

菅平スキー科学セミナー2022

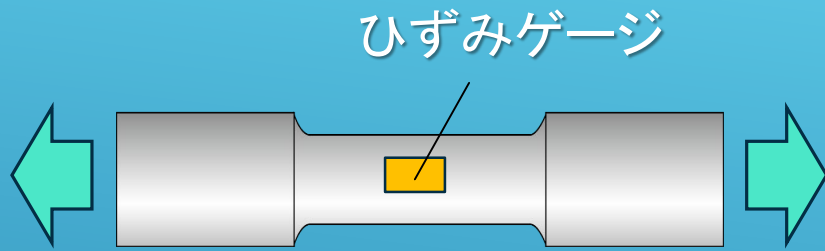
2022.3.19

球体衝突試験に基づく 材料特性評価手法に関する研究

公立諏訪東京理科大学

助教 伊藤 潔洋

研究目的

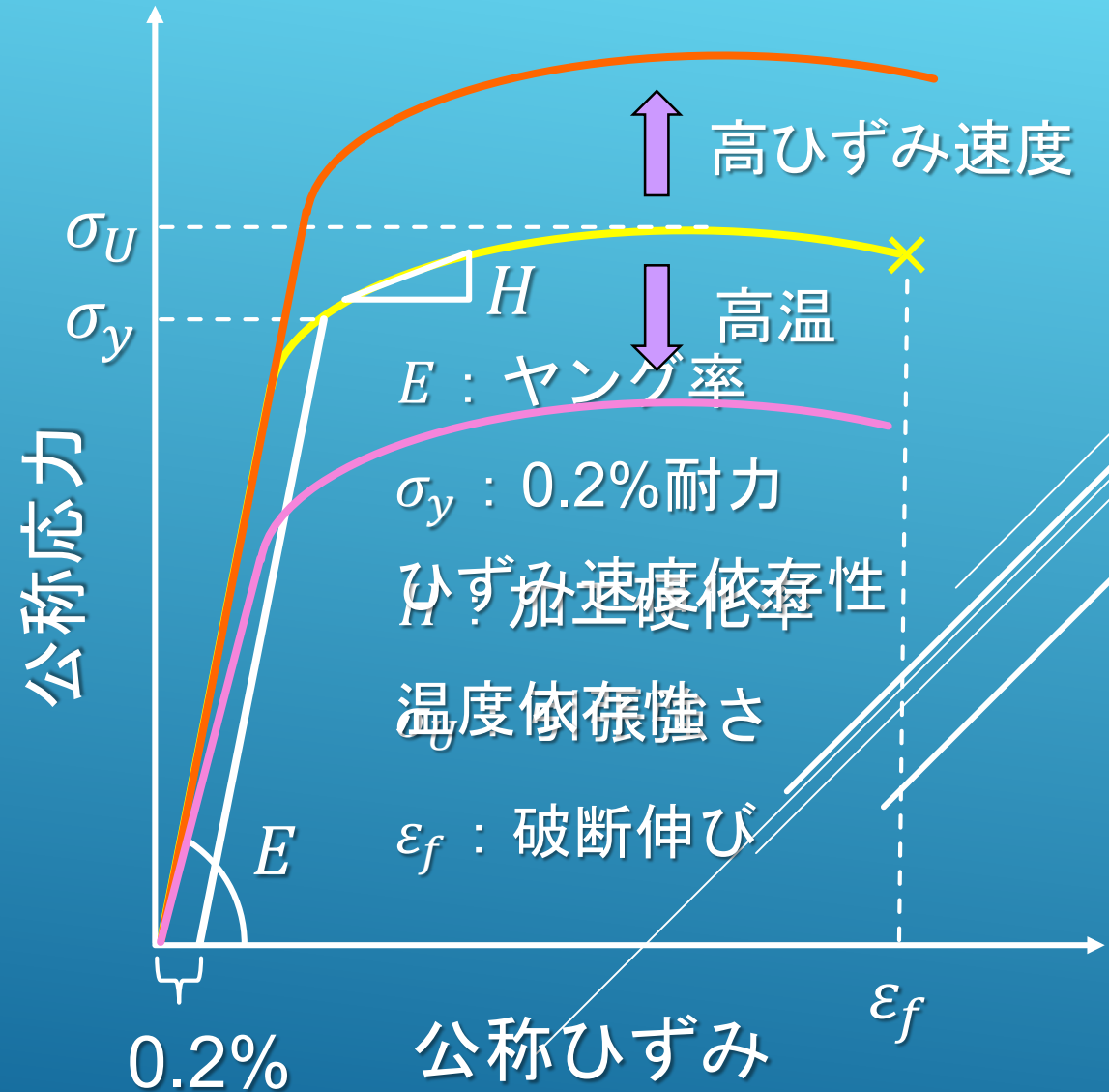


引張試験の模式図

薄膜など、引張試験片の作製が困難な場合がある。

研究目的

押し込み試験や球体衝突試験に基づく簡便かつ高精度な材料特性評価手法を確立する。



