

ミレニアム関連プロジェクト
資源循環型新世紀構造材料の研究
「高品質のリサイクル鉄製造技術」
(リサイクル鉄の超鉄鋼化)

独立行政法人 物質・材料研究機構

目 次

| | |
|--|-----|
| 1 . はじめに | 4 |
| 2 . 研究成果 | 6 |
| 2 . 1 目的 | 7 |
| 2 . 2 年次目標 | 7 |
| 2 . 3 研究計画と実施体制 | 7 |
| 2 . 4 研究成果 | 8 |
| 2 . 5 研究概要 | 10 |
| 2 . 6 まとめ | 30 |
| 3 . 研究評価調査委員会 | 32 |
| 3 . 1 目的 | 33 |
| 3 . 2 内容 | 33 |
| 3 . 3 委員会構成 | 33 |
| 3 . 4 活動内容 | 35 |
| 3 . 4 . 1 平成 12 年度活動 | 35 |
| 3 . 4 . 2 平成 13 年度活動 | 41 |
| 3 . 4 . 3 平成 14 年度活動 | 55 |
| 3 . 4 . 4 平成 15 年度活動 | 65 |
| 3 . 4 . 5 平成 16 年度活動 | 72 |
| 3 . 5 まとめ | 76 |
| 4 . 調査研究・成果利用 | 77 |
| 4 . 1 はじめに | 78 |
| 4 . 2 スクラップ鉄中不純物の動向調査 | 79 |
| 4 . 3 薄板材製造プロセスの調査・解析 | 89 |
| 4 . 4 国内企業訪問 | 90 |
| 4 . 5 海外調査 | 92 |
| 4 . 5 . 1 米国ミニミル調査 | 92 |
| 4 . 5 . 2 ドイツ部品化プロセスに関する調査 | 97 |
| 4 . 5 . 3 海外調査まとめ | 102 |
| 4 . 6 研究成果の発信 | 103 |
| 5 . 内閣府・評価助言会議 | 107 |
| 5 . 1 はじめに | 108 |
| 5 . 2 内閣府助言会議委員構成 | 108 |
| 5 . 3 第 9 回(平成 16 年 6 月開催:平成 15 年度終了時点報告)事業実施報告書 | 109 |
| 5 . 4 年次計画と達成状況 | 110 |

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 5 . 5 | 委員による評価、助言と対応方針 | 111 |
| 5 . 6 | 研究報告概要 | 114 |
| 6 . | 研究発表業績 | 123 |

1.はじめに

ミレニアムプロジェクトは、平成 11 年 12 月、当時の小渕内閣総理大臣の下、新しいミレニアム(千年紀)の始まりを目前に控え、人類の直面する課題に答え、新しい産業を生み出す大胆な技術革新に取り組むために開始された。具体的には、夢と活力に満ちた次世紀を迎えるために、今後のわが国経済社会にとって重要性や緊急性の高い情報化、高齢化、環境対応の三つの分野について、技術革新を中心とした産学官共同プロジェクトを構築し、明るい未来を切り開く核を作り上げるというものである。

わが国では、戦後の高度成長期に整備した多くの社会インフラが更新時期を迎え、また鉄鋼スクラップの発生量が年々増加しており、リサイクル問題が重大化する。現在提言されている鉄のリサイクル技術は不純物の除去にコストがかかり、その過程も環境負荷が高い危惧がある。こうした背景の下、本プロジェクト「リサイクル鉄の超鉄鋼化」は、環境・エネルギー分野の一つとして、リサイクル鉄(スクラップされた鉄をリサイクルして生産する鉄)の活用推進のため、強度に優れた高品質のリサイクル鉄を製造する技術を確立するために、平成 12 年度よりミレニアム関連プロジェクトとして物質・材料研究機構(旧・科学技術庁 金属材料技術研究所)において開始された。本プロジェクトは、鉄鋼材料に含まれる不純物元素を積極的に活用するという逆転の発想に基づく材料創製技術の確立を主眼とし、これにより資源循環を容易にし、環境負荷を低減するものであり、真の環境対応技術研究と考えている。

本プロジェクトを推進するにあたっては、有識者各位による研究方針の検討、毎年開催される内閣府によるリサイクル・リユース等推進評価・助言会議での評価・助言、また産学官の有識者各位による研究検討委員会での討論を行っていただき、円滑かつ適切に本課題を進めることができた。

また、資源循環型社会の実現に資するべく、実用化へ向けた指導原理の確立を目指した材料創製プロセスに関する基礎研究であったため、試験鋼塊の試作などは素材メーカー各社各位の協力を仰ぎ、研究課題の抽出にあたっては、常に新しい材料研究情勢を把握し研究方針にフィードバックさせるために、素材メーカーのみならず、ハードメーカー、エンドユーザー各社各位にもヒアリングを行わせていただくなど、快くご協力いただき、また研究実施にあたっては、各社との強力な連携協力体制の下に行わせていただいた。

皆様の多大なご支援・協力により、本プロジェクトは、不純物含有鋼からの創製材の強度 1.5 倍化、プロセス制御因子解析、リサイクル鋼創製設備整備などの成果を上げることができ、所期の目的を達成し、平成 17 年 3 月を持って、成功裡にプロジェクトを終了することができた。

プロジェクトの終了にあたり、これまで推進されてきた研究検討委員会の活動、毎年開催してきた研究報告を兼ねてのワークショップ、スクラップ鉄や提案プロセスに関する

種々の調査活動、内閣府助言会議での答申などを軸に、不純物有効利用のための新シーズの創出、現象解明、基礎研究からフィージビリティスタディとしての試作材の創製など研究成果をここにご報告し、ご意見、ご感想をいただき、資源循環型社会構築へ向けての里程標とするとともに、今後、広く鉄鋼産業、材料産業の発展に資する研究の礎としたいと考えている。

最後になりましたが、ご支援、ご協力いただきました皆様にあらためて厚く御礼申し上げます。

物質・材料研究機構 超鉄鋼研究センター 副センター長
リサイクル鉄の超鉄鋼化研究 プロジェクトリーダー
津崎兼彰

2 . 研究成果

2.1 目的

鉄鋼のリサイクル過程において不可避免的に混入してくる精製可能な不純物元素の有効利用技術を開発し、精製段階の環境負荷低減と使用段階での環境負荷低減を同時に達成する。これにより、現行技術で得られる回生材を原料とするリサイクル鋼材の高強度化を達成する。具体的には、不純物元素の凝固偏析技術を開発し、結晶粒微細化技術を適用することにより、鋼材の強度1.5倍化を目指す。また、表面性状評価や変形挙動及び金属組織解析を行い、回生材に混入・形成される物質の複相化により高性能化を得るための基礎研究を行う。

2.2 年次目標

本プロジェクトは、省庁横断的に実施されてきたミレニアムプロジェクトの一環として、文部科学省（平成12年当時・科学技術庁）の推進する事業、「高品質のリサイクル鉄製造技術」研究として、平成12～16年度の5ヵ年計画で推進されてきた。以下に年度ごとの研究達成目標を記す。

平成12年度：不純物均一化技術のハード開発と1キロオーダーの分析素塊の作製を行う。

平成13年度：10キロ分析素塊での不純物均一分布制御因子の整理を行う。

平成14年度：10キロ分析素塊で強度1.5倍化の高性能実現を行う。

平成15年度：数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創製設備を整備する。

平成16年度：数10キロオーダー素塊でのプロセス制御因子の解析を行う。

これらは、第5章で後述するように、年度ごとに全てよく達成された。

2.3 研究計画と実施体制

本プロジェクトは、前期2年、後期3年の5ヵ年計画で構成され、前期2年では、上記年次目標の中で基礎要素研究を行い、後期3年では、同様に、実用化に向けた応用技術展開を目指した研究を行った。

まず、前期2年では、不純物元素の融合化技術、回生異物の融合化技術の基礎検討を行い、スクラップを原料とする生産・廃棄一体化プロセス技術開発、ユニアロイ・素材統合化の材料デザインなど、次世代都市構想に資する材料プロセスに関する研究とともに、不純物無害化プロセス、不純物複合化プロセス、循環型複合化材料設計などの、次世代再生手法の研究を行った。具体的には、検討すべき基礎研究課題として、高不純物含有薄鋼板の創製技術、不純物分散中厚材の創製技術、スクラップ原料の部品化技術、変形・破壊の金属組織モデリング、研究成果利用に関する調査をあげ、研究を実施した。研究実施機関は物質・材料研究機構、連携機関として、三菱重工業（株）、住友金属工業（株）などのご協力をいただいた。

後期3年では、応用化対象として、社会的背景、また技術的課題の重要性から、想定目標を自動車部材に集中した。資源循環型社会構築のための製造プロセス、すなわち、低コ

スト・低環境負荷で、スクラップを原料とし、不純物を有効利用する広範囲性能実現プロセス技術開発に関する基礎研究を行った。ここでは、鉄鋼プロセスの中で、上工程から下工程まで一貫したプロセスを見通す視点から、各プロセスにおいて、革新的な技術開発基礎研究を行った。具体的には、急速凝固・冷却による鑄造組織制御、多方向加工、工夫した加工による微細組織制御・集合組織制御、キャラクタリゼーション、モデリングなどである。自動車部材の中でも、自動車鋼板すなわち板材と駆動系部品すなわち棒材とに分けて考え、それぞれに適したプロセスの適用・提言を行い、強度、延性、高速変形、破壊などの性能、あるいは疲労強度、靱性などの評価を行った。

また、研究計画の年次ごとの展開、研究の実施にあたっては、第5章に述べるように本プロジェクトの推進会議である「リサイクル・リユース等推進評価・助言会議」や、第3章に述べるように産学の有識者より構成される、研究計画のブラッシュアップ・研究結果のピアレビュー・研究成果報告など行うための研究検討委員会「循環型社会研究検討委員会」(平成12~13年度)、「自動車および家電に関するリサイクル技術」研究評価調査委員会」(平成14~16年度)において毎年、報告、答申を行い、円滑な推進を図った。

2.4 研究成果

以上の体制により、推進されてきた本プロジェクトの研究成果を以下、研究項目ごとにまとめる。

(1) 溶解・脱酸・凝固過程における脱酸生成物、介在物中不純物りんの挙動

高りん含有鋼における Mn-Si 脱酸・凝固時のりんの挙動について、化学平衡法を用いた熱力学的測定を行い、脱酸生成物、介在物である MnO-SiO₂ 系酸化物の脱りん能は非常に低いことを定量的に明らかにした。上記プロセスにおいてりんは鋼中に殆ど残留し、利用できることが分かった。

(2) 高不純物含有鋼塊、鋼板の創製技術および不純物偏析・分散の利用技術

高りん含有鋼、銅、硫黄、りん含有鋼からの 100mm 厚スラブ、2~3.6mm 厚ストリップ材の創製に成功した。高不純物鋼への急速冷却・凝固プロセスの適用により、2次デンドライトアーム間隔が微細化、特に鑄造 粒径はりんの偏析の効果が顕著に出て微細化することがわかり、りんの添加効果、冷却速度と鑄造 粒径の関係を定量的に把握することができた。ストリップ材においては不純物銅、硫黄系のナノサイズの微細化な化合物が析出し、強度上昇に大きく寄与することがわかり、この析出制御に関して検討を加えた。

(3) リサイクル鋼創製設備の整備

薄スラブ CC~直送圧延プロセスの上工程を模擬した試験装置の開発・導入を行った。溶解、成分調整、鑄造、冷却を一貫して行うことのできるシミュレーターにより、可変の鑄込み幅を 50mm にして不純物含有インゴットを創製し、実機 50mm 厚薄スラブ材と同等の鑄造組織を模擬できることがわかった。また、新加工プロセスの開発を目指し、圧延

材料にせん断歪みを導入するためのクロスロール圧延機を導入し、効果的な圧延が可能であることがわかった。

(4) スクラップ原料の部品化技術

シース缶に市販溶製鋼材などの機械切削屑を真空封缶し、圧延加熱温度 700～1100 にて孔型ロールで固化成形した結果、素材相対密度 99.6%以上を示すポイドのない固化成形体を得られた。SCM435 鋼、Ti6Al4V 合金においては固化成形体の引っ張り強さは圧延温度とともに上昇し、素材を上回ることがわかり、種々のスクラップへの固化成形技術を適用することにより、直接回生プロセスの可能性を示した。

(5) 変形・破壊の金属組織モデリング

リサイクル材を結晶粒微細化により高強度化した場合の変形特性を、高速変形時の応力-ひずみ曲線について調べ、変形応力はホールペッチの法則に従うこと、均一伸び、全伸びは減少することがわかった。

(6) 新加工プロセスによる微細組織、集合組織の制御技術

二方向温間圧延によって創製した超微細粒鋼の集合組織を EBSD 解析した結果、りん添加により粒界方位差が増大したこと、導入したクロスロール圧延機によるせん断付与圧延によって創製した鋼中では、集合組織配向が崩れ、シャルピー衝撃試験の上部棚エネルギーを高めて低温まで維持し、延性脆性転移温度を低温に移行することがわかった。また、せん断付与圧延により、同じ塑性歪みでも結晶粒微細化効果が従来圧延より高くなることわかった。また、下工程への鑄造材の性質の残留を考え、鑄込み厚方向で機械的性質はほぼ一定であるが、等方性は表面の方がよく、凝固速度の影響があることを把握した。

(7) 超微細粒棒鋼の創製・機械的性質

りん、銅などを含有した中炭素鋼に多方向圧延を加えて超微細粒棒鋼を創製し、機械的性質を調べた結果、従来鋼の 1.5 倍の高強度化を達成し、また耐久比（疲労限/引張強度）が 0.5 を超える高疲労強度化を実現した。また、微細粒の塑性変形をメカニズムを精緻に調査できる観察・解析手法を開発した。

(8) 表面欠陥検出の高性能化

開発材の表面欠陥を高精度に検出するため、回転磁界プローブを開発して適用し、漏洩磁束探傷試験法により鋼板表面における全方向のきずの検出を可能にした。

2.5 研究概要

(1) 溶解・脱酸・凝固過程における脱酸生成物、介在物中不純物りんの挙動

背景

不純物りんを生かす上で、溶解、凝固、脱酸時における熱力学的挙動を把握することは重要である。熱力学計算ソフトウェア ThermoCalc を用いて、高りん鋼をマンガン、シリコン脱酸したときの各成分の挙動を予測し、a)脱りん効率は非常に低いこと、b)従来の塩基性スラグ精錬と異なり、高温ほど脱りんされやすい、などの基本的知見を得ているが、実測による熱力学的知見はまだない。

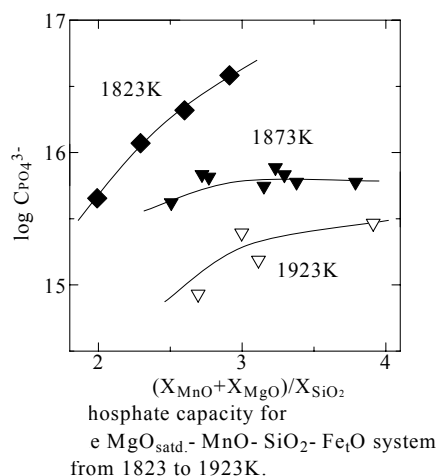
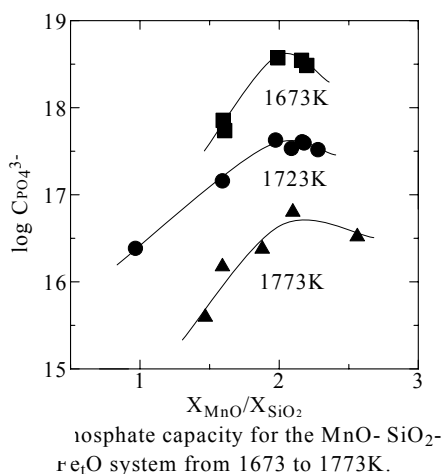
目的

高りん鋼のマンガン・シリコン脱酸に関して、実際に溶解実験を行い、りんの挙動を熱力学的に把握する。

研究手法

MnO-SiO₂-Fe₂O₃ 系スラグと固体鉄または溶鉄を平衡させ、両相中のりん、酸素濃度から以下の式で表されるりん吸収能の尺度であるフォスフェイトキャパシティを求め、評価する。

$$C_{PO_4^{3-}} = \frac{(\text{mass}\%PO_4^{3-})}{P_{P_2}^{1/2} \cdot PO_2^{5/4}} = \frac{K_1 \cdot a_{O^{2-}}^{3/2}}{f_{PO_4^{3-}}}$$



低温域（二次介在物）

高温域（脱酸生成物）

脱りん能は非常に低く、Mn-Si脱酸時にPはほとんどスラグ中へ溶け込まないことが分かった。

【文献】 Y. Kobayashi, N. Yoshida and K. Nagai: Thermodynamics of Phosphorus in the MnO-SiO₂-Fe₂O₃ system, ISIJ International, 44(2004), 21-26.

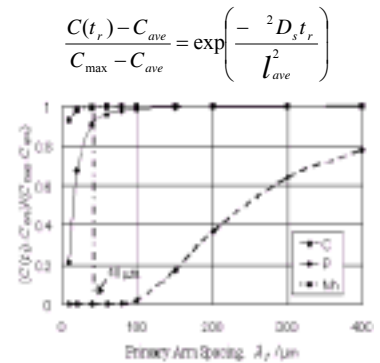
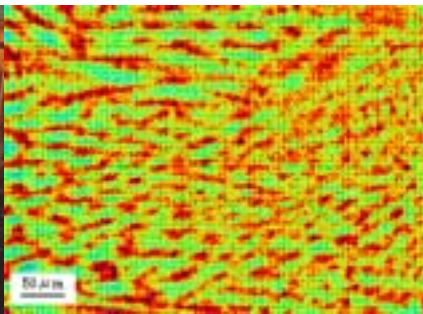
(2) 高不純物含有鋼塊、鋼板の創製技術および不純物偏析・分散の利用技術 - 1
背景

不純物を活用した鉄作りを考える上で、**鑄造・冷却プロセスの利用は重要である**。従来の連続鑄造よりも早い凝固・冷却速度を実現できる薄スラブ連鑄、ストリップキャストリングを適用した、不純物含有鋼鑄造に着眼した。



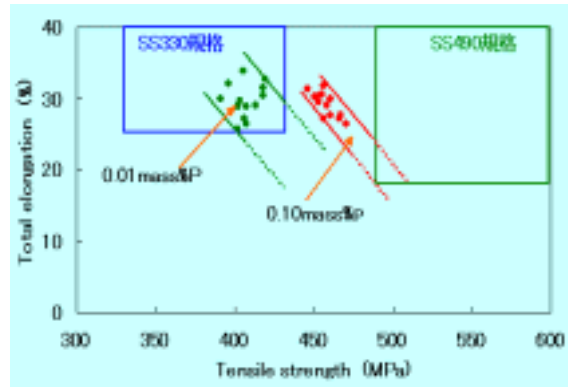
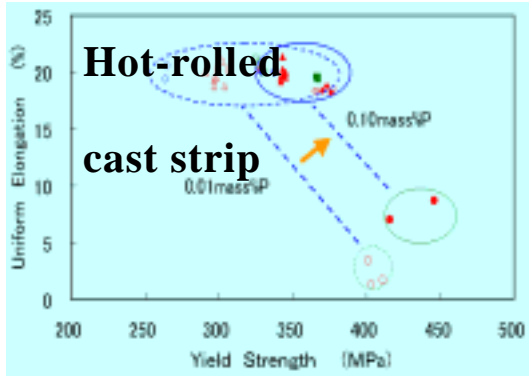
研究成果

1) 不純物P含有鋼の凝固現象の解明



広幅 600mm ストリップ創製試験 鑄片中の P 偏析状態 (CMA)

2) ストリップ鑄片を再加熱圧延し、機械的性質について調査



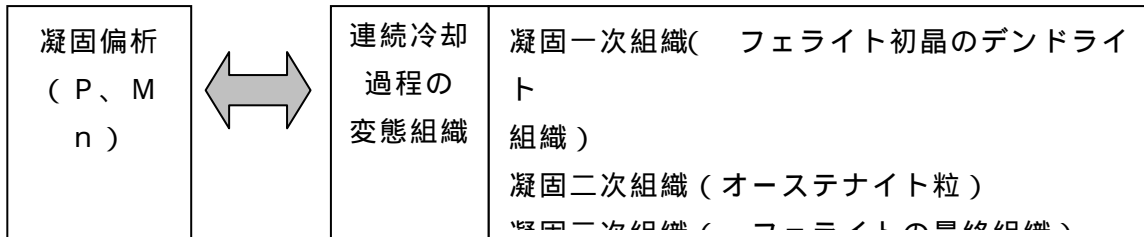
不純物 P は急冷凝固により微細に分散する。
 急冷凝固させた高 P 低炭素鋼の再加熱圧延では強度/延性バランスが向上する。
急冷凝固 + 新制御圧延技術の利用
 再生材の目標である従来材の 1.5 倍の強度が得られた。

【文献】K. Hirata, O. Umezawa and K. Nagai: Microstructure of Cast strip in 0.1 mass% C Steels Containing Phosphorus, Materials Transactions, 43(2002), 305-310.

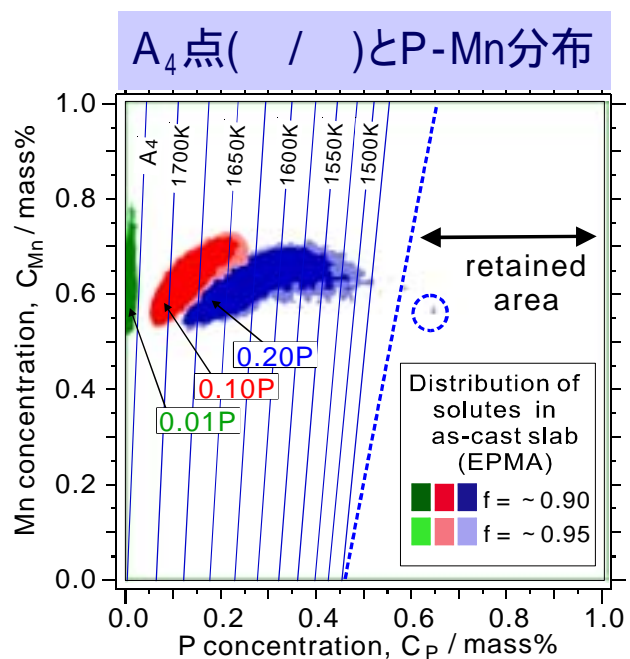
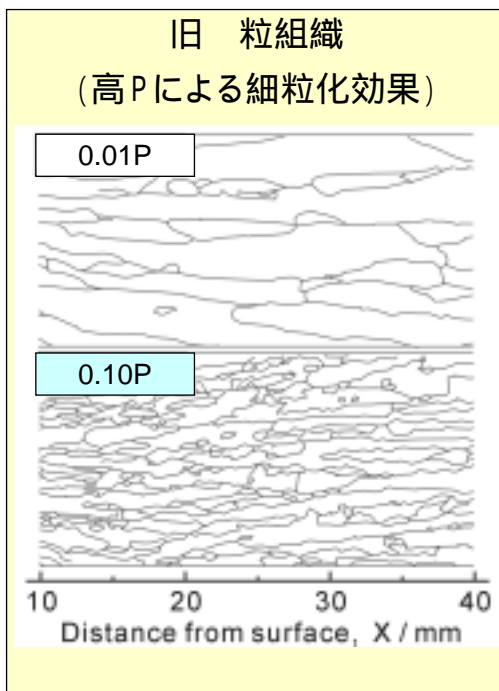
(2) 高不純物含有鋼塊、鋼板の創製技術および不純物偏析・分散の利用技術 - 2

研究目的

高りん鋼の凝固組織について、特に凝固偏析に注目し、連続冷却下で相変態を経た組織形成挙動を明らかにする。



0.01 ~ 0.20% りん含有鋼の 100mm 厚さ連続铸造スラブを試作した。その結果、りんを 0.1%以上含有するスラブのオーステナイト組織は、粒径 0.8mm であり、低りん(0.01%)材のオーステナイト(粒径 1.6mm)に比べ、1/2 に細粒化することが判明した。

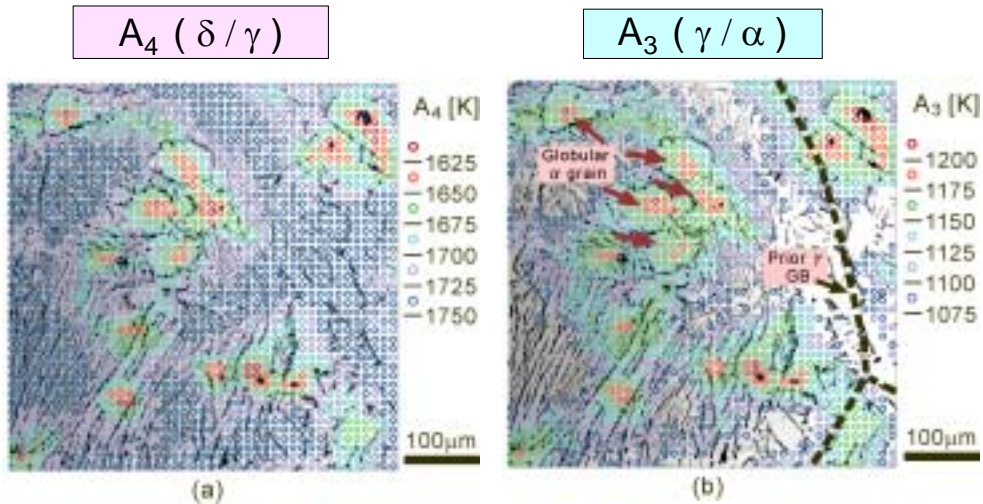


Pのミクロ偏析を利用した組織制御
フェライト安定化元素Pが偏析することにより偏析部の局所変態温度 (/)が低下し、粒成長抑制されることがわかった。

【文献】N. Yoshida, O. Umezawa and K.Nagai: Influence of Phosphorus on Solidification Structure in Continuously Cast 0.1 mass% Carbon Steel, ISIJ International, 43(2003), 348-357.

鋼中不純物を有効利用するために、りん含有鋼の 100mm 厚スラブ連铸を行った結果、不純物りんの偏析などにより鑄造組織が微細化されたことがわかった。

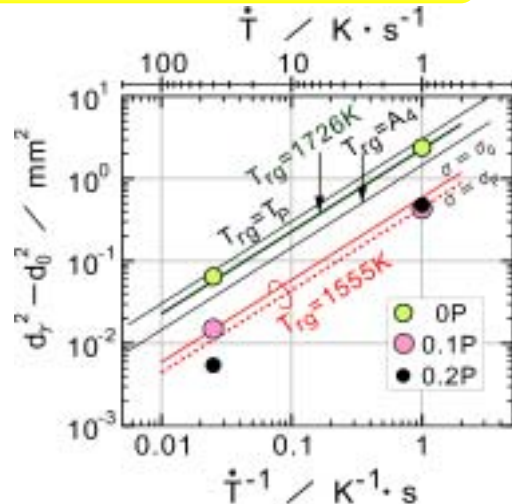
**0.1%P 含有スラブのりん偏析による A_4 点、 A_3 点の変化を
局所平衡マッピング法により把握した。**



りんの偏析により、鑄造 粒の成長が抑制されるとともに、特に濃化した部分では 相が低温まで残留することがわかった。

2mm 厚のストリップ鑄片、100mm 厚の薄スラブ鑄片、その他の実験値とも、冷却速度(T)の逆数と、粒の二乗成長量($d^2 - d_0^2$)の対数は直線関係を満たし、その挙動を古典的粒成長モデルで整理することができた。

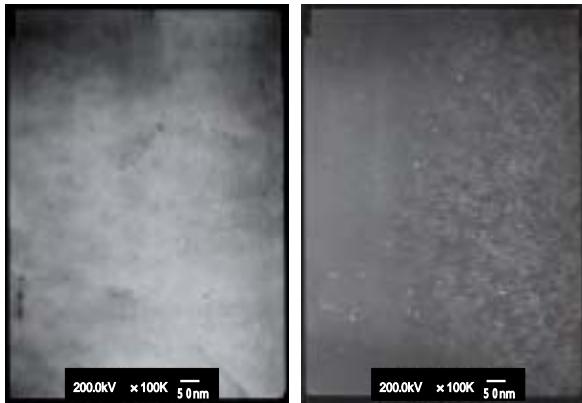
また、りん含有の影響を、粒急成長開始温(T_{rg})低下と粒界面エネルギー()低下として組み入れることにより、鑄造 粒径の固相冷却速度とりんの効果の二大因子による予測が可能となった。



冷却速度と鑄造 粒の関係を、りんの影響も含めて定量的に示すことができた。

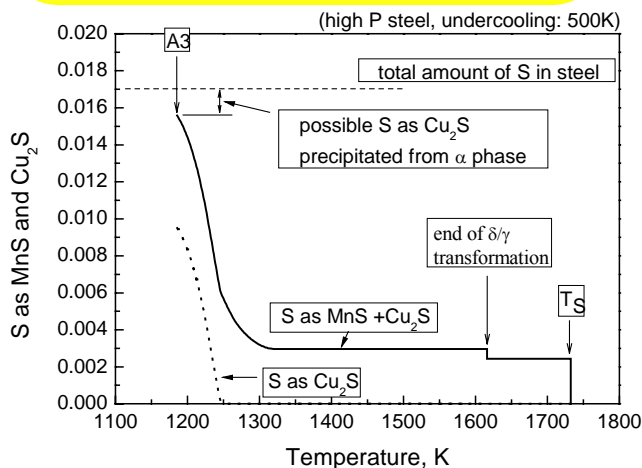
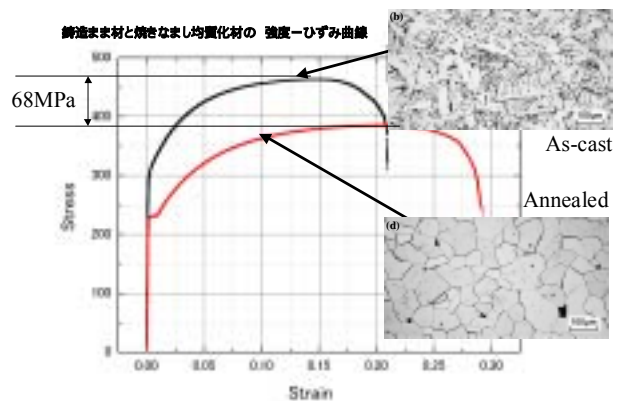
【文献】吉田直嗣、小林能直、長井寿: ニアネットシェイプ CC における鑄造 粒径の予測、

不純物含有鋼の急冷ストリップ鋳片の機械的性質向上のメカニズム、鋳造組織などを明らかにするため、鋳片の観察・解析を行った。



TEM 観察を行った結果、平均 15nm の微細な析出物が確認 され、解析により 主成分は f.c.c.構造を持った $Cu_{2-x}S$ であることがわかった。

鋳造まま材と焼きなまし材の歪み - 応力曲線を調べた結果、鋳造まま材の方が強度が高く、この強度上昇の原因は修正された Asby-Orowan の式を用いて検討した結果、析出物の微細化による寄与が約 80% を占め、強化機構で重要な役割を果たしていることがわかった。



凝固・冷却過程における硫化物(MnS 、 Cu_2S)の生成量について、熱力学的・速度論的凝固検討を行った結果、固相冷却速度が大きいと、域での MnS の生成が抑制されること、りんが共存すると A_3 点が上昇し、硫化物の析出が領域まで持ち来され、同化合物の微細析出に有利なことが分かった。

【文献】 1) Z. Liu, Y.Kobayashi and K. Nagai: Effect of Nano-Scale Copper Sulfide Particles on the Yield Strength and Work Hardening Ability in Strip Casting Low-Carbon Steels, Materials Transactions, 45(2004), 479-487. 2) Z.Liu, Y.Kobayashi and K.Nagai: Effect of Phosphorus on Sulfide Precipitation n Strip Casting Low Carbon Steel, Materials Transactions, 46(2005), 26-30

(3) リサイクル鋼創製設備の整備

本プロジェクトは、上工程から下工程まで一貫した視点から、リサイクル材の創製を目指している。実プロセスを念頭に置いた基礎研究を行う上で、数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創製設備を整備することは重要で、溶解、成分調整、鑄造、冷却を一貫して行うことのできるシミュレーターおよび、工夫した圧延を行うためのせん断付与圧延装置を導入した。

1) 組織制御溶解装置



溶解部、鑄造部、冷却部よりなるシミュレーター。誘導溶解方式で、最大溶解量35kg、鑄造部は鑄込み厚可変の水冷銅分割鑄型、鑄片加熱用コイル装備、冷却部は二次冷却としてミストスプレーが可能。内部測温可能。

これを用いて50mm厚炭素鋼インゴットを創製し、実機50mm厚薄スラブ連鑄片と同等の組織が得られることがわかった。

2) せん断付与圧延装置



400mm幅のワークロールを持った2highタイプの圧延機で、最大圧延速度30m/min、最大クロス角10°のせん断付与圧延が可能。

これを用いてせん断付与圧延を行い、

集合組織のランダム化により、材料の靱性が向上すること、同じ塑性歪みでも従来圧延より結晶粒微細化効

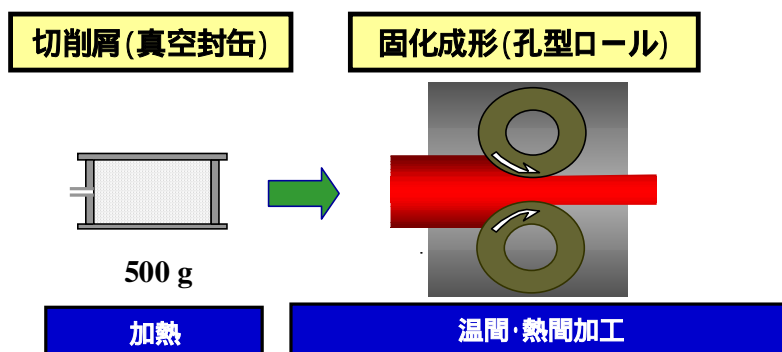
材料創製の上・下工程における大型シミュレーターを導入し、実プロセスの模擬、および基礎現象の検討を行うことができた。

(4) スクラップ原料の部品化技術

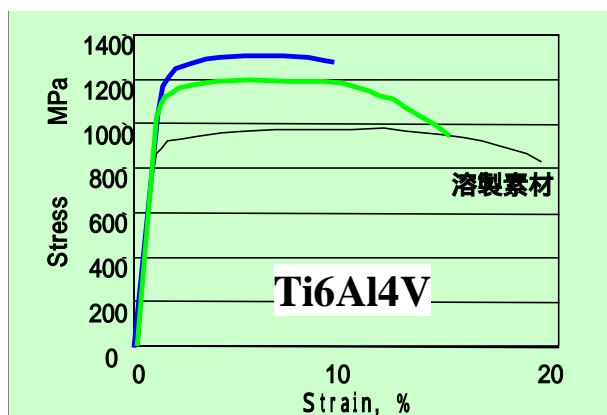
スクラップの溶解過程には大きなエネルギーが必要なため、切削屑を溶解せず直接固化成形するプロセスの開発を試みた。

直接回生プロセス

研究成果： シ - ス缶 (S45C) に市販溶製材の機械切削屑を真空封缶し、圧延加熱温度 700 ~ 1100 にて孔型口 - ルで固化成形した。



鉄系、チタン系、アルミ系、ステンレス系、金属基複合材



原料を上回る特性実現

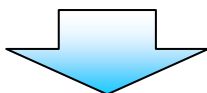
得られた固化成形体は、圧延温度によらず素材相対密度 99.6%以上を示し、光学顕微鏡観察ではポイドなどは認められなかった。SCM435 鋼、Ti6Al4V 合金においては固化成形体の引張強さは圧延温度と共に上昇し、素材を上回った。

【文献】太田口稔、坂井義和、鰐川周治、津崎兼彰、長井寿：温間シ - ス圧延による MM 鉄粉末の高強度丸棒固化成形体の作製、第 4 回超鉄鋼ワークショップ概要集 (2000), 20-21.

(5) 変形・破壊の金属組織モデリング

ミクロ組織を変化させた場合の機械的性質の変化

不純物を含んだ超微細鋼を自動車鋼板として使用することを目標とし、自動車用鋼に必要な高速変形挙動について明らかにすることを目的とした。



研究手法：

化学組成の同じ SM490 相当鋼(0.15C-0.4Si-1.5Mn)よりフェライト粒径の異なる 3 種類のフェライト-パーライト鋼(3.6, 9.8, 46.2 μm)を作製し、温度を変えてひずみ速度 10^3 s^{-1} における高速引張試験を行った。

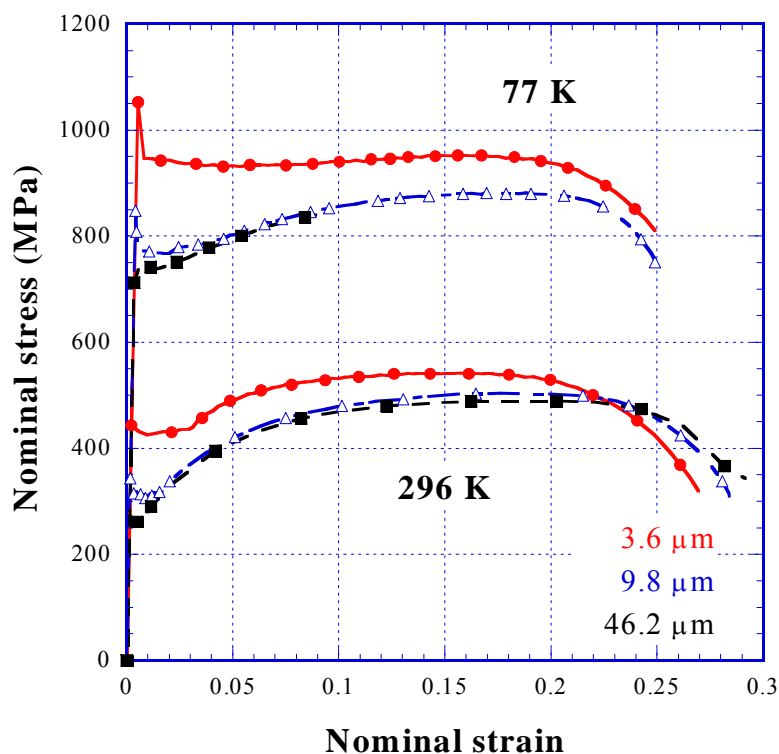


図 3 種類のフェライト-パーライト鋼の 77, 296 K における応力-ひずみ曲線

高速引張試験結果を整理し、以下のことが明らかとなった。

- ・微細化により強度は増大し、伸びはほとんど変化しなかった。
- ・高速試験での変形応力も、ホール・ペッチの関係で整理することができた。

【文献】 N. Tsuchida, Y. Tomota and K. Nagai: High-Speed Deformation for an Ultrafine-Grained Ferrite-Pearlite Steel, ISIJ International, 42(2002), 1594-1596.

