



# 浸炭熱処理部品における 複合応力場下での強度予測手法

旭川工業高等専門学校  
旭川工業高等専門学校

生産システム工学専攻（学）  
機械システム工学科

○稲垣颯馬  
杉本 剛



# 1. 緒言

浸炭焼入れ：鋼の表面に炭素を拡散浸透させた後で焼入れを行う

- ・ 部品の耐摩耗性, 耐疲労性を向上させる
- ・ 多軸応力場を持つ残留応力が生じる
- ・ その場合の実験的な疲労強度の予測手法がない

⇒ 熱処理シミュレーションを併用した疲労強度予測

## 設計行程

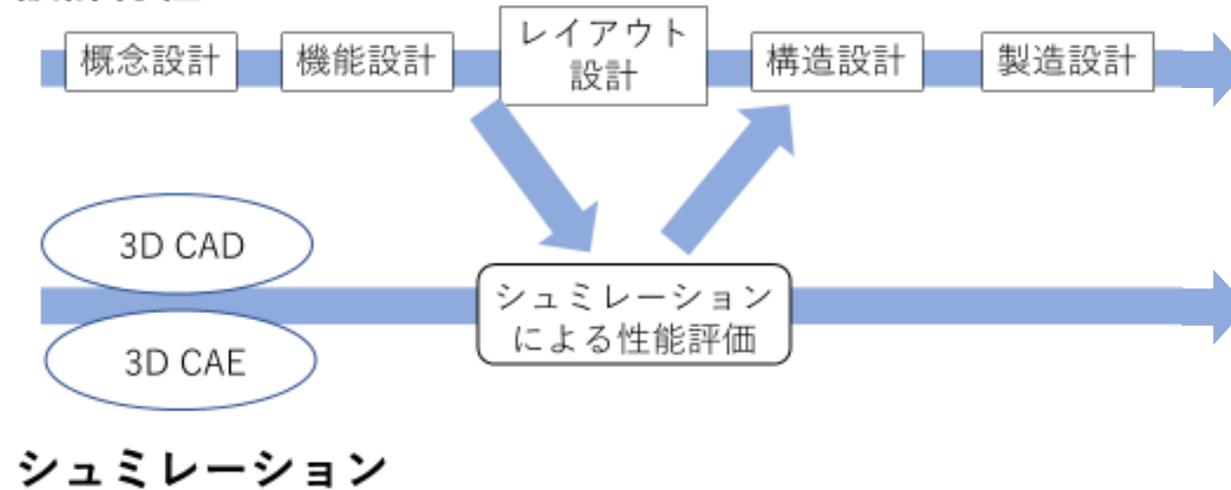


図1 MBD概要図

## 2. 目的

- 多軸残留応力場下における疲労強度評価を行うこと
  - ・ 従来の設計では余裕率を与えていた部分を減らす  
⇒ コスト製品重量の削減
  - ・ 疲労試験と熱処理シミュレーションの相関性  
⇒ 疲労強度評価手法を明らかにする

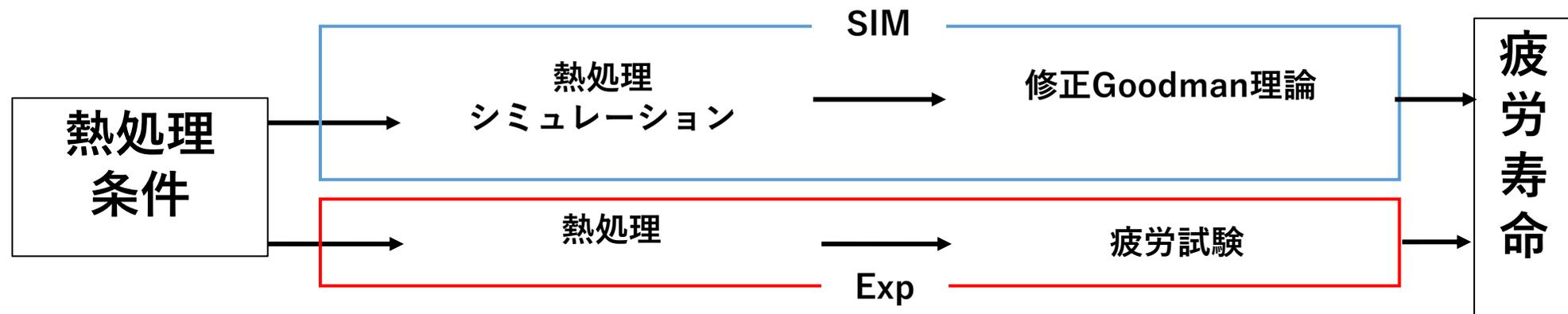


図2 流れ図

# 3. 実験方法

- 熱処理シミュレーション
  - ・ シミュレーションソフトウェア「DEFORM-HT VER.12.0.1®」
  - ・ 要素数：267858 節点数：55530 くびれ部分のメッシュ細かさ：0.1倍
- 単軸引張試験片
  - ・ 材料：SCr420H

