

国際会議報告

第 4 回日本・ノルディック諸国
シンポジウム報告第 4 回日本ノルディック諸国
シンポジウム実行委員会

1. 開催までの経緯

The fourth Japan-Nordic Countries Joint Symposium on Science and Technology of Process Metallurgy と題する会議が、本会主催で 1986 年 11 月 17, 18 日の両日にわたり経団連会館 10 階会議場で開催された。主たるテーマは後に紹介するように、製鉄および製鋼に関するものである。日本から 92 人 (大学・国公立研究機関から 36 人, 企業から 56 人), ノルディック諸国から P. O. BOMAN 団長を含め 20 名 (スウェーデン 15 名, ノルウェー 3 名, フィンランド 2 名) の参加者があり盛大な会議となった。

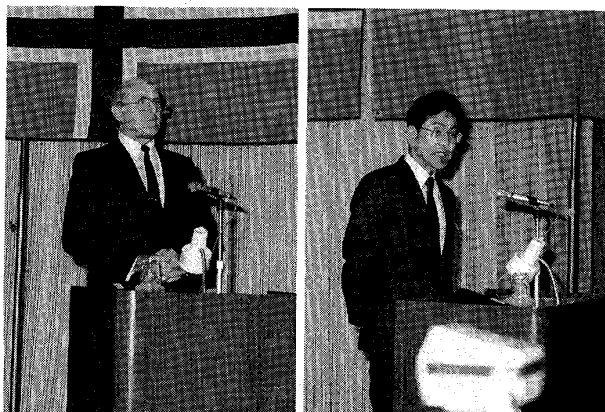


写真 1 雀部実行委員長, BOMAN 団長の挨拶

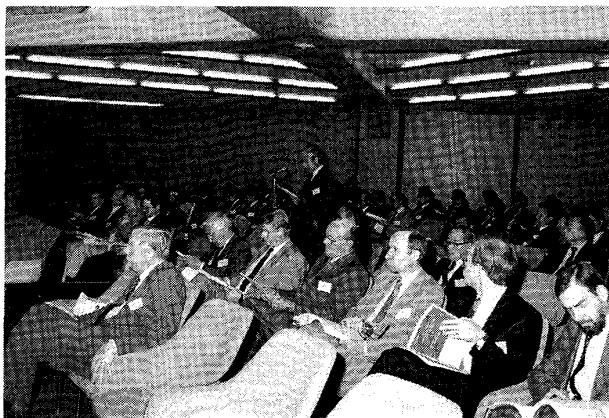


写真 2 シンポジウム会場

この会議が開催される約 1 年前に、本会の主催する国際会議の見直しを行うために国際交流検討委員会が設けられ同委員会は、従来の日本-スウェーデンシンポジウムをノルディック諸国に対象を拡大する方が良い、という勧告を出した。今回の会議はこの勧告をうけて、過去 3 回開催された日本-スウェーデンシンポジウムを拡大したもので、日本-ノルディック諸国シンポジウムとしては実質的には第 1 回の会議である。

2. 会議の経過

つぎの 8 テーマについて 24 件の発表があった。その内容を簡単に紹介する。

Session 1 Blast Furnace Operation

座長 J. O. EDSTROEM と M. SASABE

1) Fundamental Aspects of Si Transfer in the Blast Furnace

M. TOKUDA (Japan)

コークス灰分中の SiO_2 の SiO あるいは Si への変化およびスラグからの SiO の発生の熱力学的あるいは速度論的考察, および熔融金属ならびに熔融スラグの SiO の吸収についての最近の日本の研究をレビューした。本発表に対し, 説明されたいくつかの Si の移行機構の内のどれが最も重要であるのかが議論されたが, 明確な統一見解を出すまでに至らなかった。

2) The Behaviour of Silicon in the Blast Furnace

J. HAERKKI and K. LILLIUS (Finland)

高炉内での Si が溶鉄中へ移行する挙動を研究するため, 黒鉛るつばにスラグと銑鉄を溶解し, 気相の全圧, CO 分圧をパラメーターとして $[\text{Si}]/(\text{SiO}_2)$ を調べた。この測定結果と実炉のスラグとメタルの酸素ポテンシャルの測定およびタップごとの $[\text{Si}]$ の変動を比較して, $[\text{Si}]$ を小さくするための操業指針を提案している。

