



# 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。

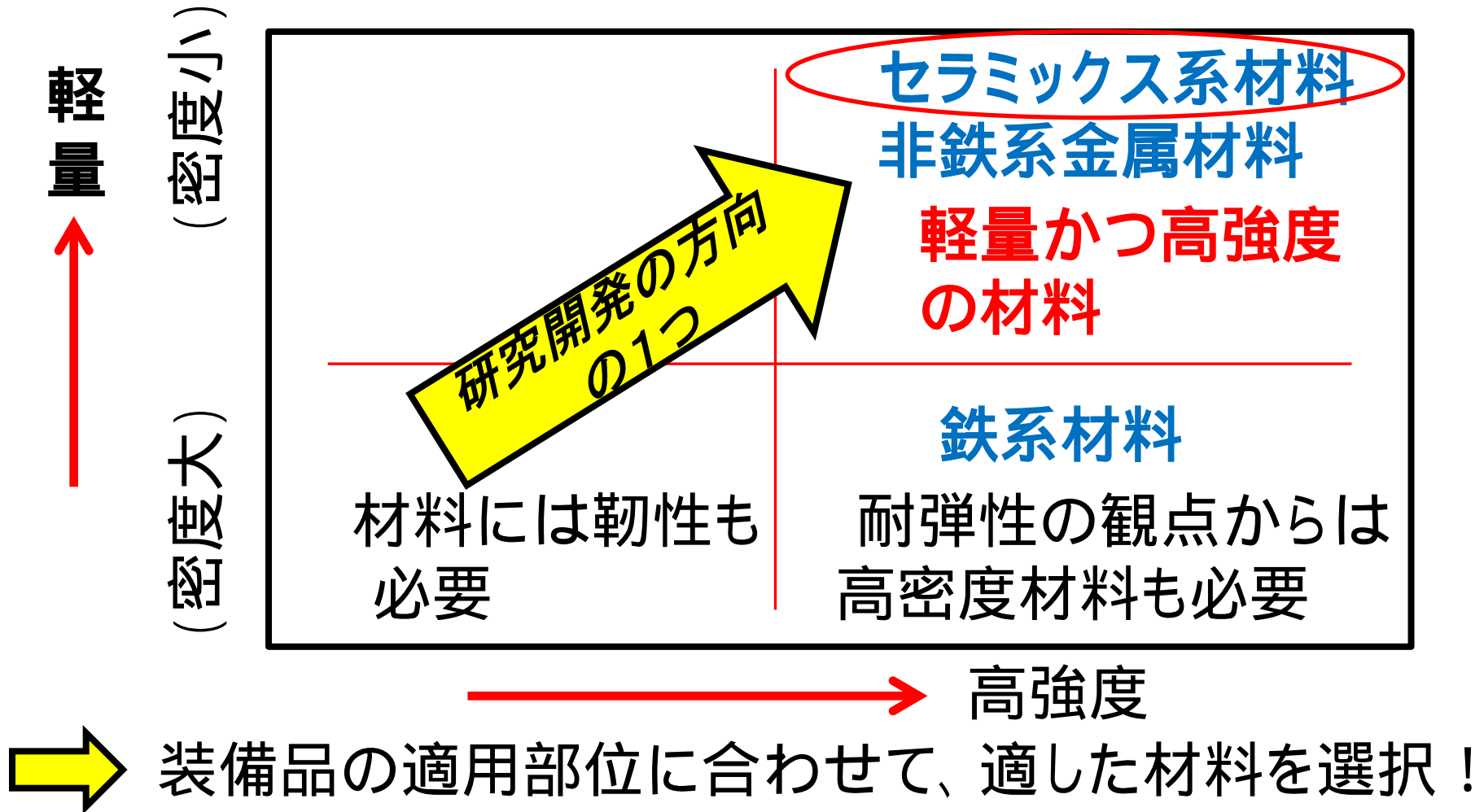
## 2. 実施内容

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

