

特別講演

□西山賞受賞記念特別講演

育まれ 鉄と歩みし 半世紀

Half a Century of Growing and Walking with Iron

浅井滋生 (独) 科学技術振興機構
JSTイノベーションプラザ東海 館長
Shigeo Asai



*脚注に略歴

東北地方太平洋沖地震の被害により亡くなられた方々に謹んでお悔やみを申し上げますと共に、被災された皆様に心よりお見舞いを申し上げます。

この度の大地震を受けて、日本鉄鋼協会第161回春季講演大会は中止となりましたが、去る3月25日、総会・名誉会員推挙式・表彰式は執り行われ、西山賞を受賞することができました。しかし、受賞記念講演は行われませんでしたので、予定した講演内容の一部をここに記すことにします。

鉄を通した材料電磁プロセッシングとの関わり

1962年名古屋大学工学部に新設された鉄鋼工学科に、その第一回生として入学したのが鉄との関わりの始まりであり、今年はそのから数えて50年目に当たる。この50年は日本鉄鋼業の正に隆盛期から定常期に相当していたことが図1より読み取れる。日本鉄鋼協会との本格的な関わりは名古屋大学工学部助手に採用された1971年からの40年間となるが、その内、後の30年間は“材料電磁プロセッシング (Electromagnetic Processing of Materials = EPM)”の構築と普及に携わった。1965年、鉄鋼工学科の4年生となり鞭巖先生が担当する特殊精錬工学講座に配属された。鞭先生は化学工学を冶金分野に導入した先駆者であり、高炉の数学的モデルの提唱者として注目を集めていた。私に与えられた研究テーマは“LD転炉の数学的モデル”で、溶鋼の流動解析に関心を向けていたところ、鞭教授は助手となって2年目の私を、乱流下の流動解析等を手がけ、鉄鋼プロセスの数値解析の分野で脚光を浴びていた米国、ニューヨーク州立大学のSzekely (シッカリーと発音していた) 教授の下にポ

ストドクトラル・フェローとして派遣した。そこで初めて電磁流体力学 (Magnetohydrodynamics) に接する機会を得た。振り返ってみれば、これがEPMを始める切っ掛けとなった。2年間の留学を終えて帰国後、溶鋼の凝固の研究に携わっていたところ、1982年に、IUTAM (International Union Theoretical and Applied Mechanics) 主催の“Application of Magnetohydrodynamics to Metallurgy”と題するシンポジウムがイギリスのケンブリッジ大学で開催されるとの情報を川崎製鉄 (現: JFE スチール) の江見俊彦氏より得、同氏の紹介で参加した。日本からの参加者は4名であった。本シンポジウムを通じて熔融金属に及ぼす電場・磁場の機能を再認識すると共に、後に、我々と共にEPM構築に関わることと

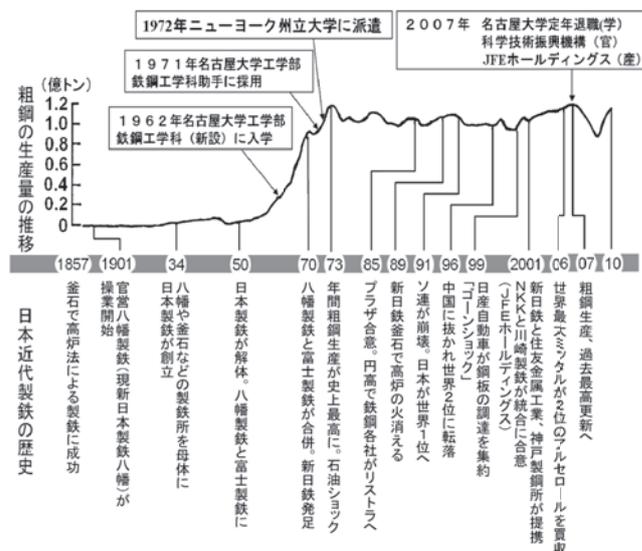


図1 近代製鉄の歩みに重ねた自己の履歴

* 昭和46年名大大学院工学研究科鉄鋼工学専攻博士課程修了後、直ちに同大学工学部助手に採用され、63年4月教授に昇任、平成19年3月同大学を定年退職した。同年4月科学技術振興機構イノベーションプラザ東海の館長に就任、現在に至る。