この発表に対し, 考察に SiO に関する配慮がなされていないこと, スラグ組成を変動させることが提案されているが実炉では提案のように組成を変動させられないこと, などが指摘された。

3) Coal Powder Injection in a Blast Furnace with 100% Olivine Pellets Burden-A Description of an Applied Research Project

B. STROEMQUIST and S. FORSBERG (Sweden)

高炉への粉炭吹込みについてビデオも用いて報告した。現在 90 kg/t 銑鉄の吹込みを行っており, この場合全燃料比は 465-470 kg/t 銑鉄である。

この発表に対して, 粉炭吹込み量を増やすと排ガス中の残留炭素分が多くなることが指摘された。また, 最適粉炭粒度, 最適スラグ量などについて討論がなされた。

Session 2 Blast Furnace Operation and Direct Reduction

座長 L. HOLAPPA と Y. IGUCHI

4) Silicon Transfer in the Blast Furnace Estimated

from Blast Furnace Measuring and Experiment Results

K. KUSHIMA, K. SHIBATA, M. SUGATA, H. SATOH and
H. YOSHIDA (Japan)

実操業中のレースウェイ近傍よりメタルおよびスラグを直接採取するとともにこの近傍の酸素分圧を直接測定すること、および実験室規模の実験をもとに、高炉内のSiの移行を平衡論および速度論的に考察した。

この発表に対し、スウェーデンから羽口からの酸化物吹込みに関する理論的な考え方、およびSiの移行の主要なルートに関する質疑があつた。また、日本の他社から自社のデータを用いながらSiO₂の生成に関するコメントがだされた。これらの討論を通じ、低シリコン操業に対する方策と解析に重要な示唆を与えた。

5) Self-Fluxing Pellets for the Sponge Iron Steel-making Route

R. SELIN and J. O. EDSTROEM (Sweden)

製鋼原料とする海綿鉄を作るための自溶性ペレットの還元挙動、海綿鉄の電気炉内での溶解挙動、メタル-スラグ間のPおよびVの分配、およびこのプロセスの経済的評価を述べた。

この発表に対し、日本から高塩基度ペレットの還元粉化の有無、低温域での被還元性の低下、塩基性と酸性ペレットの被還元性の温度依存性、ペレットを用いた場合と鉬石を用いた場合のコストの相違、等に関する質問がでた。

6) A Generalized Shrinking Core Model Including the Water Gas Shift Reaction Applied to Reduction of Hematite Pellets

L. KOLBEINSEN and T. ONSHUS (Norway)

ヘマタイトペレットの還元について水性ガスシフト反応を含む未反応核モデルを用い、非常に多数のパラメータを導入して数学的に検討した結果を報告した。

この発表に対し日本から、ガス相のみ水性ガスシフト反応が生じるとした一次元数学モデルの紹介があり、本研究との相違が議論された。また、単一ウスタイトペレットについて同様の理論的実験的研究が紹介され議論された。これらの紹介に対しスウェーデンから高還元率を得るための鉬石の性質などについてのコメントが求められた。

Session 3 Smelting Reduction

座長 B. BERG と H. MATSUNAGA

7) Influence of the Type of Coal on Energy Consumption in Shaft Furnace Smelting Reduction Processes

J. O. EDSTROEM and J.-T. MA (Sweden)

コンピューターシミュレーションによればプラズマ溶解の操業諸元が石炭の揮発分の相違によつて大きく変化することを報告した。

この発表に対し、コンピューターモデルの前提条件の

是非について突っ込んだ議論が行われた。

8) Development of a New Ironmaking Process Using Pulverized Coal as Main Fuel and Oxygen Injection

M. HATANO, T. MIYAZAKI, T. SHIMODA, H. YAMAOKA and Y. KAMEI (Japan)

8 t/日の熔融式ガス発生装置および17 t/日のシャフト式還元炉による実験結果とこれらの組合せ方式の特徴について報告した。この発表に対し、コークス使用の考え方、コークスや石炭の原単位などについての議論がなされた。