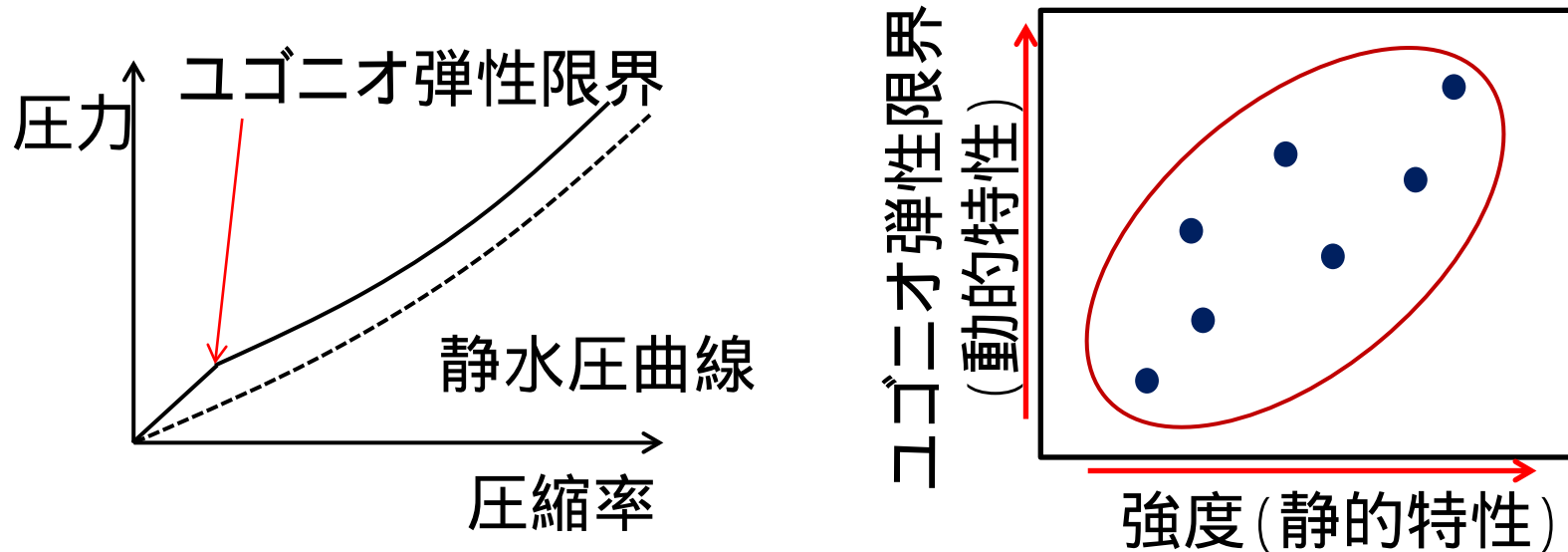
将来装甲への適用検討



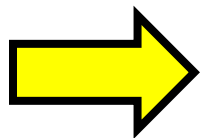
実射試験 (射撃試験、静爆  
試験)  
各種材料の耐弾性評価

### 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

