

### **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        |
| <br>                          |               |
| ( 2 ) 第 I 期研究内容について ( 金材研報告 ) | 13:50 ~ 16:00 |
| 1 ) ミニアム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      |
| <br>                          |               |
| ( 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  $\mu\text{m}$  から 1  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$  から 1  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$  から 20  $\mu\text{m}$ 。

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、委員で検討する形によるしいか。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によるしいか。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らずにはならない。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  $\mu\text{m}$  以下が超微細、20 - 5  $\mu\text{m}$  が微細と考えている。
- C.  $10^3$  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 を見なければならない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てくる。

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-ダ-)

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 「鍛冶と鉄=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 CO<sub>2</sub> 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、鉄の酸化物を溶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SLCM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熔融にして接合し、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 $\mu$ 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、溶融垂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リサイクルできる 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めて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/mm<sup>2</sup>、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、 CO<sub>2</sub> 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、 ど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 <sub>2</sub> 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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
	米国におけるミニミル技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不純物銅、錫の相変態に及ぼす影響は未解明。</li> <li>・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。</li> <li>・パンケーキ 粒は再結晶化過程で除去する。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>

	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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
	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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>

### 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、CO<sub>2</sub> 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、熔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。