



世紀を超えて —科学・技術・人の100年—

フェロー 橋本 操

1. はじめに

今から丁度100年前の1911年3月、本技報のルーツである製鐵研究会記事が発刊された。当時、官営八幡製鐵所が立ち上がり、わが国における製鐵技術の早晩期でもあった。その発刊の意図は4つあったと言われている¹⁾。

- ① 国技術の移転だけでなく、その根拠を探り、日本に適した方法を追求すること。
- ② 製鐵所の部門間の技術交流が充分でなく、その状況を克服すること。
- ③ マネジメント層が上記②とも関連して、職工クラスまで連携精神を徹底すること。
- ④ 日常的な作業のなかで改善を積み上げること。

銑鋼一貫製鐵所として多くの部局に分かれ、その自主性が高いなかでの閉鎖的な状況を打破し、相互の交流を図ること、また外国技術を学ぶだけでなく、その本質を見抜き、わが国の実情にあわせて移転すること、日常改善を重視することなど、その精神は100年前ではあっても将来を鋭く見通している点で新鮮である。

本製鐵研究会記事は設立当時16人の技手有志が集まって開始された。その基本精神は「部長級、科長級には厄介をかけない」ということで、その独立精神により1915年日本鉄鋼協会の設立に際しての「鉄と鋼」との合併には承服せず、独自精神を貫き、独自の研究組織をつくり、研究を進めようという気概を示したものであった。製鐵研究会記事が研究現場の人間の強烈な問題意識とその改善へ向けた強い意思としてスタートした点は特筆すべき歴史である。

一方、わが国製鐵業における最初の研究所は1919年、官営八幡製鐵所の中に研究所という組織ができたことに始まる。初代研究所長の服部漸はその設立に際し、以下の研究所の理念を述べている²⁾。

「研究所は本所作業を改良進歩せしむ可き問題を研究し、常に工場と密接なる連携を保ちて理論と実地とを結合せしめ、以て技術の発展を促進せしめんとす。」

約100年前に「理論と実地とを結合すること」、その結果として「技術発展を促進させること」の大局を理念に据

えたところは感服する。一方、研究所の設立の前にすでに製鐵研究会記事という中堅層の立案による雑誌が発刊されていたという事実もまた注目すべき史実である。

さて、約100年前の理論最先端の状況を広い視点から顧みると、一つには「1905年奇跡の年」というキーワードが思い出される。1905年、アインシュタインは5篇の論文を発表している³⁾。

- 3月論文：光電効果。光の粒子性。量子の革命的な論文。ノーベル賞受賞対象。
- 4月論文：液体粘度+拡散。原子を物質世界の基礎とする原子論。アインシュタインの学位論文。
- 5月論文：ブラウン運動理論。原子、統計的揺らぎ、熱力学の統計的側面。
- 6月論文：特殊相対性理論。時間と空間の融合。
- 9月論文：質量とエネルギーの等価性。 $E = mc^2$ 。

約100年前、原子論と量子論の熱い議論がなされ、また一人の天才(本人は否定しているが)により特殊相対性理論がほぼ完璧な形で提示されたことは興味深い。上記アインシュタインの5編の論文は、当時の理論構築の状況の一端を振り返るために引用したものであるが、その5編の理論がすでに種々の分野で実地と結合し、もって技術発展を促進している点は科学技術の視点からも興味深い。

2. 発展・拡散・複雑性の時代

約100年前の原子論、量子論の熱い議論から現在はナノテクノロジーの時代へと大きく発展した。丁度100年前の1911年、オンネスは絶対零度ではなく有限温度で電気抵抗がゼロとなる超伝導現象を発見する。量子効果がマクロシステムとして見えるという意味で興味深い現象である。その後、科学技術は大きな発展を遂げた。全てを網羅することは不可能であるが、代表的な発展の歴史を表1⁴⁾にまとめた。

