

展 望

UDC 666.1(.001.1)

1980 年代の製鉄・製鋼技術*

古茂田敬一**・江見 俊彦***・篠崎 義信**

Ironmaking- and Steelmaking-Technology in 1980s

Keiichi KOMODA, Toshihiko EMI, and Yoshinobu SHINOZAKI

1. 緒 言

1980 年代に我国の鉄鋼業が遭遇するであろう多種多様な課題を想定し、製鉄製鋼技術にどのような変化が起こるかを正確に予見することは困難である。しかし、課題としては次のようなものが挙げられる。

(1) 輸入原料、燃料価格の高騰に対処するコスト削減

(2) 需給の不均衡：1980 年代においても現有供給能力は需要を上回るであろう。

(3) 世界一厳しい環境規制；例えば NO_x の環境基準は 0.04~0.06 ppm。

(4) 製品に対する相反する要求；一方では価格の著しい上昇を招かずに行われる絶えざる品質の改善、他方では品質を維持して続けられる価格の切下げ

ただし、これらはすでに 1970 年代において我々を悩ませたが、幸いにも何とか切り抜けることのできた課題でもある。このような経験から、日本の鉄鋼業はきたる 10 年間にこれらの課題を解決する自信を持っているといえよう。

さらに、きたる 10 年間には、既存のコークス炉、高炉、転炉、の一貫設備を廃却してまで全く新しいプロセスに移行することもなさそうである。むしろ、既存のプロセスの組み合わせの中で、それぞれの技術の進歩あるいは円熟化がもたらされることになるだろう。

2. 製鉄分野における変化

2.1 高炉製鉄法

製鉄プロセスの 1980 年代における動向を探る前に、過去 20 年間の技術の流れを回顧、要約すると、1960 年代は高生産性指向の時代、1970 年代はコークス比低減指向の時代であつた。この間に、我国の鉄鋼生産能力は、

設備の大型化と高生産性操業技術の確立により、年間 130 百万 t に達し、すでに 1980 年代の溶鉄需要を充足し得る規模になつている。また、安価な重油を長期間にわたり安定して用いたため、高価なコークスの消費量が節減でき、Fig. 1 に示すように年間コークス比 382kg/t の高炉も出現した。以上の背景から 1980 年代の高炉製鉄法の進歩を検討すると次のようである。

第一にエネルギーについては、1973 年の石油危機に続いて 1979 年に行われた相次ぐ原油の値上げにより、高炉への重油吹込みの魅力は失われるに至つた。エネルギーの価格と供給量の推移は予測が難しく、エネルギー多消費型の鉄鋼業の 1980 年代の戦略は、多面的なエネルギーの充当を第一に据えることになるだろう。製鉄分野では、微粉炭吹込みをも含めた石炭系、および石油系エネルギーの両方を、臨機応変に使いこなせる幅広い技術が発展すると考えられる。また、高炉に投入されるエネルギー原単位の高減、すなわち高炉ガス利用率の向上と熱損失の低下も従来以上に推進されるのは当然であろう。

第二に操業技術については、1970 年代に実施された多数の高炉解体調査から得られた知見¹⁾と、各種センサーによる炉内状況の迅速把握²⁾を活用して、装入物分布制御によるガス分布制御技術の向上が続けられよう。これについては、すでにムーヴァブルアーマー、ベルレスシュートなどを利有して著しい進歩があつたが、その一例を Fig. 2 に示す。

高炉操業技術が進むと、炉内熱レベルをきめ細かく管理でき、溶鉄中の Si の濃度、 $[\text{Si}]$ 、のばらつき、 σ_{Si} を減少させ得るので、 $[\text{Si}]$ の平均値を低下させることが可能となる。我国の全高炉について平均した $[\text{Si}]$ は現在約 0.5% で、過去 10 年間に約 0.2% 低下しており、特定の 高炉では Fig. 1 のように 0.3% 以下を達

* 昭和 55 年 2 月 6 日受付 (Received Feb. 6, 1980) (依頼展望)

本論文は 1979 年 9 月 11~13 日英国金属学会主催アムステルダムで開かれた国際会議 "The Steel Industry in the 1980s", Session B: Technology for the 1980s で発表された K. SANBONGI and K. KOMODA; "Changes in Iron- and Steelmaking Technology" の一部を含んでいる。

** 川崎製鉄(株)東京本社 (Kawasaki Steel Corp.)

*** 川崎製鉄(株)技術研究所 理博 (Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

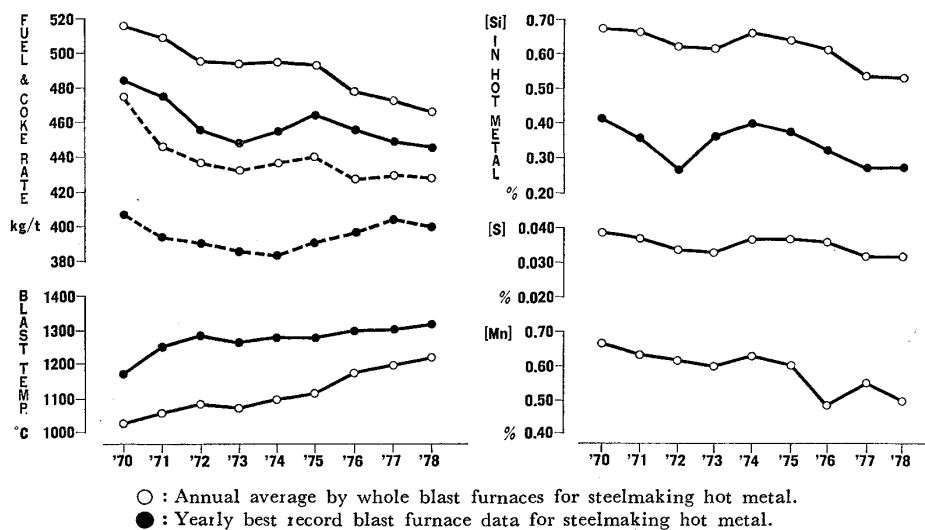


Fig. 1. Trends of the blast furnace operation results in Japan.

