



UDC 621.746.047

スラブ連鋳機の生産性と操業技術の進歩

井 上 俊 朗*・岡 賢*

Development of Production and Operation for Slabcaster

Toshio INOUE, and Masaru OKA

1. 緒 言

1970年代は連鋳法が次代のプロセスとしての地歩を築いた時期であつた。この間、広範囲な研究開発が行われて多くの問題の因果関係が解明され、理論づけられた。またおのおのの連鋳機で見出され適用された先駆的な試みが他の連鋳機にも拡がり、設備と操業に数多くの共通技術が形成された。溶鋼がひとつながりの装置の中を時間的、空間的に移動しつつ凝固体を形成するというプロセス固有の特徴は連鋳技術の本質的な優位性のひとつであると考えられる。すなわち、例えば連鋳法では凝固過程の把握や制御が造塊法より行いやすく、その結果を鋳造後の鋳片の表面や断面で直接容易に確認できるが、これは品質向上のための技術改善を行う上で好都合なことであつた。こうして連鋳法の隘路であつた操業の不安定、生産性の低さ、品質上の制約といった面が大幅に改善され、連鋳法に対する信頼が強まつた。プロセスの高度化、付帯設備の複雑化に伴う設備費高も連鋳の生産性水準の向上と無手入熱片直送など連鋳化メリットの拡大により、一時期より軽減されたかに見える。

本報告では、主として、1970年代後半におけるスラブ連鋳機の操業技術の動向についてまとめた。

2. 生産および設備の動向

石油危機以降、世界の粗鋼生産量の伸びが停滞する中で、連鋳生産高は着実に増加している(図1)。1979年における西側諸国の連鋳生産比率は32.4%に達し、国別ではフィンランド、デンマークの他、新規製鉄所建設や拡張時期に遭遇した発展途上国の連鋳比率が高く、先進工業国における連鋳への切替は比率において一步遅れている(表1)。日本は1979年には連鋳比率が50%を越すなど実質的に世界最大の連鋳生産規模を誇るに至っているばかりか、最近の連鋳技術の進歩や設備導入の情勢から連鋳比率はさらに拡大することが予想されてい

表 1 主要国の連鋳生産³⁾

	生産高(百万 t)		比率 (%)	
	1978	1979	1978	1979
日 本	47.2	58.1	46.2	52.0
韓 国	1.8	2.3	36.8	30.4
台 湾	1.3	1.9	39.1	44.9
南アフリカ	3.4	4.4	43.4	49.4
ベルギー	2.7	3.1	21.2	23.4
西ドイツ	15.7	17.9	38.0	39.0
フランス	6.3	6.9	27.5	29.5
イタリア	10.1	11.2	41.3	46.4
イギリス	3.1	3.6	15.5	16.8
オーストリア	1.7	2.3	39.8	47.5
フィンランド	2.1	2.2	88.0	88.8
スペイン	3.3	3.9	29.0	32.1
カナダ	3.0	3.2	20.2	19.9
アメリカ	18.9	20.6	15.2	16.7
ブラジル	3.0	3.8	24.8	27.6
メキシコ	2.0	2.1	29.7	30.0
西側 27 ヶ国合計	130.4	154.4	29.1	32.4
ソ 連	14.4	9.5

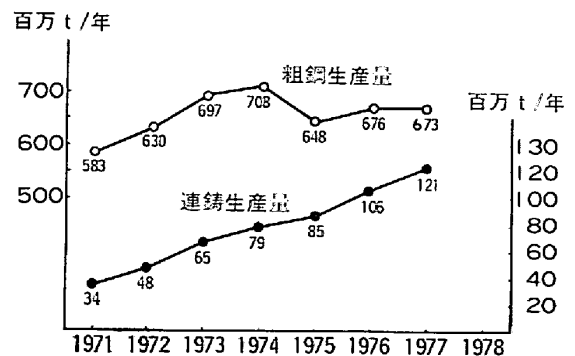


図 1 世界連鋳生産量の推移¹⁾

昭和 56 年 1 月 19 日 受付 (Received Jan. 19, 1981) (依頼技術資料)

