

特別講演

□西山賞受賞記念

未来(いま)を見つめた鉄鋼研究への挑戦

Continuous Challenge to Fundamental Research on Iron and Steel in The National Institute

岡田雅年
Masatoshi Okada

(独)物質・材料研究機構 名誉顧問
日本原子力研究所 特別研究員*



*脚注に略歴

1 はじめに

日本鉄鋼協会西山賞という大変名誉ある学会賞を受賞し、身に余る光栄と感じている。協会会長をはじめ理事の方々に厚く謝意を表したい。また本学会賞は個人に与えられたものであるが、これまで一緒に研究をしてきたグループの方々の功績を代表して戴いていると強く感じており、これらの多くの方々にも厚くお礼を申し上げる次第である。

2 “いま”をテーマに

私は金属材料技術研究所(以下金材研)に約40年在職したが、何時も未来はその時の“いま”の上にたって語られそして挑戦して来たように考えている。そこで本日の講演も表記のタイトルで、一国立の材料研究所であった金材研のその時々“いま”を一研究者、研究プロジェクト推進者、研究管理者であったものとしてお話することにした。鉄鋼研究の今日から未来への挑戦へ結び付けることに、少しでも役に立てばと考えた次第である。独断と偏見に基づいているところはお寛容をお願いしたい。

今年の1月、テレビで「もう一つの阪神大震災10年」と言う震災で被災した神戸製鋼所の復活の番組が放映された¹⁾。崩壊した埠頭や設備と共に、この番組の中でいわば復活の主役として語られた主製品“弁ばね”の映像が取り上げられていた。私にとってこの番組が非常に印象的であった。それは、製鉄企業は鉄を造ると共に鉄を顧客に提供するところであること、また両者すなわち自主技術開発の精神と顧客を大切に心との結びつきが復活の原動力になったことである。私は国立研究所の経験が長いので、その習慣で国の研究所とは何かと言うことが今になってもまだ頭の隅に残っている。先

の話が大変印象的であったのは、国の研究所で造っているものは何であろうか、対象とする顧客は誰であろうか、何かの時に力が発揮できるであろうかと言うことが今なお関心事であったからである。換言すれば国の研究所のアイデンティティーは何かと言うことかと思う。今の独立行政法人ではもう答えが出た話かもしれない。しかし今日の私の話はこの辺が発端になっている。

3 50～20年前の“いま”

これから当時唯一の金属に関する国立研究所であった金材研の挑戦の歴史を駆け足で通り抜けてみよう。

3.1 「研究所の歩み」から独断の推論

創立1956年から原則5年ごとに「研究所の歩み」²⁾が発行されており、時の所長が巻頭言を書いている。各巻頭言から強調されていることを表1に抽出してみた。イタリックはこの研究所に限られた特徴をあらわす言葉である。5年、10年

表1 科学技術庁金属材料技術研究所「歩み」の巻頭言から

《0年》昭和31年(1956年)
《5年》基礎・応用・発展・生産研究までの一貫研究、原子力・航空機材料、耐熱材料の研究、溶接・腐食、**大学研究組織とは異なった性格を有す(成功率において多少の問題は容認、ex.硫化鉄鉱、ラテライトの活用)**
《10年》原鉱から製品までの一貫研究の場合、**材料試験部設置(国産材の国家保障、将来は独立へ)、マレージング鋼、～2MeV電顕を筑波に、自由とは気儘ではない**
《15年》技術革新、自主開発、豊かな社会の創造
《20年》高度成長の終息、福祉貢献の技術、資源・エネルギー・環境問題
《30年》高度情報化社会・福祉社会の材料要請、発想の転換
《～年》基礎的・先導的、**筑波移転**、COE

*昭和39年東大化学系大学院博士課程修了後、米国エイムス原子力研究所に留学し、41年金属材料技術研究所に入所、原子炉研究部長、筑波支所所長を経て、平成7年同所長に就任した。13年退官後、17年3月まで原研特別研究員。16年日本原子力学会フェロー。

にある“基礎、応用、発展、生産までの一貫研究”が当初のモットーになっていた。原子力、航空機、耐熱材料なども設立時に掲げた公式のテーマであった。注目すべきはイタリアックが、15年過ぎから無くなったことである。時代を表す言葉が主になってきて、材料、技術の具体性が見えなくなっている。“何を”、“誰に”が具体的には見えなくなり、たてまえが前に出るようになったようである。この状態が長く続いた結果、先述のように“国立研究所のアイデンティティー”が問われるようになったとも考えられる。

