



特集記事・1

21世紀 鉄はここまで使える

循環型社会における鉄鋼材料の未来像

— 資源生産性の向上から考える —

Roles of Iron Based Materials in Circulatory Society
— A View from Resource Productivity —

村田朋美

Tomomi Murata

北九州市立大学 環境空間デザイン学科
教授

1 はじめに

視点、駆動力、評価システム：鉄鋼材料の未来像はどの立場に自分を置くかによって異なって見える。本稿では視点を1) 鉄鋼業の内側、2) 材料の利用者側、そして3) 社会において、どこに差異が生じるのか、それはなぜかを考え、鉄鋼材料の未来像に関わる示唆としたい。またそれぞれの立場で未来動向を左右する要素として、人や組織を動かす**駆動力**と、結果に対する**評価システム**を考えたい。その2軸から解析すると現象が本物なのか、過渡的なものかの判断が可能になる。本稿では駆動力として1) マネードライブと2) ヴィジョンドライブに着眼し、前者を今日の市場経済が及ぶ範囲に、後者を外部経済領域（未来領域）に当てはめて考えてみる。図1にその概念図を示した。

図中、Aはマネードライブで発展途上国との連携を意味する。生産工場の海外シフト、資源や食料の購入などマネーで動き、今日的には経済が、長期的には歴史が評価する領域である。Bで示したヴィジョンドライブは資源・環境・安全に関する考え方、倫理感、夢、未来社会の未来設計などで駆

動される。評価システムとしてはそれぞれ1) 市場経済の数値評価（以下市場評価と略称）と2) 組織（国や企業など）の社会的役割や責任、および貢献（以下社会評価と略称）がある。複素数的に言えば前者は実数（Real Part）部分であり、後者は虚数部分（Imaginary Part）である。本稿の目的は鉄鋼材料の個別予測ではなく、例えば30年後、市場で鉄鋼材料を動かす要素、あるいはその舞台とは何なのかについて私見を述べることにある。

市場（神の見える手）の限界：「神の見える手」が支配するという市場経済では、経済価値が見えない中長期の動向は対象にならないこと、したがって市場の神はそこで責任を果たさないことである。たとえば、国内外で環境規制が広がり、社会の認識が高まったこの5年間、市場経済がどれほど環境問題に揺り動かされ変貌したかを思い起こせば自明である。市場経済は意外に日和見であり、未来予知能力は低い。私達は、ポスト工業化社会の豊かさとは何なのか、言葉が先行する循環型社会とはどんなものなのかを充分議論しないまま、そして未来ヴィジョンを持たぬまま市場経済に身を任せているのである。本稿では、鉄鋼材料の未来像を単独に考えるのではなく、基礎素材の意義を顧客や社会側から眺め、私達が目指す循環型社会とどこでクロスするか考えてみる。なお本稿の一部は日本鉄鋼協会湯川記念講演「資源生産性からの技術革新」（村田朋美、1998、長崎大学）の講演資料に基づいている。

2 鉄鋼業の内側から見る鉄鋼材料の未来像

鉄鋼材料の未来戦略：鉄鋼材料の未来戦略については1999年に発表された鉄鋼科学技術戦略¹⁾に見事に描かれている。そこではまず日本の鉄鋼業にとって技術優位な領域を、