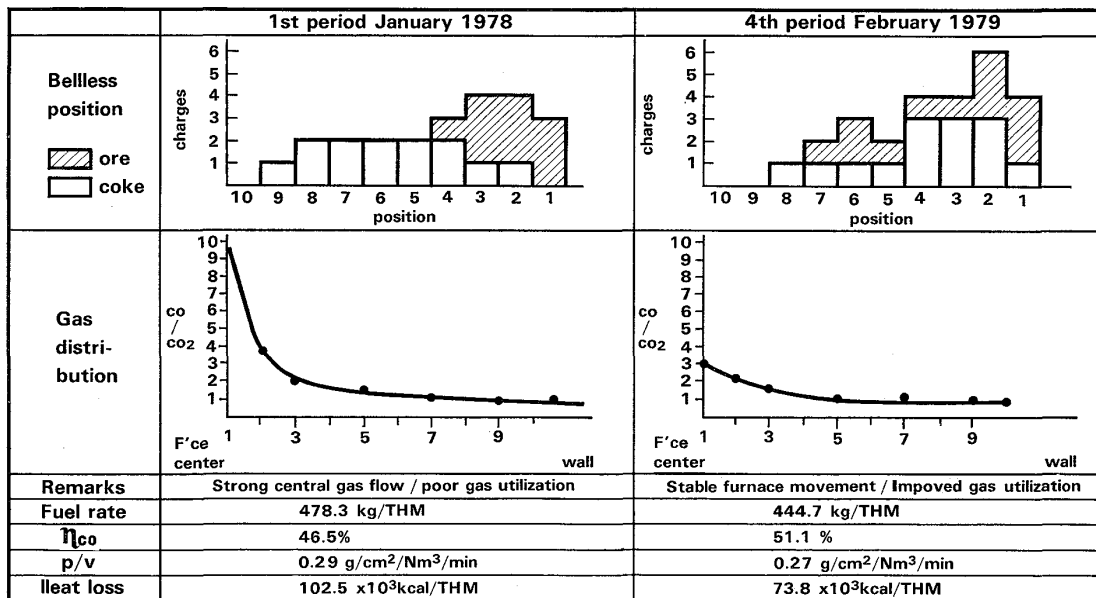


Fig. 2. Bellless chute positioning related to the degree of gas utilization.

成している例もある。

最優秀高炉の σ_{Si} は現在 0.07~0.08% であるが⁹⁾, 1980 年代には 0.05% 以下が達成される期待もある。この結果, [Si] の平均値は 0.2% 程度まで低下させ得ると考えられる。[Si] の低下は, 高炉における消費熱量の減少によるコストの削減にとどまらず, 後述する高溶銑配合製鋼プロセスにおいても, 酸素・スラグ・耐火物などの原単位低下と歩留りの向上によるコストの削減を意味するものである。

同様に, [C] を適正值に下げること, 高炉下部における酸化鉄の直接還元を制御することにより可能となるであろう。

第三に, 製銑コストに影響の大きい高炉寿命がある。高生産性指向時には, 若干改修費がかさんでも出銑能力

の増大を優先させる必要もあつたが, 低成長が予見される 1980 年代には, コストを重視し, コスト低減の一環として, 高炉の長寿命化が強力に推進されよう。

現在, 高炉の改修費は内容積 1 m³ 当たり 2 百~3 百万円であるが, 通算出銑量は Fig. 3 に示すように 1 m³ 当たり 1 炉代で 2 000~6 000 t の範囲で異なっており, 炉寿命によつて設備償却コストが大きく左右されていることがわかる。

従来, 高炉寿命は, ①炉頂装入装置, すなわちベル・炉口金物など, の摩耗, ②炉冷却装置の破損劣化にともなう鉄皮の損傷, ③炉底煉瓦の侵蝕損傷, などによつて律せられていたが, ①については耐摩耗対策, 迅速取替構造などのくふう, ②については原料装入物分布制御による炉体保護操業の普及, シャフト下部煉瓦材質の改

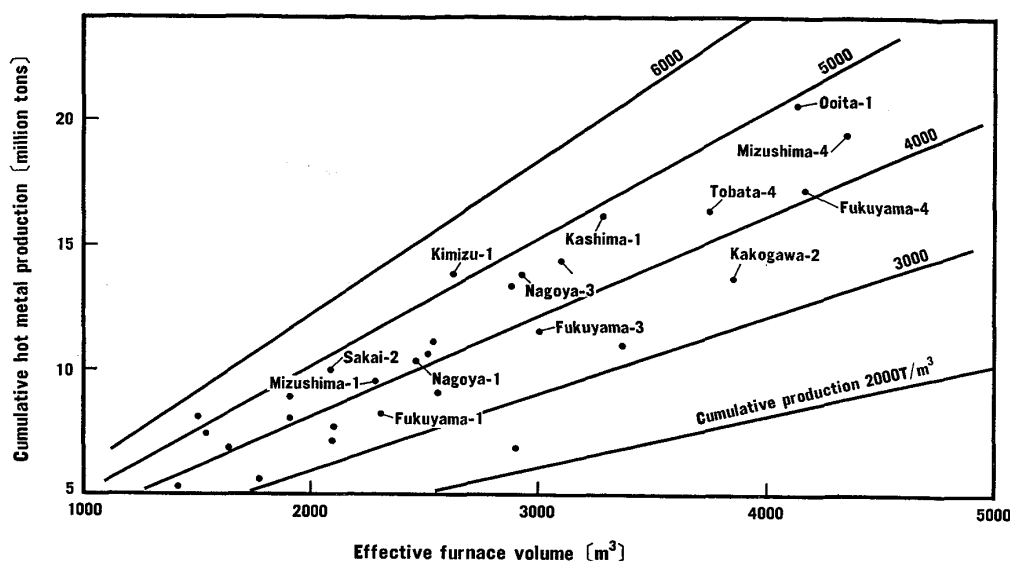


Fig. 3. Cumulative hot metal production of the blast furnaces during their campaign periods.

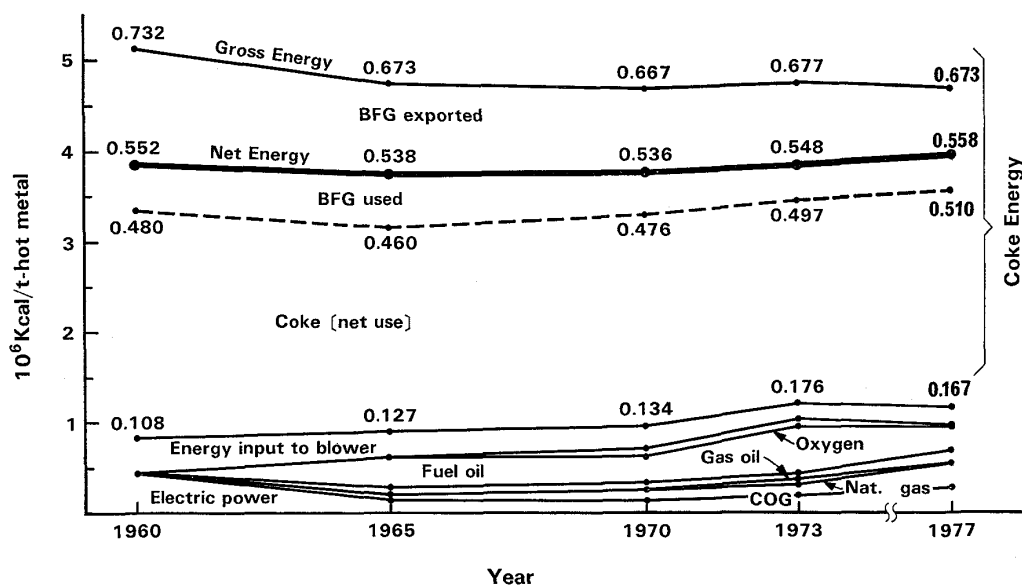


Fig. 4. Energy consumption in ironmaking branch.