* 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokai-cho Tokai 476)

表 2 大型スラブ連鑄機導入概況 (1975~1980 年)

	連 鑄 機	稼 動	型式	st 数	最大断面	公称能力 (万 t/年)
日 本	住友金属/鹿島 #2	1974	C	2	270×1 820	120
	川崎製鉄/千葉 #2	〃	VP	2	305×1 900	160
	新日鉄/大分 #4	1976	C	2	300×2 200	180
	〃 #5	〃	C	2	300×2 200	180
	川崎製鉄/水島 #6	〃	VB	2	310×2 500	150
	日本鋼管/京浜 #1	〃	VP	2	250×2 300	
	〃 #2	〃	CP	2	200×1 860	
	住友金属/鹿島 SHC	1979	C	1	300×1 700	30
	日本鋼管/京浜 #3	〃	C	2	250×1 950	240
	新日鉄/八幡 #3	〃	C	2	250×2 100	260
	新日鉄/君津 #2	1980	VB	2	270×2 300	250
	新日鉄/名古屋 #2	〃	C	2	245×1 630	240
新日鉄/堺 #1	〃	C	2	250×1 300	190	
カナ ダ	Sydney #1	1975	VP		305×2 133	75
	Sidbec-Dosco #1	1978	VP	1	216×1 524	
	Algoma/S. S. M. (#2)	1979	C		203×2 159	100
ア メ リ カ	Bethlehem/B. H. #1	1975	C	2	303×1 930	120
	Kaiser/Fonta. #1	1977	VB	1	222×1 930	50
	National/G. L. #1	1978	C	1	241×2 642	150
	U. S. S./Texas #2	1977	VB	1	230×1 930	45
	〃 #3	〃	VB	1	〃	45
	National/G. C. #1	1980	C	1	221×2 134	100
欧 州	Solmer/Fos #1	1975	C	2	240×1 550	100
	Dillinger/Di. #1	〃	VB	2	300×2 200	
	B. S. C./Ravens. #2	1976	C	1		
	A. L. Z. #1	〃	C	1	200×1 850	
	B. S. C./Ravens. #3	1979	C	2	304×1 830	
	Sollac/Lorr. #1	〃	C	2	190×1 275	125
	〃 #2	〃	〃	2		155
	Thyssen/Bruck. #1	〃	C	2	250×2 600	216
	Thyssen/Beeke. #2	1980	C	2	300×2 400	216
Hoogovens/Ijm. #1	〃	C	2	225×1 950	150	
そ の 他	B. H. P./P. Kemb. #1	1978	C	2		110
	C. S. N./V. Red. #2	1980	C	2	254×1 630	125
	〃 #3	〃	C	2		125

(型式) C: 湾曲, CP: 湾曲漸次矯正, VB: 垂直曲げ, VP: 垂直漸次曲げ

表 3 国内スラブ連鑄機改造概況 (1975~1979 年)

連 鑄 機	改造	能力増強 (万 t/月)
新日鉄/広畑 #1	1977	8→11
日新製鋼/呉 #1	1978	2→4
新日鉄/名古屋 #1	〃	7→19
川崎製鉄/千葉 #2	1979	10→13
川崎製鉄/水島 #5	〃	13→17
住友金属/鹿島 #1	〃	12→19
神戸製鋼/加古川 #1	(〃)	7→15

る。1970年の前後には Routaruukki (Raahe)²⁾ や新日鉄(大分)で当初から全連鑄をめざした鋼板生産専門の一貫製鉄所が稼動し脚光を浴びたが、両製鉄所ともその後さらに連鑄機を増設して生産規模を拡大し、全連鑄という生産構造を定着させた。以降、一貫製鉄所の建設は発展途上国に限られるが、CSC(高雄; 1977), SNS (El-