Johnson-Cook流動応力モデル

Johnson-Cook(JC)流動応力モデル

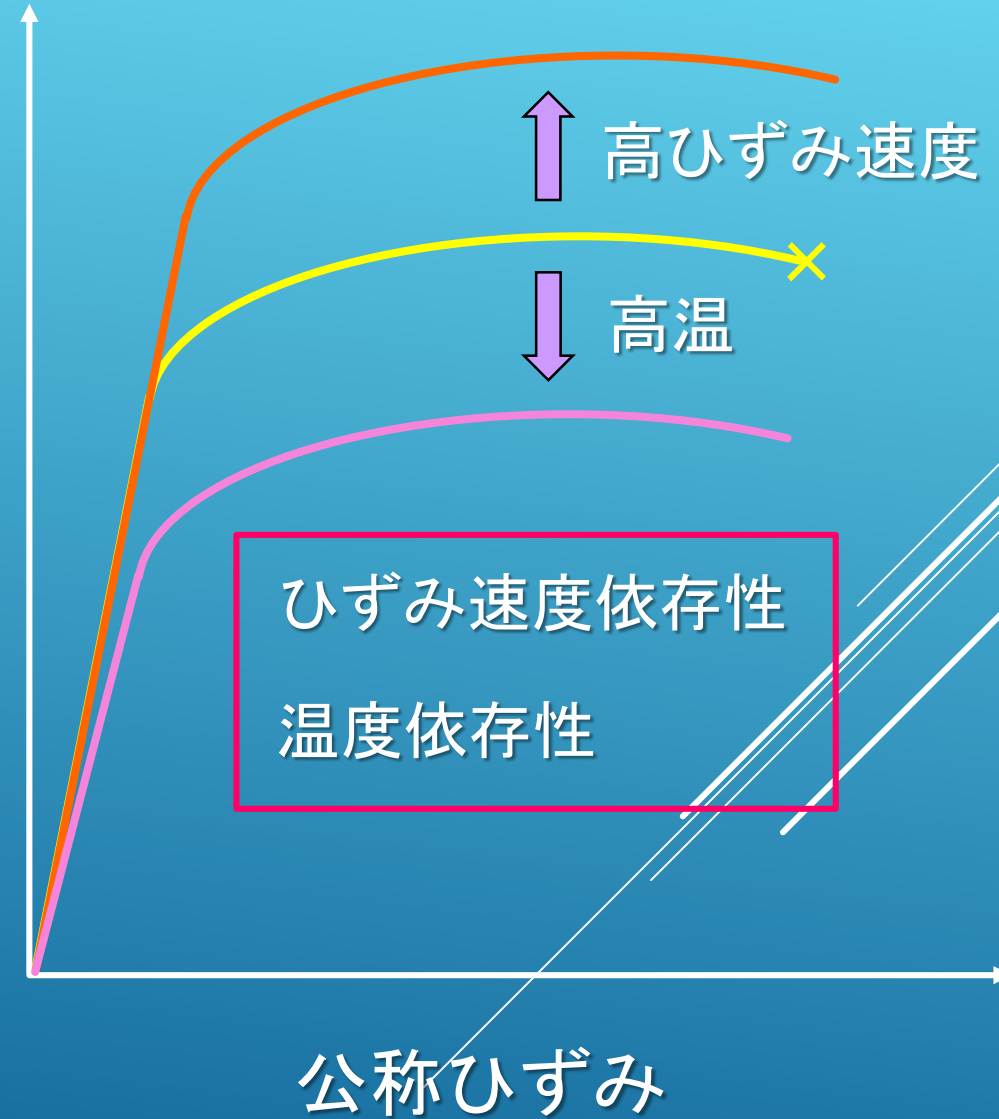
$$\sigma_y = (A + B\bar{\epsilon}_p^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{T - T_{\text{ref}}}{T_m - T_{\text{ref}}} \right)^m \right\}$$