(6) 新加工プロセスによる微細組織、集合組織の制御技術 - 1

背景

加工方式を変化させた場合の加工組織変化
集合組織とひずみの種類の相関性 超微細化に有効な集合組織・ひずみ導入法の決定



目的

せん断ひずみを導入した場合の集合組織の変化を検討する。

研究手法

- 1) せん断付与圧延機 (Shear Added-Rolling Simulator) を導入。板材に対して、圧縮ひずみと同時にせん断ひずみを導入し、せん断付与圧延を行い、試料組織に及ぼすせん断歪の効果を調査する。
- 2) 溝ロール圧延で作製した Fe-C、Fe-C-P 超微細組織の EBSD 解析を行う。



せん断付与圧延機

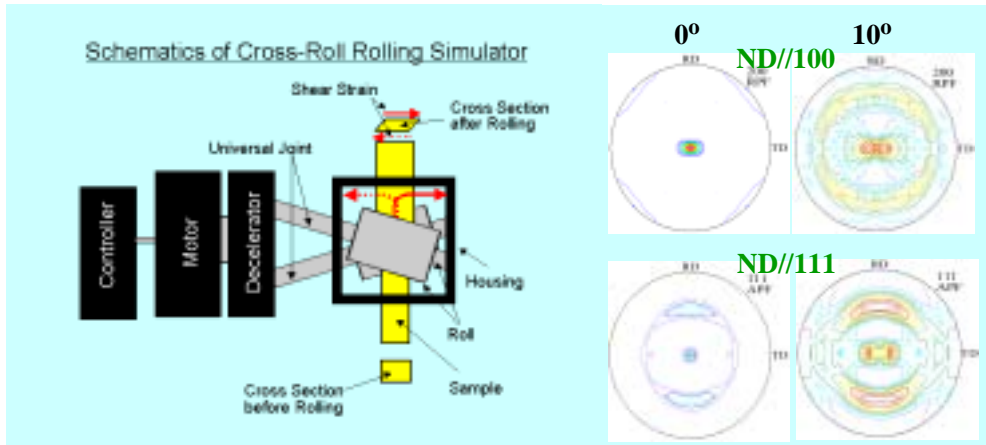
上下ロールをクロスさせることにより、板厚方向にせん断ひずみを導入できる。

クロス角度は最大10°まで可能。

Specification

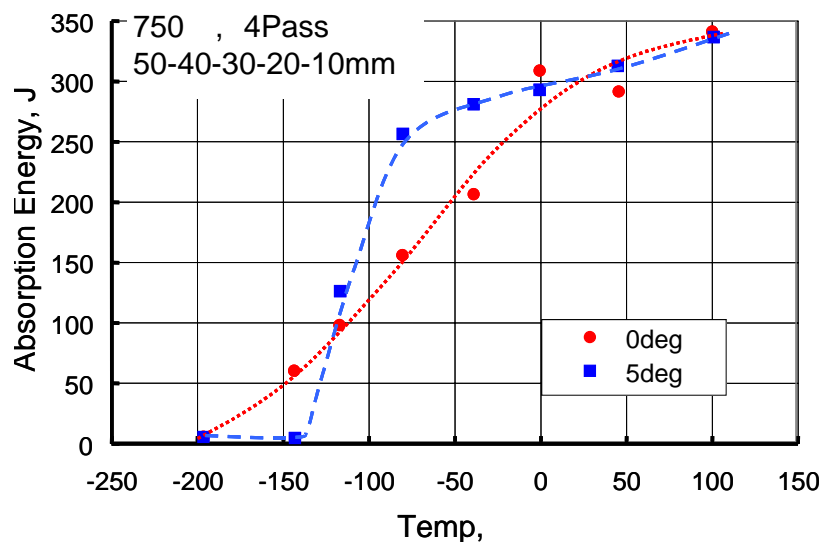
Mill type: Cross 2 high mill
Work roll: 400mm x300mm
Maximum rolling force:300ton
Drive motor 1 : DC300kW
Drive motor 2 : DC150kW
Maximum rolling speed:30m/min
Cross angle:0 to 10°

結果



Low Carbon Steel: 0.15C-1.5Mn-0.3Si (wt.%)
Reverse Cross-Roll Rolling 750 , 4 Pass: 50-10mm

**Improvement in
Toughness and
Formability**



シャルピー試験衝撃値と温度の関係

・クロスロール圧延により、温間圧延で特徴的な{100}{111}集合組織が崩壊してランダム化し、靱性が向上することがわかった。

【文献】 T.Hanamura, T.Yamashita, O.Umezawa, S.Torizuka and K.Nagai: Effect of Diffusion of {100} Parallel to the ND Plane on the Charpy Impact Properties in Low Carbon Steel," CAMP-ISIJ, 14(2001), 1051.

(6) 新加工プロセスによる微細組織、集合組織の制御技術 - 2

温間圧延により創製した微細粒低炭素鋼の集合組織と転位構造 及びリン添加の影響

背景

多方向温間加工方法は微細フェライト/セメントイト組織の有効な創製プロセスとして確立されている。しかし、この方法で創製した微細組織は普通のフェライト/パーライト組織より高い降伏強度を示すと同時に、高降伏比と小一様伸びの力学特性も示している。その力学特性は温間加工歪みが微細組織に大量に残留されていることを示唆する。また、微細組織を創製するためフェライト温度領域で大変形量圧延が要求され、微細組織の形成と共に集合組織の発達が不可避である。また、リン添加した低炭素鋼の場合、微細粒組織に加えて、他の組織因子の変化が材料の力学性質に影響している。



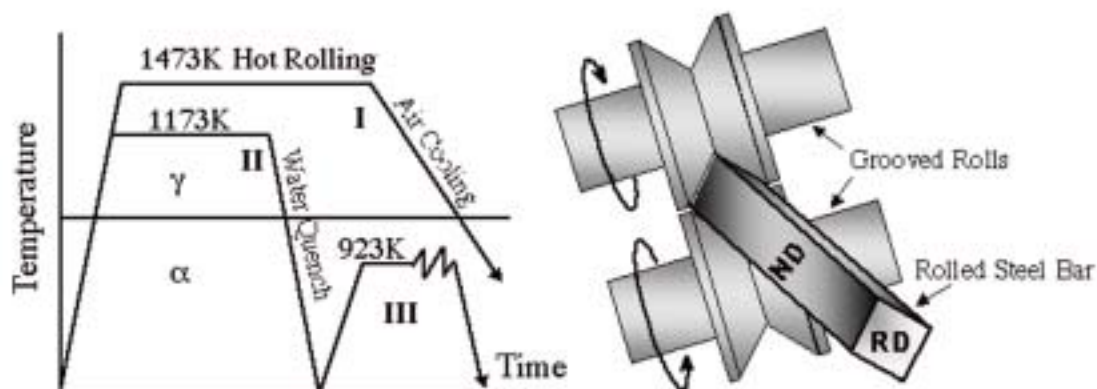
目的

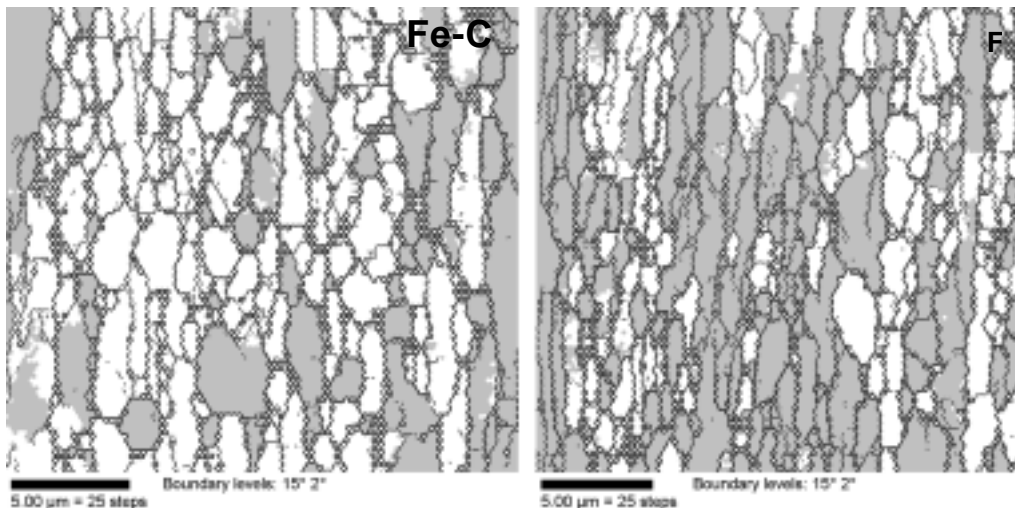
多方向温間加工によって創製した微細組織を特徴とする低炭素鋼の集合組織と転位構造を解析し、微細組織と共にこれらの組織因子の材料の力学挙動への影響を検討する。

研究手法

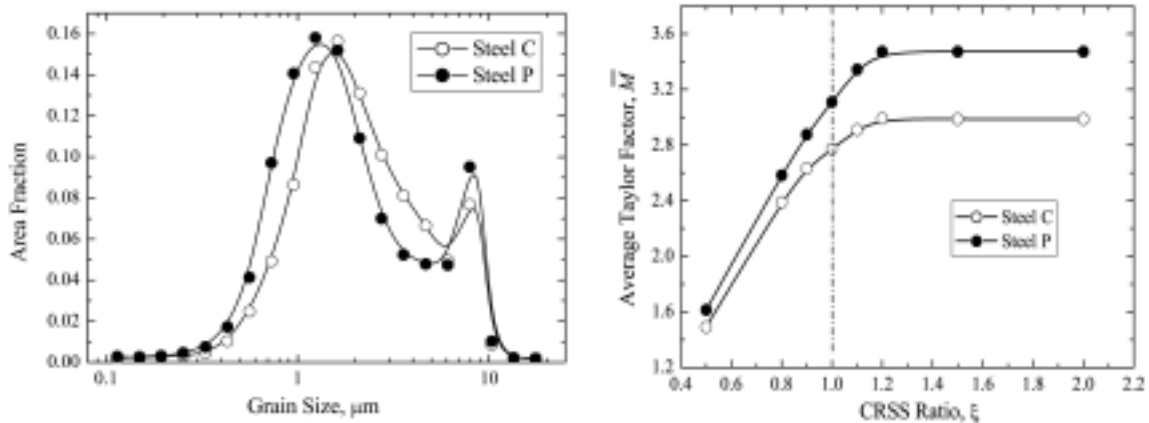
材料： 0.15C-0.3Si-1.5Mn (-0.1P) (wt.%) 低炭素鋼二種

923K 温間圧延減面率 85%、棒状試験片の断面寸法は 12×12mm

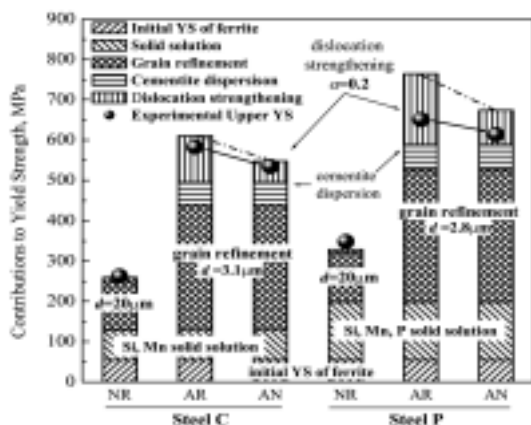




灰色は{111}は圧延面に平行する結晶粒を示す。温間圧延で得られた微細粒組織へのリン添加の影響。結晶粒寸法と集合組織の差がある。



平均フェライト結晶粒寸法はリン添加により3.1μmから2.8μmまで微細となり、また、リン添加鋼は温間圧延後より強いα-ファイバーを呈し、大きなテーラーファクター（方位による変形抵抗と対応する）を示す。



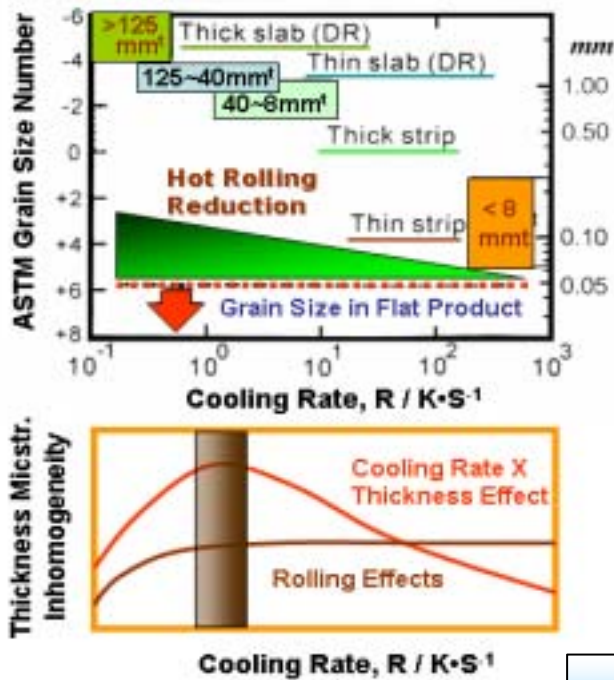
圧延で得た微細粒組織の降伏強度特性は組織の微細化と共に残留転位の影響が無視できない。また、リン添加は結晶粒の微細化効果と共に、集合組織の発達や転位の残留に大きな影響を与える。温間圧延後の723Kアニール処理は転位密度を減少させることが明らかとなった。それによって、降伏強度の降下と延性の上昇が生じる。

【文献】F. Yin, T.Hanamura, T. Inoue K.Nagai: Fiber Texture and Substructural Features in the Caliber-Rolled Low-Carbon Steels, Metallurgical and Materials Transactions A, 35A(2004), 665-677.

薄スラブ材の鑄造組織と力学性能

背景

凝固材の組織などの不均質性は圧延加工によって創製した鋼板の性能に大きく影響する可能性があり、凝固材の組織や力学性能の評価は新規加工プロセスの検討にとって重要である。

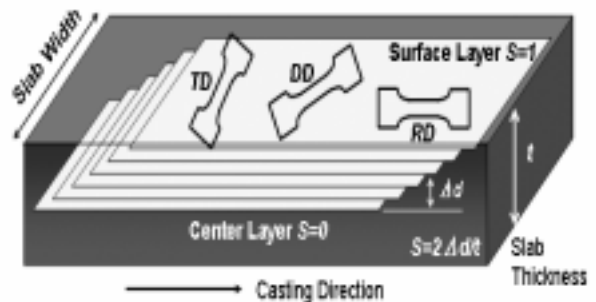


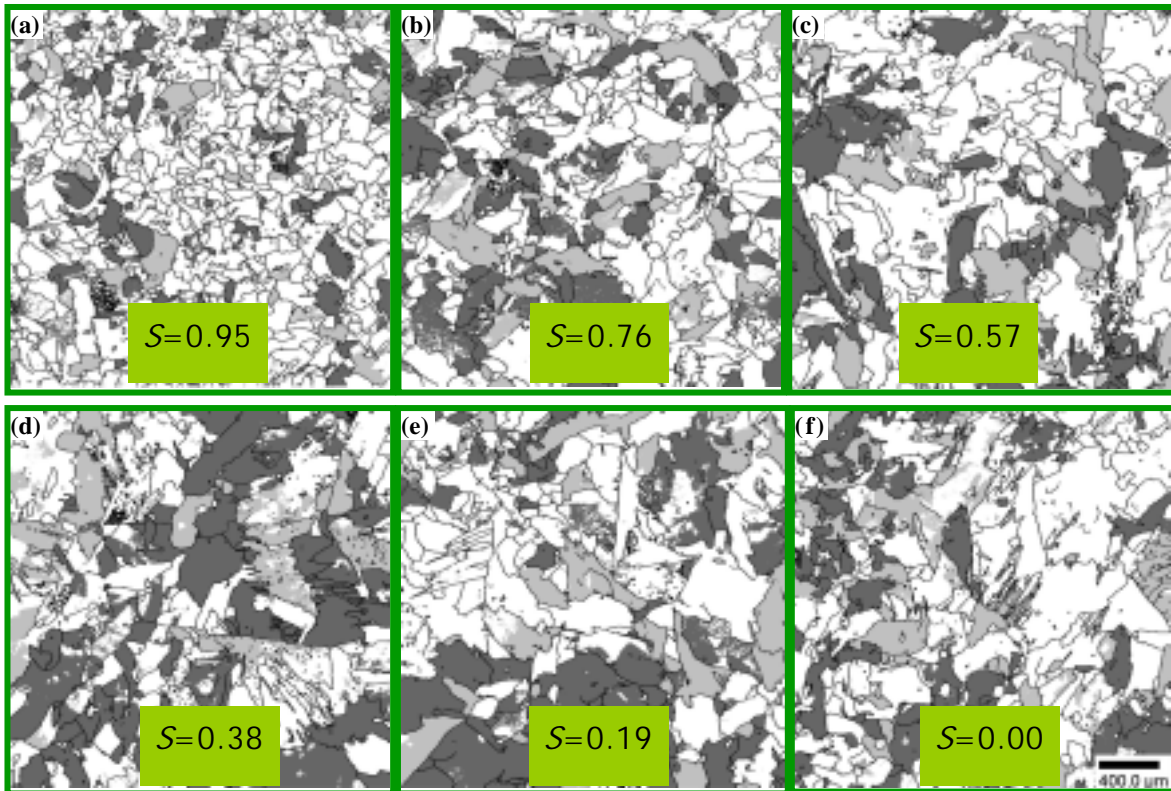
異なる厚さをもつ凝固材の表面冷却速度は大幅にかわる。凝固材組織の厚さ方向での不均質性は薄スラブ材に現れる。また、鋼板厚さまでの圧延加工量が少ないため、薄スラブ凝固材が組織や力学性能の不均質性の評価対象とした。

本研究では55mm厚薄スラブ鑄造材における組織と力学性質の厚さ方向分布を解析し、組織や力学特性における凝固プロセスの影響を検討する。

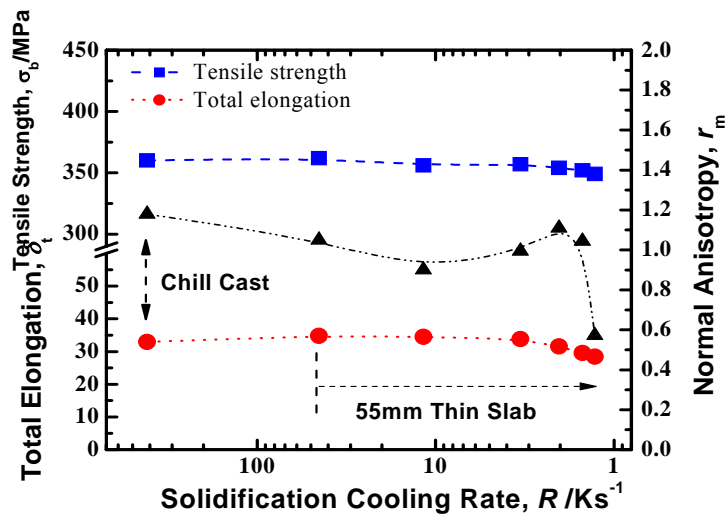
研究手法

材料： 0.04C-0.028Si-0.36Mn 低炭素鋼
凝固速度 0.1m/s、1283K まで噴霧水冷
スラブの表層から中心まで鑄造面に平行して、スライスサンプルを取りだした。





S=1 はスラブの表層位置、S=0はスラブの中心位置を示す。灰色は{111}は圧延面に平行する結晶粒を示す。アシキュラーフェライト組織が表層から中心部まで粗大化し、s=0.38の位置に強い集合組織が現れる。



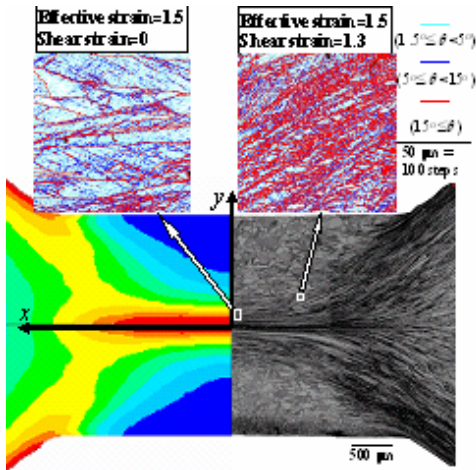
デントライト組織からスラブ厚さ位置における凝固速度を求めた。強度や延性に比べて r 値がより顕著な分布をもつことが分かった。結晶粒の大きさと共に集合組織の発達に凝固速度に敏感にかかわることが r 値の変化を制御する。

【文献】P. Xu, F. Yin and K.Nagai: The Thickness Gradient of Microstructure and Mechanical Property in an As-cast Thin Steel Slab, Materials Transactions, 45(2004), 2456-2462

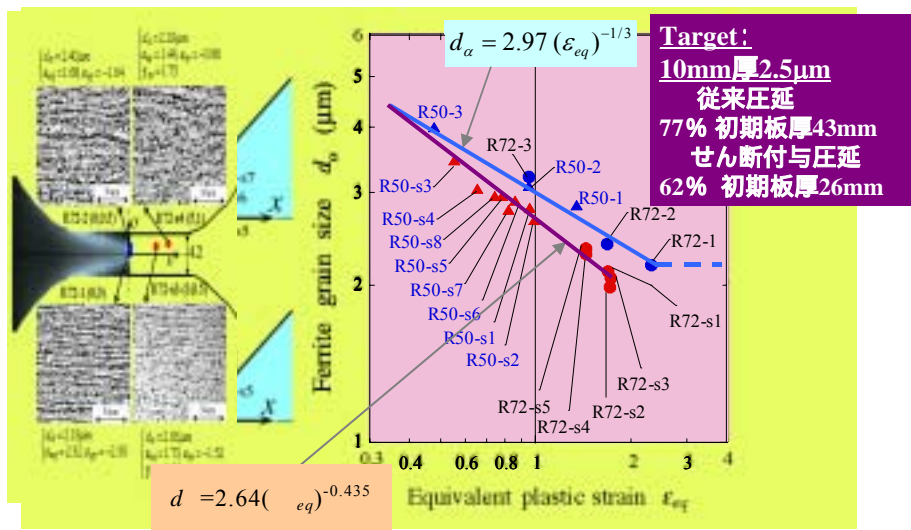
(6) 新加工プロセスによる微細組織、集合組織の制御技術 - 4

せん断付与圧延による歪み導入

鑄造断面が小さくなることは、製品寸法が同じである限りは、加工熱処理工程における“加工度”の制限が顕在化する。そこで、板厚全面に圧縮ひずみと同時にせん断ひずみを導入できるせん断付与加工を提案し、同じ圧下量であっても組織は微細となり、さらにせん断ひずみ効果は、粗大なオーステナイト粒径ほど大きいことを明らかにした。



同じ相当ひずみでも、せん断ひずみを導入したことでオーステナイト粒内に方位差角 15° 以上の変形帯を数多く生成することができた。



せん断付与圧延によって、同じ塑性歪みにおける結晶粒微細化効果が従来圧延より高くなることを明らかにし、ニアネットシェイブ鑄造との連携における有効性の可能性

【文献】J. Cho, T. Inoue, F. Yin and K. Nagai: Effect of Shear Deformation on Microstructural Evolution of Ni-30Fe Alloy during Hot Deformation, Materials Transactions, 45(2004), 2960-2965

(7) 超微細粒棒鋼の創製・機械的性質 - 1

添加元素により強化した超微細粒鋼の疲労特性

背景

りん (P) は、鋼を脆化させる元素であるため通常は不純物として扱われているが、鋼に添加した場合には固溶強化を発揮することが知られている。一方、フェライト粒径が $1\ \mu\text{m}$ 以下の超微細粒鋼については靱性が優れているため、脆化というデメリットを軽減し、りんを強化元素として利用できる可能性がある。このような観点から、本研究では不純物元素りんによる超微細粒鋼の高強度化に取り組んだ。

目的

不純物元素りんにより強化した超微細粒鋼の疲労特性を明確にする。

研究手法

表 1 に示す供試材を 150kg 真空溶解により作製し、温間多パス溝ロール圧延によりフェライト粒の微細化を行った。温間加工の温度は 550 で、減面率は 95% である。

表 1 供試材の化学成分

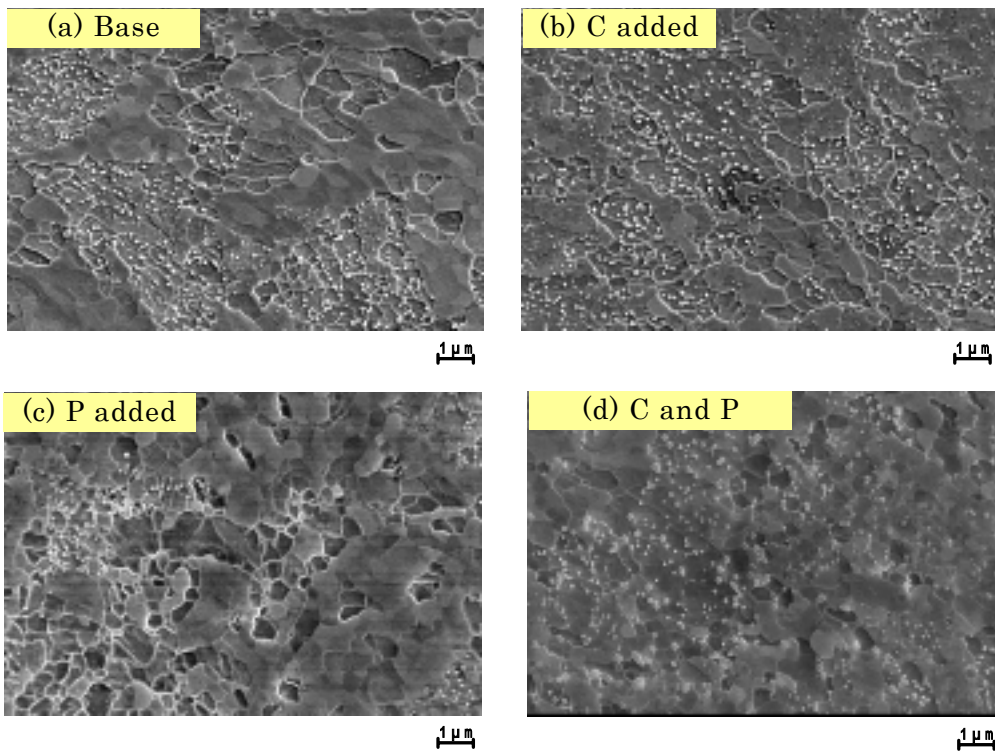
| Steel | Element (mass %) | | | | |
|---------------|------------------|------|------|---------|--------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| Base | 0.14 | 0.31 | 1.51 | 0.001 | 0.0006 |
| C added | 0.43 | 0.31 | 1.50 | < 0.001 | 0.0009 |
| P added | 0.14 | 0.30 | 1.48 | 0.093 | 0.0007 |
| C and P added | 0.45 | 0.30 | 1.49 | 0.10 | 0.0011 |

研究結果

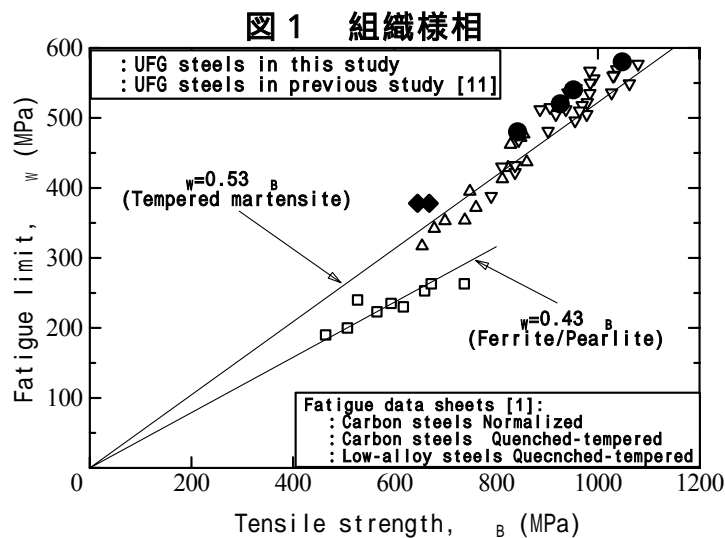
表 2 機械的性質

| Steel | YS (MPa) | TS (MPa) | T. EL (%) | Vickers hardness |
|---------------|----------|----------|-----------|------------------|
| Base | 845 | 842 | 17 | 286 |
| C added | 920 | 952 | 17 | 300 |
| P added | 926 | 926 | 13 | 308 |
| C and P added | 1020 | 1048 | 15 | 339 |

P (りん) と C (炭素) の添加により、引張強度は 1000MPa を超えた!



供試材の組織はフェライト (1 μm 以下) + セメントライト!



マルテンサイト鋼のバンド上限付近となる高い疲労強度を示した!

図 2 疲労特性

不純物元素りんにより 1000MPa 超級まで高強度化した超微細粒鋼でも、高い疲労強度が得られることが確認された。

【文献】Y. Furuya, S. Matsuoka, S. Shimakura, T. Hanamura and S. Torizuka: Effects of carbon and phosphorus addition on the fatigue properties of ultrafine-grained steels, Scripta Materialia, 52(2005), 1163-1167.

(7)超微細粒棒鋼の創製・機械的性質 - 1

(7)超微細粒棒鋼の創製・機械的性質 - 2

超微細粒複相組織における不均一塑性変形のナノスケール解析手法の開発

背景

塑性変形開始点における超微細粒鋼の不均一塑性変形を、その微細組織と関係づけて、ナノスケールレベルで定量的に評価した。これまで、有効結晶粒の粒径が $1\mu\text{m}$ 以下で、なお且つ析出物粒子に覆われているような超微細粒複相組織では、組織の定量化ですら困難であった。そこで原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、微細複相組織と塑性変形量を同時に定量化できる解析手法を開発した。

目的

有効結晶粒 $1\mu\text{m}$ 以下で、なお且つ析出物粒子に覆われた微細複相組織の塑性変形開始点における不均一な塑性変形をナノスケールレベルで定量的に評価する。

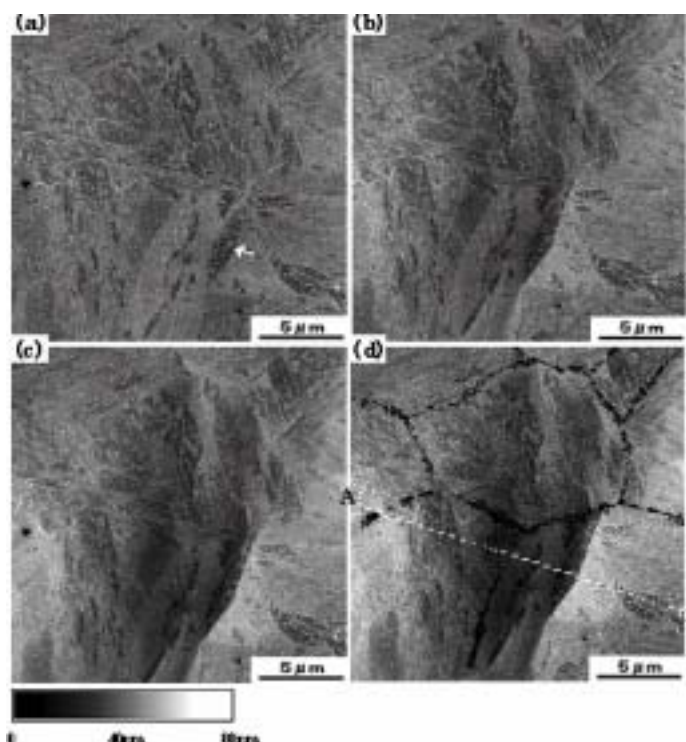
研究手法

炭素量 0.4mass% の低合金中炭素鋼焼もどしマルテンサイト JIS-SCM440 (0.4C、1Cr、0.2Mo : mass%) をモデル材として、特殊な電解研磨法により、表面高低差 50nm 以下の平滑面を作成した。原子レベルの垂直分解能を有する原子間力顕微鏡 (AFM) では、マルテンサイトブロックと炭化物粒子の微細組織を映像化できると共に、塑性変形によって導入される nm レベルの段差を測定することができる。

結果

図 1 (a)引張変形前と、(b)塑性ひずみ量 0.2%、(c)0.4%、(d)0.6%付与後の AFM 像。最大段差が形成されたブロックを(a)中に矢印で示している。図の水平方向が引張方向である。また、0.6%では 2 値化した旧 γ 粒界エッチング面を重ね合せている。

塑性ひずみが増加するに従い、コントラストが大きくなる不均一変形領域が現れる。それは旧 γ 粒界近傍の比較的大きな幅のブロックに対応している。



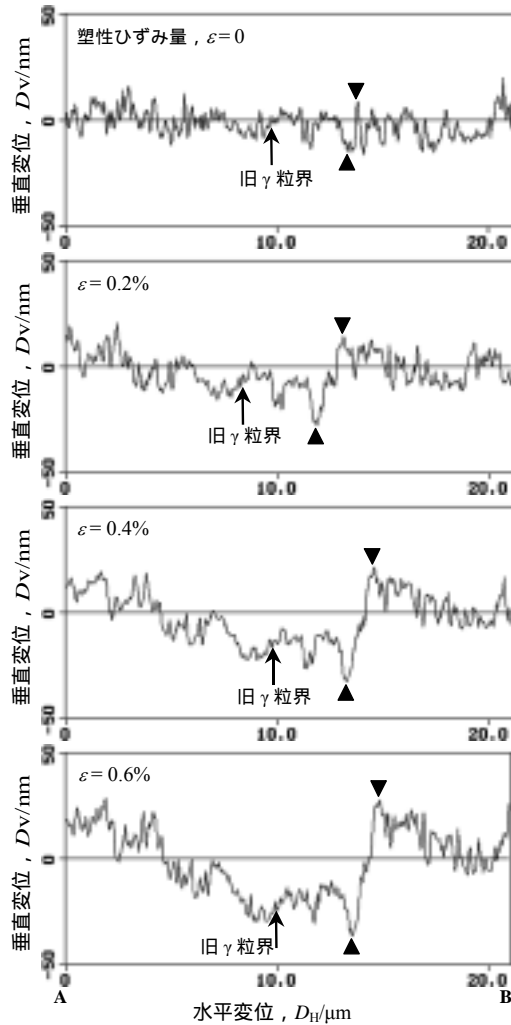


図2 変形前後の AFM 像の断面プロフィール(図1(d)中の AB 断面)、表面段差は、と の間の変形前後の差分とした。

塑性変形により導入された段差の大きさは 5-40nm (鉄原子数 20 個 160 個) で、幅広のブロック境界 (ブロック幅: 2μm) に集積する転位量と関連づけられる。

析出物粒子に覆われた 1μm 以下の有効結晶粒を有する微細複相組織の不均一塑性変形をその微細組織と関係付けて評価できる解析技術を開発した。その結果、析出物粒子密度の高い旧オーステナイト粒界近傍における平均値 0.5μm より幅広 (2μm) のマルテンサイトブロックに変形が局在化することが明らかになった。この結果は、超微細粒鋼において、粒径の平均値より大きな粗大結晶粒に塑性変形が集中することを実際に示したものである。

【文献】早川正夫、松岡三郎、古谷佳之: 原子間力顕微鏡による中炭素鋼焼もどしマルテンサイト組織の降伏点近傍における不均一塑性変形の解析、日本金属学会誌 .67(2003), 354-361.

M. Hayakawa, S. Matsuoka, Y. Furuya: Nanoscopic Measurement of Local Plastic Deformation for a Tempered Martensitic Steel by Atomic Force Microscopy, Materials Letters 57 (2003) .3037-3042.

