

「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化 基盤研究開発プロジェクト」

プロジェクトの詳細説明 (公開)

【制御鍛造SG(委託)】

- ②-1) 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究
 - ②-2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の開発
- ((財)金属系材料研究開発センター, (独)物質・材料研究機構, 東北大学, 豊橋技術科学大学, 名古屋大学, 大阪大学, 岡山大学)

平成21年7月3日(金)

1 / 19

内容

公開

1. 背景
2. 研究開発の実施体制
3. 開発目標と達成状況
4. 検討内容
5. まとめと最終目標に向けた今後の取り組み

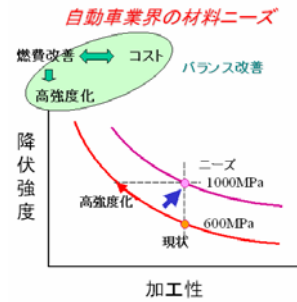
2 / 19

1. 背景

公開

現状の課題

自動車用鉄系鍛造部品(140万トン/年)の高強度化により稼働部品の軽量化
 →高強度化と被削性の確保



解決へのアプローチ

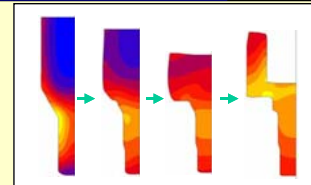
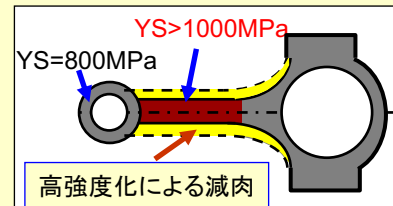
1. 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究

⇒高強度化部と軟質部(切削性維持)の造り込み技術の開発による部品軽量化

2. 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の研究

⇒傾斜機能の造り込みへの成分・プロセス設計に有用なツール開発

⇒トライアンドエラーのリードタイム減少による部材開発期間の短縮

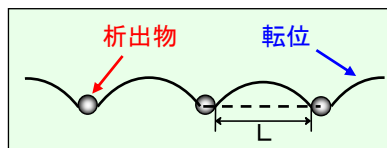
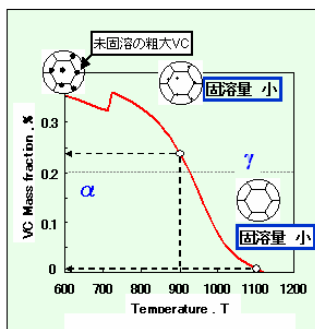


1. 背景

公開

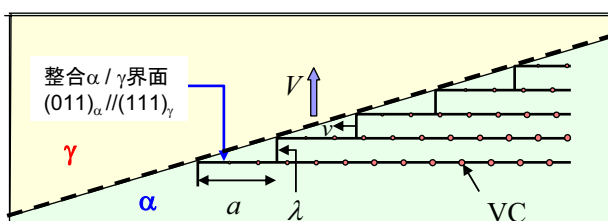
VC相界面析出による強化

→析出強化量はオーステナイト化温度と変態温度で制御可能

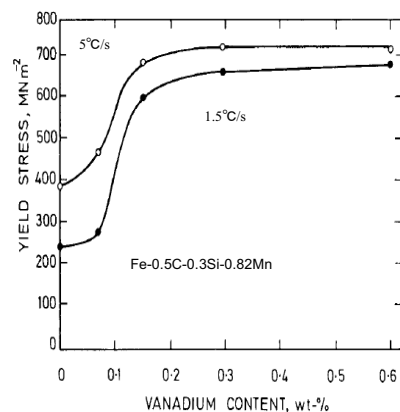


Ashby-Orowanの式

$$\Delta\tau = 0.84 \left(\frac{1.2Gb}{2\pi L} \right) \cdot \ln \left(k \frac{x}{2b} \right)$$



VC析出強化量はVの添加で増加するが、飽和する

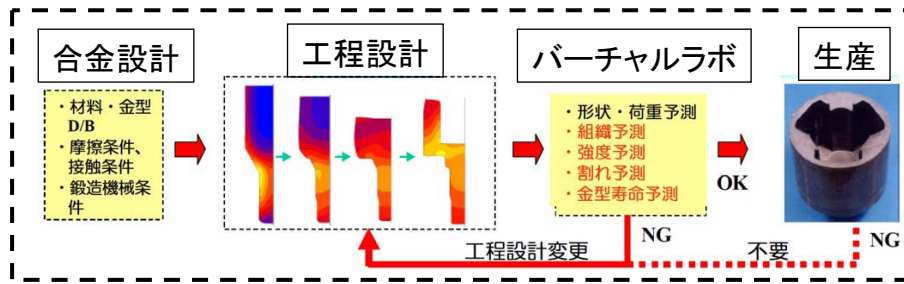


S.A. Parsons, and D.V. Edmonds :
 Materials Science and Technology, 3 (1987), pp.894.