さてその間、鉄鋼材料に関して多くの個人研究、グループ研究が行われてきたが、材料物理、製錬プロセス、材料試験を代表する3件を私の独断であげてみることにする。

3.2 世界に誇る装置開発があった

その一つが藤田広志先生の研究室が1965年に世界ではじめて開発された500KVの電子顕微鏡である。この電顕で初めて厚みのある試料、Alで3.5 μ 、Fe系で1.2 μ 厚の試験片内部が観察できた。従来の100KVの3倍の厚みであった。再結晶、転位の挙動、マルテンサイト変態などバルクの結晶内の動的観察が初めてできるようになった³⁾。

3.3 プロセス研究も大規模に行った歴史がある

製鉄プロセス連続化の一貫を目指して、1964年より連続製鋼の大規模な研究が行われた。金材研式三段の炉で、製鋼反応、耐火物、レーザ計測などの研究を行っている⁴⁾。IRSID、BISRAの方法と並べて「20世紀鉄鋼技術史のトピックス」⁵⁾にも採り上げられている。その後、金材研式連続製鋼法に基づいて、新技術開発事業団の援助を受けて、自動車のスクラップ溶解を目的に苫小牧に商業ベースの設備を建設し操業している。1981年から4年間32,600トンのピレットが生産された⁶⁾。

3.4 材料標準データを取得しデータシートを企業等へ配布してきた⁷⁾

昭和41年中立機関として国産耐熱合金のクリープ試験を行うことを目的として材料試験部が設置された。試験結果はクリープデータシートとして関係機関に配布され、国内、国外で高く評価されている。長いものは、1ギガ秒(約31.7年)以上に達しているものもある。またそこから基底クリープ強度の考え方のような基礎的な研究が生まれている⁸⁾。施設の維持はしばしば問題となってきたところであるが、国内外から信頼性されるデータを40年の長期間に亘って提供し続けることが出来たのは、国の機関であったことが大きいと考えている。疲労試験データシート、腐食データシートなどもその後加わった。

4 10年前の“いま”

10年前に私が所長に就任した頃は、国立研究所の見直し、独法化問題が始まったところであった⁹⁾。

4.1 超鉄鋼研究の開始へ

まずは研究所に新しい雰囲気を入れることを考えた。金材研のように構造材料の実績が長いところにあっても、今使われている材料はもはや研究の価値なし、という短兵急な評価は大方の気持ちを沈下させる。また当時研究分類の議論があり¹⁰⁾、ブレイクスルー型研究と積み上げ方(インクリメント型)研究が対極にあり材料研究は大方積み上げ方であると論ぜられていたが、積み上げ方の研究にもブレイクスルーはあるのだと主張してきた¹¹⁾。もう一つ、専門分野の違う人、経歴の違う人が、一つの目標に向かって一緒に研究をする場を創ろうと考えた。加えて産官学において研究が低下していた状況、社会基盤の維持に関わる必要性から、世間の大勢にはやや添わぬが研究所の重要テーマとして改めて構造材料研究を取りあげることにした。そして、構造材料ならば当然、大量に使われており標準となる鉄鋼材料から再開する、また基礎研究から始めるには研究実績のある国立研究所がまさにそれに取り組むべきと考えたのである。

4.2 プロジェクト設立に特筆される科技厅の協力、鉄鋼協会の支援

このような考えで研究所として新しい鉄鋼研究を目指して超鉄鋼プロジェクトを開始したが、先ず科技厅材料室の協力で「新世紀構造材料開発構想」¹²⁾をまとめ、関係の方々のご理解と大きなご支援を頂いた。特に野田忠吉鉄鋼協会会長から中川秀直科技厅長官への要望書¹³⁾、鉄鋼5社の研究所長から金属材料技術研究所への要望書¹⁴⁾が提出されている。要望書には、従来の延長ではなく近未来に向かって高い性能を目標に掲げたものである、社会的経済的ニーズを十分踏まえた総合的な基礎研究を強化する、また研究体制に関しては民間の参画、関連国立研究所、大学とのスムーズな連携などの要望が記されていた。これらのご支援を得て、1997年から「新世紀構造材料(超鉄鋼材料)研究」(以下超鉄鋼研究プロジェクト)として開始することができた。

5 10年前から現在までの“いま”

