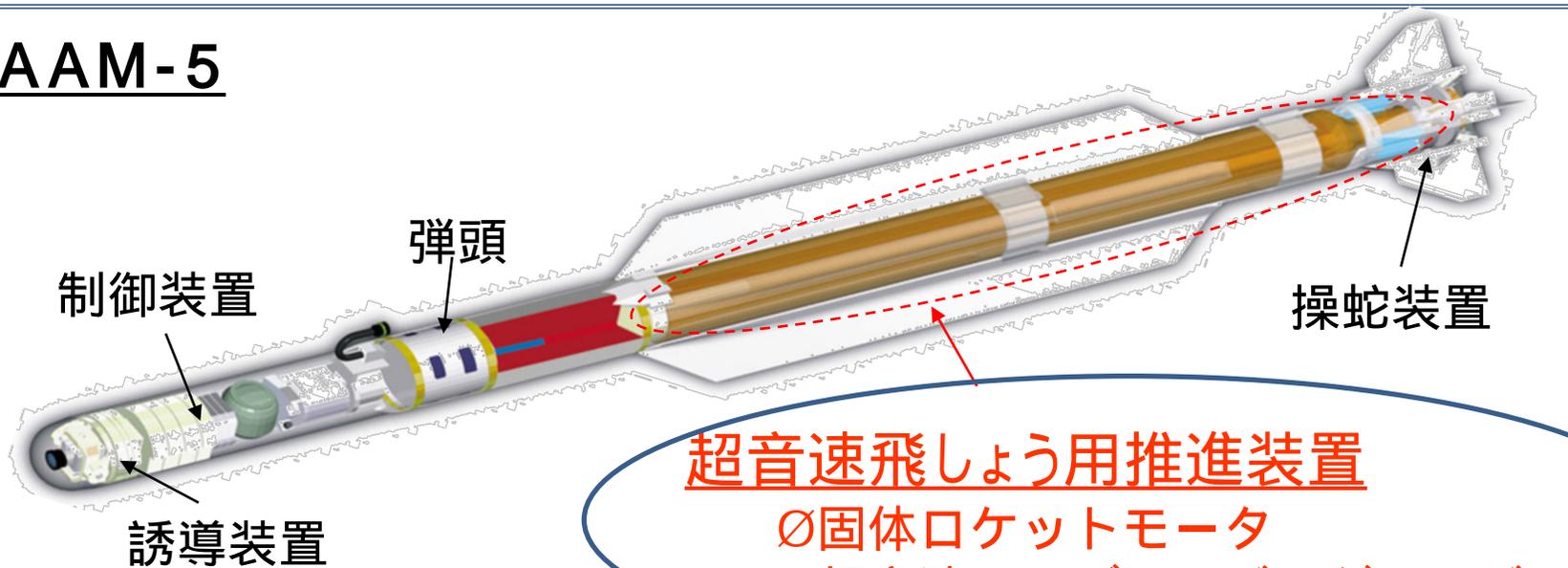
福田浩一，長山清和，橋野世紀，中山久広，枝長孝幸



○発表内容

1. 将来の誘導弾のさらなる能力向上のための超音速飛しょう用将来推進装置の紹介
2. 固体ロケットモータの能力向上とコスト低減を目指す「直巻マルチセグメント・ロケットモータ」の紹介

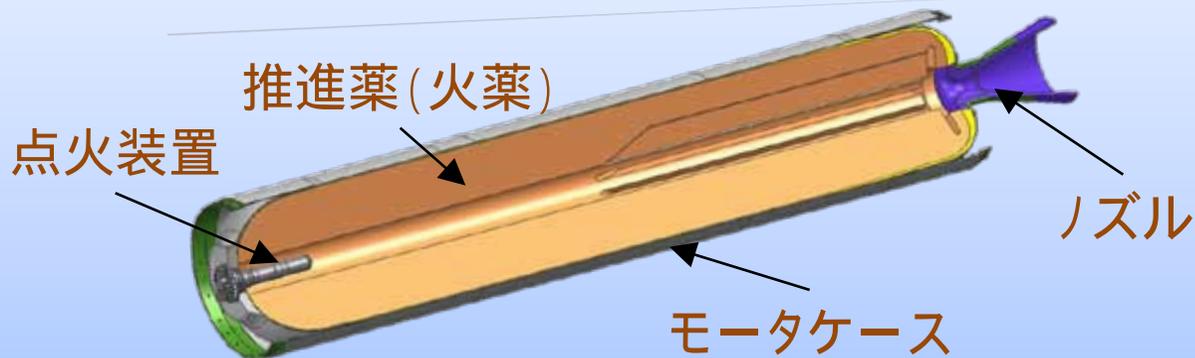
AAM-5



* 展示ブースにて模型を公開中

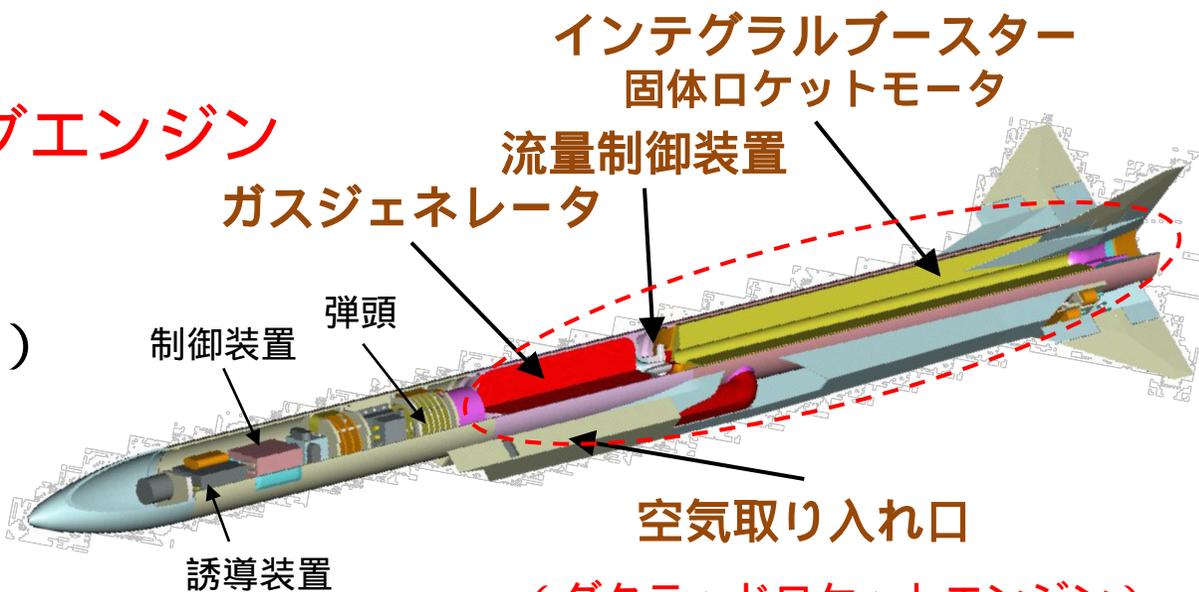
固体ロケットモータ

- ∅ 簡単な構造
- ∅ 高い即応性
- ∅ 良好な整備性



超音速エアブリージングエンジン

- ∅ 超音速巡航能力
- ∅ 高い比推力 (高燃費)
- ∅ 推力制御性



(ダクテッドロケットエンジン)

* 展示ブースにて模型及びビデオを公開中

必要な機能

実現検討

能力向上

新技術

新事業

高性能化

マシレシオ向上



軽量高出力エンジン

多用途化



燃料の低価格化

モータース軽量化

推進薬の高充填化

モータースの高安全化

点火装置の高安全化

推進薬製造効率向上

効率的飛しょう

高性能CFRP¹

耐熱材薄肉軽量化

小型点火装置

接着界面条件緩和

ストレスフリー推進薬

FW²

小型高出力半導体レーザ

セグメント化

マルチスラスト化

直巻FW

レーザ点火

マルチセグメント

直巻マルチセグメント
・
ロケットモータ

技術のブレークスルーによる性能向上

¹CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック

²FW : Filament Winding、樹脂を塗布したカーボン繊維を巻きつけて、樹脂を硬化させモータケースを成形する手法

直巻FW技術

繊維の積層

推進薬
(マルチセグメントグレイン)

従来の製造方法とは逆に、推進薬の上に繊維を積層しモータケースを成形

マルチセグメント技術

マルチセグメントグレイン

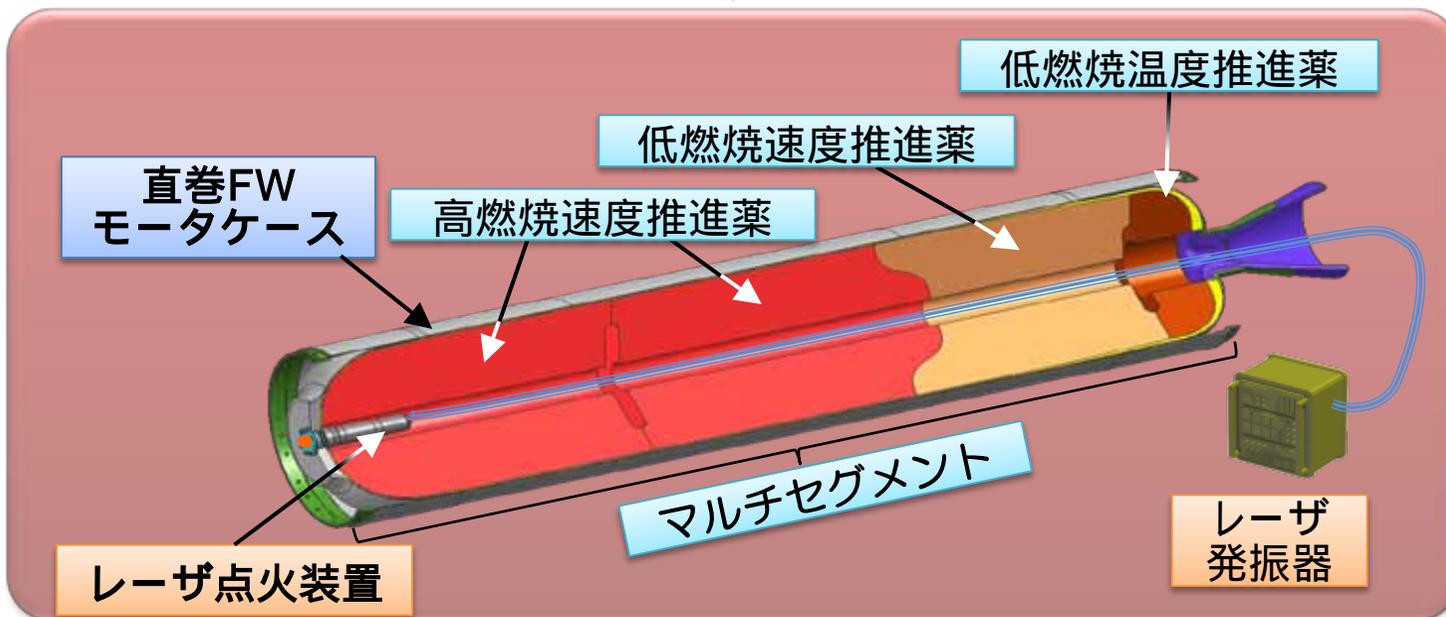
分割成形した推進薬を加工及び接着して、推進薬充填率の向上及び複雑な推力パターンを実現

レーザ点火技術

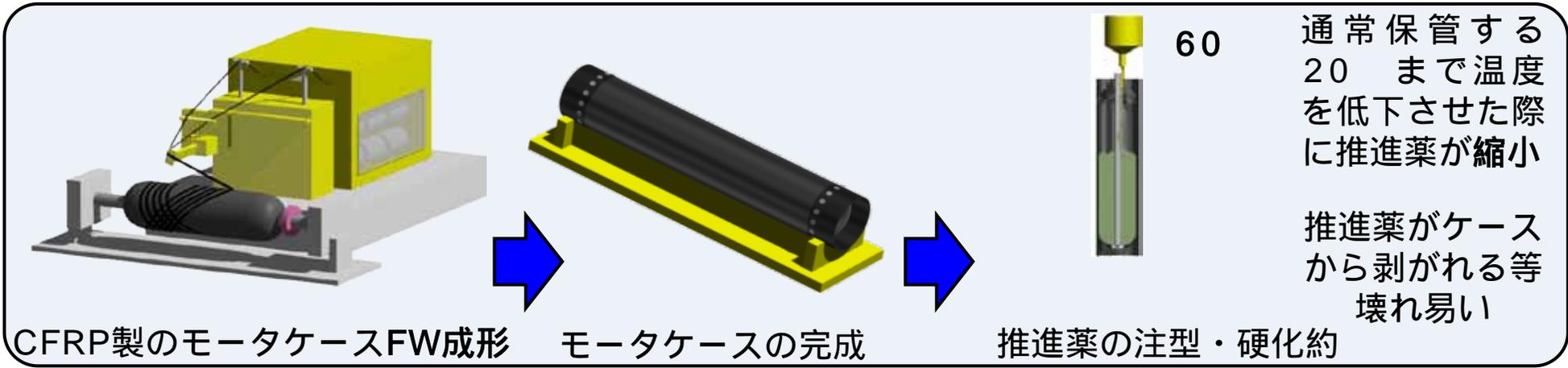
点火装置

レーザ発振部

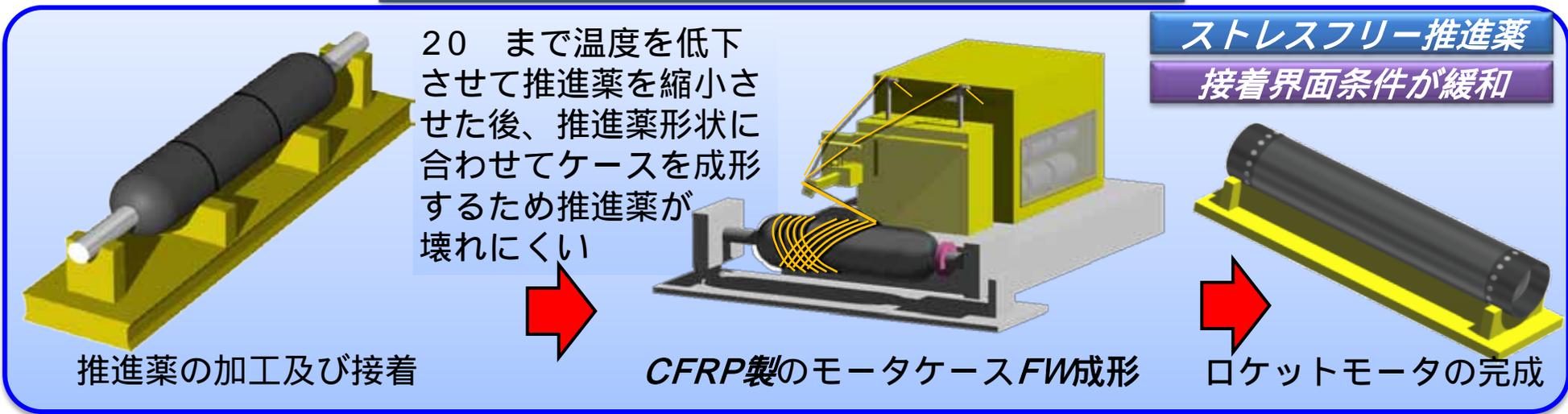
レーザ点火により超小型高出力化を実現



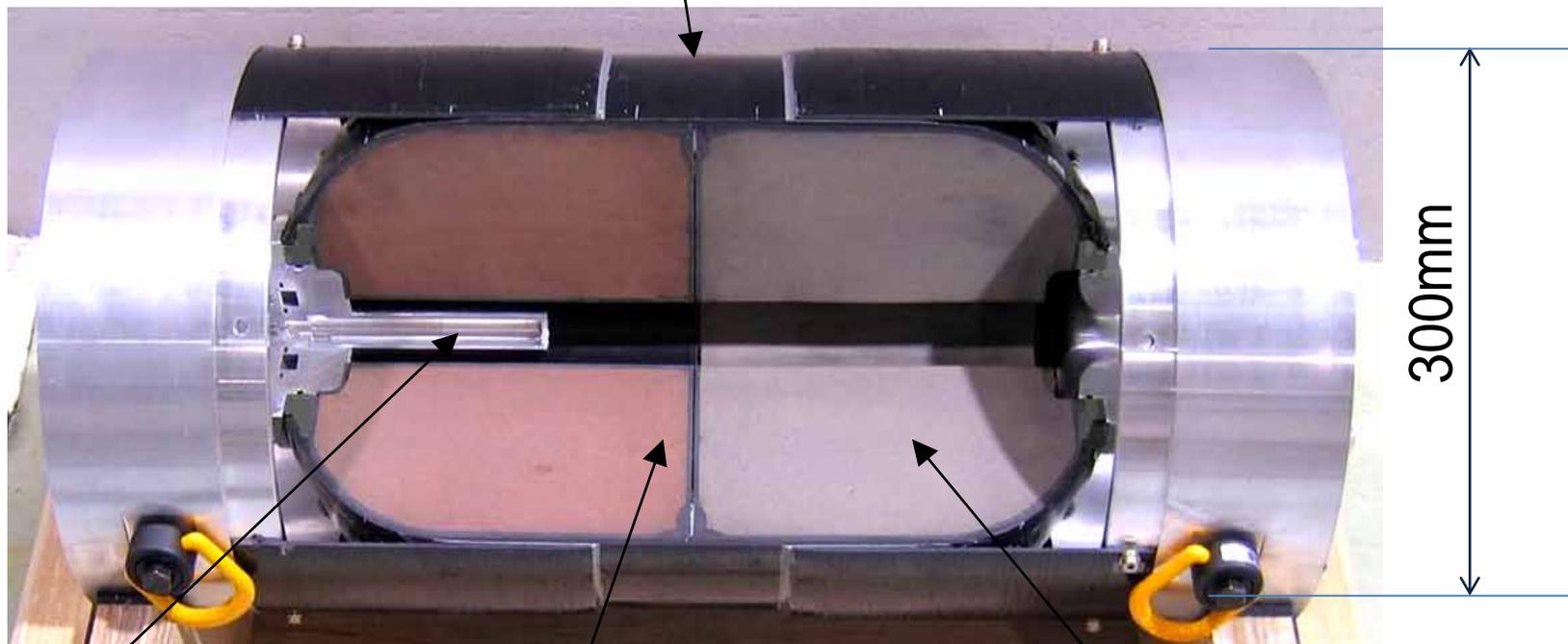
従来の高性能CFRPロケットモータ製造方法



新たな高性能CFRPロケットモータ製造方法



直巻FWによるCFRPロケットモータケース



模擬点火装置

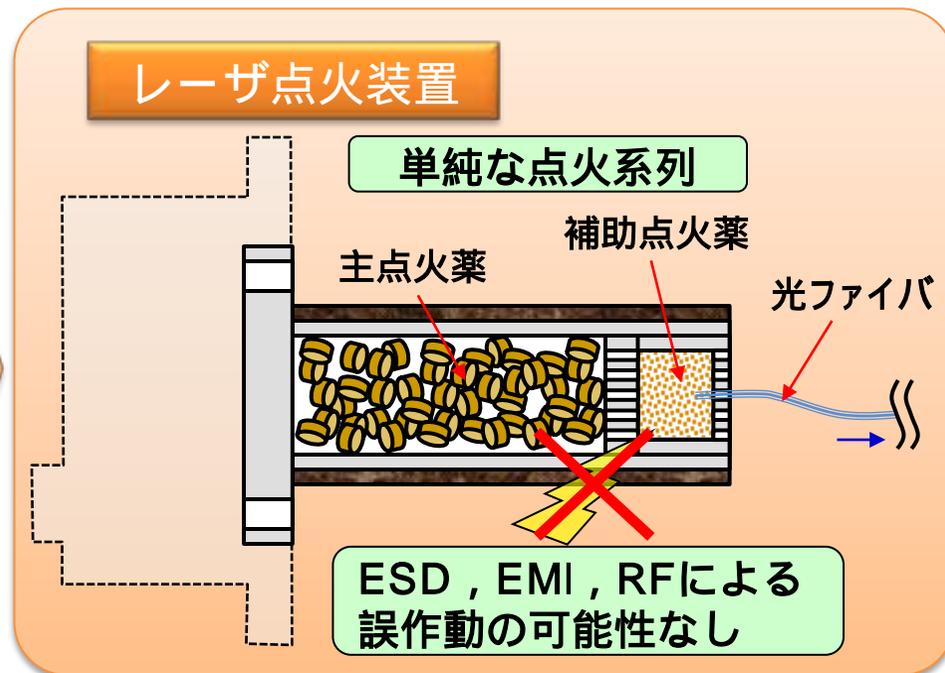
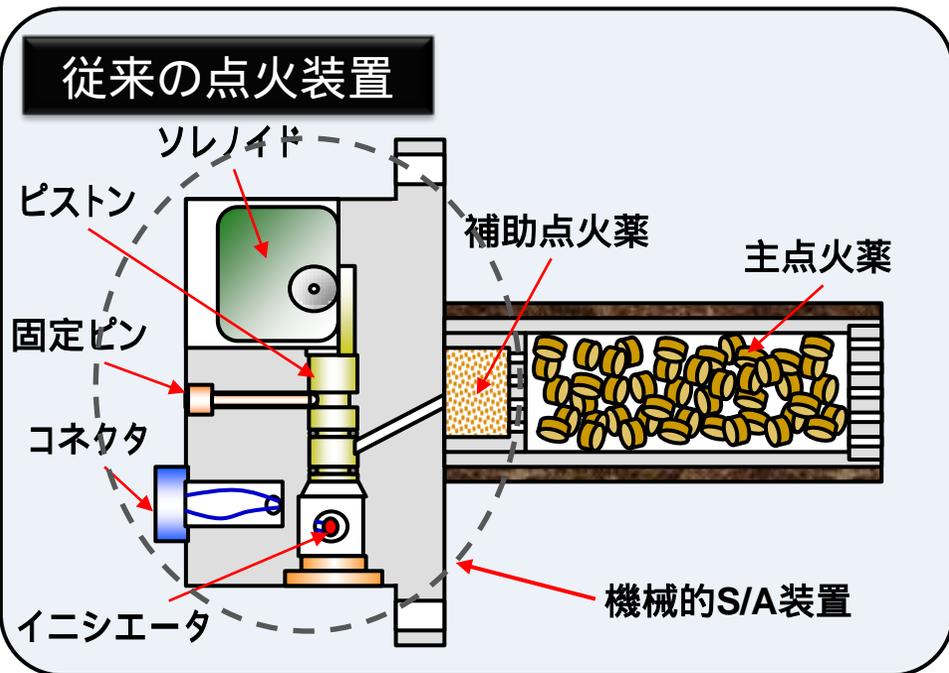
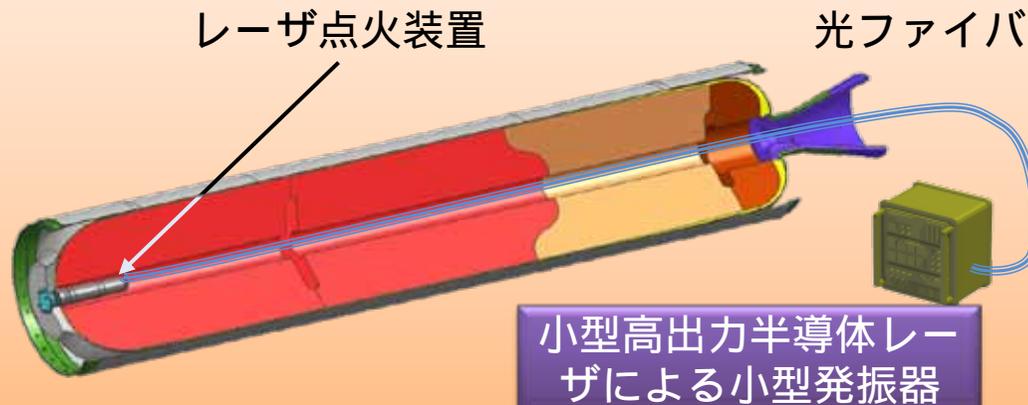
第2段推進薬(偽薬)

第1段推進薬(偽薬)

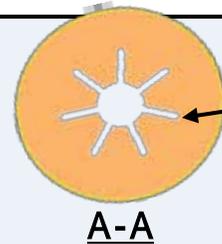
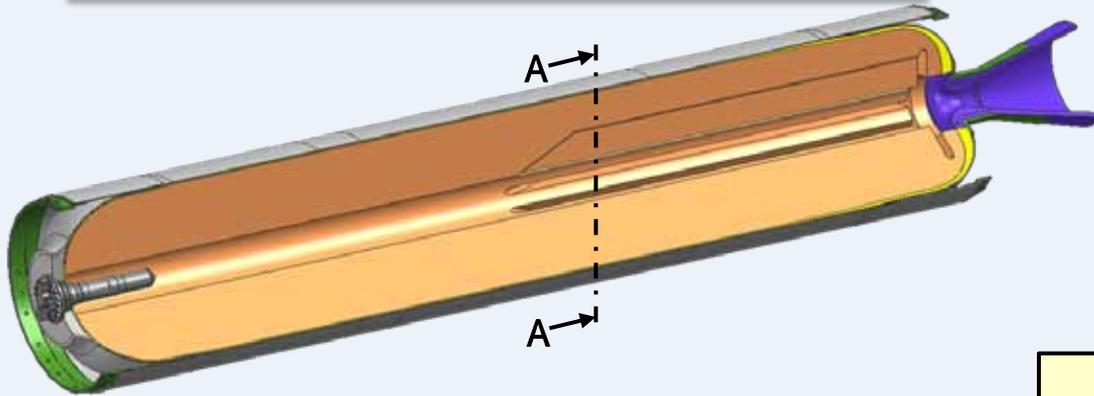
* 展示ブースにて公開中

レーザー点火装置の利点

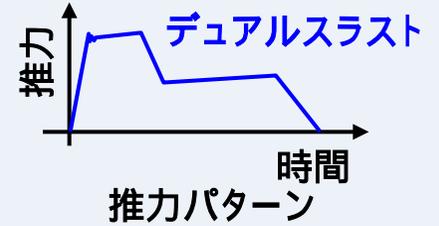
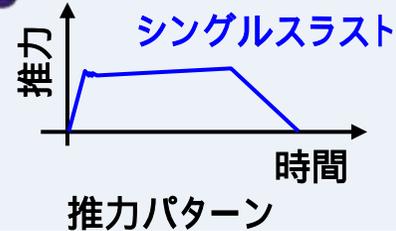
- ロケットモータの安全性向上
 - 高感度のイニシエータが不要
- 機械部品の除去による
小型軽量化



従来のロケットモータグレイン

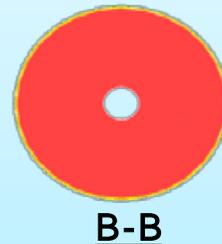
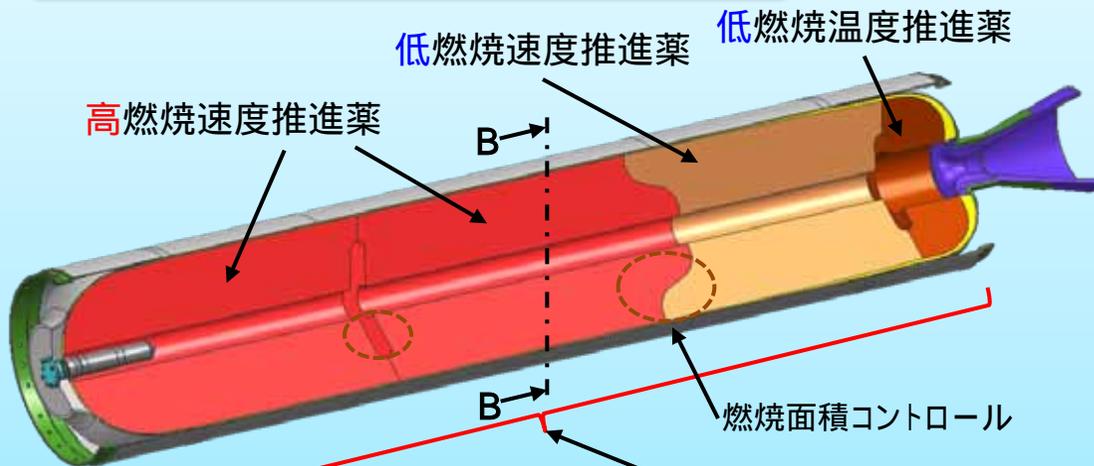


推進薬の光芒により燃焼面積を変更し、推力パターンを調整

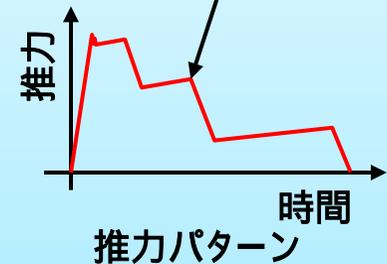


推進薬形状のみで推力パターンをコントロール

マルチセグメントグレイン



推力パターンの自由な設計
マルチスラスト化



推進薬形状と燃焼速度の組み合わせで推力パターンをコントロール

燃焼速度の異なる多種の推進薬を配置し、推力パターンを調整

高性能化

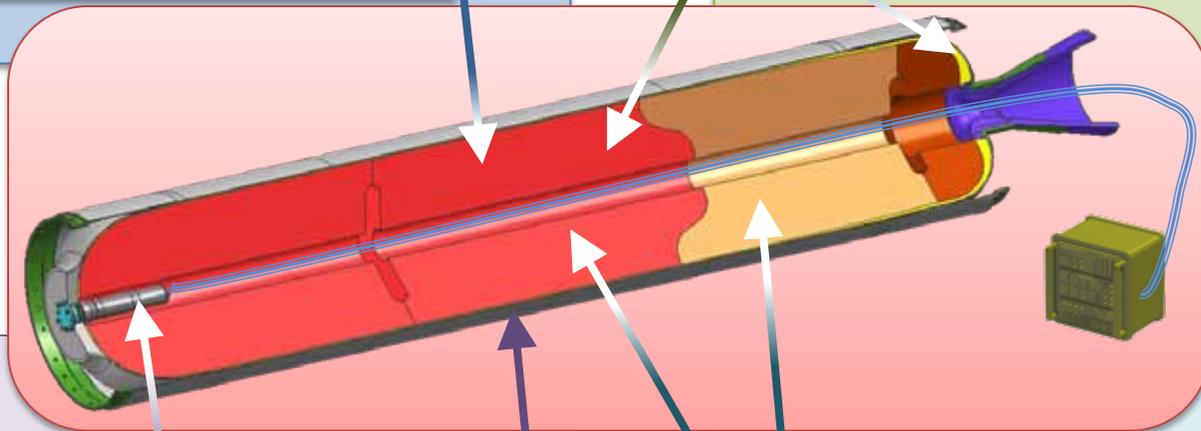
マスレシオ向上

○低燃焼温度推進薬による断熱材を薄肉化
 ー推進薬充填率の向上及び軽量化

○製造時の残留応力を低減した小さな内孔
 ○接着界面条件緩和
 ー推進薬充填率の向上

コスト低減

○マルチセグメントグレインにより
 推進薬ミキサーの効率的利用
 ー推進薬コストの低減



IM化^{*1}

○レーザ点火装置による感度の高いイニシエータが不要
 ー点火装置の高安全化

○CFRP-FWにより、火災時にはプラスチックが外部から溶けてモータケースが破壊
 ーモータケースの高安全化

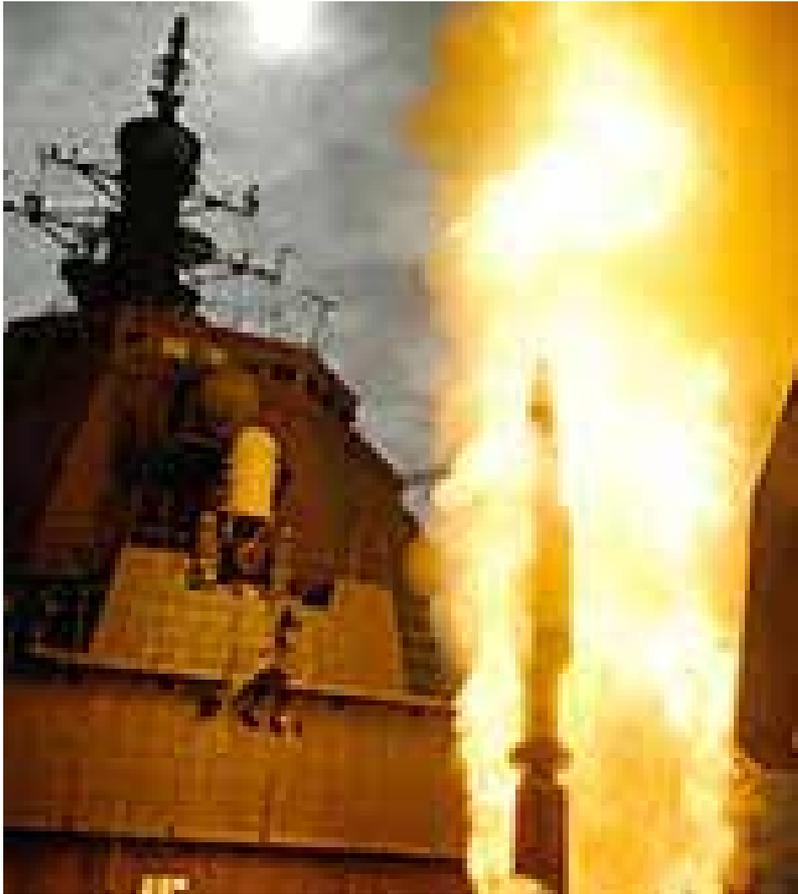
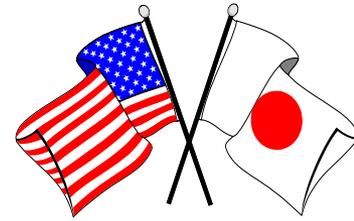
運用柔軟性向上

○マルチセグメントグレインによる
 推力パターンの自由な設計
 ーマルチスラスト化



1. 将来の誘導弾の能力向上のための超音速飛しょう用将来推進装置であるロケットモータと超音速エアブリージングエンジンについて紹介した
2. 固体ロケットモータの能力向上を目指す「直巻マルチセグメント・ロケットモータ」について紹介した