9) The CIG Process for Smelting Reduction and Coal Gasification

C.-L. AXELSSON, D. KAUFMAN and K. TORSSELL (Sweden)

CIG法に関するコンピューターシミュレーションおよび6 t 炉でのいくつかの知見について報告した。これに対して日本から基本的な考え方について詳細なコメントがあつた。

10) The Present State of Researches on Smelting Reduction of Chromite Ores in Japan

M. KAWAKAMI and K. ITO (Japan)

日本におけるクロムの熔融還元の研究状況、技術的課題について詳細なレビューが行われた。これに対し、クロマイトの溶解過程、攪拌強度などの還元速度への影響因子などについて議論が行われた。

Session 4 Application of Electromagnetic Energy

座長 G. CARLSSON と M. IWASE

11) Recent Activities on Electromagnetic Metallurgy in Japan

S. ASAI (Japan)

鉄鋼精錬への電磁気エネルギーの導入に関する歴史的背景や、最近のこの分野での進歩発展を、自身の研究成果をおりまぜてレビューした。会場から、電磁気冶金は鉄鋼大量生産用だけではなく、小ロット多品種の機能性素材の製造にも有力な武器となり得るというコメントがあり、電磁気冶金の分野における日本・ノルディック諸国間のいつそうの技術交流の必要性のあることがアピールされた。

12) ASEA-Calidus - A New Concept for Induction Heating of Liquid Metals

K. TORSSELL, H.-G. LARSSON, E. WESTMAN and K. WENNSKOG (Sweden)

“CALIDUS”と名付けた無鉄皮の取鍋による溶鋼の誘導加熱技術と、これによる取鍋精錬の試験結果についてビデオを駆使して報告した。このCALIDUSは、多層の高強度・高耐熱衝撃性セラミックスで作った取鍋を使用する。耐火物製のるつぼをそのまま取鍋として使用するようなものであり、効率の良い誘導加熱が可能である。冶金技術者の夢が一つ実現されたといえるもので、

注目を集めた。現在容量 25 t までのものが製作可能であつて、近い将来 150 t まで製作可能であるという。またスウェーデン政府の労働安全基準もクリアしているとのことである。質問は、どのようなセラミックス材料でこのようなものを製造するのかについて集中したが、材料名はもとより気孔率その他物性の一切がノーコメントであつた。

13) Investigation on the Motion of Molten Metal in Static Magnetic Field

K. KINOSHITA, K. HOSOTANI, Y. OGUCHI, K. SORIMACHI, T. KAYANO and M. YAO (Japan)

電磁気エネルギーの応用によつて、連铸モールド内の溶鋼流動がどのように変化するかという問題を実機およびコールドモデルを用いて研究した。さらに数学モデルによる計算結果をも示した。この研究は電磁気エネルギーの応用による溶鋼流動の変化を定量的に把握したものである。

Session 5 Injection Metallurgy

座長 L. KOLBEINSEN と T. ONOYE

14) Numerical Calculations of Removal of Inclusions and Dissolution of Refractory in a Bubble Stirred Ladle

S. T. JOHANSEN, F. BOYSAN and T. A. ENGH (Norway)

ガス吹込み攪拌取鍋内の溶鋼の流動、介在物の分離および耐火物の溶損をモデル化した。流れと気泡の分散挙動については $k-\epsilon$ モデルをもとに数式化し 60 t VOD 取鍋に適用した。その結果、表面流速は実測値と良く一致することを明らかにした。介在物の分離については、スラグおよび壁への物質移動として捉えて上記流れの場において解くと、低ガス流量域では浮力による分離が支配的であり、また、酸素濃度の減少曲線から介在物の粒径分布を予測できることを示した。更に、耐火物の溶損を物質移動律速として考察した。