表1は材料関連と思われるものだけをごく大雑把にまとめたものであるが、数々の発見がよく計画された実験から偶然に見つかり、また新たな理論と観察手段がさらなる科

表1 材料関連分野を中心とした科学技術の発展の歴史⁴⁾

| 年 | 研究者 | 科学技術成果 |
|------|-----------------------|-----------------|
| 1911 | オンネス | 超伝導の発見 |
| 1925 | リリエンフェルト | 電界効果トランジスタの提案 |
| 1932 | クノール, ルスカ | 電子顕微鏡の発明 |
| 1948 | バーディーン, ブラッテン, ショックレイ | バイポーラートランジスタの発明 |
| 1950 | 井口 | 有機半導体の発見 |
| 1953 | ワトソン, クリック | DNAの構造の解明 |
| 1957 | バーディーン, クーパー, シュリーファー | BCS理論の発表 |
| 1959 | キルビー, ノイス | ICの発明 |
| 1967 | デナート | DRAMの発明 |
| 1969 | 藤嶋, 本多 | 光触媒の発見 |
| 1970 | 江崎 | 半導体超格子の提案 |
| 1975 | スペアー, ルコンバー | アモルファスシリコンpn制御 |
| 1976 | 遠藤 | カーボンナノファイバー観察 |
| 1977 | 白川 | 導電性ポリマーの発見 |
| 1980 | クリツィング他 | 量子ホール果の発見 |
| 1982 | ビニツヒ, ローラー | STMの発明 |
| 1985 | クロトー, スモーリー, カール他 | フラーレンの発見 |
| 1986 | 外村 | AB効果の実証 |
| 1986 | ベドノルツ, ミュラー | 高温超伝導の発見 |
| 1987 | チュウ, ウー他 | Y系高温超伝導材料の発見 |
| 1988 | 前田 | Bi系高温超伝導材料の発見 |
| 1990 | ローズ | 電子顕微鏡の収差補正 |
| 1991 | グレッツェル | 色素増感太陽電池の提案 |
| 1991 | 飯島 | カーボンナノチューブの発見 |
| 1994 | 十倉他 | 超巨大磁気抵抗効果の発見 |
| 2004 | ガイム, ノボセロフ | グラフェンの単離に成功 |
| 2008 | 細野 他 | 鉄系高温超伝導材料の発見 |

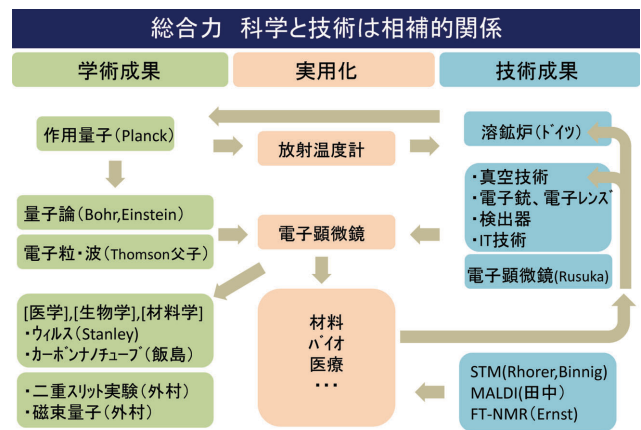


図1 科学技術の発展の一例

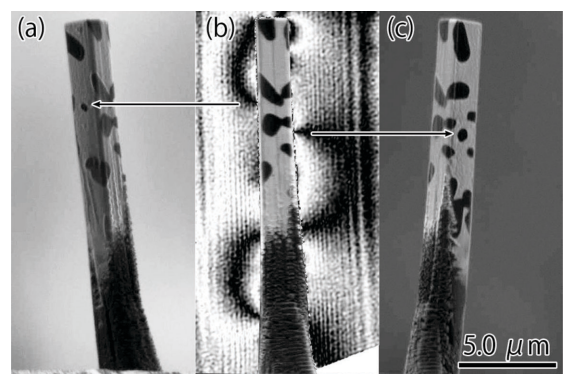


図2 新日本製鐵開発超伝導材料(QMG®)の211相への量子化磁束のピンングを示す電子線ホログラフィー写真理論を見事に実証した結果である⁵⁾

学技術フロンティアを開拓している点で大変に興味深い。それぞれの発見、発明はその時代の歴史的な背景を背負っているが、大局的に見ればその時代の社会のなかで相互に連携しているように思われてならない。

100年間という時間軸は外れるが、過去を振り返ってみれば、種々の科学、技術、実用化製品は相互に刺激しあい、全体として進化しているように見える(図1)。溶鉱炉の温度計測という実用ニーズが契機となって作用量子の考えが芽生え、それが量子論へと発展、電子の波動・粒子の二重性の発見と電子顕微鏡の発明が契機となり、学術分野ではウイルスやカーボンナノチューブの発見を可能にし、また電子顕微鏡を用いた量子実験が量子論をさらに発展させる。一方、電子顕微鏡をはじめ各種解析技術の進展は、装置としての材料技術に支えられつつ、学術と技術の両面で種々の分野で社会へ貢献している。理論と実地とは時として見事に整合しているように見える。