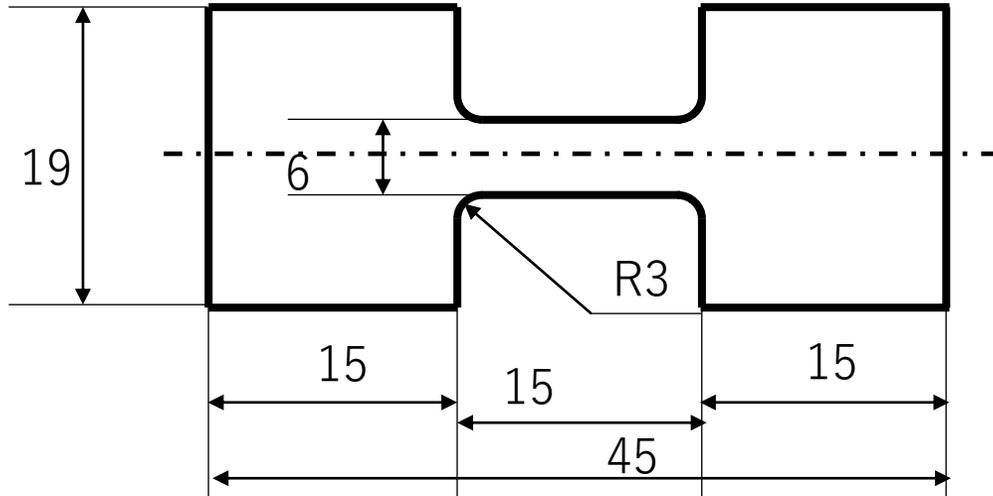


図3 寸法図

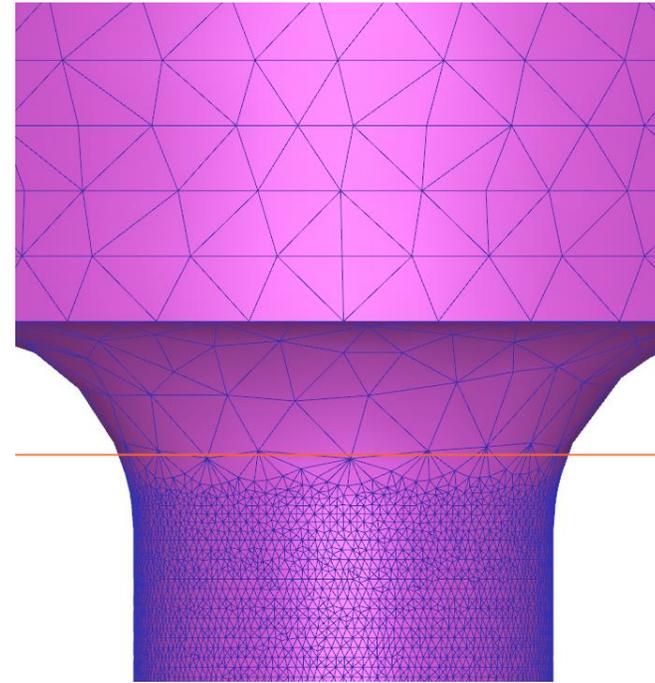
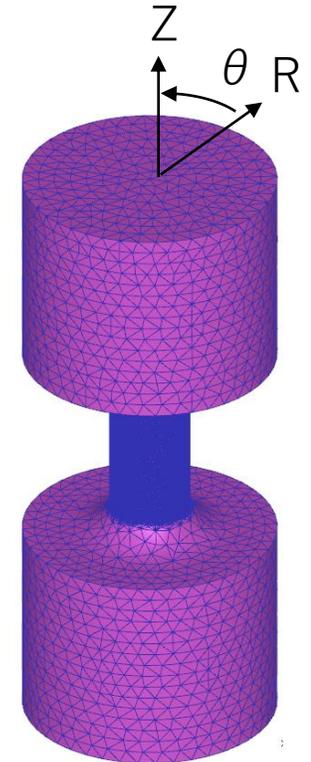


図4 メッシュ図



## ■ 浸炭焼入れ

### 真空浸炭装置

- ・ アセチレンガスを使用して浸炭930°Cで1時間
- ・ 浸炭後に拡散を1時間
- ・ 電源を切り30°C程度になるまで真空で保持

### 縦型焼入れ装置

- ・ 窒素ガスを流し酸化を防止
- ・ 焼入れの際は850°Cで30分間
- ・ 焼入油：ハイテンプオイルX (60°C)
- ・ 加熱から冷却までの間隔は1秒間
- ・ 試験片の焼入油への保持時間：10分間