* 展示ブースにて公開中



新弾道ミサイル防衛用 誘導弾用の推進装置

平成23年11月9日(水)
防衛技術シンポジウム

技術開発官(誘導武器担当)付
西山 文夫, 木村 栄秀, 三島 茂徳

「SM-3ブロックIA発射」 防衛省ホームページより
平成19年12月18日護衛艦「こんごう」SM-3発射試験の結果について
http://www.mod.go.jp/j/approach/defense/bmd/20081218_shiken.html

○新弾道ミサイル防衛用誘導弾とは

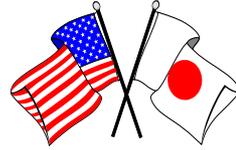
○開発中の推進装置について

○ま

と

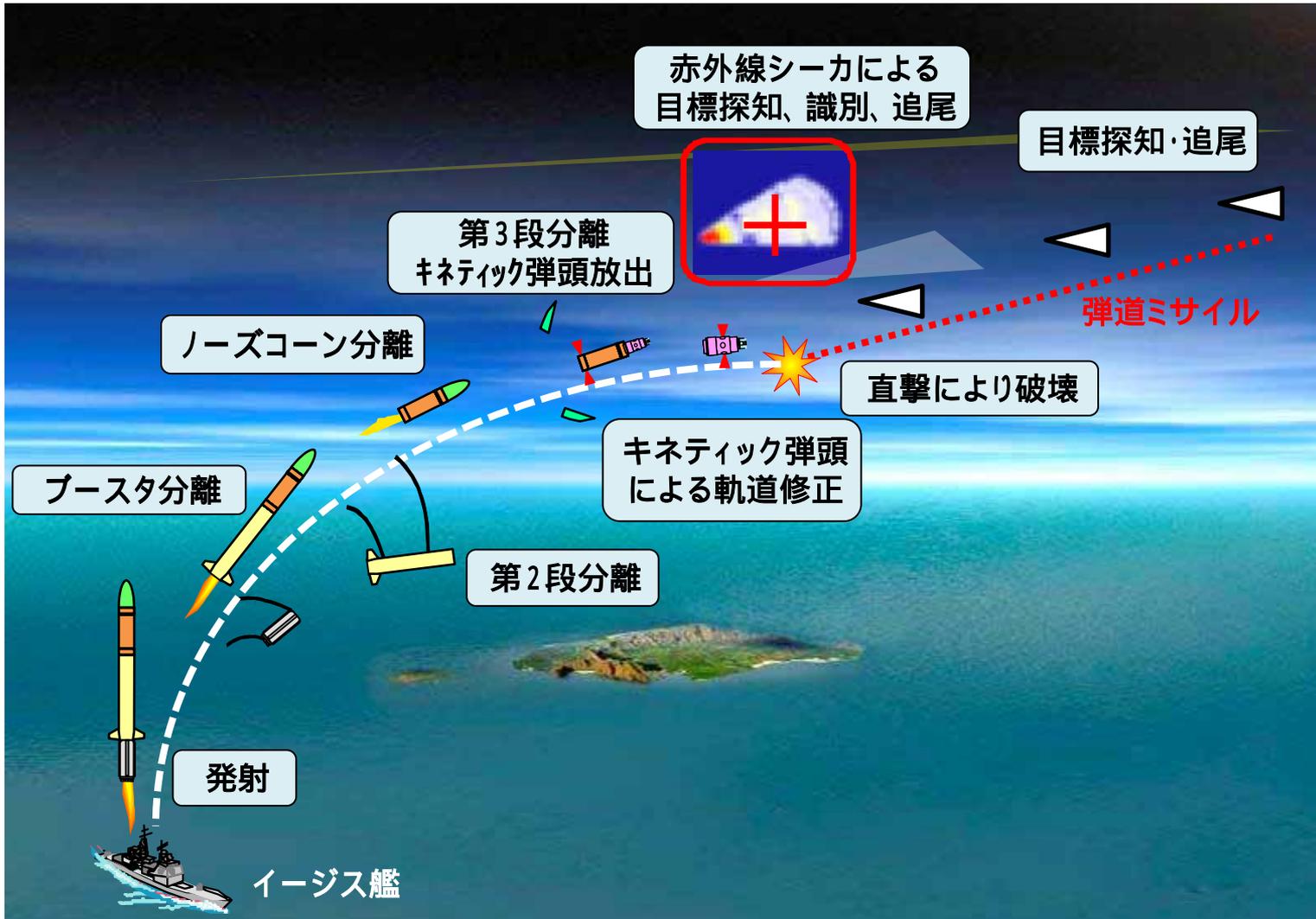
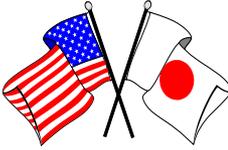
め

新弾道ミサイル防衛用誘導弾

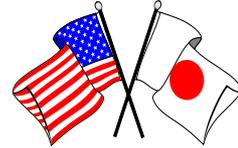


高性能化、多様化する将来の弾道ミサイル脅威に対処するため、SM-3ブロックIAの後継となる艦載型の新弾道ミサイル防衛用誘導弾 (SM-3ブロックII A) の日米共同開発を平成18年度から実施。

SM-3ブロックIIAの構想図



SM-3ブロックIAとブロックIIAとの比較



SM-3 ブロック IA

- u 脱頭型ノーズコーン
- u 13.5インチキネティック弾頭
 - Ø1 波長赤外線シーカ
 - Ø13.5インチ DACS
- u 13.5インチ
第2、第3段ロケットモータ
- u MK -72 ブースタ



全長: 約6.6m
全備質量: 約1.5t

SM-3ブロックIIA

- u クラムシェル型ノーズコーン
- u 21インチキネティック弾頭
 - Ø2 波長赤外線シーカ
識別能力を向上
 - 目標搜索範囲を拡大
 - Ø21インチDACS
 - 機動性の向上
- u 21インチ
第2、第3段ロケットモータ
推進能力が向上
- u MK -72改 ブースタ

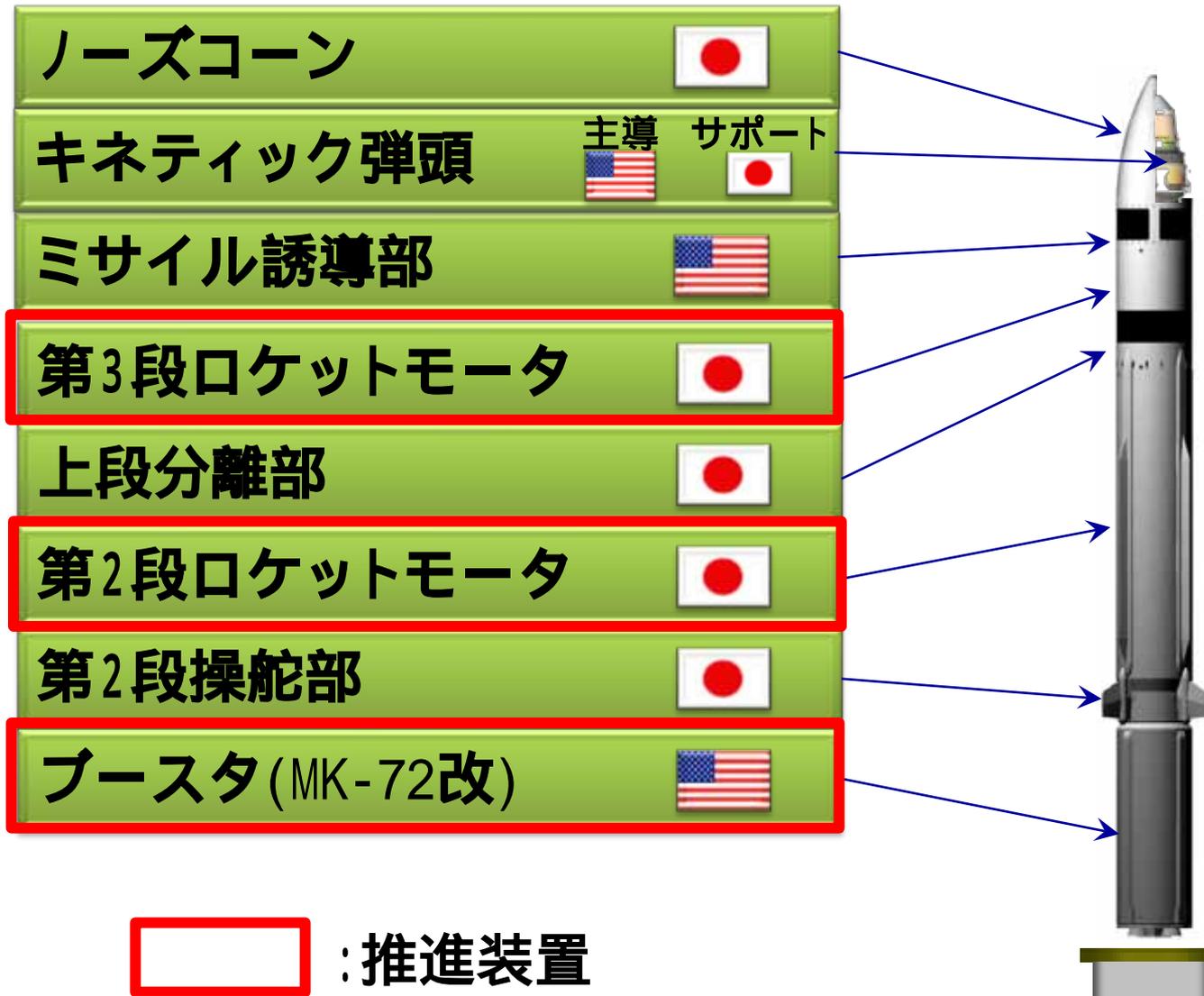


全長: 約6.7m
全備質量: 約2.1t

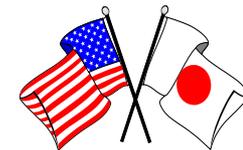
シーカ: 目標の探知、識別、追尾を行う装置

DACS: 軌道修正・姿勢制御装置(Divert and Attitude Control System)

SM-3ブロックIIAにおける 日米の役割分担



第2段、第3段ロケットモータ 設計のポイント



飛しょう速度向上のために高出力化、軽量化

u 高出力化

○ 燃焼室の大型化

○ 推進薬の高充填



第2段ロケットモータ

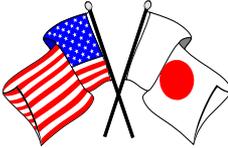
u 軽量化

○ 複合材料の活用

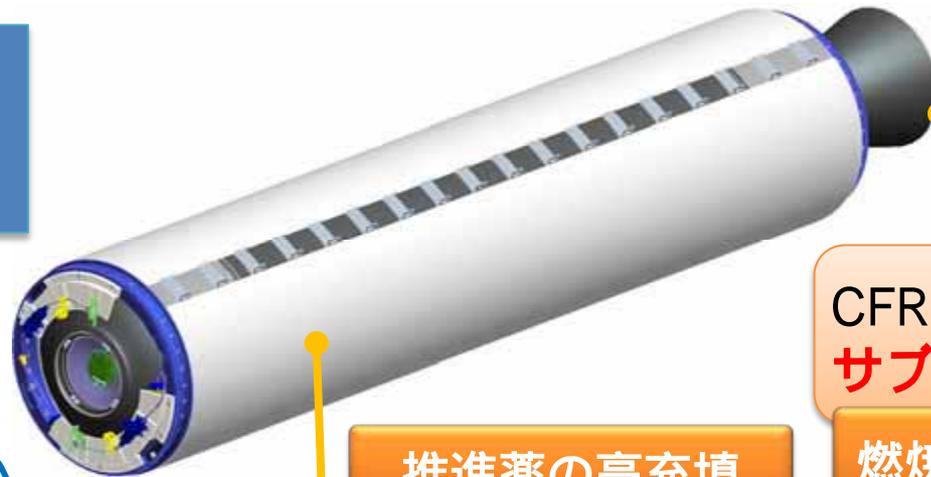


第3段ロケットモータ

第2段、第3段ロケットモータの 高 出 力 化



第2段ロケットモータ
 全長:約2.7m
 マスレシオ:約0.9



CFRP / SFRP製
 サブマージドノズル

燃焼室の大型化

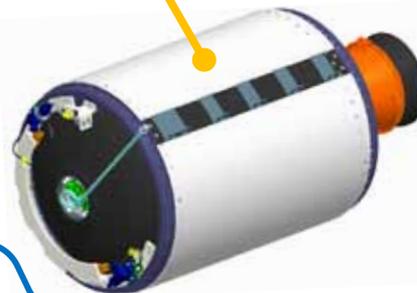
推進薬の高充填

コンポジット推進薬を
 加圧注型により高充填

胴径を21インチに
 することで燃焼室を
 大型化

燃焼室の大型化

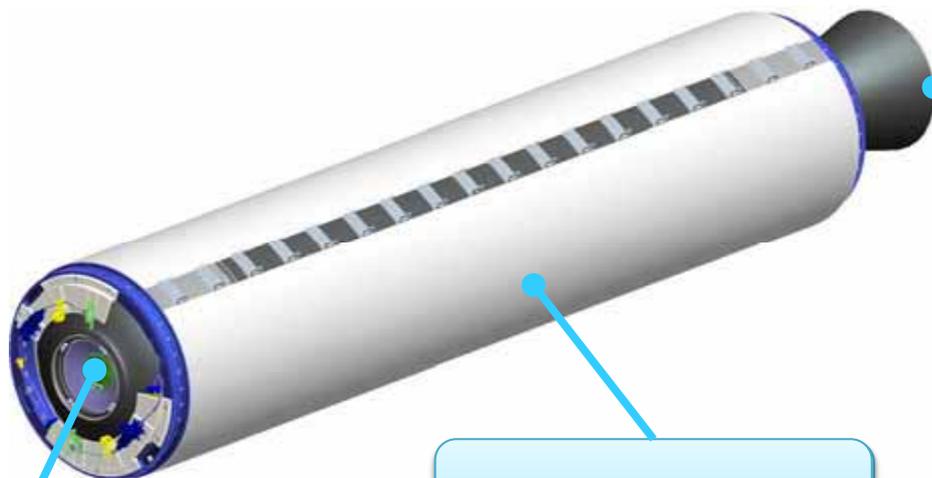
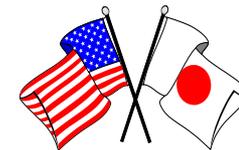
第3段ロケットモータ
 全長:約1m
 マスレシオ:約0.9



CFRP製可動式
 サブマージドノズル

燃焼室の大型化

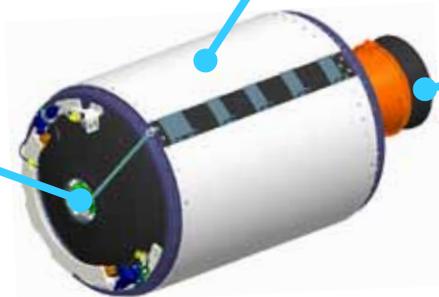
第2段、第3段ロケットモータの 軽 量 化



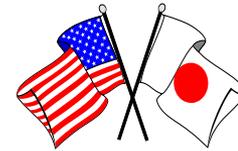
CFRP / SFRP製サブマージドノズル
 Øノズル周囲に機器配置

CFRP製燃焼室

CFRPを活用した
 点火装置



CFRP製可動式サブマージドノズル
 Øの周囲にノズル駆動用部品及び機器配置



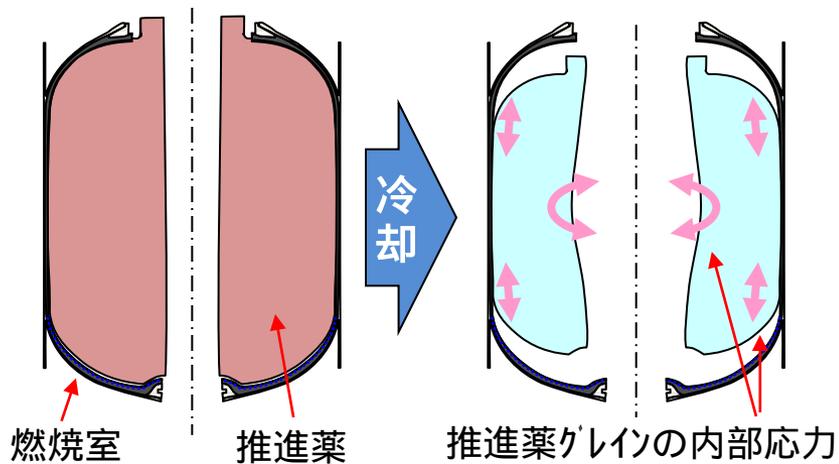
推進薬加圧注型によって無加圧注型に比べて推進薬高充填化

■ : 硬化開始時の推進薬 (高温)

■ : 常温で収縮する推進薬

加圧注型を行わない場合

高温で硬化

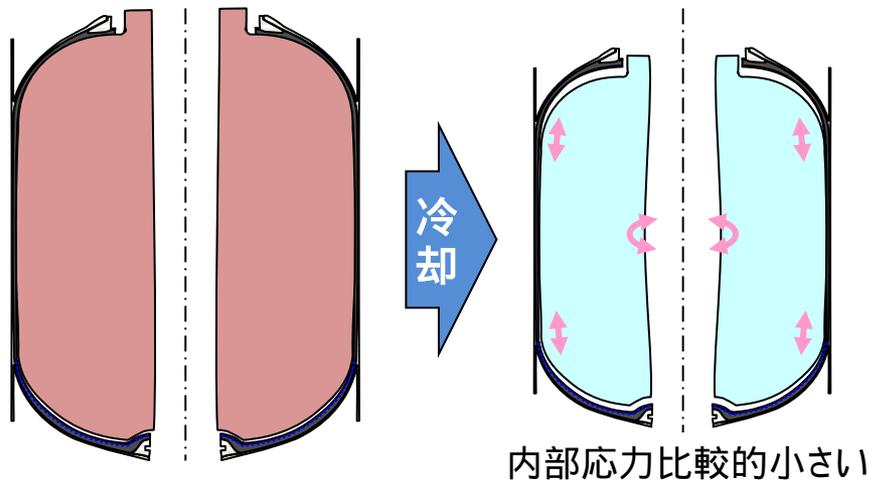


燃烧室は原型のまま

推進薬は応力を許容出来る範囲で充填

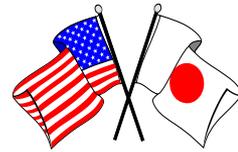
加圧注型を実施した場合

加圧放熱しながら硬化



加圧により燃烧室が若干膨張

内部応力を小さく抑えられるため、より多くの推進薬を充填



点火前

セーフ/アーム機構部
 (イニシエータ、助装薬を含む)

主点火薬

ガス噴流

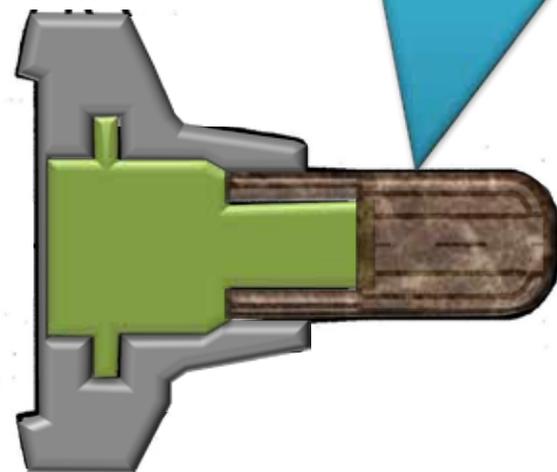
CFRP製ケース
 (断熱材なし)

ロケットモータ
 前方鏡板

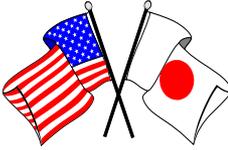
燃焼

ロケットモータ燃焼後

ロケットモータ燃焼中に構造材
 は炭化するが、構造強度は
 保たれる



ま と め



新弾道ミサイル防衛用誘導弾用の第2段ロケットモータ及び第3段ロケットモータは推進性能の向上を目指し、高出力化、軽量化を図っている。

u 高出力化

- 胴径を21インチ化し、燃焼室を大型化
- サブマージドノズルにより推進薬を増加
- 加圧注型により推進薬の高充填

u 軽量化

- 複合材料を多く採用

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

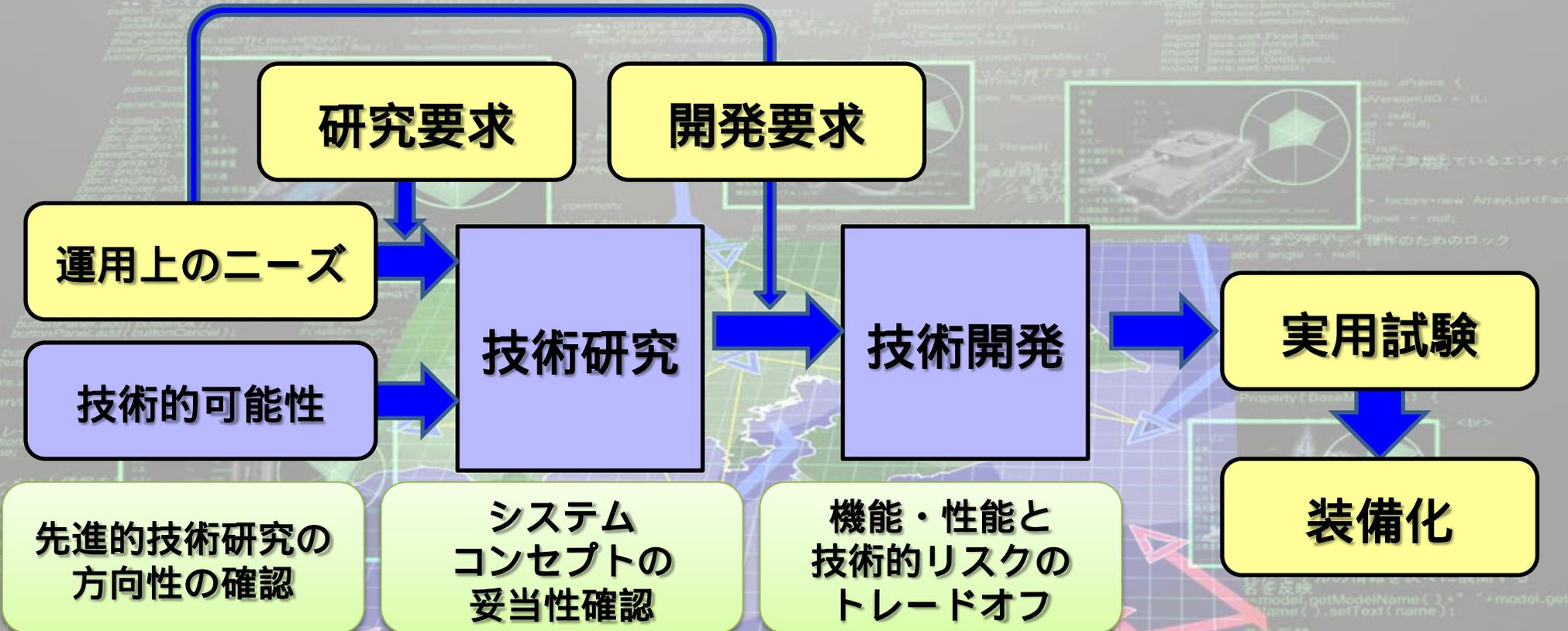


○ モデリング
 現実の世界の現象(物)を
 仮想の世界に置き換える

○ 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

○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

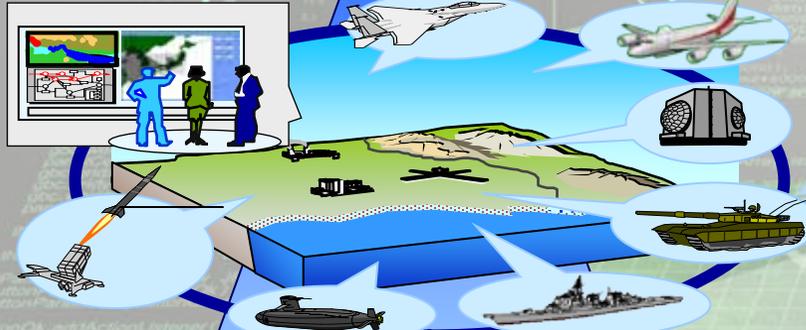
○先進技術を用いた将来装備品の機能・性能等のパラメトリックスタディによる定量的検討、トレードオフスタディ



⊙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

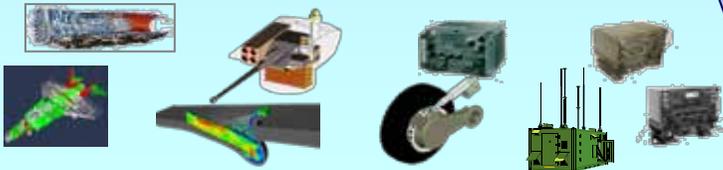
システム統合レベル



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

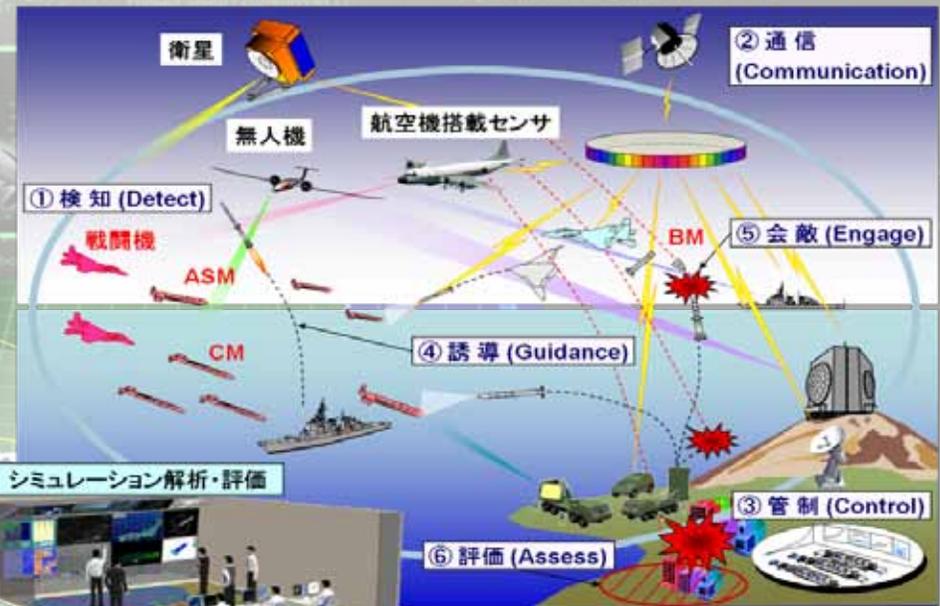
- シミュレーション統合システム
- 統合防空システムシミュレーション

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	
統合システム シミュレーション	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

プラットフォームモデル

指揮モデル

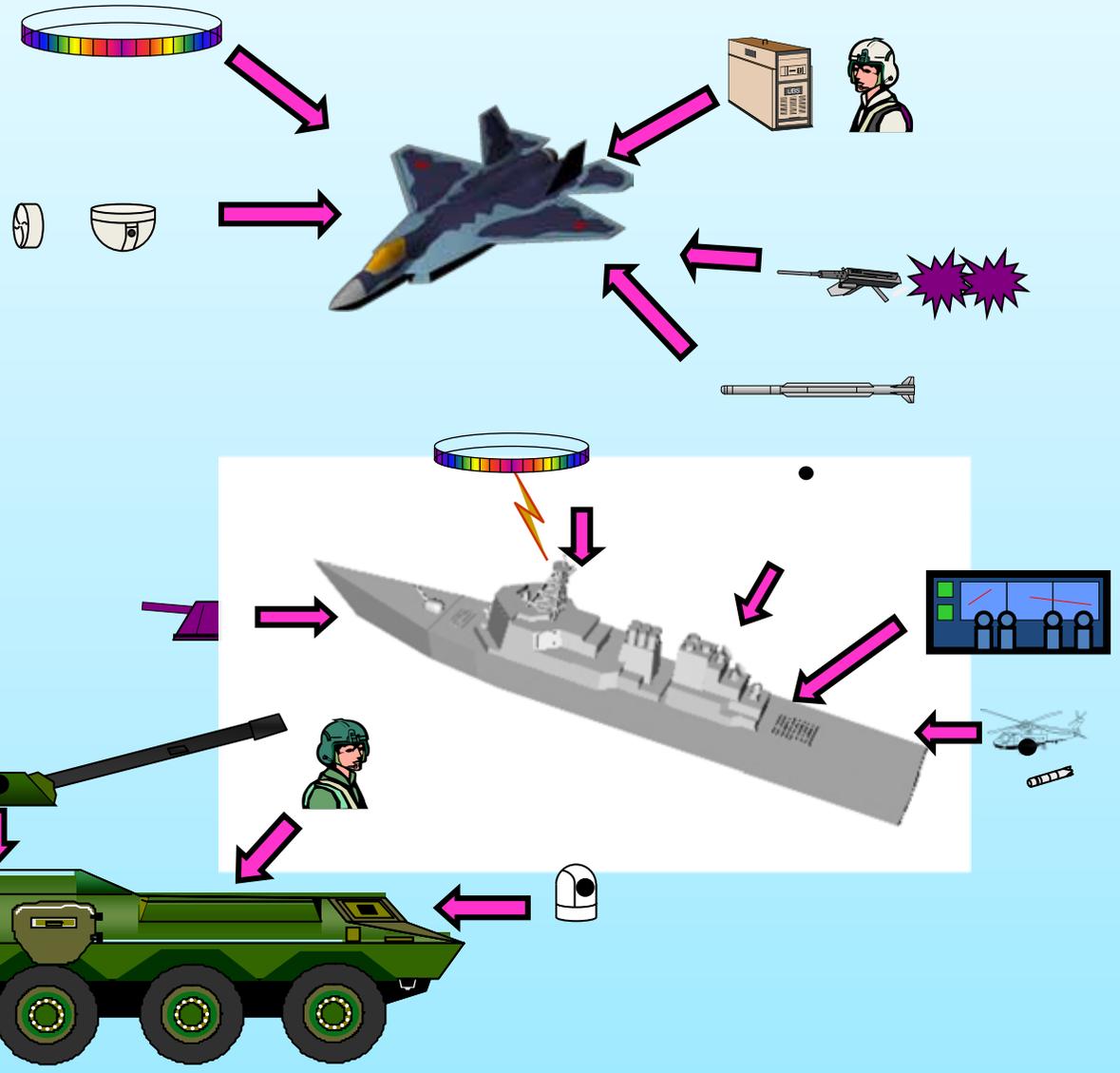
センサモデル

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 setScriptFlg = true;
boolean setOutputFlg = true;
public void addEntity(EntityFactory ndwEntityConfig, int pos, Side side) Config();

```

```

// 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)

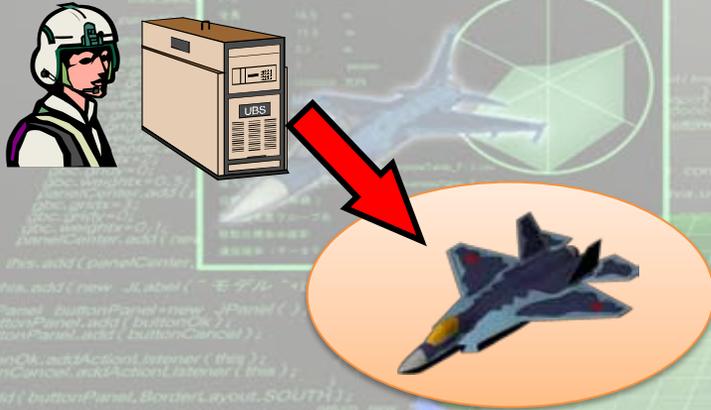
装備システム基本モデル
を組合わせ装備システム
モデルを構築

東側装備品 (31機種99モデル)			
	機種名 (機種相当) (無印:ロシア)		
西側装備品 (35機種96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	90式戦車	TK-X	74式戦車
自走砲	99式HSP	XM2001	M108
攻撃機	F-2	F-22	A-10
爆撃機	B-1	B-2	B-52
輸送機	C-130	C-X	C-1
哨戒機	P-3C	P-X	P-2V
攻撃ヘリ	AH-1	AH-64	OH-1
戦闘艦	AEGIS艦	CG(X)	DD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SAM	PATORIOT	HAWK
地(艦)対空ミサイル	スティンガー	SM-2	ESSM
:	:	:	:

装備システムモデル
(195モデル)

