

特別講演

UDC 669.1.046.(09)

日ソ Symposium 10 年に寄せて*

— 鉄鋼製錬技術の動向 —

的 場 幸 雄**

Some Talks on the Ocasion of the 10th Anniversary of
Japan-USSR Joint Symposium

Yukio MATOBA

1. Acad. SAMARIN を憶う

第 6 回の日ソ Symposium に当つて、ソ連から有力な学者達を東京に迎えて、日本の同学者とともに、それぞれ研究の成果を発表し、かつ相互に討論する事は、鉄鋼製錬に関する科学技術の進歩のために極めて有益であるばかりでなく、日ソ両国間の相互理解を深めるに役立つことと存じます。

それにつけても思い起こすのは、故 Academician A. M. SAMARIN のことであります。

Prof. T. FUWA と私は、1956 年および 62 年の両度、M. I. T. で開催された Prof. J. CHIPMAN を中心とする“Symposium on Physical Chemistry of Steelmaking”に出席して、各国の同学者多数を知り、その中の一人として Acad. SAMARIN に逢いました。

その後、1964 年、当時のソ連鉄鋼相 Mr. Boiko を主班とする Steel Mission が来日したとき、Acad. SAMARIN が副団長として一行の中に居られ、私達は、この時三度逢う機会に恵まれたのであります。その時 Acad. SAMARIN は、ソ連邦国家科学研究活動調整委員会副議長の要職に在つたと記憶しています。

そしてその時、私は彼の希望によつて、Mr. A. G. LAZUTIN との 2 人を、東北大学の金属学関連の教育、研究施設の見学に案内し、数日間行動をともに致しました。

この時、Prof. T. FUWA も加わつて雑談懇談を重ねているうちに、この Symposium の開催についての種子が蒔かれたのであります。私達は、次第に親しさを加えてゆき、それからは私は、Academician SAMARIN と厳しく呼ぶ代りに、日本流に“Samarin-San”と呼ぶこと

と致しました。

その後、Prof. FUWA にその衝に当つていただき、文書による交渉を重ね、若干の曲折を経て、その第 1 回 Symposium を、1967 年 5 月 Moscow で開催することとなつたのでありますが、本年はそれ以来丁度 10 年でもあります。

開催に当つて、ソ連では、「全ソ科学 Academie 所属の Scientific Council Physical Chemistry Foundation of Metallurgical Processes」を窓口とされましたので、日本としてもそれまでは Prof. FUWA と私とが Private に話を進めてきましたが、「日本鉄鋼協会 (ISIJ)」に窓口となつていただくこととし、Senior Director Mr. S. TABATA をお願いしてそのご快諾を得ました。又 Symposium の運営、提出論文などにつきましては、東京大学の Prof. Y. MATSUSHITA、京都大学の Prof. T. MORI にご協力をお願いし、また国内鉄鋼数社のご賛助をいただきました。そして今日では、日本鉄鋼協会の定例行事として予算化され、日本側として恒久的継続の体勢が確立されております。この機会に、協力、賛助をいただいた方々、諸機関に厚くお礼を申し上げます。

このようにして、この Symposium は始められたのでありますが、回を追うていよいよ盛んなものとなり、両国間に定着しましたことは、毎回参加の方々の科学に対する熱意と、国際協調精神に負うものであり、また、Samarin-San の後を嗣いで、ソ連側を代表されている Acad. N. V. AGEEV の力に依るものと、最初の企画に加つたものの一人として感謝に堪えません。

それにつけても、あのなつかしい Samarin-San の顔を、この 10 年の記念の日に見出すことができないことは寂しいことであります。

* 昭和52年5月18日日ソ製鋼物理化学合同シンポジウムにおける特別講演

** 東北大学名誉教授 新日本製鉄(株)顧問

この Symposium は, Samarín-San の力がなくては, 生まれなかつたであります。

Acad. A. M. SAMARIN は, 1902 年の生まれで, その 10 代の若い時に革命に遭い, 彼自身の語るところによると当時金属工であつたそうで, その中から身を起こして, 科学者の道をひたすらに歩み, ソ連の鉄鋼製錬学界の第一人者としてソ連科学アカデミーの会員に列し, 日本鉄鋼協会もまた名誉会員の称号を贈りました。

