



減圧浸炭環境下での 炭化物ネットワーク形成予測

旭川工業高等専門学校 機械システム工学科 ○杉本 剛





本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ 実体形状での減圧浸炭シミュレーション
- ✓ セメントタイトの析出予測
- ✓ 炭化物ネットワーク形成
- ✓ 実験結果との比較
- ✓ まとめ



本日の発表の流れ

✓研究の背景

✓実体形状での減圧浸炭シミュレーション

✓セメントタイトの析出予測

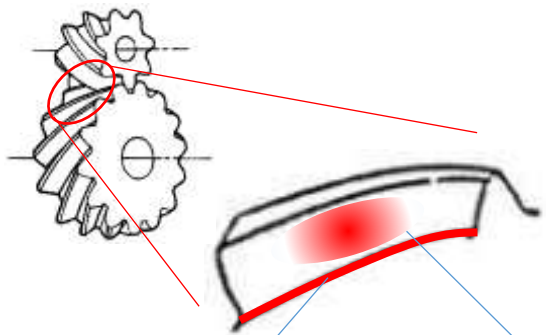
✓炭化物ネットワーク形成

✓実験結果との比較

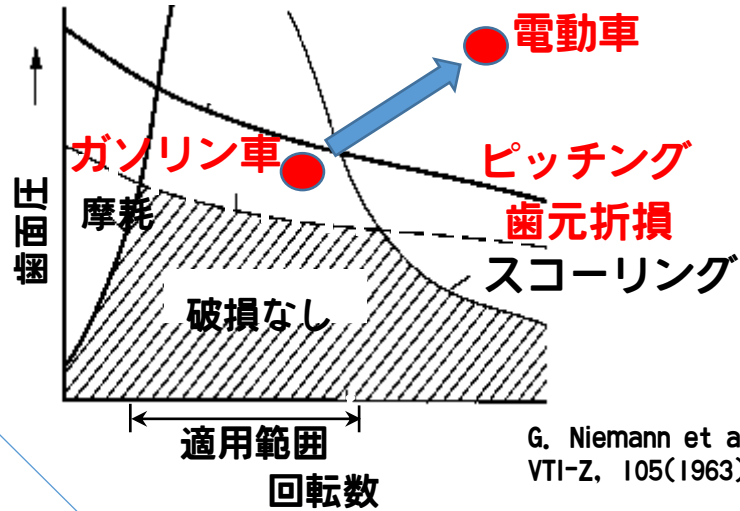
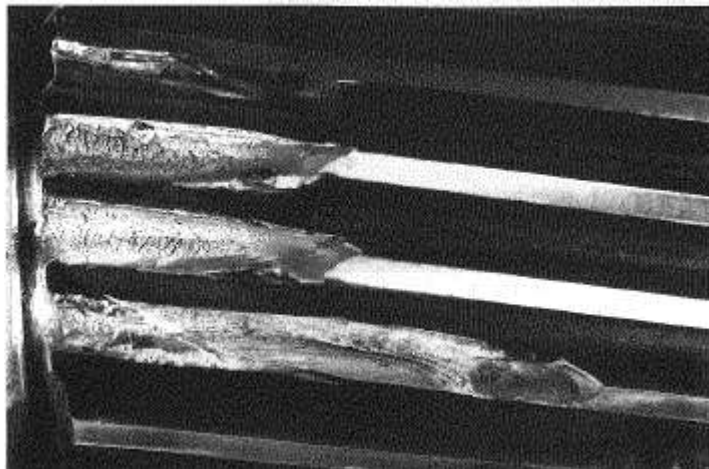
✓まとめ



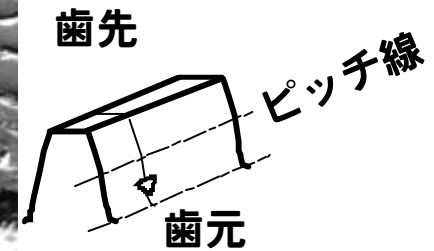
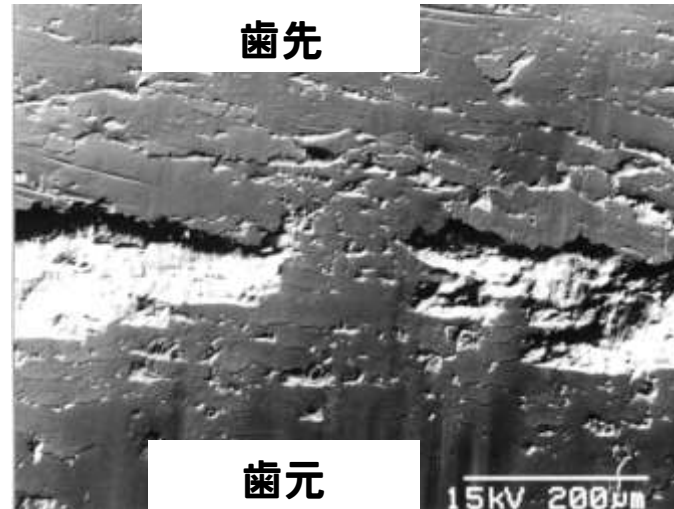
電動化による歯車破損モード変化