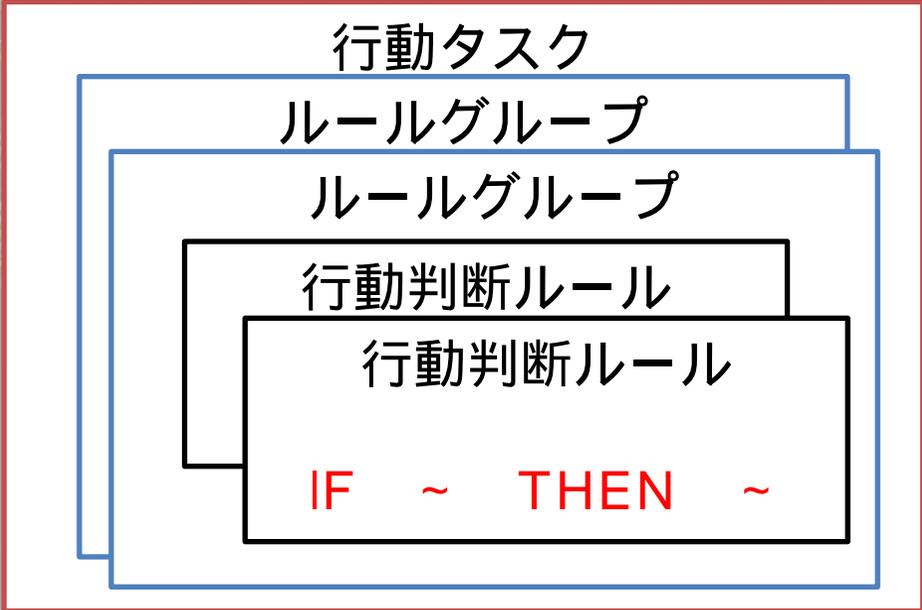
行動判断ルール

指揮モデル

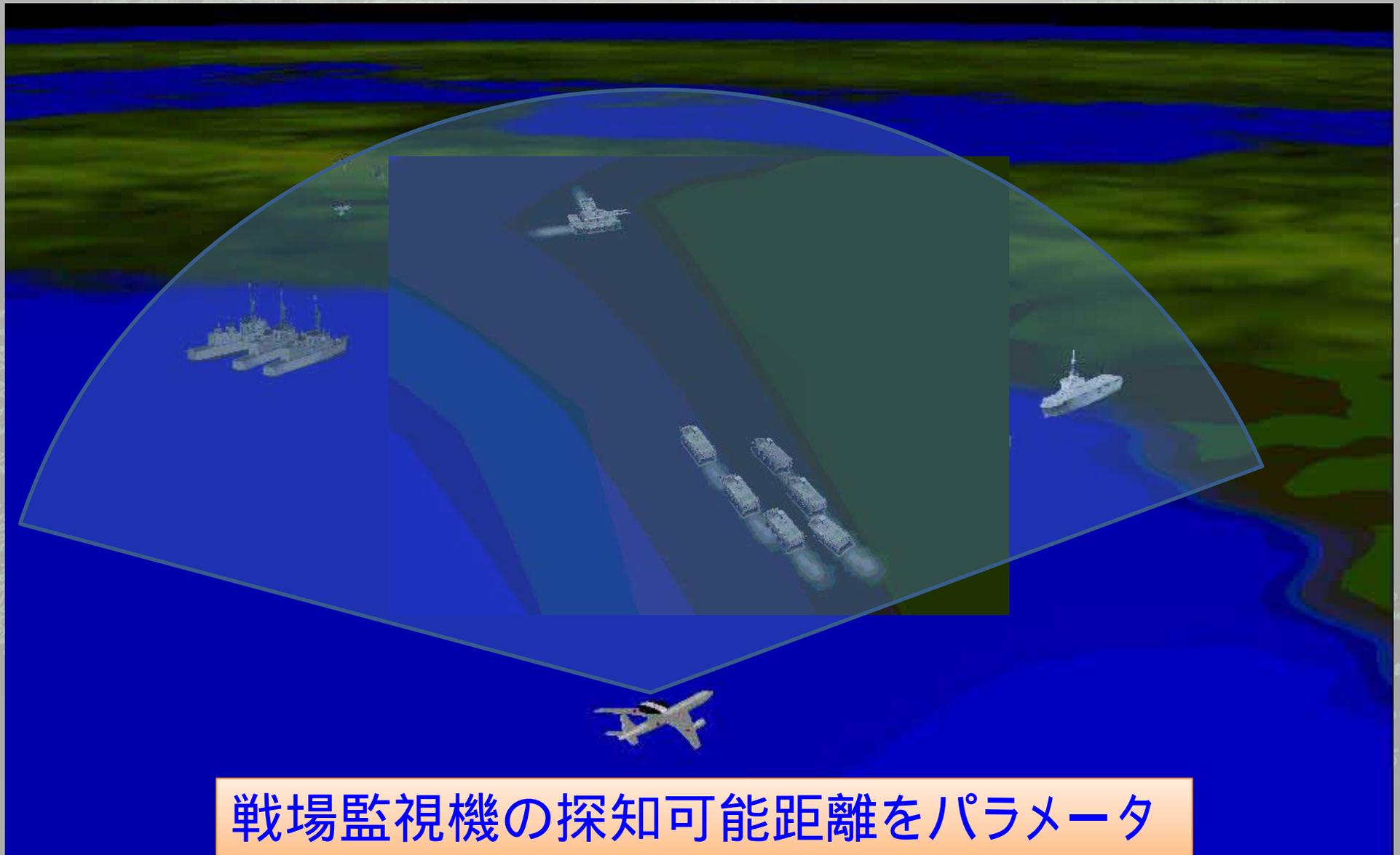


IF~THEN~の組合せによりモデル動作の柔軟な制御が可能

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



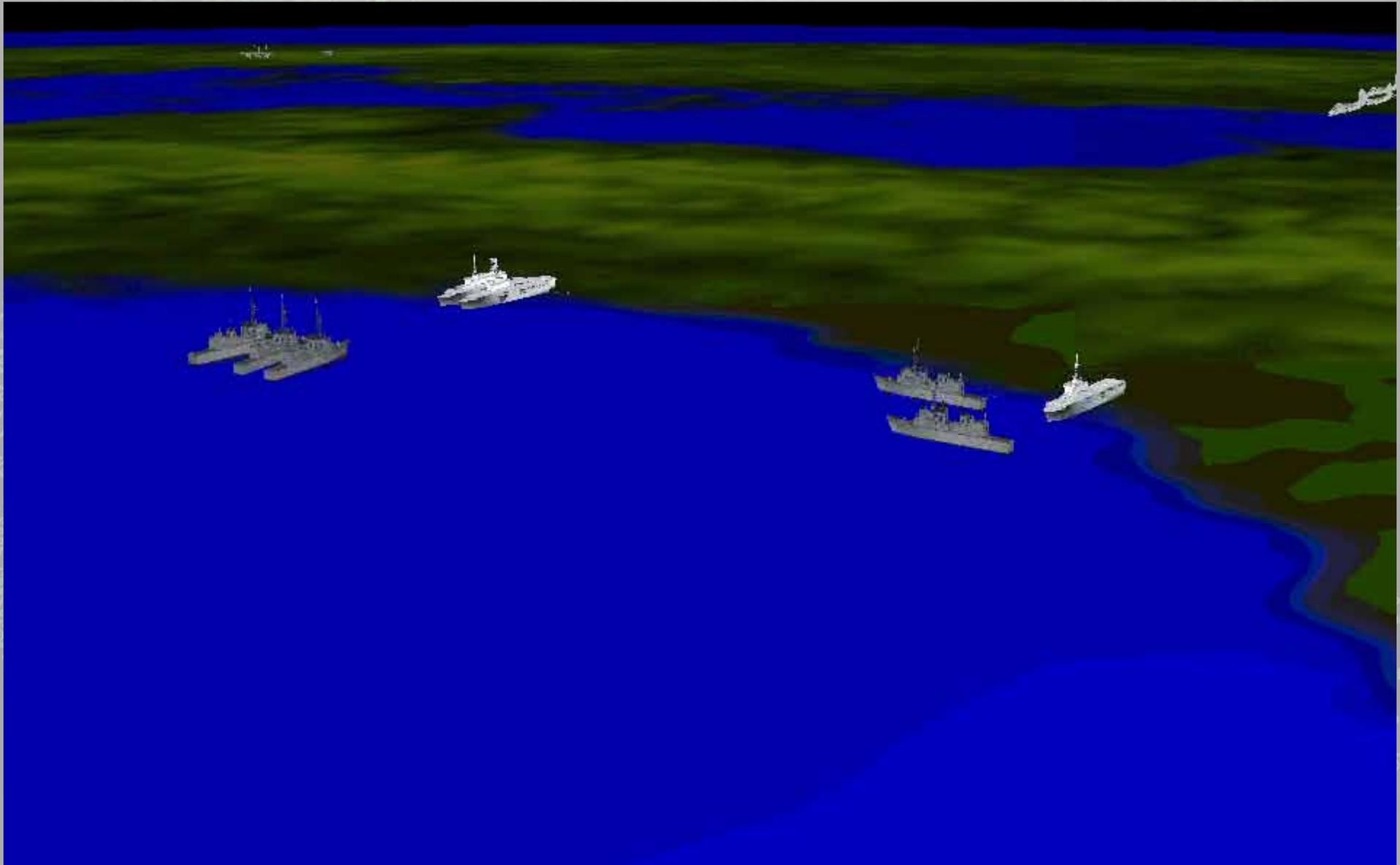
複数の**IF~THEN~**の行動判断ルールをまとめてルールグループとし、複数のルールグループをまとめて行動タスクとする。



戦場監視機の探知可能距離をパラメータ

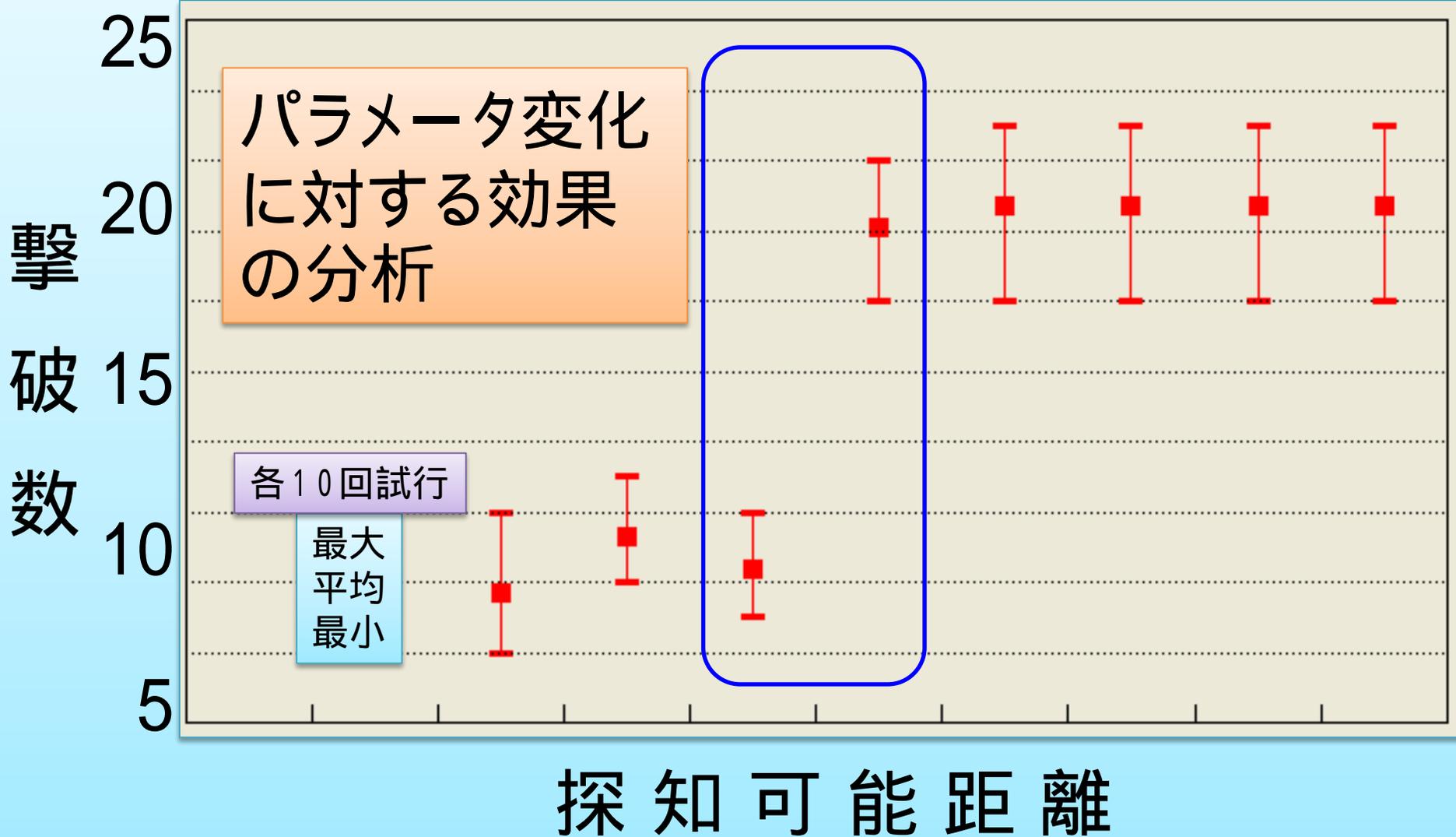
```
/** シナリオにエンティティを追加します。selfOrConfig = true;  
 * 指定する座標は LLA です。 */  
public void addEntity(EntityFactory edwEntity, double[] pos, Side side) {
```

```
PlatformModel plat=model.getPlatform();  
FactorPanel platPanel=new FactorPanel( プラ  
platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(), 32
```



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

```
PlatformModel plat=model.getPlatform();  
FactorPanel platPanel=new FactorPanel( プラ  
platPanel.setSize(objectFactorsPanel.getWidth(), 32
```



- NCW環境下のS o Sシミュレーション
- BM、CM、ステルス機等の複合脅威対処シナリオ
- 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
- 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 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)

今回の検証対象 2
現在の先進技術

ステルス化 大型機 + 無人機
無人機

脅威

達成時間 撃破
被害 探知率 弾数 探知距離

模擬

今回の検証対象 1
過去の先進技術

レーダー

NCW環境下のSoSシミュレーションの実施

NCW: Network Centric Warfare, SoS: System of Systems

3 . 先進技術適用効果の検証 (比較用基本シナリオ)

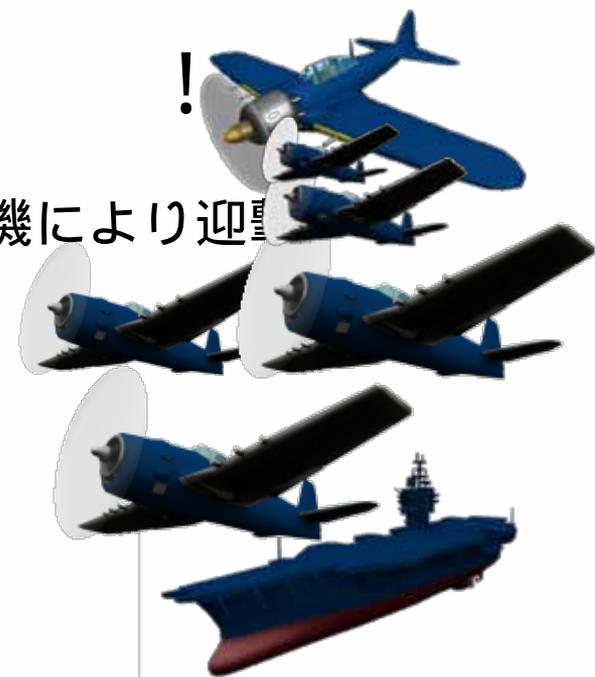
- 目的：比較用基本シナリオを示す。
- 状況：空母対空母による仮想的戦闘
- 編成：(東軍)空母(目視)×1、偵察機(目視)、攻撃機、戦闘機
(西軍)空母(目視)×3、偵察機(目視)、攻撃機、戦闘機

(シミュレーション・ルールの概要)

- 西軍の偵察機が目視により索敵。
- 西軍の攻撃機が見た空母に対し攻撃機により攻撃。
- 東軍の戦闘機が見た偵察機及び攻撃機に対し戦闘機により迎撃。

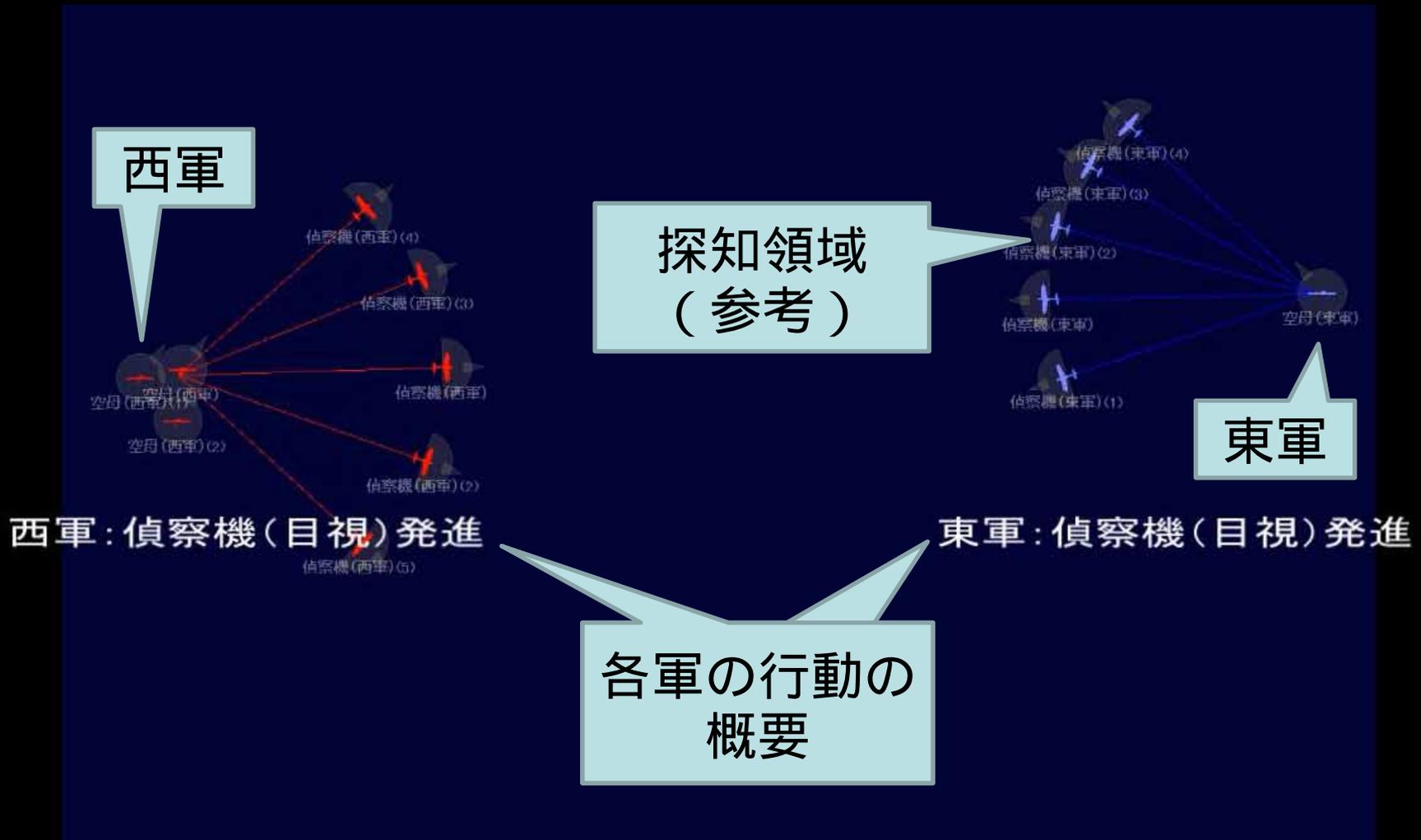


(西軍)



(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)

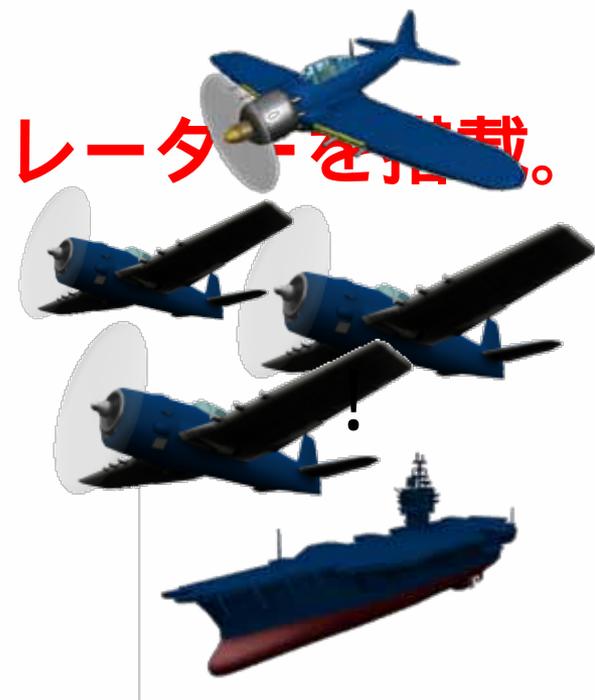
- 目的 : レーダー技術導入による戦闘様相の変化を確認する。
- 状況 : 空母対空母による仮想的戦闘
- 編成 : (東軍) 空母 (レーダー) × 1、偵察機 (レーダー) × 1、攻撃機、戦闘機
(西軍) 空母 (目視) × 3、偵察機 (目視) 、攻撃機、戦闘機

(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)



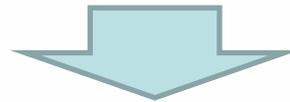
(東軍)

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	ジェットパック (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

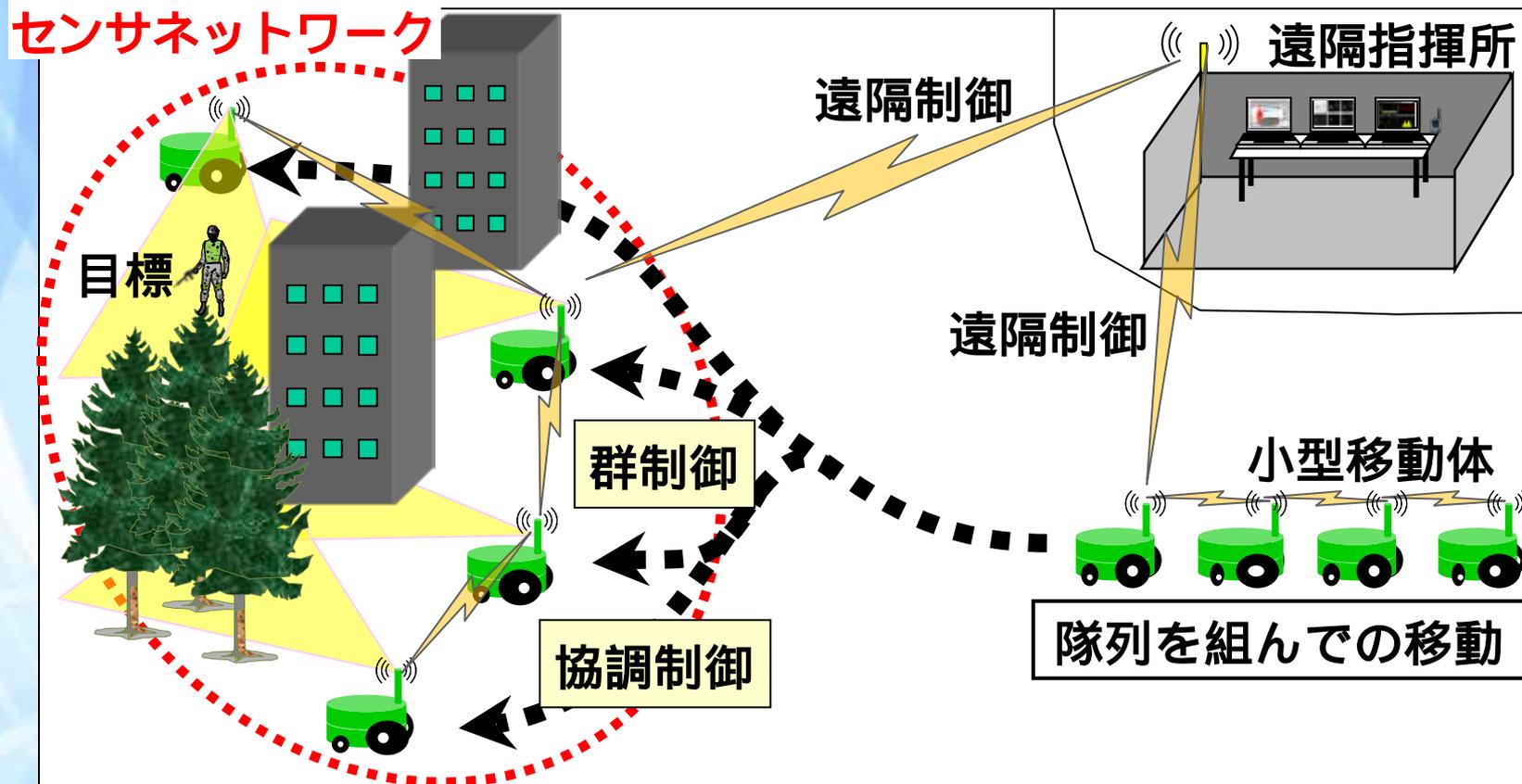


- 多数の移動体を**個別に遠隔制御**することは、**通信や信号処理能力**から困難
- **高価な移動体**を多数使用したシステムの**取得は困難**

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同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



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**

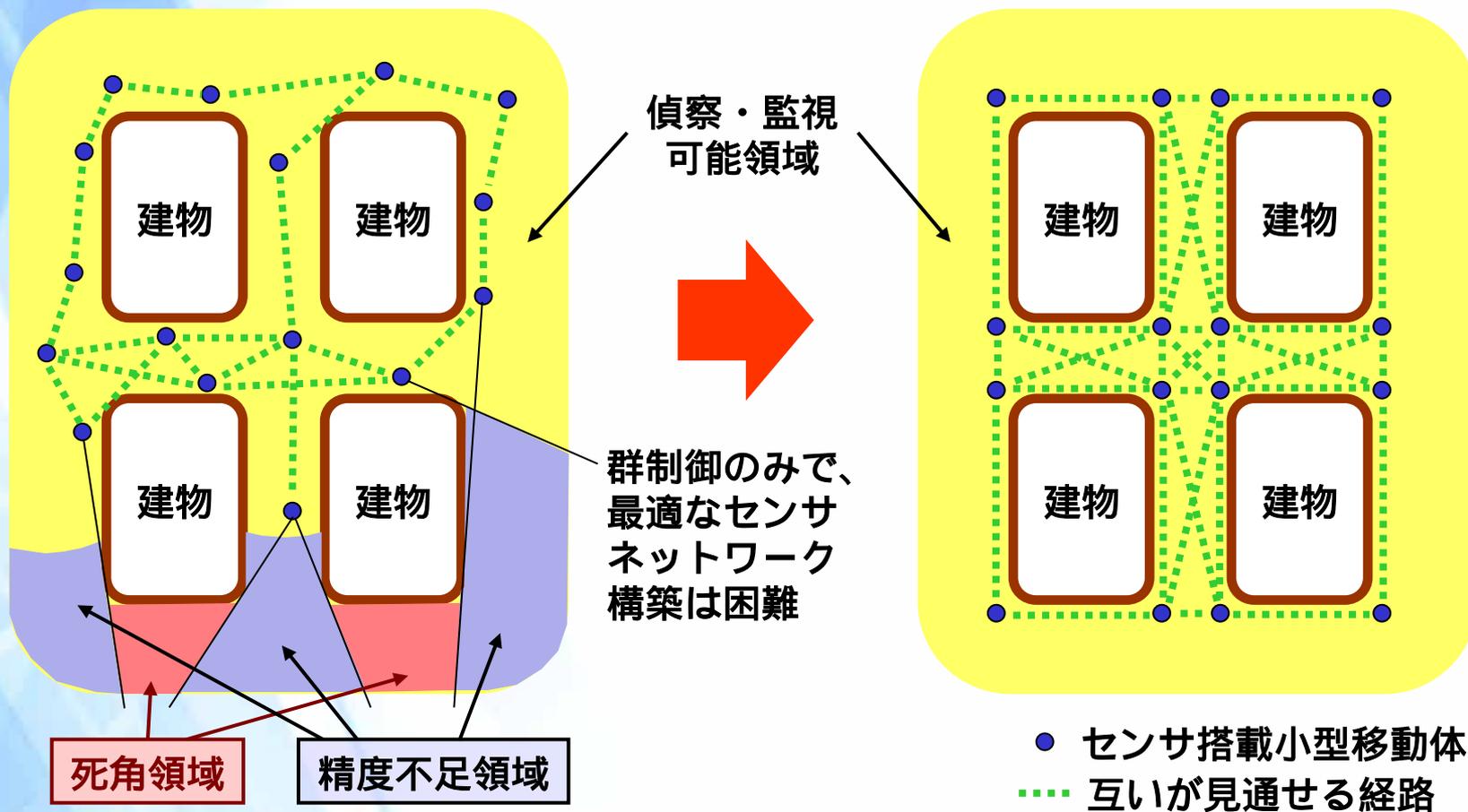
センサネットワークの構築（群制御と協調制御）

群制御のみ

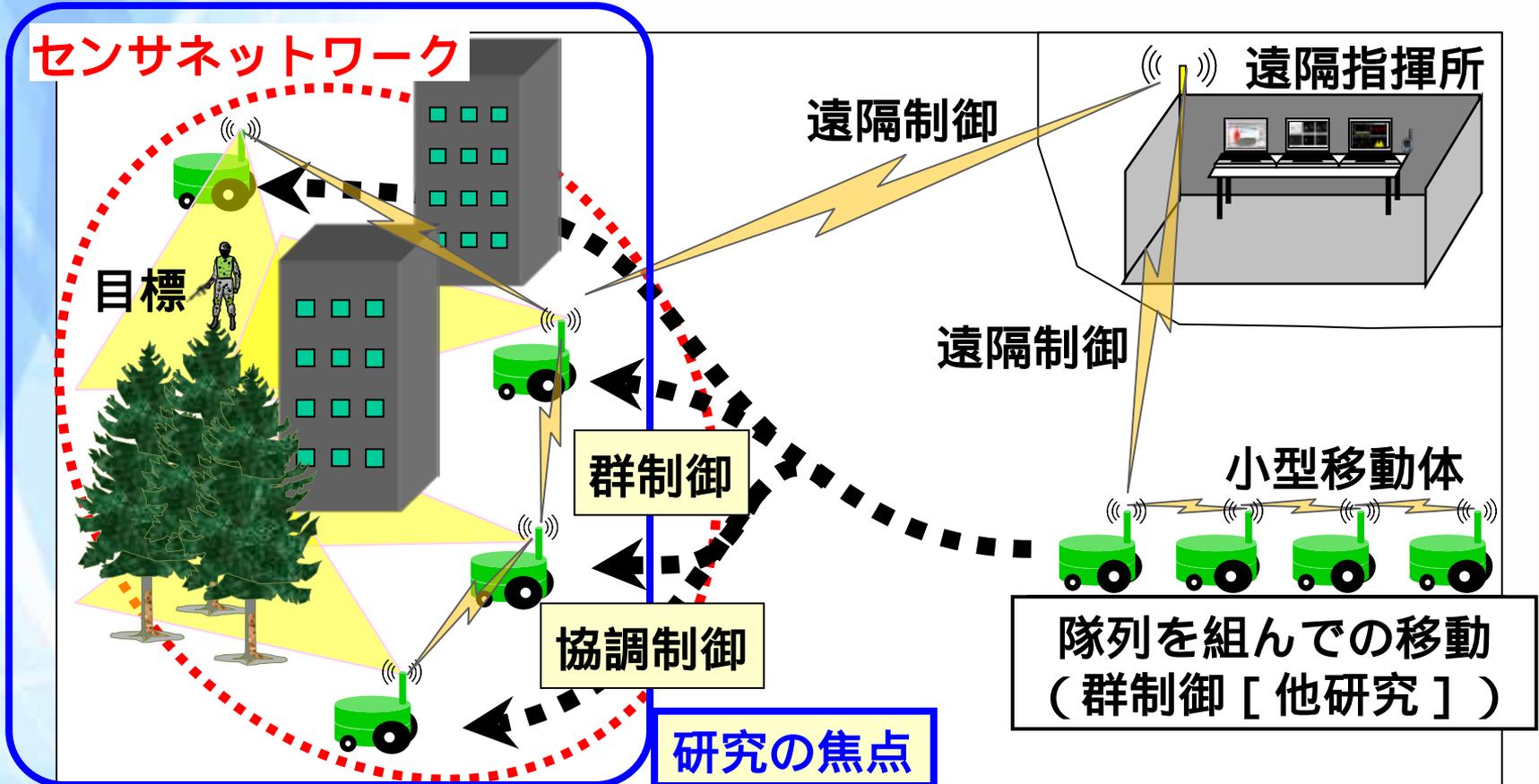
群制御とは、群れを作る制御であり、個々の移動体が他からの情報なしで群れを作るのが理想