善, および冷却装置の材質・構造の改善, によりほぼ解決のめどがついた。残された課題は③であり, 未解決な点もあるが対策は鋭意進められており⁴⁾, 1980 年代中には長寿命を可能ならしめる炉底構造のあり方が明らかになるであろう。これが解決すれば, 炉一代 8000 t/m³ の出鉄も可能となり, 中間小修理, 炉底煉瓦再使用を含めて高炉の稼動期間を自由に調節できるようになる。この結果, 設備償却コストはさらに低減されるであろう。

2.2 エネルギーおよび環境問題

我国鉄鋼業の消費エネルギーは, 1978 年の一次エネルギー使用率で見て石炭系に 80%, 自家発電を除く購入電力に 15% を依存し, 石油系はわずか 5% にすぎない⁵⁾。

近年の製鉄部門の所要エネルギーの内訳を別途 Fig. 4

に石炭換算値で示した。同図のように, 鉄鉄 t 当たり総所要エネルギーは, 近年のコークス比の低下にもかかわらずさして減少せず, むしろ停滞している。今後 10 年間も, 重油吹込みの低減にともなうコークス比の上昇もあつて, 総所要エネルギーは著しく低減するとは考えられず, 総コストを最小にするよう, 主として石炭系の, より安価な代替燃料の利用に努力が傾けられよう。

このような背景に加えて, 製鉄所全体としても石油系燃料と電力の購入量を低減する必要に迫られ, コークス炉ガス, 高炉ガスの相対的価値が高まってくると考えられるので, 原料炭および一般炭の利用には, 価格的にも技術的にも従来以上に多面的な戦略で対応する必要を強いられると思われる。

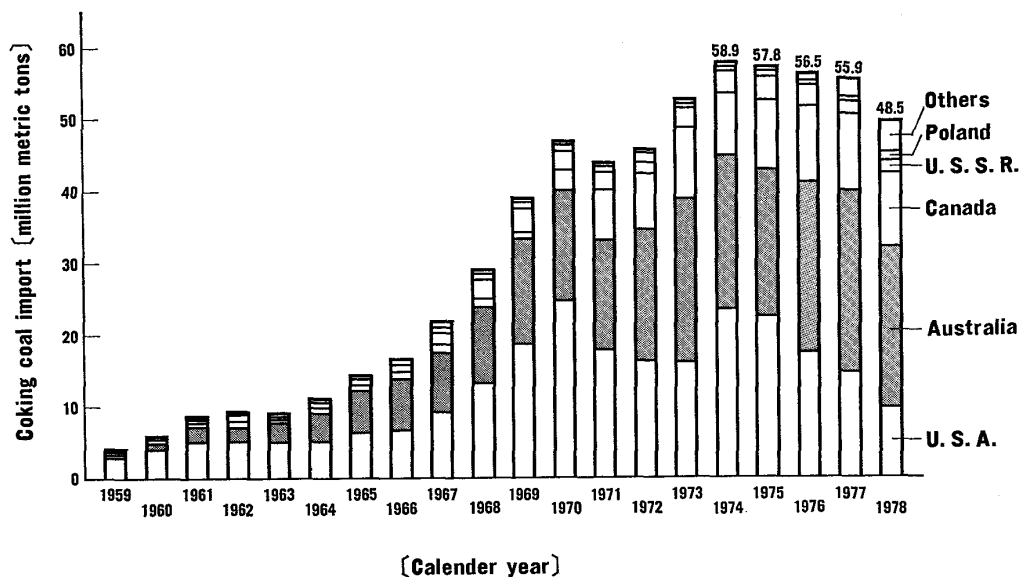


Fig. 5. Coking coal import of Japanese steel industry.

原料炭の輸入源の分散と品質の多様化については、Fig. 5 に示すように 1960 年代から豪州炭が徐々に、また 1970 年代からカナダ炭が急激に増加し、米炭に置き換わっている。今後も中国、ソ連の原料炭を含めて価格、品質の最適化を目指して分散は進むであろうが、品質的には良質粘結炭の不足、特に流動性の低下が予測されており、対策として適当な粘結剤の添加、微弱粘結炭の改質を含む原料炭の事前処理も必要となろう。

石油価格の高騰は世界的な経済停滞を誘起する大きな要因なので、これが必ずしも原料炭価格の高騰を意味しないと思われる。しかし、一般炭が価格的に優位にある時は、これを生かす利用法を今後も開発すべきである。

それでは製鉄部門のエネルギー対策の技術的展望はどうであろうか？

まず 1970 年初期までの低廉な石油価格に依存した高炉(特に大型の)への重油吹込みは、きたる 10 年間には主役の座を微粉炭などの石炭系燃料の吹込みに譲るであろう。高炉炉頂圧発電、熱風炉排ガス利用燃焼用空気予熱などはすでに完成した技術として今後も広く利用されよう。

問題は、中低温の排熱利用技術分野に属する焼結工場の排熱、および高炉スラグの顕熱回収である⁶⁾。これらの技術は、製鉄所全体の熱収支に密接な関係があり、1980 年代に完成させるべき主題の一つと考えられる。現在すでに開発の萌芽が見られることは心強い。

CDQ は粉塵防止と熱回収に優れたプロセスであるが、高炉の燃料比、操業に決定的に優位性を示すには至っていない。コークス品位には若干向上が認められるが、設備費が高額なので、その採否は公害規制の厳しさとかエネルギー収支の事情によつて決められることになろう。