1969 年, 第 2 回目日ソ Symposium に際しては団長として来日せられました, その翌年惜しくも逝去されてしまいました。

その毅然たる中にも Humore を堪えた素朴な風貌には人を惹つけるものがあり, また, 1968 年, ソ連の金属学者の先達 TSCHERNOFF を記念して, 国際的な Conference を主催されるなど, 情誼に篤い人でありました。

我々は襟を正して, この Symposium に対する故人の大なる貢献に敬意を表したいと思ひます。

2. 製鋼法別粗鋼生産 Share の変遷

日ソ Symposium が始められてから 10 年, 1960 年代の後半から 70 年代の前半にかけては, まことに事多き年代であつた。

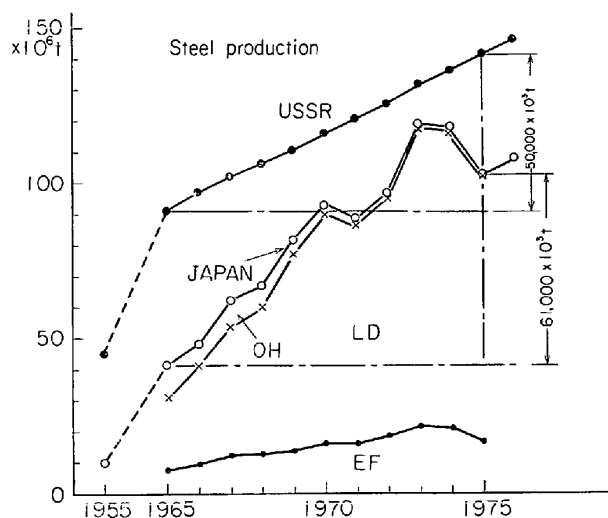


Fig. 1. Japanese crude steel productions by processes.

天然資源には限りがあるという Rome-Club の指摘, 産業活動に基づく自然環境損傷の顕在化に対する一般社会の反応, あるいはまた西側諸国を脅びやかしたいいわゆる “Oil Shock” に象徴される Energie 問題, 等々人間の社会は, 大きな曲り角にあることを思わせる。

製鉄業も素よりその圏外に在るものではないが, その中で日本の粗鋼生産量を製鋼法別に示すと, Fig. 1 のごとくである。なお, 参考のためにソ連の粗鋼生産量をも示してある。

日本の粗鋼生産の製鋼法別 Share は, かつて最大の Share を占めていた平炉鋼が, 1963 年ごろ LD 鋼と略, 同じ生産量となり, 以後急速にその Share を低めて今日では 1% 程度となつてしまつた事が注目される。

1952 年頃, Austria で始められた純酸素上吹き塩基性転炉法 (LD 又は BOF) はその高生産性のゆえに急速に普及したのである。

今, 1975 年の粗鋼年産 2000 万 t 以上の主要製鉄国における, 製鋼法別 Share を表示すると Table 1 のごとくである。

ソ連の場合 LD 比率は, 他の国々に比べて著しく低い, 粗鋼生産が多いので, LD による生産量は 34794×10^3 t で, 日本の 84429×10^3 t, USA の 65138×10^3 t に次ぐものである。

又, 各国について, LD の Share が OH Share よりも大きくなつた年代を示すと, Table 2 のごとくである。

今, 1850 年から今日までの, 世界の製鋼法の盛衰の趨勢を概念的に図示すると Fig. 2 のごとくである。

1856 年, Bessemer 法発明以前は, 18 世紀以来の Crucible 法 (B. Huntsman : 1740) Puddling 法 (H.

Table 2

Country	AD
Japan	1964
W. Germany	1968 (1970)*
France	1969 (1972)*
USA	1970
Italy	1970
UK	1972

* LD > (OH + Thomas) となつた年

Table 1

Country	Production	OH	LD	EF	Others
USSR	141325×10^3 t	64.7%	24.6%	9.9%	0.8% (Bessemer)
USA	105818 //	19.0	61.6	19.4	—
Japan	102313 //	1.1	82.5	16.4	—
W. Germ.	40415 //	16.7	69.3	12.6	1.4 (Thomas)
China	28000 //	(Unknown)			
Italy	21836 //	11.2	45.8	43.0	—
France	21530 //	7.1	63.4	17.2	15.2 (Thomas)
UK	20196 //	22.0	40.3	27.6	0.1 (Bessemer)

