

# 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

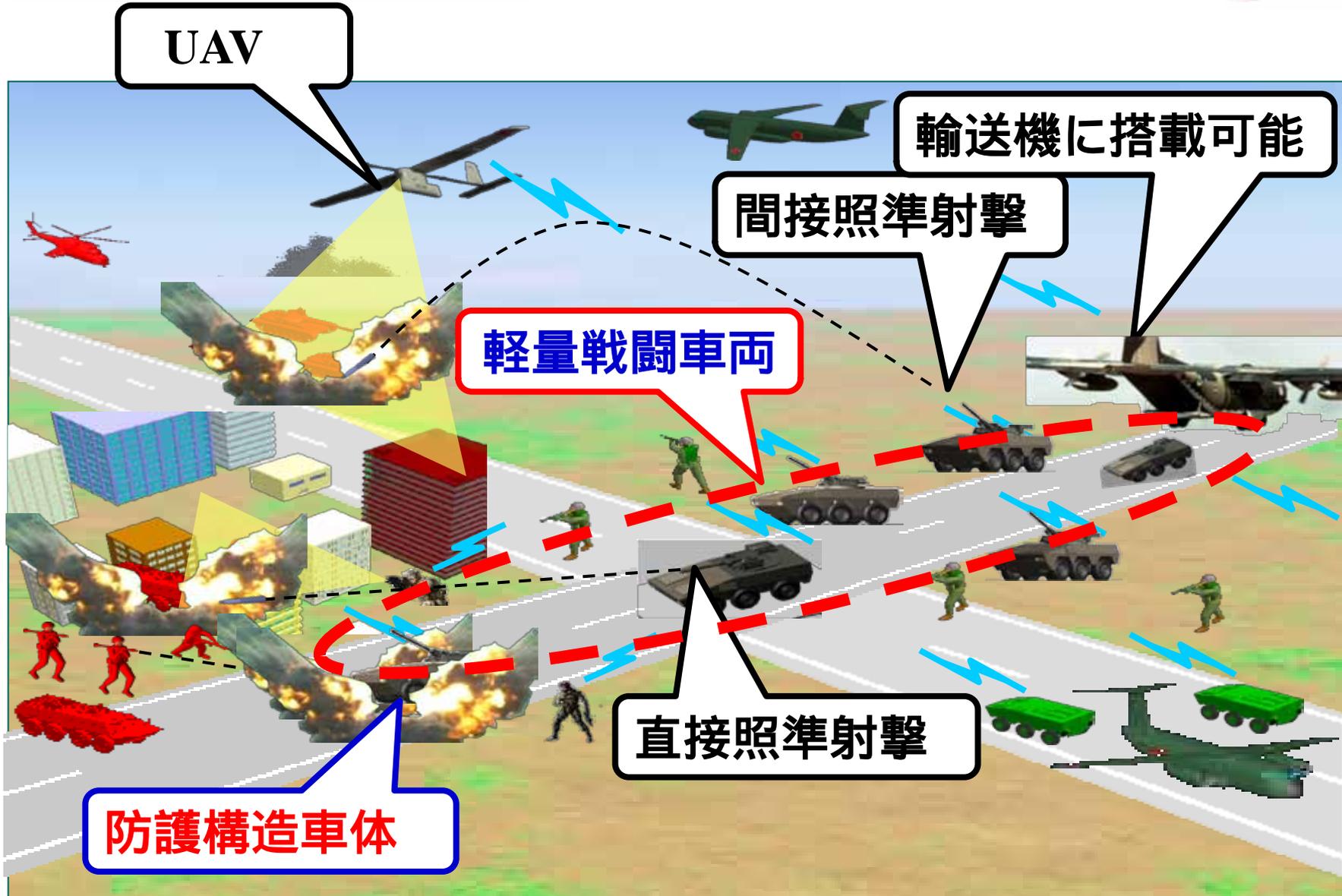
1. コンセプト
2. 背景
3. 軽量戦闘車両システムの特徴
4. 防護構造車体の特徴
5. 防護構造車体
6. まとめ

- **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

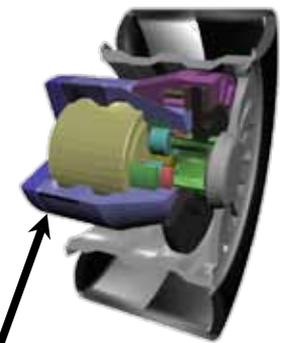


システム設計  
(その2)



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)

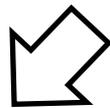
## 研究試作(その2)

(H23-25年度)

# 防護構造車体 (耐爆車体)

## システム設計条件

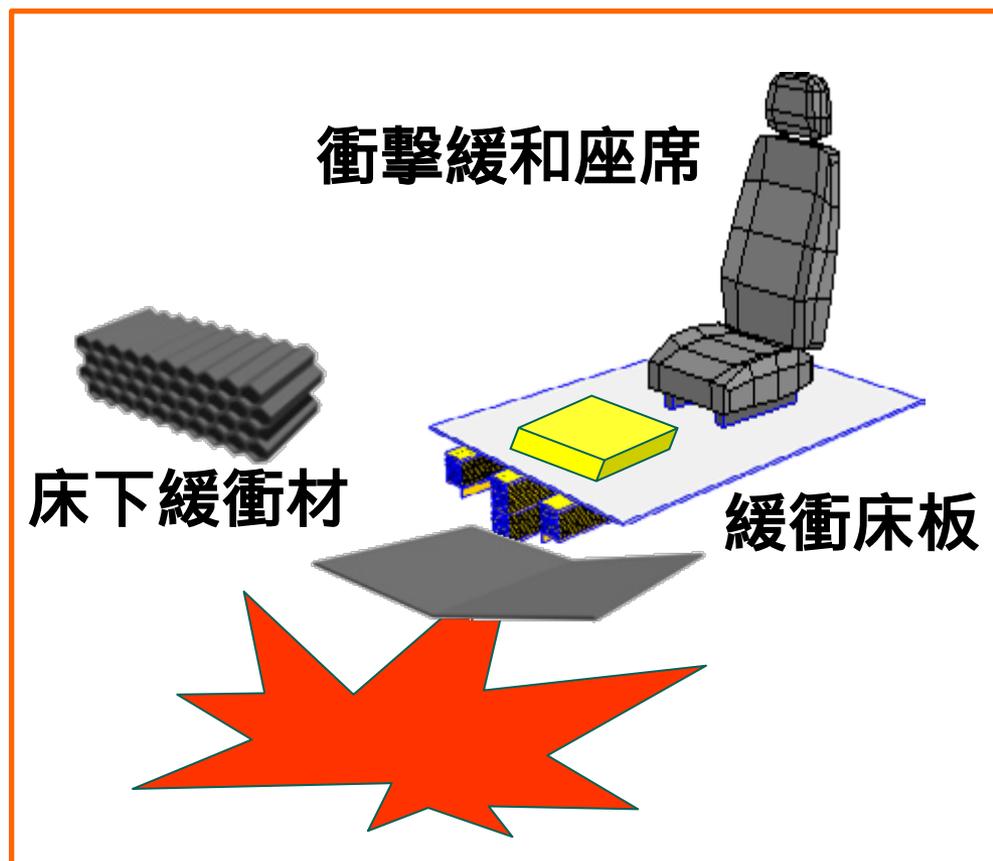
	LCV 中核型	LCV 耐爆型	LCV 中核派生型
火砲	搭載	非搭載	搭載
乗車人員	4名	~ 10名	4名
全備質量	16t	16t	20t
<b>耐爆性</b>			



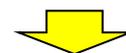
LCV : Lightweight Combat Vehicle (軽量戦闘車両)