加工硬化 ひずみ速度依存性 温度依存性

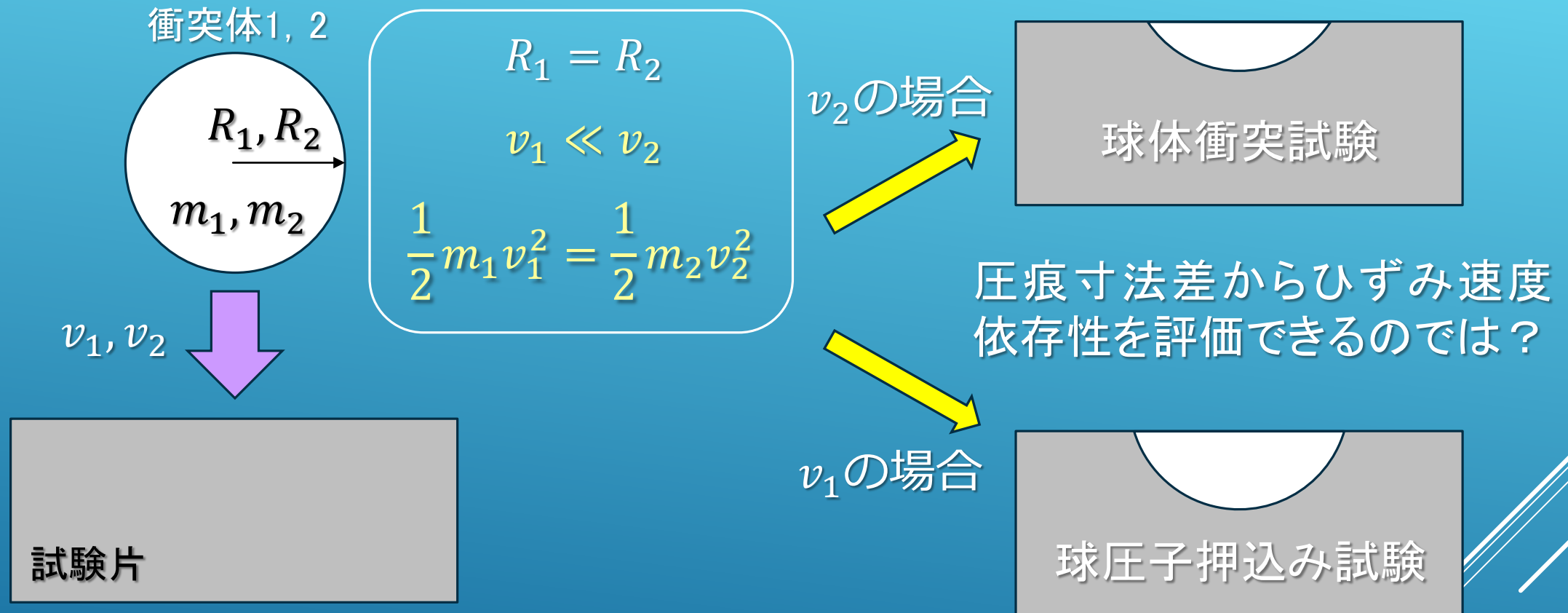
多くの金属材料の流動応力を適切に表現可能であり、自動車の衝突解析や鍛造などの機械加工解析に広く利用されている。

JCモデル中のひずみ速度および温度依存性に関する材料定数Cとmの同定手法を開発

公称応力



ひずみ速度依存性評価手法 (ESD法) の概要



- 球体衝突試験により 10^4 s^{-1} を超える高ひずみ速度を実現可能
- 圧痕深さを測定するだけでひずみ速度依存性を簡便に評価可能
- 溶接熱影響部などの局所領域へ適用できる可能性

FEMによるESD法の精度検証～解析方法～

球圧子押し込み解析
 $v_i = 0.044 \text{ mm/s}$

$E = 207 \text{ GPa}$

球体衝突解析

$v_i = 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250 \text{ m/s}$

用ソフト

用有限要素解析コードMarc Ver.2020 (MSC software)

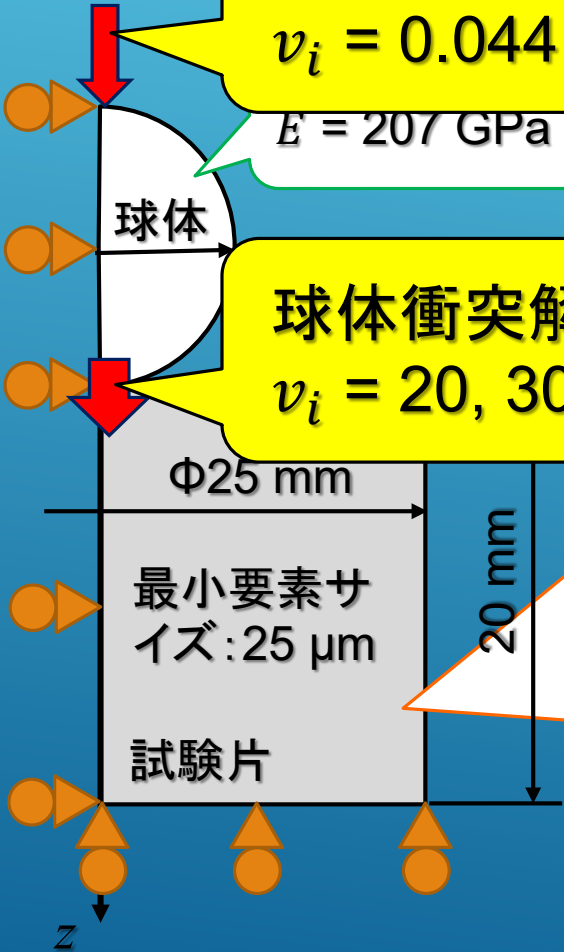
JCモデルに従う弾塑性体：S15Cを想定

的・熱的特性

| | g_t [W/m·K] | cp_t [J/kg·K] | T_m [K] |
|--|---------------|-----------------|-----------|
| | 51.9 | 486 | 1793 |