(8) 表面欠陥検出の高性能化

背景：

材料の表面欠陥は、内部欠陥に比較してその強度に及ぼす影響が大きい。材料の表面欠陥を見落しなく検出し、評価することは、材料の安全性を確保する上で重要となる。欠陥の中でも割れは特に危険な欠陥であり、探傷による見落としがあってはならない。強度を維持する上で問題となる構造物表面の割れを、見落しなく、高精度に検出可能な探傷法の開発が望まれている。

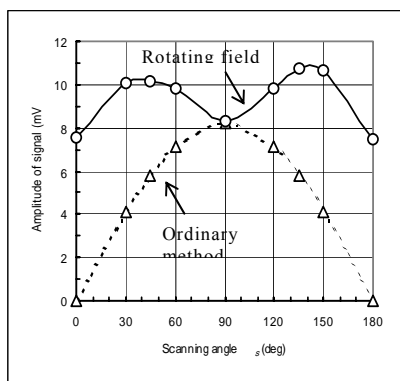
目的：

割れを見落さない
高精度な漏洩磁束探傷試験法を開発する

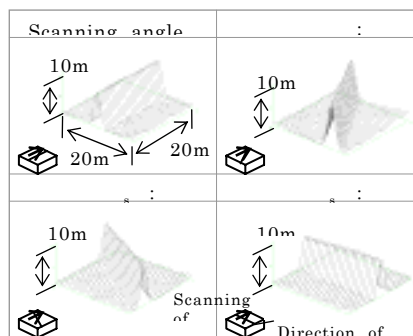
研究手法：

漏洩磁束探傷試験法は割れから生じる漏洩磁束を磁気センサで検出し、割れの存在を明らかにする試験法である。この漏洩磁束は割れ長さに対して直交方向のベクトルである。材料の磁化に回転磁界を適用することで、割れに対して常に直交方向の磁化が可能になり、最大の漏洩磁束を発生させることができる。また、2組の差動センサを十字形に配置し、その出力をベクトル合成することにより、漏洩磁束に対してどの方向からセンサを走査させても、割れに直交方向のベクトルを検出することが可能になる。これらのことから回転磁界と十字形差動センサを組み合わせることにより、強磁性材料表面の割れが見落しなく高精度に検出可能となる。

結果：



割れに対するセンサの走査方向と信号振幅（通常の方法と回転磁界との比較）



割れに対するセンサの走査方向と信号振幅の三次元表示

センサの走査方向によらず
全方向の割れが高精度に検出可能となった

【文献】1)植竹一蔵、長井寿：全方向きず検出のための回転磁界による漏洩磁束探傷試験法、非破壊検査、Vol.52、No.5、p246-253 (2003)、2)植竹一蔵、長井寿：回転磁界軌跡の形状が漏洩磁束に及ぼす影響について、非破壊検査、Vol.54、No.2、p76-83

2.6 まとめ

本プロジェクトでは、資源循環型社会を目指したリサイクル材料プロセスの中で、特に不純物有効利用・鋼創製プロセスの構築に主眼を置き、以上のように研究を各項目、段階的かつ総合的に推進してきた。

代表的な不純物としてまずりんを取り上げ、熱力学的な検討を行って、鋼中での有効活用を睨んだ研究を開始し、りん含有連鑄スラブ、不純物含有ストリップ鑄片を創製して1キロから数十キロの分析用素塊を作製した。この組織、析出物、機械的性質などを調べた結果、不純物りんの偏析や、不純物銅、硫黄の微細化合物化により、鑄造組織あるいは析出物が微細化され、機械的性質の向上につながる事がわかり、急冷凝固・冷却が有効利用できることが示された。また、冷却速度と鑄造組織の関係、りん添加の効果、あるいは不純物化合物の析出条件を明らかにすることにより、これらのメカニズムを利用する上で制御因子の解明を行うことができた。

上工程での鑄込み厚が薄くなると下工程での加工量が制限されるため、新しい加工プロセスとしてせん断付与圧延を考案した。材料にせん断歪みを導入することにより、集合組織がランダム化し靱性が向上すること、同じ塑性歪みでも、従来の圧延よりも結晶粒微細化効果が高いことがわかり、ニアネットシェイプ鑄造と連携した新しい加工プロセスの可能性が示された。この際、鑄造材の性質の残留を考え、鑄込み厚方向で種々の調査を行い、機械的性質はほぼ一定であるが、等方性は表面の方がよく、凝固速度の影響があることなどを把握した。

リサイクル鉄の創製対象材としては、自動車を想定して板材、棒材の創製を行ったが、それぞれストリップキャスティング鑄造、多方向加工プロセスの適用により、不純物含有鋼で従来材に比べ強度1.5倍化を達成することができた。棒材では高疲労強度化も達成された。多方向加工による集合組織のランダム化はりん添加により大きくなることがわかった。また、溶解法のみならず、固相プロセスも視野にいれ、切削鉄鋼屑の真空封缶、孔型ロールでの温間圧延を行い、素材を上回る特性を得た。

特性評価の面では、自動車材としての使用を想定した微細粒鋼の高速変形能の調査を行い広範の変形速度で一貫性を確認した。また、微細粒の塑性変形のメカニズムを精緻に調査できる観察・解析手法を開発した。製品の表面欠陥を割れを精緻に探査するための高精度な漏洩磁束探傷試験法を開発した。

上記の上・下両工程を見通したプロセス研究を遂行するために、溶解鑄造シミュレーターや、せん断付与圧延機などの大型装置の導入を行い、数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創製設備を整備し、各プロセスの制御因子を段階的に把握した。

以上のように、本プロジェクトは当初目標をほぼ達成し、リサイクル材からの高性能材の創製技術、創製材の評価技術における指導原理を確立し、実施に向けての提言ができるところまで展開できた。特に鉄鋼に関しては、スクラップ鉄発生・蓄積量増大が懸念され、

CO₂ 排出量などの環境負荷問題、省エネルギー、省力化の問題が大きくクローズアップされる中で、本成果を広く国内外に報告・周知することにより、資源循環型社会の実現に資する鉄鋼プロセス、鉄鋼材料技術の発展に向けての提言を行うことができたと考えている。

3 . 研究評価調査委員会

3.1 目的

(社)未踏科学技術協会では、独立行政法人物質・材料研究機構(旧科学技術庁 金属材料技術研究所)からの委託を受け、平成 12 年度以降、外部有識者からなる「循環型社会研究検討委員会」を組織し、本事業を実施してきた。本事業は、ミレニアム・関連プロジェクト「リサイクル・リユース技術の開発・導入」事業における実施施策の一つである「循環型社会構築のための新世紀構造材料研究」を対象としている。本事業においては、プロジェクトの掲げる目標達成の観点から、社会状況等の変化にも即して本課題の研究の進捗状況の評価/検討し、研究実施計画をブラッシュアップするための助言を行うことを目的としている。また、この事業は、プロジェクトが基礎検討研究を終了し、応用への展開を目指した研究段階に入り、対象材として自動車や家電などを想定目標としたことを受けて、平成 14 年度から、「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」研究評価調査委員会として、前委員会を引き継ぐ形で発足し、プロジェクト終了まで活動を行った。

3.2 内容

「循環型社会研究検討委員会」では、広範な社会の意見を聴くためのワークショップの開催および委員会の開催によって、研究計画、研究成果、関連調査などについて広く討議し、それらの結果を取りまとめ、研究課題の妥当性や今後の研究展開について助言を行った。平成 14 年度より継続した「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」研究評価調査委員会は、2つのワーキンググループより構成され、助言評価ワーキンググループは基本的に「循環型社会研究検討委員会」の内容、委員構成を引き継ぐ形で活動を行った。技術調査ワーキンググループは、研究課題の個別事項について討議を行い、研究結果に反映させた。

3.3 委員会構成

「循環型社会研究検討委員会」、「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」研究評価調査委員会・助言評価ワーキンググループの構成は以下のとおりである。(最終委員会発足当時の委員・ご所属にて代えさせていただきます。)

委員長兼主査:

月橋文孝 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

委員:

伊藤公久 早稲田大学理工学部物質開発工学科 教授
馬場 昇 (株)日立製作所日立研究所界面材料ユニット主任研究員
難波茂信 (株)神戸製鋼所技術開発本部主任研究員
富田省吾 JFE スチール株式会社技術研究所研究企画部主任部員(理事)

佐藤 満 新日本製鐵(株)技術開発企画部技術企画グループマネジャー
福永 規 住友金属工業(株)技術総括部担当部長(参与)
三柳直毅 日立建機(株)技術開発センター主任研究員
田邊弘往 大日本塗料(株)技術本部長(理事)
遊佐 覚 石川播磨島重工業(株)基盤技術研究所材料研究部課長
武田俊一 川崎重工(株)技術本部技術企画部参与
平田耕一 三菱重工業(株)技術本部広島研究所物質工学研究室室長

長井 寿 独立行政法人物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター
井上忠信 独立行政法人物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター
小林能直 独立行政法人物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター
古谷佳之 独立行政法人物質・材料研究機構材料基盤情報ステーション
早川正夫 独立行政法人物質・材料研究機構材料基盤情報ステーション
花村年裕 独立行政法人物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター

事務局

羽生田繭美 (社)未踏科学技術協会

3.4. 活動内容

3.4.1 平成 12 年度活動

活動内容

循環型社会研究検討委員を発足し、第 1 回検討委員会を開催した。機構側より、本委員会発足の経緯の説明を行い、運営方針の検討、研究報告に対する討議を行った。また、第 1 回資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップを開催した。

3.4.1.1 第 1 回循環型社会研究検討委員会

以下の要項で、第 1 回循環型社会研究検討委員会を開催した。

日 時：平成 13 年 2 月 26 日(月) 13:30 ~ 17:00

場 所：(社)未踏科学技術協会 会議室

〒105-0001 港区虎ノ門 1-2-8 虎ノ門琴平会館ビル

1. 議 題

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| (1) 循環型社会検討委員会の発足について | 13:30 ~ 13:50 |
| 1) 循環型社会検討委員会発足の経緯 | |
| 佐藤 金材研フロンティア構造材料研究センター長センター長 | |
| 2) 環型社会検討委員会の運営 | 月橋 委員長 |
| | |
| (2) 第 I 期研究内容について (金材研報告) | 13:50 ~ 16:00 |
| 1) ミニアンプロジェクトの研究コンセプト | |
| 長井 タスクフォースリーダー (以降、TFL) | |
| 2) 材料創製 (1) : 鋳造 | |
| 平田 構造材料特別研究員 | |
| 3) 材料創製 (2) : 加工 | |
| 花村 特別研究員 | |
| 4) 材料創製 (トピックス) : 溶湯組成の熱力学 | 小林 幹事 |
| 5) 評価 : 組織形成と特性 | 梅澤 委員 |
| 6) 評価 (トピックス) : 表面傷検出 | 植竹 主任研究員 |
| | |
| (3) 第 II 期研究内容の検討について | 16:10 ~ 17:00 |

2. 議事録

出席者：

評価委員

月橋委員長（東大）、伊藤（早大）、増山（三菱重）、上窪（神鋼）、安江（藤田代理 NKK）、佐藤（川鉄）、富士（石播）、青野（日立）、藤岡（川重）、梅澤（金材研）、小林（金材研）
プロジェクト推進側

佐藤、長井、植竹、大澤、殷、高森、平田、吉田、花村、（以上金材研）、土田（科技団）

議事：

(1) 循環型社会研究検討委員会の発足について

- 1) 循環型社会研究検討委員会発足の経緯について佐藤(金材研)から説明があった。
- 2) 循環型社会研究検討委員会の運営について月橋委員長から説明があった。

コメント：1. 年号を統一（西暦と元号） 元号で。

2. 期の要求はこの委員会で審議する。

(2) 第 期 の 研 究 内 容 に つ い て

- 1) ミレニアムプロジェクトの研究コンセプトについて 梅澤の発表

Q . H13 の計画はどうなっているか。

A . まだ確定していない。本委員会のご審議結果も参考にしていく。

- 2) 材料創製 (1) : 鋳造について

Q . CCLM(コールドクルーシブル浮揚溶解)はどのような位置づけか。

A . 非接触でるつぼからのコンタミの無い状態で、不純物の影響だけを取り出して厳密に見たい。

Q . 不純物を扱う研究なのにきれいな非接触溶解を使うのはなぜか。

A . 外乱要因を除き、不純物のみの影響による現象をみたい。

Q . リンとの相互作用はどうなるか。

A . 開発装置で平衡を測定する。

Q . 強度を 1.5 倍にするとのことだが、ターゲットの鋼種は SS 材か。

A . まずは、SS400、付加価値を付けることを考え安価な材料を考えている。

Q . 前期でリンのほか、サルファイド、ナイトライドの影響は考慮しないのか。

A . パラレルに考えたい。

Q . リン、硫黄が入ったとき、脆化はどうか。

A . 通常の組織の場合は脆化が起きる。微細化すれば、表面積を稼ぐことができ、薄められる効果がある。そのため不純物が粒界にあるか粒内の分配比をつかみたい。

Q . 製鋼の連続鋳造プロセスに関することと、基礎研究と両方やっているが、

両者のギャップが大きいのではないか。

A . 連鑄のスラブ内でも温度履歴が異なる部分があり、組織との関連をみるため一方向凝固炉の導入を決めた。

3) 材料創製 (1): 加工について

Q . 使用するクロスロール圧延機の圧下率などの能力は。

A . 鋼材最大 120mm。800 で 50mm を 20mm に 60% 圧下、このとき圧延加重 150ton (最大 300ton)

Q . 剪断の方が負荷が大きいのか。

A . 0° , 5° , 10° で同程度のトータル荷重あり、大きな差はない。

Q . アルミでやっているが鉄ではどのようにやるか。

A . 変態をコントロールするための 域での圧延、2 相域や 相だけの圧延をやる。STX で 2 μ m 以下の微細粒を検討してきたが、この成果を応用していく。

Q . 400MPa 材を 600MPa 材にすることか。

A . そうである。

Q . リサイクル鉄とどういう関係があるか。

A . リンが入ると脆化するが組織コントロールで微細化すると問題は解決する。

A . ストリップ材は薄いので圧下率は高くとれないが、剪断ひずみを導入すれば細粒化できると考える。

4) 材料創製 (トピックス): 溶湯組成の熱力学について

Q . 電炉での脱酸プロセスを考えているようだが、ストーリーがよく分からない。CaO フリー精錬と、インクルージョンメタラジーとは、ストーリーとして異なる。精錬スラグと言うよりは、脱酸でできた生成物であり、介在物の方では、MnS の溶解度などの方が重要。

A . 基本的には電炉での脱酸プロセスを念頭においているが、高リン銑を用いた CaO フリー転炉プロセスも視野にいれている。MnS に関してはご指摘のとおり。

Q . リンが 0.1% と高いが、リサイクル鉄にこんなに入ってくるのか。

A . 市中スクラップは高々 0.03% であり、添加しない限り 0.1% はない。高リン銑なども視野に入れ、かつリンをどこまで許容できるかを明確にみるため高濃度までを考えている。

C . 0.1% リンは、高炉の脱リンを省くことになり、こちらの方が可能性がある。りんよりもむしろ、ターゲット材の組成を決めて、トランプエレメントによるインクルージョンメタラジーをやった方がよいのでは。

A . 最適リン濃度が存在した場合、濃度調整のバッファとして CaO を少量添加してスラグを利用するケースもあり得る。その最適組成を見つきたい。

Q . リンに着目したことはよいが、脆化を考えた場合結晶粒を 40 μm から 1 μm にすればよいようだが、どのくらいのリン量まで許容できるか。

A . トランプエレメントとしては銅が最大の問題と考えるが、偏析を引き起こすことからまずリンを取り上げた。また強度を上げる元素としての位置づけもあり、まずは基礎研究の見地からリンを取り上げた。溶接性や脆化の問題からリン量と粒径のバランスについて、リン量の最適値があると思う。その場合、粒径は 1 μm までは、微細化の必要はないかもしれない。

5) 評価：組織形成と特性について

Q . 内部摩擦は昔からやられているが新しいところはなにか。

A . 結晶粒を 40 μm から 1 μm にした場合の材料特性を見たい。

Q . 電気抵抗と転位密度の関係を明らかにできるか。

A . 微細化したときのリンの効果がわかっていない。基礎としてポアソン比などの物理的データから明らかにしていきたい。

Q . 電気抵抗の絶対値と強度を結びつけるのは難しいように内部摩擦と強度なども難しいと思うが何か良いアイデアはないか。

A . 組織の定量化は難しい。転位などの見地から定量化したい。

Q . 解像度の向上は質的な転換をもたらすか。

A . 空間分解能が高まることでミクロ的情報は増えており、新しい知見が得られる可能性があるが、マクロ的情報は疑問。

A . 炭素と転位の関係、リンと転位の関係や変態、動的再結晶でのミクロ転位の解明が図れるかもしれない。従来との結果と対比させたい。

6) 評価 (トピックス): 表面傷検出について

Q . 表面に開口していない傷の検出はできるか、また深さは。

A . 表面傷だけである。深さは 0.2mm。

Q . どれだけ細かい傷がわかるか。

A . 0.8 から 1mm、幅 10 μm から 20 μm 。

Q . 内部はどうか。

A . X線、超音波出ないと不可。渦流法は内部でも可。

(3) 第 期研究内容の検討

T . この委員会の役割は今後の研究方針を決めることと考える。報告書はどのようにとりまとめるか。

U . ミレニアムワークショップの内容 + 今日の内容 + ターゲット、プロセス、粒度、リンとの関係などについてまとめて提出する。

T . しっかりとしたストーリーを作ることが報告書の重点の一つと考える。

K . 今日行った前期へのコメントは内容に入れないのか。

U . 全体の流れをつくってから、入れていく。

- T . 前期の内容についてコミットしないと言うのはどういうことか。
- S . 前期の研究方向性は基本的に金材研に任せてもらい、後期については具体的に意見をいただきたい、ということ。
- N . ステアリングをする組織がないので、それは金材研が責任を持つが、助言はいただきたい。
- T . 報告書を作るのは委員会の仕事か。
- U . 基本的にそうである。
- T . 報告書に関しては、金材研で原案を策定し、委員で検討する形でのよろしいか。また、後期の策定はいつまでか。
- N . H13 年度末まで。外部評価や概算要求に間に合わせるためには H13 年度中か。対政府には夏前に出す。この委員会を強力な Advisory Board としてまとめられないか。
- T . 絞り込んで成果の出るテーマにするということでのよろしいか。梅澤さんより、叩き台を出してもらい、アドバイスをして策定する、という方向でよいか。
- N . 後期に期待したいことを委員の意見としても出してほしい。
- U . リサイクルだけでなく、エミッション低減などもビジョンに入れたい。体制については、STX のような一極集中スタイルに固執していない。後期三年で成果を出すので絞り込みを行う。鉄以外の金属もビジョンにいれたポストミレニアムについても考えて欲しい。
- T . 後期に絞り込んでいく点は了解した。
- I . 前期はフィージビリティスタディ(以降 FS)なので、後期は本来決まっておくべきではない。金材研から前期から後期の展望を出していただき、それをたたき台にする。金材研でできることがわからないと話を進めにくい。
- N . 材料関係の国家プロジェクトは物質・材料研究機構で行え、という国策があり、トップダウンになったとの見方が本省にはある。したがって、本プロジェクトで鉄以外の広範囲において成果を求められる可能性がある。後期でリサイクル鉄を実行することは当然としても、どの程度か分からないが、それ以外が要求される可能性があるので、決めきれない部分があったのが実状である。
- T . 枠を明確にされたい。
- K . 委員は今日ベースにたったところなので、どこまで自由に言って良いのか分からない。また、企画から何から全てやるのは物理的に困難。また期限としては 7 月に可能か。金材研でたたき台を作られたい。
- N . GW 明けには本格的につめたい。
- I . 体制づくりは委員会の仕事か。
- N . 技術的課題が先にあって、その解決に必要な体制への意見であり、とらわれ

てはない、flexibleである、ということ。

U. まず叩き台を作り、委員に書面ベースで回覧し、brush upしたものを7月までに出す予定でどうか。

T. 了解した。リサイクル鉄を進めることについては、前提として考えるということでもよろしいか。7月の委員会で決定するため金材研で叩き台をだして、委員で検討したものを出したい。電子メールを使って委員の皆さまからご意見を伺いたい。

3.4.1.2 資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップ

以下の要項で、資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップを開催した。

日時：平成13年1月23日（火）10:30～17:00

場所：金属材料技術研究所（当時）第1会議室

産学官が連携した資源循環性の高い製品並びにその生産過程の開発が政府に提言され、資源循環型社会実現に向けての各種取り組みが重要視されている中、スクラップのリサイクル問題が顕在化しつつある。すなわち、リサイクルプロセスにおける不純物除去コスト高と高い環境負荷、廃棄物処分地の確保などであり、これらの問題点を解決する技術開発は緊急の課題である。本ワークショップでは、鉄鋼をはじめとする金属材料を主たる対象にし、金属材料技術研究所において取り組む研究プロジェクトの概要と平成12年度の研究成果について報告を行い、21世紀を担う構造材料研究について議論を行った。

プログラム

- | | | |
|-------------|----------------------------|------------------------|
| 10:30～10:40 | 開会の辞 | 岡田雅年（金属材料技術研究所 所長） |
| 10:40～12:00 | 「リサイクル鉄の超鉄鋼化研究プロジェクト概要」 | 長井 寿（金属材料技術研究所 エットリター） |
| 13:00～14:15 | 「安全な社会造りを目指して」 <基調講演> | 村上陽一郎（国際基督教大学 教授） |
| 14:15～15:15 | 「循環型社会における物質・材料技術に関する調査報告」 | 梅澤 修（金属材料技術研究所 主任研究官） |
| 15:15～15:30 | 休 憩 | |
| 15:30～16:30 | 「環境低負荷型材料技術開発に向けた研究方策」 | 原田幸明（金属材料技術研究所 チェリター） |
| 16:30～16:55 | 総合討論 | |
| 16:55～17:00 | 閉会の辞 | 齋藤鐵哉（金属材料技術研究所 研究総務官） |

3.4.2 平成 13 年度活動

活動内容

年二回、検討委員会を開催した。機構側より、研究目標、平成 13 年度の事業計画、平成 13 年度の成果、平成 14 年度以降の予定に関する報告があり、以下のように審議を行った。また、第 2 資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップを開催した。

3.4.2.1 平成 13 年度第 1 回委員会

平成 13 年度第 1 回委員会を以下の要項で開催した。

日時：平成 13 年 8 月 8 日（水） 14:30～17:30

場所：未踏科学技術協会会議室

出席者：

評価委員：月橋（東大）、伊藤（早大）、福永（住金）、増山（三菱重）、富士（石播重）、
武田（川重）、上窪（神鋼）、梅澤（機構）、小林（機構）

プロジェクト推進側：佐藤、高橋、長井、植竹、鳥塚、平田、吉田、花村、土田、島倉

本委員会では、第 2 回リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告、独立行政法人化による中期研究計画の見直し、研究の年次計画、研究内容説明があり、活発な討議がなされた。

1. 議事次第

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| (1) 経過報告事項 | 14:30～15:00 |
| 第 2 回リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告 | 長井 TFL |
| 独立行政法人化による中期研究計画の見直し | 長井 TFL |
| (2) 審議事項 | 15:00～17:00 |
| 1) 第 1 回委員会での質問事項への回答 | 小林 幹事 |
| 2) リサイクル鉄の超鉄鋼化：高不純物含有薄鋼板の創製技術 | 平田 構材研 |
| 3) リサイクル鉄の超鉄鋼化：不純物分散中厚材の創製技術 | 吉田 構材研 |
| 4) 回生異物の融合化技術：スクラップ原料の部品化 | 梅澤 委員 |
| 5) 回生異物の融合化技術：変形・破壊の金属組織モデリング | 土田 特別研 |
| 6) 資源循環型新世紀構造材料技術に関する調査 | 長井 TFL |
| (3) 今後の運営と討議の方針 | 17:00～17:30 |

2. 討 議

(1) 経過報告(長井 TFL)

1) 第2回リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告

長井タスクフォースリーダーより、第2回リサイクル・リユース等推進評価・助言会議に関する報告があった。

- ・本研究課題を含めたミレニアムプロジェクト事業研究が社会的要請、政策方針を反映し、適切に進められているかどうかに関して、有識者によりなる委員により評価・助言を受ける必要があること
- ・今回は、省エネルギー、省資源性、経済性についての考察を行うことを指摘されたこと

が報告された。

(質疑応答)

Q. 助言会議はどういう性格のものか。

長井 内閣府としては、自分達が選んだものの評価をしているという立場である。国民の税金を有効に使う、ということが念頭にある。

Q. 内閣府の会議で指摘されることの重みは？

長井 自らの省庁の政策に反映させよということである。努力しろということ、助言会議側の責任はない。助言会議の対象事業は本研究課題が所属しているリサイクル・リユース技術の開発・導入の項目だけでも11あり、広範囲である。また、質問事項、指摘事項に対して、書面で回答する必要がある。

Q. 対象事業の「高品質のリサイクル鉄製造技術」の期間がH12～H16年となっているがこれでいいのか。

長井 文科省が窓口となるミレニアムプロジェクトとしては平成16年までであり、機構内では平成17年まで本課題が認められている。

Q. 従来の 期、 期というのは？

長井 期は平成12、13年度、 期は平成14～16年度であった。

Q. この委員会は 期計画に対する検討委員会であるが、それがなくなったということは、この委員会はどうなるのか。

長井 期計画の立案がなくなり、 期立ち上げにあたり省庁に提案する必要はなくなった。各年度の技術的内容についてチェック&レビューして欲しい。

Q. 超鉄鋼も 期はないのか。

長井 超鉄鋼は現在I期最終年度である。今後はII期ではなく、次期新規課題として提案する必要がある。

Q. S T Xと当プロジェクトとの関係はもっとはっきり分かれたか。

長井 かなり分かれた。グレーゾーンはあるが、ジャンルが違う課題である。

Q. 民間企業とすればこの辺の関係をどう考えればよいか。

長井 基本的システムは STX と同じにしたい。

Q. 助言会議の対象事業は 11 テーマある。中身の議論はしないのか。

長井 中身の議論もさることながら、技術的な評価と言うより、政策にどう反映するかが重要である。大学の基礎研究とは違い、社会に還元するべきという考えであり、民間のチェック&レビューは政策的指導でもある。ホームページも助言会議からの指示である。

Q. 今までの計画と違って来る点はないか。

長井 先ほど説明した内容である。これからは当検討委員会のコメントをどのように反映させたかが問われる。

2) 独立行政法人化による中期研究計画の見直し

長井 TFL より、平成 13 年 4 月より金属材料技術研究所と無機材質研究所が統合され、独立行政法人 物質・材料研究機構となったこと、本機構は政策的に定められた中期計画(5 カ年)に則って業務を遂行する必要がある、4 月に見直しを行ったことが報告された。

(質疑応答)

Q. 金材研から物材機構に変わったことは、皆の共通の認識としてよいか。

長井 前回委員会の時点では変わっておらず、今回あらためて報告した。

(2) 審議事項

1) 第 1 回委員会での質問事項への回答(小林 幹事)

小林幹事より、前委員会での質問事項に対する回答があった。

- ・プロジェクトの強度目標として 1.5 倍化を掲げているが、これは 400MPa 材を 600MPa 材にすることか、との問いに対し、そのとおりであり、P を固溶強化元素として用い、靱性については結晶粒微細化で対処する方針であることを回答した。
- ・市中スクラップからは 0.1%P は入らないのではないかと、溶銑の脱りんを省いた工程の提案や、インクルージョンメタラジーの方が可能性があるのでは、との問いに対し、P の効果を明確化するため、また、最大許容濃度を探る上で、上限 0.1%P をターゲットとしたこと。あとはご指摘のとおりである、と回答した。
- ・溶接性や脆化の問題から P の許容量に限界がある。P 量と粒径のバランスはどうか、との問いに対し、各成分濃度及び結晶粒径の強度に及ぼす影響として Pickering の式を用いた試算を行い、0.2mass%では結晶粒径は 3 μm でよいこと、さらに Cu など他の不純物を利用することにより、P 量をより低く押さえる可能性があることを回答した。

(質疑応答)

Q. 韌性を確保するためには、Cが高いときPは下げねばならない。CとPの関係は？

小林 C量は今のところターゲット材として固定している。

平田 今後CとPを変えた研究を進める。

2) リサイクル鉄の超鉄鋼化：高不純物含有薄鋼板の創製技術（平田 構材研）

平田構造材料特別研究員より、高不純物含有薄鋼板の創製技術について報告があった。三菱重工広島研究所のツインドラムキャスターを利用して、最大0.2mass%Pの鋳片を鋳込むことができたこと、強度は600MPa以上、伸びも9.4%とかなり高いものであったこと、Pの存在により、凝固粒径がPなし材の半分以下になったこと、が報告された。また、鋼表面傷の検出方法として、漏洩磁束探傷試験法に回転磁界を導入し、全方向の傷の検出が可能になったことが報告された。

（質疑応答）

平田 今後、不純物がどこまで許容できるかを確認する。組織はフェライトベースでパーライトはない。硬化能はある。短所といわれている。生地は急冷のため不純物が過飽和状態にある。

Q. 400MPaになますともっと伸びがでる可能性があるか。

平田 まだやっていないが可能性はある。

Q. Si、MnはSS400と同レベルでないといけないか。

平田 強度向上はTS400を目途に600まででいいと考えている。SS400の成分系ベース、世間でいうバカ板の範疇で選んでいる。将来、成分系は用途で変える。これに固執しているわけではない。不純物は取込んでいきたい。

Q. 1mm厚が目標か。

平田 1.2mm以下の熱延材、これからはどんどん薄くなる。

Q. 大型化になると双ロールの開発が必要になるのでは？

平田 世界でユーロ、Nucor、NSCの3基で実機化が進んでいる。すなわち実機が存在するという状態である。このため、出来上がった双ロールの技術を用いて材料開発をどこまでできるかを検討する。その後の装置開発はハードメーカーとのやりとりになる。

Q. 表面欠陥を検出した後どうするのか。フィードバックかフィードフォワードか。

長井 プロセスではフィードフォワードで切って廃品にする。

平田 フィードバックにも使いたい。

3) リサイクル鉄の超鉄鋼化：不純物分散中厚材の創製技術（吉田 構材研）

吉田構造材料特別研究員より不純物分散中厚材の創製技術に関して報告があった。住友金属工業の波崎研究所の連続鋳造試験機を利用して、最大0.2mass%Pを含有した100mm

厚スラブを創製できたこと、創製材の旧 粒径が 0.1mass%P の場合、P なし材に比較して約半分になったこと、今後機構内に導入した溶解反応解析装置、一方向凝固試験装置により、溶鋼/スラグ間平衡、及び偏析、デンドライト、結晶粒に関する研究を推進していくことを報告した。

(質疑応答)

Q. P を入れると が小さくなるのは初めての発見か。

吉田 Ferrite 安定化作用により が細粒化されることは知られている。P が 0.1% オーダでのスラブ連鑄試験としては初めて。

Q. これ以上の研究はやらないか。

吉田 conventional な CC の技術開発ではなく P の効果について調べる。

Q. 技術開発は加工熱処理か。

吉田 プロセス的にはそうである。

長井 最終的には直送圧延まで視野に入れている。基礎データの積み重ねをやり始めている。スラブ試作は従来まま。よければ新しいプロセス設計になるといい。

Q. 固液共存域というのはどこか。

梅澤 CC 技術としてでなく P 添加で液相線を下げる。

C. それは技術ではない。

吉田 脱酸法等も考えたい。また従来、凝固まま組織はやっていない。

Q. 固液共存域利用の logic が見えない。なにを利用するのか。

長井 今まで利用していなかった介在物、従来と異なる分離方法を利用していく。

C. 現象解明は大事。

Q. スラブが従来と異なるということか。

長井 そうである。不純物を含有していても現行法でいけるのは幸いであった。

Q. oxide metallurgy も入っているか。

長井 そうである。P 濃化液相も利用する。

Q. 昔と違った観点で P が使えるのか。

梅澤 100 年前の錬鉄の時代の考え方も有効。

長井 合金元素としてまた利用できる。

Q. 耐候性鋼では P を活かすプロセスはできている。最終的に目標は薄板か。

平田 そうである。中厚にも使える技術としたい。

Q. scrap の source で使い分けるのか。

梅澤 scrap の量による。

Q. 全体としては厚板と薄板の両方がターゲットか。

長井 そうである。ただし冷延までは見ない。

4) 回生異物の融合化技術：スクラップ原料の部品化（梅澤 委員）

梅澤主任研究員より、回生異物の融合化技術：スクラップ原料の部品化に関して報告があった。切削屑を真空封缶し、孔型ロールを用いて温間加工し固化成形することにより、鉄系、チタン系の材料について溶製素材よりも強度が高く、また均一伸びも良いものが創製できたことを報告した。

（質疑応答）

- Q. 粉末からなら出てくるものは均一になる。これは異材混入と考えねばならない。水平リサイクルか。カスケードか。
- 長井 どこまで適用するかまだ考えていない。Mechanical Milling(以下 MM)はいらなくなる可能性がある。従来技術見直しのきっかけになるといい。
- Q. この技術は先に東大生研で行われた。原料管理がややこしいのではないか。
- 長井 対象素材が高価なものであるが、原料管理ができれば良いと考える。次はネジ、バネが検討課題。
- C. 切り粉の量が問題。
- 長井 技術の feasibility study はやっていない。再溶解しない技術である。
- C. 途中できれいにする操作があればよい。
- 平田 回収、分別があればいろいろな用途に使える。
- C. 均質なものが原料であればよい。
- Q. AIは何度で行うか。
- 長井 室温近傍。
- Q. 強加工になるか。
- 長井 そうである。
- Q. 今は1パスか。millingに近いか。
- 長井 元々はMM相。
- Q. 何に使うか。何で表面機能化するのか。関連は？
- 梅澤 parallel な仕事である。表面改質材は固相固化以外のものを含む。

5) 回生異物の融合化技術：変形・破壊の金属組織モデリング（土田 特別研）

土田特別研究員より回生異物の融合化技術：変形・破壊の金属組織モデリングに関して報告があった。結晶粒微細化に伴う変形特性の変化について検討を行ったこと、超微細鋼の高速変形時の応力 ひずみ曲線の熱活性過程に基づいたモデリングによるシュミレーションを行ったことを報告した。

（質疑応答）

- Q. 微細と超微細の境界は。
- 鳥塚 5 μm 以下が超微細、20 - 5 μm が微細と考えている。
- C. 10³のひずみ速度は今まではやらなくてもよい。

梅澤 低ひずみ速度で damping が起こるので低い速度でやってもいいと推定する。

Q. 回生異物の融合化とどう関係するのか。

長井 整理しきれてない。どういう performance を見なければならぬかという点でこれらを研究にいれておきたい。P が相変態、再結晶に大きく関与するためやっている。

C. 実際の回生プロセスで書いてもらうと分かりやすい。

6) 資源循環型新世紀構造材料技術に関する調査 (長井 TFL)

長井タスクフォースリーダーより、資源循環型新世紀構造材料技術に関する調査についての報告があった。資源循環型社会構築にむけた金属生産技術について現状及び同行を調査し、研究課題の抽出を図っていること、外部有識者による評価、助言を受けながら、研究を推進していること、研究成果を電子媒体を通じ、広く世間に周知していることを報告した。

(質疑応答)

Q. バーチャルラボとは何か。

梅澤 (3) の説明に移る。

(3) 今後の運営と討議の方針

機構側より循環型社会研究検討委員会に対し、ピアレビューが可能な体制作り及び年2回の開催に関する提案があった。

(質疑応答)

Q. 委員会の見直しはどうするのか。委員会として内容を検討し、提言するのが最大課題として良いか。年度の始めの検討、途中で progress report という形になるのか。

長井 そのようにお願いしたい。また発表文献については時期的に公開前までは要取り扱い注意で。

Q. 決定事項は何を意味するか。

梅澤 予算が決定した、プロジェクトの体制が変更になった、等が決定事項。

長井 世間的には間尺が合っているか、社会的要請に込んでいるか、等。考え直す機会である。

Q. バーチャルラボを説明して欲しい。

長井 インターネット、電子メールなど電子媒体で情報をやりとりし、情報センターとするイメージ。仮想実験空間という意味ではない。

長井 東北大・早稲田先生筆頭のプロジェクトの評価委員会に事前評価していただいている。一般社会の理解を得るために文科系の人も入れる。デザイナーの竹原明子さんもメンバー。

- Q. 体制の変更で専門の人というのは別の人を入れる意味か。
- 長井 今の人が不適という意味ではない。下部 WG を作る、という方法もある。各社の判断にまかせていかようにでも対処可能。
- Q. リサイクルは技術範囲が広く、全般を理解できる人が少ない。人間の数、地理的制約から当社では無理。どのくらいの WG なのか。STX の作業分科会レベルか。
- 長井 将来の状況次第。
- Q. 具体案はないか。
- 長井 WG の提案をし、その都度討議してスタイルを決定する。
- Q. 平成 14 以降の予算規模は。
- 長井 まだ不確定である。
- 佐藤 法人全体では 5 兆円から 4 兆円へダウン。しかし科学技術予算全体は 3 % UP。という状況で判断つかない。
- Q. 今後の委員会の開催予定は。
- 長井 1 月か 2 月。早ければ 12 月。助言会議は 11 月か 12 月。よってその前後になる。平成 14 年度予算確定は年内と思われる。

3.4.2.2 平成 13 年度第 2 回委員会

平成 13 年度第 2 回委員会を以下の要項で開催した。

日時：平成 13 年 12 月 21 日(金) 9:30 ~ 12:00

場所：(社)蔵前工業会館 701 号会議室

評価委員：月橋（東大）、伊藤（早大）、梅澤（横国大）、富士（石播重）、日高（日立製作所）、高野（日立建機）、福永（住金）、上窪（神鋼）、武田（川崎重）、増山（三菱重）小林（機構）

プロジェクト推進側：佐藤、長井、殷、植竹、鳥塚、太田口、高森、平田、吉田、花村、土田、山下、島倉、

本委員会では、第 4 回リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告、平成 13 年度の研究成果報告（資料 6.2 参照）、研究トピックス講演があり、活発な討議がなされた。また、今後の委員会の方向性についても討論を行った。

1. 議事次第

- | | |
|----------------------------|--------|
| (1) 配付資料および議事次第の確認 | 小林 幹事 |
| (2) リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告 | 長井 TFL |
| (3) 研究体制について | 長井 TFL |

(4) 各研究項目ごとの研究進捗報告

各研究分担責任者等

(5) 研究トピックス講演

山下 構造研

(6) 総合討論

- ・ 今後の運営について
- ・ 中間評価について
- ・ 広報活動について

2. 討 議

(1) 配付資料および議事次第の確認(小林 幹事)

小林幹事より、配付資料及び議事次第の確認があった。

(2) リサイクル・リユース等推進評価・助言会議報告(長井 TFL)

長井タスクフォースリーダーより、リサイクル・リユース等推進評価・助言会議の報告があった。今後も、継続的に助言会議が開かれる見込みであること、また様々な要求があり、逐次それに応じていく必要があること、助言によっては鋼以外もターゲットとなり得ることなどが報告された。

(3) 研究体制について(長井 TFL)

長井タスクフォースリーダーより、研究体制について報告があった。梅澤主任研究員が横浜国立大学に出向になったこと、状況の変化に応じ、研究分担責任者、分担者が変更になったこと、ただし来年4月1日の機構組織再編が明らかであり、未だ流動的な部分があることが報告された。

(4) 各研究項目ごとの研究進捗報告(各研究分担責任者等)

各研究分担責任者から、平成13年度のまとめとして、各研究項目ごとの研究進捗報告が行われた。(資料6.2参照)

(質疑応答)