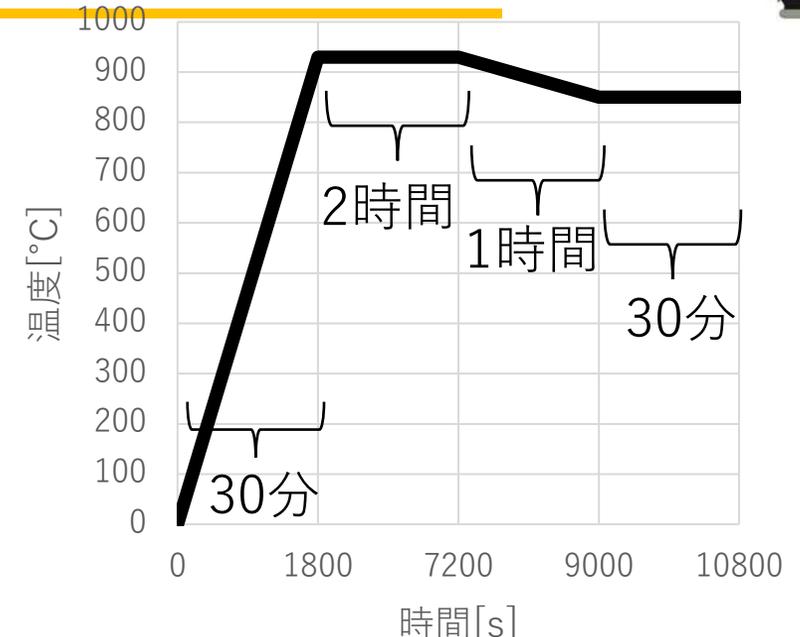


図5 温度グラフ

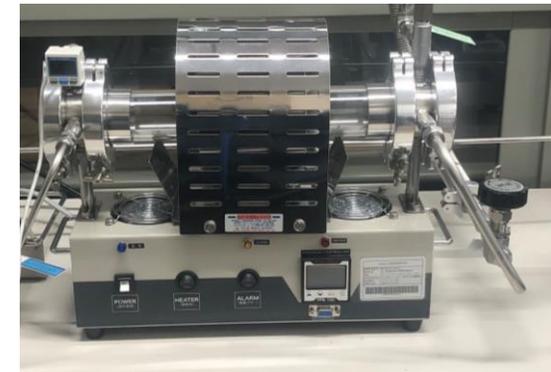
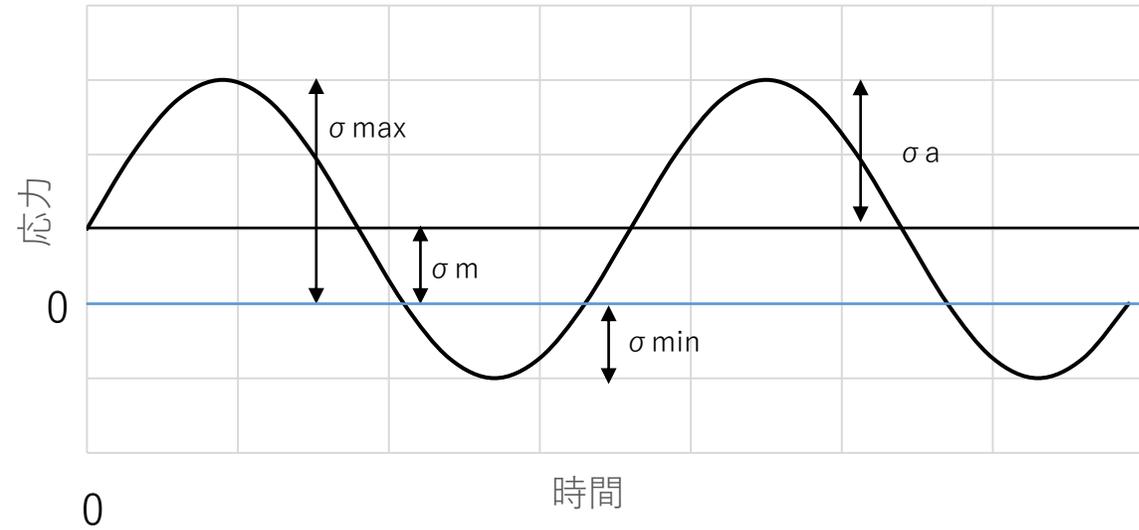


図5 真空浸炭装置

# 4. 修正Goodman線図について

- ・ 縦軸に応力振幅 ( $\sigma_a$ )，横軸に平均応力 ( $\sigma_m$ ) で表す疲労強度の評価方法
- ・ y切片にS-N曲線から疲労限度，x切片に引張試験から引張強さ