これら技術進展の一例として、図2に高温超伝導材料の量子化磁束の観察例をあげた⁵⁾。高温超伝導材料の実用材料としての特性は、量子化磁束とそのピンングセンターとの相互作用がキイとなる。量子効果として多く机上理論のなかで議論してきた効果が、電子顕微鏡技術の発展により

ついに直接観察できたことは材料開発へも大きなインパクトとなる。解析技術と材料技術とが互いに切磋琢磨し、成長しあう一つの例である。

また、図3はナノテクノロジーとしての究極観察の一例として3次元アトムプローブによる鋼中水素の世界で初めての観察例を示す⁶⁾。鉄/析出物の界面に水素がトラップされている様子を見事に示しているが、約100年前に熱く議論された原子論がすでに実用鋼の研究として実地で使われるまでになった。

100年間の科学技術の進歩の一端を駆け足で見えてきたが、さて現在はどのような時代であろうか? 環境、資源、エネルギー、人口爆発・人口減少、南北飢餓・貧困など様々なキーワードが考えられる。大量生産→大量消費の時代は、既に大量採取→大量生産→大量消費→大量廃棄という図式へと変化し、従来の無限幻想では立ちいかなかった。始点と終点を意識したシステムとしての有限性を認識せざるを得ないところまで来た⁷⁾。

一方、現代社会は情報の洪水、情報の爆発の時代でもある。図4⁸⁾は我が国の情報流通量年度推移のグラフであるが、縦軸が対数目盛であることに注意してほしい。消費者が選択可能な情報量が指数関数的に爆発している。また実

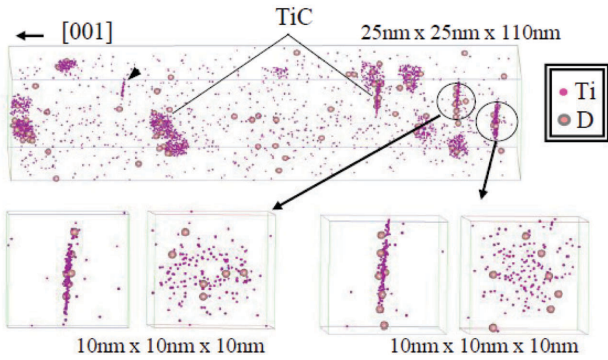


図3 新日本製鐵開発の解析技術により板状析出物の表面に水素原子がトラップされている様子を世界で初めて観察した3D-AP像⁶⁾

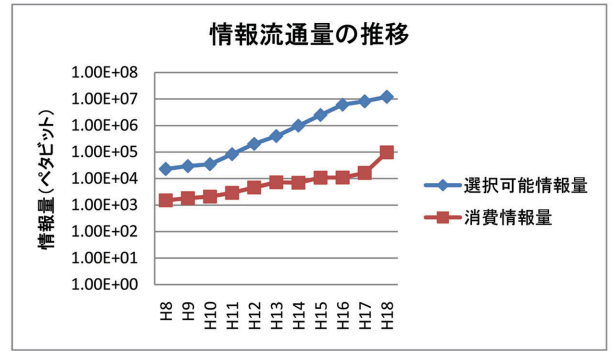


図4 情報流通量の年度推移⁸⁾
 選択可能情報量:各メディアの情報受信点において、1年間に情報消費者が選択可能な形で提供された情報の総量
 消費情報量:各メディアを通じて、1年間に情報の消費者が実際に受け取り、消費した情報