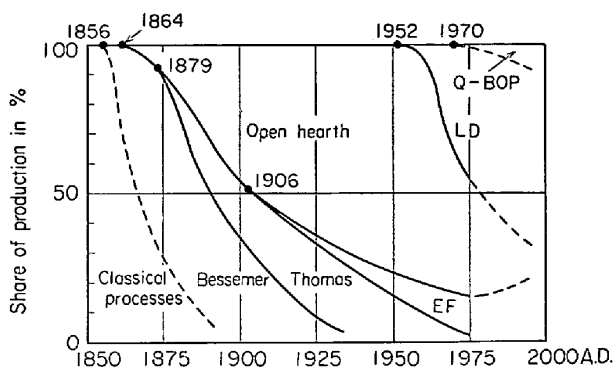


Fig. 2. Production share of steel by processes. (Schematic)

Cort : 1784) などの古典的な方法の時代で、全生産量は僅少で、生産 Share はもちろん判らない。

しかし、Bessemer 法は急速に生産 Share を拡大したものと推定される。

平炉法 (OH) は、Bessemer 法発明後間もなく、W. SIEMENS (Ore Process), P. MARTIN (Scrap Process) 等により開発されたが、Bessemer 法には、Thomas に依る塩基性法の開発があり、いわゆる空気底吹き転炉法 (Bessemer and Thomas) は、19 世紀中は生産 Share の首位を保持した。

けれども、原料選択範囲がより広い OH は、次第に生産の Share を拵げて、世界の粗鋼生産 Share としては、1905~1910 ごろに、OH の Share が首位を占めるようになった。ただし西欧州の独仏国境付近では、高燐銑の産出があり、これらの国々では Thomas 法の Share はその後も保持されていた。

その後 OH の Share は益々大となり 80% にも及んだが、近年 LD の Share の方が多くなりつつある事は既に述べたとおりである。

Bessemer 法は、その発明以後約 50 年で、生産 Share の首位を OH に譲り、OH はその後約 60 年で LD に代わった。

技術にもまた寿命がある。LD もまた何時かは、他のよりよい方法に替わられるであろう。

何事も将来を予測することは容易ではない。製鉄技術は、科学や工学の多くの分野の総合に依って形成されている。関連する分野の新しい開発は、多かれ少なかれ製鉄の技術の上に影響を及ぼしてくる。最も近い例は、大量の純酸素を利用することができるようになって始めて LD が行われるようになったことである。

しかし、鉄鋼製錬の基本となる化学反応は変わらないであろうから、かつて電子工学において起こったような、真空管から Transistor へのごとき、突然変異的な変化は、まず起こらないであろう。

製鋼技術の発達の見ると、Crucible 法の一つの変型として、酸化剤の酸化鉄の代わりに空気を使用

することによつて Bessemer 法が生まれ、Puddling 法の温度を高める考案がなされて OH に発展し、純酸素を多量に使用しうるようになって Bessemer 法は LD に脱皮したものと考えることができる。

いずれの場合も、在来法を突きつめ、諸分野の進歩を織り込んで、次の段階へ進んだものと見なされよう。

これらのうち、溶銑に空気を吹き込んだ Bessemer の果敢な実験や、Thomas の塩基性法の開発のごときは、突然変異的な様相もあり、鉄鋼製錬技術史上特筆せらるべきで、今日の技術の中になお生き続けている。

このような技術史的な背景を念頭に置き、他方、近代の Energie 事情や、一般的な技術動向、社会的事情を勘案すれば、今後の粗鋼生産 Share は、Fig. 2 右端の点線のごとき推移をもつて 21 世紀に向うものではないかと思われる。

LD は更に Share を拡大するであろうが、最近現われてきた Q-BOP は、現在のところその価値評価は必ずしも未だ決定的ではないが、LD の Share を一部替わり持つ可能性はある。

電気製鋼法 (EF) は、今世紀の始めころ開発されたが、他の製鋼法では困難な強還元性作業をなしうる点で、特に特殊鋼の製造に大きな Share を持っている。近年その大型化と UHP の採用などによりその生産性を高め、普通鋼の分野にも Share を拡め、一方直接還元鉄製造法 (DR) が広まりつつある情勢などを考慮するとき、EF の Share は今後増加するものと推測される。