JCモデル中の材料定数

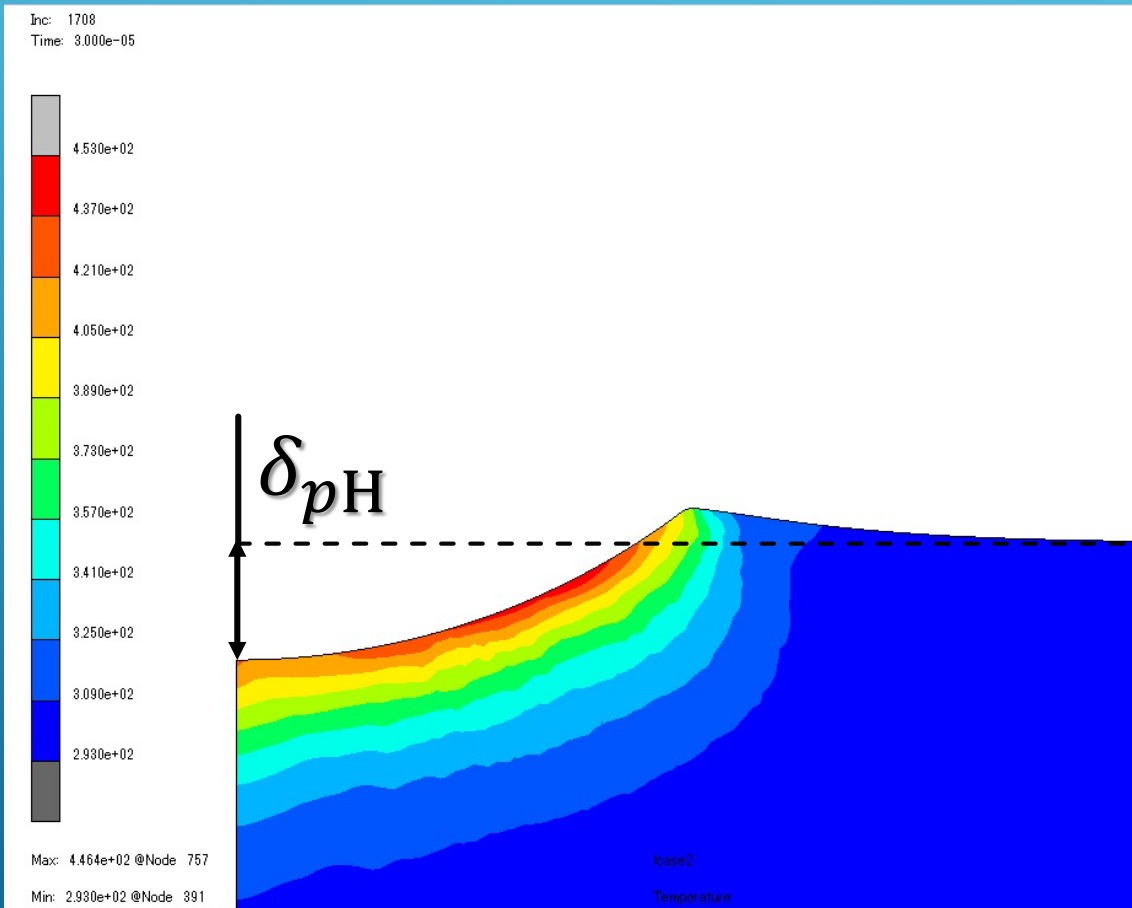
| A [MPa] | B [MPa] | C [-] | n [-] | m [-] | ϵ_0 [s ⁻¹] | T_{ref} [K] |
|---------|---------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------|
| 350 | 275 | 0.022 | 0.36 | 1.0 | 1.0 | 293 |