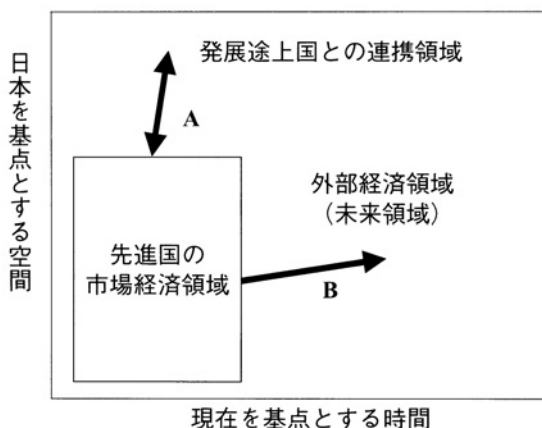


図1 市場経済と外部経済を動かす駆動力

製造工程全域の工程や用途別に、技術指標とその意味、そして国際的な優位性としてまとめられ、日本が世界の鉄鋼技術をリードしている実態が映し出されている。

鉄鋼科学技術戦略課題としては、環境/省エネ型次世代コークス炉に代表される1) 次世代製鉄技術、2) ナノ・メソ材料技術、と並んで3) CO₂抑制技術、DX対策などの環境技術、4) 無人化・遠隔化技術、5) 社会貢献、が挙げられており製造技術、材料の研究 (Products型) から基本設備や解決策 (Solution型) の研究へ重点が移行していることが分かる。また材料テーマとしては材質のメソスコピック制御を除くと挑戦領域が良く見えなくなっている。これはグローバルな価格競争が進み、確実な利潤追求が喫緊の課題となる一方で、企業の環境対応、社会貢献を求める声が増加しているためであろう。加えて、薄鋼板や電磁鋼などの特定競争分野を除くと国家プロジェクト、共同研究が多く、研究開発が受難の時代に遭遇していることを示している。

材料全般にわたっては日本金属学会において材料研究ロードマップの作成など総合的に進められており、その具体的な提案に大いに期待したい (材料戦略委員長、佐久間健人)。一方、日本工学アカデミーでは本年3月、国策という立場から材料産業のあり方について「材料科学と産学官の連携に関する政策提言」をおこなった。その内容は材料科学推進の連携の在り方から、環太平洋アジア連合の構築まで戦略的なもので説得力がある²⁾。

現在の日本の鉄鋼業では直行率を優先するマネードライブが働いている。しかし未来設計のヴィジョンドライブはほとんど働いていないようだ。そして評価システムは目に見える利潤への貢献 (経済評価) と考えて良いだろう。したがって鉄鋼科学技術戦略の特徴は、日本鉄鋼業の今日的技術戦略の色が濃いことである。しかも時代は確実に外から変化し始め、内側からの未来像ではカバーできない要素が増えてきた。例えば資源、環境、情報という、複数の分野にまたがる要素が顕在化し、社会インフラや知的基盤整備など市場の要請が多様化してきた。

考えてみると高度成長期には、アウトプットを律速した要素は企業の生産性にあった。しかし国内消費が飽和し、家電、自動車などの組み立て産業が一足先に海外シフトし始め、加えて発展途上国の鉄鋼製品に価格競争力が高まるにつれアウトプットを律速する要素は市場のニーズになった。これが技術開発の拠り所を顧客に合わせるきっかけになり、後に聖域無き大競争時代といわれる変化の始まりとなった。最近もっと衝撃的な波がやってきている。それはアジア諸国の生産と消費の進展が遠因となり、先進諸国のグローバル経営が誘引した聖域無き市場の空洞化である。新たなグローバル挑戦が

必要とされるゆえんがここにある。

鉄鋼業の歴史に学ぶ：本年9月、九州産業大学で開催された日本鉄鋼協会の第142回秋季講演大会で「わが国初の一貫製鉄所開始100年記念シンポジウム」が開かれた。新日本製鉄(株)八幡製鉄所長、古野英樹氏の基調講演は日本近代化100年の歴史観に裏打ちされた感銘深いものであった。その骨子は1) 海外からの導入技術を日本風土に読み替える先達たちの努力と苦しみ、2) 官営八幡製鉄所を中心に官民一体となった日本製鉄業の発展、3) 戦後復興期における傾斜生産方式、近代化投資の開始、1960年代における鉄鋼各社の臨海製鉄所建設、4) 公害問題への対応と鉄冷え (円高不況)、そして昨今の5) 地元との共生による再生であった。その100年を貫いて見えるものは**1) 時代を切り開く気概、2) 人を育て技術を育てる伝統、そして3) 地域と共に生きる姿勢**であり、鉄鋼業への社会の付託と働く者の矜持がそれを支えていたことを認識させられた。