歯元：衝撃・折損



歯面：ピッチング・摩耗



電動車の高出力化により歯面圧と回転数が上昇するため対策が必要となる主にピッチング・摩耗が懸念される



ギア寿命の向上方法

セメンタイト析出による歯面強化は
電動車の歯面強化に有効

耐ピッチング性の向上

焼戻軟化抵抗の向上

母相の焼戻し軟化抵抗向上

合金元素

炭素濃度

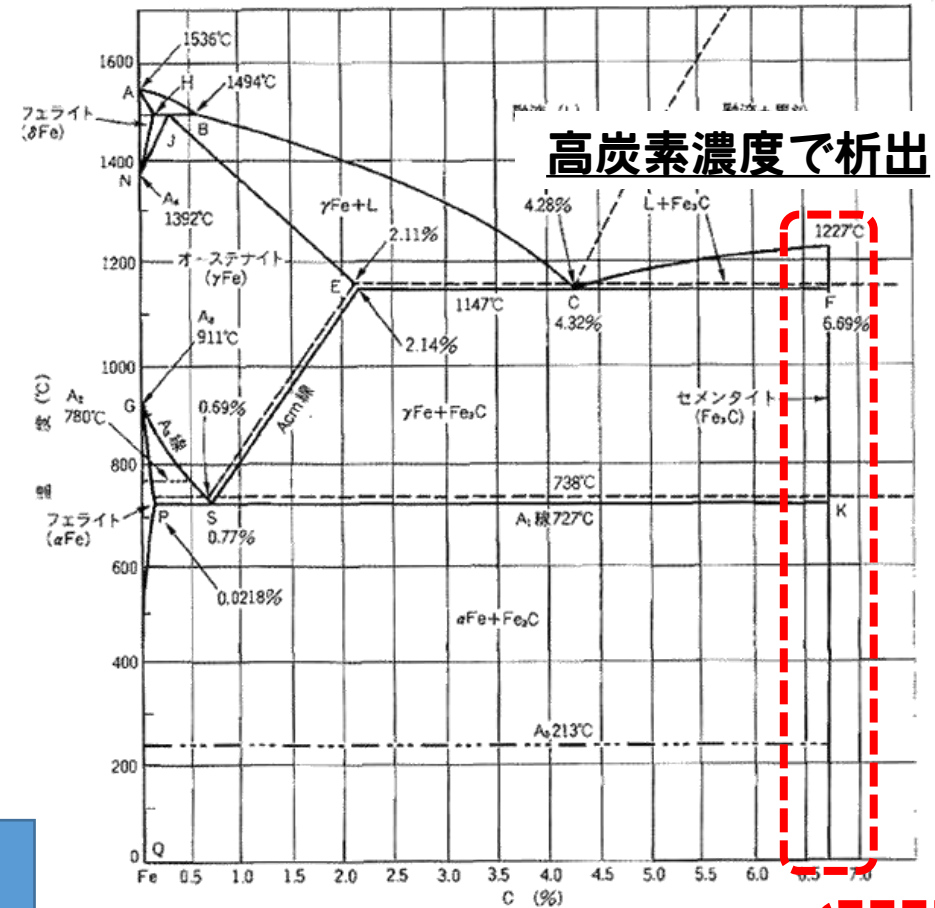
窒素

高硬度析出物の活用

析出物

セメンタイト

セメンタイトの活用
⇒ 高濃度浸炭



高炭素濃度で析出

Fe
(iron)

Fe-C 2元系状態図 (実線: Fe-Fe₃C系, 点線: Fe-黒鉛(グラファイト)系)

Fe₃C
(cementite)