1. 背景

バーチャルラボの必要性

試作によるトライアンドエラーの大幅削減、開発期間の短縮



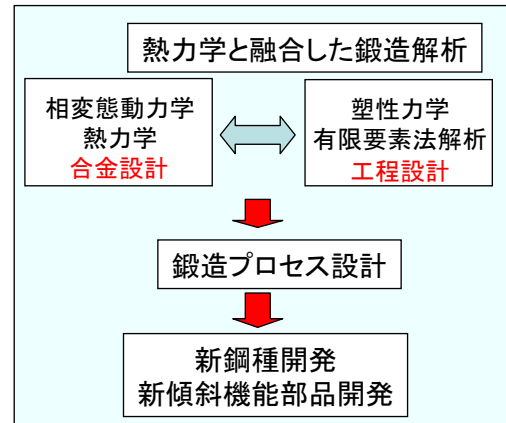
解決へのアプローチ

現状の鍛造シミュレーション

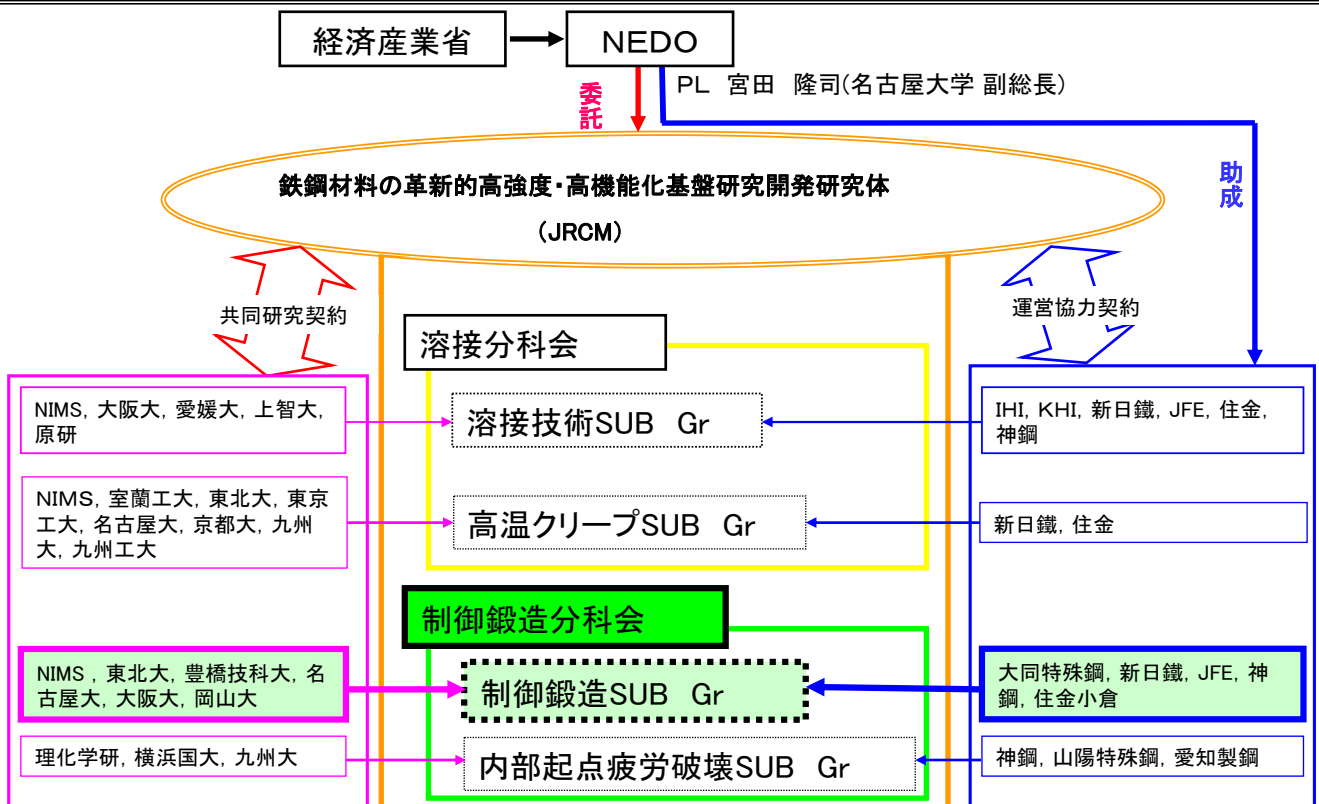