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

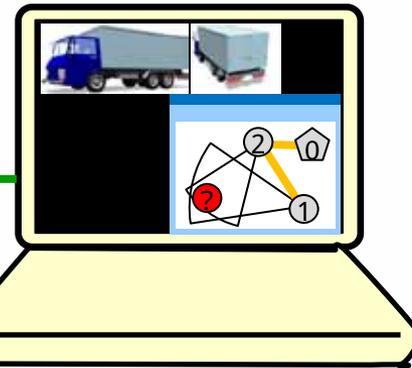
研究の進め方（相対位置関係把握と目標位置情報取得）

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

センサ
ネットワーク

センサヘッド2

無線
ネットワーク



遠隔指揮所

センサヘッド間の相互
位置推定精度向上



移動体全体の相対位置関係
の把握

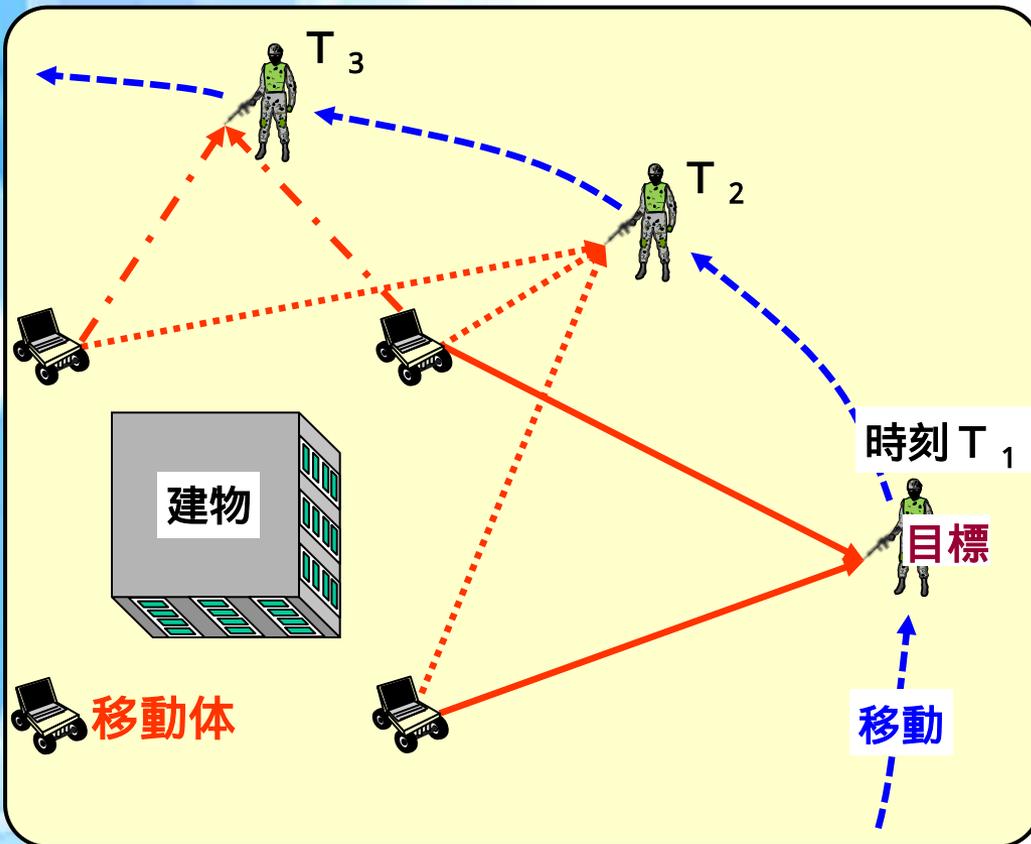
センサヘッド：各小型移動体に搭載
される複数のセンサシステム



目標

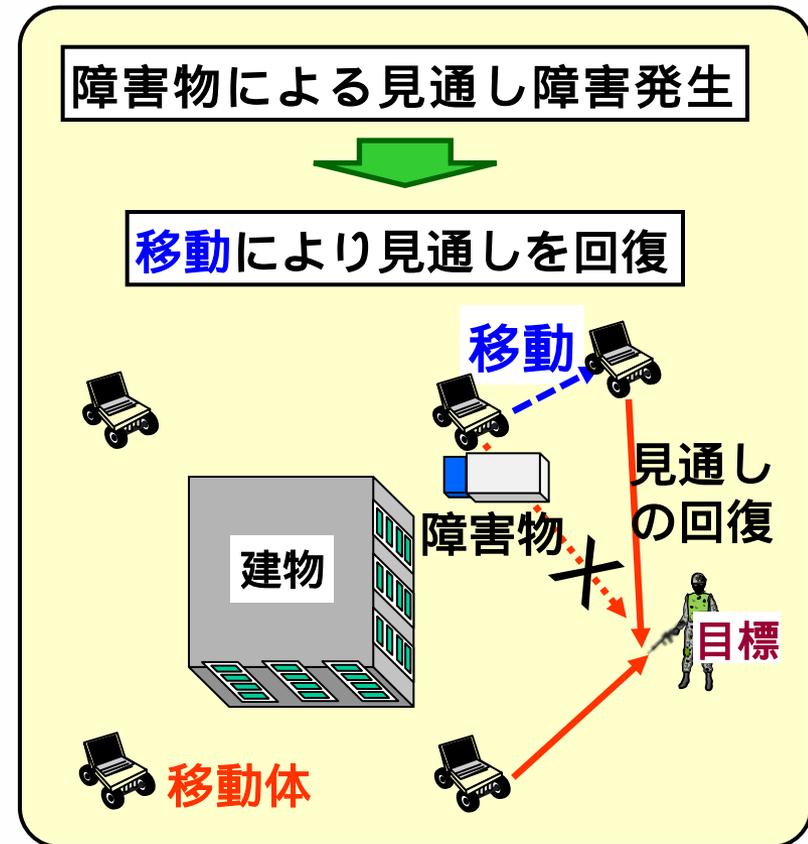
センサヘッド1

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

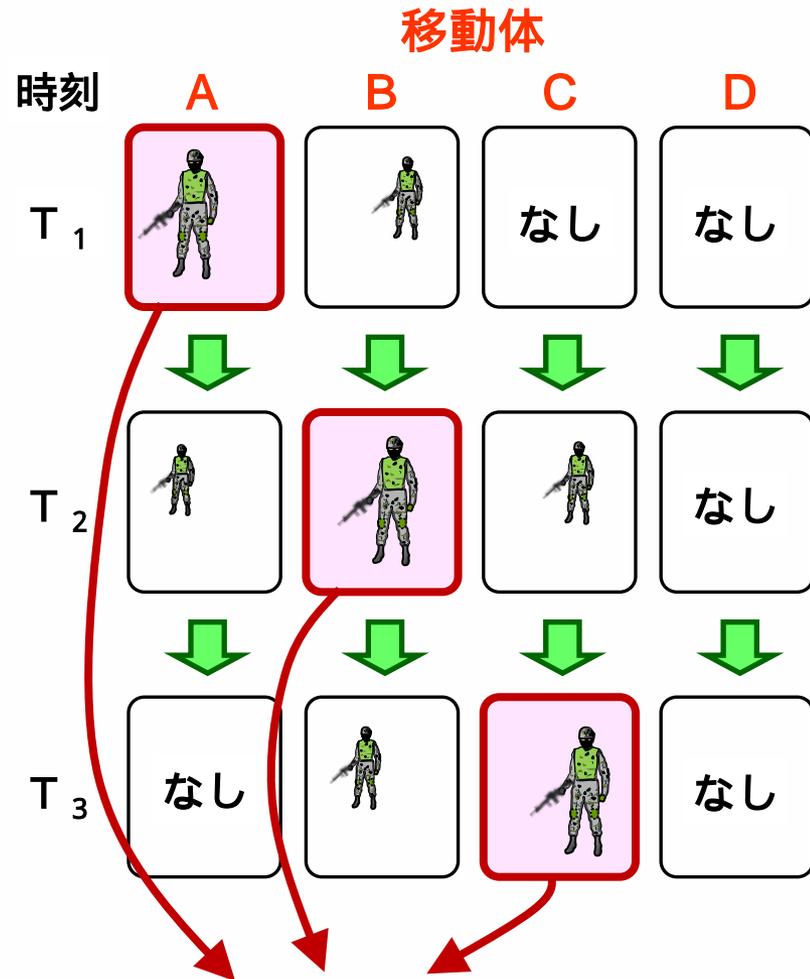
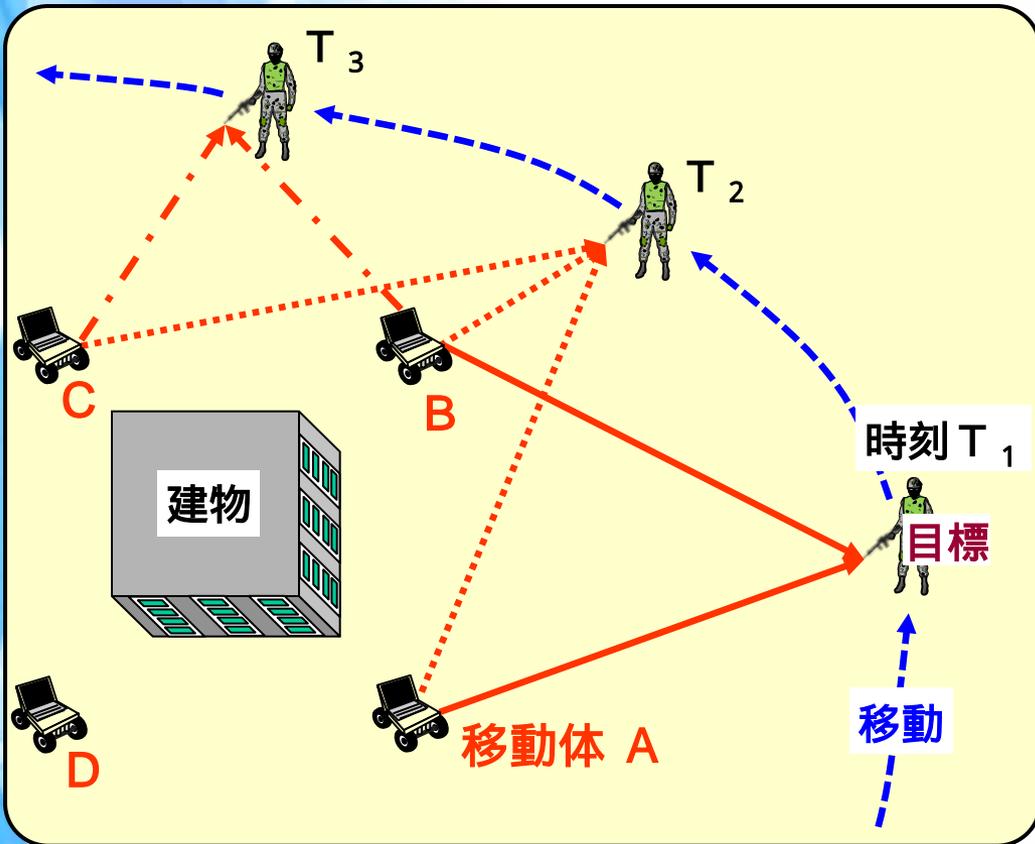


(2) センサネットワークの復旧

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）

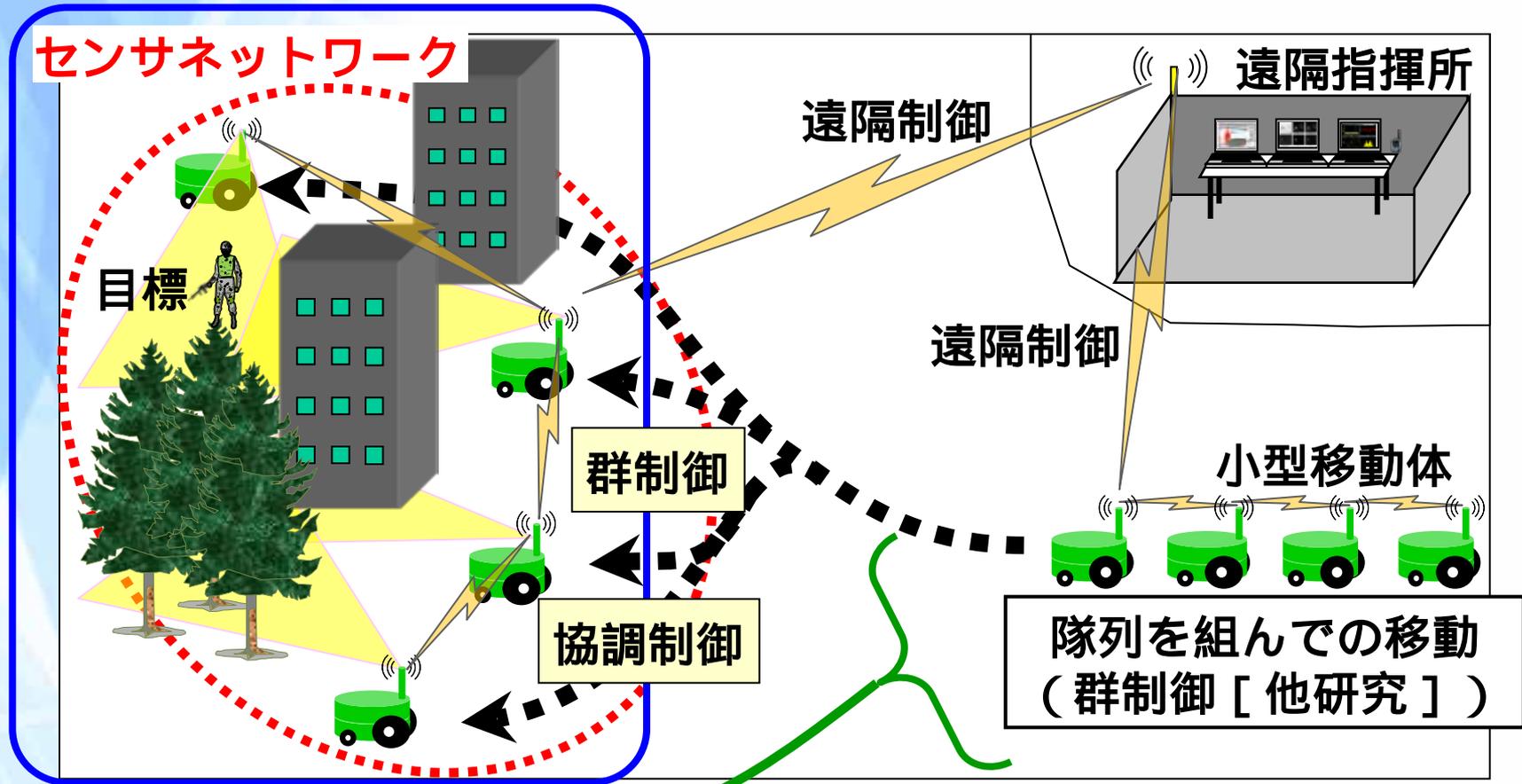


有効な情報を抽出してから、そのデータを
 伝送することで、情報伝送量を低減

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

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

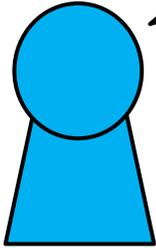
方法

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…

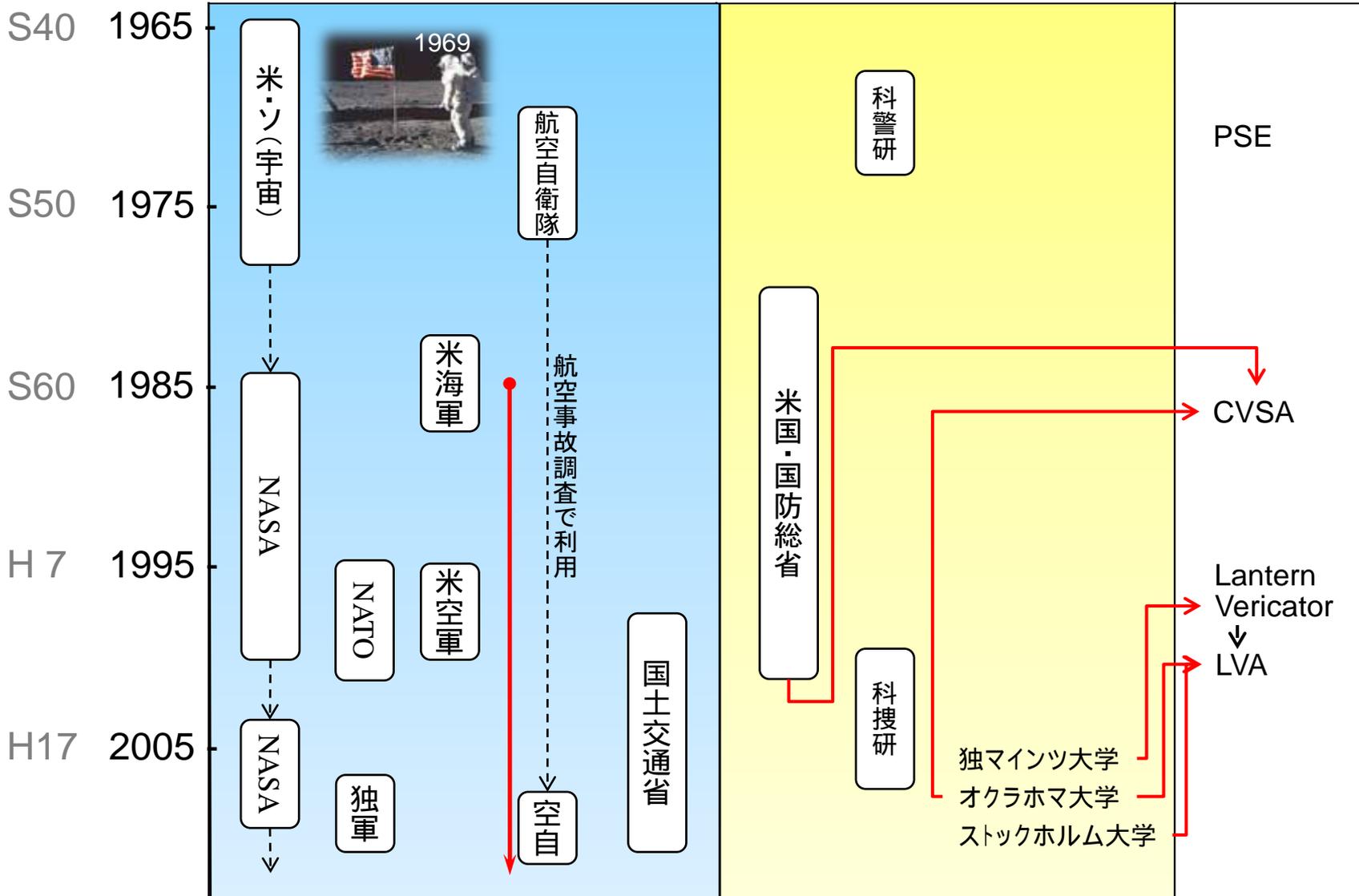


背景

感情、疲労

虚偽検出

市販ソフト



背景

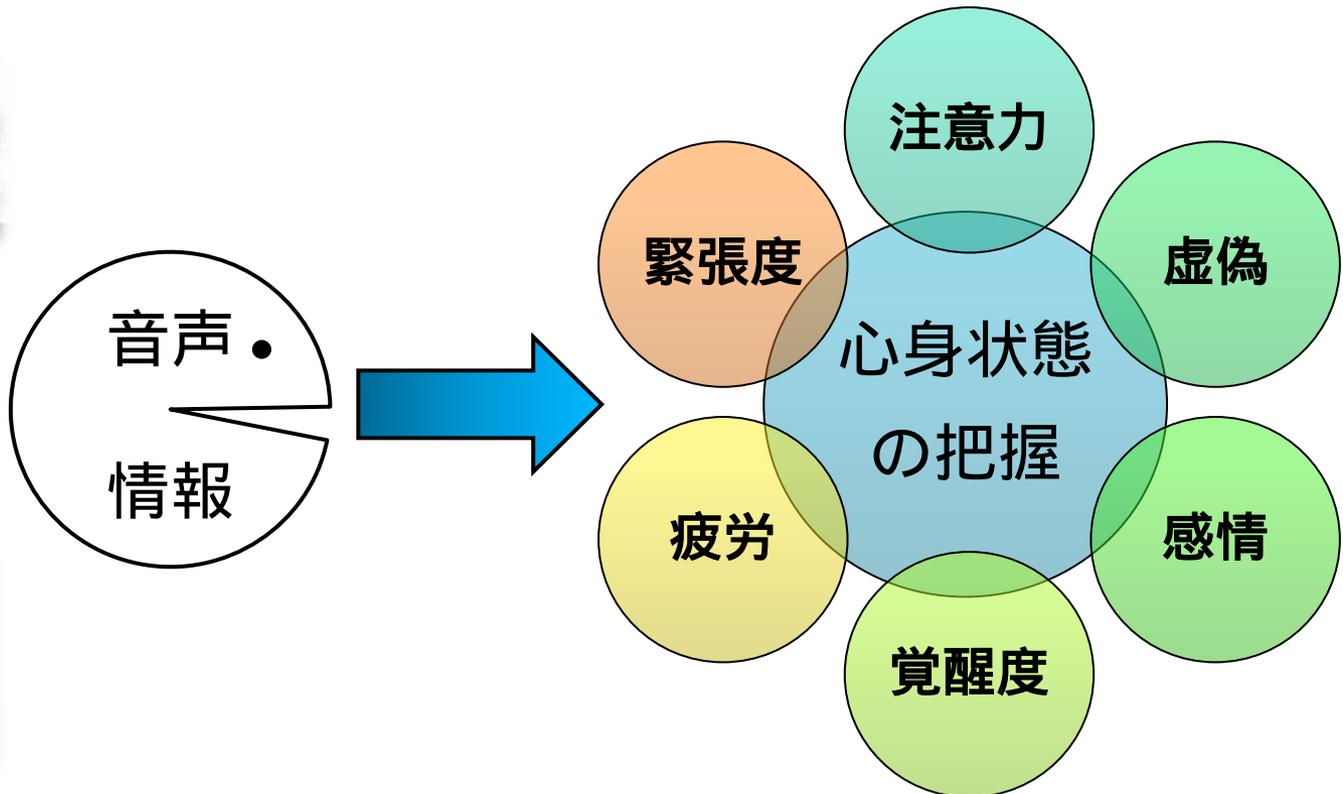
目的

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。

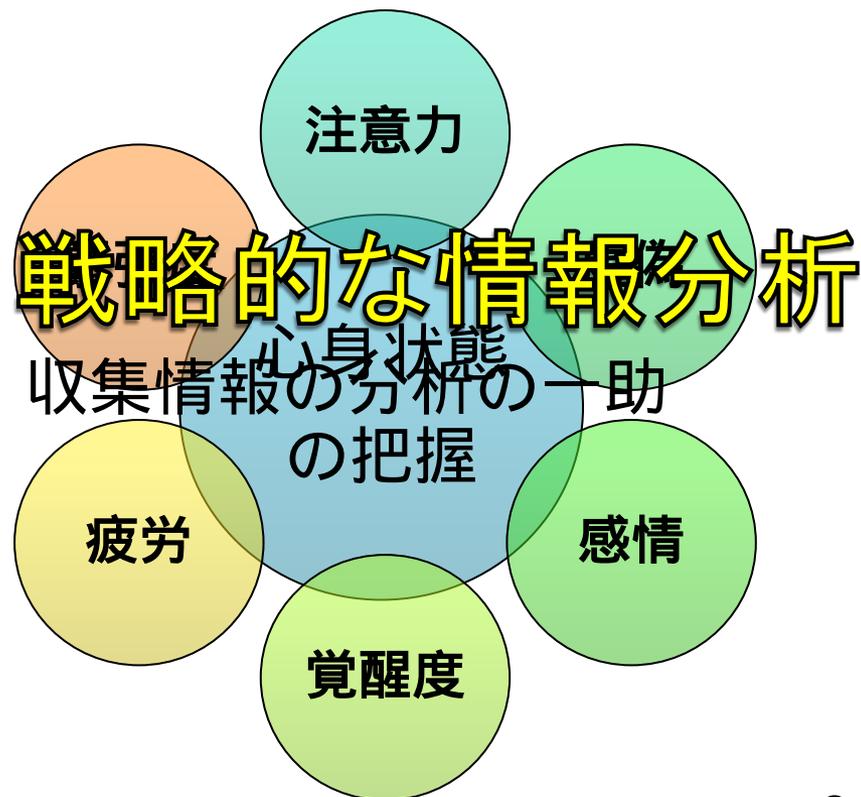


目的

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

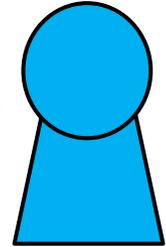
成果の運用例(概念図)

隊員の心身状態把握

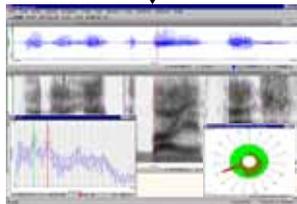


指示、助言

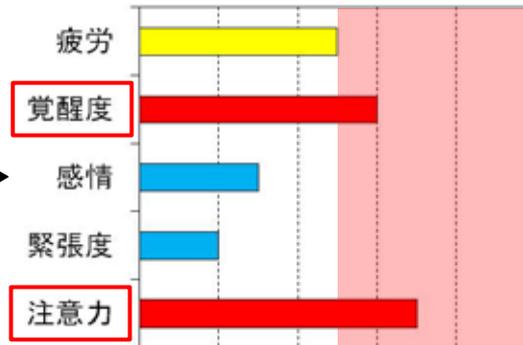
フィードバック



音声入力



音声分析
アルゴリズム



分析結果

背景

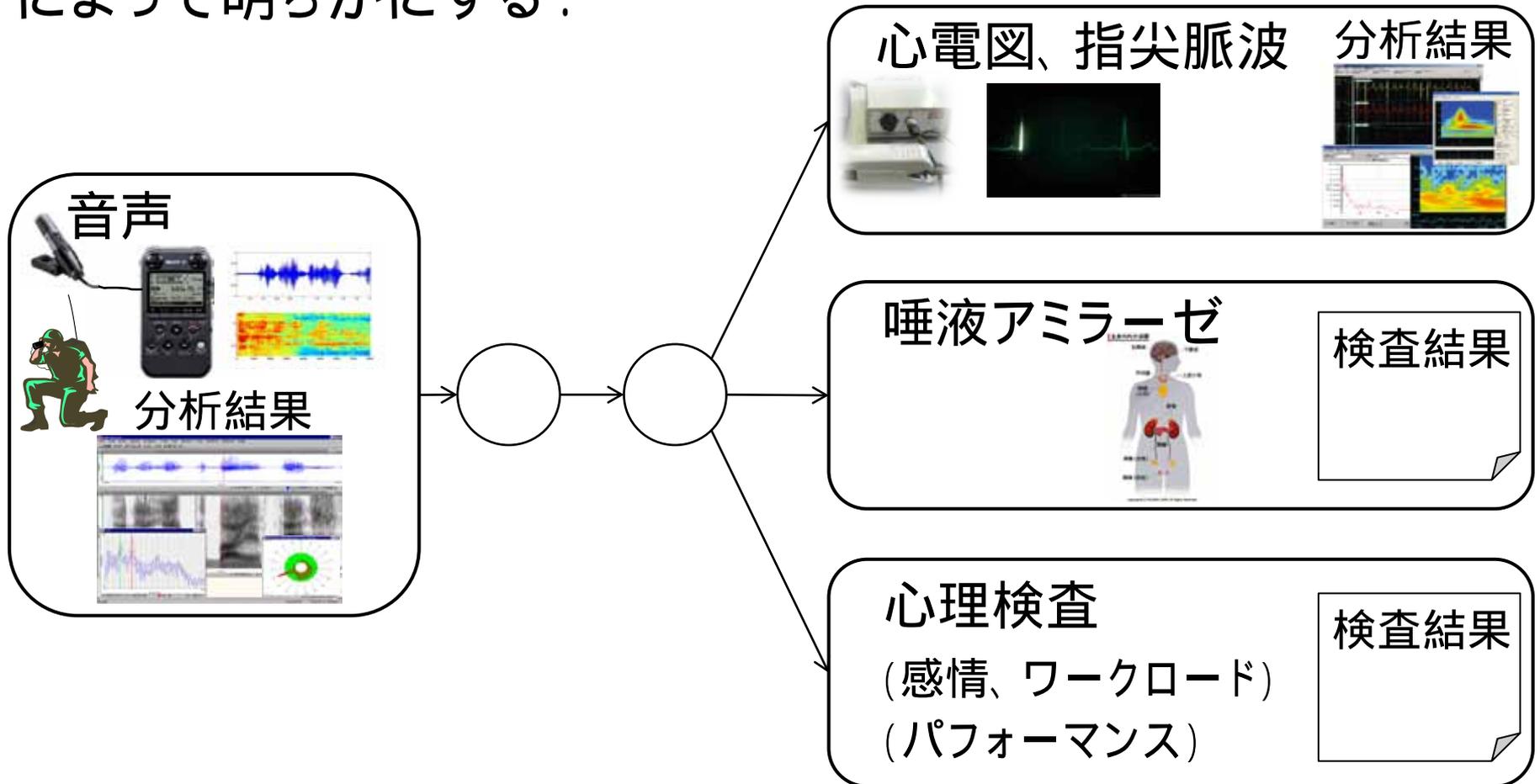
目的

方法

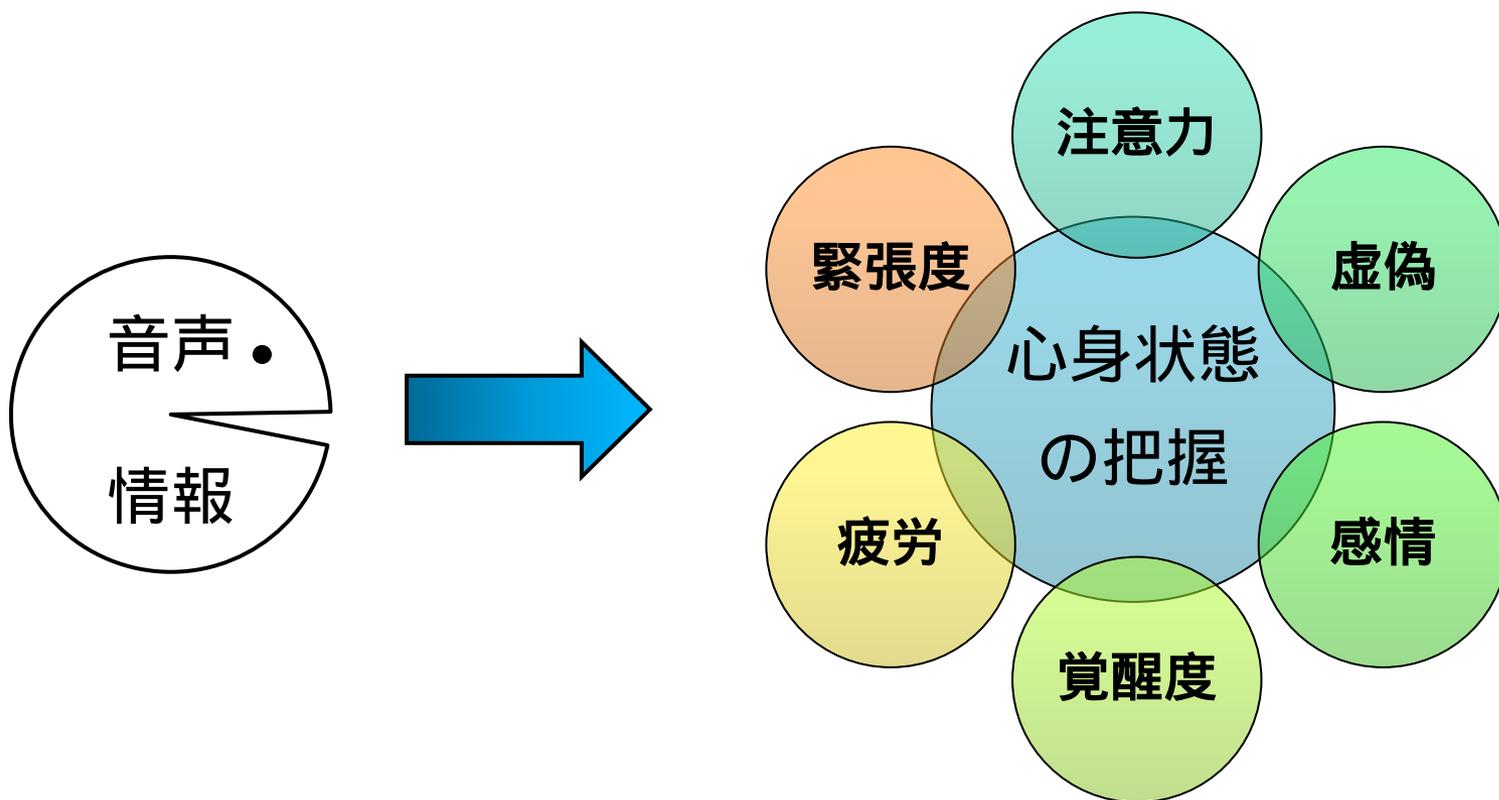
まとめ

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。

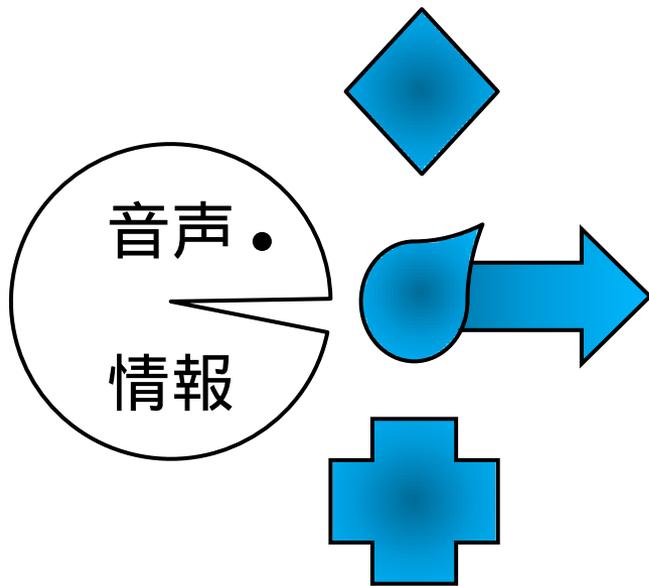


方法

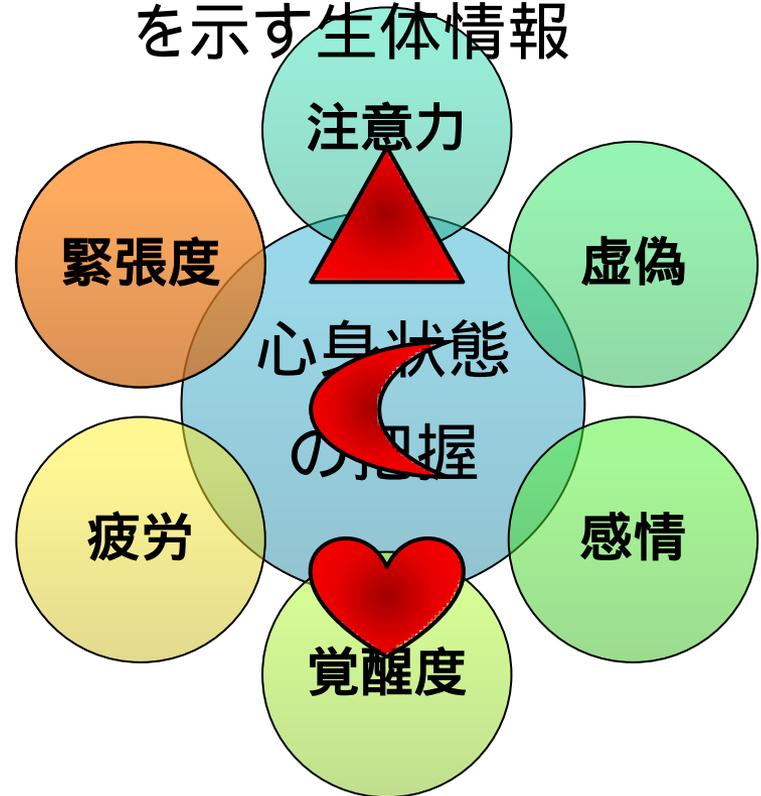


方法

音声情報



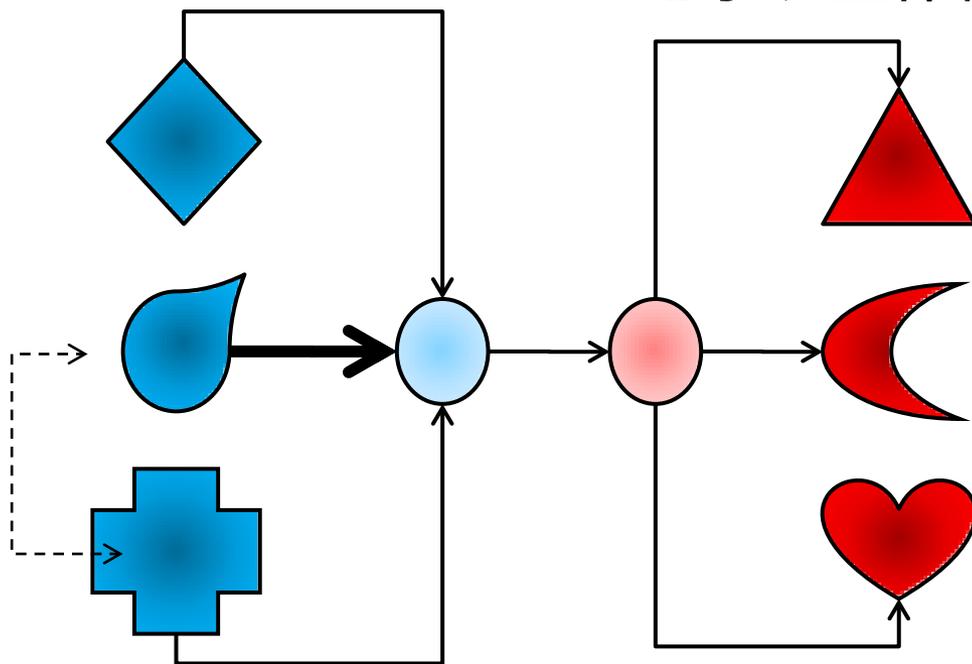
交感神経系の亢進
を示す生体情報



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

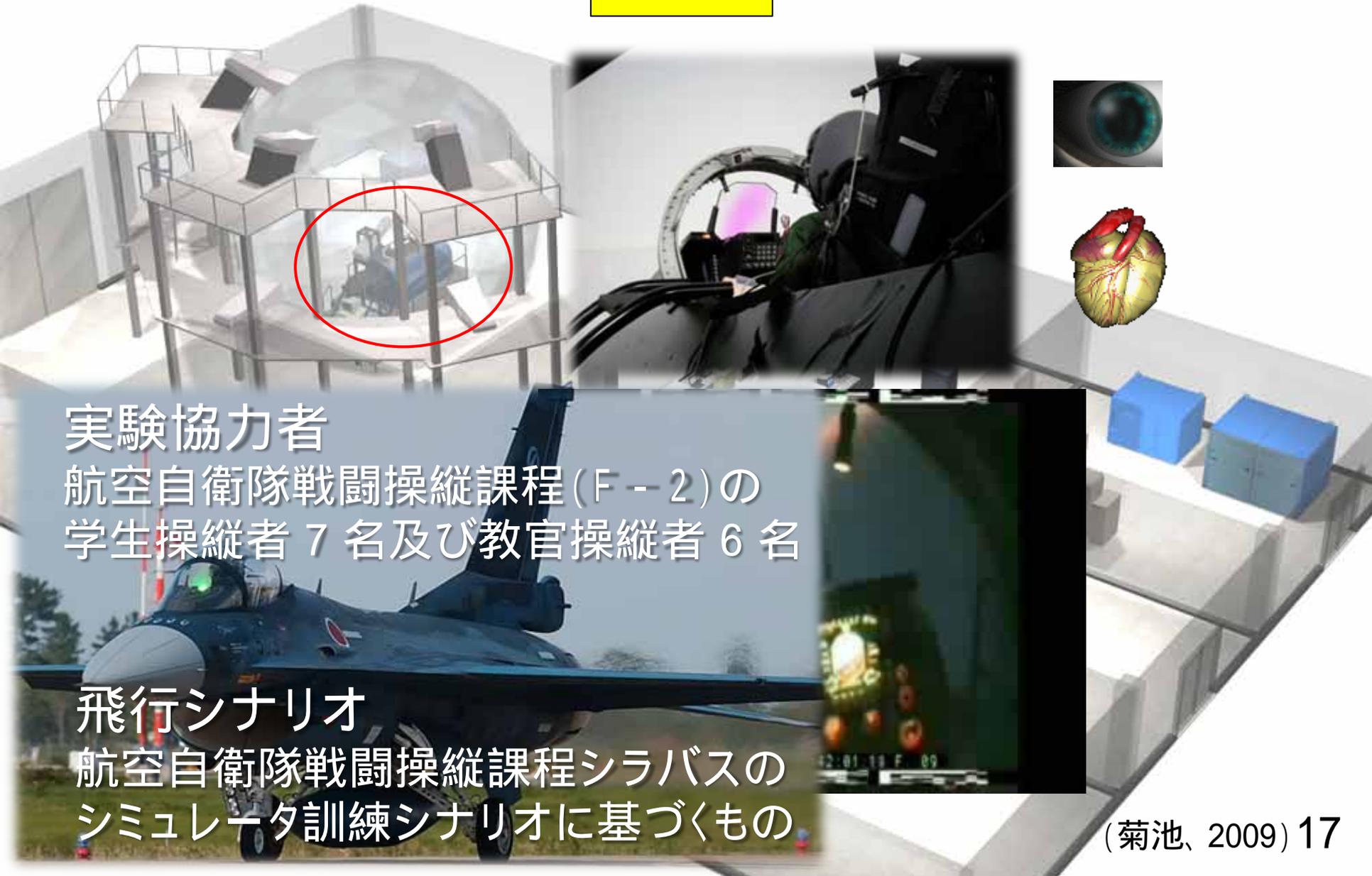
Hiroto Kikuchi (2010).
Effects of Mental Stressors during Flight on Prosodic Features of Speech
and Autonomic Nervous Responses.
Annual Seminar of the International Society of Air Safety Investigators.
(国際事故調査官協会年次研究会)