高温で分解しづらい



高濃度浸炭とその課題



実部品形状での粗大セメンタイト発生抑制が必要

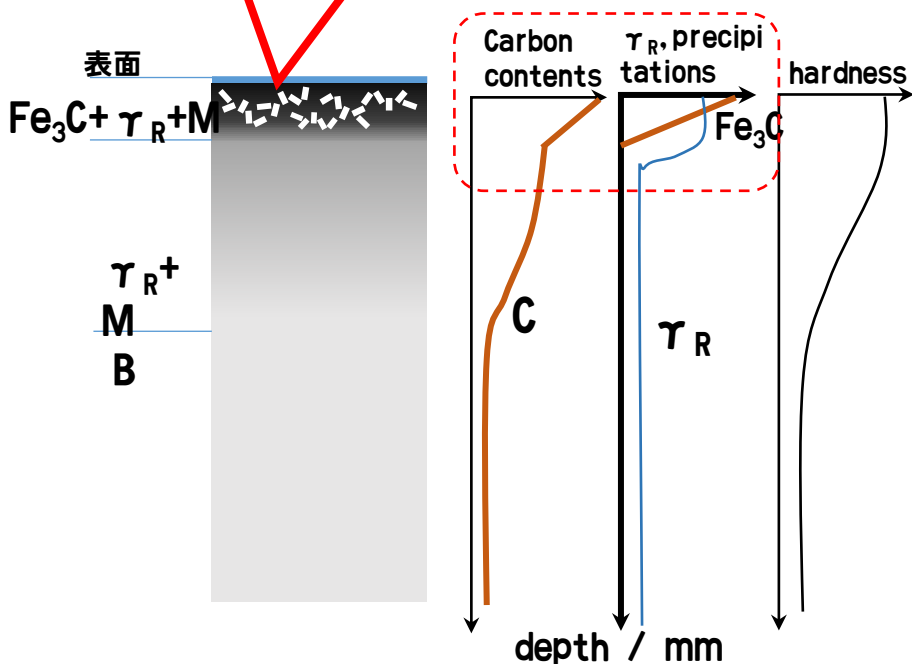


形状依存性を反映できる浸炭焼入れシミュレーション



高濃度浸炭とは？

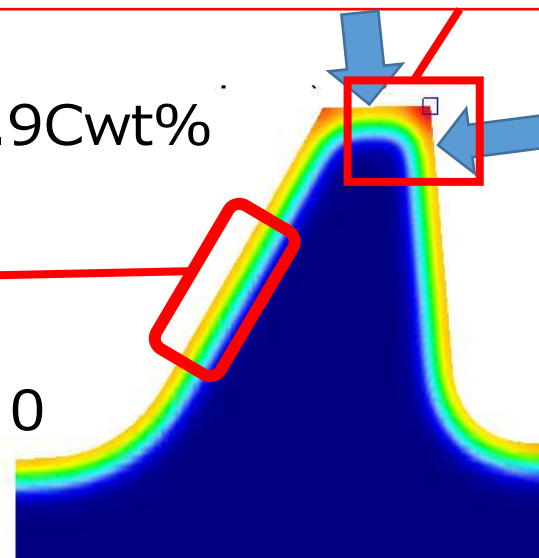
微細セメンタイトによる
超高硬さを得る工法



- 課題 エッジ部での二方向からの浸炭
- コントロールできない
高炭素濃度
 - 粗大セメンタイト・
ネットワーク炭化物の析出
 - 応力集中による破損



1.9Cwt%

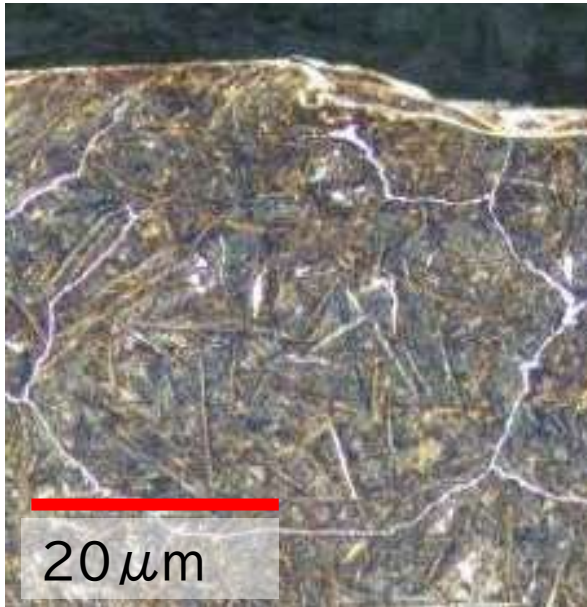


歯車での浸炭結果

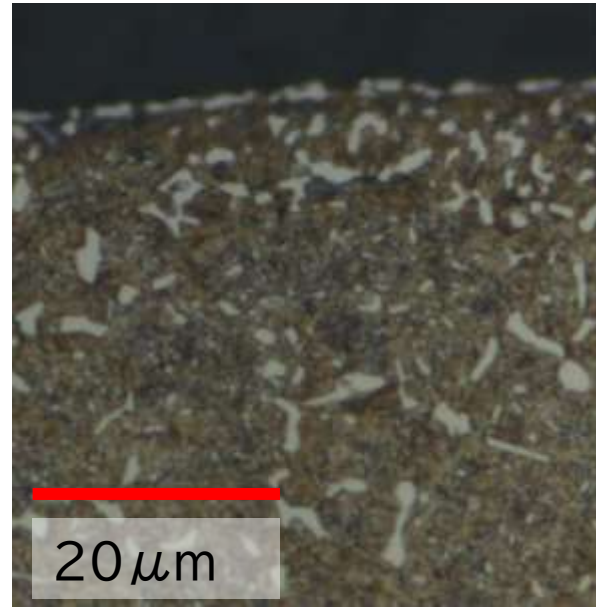
高濃度浸炭とその課題



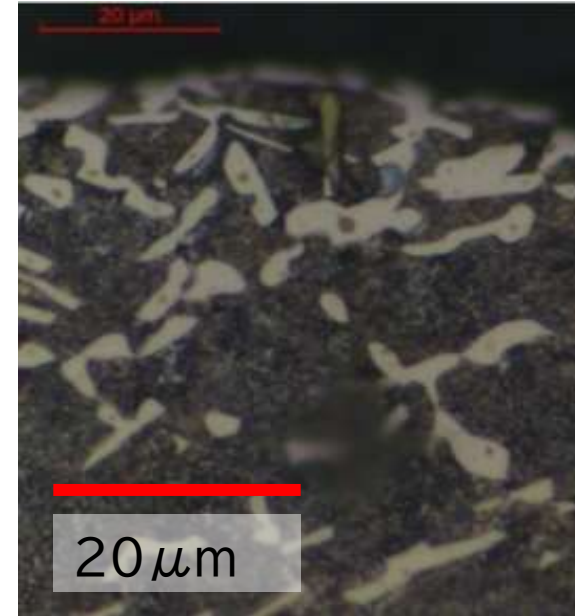
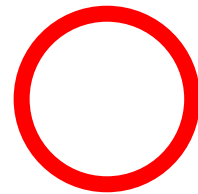
網状セメンタイト，粗大セメンタイトが発生しない条件を明確にする必要がある



粒界に発生した
網状セメンタイト



冷却により分断した
粒状セメンタイト



過剰炭素濃度によって
発生した粗大セメンタイト





本日の発表の流れ

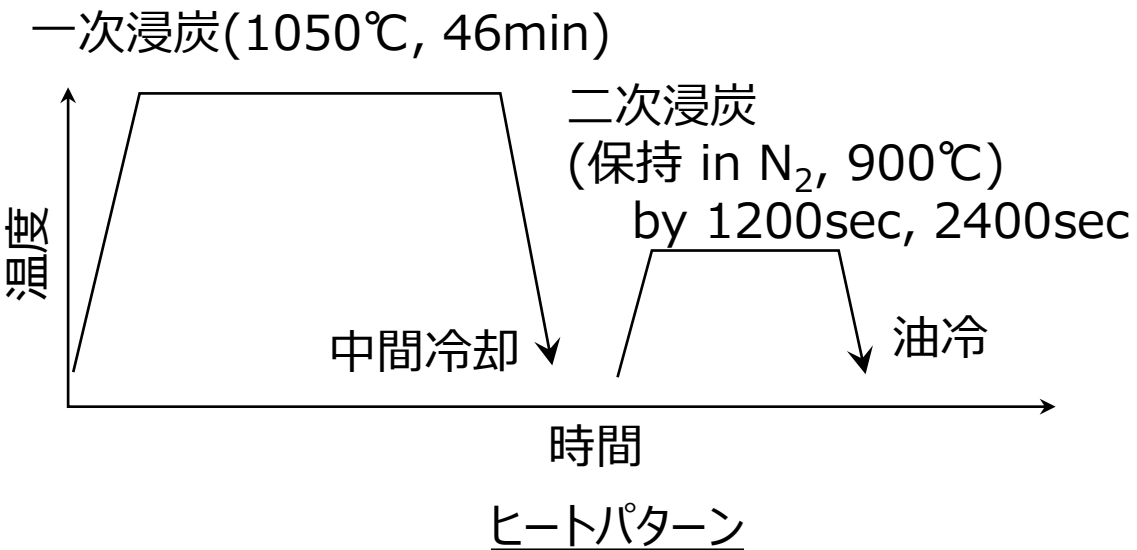
- ✓ 研究の背景
- ✓ **実体形状での減圧浸炭シミュレーション**
- ✓ セメントタイトの析出予測
- ✓ 炭化物ネットワーク形成
- ✓ 実験結果との比較
- ✓ まとめ



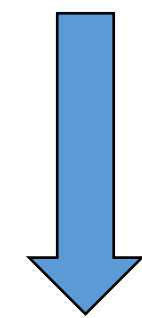
研究方法



化学成分; Mo, Si, Cr, Cu, Mn for SCr420H



CatCalc(Calphad)