# 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

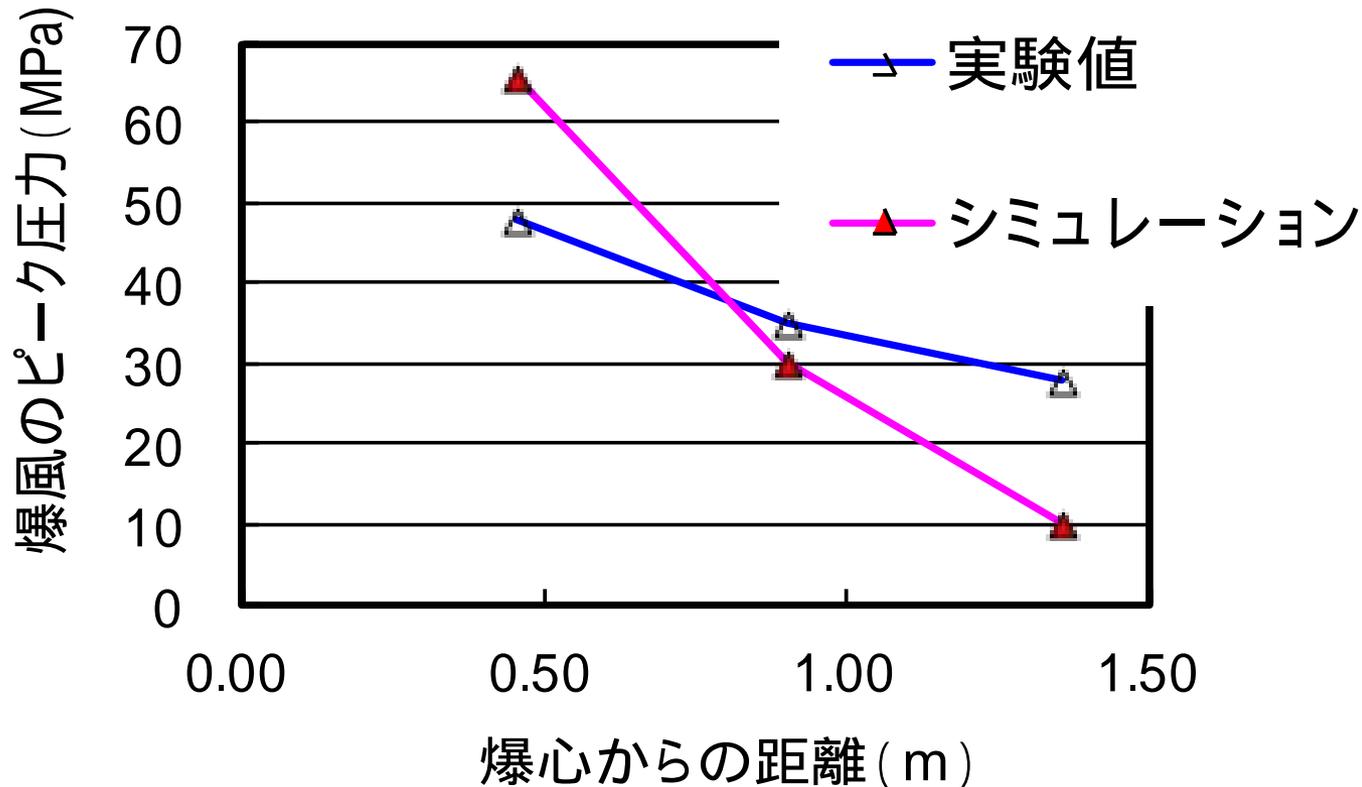


乗員への被害の軽減 →

# 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



STANAG: (NATO)加盟国間の装備規格

# 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

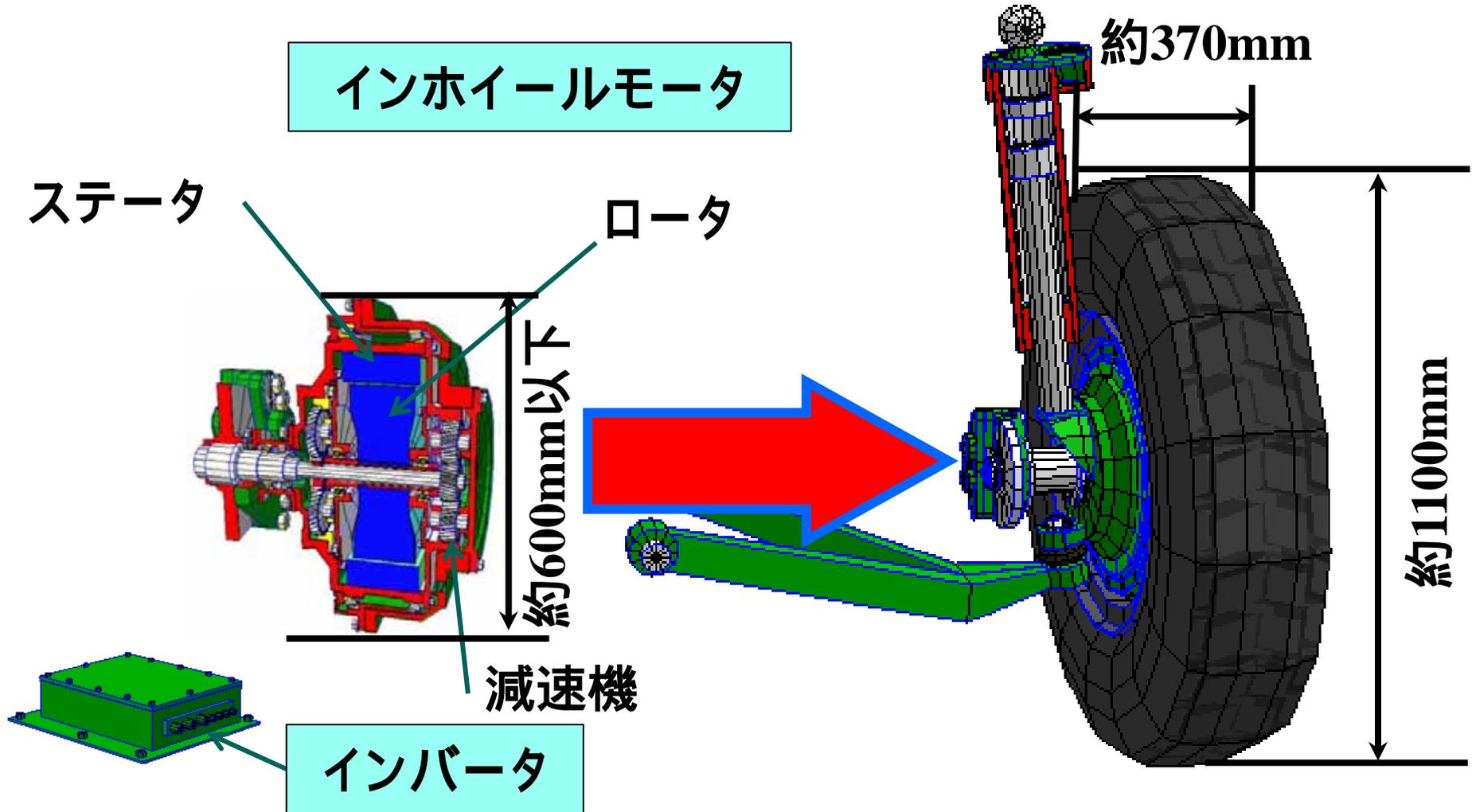
約600mm以下

減速機

インバータ

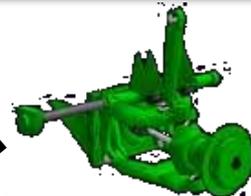
約370mm

約1100mm

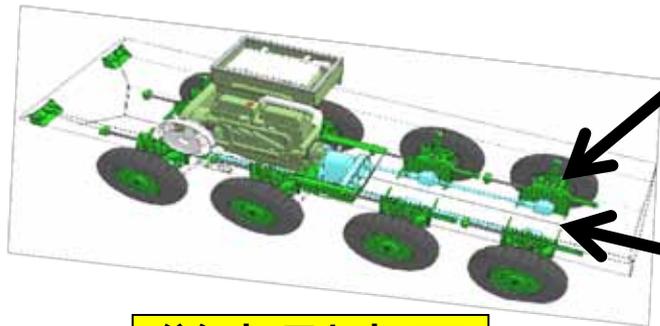


# 防護構造車体 (モータ・インバータ)

## インホイールモータの特徴



懸架装置



従来型車両

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

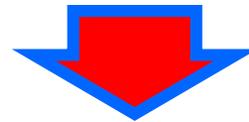
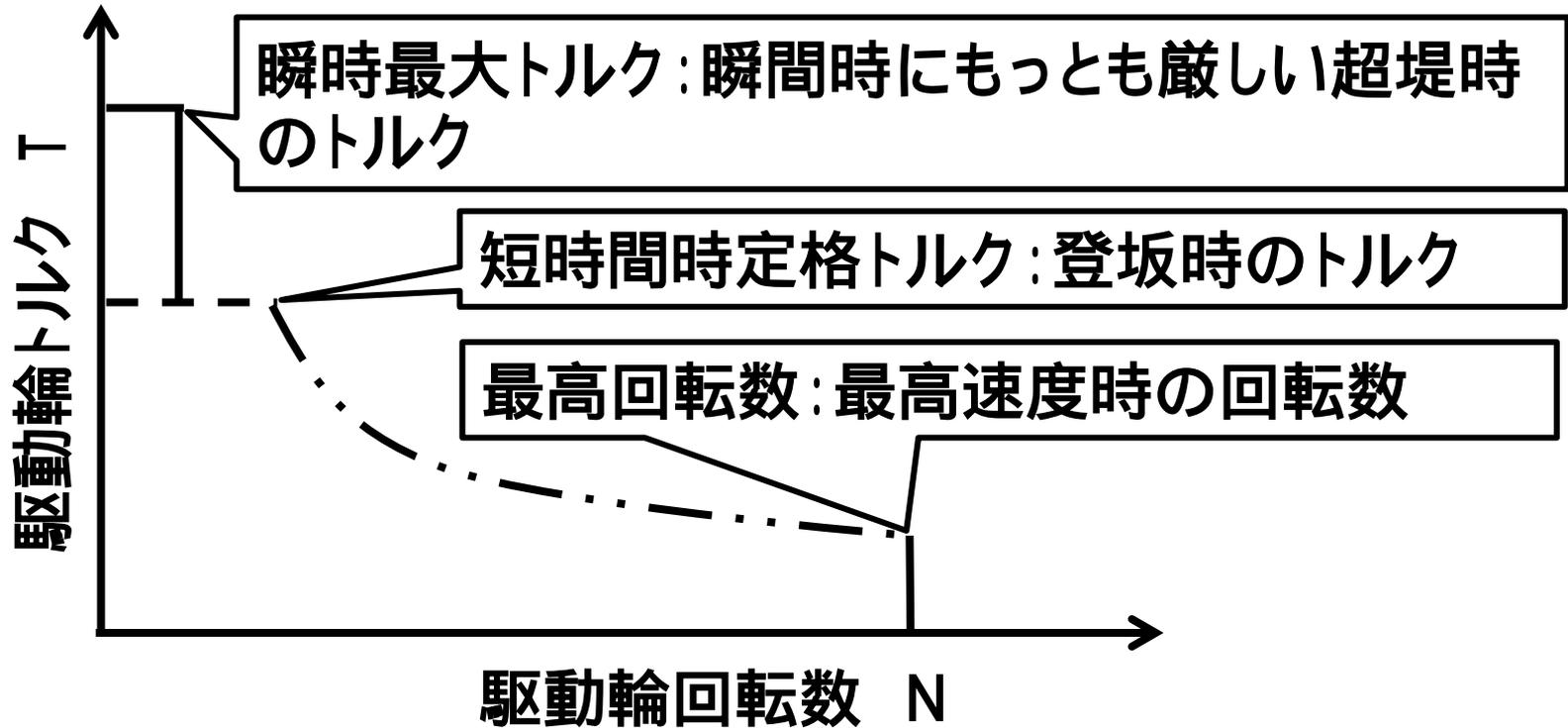


動力伝達装置

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

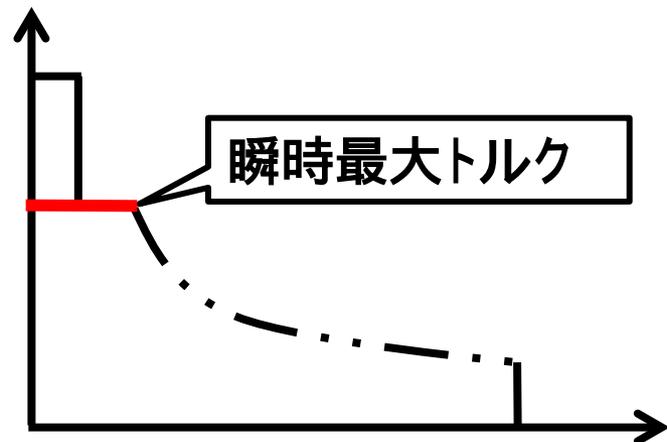
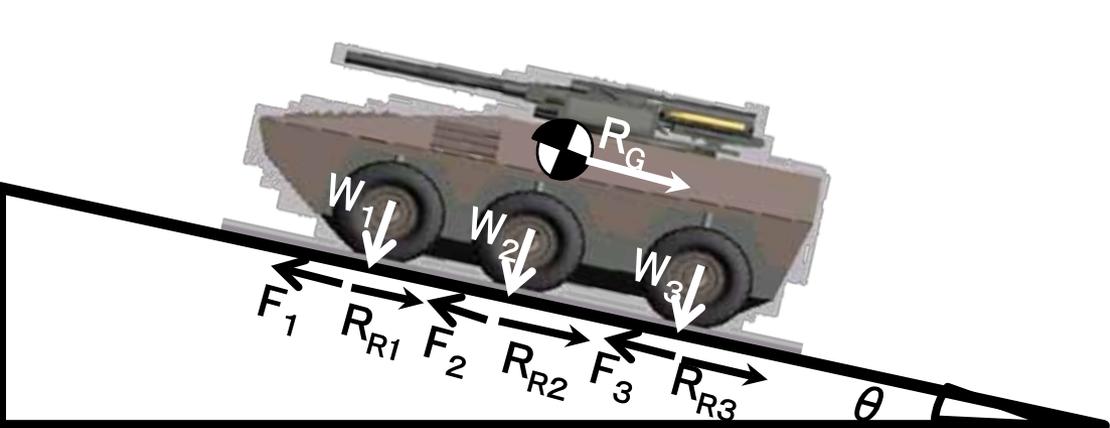
## 動力性能の検討例