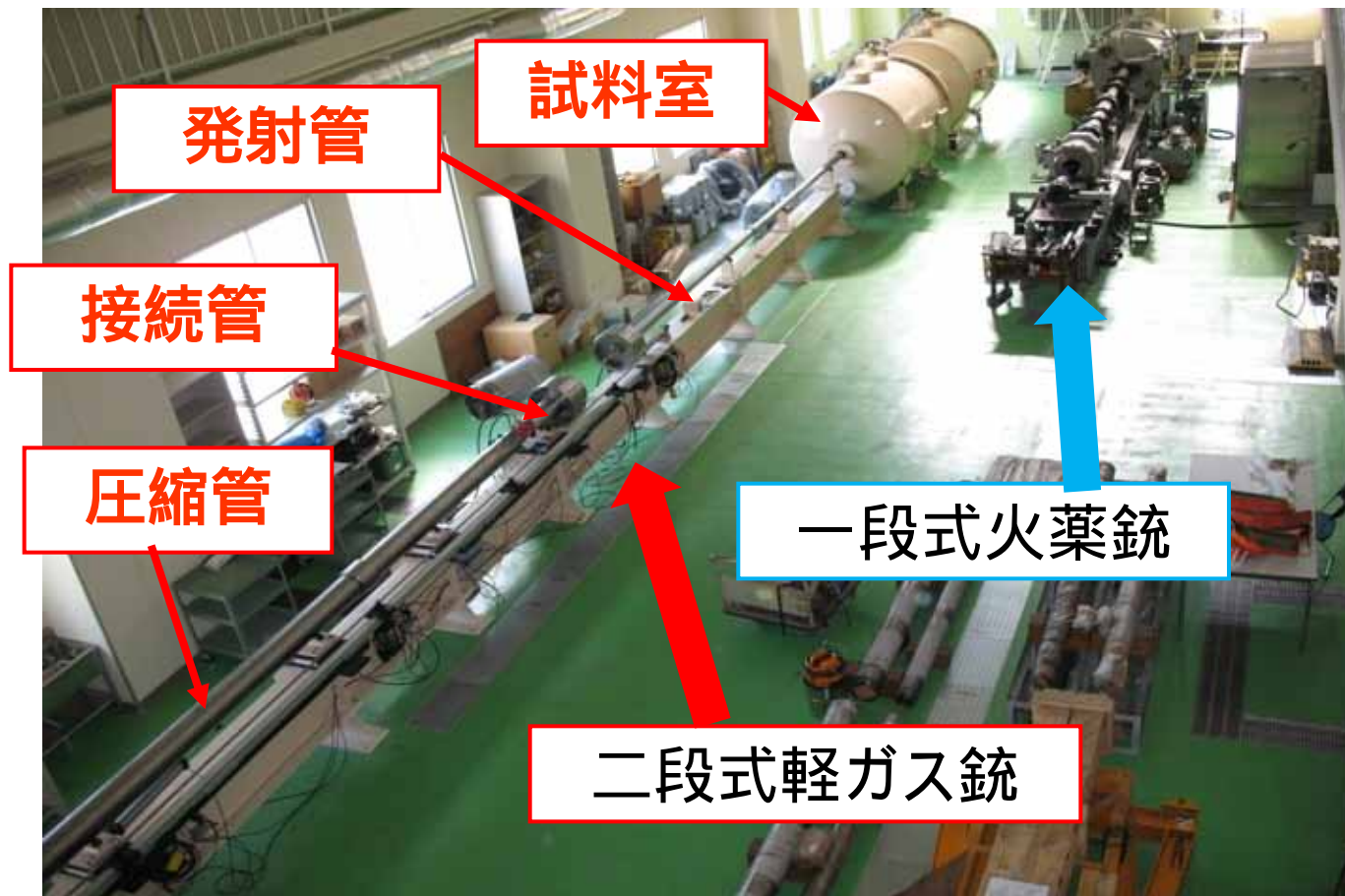
炭化ケイ素Aの成分

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

炭化ケイ素Bの成分

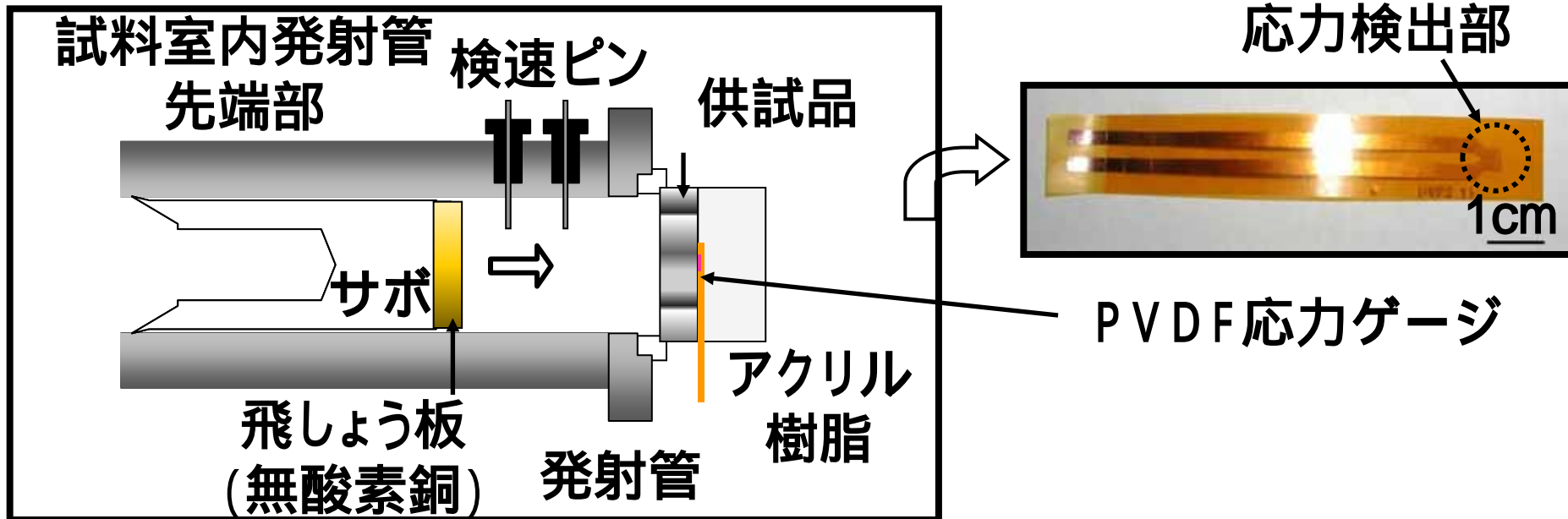
( SiC92.4wt%+Al5wt%+B0.6wt%+C 2wt% )