なったフランスのMADYLAM研究所 (CNRS) のGarnier博士、Moreau教授等と知遇を得ることができた。MADYLAM研究所は電磁流体力学に長け、かたや鉄鋼協会は材料工学に優れ、EPMの構築においては相補の関係にあった。したがってEPMはこのシンポジウムを起点として始まったと言っても過言ではない。帰国してから鉄鋼協会に電磁気冶金と銘打った特定基礎研究部会の立ち上げをお願いしたが、なかなか認められなかったところ、川上公成氏 (NKK)、大橋徹郎氏 (新日本製鐵)、加藤哲男氏 (大同特殊鋼) 等の支援を得て3年後の1985年に「電磁気冶金の基礎研究部会」の発足に漕ぎ着けることができた。当時、特定基礎研究部会の部会長は教授の先生と決まっていたにも拘わらず、助手の私が指名されたことで、おおいに発奮したものである。また、新日本製鐵の梶岡博幸氏は助手の私に奨学寄付金を付け、自信を与えてくれた。1986年の春季講演会において、初めてセッション名として電磁気冶金を掲げた (図2参照)。しかし、このセッションの会場に現れた聴講者は講演数と同じ5名であった。私は思い入れが強かった分、落胆も大きく、“もうこんな研究は止めよう”、と思ったものである。それを諫めてくれたのも上記の先輩方であった。その後、製鋼分野、特に連铸工程

への電磁攪拌、電磁ブレーキ等、電磁気力の導入・応用期と重なったこともあり多くの技術者・研究者が関心を持ってくれた。それに伴い、名称も“電磁気冶金 (Electromagnetic Metallurgy)”から“材料電磁プロセッシング (EPM)”に変更された。協会の支援状況を表1に示す。協会の支援無くしては今日のEPMの姿はない。1998年には科学研究費補助金の特定領域研究に採り上げられ、後に述べる強磁場の分野にも進出した。2000年には我が国の全主要鉄鋼会社が参加したNEDOの国家プロジェクトが立ち上がった。更に、2006年には日本学術振興会アジア拠点事業に採択された。上記したフランスのMADYLAM研究所も、今ではその名称をLe Laboratoire EPM du CNRSと変え、中国では東北大学にEPMの国家重点研究室が設置されている。その間、1994年に名古屋で開催された第1回のEPM国際シンポジウムを皮切りに、3年毎にパリ、名古屋、リヨン、仙台と日・仏間で交互に開催され、第6回はドイツのドレスデン (2010) で行われた。日本鉄鋼協会は日本で開催された3回を主催、外国開催の3回を共催して、その発展に尽力してくれた。そのお陰で、いずれの開催も20カ国以上から3～400名の参加者が見られた。以上からお分かりいただけるとおり、材料電磁プロセッシングは1980年代に我が国に始まり、1990年から今日まで日本鉄鋼協会の庇護の下、日本—フランスとの密な協力により発展してきた希有な学術・技術分野である。