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】

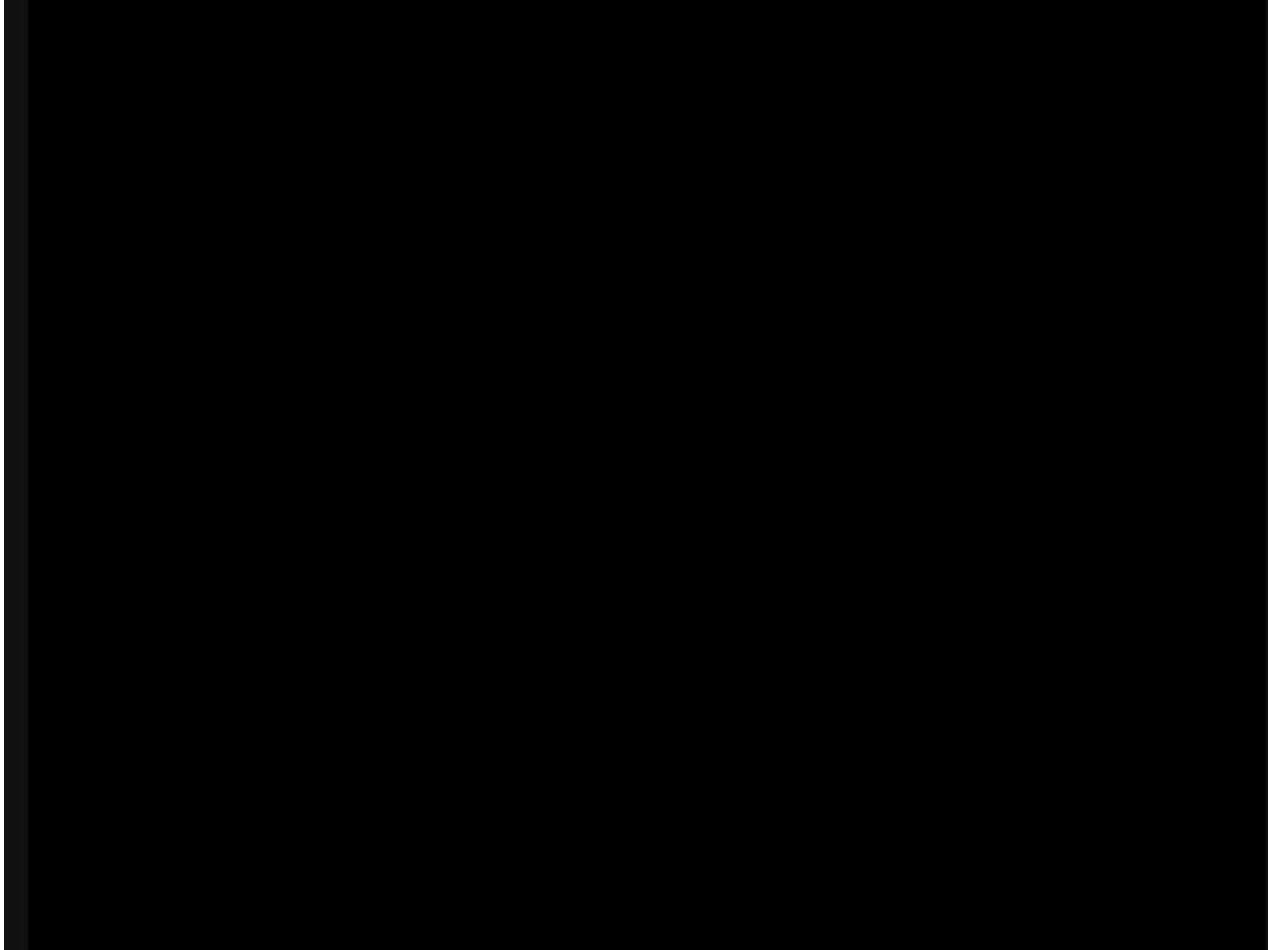
$$T = \frac{F_i \times r_d \times R}{2} / 1000 \text{ [kNm]}$$

- : 31° (60% 登坂)
- $\mu$ : 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。

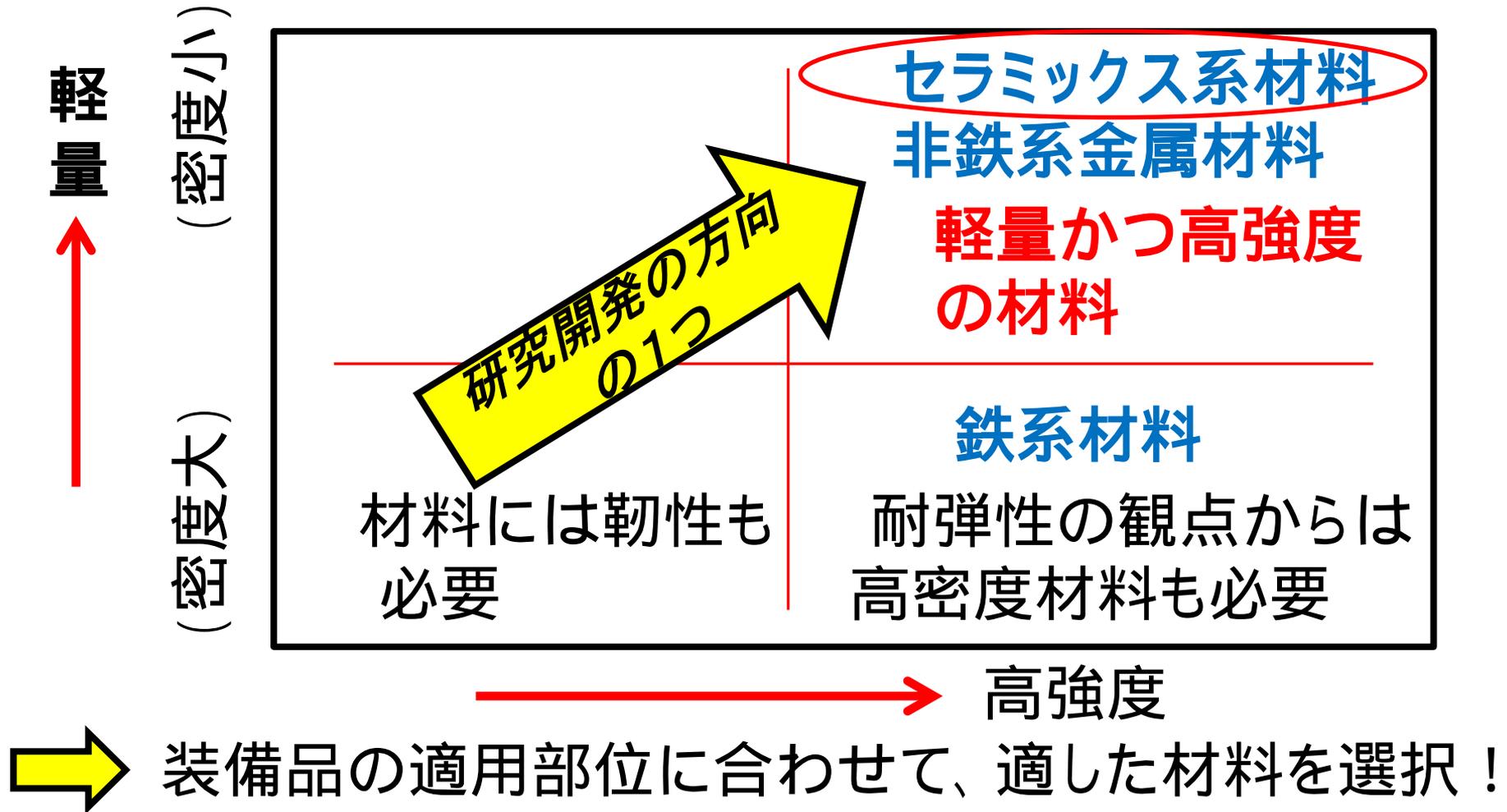
## 2. 実施内容

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  
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

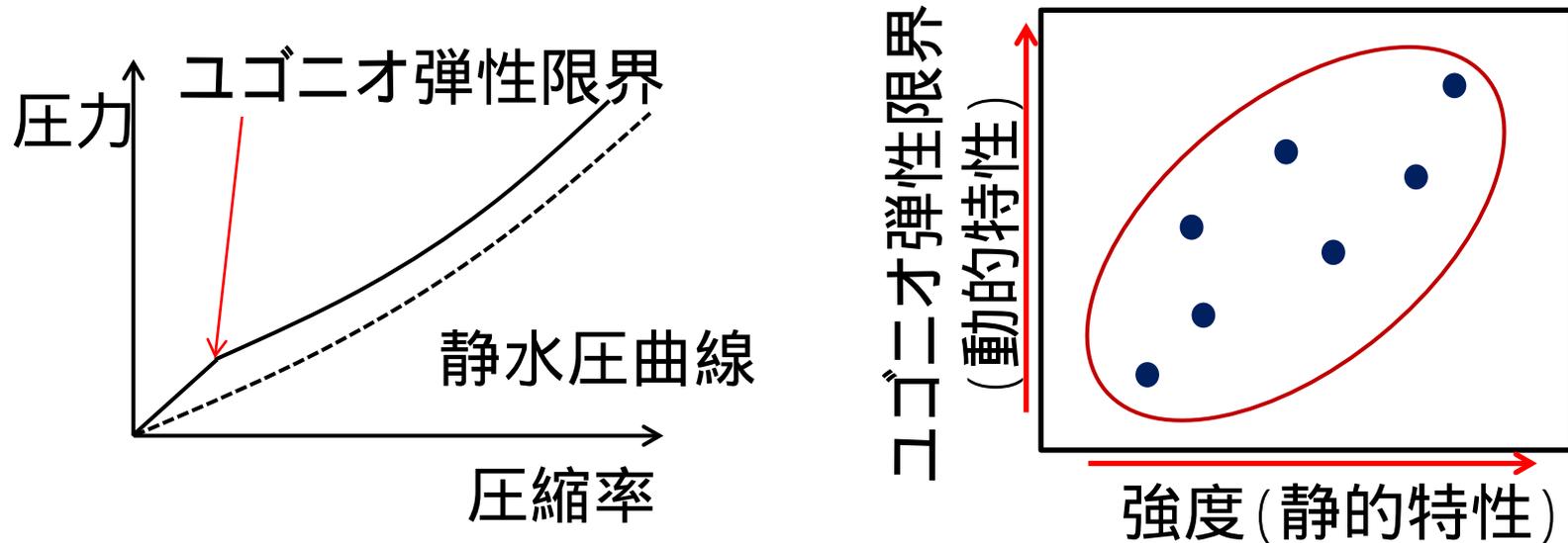
将来装甲への適用検討



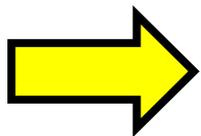
実射試験 (射撃試験、静爆  
試験)  
各種材料の耐弾性評価

### 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 <sup>3</sup> )	曲げ強度 (MPa)	ビッカース硬さ
炭化ホウ素A (B <sub>4</sub> C) 1	PECS 2	2.81	472	3340Hv
炭化ホウ素B (B <sub>4</sub> C)	NS 3	2.41	395	3023Hv
アルミナ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 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 (B<sub>4</sub>C80wt%+TiB<sub>2</sub>20wt%)
- 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 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>99wt%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 <sup>3</sup> )	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

