

国際会議報告

第7回日独セミナー報告

萬 谷 志 郎*

1. はしがき

第7回日独セミナーは、前回の第6回東京開催（1984年5月22日、23日、於東京三田笹川記念会館¹⁾）の後三年置いて、1987年5月5日、6日の両日デュッセルドルフ市ドイツ鉄鋼協会（VDEh, Verein Deutscher Eisenhüttenleute）の本部（Eisenhüttenhaus）大講堂で行われた。

今回セミナーの主題は両鉄鋼協会間の十分な意見交換の末、1) 高純鋼の製造、2) 連続铸造と機械的性質、および3) 鋼の迅速凝固ときめられた。これらは両国鉄鋼業界が抱えている最も重要な技術課題であり、その基礎および応用研究に関する討論と意見交換は、両国鉄鋼技術の今後の発展に寄与するところが大いといえる。

ドイツ側実行委員会委員長は、今回より Hoesch Stahl AG, Dortmund, 研究所所長 Ernst GÖRL 博士が新任された。ドイツ側実行委員会は綿密で周到な準備をし、日本代表団に対し心温まる歓迎をしてくれた。今回セミナーの成功はこのようなドイツ側の受入態勢によるものであり深く感謝するしだいである。前回までの実行委員長 Alfred RANDAK 博士（Krupp Stahl AG, Bochum）は、1977～1984年の間ドイツ鉄鋼協会冶金基礎研究委員会（Ausschusses für metallurgische Grundlagen）の委員長として、また第3回～第6回日独セミナーのドイツ側実行委員長として大きな業績を残された。今回セミナー最終日閉会式（5月6日）において、これらの功績に対して名誉会員の推戴が同時に行われた。博士の日独両国間の技術交流と友情交換に果たした功績は極めて大きく、またその柔和で誠実な人柄と深い学識は多くの日本人技術者に深い感銘を与えている。心からの拍手をお贈りす

ると同時に今後の御健康と御活躍を祈るものである。

ドイツ鉄鋼協会本部は、デュッセルドルフ郊外に最近新築された重厚な感じのする近代的な建物である。接近して VDEh-Betriebsforschungs Institut 隣接して Max-Planck 鉄鋼研究所、Giesserei Institut などがあり鉄鋼研究の一大中心をなしている。

今回セミナー参加団員、日程、セミナーの概要、見学旅行などの概略を次に述べる。

2. 代表団ならびに日程

1) 代表団名簿

団長	萬谷志郎	東北大学工学部教授
団員	綾田研三	(株)神戸製鋼所材料研究所
	大中逸雄	大阪大学工学部教授
	荻林成章	新日本製鉄(株)君津技術研究部
	佐野信雄	東京大学工学部教授
	杉浦三朗	大同特殊鋼(株)中央研究所
	別所永康	川崎製鉄(株)鉄鋼研究所
	松尾 亨	住友金属工業(株)総合技術研究所
	森 克巳	九州大学工学部教授
	森 肇	日本鋼管(株)京浜製鉄所
	下川成海	日本鉄鋼協会

2) 日程

5月2日(土)	成田発、Düsseldorf 着
5月3日(日)	自由行動 (Düsseldorf)
5月4日(月)	セミナー打合せ会、ドイツ鉄鋼協会事務局 局長 SPRINGORUM 博士主催 Dinner party
5月5日(火)	第7回日独セミナー第1日、Beer party (夕方、全員出席)
5月6日(水)	第7回日独セミナー第2日、日本鉄鋼協会代表団、萬谷団長主催による Buffet party
5月7日(木)	Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPI, Düsseldorf) VDEh-Betriebsforschungs-Institut (BFI, Düsseldorf)
5月8日(金)	Technical University of Berlin (Prof. Oeters, Berlin)



シンポジウム会場において
中央左より Dr. E. GÖRL (実行委員長),
Dr. WUPPERMAN (VDEh 会長), 萬谷団長,
Dr. SPRINGORUM (VDEh 専務理事)

* 東北大学工学部 工博 第7回日独セミナー団長

Institute for Metallurgy, TU Berlin
(Prof. Froberg, Berlin)

Center of Production Technique
(PTZ-Berlin, Berlin)

5月9日(土) 自由行動 (Berlin)
5月10日(日) 自由行動 (Berlin)
5月11日(月) 自由行動 (Münster)
5月12日(火) Klöckner Stahl AG, Georgsmarienhütte
(Osnabrück)

5月13日(水) Hoesch Stahl AG, Phoenixwerke
(Dortmund)

5月14日(木) Krupp Stahl AG, Geisweid Steelplant
(Siegen)

Krupp Forschungs-Institut (Essen)

5月15日(金) Thyssen Stahl AG, Oberhausen Steel-
plant (Oberhausen)

5月16日(土), 17日(日) 帰国

3) セミナープログラム

5月5日(火) 開会挨拶 ドイツ鉄鋼協会会長 WUPPER-
MANN 博士, GÖRL 実行委員長, 萬谷団長

セッション 1

Topic A : Production of high purity steels

座長 E. GÖRL (Hoesch Stahl), 萬谷志郎 (東北大・工)

1.1 Slag/metal reaction and Ca-Mg-Al additives T.
El GAMMAL, M. E. AMMAR, H. LISCHKA, RWTH Aachen, In-
stitut für Eisenhüttenkunde

1.2 Study on deoxidation equilibria between slag
and metal in production of clean steel and shape control
of inclusions H. MORI, S. INOUE, Y. KIKUCHI, Y. KAWAI, M.
HANMYO, Nippon Kokan K. K., Keihin and Fukuyama

セッション 2

座長 W. PLUSCHKELL (Hoesch Stahl), 佐野信雄 (東
大・工)