この発表に対し、介在物の浮上速度、ジェットの軌跡におよぼす気泡間の相互作用の影響、乱流エネルギーの取扱いなどの議論があつた。

15) Mass Transfer in Gas-Stirred Slag-Metal System

M. HIRASAWA, K. MORI and M. SANO (Japan)

スラグ-メタル間の物質移動速度におよぼすガス吹込みの攪拌の影響を、溶鋼-含 FeO スラグ系の Si の移動に着目して実験した。メタル側溶質成分の物質移動係数とガス攪拌条件との関係を無次元項により整理し、コールドモデルと高温での実験データとの関係をつけることができた。

この研究に対し、スケールファクタに関する質問があり、RIBOUD のデータで検証済みであるとの答えがあつた。また、ガス流量により物質移動係数が異なる理由に

ついて質問がでた。

16) New Designs of Converter Tuyeres for Gas Purging

G. CARLSSON, E. BURSTROEM and Q.-X. YANG (Sweden)

転炉のガス吹込み時のバックアタック現象の低減を目的として、管状、環状、螺旋状などの各種タイプの羽口を水モデル、パイロットプラントおよび AOD および CLU などの実機で試験した結果を報告した。新しく開発した螺旋羽口 (Twisted pipe tuyere) はジェットの拡がりが大きく、バックアタックおよび耐火物の溶損の低減に効果のあることを実証した。

この発表に対する討論はジェットの挙動に集中し、ガスジェットの挙動およびバックアタックの頻度が溶鋼と水とで異なることなどがコメントされた。また、螺旋羽口でのジェットの拡がり溶鋼の旋回にもとづくものであり、バックアタックを抑制するには制御板の挿入(マッシュルームはこの働きをする)が有効であるとのコメントもあつた。

Session 6 BOF Operation

座長 T. A. ENGH と A. OZEKI

17) Special Slags for Treatment of Low Silicon Hot Metal in a Combined Blown Converter

P. KUUSELA (Sweden)

KUUSELA が都合により来日できず、P. HAHLIN が代わつて発表した。

低シリコン溶銑吹錬ではスラグ量の減少による脱りんおよび脱硫効果の減少と転炉炉口やランスへの地金付着が問題である。これを解決するために 3 種類の複合媒溶剤を開発し、6 t 複合吹錬転炉で、0.2% Si 以下の低シリコン溶銑を用いてテストした。いずれの媒溶剤も融点が高いためスラグはうまく形成された。酸化鉄含有量の高いカルシウムフェライトは脱りんおよび脱硫能に優れ、また操業も安定させた。

この発表に対し、高酸化鉄含有量の媒溶剤が出鋼温度に影響されない理由や、マンガン歩留りが高い理由についての質問が出されたが、研究者と発表者が異なつたこともあつて、単に結果の報告のみにとどまつた。

18) Post-combustion and Its Thermal Effect during the Decarburization of Pretreated Hot Metal

H. ISHIKAWA, C. SAITO, M. NISHIMURA, K. UMEZAWA, H. MATSUNAGA and H. KAJIOKA (Japan)

温度の低下した予備処理溶銑の脱炭反応の試験を、10 t および 100 t 複合吹錬転炉で行つた。ランス高さを 2 倍高くした超ソフトブローの複合吹錬では、LD 吹錬に比べて約 1% の鉄歩留りの向上と著しい二次燃焼効率増加がみられ、その燃焼熱の内約 60% が溶鋼の温度上昇に利用され、残りが排ガスの温度上昇に消費されると報告した。

この発表に対し、約 60% の着熱効率は高すぎるとの指摘があつたが、これは効率の定義の差であり、今後統一する必要があると思われる。また、スラグが熱媒体として関与するというモデルと試験結果をもとに、スラグ量が二次燃焼効率に影響するというコメントが出された。また、二次燃焼の耐火物への影響についての関心の高さを示す討論がなされた。

Session 7 Secondary Steelmaking

座長 B. STROEMQUIST と N. SANO

19) Dephosphorization of Chromium-Containing Iron by CaO Base Flux

S. INOUE, T. USUI, Y. KIKUCHI and H. MORI (Japan)

ステンレス粗溶鋼の脱りんにおよぼす CaO 系フラックスへの CaF_2 、NaF などの添加物の影響を、クロムおよび炭素含有量の関数として 50 kg 炉および 50 tVAD 炉を用いて調査した。低炭素域では CaO-NaF が優れ、約 80% の脱りん率が得られた。高炭素域では CaO- CaF_2 系も前者に匹敵することがわかった。