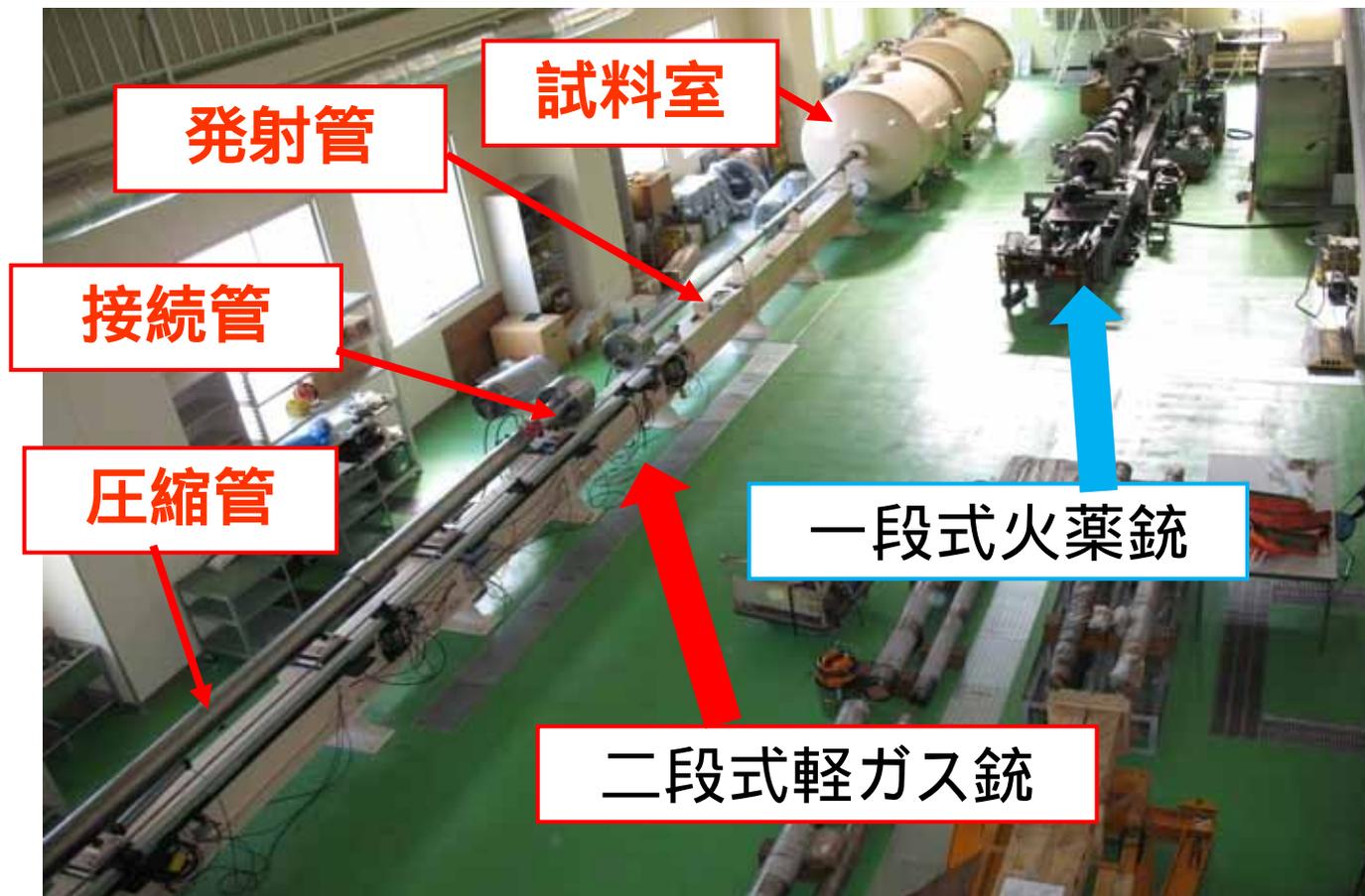
炭化ケイ素Aの成分

( SiC93wt%+アルミナ4wt% +Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3wt% )

炭化ケイ素Bの成分

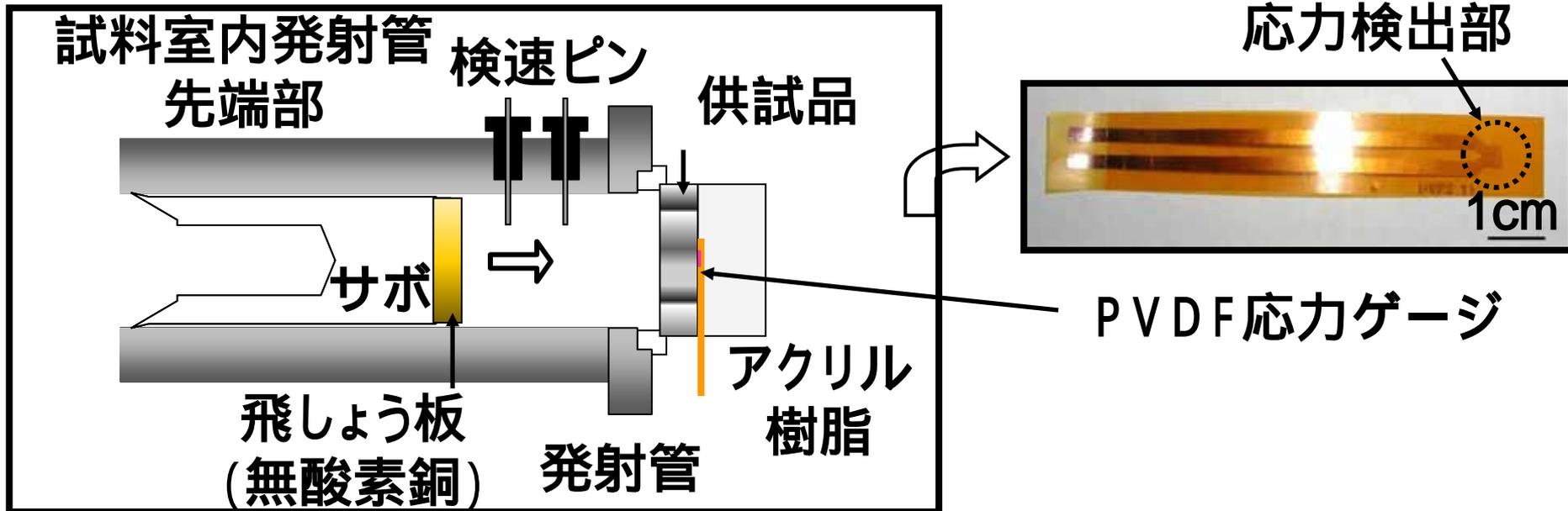
( SiC92.4wt%+Al5wt%+B0.6wt%+C 2wt% )