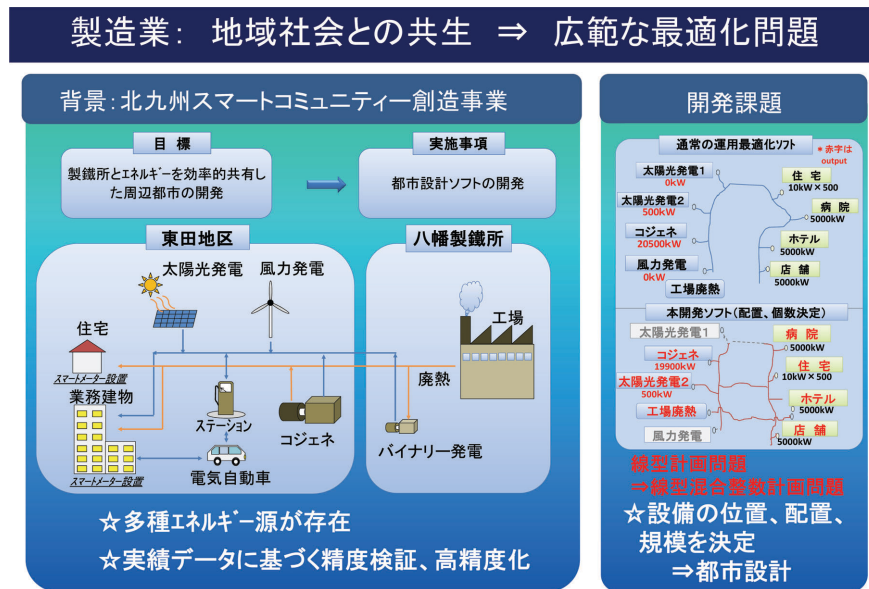


図5 北九州スマートコミュニティ創造事業のなかでの新日本製鐵グループの活動例を示す高度な数理解析手法を開発中¹⁰⁾

際に消費された情報量と比較することにより、その量をはるかに超えた情報量が提供されていることが理解できる。これはもちろんコンピュータの発達、インターネットの普及、ブログ、SNS、動画投稿サービスなど個人情報発信の増加などを反映した結果としての情報爆発を示している。情報化社会は情報過剰社会へと変化し、一方で情報の価値が暴落していることも意味している⁹⁾。

また、資源と廃棄の有限性は、従来の制御範囲を超えて、資源・環境・エネルギーまでも含めたシステムとしての最適化が必須な状況へと変化してきた。例えば、エネルギーの担い手の一つの重要な実体である電力網、すなわちグリッドは今や非定常性の本質を持った再生可能エネルギーへと柔軟に対応することを求められている。そのためには電力生産と電力消費の両者の不確実性を考慮したス

マートグリッドの構築が急務である。図5はこのようなシステムの最適化問題が従来の線形計画法では取り扱えないため、新たな数理手法を用い、発展させる必要があることを捉えた図である¹⁰⁾。既設インフラストラクチャの最適化問題だけでなく、グローバル展開のなかで、工場プラス地域社会をも含めた、より広範囲の全体最適化が今後ますます重要であり、そのための数理手法開発が強く望まれている。

上記の例のように、我々が扱わなくてはならない制御範囲は従来以上に拡大、複雑化し、全体最適化のために扱わなくてはならない情報量そのものがさらに爆発せざるをえない状況へと突入した。提供される情報そのものの爆発、最適化のために扱わなくてはならない情報範囲の拡大の二重苦のなかで、今後は数学手法等を駆使したシステム制御

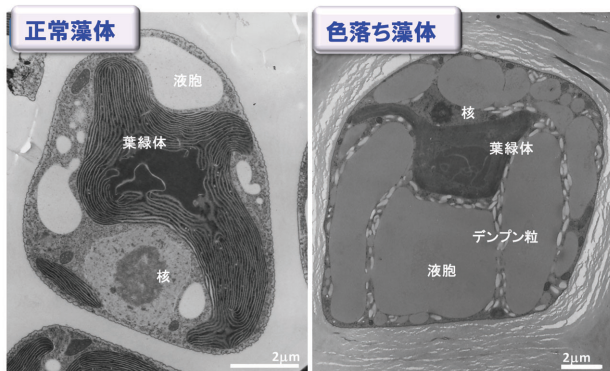


図6 海苔の細胞成長へ及ぼす鉄イオンの効果¹¹⁾
海苔の健全成長には鉄イオンが重要

の充実が必須となる。

我が国産業のグローバル展開が加速するとともに、海外での生産拠点構築に際しても、生産工場のみならず、地域への環境、電力、水という立地外の環境をも取り入れた最適化問題が必須となり、これらへの対応なしにはグローバル化の実行は不可能である。その意味で生物環境・生態系への影響も含めた最適化の視点を含めたトータルな生産拠点の構築がより重要な局面へと時代は変化したと認識される。図6¹¹⁾は藻場再生の切り札として期待されるスラッグの海域利用の有効性を示す生物学的な実験例である。鉄イオンが藻場再生のキイエメントであることを示している。このような基礎的な研究の蓄積が重要となってきた。

3. 将来へ向けて

Michael F. Ashbyはその著書「Materials and the Environment」¹²⁾の巻頭言で次のように述べている。現在の状況をももの見事に言い表しているので少し長いが引用した。

「The environment is a system. Human society, too, is a system. The systems coexist and interact, weakly in some way, strongly in others. When two already complex systems interact, the consequences are hard to predict. If we are going to do anything about it the first step is to understand the origins, the scale, the consequences, and the extent to which, by careful material choice, we can do something about it. And that requires facts.」