熱間圧延材の組織微細化モデルを応用
 析出物モデルは未開発

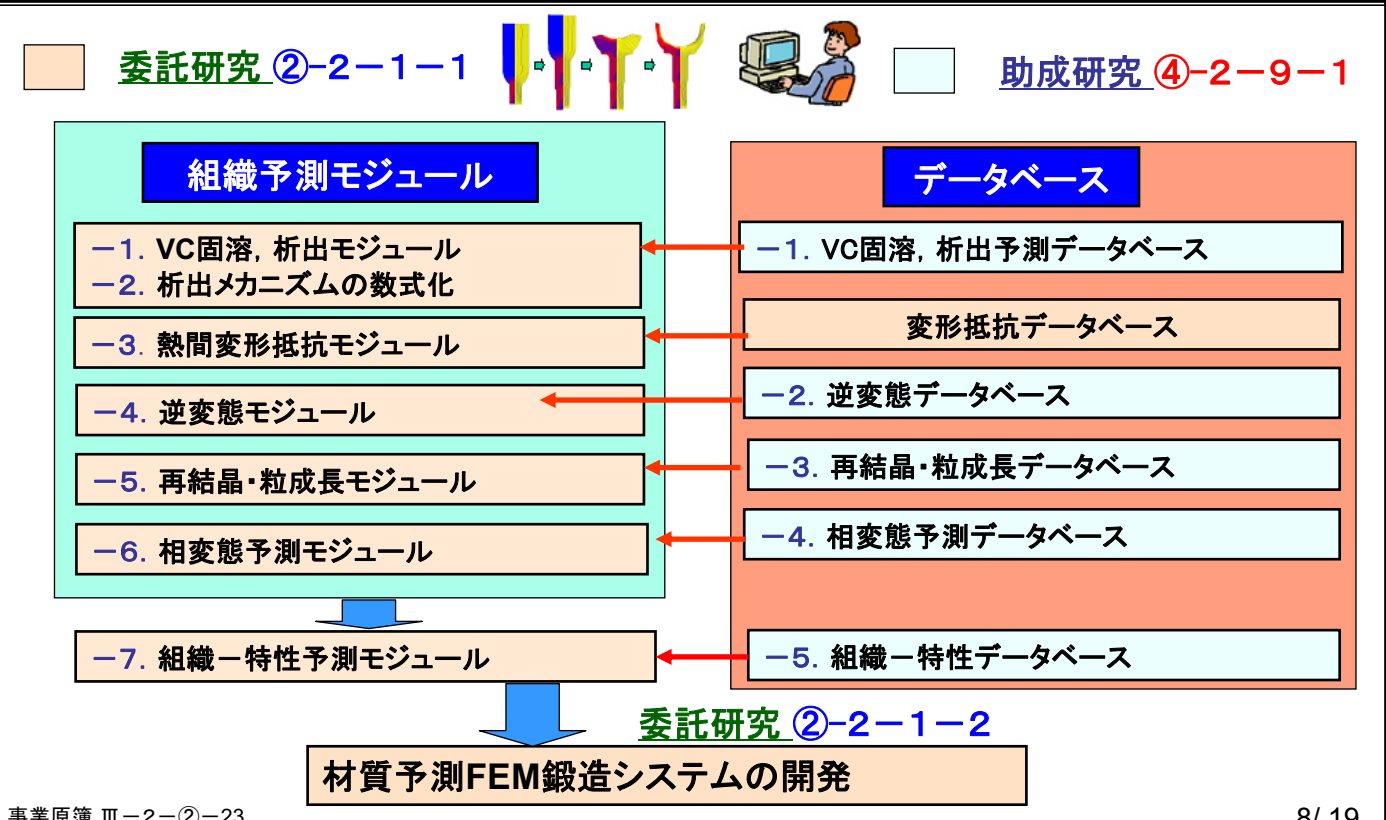
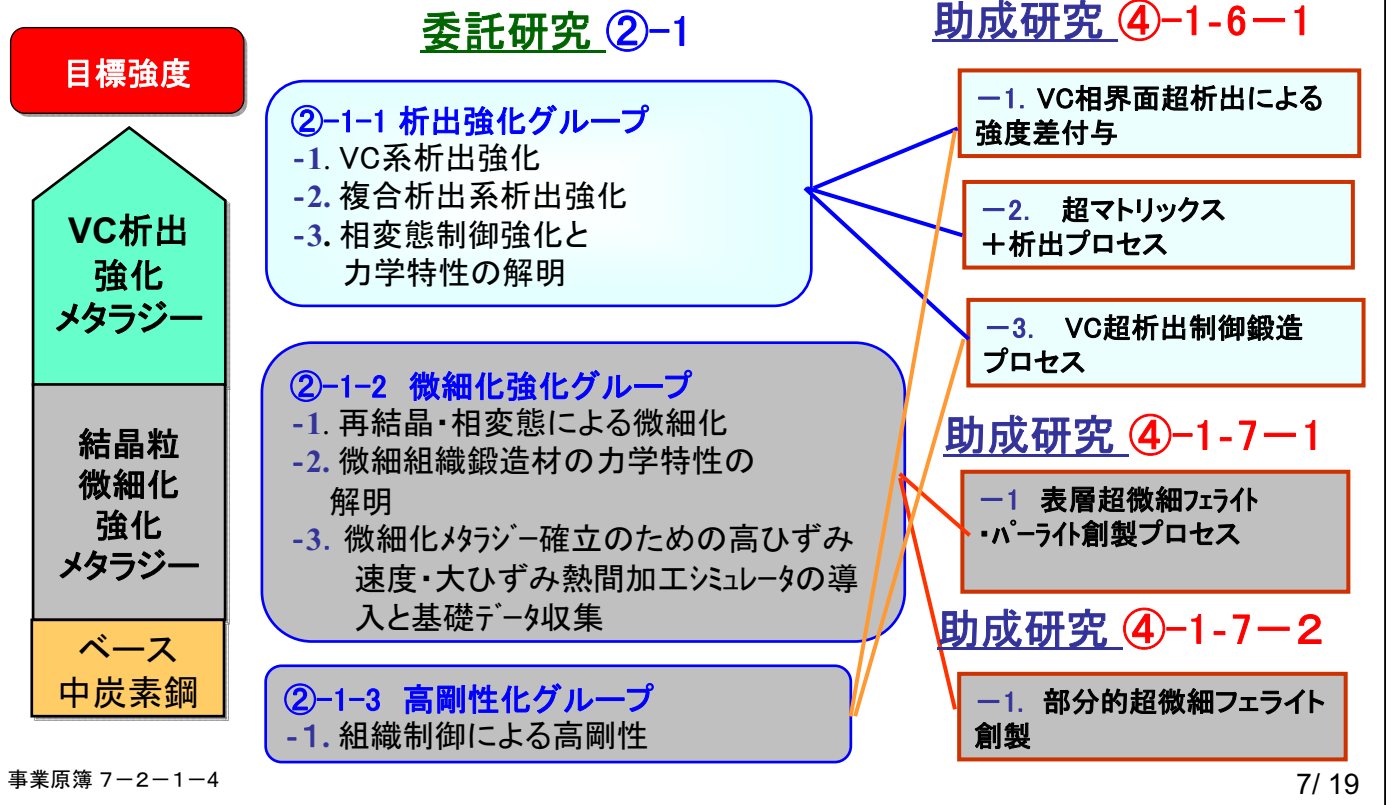
開発予定のバーチャルラボシステム