$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (1)$$

図6 応力-時間変化

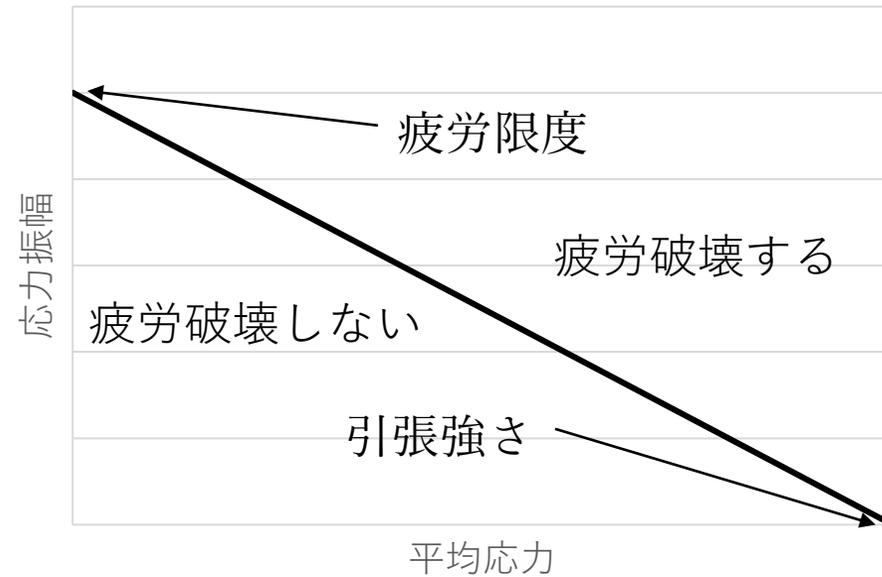


図7 修正Goodman線図

# 5. 実験結果

浸炭焼入れでのハイスピードカメラ

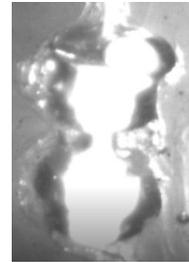
