



製鉄分野座談会

革新的で魅力ある 製鉄研究とは

『鉄と鋼』の第100巻を記念して、「製鉄研究のあり方」をテーマに座談会を開催した。産学のベテランや中堅から若手研究者までお集まりいただき、製鉄研究における現在の課題、今後の産学連携や共同研究のあり方、人材育成などについて議論していただいた。
(2013年10月21日収録)

出席者(敬称略)

- | | |
|--------|---|
| 清水 正賢 | (株)神戸製鋼所 技術アドバイザー (元九州大学教授) |
| 葛西 栄輝 | 東北大学 大学院環境科学研究科 教授 |
| 宇治澤 優 | 新日鐵住金(株) プロセス研究所 部長 |
| 深田 喜代志 | JFEスチール(株) スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員 |
| 蘆田 隆一 | 京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 助教 |
| 弘中 諭 | 日新製鋼(株) 技術研究所 鋼材研究部 鋼材第一研究チーム |
| 武田 幹治 | (一社)日本鉄鋼協会 論文誌編集委員会 製鉄分野担当幹事(司会) |
| 村上 太一 | (一社)日本鉄鋼協会 論文誌編集委員会 「鉄と鋼」第100巻特命小委員会 委員 |

近代製鉄発祥から高度成長期まで

武田 本日は「鉄と鋼」第100巻記念座談会にお集まりいただき、ありがとうございます。今回は「製鉄研究のあり方」をテーマにして、製鉄研究をますます活性化するために、忌憚のないご意見を伺いたいと思っています。高炉、焼結、コークスの各分野から、産と学、ベテランから若手までの多彩なメンバーにお集まりいただきました。どうぞよろしくお願ひします。まず最初に、100年間の製鉄技術の発展について、簡単に振り返ってみま

しょう。日本の製鉄の始まりがいつか、ということについていろいろと議論はありますが、今につながる製鉄所という意味では、1901年の八幡の高炉が始まりと考えてよいと思います。ドイツの技術を導入して操業を始めたものの、この八幡の第1高炉は、コークスの品質が悪いために、立ち上げにとっても苦労しました。安定的に操業できるまでに3年間かかったと聞いています。
村上 しかしグラフ(図1)を見ると、戦前には30基を超える高炉がもうすでに動いていたというのが、ちょっと意外でした。戦争直前には、最大容量積1,000m³ぐらいの高炉が稼働して

いたという点も印象的です。さらにコークス比は、1901年の八幡では1,700kg/t-HMだったのですね。ちなみに「鉄と鋼」の第1巻5号に、コークス比のデータが載っていますが、実はそれが「鉄と鋼」に掲載された、製鉄分野の最初の論文のようです。

武田 コークス比については、戦前にはすでに1,000kg/t-HMぐらいのところまで下がっていたことも意外でした。今までは、戦後の混乱期の1,500kg/t-HMあたりからスタートしているイメージがあったので、認識を改めるよい機会になりました。また、産学連携という意味では、1943年、日本学術振興会に製鉄第54委員会ができ、エポックメイキングなできごととなりました。原料がなくなって高炉の性能が非常に悪化した時期に、高炉の炉内現象を解明するために始まったそうです。そのころには、戦争で壊滅的な被害を受けたこと、もう1つは高品位の石炭が入ってこなくなったことで、高炉の成績はどん底のコークス比1,600kg/t-HMぐらいになっています。戦後になると、1953年

に千葉の臨海製鉄所が建設されます。並行して、既存高炉が復旧、生産が復活していきます。そして、高度成長期に入って、次々に高炉が建設されていくのです。

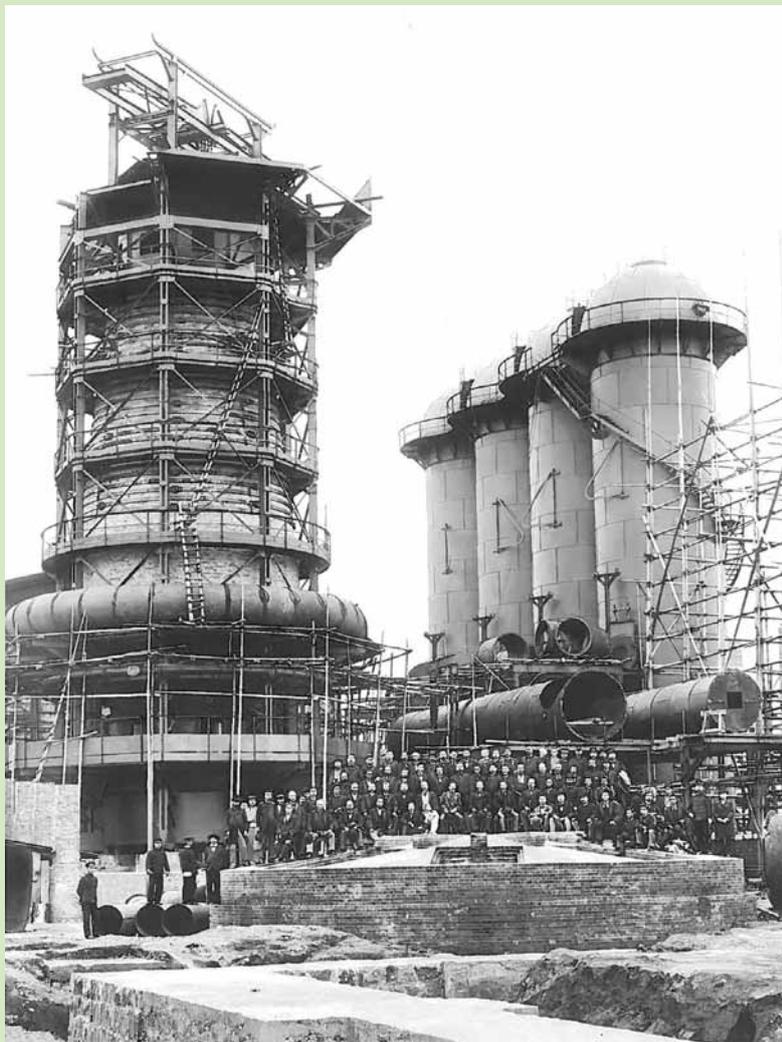
清水 1960年代は、高炉の大型化が進んだ時期で、安定的な操業が難しくなっていました。これがさまざまな研究がはじまる背景になり、1963年には、鉄鋼基礎共同研究会*がスタートしました(図2)。