5.1 超鉄鋼研究プロジェクト第Ⅰ期(1997～2001年)

第Ⅰ期5年間は新しい鉄鋼素材を造ることに重点をおいた。詳しい内容は省略するが、強度2倍、寿命2倍の鉄鋼を、特殊な合金元素を使用せず、リサイクル可能な化学組成で、

10kg規模で得ることを目標とした。研究組織と運営について触れると、初年度に金材研から80人、民間企業から40人、大学から客員研究官等の身分60人で発足した。プロジェクトの実行に関しては、産官学で構成する推進委員会、企画調整委員会、作業分科会で、大きな方針、具体的事項を討議してきた。研究が常に活気を帯びて進められたのは図1に示すように、研究の基本を、素材を造る、構造化（接合）する、（構造体として）評価する、の3専門分野の連携としたこと、同時に運営の基本を、研究所、産業界、大学を金材研一極に集中した機関集中型とした新しい体制をとったことに在った。二つの三角形各々が良く機能し、かつ二つの三角形の間で上手く調整がとれていた。その陰には上記の企画調整委員会、作業部会の日常的な努力に追うところが大きかった。

第Ⅰ期の成果を簡潔に述べると：800 Mpa（一般構造材）は合金成分を変えず結晶粒微細化で強度2倍を達成：1500 Mpa（機械構造材）は合金成分を変えず析出物制御で遅れ破壊を克服：耐熱鋼は合金成分を微調整し、ナノ析出物を作り650℃での高温安定性を確保：耐食鋼は、窒素を1w%添加でステンレス鋼の海水腐食を完全に抑制、とそれぞれの目標を達成した。微細粒鋼では板圧35ミリまでの圧延材が得られている。これらは誌上発表750件、内外の特許230件、学協会賞58件、学協会と連携した調査研究23件等々の成果に表れている。また中国、韓国、EU等への国際的な波及効果をもたらしている。この実績が評価され2002年から超鉄鋼研究センターを中心とする第Ⅱ期計画へと進んだ¹⁵⁾。

なお費用対効果については、5年間で人件費を除き125億円の予算を使用しており、実験棟2棟、大型共用諸設備の設置を考慮に入れても研究費としては多額である。然しながら、ほぼゼロから出発した長期を見据えたプロジェクトであることを考慮すると第Ⅰ期5年の成果で費用対効果を論ずるべきでなく、この予算を初期投資として第Ⅱ期以降の鉄鋼研究、構造材料研究に引き続いて大きな業績をあげることで答えを出していかなばならない。

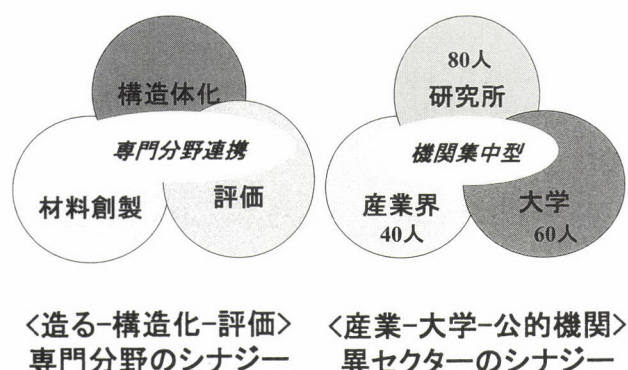


図1 超鉄鋼プロジェクト第Ⅰ期の研究組織と運営体制

5.2 超鉄鋼研究プロジェクト第Ⅱ期（2002～2005年）

第Ⅱ期プロジェクトの主題は“造れる”から“使える”へとになって、第Ⅰ期より積極的に素材としての超鉄鋼を使って新機能・新構造の結びついた“商品”を産もうとしている。そのために、素材―部品―組み立てをリンクした小型のビジネスモデルを作って超鉄鋼の応用が可能であることを早期に実証することを試みている。即ち中小企業との連携で線材加工、ねじ加工を行う、また人工関節等へ高窒素ステンレス鋼を使用するなど商品化に努めている。一方でナショナルセンター的な役割にも重点を置き、土木・建築分野における学協会・研究所との交流、自動車分野におけるメーカーとの交流や日中ワークショップの開催などに努めている。更に特記すべきは、2000年に低コスト化、環境負荷低減を目標とした「リサイクル鉄の超鉄鋼化」プロジェクトを立ち上げ鋼中不純物の逆利用の研究を行っていることで、本年4月25日に最終報告会が行われることになっている。