日本鉄鋼協会第111回講演大会 (1986年4月2, 3, 4日東京大学)	
—— 電磁気冶金・センサー (第4会場・4月3日) ——	
(13:20~14:00) 座長 浅井 滋生 (名大)	
714 パルス放電による凝固組織の制御	鋼管中研 ○中田正之、MIT Ph・D M.C.Flemings, 工博 塩原 融
715 Li ⁺ イオン含有酸化物薄膜のPVDによる生成の物理化学的研究	東工大工 Ph・D 工博 後藤和宏、張 力偉 沼津高専 工博 小林 睦弘
(14:00~15:00) 座長 牛尾 誠夫 (阪大)	
716 熔融金属表面波動の抑制に及ぼす直流磁場の効果	名大院 ○小塚敏之、名大工 工博 浅井滋生、工博 巖 巖
717 高真空・高温精錬による金属の蒸発 (金属の蒸発現象-2)	鋼管中研 ○川上公成
718 真空中におけるプラズマアーク特性の検討	新日鐵広畑 桑原達朗、平岡照祥、 新日鐵特基2研セ 工博 大橋徹郎、工博 武田紘一 新日鐵広畑技研 梅沢一誠、広畑 ○市川 馨

図2 昭和61年、日本鉄鋼協会春季講演大会プログラム抜粋

2 材料電磁プロセッシングの展開

ここでは材料電磁プロセッシングの構築過程でなされた種々の研究の中から、私なりに関心を持った二つの成果を選び、紹介する。

2.1 鋳型振動を必要としない溶鋼の連铸

アルミニウムの電磁铸造 (鋳型無し铸造) は1966年のGezelev¹⁾に始まる。その原理は交流磁場が溶湯に及ぼす電磁気圧 $P_m = B^2/2\mu$ (B : 磁束密度、 μ : 透磁率) を溶湯の静圧 $P = \rho gh$ (ρ : 溶鋼の密度、 g : 重力加速度、 h : 溶鋼の保持高さ) に均衡させるものである。アルミニウムではこの原理

表1 日本鉄鋼協会における材料電磁プロセッシングに関わる部会の開催状況

1985～1989年	「電磁気冶金の基礎研究部会」部会長: 浅井滋生
1990～1994年	「材料電磁プロセッシング部会」部会長: 浅井滋生
1995～1998年	「電磁ローレルプロセッシング研究会」主査: 谷口尚司
1999～2002年	「高度電磁気力利用マテリアル・プロセッシング研究会」 主査: 谷口尚司
2002～2005年	「強磁場を利用した鉄鋼材料の組織制御研究会」主査: 大塚秀幸
2003～2006年	「交流強磁場利用環境・材料プロセス研究会」主査: 安田秀幸

での鑄造が可能であるが、溶鋼を想定した場合、密度と保持高さの違いから工業的に入手可能な磁束密度ではその実現は叶わない。この点を克服するため鑄型の外側から磁場を印加して、溶鋼の静圧を電磁気圧と鑄型壁の両方で支える原理の下に、先に述べたNEDOのプロジェクトが実施された。この場合、溶湯と鑄型との接触圧力は軽減されることになり、このような条件下での凝固を軟接触凝固²⁾と呼ぶことにした。ほぼ時を同じくしてPOSCO (株) も同じ原理の下でプロジェクトを実施しており、その成果の一例を写真1に示す³⁾。写真(a)は通常の連鑄であり、表面にはオッシレーション・マークが見られる。一方、写真(b)は鑄型の振動を止めた状態で、鑄型の外側から磁場を印加して鑄造を行ったものである。表面にはオッシレーション・マークは見られない。モールド・フラックスの消費量の比較を図3に示す。鑄型振動下で軟接触凝固を行った場合(A)の消費量が一番多く、鑄型振動下で磁場を印加しない通常の連鑄での凝固の場合(B)と軟接触凝固下で鑄型振動を止めた場合(C)の消費量はほぼ等しい。このような試験操業は約1.5時間に渡り実施されたと聞く。鋼の連鑄は1949年、Junghans (ドイツ) と Rossi (アメリカ)