武田 終戦から高度成長期を経てオイルショックまでは、安定操業がメインの研究テーマであった、1つの時代と考えることができますね。

清水 私が入社した1970年には、コークス比はすでに518kg/t-HMでした。粗鋼量も1億2,000万t台でこの時代がピークです。その後、現在まで高炉の成績の指標である生産性や還元材比(RAR)、

*日本鉄鋼協会、日本金属学会、日本学術振興会が鉄鋼の基礎研究を進めるために設定した共同研究体制の名称。

■日本の製鉄の歴史を開いた八幡製鉄所



(写真提供: 新日鐵住金(株)八幡製鉄所)

日本の近代高炉の先駆けとなった八幡製鉄所東田第一高炉(左)。1901年2月に点火式を迎えたが、その後相次ぐトラブルを経て1903年7月に本格的に稼働開始し、その後約70年間にわたり生産を続けた。写真は、のちに初代総理となる伊藤博文が東田第一高炉を視察で訪れた1900年の記念写真。高炉は建設中のため足場がかかっている。右は現代の高炉(JFEスチール(株)西日本製鉄所福山地区)。100年余を経てその外観は大きく変化している。



(写真提供: JFEスチール(株))



清水 正賢

(株)神戸製鋼所
技術アドバイザー
(元九州大学教授)

燃料比などはほとんど変わっていないので、これを超える新しい技術が必要なのではないかと思います。

村上 日本の出鉄量は1960年くらいから増加し始めて、10年間で約4,000万tから約1億3,500万tまで、急激に増加しています。

清水 私の入社した会社は、高炉操業の歴史がまだ浅く、操業支援で苦労した記憶が残っていますね。特に、ペレットの使用法が難しく、高炉の大きなトラブルを2度も経験しています。この経験が、高炉安定操業への多くの技術を生み出しています。

葛西 焼結鉄に関して言えば、当時はいかにして均一な組織を造り込むかが課題でした。その時代の資料や論文では、均一化というテーマがずっと追求されています。企業が操業の中で先導していった部分はありますが、原料の不均一性を理論的に考察し、それを積極的に利用して歩留まりと品質の向上を達成してきたのは、産学共同研究の1つの大きな成果だったと思います。

清水 1960年代には、高炉の解体調査が盛んに行われ、高炉の中に軟化融着帯が形成されていて、その形成状態が高炉の能力に大きな影響を与えることがわかりました。つまり高炉の2次元、3次元的な制御が重要だと気づき、新しい視点から

研究をするきっかけとなりました。それが、その後の高炉の研究会へとつながっていったのだと思います。

新たな課題に応える研究会活動

清水 1973年のオイルショックを契機にして、製鉄研究のメインテーマは効率あるいはコスト追求に移っていきます。高炉の効率向上、あるいはコスト低下が量の拡大以上に会社の収益に影響するというので、その重要性が認識され始めたころですね。1977年には、大型高炉の安定性の維持を目的に、大森康男先生が中心となって、鉄鋼基礎共同研究会の中に「高炉内反応部会」を設立しました。ここでは、高炉の最適制御を目的としたプロセス研究が行われ、5大学5企業の産学連携研究会としてスタートしたということです。

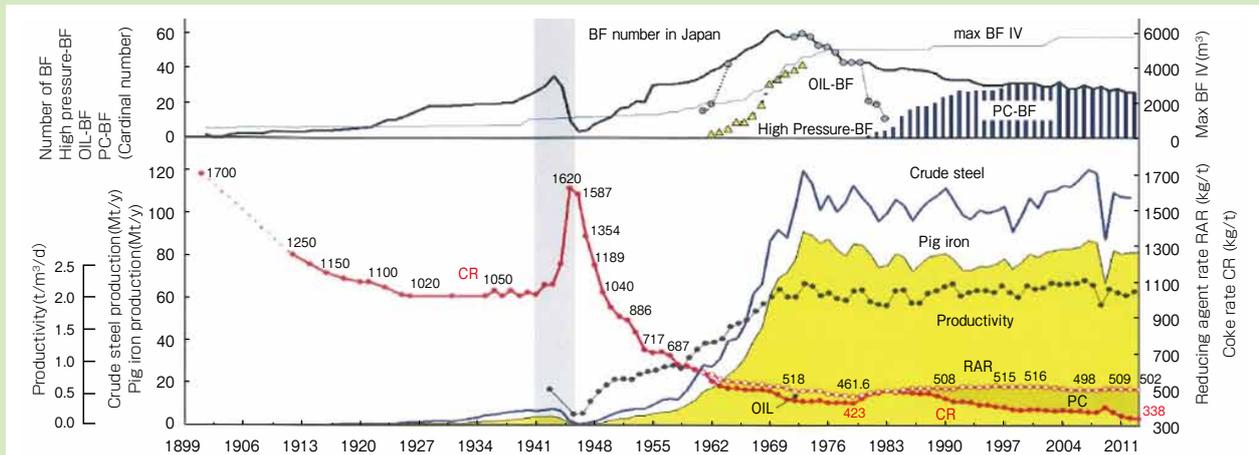
武田 1981年には大分1高炉で、PCI操業（微粉炭吹き込み）が始まり、原料コストを下げるために、生のままの石炭を吹き込む方法が採用されています。

清水 PCI操業の開始がきっかけになって、炉内の移動現象に粉体の挙動を取り入れて、いかにしてPCI操業技術として確立していくかということにも注目して、研究が続けられました。研究の内容が化学工学的な移動現象、流動現象を主体に置いた研究だったため、研究会の構成メンバーは、化学工学や燃焼工学など、非常に幅広い分野の先生方に参画していただきました。このころ、高炉研究者の裾野が大きく広がったという実感があります。また、これを契機に数学モデル的に炉内を解析する技術が、世界でもかなりレベルの高いところまで到達したといえると思います。