## 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 -



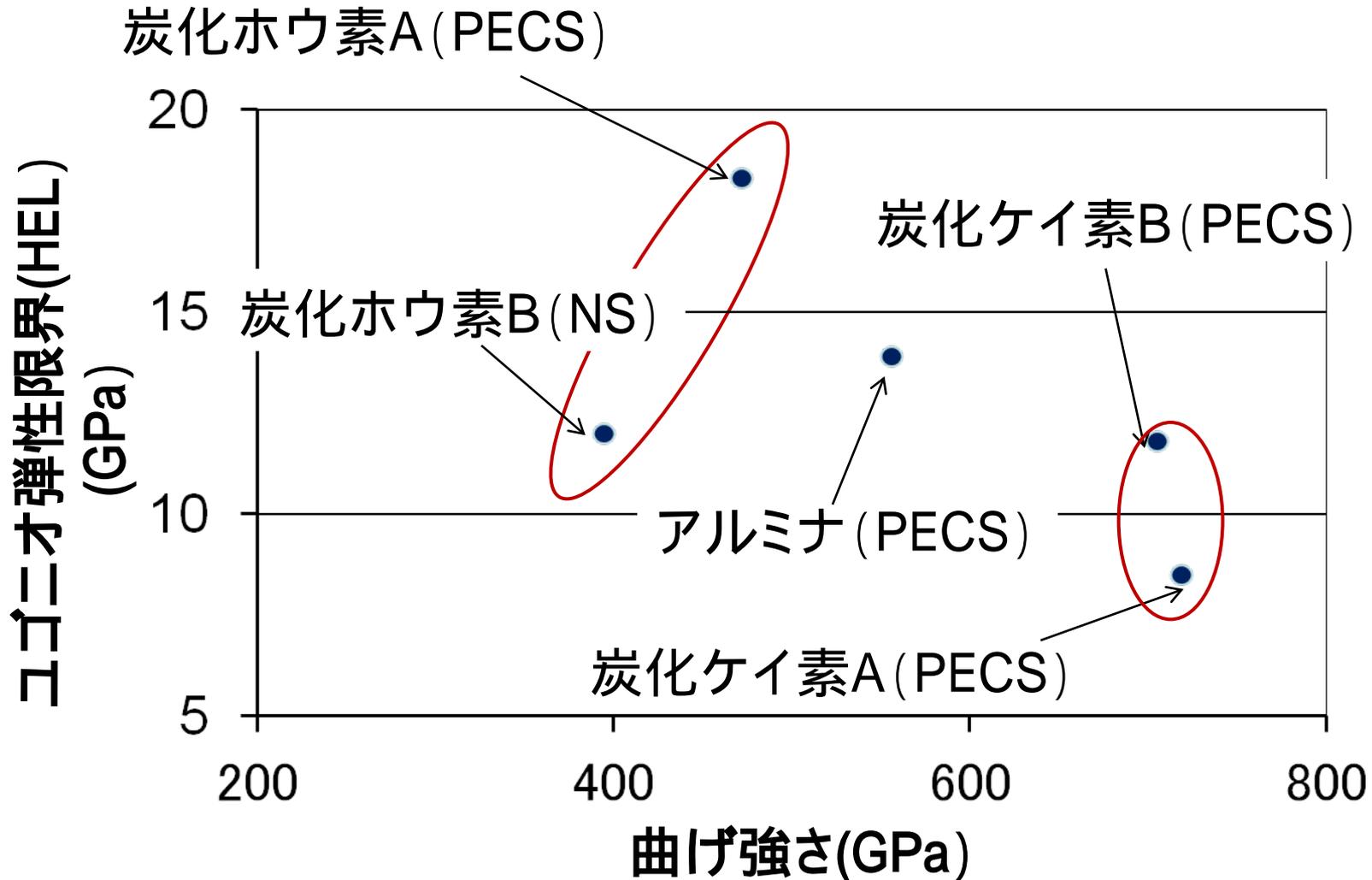
ゲージ方式の供試品設置例

- ・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

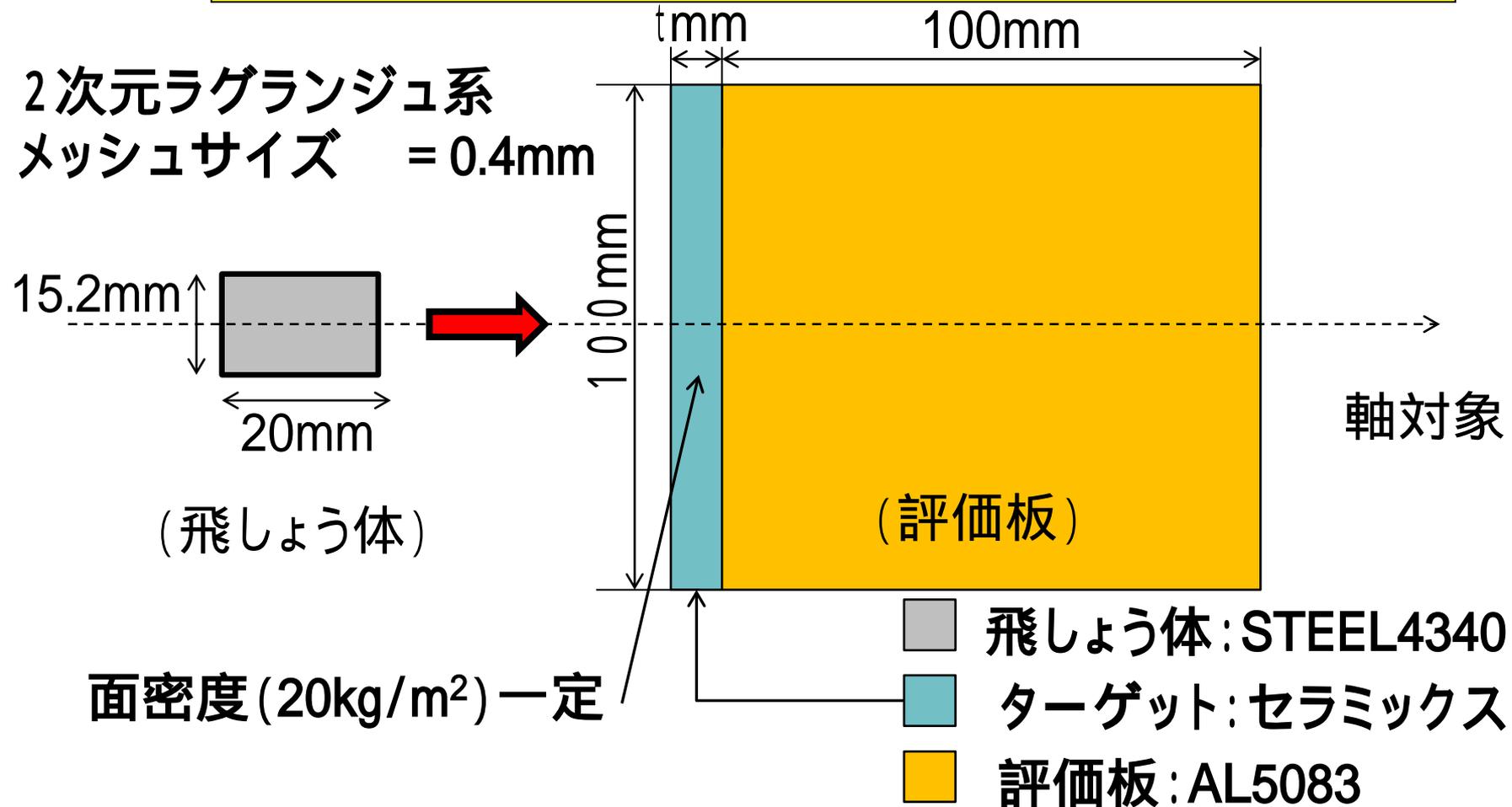
## 6. 試験結果(セラミックス系)

- ・ 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

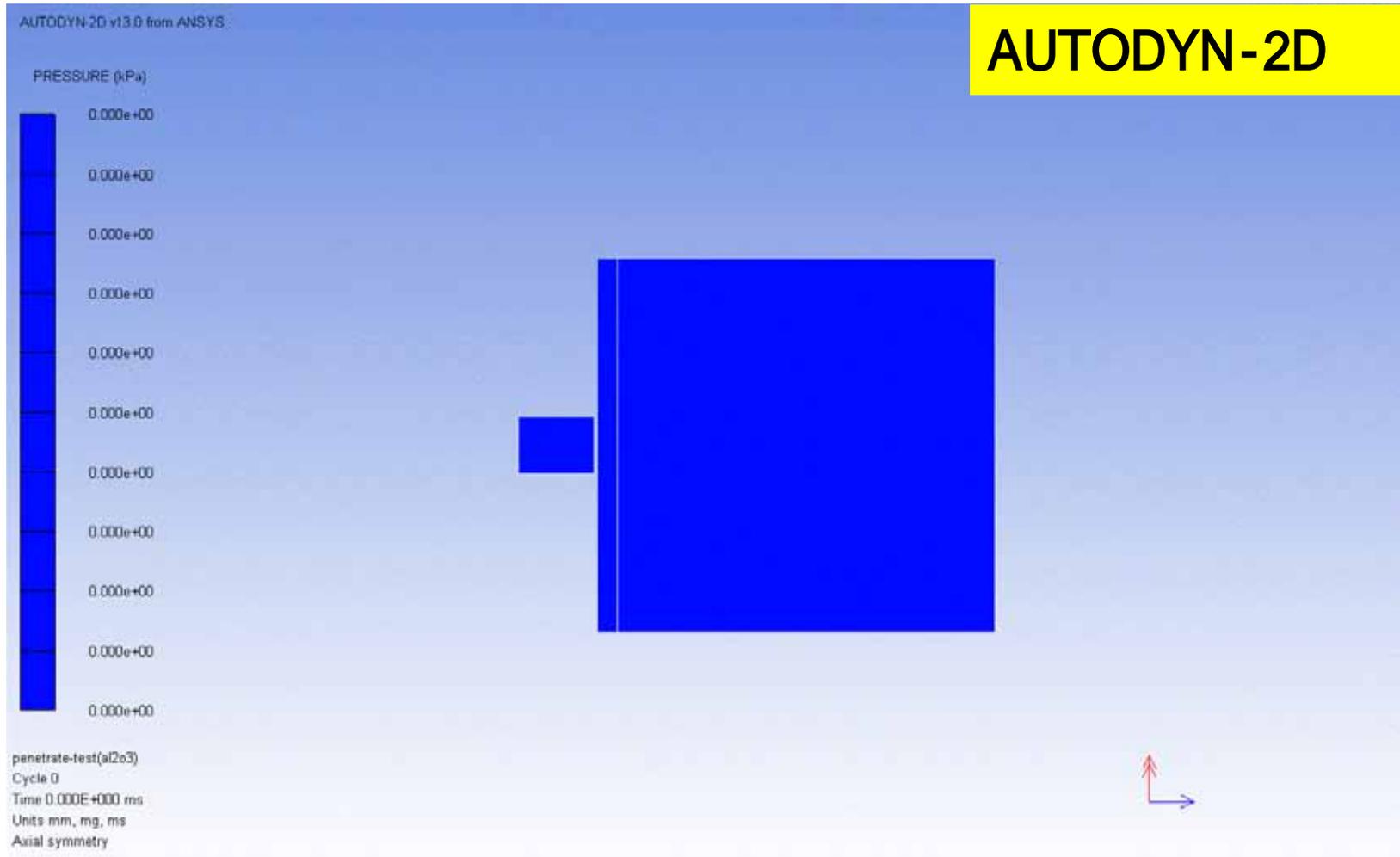
## 7.1 シミュレーションによる侵徹現象解析モデル



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)



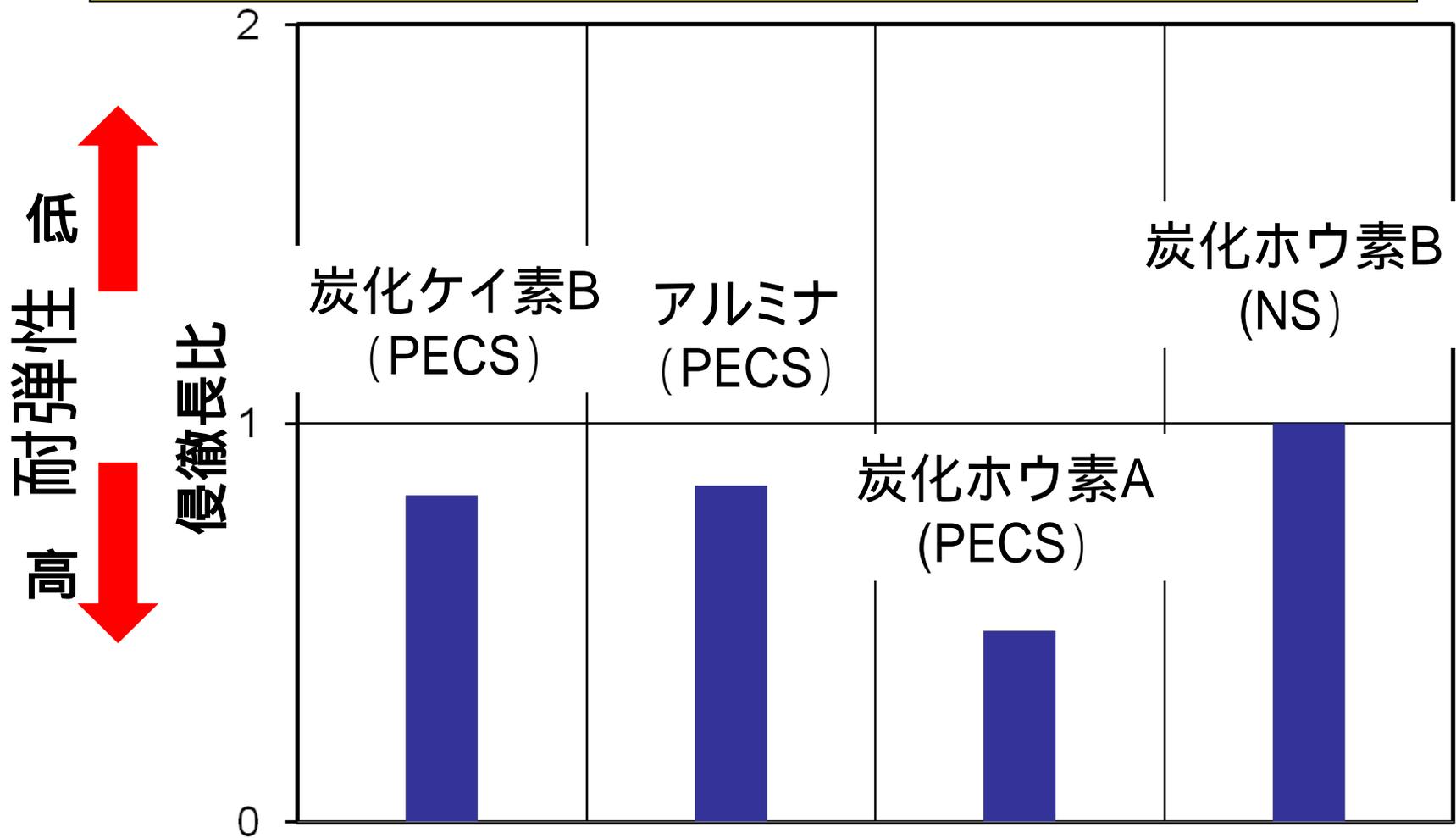
ターゲット材質

アルミナ (PECS)