1.3 Kinetics of desulfurization of liquid steel
according to ladle metallurgy conditions Deng Jian-
XIONG, F. OETERT, TU Berlin, Institut für Metallur-
gie-Eisenhüttenkunde

1.4 Kinetics of dephosphorization of iron melts by
molten slags K. MORI, N. SHINOZAKI, Kyushu Univ.,
Fukuoka ; Y. KAWAI, Nippon Steel Corp., Kitakyushu

1.5 Mathematical expression of phosphorus dis-
tribution in steelmaking process by quadratic formalism
R. NAGABAYASHI, M. HINO, S. BAN-YA, Tohoku Univ., Sendai

セッション 3

座長 H.-J. ENGELL (Max-Planck-Institut), 杉浦三朗
(大同特殊鋼)

2.1 Thermodynamics of antimony, tin and arsenic in
CaO-CaF₂ melts T. IZAWA, T. WAKASUGI, K. NOGUCHI, N.
SANO, Univ. of Tokyo

2.2 Refining of steel melts using alkaline earth met-
als and influences on steel properties

2.2.1 Metallurgical treatment M. KÖHLER, M. BREITZ-
MANN, D. JANKE H.-J. ENGELL, Max-Planck-Inst., Düssel-
dorf

2.2.2 Effects of impurities on mechanical prop-
erties and corrosion behaviour H.-J. GRABKE, Max-Plan-
ck-Inst., Düsseldorf

2.3 Removal of copper and tin with plasma T. MA-
TSUO, Sumitomo Metal Ind., Amagasaki

セッション 4

座長 E. STEINMETZ (Haus der Technik), 松尾 亨 (住
友金属工業)

2.4 Heating molten steel in an inert-gas atmosphere
using 3-phase a. c. plasma torches D. NEUSCHÜTZ, H.-O.
ROBNER, Krupp Forschungs-institut, Essen ; H. J. BEB-
BER, Krupp Industrie-technik, Duisburg ; K.-H. HEINEN,
Krupp Stahl, Siegen

2.5 Technologies for clean steel making I. KISHIDA,
S. KITAGAWA, S. SUGIURA, Daido Steel, Aichi

2.6 Oxide purity in low-level desulphurized cal-
cium-treated steels H. JACOBI, K. WÜNNENBERG, Mannes-
mann Forschungs-institut, Duisburg

5月6日(水)

セッション 5

Topic B : Continuous casting and mechanical prop-
erties

座長 W. DAHL (RWTH Aachen), 荻林成章 (新日鉄)

3.1 Recent investigations on internal cracks of con-
tinuously cast steel K. AYATA, H. NAKATA, H. YASUNAKA, J.
MIYAZAKI, T. MORI, Kobe Steel, Kobe and Tokyo

3.2 High temperature properties of the CC strand
shell

3.2.1 General survey of the responsibilities
assigned to the VDEh working group R. SIMON, Thyssen
Stahl, Duisburg

3.2.2 High-temperature ductility of low-alloy con-
tinuously cast steel under alternating and non-alterna-
ting mechanical stresses J. HERTEL, U. LOTTER, E. SOWKA
Thyssen Stahl, Duisburg

3.2.3 On the crack susceptibility of steels in con-
tinuous casting with particular reference to the chemi-
cal composition W. DAHL, M. EBRECHT, M. MERZ, E.
SCHMIDTMANN, RWTH Aachen, Institut für Eisenhütten-
kunde

3.2.4 Influence of tramp elements on the hot work-
ability of high alloyed steels at temperatures near the
solidus temperature J. BUCKSTEGGE, P. GÜMPPEL, W.
SCHMIDT, R. THIELMANN, Thyssen Edelstahlwerke, Krefeld

3.2.5 Investigations on internal cracks and high-temperature properties of continuously cast stainless steels *H.-U. LINDENBERG*, Krupp Stahl, Bochum

セッション 6

座長 *R. HAMMER* (Thyssen Stahl), 綾田研三 (神戸製鋼所)

3.3 Recent investigations on creep in steel at continuous casting temperatures *T. SUZUKI, K.-H. TACKE, K. SCHWERTFEGER*, TU Clausthal; *K. WÜNNENBERG*, Mannesmann Forschungsinstitut, Duisburg

3.4 Control of center segregation in continuously cast slabs for sour-gas service line pipe steels *S. OGIBAYASHI, T. MUKAI, M. HIRAI, M. TEZUKA, M. YAMADA, S. MIZOGUCHI*, Nippon Steel Corp., Kimitsu, Yawata and Tokyo

3.5 Stresses and strains due to longitudinal torchcutting of continuous cast slabs *A. DIENER, K. WAGNER*, Hoesch Stahl, Dortmund

セッション 7

Topic C: Rapid solidification of steels

座長 *A. RANDAK* (Krupp Stahl), 大中逸雄 (大阪大・工)

4.1 Heat transfer in thin slab casting and rapid solidification *R. JESCHAR, R. SCHOLZ, U. REINERS*, TU Clausthal, Institut für Energieverfahrenstechnik

4.2 Structure and properties of rapidly solidified Fe-Si alloy wires and powders *I. OHNAKA, I. YAMAUCHI, H. TATEOKA*, Osaka Univ.; *T. ICHIRYU*, Katata Research Inst., Toyobo Co.