次に一般炭の利用技術について概括してみよう。

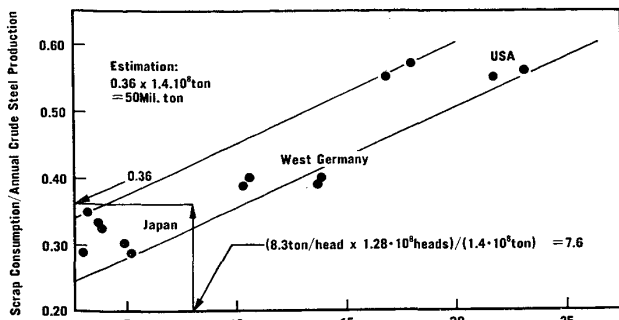
成型炭一部装入法は、1978 年度の例では本邦のコークス炉装入炭量の約 16% の設備能力に達し、原料炭が一般炭より高くなる程、代替プロセスとして有利になろう。

また、成型コークスの製造研究が日本鉄鋼連盟の支持を得て、主力鉄鋼会社の共同作業で進められている。その製造方式は Fig. 6 に示すように、冷間成型・連続式シャフト炉型であり、従来のコークス炉を利用しないものである。これとは別に、例えば川崎製鉄では、石炭液化技術を利用して一般炭から再生炭 (Reconstituted Coal) を作る開発を行い、実炉で乾溜試験を実施した。現在水島製鉄所で、公称 8 t/日(原炭ベース)のパイロットプラントを建設中である。通常コークスと比較して、15% の米中揮発分強粘結炭を再生炭 5% 外枠添加で一般炭に振替えた場合も、一般炭や無煙炭と組み合わせて原料炭を全量置換した場合も、ほぼ同等の圧潰強度が得られた。もつとも、高炉に使用時のコークス性状の確認は今後の仕事として残されている。

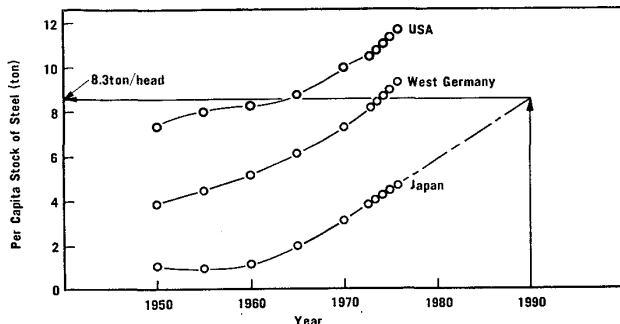
最後に環境問題について触れておこう。

製鉄部門における二大排出物は SO_x と NO_x であるが、 SO_x 排出にともなう環境問題は 1970 年代にほぼ解消したと考えられる。 NO_x については除去コストの低減、具体的には低温触媒などの開発、が 1980 年代の最大の問題であろう。

高炉、転炉の集塵ダストについては、団鉱・還元ペレタイジング・脱亜鉛、の工程から成る還元ペレット法が成功し、高炉に還元できたのは 1970 年代の成果といえよう。しかし、還元プロセスでペレットから除かれた亜鉛を経済的に回収するには至らず、解決は 1980 年代に持ち越されている。



(a) (Cumulative stock of steel/annual crude steel production)



(b) Increase in per capita stock of steel.

Fig. 7. Estimation of scrap evolution in 1990.

成可能な目標である。

[P]は鉄鉱石中の濃度が現状より若干低下するにもかかわらず、転炉スラグを焼結工程經由高炉へリサイクルする比率が上昇するにつれ、0.16% 前後に増加する可能性が高い。[S]は現在とあまり変わらない。これはコークスからの若干の濃化が、MgO 富化(～10%) 塩基性(C/S～1.25) 操業により打消されるためである。

スクラップ成分としては、耐候性・耐蝕性鋼から入るCu が、100% スクラップによる操業の電弧炉では問題になりかねない¹¹⁾。Cr もその一例である。このように循環する有害成分を稀釈するため、還元鉄が輸入・使用されるであろうが、その量は鉄鉄やスクラップとの価格競争によつてあまり多くはならないであろう。

3.2 設備と生産

転炉と電弧炉の設備能力は Table 1 のように 1977 年ですでにそれぞれ 141 百万 t (85%) と 25 百万 t (15%) である。両者の和はすでに 1990 年の粗鋼推定年産量を越えているので、設備新設が直ちに活発に進むとは思えない。高炉・転炉の設備費が電弧炉のそれより著しく大きく、かつ粗鋼 t 当たりのエネルギー消費も大きい点から考えて、転炉よりむしろ電弧炉の新設が多いであろう。

乱暴に見積もれば、1990 年の粗鋼年産比率として転炉 75%、電弧炉 25% と考えられる。転炉、電弧炉とも旧式・小型なものは大型高能率炉に置換・集約され、平均容量は相当大きくなるであろう。

粗鋼年産の 75% を占める転炉の内訳は LD 65%、Q-BOP 10% と推定される。Q-BOP を 10% とする根

Table 2. Cost for blowing low carbon rimming steels by Q-BOP as compared with that by BOP

Item	(Q-BOP)-(BOP)	
	Consumption	Gain in yen
(1) Materials cost		
Iron yield (ore & mill scale excluded)	+ 0.72%	214
Ore & mill scale	- 17.3 kg/t	318
High carbon ferro-manganese	- 1.6 kg/t	
Calcium carbide	- 0.48 kg/t	
Gas recovery	+ 72.6 · 10 ³ kcal/t	196
Steam	- 4.9	△5
Scrap & dust loss	- 13.3 kg/t	△24
Subtotal		699
(2) Variable cost		
Utilities		27
Oxygen gas	= 0.98 Nm ³ /t	14
Process gases		△197
Propane	+ 1.4 //	
Nitrogen	+ 18.6 //	
Refractory & repair		74
Subtotal		△82
Grand total		617

Hot metal Si 0.45%, S 0.040%, T 1365°C, Hot ratio 89.3%, Steel S 0.016%, 230 t/heat

Table 3. Capital investment required for converting a 270 t BOP into a Q-BOP

Equipment	Investment (mil. yen)
Vessel	855
Furnace bottom exchanger	109
Process gas facility	196
Powder injection of facility	1 148
Instrumentation	245
Dog house	108
Others	328
Subtotal	2 989
Lime pulverizer	900
Argon generator	584
Grand total	4 473

拠の一つは、量産鋼種である熱延、冷延鋼帯用低炭素鋼の吹錬には、Table 2 に示すように Q-BOP の方がダイレクトコストが安く、また LD を Q-BOP に改造するために要する Table 3 の費用は容易に回収でき、投資効率が良いためである。ただし上記分類の LD には炉底から少量の攪拌用ガスを導入するもの、Q-BOP には上吹ランスから何割かの O₂ を導入するもの、を含めておく。一方、粗鋼の 80% 以上は Fig. 8 から容易に予測で

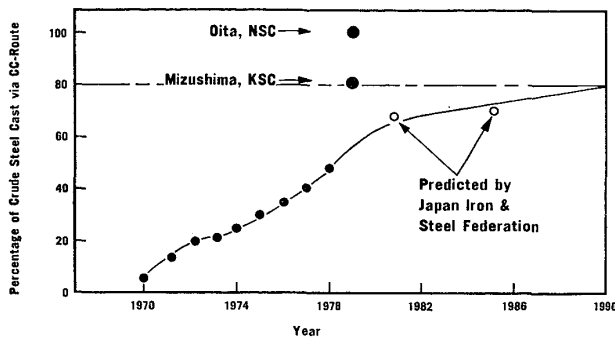


Fig. 8. Increase in the amount of steel cast via continuous casting route.