析出強化を含んだ
 「相変態動力学-熱力学」と
 「塑性力学による有限要素方解析」
 の融合による鍛造シミュレーション



2. 研究開発の実施体制





3. 開発目標と達成状況

公開

| 研究開発項目 | 中間目標 | 最終目標 | 成果 | 達成状況 | 最終目標の達成に向けた今後の取り組み |
|---|---------------------------------------|---|---|------|---|
| ②-1)鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究 | 母材の析出強化最大化方策の抽出と鍛造プロセスによる細粒化指針提示 | [基本計画目標] 降伏強度1000MPa以上でオーステナイト域(900℃)加工でフェライト粒2μm以下、フェライト域およびフェライト+オーステナイト域加工でフェライト粒1μm以下の超細粒の実現 [技術推進委員会の提言を受けた読替目標(案)] 降伏強度1000MPa以上を実現するVC析出形態と加工熱処理条件の明示 | VC析出の定量的評価手法を新たに確立した。VC析出強化は低温ほど大きいこと、等温変態では析出強化を最大にする保持時間が存在すること、加工による変態促進により高温でもVC析出強化を大きくできることを示した | ◎ | 開発プロセスにおいて高強度化と傾斜機能化を達成可能な制御指針を提示し、実鍛造プロセスにおいて降伏強度1000MPa以上を達成する |
| ②-2)組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのパーソナルラボシステム基盤技術の開発 | 組織・硬さ分布予測可能なシステムの構築 (一般的な鍛造プロセス使用) | 組織・硬さ分布予測可能なシステムの構築 (開発鍛造プロセスを利用した、プロトタイプ試作モデルの強度測定によるシステム検証) | VCのオーステナイト中、フェライト中、ならびに相界面析出予測モジュールを構築し、一般鍛造プロセスにおけるV添加非調質鋼の組織と降伏強度の分布予測可能な有限要素解析システムを構築 | ◎ | ●開発鋼のプロトタイプ鍛造プロセスに適用可能なモジュール開発する 予測精度検証とモジュール間の連携強化による予測精度の向上に取り組む |

論文数 3件 (今年度中に4件を予定)