## 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 -



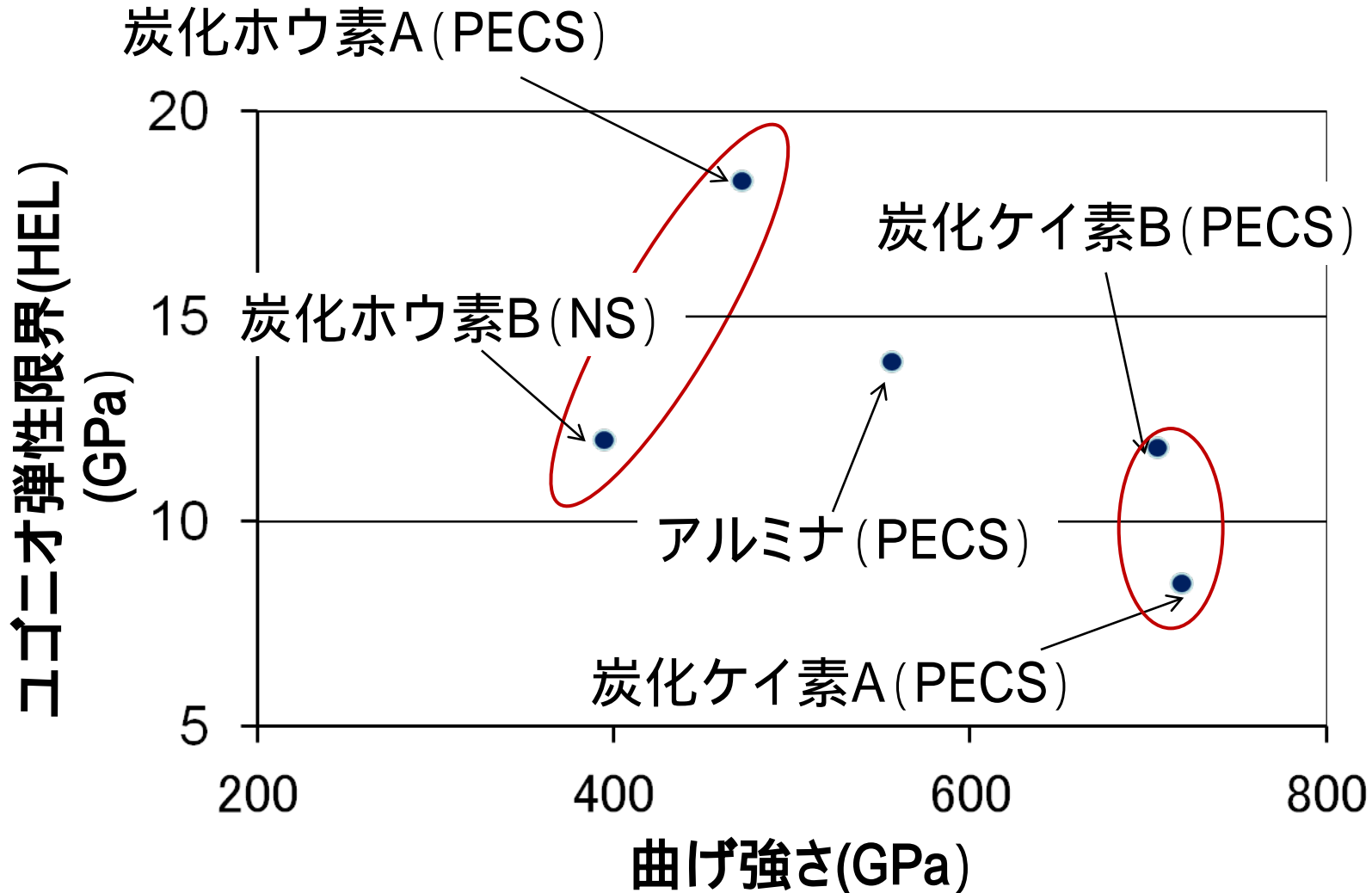
ゲージ方式の供試品設置例