きるように連続铸造により処理され、通常造塊によるのは極厚鋼板、大型鍛造品主体に限定されよう。粗鋼量に占める特殊鋼生産比率も約 18% には達するであろう。

3.3 製鋼技術

省エネルギーに関しては転炉排ガス回収率向上、連铸鋳片の顕熱回収、さらには熱片無手入れ直送加熱（直送圧延）で代表されるような途中工程の省略を図る開発が進みつつあり、広く普及するであろう。

省資源に関しては産出量の少ない高価な合金元素をより経済的なものに置換したり、合金添加以外の手段を案出する傾向は強まるであろう。また、炉や取鍋の耐火物寿命延長、鉄源歩留り改善、廃棄物回収、などが推進されよう。以上を主眼とした、転炉を中核とする製鋼技術の成熟への動きを詳述する。

3.3.1 転炉内スラグレス吹錬のための溶銑予備処理

溶銑は要すれば鋳床出銑樋で簡単な予備吹錬により軽脱珪され、生成した SiO_2 はあまり塩基度を上げずに、したがってスラグ量を増さずに除かれる。

この軽脱珪溶銑、あるいは高炉の前出低 [Si] 操業による低 [Si] 銑を搬送容器に入れ、20~25 kg/t に及ぶ

大量の炭酸ソーダを短時間内に添加攪拌混合し、 $[\text{P}] \leq 0.015\%$ 、 $[\text{S}] \leq 0.010\%$ に同時脱磷脱硫したのも完全除滓する¹²⁾。

この溶銑を転炉で脱炭するさいには、脱磷脱硫のためのスラグは不要である。ほとんどスラグのない状態で吹錬すれば Mn 損失は少なく、スロッピングは起こらず、吹錬終点の成分・温度の目標適中率は向上し¹²⁾、おそらく酸素ガス原単位も低下するであろう。

予備処理に使った炭酸ソーダの 80% 以上は湿式法¹³⁾により原料単価の約 20% の費用で回収再利用可能とされている。この方法によれば、現在粗鋼 t 当たり約 100 kg 発生している転炉スラグが激減し、投棄あるいは処理費用が節約できる。

住友金属、新日鉄が先鞭をつけ、他社も工業化の可能性に注目している上記“Soda Ash Metallurgy”の応用例の一つを Fig. 9 に示し、熱収支・物質収支を試算してコストとともに Table 4 にまとめた。

“Soda Ash Metallurgy”が工業的に成立するか否かはまず溶銑処理容器と転炉の耐火物をアルカリ濃度の高いスラグと接触しても長寿命を保てるよう、操業・補修技術を含めて改善すること、次に短時間で逸散損失を最小に抑えつつ効率よく炭酸ソーダを添加混合攪拌除滓する技術（吹込み法など）の確立、およびプロセス全体の熱損失の防止にかかっている。

スラグレス吹錬に至る過渡期には、従来以上に高い比率（~90%）で溶銑脱硫が行われよう。この目的には製造に電力を要する CaC_2 に代わつて、川崎製鉄が工業化しているような微粉石灰が吹込み用脱硫剤として広く使われるであろう。石灰微粉を界面活性剤で処理して粉体流動性を著しく向上させ、固/気比（石灰/搬送ガスの比）を大きくとりトビード中に吹込むことにより、脱硫コストは CaC_2 の約半分に下る¹⁴⁾。また、底吹き強攪拌を利

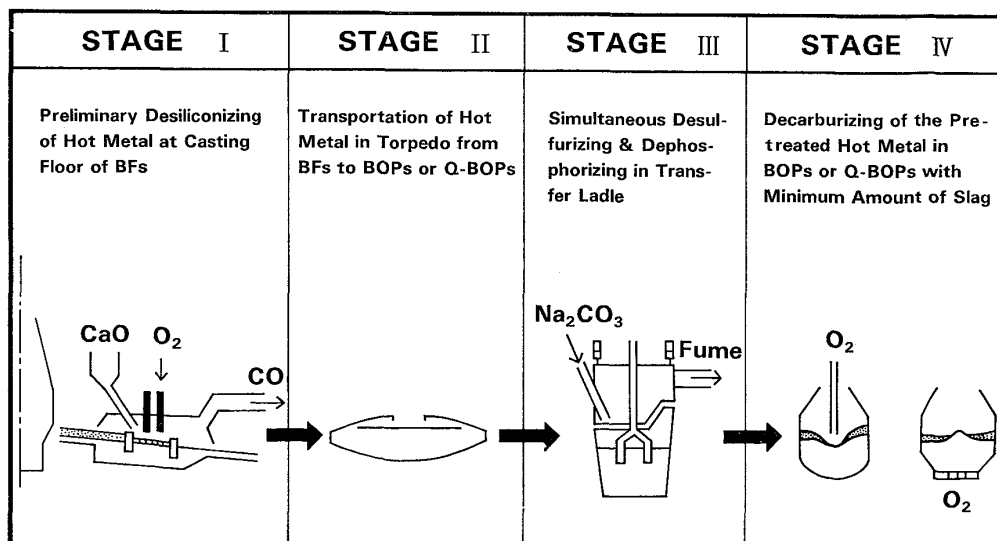


Fig. 9. Modified combination of soda-ash treatment of hot metal and slagless blowing of the treated hot metal.