4.3 Solidification parameters, microstructures and mechanical properties of rapidly solidified iron-based alloys *G. FROMMEYER, E. VOGT*, Max-Planck-Inst., Düsseldorf

4.4 Solidification and rolling characteristics of thin slab produced by the newly developed Kawasaki's belt caster *N. BESSHO, H. TOZAWA, S. ITOYAMA, I. FUJII, T. NOZAKI, T. KUSABA, K. NAKANISHI, Y. MIYAKE, K. EMOTO*, Kawasaki Steel Corp., Chiba

閉会挨拶 佐野信雄教授, GÖRL 実行委員長, RANDAK 博士名誉会員推戴式

3. セミナーの概況

前述のプログラムに従い, 1 論文につき発表時間 15 分, 討論時間 15 分程度の日程で会議が進められた。討論は友好的な雰囲気の中で活発に行われ, 時間不足の場合は休憩時間を利用して十分な意見交換が行われた。各セッションの概況は次のようである。

セッション 1: 論文 1.1 は溶鋼の 2 次精錬における脱酸, 脱硫, 介在物形態制御および機械的性質に関する研究であり, *EL-GAMMAL* 教授が発表した。すなわち,

誘導攪拌している溶鋼の Al 脱酸後, 種々の組成の $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaF}_2\text{-Al}$ 系フラックスまたは CaSi を添加し, 溶鋼中酸素, 硫黄, 介在物の組成と形態などを調査した。 $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}$ 系フラックスと CaSi 添加の時, 同程度の好成績が得られた。酸素と硫黄量が著しく低下するのみでなく, 介在物の数, 形態, 分布なども改善されて, 鋼の圧延時における等方性が増加した。本研究に対して, 佐野, 森(克), および萬谷教授より, $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}$ 系フラックスを使用した時の実験条件, $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}$ 系フラックス使用における反応機構, CaS(s) 生成の機構と確認, および使用耐火材料などにつき質問があつた。

論文 1.2 を森肇(鋼管・京浜)が発表した。18-8 ステンレス鋼中の Al_2O_3 系介在物を低減せしめるため, $\text{CaO-CaF}_2\text{-SiO}_2$ 系スラグを使用する最適条件につき実験的研究を行い, その結果を 50 t VAD 法に応用して Al-free の下で 30 ppm O のステンレス鋼を溶製した。また炭素鋼中の酸素量を低減せしめるため, Al-脱酸と $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系スラグ使用を組み合わせる最適条件につき研究し, これを 250 t AP に応用して酸素量 10 ppm 以下の鋼を精錬した。本論文に対して *H.-U. LINDENBURG* (Krupp, Bochum) および *H. RICHTER* (Thyssen, Duisburg) らより, 酸素量 10 ppm 以下の鋼を溶製する場合の本質的な対策, Sampling 法などにつき質問があつた。(萬谷志郎)

セッション 2: OETERS 教授が病欠のため MIETZ 氏が論文 1.3 を代理発表した。1.5 kg の溶鉄に 1600°C で 180~250 g の $53\text{CaO-4SiO}_2\text{-35Al}_2\text{O}_3\text{-8MgO}$ スラグを接触させアルゴンを底吹きしながら, 脱硫の時間的経緯をアルゴン流量を関数として調べたものである。溶鉄中の物質移動が律速段階で, 特に硫黄の界面活性に帰因する界面流動が物質移動を 4 倍加速している。

これに対し日本側から固体硫化物が反応生成物である限り溶鉄中の物質移動が律速するとした理由, 溶鉄中の酸素の影響 (2~3 ppm との回答があつた), スラグ側物質移動の影響, Surface removal theory の応用法などについて質問が寄せられた。

論文 1.4 を森(克)教授(九大)が発表した。140~200 g の溶鉄 (0.4% C) を 20 g の $\text{CaF}_2\text{-CaO(-Al}_2\text{O}_3\text{)-MgO-FeO}$ または -MnO スラグで脱りんした場合の反応速度を解析し, 物質移動が律速段階であると結論した。FeO の代わりに MnO を酸化剤した場合も FeO と同様の解釈ができた。含炭素溶鉄の場合は同時発生する CO の生成が反応律速であるとして, その攪拌の影響を定量的に考察した。

この発表に対しドイツ側より Mn の存在は平衡論的に脱りんに不利ではないかと質問があつたが, ここでは MnO を酸素の供給源として利用したとの回答があつた。また脱りんと脱炭の一方の優先条件についての質問があ

り、 $C < 1\%$ で脱りんが進行する可能性がある」と返答された。発表者は CaO と Na_2O 系フラックスの優位性の質問に対し、 $\text{CaO-FeO(-CaF}_2\text{)}$ 系が、コスト、ヒューム、耐火物の点で最良と考える旨発言した。

論文 1.5 を 萬谷教授 (東北大) が発表した。 $\text{FeO-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-MgO-SiO}_2$ 系スラグと溶鉄間のりんの分配を $1300\sim 1680^\circ\text{C}$ で測定し、その値が他の研究者のデータを含め FeO の高濃度域を除き、正則溶液近似で整理できることを示した。この方法により溶鉄中のりん、酸素量が 10% の精度で推定できるとしている。

ドイツ側より CaO 飽和 $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$ 系で L_P を実測したところ、 $10\% \text{SiO}_2$ を含む方が、全く含まない場合よりも大きな値を得たが、これについてのコメントが求められた。会場からも同様の結果が得られたとの発言があつた。また (MnO) が 10% 程度含まれるスラグの脱りん挙動についての質問には、 Mn^{2+} と P^{5+} の相互作用エネルギーが負なので、スラグ組成としては脱りに有利であるとの回答があつた。なお、FROBERG 教授よりこのモデルはスラグの構造を正確には反映していないので、一つの近似的表示法として考えるべきことに注意を要するとのコメントがあつた。(佐野信雄)

セッション 3 : セッション 3 では、Tramp elements の挙動が取り挙げられた。日独双方から各 2 篇の論文が報告された。

日独ともに、低級な老廃スクラップの発生量の増加が見込まれているなかで、 Fe より貴な Cu , Sn , Sb , As などの Tramp elements による鋼の汚染は今後の問題として注目されている。

論文 2.1 を 佐野教授 (東大) が発表した。 Cu 合金と CaO-CaF_2 間のこれら Tramp elements の熱力学的挙動に関する詳細な報告である。鉄基合金への理論的あるいは実験的拡大が期待されるところである。