社会を構成する重要な要素としての材料は既に単独では存在しえない状態になった。材料の存在意義はそもそも人類社会のためであるが、一方、間接的、直接的に材料は環境と相互作用し、その環境はまた人間とも相互作用する。豊かな社会を実現するためには、相互作用の範囲の広さを認識し、そのための全体最適化が必須である。世界は複雑化し、取り扱わなくてはならない空間スパンは地球あるいはそれを超す領域まで拡大している。一方、情報量の増大とその価値暴落というなかで、複雑さは以前にも増して増大している。

我々は大局感をもって活動しなくてはならないが、そこに一つの光があると信じている。すなわち本特集号にはこれまで新日本製鐵が材料を中心として生み出してきた多くの成果が記述されている。これは当社での活動を中心にまとめたものであるが、広く科学技術と共同の切磋琢磨により、今後さらに材料技術は進展、環境適合したものへと進化していくものと信じている。解くべき問題のスケールはととも大きい。一方、用いる手段は数多くある。両者を適切に組み合わせる総合力、すなわち鉄鋼、アルミニウム、チタン、セラミックス、高分子材料、炭素材料、半導体材料、実装材料、複合材料など数多くの駒を持つ強みを生かし、そこに解析科学、数理科学、計算科学、環境科学、生物科学、界面科学、システム科学という高度な手段を組み合わせ、かつ約100年前から始まったものづくりの実力とさらに産学独連携を含めた真の総合力により複雑社会へも大きな貢献ができるものと信じている。

研究の原点は人であり研究者である。八幡製鐵(株)東京研究所の初代所長である水島三一郎は以下の言葉を述べている¹³⁾。

「専門家であって、しかも専門意識にとらわれない人は尊重すべき研究者である。…実際に手を汚して働いている研究者が現実を正しく見る能力を持つことがたいせつである。…自分の子をよい学校に入れようとすることは、すべての親の願いであろう。…先生がよい、設備がよい、…もっと大切なものがある。よい学校の本質的な利点は、よい友人のえられることで、お互いの切磋琢磨で人づくりがなされていくのである。よい学校のよい伝統は、校長の人格にもよるであろう。しかし私としては、よい学生の集団の方がもっと重要な因子となると思われる。研究所についても同じことで、いちばん大切なことは研究の本質を知る人物が集まることにある。」

本特集号にはその大切な新日本製鐵の本質がある。100年前の16人の技手の強烈な問題意識と分野横断へ向けた活動力は、複雑化した今こそ数理科学など新たな理論を加え、実地と結合し、以て技術の発展へ貢献する時である。

参照文献

- 1) 長島 修:官営八幡製鐵所における研究開発の制度化, 立命館経営学. 48 (2,3), (2009)
- 2) 服部 漸:製鐵所研究所の概要, 鐵と鋼. 日本鐵鋼協會々誌, 7 (12), (1921)
- 3) リグデン, J.S., 並木雅俊訳:アインシュタイン奇跡の年1905. スプリングー・フェアラーク東京株式会社
- 4) 例えば, 丸山瑛一編集:ナノテク年表. Nano tech 2011 配布資料. 2011
第10回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議
- 5) Akase, Z., Shindo, D., Kasai, H., Mamishin, S., Tonomura, A., Morita, M.: Electron Holography on Magnetic Flux Quanta Pinned at 211 Phase in Y-Ba-Cu-O Superconductor. Proceedings of the 17th International microscopy congress. Brasil, Rio de Janeiro,

2010.9.19-2010.9.24

- 6) Takahashi, J., Kawakami, K., Kobayashi, Y., Tarui, T.: The First Direct Observation of Hydrogen Trapping Sites in TiC Precipitation-Hardening Steel through Atom Probe Tomography. *Scripta Mater.* 63, 261 (2010)
- 7) 見田宗介:現代社会の理論. 岩波新書
- 8) 総務省情報通信政策局情報通信経済室:平成18年度情報流通センサス報告書. 2008.3
- 9) 秋山隆平:情報大爆発. 株式会社宣伝会議
- 10) 平成23年度次世代エネルギー・社会システム実証事業. 北九州プロジェクト 資料
- 11) 植木知佳, 村上明男, 加藤敏朗, 嵯峨直恆, 本村泰三:紅藻スピノリの光合成色素と葉緑体構造における栄養欠乏応答. *水産学会誌.* 76 (3), 375-382 (2010)
- 12) Michael F. Ashby: *Materials and Environment, Eco-Informed Material Choice.* Elsevier
- 13) 水島三一郎:改訂新版 物質とはなにか 原子から微生物まで. ブルーバックス B-259, 講談社