Table 4

a) Changes in chemistry and temperature through stage I to IV during modified soda-ash treatment of melt

Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV
Case 1 : With desiliconizing Hot metal Si 0.30%→0.05% C 4.5% →4.0% T 1520°C→1610°C Addition CaO 5.7 kg/t Iron ore 13.1 kg/t O ₂ 7.1 Nm ³ /t Case 2 : No treatment Hot metal Si 0.20% unchanged C 4.2% " T 1520°C "	Case 1 : T 1610°C→1470°C Case 2 : T 1520°C→1380°C	Case 1 : Na ₂ CO ₃ 30 kg/t Si 0.05% unchanged C 4.0% " T 1470°C→1350°C Case 2 : Na ₂ CO ₃ 30 kg/t Si 0.20%→0.05% C 4.2% " T 1380°C→1310°C	Case 1 & Case 2 Aiming (1) Medium carbon degassing & CC C≤0.20%, P<0.015% S≤0.005%, T 1700°C (2) High carbon Degassing & CC C≥0.61%, P<0.015% S≤0.005%, T 1660°C (3) Extra low P Tap and reblow P<0.004% (4) Low P, Single blow P<0.006%

b) Comparison of cost between conventional BOP method and modified soda-ash method for blowing steel melts low in phosphorus

	(2) High carbon : Single blow, Degassing & CC	(3) Extra low P : d Tap & reblow, Degassing & CC
Aiming P % C % T °C	0.015 ≥0.61 1660	<0.004
Additives	BOP/Soda-ash	BOP/Soda-ash
1. Hot metal treatment		
Lime	0/ 5.7 kg/t	0/ 5.8 kg/t
Iron ore	0/13.1 "	0/13.3 "
O ₂ gas	0/7 Nm ³ /t	0/ 7 Nm ³ /t
Cast. floor refractory	¥359/¥418	¥373/¥425
Soda ash	0/31.8 kg/t	0/32.2 kg/t
2. BOP blowing		
Lime	70.6/ 0 kg/t	118.9/ 0 kg/t
Dolomite	18.5/ 5.0 "	24.0/ 5.0 "
Fluospar	7.1/ 0 "	33.7/ 0 "
Iron ore & mill scale	41.3/31.8 "	*25.2/*9.9 "
Fe-Si, C, Fe-Mn		12.4/ 0 "
3. Iron yield	92.0/94.8%	88.5/93.1%
4. Calcium carbide	¥200/0	¥200/ 0
Total gian for soda-ash method	¥819	¥4 383

* Lime stone.

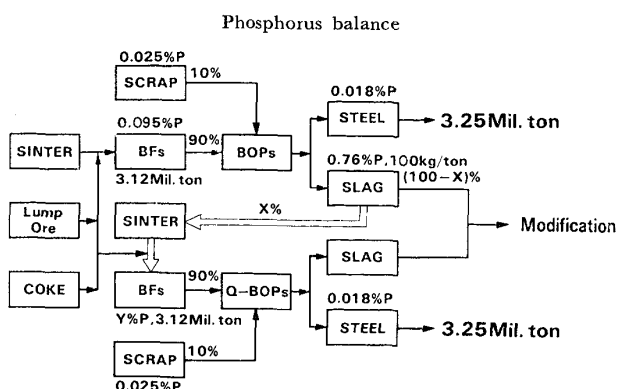
用した、石灰系フラックスを少量用いる溶銑予備処理も、スラグこそ発生するが量は少なく、脱磷・脱硫も進められる可能性がある点で、スラグレス吹錬への過渡的方法として注目する必要があるだろう。

3.3.2 転炉吹錬

LD の吹錬はダイナミックコントロールの時代を過ぎ、川崎製鉄水島で行われているような完全自動制御が種々の方式で実現すると思われる。すなわち、新日鉄名古屋で成功を見たサブランス使用プログラム吹錬方式に加え、炉内スラグの滓化と泡立ちに応じたランス高さ・

酸素ガス流量調整、吹錬終点の成分・温度適中、迅速出鋼、を組み合わせた操業を完全自動化する方式である。センサーと制御系の開発によりこれを実現すれば、鉄歩留り、生産性、炉寿命が一段と向上する。上記はスラグレス吹錬が工業化する以前に実用化が拡大してゆくであろう。

Q-BOP の吹錬は LD に比べ鋼浴、スラグと鋼浴、の攪拌が強いので、鋼浴の成分・温度の不均一が少なく、スラグと鋼浴間の反応の平衡からのずれも少なく、さらにスラグ-鋼浴系が LD のそれより見かけ上低い CO



Increasing return of BOP-slag to BFs for Q-BOPs in a steel plant with [BFs-(BOPs+Q-BOPs)] complex

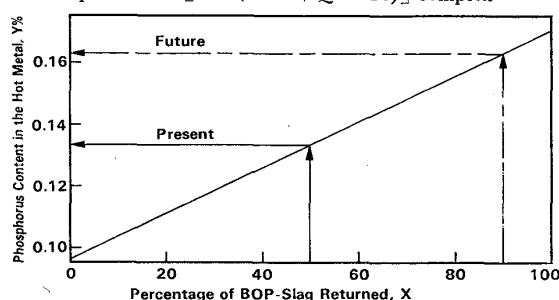


Fig. 10. Phosphorus balance in a BFs-(BOPs & BOPs) complex.

分圧と平衡状態にある、という特徴を有する¹⁵⁾。滓化の制御も粉末フラックスの吹込みにより容易である。したがって低炭素鋼吹錬時には、Table 2 に示した利点（鉄歩留り +0.72%，吹止め $\underline{\text{Mn}}$ +0.13%，Al 添加歩留り +10% など）がある。さらに、Q-BOP は溶銑の[P]が 0.3% 程度になつても焼石灰原単位をあまり増さずに (40~45 kg/溶鋼 t) 通常の吹止め 磷濃度を確保できる特徴がある。

これを利用すると、Fig. 10 のようにして一貫製鉄所の製鋼スラグ発生量を半減させ、スラグ中の有用成分も回収できる。すなわち、一貫製鉄所に 2 つの LD 製鋼工場がある場合、1 つを Q-BOP 工場に改造すれば、LD 工場から発生するスラグの 90% を Q-BOP 工場に溶銑を供給する高炉にリサイクルしても、Q-BOP 用溶銑の[P]は 0.17% 弱に留まり、吹錬に悪影響なしに発生スラグをほぼ半減(Q-BOP 工場発生スラグと LD 工場発生スラグの 10% の和)できる。川崎製鉄千葉はこれに近づけるような操業をしている。

炭酸ソーダによる工業規模での溶銑の同時脱磷脱硫と、引き続きスラグレス吹錬はいまだ揺籃期にある技術である。この状態では、上述の LD と Q-BOP の併用運転法は、過渡期における一つの解決ともなり得よう。

Q-BOP のこれらの特性は、停滞し始めていた LD による吹錬技術に著しい革新をもたらしつつある。LD 法への Q-BOP/OBM 法の広義の技術移転によりす

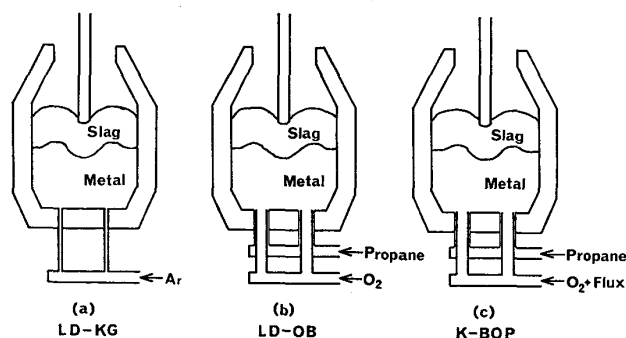


Fig. 11. Three types of combination blowing in BOPs.