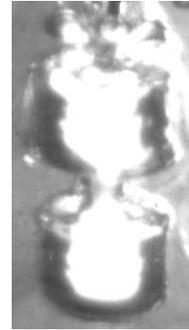
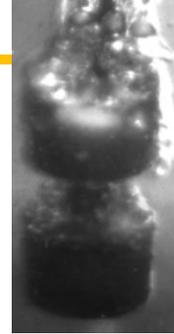
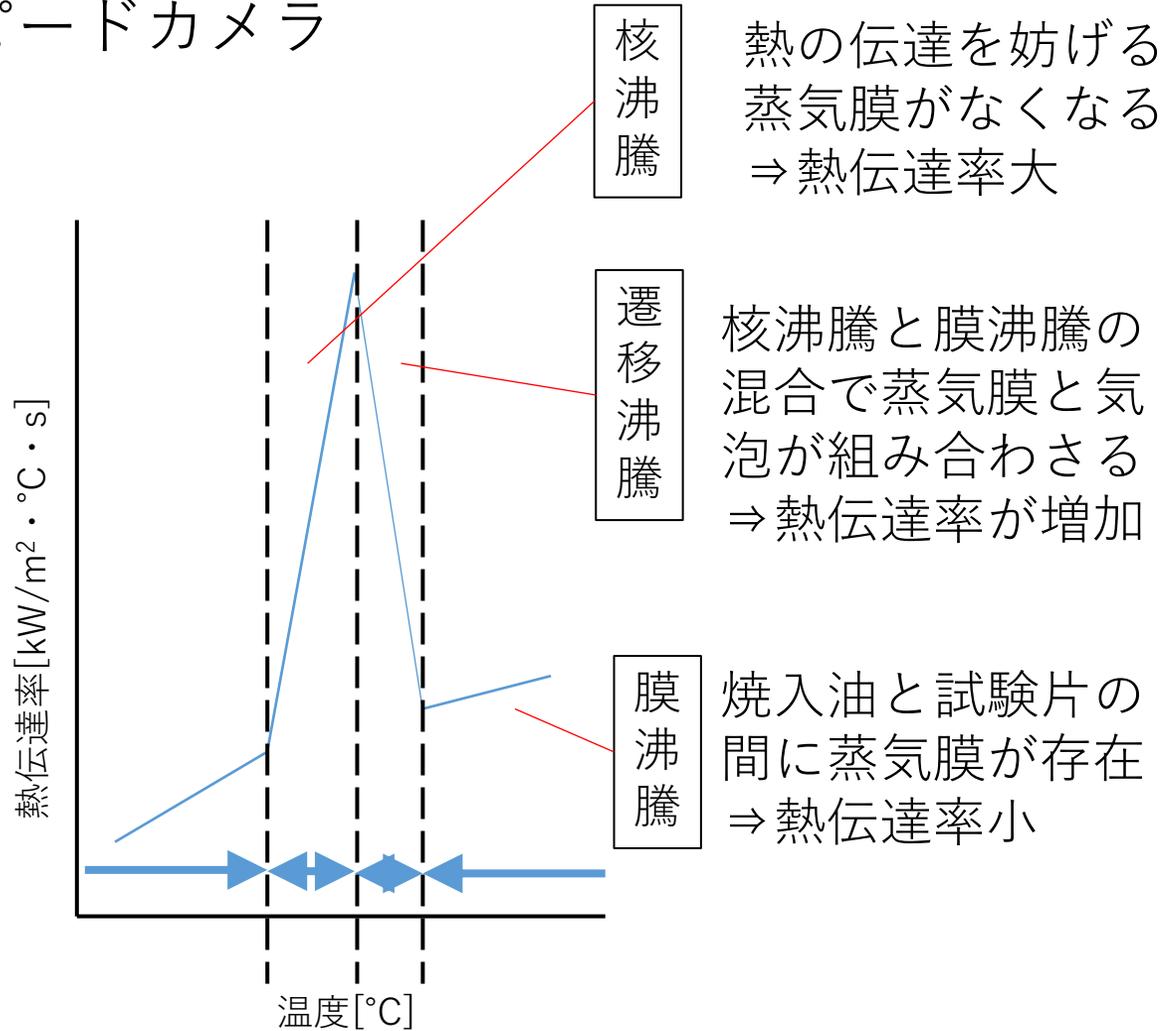
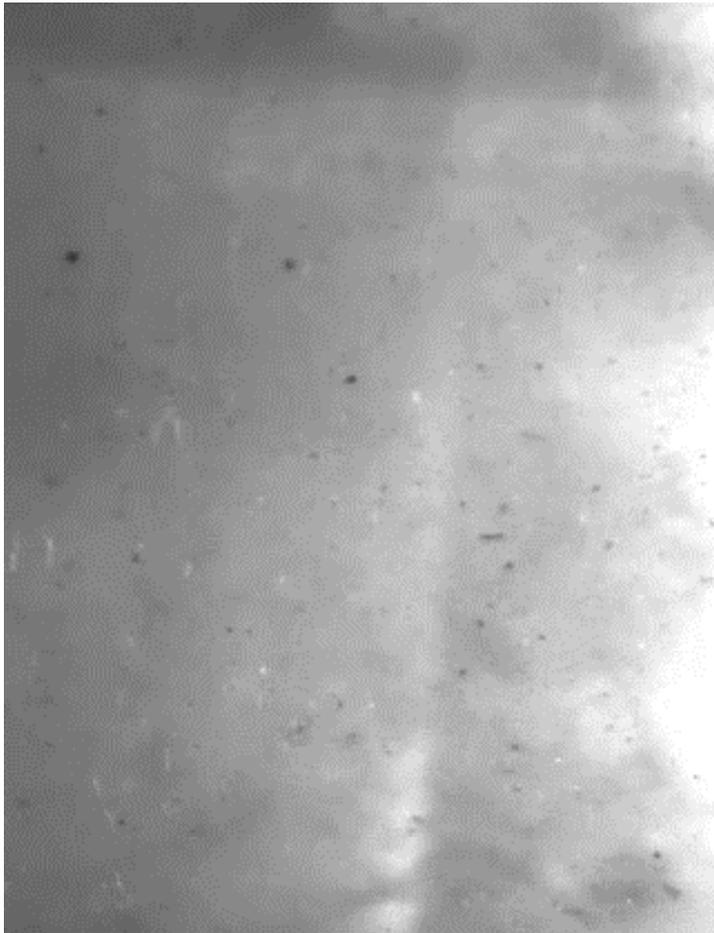