鉄鋼業に生きつづけたこれらの社会的遺伝子は、市場競争に晒され、いつの間にか短期的な利潤追求を「神の声」とする姿に置き代っているように見える。大切なことは、鉄鋼業に働く人々のみならず社会に向けて、夢を育む未来ヴィジョンを発信し続けることだと思う。資源、環境問題の根深さに気づいた先進社会ではすでに価値観が「発展型より循環型へ」、「量から質へ」、「物の所有から利用へ、借用へ」、「ものの充実から心の充実へ」という方向に確実に変化している。市場の動向が不透明な時、自らその白いキャンバスに自分の未来像を描く機会と捉えるか、逆にリスクと考えて確実なことのみに絞り込むかは大きな分かれ道である。

鉄鋼材料の課題：さて鉄鋼業の内側から見た研究開発テーマは、先に述べたように鉄鋼科学技術戦略に網羅されている。鉄鋼製造プロセスでは目の前で課題が確認できるため、改善テーマや挑戦的な発想には事欠かない。しかし材料の課題は容器、自動車、建築物などの製品に仕上げるプロセスや、最終製品を消費者が利用して初めて確認できることが少なくない。このように材料開発ではコストパフォーマンスに関し市場の厳しい評価を受けるため開発エンジンは必然的にマネードライブ型となり、直行的な経済評価を受ける。したがってテーマは改善型になりやすくブレークスルーへの壁になっている。一方で超鉄鋼プロジェクトやマイクロ組織のメソスコピック制御に見られる、新物性の発現と経済価値創造とのギャップは大きい。それを埋める手段は夢とミッションを共有する産官学の連携であろう。

さて中長期的な視点から鉄鋼材料を見れば、発展途上国では対応出来ない領域に重要な未踏テーマが残っている。構造物用材料としては中村らが提唱³⁾しているように、1) なるべくバース特性を失わない形で資源循環を確立し、人間の体内のように動脈系と対等な経済価値を生む静脈系を形成すること、2) 構造物の長寿命設計に対応し、鋼材特性の平均値制御でなくその極値を制御して劣化要素を軽減させ、信頼性や設計対応性を高めること、3) 時間とともに変化する使用特性（クリープ、時効効果、塗膜密着性、腐食など）を予知可能なレベルに高め、設計に供することなどである。こうした時間を含む要素こそ循環型社会に向けた市場が求める材料特性だといえよう。

機能材料としては1) ナノマテリアル領域で電磁特性など未踏の物性発現が期待されている。この場合鉄基盤の材料に拘わってはならない。創造とは既存の知識の新たな組み合わせであるといわれるが、研究開発における着眼点を簡明に述べた警鐘だと思う。条件付発想は改善策しか生まないからである。

規模の経済発展が望めない21世紀では、鉄鋼材料そのものの、あるいは製品に関わるサービスと便益の経済価値を高める必要がある。Productとして材料を売る代わりに、たとえば加工しシステム化して社会の課題解決に向け、Solutionを売るビジネス展開である。つまり材料から最終消費者の間にある技術階層を越す発想が求められている（図2）。耐火鋼の開発と販売システムはその良い例だと思う。

昨年、建築学会主催で「Continuous Customization in Houses」と題する国際会議が開催された。その趣旨は、たとえば従来のように顧客に住宅を販売して業務の大半が終わるのではなく、修復、改築、増築など住宅の一生を折り込んだライフサイクル設計を進めること、完成後も多様なソフトサービスによって顧客と関わりつづけ、新たな市場を自分のものにすることなどアナログ的なシナリオである。伝統的な日本の大工システムに近い考え方である。その発想は、量のメリットを追求する資本・労働生産性から循環型社会で価値

量から質への変換政策

Products 売りから Solution 売りへ
階層を越すライフサイクル設計
新市場形成戦略のネットワーク
領域の壁を越す資源戦略・資源設計
教育・研究・開発・製造・使用
の評価・育成・メリットシステム