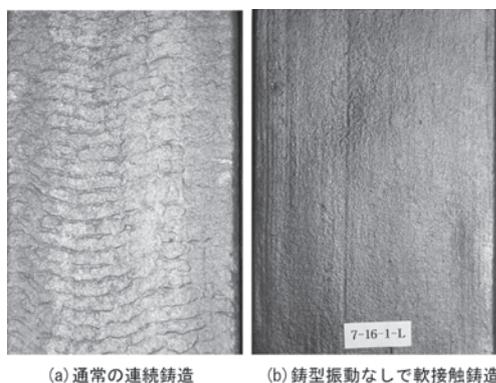


写真1 鑄片の表面性状の比較³⁾

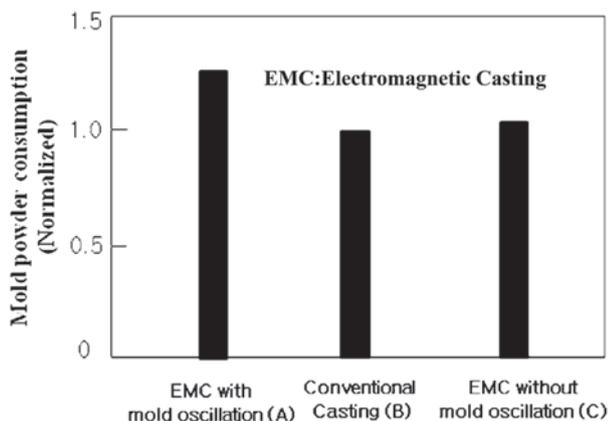


図3 鑄造形態の違いによるモールド・フラックス消費量の比較³⁾

が鑄型振動を導入することにより、初めて成功に導いた。それ以来、鋼の連鑄には鑄型振動とフラックスの使用は不可欠とされてきた。今後、鑄型振動を必要としない連鑄機の開発がなされるか否かは経営判断に因るところではあるが、可能性のある一つの技術が示唆されたものとして、敢えてここに紹介した。連鑄技術の流れから見れば、興味深い。

2.2 磁場印加による結晶配向

1990年に入ると冷媒としてのヘリウムガスを必要としない超伝導磁石が開発され、その普及に伴い、強磁場を用いる研究が化学、物理、生物の広い科学分野で活発化した。強磁場は磁石が鉄を引きつける力として知られる磁化力を非磁性物質においても顕在化させる。その理由は「磁化力は $F = \chi (B \cdot \nabla B / \mu)$ (χ : 磁化率) と表され、通常、非磁性物質においては磁化率 χ の値は極めて小さいが、磁束密度 B を高めることにより $(B \cdot \nabla B / \mu)$ の値が大きくなり、両者の積で決まる磁化力が無視できなくなる」にある。磁化率は電子の軌道およびスピンによって決まることから、非対称構造の結晶では電子軌道も非対称となり、結晶方位によって磁化率が異なる。そのため、強磁場を用いて結晶の方位を揃えること、すなわち結晶配向が可能となる。先に述べた科研費の特定領域研究はこの点を謳い採択された。材料電磁プロセスの守備範囲はローレンツ力利用の熔融金属から磁化力利用によって固体の金属、セラミックスおよび有機材料へと大きく拡大した。

ここでは室温セラミックレーザーを採り上げ結晶配向の成功例を示す。Akiyamaら⁴⁾はフッ素アパタイトセラミックス(六方晶系)の微粉を磁場によって結晶配向させた後、焼結を行い、高度に結晶方位の揃った疑似単結晶を作製した。次に、この疑似単結晶を用いてレーザー発振させることに世界で初めて成功した。アパタイト系の物質は大きな単結晶を作製する事が極めて困難であり、上記の方法は大型のレーザー用媒体作製に一つの道を拓いたものであり、国内外から大きな注目を集めている。この仕事は私が大学で定年退職を迎えた年度に学位を授与した指導生が、その後、分子科学研究所にて結晶配向の研究を継続し、4年の歳月を経てなし遂げた成果である。そのため、私にとっては殊の外感慨深いものがあり、ここに採り上げた。