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

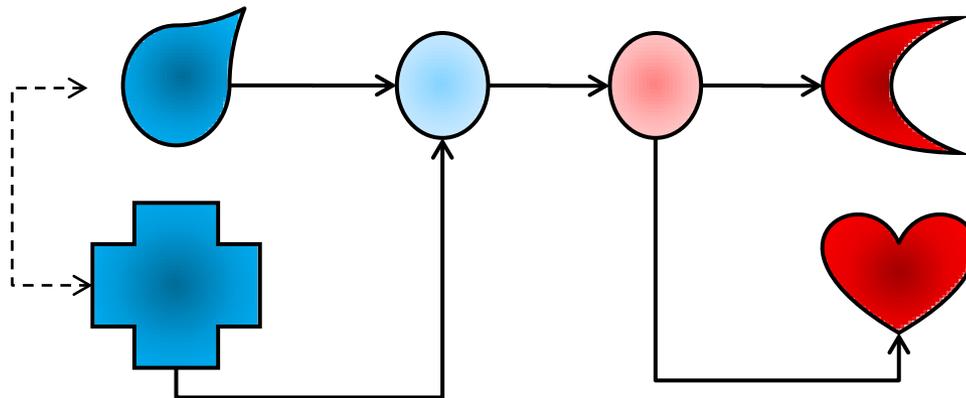
参考とする先行研究

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)

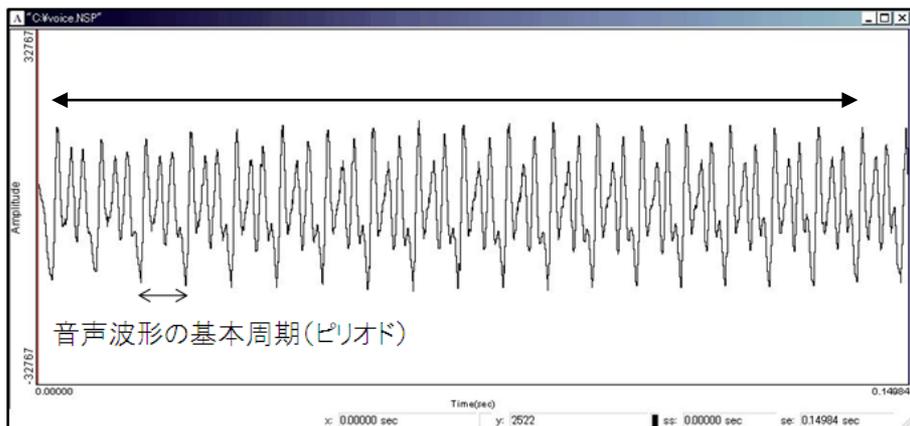
心拍数
(ドキドキ具合)



方法

参考とする先行研究

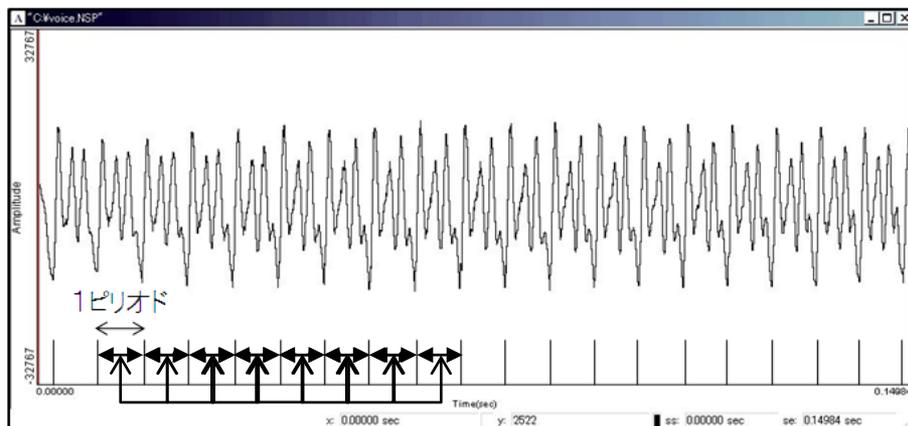
音声基本周波数 (声の高さ)



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

$T0^{(i)}$, $i=1,2,\dots,N$: 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

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。

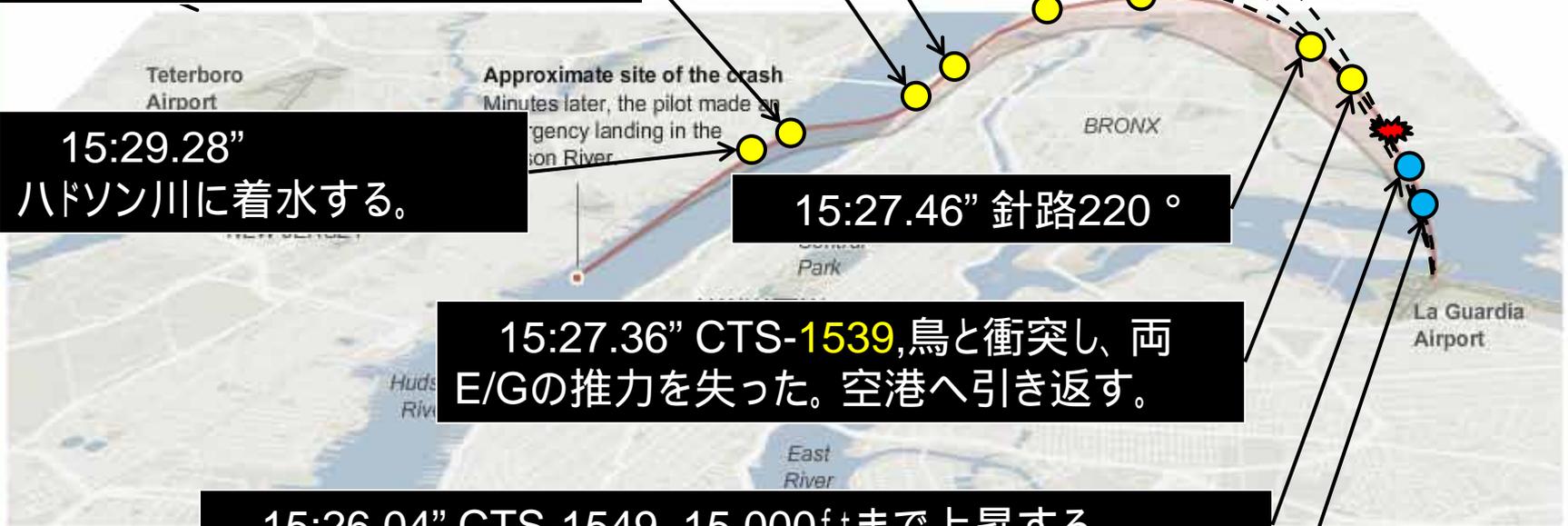
15:29.28”
ハドソン川に着水する。

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。





5 km

5 km

2 マイル

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

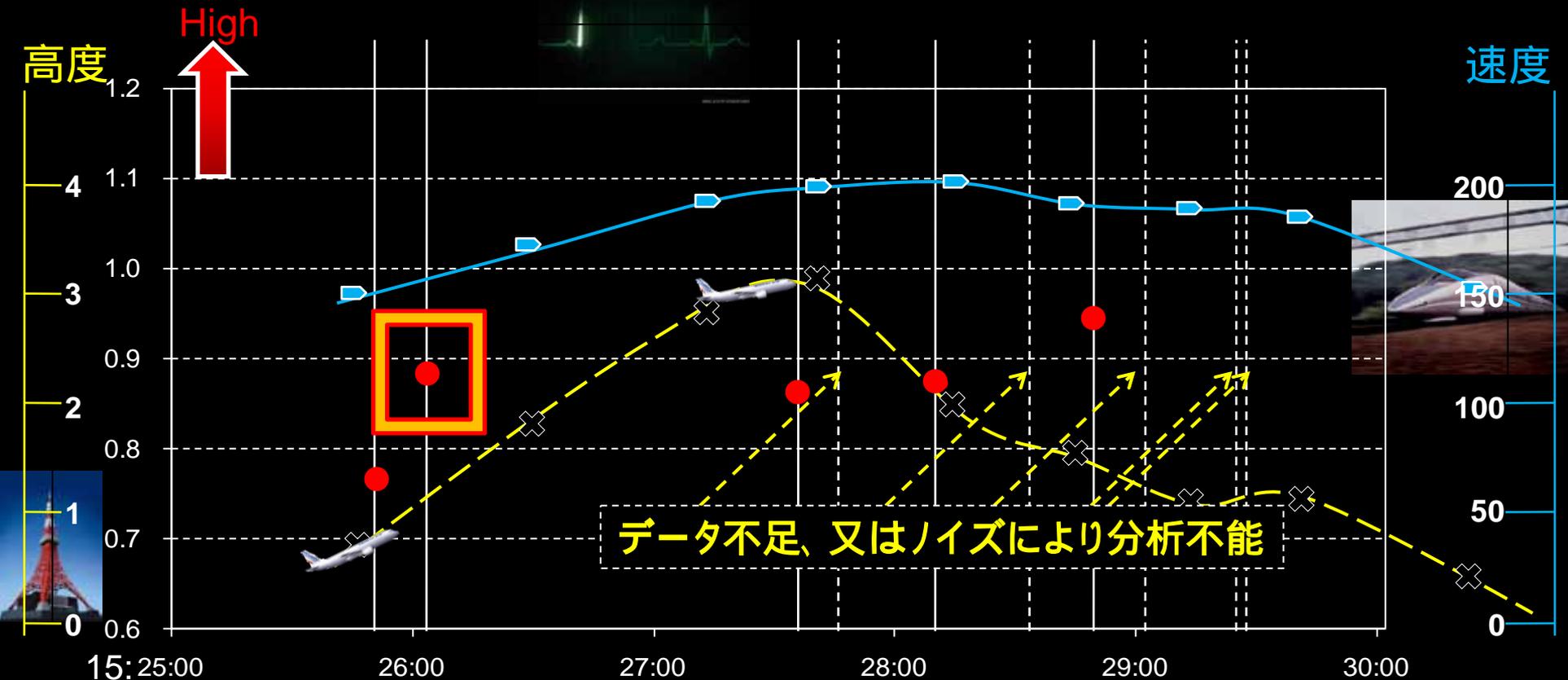
どの滑走路でも着陸できない。
右手の teterboro 空港はどうだろう。

(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。

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 榎本 薫

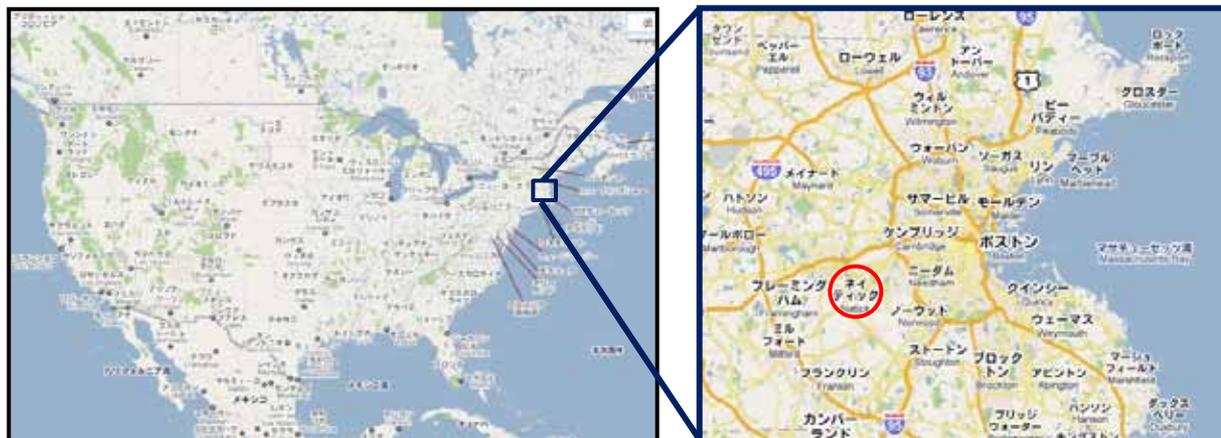
本発表の概要

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 Army NSRDEC) 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

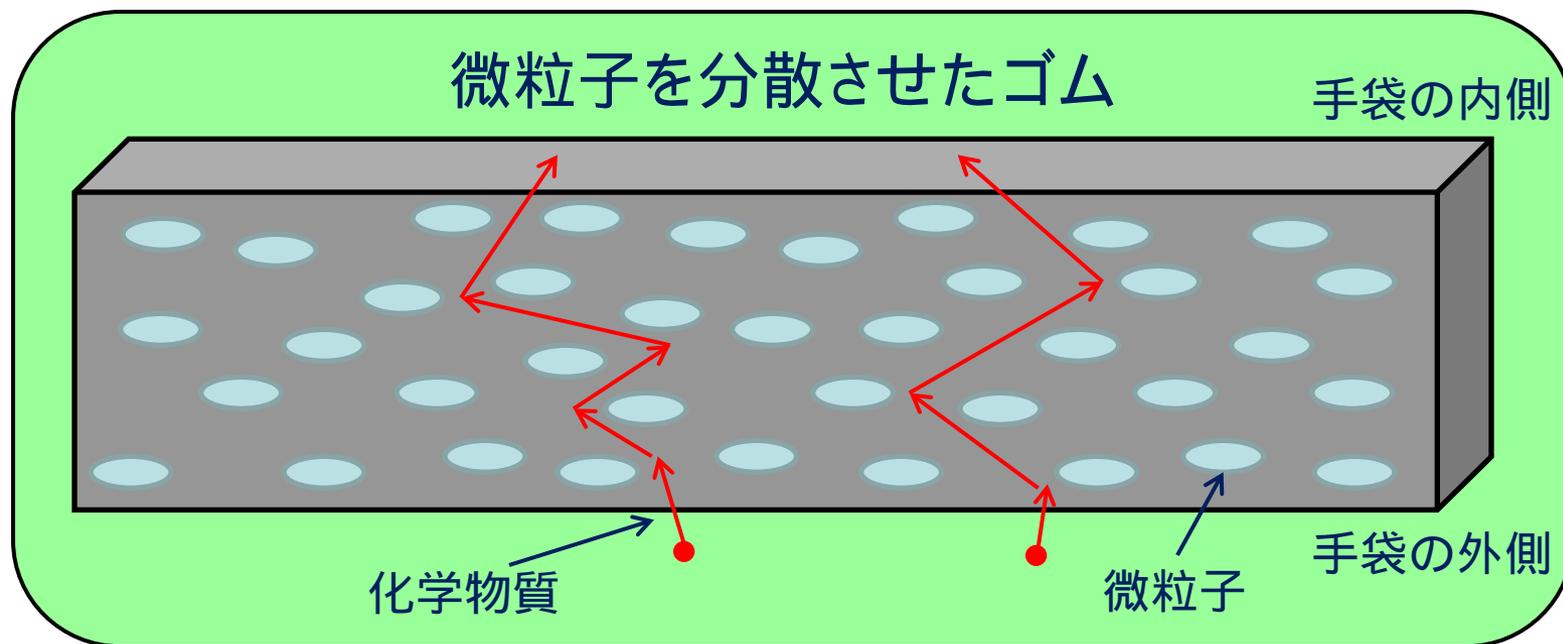


ブチルゴム手袋

- ・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1 μm)
	カーボンナノチューブ (CNT)	C	チューブ状 (直径2nm、長さ15 μm)

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

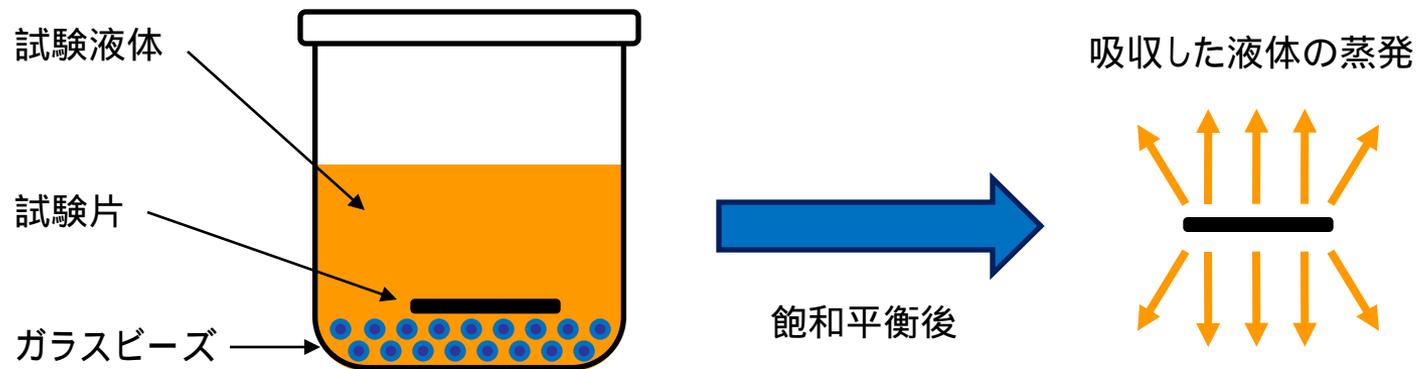
<http://www.internationalcrystal.net/icl77a.htm#>

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15 μ m、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。

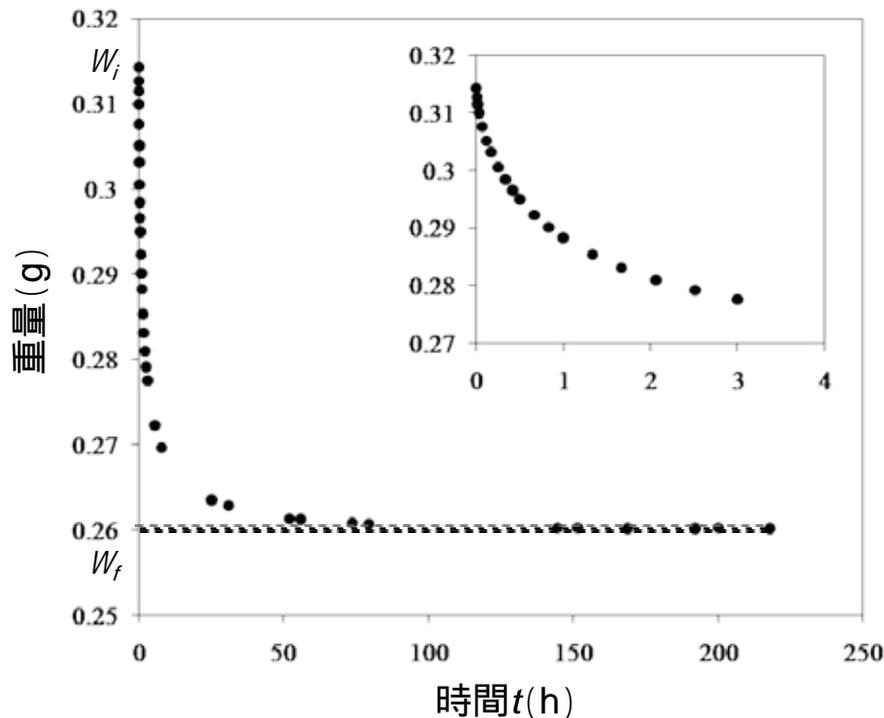


液体として酢酸エチル、*N,N*-ジメチルホルムアミド、1,2-ジクロロエタンの3種類を用いた。

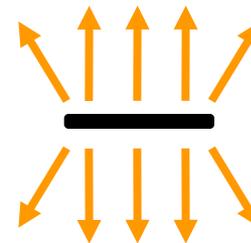
(ASTM1001-99a Standard Guide for Selection of Chemicals to Evaluate Protective Clothing Materials 参照)

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

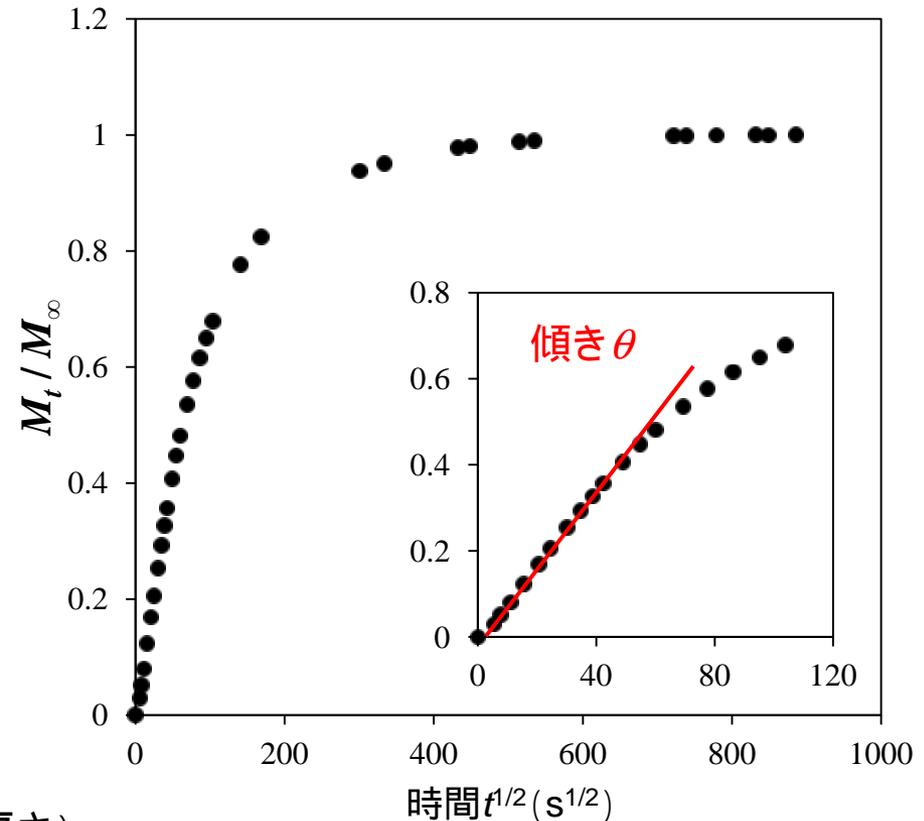
試験片重量 (W_t) は、初期値 (W_i) から時間経過とともに減少し、終了値 (W_f) で一定となった。

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 θ 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。

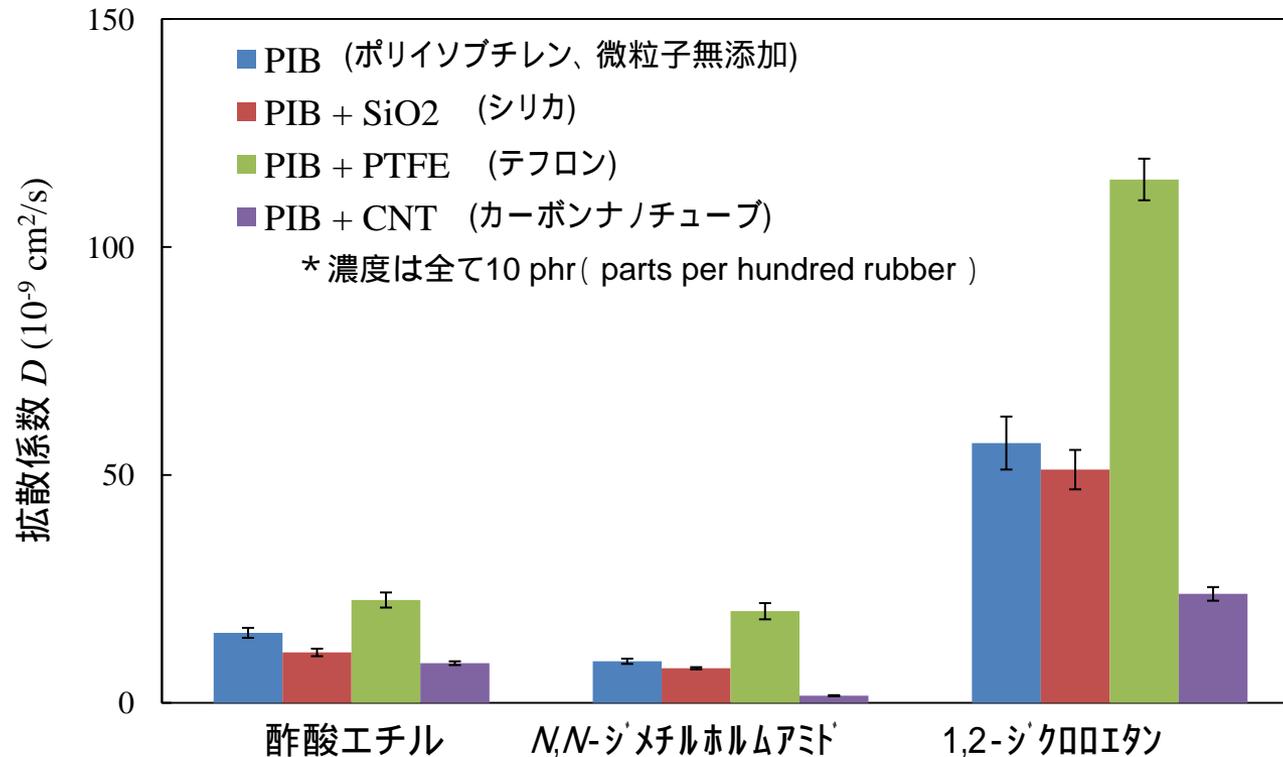
$$D = \frac{\pi \theta^2 h^2}{16} \quad (\text{ここで、} h \text{ は試験片の厚さ})$$



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。

低RCS目標を見つける GaN送受信モジュール

TRDI

Technical Research & Development Institute
Ministry of Defense

電子装備研究所 センサ技術研究部

レーダ研究室

防衛技官 入江 寿憲

1. 研究背景
2. 研究目的
3. 送受信モジュールについて
4. GaN* スイッチの測定結果
5. GaN送受信モジュールの測定結果
6. 研究の成果について
7. まとめ

* GaN: Gallium Nitride 窒化ガリウム

将来の脅威
目標の一例

低RCS



弾道ミサイル
(弾頭部)