Hadjar; 1973)などで全連鑄一貫製鉄所が誕生している。この間、既存の製鉄所への連鑄機の導入が相次ぎ、1970年前後にはじめて連鑄機を導入したところで近年になつて第2号機以降を設置して、本格的な連鑄化に踏みきつたところが少なくない(表2, 3)。国内では、製鉄所単位に見た時、連鑄比率が80%を越すところもでてきた。これに伴つて日本鋼管(福山)の#1分塊(1979)のように、既存の分塊圧延機を休止するケースも見られる。

連鑄機の形式では、図2のように1970年を境として湾曲型が主流になり、矯正点を越えた水平部で凝固させる高速鑄造設計が一般化した。一方、厚板など高級鋼の製造を目的とする場合、鑄型及びその直下を垂直とすることの必要性を説く考え方も根強く、垂直曲げ型の導入も続いている(表2)。

連鑄化が既に相当進んだ製鉄所では、さらにその比率

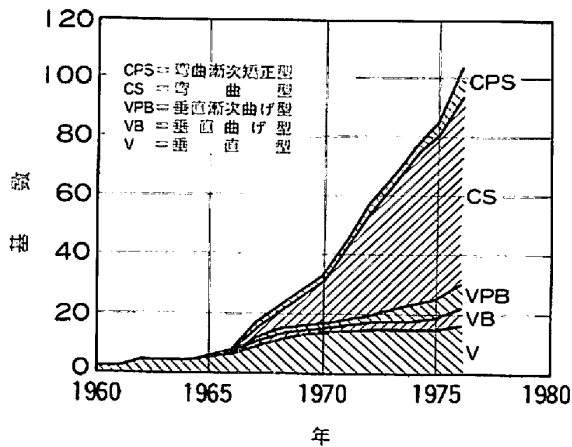


図 2 連铸機型式の変遷⁵⁶⁾

を高めようとする場合高度な品質を造り込むための技術上の問題の他、連铸化の対象が量的にそれほど多くなく、特殊サイズ、小ロットなどこれまでのいわゆる高生産性型の連铸機と相いれない要素が濃い場合に遭遇することにもなる。このような投資効率上の障害への対応のひとつとして、スラブ・ブルーム兼用機⁴⁾の出現がある。また、住友金属(鹿島)では量産型主力連铸機と併用する機能的な小型連铸機の意義を創出し、1979年底機高スラブ・ブルーム兼用連铸機(SHCCM)⁵⁾を稼動させた。

一層の省エネルギー効果の追求のため、スラブの熱延加熱炉への直送が積極的に行われているが、建設当初から直送実施を前提としてスラブ冷却場を設置しない例(新日鉄名古屋 #2)や新日鉄(堺)のように連铸機を既存の連続熱間圧延機と直結して直接圧延を行う例(図3)も出現するに至った。

表 4 連铸材適用比率⁶⁾

品 種		適用比率	
		1976年	1980年
厚 板	造船・構造用	60%	90%
	高張力鋼	50	80
	ラインパイプ	20	55
薄 板	深絞り用	50	70
	ブリキ材	20	65
ブルーム	軌 条	50	65
	シームレス	60	80
	低合金鋼	10	60
ピレット	パネ鋼	70	95
	ピアノ線	80	100
	コールドヘッダー	40	80

品質改善の成果もめざましく、深絞り用冷延鋼板やぶりきの製造はもちろん、今日、薄板ではDI缶用ぶりき厚板ではラインパイプ(〜X-70)、ハイテン(〜60 kg/mm²)、耐ラメラティア用、ボイラー圧力容器用(40 kg/mm²)まで製造範囲が広がった。例えば国内厚板の連铸比率が80%を越していることからもうかがえるように、品質上の制約で連铸化できていない鋼種の方がむしろ少なくなつた。世界の連铸材適用状況を表4に示す。