論文 2.2.1 を JANKE 教授 (MPI) が発表した。アルカリ土金属による鋼浴からの Tramp elements の除去に関するものである。加圧下で Ca を添加する実験はすでに日本でもなじみのものであるが、 100 bar の耐圧をもつ溶解炉で二金属間の熱力学的挙動を扱った点に、実証的で徹底したドイツ人らしさを伺うことができる。この種の加圧溶解が、実験的手段としてではなく新しい鉄鋼材料を生み出す道具になりえないかと思つたしだいである。

2.2.2 の論文は、Auger-electron-spectroscopy 分析による C , P , Sn の粒界偏析について論じている。 400°C , 10^4 時間にわたる P の粒界偏析の進行に関する実測データはたいへん興味深く、また、粘り強く実験を遂行した研究者に敬意を感じた。材料強度および熱間加工性の面から本研究がさらに進展することを期待したい。

論文 2.3 を 松尾 (住金) が発表した。プラズマの得られる超高温火点を利用して、鋼浴から Cu , Sn の蒸

発除去を試みたものである。鋼浴温度が高いほど、減圧下ほど、そして単純 Ar プラズマよりは $\text{Ar}+\text{H}_2$ プラズマの方が除去速度は速いとしている。

通常の製鋼条件から掛け離れた、超高温下、超真空下、高圧下での冶金反応に関する研究が、新材料開発とあいまって、今後進展する兆しを感じた。(杉浦三朗)

セッション 4 : セッション 4 では、プラズマ炉関係 1 篇、高純度鋼関係 1 篇および介在物関係 1 篇が報告された。

論文 2.4 を NEUSCHÜTZ 教授 (RWTH, Aachen) が発表した。クルップで独自に開発された 3 相交流プラズマ炉に関するものである。現在、 10 t 炉が Siegel 社の工場稼働しているが、少量のプラズマガスで不活性雰囲気中で加熱でき、 Mn , Cr 等のロスが少ないという特長がある。 N は小型炉と異なり雰囲気中の N_2 分圧とほぼ平衡するレベルになることも報告された。炉底電極が不要であることおよび電極からの C ピックアップが無いことを利用した取鍋あるいはタンディッシュ加熱への適用を強調していた。質疑では、 DC プラズマ炉との比較が一部なされた。

論文 2.5 を 杉浦 (大同) が発表した。自動車用等の高級特殊鋼を溶製するために、 EAF-LF-RH-CC プロセスでの高純度化についてフラックスの選択、処理条件について述べたものである。質疑では、 Al レベル、 EAF でなく LF で脱りんする理由および適用鋼種について議論された。

論文 2.6 を JACOBI (Mannesmann, Duisburg) が発表した。溶鋼をドロマイトレードル内で $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系スラグで脱硫した後 Ca 処理し、丸ビレット CC またはスラグ CC に铸込んだものおよび圧延したものの介在物を 200 cm^2 という広い視野で調査したものである。铸片では、丸ビレット CC に比べスラグ CC の方がタンディッシュ内での滞留時間が短いこと、 Top と Bottom の差が大きくなること、圧延後では、 950°C といった低温圧延では介在物は球状のままであるが、 1350°C といった高温圧延では介在物は伸び、つぶれることが報告された。質疑では、ドロマイトレードル使用時の Ca 処理、 Al 添加量とノズル詰まりの関係について討議された。(松尾亨)

セッション 5 : セッション 5 では、連続鑄造の割れ及び高温特性に関する 6 論文が発表された。

綾田 (神鋼) の発表した論文 3.1 は内部割れおよびバルジングについてこれまでの主な実験、理論解析を総括的に紹介したもので、割れ伝播の方向や変形歪み算出法等が質問された。SIMON (Thyssen, Duisburg) の発表した論文 3.2.1 は 1985 年の始めに VDEh により組織化された高温変形調査活動の現状を概説し、3.2.2~3.2.5 では企業および大学における現在までの研究成果

が紹介された。SOWKA (Thyssen, Duisburg) の発表した論文 3.2.2 は $650^{\circ}\text{C} \sim r$ 低温域の脆化におよぼす Nb, Mn/S 等の影響について述べ、繰り返し引張圧縮による割れ発生限界サイクル数が実铸品の割れ発生挙動を良く再現しうると指摘している。EBRECHT (RWTH, Aachen) の発表した論文 3.2.3 は融点直下の割れ感受性に対する C, Mn, S, P の影響および $700^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ の温度域の割れ感受性に対する Nb, 歪み速度、繰り返し加熱冷却の影響について述べ、THIELMANN (Thyssen, Krefeld) の発表した論文 3.2.4 および LINDENBERG (Krupp, Bochum) の発表した論文 3.2.5 は高合金鋼における固相線近傍の延性に及ぼす微量元素および C の影響について述べている。これに対し、割れおよび高温変形特性に対する凝固組織、成分、応力振幅および歪み速度の影響等について活発な質疑が行われた。(荻林成章)

セッション 6 : 論文 3.3 を SCHWERTFEGER 教授 (TU Clausthal) が発表した。連铸スラブのバルジングを解析する上で重要な鋼のクリープ挙動についての報告である。本報告の特徴は鋼のクリープ挙動を連铸の場合と同様な繰り返し応力の下で調査し、従来の一定応力下でのクリープ挙動と比較している点である。この結果、応力除荷の時間が $300 \sim 700 \text{ s}$ と長いと再結晶により回復が起こり、次の応力負荷時に歪み速度の増加が認められるとしている。質疑はサンプルの履歴、クリープ式の成立する条件等について行われた。鋼のクリープ挙動を一歩進めて研究しており、ドイツ側の基礎データ蓄積に対する関心の高さが窺える。