図2 資源・材料の変化

創造を目指す資源生産性へのシフトと等価である。ここで述べる資源とは鉱物、生物資源に限らず、人的資源、社会資本資源、文化資源、情報資源など多様な資源を対象にしている。資源生産性はこうした多様な資源から社会的な価値を生む仕組みを指しており循環型社会を支える基本的な拠り所になると考えられる。図3、4にその意義と要素を示した。資源の考え方については「資源の未来」(科学技術庁資源調査会編、1998)を、最近の発展については資源生産性委員会資料(大中委員長編、未踏科学技術協会、2001)を参照されたい。

鉄鋼業の内側からの鉄鋼材料の未来像は必然的に既存技術体系の改善型かその延長になりがちである。昨今の言葉で言えば「持続性技術体系」であって発想を変えない限りその土壌からイノベーションを引き起こすことは稀である。

物質基盤から知識基盤へ：本年9月、九州産業大学で開催された日本鉄鋼協会第142回秋季講演大会、社会鉄鋼工学会では「鉄鋼業と環境・リサイクル新産業システム創出に向けて」と題する意欲的な発表と討論があった。いまだ萌芽期ではあるが児玉による「デジタル連携」、クリステンセンの「バリューネットワーク」、足立らによる材料リサイクルを意図した「リース型新産業」など、ビジネス創出の発想を刺激する提案と討論があった³⁾。こうした試みは鉄鋼業がたどった社会との連携の歴史を思い起こさせる。これらの駆動力はビジョン、評価システムは社会の課題解決、社会貢献(社会評価)である。

筆者には鉄鋼業の未来を語るに足る力量も資格も不足しているが、最近、市場の動向の中に物質が支配した20世紀から知識を基盤にした21世紀へと変わる確かな兆しが現れて

- ・ 特定資源の生産・加工・利用効率性
(経済コストミニマムで技術を磨く)
- ・ 関連資源を取り込んだ価値創造性
(社会コストミニマムで技術と社会システムを磨く)

図3 資源生産性の意味すること

- ・ 価値軸の設定：ライフサイクル価値
- ・ 評価軸の設定：ライフサイクル評価
- ・ 技術階層の連携：時間・空間軸戦略

図4 資源生産性の要素

きたことに注目している。これから30年も経てば鉄鋼製造に関わる地球規模の分担が進むであろう。そのとき日本の鉄鋼業はどんな知識基盤で生きていくことになるのであろうか。ひとつの可能性は労働集約的な生産業務はこれからの国に任せ、鉄鋼材料の製造技術、使う技術、資源化技術、蓄積技術の転用など材料の生産と消費（利用）の知識を基盤にしたKnowledge Based Companyとして国際的な製造ネットワークの上に立っているのではないかと、知的進化の夢を見ている。

3 材料の利用側から見る鉄鋼材料の未来像

フロー型製品とストック型製品の最適設計：工業製品には携帯電話、家電製品、そして自動車などの耐久消費財で代表される1) フロー型製品と道路や橋梁のような2) ストック製品がある。経済効率、資源効率、環境負荷低減の視点から見て前者では技術進歩が製品交代を早めるものの最適寿命が重視される。しかし、後者では長寿命化が一般解となっている。こうした社会の要請は工業製品全般の経済寿命を伸ばす方向に働き、その結果として、製品のリース化、パーツのリユース化は既に広がり始めている。寿命が延びれば使用環境による性能劣化、美観劣化に対するメンテナンスや補修などのサービス業が市場経済のなかで成長することが期待される。また工業製品に関して製造物責任が問われ、環境負荷低減の設計が進むにつれ、製品のライフサイクル設計が広がることは確かである。