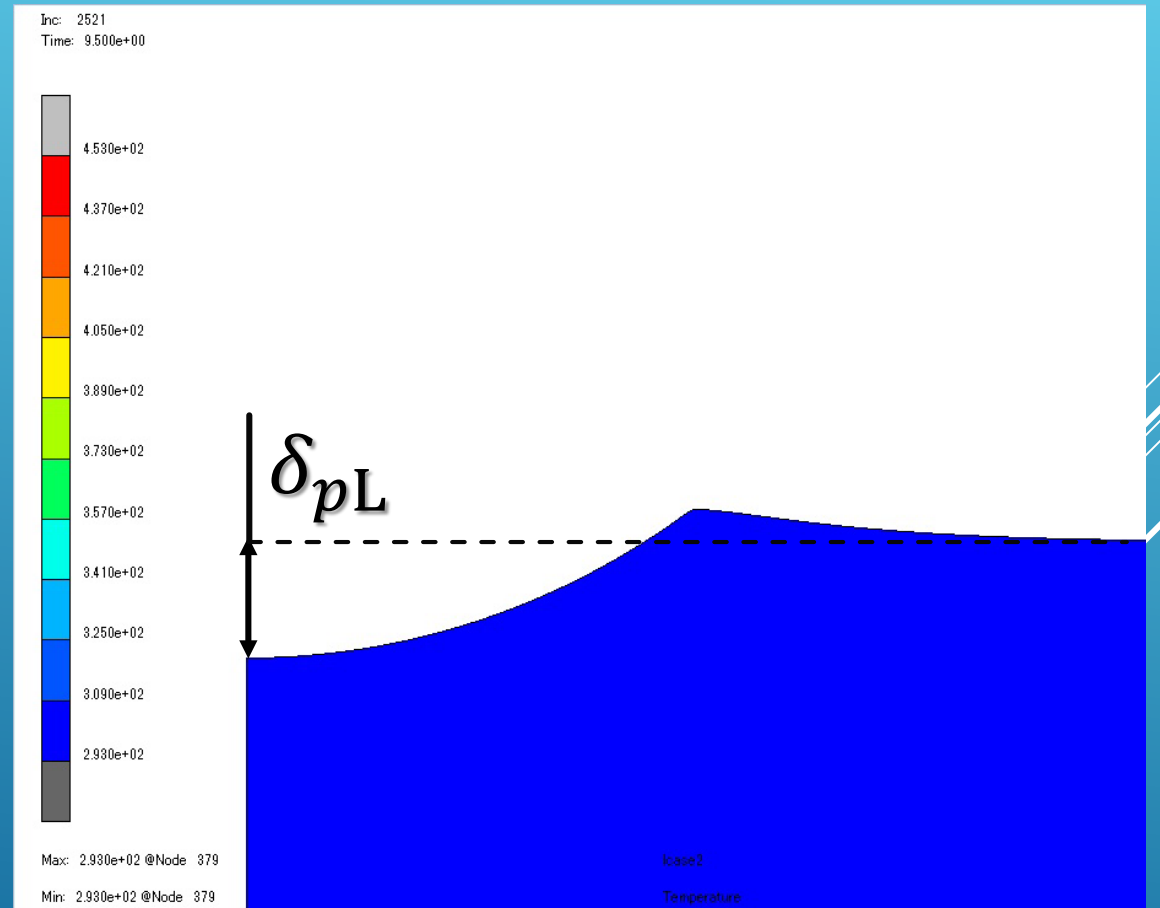
軸対称解析モデル

FEMによる球体衝突・球圧子押し込み解析結果

球体衝突解析

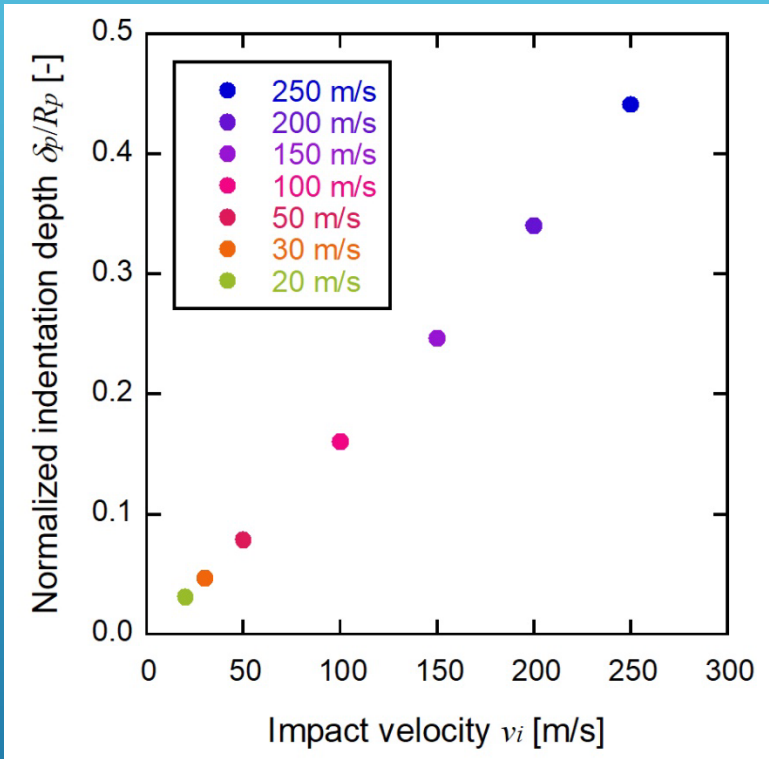


球圧子押し込み解析

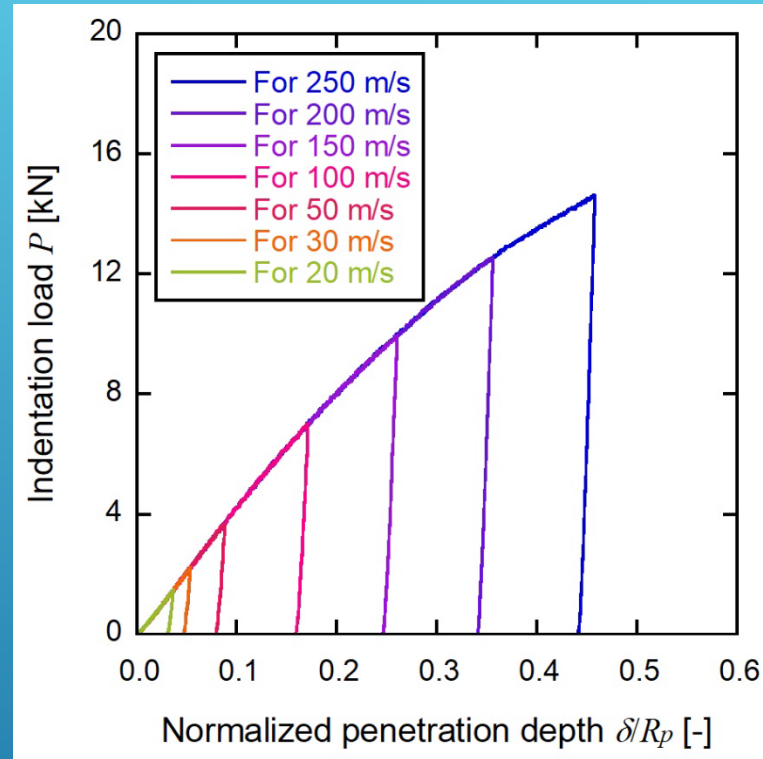