に生まれ、あるいは生まれつつある複合吹錬技術を 2, 3 示すと

(a) LD 炉底より小流量 (0.01~0.1 $\text{Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$) の不活性ガスを吹込む攪拌法¹⁶⁾¹⁷⁾

スロッピングやスラグ過酸化の防止、それに伴う鉄歩留り向上、鋼浴成分・温度の均一化

(b) LD 炉底付近への二重管羽口による大流量 (0.2~2.5 $\text{Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$) の純酸素ガスの吹込法¹⁸⁾：

(a) 法の効果の増強、生産性向上

(c) (b) 法羽口からのフラックスの同時吹込法¹⁹⁾：

(b) 法の効果に加えて、脱磷・脱硫の促進

などがある。これを Fig. 11 に模式的に示す。いずれも既存の LD 転炉を改造して Q-BOP に近づけようとする試みで、(a) 法→(c) 法に進むにつれ吹錬特性は LD 的→Q-BOP 的になるが、改造費用は増す。妥協点を見出す必要がある。

Q-BOP や (b), (c) 法の問題である羽口冷却用炭化水素ガスによる鋼中水素濃度の上昇は、たとえば炭酸ガスなど非炭化水素系冷却剤の使用により防げる可能性がある²⁰⁾。

転炉炉寿命は炉内形状のレーザービーム測定結果を利用した局所ガンニング、スラグコーティング、コストが許す場合にはスラグへの MgO 富化操業、 MgO-C 煉瓦の改良、などにより、吹錬の基準化・自動化とあいまって、逐次延長してゆくであろう。

3.3.3 電気炉精錬

電弧炉は現状がそうであるように、主として溶解炉として使われ、精錬機能は二次精錬炉・取鍋精錬炉に移されてゆく。設備の大容量化、UHP 化、水冷炉壁の使用、ノイズとフリッカー防止、電力負荷と原料装入の最適化および自動化、が従来どおり置換・集約時に進められて行くものと思われる。

3.3.4 取鍋精錬

懸案である転炉スラグの取鍋への流入防止は解決され、スラグからの再酸化や復磷を心配せずに激しいガス攪拌処理を利用できるようになると考えられる。攪拌用

にも取鍋底部におけるポーラスプラグに代わつて、より多量のガスを流せる交換容易で信頼性の高い単孔または多孔プラグが一般化するであろう。上述の方法は短時間に溶鋼の成分・温度を均一化し、適度に介在物除去を計る方法であるが、より完全な清浄化と脱ガスのためには従来どおり RH, DH, ASEA-SKF などが使われ、量産鋼への使用比率も高まると思われる。ただし、装置設計と操業の最適化は一段と進み、より短時間での処理が可能となり、連続鑄造との整合も円滑となるはずである。この目的には RH が適しているように見える。すでに Al キルド鋼、Al-Si キルド鋼では 15 min の処理で O_t 15 ppm は普通になりつつある。

大量溶鋼取鍋精錬時の処理比率を上げる一法としては、取鍋移送時間を利用する台車上での噴流溶鋼攪拌、電磁誘導攪拌なども便利になるであろう。

取鍋精錬が進むもう一つの方向は、低濃度域への脱炭・脱硫機能を分担することにより、転炉の負担を軽減し生産性を高めることである。新日鉄室蘭の RH 槽内への酸素ガス吸込みによるステンレス鋼の脱炭、新日鉄大分の RH 鋼溶内の C-O 反応による脱酸を利用した低 Al, 低 Si 連続鑄造用バランスキルド鋼の精錬などはこの一例であり、多様な発展が見込める。

また、材料の極限性質を追求するための S, C, N などの極低濃度域への除去も、製鉄所のそれぞれの事情に応じて、TN, VAD, AOD, VOD など種々の方法が導入あるいは開発されて行くであろう。しかしこの分野は本報の主対象ではないので省略する。

3.3.5 スラグ処理

高炉スラグに比べて転炉スラグは顕熱回収、改質利用共に困難である。しかしスラグ廃棄費用は ¥300~800/t であり、極端な例では ¥2300/t にも達する。かつ、これが安くなるという見通しもない。

Fig. 10 で示した LD と Q-BOP の併用法によれば、一貫製鉄所からの転炉スラグ発生量は半減するが、燐は Q-BOP スラグ中に濃縮する。前出 3.3.1 項末尾に述べた石灰系フラックス少量使用底吹強攪拌処理による溶銑の脱燐・脱硫が成立すれば、処理溶銑の転炉でのスラグレス吹錬が可能となり、転炉スラグ発生量はさらに減少するが、燐は溶銑処理スラグ中に濃縮する。含燐 Q-BOP スラグ・溶銑処理スラグを高炉-転炉系にリサイクルするために生じる系内への燐の蓄積を防ぐには、これら含燐スラグを外販用に改質して系外に放出するか、より抜本的には経済的に含燐スラグを脱燐する技術を開発する必要がある。

“Soda Ash Metallurgy” は、もし 3.3.1 項で述べた難点が解決できるなら、処理後のスラグから P, S, Fe を除き炭酸ソーダを 80% 以上の高率で分離回収できる点で魅力がある。スラグ処理の分野は、もつと別の解決法を含めて、1980 年代の技術開発の一つの焦点となろう。

3.4 連続鑄造技術

現在ほとんどの鋼種は連続鑄造が可能となつた。粗鋼量に占める連鑄鋼量の比率も数年内に 75% を超えるであろう。連続鑄造による良片歩留りの高さ、省エネルギー、省プロセスに伴う利得がこの傾向の駆動力となつている。したがって今後も連鑄機の新設、操業の多連鑄化、高速化、稼動時間率の向上により生産量増大が計られるであろう。このための技術に関しては、鑄込中の鑄片幅変更、異鋼種連々鑄、異型断面素材連鑄はすでに確立されている。今後はインラインリダクション、鑄込開始などの非定常期を含めた完全自動操業システム、機械の信頼性の向上、などの完成に努めるようになる。