- ・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

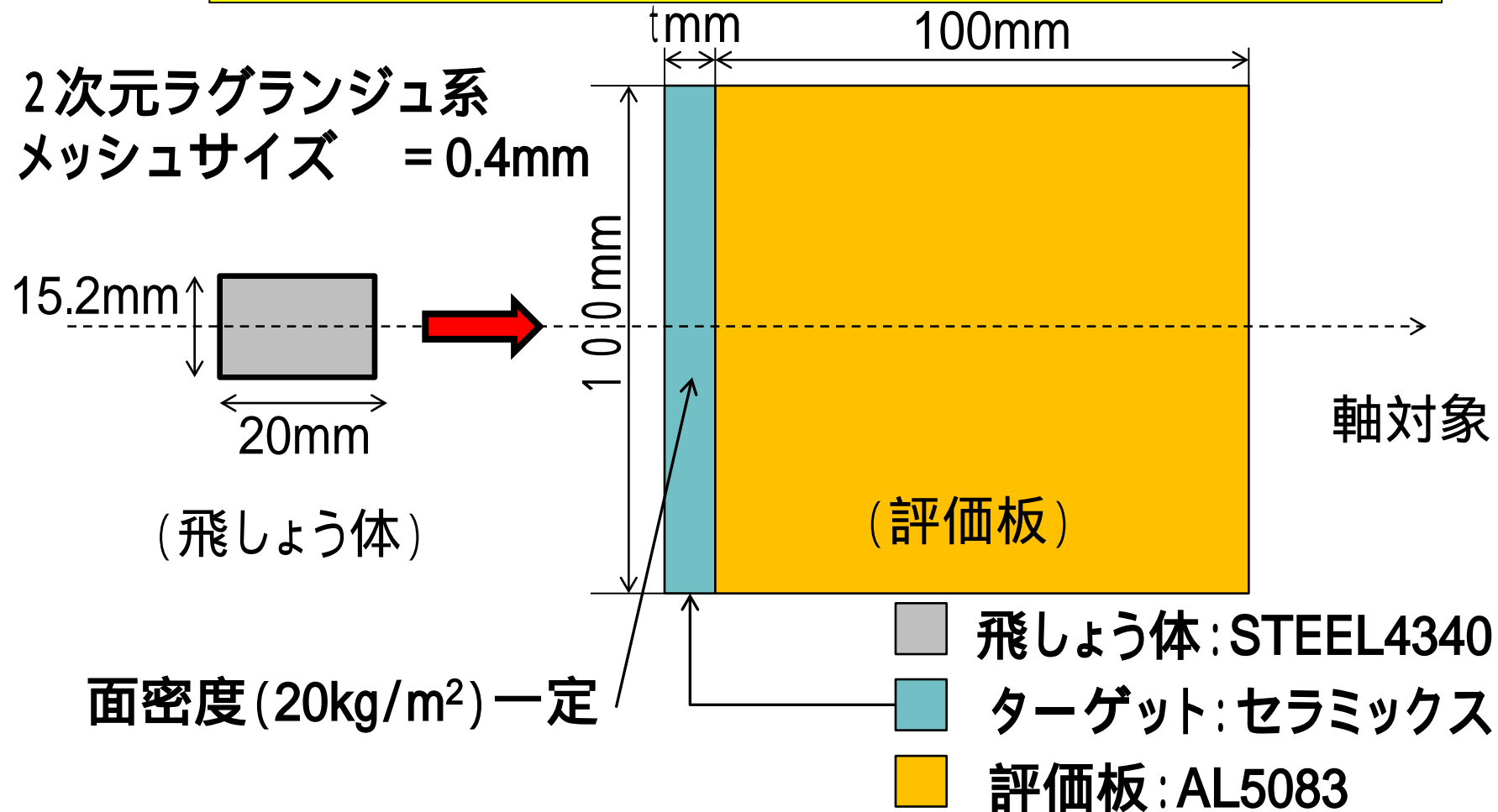
## 6. 試験結果(セラミックス系)