圧痕深さが概ね等しくなる($\delta_{pH} = \delta_{pL}$)ように両試験を実施

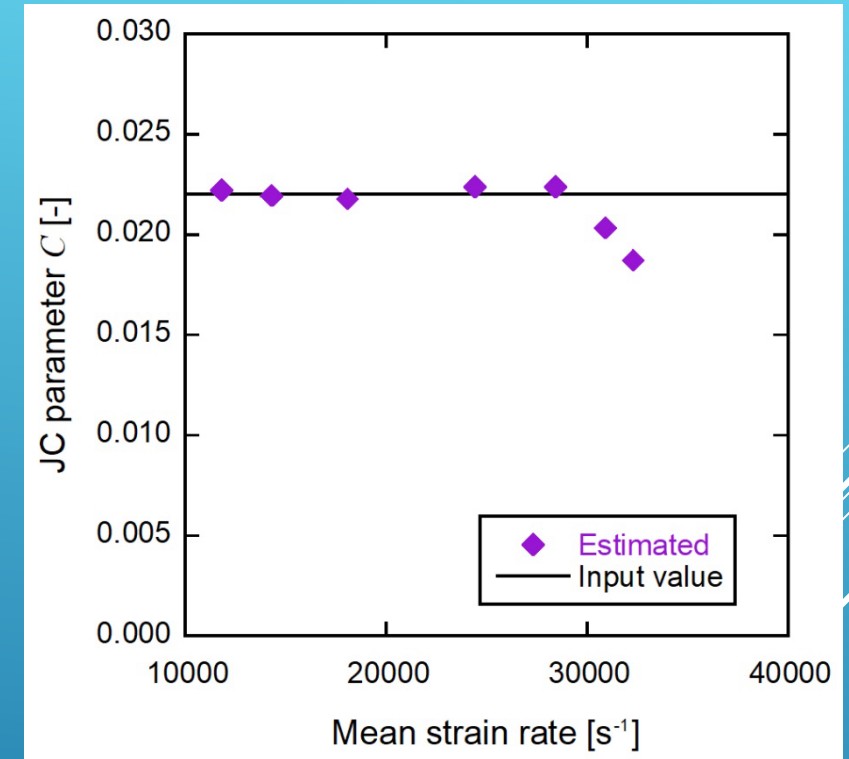
ESD法による材料定数 C の評価精度



衝突速度と圧痕深さの関係



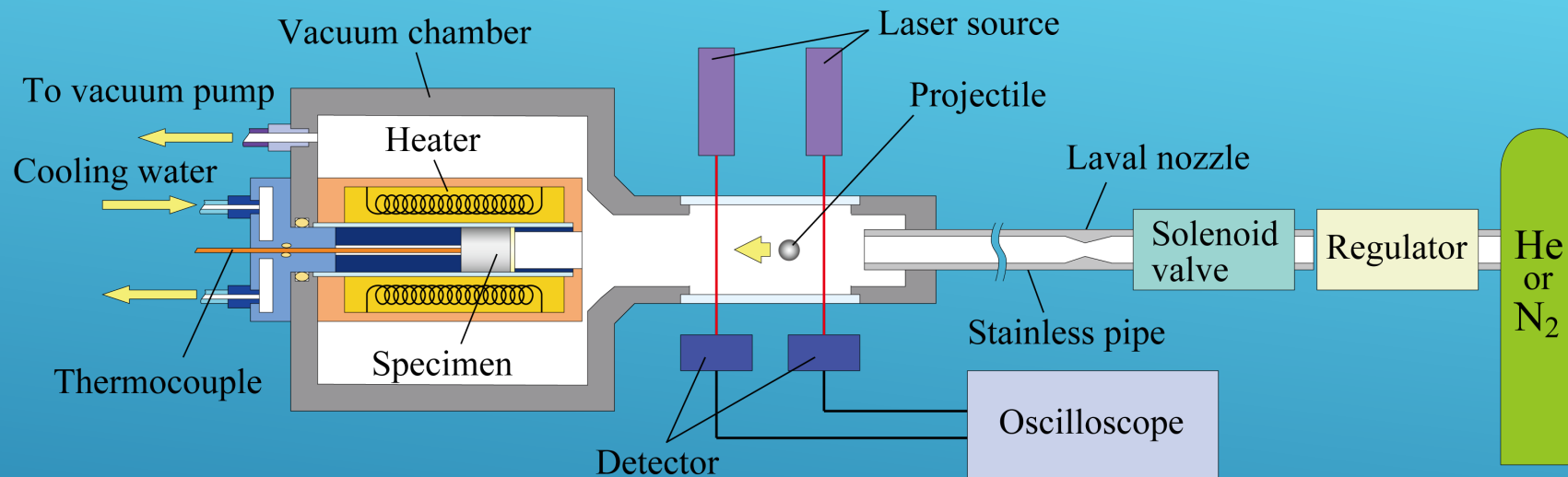
押し込み荷重—押し込み深さ曲線



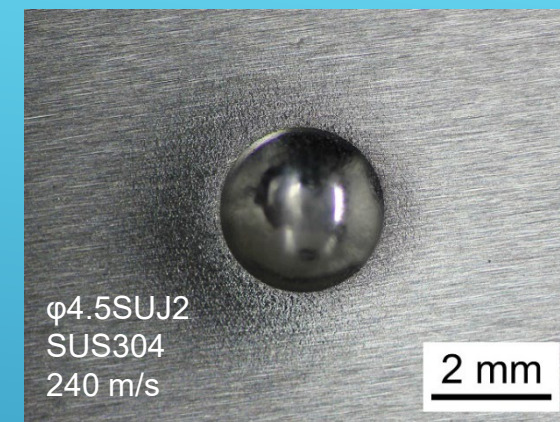
材料定数 C の評価結果

- 球体衝突試験は200 m/s以下で実施することが望ましい。
- 衝突速度と球体半径により広範囲にひずみ速度を制御可能！
- 従来手法では困難な $10^3 \sim 10^6 s^{-1}$ の高ひずみ速度下で高精度に評価可能！