4. 検討内容

公開

②-1 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究

VC析出制御による高強度化

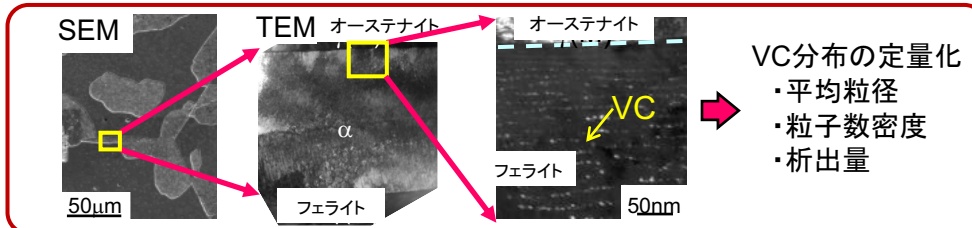
開発の狙い VC相界面析出による中炭素鋼の高強度化機構の解明

- 成果
1. 相界面析出VCの分布の定量評価法の確立
 2. VC相界面析出組織の定量化による高強度化指導原理の明確化

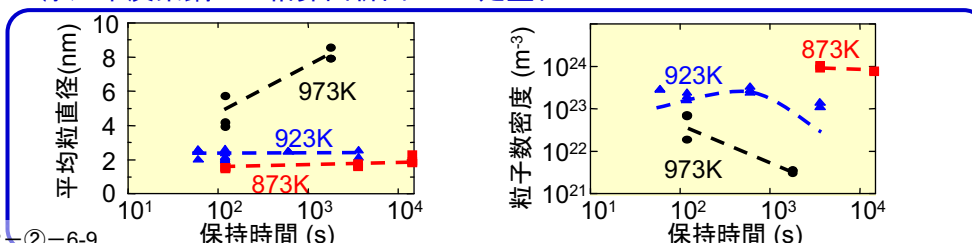
世界初!

→ 助成事業の降伏強度1000MPa達成に貢献

相界面析出VCの定量化技術の確立



V添加中炭素鋼での相界面析出VCの定量化



4. 検討内容

公開

②-1 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究

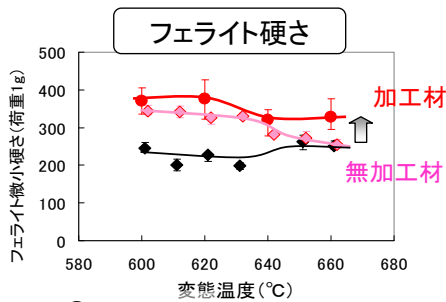
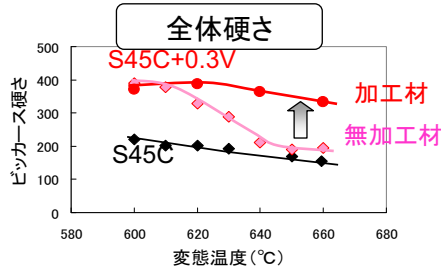
相変態制御による析出強化量最大化

開発の狙い 高強度化のための加工熱処理プロセス条件の明確化

成果 変態温度制御、加工付与による保持時間短縮による析出強化量確保

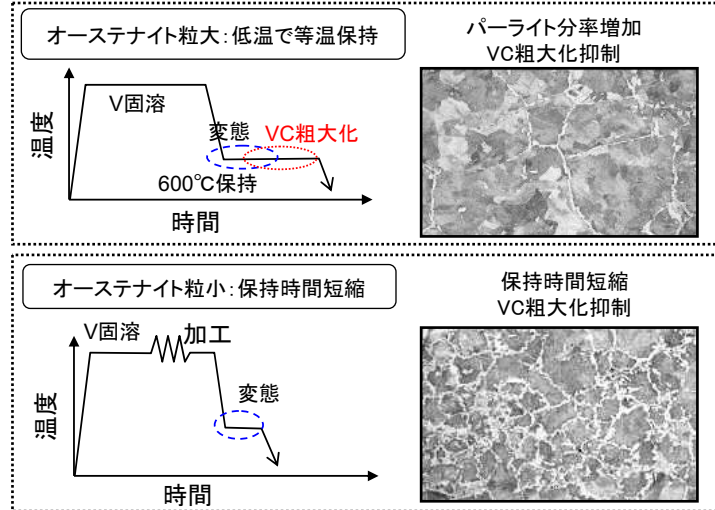
→ 助成事業の降伏強度1000MPa達成に貢献

加工付与による
析出強化量増大
世界初!