Q. スクラップ原料の部品化でTi6Al4V合金と純Tiで差があるのか?

太田口 純Tiの方が酸化されやすい点は異なる。

Q. 表面機能化でCuの機能は?

島倉 現在、具体的イメージはない。

Q. 耐食性を考えるのか。表面機能化は後で研究するのか。

島倉 そうである。

梅澤 現在はPを中心に進めているが、Cuについても徐々に結果がでつつある。

Cuを無害化するというスタンスかCuを積極的に有効利用するというスタンスか

どの様に進めるか問題。

C. Cuを積極利用するという研究も多く、十分価値がある。

Q. Cuに注目した急冷凝固もやるのか？

平田 興味はあるし、面白いと思う。

長井 従来のメタラジーCuを考えるのか、急冷等のなかで考えるか未定。
Cuをやることについては決定事項である。

C. 個々の成果はわかったがグループとしての関連を示す図がほしい。相互の連携がわかるように。

(5) 研究トピックス講演(山下 構造研)

山下構造材料特別研究員から、平成13年度研究成果の一つとして「0.1mass%C再加熱スラブ材の強加工による組織変化」について報告があった。

Q. ミクロ偏析とフェライト粒径の関係をどの様に予想して実験を行ったのか？

鳥塚 各生成頻度と成長速度の関係から予想をたてた。

C. 凝固組織が最終的にどこまで残るかというのは面白い研究である。

長井 強さは同じでも他の特性で差が出ることも考えられる。

鳥塚 フェライトには影響ないが、第二相については結論を出していないので、今後検討したい。

C. ゼロPという表現は、脱Pを研究している立場としては使ってほしくない。完全にPが除去されたというイメージを持ってしまう。

(6) 総合討論

機構側より、今後の循環型社会研究検討委員会の運営、中間評価、広報活動について議題提案があり、討論がなされた。

・今後の運営について

長井 当委員会は13年度で区切りだが、今後もアドバイザリーボードとしての役割をお願いしたい。

A. 了解した。2年で区切りなので新たに委員を推薦してもらっても良い。
やり方に関する意見は？

長井 今後詰めていく。委員などは個別に相談させていただく。

・中間評価について

長井 中間評価委員会は早稲田先生中心。メンバーには個人資格をお願いしている。中間評価を来年やる予定。

Q. H14年度中にやるのか。

長井 その予定である。プロジェクト3年目なので、H14年度中にやるのは合っている。
資料を事前に討議していただきたい。1ヶ月前が理想的。

・広報活動について

長井 (ホームページを紹介しながら) 今後も随時発展させていきたい。

C. ホームページはよくできている。他機関ではなかなか力を注げない。

3.4.2.3 第2回資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップ

当研究課題の進捗状況を外部に報告し、広く意見交換をするため、第2回資源循環型社会構築のための新世紀構造材料研究ワークショップを以下の要項で開催した。

日時：平成13年3月22日(金) 13:00～17:30

場所：物質・材料研究機構 千現地区 第1会議室

主催：独立行政法人 物質・材料研究機構

協賛：(社)未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会

1. プログラム

<座長> 梅澤 修(横浜国立大学 助教授)

13:05～13:10 開会の辞 齋藤鐵哉(物質・材料研究機構 理事)

13:10～13:50 「リサイクル鉄の超鉄鋼化研究プロジェクト進捗報告」
長井 寿(材料研究所 タスクフォーシ-グ-)

13:50～14:50 「古代タタラ鉄と半導体結晶」 志村史夫(静岡理科大学 教授)

14:50～15:50 「鍛冶と鐵=リサイクルの王者=」 白鷹幸伯(鍛冶師)

15:50～15:55 閉会の辞 月橋文孝(東京大学 教授)

16:00～17:30 研究設備見学と談話会

18:00～19:30 懇親会(食堂)

出席者：

外部：28名

機構：45名

本ワークショップでは平成13年度の研究進捗報告を行い、また外部より講師を招聘し、静岡理科大学教授志村史夫氏よりタタラ鉄と半導体結晶について、鍛冶師白鷹幸伯氏より古代寺院再建時の和釘の創製などについてご講演いただいた。本研究に関して活発な討論がなされた。

3 . 講演及び討論

[開会の辞]

講演に先立ち、物質・材料研究機構理斉藤理事より、開会の挨拶があった。資源循環型社会構築を目指した研究課題として取り組まれてきた、ミレニアムプロジェクトのこれまでの経緯を述べ、本ワークショップを開催できたことへの謝意、招待講演をいただく志村、白鷹両氏そして出席者への謝意を述べた。

(1) 「リサイクル鉄の超鉄鋼化研究プロジェクト進捗報告」

長井タスクフォースリーダーより、ミレニアムプロジェクト「リサイクル鉄の超鉄鋼化」の進捗状況について報告があった。近年の鉄スクラップの増大による需要と供給の逆転の予測、環境問題で取り上げられている CO₂ 削減には鉄鋼産業の寄与が非常に大きいことなど、リサイクル鉄の有効利用プロセス開発の重要性を示し、ミニミルにその基本形があること、運搬や設備導入コストの試算なども含め、社会的有用性があることを示した。また、次年度より自動車材をターゲットにすること、手法としては従来通り上工程から下工程までプロセスの連関を念頭に置き研究を進めていることを述べた。また、各研究項目ごとに平成 13 年度に得られた結果を報告した。

(質疑応答)

C . 対象とした鋼について、炭素を十分下げて、リンを入れても粒界割れが生じないことを証明した方がよい。

長井 実用材を対象として始めたが、今後検証したい。

Q . 不純物など成分がずれても、組織でフォローする感覚か。構造材料に適用する際の危機管理は？

長井 実際に使用するには安全性のビルトインが必要で、調査が必要。必ずクリアしなくてはいけない課題と考えている。

(2) 「古代タタラ鉄と半導体結晶」

静岡理工科大教授志村史夫氏より、現代の最先端の素材「半導体」と古代の「タタラ鉄」という両時代を象徴する優れた材料が持つ高純度という共通性に関し、「古代タタラ鉄と半導体結晶」という演題でご講演があった。真空管の使用から始まった現代の計算機技術は半導体に受け継がれ、その情報処理量は何万倍にも膨れ上がったこと、人類が過去に金属の使用を銅から鉄に受け継いだ時代を「鉄石器時代」と呼ぶように、現代は「珪石器時代」とでも呼ぶべきであろうことを述べ、その革新的な性質は 11N という驚くべき高純度が引き出していることを述べた。一方タタラ鉄では、鉄の酸化物を熔融還元して固体鉄を作製するプロセスで、その原料の質の高さ、溶解しない工程から、マンガン、シリコン、硫黄など不純物がきわめて少ない高純度のものが得られること、チタン酸化物が介在物として

好影響を与えていることを示し、ご自身のタタラ鉄作りの体験を交えながら述べ、耐食性などの性質が極めてよいことを示した。今後先端技術の発展には素材技術の発展が不可欠で、そのためには温故知新改め温故知新という気構えが必要なことを指摘された。

- C . 0.01%Ti 鋼という話があったが、現代にも Ti_2O_3 を分散させた製品がある。Ti を核にして結晶粒を微細にする話は 5、6 年前から、溶接に関しては昔からオキサイドメタラジーとして話がある。タタラ鉄と思想がつながっている。中国はもともとチタンが高い。
- C . 高純度化という話があったが、大阪博でゾーンメルトで創製した当時最高純度の鉄 (5N) が出されていた。鉄の高純度化は大変難しく、5N 品は、金より高い。
- C . 珪素と違い、鉄で 11N は大変難しい。微量介在物があり、粘性があるため、これがとれない。純度は残留抵抗比 (RRR) で評価することが多い。ゾーンメルトで作った RRR=2000 の鉄線は大気中で何十年たっても錆びない。東北大では RRR=8000 の物がチャレンジされており、11N に近いのでは。

(3) 「鍛冶と鐵 = リサイクルの王者 = 」白鷹幸伯 (鍛冶師)

鍛冶師二代目興光白鷹幸伯氏より、「鍛冶と鐵 = リサイクルの王者 = 」と題してご講演があった。まず、ご自身の出身を鍛冶の系統譜を示して、生活に密着したものを主に製作する野鍛冶であるといったご紹介をされた。鉄は最もリサイクルに適した材料であることを鍛接性や、浸炭、脱炭性があることに着目して示し、江戸期の古釘などに実例が見られることを述べた。古代の釘 (和鉄) は砂鉄を原料とし、木炭を燃料として作られるため、不純物が極めて少なく、耐食性に優れていたため、千年以上という耐久性を持つこと、現代の溶解プロセスではコークスから硫黄が入り、この無害化のために添加するマンガンにより、腐食の起点となる介在物ができるため、朽ちやすいことを、実例を示しながら解説した。また、法隆寺再建の際に作製された高純度の鉄 (NKK 製 S L C M 材) による釘や、飛鳥釘、白鳳釘、といった古代の釘を現物を示しながらご紹介された。また、炭素量の少ない屑鉄を木炭の熱で半溶融にして接合し、加炭して鋼を創り出す「卸し鉄法」などをビデオ上映にて紹介された。ふいごで送る送量を調節して吸炭、脱炭を行う場面や、微妙な温度調節によって創り込む場面などを解説。温度、炭素濃度なども、最後は人間の感覚を頼りに創り込んでいく部分が大きいことを強調して述べられた。

[閉会の辞]

循環型社会研究検討委員会委員長・東京大学教授月橋文孝氏より、閉会の辞があった。当プロジェクト研究課題は循環型社会研究検討委員会によって、研究推進を行っており、その活動の一環として本ワークショップを開催したこと、今後もこのように研究進捗に関し、広く意見をいただくことが必要であることを述べ、出席者への謝意を述べた。また、

本日の講演でお話があったように、温故知心の気概を忘れずに研究に取り組む姿勢が必要であることを述べて締めくくった。

3.4.2.3 平成13年度のまとめ

本年度は、高不純物含有薄鋼板の創製技術、不純物分散中厚材の創製技術、スクラップ原料の部品化技術、変形・破壊の金属組織モデリングといった不純物有効利用プロセスに関する検討すべき基礎要素研究が行われ、12年度に得た分析用素塊（1kgオーダー）の強度試験を終了し、不純物リンの利用による特性改善効果を確認するなど、新プロセス構築の指導原理の確立を目指した研究が行われた。

委員会において、各研究項目別の課題についての討論を活発に行い、委員側より今後の研究推進の方針について多くの助言を行った。具体的検討内容を概括すると、まず、対象とする鉄源について、スクラップ材だけでなく、広く低級鉄資源も対象になりうること、リンなどの不純物を除かなくて良い点では高炉銑を原料としたプロセスにつながる可能性があること、不純物としてはリンの次の候補としては銅を取り上げ、積極利用の見地から研究を行うことを提案した。結晶粒微細化過程では、対象とする鋼組成や製品イメージ、初期条件と粒径との関係などについて助言を行った。またプロセス開発・技術開発を念頭におきつつも、常に基礎現象の解明を系統的に行うことが重要であるとの助言を行った。一方で、上工程から下工程まで一貫した流れの中で研究を推進する上で、プロセスごとの研究項目間の関連性が明示されていない部分があり、グループ間の関連を示す横断的なマップのようなものと望ましいとの指摘をした。また、研究成果や情報の発信については、バーチャル・ラボと言った概念でなく、情報集中センター、発信センターとしての機能がイメージできるような名称を考えるべきとの助言を行うも、活動自体は非常に重要で、進捗しつつあることは評価できるとした。

また、広く成果を周知するためのワークショップにおいては、研究進捗報告を行い、鉄の創製に関する招待講演を行った。今後の研究遂行で留意すべき点などにつき討論がなされた。本研究関連実験装置の見学を行い、装置の特徴などについて討論を行った。

このように、各機関からの意見、各方面からの情報を研究に反映させながら活動を行い、その成果を広く公開しかつ意見交流を重ねていくことは本研究課題遂行上非常に重要で、今後も現体制に適宜修正を加えつつ、積極的に推進していくことが必要である。

3.4.3 平成 14 年度活動

活動内容

本年より、前「循環型社会研究検討委員会」を引き継ぐ形で「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」研究評価調査委員会・助言評価ワーキンググループが発足し、技術課題の個別事項に関して討議する技術調査ワーキンググループと合わせて活動を開始した。助言評価ワーキンググループを年 1 回、技術調査ワーキンググループを年 2 回開催した。機構より、研究目標、平成 14 年度の事業計画、研究成果、今後の計画に関する報告があり、審議を行った。また、「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」ワークショップ、「自動車材料技術の将来展望 - エネルギー・環境・安全問題の克服に向けて」ワークショップと、年 2 回のワークショップを行った。

3.4.3.1 「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」ワークショップ

「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」ワークショップを以下の要項で開催した。

1. プログラム

開催日時：平成 14 年 12 月 16 日（月）13:00～16:00

開催場所：独立行政法人 物質・材料研究機構 本館 第 1 会議室

司会 長井 寿（独立行政法人 物質・材料研究機構）

13:00～14:00 香川大：国重和俊教授

「リサイクルと自動車用鋼板の材料特性」

14:00～15:00 名古屋大：石川孝司教授

「自動車部品の鍛造技術と組織制御」

15:00～16:00 物質・材料研究機構ミレニアムプロジェクト「リサイクル材の超鉄鋼化」
ミレニアム全体説明とこれまでの経緯（長井）

スクラップ原料板材創製プロセス基盤（LWF）とスクラップ原料棒材創製プロセス基盤（SR）の説明（井上及び古谷）

2. 概要

香川大・国重和俊教授による「リサイクルと自動車用鋼板の材料特性」、名古屋大・石川孝司教授による「自動車部品の鍛造技術と組織制御」、物質・材料研究機構・超鉄鋼研究センターからのミレニアムプロジェクト「リサイクル材の超鉄鋼化」研究説明が報告され、活発な議論がなされた。

「リサイクルと自動車用鋼板の材料特性」については、P が入ると、シャルピー衝撃試験においてセパレーションが増えるとのデータが示され、それが P の偏析によるためか、

集合組織の発達によるためか、どちらと考えられるかという議論がなされた。また、フェライトから C が排出されて、粒界に溜まり、サイトコンペティションは成り立つのかどうかという議論もなされた。「自動車部品の鍛造技術と組織制御」では、表面処理を含めた鍛造加工材材質予測の将来展開について、また、1 μ m 粒鋼を得るためには 700~500 の温度範囲で歪を 2 以上加える必要があるが、こういった技術は将来的に可能かどうかという点について、議論がなされた。

ミレニアムプロジェクトの研究説明については、棒鋼の表面処理で期待される効果、P、S、Cu、Sn の添加量が 0.1% という根拠、メカニカルアロイによる結晶粒微細化と超鉄鋼における結晶粒微細化との関係等についての多くの質問・意見が出され、ミレニアムプロジェクトを今後発展させるに当たっての有益な考え方が得られた。最後に、長井超鉄鋼研究センター長より、本プロジェクトは日本鉄鋼協会や超微細粒鋼の国際会議でオールジャンの体制で取り組んでいくという姿勢が示された。

3.4.3.2 平成 14 年度第 1 回助言評価ワーキンググループ委員会

平成 14 年度第 1 回助言評価ワーキンググループ委員会を以下の要項で開催した。

日時：平成 14 年 12 月 16 日（月）16:10~17:00

場所：物質・材料研究機構 本館第 1 会議室

出席者

WG 委員：月橋委員長(東京大)、伊藤委員(早稲田大)、馬場委員(日立製作所)、難波委員(神鋼)、石井委員代理(川鉄)、福永委員(住金)、三柳委員(日立建機)、遊佐委員(IHI)、武田委員(川重)、平田委員(MHI)

NIMS：長井センター長、井上 TFL、古谷 TFL、花村、小林、早川、植竹、殷、土田、山下、樋口、島倉、吉田

1. 議事次第

今回の WG の主旨（資料は委員に事前配布/長井）

・ミレニアムプロジェクトのシナリオ

スクラップ経由の不純物を許容して、なお現状以上の性能を持つ鋼材とその創製・加工・成形技術を開発する。出口としては自動車を想定する。合金組成として、次の 3 つの基本ルートを設定している。

Cu、Sn、Ni 等、精錬工程で取り除くことが不可能な、不純物を取り除かずに利用する系

P、S 等、精錬工程で除去可能な不純物を取り除かずに有効利用する系

Fe-C-Mn-Si のみ（ユニアロイ化）の単純組成でリサイクルする系

・意見をいただきたいポイント

[1]上記 ~ に対する考え

[2]As-cast のみでどこまで材料特性を確立できるか

[3]現状、棒材のプロセスに制限（高温鍛造が必須かつ付与ひずみ量に限界あり）がある中で、超微細組織を生かした研究を進める意義

2 . 討議

1) 委員側コメント

C : 当社は家電品が中心である。材料では Cu 合金・Al 合金、製品ではコンプレッサ等が対象であり、これらをどうリサイクルするかが重要課題である。キーワードは"Cu", "Pbフリー"等である。

プロジェクトへの要望 :

- 1) 成果として基本的メカニズムは示されるであろうが、目標値がはっきりしない。SR で設定しているような 800MPa や 1200MPa 等の目標値がなくてよいのか。
- 2) 製品をどこでつくるのか。製造工程のアウトプットも視野に入れるべきではないか。
- 3) 正味の製造コストは高くても、環境を考慮した LCA、保守、リサイクルのトータルな評価で負担が低いことを望む。

C : 合金組成シナリオ[1] : のユニアロイは社会認識の変化が必要である。現在では知見が得られればよい。自動車用材料の多くには切削工程が必ず含まれるので、Pbフリー快削鋼の観点からも不純物として S に特に注目する。MnS など S 有効利用技術を是非、進めてほしい。

棒材[3] : 冷間鍛造で進めてほしい。たとえば、0.4C 鋼で圧延型の非調質鋼という用途もあるだろう。S は切削性の観点から積極的に使用してほしい。また、Bi,MnS の活用も視野に入れるべきである。

C : 板材のスペック / 目標 : 自動車向け鋼板の加工性は、現在のハイテン系でもユーザーが十分満足するものではない。鉄鋼メーカー各社とも商品開発の努力をしており、(どの程度まで到達するかは不明だが) 近いうちに商品が高品位化するであろう。現状レベルからターゲットを設定すると、開発時に目標がずれる可能性がある。目標設定の際にはこの点を考慮してほしい。

合金組成シナリオ[1] : 板材用途からいうと、Cu、Ni は入れる方向だが、P、S は板材で加工性が厳しい。たとえば、溶融亜鉛めっき鋼板の場合、P はめっき後の合金化処理を妨げる。P 含有鋼では(合金化する手法を開発するのか)合金化しないめっきにするのか興味がある。

C： 合金組成シナリオ[1]：Cu、Sn は、鉄鋼メーカーにとって悩ましい問題である。微細粒化して無害化することができれば喜ばしいが、ハードルは高い。メーカーは、このシナリオで製品レベルがどこまで到達するかわからない。従って、ハードルの高い所の基礎データを蓄積する方向で進め、最後は実用化へもって行ってほしい。

C： 建設機械では数万 t の鉄 / 月の使用がある。構造物のみならず、建機品の内部機器として棒材に興味があり、その性質としては易リサイクル性とトライポロジーが重要と考える。プロセス側の意見として、特に微細化した材料の表面処理に注目してほしい。処理しても微細化が保たれることが重要である。

C： 合金組成シナリオ[1]：将来、ユニアロイのリサイクル時代が来るのか。それとも不純物を容認してリサイクルしていくのか、どちらが主体となるのかよくわからない。不純物が容認されてしまえば、それが全部ユニアロイに置き換わる時代は来そうもないのではないか。

アズキャスト材[2]：as-cast で特性を追求する必然性がどの程度あるのか。素材ベース段階でよいものができればよい。ただし、最終製品まで考えれば、特に均一性が重要である。きちんと均一化しないとユーザーを認識させるのが難しいだろう。この点をどう解決するか道筋を出すべきである。

Q：（棒材に関して）プロセスの中で微細化するのか、微細化したものを更に造り込むのか？

A： ネットプロパティで考える。我々は特性を明確化している。今のところ、熱間鍛造はその分野の専門家に任せたい。

C： 第一期より参加している。板と棒と同時並行なのか、どちらが主体なのかわからない。重工としては板材に興味あり。今回のWSでは、棒材の目標はわかるが、板材の目標値が示されていない。Cu、Sn、Ni は除けない。これらの許容量、不純物含有時の強度、リサイクル性を考慮した成分設計等、目標値の設定をしてほしい。また、板の場合、溶接・継手性能がなければリサイクルにはならない。この点の考慮が必要。

C： 合金組成シナリオ[1]：ユニアロイは提案型ですすめるべき。スクラップの量とその製品責任からはユーザ側としては Cu、Sn 系が優先だろうが、素材供給メーカー側としては に興味があると考える。現状、スクラップの Cu に加え、他の Ni 等添加していくことで不純物の害を取り除く事はできるが結果としては不純物は増していくので、社会的要望が強いのはそのままりサイクルできる と考える。また、P、S系は基礎研究・原理実証的な位置づけだろう。

アズキャスト材[2]：ハードメーカーの立場からは、素材のバラツキをどこまで抑え、どこまで均一なものを造り込んでいるのか不安がある。ユーザー側は変化ないものを求める。現状では、アズキャスト単独材料での使用安定性に疑問を感じるのでは。しかし As-cast+ で世の中に製品が出せれば良いとの考えで進めてはどうだろうか。

C： アズキャスト材[2]：次の観点からキャスト後の工程に興味あり。

1)微細化工程が機械的性質にどの程度影響するのか

2)介在物はどこまで除去すればよいのか、どうやって有効利用するのか、また、いかに改質するのか。これらの点について、スクラップ中の介在物を把握しながら進めてほしい。

合金組成シナリオ[1]： ユニアロイは、ラボ的なきれいな系としてデータベース化してほしい。

C： 合金組成シナリオ[1]： ユニアロイのシナリオでも、不純物量が増える、その種類も増えることを考慮し、どこまでが許容量か判断する必要がある。近未来的には Cu、Sn 系、 P、 S 系の順に優先される課題であろう。

2) NIMS 側コメント、回答

[長井]

・貴重な意見に感謝する。

・合金組成シナリオ[1]： ユニアロイの考え方は、現状では未だ現実的ではない。しかし、将来の材料設計のあり方の一つのシナリオとして考える価値がある。不純物の目標は、最終的に現状の技術・プロセスの中での許容量を示すことであろう。どこまで許容量を上げられるか？それをどの工程で決めるか？添加元素が性質に(sensitive という言い方があるが)in-sensitive という答えがあるのか？等。これらはかなり基礎的な研究を含んだものになる。

・アズキャスト材[2]：そのまま使おうとは思わない。しかし、面白い性能はある。アズキャストでどこまでの性能ができるかを把握すれば、製品評価とプロセス因子解明の一助になる。板材には直近の目標を設定した現実的な問題と将来的な基礎的な課題の双方の側面がある。前者は、メーカーとバッティングするところがあるため、我々の主たる課題ではないだろう。我々は、後者のように、むしろ基礎的ではあるがリスクの高い目標に取り組んでいく。アズキャスト材では「急冷凝固」+ (加工熱処理)が一つ。

・板材の目標値：たとえば、TS 100kg/mm²、El 30%という数値を設定してもよいが、この数値でよいのか。不純物量を考慮した目標設定が必要であろう。民間会社とバッティングする必要無し。Keywords として as-cast と不純物を生かす。r 値の目標設定は迷っている。

・棒材の目標値：具体的目標数値を示したが、直近すぎるかもしれないし、ハードルが高

い。もう少し勉強して作戦を考え、全体観から見直すこともありうる。

[井上]

・板材：単純に数値目標を設定できるほど甘いものではないと認識しており、敢えて板材の目標値は示していない。目標値は、不純物許容量等、環境を考慮して設定すべきと考える。今後、内外の調査も念頭に、溶接性や耐候性鋼の適用例を含め検討してシナリオをつくっていく。たとえば、「r 値が I F 鋼に負けないもの」が必ずしもいいとは限らない。民間と競うのは我々の使命ではない。

[古谷]

・棒材：介在物の無害化が重要である。母材では OK である。表面処理と組み合わせて実施したい。表面処理では硬化層が問題である。硬化層から介在物を取り除くことは難しい。また、超鉄鋼で蓄積した介在物評価技術を発展させ、たとえばアルミナ介在物等の評価法の設計も行う。MnS は快削用に逆利用したい。

3) その他、自由討議

<単純組成ユニアロイ()の位置づけ>

C: は、ミレニアムの課題として矛盾がある。ミレニアムではなく、むしろ、ほかの超鉄鋼プロジェクトでやるべき課題であろう。中山製鋼等の会社と NIMS で行っているマッチングファンドプロジェクトの範疇ではないか。

C: ユニアロイを希釈材として使い、不純物含有材を希釈して使うのであれば、もあり得る。この観点で、不純物系とユニアロイ、高級鋼と低級鋼を並行するシナリオもあるかもしれない。

C: Cu、Sn 系、および P、S 系の許容量が設定され、ユニアロイがうまくいけば、鋼のリサイクルがまわるという考え方もあるのではないか。この場合ミレニアムはと連携する。

C/長井：単純組成鋼は、超鉄鋼の根幹アイデアであり、80K 鋼、150K 鋼はその系で実施した。110-180K の範囲で、また、49-80K の範囲で合金元素を入れる必要は無い。合金なしの同組成でプロセスのみ変更することで、たとえば調質の有無等、基礎的な統計データを得やすい。ミレニアムは、単純組成鋼を含むがこれを最前面に押し出すものではない。リサイクル容易なユニアロイを考える上で将来的なスクラップの平均組成の推移予測は必要である。は脈々とやっており、STX の根幹である。

C: シナリオの説明が分かりにくい。シナリオは、Cu、Sn 系、および P、S 系主体で進めていく。この中で当然 ユニアロイは連携する。シナリオはしっかりと作成することが必要である。

<ミクロ偏析、表面処理など>

C/長井： 日本鉄鋼協会ではミクロ偏析の話をしたところ、Mnが濃化するとメッキののりが悪くなると指摘された。Mn、Siなどのミクロ偏析は、伸びにどう影響するか？250厚スラブでは？薄スラブでは悪いのか否か？また、ミクロ偏析が表面処理に与える影響はどうか？微細粒鋼の表面処理、更にミクロ偏析が表面処理にどう影響するかは、面白い興味ある課題である。

Q： ユーザーと討議の場はあるのか？

A/長井： 自動車材料に展開するためにも表面処理に関する情報交換をしたいので、別途その場を設ける。

<直送圧延>

C/井上： 今後、直送圧延の試験を進めていく。国重先生のTi効果の話は興味深い。こういった観点で過去に鉄鋼メーカーで直送圧延の実験が精力的に行われていたと聞くと、基礎的知見や面白い知見があれば、ご教示願いたい。

C/月橋主査： 難しいところもあるが、鉄鋼メーカーの協力を願いたい。

C： 直送圧延の研究は、15年以上前が最盛期と思う。当時、鉄鋼協会の部会が活動していたので、各社提出資料が参考になるだろう(ただし取り扱いに注意のこと)。また、当時の担当の大半は代替わりしているし、よくない特性は公表されていないことも多いと思う。

4) 総括(長井)

- ・ H14年は立ち上げが遅く、また、今回のWSでも成果報告に乏しく、申し訳ない。
- ・ 来年度は、前・後期に分け、オープンに成果報告したい。
- ・ 今回の助言は次のステップに活かしたい。今後とも、プロジェクトのステアリングに助言いただきたい。ご協力よろしく願います。

3.4.3.3 「自動車材料技術の将来展望 - エネルギー・環境・安全問題の克服に向けて」 ワークショップ

「自動車材料技術の将来展望 - エネルギー・環境・安全問題の克服に向けて」ワークショップを平成15年1月23日(木)物質・材料研究機構 千現地区本館 第一会議室で開催した。本WSは、未踏科学技術協会主催で、低環境負荷型材料の設計、創製、加工部品化、リサイクルなどに関する基礎研究に取り組んでいる超鉄鋼研究センターとエコマテリアル研究センターでの共同企画によるもので、自動車を主たる対象として、将来の材料技術のあり方について種々の観点から話題提供を頂き、NIMSが挑戦すべき研究課題とその戦略などについて議論することを目的とした。

悪天候にもかかわらず、大変盛況なワークショップとなった。参加者は106名、内訳は国研関係55名(内NIMS53名)、大学関係11名、鉄鋼関係9名、非鉄関係3名、自動車

関係 4 名、 重工関係 8 名、電気関係 6 名、化学関係 6 名、その他 4 名であった。参加者数と共に、広い分野からの聴講者は期待を遥かに超えるものであった。

特別講演では、「鉄鋼業における地球環境長期研究課題」を大阪大学・丸川雄浄先生から、基調講演では、「21 世紀の工業製品材料の概念」を名古屋大学・武田邦彦先生から頂き、自動車にとどまらず幅広い視点から材料技術の将来展望について活発な議論がなされた。この中で、中国の S の高い石炭を鉄鋼プロセスの高炉で処理し、S を低め、電力プラントに使用することで S の環境負荷を低減するという、アジアの環境技術に対して大変重要な構想が示された。また、現在の日本の循環型社会構想に対し、CO₂ 対策、ダイオキシン対策について一般にマスコミで議論されている考え方の再考を促す斬新な観点や、生物と比較した場合の将来の理想とすべき自動車材料の観点も提示された。

一般講演としては「自動車材料技術の将来展望 - LCA の視点から」(河西純一氏:いすゞ自動車)、「自動車部品用アルミ合金の技術動向と特徴」(稲葉隆氏:神戸製鋼所アルミ銅カンパニー)、「衝突安全性能と自動車用材料」(東雄一氏:本田技術研究所栃木研究所)そして「自動車燃費向上のための材料技術」(岡田義夫氏:日産自動車)を頂いた。これらの講演において、将来の自動車材料に要求される開発の方向として、現在、自動車業界で進行しつつあるマルチマテリアルの考え方と、リサイクル技術が目指すユニアロイ化の考え方という相反する課題を今後、こういった形で捉えるべきかという点が呈示された。また、自動車材料の安全性を目指す技術開発が自動車の重量増加を促進する方向であるのに対し、環境負荷低減を目指す技術開発が自動車の軽量化を促進する方向であるという、相対する課題にどう対処して行くべきかなど、今後の NIMS のプロジェクト推進に役立つ有益な視点が多数示され、活発な議論がなされた。

3.4.3.3 平成 14 年度のまとめ

1. 平成 14 年度助言評価 WG 委員会のまとめ

今回の WG の主旨はミレニアムプロジェクトの研究成果を提示することであり、その内容に対し、委員会で助言評価を行った。その観点は以下の通りである。

[1]スクラップ経由の不純物を許容して、なお現状以上の性能を持つ自動車用鋼材とその創製・加工・成形技術における材料の合金組成に対する考えを示す。

[2]As-cast のみでどこまで材料特性を確立できるかを示す。

[3]現状、棒材のプロセスに制限(高温鍛造が必須かつ付与ひずみ量に限界あり)がある中で、超微細組織を生かした研究を進める意義を示す。

2. 年度評価

・単純組成鋼は、超鉄鋼の根幹アイデアであり、強度が 1100-1800MPa の範囲の材料、また、490-800MPa の範囲の材料においては、組織のみをコントロールすることで合金元素を入れる必要は無いという結論を得た。

・棒材の目標において、Cu、Sn、Ni の許容量、不純物含有時の強度、リサイクル性を考慮した成分設計等、目標値の設定ができた。

・ Cu、Sn 系、および P、S 系の許容量が設定され、ユニアロイがうまくいけば、鋼のリサイクルが可能という考え方でプロジェクト設定ができた。

・ 低級資源を用いたプロセス開発を目指す方向が確定した。また、その上で棒鋼の表面処理で窒化や高周波焼入れ、ショットピーニングによる高強度・高寿命化を目指す姿勢が定まった。

3 . 次年度計画への助言

< プロセス >

・ 研究成果の応用として、製品をどこでつくるのか等、製造工程のアウトプットも視野に入れて研究プロジェクトを推進すべきである。

・ 正味の製造コストは高くなったとしても、環境を考慮した LCA、保守、リサイクルでトータルな評価を行っていく必要がある。

・ ユニアロイの材料を実用化していくには、時代の変化が必要である。現在は不純物対応の観点で知見が得られればよいとすべきである。自動車用材料の多くには切削工程が必ず含まれるので、Pb フリー快削鋼の観点からも不純物として S に特に注目すべきである。MnS など S 有効利用技術を進めることが必要である。

・ 棒材は冷間鍛造で成形することを考えた研究を進める必要がある。0.4%C 鋼で圧延型の非調質鋼を利用していくという用途もある。S は切削性の観点から積極的に使用するべきである。また、今後は、B、MnS の活用も視野に入れるべきである。

・ 合金組成として、Cu、Sn は、鉄鋼メーカーにとって悩ましい問題であり、組織を微細粒化してこれらのトランプエレメントを無害化することができれば喜ばしいが、研究テーマのハードルは高い。現時点では、メーカーは、このシナリオでは、どの程度の製品レベルのものが得られるかが分からない状態である。従って、ハードルの高い所の基礎データを蓄積する方向で進めることが必要である。

・ 建設機械では、鉄鋼材は数万 t の鉄 / 月の使用があり、構造物のみならず、建機品の内部機器としての性質として、易リサイクル性とトライポロジーが重要である。そのため、プロセスとして、微細化した材料の表面処理に注目すべきである。その際、特に処理しても微細化が保たれることが重要である。

・ 板材については、自動車向け鋼板の加工性は、現在のハイテン系でもユーザーが十分満足するものではない。鉄鋼メーカー各社とも商品開発の努力をしており、どの程度まで到達するかは不明だが、近いうちに商品が高品位化する可能性がある。目標設定の際には、現状レベルからターゲットを設定すると、開発時に目標がずれる可能性があることを考慮する必要がある。

・ 合金組成として、板材用途からいうと、Cu、Ni は入れる方向だが、P、S は板材とし

て加工が厳しい状況である。溶融亜鉛めっき鋼板の場合、Pはめっき後の合金化処理を妨げる傾向がある。P含有鋼では合金化する手法を開発するのか、合金化しないめっきにするのかという点で興味深い研究を行うべきである。

< 機械的特性 >

・アズキャスト材で特性を追求する必然性がどの程度あるのか不明である。素材ベース段階でよいものができればよいが、最終製品まで考えれば、特に均一性が重要である。均一化ができなければ、ユーザーを納得させるのが難しい。均質化達成点をどう解決するか、道筋を出すべきである。

- 板材 -

・現状では板材の目標値がはっきりしない。SRで設定しているような800MPaや1200MPa等の強度等の目標値を設定していく必要がある。

3.4.4 平成 15 年度活動

活動内容

年 1 回、技術調査ワーキンググループを開催した。また、助言評価ワーキンググループでの助言を受けて、米国、ドイツにおける鉄鋼プロセスの調査、および日本国内におけるリサイクル材の調査を行った（第 4 章に詳述）。

3.4.4.1 平成 15 年度技術調査ワーキンググループ委員会

物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター主催の第 7 回超鉄鋼ワークショップの一環として、技術調査ワーキンググループを年 1 回開催した。

1. 議事次第

平成 15 年 6 月 25 日(水)につくば国際会議場において、物質・材料研究機構、超鉄鋼研究センター主催で第 7 回超鉄鋼ワークショップが開催され、その内、ミレニアムプロジェクト関連では技術討論会 4 (日本語)「不純物を考慮した高機能化一新部品成形法」と研究要素討論会 4 (英語)「鉄源の多様化に対応した新しい鉄創り」の 2 つのセッションが開かれた。質疑応答の中で、プロジェクト研究にける技術的課題について討論を行った。

技術討論会の主旨は「物質・材料研究機構超鉄鋼研究センターのミレニアムプロジェクトでは、リサイクル材からの超鉄鋼製造を目指した研究を進めてきている。今回のセッションでは、リサイクル鉄をベースに car-to-car の循環型社会を目指す技術を討論することを目的とする。特にリサイクル鉄への混入が避けられない Cu 等の不純物が入ってきた場合のプロセスおよび材質を主眼として、自動車部品の製造に關与する工程全般に渡って展望し、その問題点抽出と将来の環境問題対策解決に繋がるブレイクスルー技術の可能性について討論していきたい。」というものである。

また、研究要素討論会の主旨は「物質・材料研究機構超鉄鋼研究センターのミレニアムプロジェクトでは、リサイクル材からの超鉄鋼製造を目指した研究を進めてきている。今回のセッションでは、将来のリサイクル鉄の増加、鉄鉱石の低品位化を睨んだ 21 世紀の新製鉄プロセスを模索することを目的としている。特に、ミニミル、直接薄板鑄造等、将来の鉄鋼製造プロセスを生かしたりリサイクル材、低品位鉄源の利用における問題点解決といった斬新な視点で将来の鉄鋼プロセスを展望したい。」というものである。

1.1 技術討論会 4 (日本語)

「不純物を考慮した高機能化一新部品成形法」の内容は以下のようであり、将来の car-to-car の製造技術を展望した活発な議論がなされた。特に、超鉄鋼が現状の鍛造、ハイドロフォーミング等の技術にどう適応するかといった観点、また、リサイクル鉄を原料とした場合における上工程技術の将来展望、および自動車用鋼板製造技術の将来展開について

のユニークな考え方を踏まえた建設的な議論がなされた。

日時:平成15年6月25日(水)9:00~11:25

場所:つくば国際会議場大会議室201

座長:伊藤公久(早大)

講演1 .「自動車用新部品鍛造技術とシミュレーション」

石川孝司先生(名大)

自動車用鍛造部品の概要と近況について紹介された。鍛造は、かつては形状を造りこみ、組織はその後の熱処理によって制御されていたが、最近では高精度鍛造部品を効率良く製造する環境を構築するべく、形と質を同時に作り込む技術へ進歩していることを詳細に紹介された。また、そのためには数値解析の利用が必要不可欠であり、V 添加鍛造用非調質鋼を対象とした成功例についても紹介された。

講演2 .「薄鋼板製造技術の現状と今後の課題」

阿部光延氏

我が国における薄板製造技術の変革について触れ、製造技術(インゴットプロセス、連続鋳造プロセス、ストリップ連続鋳造)、製品技術(材料特性、表面性状)、さらにはスクラップ鉄を念頭にした合金設計の考えについて紹介された。