飛しょう体速度

1500 m/s

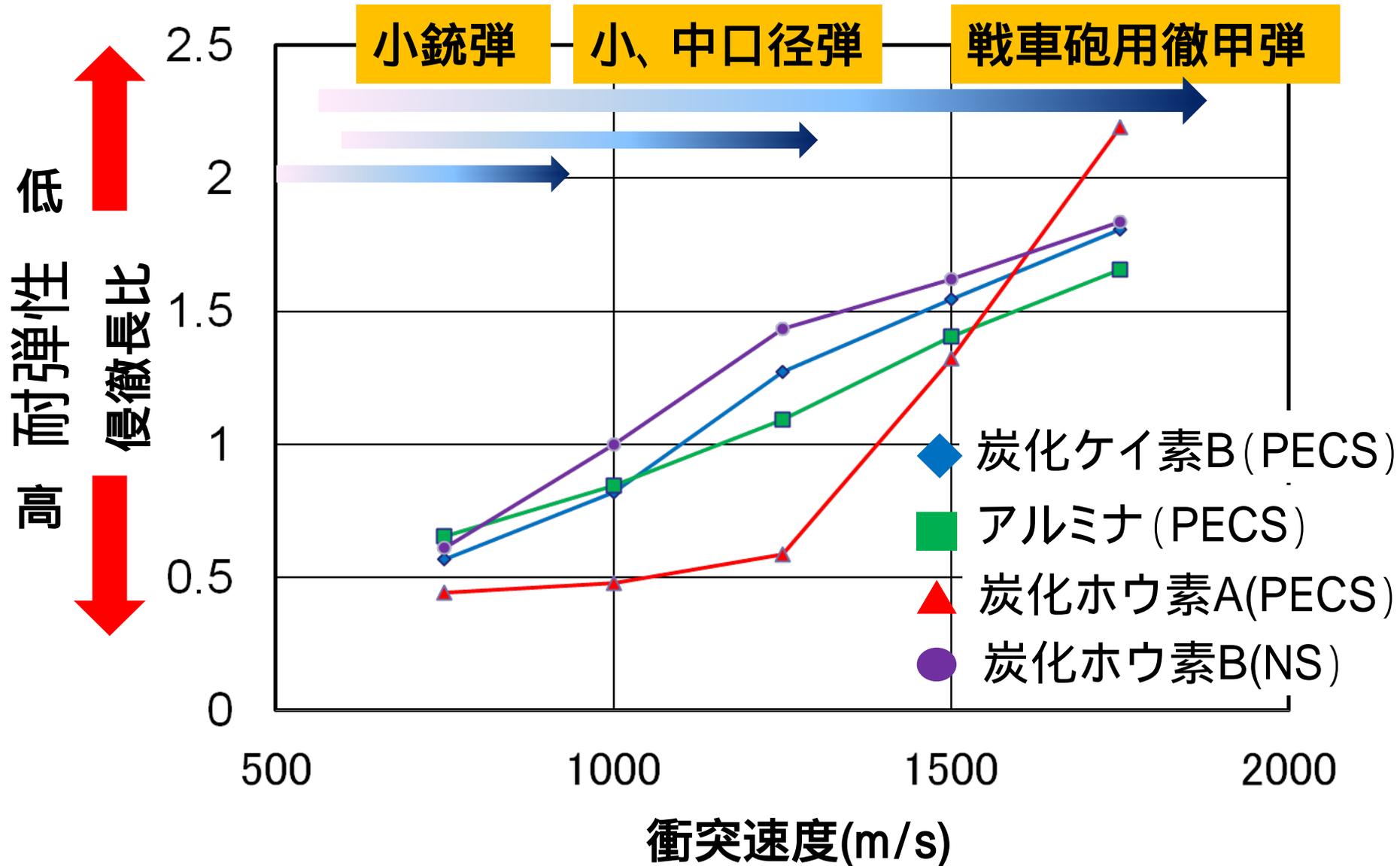
## 7.3 侵徹シミュレーション解析結果(1/2)



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 $1500\text{m/s}$ 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 $1500\text{m/s}$ 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

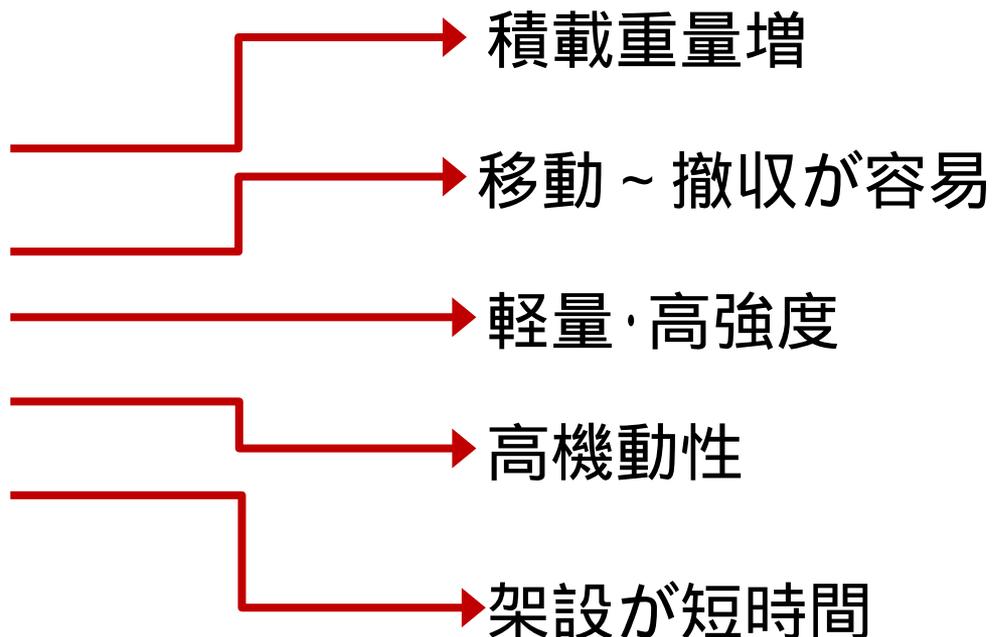
# 1. 研究の目的

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。



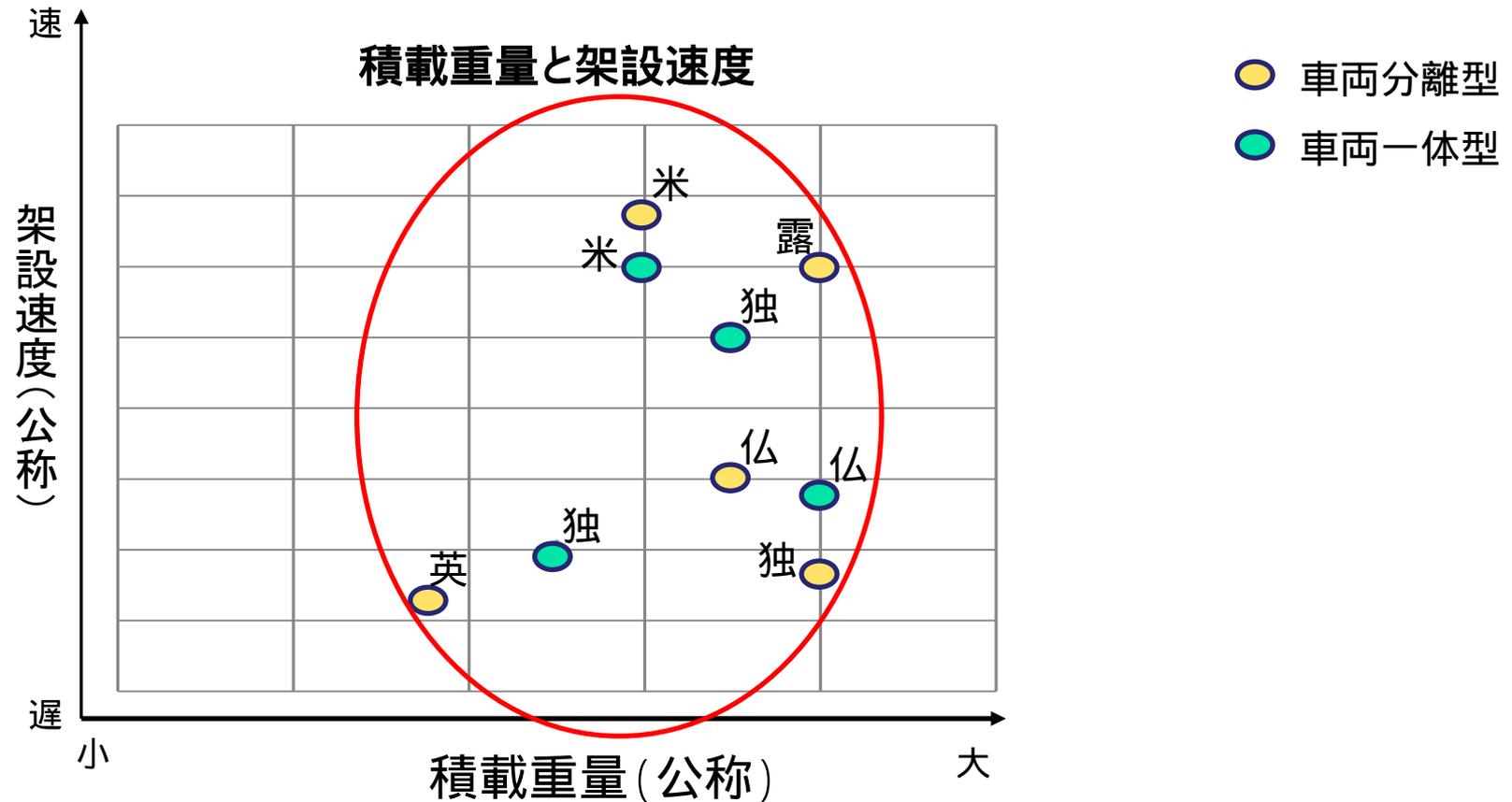
92式浮橋の専用運搬車

## 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



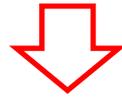
積載重量(高強度)の分布範囲は狭いことから、今までは積載重量(高強度)を重視した開発傾向にあった。

## 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。

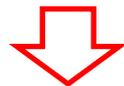
- 1 . 浮橋の基本性能が向上する  
より重い車両が通過可能(積載重量増)、より容易に移動～撤収の一連の工程が終了
- 2 . 他の性能の向上が期待できる  
機動性の向上、架設の短時間化が期待できる
- 3 . より負荷がかかる新しい環境での運用が期待できる  
上下する水面(例:海上)で使用

## 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**



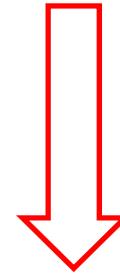
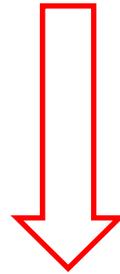
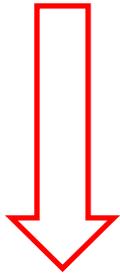
運用環境を考慮し、浮橋にかかる**荷重負荷の最大値**を**計算**により求める。

# 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



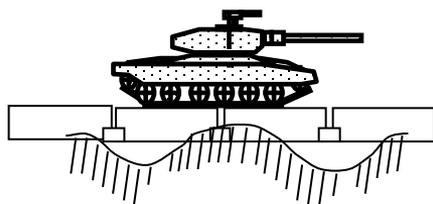
積載物を載せた浮橋の荷重関係のモデル化

負荷要因の  
モデル化

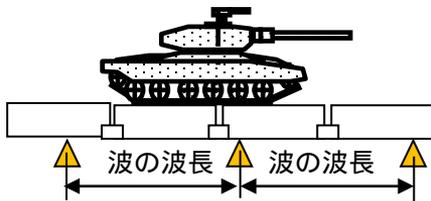
計算モデル作成

# 7-1. 計算モデル (上下する水面の場合)

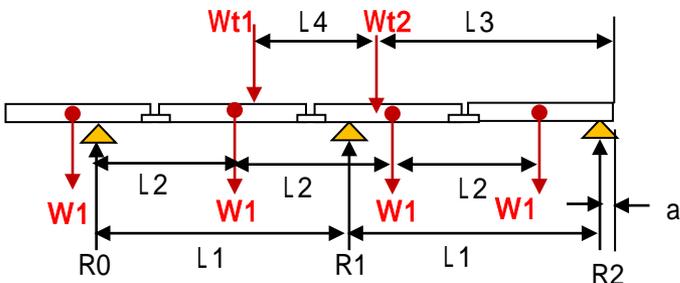
新しい環境での運用の可能性を検討するため、運用環境を考慮して荷重負荷を求める数値計算を実施した。