結局、主要な Share を占める製鋼法としては LD (Q-BOP を含めて)、EF が挙げられ、日本は既にその状態である。

連続製鋼法は、反応進行の上での合理性は理解できるが、LD の Alternative な方法となるにはなお年月を要するであろう。

造塊・分塊 2 工程に代る連続製造法はますます広く採用され、1975 年日本では生産粗鋼の 30% 以上に適用されていて主要製鉄国としては、最高の比率である。

また、出鋼後の溶鋼の真空処理などは、材質向上に有効で、その適用は今後も増加するものと期待され、その他高級鋼に対する ESR、電子 Beam あるいは Plasma Arc の利用などは有効で、科学諸分野の進歩とともに、新しい方法の出現が期待される。

3. 日本の高炉の 10 年間

LD の生産 Share が大きい限り、その原料たる溶銑供給源としての高炉 (BF) の役割は大きい。

製鋼法においては、過去 1 世紀あまりの間に幾度か最大 Share を持つ方法が交替したが、鉄鉱石の処理法としては、過去数世紀にわたつて BF が圧倒的な Share を保持している。もちろんその間には多くの技術的進歩が遂げられてきた。日本の BF について、日ソ Sym-

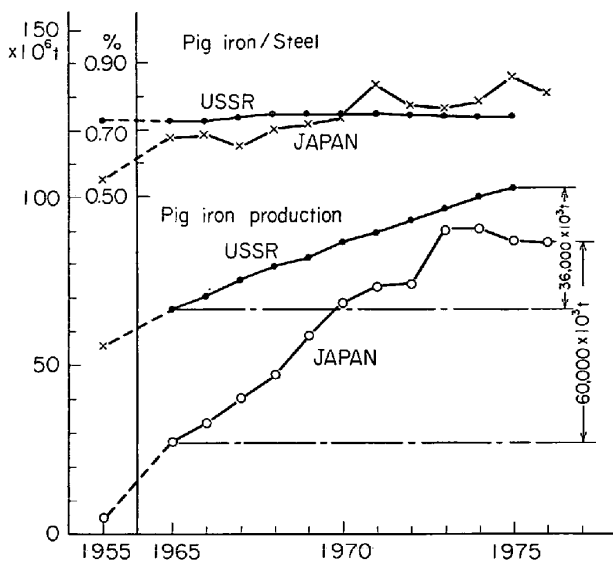


Fig. 3. Pig iron production.

Table 3

	1965/ 1967	1975
最大級高炉の内容積 (m ³)	Ca. 2 000	4 930*
生産性 (t/d·m ³)	1.5~1.6	2.0
燃料比 (Coke+Oil : kg/t)	530~550	500
コークス比 (kg/t)	490~500	430
装入鉄石中：焼結鉄+ペレット (%)	50~60	80
鉄滓比 (kg/t)	290~320	300

* 1976 年炉床径約 15m, 内容積 >5000m³ BF 2 基が操業を開始した。

posium が始められたところと今日とを比較してみよう。

Fig. 3 に、1965 年~1976 年の日本とソ連の鉄生産と、鉄鋼比を示した。

目につく事は、粗鋼の場合も同じであつたが、ソ連の生産は年次とともに、ほとんど直線的に増加しているのに対し、日本の場合は全体としては増加しているが、年次に依る変動が大きいことである。計画経済と自由経済との態勢の相違に基づくものであろう。

鉄鋼比も、ソ連はほぼ 0.74 に多年にわたつて一定しているのに対して、日本の場合次第に大となりほぼ 0.8 に達しているのは LD Share の増大に対応するもので、LD の装入の溶鉄比 80% 位であることを考えれば、今後は鉄鋼比ほぼ 0.8 が維持されるであろう。