RCS(Radar Cross Section)
レーダ反射断面積:
反射物の大きさ、材質、形
状等によって値が変わる。

低RCS



ステルス機

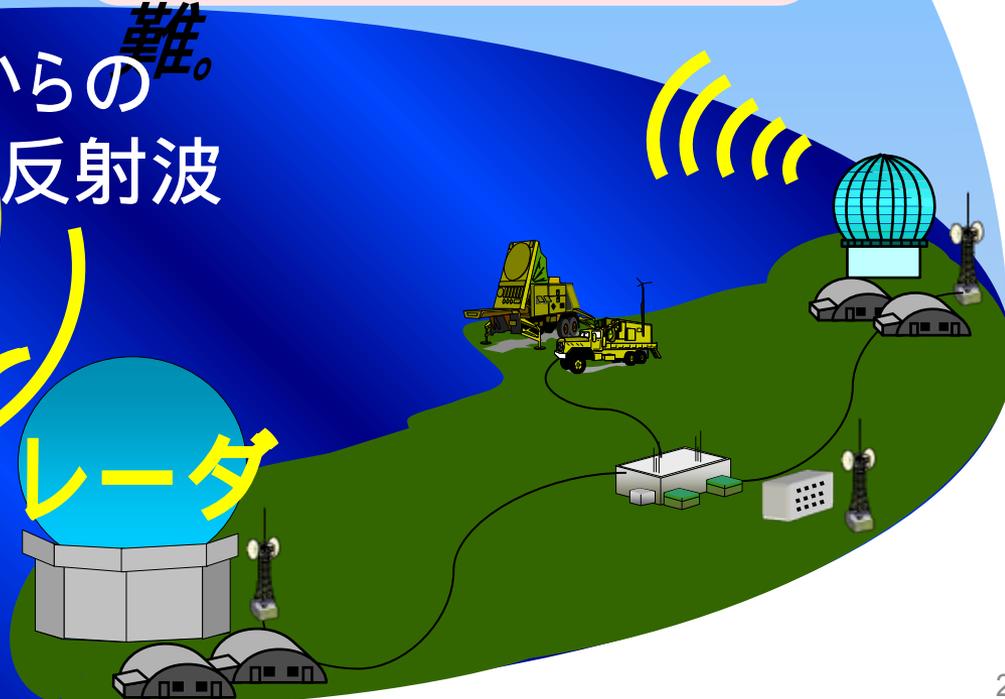
低RCS目標は
レーダ探知が困

低RCS



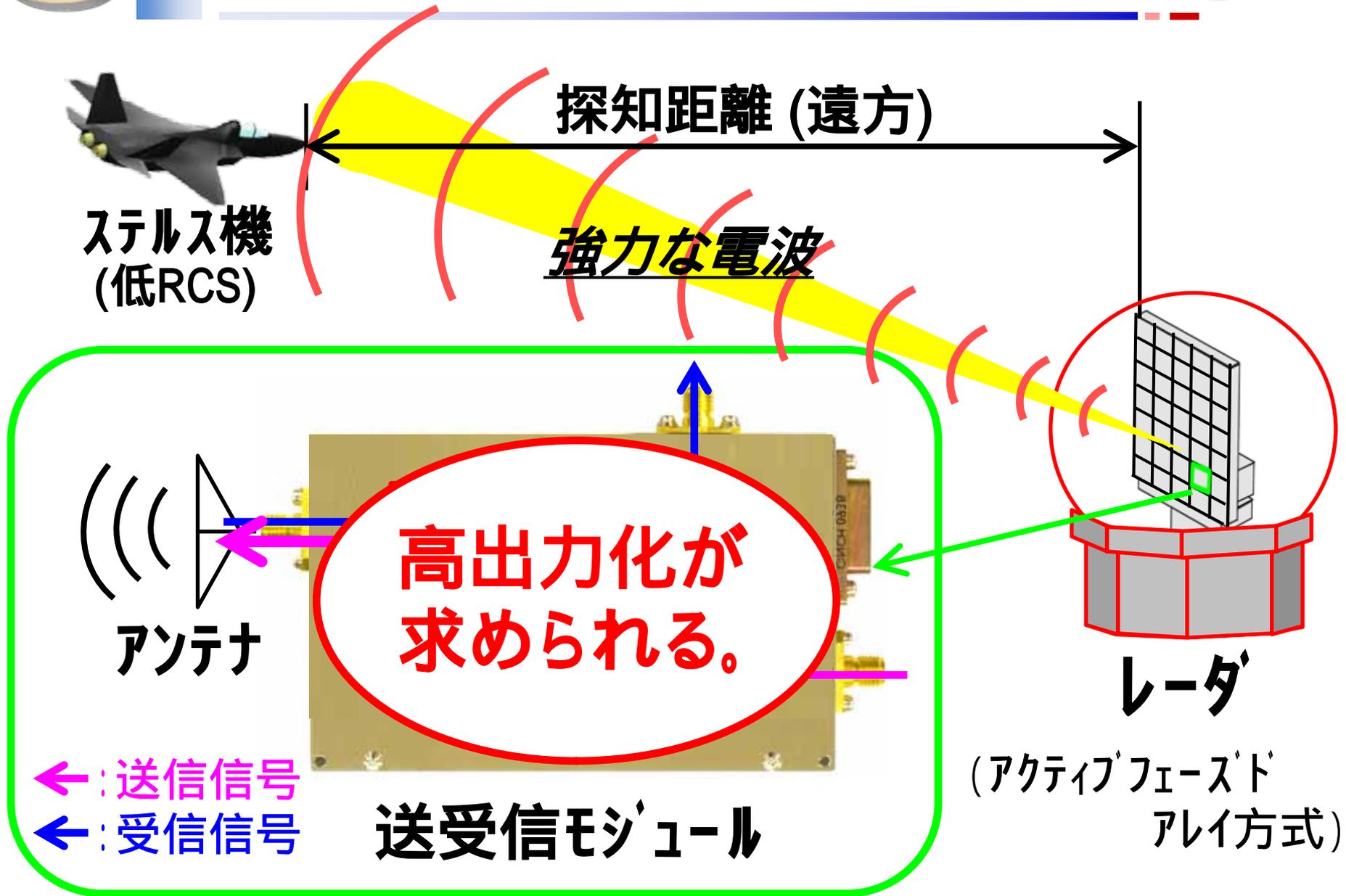
低高度CM*

目標からの
反射波



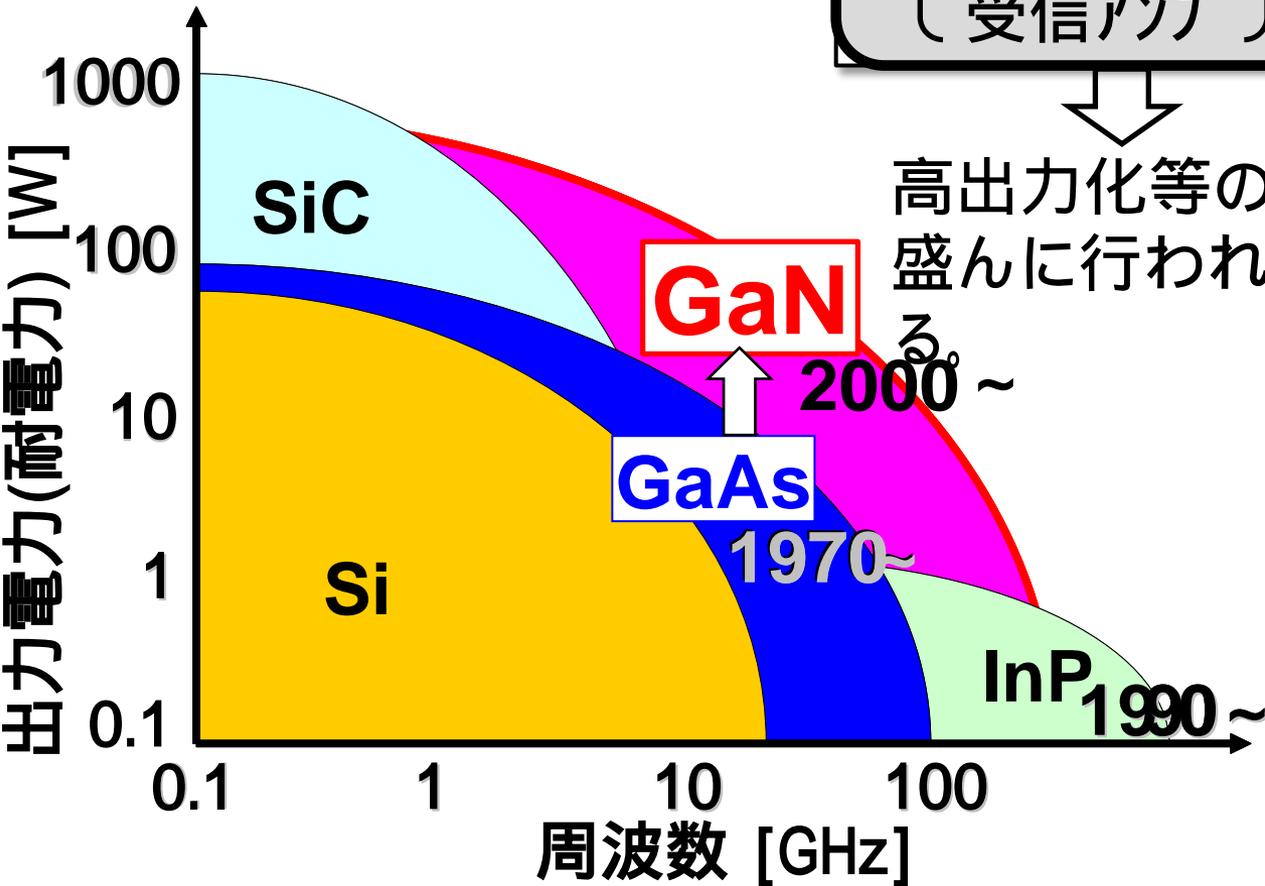
* CM:クルージングミサイル

研究背景 (2/2)



半導体とは: 電流をコントロールできる性質をもつ。

送受信モジュール



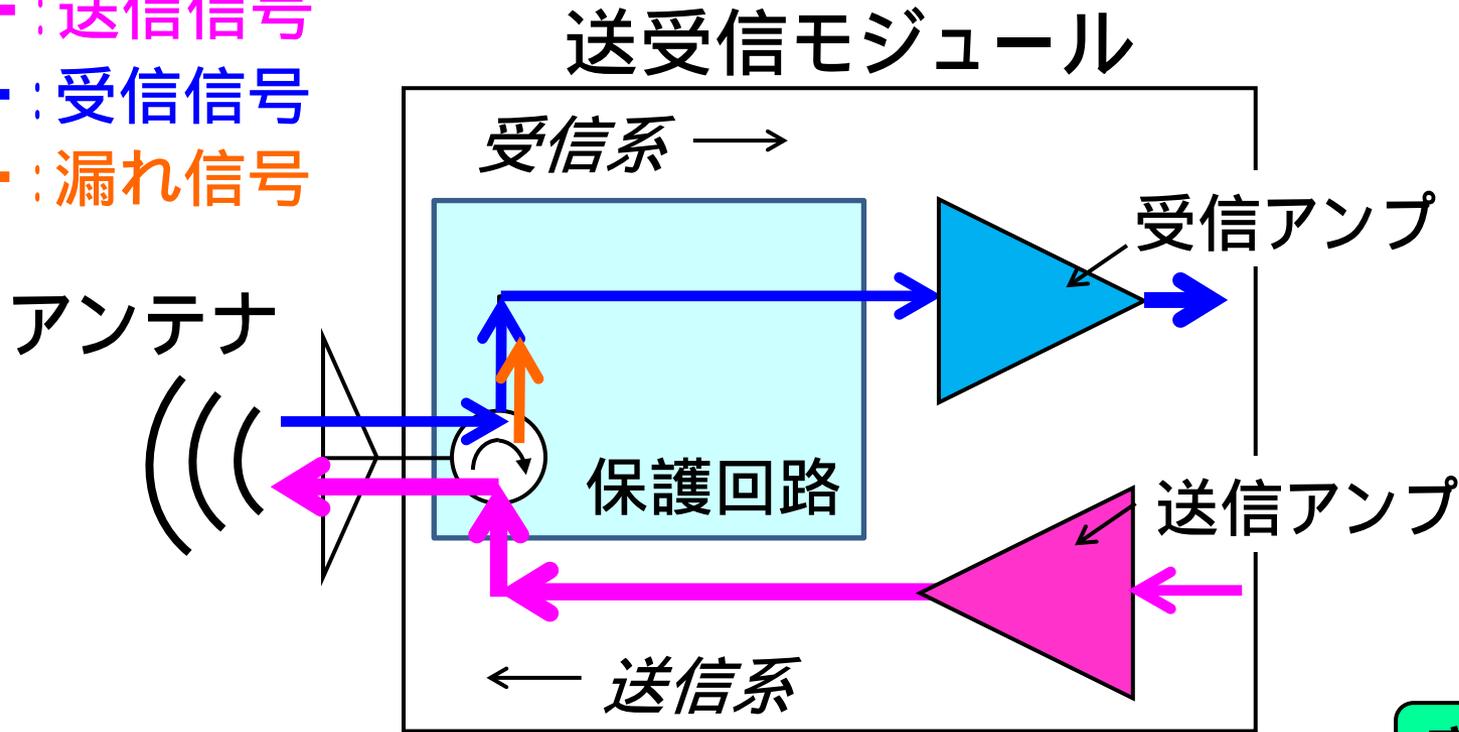
高出力化等の研究が盛んに行われている

GaNスイッチの研究は不十分。

- ・送受信モジュールを構成する保護回路をGaNスイッチに置換することにより送受信モジュールの高性能化を図る。
- ・GaNスイッチを適用した送受信モジュールの送信電力はL帯で世界最高レベルの 200 W以上をねらう。

送受信モジュールについて

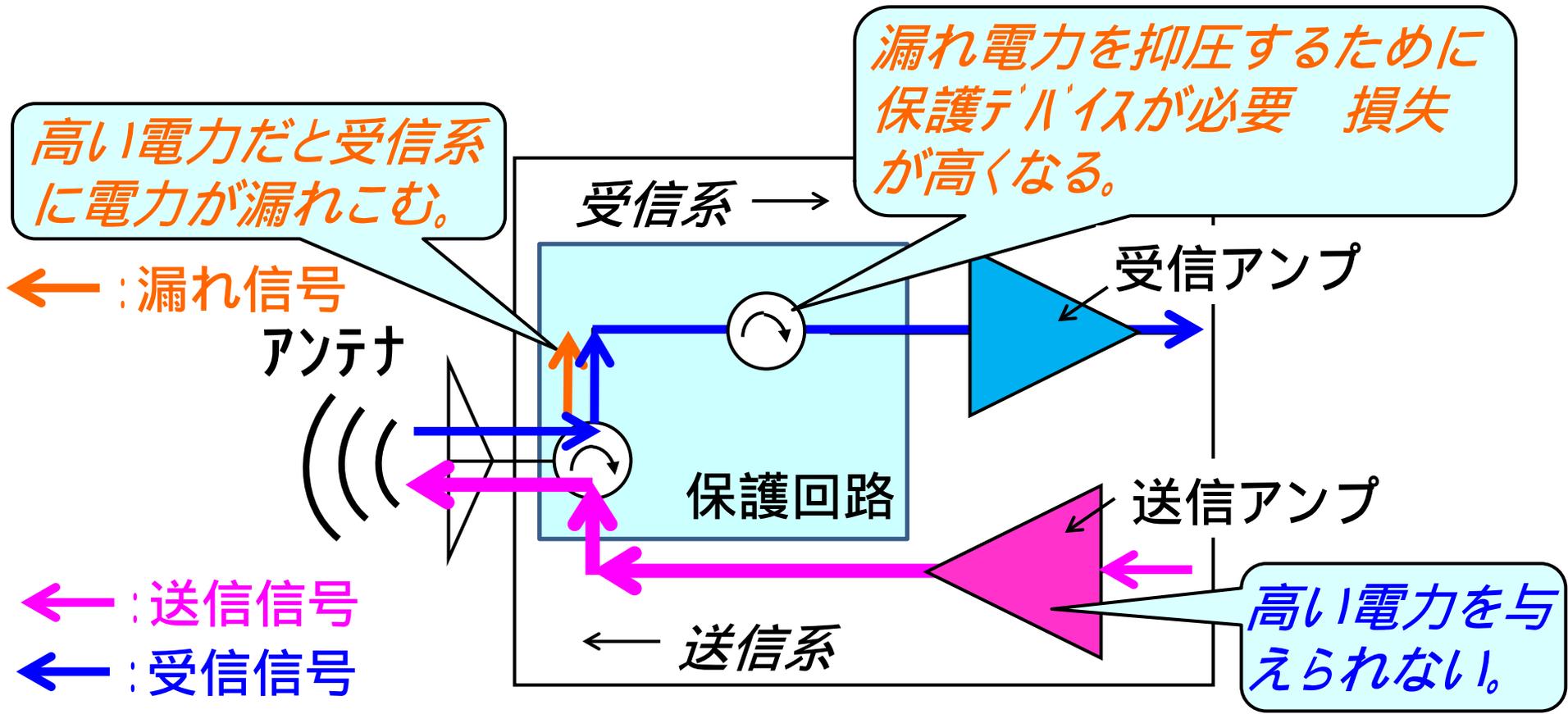
- ← : 送信信号
- ← : 受信信号
- ← : 漏れ信号



- 送受信モジュール
1. 送信アンプ ⇒ 高い電力を作り出す。
 2. 受信アンプ ⇒ 高い電力を作り出す。
 3. 保護回路 ⇒ 受信アンプを保護する等。

意外と重要

高性能化の課題



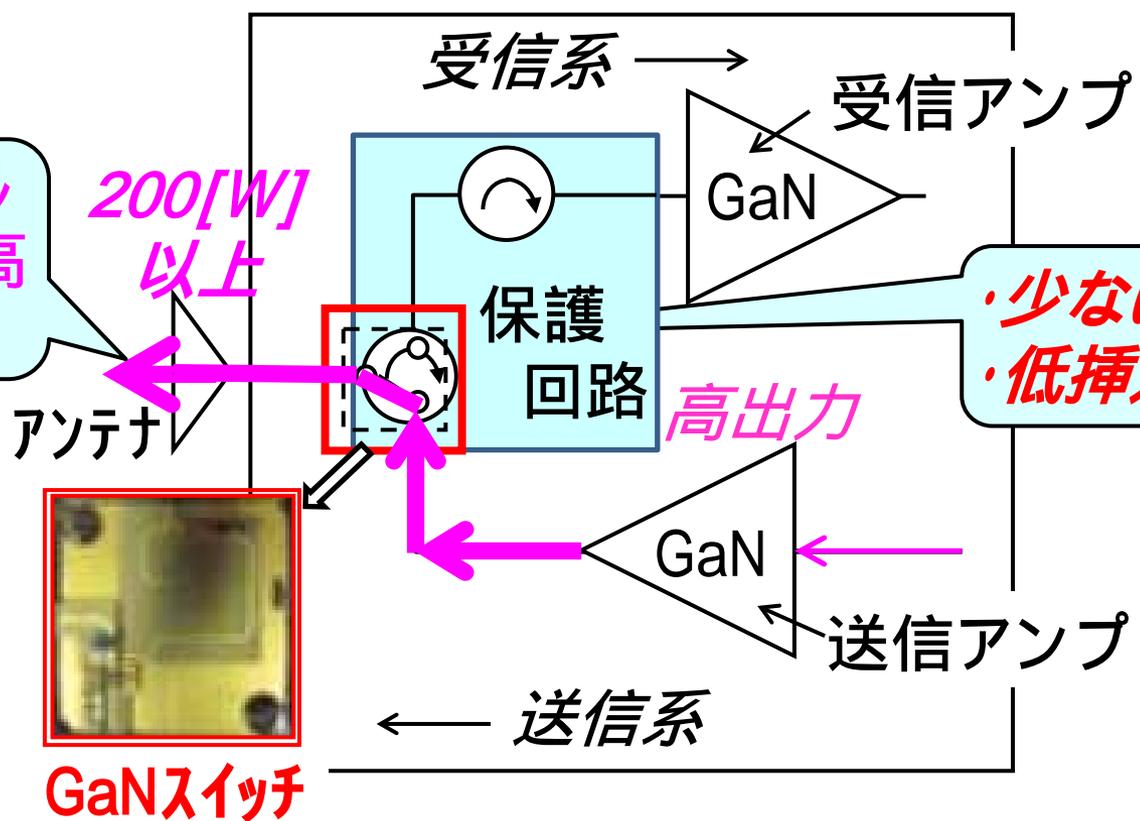
- ・耐電力の低い半導体
- ・高い漏れ電力
- ・高い挿入損失

↓

低RCS目標の探知が困難。

本研究

送受信モジュールとして世界最高レベルの出力



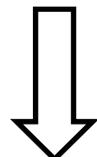
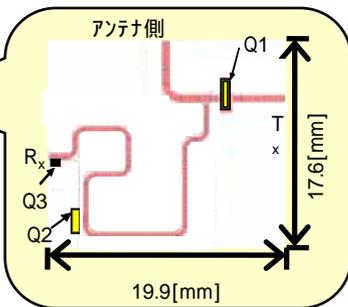
少ない漏れ電力
低挿入損失

少ない漏れ電力、低挿入損失な GaNスイッチが送受信モジュールに求められる。

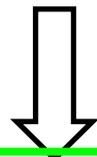
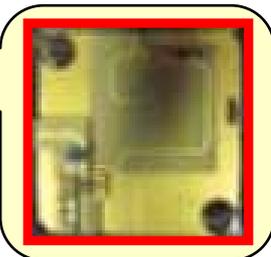
低RCS目標の探知につながる。

GaNスイッチ

1. 設計

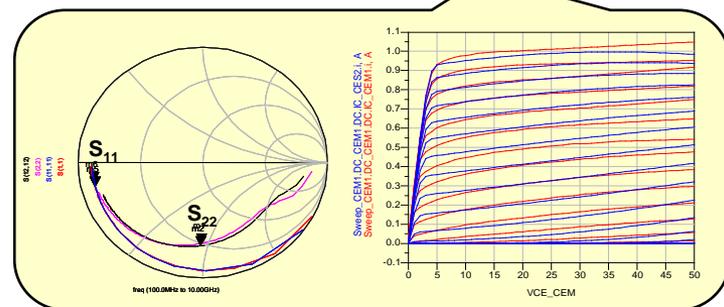


2. 製造



3. 測定・評価

シミュレーション

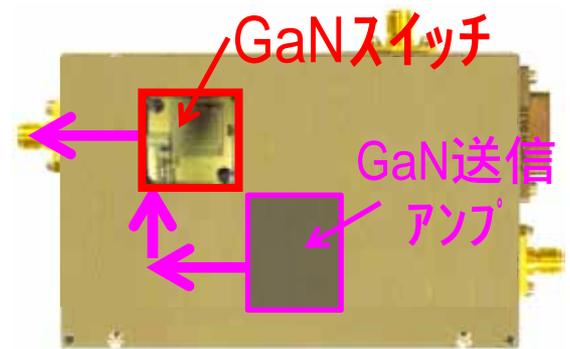


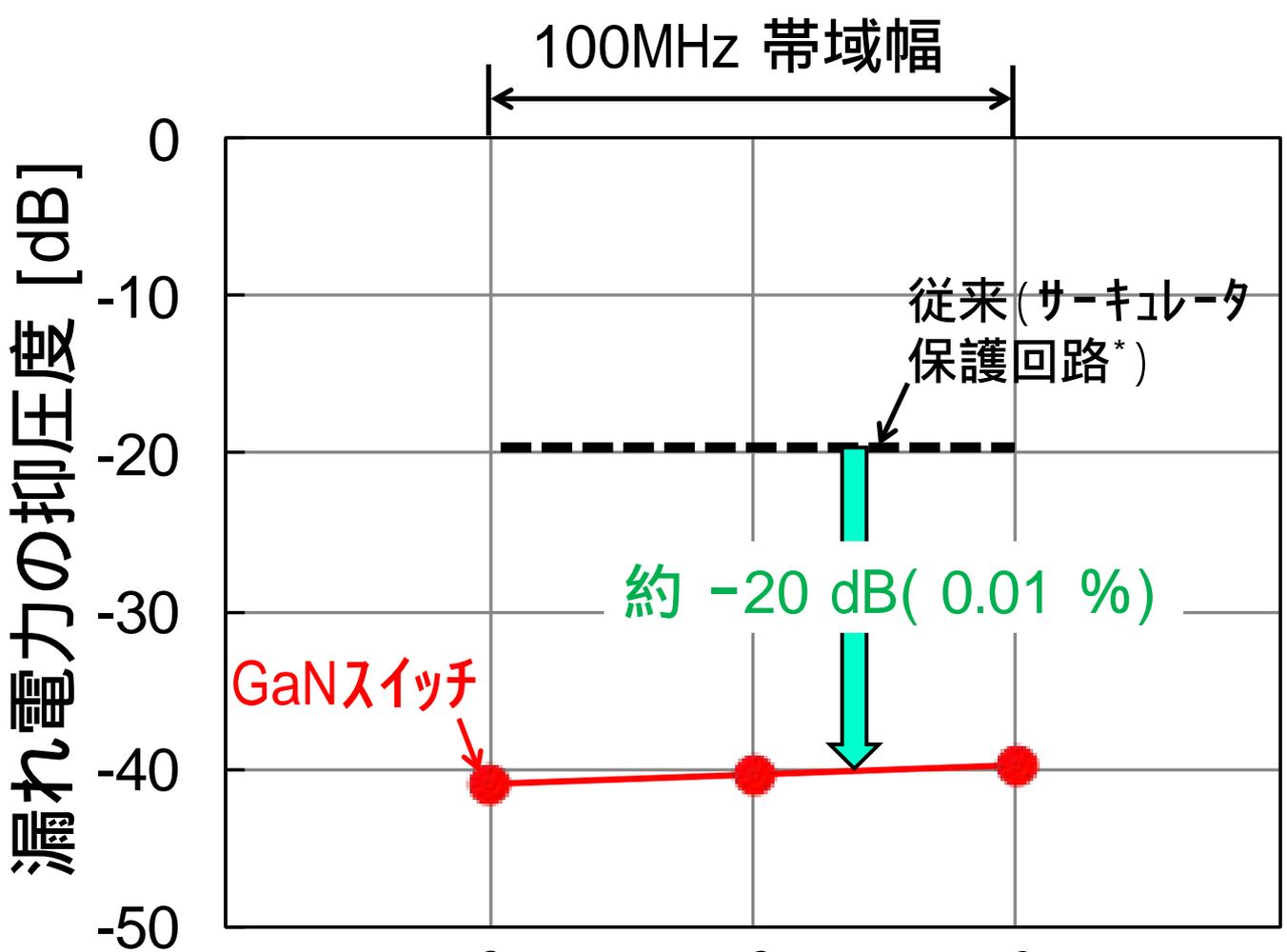
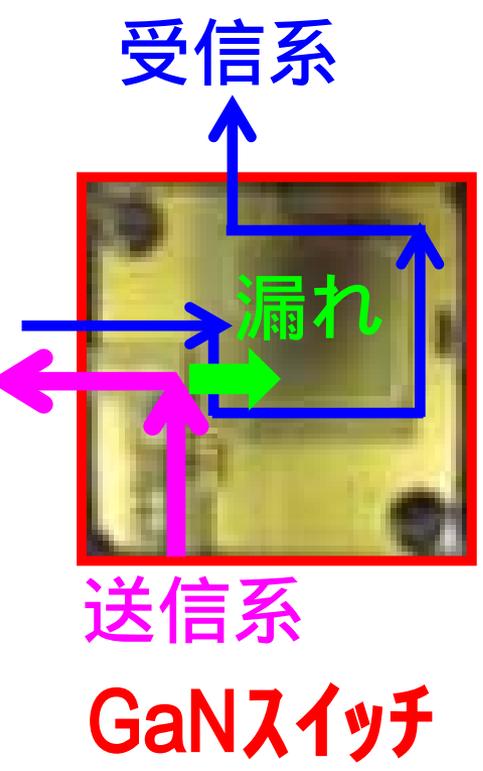
GaN送受信モジュール

4. 設計 ↔ シミュレーション

5. 製造

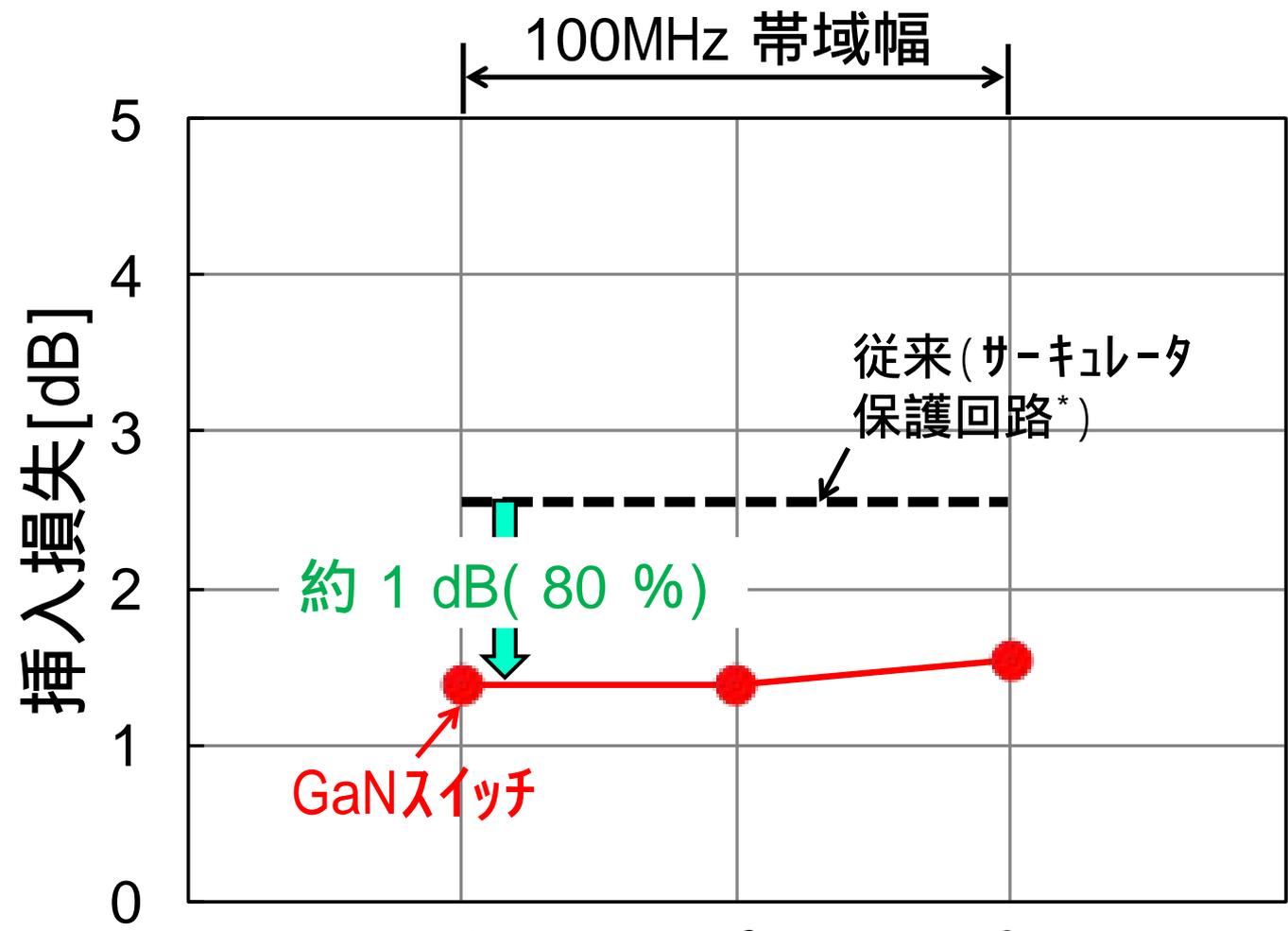
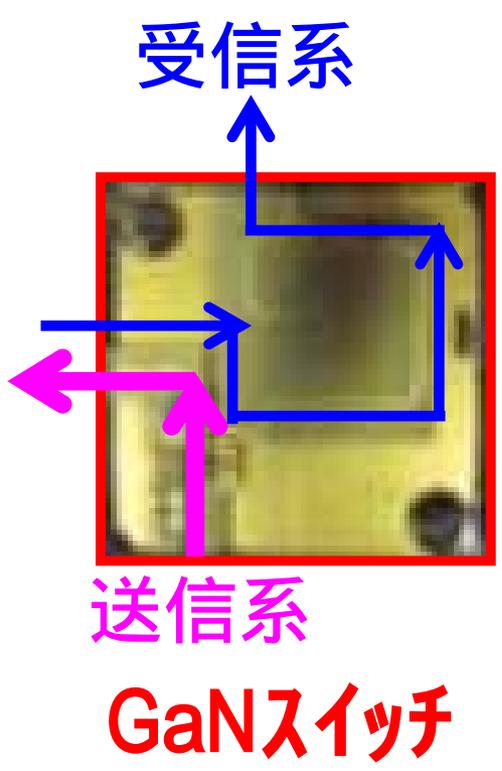
6. 測定・評価





100 MHz帯域幅にわたり、漏れ電力の抑圧度を約 -20 dB(従来の 0.01 %以下) 低く抑えることができた。

* :類似の性能をもつカタログ品の値

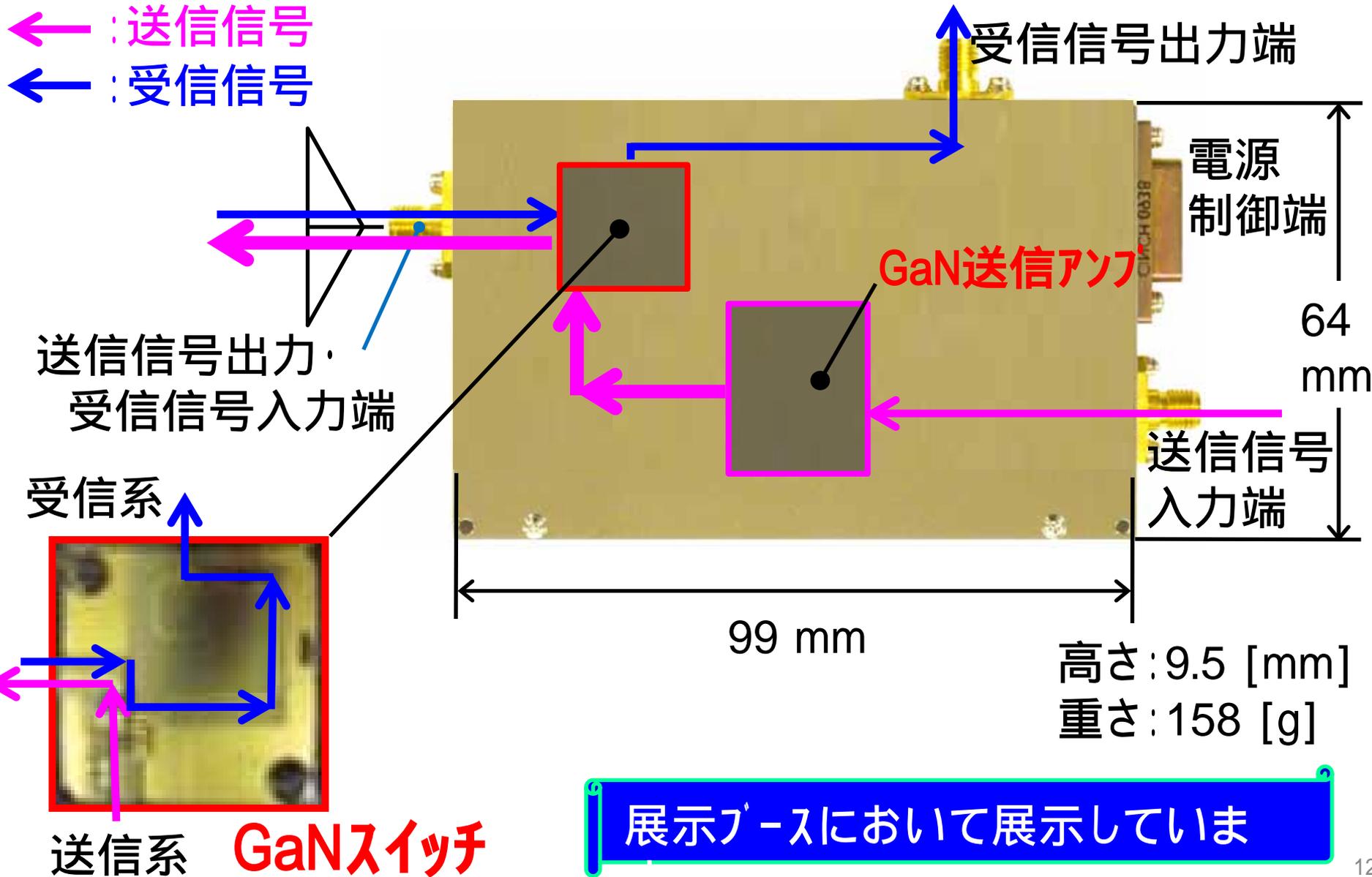


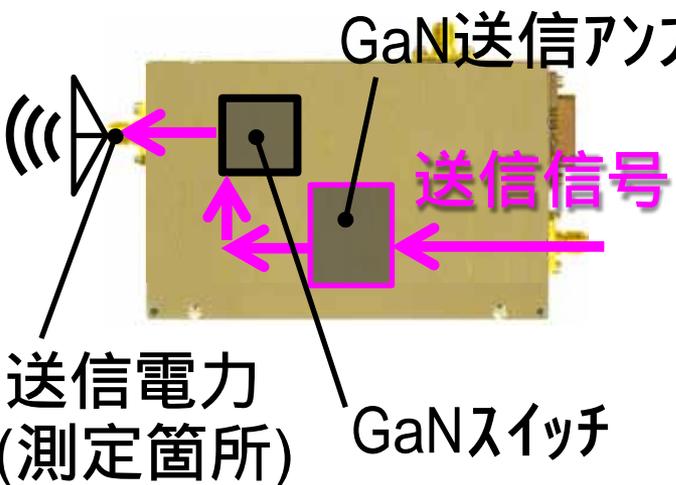
100 MHz帯域幅にわたり、挿入損失を約 1 dB(従来の 80% 以下)低くできた。