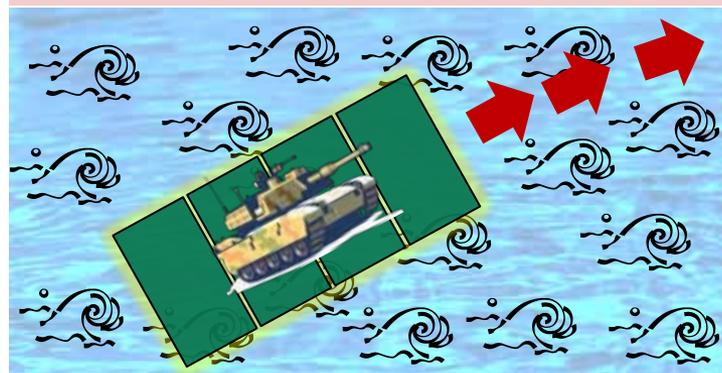
水との接点 支持点



荷重位置 (w) は同一、支持点位置 (R) は変化



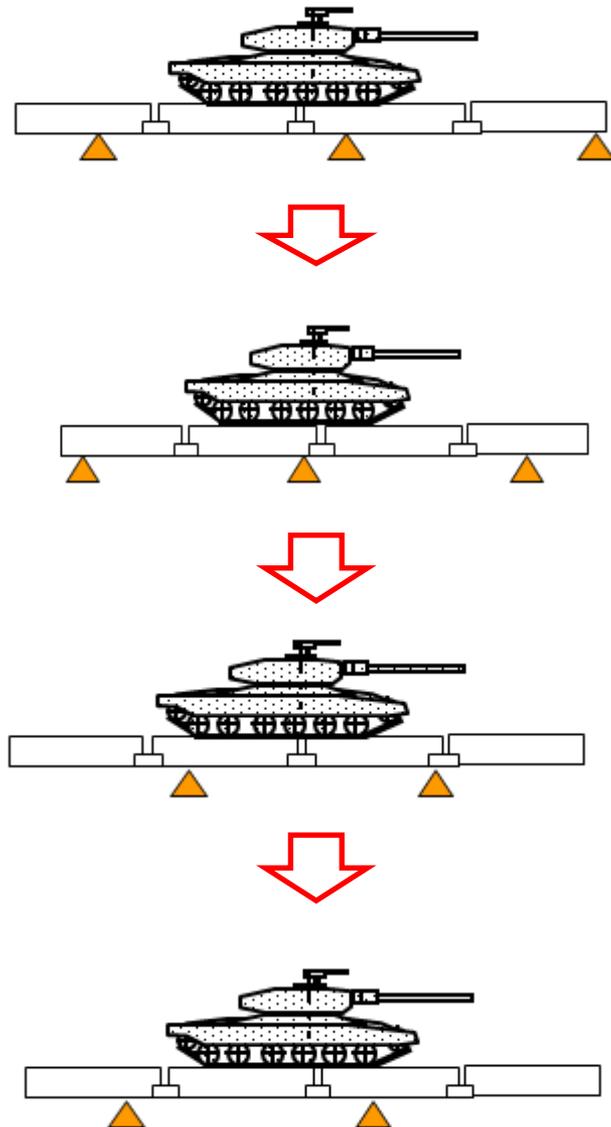
上下する水面で使用する場合 (門橋形態)



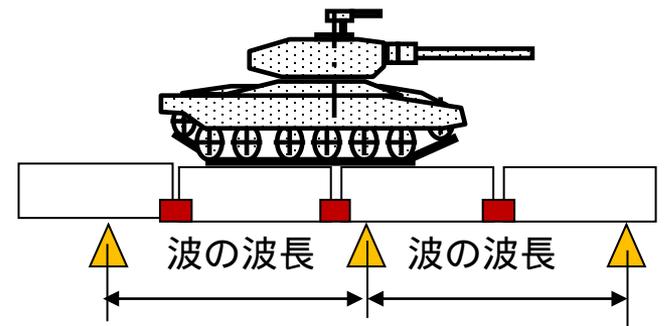
計算条件

- ・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)

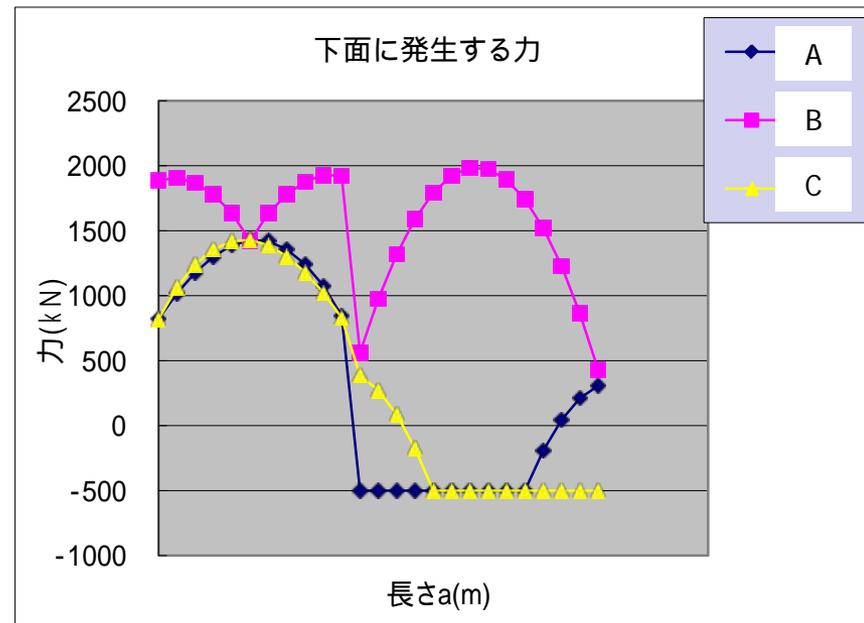
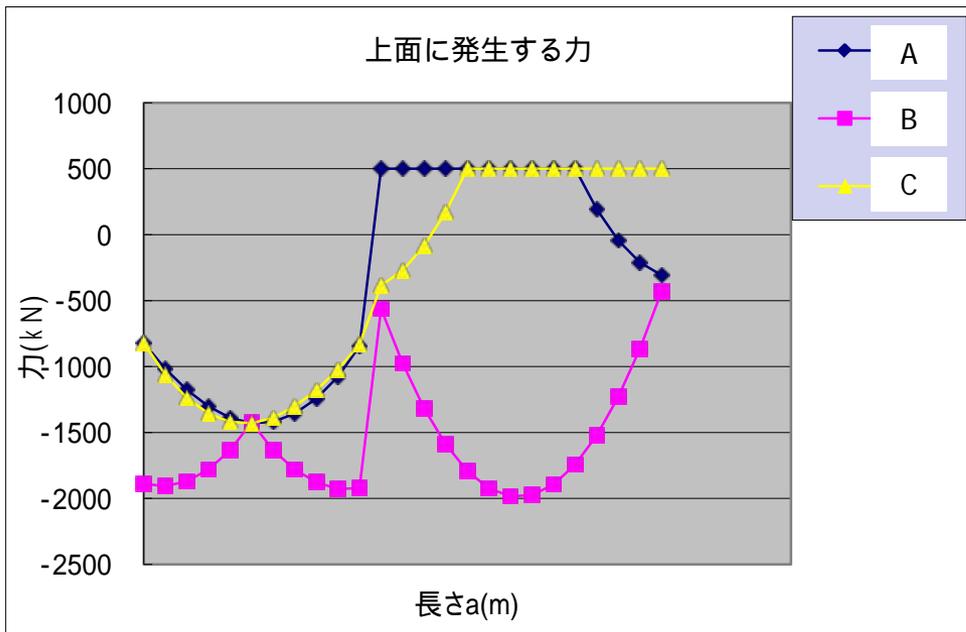
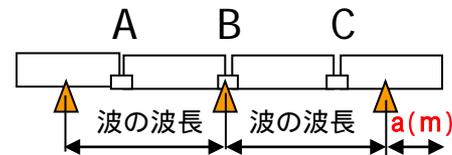
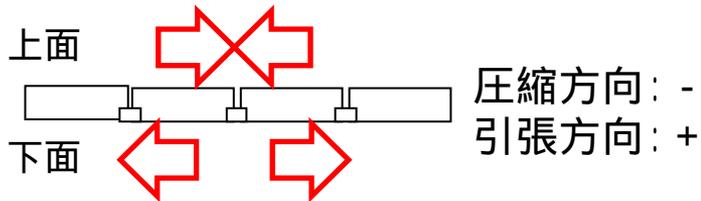


進行する波を移動する支持点として近似し、支持点が移動する時に負荷が集中しやすい連結部にかかる力を計算により求める。



■ : 連結部

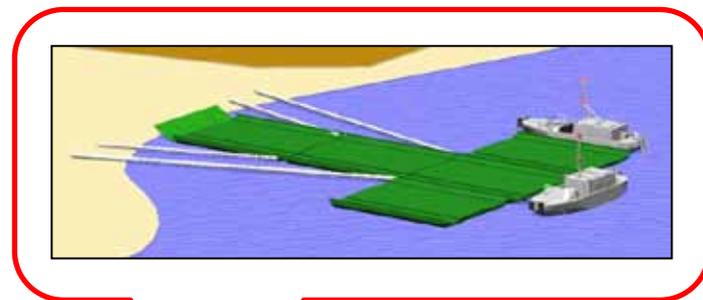
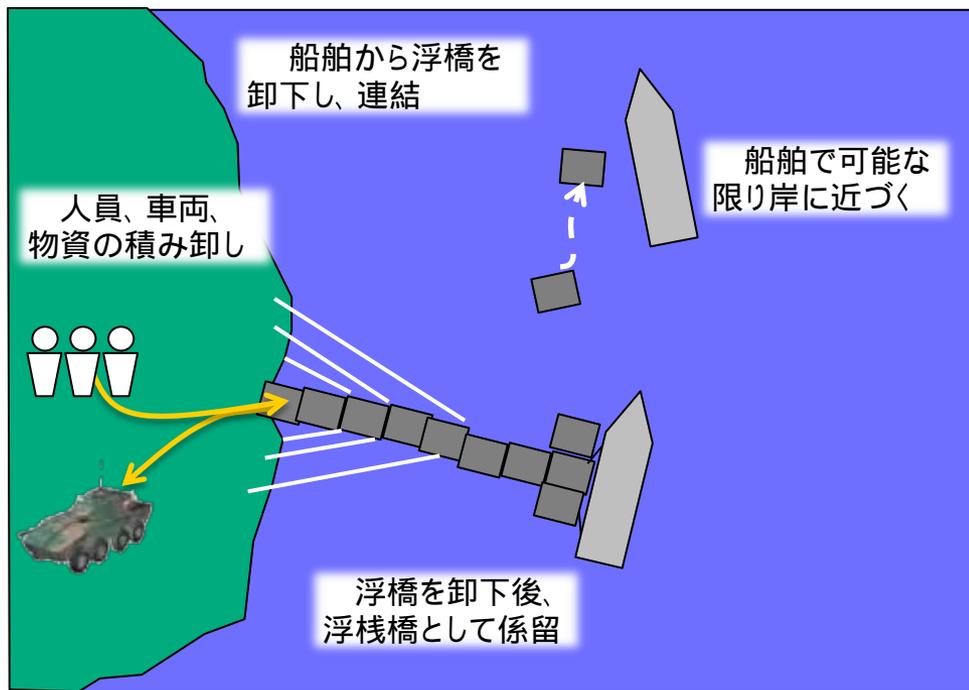
▲ : 支持点