- ・ 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

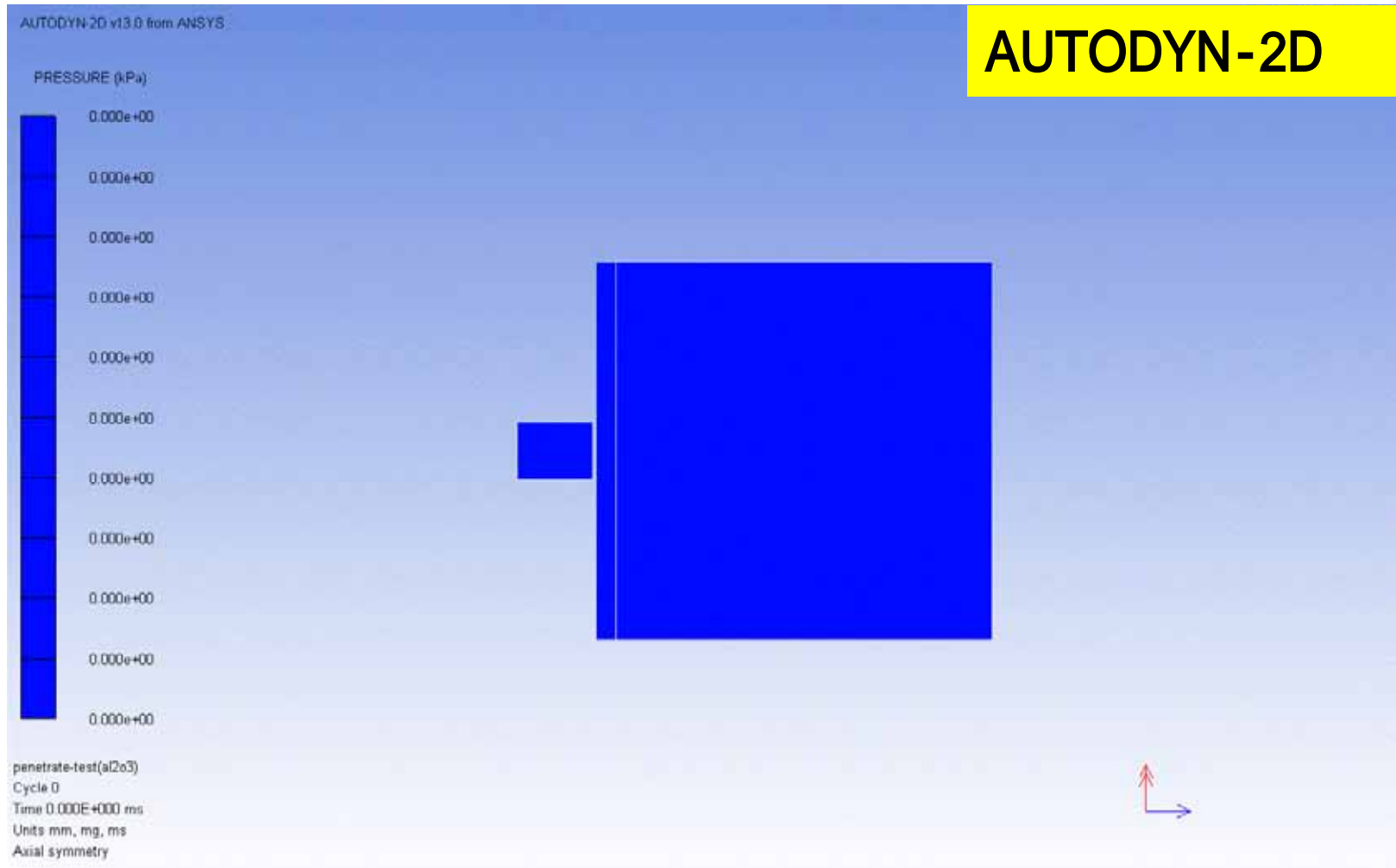
5.2

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)