入力パラメータ;
処理温度
飽和炭素濃度, グラファイト生成炭素濃度

セル・オートマトン シミュレータ



セル・オートマトン
遷移現象を得意とする
シミュレーション法,
チューリング完全(完全
収束性)を持つので高速

実体実験結果

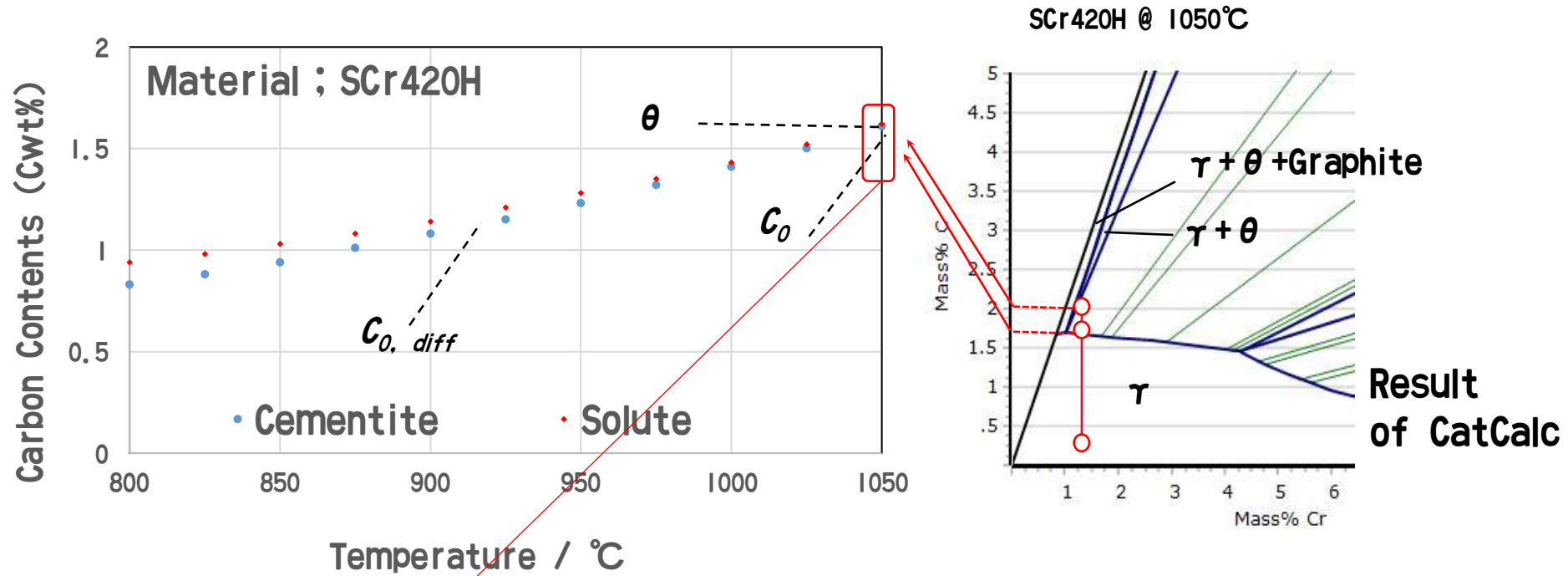


Cwt% 分布
セメントイト濃度
硬さ





固溶・グラファイト析出炭素濃度の計算 by CatCalc (Calphad)

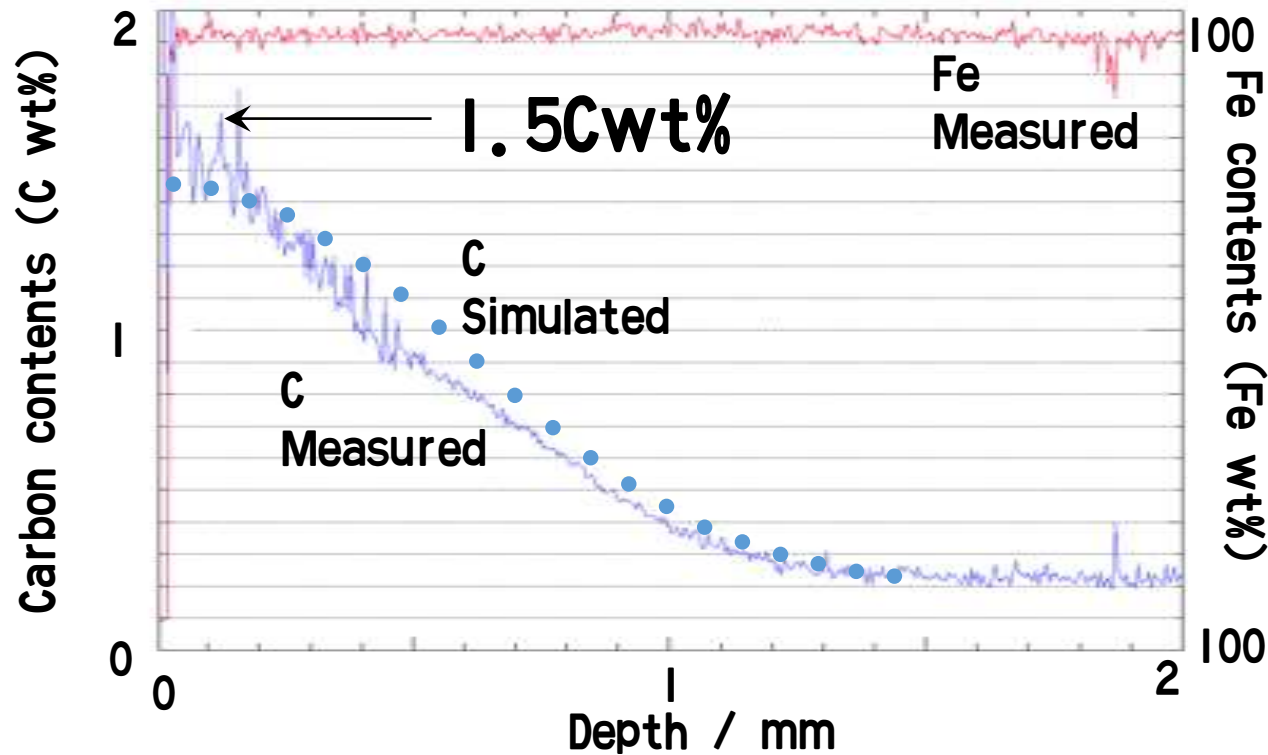


この炭素濃度をセル・オートマトンの境界条件に用いる

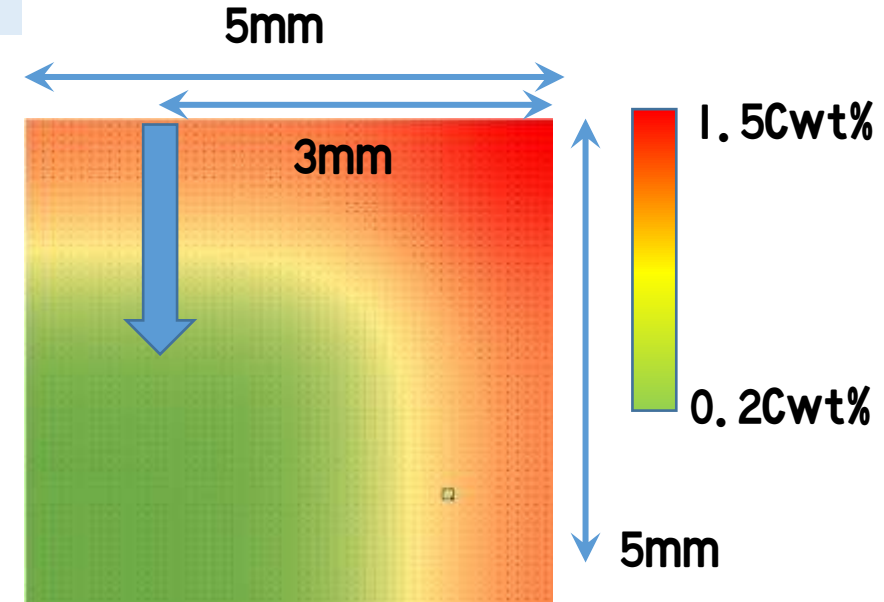


炭素濃度計算結果と実験結果の比較

シミュレーションと計算結果は良い一致を見た



EPMAによる炭素濃度測定結果との比較



セル・オートマトンシミュレーション結果

$$D(C, T) = C_0 e^{\left(\frac{18.5 - 1.5C + \frac{546C^2 + 2361C - 19410}{T}}{T} \right)}$$