講演3 .「鉄鋼材料のトランプエレメント・Cu 問題に対する上工程からの視点」

溝口庄三先生(東北大)

上工程から見た材料開発について言及し、原料から最終製品までの一貫した取り組みの必要性を主張された。今後の薄スラブ連続鋳造やストリップ鋳造になるにつれ、鋳造断面が薄くなり、加工に制限が出てくる。その場合の組織制御は上工程で制御する必要があり、介在物を積極的に利用する必要性を紹介された。最後に、今後の国家プロジェクトの提案もなされた。

講演4 .「自動車用鉄鋼材料のハイドロフォーミング」

真鍋健一先生(都立大)

ハイドロフォーミングの歴史について触れ、利点と欠点を紹介された。未解明な領域が多く、試行錯誤の上に成り立つプロセスであるが故に、材料の特性とハイドロフォーミング性の関係はわかっていないことを紹介された。ハイドロフォーミング前には予成形などもあり、必然的に多工程となる。少しでも工程を減らす努力が必要であり、数値解析技術の助けが不可欠である。現在、材料の特性とハイドロフォーミングの関係についての研究が日本鉄鋼協会を中心に行われている。

1.2 研究要素討論会4(英語)

「鉄源の多様化に対応した新しい鉄創り」は以下のものであり、今後多様化する鉄源に対応したプロセス技術を展望した活発な議論がなされた。特に、不純物を多く含むリサイクル材を鉄源とした場合における薄スラブ連続鋳造等のプロセスの将来展開について、また、鉄鋼プロセス技術と環境負荷との関わり合いといった観点で議論がなされた。

日時:平成 15 年 6 月 25 日(水)13:15 ~ 16:25

場所:つくば国際会議場大会議室 101

座長:伊藤公久(早大)

講演 1 .「米国で用いられる付加価値を付けた鉄鋼材料の生産」

A.J.DeArdo 先生(Univ-ofPittsburgh、米)

米国における薄スラブ連続鋳造による鉄スクラップからの高品質鋼板創製技術に関して講演があり、Nucor 社における取り組みを中心に鋼種の発展やメッキラインの技術開発などについて紹介された。競争力の面から Nucor に対して、高炉メーカーの厳しい現状にも言及された。

講演 2 .「鋼の Cu(+Sn)起因表面赤熱脆性に及ぼす諸因子の影響」

柴田浩司先生(東大)

不純物として Cu を取り上げ、Cu に起因する熱間脆性をはじめとする種々の機械的性質に及ぼす、リン、硫黄、炭素、ホウ素などの影響について報告があった。熱間プロセス時間の短縮が熱間脆性の抑制に効果的であり、薄スラブ連続鋳造、ストリップキャスティングなどの有効性が示唆された。

講演 3 .「鉄鋼業における LCA 的見地からの鉄鋼技術開発の展望」

原田幸明氏(NIMS)

LCA の概説から、金属生産に伴う環境負荷を示す新たな指標として TMR(TotalMaterialRequirement)の紹介があり、鉄鋼生産に関する原材料も含めたマテリアルフローの説明があった。また、持続的発展可能な循環型社会を目指したりサイクルの有り方について論じられ、マテリアルリースシステムの提言がなされた。

講演 4 .「スクラップ対応の鉄鋼プロセス技術」

D.G.Senk 先生(AachenUniv-of 化 chnology、独)

鉄スクラップ使用状況の世界、EU、ドイツにおける動向の紹介、鉄スクラップ種ごとの不純物(トランプエレメント)の観点からの特徴や問題点の指摘がなされた。また、不純物対策として薄スラブ鋳造などの急冷凝固を利用した鋳造プロセスが有効であることが報告され、

スクラップの混合を管理した使用や、溶解エネルギーの観点から、溶銑と還元鉄との共用が有効であることが説明された。

2. 質疑応答

会議中の質疑・応答における重要な技術課題を下記にまとめる。

| | 項目 | 内容 |
|--------------|----------------------------|--|
| 1)リサイクル・地球環境 | LCA的見地からの鉄鋼技術開展望 | ・鉄のマテリアルフローにおいて年間損失の10Mt中、排出・廃棄されるスラグ量の寄与は量的には小さいが、考えられる。 |
| | Cu{+Sn}起因表面赤熱脆性 | ・極低炭にするとより熱間脆性が厳しくなるのは、粒の形状が変化し、平面的になり、界面積が増え、Cuがより浸透し易くなるため。 ・粒形状が変化するのは、Cが雰囲気ガスと反応してCOになるため。 ・酸化がなければ、熱間脆性はない。・Cu{+Sn}起因表面赤熱脆性防止技術はストリップキャスティングなどの技術開発に対して心強い示唆を与える。 ・通常のCCでは、冷却するまで21分かかり、薄スラブCCだと1分30秒くらいだが、この差は赤熱脆性回避にとって非常に大事。 |
| | スクラップ対応の鉄鋼プロセス技術 | ・南アの会社では、溶銑、直接還元鉄を共用したプロセスを行い、よい生産性を上げている。 ・高炉一貫のプロセス化も考慮し、理想のプロセスは考えているが、実現性は価格次第。 ・ドイツにおけるスクラップ回収における分別等の制限は、スクラップの解体、移動、プレスなどにかかるコストが問題。コストが大きすぎた場合は、全部まとめて溶解するしか選択肢が無い。 |
| | トランプエレメント・Cu問題に対する上工程からの視点 | ・薄スラブ鑄造技術を用いてMgOを有効利用すれば、TMCPで微細組織のコントロールが可能と成り得るかについては、MgOに加え、MgSの効果を検討する必要がある。薄板ではSを下げるのみではだめで、Sを積極的に利用すべき。酸化物を利用したTMCP技術に関しては、この技術は未発達であり、今後、実験を行っていく必要がある。 ・Cuを粒内に閉じ込める速さと表面に濃化する速さは、温度と時間で決まる。1100 の温度と時間のcompositionになる。割れを起こす危険領域を小さくすることが肝要で、1100 ではCuと母相との濡れ性が良いため、Cuは瞬時に粒界に行く。1000 ではCuの濡れ性が良くない。また1300 ではスケールが溶けるので、スケールの融点を下げてCuを閉じ込める必要がある。SiやSiO ₂ は効果がある。 ・日本と比較して、薄スラブで形を創る事に関しては、ヨーロッパは進んでおり、中身の高機能化もその内、進んで、IF鋼の中身も外国に取られる可能性がある。 |

| | | |
|------------|------------------|--|
| 2) 溶解・鑄造技術 | 薄鋼板製造技術の現状と今後の課題 | <ul style="list-style-type: none"> ・薄板において、冷延材と熱延材との表面性状の差は、裸材では異なるが、酸洗すると、ほぼ同じになる。r値は冷延材の方が高い。高純度鋼では、低温熱延を行い、これを冷延に見立てて、巻取り後の自己焼鈍効果によりr値を上げることができる。実機への適用問題はどちらが、生産コストが安いかがである。 ・連続鑄造でコアキルド鋼と類似のものを試作した例はあるが、コストが高くなる。その事例では、普通鋼とステンレス鋼を2本のノズルでそれぞれ時間差をつけて注入して乱原理的には鑄造する2種類の鋼の融点が接近していると分離鑄造が難しい。 ・250mm厚スラブの断面はあまり頻繁には観察されてはいない。スラブ組織を考えて、下工程の研究をやる例は少ない。生産現場では難しいが、研究ではスラブ組織の中身を見て、最初の状態がどのように遺伝しているのかを調べることは重要であり、スラブ断面では柱状晶が残っている場合がある。それを圧延すると柱状晶が板面に並行になるように寝てくるのを観察した事はある。 ・鑄造後と圧延後の比較はほとんど意識されていないので、研究例は少ない。しかし、非常に重要な事である。ストリップキャストの組織に関しても同様の状況。 |
| | 米国におけるミニミル技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・不純物銅、錫の相変態に及ぼす影響は未解明。 ・組織が均一になるのは、凝固時よりは、圧延プロセスにおいて。 ・パンケーキ 粒は再結晶化過程で除去する。 ・生産量としては今後も増大する。銑鋼一環プロセスは減ってきている。 ・従来プロセスより優れている点は100\$/tという価格であり、100\$/tが達成できれば、高炉メーカーもミニミルメーカーに対抗可能である。 |

| | | |
|--|----------------------|--|
| | 自動車用新部品鍛造技術とシミュレーション | <ul style="list-style-type: none"> ・今回のシミュレーションは静的な解法（陰解法）を用いているが、時間が非常にかかり、問題がある。最近では、短時間で結果が出せる動的解法（陽解法）が主流となっている。 ・超微細粒鋼のように高強度で、変形抵抗が大きければ、鍛造金型が持たない。材料特性としては、鍛造時には変形抵抗が小さく、鍛造後に時間が経って硬くなるのが理想。 ・疲労強度の変化を予測するためには、疲労が組織の何によって決まるかをパラメータとして入れる必要があり、現状では使えるものからモデル式を使って予測し、モデルを日々改良しているが、適切なパラメータがないのが現状である。材料屋との連携が必要不可欠。 ・材料と加工の専門家が融合するために、加工屋から見て、r組織が変わると機械的性質はどうなるかといった観点、すなわち組織と機械的性質の関係を理解できる「材料屋」が好ましい。 ・世界的に見て、組織解析と機械的性質のシミュレーションは、未だ緒についたばかり。 ・最終形状と冶金現象を考慮せずにひずみが全て蓄積したと考えた場合に予測した最終形状は異なるのかという観点で比較した事がない。この方式の計算では加工して行くと、体積が無くなるため、計算手法の改良が必要かもしれない。 |
| | 自動車用鉄鋼材料のハイドロフォーミング | <ul style="list-style-type: none"> ・高強度の材料はハイドロフォーミングが難しいとのことだが、どの程度の強度までならば、ハイドロフォーミングが適用できるのかTRIP鋼やDP鋼が既に使用されている。よってかなり高強度であるが、それらは加工時には低降伏応力のため加工が可能である。 ・ハイドロフォーミングで従来のプレスとは異なる変形様式から、どのような加工特性が現れるのか。ハイドロフォーミングの特徴からどのような材料特性あるいは強度特性が最も重要なのか等を明確にすることがハイドロフォーミングの課題。ハイドロフォーミングは総合技術なので、適用部位によって、必要とされる特性がまちまち。 ・肉厚の分布という視点で材料特性が必要か。r値が高いとか、加工硬化が高いと均一になり易いか。偏肉と言う観点から言えば、板材ではかなり良くなってい乱管はこれまで精度が要求されているわけではなかったので、板材に比べて悪い。今後、ハイドロフォーミングを対象として精度向上は期待できる。 |

3.4.4.2 平成 15 年度のまとめ

1)リサイクル・地球環境

スクラップ内の Cu 量が年毎に増加する傾向は、日本および米国で同じであり、今後、Cu 対応が大きな問題となる。その内、表面性状が中心課題である Cu 問題の対策は、銑鉄による希薄化が中心であるが、これはコスト高に繋がる問題がある。また、環境問題では、CO₂ が特に重要であり、排出量削減に向けた研究が重点化している。特に、ヨーロッパにおいて鉄鋼製造プロセスでの二酸化炭素削減問題が大きい。

2)溶解・鑄造技術

250mm 厚スラブの断面はあまり頻繁には観察されてはいない。スラブ組織を考えて、下工程の研究をやる例は少ない。生産現場では難しいが、研究ではスラブ組織の中身を見て、最初の状態を調べることは重要である。特に、TMCP での鑄造後と圧延後の比較は、研究例は少ないが、非常に重要である。ストリップキャストの組織に関しても同様である。

薄スラブ(50mm 厚)鑄造技術において MgO の有効利用による TMCP で微細組織のコントロールについては、MgO に加え、MgS の効果を考慮する必要がある。薄板では S を下げるのみでは駄目で、S を積極的に利用すべきである。酸化物を利用した TMCP 技術に関しては、この技術は未発達であり、今後、検討していく必要がある。また、日本と比較して、薄スラブでの成形に関しては、ヨーロッパは進んでいる。

3)加工・熱処理技術

微細組織制御と機械的性質と一緒に研究を進めていくべきである。成形性の観点から見た微細組織制御も重要。これらを相互関連させ研究を進展させていく体制構築が必要である。また、鉄鋼材料の創製、部品成形などにおける数値シミュレーションの役割について、基礎だけでなく生産設備レベルで、も数値シミュレーションの役割はきわめて重要である。

材料と加工の専門家が融合するためには、加工サイドから見て、「r 組織が変わると機械的性質はどうなるか」といった観点、すなわち組織と機械的性質の関係を理解できる材料研究者」が必要である。

3.4.5 平成 16 年度活動

活動内容

助言評価ワーキンググループを兼ねて、「製鋼プロセス技術の現状と課題 リサイクル鉄利用プロセス技術の新たな展開・提案を目指して」ワークショップを開催した。

3.4.5.1 「製鋼プロセス技術の現状と課題 リサイクル鉄利用プロセス技術の新たな展開・提案を目指して」ワークショップ

上記ワークショップを以下の要項で開催した。質疑応答の中で、今回中心的に報告した凝固プロセス、スクラップ調査についての討論を行った。

開催日時：平成 16 年 12 月 10 日（金）13:30～17:00

開催場所：独立行政法人 物質・材料研究機構 千現地区本館 第一会議室

司会 津崎兼彰（物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター副センター長）

13:30～13:35 開会の挨拶

月橋文孝（東京大学大学院新領域創成科学研究科教授）

要旨：冒頭に 2000 年度から開催されたミレニアムプロジェクトに関して説明された。プロジェクトにおける委員会の意味を含めて説明。本日の WS の講演の概要とともに、循環型社会構築への今後の問題点について言及され、今後のプロジェクトの発展を期して締めくくった。

13:35～14:25 「製鋼プロセス研究の現状と課題」

伊藤公久（早稲田大学理工学部物質開発工学科教授）

要旨：過去から現在における製鋼技術のレビューと今後の研究の方向性について講演された。現在の製鋼技術は既存のプロセスの制約条件の中で行われるため、技術的に大きな変化はみられず、主な課題は、環境負荷低減（フッ化カルシウムを利用しない脱 P、脱 S など）の研究になっているとお話。鉄鋼協会でまとめられたロードマップを軸に、課題やミレニアムプロジェクトの意義、今後求められる基礎学理（特に、界面の取り扱い）に話を展開され、残された問題は、介在物制御と凝固組織制御と言及された。

質疑応答：

Q 小林：不純物を対象とした界面問題への取り組みに関してはどうお考えか？

A：従来のようなミクロンオーダーレベルの問題をそのまま小さいオーダー（ナノレベル）のスケール問題へ適用できないと考えている。その点をしっかり理解して行うべきである。

たとえば、熱力学的計算で、生成核が数原子、などということになると、もはやマクロの熱力学の境界を超えている。ナノレベルでの学問分野の構築が重要。

Q 津崎：マクロで評価した界面問題（核生成理論）とミクロでの観察結果は合致しない、核生成の活性化エネルギー算出の界面エネルギーがわからないと思う。「そうだろう」という研究が大勢であり、定量的に物事を理解することが必要と思って良いか。

A:界面を決定しているスケールの大きさに注意を払うべきである。ミクロなスケールでの問題を扱うべきであっても、マクロで得られた結果を扱ったりと、前提条件をしっかりとしなければならぬ。例えば、ミクロスケールの問題をマクロで定義されている力の釣り合いのみで表現することに無理がある。

Q 花村：2次デンドライトアーム間隔もカオスの要素が多分にある。今後の展開は？

A:凝固理論そのものを考え直す必要がある。駆動力は何かを考える必要がある。過冷度の考え方を見直すことも必要。

14:25~15:15 「鉄鋼スクラップ動向調査報告」

花村年裕（物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター主幹研究員）

要旨：プロジェクトで行った鉄鋼スクラップ動向調査結果（第4章参照）について報告。

質疑応答：

Q：最近のニュースで、電炉メーカーの不純物許容値の件で、鉛の問題が扱われた。許容値はヨーロッパの動向を加味しているか？また、今回の結果におけるCrの分析値について鋼板そのものの値と違ってよいのか？

A:許容値の範囲についてはよくわからない。今回の採取の方法は、表面部を研削しての処理であるので、鉄鋼そのものに入っているCrと思える。

C：脱Cuの問題について。許容値0.4に近づいても、現状希釈しているので、しばらくは問題ない。脱Pが不要だと、今後のスクラップ需要は転炉にも展開できる。この点も含めて脱Cuの検討をして欲しい。

Q：米国の場合は還元鉄を利用して、希釈してCu問題を克服している。還元鉄の値段はどうなのか？今後の我が国の動向としての考えは？

A：現在、ステンレスのスクラップによってNiが入ることでCu問題を克服できていると思う。将来的には還元鉄の利用が重要と思える。

Q：形鋼屑にはCuが多い理由は何か？地域別に調べた意図も教えて欲しい。

A：中部地区には自動車メーカーが多いなどメーカーに地域性があるので、スクラップにも地域性があることを確認したかった。形鋼屑は、電炉鋼で作られており、形鋼屑そのもののCuの許容量が多いので、それが反映されていると思う。

A：津崎：採取した形鋼屑が高炉鋼から作られたものを採取したならば、Cuの量は低いはず。採取した鋼材が高炉鋼生まれなのか？電炉鋼生まれなのか？でかなり違う。

Q：耐候性鋼は Cu が多いはずである。高炉鋼製品は Cu が少ないとは言い切れないのではないか？

A 津崎：採取されたものがいつ作られたものなのかについても知る必要がある。

C：配布資料 p.13 に関して 今回調査した合金で見ると、Sn は今後利用されない。しかし、他の組成は特性向上のために利用されている。今後の鉄鋼創製に関しては、理想は溶鋼内の不純物量を常に一定にされているなどの仕掛け（工夫）が必要である。

15:30～16:20

「不純物活用リサイクル鉄製造プロセスにおける急速凝固・冷却の利用」

小林能直（物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター研究員）

要旨：まず、プロジェクトの背景と目的、進捗を説明。これまでの上工程研究のレビュー、まとめとして、スラップ鉄を前提とした固相冷却過程を利用したプロセス設計の提案を行う。薄スラブ CC を模擬した NIMS シミュレータについても紹介。

16:20～16:55 総合討論

質疑応答：

C 津崎：凝固組織やひずみ分布などをしっかり見ることが重要。

C：古典的成長モデルにおける前提条件を忘れてはいけない。例えば、モデルは円、粒は丸ではない。そのような相違をよく理解して今後の研究を進めて欲しい。強化機構の問題で使用した式もそうである。この式では、第2相の粒径が小さく、1ミクロン以下だと負に作用する式になっている。マイナス無限大になるような式が大勢であるが、今後は析出物がナノレベルで制御されるとこれまでの式がそのまま利用できないことになる。その点を十分注意して欲しい。

C 津崎：信頼できる界面エネルギーをどのように得るのか？実験で把握できないパラメータを精度の良いシミュレーションで予測することも必要である。

C 長井：さらに早い冷却速度の場合の粒径変化を今後進めて議論を行いたい。

C 伊藤：粒径と冷却速度の関係データを明確にしたことに意味がある。利用した式そのものに意味はない。精度の高い実験データの蓄積から、式を展開すればよい。また、そこから界面エネルギーが「このようになる」ということを示唆できれば良い。これまでのように、とにかく古典理論を利用して正值にするところに無理がある。モデル計算でも、形だけでなくスケールや実時間を考慮したモデルの構築が必要である。すなわち、「形が一致したから OK」という定性的なものではなく、定量的に示すことが今後重要である。

C：企業の見地からの意見として気になる点は、日本の製造工程が確立していると判断されている中での薄スラブの意義である。ユーザーの目が厳しい、特に表面性状の問題が一番重要な研究テーマである。鑄造組織の微細化が表面性状に影響を与えるかどうかを検討

して欲しい。現在のスラブでは3 mm くらいの凝固組織であり、溶融亜鉛メッキ時に時折 mm オーダーの模様が目で見える。これは凝固組織に対応している可能性がある。また、酸化膜の形態や中心偏析の形態なども調べるべきである。また、ある書物には100年前には板を折りたたんで圧延していた。これを剥がすと表面荒れが酷い場合があり、これは酸化膜の問題として考えられ、Si と P を増やすことで問題を回避してきたと述べられている。これが本当かどうかを調べた研究は見たことがない。これらの表面性状への影響なども調べて欲しい。また、S が表面に濃化するとスケールがはがれやすくなる事実もある。表面性状に関する情報を提示することで企業は関心を持つはずである。また、日本の製造設備は完成されている。どの分野に利用されるのかなどのプロセスデザインも示して欲しい。お願いだが、表面性状の問題を行うことを考えて、今お持ちのサンプルを捨てないで後で調べて欲しい。

C 津崎：急冷凝固での表面性状にも注目するべきである。

C：不純物が利用できることが分かったのは、たいへん望ましい。ほめすぎか。各社が欲しい物は、現ラインで対応可能なもの。あとはやはり、表面問題。表面がどうなっているかを調べて欲しい。酸化膜についてなど。ガードレールは、強度、延性など国交省の厳しい基準をクリアしているものであり、いわゆるざっぱがねではない。もう少し、展示物について気をつけて欲しい。現場サイドとしてコスト問題が 製品の品質の高級化に対して、ストリップカスターを利用することも視野に入れられる非常にいいプロジェクトだと感じた。

C 津崎：産学官の連携について考える場合、学から教科書に無い理論や現象を明らかにすることが必要である。このときには、信頼できるデータを示すことが重要。また、学や官では、実用化できない。実用化するためには、企業サイドとの連携が不可避である。よって、今回のように企業サイドからの意見が重要であり、その意見を真摯に受け止めることも重要である。

C：製造メーカーの視点から言うと、日本では特に見た目が非常に重要視されている。今後のクオリティを考えた場合、さらに上を目指すのか、それとも種々選択があっても良いと思う。

C：ストリップままでのばらつきの原因は何かと考えるか？焼鈍するとばらつきは改善されたのか？

A 小林：もともと完全に制御された条件の下での創製材ではないためと考える。バラつきがかなりあり、いいものを取って比較した、というのが実情。このりん入り材の結果に勇気を得て、600 幅のストリップでも進めたということ。

C：鋳物のため欠陥はあって当然である。これを圧延すればばらつきはなくなると考えている。

3.5 まとめ

「循環型社会研究検討委員会」および「自動車および家電に関するリサイクル材料技術」研究評価調査委員会において、研究の方針付け、実施にあたっての助言、研究結果に関するピアレビューを行うことにより、本研究プロジェクトは円滑に推進され、所期の目的をよく達成することができた。

定期的に関催したワークショップでは、広く内外に研究進捗状況報告を行うとともに、本プロジェクト関連話題のみならず、材料創製から評価まで、各方面からの材料技術に関するご講演をいただき、ここで得た知見をもとに、多面的に、本プロジェクトを技術課題を検討し役立てることができた。

本プロジェクトにより得られた研究成果は、リサイクル材活用を主眼とした材料技術開発に大きく貢献し、資源循環型社会構築へ向けての社会的意義は大きいと考えられ、今後、本分野研究のますますの発展が期待される。

4 . 調査研究・成果利用

4.1 はじめに

本プロジェクトを真に資源循環型社会の構築に資する研究として推進していくためには、単に技術的課題に関する基礎研究のみならず、社会的背景や時代の要請、回生材資源の動向、材料創製産業の状況、エンドユーザーの要求、現行の技術、課題などを十分に把握した上での取り組みが重要となることが、研究評価調査委員会などで助言された。それを受けて、本プロジェクトでは、回生材資源として想定しているスクラップ鉄中の不純物の動向、鉄回生プロセスを構築した場合のエネルギー、環境負荷、コストの調査を行うとともに、国内の素材メーカー、装置産業、エンドユーザーへのヒアリング、海外の鉄鋼製造技術の動向の調査などを行った。

また、研究成果を広く内外に周知するために、ワークショップ開催のみならず、電子媒体などでの配信、意見交換などが重要との助言を受け、早期からプロジェクト用ホームページの開設、研究成果などを関係者各位に配信するためのEメールニュースの発刊を行った。

本章では、これら調査活動、成果利用について概括する。

4.2 スクラップ鉄中不純物の動向調査

[1] 調査研究の目的

近年、循環型社会構築への意識の高まりに伴い、鉄スクラップのリサイクルについても見直しが一層強く求められており、超鉄鋼研究センターでミレニアムプロジェクト「リサイクル鉄の超鉄鋼化研究」が行われ、混ざってくる不純物を積極的に利用して再生材の高性能化を図るための挑戦をしている。

この研究を進めるに当たり、スクラップ中の不純物の状況を把握することは不可欠であり、本調査においては、平成 14、15 年度に渡り、鉄屑処理工場から各種スクラップの提供を受けその成分分析を行い、スクラップ中の不純物含有率の現状について精度を高め、且つ時系列的に明らかにすることを目的とした。

[2] 調査研究成果の目標

2.1 鉄スクラップの不純物含有率調査の全体

平成 14、15 年度の連続した調査を行ったが、特に平成 15 年度では、平成 14 年度に対し、以下のように調査範囲を拡大し普遍的なデータとした。

(1) スクラップの収集地域の拡大

関東地区（平成 14 年度） 関東地区、関西地区、中部地区（平成 15 年度）

(2) スクラップの分析成分の拡大

P、S、Cu、Sn の 4 成分（平成 14 年度） P、S、Cu、Sn、Ni、Cr の 6 成分（平成 15 年度）

(3) プレス/A（自動車ボディー）の不純物含有率のデータ信頼性の拡大

プレス/A（平成 14 年度） プレス/サイロ（平成 15 年度）

2.2 鉄スクラップの不純物含有率の実分析

収集した鉄スクラップからドリルにより切粉を採取し、化学分析を行った。

[3] 鉄スクラップの不純物含有率の実分析結果

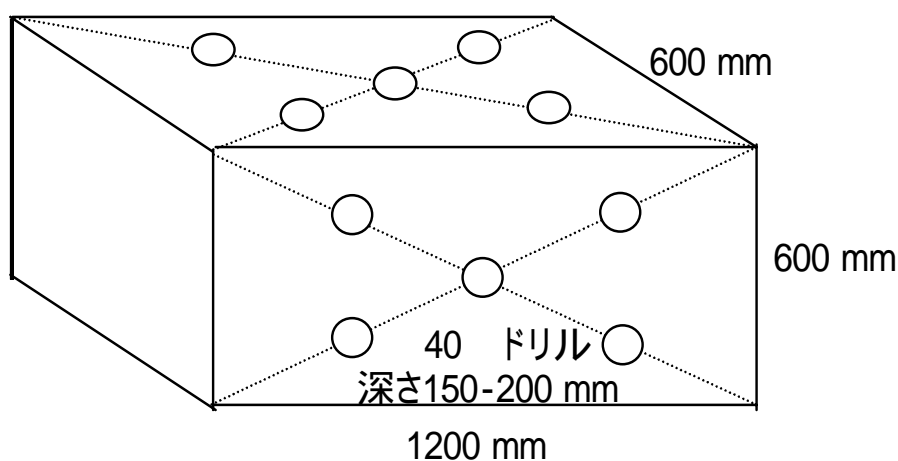
3.1 鉄スクラップの収集状況

関東地区においては、関東地区にある鉄屑処理工場の数箇所（同じ工場でも 6 種類の品種 / 等級の鉄スクラップが集まるとは限らないので）をトラックで訪問し、6 種類の品種 / 等級の鉄スクラップを収集した。また、関西地区・中部地区においては、各地区にある 3 箇所ずつの鉄屑処理工場数を訪問し、収集する鉄スクラップを指定し、それらの鉄スクラップを送付することで、収集を行った。

| 品種 / 等級 | 関東地区 | | 関西地区 | | 中部地区 | |
|--|----------|----|----------|----|----------|----|
| | 個/ 箇所 | 箇所 | 個/ 箇所 | 箇所 | 個/ 箇所 | 箇所 |
| ハビ- / H2(形鋼) | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| ハビ- / H2(丸鋼) | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| プレス / サイロ(自動車ボディー) | 1 | 1 | | 0 | | 0 |
| プレス / CS(飲料缶) | 3 | 1 | | 0 | | 0 |
| シュレッダ- / AS(自動車ボディー) | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| 新断 / プレス A(表面処理無し薄鋼板 で酸化無し) or B(表面処理薄鋼板) | 3 | 1 | | 0 | | 0 |

3.2 鉄スクラップの化学分析

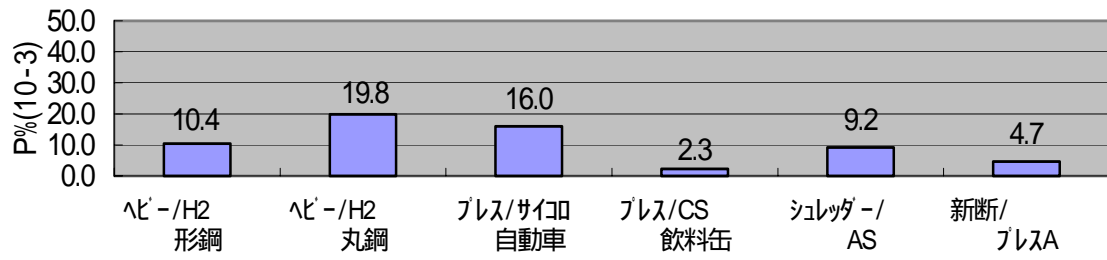
各スクラップの錆びや塗料を研磨により除いた後に、ドリルにより切り粉を採取し、鉄スクラップの不純物含有率(P、S、Cu、Sn、Ni、Crの6元素)の実分析を行った。尚、プレス / サイロ(自動車ボディー)については、サイロスクラップ(重量約500kg)を自動車解体業者から購入し、長手方向の4面において対角線の1/2と1/4の5箇所/面 x 4面 = 20箇所、40 mm のドリルでそれぞれの箇所に深さ150~200 mmの孔を明け、切り粉を集め、その切り粉の全量(約15 kg)を溶解し、冷やした後に再びドリルにより切り粉を採取し、鉄スクラップの不純物含有率(P、S、Cu、Sn、Ni、Crの6元素)の実分析(化学分析)を行った。



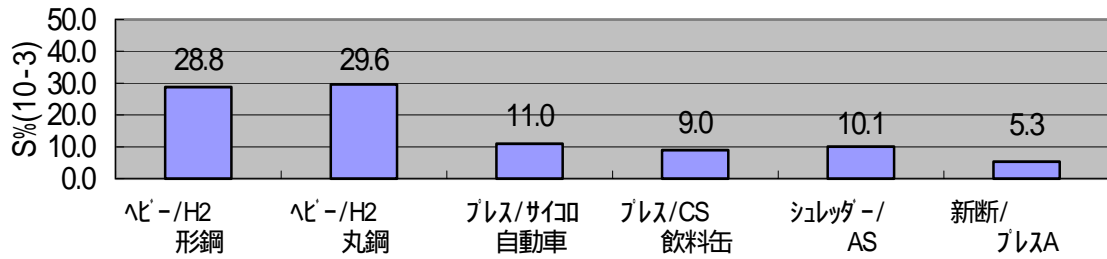
3.3 鉄スクラップ不純物含有率の実分析結果のまとめ

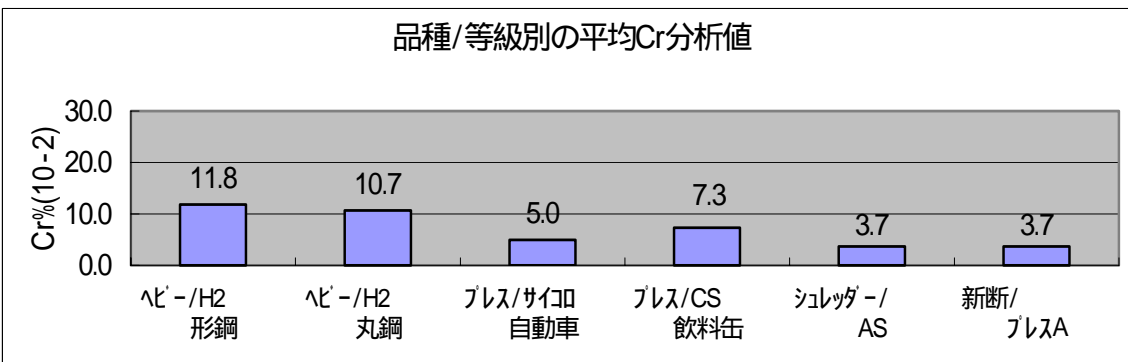
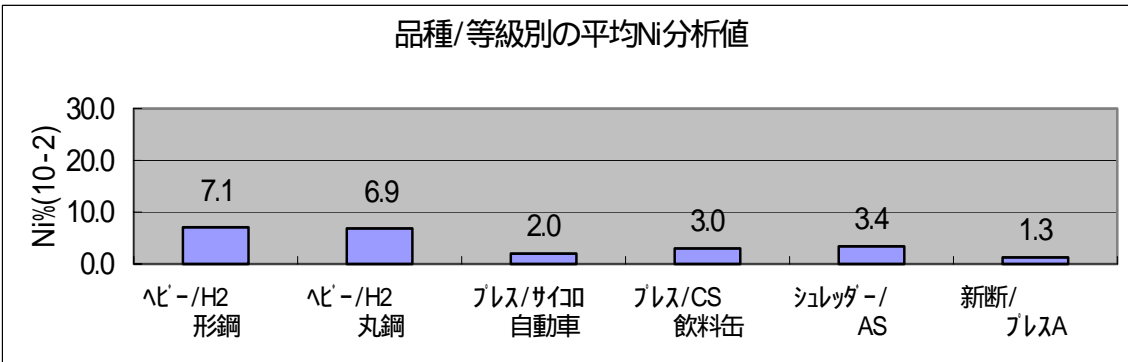
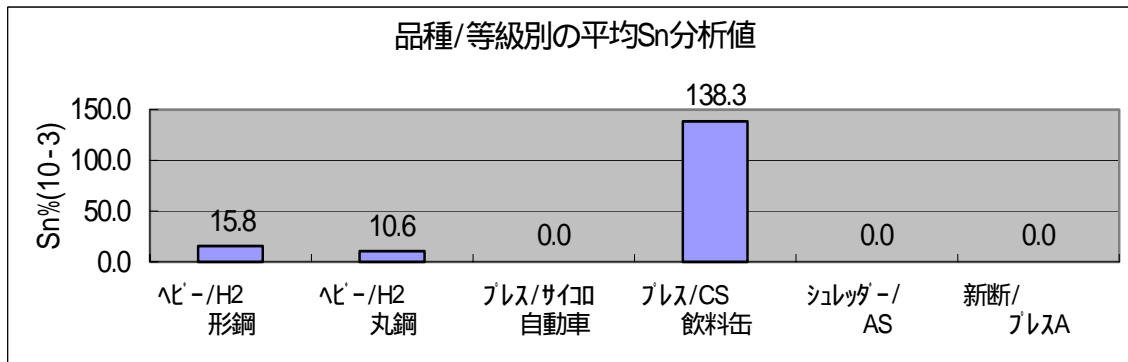
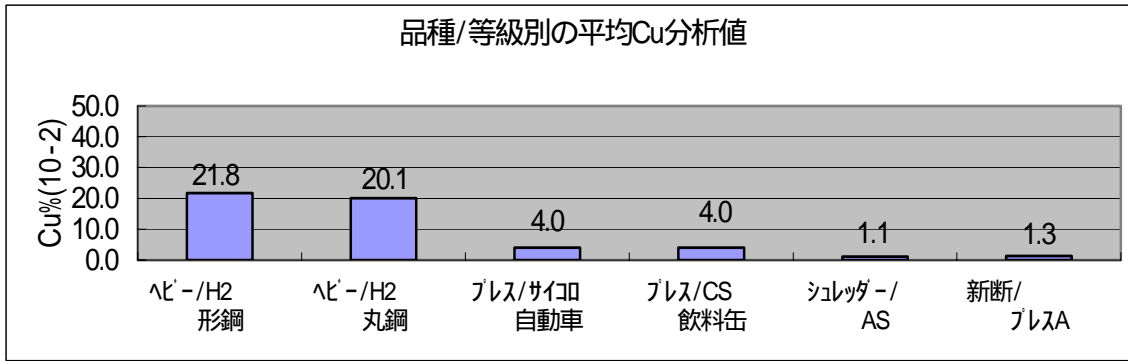
| 品種/ 等級 | 詳細 品種 | 分析 個数 | 分析値 (Wt%) の平均値 | | | | | |
|-------------------|------------------------|----------|----------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| | | | P | S | Cu | Sn | Ni | Cr |
| ハビ- /H2 | 形 鋼 屑 | 9 | 0.0104 | 0.0288 | 0.218 | 0.0158 | 0.071 | 0.118 |
| ハビ- /H2 | 丸 鋼 屑 | 9 | 0.0198 | 0.0296 | 0.201 | 0.0106 | 0.069 | 0.107 |
| プレス /サイロ | 自 動 車 ボ デ ィ ー | 1 | 0.016 | 0.011 | 0.04 | 0 | 0.02 | 0.05 |
| プレス /CS | 飲 料 缶 屑 | 3 | 0.0023 | 0.009 | 0.04 | 0.1383 | 0.03 | 0.073 |
| シュレツ ター /AS | 自 動 車 ボ デ ィ ー | 9 | 0.0092 | 0.0101 | 0.011 | 0 | 0.034 | 0.037 |
| 新断 /プレス A | 薄 板 屑 | 3 | 0.0047 | 0.0053 | 0.013 | 0 | 0.013 | 0.037 |