図8 焼入れでの冷却状態図

## 硬さ試験

- ・表面、内部の硬さはシミュレーションと近い値を得られた
- ・硬化層深さについてはシミュレーションより浅くなった

## 腐食試験

- ・硬化層はマルテンサイト主体の組織になっていた



硬さ試験片

図9 切断面

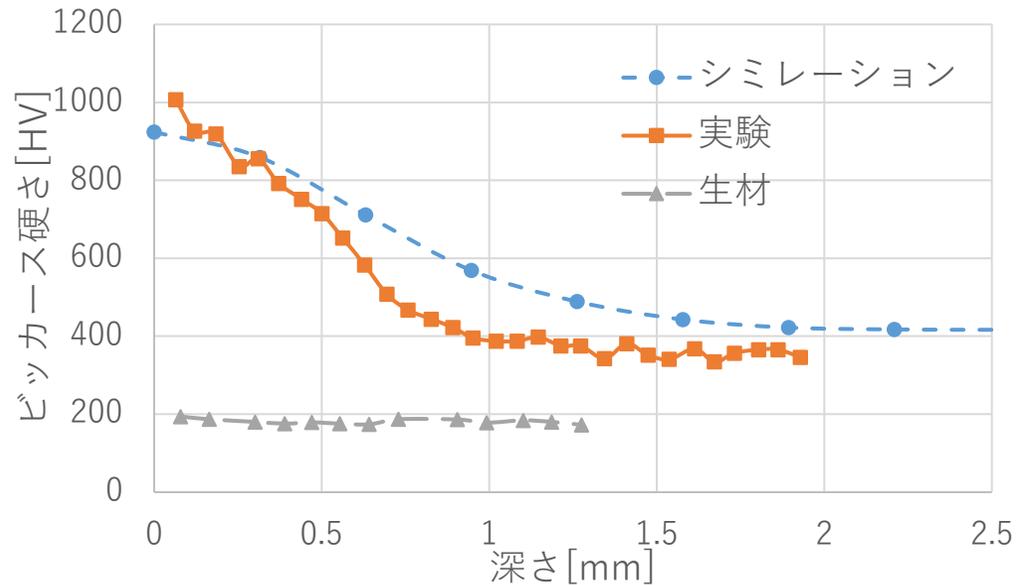


図10 ビッカース硬さ

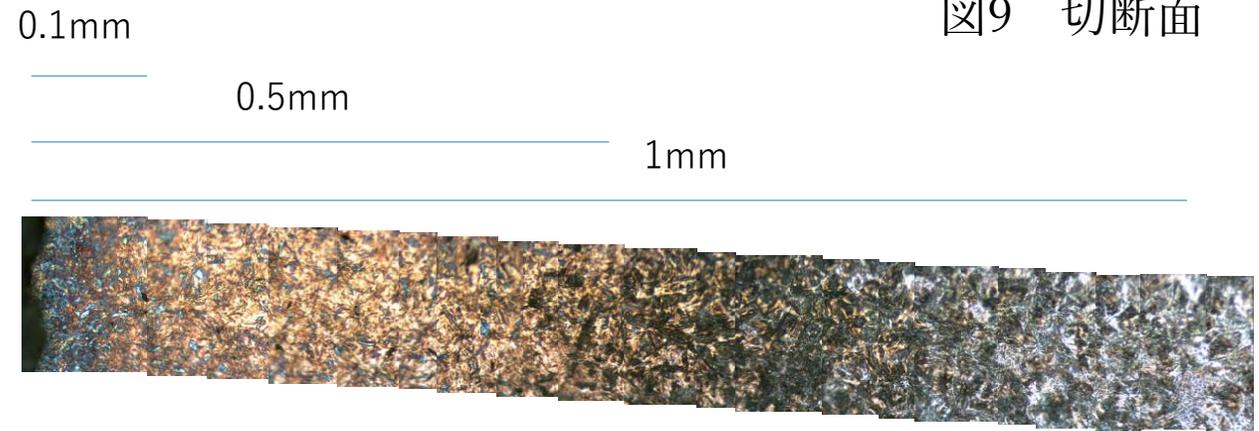


図11 腐食試験

## 破断表面の確認

- ・ 表面の拡大写真をみる粒界破損が確認できる  
⇒ 表面起点での破壊
- ・ 全体写真から表面全体に組織の塊がある  
⇒ 表面から内部への破断

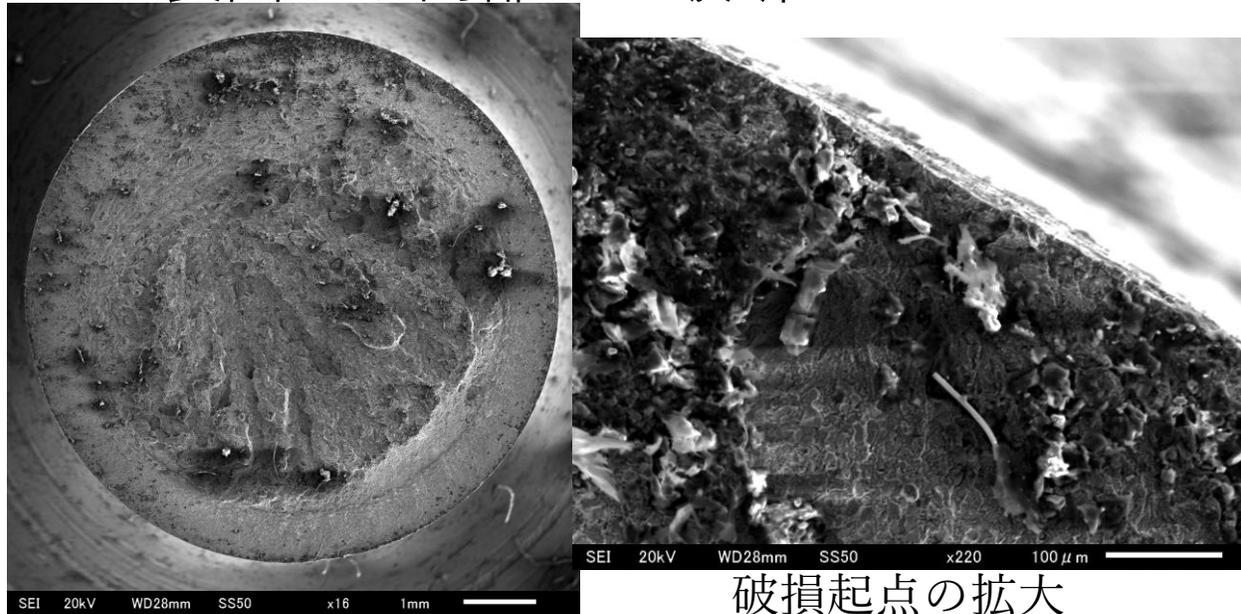
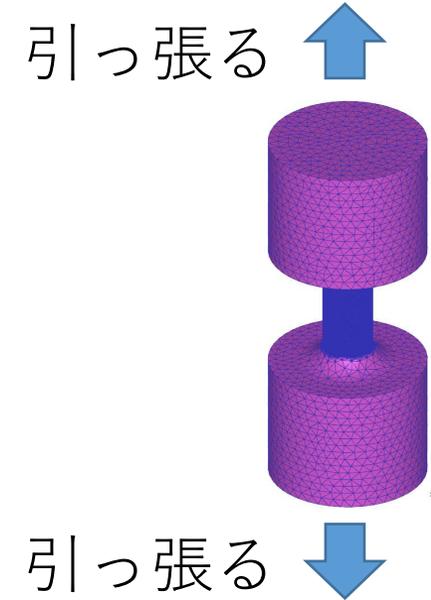