こうした変化は最終顧客である社会との接点で起きる。その変化に対応し戦略を立てるためには、材料側の考えを社会に返し、双方向の会話を成立させる（あるいは発信する）ことが必要である。このような場合、発想や提案はマネードライブとビジョンドライブの双方で駆動され、評価システムも市場価値と社会価値の双方になる。このように2つの駆動力が働き、2つの評価システムが稼動する場合、生産と消費の動向は確かな市場の流れとなる。地球規模の要請を市場が自分の変化と読んでいる証拠といってよい。循環型社会は材料が厳しく出自を問われ、選択される時代である。鉄鋼材料にとって、最も豊かな資源性、循環性、無害性によって勝負できる領域が多いが、弱点として錆やすいこと、音を伝達しやすいこと、重いことを構造体としてどのようにクリアーしていくかが技術課題として残っている。

市場の変化を捉えた製品のリース化：技術の変化は社会との接点にある製品の設計、製造と消費のあり方に現れる。家電大手の、エレクトロラックス社（スウェーデン）では冷蔵庫や

洗濯機のリース化を進めているが、環境負荷を低減しつつ資源循環を進め経済価値を生む知恵の所産といえよう³⁾。ここでは所有から利用への顧客の意識変化が基盤になっている。日本にもコピー機のトナーシステムの回収や、リサイクル型小型カメラには類似の発想があり、消費者が所有することに拘わらない製品ではリース化することが環境対応の一つのSolutionとなる可能性を示している。この場合、使用済み製品の資源化は内容が分かっているため、部品のリユースと質の良い再資源化で構成され、資源循環に適した材料が選択される。その場合、接合しやすさ、分離しやすさ、加工しやすさなど基本要素が要求されるようになる。

本年9月に大阪で開催された日本材料学会腐食防食部門委員会で「循環型社会へのエレクトロニクス業界の取り組み」（松下電器産業（株）富永登）、と「環境対応のための自動車用材料」（トヨタ自動車（株）近田敏弘）の報告を聞く機会があった。どちらの場合も省エネ・省資源設計などの動脈側技術とともに、循環型社会に向けた資源循環、環境負荷低減など静脈側技術を視野に入れた環境経営を推進している姿を明確に示す変化であった。そして家電リサイクル法など静脈規制に対応する早さに関連市場の厳しさを感じた。このような対応の中で材料選択の基準が打ち出されるのであるが、残念ながら製品設計において鉄鋼材料を採用する割合は減ってきている。そのため鉄鋼材料のビジネスでは社会における製品の変化に迅速に対応できるリスクマネジメントと付加価値戦略が急務の課題である。

製品のリース化は、マネードライブとビジョンドライブの双方によって動かされ、評価システムも経済価値と社会貢献の双方になる。したがって確かな市場変化であり、住宅などストック型製品にも広がろうとしている。鋼構造物の長期信頼性とメンテナンスシステムが一層重要になってくる。

4 社会からみた鉄鋼材料の未来像

社会システムの重要性：建築系の学科で仕事を始めて最初に気付いたことがある。建材としての鉄骨の使用特性はデザイン指針を変えるくらいのインパクトがないと価格で有利な製品に負けてしまうが、その大きな理由は、設計屋はデザインによって評価され、建設会社は初期のコストパフォーマンスによって評価されるという単純なことであった。人や組織は評価される物差しに従うからである。建築業界は経済風速として目下停滞気味ではあるが、社会の変化を見据えた潮流は環境負荷低減設計、長寿命設計、SI設計、LCA評価、メンテナンスシステム重視、住宅やオフィスの性能評価の実施、など多様な進展があり、活気がある。建材は苦しい側面があるものの設計では環境空間デザインなど環境時代が順風

になっている。特に多様性をとり込んだ集合住宅のあり方が都市における人間のライフスタイルや創造性に大きな影響を持つことが認識されてから注目を浴びている。このように社会が顧客である場合は、住宅性能評価法によって材料の使い方まで影響を受けるように、法律、規制、評価手法などの社会システムが鍵を握っていることが多い。素材産業は、社会システムの見直しや、知識基盤社会構築に向けて積極的な戦略をもつことが望ましい。