C_0 ; Surface carbon contents

C ; carbon contents

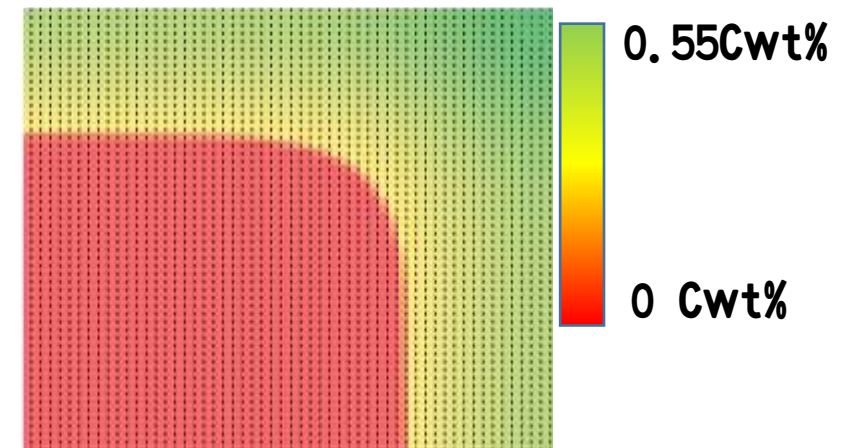
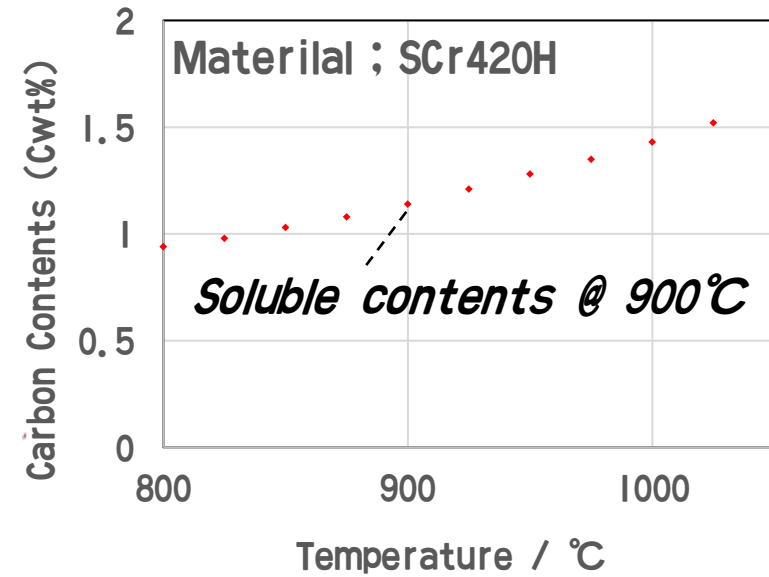
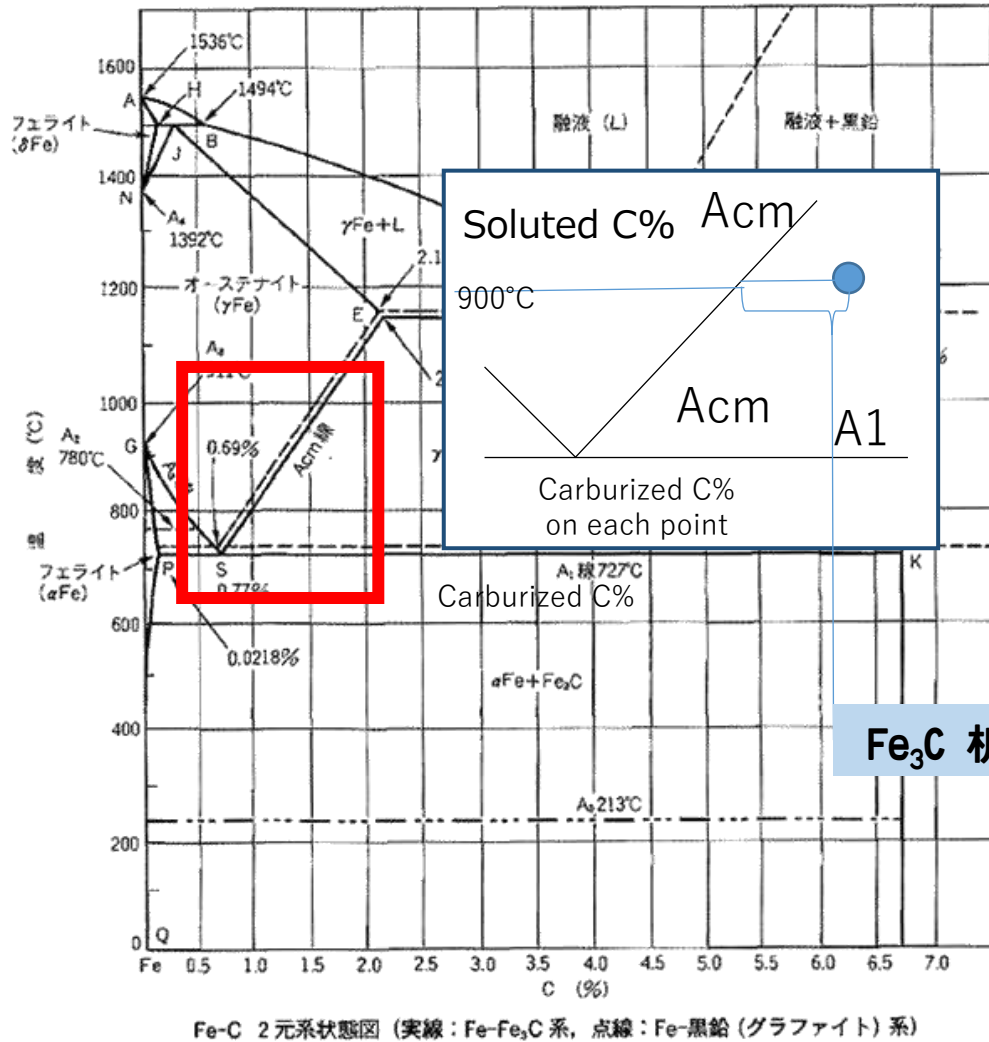
T ; Temperature