3 産・官・学との係わり

学生時代を含めれば45年間、学の世界にどっぷり漬かってきた者が定年を機に財団法人科学技術振興機構(JST)の出先機関であるイノベーションプラザ東海館の館長に就任した。本財団は文科省の外郭団体であり、官の世界である。ま

た、その年の6月からはJFEホールディングス(株)の社外取締役として産の世界の一端にも触れる機会が与えられた。産・官・学、それぞれに異なる目的関数を異なる境界条件で解いている、というのが私の実感である。そして共通する基軸は知恵と信(誠実)であると見た。一人の人間が産・官・学、それぞれ異なる世界を体験できる喜びを噛みしめている。

学にあった時代の思い出として残るのは、鞭先生の下からシッカリー先生の下に派遣された2年間の留学生活であった。二人の先生にはお名前(鞭でシッカリー)の文字どおり厳しく指導していただいた。二人とも故人となられたが、奥様方とは今も文通が続いており、お目に掛かる機会も同窓生と共に得ている。京都の妙心寺で営まれた鞭先生の十七回忌法要に際して撮影した写真2と名古屋で開催したSzekely/Muchi Memorial Symposiumに際してのDr. Mrs. Szekelyとの写真3を示す。また、留学時代の下宿の隣家に住んでいた家族とは40年に渡り文通や相互訪問を続けている。さらに、EPMの6回のシンポジウム、足かけ20年に渡る研究者との交流を通じて、国内外に多くの友を得た。たまたま私が定年

を迎える年度に第5回のEPMシンポジウムが仙台で開催された。そのため組織委員長であった東北大学の谷口尚司教授がわざわざ私のためにセッションを設けて下さった。写真4はその折り撮影されたものである。これらの写真に見られるお一人お一人および私が担当させていただいた名古屋大学の研究室を巣立った卒業生141名、学位を授与した者20名等、真に多くの人間との知遇が得られた。これこそが学に在籍した間に得た私の宝である。このような皆様と共に30年かけて築いたEPMの種々の知見や情報は科学書籍の出版社であるオランダのSpringer社から2011年中に教科書として出版される運びである。その巻頭言には“In this sense I am not the only author of this book, but share that role with all of my colleagues in world EPM community.”と記した。偽らざる私の心境である。

官の在籍は5年目に入ったところである。JSTは「科学技術による地域振興」をスローガンに掲げ大学で生まれるシーズを地域の企業のニーズに結びつける地域事業も行っている。ところが政権交代に伴い2010年に始まった事業仕分けで、「地域のことは地域で」となり、JSTが地域事業を目的に全国に展開している16館は2011年度をもって総て閉館と決定した。国の政策変更とは言え、構成員の士気を維持しつつ閉館を迎えることの難しさを味わっている。しかし、これはめったに遭遇できない仕事であり、最近はこれを楽しむことにしている。

産においては取締役会の一員として企業経営の一端を見聞し、経営における技術開発の位置づけを知る等、得難い体験をさせていただいた。指揮命令系統の明確な企業組織の中で、トップに至った人間はその発言に重みがあり、かつ魅力に富んでいた。今流行りの謎かけで言えば、鉛筆のような人間である。中心に一本芯が通っていて、周りに木(気)を使っている。特に、数土文夫前社長はじめ昨年中国大使となられた丹羽宇一郎氏等、日本を代表する経営者の発言には触



写真2 鞭先生の十七回忌法要、妙心寺にて



写真3 Szekely/Muchi Memorial Symposium (2001年名古屋)にて



写真4 第5回のEPMシンポジウムのセッション風景

発されるどころ大であった。このような機会が得られたのも、私個人の力にあるのではなく、日本鉄鋼協会会長を経験した事によるものと認識している。

4 おわりに

材料電磁プロセッシングをなんとか協会の中で位置づけようと、講演大会分科会委員であったのをいいことに、強引に電磁場関連の発表を著者の希望セッションを無視してかき集め、電磁気冶金のセッションに入れた。時の分科会主査であった鈴木朝夫先生や雀部実先生は見て見ぬふりをしてくださった。そんな講演発表の折り、オーバーヘッド・プロジェクターで写した3コマ漫画を図4に示す。一番目は冶金の山