階層を越す発想とネットワーク構築：資源・環境問題のように複雑系で複数の分野にまたがる場合、そこに関わる材料問題は材料単独では解けなくなる。したがって関連先をネットワークで繋ぎ、問題を共有することが必須となる。たとえば、Industrial Ecologyの分野では都市における自動車の問題は都市の機能、都市のインフラなど関連するあらゆる要素から洗い出す必要があるとされている。

資源生産性の必要性：振り返ってみれば現在の資源、環境問題をもたらした大量生産、大量消費、その結果としての大量廃棄を支えた考え方は**労働生産性**や**資本生産性**の向上であった。特に労働生産性は現場のプロセス技術を高めて利潤を得るという市場原理に基づく動機が有る。しかし資本主義の第3の要素として**資源生産性**（資源の戦略的かつ効率的な使い方など図3、4参照）を高める動機は、重視されなかった。資源は無限にあると仮定されてきた。ただ多様な資源の中でエネルギー資源のみは、石油危機以降そのまま貨幣に換算できる要素として経済市場の発展に組み込まれ、労働生産性、資本生産性と連動してきたのでこの枠に入らない。それに対し工業材料は、製品階層構造では下位にあり、その資源は時としてNi、Co、Mo等の価格が需給の時差で高騰することは有ったものの、資源枯渇のために資源生産性向上を図ると言う事態は、戦時下などの特殊な状況を例外として、なかったといつてよい。

さて循環型社会を目指して生産と消費を変えていくためには、量の経済から質の経済への移行が基本となる。しかし個別製品の品質向上は進めやすいが、総量としての積算エネルギー消費、資源消費をどのようにマネジメントするかという視点は定まっていない。総量を制御するには地球規模で、エネルギー単価を高くするなどの経済的措置を進めるか、ある

いは量の経済を支えた動機に資源生産性の考え方を導入し、市場がそれを評価し、社会システムが支援して省エネ、省資源をするといった国情に応じた状況設定が必要になる。製品のリース化はその一つの選択肢といえよう。その流れは資源循環をマネー循環に変えていく力をもっている。

5 おわりに

今、地球規模で生じている大きな変化は環境問題であるが、環境リスクはすでに経営リスクになっており、これを市場経済の重荷と考えるのではなく、新しい市場形成の機会として捉えなくてはならない。過去を振り返ってみても、適切な環境政策は費用削減、品質向上に繋がる技術革新を刺激し、国際市場において優位に立つ機会になった例が多い。これからの鉄鋼材料の研究開発では、材料のユーザーという直接的な顧客のみでなく社会という顧客からも理解され、信用され、共感を得るものでなくてはならない。サプライサイドから最終デマンドサイド（社会）に主役が代ったことは重要である。これからは**製品のライフサイクルからの発想と、資源生産性という新たな動機**を基に市場や社会の変化の本質を読み取り、変化に対応することが求められる。一方、私達の周辺にある様々な規制、金融、税制等の法制度、教育等のシステムは、歴史を経た社会的遺伝子として新しい変化には適切に対応せず、障害になることが多い。新しい技術を生かすには、古びた社会システムと変化の早い経済システムとの時差を見直し、改革していかなくてはならない。技術のみ、材料のみからの発想では問題解決に限界があることを認識したいものだ。本稿では人と組織を駆動する力、結果を評価するシステムに着眼して鉄鋼材料の未来像について私見を述べた。

参考文献

- 1) 鉄鋼科学技術戦略，日本鉄鋼協会，ふえらむ，4（1999）8 付録
- 2) 材料科学と技術の産学官の連携に関する政策提言，日本工学アカデミー第122回談話サロン資料，（2001）
- 3) 鉄鋼業と環境・リサイクル—新産業システムシステム創出に向けて，新産業システム創出研究会報告書，日本鉄鋼協会学会部門 社会鉄鋼工学部会編，（2001）
（2001年10月3日受付）