事業原簿 Ⅲ-2-②-10-12

析出強化最大化方策



11 / 19

4. 検討内容

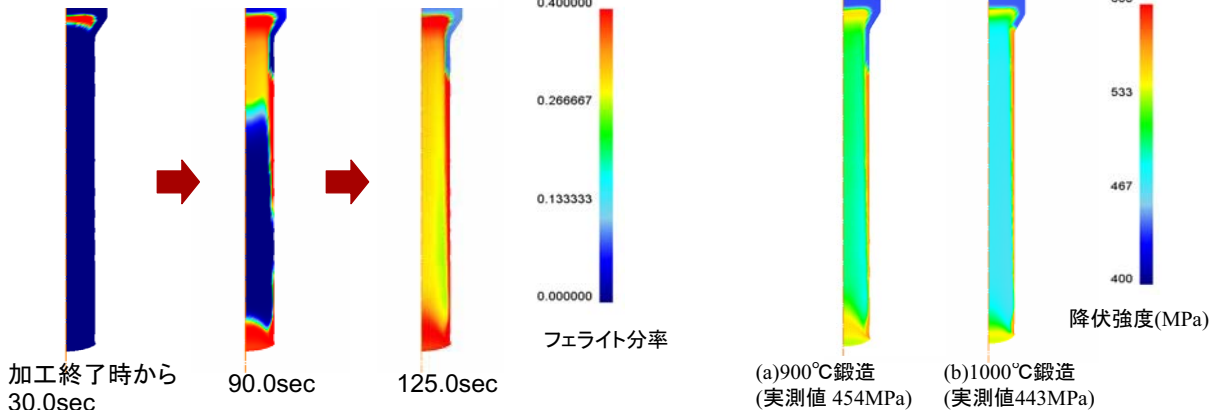
公開

②-2 特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究

材質予測FEM鍛造システムの開発

各種組織予測モジュール(動的・静的再結晶, 相変態, VC析出, 強度予測)
 それぞれをDEFORMに組み込み, 押し出しの変形解析を実施. 組織, 強度分布を解析

解析結果の一例(S45C) 900°C鍛造



解析モード: 軸対称剛塑性解析(DEFORM-2D), 加工速度: パンチ速度200mm/sec(等速)
 工具初期温度: 室温30°C(大気も同様), 変形抵抗: S45C(20~1100°C DB)
 解析条件: ①鍛造温度1000°C→鍛造→放冷, ②鍛造温度900°C→鍛造→放冷
 素材: ①S45C, ② S45C+0.3V

事業原簿 Ⅲ-2-②-26

12 / 19

4. 検討内容

公開

②-2 特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究

VC固溶・析出モジュールの開発

開発の狙い オーステナイト・フェライト中でのVC析出組織を予測できるモデル開発

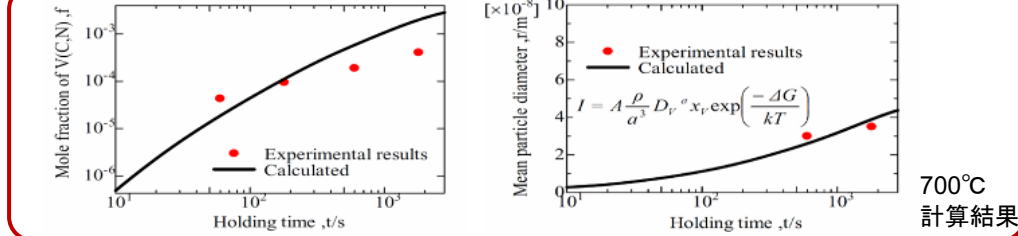
成果

1. オーステナイト中および相界面析出でのVC析出の実験的解明
2. オーステナイト中・フェライト中析出モデルの構築

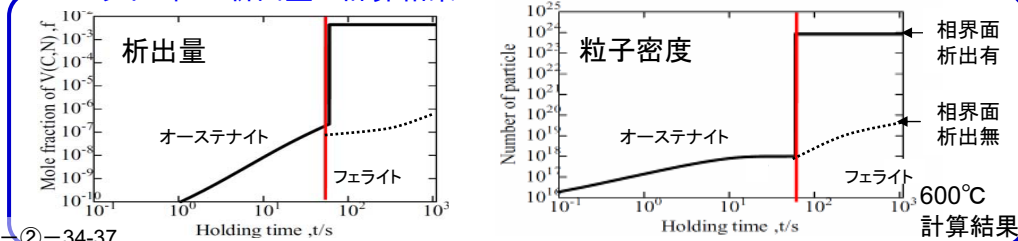
VC析出一貫モデル
世界初!

→ VC析出を組み込んだバーチャルラボシステムの構築に貢献

オーステナイト中VC析出量と粒子径の実験と計算結果比較



フェライト中VC析出量の計算結果



4. 検討内容

公開

②-2 特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究

相変態予測モジュールの開発

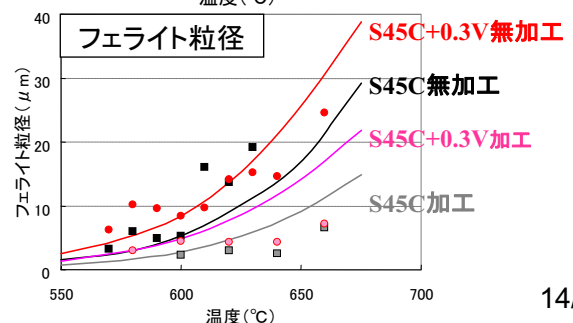
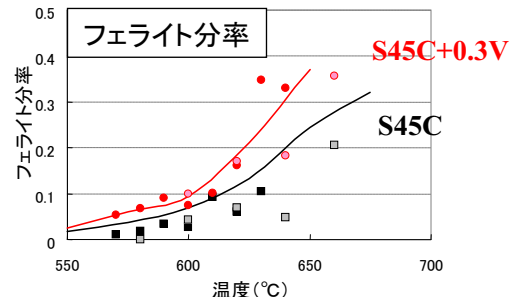
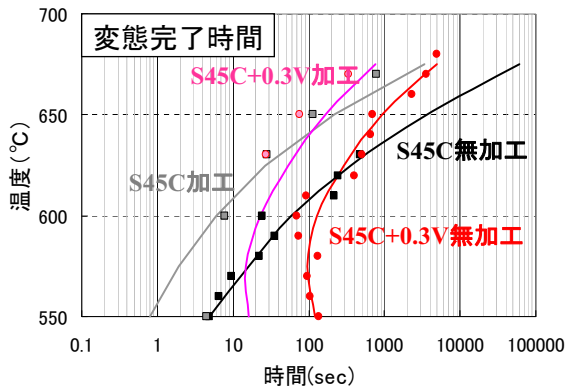
開発の狙い VC析出と相変態の相互作用を考慮可能なモデル開発