- 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

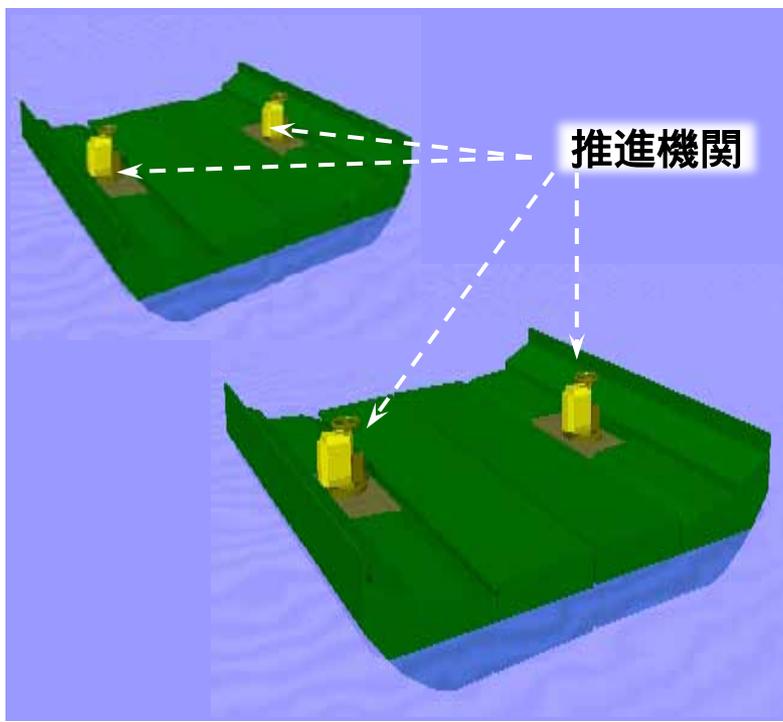
## 海上で浮棧橋として利用



港灣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

# 10-1. 応用可能な新しい技術

## 自立推進

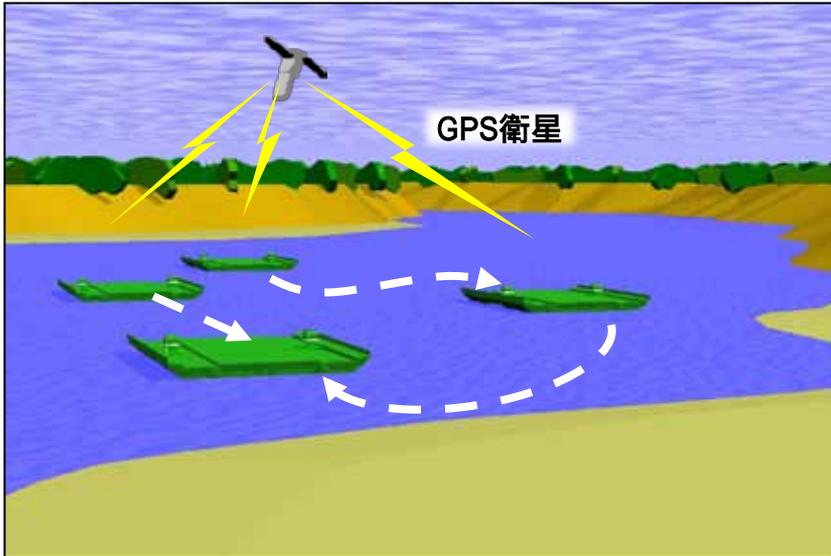


推進機関により自立推進

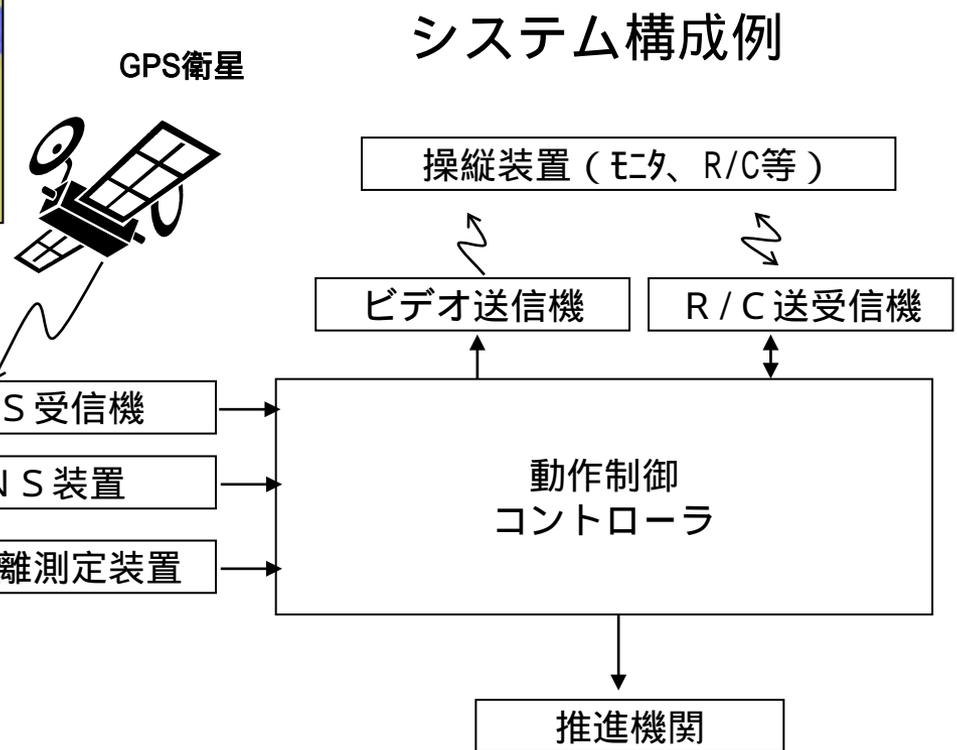
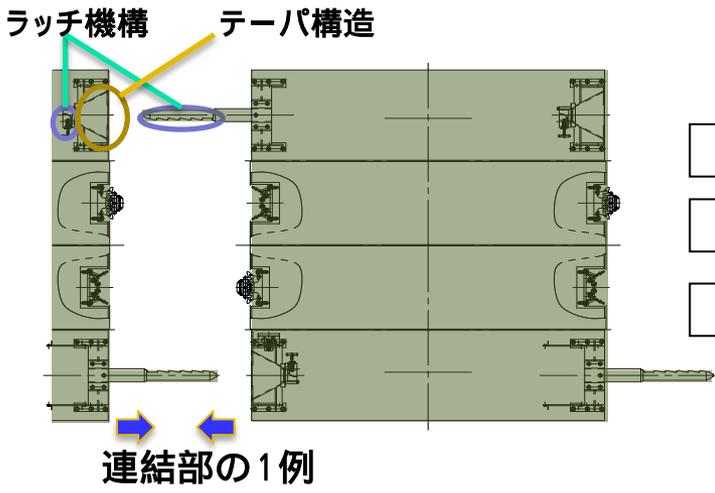
厳しい運用環境でも使用可能

# 10 - 2 . 応用可能な新しい技術

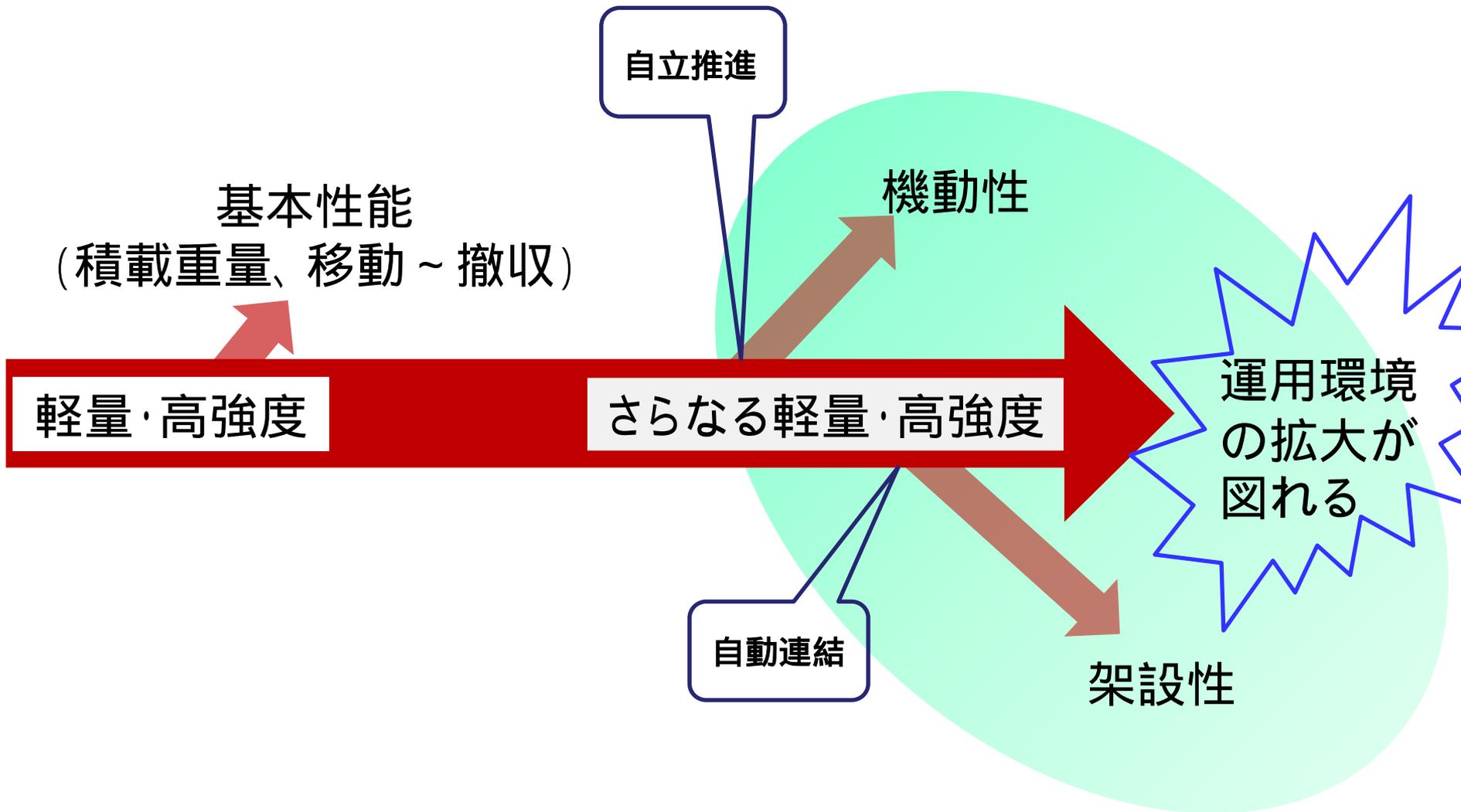
## 自動連結



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



# 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。