*:類似の性能をもつカタログ品の値

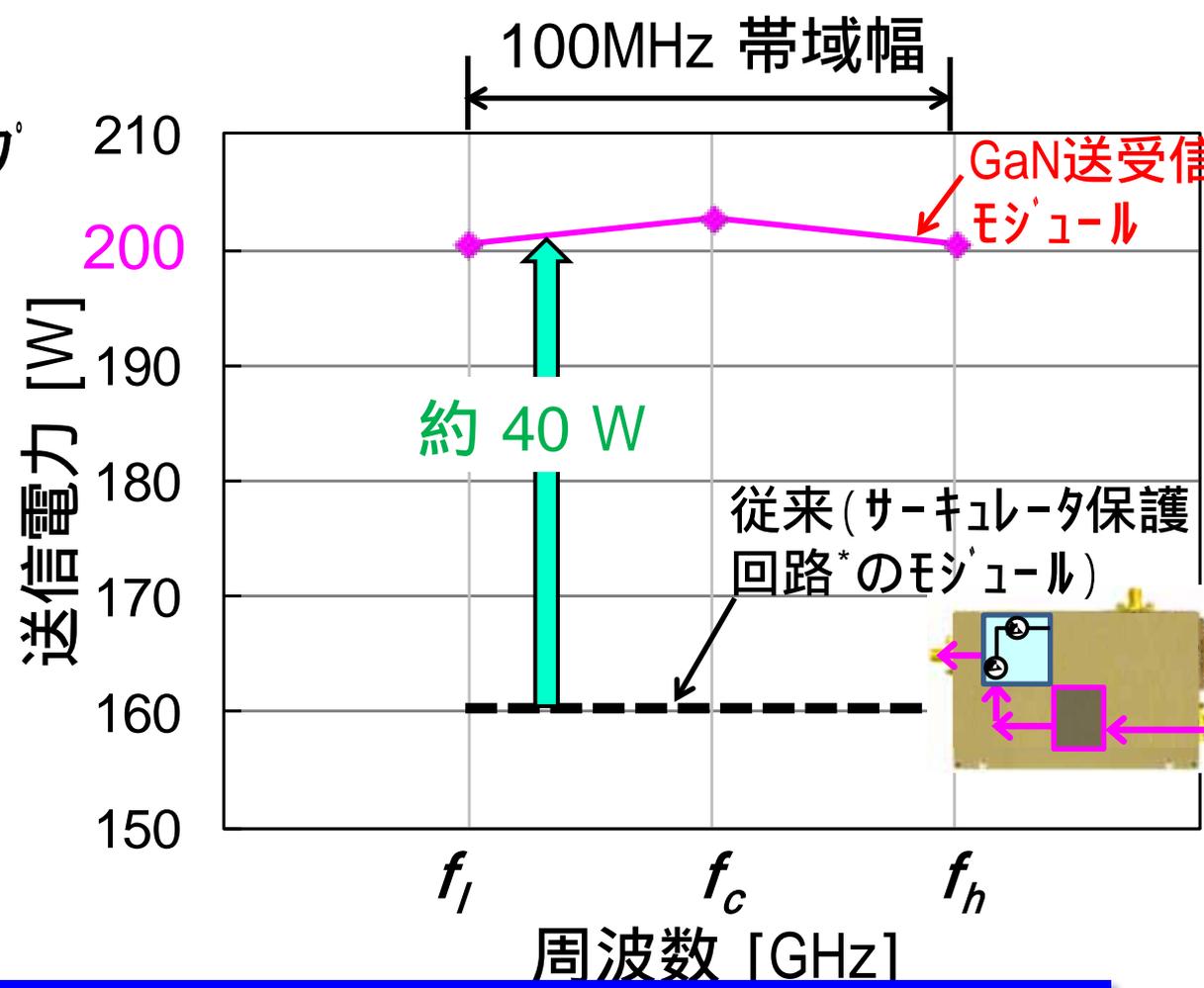
GaN送受信モジュール

← : 送信信号
← : 受信信号





GaN送受信モジュール



100 MHz帯域幅にわたり、200 W(送受信モジュールとして世界最高レベル) 以上の高出力な送信電力を実現。

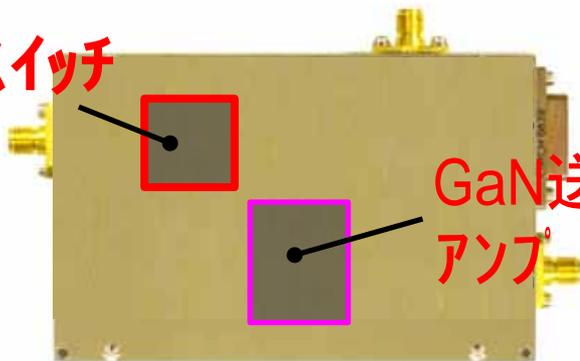
*: カブリの出力を昇圧して出力



低RCS目標の遠方での探知につながる。

高性能な
レーダ

GaNスイッチ



GaN送信
アンプ

GaN送受信モジュール

- ・ GaNスイッチの適用により、高出力にもかかわらず約 -20 dB (従来の 0.01 %以下)の漏れ電力の抑圧度の向上等の高性能化を図った。
- ・ 本研究において、GaNスイッチを適用したL帯 GaN送受信モジュールを設計及び製造し、世界最高レベルの送信電力 200 W以上の高性能な送受信モジュールを実現した。
- ・ 本研究の成果を反映し、低RCS目標の探知を目的とする高性能なレーダの実現を目指す。

RCSの低減に寄与する メタマテリアル

TRDI

Technical Research & Development Institute
Ministry of Defense

電子装備研究所 センサ技術研究部

電子戦基盤研究室

防衛技官 櫻井宗晃

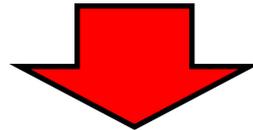
- 1 . 研究の背景
- 2 . 研究の成果
- 3 . 今後の方向性
- 4 . まとめ

将来の戦闘機

- ・ 第5世代機に対抗できるステルス性の確保が必要。

ステルス
技術

形状ステルス：エッジアラインメント、ウェポン
内装化、インテークダクト等
ステルス材料：電波吸収体、メタマテリアル等



メタマテリアル技術を活用した電波反射制御材の研究
(我が国の最先端技術を適用したステルス材料)



敵を凌駕するステルス

敵レーダから見えなくするために

電氣的に同様な効果が得られないか・・・

電波を元に戻さない形状
反射レーダ波



反射レーダ波

入射レーダ波

反射レーダ波

入射
レーダ波

物理的にエッジを傾けることで、入射レーダ波を到来方向へ反射させない工夫

電氣的な
反射面

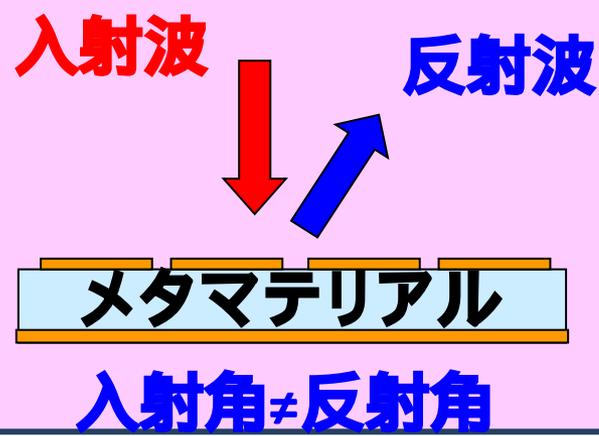
物理的な
反射面

メタマテリアルは、自然界には存在しない人工媒質である。

- p 金属、誘電体等の小片からなる単位素子
- p 波長に比べ十分小さい間隔で並べて構成
- p 元の物質・材料とは異なる電氣的・磁氣的性質な特性
 - n 反射位相制御
 - n 周波数選択
 - n 負の屈折率等

反射位相制御：
エッジのアラインを電氣的に実現する手法

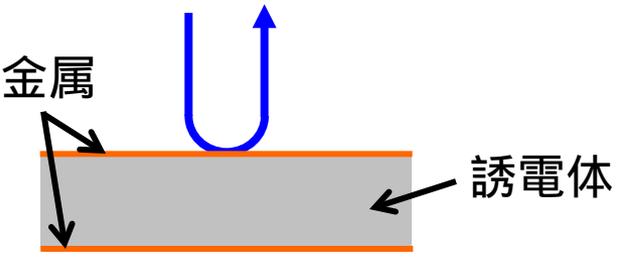
反射の法則に従わない反射



新たなステルス材料として、仮作した電波反射制御材の**反射特性を測定**し、その有効性を検証した。

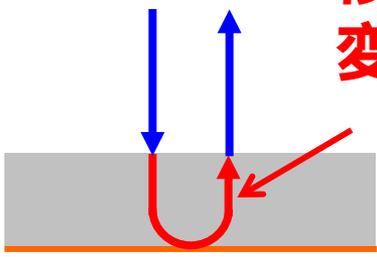
(1) 仮作基板#1の測定結果

(2) 仮作基板#2の測定結果

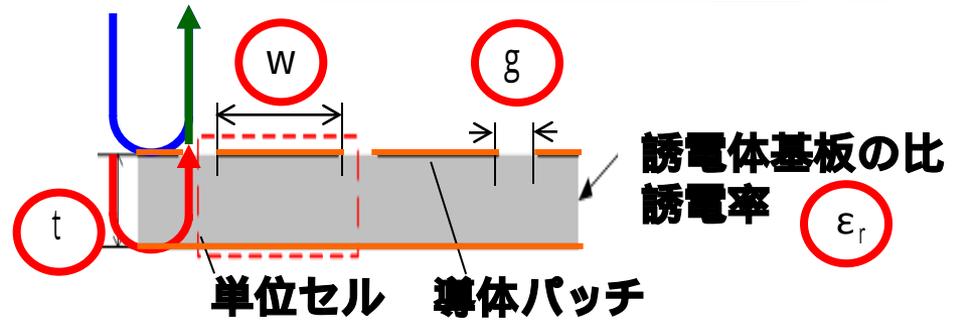


金属板の場合
(反射位相: 180°)

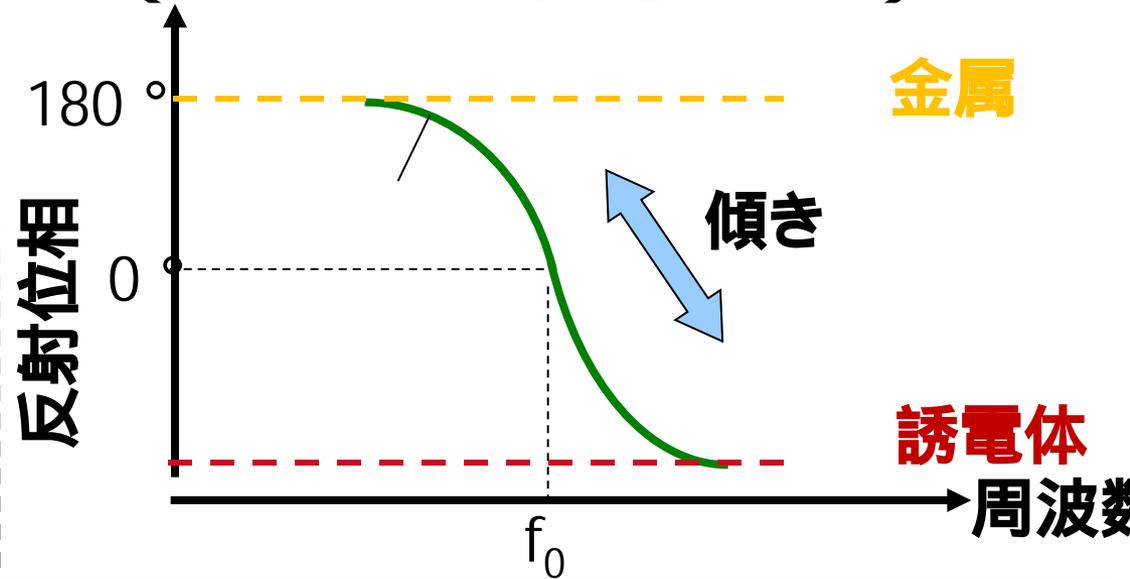
誘電体内往復分の位相変化が生じる



誘電体基板の場合

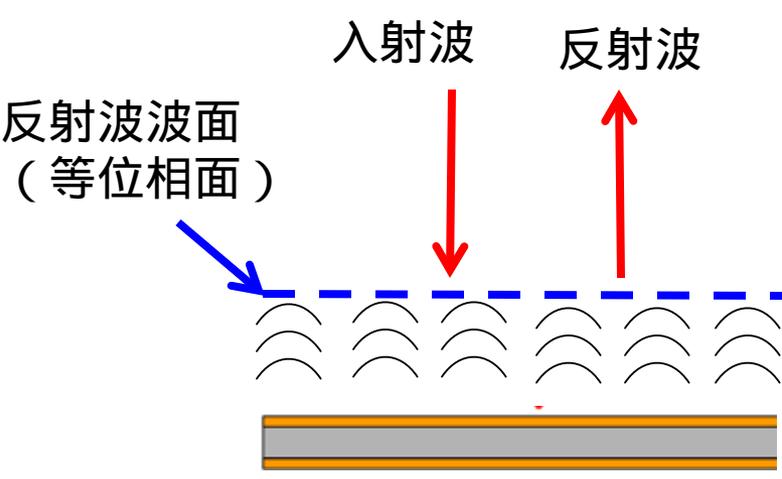
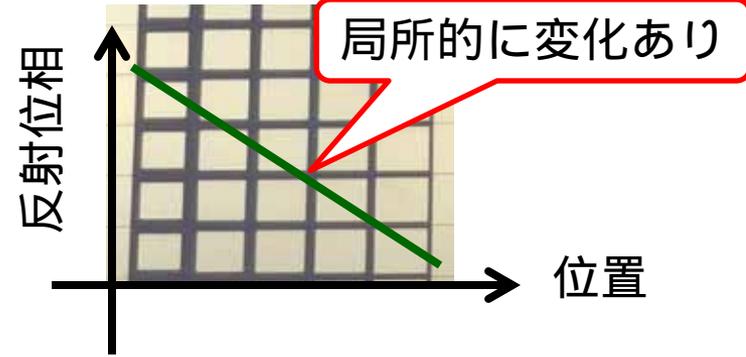


メタマテリアルの場合
(との中間状態に相当)

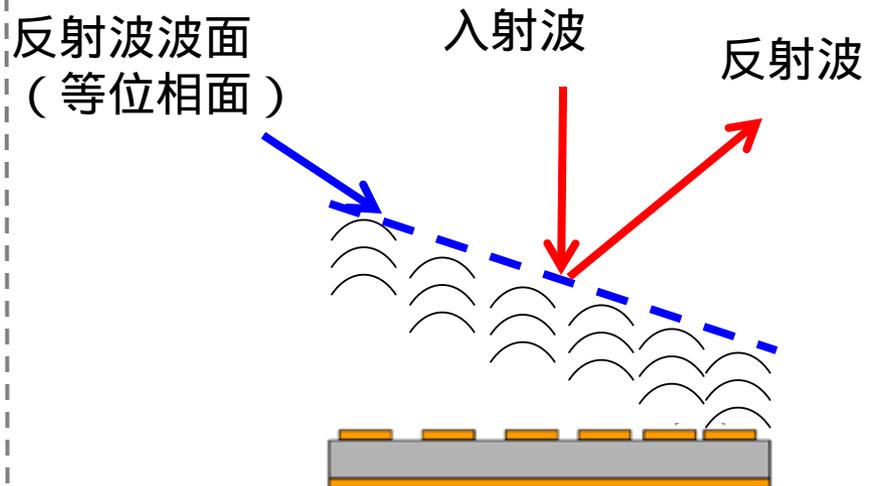


f_0 : 導体パッチの幅(w)、間隔(g)で決まる
傾き: 比誘電率(ϵ_r)、厚さ(t)で決まる

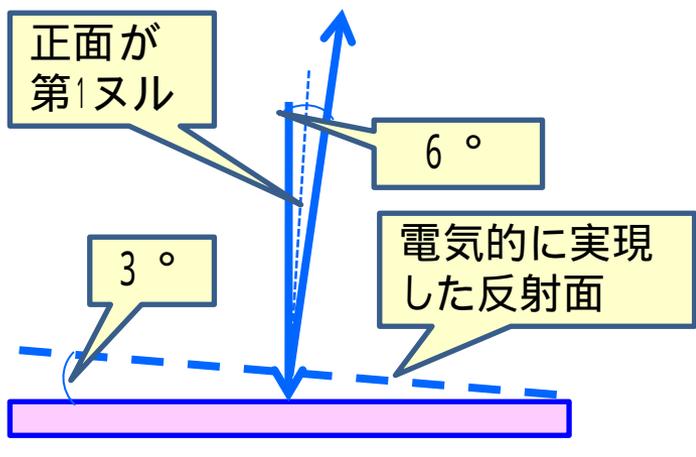
導体パッチ幅を変化 → **反射位相を制御** → **電気的な反射波面を傾斜**
反射波の方向を変える

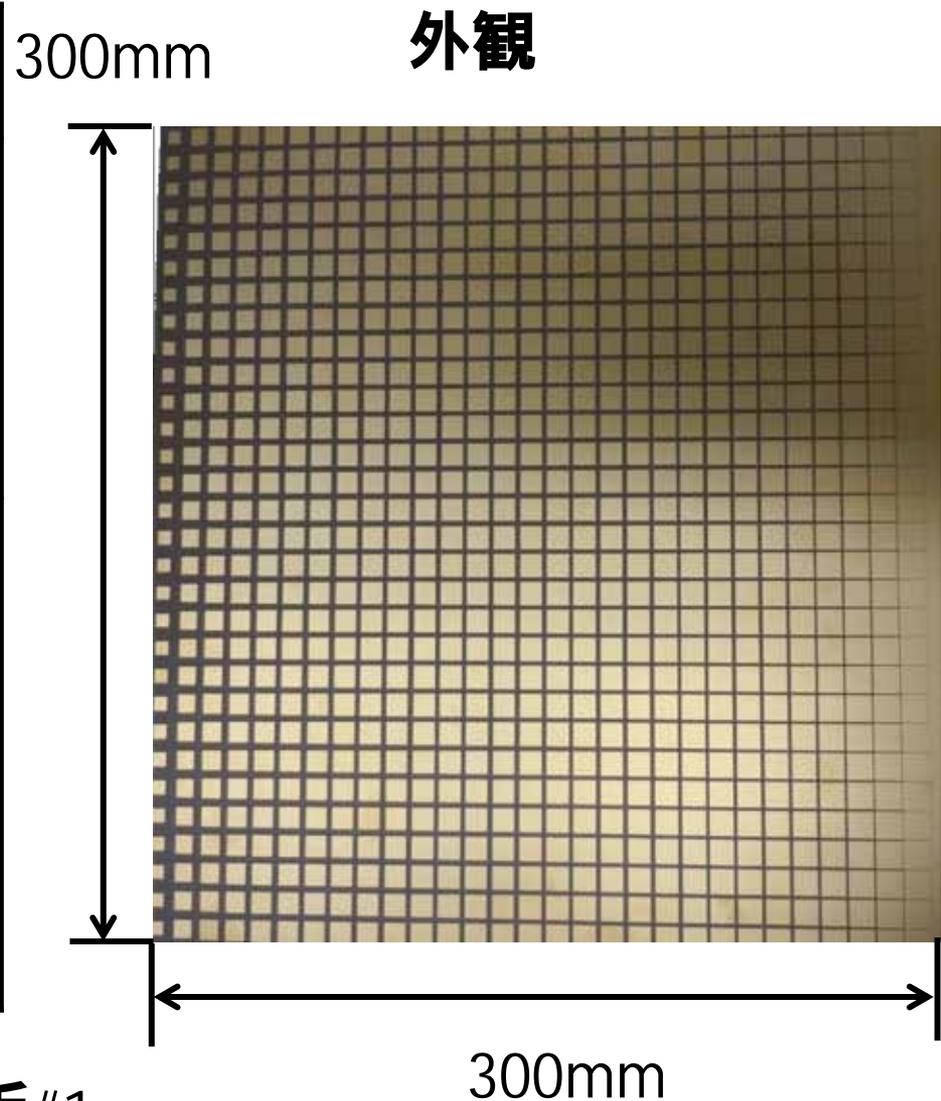


金属板の場合



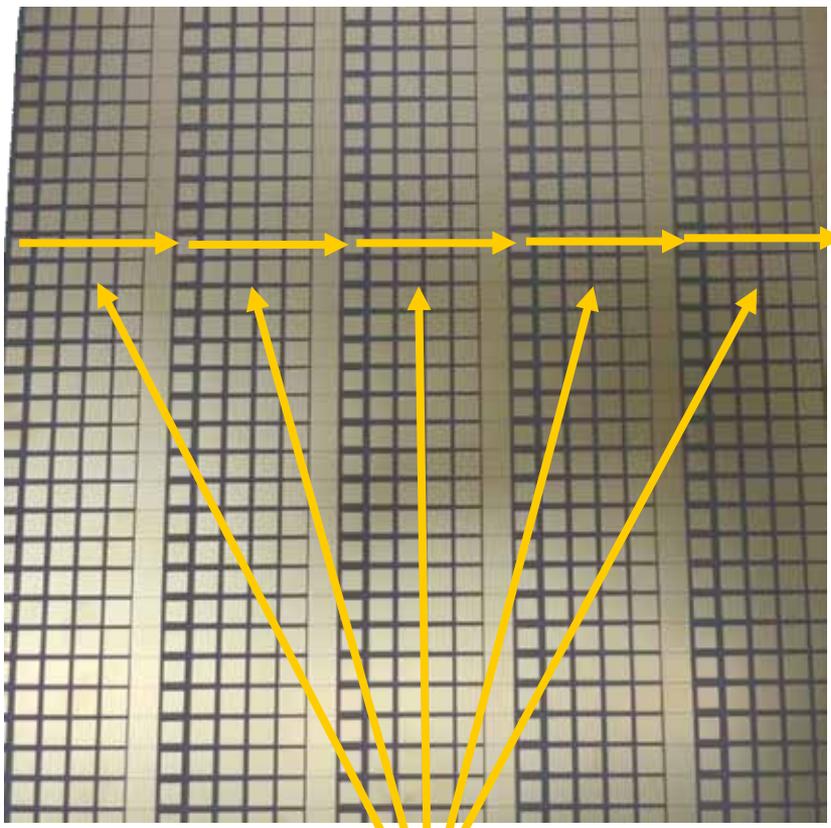
電波反射制御基板の場合

設計指針	
#1	電波入射方向に第1ヌルを指向 (周波数：10GHz)
	 <p>正面が第1ヌル</p> <p>6°</p> <p>3°</p> <p>電气的に実現した反射面</p>

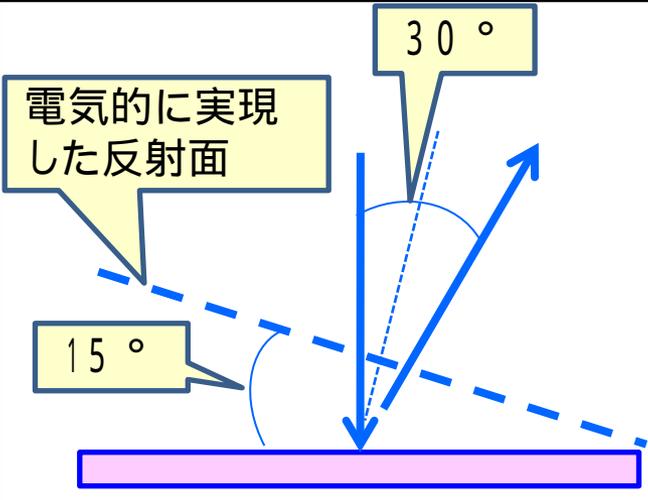


θ : 反射制御角 $\theta = 6^\circ$ 仮作基板 #1

外観

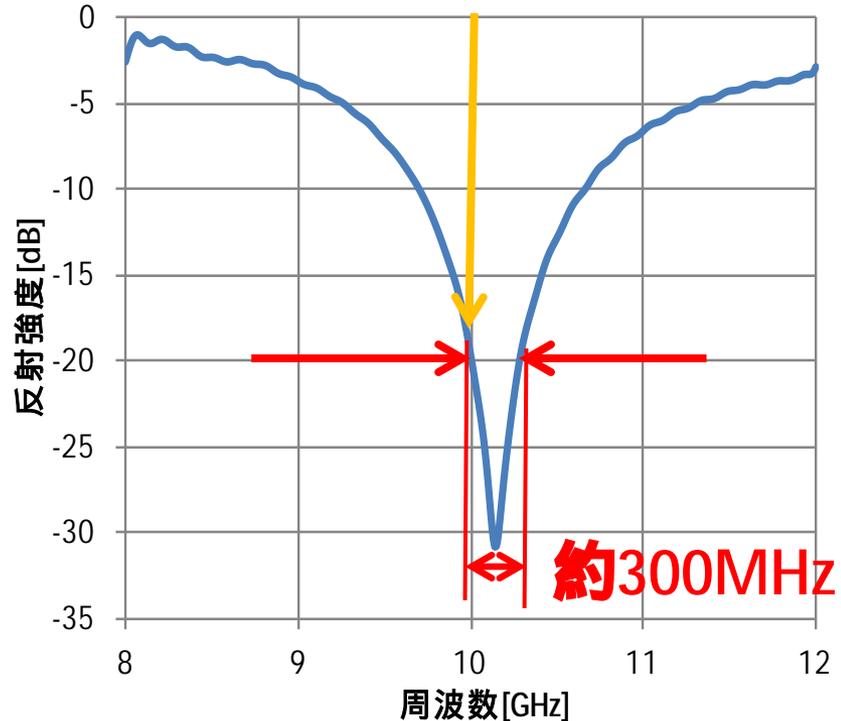
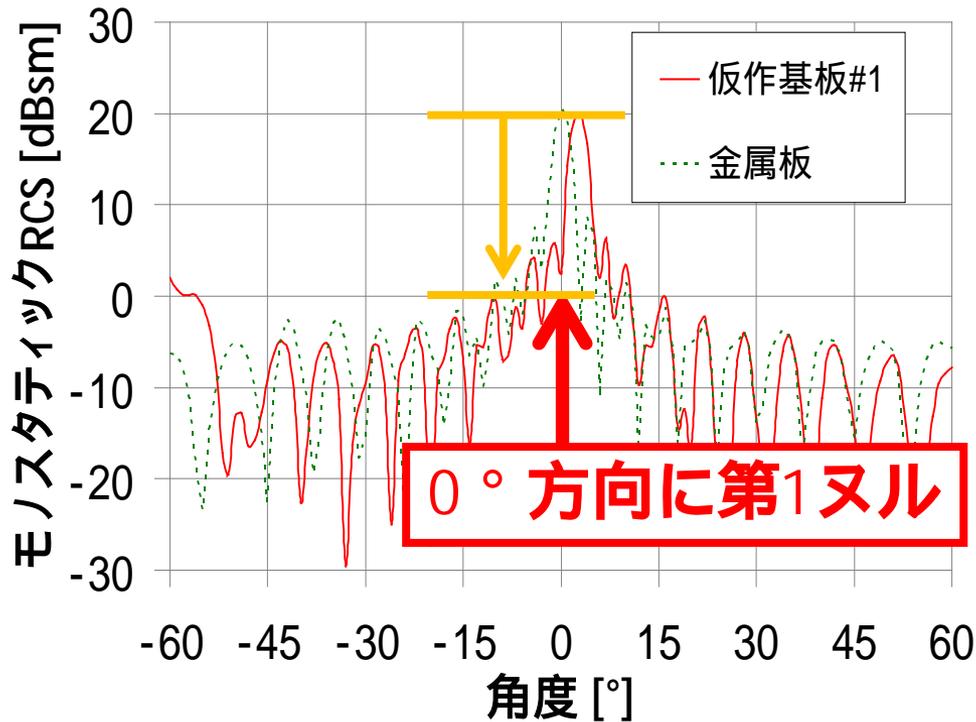


同配列が並ぶ構造（主反射方向の他にグレーティングローブが生じる可能性有り。）

設計指針	
#2	RCSの最大値を30度方向に指向 (周波数：10GHz)
	

θ : 反射制御角 $\theta=30^\circ$ 仮作基板#2

電波入射方向に第1ヌルを指向



モノスタティックRCS（10GHz）

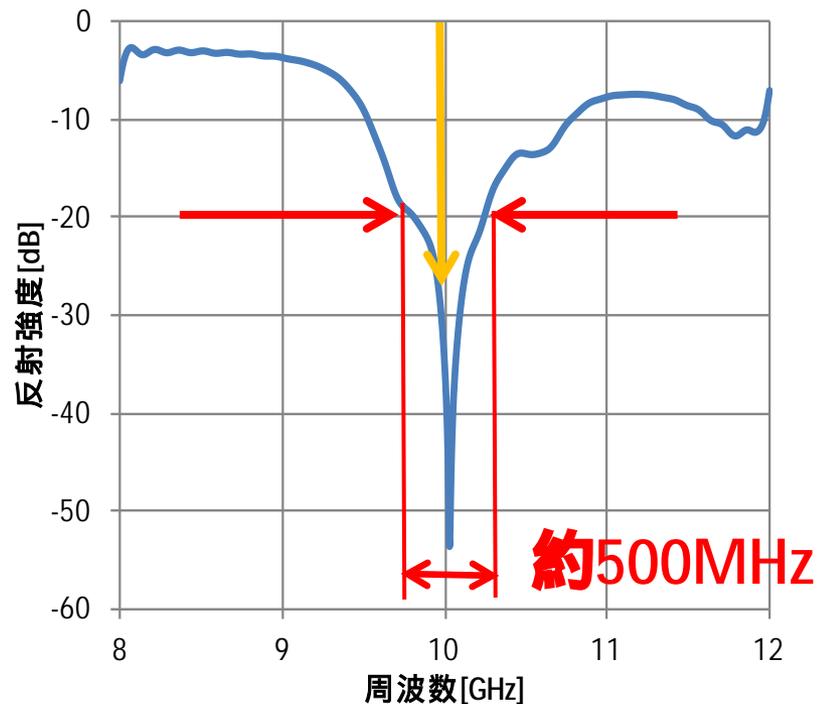
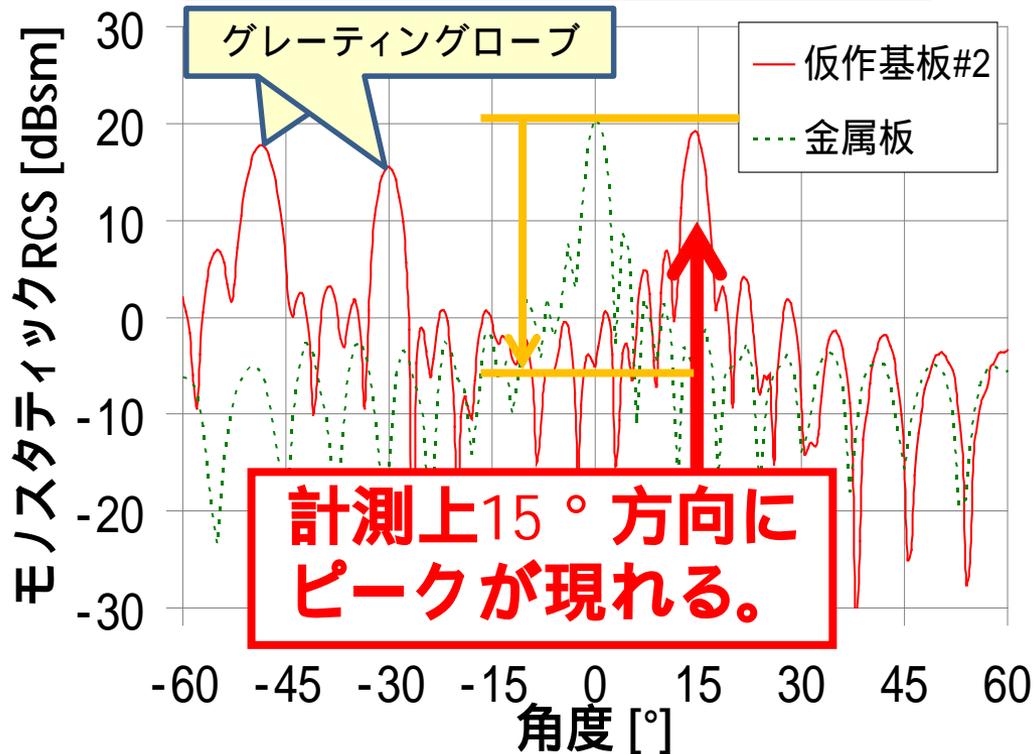
【結果】
電波の入射（0°）方向に第1ヌルを形成し後方散乱波を低減