この発表に対し、とくにプラントテストにおいてふつ素の気化の有無、NaF の代用としての Na_2CO_3 の使用の可否、100 kg/t ものフラックスを使用することによる浴温度低下の有無などについても多数の質問がよせられた。

20) The Dephosphorization of Stainless Steel with CaC_2 -Experiments in 6 tonne Ladle

G. CARLSSON (Sweden)

6 t の取鍋に 80CaC_2 - 20CaF_2 のフラックス約 20 kg/t をインジェクションして還元脱りんを行い、約 50% の脱りん率が得られた。炭素活量は 0.1 以下が望ましい。処理スラグの酸化についても酸素または酸化鉄による方法をテストしているが、いずれも見込みがありそうである。

この発表に対して、日本におけるテスト結果が紹介された。また、 CaF_2 添加の効果についての質問に対し、脱りんの加速効果があるとの返答があつた。脱すずのプラントテストは行っていないが、興味を持っているとのことである。

21) Decarburization of Molten Ferro-Manganese in Combined Blowing Converter

K. YAMAMOTO, T. MIMURA, S. ITO and T. ONOYE (Japan)

0.5 t の試験転炉を用いて上底吹き併用によりフェロマンガンを約 1% まで脱炭できることを示した。この結果より低コストの中・低炭素フェロマンガンの製造の可能性が推察される。

この発表に対し、本方法が実操業に移されているのかどうか、マンガンの溶融還元による直接製造の可能性などについて、質問がよせられた。また、ダストの発生、吹錬ガス流量を選択することによってより低炭素濃

度まで脱炭できる可能性があるかどうかなどについても討論があつた。

22) AOD-VOD Refining of Extremely Low Carbon and Nitrogen Stainless Steels

M. FUJISAKI, H. YOSHIMURA and K. UMEDA (Japan)

AOD と VOD の両炉を電気炉と組み合わせて、 $\text{C}+\text{N}=60\sim70$ ppm 程度の極低炭素窒素ステンレス鋼の製造方法を開発した。すなわち電気炉で溶解した約 3% C の粗鋼を AOD で 70 min かけて 0.1—0.7% C、50 ppm N まで脱炭および脱窒したのち VOD でさらに 200 min 以下の処理をするもので、AOD 単独よりもコストが大幅に減少した。

この発表に対して、底吹きアルゴンの流量と脱炭速度の関係、AOD 法で復窒する理由についての質問がよせられた。

Session 8 Continuous Casting

座長 K. TORSELL と Y. SUGITANI

23) Mathematical Modelling of Secondary Cooling in Continuous Casting and Its Application to Industrial Processes

S. LOUHENKILPI and L. HOLLAPA (Finland)

鋳片の表面温度、液芯長さ、冷却速度などの制御項目についての考え方およびこれらを算出する数学モデルを述べた。応用例として、鋳造速度が変動した場合に連鋳機内の各位置で鋳片の表面温度を一定に保つためのスプレー水量の制御方法についての計算結果が示された。

この発表に対し、制御範囲を決める根拠、制御手段などについて質疑が行われた。

24) Mechanism of Formation of Surface Defects in Continuously Cast Stainless Steel Slabs Containing Titanium

M. HASEGAWA, Y. MURANAKA, F. HOSHI and S. MARUHASHI (Japan)

Ti 含有ステンレス鋼に特に発生しやすいクラスト、クラスタ、のろかみについて、鋳片の調査結果などによ



写真3 パーティー会場

りその成因を論じた。とくにクラストはメニスカス部に集積した TiN がパウダーと反応して窒素ガス気泡を形成するのが大きな原因であると結論した。

この発表に対し、パウダーの成分や注入ノズルからの吹込みガスの影響について活発な討論が行われた。

3. 会議に関する反省

会議終了後反省会を持ったが、シンポジウムは全体としては議論がかみ合い比較的うまい運営ができたのではないか、という意見が多かった。この反省会にて議論された主な点を、以下に紹介する。