第Ⅰ期、第Ⅱ期のこれまでにえられた学術的な成果については、新しい知識をまとめた冊子「近未来の鉄鋼材料を知る」がこれまで分野別に6冊刊行されており好評である。学術的成果の普及に力を入れているのは評価したい。

6 今の“いま”

超鉄鋼研究のごく最近の動向を探る試みとして、超鉄鋼研究センターで毎月発行している「STX21 ニュース」の2003年1月から最近号までの巻頭言からキーワードを抽出したものを表2にあげた。ブロック体は材料・技術・商品化に関連するもの、イタリック体は大学・教育・学生に関係するもの、英語は外国からの発言である。新しい材料・技術の開発、商品化・知財、研究連携・ネットワークに関するものがあるのは当然だが、環境・リサイクル等社会ニーズに関するものや、特に、基礎研究、教育、大学に関するものが多い。4月28日に開催された鉄鋼協会の国内シンポジウムでも、環境、資源

表2 STX21 ニュース（2003.01～）巻頭言から

・使われてこそ材料 ・超鉄鋼は新構造材料 ・設計者、工作者、使用者の協力 ・開発スピード ・商品化研究室 ・基本特許と周辺特許 ・コスト計算 ・精密技術との融合 ・自動車用鋼の新共同研究 ・鉄鋼を凌駕するものは鉄鋼 ・USCプラントの成否は材料 ・環境保全 ・graduate students in universities ・USA, Europe and Asia ・次世代鋼構造物 ・リサイクル鉄 ・共同目標達成研究 ・縦割的組織化の危惧 ・産官学ネットワーク形成 ・伸線/冷間圧造 ・プレス成形/溶接/遅れ破壊 ・神は細部に宿る ・old material rediscovered ・greater participation by universities ・鉄鋼の復権 ・接合技術2倍 ・from dream to reality ・社会ニーズの変化に対応 ・MOU ・numerical modeling and testing ・environmental behavior of steel ・「鉄鋼+金属」学生は増えている ・金属材料の教科書が無い

と並んで、社会への反映、なかでも若い人の共感を得ることが主題であった。

環境・資源・エネルギー問題解決への寄与と若い人の情熱と教育、一見別のようなものであるが社会の底辺ではつながっていると考えられる。これが今日の“いま”の問題である。しかし資源等の話は研究所では表1のように30年前から提起されていることも想起すべきであろう。

7 私の“いま”

ここまでは、超鉄鋼研究を私なりに概観してきた。現在私は日本原子力研究所の特別研究員（非常勤）として原子力に関係した材料研究の一部にかかわっている。従って最後に私の“いま”を簡単に述べて締め括りしたい。

7.1 BWR炉心シュラウドの応力腐食割れについて

2001年に発見された東京電力福島第二3号機316L製シュラウドのひび割れについて原研で行われた調査資料¹⁶⁾によると、き裂は内部では複雑な2次き裂を伴う粒界割れであるが、き裂開口部には約300 μm の範囲に粒内割れがある、表面から約500 μm の深さまで最高Hv400を超える硬化層が形成されている。溶接により想定される引張残留応力および炉水の溶存酸素濃度レベルを考えると、き裂は応力腐食割れ(SCC)であると推察されている。低炭素ステンレスでもSCCが生ずる原因は早急に解明を要し電力会社を中心として鋭意研究中であると推察する。一言触れたいのは、軽水炉SCCの原因究明には原子炉実機から取り出したき裂試料の解析が当然必須であるが、現況では関係材料研究者に実機試料が入手し難いことである。早急かつ正確な原因解明には多くの検証データに基づいた材料・工学者間の討論が望まれる。

7.2 高温工学試験研究炉について

日本では原研の高温工学試験研究炉(HTTR)が、2004年4月に炉出口ヘリウムガス温度950℃を達成している。世界では他に中国(HTR-10)が2003年1月に出力10 MW、ヘリウムガス温度700℃の実績があり、ロシア、南アフリカ、米国、国際協力などによる炉開発の計画がある。高温ガス炉は発電のほかに現在では水素製造プロセスの熱源供給として期待されている。原研HTTR出口温度が950℃を達成したときのHe中の不純物濃度を1ヶ月に亘って測定したデータが昨年発表された¹⁷⁾。30年前に鉄鋼協会も深く関わった原子力製鉄プロジェクトで高温ガス炉の熱交換器用耐熱合金選定が行われたが、クリープ試験、腐食試験の試験に用いられる試験ヘリウムガスの組成について討論を尽したことは記憶に刻