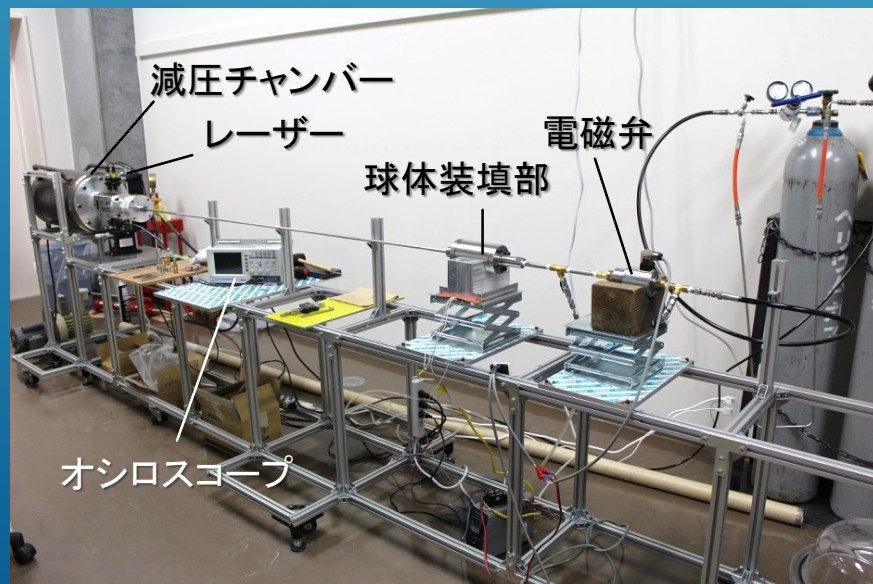
独自開発の球体衝突試験機



球体高速衝突試験機の模式図



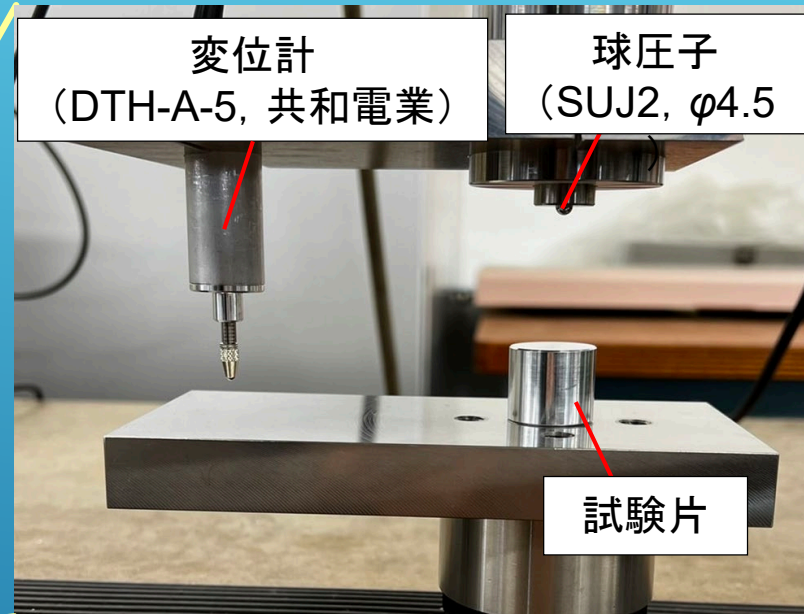
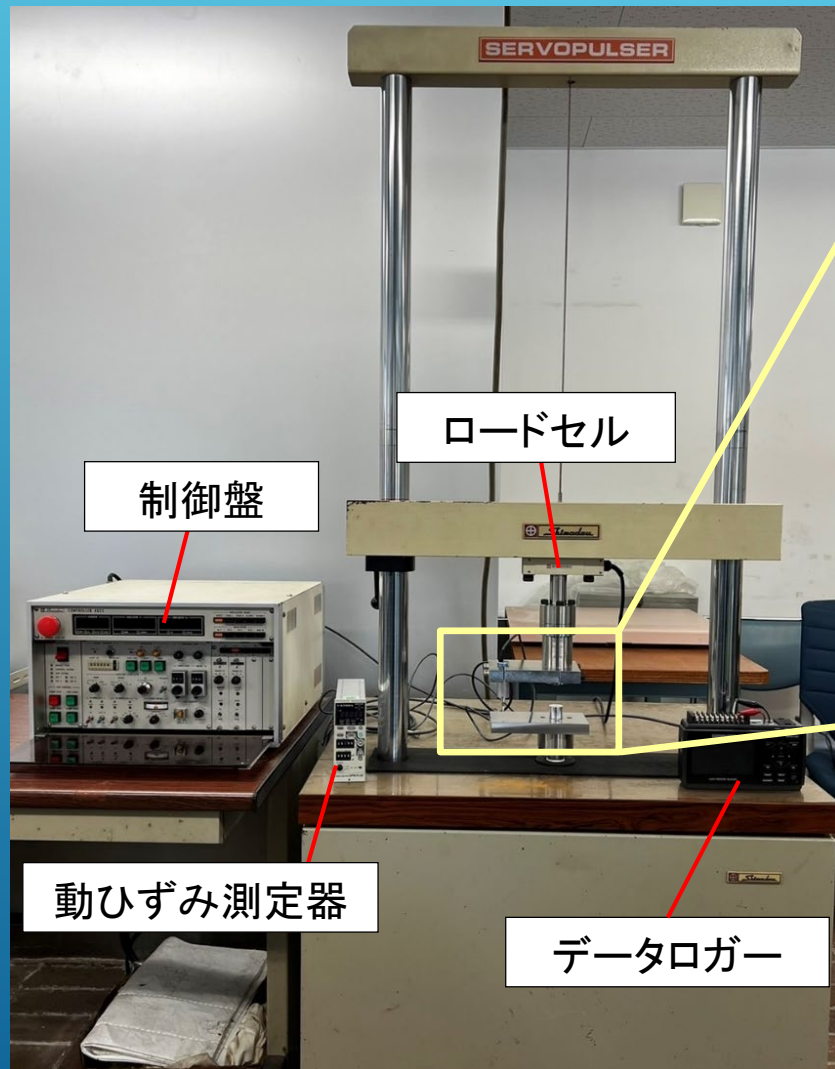
球体衝突後の試験片
表面外観写真



試験機の仕様

| | |
|----------------|---------------------|
| 寸法 | 3000×720×900 mm |
| ヒーター出力 | 275 W |
| 試験片最大温度 | 900°C |
| 球体直径 | 1 – 8 mm |
| ガス圧力 | 0.5 – 5 MPa |
| 衝突速度 | 50 – 700 m/s |
| チャンバー内最低圧力 | 約100 Pa |

計装化押込み試験機



押込み試験機の仕様

| 押込み試験機の仕様 | |
|-----------|--------------------------------------|
| 試験機 | 油圧サーボ式疲労試験機 (EHF-FB1 1111, 島津製作所) |
| 最大荷重 | 10 kN |
| 押込み速度 | 0.001 - 5 mm/s |
| 球圧子直径 | 最大 5 mm |

計装化押込み試験機の外観写真

まとめ

- 球体衝突試験および球圧子押し込み試験に基づくひずみ速度・温度依存性の簡便かつ高精度な評価手法の開発を行っている。
- 衝突解析などに広く利用されるJCモデルに注目し、同モデル中の材料定数 C と m を開発手法により高精度に評価可能であることを示した。
- 今後、他のモデルへの応用や、実験により本手法の妥当性を確認していく。