論文 3.4 を荻林 (新日鉄) が発表した。耐サワーガスパイプ用鋼の中心偏析改善のためのスラブの軽圧下に関する報告が行われた。この報告に対しドイツ側から軽圧下時に発生する逆 V 偏析、軽圧下適正位置におよぼすスーパーヒートの影響、電磁攪拌の効果、ちよう密ロールの必要性について質問が出された。

論文 3.5 を WAGNER (Hoesch, Dortmund) が発表した。幅広スラブ ($1800 \sim 2720 \text{ mm}$) のトーチ切断による幅切り時の熱変形に関する報告である。熱応力解析はクリープ変形を考慮した一次元の弾性モデルであるが、実際の現象をよく説明している。スラブの熱変形を防止するためには切断時に切断面と反対の狭面を加熱し、スラブの温度分布を幅方向に対称に近づける必要があるとしている。質疑では切断に要する時間、切断時に再溶解した部分が切断部に残る問題、切断面の割れ発生などについて行われた。

このセッションでは日独のテーマが類似のものでなかったが、双方にとって興味ある内容であつたため、熱心な質疑が交わされた。(綾田研三)

セッション 7 : 本セッションでは鋼の急速凝固に関連する 4 件の発表があつた。

論文 4.1 を SCHOLZ (TU Clausthal) が発表した。急

冷薄帯や薄スラブ連続铸造時の温度変化を半無限铸型やベルト铸型など種々の場合について解析的に求めたものである。またベルト式連続铸造時のノズルとベルト間への溶湯の差し込みについても述べられた。ベルト式連続铸造法を鋼に適用するには高速噴流をベルトに当てる Gush water cooling が必要であるとの見解が示されたがその根拠や铸型、溶湯間の熱抵抗、差し込みの際の表面張力やノズル部に発達する凝固層などについて討議がなされた。

論文 4.2 を大中教授 (阪大) が発表した。従来の急速凝固に関する多くの研究が薄帯と微細組織に関するものであるのに対し、ワイヤでかつ、竹状組織という一種の粗大組織に関する研究である。すなわち急冷 Fe-Si 合金に靱性が生じるのは急冷により組織が微細化されたためではなく、竹状組織が生じたためであることが報告された。そして、Fe-Si ワイヤの用途や他の合金への適用、最小線径などに関する討議がなされた。

論文 4.3 FROMMEYER (MPI) が発表した。コンピューター制御された片ロール法により Fe-6.3% Si, Fe-3.2% C, Fe-4.3% C 合金などの薄帯を製作し、凝固組織と冷却速度の関係、硬度などを調べたものである。また、ガスアトマイズした Fe-4.3% C の熱間圧延材 (軟鋼チューブに粉末をつめて圧延) の超塑性についても報告があつた。片ロール装置には 5 台の 2 色温度計がセットされており、冷却速度を実測している。デンドライト 2 次間隔が冷却速度の $-1/3$ 乗ではなく約 -0.6 乗に比例するという面白い結果が報告された。立派な装置による実験で今後、考察、検討が十分なされればより有益な情報が得られるであろう。

最後の発表論文 4.4 を別所 (川鉄) が発表した。川崎製鉄で開発されたベルト式連続铸造機の概要と铸品の性状に関するもので、ドイツ側の製鋼関係者には最も興味深かつたようである。ノズル部の構造、寸法、材質、铸品の均一性、ベルトの寿命など実地的な討議がなされた。ドイツでも双ロール法やベルト・ロール法、オスブレイ法など種々の方法で薄スラブの開発研究が行われているが、これらについての発表がなかつたため、日本からドイツへの一方的情報提供となつてしまった感がある。しかし、シンポジウム後の工場見学では非常にオープンにいろいろ見せてもらい参考になつた。

急速凝固の分野は広く、特に精錬関係の研究者、技術者には理解しにくい面があつたかも知れない。また本質的な討論が十分行われたとは必ずしも言えない。しかしドイツでは日本に比較すると小数の研究者が設備に費用をかけ、着実に基礎的データを取っている様子がうかがえた。また、薄スラブ連铸などのように開発資金がかかり、リスクの大きい開発、研究には今後相互間の情報交換がより役に立つと考えられる。(大中逸雄)

4. 工場・大学研究所訪問記

Max-Planck-Institut für Eisenforschung (Düsseldorf)

5月7日(木) 9時30分～13時: 見学ツアー最初の訪問先はセミナー会場の VDEh の新しい本部建物に隣接した場所にあるマックス・プランク・鉄鋼研究所である。

ENGELL 教授が出席できなくなったため、NEUMANN 教授より研究所の概要について説明があつた。ついで、JANKE 教授より最近の研究の概要について説明を受けた後、所内の見学を行った。主な研究テーマとしては、製鋼部門では、溶鋼・合金鋼の脱りんや脱窒、アルカリ土類金属による鋼の精錬、インジェクションによる脱りん・脱硫反応速度の modelling, 電気化学的手法による溶鉄中成分の濃度測定法の開発など、新材料部門では急冷凝固時の熱解析や冷却条件とマイクロ組織の關係の解明、金属間化合物の活用など、材料部門では Fe-Ti(Al) 固溶体の機械的性質の温度依存性、高温クリープ破壊での溶質元素の粒界偏析挙動、鋼中の水素の透過(拡散)などがあげられた。実験装置について注目されたものは珪酸スラグを電解質として用いた溶鉄用の Si センサーやアルカリ土類金属-溶鉄間のトランプエレメントの分配実験で使用されていた高圧加熱溶解炉(最大 100 atm)、片ロール法による急冷凝固実験で熱解析を行うために5台の赤外線温度計を用いてノズル近傍の測温を行うもの、熱間圧延時の材料の機械的性質の変化を調べるために開発された圧延と引張試験が可能な高温材料試験などである。