Table 3 に、1965~1967 年ころと 1975 年ころの日本の高炉関連の 2, 3 の標準的な数値を対照した。

このように、概して諸数値が向上した理由としては、次の諸項が挙げられる。

- 炉型が巨大化したこと
- 自溶性焼結鉄の使用が増加したこと
- 炉頂圧力を高めたこと
- 炉体冷却法の改善

重油吹込量の増加

- 送風温度を高めたことや酸素富化をしたこと
- 装入物炉内分布をより適正としたこと
- 操業諸元の計算機制御の強化
- などの総合的効果によるものであろう。

ちなみに、炉体冷却法の改善や、炉頂圧利用の発電などは、ソ連技術に負うところ大である。

次に注目すべきことは、近年新日鉄 (NSC) や日本鋼管 (NKK) などにおいて、高炉の“生体解剖”ともいふべき調査が行なわれたことである

それは、BF の改修または廃棄に際して、操業状態のまま送風を止めて、炉内内容物をできるだけ急速に冷却して、計画的、組織的に解体して、炉内壁や炉内容物の諸相を、炉内位置とともに、綿密に調査したものである。その結果は既に内外の学界にも公表せられている。内容積 1000m³ 以上の BF についてのこの種の調査は、世界においてもまれで、従来部分的に“Sonde”を挿入して、温度、圧力などを測り、ガス、固体の試料を採取して、炉内状況を推測していたのに加えて、今回の調査の結果を照合することにより、作業中の炉内の状況は、かなり正確に把握されたこととなる。これらの結果は、今後の炉の設計、構築や操業の上の好指針となるばかりでなく、炉内反応の、特に動的研究に得がたい資料を与えるであろう。

その他、東京大学では、多年にわたつて実験用小型 BF を、毎年定期的に、その都度検討項目を選定して、研究操業を実施し、既に膨大な資料が集積されていることも貴重である。

4. 直接還元製鉄法 (DR) の抬頭

BF 用 Cokes の製造には低硫黄の強粘性石炭を必要とすることは、半世紀前も今も変わりはない。強粘性石炭は一般炭に比べて賦存量が少ないばかりでなく、その産地は世界でも限られている。

そこで、強粘性石炭の使用割合を低めて BF 用 Cokes を造る方法や、さらに進んで一般炭のみで造る方法が、各所で研究されていて、ある程度の成果が得られているが、いまだ十分ではない。

一方、BF によらない鉄鉱石の製錬法が諸方面で早くから研究されてきたがその中で、海綿鉄 (Sponge Iron) の製造法が、近年急速に注目を惹いてきた。HyL, Midrex, Fior, SL/RM など数多くの方法が提案され、後続の EF との連繋による DR→EF Route が形成され、“Mini-Mill”として、粗鋼年産 50 万 t 以下程度の製鋼所が、いくつか操業を始めている。

この方法は、還元剤としてあるものは改質天然ガス、あるものは一般 Cokes などを用い、強粘性石炭を必要とせず、製品 t 当り固定費が、BF に比べて一般に低いのが特徴となつている。

BF→LD Route と DR→EF Route との経済的比較は必ずしも容易ではなく、これについての諸家の試算もあるが、単に消費エネルギーの多寡ばかりでなく、地域的環境、目標用途、経済事情等々、関連する因子は多いので、Case by Case で判断するほかはなく、当分は、規模的な「棲み分け」により、共存するであろう。

その生産は BF→LD Route が大であるが、その裏面に Scale Merrit の追求があるので、小規模生産においては、DR→EF Route が有利と考えられる。そしてその有利となりうる限界の生産量は次第に増大するであろう。

将来の予想は、その時点ごとに修正さるべきであろうが、BF も LD も現在既に完成に近い技術であるに対して、EF はともかくとして、DR はなお未完成であると言えよう。原子力技術が発達して、大量の還元性高熱ガスが得られるようになった時、DR の有利さは増すであろう。日本の原子力製鉄法研究は、その方向を目指している。

さらにまた、核融合炉が開発されて、大量の水素ガスを利用しうる時点では、かつて大量の酸素ガスの利用が

可能となつてたちまち LD が OH の Share を圧迫したごとく、DR が BF に替る時期がくるかも知れない。

さりながら世界全体としては、BF→LD Route の優位は、ここ当分は維持されるであろう。

5. おわりに

日ソ Symposium は過去 10 年間、6 回にわたつて、それぞれに時宜に適した重要な問題を捉えて、研究を発表し、討論を重ねて相互に啓発されるところが多かつた。

鉄鋼製錬の技術は、単に能率良き生産のみでは許されない時代となつた。省 Energie の問題、資源の全活用問題、環境保全の問題、等々考慮すべき問題は極めて多くまた多様である。

その中における鉄鋼製錬における、基礎研究の重要性はますます大きい。我々は、既存の技術現象の解明ばかりでなく、一般科学-技術の進歩を背景に、未踏の分野の開拓を進めるべきであろう。

日ソ Symposium が、次の 10 年間に一層の貢献をすることを期待する。