本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ 実体形状での減圧浸炭シミュレーション
- ✓ セメントタイトの析出予測**
- ✓ 炭化物ネットワーク形成
- ✓ 実験結果との比較
- ✓ まとめ

析出駆動力



析出駆動力の分布

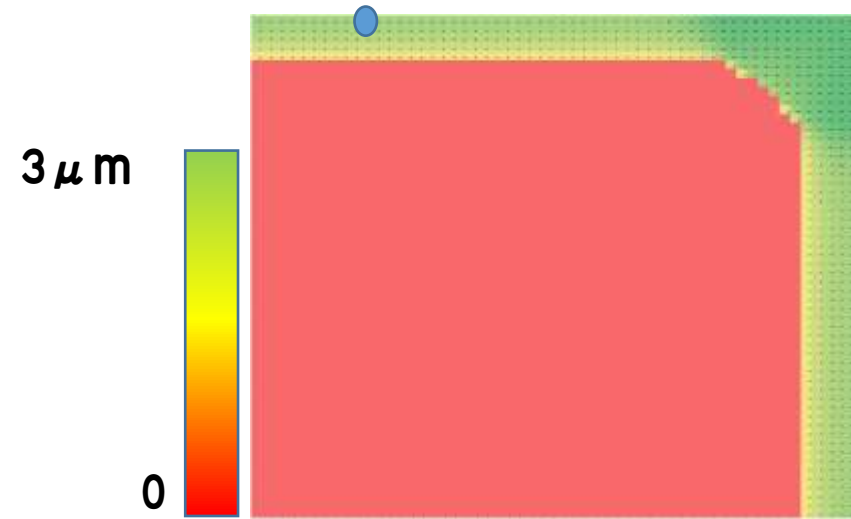
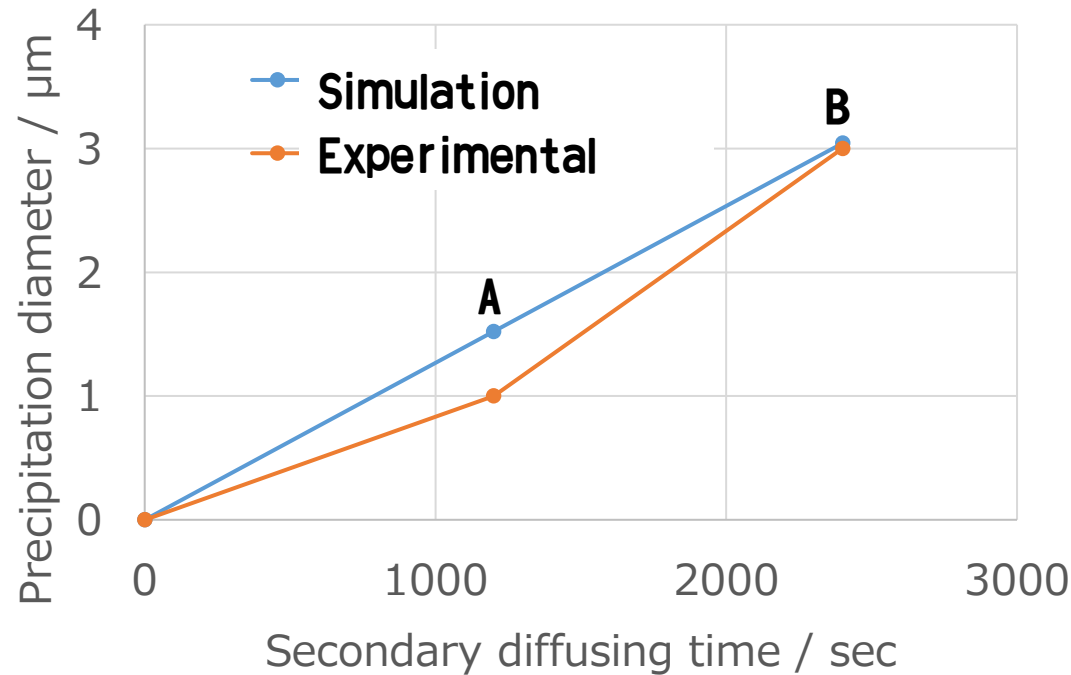


セメントタイト粒成長

二次拡散時のセメントタイト成長では
オストワルド成長の想定でセメントタイト粒成長が予測できた

二次拡散でのセメントタイト粒成長: $r = K (Dt)^{0.5}$ (オストワルド成長)

r: precipitation diameter, K: constants, D: Value adapt for this simulation t: time





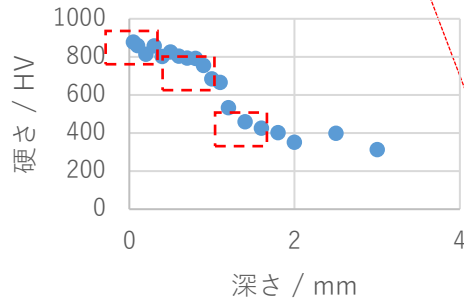
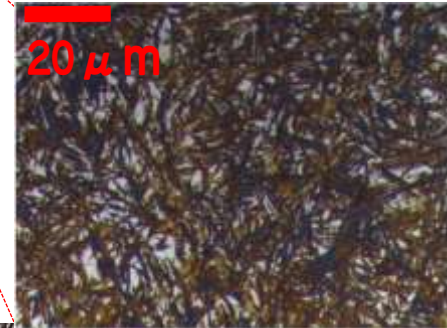
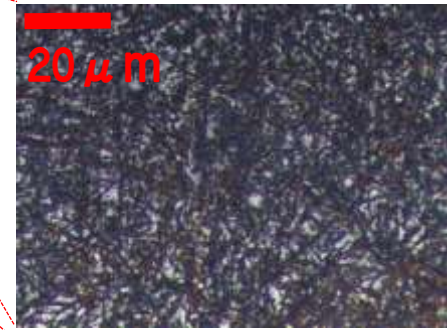
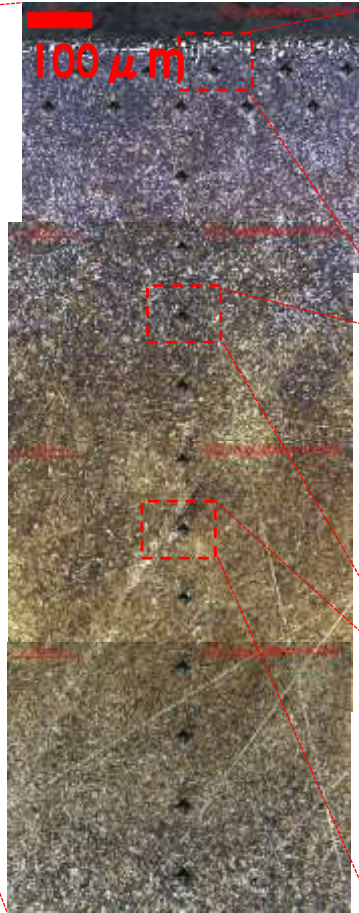
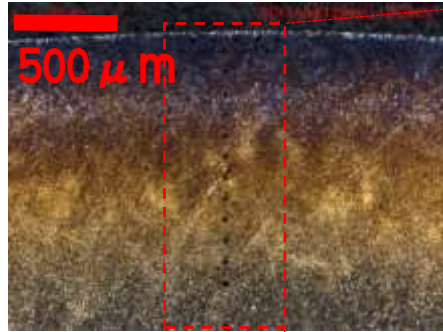
本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ 実体形状での減圧浸炭シミュレーション
- ✓ セメントタイトの析出予測
- ✓ 炭化物ネットワーク形成**
- ✓ 実験結果との比較
- ✓ まとめ