武田 実は高炉内反応部会の最終報告書は、私のバイブルの1つになっているのですよ。

宇治澤 最終報告書は、今でも勉強になりますね。「高炉学」という分野はないので、結局さまざまな学問を集大成して理解

■製鉄技術の変遷(高炉数、出鉄量、コークス比の推移)(図1)



(出典)内藤誠章、武田幹治、松井良行: 鉄と鋼、Vol.100(2014)、No.1、p.5

していくしかありません。本来なら、このような集大成を私たちの時代にもう一度つくりたいといけないと思っています。

武田 最終報告書はかなり完成された製鉄研究の集大成になっています。それ故に、これを塗りかえるのは、大変でしょうね。

村上 1989年には八木順一郎先生が、特定基礎研究会で「充填層中の気・固・液移動現象部会」を立ち上げておられます。

清水 以降、八木先生が中心になって高炉の中の移動現象をモデル化して、定式化し、それを最終的に高炉の数学モデルに結びつけて、高炉の最適な制御の予測、あるいは特性の把握などに結びつける研究を進めていき、最終的には高炉6流体モデルという解析技術が生み出されています。当時は6つの分科会を設けて研究が推進されました。これが高炉数式モデルの精度向上に大きく寄与しています。

村上 少し時代が戻りますが、1982年に、高炉に先駆けて、「石炭のコークス化特性部会」が特定基礎研究会**で立ち上げられています。

武田 一番産学連携で大きく進めていたのは重油吹き込みとPC吹き込みですね。それによって一番大きく変わっているのは

**鉄鋼業界が解決を要望する重要な問題について基礎的研究を行う鉄鋼協会独自の研究体制の名称。



深田 喜代志

JFEスチール(株)
スチール研究所
製鉄研究部
主任研究員

コークス比です。以前は600kg/t-HM近いコークス比でしたが、現在は338kg/t-HMです。還元材比で見ると大きくは変わっていませんが、コークス比を見ると大きく変わっています。ここが技術としては一番ハードルも高いし、影響が大きいところでしょうね。

深田 1970年代から、国内炭の使用量をどんどん減らして海外炭へ移行することが始まりました。いい品質のコークスをつくるための理論的な解明を目指して、1977年の特定基礎研究会の「原料炭の基礎物性部会」が始まったのだと思います。

■産学連携による研究会活動(図2)

| | | |
|-----------|------|---|
| 鉄鋼基礎共同研究会 | 1963 | 製鉄以外の分野からスタート |
| | 1977 | 高炉内反応部会(東北大/大森康男) 趣旨: 高炉解体調査をベースに、高炉内の移動現象、気固反応、融着帯の形成、多成分系酸化物の状態図作成、コークスの必要性状、高炉数学モデルの高精度化を基礎的に検討する。 分科会: 1) 高炉トータルモデル 4) レースウェイ 2) 装入物の降下挙動 5) スラグメタル反応 3) 鉱石の高温性状 6) 将来の製鉄 |

■産学連携の成果報告書



「BLAST FURNACE PHENOMENA AND MODELLING」(右)、
「ADVANCED PULVERIZED COAL INJECTION TECHNOLOGY AND BLAST FURNACE OPERATION」(中央)、
「鉄鋼物性値便覧 製鉄編」(左)

*** (特定基礎研究会以降の研究会の経緯)
1993年より鉄鋼基礎共同研究会の部会を取り込み、特基研究会に改称。その後、1995年の鉄鋼協会「リストラ80」改革で学会部門が組織され、学術部会や技術部会の下に研究会が設置される。

| | | | |
|------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|
| *** 特定基礎研究会以降 | コークス | 1977 | 原料炭の基礎物性部会(工技院/木村英雄) |
| | | 1982 | 石炭のコークス化特性部会(元工技院/木村英雄) |
| | | 1986 | 石炭の炭化反応機構部会(九大/持田勲) |
| | | 1990 | コークス製造のための乾留制御部会(九大/持田勲) |
| | | 1994 | 新コークスプロセス工学部会(東北大/三浦隆利) |
| | | 1998 | 石炭粒子の粘結機構の解析部会(東北大/三浦隆利) |
| | | 2002 | 劣質炭対応型コークス化技術研究会(京大/三浦孝一) |
| | | 2006 | 高強度・高反応性コークス製造技術研究会(京大/三浦孝一) |
| | | 2010 | 劣質・未利用炭素資源コークス化技術研究会(東北大/青木秀之) |
| | | 焼結 | 1996 |
| 2000 | 難焼結性鉄鉱石の塊成プロセス工学調査研究会(阪大/碓井建夫) | | |
| 2001 | 多孔質メソザイク組織焼結研究会(阪大/碓井建夫) | | |
| 2005 | 複合造粒・層設計焼結研究会(東北大/葛西栄輝) | | |
| 2009 | 低炭素焼結技術原理の創製研究会(東北大/葛西栄輝) | | |
| 高炉 | 2013 | 資源対応型高品質焼結鉄製造プロセス研究会(東北大/村上太一) | |
| | 1989 | 充填層中の気・固・液移動現象部会(東北大/八木順一郎) | |
| | 1993 | 4流体の移動現象部会(東北大/八木順一郎) | |
| | 1997 | 高炉炉下部機能強化研究会(東北大/八木順一郎) | |
| | 2002 | CO ₂ ミニマム化を目指した高炉限界現象の制御研究会(九大/清水正賢) | |
| 環境 | 2009 | 鉱石・炭材の近接配置による高炉の還元平衡制御研究会(九大/清水正賢) | |
| | 2011 | 低炭素高炉実現を目指した固気液移動現象最適化研究会(東北大/植田滋) | |
| | 1991 | 鉄鋼業における炭酸ガス抑制対策研究部会(東大/小宮山宏) | |
| | 2008 | グリーンエネルギー製鉄研究会(京大/柏谷悦章) | |
| | | 2011 | 炭素循環製鉄研究会(東工大/加藤之貴) |