周波数特性（角度0°）

約300MHzの帯域でRCS低減量20dBを実現。

測定結果（仮作基板#2）

最大値を30度方向に指向



モノスタティックRCS（10GHz）

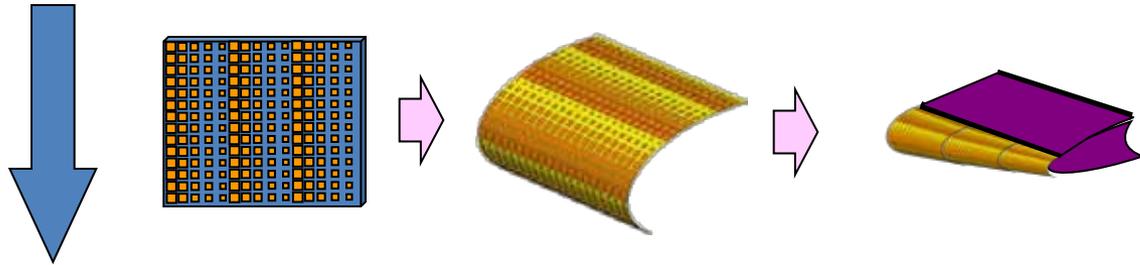
【結果】

RCSの最大値を+30°方向に指向
させ後方散乱波を低減

周波数特性（角度0°）

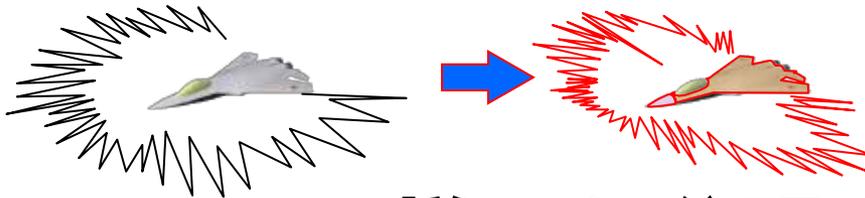
約500MHzの帯域でRCS
低減量20dBを実現。

段階的な設計解析手法の確立



RCS設計・解析技術の確立

耐環境性評価



アプリケーションに合わせた最適設計

様々な分野に適用可能

将来のミサイル

将来の護衛艦

将来の戦闘機

将来の大型機

- (1) レーダ波の反射方向を制御できるメタマテリアルの電波反射制御基板を仮作し、実測することで、**設計どおりの特性**を確認。
- (2) レーダ波を任意の方向へ反射制御して、到来方向への反射波を抑制する手法は、**RCSの低減に有効**であることを確認。
- (3) **将来の戦闘機**を含めた様々なプラットフォームの**RCS低減に寄与**すべく、ステルス材料の設計技術の確立に向けて研究を推進。

目標が動いているときの RCSを見極めるために

TRDI

Technical Research & Development Institute
Ministry of Defense

技術研究本部 電子装備研究所

飯岡支所 電磁特性研究室

技官 松林 一也

1. 研究背景
2. RCSシミュレーション概要
3. モデル概要
4. 角柱モデル
5. 艦艇モデル
6. 結論

現状

F22ラプターやヴィズビー級コルベットを始め、各国においてステルス装備品の開発及び研究が盛んに実施されており、我が国においても、ステルス性を考慮した装備品の開発が計画されている。



ステルス性の評価は新規装備品開発を行う上で必要不可欠となってい

レーダの最大探知距離

RCS : Radar Cross Section } **我**

P_t : 送信電力

G : 空中線利得

λ : 波長

S_{min} : 最小探知信号

$$R_{max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \cdot RCS}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{1/4}$$

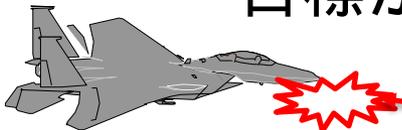
彼

RCSの評価が重要

RCS : Radar Cross Section (レーダ反射断面積)

目標がレーダ波をどれだけ反射するかを表す量

目標



レーダアンテナ

RCS	1/10(10dB減)	1/100(20dB減)	1/1000(30dB減)
探知距離	0.56	0.32	0.18

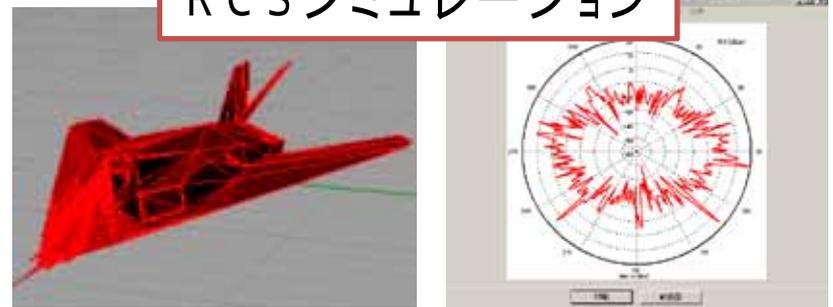
問題点

技術研究本部では各種RCS計測及びRCSシミュレーションにより、装備品のステルス性の評価及び推定を実施

RCS計測



RCSシミュレーション



ただし

その多くは静止した状態での検討であり、実運用化においては、推定した艦艇や航空機等のRCSの値と異なる可能性がある。

動的状態のRCS特性の検討が必要

本研究では

目標が動揺した場合のRCS特性の初期段階の検討をRCSシミュレーションにより実施

将来的には

RCSシミュレーションと実測と比較検討し、精度を向上



2 - 1 RCSシミュレーション概要 (機能の紹介)



GESS

Gihon Evaluation Scattering System

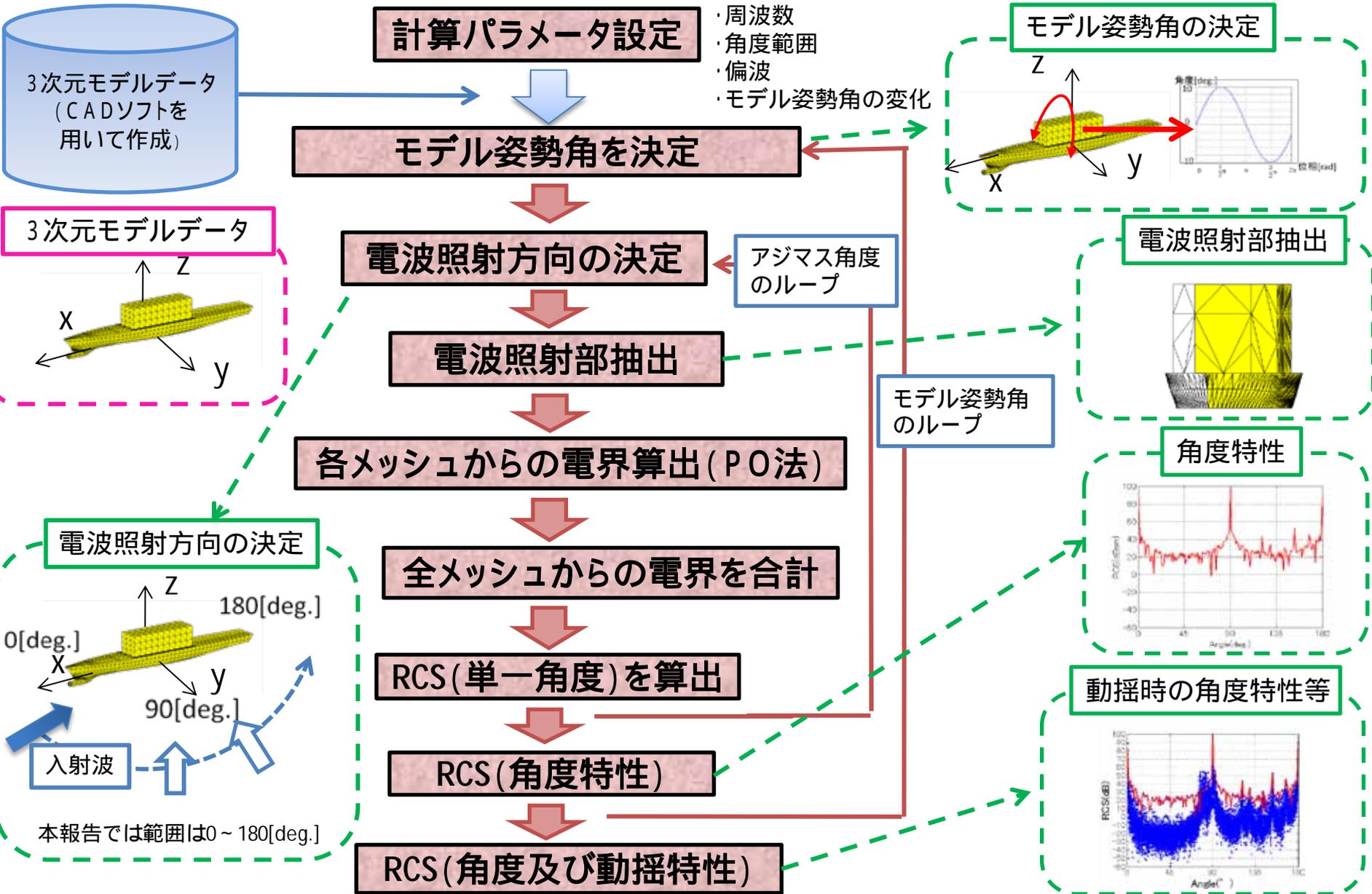
機能及び特徴

飯岡支所独力で開発 (言語:matlab)

- (1) RCSシミュレーションで広く用いられているPO法を使用
- (2) 目標の動揺を考慮したRCSの計算
- (3) 電波が反射されない個所については、計算から除外する
陰面処理機能の搭載

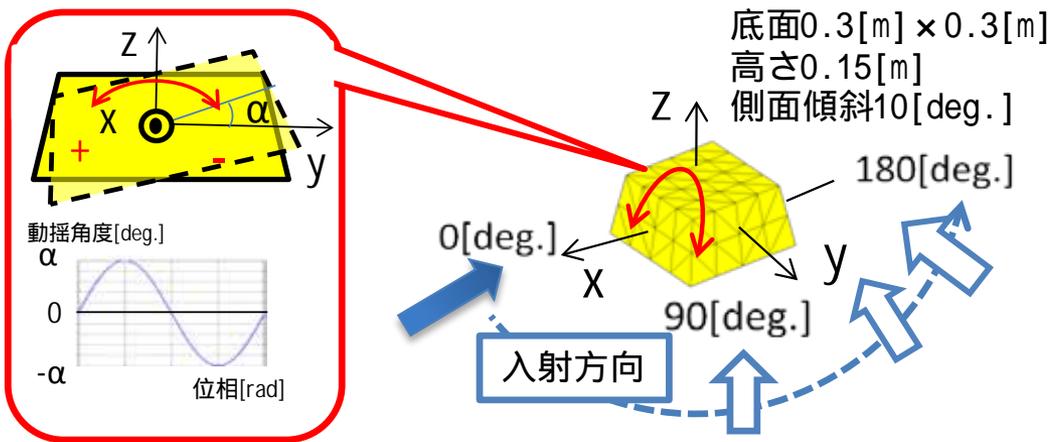
	高周波近似解法 PO法、EEC法等	厳密解法 MOM(モーメント)、MLFMM法等
計算負荷		×
精度		

2 - 2 RCSシミュレーション概要 (フローチャート)

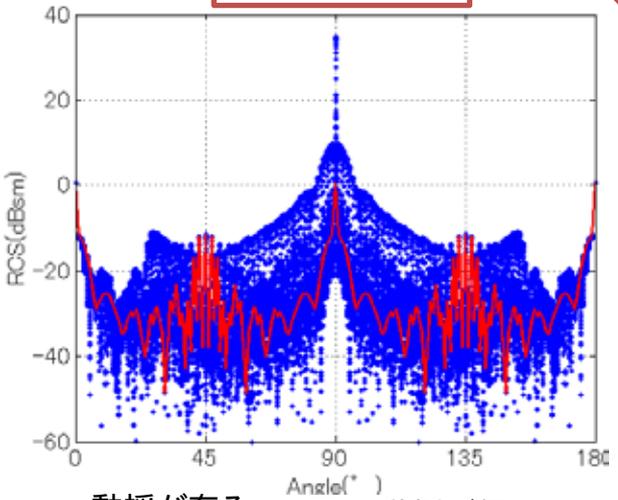


2 - 3 RCSシミュレーション概要 (計算結果概要)

1周期分のRCS (水平方向) を各入射角度ごとに算出
 ロール軸 (X軸) 方向に正弦的な動揺を仮定



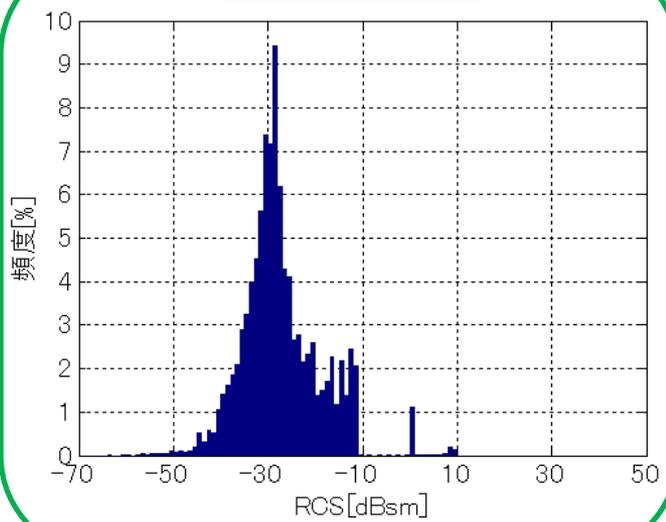
角度特性



角度軸上にプロット

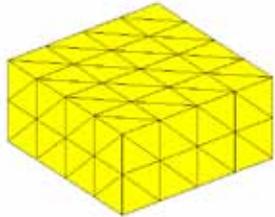
確率分布

確率分布



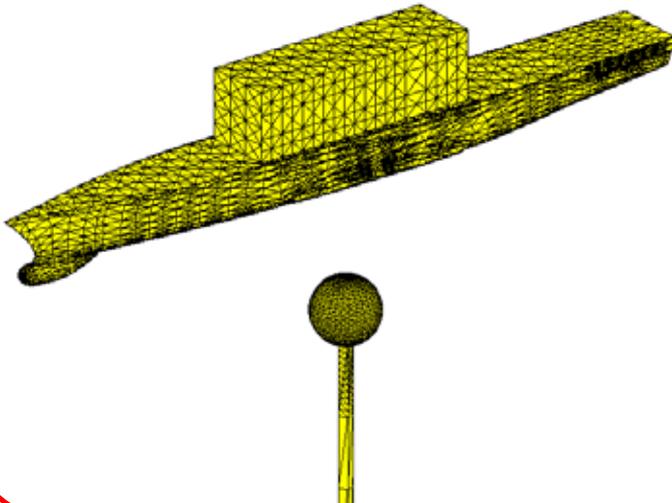
● 動揺が有る場合のRCS
 — 動揺が無い場合のRCS

角柱モデル



	底面	高さ	側面傾斜
角柱モデル	10 × 10[m]	5[m]	無し

艦艇モデル



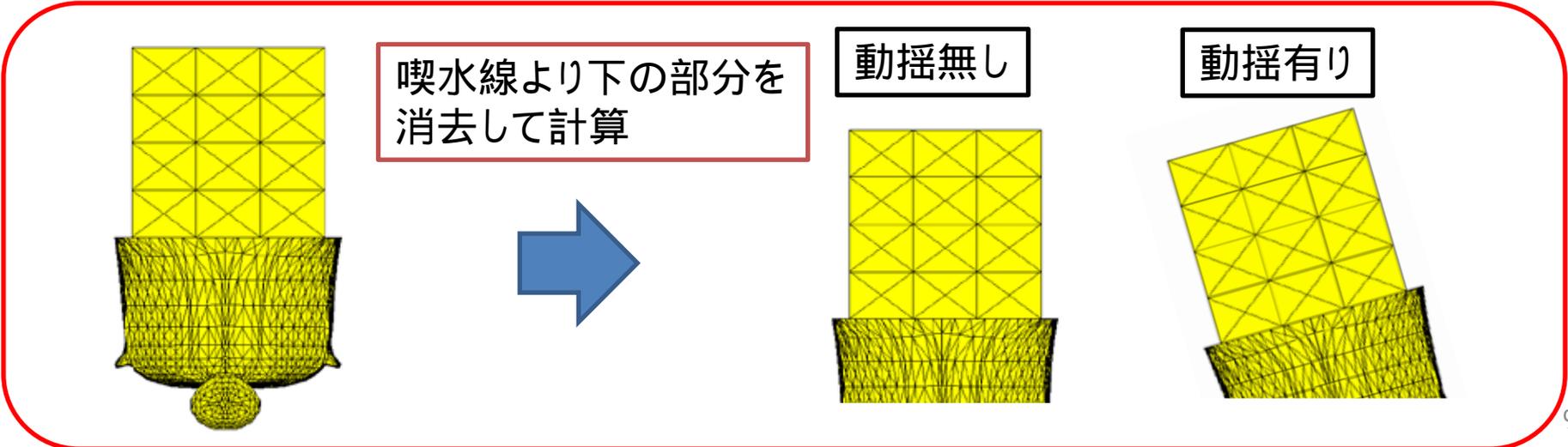
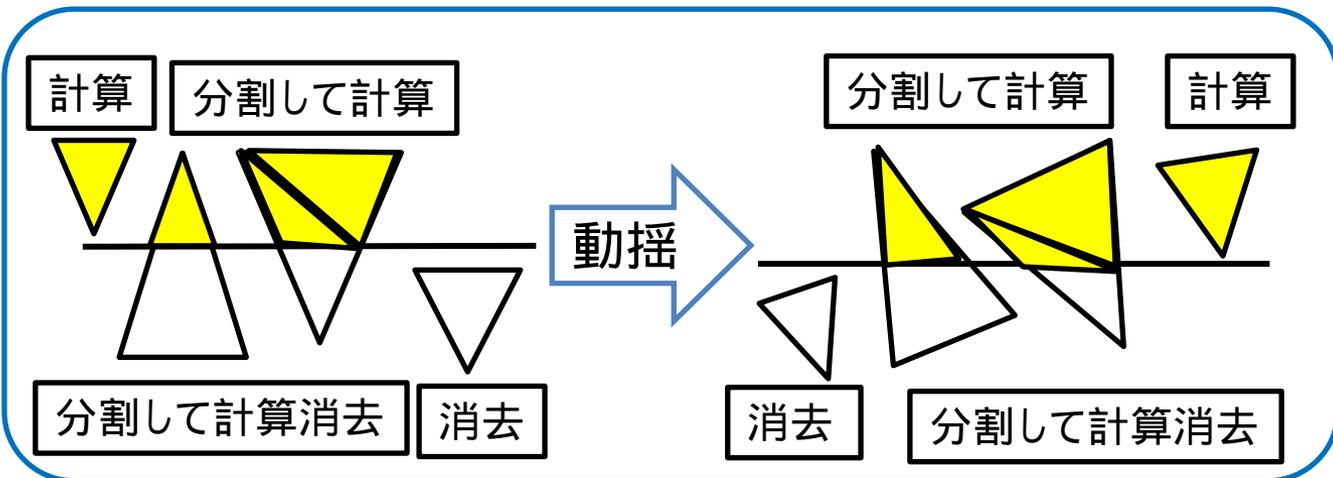
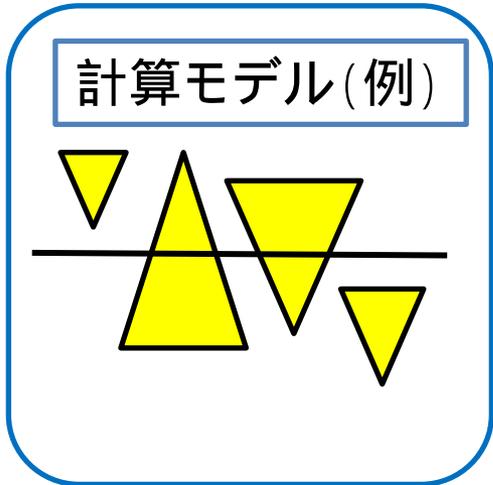
	水線長 (喫水線での船の長さ)	幅	全高
艦艇モデル	150[m]	20[m]	28.3[m]

	球状部 半径	棒状部 長さ
付加物モデル	1[m]	10[m]

モデルの材質はすべて完全導体と仮定した。

3 - 2 モデル概要 (艦艇モデルの計算方法)

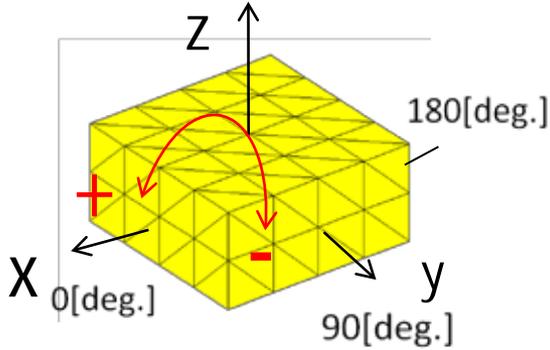
艦艇モデルについては、 $Z=0$ の平面を海面として、各姿勢角ごとに海面と交差するメッシュを分割、海面より下に存在するメッシュを消去して計算を実施。



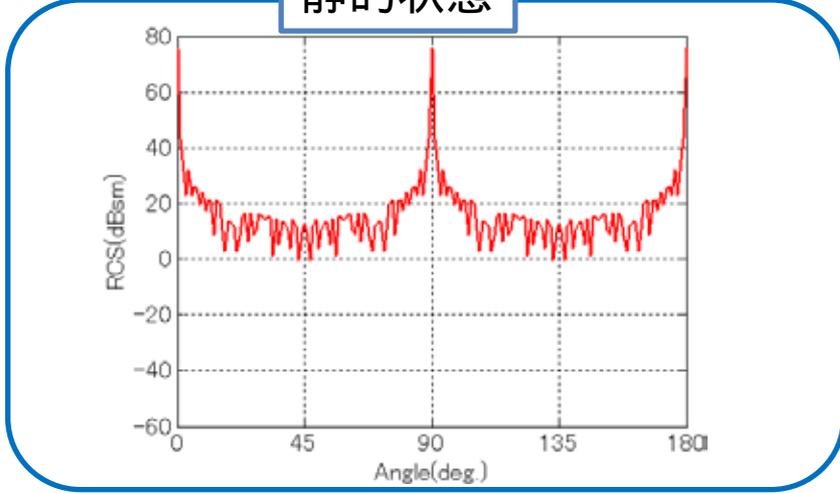
4 角柱モデル

角柱モデル
(側面傾斜無し)

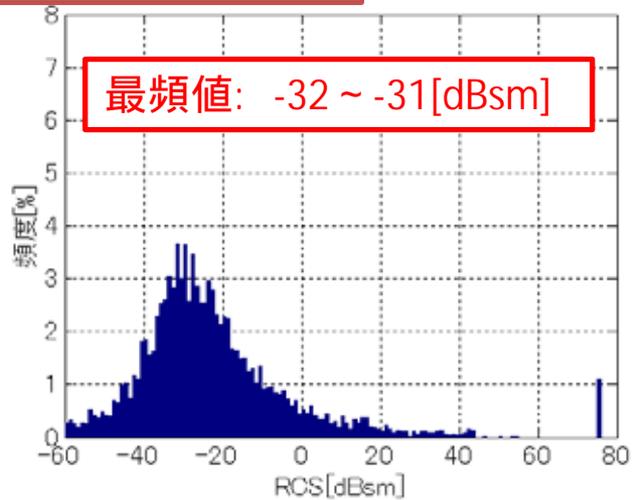
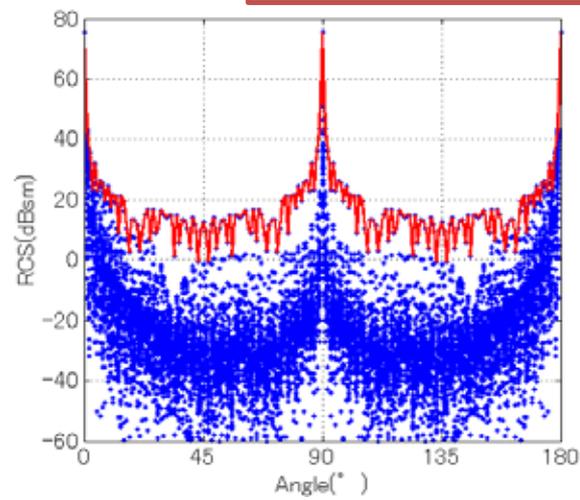
周波数10GHz
水平偏波



静的状態

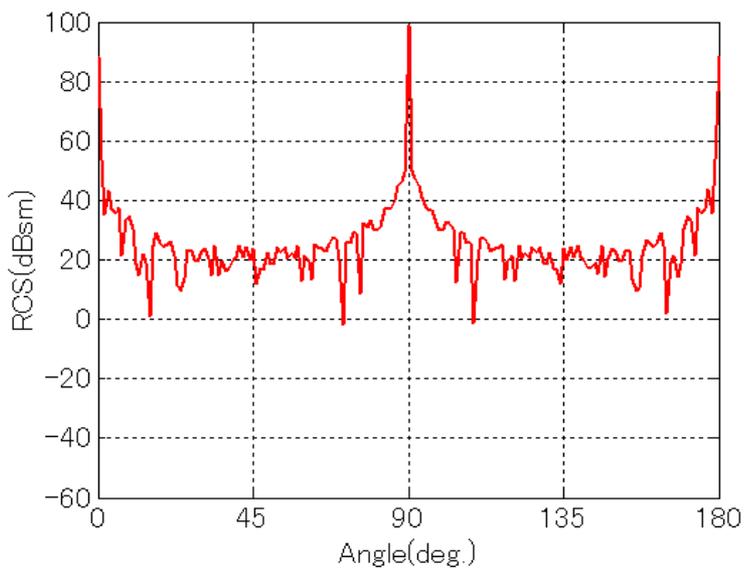
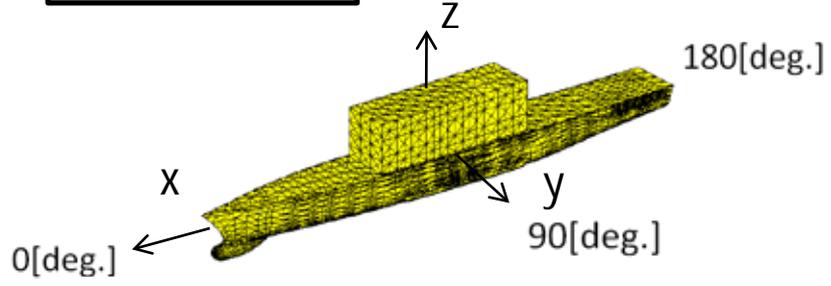


動的状態(最大動揺角10[deg.]の場合)



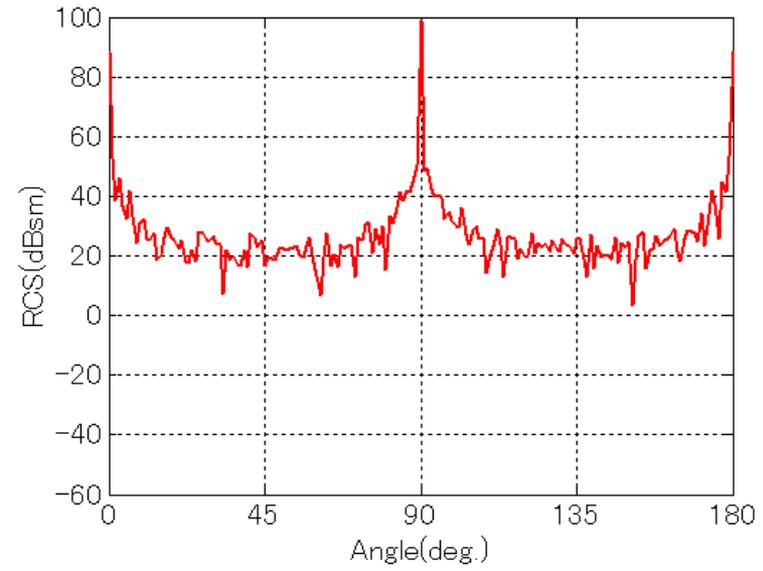
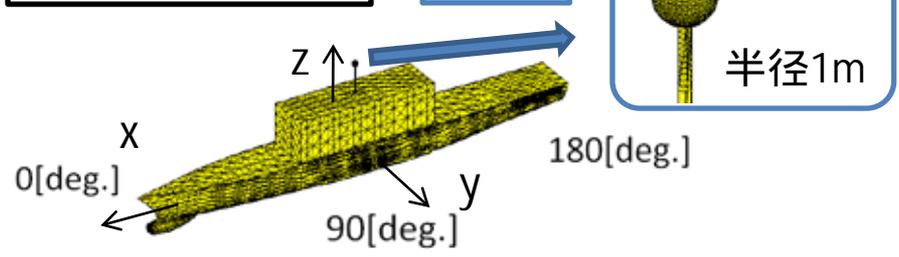
動的状態においては、静的状態のRCS特性から大きく変動

艦艇モデル



艦艇モデル改

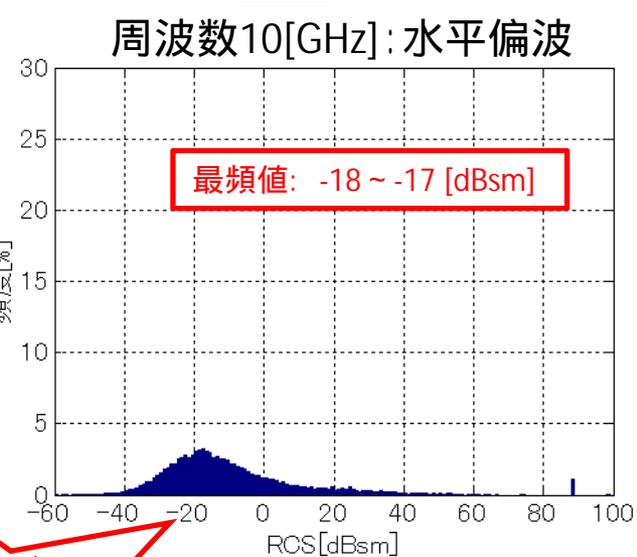
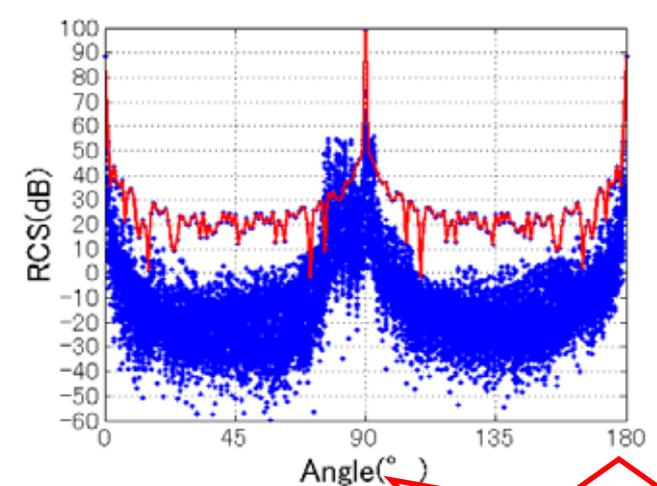
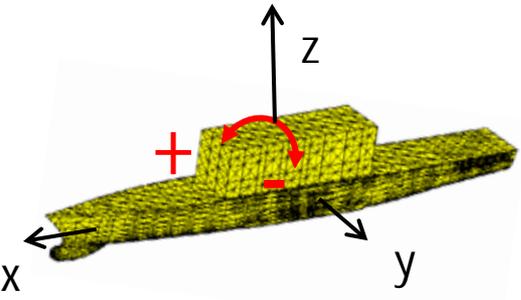
拡大



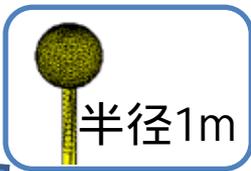
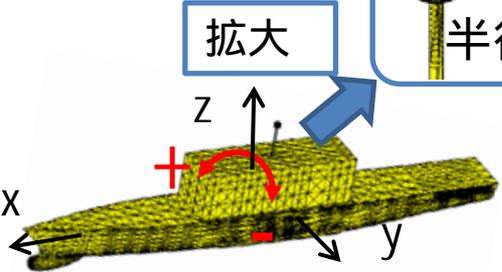
静的状態においては、艦艇モデルのRCSが付加物モデルのRCSに比べ相対的に大きく、付加物モデルによるRCS特性への影響はほぼ無かった。

5 - 2 艦艇モデルーアンテナ等の影響 (動的状態：最大動揺角10[deg.]の場合)

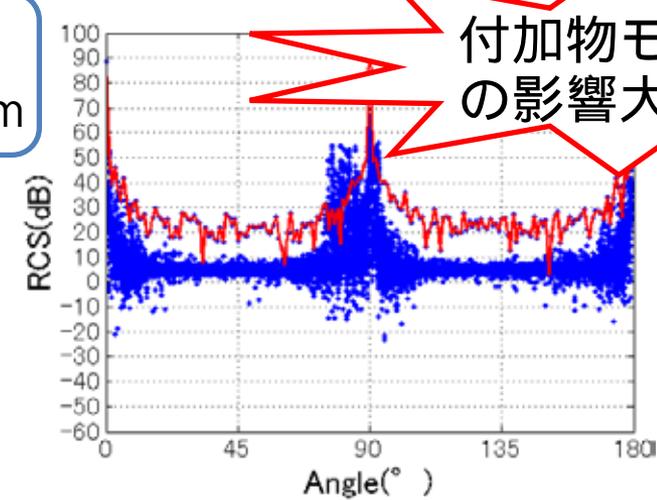
艦艇モデル



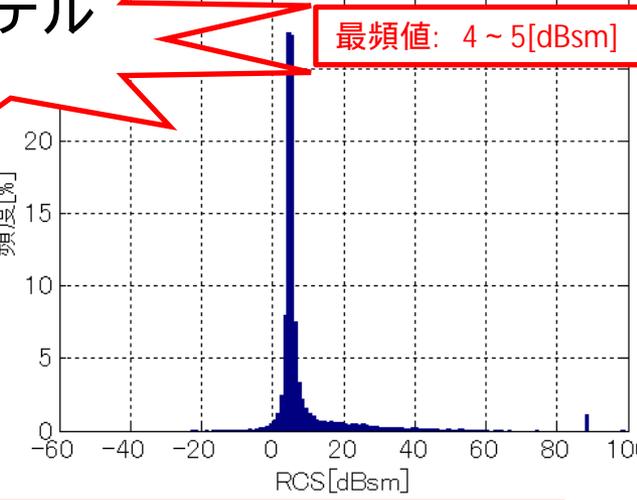
艦艇モデル改



参考
半径1[m]の球
RCS : 4.97[dBsm]



付加物モデル
の影響大



静的な状態において影響が少ないと推定した部位についても、動的な状態のRCS特性に大きく影響する可能性がある。

動的目標のRCS特性の基礎的な検討のため、姿勢角を変化させた目標に対してRCSシミュレーションを行い、そのRCSのパターンや値の確率分布を求めることで動揺がある目標のRCS特性について、下記の知見を得た。

目標に動揺がある場合、静止している状態と比べ目標のRCS特性は大きく変動し、静的な状態では無視することが可能な微小構造物についても、動的な状態のRCS特性に大きく影響する可能性がある。

今後の目標

- ・シンプル形状の目標について、実測と比較検討することによるシミュレーション精度の確認
- ・平面形状の海面に存在する目標のRCS特性の検討
- ・モデル形状の海面に存在する目標のRCS特性の検討
- ・実在の海面に存在する目標のRCS特性の検討