鋼中析出物の同定や粒界破壊断面での偏析物の定量には FIM, EPMA, Auger 等の各種表面分析機器が利用されており、我が国の大学の金属系研究室に比べて大型実験設備の充実と言うまでもないが、独自の工夫を施した実験装置の開発・製作の重要性を再認識させられた。(森 克巳)

VDEh-Betriebsforschungsinstitut (Düsseldorf)

5月7日(木) 14時30分～16時30分: 午後は VDEh 本部と同じ敷地内にある BFI の見学で、初めて VDEh の会議室で BLEILEBENS 博士より研究所の概要の説明を受けた。“より経済的技術、より合理的プロセス、より優れた成品”をモットーに、研究内容も企業との共同研究、企業からの依託研究が 50%-50% という比率からも分かるように研究成果の実用化を重視した応用研究が主体であり、午前の見学先 MPI とは対象的であつた。

見学に先立つて、SUCKER 博士より 16 mm 映画で、取鍋からの湯の流出時のスラグ巻込みやタンディッシュ内の湯流れ、堰の影響の水モデル実験での観察結果の説明があつた。時間の関係で見学は流動、伝熱部門の装置だけであつたが、研究のニーズが実操業での問題解決手段である場合が多いため、実機サイズの模型が多く使わ

れ、かつ、測定条件も実操業条件に近づける努力がはられていた。見学した装置は、映画で示された水モデル実験、加熱炉内張り耐火材の耐熱テスト、熱風炉内の伝熱解析用装置など、実用的な研究が多く印象的であつた。(森 克巳)

Technische Universität Berlin Institut für Metallurgie-Eisenhüttenkunde (Berlin)

OETERS 教授が病気をおして歓迎及び概要の説明をしてくれた後、主に取鍋精錬に関する実験設備を見学する。すなわち、底吹き取鍋の水モデルにおける流速分布をレーザー・ドップラー流速計により測定する装置、ガス攪拌における混合機構の解明を目的とした水モデル、ガス攪拌取鍋における液滴あるいは粒子の分散挙動を解明するためのモデル実験(溶鋼として水、スラグとしてシクロヘキサン、粒子としてベンジル ($C_6H_5COCOC_6H_5$)) を利用、ベンジルは水には溶けないが、シクロヘキサンには溶解し、シクロヘキサンは黄色に変化する。この色の変化を利用してベンジル粒子 ($50\sim70\mu m$) のスラグ中への捕獲の様子が調べられる)、ウッドメタル中での窒素ガス吹き込みによる気泡の寸法、分布、上昇速度などの測定(電気触針法)、溶鋼の脱硫に関する研究などの装置を見学した。OETERS 教授の他に教授 1 人、8 人の技官らの職員、平均して 6 人位の博士課程に相当する学生、4 人位の学部学生がおり、1 年に 1 億円程度の予算(人件費含む)を使用して研究しているだけに立派な設備で着実に研究を行つている。

その後、FROBERG 教授の Institute für Allgemeine Metallurgie を訪問する。

浮遊溶解と落下熱量計の組合せによる Ta, Mo など高融点金属のエンタルピーの測定、浮遊溶解を利用した混合エンタルピーの測定、底吹きの水モデル装置など見学する。一般的に立派な設備としつかりした実験装置で、着実に実験データを得ている様子がうかがえた。(大中逸雄)

Fraunhofer-Institut für Produktion Anlagen und Konstruktivstechnik (IPK) (Berlin)

この研究所は 1986 年末に開所された新しいもので、Fraunhofer Gesellschaft (FhG, 34 の自然科学、技術關係の研究所をもつている非営利機関) により設立されたもので、Berlin 工科大学と協力して、主に自社内に十分な研究、開発機関を持っていない中小企業の技術、研究開発、新技術の導入を助けることを目的としている。本研究所で勉強することを希望する者に月約 80 時間のアルバイトをさせ実験やソフトウェアの開発を行つている点が面白い(研究者数約 110 人) KRAUSE 教授の概要説明の後、JANSEN 氏の引率で、ミリング加工のオフライン NC プログラミング、手書き 3 面図から 3 次元図形を入力するソフトウェア(CASUS)の実演、CNC プログラミング(加工シミュレーションを含む)などを

見学した。本研究所の運営は Berlin 工科大学と共同で行われており、16MilionDM を大学が 6MilionDM を研究所が負担している。依託研究は電気工業 45%，工作機械 25%，自動車工業 28% で、システム工学，デザイン工学，システム設計工学 (Planning Technology)，生産システム工学，数値制御工学などの部門がある。なお、我が国にはこのような研究、教育機関はない。(大中逸雄)

Klöckner Stahl AG, Georgsmarienhütte (Osnabrück)

ベルリンから飛行機でミュンスターに着いた一行は翌 5 月 12 日 (火) に Osnabrück にある Kröckner Stahl を訪問した。Dr. SELENZ, Dr. GROSSMANN および Dr. PATEL から会社概要の説明を受け、工場見学に移った。

現在、従業員 2100 人で 66 000 t/月の鋼を生産しており、その内訳は自動車向けの熱間鍛造用鋼、ばね鋼、工具鋼が 60～70%，機械構造用鋼が 15～20%，ベアリング鋼が 15% となっている。主要設備は炉床径約 6 m の高炉一基と 120 t 転炉 1 基 (Max. 160 t, 炉体交換方式) と 6 ストランドビレット連铸機 1 基である。当工場の特徴は底吹き転炉をベースにして約 50% のスクラップを使用する KMS 法、全量スクラップで製鋼を行う KS 法を用いて操業を行っている点である。さらに、本方法を発展させ溶融還元を行う KSG 法やガス回収を目的とした KG 法の開発も行っている。