葛西 栄輝

東北大学
大学院環境科学研究科
教授

コークスにはコストの削減と、高炉側の要求である強度の品質向上の両立が求められており、それ以降の研究会も、いずれもコークスの品質改善を目的の1つとして立ち上がっています。

武田 1990年ころは製鉄分野におけるコストダウンをさらに推進する必要があり、PCが吹き込まれているということで、石炭側にもコストダウンが強く要求されました。

深田 それで石炭側も、従来の石炭から非微粘結炭といわれる、劣質で安価な石炭をよりたくさん使う必要に迫られました。そのための基礎研究会が1990年の「コークス製造のための乾留制御部会」です。実はこの研究会の中で石炭を急速加熱すると劣質な石炭でも使うことができるというシーズ技術が打ち出されています。それと企業側のプロセス開発技術を融合する形で「SCOPE21」という国のプロジェクトが、1994年から開始されました。同じ年に「新コークスプロセス工学部会」が立ち上がり、これは国プロのバックアップ研究会という形で、産学が力を合わせて実用化を目指して取り組んだという経緯があります。

武田 国プロのバックアップ研究会を鉄鋼協会で作るといのはかなり珍しい例ですが、非常に有効な仕組みだったような気がします。

深田 そうですね。企業が早期に実機適用するためには、学には基礎研究から要素研究の分野、産は要素研究から実機適用という役割分担をして、研究を加速したのでしょうか。これが成功の鍵の1つだと考えています。

葛西 原料分野では、1996年に石井邦宜先生が「新塊成鉱の基礎研究会」を立ち上げています。当時、原料分野の研究会は他分野の先生方がなかなか入ってきにくいという雰囲気がありました。通常、焼結ではかなりの割合の原料が溶融・流動して、塊成化していくというプロセスを、石井先生はごく少量の融液が接着剤として機能し、大きな粒子間を結合していくイメージとして提示され、他分野の先生方を積極的に巻き込んで研究を主導されました。この研究会の成果は数多くありますが、異分野の成果例としては、当時最先端の共焦点レーザー顕微鏡を使って溶融現象を詳細に観察された東北

大・中村崇先生の研究があります。最初は、実際の焼結現象とのつながりが難しい感じもありましたが、これにより、現象の可視化の重要性への認識が一気に広がりました。この研究会を通して、少し広い目で原料プロセスを捉えることができるようになったと思っています。

環境と資源をテーマとした取り組み

武田 1997年のCOP3で、地球環境問題への関心が高まってきました。1999年には、文部科学省科学技術振興調整費を受けた「エネルギー半減・環境負荷ミニマムを目指した高炉の革新的精錬反応に関する研究」、通称「エネルギー半減研究会」が立ち上がりました。ここでは原料設計から還元、ガス化、数学モデルなどを駆使して、高炉の幅広い製鉄プロセス全体にわたっての革新的な技術を開発し、高炉の還元材比を半分に減らすという大目標に向かった研究が開始されました。この研究会の成果は、「鉄鋼物性値便覧」として成書にまとめられています。

清水 COP3よりは前なのですが、1991年に日本鉄鋼協会に「鉄鋼業における炭酸ガス抑制対策研究部会」が立ち上げられています。東京大学の前総長をされていた小宮山宏先生が部会長になって、3年にわたって活動され、「炭酸ガス抑制と製鉄プロセスの未来」と題した研究報告書が出されています。国際的にも環境問題への関心が高まる以前の活動で、現在の環境CO₂問題を先取りしたものともいえます。先見性ととも非常に重要で興味深い結果を出しているの、これはもう一度見直してみる意義があると思います。

宇治澤 現在、国のプロジェクトとしては、「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)」でCO₂削減プロジェクトが進められています。これは、一貫製鉄所からのCO₂排出量を抜本的に削減するため、高炉からのCO₂排出削減と高炉ガスからのCO₂の分離・回収により、CO₂排出量をトータルで約30%削減するという技術開発です。2030年ころまでに技術を確立し、2050年までの実用化・普及を目指して、ステップ1(2008~2012年度)が終了し、現在、次の5年間のステップ2が始まったところです。

武田 環境問題と並ぶもう1つの課題が、資源問題ですね。

葛西 2001年から活動を開始した碓井建夫先生の「多孔質メソモザイク組織焼結研究会」を引き継ぐ形で2005年に「複合造粒・層設計焼結研究会」を立ち上げ、劣質化する鉱石をどのようにして使いこなすかというテーマで研究を行いました。その後の「低炭素焼結技術原理の創成研究会」ではCO₂排出削減を主テーマとしましたが、これは焼結でも高炉と同様に大きな課題です。

深田 コークスでは、今の原料価格をいかに下げていくか、劣質な原料をどのように使っていくか、あるいはエネルギー、環境調和、CO₂削減にどう対応していくかを目的に、研究会が立ち上げられてきました。高炉

のパフォーマンスを上げるには高強度で高反応性のコークスが必要であるということがわかってからは、三浦孝一先生が2002年に「劣質炭対応型コークス化技術研究会」、2006年に「高強度・高反応性コークス製造技術研究会」を立ち上げ、研究が行われました。その時々で産側が必要としている技術開発の方向性に合わせる形で進めてきたというのが、これまでの石炭・コークス関係の研究会といえます。

武田 蘆田先生は、石炭に関しては鉄鋼協会の研究会のほかにも、学振の石炭・炭素資源利用技術第148委員会などでも、研究活動をされていますね。

蘆田 コークスに関しては、今の鉄鋼協会のコークス研究会がまさに中心で、オールジャパンが集まって研究を進めている状況ですね。それ以外では、以前は液化で、オイルショックを契機にNEDO事業としてかなり大きな石炭液化のプロジェクトがありました。そのときも鉄鉱、石油、化学、エンジニアリング、重工業、自動車など広い分野の企業に参画していただいて、産学官が一体となったプロジェクト推進体制を確立したと聞いています。もう1つは石炭ガス化に関する、やはりNEDOのプロジェクトで、1995年から2004年まで「BRAIN-C」と呼ばれている「石炭利用基盤技術開発プログラム」がありました。最近のNEDO事業「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」では、CO₂問題を非常に大きな課題と捉え、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) を含めた石炭ガス化発電技術の開発を電力中央研究所、九州大学がリーダーシップをとって行っています。