図12 破断面の写真



図13 引張試験機

島津製作所 AG-X 250kN  
試験片を縦に引っ張る  
ストローク：1mm/min  
引っ張る ↑



引っ張る ↓

図14 引張方法 9

## シミュレーションで得られた応力状態

- ・表面は組織変化が生じる  
⇒ マイナスの応力が生じている
- ・応力平均が静水圧応力であること  
⇒ 残留応力に相当する

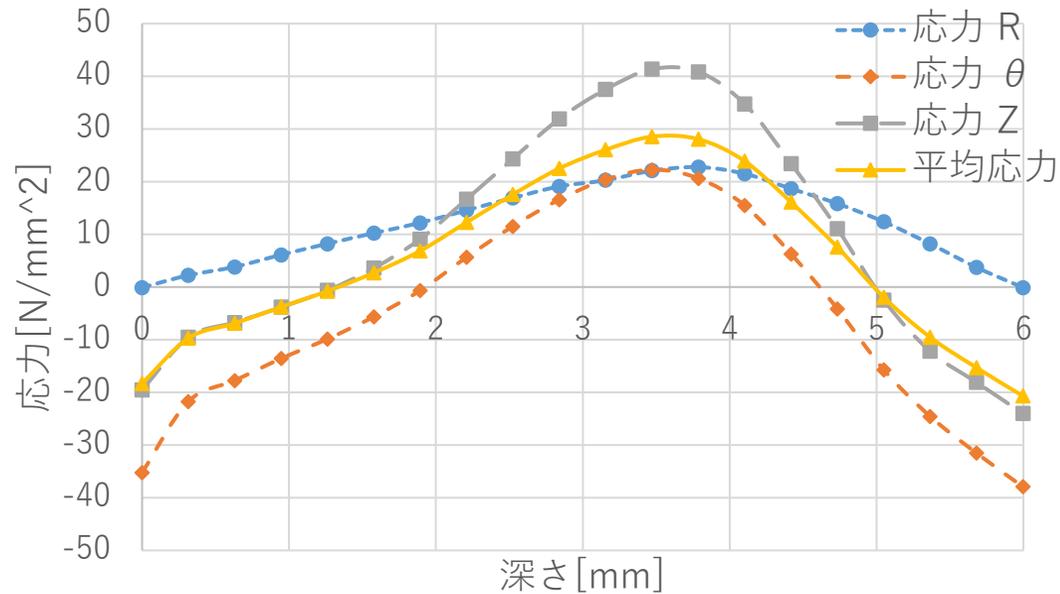


図14 応力状態グラフ

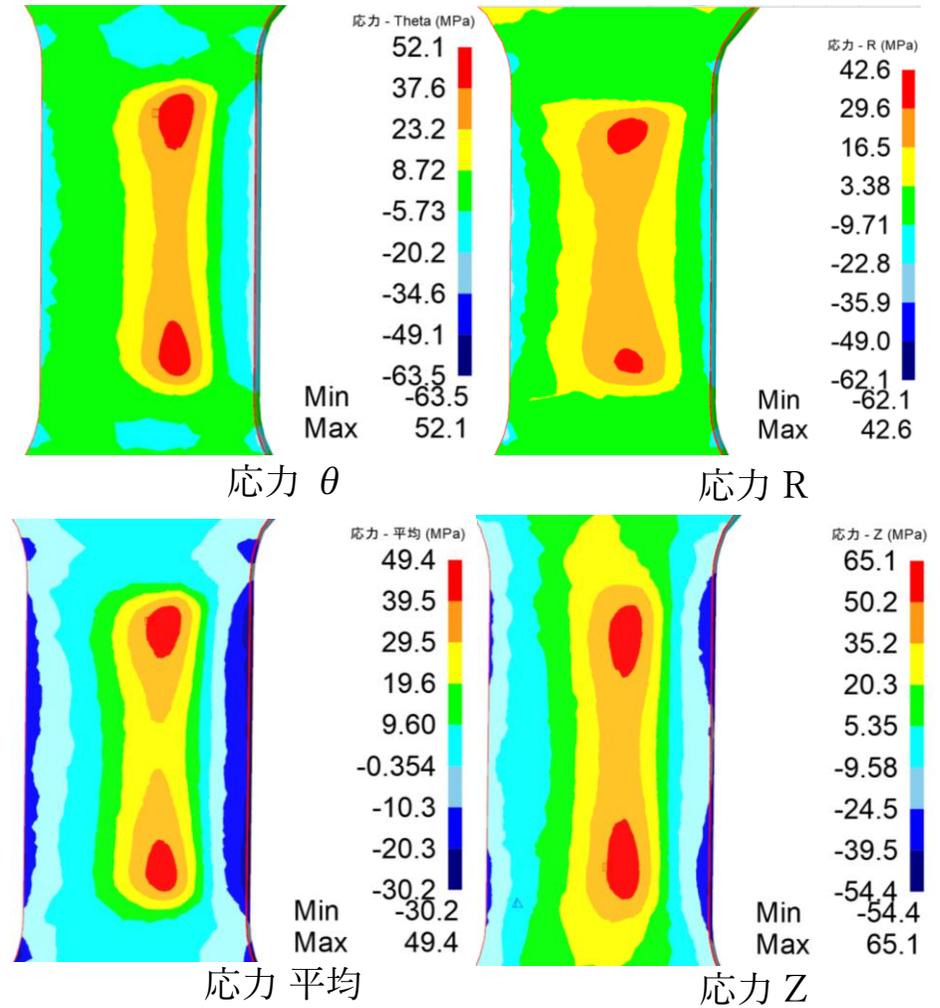


図15 応力状態図

## 引張試験

- ・ 浸炭焼入れでは引張強さが $1127[\text{N}/\text{mm}^2]$ , 破断時のひずみは $0.23$ となった.
  - ・ 生材では引張強さが $548[\text{N}/\text{mm}^2]$ , 破断時のひずみは $0.425$ となった.
- ⇒ 浸炭焼入れの試験片が硬く脆い
- ・ 浸炭焼入れの最後に上下の移動が見られたが, これは表面へのひび割れ (クラック) が生じたことによる