従来行われていた KS 法はスクラップ 80 t とリターン溶銑 80 t から、まず溶銑 160 t を作り、内 80 t をいったん混銑炉に戻し転炉に残った 80 t の溶銑に 40～50 t のスクラップを追加して吹錬を行い 120 t の溶鋼を製造する。また、現在操業中の KMS 法においてはスクラップ 50% と高炉からの溶銑 50% とから鋼を製造しており、スクラップ量を 50% としているのは吹き抜け防止とスクラップからのトランプエレメントの混入を少なくするためである。KS 法は現在では行われておらず、1983～84 年のスクラップが安い時期に行われた。

連铸機は 10 mR の曲型でビレットサイズは 165 mm 角と 200×240 mm である。連铸比率は 15～20% と低い、これは 1987 年 2 月に連铸機を立ちあげたため、近い将来 100% とする予定である。引き抜き速度は 165 mm 角で 1 m/min, 200×240 mm で 0.8 m/min と比較的遅いがこれは矯正点での内部割れ防止のためである。

当工場は 1856 年設立され、1898 年に高炉が完成した歴史の古い工場であるが、100% スクラップの転炉製鋼法、溶融還元法など興味深い技術を開発しており、脈々とした伝統と共に新鮮味を感じさせる工場である。(綾田研三)

Hoesch Stahl AG, Phoenixwerke (Dortmund)

宿泊地である Bochum を 5 月 13 日 (水) 8 時 30 分出発。森林地帯をバスツアーすること約 1 時間、目的地である Dortmund に到着し、Dr. Ernst GÖRL (Director), Dr. Klaus SARDENMANN (Steelmaking Dept. General

Manager), Dr. Ulrich TENHAVEN (Upper Engineer) らの温かい歓迎を受ける。ここ Dortmund は Hoesch Stahl の管理、生産の中核となっており、Phoenix, Westfalenhütte, Union の 3 工場に従業員 13 500 人を擁し、粗鋼 3.7 百万 t/年、売上額 32 億 DM/年の生産を行っている。西独も鉄鋼生産頭打ちの情勢下で、現在の従業員を 1990 年までには 11 000 人まで圧縮したいとのことである。

高炉 (直径 9.5, 9.8 m) 2 基から出る溶銑を 180 t 転炉 2/3 基に供給している。溶銑脱硫には 50% Mg-(CaO-Al₂O₃) 混合物がインジェクションされており特徴的である。スラグ量が少なくなりそのハンドリングが容易であること、粒鉄損失が少ないことを、混合物使用の理由に挙げている。溶銑脱りんについては、製品ニーズがないことおよび転炉でのスクラップ配合率が高いこと (18～20%) を理由に実施されていない。

転炉を出た溶鋼は、Wire feeding stand を経て、3 基のスラブ連铸機に供給されている。SMS 製の No. 3 連铸機は '84 年 3 月に計画され、翌 '85 年 11 月には稼働した。このことは彼らの機動力を誇るものであり、また、これをもつて 100% 連铸化を完了した。最新鋭 No. 3 連铸機の設備諸元を参考までに記すと、能力: 140 千 t/月、モールド: 220 mm 厚 × 1 840 ~ 2 720 mm 幅 (Automatically adjustable mould, 1 ストランド)、マシン半径: 10 750 mm、セミナーでも報告された On-line longitudinal slitting 設備を備えている。

製鋼設備としては上記の他に、DH が 1 基あり、主に低 C 鋼処理に使用されている。RH に比較して特質をたずねたら、DH はそもそも 1967 年 Dortmund の地で開発されたとのことで、誇りともジョークとも取れる発言であつた。



ボードの文章「1945 年 5 月 8 日
1985 年 5 月 8 日
我々社員一同より
ファシズムの犠牲者へ
決して再びファシズムに走りません
決して再び戦争をいたしません」

Hoesch Stahl AG (Dortmund) 事務所前にて。中央 Dr. GÖRL

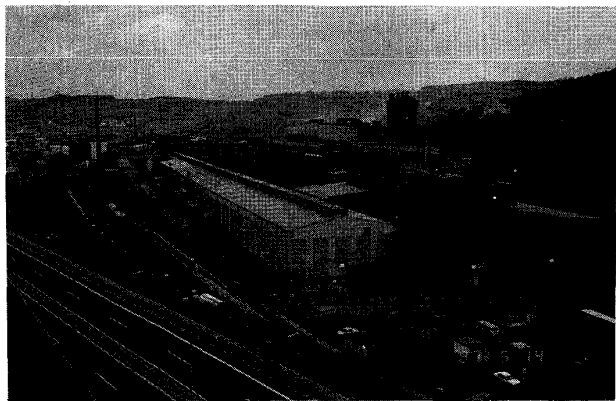
製鋼設備に続いて、日本鋼管の技術指導による最新鋭の連続焼鈍設備（'85年の月稼働）を見学した。50 t コイルを 210 t/h のスピードで処理できると言う。需要低下気味の鉄鋼製品の中で、表面処理鋼板だけは西独全体として増えており、投資の意気込みが感じられる。

工場に直結した研究・品質管理部門には、各種試験機の他に、薄肉缶のミニ製造プラントがあるのには、見学者一同感心した。クレーム対策とさらに薄肉化 (0.1 mm) を研究するために使用しているとのことである。

この季節どこの工場の昼食にも白いアスパラガスが出る。冬を耐え、春を待ちかねた味なのだろう。(杉浦三朗)

Krupp Stahl AG, Geisweid Steel Plant/Krupp Forschung-Institut (Essen)