成果

- S45C、S45C+0.3V鋼の無加工材、加工材の相変態速度と組織因子モデル化

VC析出との相互作用考慮
世界初!

→ バーチャルラボシステムを用いた加工熱処理プロセス設計に貢献



$$X_{ferrite} = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{24} I(T) \alpha(T)^3 t^{5/2}\right)$$

$$\alpha(T) = \frac{D^{1/2} (C_\gamma - C_0)}{(C_\gamma - C_{ferrite})^{1/2} (C_0 - C_{ferrite})^{1/2}}$$

$$X_{pearlite} = 1 - \exp(-K(T)t)$$

4. 検討内容

公開

②-2 特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究

組織-特性予測モジュールの開発

開発の狙い VC析出形態を考慮可能な降伏強度予測式の構築

幅広い鋼種に対して多くの組織-強度データを収集

成果 中炭素鋼以外にも適用可能な降伏強度予測式の構築

低~中~共析鋼に適用可能
世界初!

→ 降伏強度分布の予測精度の向上

V無添加鋼

$$\text{降伏強度} = 280f_F + 370f_F d_F^{-1/2} + 190(1-f_F)S_0^{-1/2} + 2200(1-f_F)f_\theta - 120$$

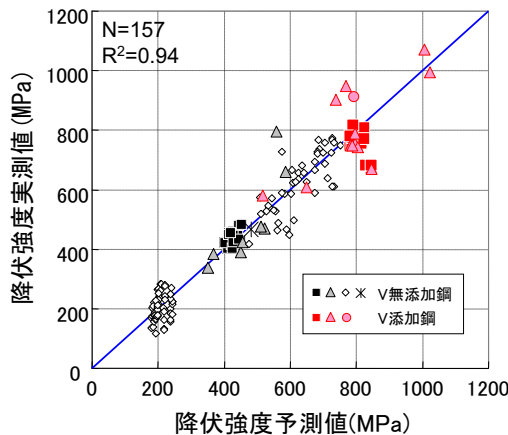
V添加鋼

$$\text{降伏強度} = 280f_F + 370f_F d_F^{-1/2} + 190(1-f_F)S_0^{-1/2} + 2200(1-f_F)f_\theta - 120 + (370C_\gamma + 1300V_\gamma - 190)$$

析出強化量

H21年度中にVC析出形態を

考慮可能な予測式を構築予定



適用範囲:

| | |
|---------|--------------|
| 降伏強度 | 100-1100MPa |
| フェライト分率 | 0-100% |
| C濃度 | 0.02-0.79wt% |
| V濃度 | 0-0.5wt% |
| フェライト粒径 | 4-250 μm |
| ラメラ間隔 | 0.1-0.3 μm |