と電磁気の山の間の電磁気冶金の谷に宝が眠っている様、二番目はそこに子供(我々の研究部会)が小さなシャベルを持って現れ掘っている様とその成果次第では大型掘削車の出動が期待される様、三番目は日本の鉄鋼大手5社の内、真剣に掘っているのは1社のみで、後はその成果物を調べている者、全く無関心にソッポを向いている者等、まちまちの態度を揶揄している様、である。当時、小学生であった娘に描かせたものであるが、その娘も40歳に近づきつつある。また、専務理事であった島田仁氏は特定領域研究の成果をかなり強引に新聞発表し、NEDOの国家プロジェクトに繋げてくれた。等々、学に在籍した46年間はその大半がEPMとの係わりであったし、それを強力に支援してくれたのが日本鉄鋼協会であった。定年後の4年間はEPMと共に全力で駆けたその慣性の期間とも言えよう。

半世紀、心身共に健康に過ごせたのは「鉄」の縁で知り得た皆様の温かい支援があったからであり、もう一つは趣味の川柳とテニスのお陰である。テニスの腕前の方はお見せできないのが残念であるが、川柳はここに書かせていただくので、ご笑読いただければ幸いである。

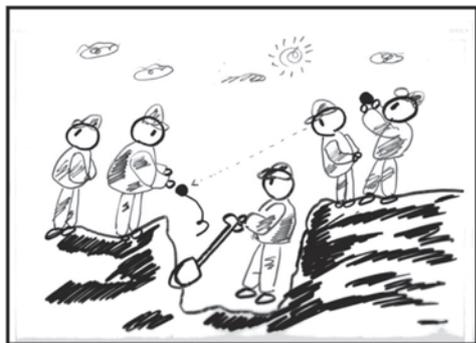
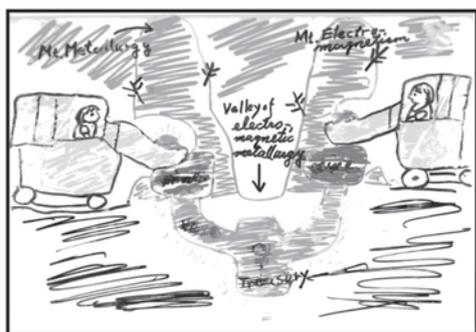
「コートでは 仕事で見せぬ エース打ち」、「科研費を大きく当てたら 小さく育ち」、「委員会 こんなにあっていいんかい」、「顔にしわ 増やして脳は すべすべに」、「歳かなあ 妻という字を 毒と読み」

世界におけるEPMの普及度を見るために、Googleで“Electromagnetic Processing of Materials”と打ち込み、そのヒット数を調べた。2011年4月17日の時点で42,700ポイントであった。30年間の成果として、このヒット数を多くと見るか少ないとみるかは人それぞれであろうが、私にとっては望外の数値である。

参考文献

- 1) Z.N.Gezelev : U.S. patent 3467166.
- 2) 浅井滋生 : 第129, 130回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, (1989) , 51-77.
- 3) J.Park, H.Kim, H.Jeong, G.Kim, M.J.Cho, J.-S.Chung, M.Yoon, K.P.Kim and J.Choi : ISIJ Int., 43 (2003) , 813-819.
- 4) J.Akiyama, Y.Sato and T.Taira : Appl. Phys. Express, 4 (2011) , 022703-1.

(2011年4月25日受付)



大手5鉄鋼会社のEPMの取り組み姿勢(1983)

図4 電磁気冶金の売り込みに用いた3コマ漫画