まれている¹⁸⁾。研究材料であったハステロイHRが実機として使われるのに30年を要した。世に実用されずに終わった研究材料が大多数であろうからそれでも望外な経験なのであろう。

7.3 レーザ補助3次元アトムプローブについて

最後に、この1月、2月に原研と物質・材料研究機構の協力で得られた成果を紹介する。物材機構の宝野研究室と原研関西研の峰原レーザグループとの協力で、日本初のレーザ補助3次元アトムプローブプロトタイプの装置組立てに成功した。電界に代わってレーザにより表面原子を蒸発させることで、質量分解能が上がり、広角度分析や半導体/絶縁体の分析が可能になる。超耐熱合金インコネルX-750中のガンマプライム析出物で L_{12} の積層構造が観察されている¹⁸⁾。SCCの解析にも有力な武器になる。この研究協力の例は、優れた知識、技術、経験を持った異種領域の研究者が組むと高いレベルの新しい技術開発が効率的にできると言うことを実証したものであろう。このようなケースは材料研究の中にまだ多く隠れているのではないかと思う。要は、巧いきっかけが得られるか否かであろう。しかしこれから先の実機開発研究となると予算が絡むが、意欲的な研究を奨励することからいっても、大形予算でも一桁大きい競争的資金獲得の機会を望む。

8 おわりに

“いま”をテーマに鉄鋼材料を中心とした構造材料の研究が重要であることを国立研究所でのささやかな経験に基づいて述べてきた。鉄鋼材料は将来も長期に亘って社会を支える材料になるであろうが、環境・資源・エネルギーの保存といった“いま”の大テーマの中で材料のパラダイムが見直されている中でその位置を確かにしてほしい。また大学にも企業にも属さない独立行政法人の研究所が存在している力を存分に発揮することを願ってやまない。

参考文献

- 1) サンデープロジェクト, テレビ朝日系列, (2005.01.16)
- 2) 「歩み」5年(1961.7), 10年(1966.7), 15年(1971.7), 20年(1976.7), 30年(1986.7), 「40周年特集号」(1997.2), 科学技術庁金属材料技術研究所
- 3) 藤田廣志, 梶原節夫, 川崎要造, 田岡忠美, 金谷光一: 金属材料技術研究所年報昭和40年, (1965), 47.
- 4) 中川龍一, 吉松史朗: 日本金属学会報, 17(1978)3, 205.
- 5) 下村泰人: 20世紀鉄鋼技術史のトピックス, 日本鉄鋼

- 連盟, (1995), 68.
- 6) K. Otawa, Y. Fujukawa, S. Obayashi and T. Kobayashi : Technical Review MHI, (1985), 111.
- 7) <http://www.nims.go.jp/mits/>
- 8) 木村一弘, 久島秀昭, 八木晃一, 田中千秋: 学振第123委員会研究報告: 33 (1992), 131.
- 9) 国立研究機関長協議会平成9年度報告, (1998), 152.
- 10) 市川惇信: ブレークスルーのための研究組織進化論, オーム社, (1996)
- 11) 市川惇信: 私信, (1997.2.26)
- 12) 新世紀構造材料開発構想, 金属材料技術研究所, (1996)
- 13) 科技庁長官宛要望書, 96企第33号, (社) 日本鉄鋼協会, (1996.7.22)
- 14) 角山浩三, 廣松睦生, 大橋徹郎, 大谷泰夫, 上野康: 金属材料技術研究所所長宛要望書, (1996.6.14)
- 15) 平成13年度フロンティア構造材料研究センタープログラレスレポート——超鉄鋼プロジェクト第Ⅰ期総括——, (2002.12.1), 541.
- 16) JAERI-Tech, 2004-044, (2004.5)
- 17) 坂場成昭, 中川繁昭, 古澤孝之, 江森恒一, 橘 幸男: 日本原子力学会和文論文誌, 3 (2004) 4, 388.
- 18) 高温還元ガス利用による直接製鉄技術の研究開発 (超耐熱合金の研究開発) 最終成果報告書, 金属材料技術研究所, (1981.3)
- 19) 宝野和博: 私信, (2005.3.21)

(2005年4月15日受付)