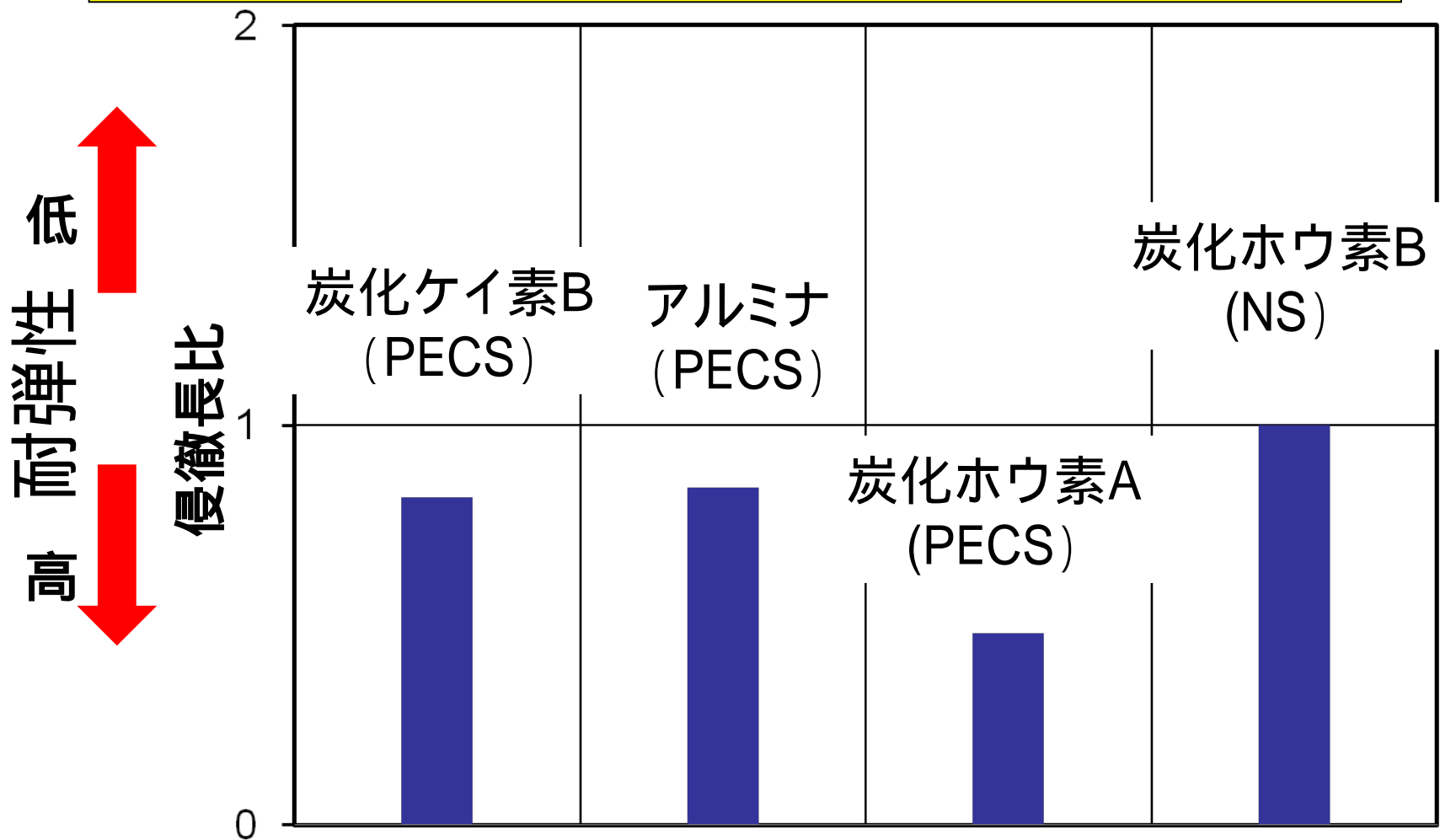
ターゲット材質

アルミナ (PECS)