清水 学振148委員会と学振54委員会は、過去2回、合同研究会をやっています。あれは、非常に良かったと思います。同じ石炭を原料として使っていますが、いろいろな情報や知見が得られる貴重な機会でした。

武田 ここまで製鉄技術の推移、産学連携の取り組みについて、共通の認識を持たれたと思います。日本では、さまざまな研究会や共同研究で多彩なテーマが研究され、非常に活発であったことが改めて感じられますね。



宇治澤 優

新日鐵住金(株)
プロセス研究所 部長

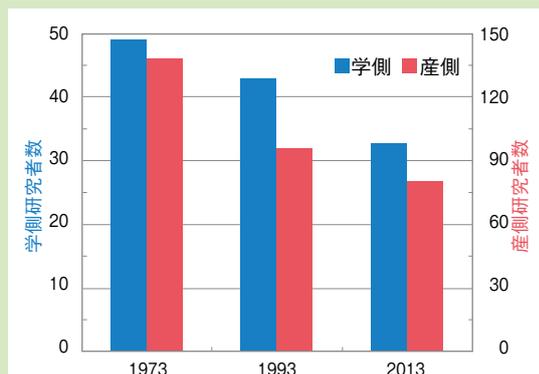
研究者数は減少、一方で論文数は増加傾向

武田 ここからは、製鉄研究をもっと活性化するために何が必要か、という点について議論したいと思います。最近、製鉄研究は昔のような活気がないといわれます。これは研究者数の減少が原因の1つではないか、という意見がありますが、実際のところはどうなのでしょう。

村上 今年(2013年)と、20年前、40年前の研究者数を、学側、産側で比較してみました(図3)。これを見ると、研究者数が減っているのは一目瞭然です。ただ、学側の研究者数の減り方が、たぶん皆さんの想像よりも少ないのではないかと思います。リストの変遷を見ていくと、製鉄の専門家ではない、たとえば石炭などの周辺技術の研究者が学振第54委員会に入って発表している結果、この程度の減少でとどまっているとも解釈できます。

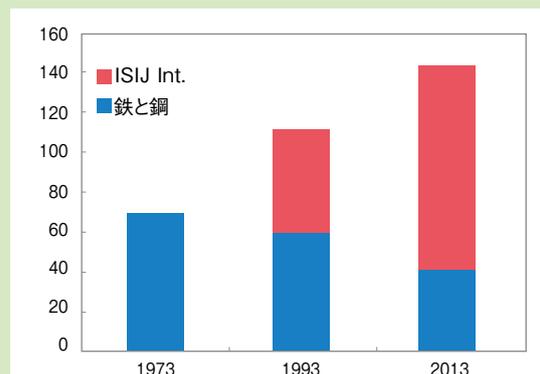
武田 産側も減少していますが、私の実感としては数字以上に減っている感じがします。その理由は、この40年間で研究者の役割が変わってきたことにあると思っています。1973年ごろは、現場の技術者と研究所の研究者間で、操業に直結するような研究開発は現場の技術室で、基礎的な研究を研究所でという

■製鉄分野の研究者数の推移(図3)



学側の研究者数は学振54委員会の発表者をカウントした。

■日本人が執筆した論文数の推移(図4)



論文数は、1973~1975年、1993~1995年、2011~2013年のそれぞれ3年間を集計した。



蘆田 隆一

京都大学
大学院工学研究科
化学工学専攻 助教

分業体制がありました。しかし、コスト削減、要員合理化で、徐々に現場の技術者が減っているのではないかと思います。その結果として、操業改善のような開発も研究所が実施するようになり、長期テーマ、基礎研究が手薄になっているように思います。

宇治澤 全体では減少していますが、年代別では、20代がエンジニアも研究者も増えてきているように思います。20代が多くて、30代後半から40代の働き盛り、脂の乗り切った人間が少なく、40代後半から50代がまた多くなっているという状況です。

武田 海外の状況はいかがでしょうか。

葛西 中国では東北大学（瀋陽）、北京科技大学、中南大学（長沙）、武漢大学には、それぞれ中心となる研究者が1人、2人いるようです。韓国では、製鉄を専門とする研究室は無いように思います。北米は、製鉄専門ということではありませんが、カーネギーメロン大学やマクマスター大学などがあります。豪州は、ニューサウスウェールズ大学でシミュレーションを中心とした研究が行われていますが、製鉄に限らないものです。一方で、資源会社がCSIROとコラボした組織（QCAT: Queensland Centre for Advanced Technology）を作り、研究を進めています。

深田 北米にもそれほどいないし、ヨーロッパには研究者そのものが少なく、工場の技術者兼研究者のような立場の人が多くいます。また、ドイツの場合は、国の資金的な援助が少ないという特徴があります。アーヘン工科大学ではおおむね30%が企業からの共同研究費で、60%が欧州石炭鉄鋼共同体からプロジェクトという形で研究費が提供されていました。また、コークス関係では、ドイツにDMT (Deutsche Montan Technologie) という研究機関があります。もともとはドイツの鉱山会社の協会の共同研究機関で、研究と工場側の開発というのは完全に切り分けられた形で進められていると思います。フランスも同様で、1950年ごろにロレーヌ地方の炭鉱やコークス工場が共同出資する形でCPM (Centre de Pyrolyse de Marienau) という研究機関をつくっています。数少ない研究所に集約されているので、欧州は極めて人数が少ないという認識です。さらに、アルセロール・ミタルの技術開発や技術