V無添加/添加 低炭素鋼~共析鋼に
適用可能な予測式を構築した

5. まとめと最終目標に向けた今後の取り組み

公開

②-1)鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究

達成状況



[中間目標] 母材の析出強化最大化方策の抽出と鍛造プロセスによる細粒化指針提示

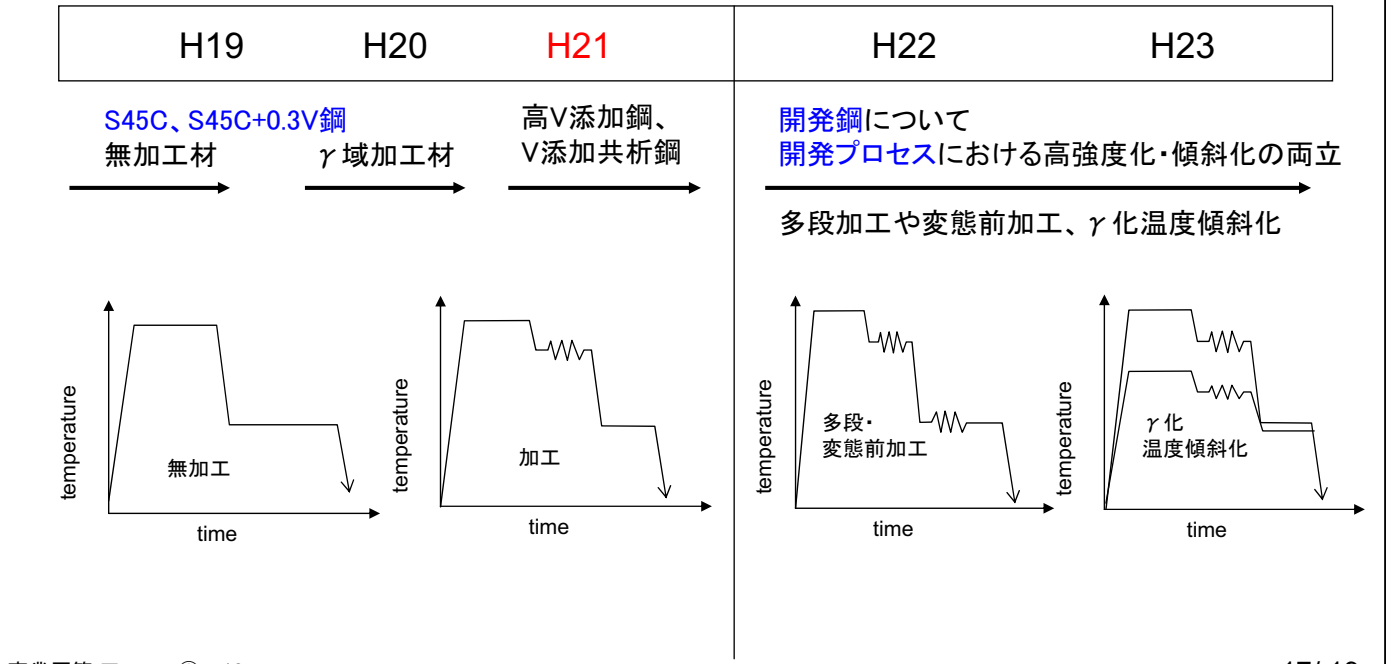
[最終目標] 降伏強度1000MPa以上でオーステナイト域(900℃)加工でフェライト粒2μm以下、
フェライト域およびフェライト+オーステナイト域加工でフェライト粒1μm以下の超細粒の実現

→ (技術推進委員会の提言を受けた読替目標(案))

降伏強度1000MPa以上を実現するVC析出形態と加工熱処理条件の明示

| 研究開発項目 | 成果 | 最終目標に向けた今後の課題と方針 | 最終目標 |
|----------------------|--|---|--|
| VC析出強化による高強度化 | VC相界面析出の定量評価による 強化量最大化原理の解明 V,Cu複合添加による析出強化最大化 | 実鍛造プロセスにおけるVC相界面析出による高強度化原理の解明 | 析出制御により 降伏強度 1000MPa以上の 強度の実現 |
| 相変態制御による 析出強化量最大化 | 変態温度制御、 加工付与による保持時間短縮 による析出強化量確保 | 実鍛造プロセスにおいて 高強度化と傾斜機能化が達成可能な 加工熱処理条件の提案 (多段加工プロセスへの対応、 非強化部の強度制御法の考案) | |

②-1)鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究



②-2)特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究

- | | |
|------|---|
| 達成状況 | 【中間目標】 組織・硬さ分布予測可能なシステム構築(一般的な鍛造プロセス使用) |
| ◎ | 【最終目標】 組織・硬さ分布予測可能なシステム構築(開発鍛造プロセス使用、プロトタイプ試作モデルにてシステム検証) |

| | H19 | H20 | H21 | H22 | H23 |
|---------------|---|-----|--|---|-------------------|
| 材質予測FEM鍛造システム | 各モジュールの実装 ベース鋼の押出加工計算 | | VC析出一貫 モデルの実装 | 開発鋼のプロトタイプ鍛造プロセス計算 システム精度検証(モジュール間の連携) | |
| 変形抵抗モジュール | S45C鋼について定式化 | | S45C+0.3V鋼 | 開発鋼についての低ひずみ域データ測定 | |
| 再結晶・粒成長モジュール | S45C鋼のモデル化 | | S45C+0.3V鋼 | 開発鋼モデル化、VC析出、相変態との連成 | |
| VC固溶・析出モジュール | S45C+0.3V鋼の測定 オーステナイト中、 フェライト中析出モデル作成 | | パーライト中 析出モデル作成 | 開発鋼についての測定、モデル化 | |
| 相変態予測モジュール | S45C、S45C+0.3V鋼 変態モデル作成 | | 適応鋼種の拡大 熱力学ベース予測 | 変態前加工実装 VC析出との連成 | 予測精度向上 精査モデル構築 |
| 組織-特性予測モジュール | 降伏強度予測式構築 (V添加 低~共析鋼対応) | | VC析出形態の考慮(VC析出との練成) 高V添加へ適用可能な予測式構築 | 予測精度向上 精査モデル構築 | |