1) 内容が製鉄から凝固までであり、少し広げすぎた感がある、という意見があつた。これに対し、今回の会議は参加国の得意とする分野で討論するという色彩が強い会議であり、狭いテーマで深い議論をする国際会議とは目的が異なるから、テーマを絞り込む必要はあるものの、多少範囲が広がっても止むを得ないという意見が多かった。

2) 本会の主催する国際会議は Prepared discussion を準備することが多く、今回も準備した。しかし、一部のセッションでこれを利用せずに討論することを試みたところ、うまく進行させることができた。この経験および今回の会議全体の雰囲気から、今後 Prepared discussion は準備する必要はないであろう、という結論となった。

3) 高炉内の Si の移行、溶融還元、電磁気冶金のそれぞれに関する日本の研究のレビューを実行委員会から依頼したが、講演時間を他の発表と同じとしたため、講演者の意に沿わない点があつたように思われるので、申し訳なかつた。レビューは講演時間を十分とつて質疑応答の時間を短くしても良い、という結論となつた。

4) 会議前日の夕方、実行委員、座長、講演者およびノルディックからの全参加者として事前打ち合わせを行った。後で振り返ると、この打ち合わせ会議が、シンポジウムをスムーズに運営する鍵となつていたようである。

最後に、ノルディック側の窓口となつてお骨折りいただいた Jernkontoret の P. O. BOMAN 氏、研究発表をしてくださつた方々、工場見学の便宜をはかつて下さつた日本金属工業、川崎製鉄、三菱製鋼の各社、および舞台裏を支えてくださった本協会の国際課の皆様にお礼を申しあげます。

(文責 雀部実)

実行委員名簿

浅井滋生 (名古屋大学)、井口泰孝 (東北大学)、岩瀬正則 (京都大学)、尾関昭矢 (日本鋼管)、尾上俊雄 (神戸製鋼所)、川上正博 (豊橋技術科学大学)、木下勝雄 (川崎製鉄)、雀部 実 (千葉工業大学、実行委員長)、佐野信雄 (東京大学)、杉谷泰夫 (住友金属工業)、藤崎正俊 (日本金属工業)、古崎 宣 (新日本製鉄)、松永 久 (新日本製鉄)

書 評

材料技術者のための弾塑性力学

木原 諄二 著

本書は金属工学標準教科書シリーズ「金属塑性学」(山田嘉昭・木原諄二著、1973年、丸善)を第二著者が十余年にわたり金属系学部学生を対象に講義を行つた結果、事項の取捨選択、配列などについて全面的に改修を加えた新著である。6章よりなり、第1章(31ページ)は、構造力学におけるマトリックス法の説明、第2章(17ページ)は、連続体のひずみと応力と題して有限ひずみの取扱い、弾性体と流体の運動方程式の導き方を述べている。第3章(34ページ)は、等方弾塑性体の変形の力学の基礎として降伏条件と応力・ひずみ関係式、等方硬化と異方硬化、単結晶の機械的性質から多結晶のそれを計算する理論、増分的境界値問題の定式化における諸定理

をまとめている。第4章(24ページ)は、弾性問題の解法の例として内外圧円管、らせん転位及び刃状転位の変位場と応力場、円孔を有する板の2次元引張りなどを取り上げている。第5章(20ページ)の剛塑性体の変形の力学は、上界定理と下界定理、異方性剛塑性体の基本式、すべり線場理論の解説である。第6章(14ページ)数値解析法の基礎では、有限要素法の基礎を3角形1次要素を用いて弾性体についてやさしく解説し、弾塑性体、剛塑性体における増分的剛性方程式の導き方とその解法について述べている。更に境界要素法の原理と等方弾性問題の定式化にも6ページをさいてこの方法の将来展望を行つている。各章に多数の宿題を配して理解を深めるための努力がなされており、大学院学生の輪講用テキストとしても有用であろう。溶接残留応力や連続鑄造の熱粘弾塑性解析も行われていることから、欲をいえば、熱問題も入れば良かったと思う。

(神馬 敬)

A5判 149 ページ 定価 2600 円

1986 年 12 月丸善(株)発行