コンサルティングもCPMが行っています。ですから、ミタルそのものには研究者はほとんどいないと想像しています。

宇治澤 1億tのうち7,000万tを製鉄でつくっている日本は、人数は減ってきたとはいえ、世界的に見ると研究者の数は多いという認識でよさそうですね。日本は4社とも研究機関を持っている、まだまだポテンシャルがあると考えられそうです。

村上 先ほどの研究者数と同じ時期で、日本人が執筆した論文数も比較しています（図4）。「鉄と鋼」では少しずつ論文数が減少していますが、その一方で「ISIJ International」の投稿数は大きく増加しています。合計すると鉄鋼協会に関係する論文数は、製鉄では実はとても増加しているのです。

武田 平均すると、現在は3年で1人2報であるのに対し、昔は3年で1人1報以下です。論文数の増加は、皆さんの頑張りの結果が現れていることと、論文数で評価されるようになってきたことが理由ですね。

村上 もちろん、40年前に今と同じスピードで研究はできませんので、現在も当時と同じ論文数であれば研究が停滞しているの見たほうがよいのかもしれない。幸いにして、増加しているので、自分たちは頑張っていると、もう少し自信を持ってよいのだと思います。

清水 産学連携のあり方も、研究会をつくってグループ活動をする方法と、海外でよく見られるような、企業と特定の大学が連携して委託研究という形で研究するという、2つの方法がありますね。そして、日本では、そのどちらも行われています。

深田 海外で、日本のような形の共同研究というのはほとんどありません。基本的に企業と大学の先生が大勢集まる形の共同研究という形態は私の記憶にはありません。

葛西 国のプロジェクトなどでの産学連携という側面では、日本ほどの規模で、多くの大学と企業が参画しているのは、あまり例がないと思います。

清水 基盤技術についての将来的な問題については研究会でプロジェクト的にテーマとして挙げる。もっと近々の個別のテーマについては、産学個別の委託研究という形になる。その両方が大事で、いろいろな意味で非常に効果のあるやり方なので、今後もそれをうまくすみ分けて研究開発を進めていくことが大事だと思います。

新たな視点から生まれる次世代の製鉄技術

武田 次に環境問題への対応については、今後どうすべきでしょうか。

宇治澤 私は、鉄鋼業は世界的に言えば成熟産業ではなくて成長産業なのだと思っています。製造プロセスは鉄鋼一貫プロセスに集約され、かつては日本が生産技術の力で欧米を

凌駕しました。現在は新興国がその集約されたプロセスを導入して、環境が劇的な変化を遂げています。生産量が大幅に増加したために、原料は高騰し、品質は低下しています。エネルギーをいかに効率よく使っていくかという点は、鉄鋼業においても非常に重要な課題ですが、日本鉄鋼業が鉄をつくりながら、エネルギーについても社会に対して貢献することを考えていかなければならない時代になっているという気がします。さらに言えば、どうしても品質を維持できない状況に今後なったときに、今の大型高炉ではない、次の高炉はどのようなものにするべきかを真剣に考えなければいけない時代が来ると思います。

葛西 日本の製鉄産業が1960年代から70年代前半にかけて急速に伸びたのは、臨海製鉄所というビジネスモデルの成功が理由の1つです。ただし、そのためには、よい鉱石、よい石炭が不可欠です。現在、世界の粗鋼生産量は急速に伸びていますが、技術的には、従来の延長線上にあるものと考えられます。

清水 製鉄の技術はもう非常に高いレベルに到達して、限界に近づいているような気がしています。それを超えるための技術開発は、かなりハードルが高いでしょう。しかし、鉄をつくるシステムを世界全体で考えて、コストダウンやエネルギーの有効利用などを考えてみると、いろいろな関係が見えてきます。一国だけで解決することは難しいかもしれませんが、ちょっと視点を変えて、地球上で鉄をいかに安くつくるにはどうしたらよいかを考えれば、新しいアイデアがたくさん出てきます。一種の国際戦略的なものになりますが、そういう方向に進まないで、日本が存在感を示すことができる重要な技術的ポジションを確保できないのではないかと危惧しています。

宇治澤 現在、製鉄所のエネルギー利用効率は45%です。残りの55%は排熱として捨てています。ここまで努力して工程を省略し、エネルギー効率を上げていますが、まだ排熱になっているエネルギーがあります。つまり、まだまだエネルギーを有効に利用



弘中 諭

日新製鋼(株)
技術研究所 鋼材研究所
鋼材第一研究チーム

できる可能性を秘めているわけで、そこを突き詰めていくことが重要だと思います。その点でCOURSE50プロジェクトでは、高炉だけではなく、製鉄所全体のエネルギーがどうあるべきかを議論していきたいと思っています。所内最適化だけではなく、地域へのエネルギー供給ということも含めてバウンダリーを広げていけば、社会貢献につながる答えがありそうな気がしています。

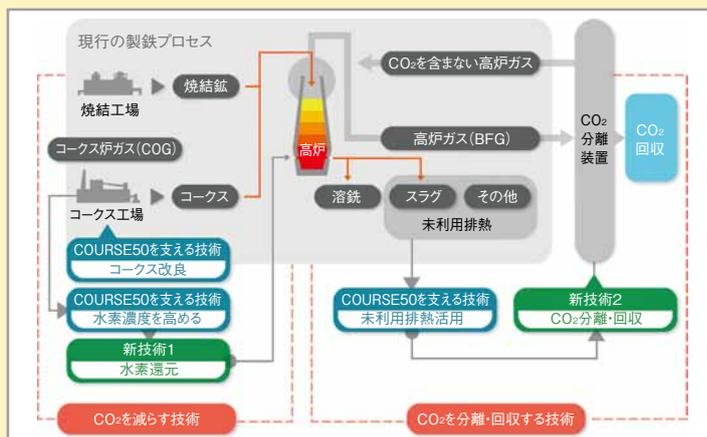
武田 もう1つの大きな課題は、資源ですね。

村上 資源の問題には2つあり、1つは消費量の急増と良質資源の枯渇が原料の価格高騰を引き起こしていること。もう1つは、結果として原料の品位が下がっていることです。これは製品価格に転嫁されているので、重要性はこれからますます大きくなっていくと思います。