粗大セメンタイトの析出

粗大セメンタイトは粒界に析出している様に見える



粗大粒

粒界はフィルム状の粗大粒を誘発する

遊佐覚, 原徹, 津崎兼彰, 凸凹した旧オーステナイト粒界を持つ焼戻しマルチンサイト鋼の粒界炭化物組織, 日本金属学会誌, 12, pp.1230-1238, (2000)

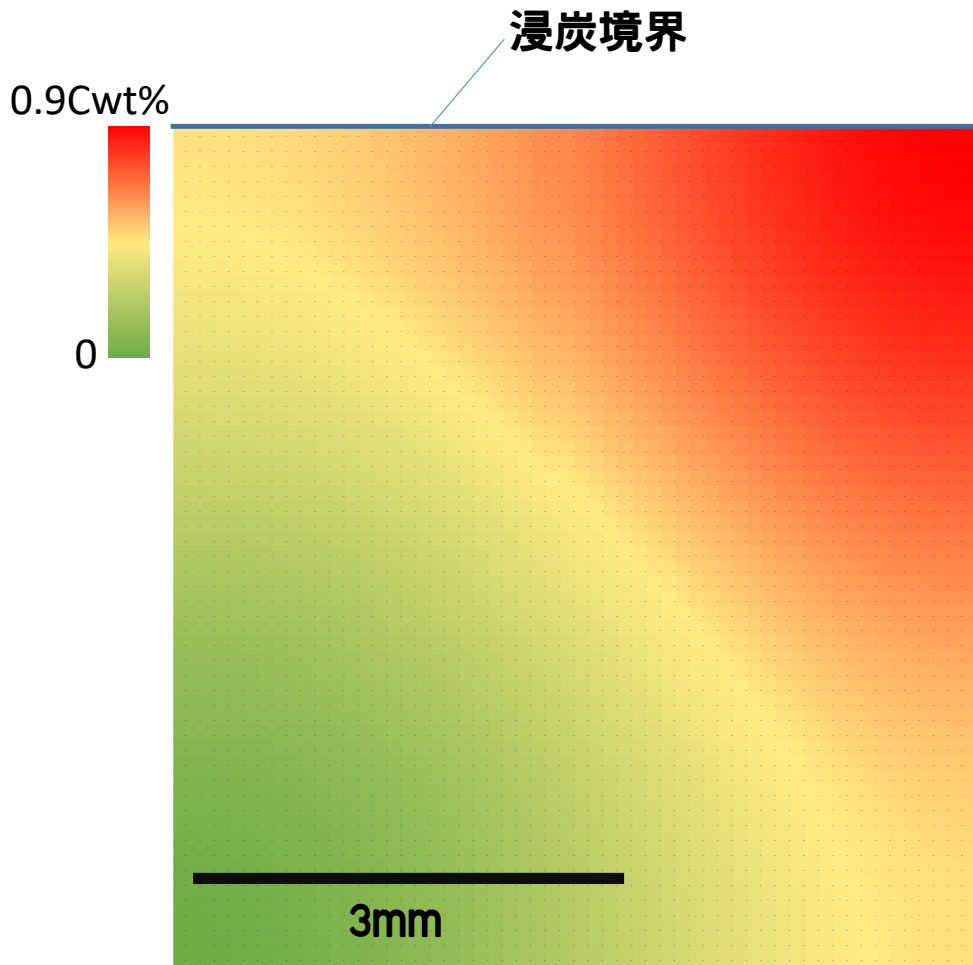
粒界の働き

粒界拡散
粒界移動

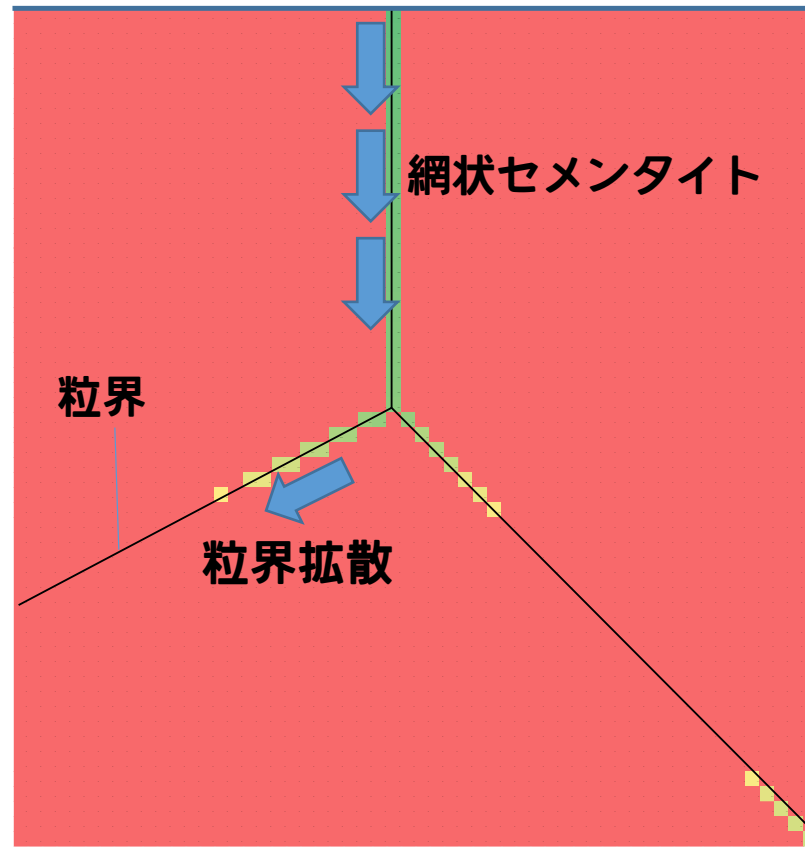
を検証する



粒界セメンタイトの析出

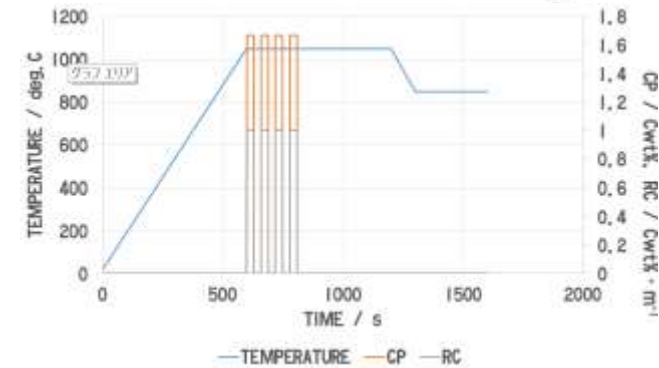


炭素濃度



セメンタイト析出

固定粒界の場合

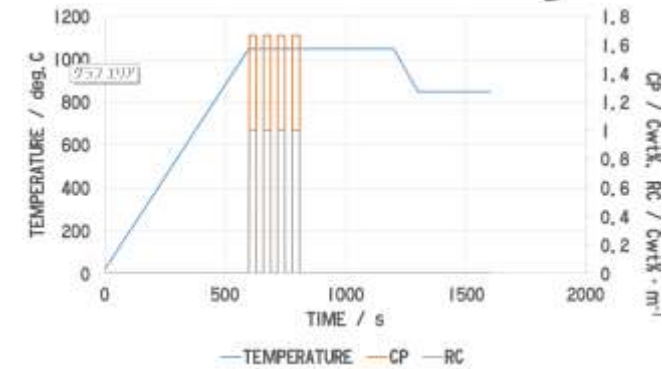
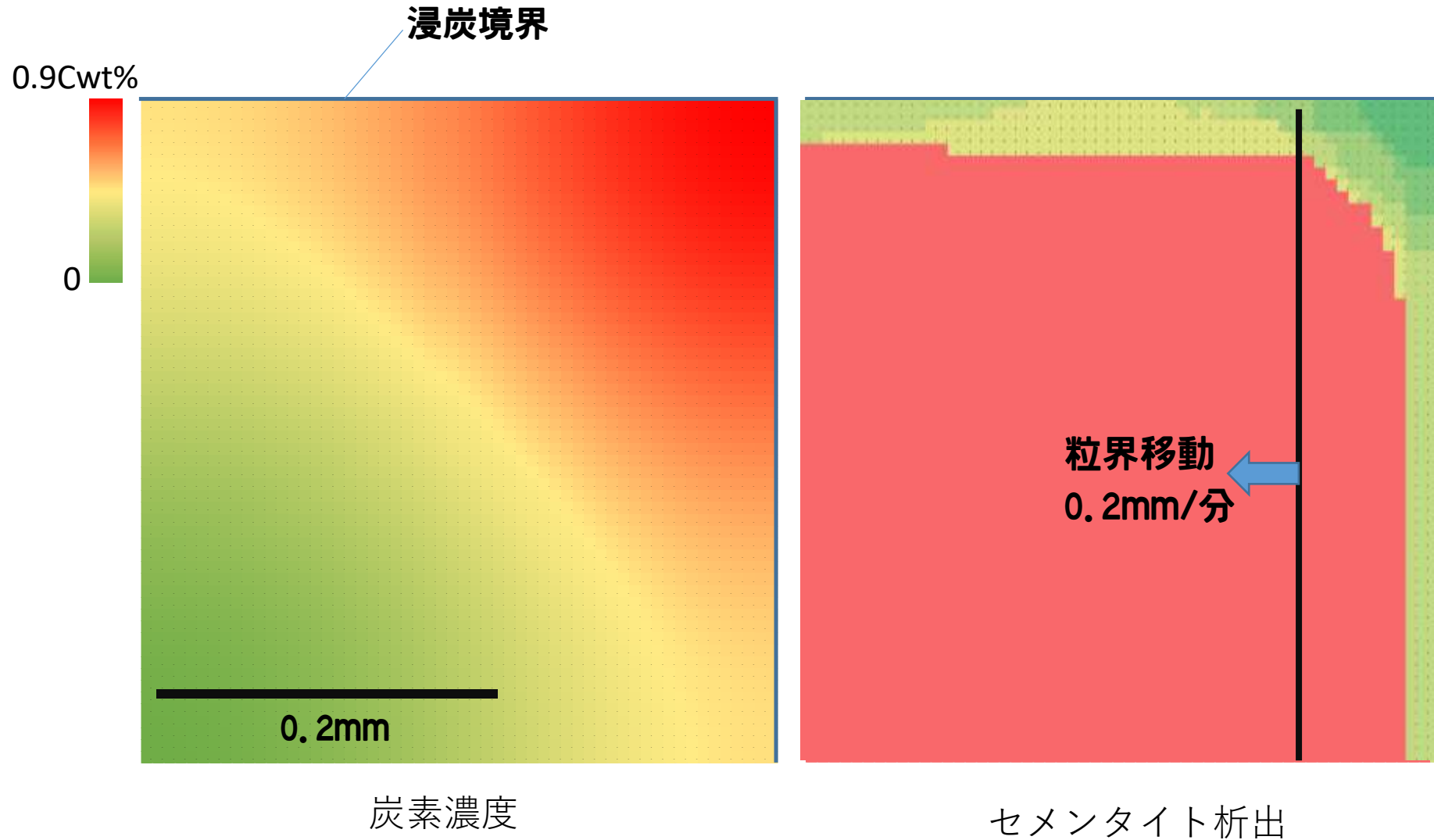


中間冷却なし
→セメンタイトが大きく
なりやすい条件

粒界拡散速度が粒内の1.7倍近傍で粒界にフィルム状セメンタイトが発生した
1.5倍以下, 2.0倍以上では粒界セメンタイトは発生しない



粒界セメントタイトの析出



移動する粒界とした場合、セメントタイトは網状・塊状にならなかったがセメントタイト分布には影響を与える
→実際の粒界移動度は？
→粒を再現できる解析格子密度は？





本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ 実体形状での減圧浸炭シミュレーション
- ✓ セメントタイトの析出予測
- ✓ 炭化物ネットワーク形成
- ✓ 実験結果との比較
- ✓ **まとめ**

まとめ



- 高濃度浸炭シミュレーションをベースにしてセメントタイト析出形態予測手法を検討できた
- 粒界フィルム状セメントタイトが出るには粒界拡散速度が重要である
- 移動する粒界(成長する結晶粒)の場合、セメントタイトはフィルム状にならない
 - セメントタイトには粒界ピン止め効果があると思われるので検証必要，計算スケールも考慮必要