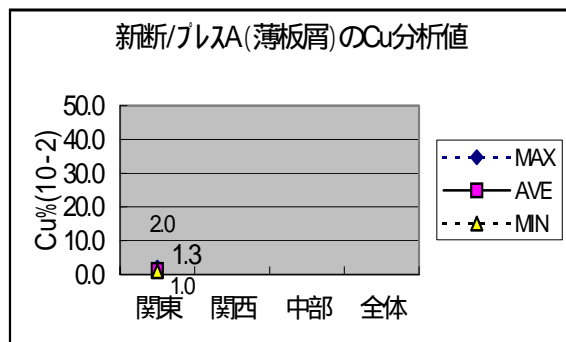
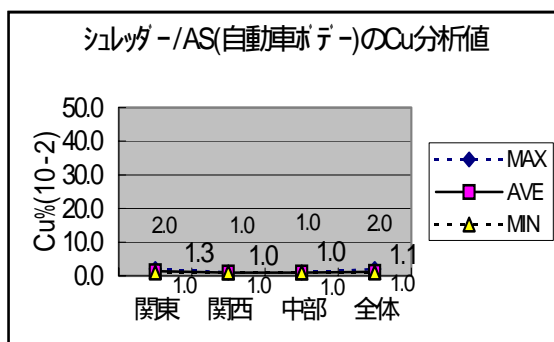
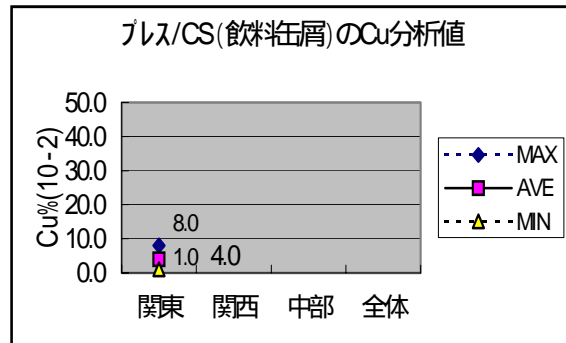
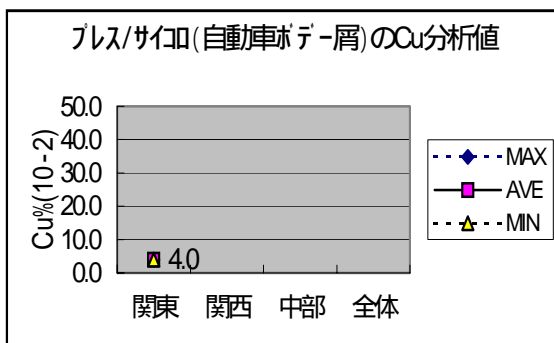
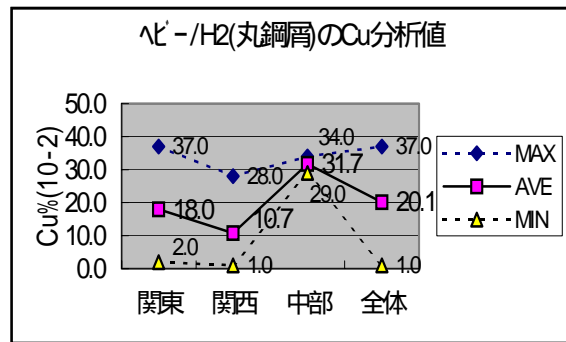
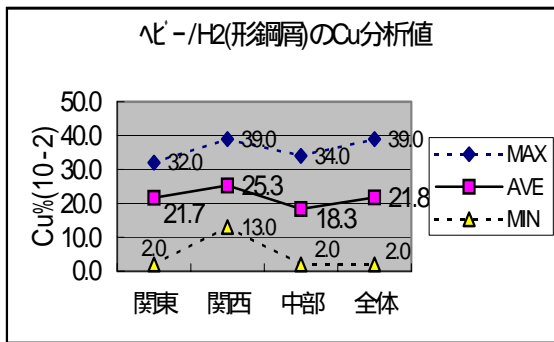
品種/等級別の平均P分析値



品種/等級別の平均S分析値







平成 15 年度の調査においては、スクラップの収集地域の拡大により、平成 14 年度に行った関東地区地以外に、関西地区と中部地区からもスクラップを収集し実分析を行った。区毎の特徴が現れる可能性が考えられたが、全体的に見ると大きな差は出ていないようである。スクラップのある品種 / 等級である地区が高い値を示している場合もあれば、他の品種 / 等級では他の地区で高い値を示している場合が見られる。

平成 15 年度の調査においては、スクラップの分析成分の拡大により、平成 14 年度に行った P、S、Cu、Sn の 4 成分以外に、Ni、Cr の 2 成分についても全てのスクラップにおいて実分析を行った。この調査により、各品種 / 等級毎の Ni、Cr の成分レベルを把握することができた。また、平均の Ni、Cr 値でみると、ㄐビ-/H2 (形鋼屑、丸鋼屑) は他の品種 / 等級に比べ、少し高い値を示した。また Cr 値において、プレス / CS (飲料缶屑) は

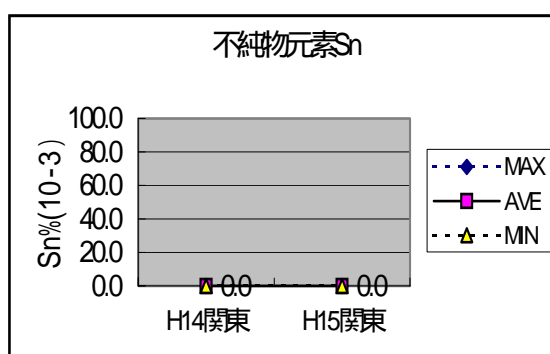
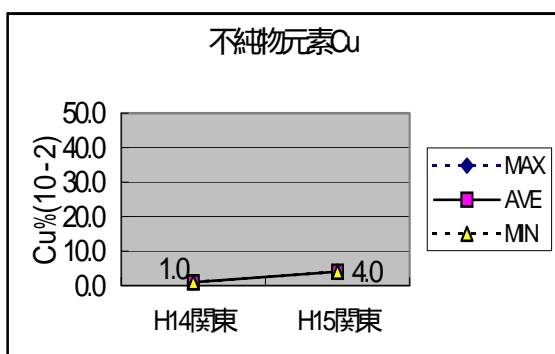
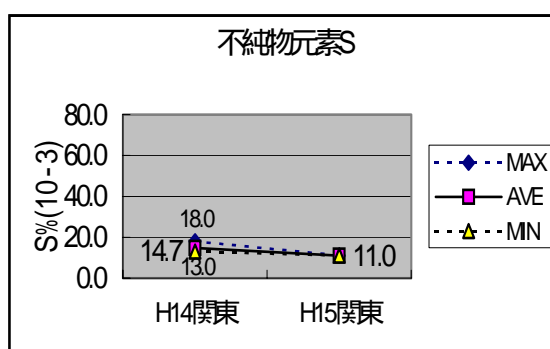
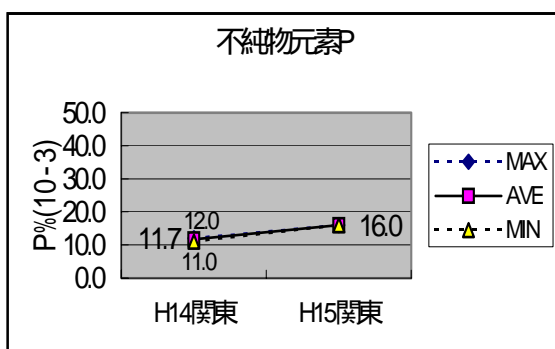
ベ- / H2 ほどではないが、それに次いで高い値を示した。また、今回の調査においては、プレス / A (自動車ボディー) の不純物含有率のデータ信頼性の拡大を図る目的で、プレス / サイロ (自動車ボディー屑、1個、約 500kg) の 20 箇所にドリルで孔を明け、その切り粉を全て溶解し、その塊から再びドリルにて切り粉を採取し実分析を行った。このやり方によって、スクラップの Cu 値を求めることができるかを見た。

[4] 平成 14 年度、15 年度鉄スクラップ不純物含有率の時系列的推移

4.1 鉄スクラップ不純物含有率の時系列的推移のまとめ

プレス / A (自動車ボディー) の不純物含有率の時系列的推移

| 品 種 / 等級 | 詳細 品 種 | 採取 場 所 | | 分析値 (Wt%) | | | |
|-------------|--------------|-----------------|-----|-----------|--------|------|----|
| | | | | P | S | Cu | Sn |
| プレス/ A | 自動車 ボ ディー | H14 年度 関東 | MAX | 0.012 | 0.018 | 0.01 | 0 |
| | | | AVE | 0.0117 | 0.0147 | 0.01 | 0 |
| | | | MIN | 0.011 | 0.013 | 0.01 | 0 |
| | | H15 年度 関東 | MAX | 0.016 | 0.011 | 0.04 | 0 |
| | | | AVE | 0.016 | 0.011 | 0.04 | 0 |
| | | | MIN | 0.016 | 0.011 | 0.04 | 0 |



注：平成 14 年度のデータは、自動車ボディーのプレスしたものの中、どちらかと言うとボディーの鉄板からの切り粉の分析値である。平成 15 年度のデータ数は N=1 であるが、サイロスクラップの 20 箇所からの切り粉を溶解した塊の分析値である。

各品種 / 等級毎の各成分の時系列的推移を全体的に見た時、大きな変化は現れていない。この中で、プレス / CS (飲料缶屑) の Sn 値のみが、平成 15 年度のデータで平成 14 年度に比べ非常に大きな値を示した。近年では、飲料缶用などに TFS (Tin free steel) の使用が普及しつつあり、「錫メッキ鋼板」の使用割合が低下してきていることを考慮すると、平成 15 年度の調査で収集した飲料缶屑で高い Sn 値を示したことは、「錫メッキ鋼板」が未だ使用され、収集した 3 個のスクラップのうち 2 個が、「錫メッキ鋼板」を使用したものであったと言える。

4.2 プレス / A (自動車ボディー屑) の Cu 値の推移

今回の調査では、サイロスクラップを使用して実分析を行った。その Cu 値の結果は以下である。

| | Cu%(10-2)平均値 | |
|-----------------------|--------------|------------------------|
| | 平成 14 年度 | 平成 15 年度 (サイロスクラップ) |
| プレス / A (自動車ボディー屑) | 1.0 | 4.0 |

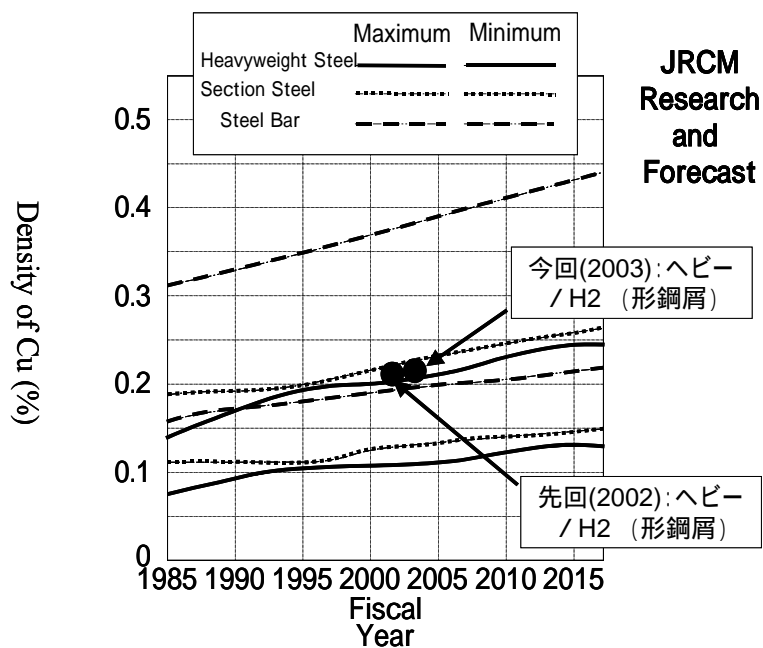
参考として、シュレッダー/AS(自動車ボディー屑)と新断/プレスA(薄板屑)のCu値も以下に示す。

| | Cu%(10-2)平均値 | |
|-------------------------|--------------|----------------------|
| | 平成14年度 | 平成15年度 (サイロスクラップ) |
| シュレッダー/AS (自動車ボディー屑) | 1.7 | 1.1 |
| 新断/プレスA(薄板屑) | 1.0 | 1.3 |

以上より、今回の調査でサイロスクラップを使用して実分析を行った結果として、今回の調査のCu値は平成14年度のCu値および同じような品種/等級のスクラップのCu値に対し高い値を示している。

一方、財団法人 金属系材料研究開発センター (JRCM) は、「平成15年度環境問題対策調査等委託費(自動車リサイクルに係る処理技術等の調査)」で、使用済み自動車で通常の解体作業を行いモーターやハーネス類を除去したサイロスクラップを、電気炉を持つ製鉄会社の協力を得て溶解し、サイロスクラップのCu値を求めている。その結果でのCu値は、今回調査のCu値の約10倍となっている。

また、JRCMがまとめたスクラップ中のCu濃度の年度推移に本報告データをプロットすると次のグラフに示すように、MaximumからMinimumの幅の中で、Maximum側に傾向の相関性が認められ、今後のスクラップ中のCu増加における将来予測の妥当性が推定される。



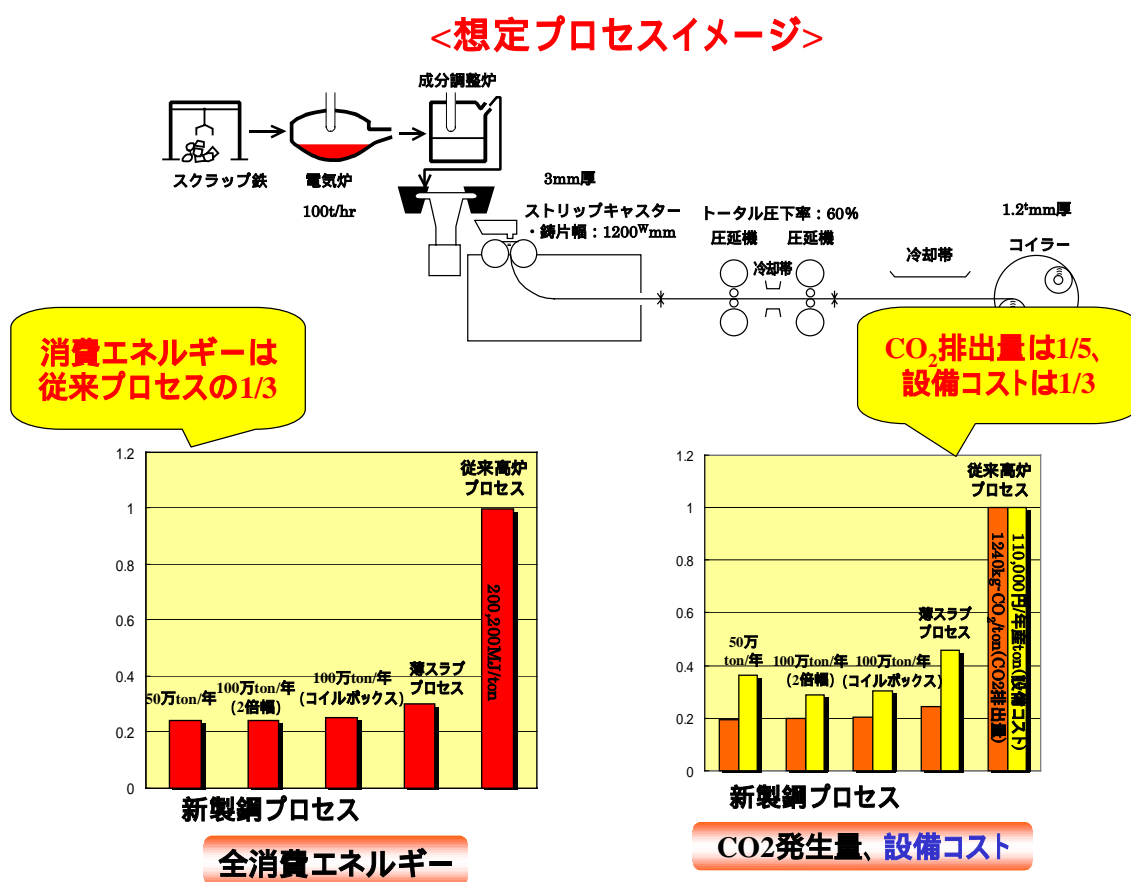
[5] まとめ

- 1)地域ごとの比較では、全体的に見ると大きな差は出ていない。
- 2)スクラップのある品種 / 等級で、ある地域が高い値を示しており、他の品種 / 等級では他の地域が高い値を示している。
- 3)各品種 / 等級毎の各成分の平成 14、15 年度時系列的推移を全体的に見た時、大きな変化は現れていない。
- 4)平成 15 年度の調査ではスクラップの分析成分の拡大により、平成 14 年度に行った P、S、Cu、Sn の 4 成分以外に、Ni、Cr の 2 成分についても全てのスクラップにおいて実分析を行い、品種別 / 等級毎の Ni、Cr レベルを把握することができた。
- 5)平均の Ni、Cr 値で見ると $\text{H}^{\circ} - / \text{H}2$ (形鋼屑、丸鋼屑) は他の品種 / 等級に比べ、高い値を示した。
- 6)Cr 値においてプレス / CS (飲料缶屑) は $\text{H}^{\circ} - / \text{H}2$ ほどではないが、それに次いで高い値を示した。
- 7)JRCCM がまとめたスクラップ中の Cu 濃度の推移予測に対し、本データとの傾向の相関性が認められ、将来予測の妥当性が確認された。

4.3 薄板材製造プロセスの調査・解析

本プロジェクトでは、不純物を有効利用することを念頭に、従来よりも急速な凝固、冷却が可能である薄スラブプロセスやストリップキャストプロセスの適用を、一つの実施方法の案として考えている。

そこで、鉄回生プロセスの一つとして、薄スラブプロセスやストリップキャストプロセスを用いてリサイクル鉄製造プロセスを構築した場合の経済性、エネルギー消費、環境負荷としてCO₂排出量の試算、調査、評価を行った。



既存技術との比較を行った結果、上記の図のように、想定プロセス（電炉、ストリップキャストプロセス）は消費エネルギー、CO₂排出量、設備コストともに 従来プロセス（高炉、スラブ圧延プロセス）より小さく、循環型社会構築の上で妥当性があることがわかった。

4.4 国内企業訪問

本プロジェクトを推進するにあたり、国内素材製造プロセス技術の動向、現状を把握し、適切な技術要素研究課題を抽出するために、国内各社を訪問し、見学、プロジェクトの説明、意見交換などをさせていただいた。

| 訪問日時 | 訪問先 | 目的 |
|-----------|-------------------|---|
| 2002.2.6 | 住友金属工業 総合技術研究所 | NIMS におけるプロジェクト研究の説明 圧延試験機、溶解鑄造試験場の見学 共同研究へ向けての説明、討論 |
| 2002.2.17 | 王子製鉄 群馬工場 | 平鋼製造プロセスの見学 平鋼材質の検討 クロス圧延効果の説明 |
| 2002.2.20 | 株式会社 中山製鋼所 | NFG(Nakayama-Fine-Grain 鋼)創製の新熱延 ミルなどの見学 NIMS における超鉄鋼・微細粒鋼研究の紹介 |
| 2002.2.21 | 住友金属 関西製造所 | 部品産業の現場製造と材料技術の調査 NIMS における鉄鋼研究活動の PR |
| 2002.2.28 | 大同特殊鋼 知多工場 | スクラップ原料を実使用している特殊鋼工場の 見学 NIMS 成果の開示報告 |
| 2002.3.1 | 愛知製鋼株式会社 | 知多工場内の棒線圧延工場、鍛造工場の見学 NIMS における超鉄鋼・微細粒鋼研究の紹介 |
| 2002.3.7 | 上越マテリアル | 連続鑄造および部品製作の工程を見学 銅合金のリサイクル問題を主に技術討議 NIMS のプロジェクト研究紹介 PR |
| 2002.3.8 | 株式会社 住友金属直江津 | ステンレス鋼製造プロセス（ほぼ全工程）の 見学 NIMS におけるプロジェクト研究の説明 |
| 2002.3.11 | トヨタ自動車株式会社 | NIMS におけるプロジェクト研究の説明及び 情報交換 |

| | | |
|------------|------------|-----------------------|
| | | 自動車製造ラインの見学 |
| 2004.3.3 | 住友金属株式会社 | 連铸設備の見学 |
| 2004.5.20 | 王子製鉄株式会社 | 原料配合から圧延にいたる一貫製造ライン見学 |
| 2004.7.8 | 株式会社日本製鋼所 | 鍛造技術及び大型鍛造製品に関する調査と見学 |
| 2004.10.6 | 鈴木金属工業株式会社 | 細線製造工程見学 |
| 2004.10.28 | 住友金属株式会社 | 凝固研究交流会 |
| 2004.12.9 | 大同特殊鋼株式会社 | 知多線材圧延工場の見学 |
| 2004.12.13 | 株式会社中山製鋼所 | 棒線ライン工場見学 |

各材料についての原料管理、素材、部材の創製プロセス、工夫された技術、検討している課題などに触れさせていただき、プロジェクト研究の各段階における研究課題抽出に反映させていただいた。また、共通する検討課題などについて、現在も交流をさせていただいている。

4.5 海外調査

海外の鉄製造プロセスの現状を調査するために、米国、ドイツを訪問し、ミニミルメーカーや、大学、研究機関においてヒアリングを行った。本調査活動の報告を以下に記す。

4.5.1 米国ミニミル調査

[1]Nucor 全体の概観

米国一位の大鉄鋼製造であり、年間売上\$41 億以上を誇る。Nucor 全体の年間鉄鋼生産量は 1200 万 t であり、米国最大のリサイクル業者として、1300 万 t/年のリサイクル材を消費する。従業員は 9800 人以上であり、14 箇所で操業を行っている。場所は Indiana、Arkansas、South Carolina、Alabama 他、多々米国内に広がっている。製造鋼材は炭素鋼、合金鋼、棒、薄板、厚板等である。

会社の前身は Olds mobile と Reo Motor Cars を創立した自動車製造会社 Ransom E. Olds であり、幾多の変遷を経て会社 Olds は the Nuclear Corporation of America になった。Nuclear Corporation は 1950 年代と 1960 年代の原子力関係機器、電気機器メーカーとなった。1964 年に倒産に直面し、社長に F Kenneth Iverson を、副社長に Samuel Siegel を迎えた。その後、薄スラブ鑄造の革新が起こり、Nucor は西ドイツで開発した技術を商品化する最初の「ミニミル」となった。

[2]NUCOR/Hertford(Danieli:102 ~ 152mmCaster,Plate)

場所:1505 River Road, Cofield, North Carolina 27922

訪問日:3/17/04 Wed.

a)歴史

1998 年 6 月 Hertford County, North Carolina における新製鉄所建設計画を発表し、Nucor において重機械、鉄道、船舶、屋形船、精製[鍊]所タンク用の、厚板鋼製造の最初の製鉄所となった。2000 年 10 月に鑄造・圧延開始し、操業開始から製造に成功し、高級鋼飯の製造を続けている。

b)従業員数

400 人の従業員で労働条件として、2 交代制、12 時間/日労働、2 日労働 - 2 日休日の繰り返しを行っている。

c)年間生産量

120 万 t(Home Page から)。

d)製品

製造品は厚板の 40-70kg 級のものであり、組織はフェライト、ベイナイト、用途は橋梁、自動車、貯蔵タンク(低圧)、建築用(40-50mmt、60kg/mm²)、クレーンビーム等である。x70-x80(将来のラインパイプ鋼材開発のターゲット)は国内向けであり、テキサス等に出荷されている。国内においては、ベセレヘム高炉メーカーと競争し、36 インチ大径管は高炉、小径管は Nucor の棲み分けを行っている。

e)CC(ContinuousCaster)設備関係技術

電気炉 1 基あたり、250t、LF2 基であり、各々170t の 1 キャスティングラインをもち、年産 100 万トンであり、大変効率的な操業を行っている。LF(LadleFumace)中の温度は約 1600 である。温度は全て華氏で表しており、この場合、2900F°と表示されている。電気炉で CaO、酸素で精錬し、LF では Al で脱酸する。20%は Si-Mn 脱酸を行う。

CC は Danieli 製 150mm(6inch)厚、漏斗状の鑄型であり、1 スtrand、2 タンディッシュ、2 ターレットである。スラブは酸素ジェットで溶断する。1 基のリバースロールで今回は 11 パス、95mm(3.75inch)まで落としていた。5 mm(2 inch)まで落とすことができるということである。

創製したスラブは、再加熱して圧延する。特に、モールドパウダーは伝熱が低いことが重要ある。

CC 設備はもともとインゴットとしていいものを作れるような炭素濃度で設定されていたので、思想をかえないと薄スラブ鑄造には難しい。組織制御はプロセス制御+マイクロアロイで行い、熱延制御因子が少ないため、マイクロアロイ依存度が高い。これにより、高 Cu 材でも表層割れが無い。尚、冷却により AIN の生成を促進し、このピン止め効果により、微細化に寄与する。但し、いずれも組織観察例が無い。

f)鉄源・スクラップ問題

フェロ使用割合は総生産量の 1/10000 弱である(日本各製鉄所では 1/10000 が標準)。

鉄源は 90%以上がスクラップ鉄であり、還元鉄も鉄源として使用し、Armco などより入手する。また、NIMS から報告したスクラップ内の Cu 量が、年が経つに連れ増加する傾向は、米国でも同じとのことである。今後、Cu 対応が大きな問題となると考えているとのことである。

g)技術課題

米国内で Integrated Mill が今後存続するのは難しいとのことである。理由は、コークス処理炉の公害、CO₂発生量の問題に対して、米国国民は高炉の存続を許容しないであろうことによる。

h)その他

通常のコイル工場と異なり、必ずしも近くにユーザーがいる訳ではない。ここは150mm厚中心であり、用途が大きく、50mm厚の薄板コイルとは状況が異なる。

[3]NUCOR/Hickman Hot Coil(SMS-CSP)

場所:7301ECountryRoad142,Blytheville,AR72315

訪問日:3/18/04 Thurs.

a)歴史

歴史は古く、1992年創設で、1992年より製造を開始している。スクラップ年間使用量は200万tで、ミシシッピ川の優位な位置に占め、米国内の種々の地域に、船、トラックで商品を配送している。1999年に冷延設備を導入し、Pickled & Oiled, Cold Rolled Full HardandFully Processed, and Hot Dipped Galvanizedを製造材のリストに追加している。

b)従業員数

550人の従業員で、労使関係については、訪問当日は、社長がコックになり、ランチ時間に社員にハンバーグ、ホットドッグを焼き、serveしていた。定期的にこうした社長と社員の交流があるとのことである。

c)年間生産量

120万t(HomePageから)。

d)製品

熱延、冷延、表面処理鋼板が中心で、NucorHickmanの圧延ミルでは.060-0.625インチ(0.15-1.59cm)厚、幅36-64インチ(91.4-162.5cm)の熱延鋼板を供給可能である。薄板熱間圧延材、冷間圧延材、燐酸処理冷間圧延焼鈍材、hot-dipgalvanized材を製造している。

50mm厚スラブから5-8mm熱延材に仕上げている(参考:クアラランプールにあるCSPでは1.2mm熱延材を対象)。

プロパンボンベ材料(5mm厚)、熱延、冷延、めっき鋼板も対象であり、最大板厚は16mm、Gradeは80X、Lowerstrengthensteelsでは55X-levelである。C量範囲は0.05C,0.3Cであり、用途はPowertrain(自動車の変速機構部分)等である。表面性状の問題から、自動車用外板製造はしていない(ただし、スクールバス外板はあり)が、家電用鋼板も用途となっている。製品比率では55%がHR,10%がCR,10%がPickletreated、25%がGalvanizingとなっている。

e)CC 設備関係技術

Funnel 方式の薄スラブ CC であり、50mm(2inch)での鑄造を行い、正に TSC(Thin Slab Casting)そのものである。電気炉 2 基、LF 3 基、キャスト 2 ラインを有する。LF(Ladle Furnace)では、Al 脱酸、合金調整を行う。CC は Vertical Bending 方式であり、従来型 CC が機端で凝固するのと大違いである。2nd ラインはトンネル炉がある。0.015%P まで精錬し、S はシングル ppm から分析限界以下まで落としている。

f)スクラップ問題

Cu 問題については銑鉄で薄め、希薄化するが、コスト高に繋がる。Cu の問題は表面性状が中心のため、高 Cu だと表面割れの問題が出るが、現在の設備では、対応可能である。DRI(還元鉄)も使用している。

Galvanealing の経験は無いため、これに対し、Cu の問題があるかどうかは不明である。

P は問題としていなく、製品中の P 濃度は 0.008%程度であり、銑鉄中には 0.3%P 存在する。また、酸素ブローイングで脱 P が可能である。スクラップと銑鉄を混合した 0.05 ~ 0.08%P レベルを精錬により 0.008 ~ 0.015%P に低減している。

S は Ca ワイヤフィーディングにより 0.003%S に低減する。

冷延の後は、表面割れは抑制することが必要である。

g)技術課題

DP(DualPhase)鋼は 60kg/mm² 級までは開発済みである。TRIP(Transformation-Induced Plasticity)鋼製造プロセスが今後の課題である。低 C 材では中心偏析問題は無い。0.04C 材では実視でも偏析は無い。0.07C 材でわずかに偏析が有る。

h)その他

Nucor の Environmental Policy は COTTON(Compliance、Objectives、Technology、Teamwork、Oppotunities、Nucor)であり、工場がある地域が CottonBand と呼ばれる綿花栽培の農業地域であり、そこから、この名前が付けられたと考えられる。因みに、労働者の大半は cowboy が農民ということであり、工場の周囲は農地または牧草地のみであり、レストランとかコンビニも見当たらない。

また、Nucor/HickmanPolicy は Customer Focused、Quality Driven、EnvironmentallyResponsible である。

[4]NUCOR/Yamato H-shape, Rods&Wire (SMS-ConcastJumbobeam)

場所:5929 East State High mm y 18, Armorel, Arkansas 72310

訪問日:3/18/04 Thurs.

a)歴史

Nucor-Yamato は 1987 年に日本の姫路市に本拠地をもつ電炉会社である Yamato Kogyo Company と提携を結び発足した。提携の目標は中断面、広幅ビームを製造するミニミルを操業することである。Blytheville,Arkansas にあるミルで 1987 年より製造開始した。オリジナルの設計鉄鋼製造量 65 万 t/年であり、1988 年に最初の wide-flangebeam を出荷し、現在まで、操業を継続している。従来技術より、よりニアネットに近い beamblank 製造の特殊連続鑄造技術を有している。1972 より Yamato が製造を開始し、16 年間、beam blankcasting を行っている。また、台湾、韓国においても操業している。1988 年より Nucor が製造開始している。

b)従業員数

従業員は 800 人以上である。

c)年間生産量

250 万 t(HomePage から)。

d)製品

H 型鋼中心であるが、Z チャンネルや、アングルも取り扱う。

e)CC 設備関係技術

鑄型は H 型形状であり、H 型に熱間圧延する。連続鑄造後、熱間圧延まで相変態は無い。電気炉は 24h 操業であり、電気代は昼夜で一緒である。電気炉 2 基、LF 2 基(各 120t)、キャスト 2 ラインを有する。電気炉は交流アーク式であり、一時期直流アークが流行ったが、炉底部に電極が必要など、構造が煩雑になるので、最近ではまた交流式がでてきている。初めはアークから原料スクラップにアークを飛ばす形で加熱して行き、横から酸素を吹く。酸素だらけの状態。溶解していき、スラグが出てきたらカーボン粉を入れる。CO 生成反応によりスラグがフォーミングし、アークが submerge して安定操業、酸化精錬となる。

脱りんはほとんどここでなされる。120t の LF では、脱酸、成分調整。ライム入れて Ar 吹きで脱硫(20ppm レベル、極低ではない)する。

beamblank の鑄型、モールドは Ni-Cr メッキであり、この形の鑄型は日本にはない。日本、特に日本の高炉メーカーでは、圧延技術が進んでいるため、スラブから H 型に仕上げているが、米国では、鑄型がすでに beamblank 型である。

No.1cast は SMS 製、No.2cast は住金・住重製である。H 型鋼の最後、垂直を出すときに、人が見ながら、エッジングミルで立てて垂直を出す。ロールで矯正しようとするすると割れるそうである。

ロールをタンデム型にしないため、フィニッシングロールが長くなっている。H 型鋼サイズは最大で 10.2cm 厚 x66cm 高さであり、ローカルハイウェイ用の用途がある。内質や、鑄込みで問題になることはほとんどなく、形状、表面、曲げの問題が多い。

f)スクラップ問題

鋼材中 Cu 量は 0.35-0.45% であり、0.50%Cu だと問題である。Ni を添加し、Intermetallics とし、無害化する。Beam に対しては OK である。Sheet に対しては許容不可である。近年、スクラップの値上がりが著しく、以前はトンあたり原料 1 万円、加工 1 万円弱ですんでいたのが、今は原料 2 万円の時代となった。加工で、10 円、20 円をがんばって減らしてみても、焼け石に水の状態となっている。

[5]所感

厚板は簡潔プロセスに徹し、薄板は高度制御しているという印象である。厚板はきわめて簡潔なプロセス(加速冷却設備なし)で、40-70kg/mm² 級を製造している。スラブ厚は 150 ~ 50mm であり、薄板製造(スクラップ材—薄スラブ連続鑄造—保温炉—熱延)としては、一貫製鉄プロセスの技術そのものといった印象が強く、今後、高炉—連鑄(厚スラブ)—熱延プロセスとの競合の可能性が高いと感じられた。

薄スラブプロセスに対し、Nb は高強度化、高靱性化に利点がある。同時に、同じ強度レベルで低 C 化が可能であるので溶接性確保にも利点がある。今回の訪問に関しては、相手方の対応が大変友好的で、技術的に微妙な問題についても、踏み込んで回答していただいた感がある。このように、仔細な事項まで見学させてもらったことに大変感謝している。

4.5.2 ドイツ部品化プロセスに関する調査

[概要]

ドイツ国デュッセルドルフ市、マックスプランク研究所(MPIE)、ドイツ鉄鋼協会(VDEh)、鉄鋼研究所(BFI)及びアーヘン市のアーヘン工科大学塑性加工研究所(IBF)、鉄鋼冶金研究所(IEHK)における平成 16 年 2 月 25 日から平成 16 年 3 月 4 日までのドイツの鉄鋼研究の現状と部品化プロセスに関する調査結果を取りまとめ報告する。

[機関名]

ドイツ国デュッセルドルフ市:マックスプランク鉄鋼研究所(MPIE)、
ドイツ鉄鋼協会(VDEh)
鉄鋼研究所(BFI)
同国アーヘン市:塑性加工研究所(IBF)
鉄鋼冶金研究所(IEHK)

[調査目的]

ドイツの鉄鋼研究の現状と部品化プロセスに関する調査

[滞在期間]

2004/2/25-2004/3/4

[得られた成果]

[1] ドイツ国マックスプランク鉄鋼研究所(MPIE)

a) 研究所の概要:

MPIE は、MaxPlanck Society(MPG)と Steel Institute(VDEh)が各 50%資金を折半して成り立っており、研究予算は直接ではなく、間接的に産業界から充てられる。5グループに分けられ、研究者 80 名、技術者 35 名、管理部門などを含めて総勢 170 名のスタッフで構成されている。研究は基礎研究が中心であり、Microstructure から Mechanical Properties を含めて素材の特性向上を中心に研究されている。新しい合金鋼の開発や組織創製だけでなく、得られた組織と機械的性質・耐食性・表面性状の問題へも積極的に取り組んでいる。2002 年に新しい実験施設の工事が始まり、2005 年に完成予定である。

b) 会合の内容:

MPIE で行われている超微細粒鋼の概要を説明され、得られた組織と特性、さらには細粒鋼の機械的特性を紹介された。また、ヨーロッパの超鉄鋼プロジェクトについても概要を紹介された。

MPIE で行われている耐熱鋼の研究を紹介された。long term での研究が必要だが、short term の研究が求められているが故に、加速試験を行うことでの Microstructure の問題点について言及された。

c) 主なポイント

Microstructure Controll と Mechanical Propeties は一緒に研究を進めていくべきであり、特に成形性の観点から見た MicrostructureControll も重要である。これらを相互関連させて発展させていく体制が必要である。

研究は基礎研究を主体としている。大型サンプルなどの試作は 50%出資している鉄鋼協会の BFI で行う。ストリップキャストリングなどの研究も行っているようだが、クローズドの色彩が強く見学させてもらえなかった。環境負荷低減を中心とした研究スタイルにはなっていない。

実際の研究のマンパワーはポスドクやドクター候補生である。プロジェクトに応じてグループリーダーがポスドクを雇うシステムとなっている。

[2]ドイツ国ドイツ鉄鋼協会(VDEh)と鉄鋼研究所(BFI)

a)研究所の概要:

挨拶と BFI 全体の概要説明。BFI は、135 名のスタッフで構成されており、70 人以上が研究者・技術者である。研究は、今後の鉄製造プロセスに適応できる低環境負荷プロセス、CSP プロセスに代表される次世代高効率鉄製造プロセス、リサイクル鉄利用などである。パイロットプラントを中心とした研究スタイルであり、研究資金の多くは鉄鋼メーカーから直接 BFI へ。高炉プロセス、電炉プロセスの何れにおいても上工程(溶解/凝固工程)における流れのシミュレーションが盛んであり、常に数値解析結果を実験と比較している。

ラボツアーは熱間・冷間小型大型圧延機、超音波探傷装置、残留応力除去圧延システム、H 型鋼圧延シミュレータ、ストリップキャストリングをイメージした水モデル装置が対象であった。VDEh における材料技術と試験技術を中心に紹介された。研究だけでなく、人材育成及び調査も活発に取り組んでいる。特に、若者に対して鉄鋼全般に興味を引くことを目的とし、欧州の主要 11 カ国が参加している鉄鋼のイメージキャンペーン活動が紹介された。各国が資金を分担し(総額 44000 ユーロ/年)、宣伝カーを走らせ、ビデオやパンフレットなどを学生に無料配布している。

b)主なポイント

生産設備を念頭にした研究スタイルであり、基礎はマックスプランク鉄鋼研究所に任せ、industrial plant engineering は BFI が担当している。鉄鋼材料の創製、部品成形などにおける数値シミュレーションの役割について尋ねたところ、今後の研究において基礎だけでなく生産設備レベルでも数値シミュレーションの役割はきわめて重要であるという回答であった。BFI 自身が数値シミュレーションを担当している場合もあるが、多くは大学や研究所に任せている。スクラップ鉄の利用という観点でなく、高炉、電炉プロセス何れにおいても CO₂ 削減にかなりの労力が費やされている。CSP プロセスに代表される薄スラブプロセスやストリップキャストリングそのものの設備については見学できない。