宇治澤 原料の品質の変化への対応と並行して、さらに高炉の還元材比を下げっていく必要もあります。もう一度原点に戻って、新しい鉄源の開発も重要なウエートを占めるのではないかと思います。

深田 コークス分野では、原料価格の高騰に加えて、コークス

新たな未来を切り拓く次世代製鉄法—COURSE50



(一社)日本鉄鋼連盟資料を元に作成

「環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE50)」では、水素還元、CO₂分離・回収、コークス改良、水素濃度向上、未利用排熱活用の5つのアプローチで、2030年ごろまでに技術を確認し、2050年までの実用化・普及を達成し、CO₂排出量の約30%削減を目指している。現在、2013年度よりフェーズ1のステップ2が5年間の計画で進められている。



村上 太一

(一社)日本鉄鋼協会
論文誌編集委員会
「鉄と鋼」第100巻
特命小委員会 委員

東北大学
大学院環境科学研究科
環境科学専攻 准教授

炉の老朽化が進んでいるという問題があります。最近、各社の研究者、技術者の数がかなり増えてきて、活発な議論等が行われています。このあたりも、今後の日本の製鉄業を発展させる1つの要因になると思います。

魅力ある製鉄研究とは

武田 今後の課題をいくつか挙げていただきましたが、それを解決していくためにも、製鉄研究の活性化を図らなければなりませんね。

清水 まず、必要なことは時間的なスコープをどうするかという点です。直近なのか、ここ10年なのか、あるいは20年後か、それ以上か。今から20年後には、スクラップ処理量が増加して、鉱石からつくる鉄と同量になるとも予想されています。その時点で新しい製鉄所のシステムが必要なのであれば、今から準備する必要があります。鉄の技術は、10年、20年先までをにらんだ大きな世界を描いておく必要があると強く感じています。

村上 たとえば高炉の寿命を考えると、スパンは50年、100年になると思います。それほどの未来は予想できませんが、考えられるいろいろなケースに対してアイデアを出していく必要があるでしょうね。それを学だけでやる、産だけでやるというよりは、オールジャパンで知恵を絞ってやっていく必要があるのかもしれない。

武田 少なくとも20年後の世界に対応できる準備を、今やっておかなければ、10年後に製鉄研究が残っているかどうか不安になります。

村上 長期的なスパンで考える際には、高温プロセス部会で作成したロードマップの有効活用というのはやはり重要で、それを議論の出発点にする必要がありますね。

清水 ロードマップには、できるだけ具体性を持たせなければなりません。環境変化に対してこうあるべきという方向を示しているけれども、具体的な数値目標が決められていないといけません。何をどこまでやるかという、具体的な目標をイメージできるようにする必要があります。あと10年もすれば、世界中に粗鋼

があふれるでしょう。そこで競争に打ち勝つためには、溶銑のコストをどのくらいまで下げたら勝てるというような目標値が必要です。そして、それに基づいて将来技術はどこを目指すべきかについて、研究会を設立して議論していくことが必要だと思います。

武田 たとえば、「将来製銑プロセス研究会」のようなビジネスモデルも含めた研究会の設立は、製銑研究を活性化してくれそうです。

葛西 以前、製銑部会の技術検討会として「21世紀製鉄研究会(通称)」が活動し、「魅力ある製鉄技術を求めて」という成果報告書がまとめられていますね。

村上 研究会を立ち上げるかどうかは別にしても、その改訂版のようなものはすぐにも取りかかられると思います。まず、アクションを起こして、周りの人を巻き込んで、最終的には分野横断的な研究会にしていく、という展開は実現の可能性があると思います。

武田 製銑研究を活性化させるためには、研究者数を増やすことも必要ですね。

清水 研究者数の減少という問題は、テーマの革新性が大きく関係していると感じています。現状の延長ではなく、将来に向けた生産手段や生産システムなど、大きな構造改革や革新技術を求めれば、新しいテーマが出てきて研究者も必要になると思います。ですから私は、いかに革新的な新しい柱に向けたシステムやテーマを設定するかというのが一番大事だと思うのです。もし、「21世紀製鉄研究会」のような研究会があれば、製銑だけでなく、製鋼、エネルギー、環境関連の研究者が進んで課題を提案してその研究に加わってくるでしょう。革新的で魅力あるテーマを設定して、研究費を確保することが、一番基本的な条件だという気がしますね。

葛西 見方を変えれば、将来へのモチベーションや、技術開発の魅力を十分に持てなかったため、他の先進諸国では大学の研究者が大きく減少したといえそうです。一方、日本では清水先生をはじめ諸先輩と関連各社の努力により、製銑研究を継続して来られたのだと思います。さまざまな場面で、製銑研究の重要性をアピールしてきたから、日本には製銑研究が残っている。私たちも、ここで踏ん張らないといけませんね。

若手のモチベーションをいかに高めるか

武田 製銑研究を活性化するのに重要なテーマの1つが人材育成です。本日のメンバーで一番の若手である弘中さんから、率直な意見を聞かせてください。

弘中 私は、人材育成で一番大事なのは、本人のやる気だと思っています。企業や鉄鋼協会にいくら仕組みを用意していただいても、本人のやる気や情熱がないと、せっかくの仕組みを

活かすことができません。そのやる気や情熱、モチベーションを上げる機会が産学連携ではないかと思っています。同世代の大学生や他社の人と色々な議論をすることで、自分のレベルもわかるし、なにより大きな刺激になります。実際に、自分も焼結の研究会に参加していますが、いろいろな方と議論する事で社内では体験できない刺激を受けています。製鉄の産学連携はかなり活発であると感じていますので、これを維持して、さらに発展させていくのが若い世代の仕事だと思っています。

武田 鉄鋼協会では、若手セッションというプログラムを用意していますが、参加する側から見てどのように感じていますか。

弘中 フォーラムよりも堅苦しくない若手セッションは、参加する心理的なハードルが少し低いという気がします。若手にとって発表しやすい環境は大切です。一度発表を経験すれば自信がつき、次にどんどんつながっていきます。その意味でも、最初のハードルを下げるのはたいへん意味のあることだと思います。