鑄片の品質に関しては、表面が著しく改善されたため無手入れ温片装入ないし熱片圧延が可能となつたが、この信頼性を増し、熱間探傷・疵取り技術を開発し組み合わせることにより、完全なフェイルプルーフプロセスにするのは時間の問題であろう。内質についても、介在物対策と、機械の信頼性、二次冷却・曲げ・矯正などの合理化、電磁攪拌などの付属装置で著しく向上し、今後とも改善は続くであろう。

やや遠い将来の技術革新としては、粗圧延機とホットタンデムミルを省略できる溶鋼のストリップへの直接鑄造が魅力的である。プロペルチ型、日立式ロータリー型、ハンター型その他種々の試みが行われ、1980 年代にはどの方式が工業化に有利がある程度の評価が進むと思われる。これが工業化されるまでの期間は、ビレット・ブルーム用の種々の水平連鑄機が淘汰を繰り返しつつ試みられ、住友金属鹿島で実用に供されているローヘッド彎曲型スラブ連鑄機とともに、既存連鑄機的能力不足分を補完したり、ミニミル用に用途を見出して行くと考えられる。

4. 直接還元製鉄、溶融還元製鉄、連続製鋼分野における進歩

直接還元製鉄は高炉設備が過剰で還元用ガスコストの高い日本で 1980 年代に急速に工業化されるとは思えない。この障壁を破る試みとして、原子力製鉄技術組合により 50 MW の高温ヘリウム炉の熱を利用して原油減圧残渣を分解し、還元ガスを作る方式の開発が進められている。

溶融還元法は溶鉄浴中に微粉炭と粉鉱石を吹込み、ガスと溶鉄を得る方法である。発生ガスによる発電コスト、発生ガスの化成品原料としてのコストが石油に基づく場合と比較してどの程度安いかは長期予測が難しい。溶鉄の成分・温度を転炉法が経済的に成立する範囲に制御する技術も、将来の検討にゆだねられている。本法の 1980 年代における消長は不明である。

連続製鋼法は、単段反応槽を実質的には多段完全混合槽結合型として使用するのが有利であろう。しかし、単

位溶鋼体積当たり耐火物との接触面積が現行転炉より大きいと、熱損失と耐火物損耗が転炉より大きいという弱点がある。現在の製鋼法は設備的には回分式反応器の特徴を持ちつつ機能的には連続法の特色を備えるに至っている。合理化、自動化も成熟期に入りつつあるので、連続製鋼法がこれを凌駕し主流生産プロセスとして存立できる可能性は 1980 年代では大きくないと思われる。

5. 結 言

日本鉄鋼業の頼る製鉄製鋼プロセスは、今後 10 年くらいは依然として“コークス炉・高炉・転炉・連続铸造機”を主力とすることに変わりはないであろう。その理由は、コストと品質で現行プロセスと競合し得るプロセスがなく、かつ、現有設備能力に余剰があることである。

製鉄技術の 1980 年代の課題は、安価なエネルギーの選択利用と省エネルギーを主体とするコスト削減、高炉・転炉一貫プロセスの総合コストを削減できる安定操業による溶銑 [Si] の低濃度化と濃度変動防止、および炉底煉瓦の侵蝕損傷防止に伴う高炉炉寿命延長によるコスト削減である。

原料炭については、供給先の分散と炭種拡大が重要な問題で、一般炭や重油の利用や転換技術の開発を含めたコスト最小化を実現する必要がある。

製鋼技術の課題は多岐にわたる。主なものは、転炉スラグの脱磷とリサイクル；溶銑の予備脱磷脱硫処理と処理溶銑の転炉におけるスラグレス吹錬；転炉吹錬の完全自動化、底吹技術の利用；取鍋精錬の発達の高高度化；連続铸造比率の著しい上昇と、鋳片の表面・内質の向上に伴う無手入温片装入、無加熱圧延の普及、などである。

以上から、1980 年代の我国鉄鋼業は、革新技術が工業化される前段階として、1970 年代に発展した技術が高度にシステム化し円熟する充実期を迎えるものと思われる。

本論文の作成には、川崎製鉄技術本部、平谷達雄主査、同技術研究所、榎谷暢男主任研究員、中西恭二主任研究員の協力を得た。厚く謝意を表す。

文 献

- 1) 高炉内反応部会：「高炉内現象とその解析」(日本鉄鋼協会編) (1979), p. 3
- 2) 下間照男：「高炉計測技術の進歩」西山記念講座第 59, 60 回 (日本鉄鋼協会編), (1979), p. 156
- 3) 長井 保：私信“高炉各社へのアンケート” (1979)
- 4) 平櫛敬資：「製鉄用耐火物の最近の進歩」西山記念講座第 48, 49 回 (日本鉄鋼協会編), (1979), p. 51
- 5) 田中克重：未発表 (鉄鋼産業新聞, 昭和 54 年 10 月 25 日)
- 6) 篠田作衛：鉄鋼界, 29 (1979), p. 22
- 7) L. I. FIELD, Jr: Iron & Steelmaker, 6 (1979), p. 8.
- 8) 「鉄鋼年鑑」p. 124 [鉄鋼新聞社, 1980 年版]
- 9) 中西恭二：私信
- 10) 川崎製鉄企画調査部：私信
- 11) R. D. BURLINGAME: Iron & Steelmaker, 6 (1979), p. 14.
- 12) 山本里見, 梶岡博幸：鉄と鋼, 65 (1979), S 210
小久保一郎, 尾形昌彦, 小菅俊洋, 中嶋睦生, 桑原正年, 山本里見, 山口武和：鉄と鋼, 65 (1979), S 213
- 13) 丸川雄浄, 三沢輝起, 三戸猛義, 姉崎正治, 岡本節男, 橋本孝夫：鉄と鋼, 65 (1979), S 733
- 14) 山田純夫, 数土文夫, 永井 潤, 拜田 治, 江見俊彦：鉄と鋼, 65 (1979), S 153
- 15) 斎藤健志, 別所永康, 原田信男, 野崎 努, 中西恭二, 江見俊彦, 鈴木健一郎：鉄と鋼, 66 (1980), S 239
- 16) 平原弘章, 丸川雄浄, 山崎 勲, 姉崎正治, 戸崎泰之, 平田武行：鉄と鋼, 65 (1979), S 677
- 17) 三枝 誠, 今井卓雄, 越川隆雄, 千野達吉, 塚本雅彰, 朝穂隆一, 木中良次：鉄と鋼, 66 (1980), S 236
- 18) 新日鉄八幡：製鋼部会, 鋼 74-4 (昭和 54 年 11 月 1, 2 日)
- 19) 文献 15) 参照, 川鉄：未発表
- 20) 野崎 努, 中西恭二, 斎藤健志, 原田信男, 別所永康, 江見俊彦：鉄と鋼, 66 (1980), S 241