5月14日午前(9時30分~13時30分)、宿泊地 Bochum よりマイクロバスで1時間余りの Siegen にある Krupp の製鋼工場を Dr. KREMER, Mr. HEINEN および Mr. HENTRICH らの案内で見学した。日本の製鉄所の多くは臨海工業地帯にあるが、ドイツでは、のどかな山間に、突然製鉄所の姿が出現する。ここ Siegen 工場もその典型である。Siegen 製鋼工場には、EF, VOD LF, RH, CC 設備がある。目を引いたのは EF-LF-RH-CC 間の 140 t 取鍋の移動をクレーンを使用せずに、レールカーで行っていることである。本工場の特徴的な設備として、10 t 規模の 3 相 AC プラズマ炉 (20 MVA) が挙げられる。EF, LF に代わる将来技術として開発中のものであり、日独セミナーにて設備概要の発表があつた。将来イタリアの Deltasider in Aosta に、プラズマを用いたタンディッシュ溶鋼加熱装置を設備予定とのこと。我々が見学した時、プラズマトーチの移動デモンストレーションまでしてくれた。プラズマ炉の近くに、水平ビレット連铸機がある。モールド振動タイプで、100~200 mm 角、あるいは 100~200 φmm の丸ビレットを 1200 t/m で铸造している。感心させられたのは、研究開発中のプラズマ炉の溶湯を、この水平連铸機で铸造していることである。午後(14時~16時)は Essen にある Krupp Forschung Institut を Prof. Pötschke の案内で見学した。前



Krupp Stahl AG の製鋼工場全景 (Siegen)

述のプラズマ炉の研究開発は、3 t 規模 (1.5 MVA) の実験炉を用い、当所で行われたとのこと。現在は、形状記憶合金、アモルファス合金、粉末冶金等の開発に取り組んでいる。我々は、粉末冶金製造設備であるガスアトマイズ、EBM を見学した。Ti 合金等の超合金の粉末化、HIP 成形より、歯車、タービンブレード等を製作しており、ドイツ鉄鋼業も日本と同様、新素材産業の育成に力を入れている。(別所永康)

Thyssen Stahl AG Oberhausenwerke (Oberhausen)

5月16日、私達は最後の見学工場である Thyssen の Oberhausenwerke に向かった。この工場は Düsseldorf から北に約 40 km、工業地帯で知られる Oberhausen にある。Dr. HAMMER と Mr. WOLF らの案内で見学に入った。ドイツ鉄鋼業界 No. 1 の生産量を誇る Thyssen の中においては比較的小規模な工場であり、130 t 電気炉 3 基が設置されている。生産能力は月間 60 000 t であり最近の実生産量は 30 000~50 000 t である。この電気炉は国内でも話題になつている炉底出鋼方式を採用している。操作室内で炉底出鋼方式の効果やその他の特徴的な操業方法について聞いた後、出鋼作業を見学させていただいた。従来の方法では出鋼時間は 10 分程度なのに対し、わずか 2 分で完了した。出鋼口のメンテナンスも容易とのことである。その後 CaC_2 インジェクション装置や CaSi ワイヤ・フィーダー装置等の 2 次精錬装置を見てから、铸造工場に向かった。ドイツでは取鍋耐火物としてドロマイトレンガを使用しているところが多い。ここも同様であつた。铸造工場には SMS 社製の 6 スtrand ビレット連铸機が 1 基設置されている。ちょうど 105 f のビレットをオープン铸造中だつた。さらに私達のために 6 スtrand の内 1 スtrand だけタンディッシュ・モールド間のシールカーテンを解除し、注入流を見せてくれた。このサービスには感激した。大半が 105 f で铸造されている。この 105 f の小断面ビレットに対し浸漬ノズルによる铸造技術も開発されている。依然として新技術の開発が盛んである。Klöckner の KS 法や Krupp の 10 t プラズマアーク炉なども私には新鮮な技術であつた。また、どこの技術者も議論好きで、新技術開発に対する熱意が感じられた。最後の昼食会の席上でドイツの鉄鋼会社の売り上げ高に占める鉄部門の割合について話が交わされた。Thyssen における炭素鋼の生産量は横這い状態であるが、他部門の増大により鋼の占める割合は、1970 年の 52% から 1986 年では 27% に低下している。考えさせられる数字である。(森 肇)

5. あとがき

今回の日独セミナーでは、会議そのものが率直で十分な討論が行われたのみでなく、工場見学においても包み隠しのない好意的な見学と卒直な意見交換が行われ、得るところが極めて多かつた。ドイツ鉄鋼技術者の好意と友情に深く感謝するものである。

これらの意見交換を通して考えると、日本における転炉の高溶銑配合率と、徹底した溶銑脱りん処理の問題を除くと、両国の鉄鋼技術は大体同じ考え方で同じ方向を向いていると言える。また各研究所、各工場とも技術開発に極めて意欲的であることも印象的であつた。

嫌な言葉であるが、今は鉄冷えの時代と言われ、先進工業国における鉄鋼業は、程度の差こそあれ、大略同じような経済状況にある。しかし、今年も全世界では7億t以上の鋼が生産され、その生産量は漸増の傾向にある。その意味で工業基礎素材としての鉄鋼の地位は動くものではないが、鉄鋼業が先進工業国型の魅力ある中心産業として繁栄し得るかどうかは、その技術開発に懸つており、これを成し得るものはやはり先進工業国である。その意味でも日独セミナーによる技術交流は極めて意義深

いと言える。今回セミナーはドイツ鉄鋼協会の会長 WUPPERMANN 博士、事務局長 SPRINGORUM 博士、GÖRL 博士を中心とする実行委員会を始めとする多くのドイツ側研究者、技術者の協力により十分な成果を挙げることができた。このことを更に第8回セミナー東京開催へと繋ぎ、両国の技術交流と友好関係をますます発展させることを祈るものである。

終わりに当たり第7回セミナーにおいて終始直接御世話をいただいたドイツ鉄鋼協会秘書 STEFFEN 氏に深く感謝します。

文 献

- 1) 森 一美: 第6回日独セミナー報告, 鉄と鋼, 70 (1984), p. 1775