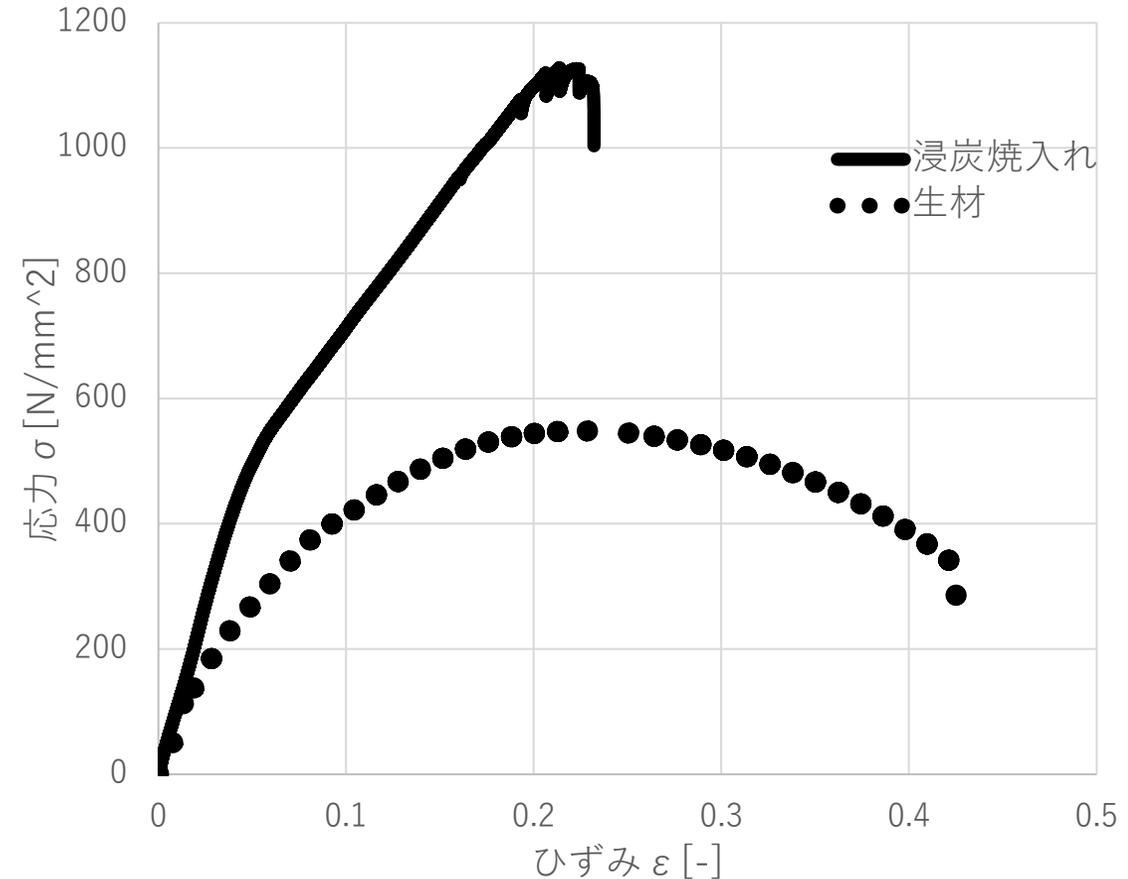


図16 応力-ひずみ曲線



## 修正Goodman線図

疲労限度については参考文献[1]を参考に考える

応力振幅  $[N/mm^2]$

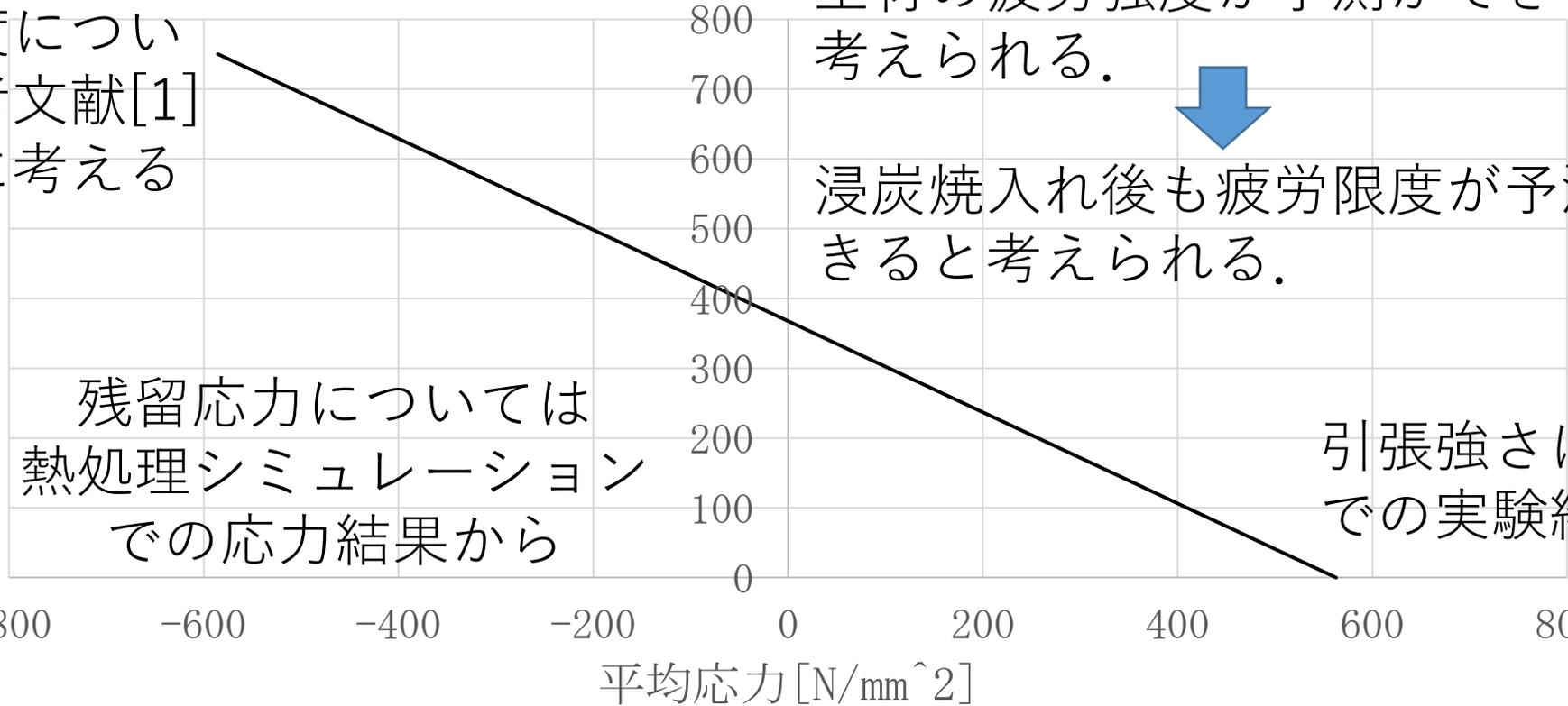


図17 修正Goodman線図

### [参考文献]

[1] 増田 千利, 石井 明, 西島 敏, 住吉 英志, 田中 義久, 金沢 健二, 「S Cr4 2 0 浸炭焼入れ鋼における疲労強度のチャージ間変動」, 日本機械学会論文集 (A編) 5 1 巻 4 6 4 号, 昭和 6 0 - 4, Pp1193-1199 12

## 5. まとめ

- 硬さ試験から表面において実験とシミュレーションが近い値を得られたことからシミュレーションと実験で相関性がある。
- 破断面の写真から表面起点での破壊が起きていると思われ全体においても表面起点で進んで破壊した。
- 応力状態から表面にマイナスの応力が加わり残留応力として強度の強化へ働いている。
- 今回の引張試験と参考文献の疲労限度から浸炭焼入れ前（生材）の疲労強度が予測できることで、この考えから浸炭焼入れ後の疲労強度が予測できると考えられる。
- 今後は生材の疲労強度試験で予測通りの結果を得られるかを確認していきたいと考えている。



ご清聴ありがとうございました