飛しょう体速度

1500 m/s

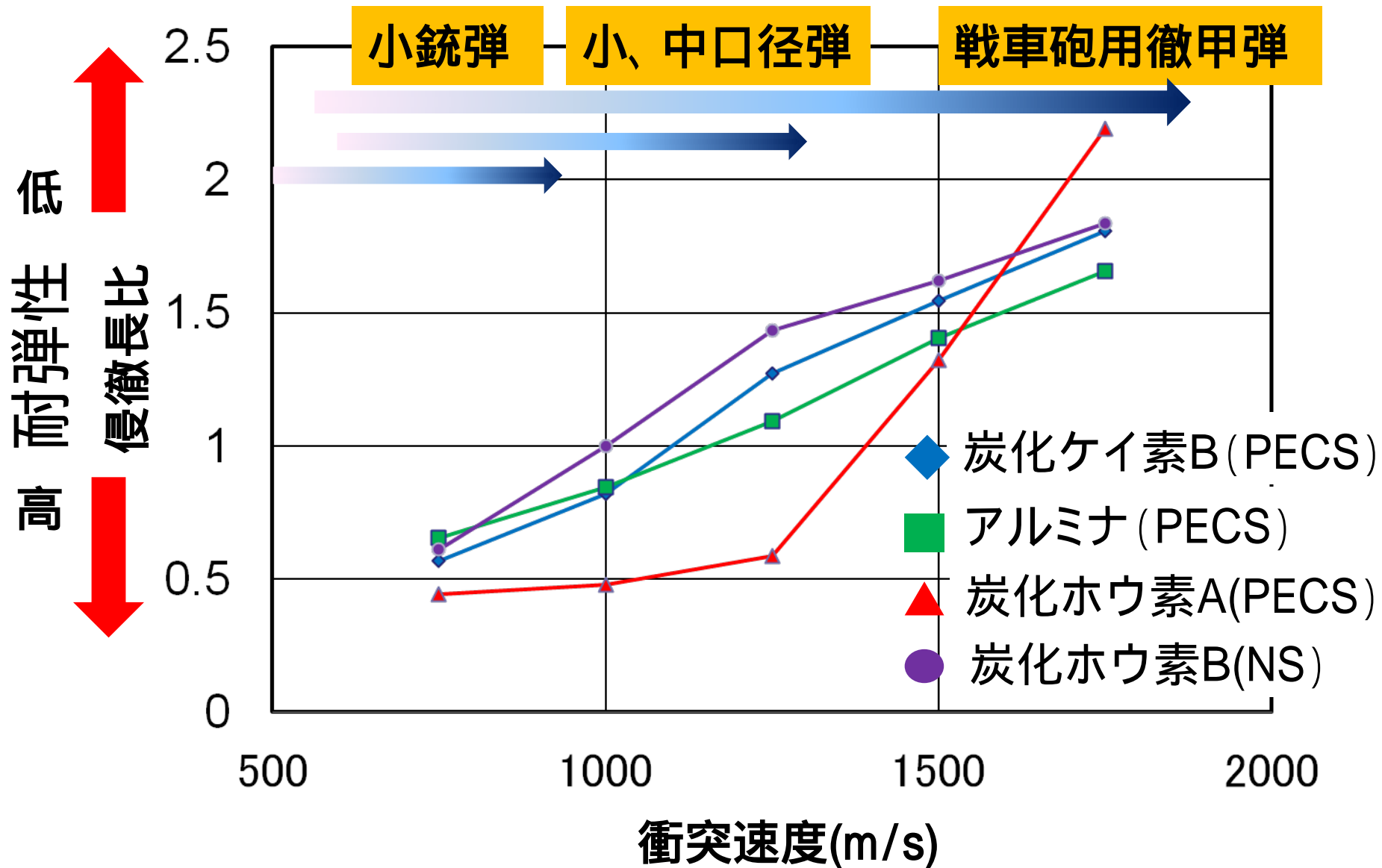
## 7.3 侵徹シミュレーション解析結果(1/2)



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。