人材育成・環境問題にもかなりの重点を置いている。また、人材育成前に優秀な学生が鉄鋼材料研究に来ないことはヨーロッパ全体が危機に感じており、鉄鋼キャンペーンはその現れである。環境問題では、CO₂ が特に重要であり、排出量削減に向けた研究に重点が置かれている。

[3]ドイツ国アーヘン工科大学塑性加工研究所(IBF)

a)研究所の概要:

IBF 全体の概要紹介があった。38 名の研究者(3 名が外国人)、25 人のアーヘン工科大学の学生、20 名の技術スタッフによって構成されている。6 つのグループ(1.Casting&Forming Gr. 2.HotForming Gr., 3.Cold Forming Gr., 4.Computer Application Gr., 5.Optimization Lab. Gr., 6.Material Data Microstructure Modeling Gr)に分

けられており、各グループリーダー以下4、5名のスタッフで構成されている。

b)会合の内容:

Hot Forming グループの研究紹介があった。特に、複雑形状部品を鍛造で成形した結果を紹介された。MaterialData&MicrostructureModeling グループを紹介された。また、材料の持つ応力ひずみ曲線取得の問題点や数値モデリングの数例を紹介された。

ラボツアーは圧縮試験用加工熱処理シミュレータ、複雑形状創製鍛造システム、型鍛造プレス機、ショットピーニング装置、プラスチック用リングローリング機、鉄用リングローリング機、各種マニピレータが対象であった。

c)主なポイント

全てのグループにおいて、数値解析をフル活用し、さらには検証のためプラスチックや蠟(ロウ)の加工に対応した小型シミュレータを開発し、新しい発想の具現化に対して最高レベルの環境を整えている。組織創製も研究しているが、主要な任務は部品化製造プロセスの単純化を目指した自動車用鍛造部品の成形技術確立と言える。圧延工程でも最終部品をターゲットにした技術を目指している。板材供給と言う観点でなく、最終部品を念頭にした技術の発展をしており、エンドユーザーである自動車メーカーと密接な関係で成り立っていることが窺える。材料創製の観点では強さを感じなかったが、所有する装置や人材育成方針、さらにはこれまでの成形技術の歴史からすると、いつでも新材料創製のための塑性加工技術への研究は可能と思える。

今回の訪問は初めてであったが、今後互いに発行している NEWS の送付を約束した。そして、互いに主催する WS での講演や相互交流について理解を得た。

[4]ドイツ国アーヘン工科大学鉄鋼冶金研究所(IEHK)

a)会合の内容:

IEHK 全体の概要紹介があった。環境問題を中心とした鉄鋼製造プロセスを言及された。

特に、ヨーロッパにおいて二酸化炭素削減問題ではかなりの悩みの種であることを説明された。ラボツアーは浮遊溶解装置、高速引張り試験機、大型疲労試験機、シミュレーショングループルーム、円柱圧縮試験機が対象であった。

プロセスシミュレーションでは、オーステナイト/フェライト変態、機械的性質ではCTOD 試験でのき裂の進展問題、成形性では深絞り成形をシミュレーションで行っていることを紹介された。常に実験とのコラボレーションで研究を遂行していると説明された。IBF における Cold Forming グループの研究を紹介された。特に、通常の圧延には見られないユニークな冷延プロセスを紹介された。最終部品をターゲットにした圧延プロセスであり、実際に自動車部品に適用されている。

b)主なポイント

ここ最近、ドイツの研究の多くは、Short term(3年間)主体である。Long termの研究を行いたい予算獲得のためには Short termの研究にならざるを得ない。新しいプロセスなどの研究に着手できない悩みがある。IEHK では主に有限要素解析コードとして ABAQUS を利用している。欧州における標準的なコードであり、共同研究などの際にデータの共有ができると説明された。確かに欧州での ABAQUS 使用者は多い。

通常の圧延は、フラットな板を創製し、その後裁断、部品成形するプロセスとなる。彼らは、最終製品がわかっているのであれば、その部品を最短プロセスで作る手法を考えており、圧延の段階から部品成形を念頭にした加工プロセスを行っている。非常に賢い加工方法であるが、プロセスの複雑さから制御が難しいはずだが、彼らの持っている装置や経験が全てを可能にさせていると感じる。

アーヘン工科大学には複数の研究所が存在しており、研究所間で常に意見交換をしている。IEHK は鉄鋼材料の上工程プロセス中心、IBF は金属材料の成形プロセスである。ただ、互いの研究所に同じような研究をしているグループもあり、全てが上手く共存しているとは言えない。

シミュレーションの役割は、プロセスの最適化や実験で取得できないパラメータの変化把握である。彼らが使用する数値解析コードはサーバーも含めて前日に訪問した IBF と共有しており、アーヘン工科大学での研究所と言う利点を活かしている。

[5]所感

4つの研究機関を回って明白になった、感じた点を以下に箇条書きにする。

- ・ドイツの大学や研究機関が、常に新しい発想と技術を取り込んで鉄鋼技術のさらなる競争力強化のために注力している様子には目をみはるものがある。
- ・予算獲得に必死の様子が伺える。政府は3年研究(Short term)を推進しているが、研究所は最低でも5年研究(Long term)を望んでいる。新しい発想を活かすには、提案、装置開発、実証をするためには5年以上必要であるという意見は全ての研究所が言っていたことである。しかし、そのような環境でもユニークな手法に取り組んでいる姿は見習う点がある。
- ・シミュレーションの役割は、基礎研究だけでなく、生産設備に関わる研究においても非常に重要であるという認識。特に、幹部が積極的に数値解析を重要視していると感じた。Director が行う研究所の紹介には必ずユニークな装置とシミュレーションの結果を示していた。このような幹部の考えは、少なくとも日本よりは進んでいる。
- ・超微細粒に関する研究に関しては、かなり日本が先行している。欧州の微細粒のプロジェクトは本年6月に終了するようだが、7月以降については定かでないようである。きっと、続けるような感じがしたが。
- ・各研究所で共通していたが、グループリーダーはかなり若い(30代後半)。研究そのものはポスドクや博士候補生が担当し、グループリーダーは予算獲得や研究動向を調査してい

る。このシステムには良し悪しがあるが、予算がなければポストクが雇えない環境からすると、新しい研究スタイルへのチャレンジや研究結果の伝承も非常に難しい環境にあるだろう。

- ・ストリップキャストニングについては、クローズドな研究及び他研究機関との連携のため、今回見学させてもらえなかったのが残念だが、スクラップ鉄に対応した究極のプロセスであることは世界共通である。クローズドという点でも日本に限らず、同じ状況だが、塑性加工を専門とする IBF のような研究所が、ティッセンと一緒にストリップキャストニングの研究をしていると思うと、様々な視点で物事を捉える点では優位といえる。
- ・基礎研究とは何かということを感じた調査であった。アーヘンの2つの研究所は大学の研究所という点から研究の多くが基礎研究と感ずることができたが、デュッセルドルフでは基礎研究というものは極一部である。
- ・エンドユーザーとの密接な関係が必要と感じた。ただし、密接過ぎると基礎研究が置き去りにされる。近視眼的な研究に陥りやすい。
- ・予算さえ気にしなければ、ユニークなアイデアを具現化できる環境は日本よりも整備されている。圧延技術のほとんどがドイツ生まれであることが今回の訪問で理解できた。今後、過去の技術が継承されるシステムになっているかどうかはキーとなるはずである。人材育成という問題点で、ドイツと日本は共通している。

4.5.3 海外調査まとめ

- 米国： ミニミルを中心にスクラップ鉄利用プロセスの先進国。
リサイクル鋼適用範囲の適切な選択、生産性、操業の安定性の向上、
鑄造技術などリサイクル阻害要因の抑制努力は学ぶ点多い。
鑄造まま組織の研究の重要性を認識。
- ドイツ： 官学を挙げて連携した鉄鋼研究を実施。
環境問題から CO₂ 削減に対する意識が高く、
薄スラブプロセス研究が盛ん。
製鉄機械開発でも一歩リード。
- (アジア： 現在高炉プロセスによる大量生産を誇る中国も
近い将来リサイクル問題を視野に入れた取り組みの提唱が必要。
韓国も高炉、電炉がバランスよく発展。)

4.6 研究成果の発信

本プロジェクトでは、研究概要、コンセプト、活動内容、成果などを発信して、情報交換のためのホームページや、Eメールニュースの配信を、プロジェクト早期から行ってきた。ホームページでは、研究内容、設備、活動などの紹介がなされ、本プロジェクトが概括できるとともに、種々の質問などをいただいたり、回答したりといった相互意見交換ができ、双方向メディアの役割を果たしている。Eメールニュースは、「ミレニアム・つくば便り」の愛称で、毎月1回、研究成果やワークショップの案内などをお送りしており、配信メンバー各位のご理解をいただいている。近年、配信を希望される方も増え、今後も形を変えて継続する予定である。

【ホームページ】

http://www.nims.go.jp/millennium/mail_news/mail_news.html



■ 研究内容 ■ 設備 ■ 活動 ■ 調査 ■ 研究成果 ■ E-mail News ■ メンバー ■ リンク

更新日: March 28, 2005

- * [最終報告会--4/25/2005--案内](#)
- * [最新 E-mail News---3/28/2005](#)
- * [更新履歴](#)

[English](#)

目的： 資源循環型社会の構築に向け、強度に優れた高品質のリサイクル鉄製造技術を確立し、現行技術で得られる材料の強度 1.5 倍化を達成する。

鉄鋼のリサイクル過程に不可避免的に混入する不純物を除去せず利用し、精製段階と使用段階での環境負荷低減を同時に達成する。

内容：

- * 自動車用部材等を想定した、上工程(溶解、脱酸、凝固プロセス)から下工程(加工熱処理プロセス)までの不純物含有板材・棒材の創製条件の検討
- * 不純物含有鋼の組織評価および変形挙動の解明
- * 有識者によるピアレビューと関連情報フォローアップのための調査

期間： 平成 12 年～16 年 (第 I 期 平成 12-13 年/第 II 期 平成 14 年-16 年)

本プロジェクトは、日本政府のミレニアムプロジェクト、[物質・材料研究機構（機構）](#)の“重点研究開発領域”研究、機構 [超鉄鋼研究センター](#)の 3 大プロジェクトのひとつです。

[E-mail: millennium@nims.go.jp](mailto:millennium@nims.go.jp)

Copyright: 2002 Millennium Relevant Project: Creation of Ultra-Steel from Steel Scrap

[\[研究内容/設備/活動/調査/研究成果/E-mail News/メンバー/リンク\]](#)

【Eメールニュース配信タイトル一覧】

http://www.nims.go.jp/millennium/mail_news/mail_news.html

2005年

- 3月 「平成16年度ミレニアムワークショップ開催報告・プロジェクト最終報告会開催案内」
- 2月 「溶接部の漏洩磁束深傷試験に及ぼすHAZの影響」
- 1月 「超微細フェライト-セメンタイト鋼の高速引張変形挙動」

2004年

- 12月 「超鉄鋼研究センター 技術開発チームの紹介 Part.2」
- 11月 「鉄鋼プロセス技術の現状と課題 リサイクル鉄利用プロセス技術の新たな展開・提案を目指して」 ワークショップ開催のお知らせ
- 11月 "Phase Transformation Behavior in the Rapidly Cooled C-Mn Steels"
- 10月 「ドイツの鉄鋼研究の現状と商品化プロセスに関する調査」
- 9月 「米国ミニミル調査 (Nucor訪問)」
- 8月 「超鉄鋼研究センター 技術開発チームの紹介 Part.1」
- 7月 「鋼中不純物を利用した急凝固プロセス」
- 6月 「第8回超鉄鋼ワークショップの開催案内」
- 5月 「スクラップ原料で35mm厚の超微細粒鋼板の試作に世界で初めて成功」
- 4月 "Study on Deformation Microstructure of Hot Compressed Ni-30Fe Alloy"
- 3月 「低炭素鋼の異なる組織における有効結晶粒径とDBTTの関係」
- 2月 「脱酸生成物中不純物の熱力学」
- 1月 「鑄造 粒径の支配因子」

2003年

- 12月 「Mn偏析を利用する組織制御の可能性」
- 11月 「ストリップキャスト低炭素鋼材の集合組織と塑性異方性」 (English)
- 10月 "Precipitation of Copper Sulfide in Strip Casting Steel Containing High Phosphorous" (English)
- 9月 「せん断付与加工による組織制御の可能性への探求」
- 8月 「超微細フェライト-セメンタイト鋼の静的引張特性」
- 7月 「第7回超鉄鋼ワークショップでのミレニアムセッション」
- 6月 「鋼板表面の高精度探傷法の開発」
- 5月 「組織制御溶解装置機能改善について」
- 4月 「凝固と加工熱処理の組み合わせ」から「形質同時設計学」へ

- 今年度の研究の方向性について -

- 3月 「自動車材料技術の将来展望 - エネルギー・環境・安全問題の克服に向けて」
ワークショップ報告
- 2月 第1回ワークショップ報告
- 1月 ナノスケールの局所領域における変形挙動を解析する基礎技術の開発

2002年

- 12月 古きをたずねて -凝固 粒の正体を探る-
- 11月 超微細フェライト-パーライト鋼の高速変形挙動
- 10月 中・高炭素化による高強度超微細粒鋼の創製
- 9月 低炭素鋼におけるフェライト単相ラメラ組織の創製
- 8月 改良オースフォームによる高疲労強度マルテンサイト鋼の創製
- 7月 0.1mass%低炭素鋼-100mm 厚さ連铸スラブ材の微細フェライト組織の形成
- 6月 低炭素鋼のシャルピー衝撃特性に対するクロスロール圧延による ND 面に平行な {100}面の配列崩れ効果
- 5月 第1期の研究報告と第2期の研究体制のご報告
- 4月 ワークショップ開催報告および研究責任者からのご挨拶
- 3月 高不純物鋼と平衡する脱酸生成物中不純物の熱力学
- 2月 切削屑を直接固化成形して素材を上回る材料に再生するプロセス
- 1月 アルミニウムを含有した鑄鉄の可能性

2001年

- 12月 フェライト-パーライト鋼の応力
-ひずみ曲線におよぼす温度、ひずみ速度とフェライト粒径の影響
- 11月 温間加工した低炭素鋼の転位密度に及ぼすリン添加の影響
- 10月 全方向のきずを検出する漏洩磁束探傷試験
- 9月 リンと結晶粒微細化
- 8月 21世紀に19世紀のアイデアを
- 7月 凝固に始まる超鉄鋼づくり

5 . 内閣府・評価助言会議

5.1 はじめに

新たな千年紀を迎えるにあたり、人類の直面する課題に応え、新しい産業を生み出す大胆な技術革新に取り組むこととして、平成 12 年度より政府・内閣府主導のもとにミレニアム・プロジェクトが開始され、本課題はその多くの分野のうち、「リサイクル・リユース技術の導入・開発」で実施されている 11 の事業のうちの一つである（文部科学省管轄事業）。

それぞれ各事業が対応した実現目標を設定して実施しているが、具体的な事業内容の構築に当たっては、省庁横断的な取り組みと、官民の十分な連携を図ることはもとより、明確な実現目標の設定、複数年度にわたる実施のための年次計画の明示や、各界の有識者による評価・助言体制が必要である。本課題については、定期的に行われる「リサイクル・リユース等推進評価・助言会議」において、研究推進状況の報告、委員による評価、助言を受けての取り組み方針の答申を行っている。平成 12 年 6 月に第 1 回が開催されてから、これまでに約年 2 回のペースで開催され、年度初頭に昨年度の研究内容の報告を行い、これに対する委員の評価、助言を受ける形で、年度中に対応方針の報告を行い、これまで 10 回を数えている。（平成 17 年 4 月現在：最終平成 16 年度内容については平成 17 年度中に審議）

本課題は、前期においては、対象の絞込みの不明確さ、経済性、回収プロセスの検討不足、進捗状況の遅さなどの指摘を受けたものの、後期では、助言会議での提言に応えた形で研究を遂行し、年次目標をよく達成するとともに、鉄製造技術の現象論的解明をはじめ、実機レベル適用に向けた凝固・加工一貫プロセス模擬試験機の開発への着手、不純物利用材料の創製に成功した点などが評価され、おおむね良い実施業績とされた。

本章では、本会議での研究報告、評価、答申における実際の資料を紹介し、本研究の全体像を概括する。

5.2 内閣府助言会議委員構成

| | |
|-----------|--|
| （議長）平岡 正勝 | 京都大学名誉教授 |
| 茅野 充男 | 秋田県立大学生物資源科学部生物生産科学科学科長 |
| 東畑 透 | （社）日本自動車工業会 環境委員会リサイクル・廃棄物部会副部長 日産自動車（株）リサイクル推進室長 |
| 平野 敏右 | 東京大学名誉教授 独立行政法人消防研究所理事長 |
| 田中 信壽 | 北海道大学大学院工学研究科教授 |
| 細田 衛士 | 慶應義塾大学経済学部教授 |
| 松田 美夜子 | 生活環境評論家 |

5.3 第9回(平成16年6月開催:平成15年度終了時点報告)事業実施報告書

ミレニアム・プロジェクト「リサイクル・リユース技術の開発・導入」事業実施報告書

【省庁名：文部科学省】

| 事項 | 説明 |
|------------------------------------|---|
| 実施施策名 | 10. 高品質のリサイクル鉄製造技術 |
| 実施目標 | リサイクル鉄（スクラップされた鉄をリサイクルして生産される鉄）の活用促進のため、強度に優れた高品質のリサイクル鉄を製造技術を確立する。 |
| 政策への活用方針 | 本プロジェクトは、スクラップ鉄の高度利用に道を開き、今後大量に更新時期を迎える建築物の鉄骨、廃棄自動車回生材などの再利用への適用など、循環型社会構築に大きく寄与することが期待される。今後基礎的検討をさらに進め、スクラップ鉄からの創製鋼の特性向上に関する指導原理の確立に努め、段階的に実用化に向けての検討を行う。 |
| 平成15年度までの事業実施状況 | <p>（総括：目標に対する達成状況、政策への活用に向けた事業の進捗状況、来年度以降の課題）</p> <p>平成12年度に開発、平成13年度に導入した不純物均一化技術のハード（装置）によって、不純物均一分布制御因子の整理をさらに進め、平成14年度には10キロオーダーの析出素塊について高強度化の試みを行った。また、15年度は、数10キロオーダー素塊創製設備整備のために必要な製造条件を検討し、凝固・加工一貫プロセス模擬試験機の開発に着手した。今後、プロセスパラメーターと創製組織、特性の関係を総合的に明らかにし、実プロセスへの適用を目指した検討を行う。</p> <p>（具体的な事業実施内容）</p> <p>高リン含有鋼におけるMn-Si脱酸・凝固時のリンの挙動について熱力学的予測と実験データをほぼ整合させた。</p> <p> casting 粒径と冷却速度の関係を古典的粒成長モデルで定式化した。</p> <p>急冷凝固薄板材の機械的性質と組織、介在物などとの関係を明らかにした。</p> <p>リサイクル鋼創製設備の整備を行い、Cu、Snなどを含む急冷凝固材の創製に成功した。</p> <p>せん断付与圧延によって塑性歪みを従来圧延より効果的に導入できることを示した。</p> <p>自動車及び家電に関するリサイクル材料技術の検討を行うため、研究実施機関主催ワークショップ内で国際検討会を開催した。</p> <p>欧米（米、独）におけるリサイクル鉄利用薄スラブ生産プロセスの現状、研究開発状況について調査した。</p> |
| 平成16年度以降の事業実施計画・方針（本年度の改善点） | 平成16年度は、これまで得られた不純物均一化技術、高強度化技術、及びこれまで導入、整備を行ってきた数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創製設備を利用し、急冷凝固、新加工プロセスを複合化した高品質のリサイクル鉄製造技術の指導原理を確立させる。また、国内から欧米、アジアなどを含む各国のスクラップ鉄利用プロセスの現状と展望、研究開発状況等の調査結果をまとめ、本プロセス実用化に不可欠な技術的課題を抽出する。 |
| 関係機関や民間との連携の状況 | 本課題は実用化前研究であり、実機レベルでの模擬試験や、実プラントへの適応性の検討など、民間との連携が不可欠であり、強度2倍、寿命2倍の新世紀構造材料（超鉄鋼）研究で培ってきた協力体制を継続しつつ、これまで試作材の創製や、研究課題の検討などを連携して行ってきた。現在も、実プラントを念頭においた技術課題検討会などの交流を定期的に行っており、この連携は今後も推進していく。 |
| 当該テーマにかかる外的な研究環境（国際動向、研究動向等）など参考事項 | 現在、鉄鋼産業界では、世界的に薄スラブCCを始めとするCC-コンパクト熱間圧延プロセスが普及しつつあり、その多くは鉄のリサイクルを念頭においている。本課題では、米国や独国における製造プロセスの調査や研究開発状況の把握を行った結果、世界的な潮流に研究の方向性が合致していたことがわかり、今後も世界的に連携して本プロセスを推進することの必要性を痛感した。今後、これら欧米各国との交流、連携体制を視野に入るとともに、アジアでは日中韓の主催する鉄鋼研究国際会議でスクラップ鉄利用プロセスの適切な研究指針を検討していく。 |

5.4 年次計画と達成状況

事業名 10. 高品質のリサイクル製鉄製造技術

| | 12年度 | 13年度 | 14年度 |
|-------------------------|---|---|--|
| 当該年度の目標 | 不純物均一化技術のハード開発と1キロ分析素塊の作成 | 10キロ分析素塊での不純物均一分布制御因子の整理 | 10キロ分析素塊で強度1.5倍化の高性能化実現 |
| 当該年度の具体的課題 | 不純物均一化技術の実験装置を開発し、1キロレベルの素塊を得る。 加工熱処理の検討が可能な実験設備を整備し、加工組織を解析する。 得られた素材の主に機械的性質とミクロ組織の関係を解析する。 開発材料の表面欠陥を高精度に検出する装置を開発する。 | 凝固冷却速度を変化させた場合の凝固組織変化を系統的に解明する。 加工方式を変化させた場合の加工組織変化を系統的に解明する。 ミクロ組織を変化させた場合の機械的性質の変化を実験的に調べる。 開発材料の表面欠陥を高精度に検出する装置を高度化する。 | 溶解・脱酸・凝固過程における鋼、酸化物中不純物の挙動をさらに明らかにする。 凝固冷却速度を制御した不純物含有分析用素塊を創製する。 加工方式を変化させた場合の板材の機械的性質を明らかにする。 変形モードを変化させた場合の機械的性質の変化を実験的に調べる。 不純物を含有した棒材の高強度化・高疲労強度化を行う。 表面欠陥検出装置を高度化する。 リサイクル材料技術に関する調査を行う。 |
| 実施体制(委託先等) | 文部科学省金属材料技術研究所 | 独立行政法人物質・材料研究機構 | 独立行政法人物質・材料研究機構 |
| 進捗状況(実施に当たって生じた問題点等を含む) | 概ね目標達成。リンを含有する分析素塊を作製し、ミクロ組織や不純物偏析を解析した。 概ね目標達成。圧延時の角度の違いによる変形および集合組織への影響を見いだした。 概ね目標達成。結晶粒微細化を施した鋼において、変形組織の違い、応力-ひずみ関係の予測に関する基本的知見を得た。 概ね目標達成。開発材料の表面欠陥を高精度に検出する装置を開発した。 | 目標達成。不純物元素であるリンを含有する鋼について、凝固冷却速度を変えて、金属組織や不純物の偏析を解析した。 また、凝固したままの素材の機械試験を行い、リンによる強度、のび上昇を確認した。 ほぼ目標達成。圧延時の変形の仕方の違いによる集合組織(結晶方位の不均一分布)の違いを見つけた。 目標達成。結晶粒を変化させた場合の応力-ひずみ関係に関する知見を整理できた。 目標達成。開発した材料の表面の欠陥の高精度検出可能な装置をより高度化した。 | 目標達成。鋼の凝固中及び酸化物中のリンの熱力学的・動力学的挙動を検討した。 ほぼ目標達成。薄スラブCCを模擬できる溶解・凝固試験装置の基礎試験を行った。 ほぼ達成。せん断ひずみを付与することにより、靱性が改善することを示した。 目標達成。リンと炭素を利用した超微細棒材を創製し、高強度・高疲労強度化できた。 目標達成。粒径と高速変形応力の関係を整理することができた。 目標達成。表面欠陥検出装置をさらに高精度化した。 ほぼ目標達成。自動車及び家電リサイクルに関する調査を行い、公開のワークショップを開催した。 |
| 自己評価 | 概ね目標を達成し、順調にスタートできている。 | ほぼ目標を達成した。次年度以降の系統的、総合的展開の基盤を築いた。 | ほぼ目標を達成した。次年度以降の実機レベルへの応用化前研究への基盤を築いた。 |

| | 15年度 | 16年度 |
|-------------------------|---|--|
| 当該年度の目標 | 数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創製設備整備 | 数10キロオーダー素塊でのプロセス制御因子の解析 |
| 当該年度の具体的課題 | 溶解・脱酸・凝固時の不純物挙動の熱力学的予測と実機との整合を検討する。 冷却条件を変化させた際の凝固組織との関係を明らかにする。 急冷凝固材の特徴を調査する。 大型化や実験条件の変化に対応した創製試験設備の整備 加工方式を変化させた場合の内質に及ぼす効果を明らかにする。 リサイクル鋼創製プロセスに関する調査を行う。 | 数10キロオーダーでの、急冷凝固、新加工プロセスに関するプロセスパラメータと組織及び特性に関する総合的知見のとりまとめを目指す。 |
| 実施体制(委託先) | 独立行政法人物質・材料研究機構 | 独立行政法人物質・材料研究機構 |
| 進捗状況(実施に当たって生じた問題点等を含む) | ほぼ目標達成。りん含有鋼のMn-Si脱酸実操業データとの整合を取ることができた。 目標達成。冷却速度と铸造 粒径との関係を定式化することができた。 ほぼ目標達成。急冷凝固材中の組織、介在物について特徴的な現象を捉え、機械的特性との関係を明らかにした。 ほぼ目標達成。シミュレーターの铸造部、冷却システムを改善し種々の実験条件に対応させた。またCu、Sn入りの不純物鋼の創製に成功した。 目標達成。せん断付与と圧延の利用により、従来圧延よりも効果的に結晶粒を微細化できることを明らかにした。 目標達成。欧米各国における現状と研究開発状況を調査し、研究推進方向の妥当性を確認した。 | ... |
| 自己評価 | ほぼ目標を達成した。実プロセスを睨んだ総合的基礎研究を遂行することができた。 | |

5.5 委員による評価、助言と対応方針

評価・助言を踏まえた事業の取組状況

10. 高品質のリサイクル鉄製造技術（12～16年度、文部科学省）

| 項目 | 評価・助言 | 評価を踏まえた対応状況 |
|-------------|---|--|
| 1. 現状分析 | <p>開発投資が大きい感があるが、将来的な必要性から評価できる。スクラップ鉄の高度利用が必要となる時期についても考察、説明されたい。</p> <p>スクラップ材の需要促進、鉄鉱石の消費削減への寄与も大きく、適切なテーマ設定であるが、異物分離プロセスなど多方面からのアプローチも検討の必要がある。</p> <p>全体的な方向としては、現在のままでよい。</p> <p>当初は位置づけが明確でない感があったが、この1年で急速に研究が進んだと評価している。</p> | <p>国内の鉄スクラップ発生量は年々増大しており、資源循環型社会、環境調和型社会の実現に大きく資する本プロセスの実用化は喫緊の課題と考えられる。現在は、経済を取り巻く厳しい状況、既設の鉄製造設備の長寿命化により、逼迫度は抑えられているが、国内の鉄需要量と鉄スクラップ発生量の差は年々縮小しており、2030～2040年頃には需給が拮抗し、鉄スクラップのみで需要を賅うことが可能になると予想されている。それまでには本技術の導入、実施が不可欠と考えられる。</p> <p>スクラップ鉄の分別・分離に関しては、手分解法、シュレッダー法とも、コスト面、技術面に関して解決するべき点が多くあることが調査により明らかになってきている。しかしながら、現在、わが国ではリサイクル法の施行に関連した政策により、北九州市エコタウンなどで分離リサイクル事業が推進されており、銅などのように大きな影響を及ぼす不純物元素を高濃度に含んだ部品(例えば自動車中のワイヤーハーネス)を優先的に取り除くなど、選別プロセスを工夫することにより、着実に業績を上げつつある。本課題では、ほとんど分別エネルギーを投じなかった全混合のケースで、どこまで不純物を許容できるか、あるいは積極利用できるかという見地から遂行しており、実際の実施にあたっては、不純物含有で到達した品質と、選別に投じるエネルギーの兼ね合いから、選別プロセスと組み合わせることが妥当と考えられる。</p> |
| 2. 実施目標の達成度 | <p>目標は達成されつつある。</p> <p>鉄製造技術の現象論的な部分に関しては、着実に目標を達成している</p> <p>強度1.5倍が可能な条件が確認されており、目標を達成している。</p> | |
| 3. 改善点 | <p>リサイクル率の上昇、不純物濃度の上昇、リサイクル鉄の需要に関するシナリオの明示が必要。</p> | <p>家電リサイクル法、自動車リサイクル法の適用などもあり、マテリアル全体から見たリサイクル率は外的要因からも年々上昇すると考えられ、この点からも本プロセスの実現は重要と考えられる。不純物元素ごとに濃度などの動向を明確に把握することは、プロセス選択上も重要と認識しており、市場スクラップ中の不純物濃度の動向に関して調査を実施した。その結果、建造物廃材中の硫黄、銅、錫濃度などは高いことがわかった。また、本課題で調査した結果は、これまでの調査により</p> |

| | | |
|--------|--|--|
| | <p>コスト、エネルギー評価の結果をより分かりやすく示して欲しい。</p> <p>目標品質を絞り込むのではなく、スクラップ材（種類、成分）ごとの特性にあった目標品質を設定するほうが現実的。</p> <p>鉄の循環とストックの状況を押さえた上でのリサイクル鉄の需給バランスに関するシナリオの明示が必要。</p> | <p>予測された不純物濃度範囲に入っており、今後も建造物の老朽化・廃棄が進むことから、市中スクラップ中不純物濃度が増大する傾向は続くと考えられる。一方自動車鋼板、部材そのものの不純物は総じて低く抑えられており、その品質を生かしたりサイクルループ構築も考えられる。ただし、従来の知見と異なる点もあるので、現在フォロー調査を継続して行っている。</p> <p>新プロセス評価のための調査におけるエネルギー、コスト、環境負荷などは、どの範囲までを対象として計算するかという前提条件が不明確になりがちである。今後も調査を続ける上で、常に適切な前提条件の設定、確認をしながら、行ってまいりたい。前年度提出した新プロセスと既存高炉プロセスの比較に於いて、消費エネルギー、CO₂発生量についてはランニングコストで、設備コストに関してはフィールドコストを除いた設備導入コストで提示している。</p> <p>スクラップ材から再生材への最も効果的な回生の仕方であるリユースに対し、本プロセスは全スクラップ混合溶解という視点から検討している。ただし、ご指摘のように、スクラップ種別の特性にあった目標品質設定は実プロセス上大変重要であるので、現在、例えば自動車用部材としては、板材と棒材に分けて研究を遂行しているが、それぞれのスクラップ種別に両部材に対応させることなども念頭に入れたプロセス構築を考えてまいりたい。その際、各部材ごとの製造プロセス制御因子を明らかにするために、現在、溶解から凝固、圧延までの試験シミュレーターの改造を継続的に行っている。また、スクラップ中不純物濃度調査により、部材によって大きく濃度が異なることが明らかとなっており、スクラップの品位別に製品を製造するときにも対応できるよう、幅広いプロセスウィンドウを持った研究を継続してまいりたい。</p> <p>需給関係はスクラップ鉄の価格に大きく影響し、数年単位で大きく変動している。年々国内のスクラップ排出量は増大、逆に需要は減少しており、今後30年ほどで需給が逆転し、鉄スクラップが安価に入手できる可能性がある。すでに国内スクラップ蓄積量は10億トン前後に達しており、90年代半ばより我が国はスクラップ鉄の純輸出国となっている。需要先は韓国、中国などのアジア圏であり、今後堅調な輸出を見込んだとしても、国内での循環量が増大するのは必至である。この点からも、今後、市場スラップの発生動向、不純物濃度の動向について、綿密な調査を継続していくとともに、資源循環型社会に向けて積極的な提言を行ってまいりたい。</p> |
| 4. その他 | <p>スクラップ鉄発生事業者との連携も考慮し、最小資源化が可能となる方策に転換していく必要性を感じる。また、再生材独自の特性を生かせる需要先の発掘も必要。</p> | <p>ご指摘のとおり、大変重要な点なので、これまで北九州エコタウンのように家電、自動車、OA用品、医療器具など総合的にリサイクルを推進している事業者を訪問、調査し、今後の連携、協力体制も視野に入れた取り組みを進めている。特に自動車に関しては、スクラップの動向の把握も含めて事業者と緊密な連携をはかってまいりたい。また、再生材の適用対象部材に関しては、現在エンドユーザーや部品メーカーとも意見交換を定期的に行い、需要の開拓を行っている。また今回、</p> |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>米国のスクラップ鉄利用プロセスの現状を調査し、スクラップ中不純物ごとの特徴をよく把握したプロセス構築や、不純物の長所・短所を見極めた適切な製品適用範囲の選択を行っていることが認識された。今後、このような考え方を研究成果の積極的利用プロセス提言の際に反映してまいりたい。</p> |
|--|--|---|

5.6 研究報告概要

10. 高品質のリサイクル鉄製造技術(事業の成果等の概要)

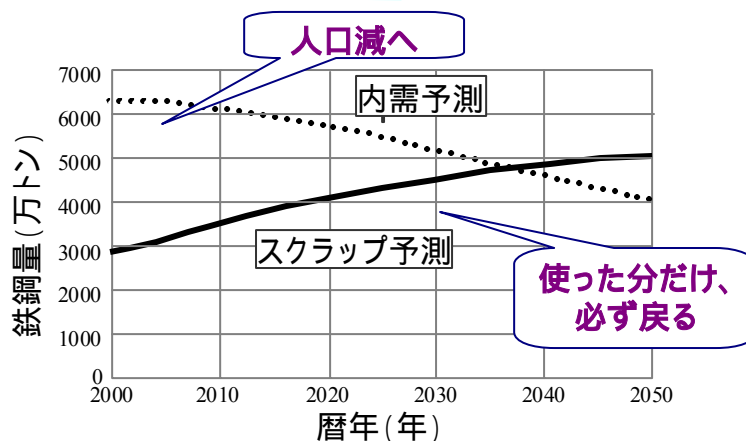
年次展開と政策助言

| | 年次目標 | |
|--------|---------------------------|-----------------------------|
| 平成12年度 | 不純物均一化技術のハード開発と1キロ分析素塊の作成 | → シーズ発掘から制御因子の整理、強度1.5倍化実現へ |
| 平成13年度 | 10キロ分析素塊での不純物均一分布制御因子の整理 | |
| 平成14年度 | 10キロ分析素塊で強度1.5倍以上の高性能化実現 | → 実機レベルでの適用性の検討 |
| 平成15年度 | 数10キロオーダー素塊のリサイクル鋼創設設備整備 | |
| 平成16年度 | 数10キロオーダー素塊でのプロセス制御因子の解析 | |

評価・助言会議等でのコメント

- ・社会的適合性の評価分析が必要 環境面、コスト面での評価を実施
- ・応用対象を絞って検討すべき 社会的、技術的意義の大きさより自動車を一つの対象に
- ・近年のスクラップの動向調査が必要 不純物濃度など継続的に調査
- ・リサイクル鉄の需要、今後の展開に関するシナリオ、戦略も重要、欧米、アジアを中心に動向調査を進め、協力を検討。