清水 韓国では、製鉄研究に携わっている研究員はいつも寂しい思いをしていると聞いたことがあります。その理由は、高炉メーカーが1社でディスカッションする場がないからだということです。ですから、国外の学会に参加したいとの思いがとても強いとのこと。学会で意見を闘わせて友人になったり、存在を認められる、そういう精神的な部分のモチベーションを高めるための仕掛け作りが非常に大事だと思いますね。

宇治澤 鉄鋼工学セミナーなども、たとえ自分が発表しなくても、とても刺激を受けているはず。アドバンスセミナーでも、ただ成果を発表するというだけではなくて、若い者同士、同世代の人間が集まって、1つの課題に対していろいろな議論する場を設けていくことは、大切ですね。製鉄関係ではこれまでもやってきたので、人材育成という面でも、ぜひとも引き続きやっていくべきだと思います。

武田 蘆田先生は、アドバンスセミナーのティーチングアシスタントをされましたが、ああいう経験はいかがでしたか。

蘆田 とても勉強になりました。鉄鋼協会の教育プログラムはとても充実していると、いつも感じています。私の経験だと、



(司会)
武田 幹治
(一社)日本鉄鋼協会
論文誌編集委員会
製鉄分野担当幹事
JFEスチール(株)
スチール研究所
主席研究員

学生に対する発表の場を提供している学会はあっても、企業の若手を対象としたプログラムを組んでいる所はあまり多くありません。さらにその中に、我々大学の若手も組み込んでいただける。アドバンスセミナー、鉄鋼工学セミナーに参加させていただきましたが、私自身とても刺激になりました。このようなプログラムは、ぜひとも続けていただきたいなと思います。

宇治澤 アドバンスセミナーには現場の技術者が大勢来ていますね。

蘆田 そうなのです。特に、同世代の企業の方と話をする機会は非常に少ないので、たいへん貴重な機会だと思います。

武田 そのほかに、人材育成に役立っている、あるいは新しく必要だというプログラムはありませんか。

弘中 私は研究所に入った最初の7年間に自動車ハイテンなどの材料研究を担当した後、製鉄研究に携わるようになりました。それまでは、焼結鉱やコークスという言葉は知っていても、実物を見たことも触ったこともないような状態でした。また、大学で鉄鋼系分野、たとえば反応速度論とか熱力学的な学問を学ぶ機会がないまま入社してくる新人もいます。大学の先生に企業に来ていただいて、半年かけて教育していただくというのは、私自身が何度か受講した経験からいっても非常に効果的だと思います。学生のときとは講義に臨む態度ややる気も違うので、

■鉄鋼協会主催の「若手育成セミナー」



鉄鋼工学アドバンスセミナー(2012年)



鉄鋼工学セミナー(2013年)



今後も継続していただきたいと思います。

葛西 私は助手として研究室に入ってすぐに、当時の釜石製鉄所で2週間、現場を見せてもらいました。たとえば休止している造粒機の中に入ったり、現場の人と話したり、そういった経験はプロセスを研究するうえで非常に重要です。対象とする実機をじっくり見学する機会なしに研究するというのは、難しいことだと思っています。

宇治澤 私も大学時代に、八幡製鉄所の厚板工場で2週間ぐらい現場の人のお世話になりました。たしか、鉄鋼概論の単位がとれるという理由で行ったことを覚えています。そういうカリキュラムは今の大学にもあるのでしょうか。

村上 あります。学部でも大学院でも実施していますが、希望者のみが選択するカリキュラムです。

武田 ドクターレベルで、企業の中で一定期間働くという経験があったほうがよいのかもしれないですね。大学の教員も含めた新しい形のインターンシップを考えてもよいのかもしれませんが。私の個人的な話をすると、東大の試験高炉で1カ月間の実習を行いました。その後の人生を変えるぐらいのインパクトがありました。今の学生にもそういうチャンスがあれば非常によいという気がします。

清水 MEFOSの高炉のように、その都度、試験高炉的な役割を持たせて、さまざまなテストを行い、その際に人材を教育する育成の場としても活用したいですね。試験高炉は、教育のツールとして有効なツールだと思います。

武田 先ほど本人のやる気が大切という話がでましたが、モチベーションを上げる妙手はありませんか。

弘中 学会発表や論文を、会社側がきちんと評価するシステムも重要だと思っています。さらに、上司の熱意も必要です。

発表することが、いかに個人のスキルアップにつながるかということをしちゃんと伝えられるかが鍵だと思います。私もこれからそういう立場になっていきますので、その点をしっかり伝えていきたいと考えています。

深田 最近のコース研究会では、研究幹事の補佐として必ず企業側の若手研究員をつけることにしています。大学側にも、学生がワーキンググループなどに参加して、発表もしてもらっています。年数回のワーキンググループなので、企業の若手と大学の学生が議論する機会が生まれます。学生も企業の生の声が直接聞けるということで、ワーキンググループに参加する学生は目を輝かせています。ディスカッションも活発です。せっかくある仕組みなので、これを人材育成に、より効果的に活用していきたいですね。そのほか、若手には質問ノルマを課すなどして、参加している自覚を促すことは、上の人間の役目だと思っています。

村上 研究会への参加のハードルをいかに下げることという点で、ワーキンググループから始めていくというのは、非常にいい方法ですね。研究会の教育的効果は、外部からは見えにくいかもしれませんが、今日の議論で、非常に有意義で人材育成に必要なものであることが確認できました。製鉄では、これからも継続して研究会を教育の場としても活用していきたいですね。

武田 先ほど、現在の製鉄分野では革新的なテーマが少なく、研究者が減少しており、これを打ち破るためには、長期的なビジョンと具体的な目標が必要であることが提案されました。これを進めていくのは、若手の研究者、技術者たちの役目です。これまで製鉄研究に携わってきた私たちは、次の100年に向けて、それぞれができることをしっかりとやっていきたいと思っています。本日はありがとうございました。