リサイクル鉄利用の重要性の増大



数十年後には内需とスクラップ発生量が拮抗し、国内でのリサイクル鉄循環が非常に重要に

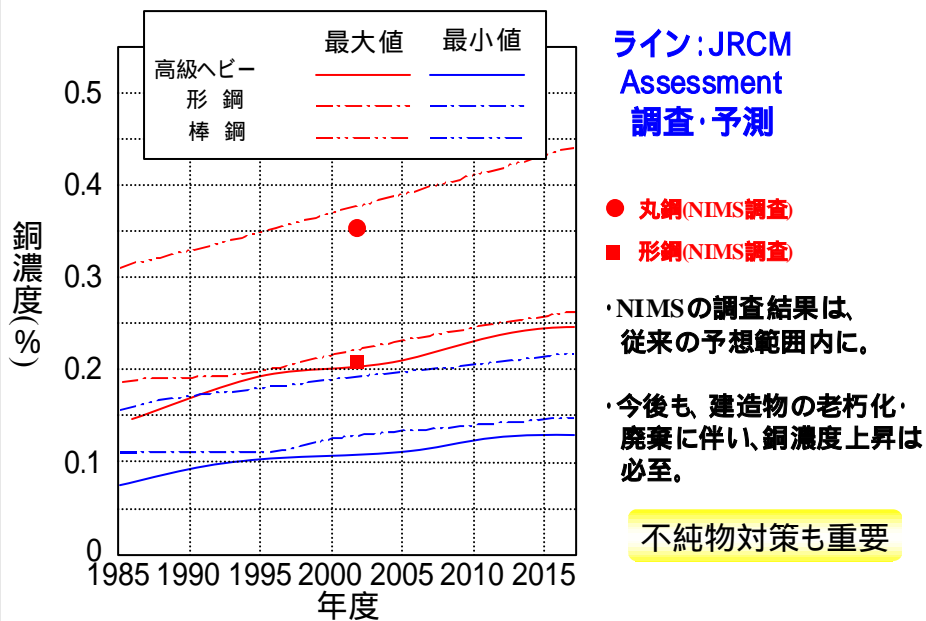
調査活動の推進

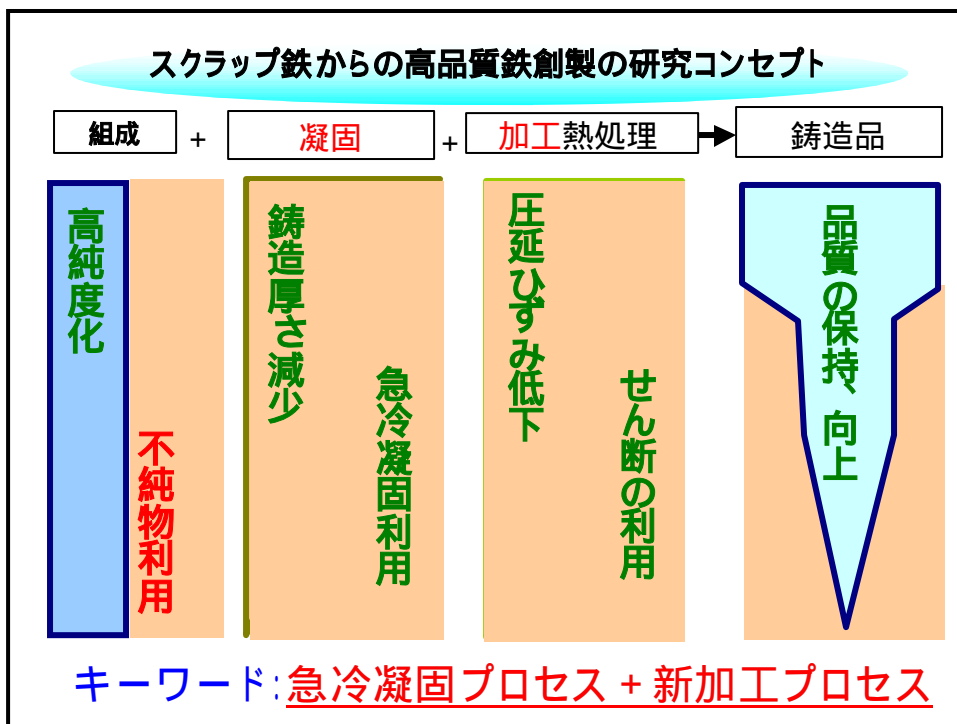
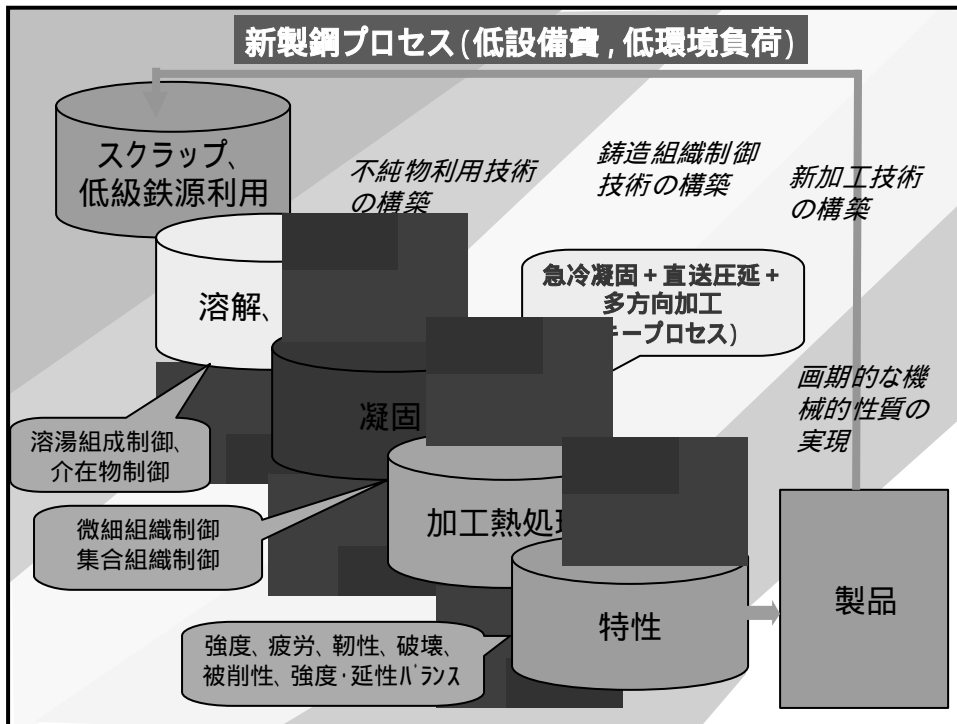
市中くずの不純物成分分析調査(速報)

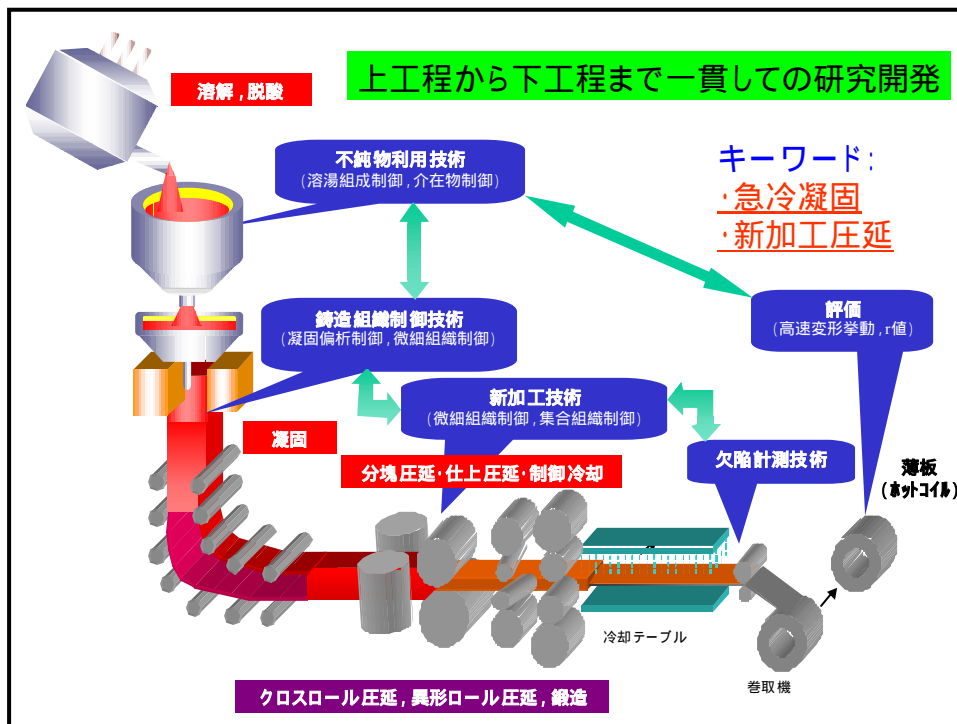
| くず種類 | N | 分析平均値(wt%) | | | |
|----------------|---|------------|-------|-------|-------|
| | | P | S | Cu | Sn |
| 形鋼 | 7 | 0.017 | 0.040 | 0.211 | 0.036 |
| 丸鋼 | 7 | 0.021 | 0.034 | 0.354 | 0.027 |
| 自動車 body(P) | 3 | 0.012 | 0.015 | 0.010 | Tr. |
| 自動車 body(S) | 9 | 0.012 | 0.014 | 0.017 | Tr. |
| 飲料缶 | 3 | 0.009 | 0.022 | 0.010 | 0.022 |

スクラップ鉄の動向を調査するため、市中スクラップ鉄中の不純物濃度をくず種類ごとに調査した結果、リンや硫黄などに比較して、銅や錫は自動車スクラップではあまり多くないことが分かった。従来の知見とは異なるため、今後、慎重なフォロー調査が不可欠。


市場スクラップ中不純物銅濃度の予測



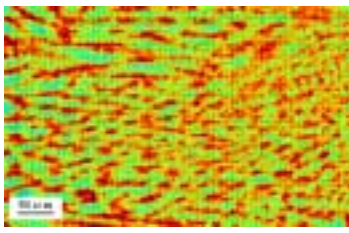




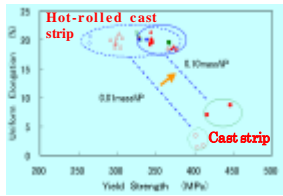
高リン含有薄板の創製

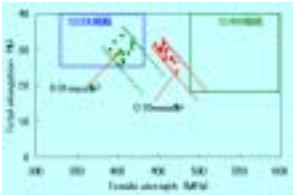


広幅ホットストリップ創製試験
(三菱重工・広島の利用)



鑄片中のP偏析状態 (CMA)

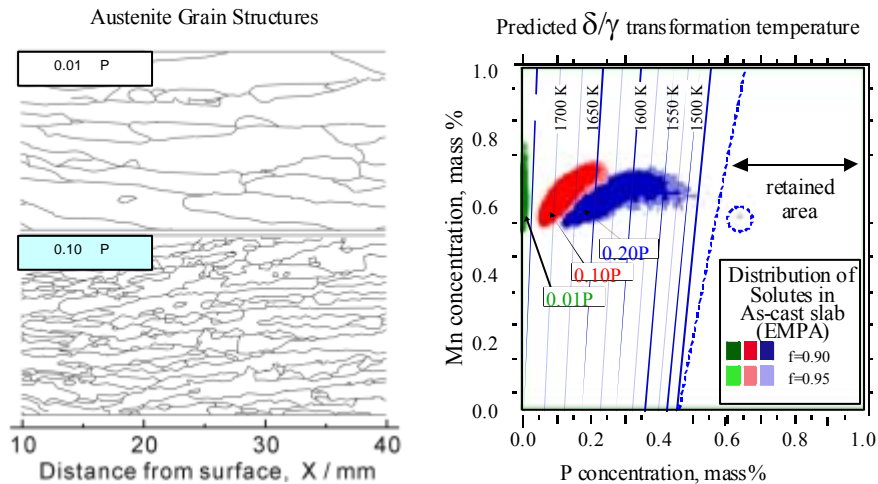




**不純物Pは急冷凝固により微細に分散
再加熱圧延では強度・延性バランス向上**

従来材の1.5倍の強度の再生材を得る可能性

不純物リンによる、粒成長の抑制

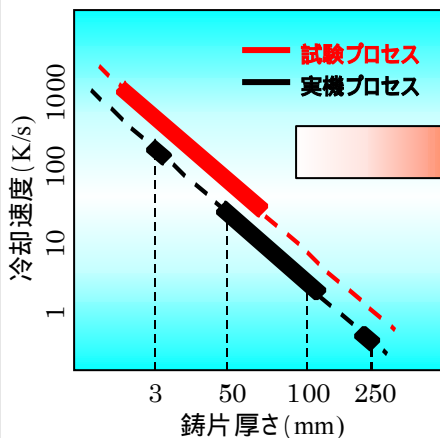


不純物リンを0.1mass%含有した100mm厚スラブの組織を調べ、粒が微細化していること、その機構として、フェライトが低温まで残留して、粒の成長を抑制している可能性が示された。

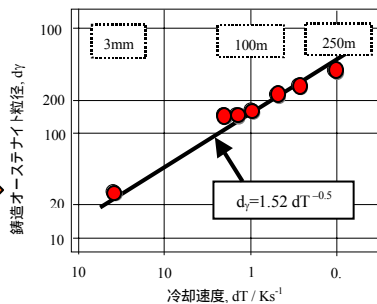
急冷凝固プロセスにより得られた研究成果の例

鑄片が薄いほど
凝固冷却速度は速くなる

組織微細化の可能性



冷却速度と組織の関係

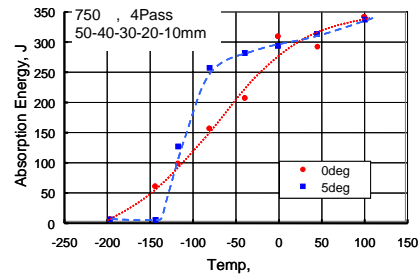


冷却速度が大きいほうが
組織(鑄造粒)が細くなるという
経験則を、定式化することができた。

シーズからの新しい基礎検討のための実験

新しい加工モードプロセスの検討

クロスロールを用いて鋼板にせん断ひずみを導入した場合の
 靱性改善効果調べた。

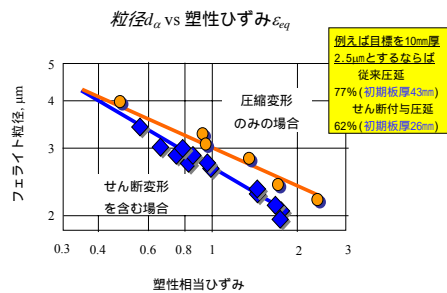
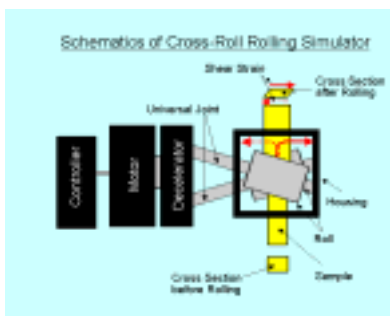


シャルピー試験衝撃値と温度の関係

**クロスロール圧延後により延性-脆性遷移温度が低くなり、
 鋼板の靱性が改善されることが分かった。**

加工モードの変化により得られた研究成果の例

鋼の圧延時にクロス角をつけたロールで圧延する



Low Carbon Steel: 0.15C-1.5Mn-0.3Si (wt.%)
 Reverse Cross-Roll Rolling 750 , 4 Pass: 50-10mm

Improvement in Toughness and Formability and grain refinement effect

**クロスロール圧延によるせん断ひずみ導入により、従来圧延よりも
 同じ塑性歪みにおける結晶粒微細化効果が高くなることがわかった。**

強度1.5倍化への試み

板材の創製

急冷凝固を利用した場合

[実験条件]

- ・ 鋳造方法: ストリップキャストイング
- ・ 鋳片厚さ: 3mm
- ・ 不純物リン濃度 0.1mass%

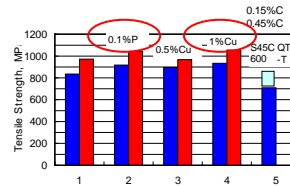
| 材料 | YS (MPa) | TS (MPa) | El (%) |
|------------|----------|----------|--------|
| 本薄鋳造片素材 | 446 | 621 | 9.4 |
| SS400製品(例) | 265 | 412 | 30.0 |

棒材の創製

炭素・リン添加、
超微細粒化を利用した場合

[実験条件]

- ・ 炭素濃度 0.45mass%
- ・ 溝ロール圧延



形状の異なる鋼に対し、強度1.5倍化に目処をつけることができた。

リサイクル鋼 模擬素塊 創製実験設備の整備



溶解・凝固シミュレーターの導入

薄スラブCCを模擬した溶解～鋳造装置を導入、30～100mm厚インゴットの創製を可能にした。組織は実機スラブをよく模擬できていることを確認した。

これまで、連続鋳造機からの
鋳造まま組織観察は大変困難。



種々の実験・冷却条件に対応できる、
薄スラブ組織シミュレーターを
開発することができた。



せん断付与圧延機の導入

クロスロール圧延試験装置を導入、0～10°の角度をつけた圧延により、せん断歪導入材の創製に成功した。

従来は、形状制御のため最大2°まで
のクロス角が実プロセスで適用。



クロス角を増大させ、せん断を積極的に
利用することにより、内質制御にも
効果があることを始めて示した。

シーズの発掘から、

基礎試験用
溶解・鑄造シミュレーター



小規模
せん断付与圧延機

実プロセスへの展開まで

パイロットプラント例
ストリップキャスター



シミュレーターの導入・開発、パイロットプラントによる鑄片の試作を行った。

試作品への展開



高リン含有鋼により作製したガードレール

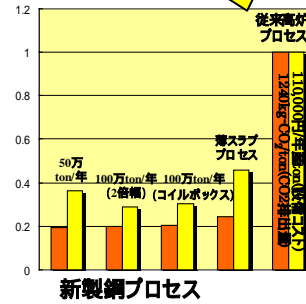
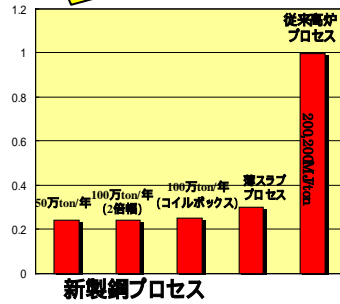
新プロセスのエネルギー収支・環境負荷・経済性の調査 (評価・助言会議コメントへの対応; 試算前提の明示)



消費エネルギーは
従来プロセスの1/3

CO₂排出量は1/5、
設備コストは1/3

<新プロセスイメージ>



・新プロセス(電炉、ストリップキャストプロセス)、薄スラブプロセスは消費エネルギー、CO₂排出量、設備コストとも従来プロセス(高炉、スラブ圧延プロセス)より小さく、**循環型社会構築の上で妥当性がある。**
 ・消費エネルギー、CO₂排出量はランニングコストで示しており、設備コストはフィールドコストを除いた装置導入コストとなっている。

世界における、リサイクル鉄利用プロセスの動向調査、 各国との連携

- **米国** ミニミルを中心にスクラップ鉄利用プロセスの先進国。リサイクル鋼適用範囲の適切な選択、**生産性、操業の安定性の向上、** 鑄造技術などリサイクル阻害要因の抑制努力は学ぶ点多い。**鑄造まま組織の研究の重要性を認識。**
- **ドイツ** 官学を挙げて連携した鉄鋼研究を実施。**環境問題からCO₂削減に対する意識が高く、薄スラブプロセス研究が盛ん、製鉄機械開発でも一歩リード。**
- **アジア** 現在高炉プロセスによる大量生産を誇る中国も近い将来**リサイクル問題を視野に入れた取り組みの提唱が必要。** 韓国も高炉、電炉がバランスよく発展。定期的に共催の国際会議などを開催し、意見交換、研究協力など、**活発な交流。**

世界的な鉄鋼研究の潮流における、**本課題の重要性を再確認。**
 今後も欧米、アジアの動向の調査を継続し、
 各国との交流、協力関係を構築していく。

6 . 研究発表業績

掲載論文 67件
 口頭発表 151件
 解説など 29件
 特許出願 11件

< 論文一覧 >

| 題目 | 発表者 | 掲載誌 | 巻 | 号 | 年 | 開始頁 | 終了頁 |
|--|---|---|------|-----|------|------|------|
| 低炭素鋼の塑性変形されたオーステナイトの粒界から生成するフェライト粒の形、大きさ結晶方位 | 鳥塚史郎、梅澤修、津崎兼彰、長井寿 | 鉄と鋼 | 86 | 12 | 2000 | 801 | 806 |
| 多方向加工による均一微細フェライト粒組織の形成 | 鳥塚史郎、井上忠信、長井寿 | 鉄と鋼 | 86 | 12 | 2000 | 807 | 814 |
| 多方向加工によるひずみ分布の数値解析 Numerical Analysis of Plastic Strain Distribution through Multi- | 井上忠信、鳥塚史郎、長井寿 | 鉄と鋼 | 86 | 12 | 2000 | 793 | 800 |
| A micromechanics modeling for transformation induced plasticity in steels | N.Tsuchida and Y.Tomota | Materials Science & Engineering A | A285 | Jun | 2000 | 345 | 352 |
| Formation of Uniformly Fine-grained Ferrite Structure through Multi-direction Deformation | T. Inoue, S. Torizuka and K. Nagai | MATERIALS SCIENCE & TECHNOLOGY | 17 | 11 | 2001 | 1329 | 1338 |
| Effect of Plastic Strain on Grain Size of Ferrite Transformed from Deformed Austenite in Si-Mn Steel | T. Inoue, S. Torizuka, K. Nagai, K. Tsuzaki and T. | MATERIALS SCIENCE & TECHNOLOGY | 17 | 12 | 2001 | 1580 | 1588 |
| Effects of microstructural refinement by repeated thermomechanical treatment on mechanical properties for hyper-eutectic Al-Si-(Fe, Cu) cast materials | O. Umezawa, H. Yokoyama and K. Nagai | Int. J. of Materials and Product Technology | 16 | 2 | 2001 | 568 | 573 |
| Concept and Attempt for ULTRA STEELS at NIMS | K. Nagai | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 171 | 174 |
| Continuously cast 0.1 wt% C steels with high phosphorus: microstructural design and control | O. Umezawa, N. Yoshida, K. Hirata, T. Higuchi, N. Sakuma and K. Nagai | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 175 | 178 |
| Compromise between Environmental Burdens and Performance in Strengthening Steels | N. Tsuchida, Y. Tomota and K. Nagai | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 269 | 272 |
| Improvement of Strength-and-Toughness Balance of Recycled Steel through Ultr refinement of Grain Size | T. Hanamura, O. Umezawa, S. Torizuka, and K. Nagai | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 179 | 182 |
| The effects of static strain on the damping capacity of damping alloys | F. Yin, S. Takamori, Y. Ohsawa, A. Sato and K. Kawahara | Materials Transactions | 43 | 3 | 2002 | 466 | 469 |
| New grain refinement method for aluminum cast alloys without adding grain refiner | Y. Ohsawa, S. Takamori, A. Sato | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 467 | 470 |
| Utilization of aluminum and iron contained scrap as the raw material coting | S. Takamori, K. Halada, Y. Osawa | J. of Advanced Science | 13 | 3 | 2002 | 183 | 186 |
| Gigacycle fatigue properties for high-strength low-alloy steel at 100 Hz, 600 Hz and 20 kHz | Y. Furuya, S. Matsuoka, T. Abe and K. Yamaguchi | Scripta Materialia | 46 | 2 | 2002 | 157 | 162 |
| Microstructure of Cast strip in 0.1 mass% C Steels Containing Phosphorus | K. Hirata, O. Umezawa and K. Nagai | Materials Transactions | 43 | 3 | 2002 | 305 | 310 |
| Effect of Shear Deformation on Refinement of Crystal Grains | T. Inoue, S. Torizuka and K. Nagai | MATERIALS SCIENCE & TECHNOLOGY | 18 | 9 | 2002 | 1007 | 1015 |
| Dynamic Restoration Process of Ni-30Fe Alloy during Hot Deformation | D. Suh, S. Torizuka, A. Ohmori, T. Inoue and K. | ISIJ International | 42 | 4 | 2002 | 432 | 439 |
| The Effects of Static Strain on the Damping Capacity of High Damping Alloys | F. Yin, S. Takamori, Y. Ohsawa, A. Sato and K. Kawahara | Materials Transactions JIM | 43 | 3 | 2002 | 466 | 469 |
| High-Speed Deformation for an Ultrafine-Grained Ferrite-Pearlite Steel | N. Tsuchida, Y. Tomota and K. Nagai | ISIJ International | 42 | 12 | 2002 | 1594 | 1596 |
| Gigacycle fatigue properties for high-strength low-alloy steel at 100 Hz, 600 Hz and 20 kHz | Y. Furuya, S. Matsuoka, T. Abe and K. Yamaguchi | Scripta Materialia | 46 | 2 | 2002 | 157 | 162 |
| Improvement of gigacycle fatigue properties by modified ausforming in 1600 and 2000 MPa-class low-alloy steels | Y. Furuya and S. Matsuoka | Metallurgical and Materials Transactions A -Physical Metallurgy and Materials Science | 33A | 11 | 2002 | 3421 | 3431 |
| Microstructural Analyses of Grain Boundary Carbides of Tempered Martensite in Medium-Carbon Steel by Atomic | M. Hayakawa, S. Matsuoka and K. Tsuzaki | Materials Transactions | 43 | 7 | 2002 | 1758 | 1766 |
| Atomic force microscopy of induction- and furnace-heating-tempered prestressed steels with different delayed fracture properties | M. Hayakawa, S. Matsuoka, K. Tsuzaki, H. Hanada and M. Sugisaki | Scripta Materialia | 47 | 10 | 2002 | 655 | 661 |
| 鋼ブロック片による交流磁束測定法の検討 | 植竹一蔵 | 非破壊検査 | 51 | 5 | 2002 | 281 | 288 |
| 多方向加工による微細フェライト組織の均一形成 | 井上忠信、鳥塚史郎、長井寿 | 熱処理 | 42 | 6 | 2002 | 385 | 387 |
| 改良オースフォームを適用したSCM440鋼の高サイクル疲労特性(第一報:1600MPa級焼入れ焼戻し材と改良オースフォーム材の疲労特性) | 古谷佳之、松岡三郎、高木周作 | 日本機械学会論文集A | 68 | 665 | 2002 | 41 | 48 |
| 低温焼戻しSNCM439鋼のギガサイクル疲労特性に及ぼす繰返し速度の影響 | 古谷佳之、松岡三郎、阿部孝行、山口弘二 | 日本機械学会論文集A | 68 | 667 | 2002 | 477 | 483 |
| 改良オースフォームを適用したSCM440鋼の高サイクル疲労特性(第二報:1600MPa及び2000MPa級改良オースフォーム材の疲労特性) | 古谷佳之、松岡三郎 | 日本機械学会論文集A | 68 | 673 | 2002 | 1344 | 1351 |
| 超音波疲労試験を利用した介在物検査手法 | 古谷佳之、松岡三郎、阿部孝行 | 鉄と鋼 | 88 | 10 | 2002 | 643 | 650 |
| 430 と500 で焼戻されたばね鋼SUP7の10 ⁷ サイクル疲労特性 | 阿部孝行、古谷佳之、松岡三郎 | 鉄と鋼 | 88 | 11 | 2002 | 786 | 792 |
| 焼戻しマルテンサイト鋼のナノ領域強度解析 | 蛭川寿、松岡三郎、古谷佳之、高原健介 | 日本機械学会論文集A | 68 | 674 | 2002 | 1473 | 1480 |
| 改良オースフォームした耐水素割れ感受性に優れる中炭素鋼焼もどしマルテンサイト鋼のAFM組織解析 | 早川正夫、寺崎聡、原徹、津崎兼彰、松岡三郎 | 日本金属学会誌 | 66 | 7 | 2002 | 745 | 753 |
| フェライト系12Cr-2W耐熱鋼の高周波サイクルおよび高サイクル疲労特性 | 小林一夫、木村恵、早川正夫、山口弘二 | 圧力技術 | 40 | 5 | 2002 | 277 | 282 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-----|-----|------|------|------|
| フェライト-パーライト鋼の引張変形応力におよぼす温度、ひずみ速度とフェライト結晶粒径の影響 | 土田紀之, 小野匠, 友田陽, 長井寿 | 日本機械学会論文A | 68 | 675 | 2002 | 1547 | 1552 |
| 10 ⁴ 10-cycle fatigue properties of JIS-SUP7 spring steel | Y. Furuya, T. Abe and S. Matsuoka | Fatigue and Fracture of Engineering Materials & Structures | 26 | 7 | 2003 | 641 | 645 |
| Nanosopic measurement of local plastic deformation for a tempered martensitic steel by atomic force microscopy | M. Hayakawa, S. Matsuoka and Y. Furuya | Materials Letters | 57 | 20 | 2003 | 3037 | 3042 |
| Influence of Phosphorus on Solidification Structure in Continuously Cast 0.1 mass% Carbon Steel | N. Yoshida, O. Umezawa and K. Nagai | ISIJ International | 43 | 3 | 2003 | 348 | 357 |
| 全方向きず検出のための回転磁界による漏洩磁束探傷試験 | 植竹一蔵, 長井寿 | 非破壊検査 | 52 | 5 | 2003 | 246 | 253 |
| Influence of Phosphorus Micro-Segregation on Ferrite Structure in Cast Strips of 0.1 mass% C Steel | O. Umezawa, K. Hirata and K. Nagai | Materials Transactions | 44 | 7 | 2003 | 1266 | 1270 |
| Damping behavior improvement in Mn-Cu alloys with the addition of Ni | F. Yin, K. Nagai and K. Kawahara | Materials Transactions | 44 | 9 | 2003 | 1671 | 1674 |
| The damping behavior of a Ni-50 at% Ti shape memory alloy | F. Yin, S. Takamori, Y. Ohsawa, K. Nagai and K. Kawahara | Zeitschrift für Metallkunde | 94 | 9 | 2003 | 1021 | 1026 |
| リサイクル鉄を用いた材料開発 | 井上忠信, 長井寿 | 材料 | 52 | 9 | 2003 | 1107 | 1115 |
| Effect of manganese segregation on fine-grained ferrite structure in low-carbon steel slabs | T. Yamashita, S. Torizuka and K. Nagai | ISIJ International | 43 | 11 | 2003 | 1833 | 1841 |
| Phosphorus induced dislocation structure variation in the warm-rolled ultrafine grained low-carbon steels | F. Yin, T. Hanamura, O. Umezawa and K. Nagai | Materials Science and Engineering A | 354 | 1-2 | 2003 | 31 | 39 |
| 超微細フェライト-セメンタイト鋼の静的引張特性 | 土田紀之, 友田陽, 長井寿 | 鉄と鋼 | 89 | 11 | 2003 | 1170 | 1177 |
| せん断付与圧延による圧延鋼板の特性 | 中嶋宏, 山下晃生, 井上忠信, 嶋塚史郎, 花村年裕, 長井寿 | 鉄と鋼 | 89 | 2 | 2003 | 281 | 288 |
| Thermodynamics of Phosphorus in the MnO-SiO ₂ -FeO system. | Y. Kobayashi, N. Yoshida and K. Nagai | ISIJ International | 44 | 1 | 2004 | 21 | 26 |
| Analysis on Refinement of Columnar Grain by Phosphorus in Continuously Cast 0.1 mass% Carbon Steel | N. Yoshida, O. Umezawa and K. Nagai | ISIJ International | 44 | 3 | 2004 | 547 | 555 |
| Ductile-brittle transition temperature of ultrafine ferrite/cementite microstructure in a low carbon steel controlled by effective grain size | T. Hanamura, F. Yin and K. Nagai | ISIJ International | 44 | 3 | 2004 | 610 | 617 |
| Microstructure Control and Wear Resistance of Grain Boundary Allotriomorphic Ferrite/Granular Bainite Duplex | P. Xu, F. Yin, and K. Nagai | MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A | 385 | 1/2 | 2004 | 65 | 73 |
| Effect of Shear Deformation on Microstructural Evolution of Ni-30Fe Alloy during Hot Deformation | J. Cho, T. Inoue, F. Yin and K. Nagai | Materials Transactions | 45 | 10 | 2004 | 2960 | 2965 |
| Crystallography and precipitation kinetics of copper sulfide in strip casting low carbon steel | Z. Liu, Y. Kobayashi and K. Nagai | ISIJ International | 44 | 9 | 2004 | 1560 | 1567 |
| True stress-true strain relations at very low strain rates at room temperature for an austenitic 25Cr-19Ni steel | N. Tsuchida, E. Baba, O. Umezawa, K. Nagai and Y. Tomota | ISIJ International | 44 | 1 | 2004 | 209 | 213 |
| In situ neutron diffractino during tensile straining of fine grained ferrite-pearlite steel | T. Ono, Y. Tomota, D. Neov, D. Lugovy, P. Lukas, N. Tsuchida and K. Nagai | Materials Science and Technology | 20 | 1 | 2004 | 121 | 125 |
| Fiber texture and substructural feature in caliber-rolled ultrafine low carbon steels | F. Yin, T. Hanamura, T. Inoue and K. Nagai | Metallurgical and Materials Transactions A - Physical Metallurgy and Materials Science | 35A | 2 | 2004 | 665 | 677 |
| Plastic Anisotropy of Strip-Cast Low-Carbon Steels | P. Xu, F. Yin and K. Nagai | Materials Transactions | 45 | 2 | 2004 | 447 | 456 |
| Effect of Nano-Scale Copper Sulfide Particles on the Yield Strength and Work Hardening Ability in Strip Casting Low-Carbon Steels | Z. Liu, Y. Kobayashi and K. Nagai | Materials Transactions | 45 | 2 | 2004 | 479 | 487 |
| ニアネットシェイブCCにおける鑄造 粒径の予測 | 吉田直嗣, 小林能直, 長井寿 | 鉄と鋼 | 90 | 4 | 2004 | 198 | 205 |
| 溶接部の漏洩磁束探傷試験に及ぼすHAZの影響 | 植竹一蔵, 長井寿 | 非破壊検査 | 53 | 6 | 2004 | 358 | 365 |
| The Thickness Gradient of Microstructure and Mechanical Property in an As-cast Thin Steel Slab | P. Xu, F. Yin and K. Nagai | Materials Transactions | 45 | 7 | 2004 | 2456 | 2462 |
| A State of the Art and Development in Materials Process Design and Technology for Sustainable Society | 梅澤修, 長井寿 | Transactions of MRS-Japan | 29 | 5 | 2004 | 1925 | 1930 |
| Characteristic microstructure features influencing the mechanical behavior of warm-rolled ultrafine low-carbon | 服福星, 花村年裕, 井上忠信, 長井寿 | Transactions of MRS-Japan | 29 | 8 | 2004 | 3533 | 3538 |
| 超微細粒フェライト-セメンタイト鋼の高速引張変形挙動 | 土田紀之, 友田陽, 長井寿 | 鉄と鋼 | 90 | 12 | 2004 | 1043 | 1049 |
| Effects of interstitial solute atoms on the very low strain-rate deformations for an IF steel and an ultra-low carbon steel | N. Tsuchida, E. Baba, K. Nagai and Y. Tomota | Acta Materialia | 53 | 2 | 2005 | 265 | 270 |
| Effect of Phosphorus on Sulfide Precipitation n Strip Casting Low Carbon Steel | Z. Liu, Y. Kobayashi and K. Nagai | Materials Transactions | 46 | 1 | 2005 | 26 | 30 |
| 回転磁界軌跡の形状が漏洩磁束に及ぼす影響について | 植竹一蔵, 長井寿 | 非破壊検査 | 54 | 2 | 2005 | 76 | 83 |

<解説など一覧>

| 題目 | 発表者 | 掲載誌 | 巻 | 号 | 年 | 開始 | 終了頁 |
|--|---------------|--|----|-----|------|------|------|
| 温間多軸加工により作製された微細フェライト粒鋼の強度と靱性 | 鳥塚史郎 | 金属学会セミナーテキスト結晶粒微細化への新アプローチ | - | - | 2000 | 77 | 82 |
| SEM-EBSPの使い方 | 梅澤 修 | 軽金属 | 50 | 2 | 2000 | 86 | 93 |
| 現代社会での金属産業の役割 | 長井寿 | 金属 | 71 | 1 | 2000 | 54 | 56 |
| 21世紀に向けての鉄鋼材料開発の動向と展望 | 長井寿 | 熱処理 | 40 | 6 | 2000 | 282 | 286 |
| リサイクル材料設計 | 長井寿 | 月刊ディスプレイ | 6 | 3 | 2000 | | |
| 再生原料の不純物利用素材材化プロセス New processing for recycling of iron scrap involving | 大澤嘉昭 | ふえらむ | 7 | 4 | 2002 | 27 | 30 |
| 現代の和釘の機械的性質とはいかなるものか | 梅澤修 | ふえらむ | 6 | 10 | 2001 | 805 | 809 |
| SEM-EBSPで何がわかるか | 梅澤修 | 熱処理 | 41 | 5 | 2001 | 248 | 257 |
| 近未来の鉄鋼材料を知る | 長井寿 | まてりあ | 41 | 2 | 2002 | 138 | 138 |
| 「刀鍛冶」に学び、前人未踏の成果 | 長井寿 | Science & Technology Journal | 11 | 6 | 2002 | 12 | 13 |
| 超鉄鋼 | 長井寿 | エコマテリアル学 | | | 2002 | 307 | 316 |
| 超鉄鋼研究センターの紹介とトピックス | 長井寿 | Materials Integration(国内誌) | 15 | 9 | 2002 | 61 | 67 |
| 非破壊試験と標準化(非破壊検査の標準化はどこまで進んでいるか?) | 植竹一蔵 | 設備と管理11月別冊、非破壊検査で設備診断 | | | 2002 | 108 | 110 |
| AFMによる微細マルテンサイト組織の定量評価 | 早川正夫,松岡三郎,津崎兼 | 熱処理 | 42 | 3 | 2002 | 161 | 162 |
| リンと結晶粒微細化 Phosphorus and Grain Refining | 花村年裕,長井寿 | PHOSPHORUS LETTER | 44 | | 2002 | 34 | 37 |
| 凝固から始まる超鉄鋼研究開発 | 長井寿 | 金属 | 73 | 11 | 2003 | 33 | 36 |
| Ultra-steels | K. Nagai | Facet | 2 | 2 | 2003 | 9 | 10 |
| 超鉄鋼の研究開発動向 | 長井寿 | 配管技術 | 45 | 1 | 2003 | 11 | 15 |
| Damping behavior and relevant physical mechanisms of high damping alloys | F. Yin | Research Signpost | - | - | 2003 | 213 | 233 |
| 金属の電磁気的性質 | 植竹一蔵 | 渦流探傷試験 | - | - | 2003 | 87 | 102 |
| 試験コイルのインピーダンスへの影響因子とインピーダンス | 植竹一蔵 | 渦流探傷試験 | - | - | 2003 | 103 | 111 |
| 鋼中不純物と急冷凝固組織 | 小林能直,長井寿 | まてりあ | 43 | 9 | 2004 | 730 | 736 |
| 超微細組織鋼の創製とその応用 | 鳥塚史郎 | 企業と知的財産 Enterprise and Intellectual Property | - | 387 | 2004 | 14 | 14 |
| 加工ひずみ制御による高効率な結晶粒微細化技術の探索 | 井上忠信 | 塑性と加工 | 45 | 527 | 2004 | 1042 | 1044 |
| 超鉄鋼材料-リサイクル鉄の超鉄鋼化 | K. Nagai | 未来材料 | 4 | 4 | 2004 | 41 | 47 |
| 未来の金属材料-スーパーメタル、超鉄鋼など盛んな研究開 | 長井寿 | プラントエンジニア | 36 | 8 | 2004 | 13 | 17 |
| 日本やアジアの実状にあった鉄鋼づくりを中小企業とともに-近未来の鉄鋼材料に挑む | 長井寿 | 中小商工業研究 | - | 81 | 2004 | 126 | 138 |
| 近未来の鉄鋼材料に挑む-リサイクル鉄を強度・寿命2倍の超鉄鋼に変える- | 長井寿 | 技術と自然の未来を語る ナノテクから宇宙まで | - | - | 2004 | 34 | 48 |
| 超鉄鋼 | 長井寿 | 日本機械学会論文集 | 70 | 698 | 2004 | 1351 | 1355 |