このような連铸化の進展は鉄鋼生産構造や製品に大き

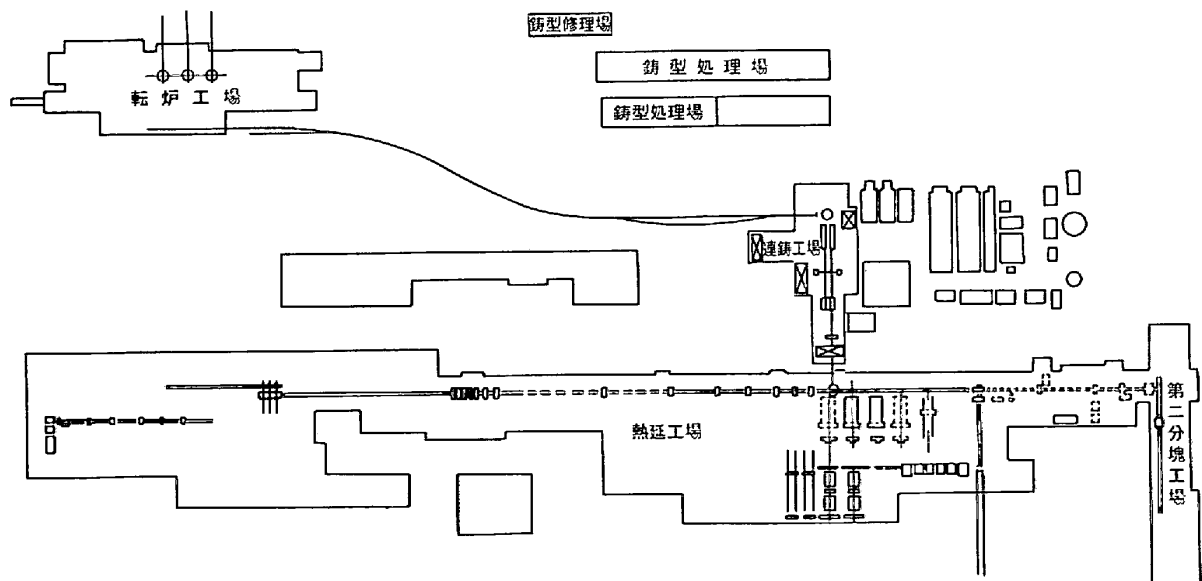


図 3 新日鉄(堺)連铸工場レイアウト

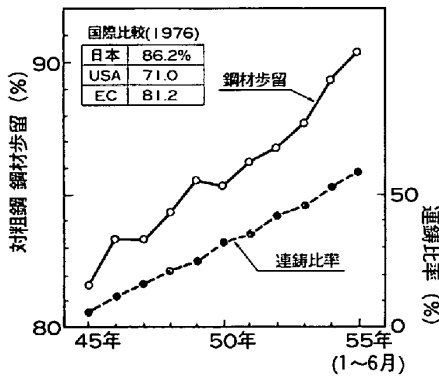


図4 国内鋼材歩留りの推移³⁾

な変化をもたらした。特に、鋼材歩留りの向上、エネルギー消費の低減、製品品質の向上に及ぼした効果は著しい。図4には国内の鋼材歩留りと連铸比率の推移を示す。

3. 品質向上のための操業技術

3.1 未凝固鑄片の矯正

矯正点以降で凝固を完了させる高速鑄造に際して生ずる矯正歪による内部割れの防止方法として、多点矯正⁷⁾または圧縮鑄造⁸⁾の採用がある。湾曲鑄型から2~4の矯正点で順次水平部にまで矯正する方式の他、神戸製鋼/U.S.S.R.型⁹⁾では矯正歪み速度を湾曲部全体に均等に分散させており、VÖEST型¹⁰⁾では垂直部、一定曲率部、水平部の間を独得の歪み増分曲線でつないでいる。圧縮鑄造はU. S. STEEL型の垂直部からの曲げに採用されているが、新日鉄ではそれを一点矯正および多点矯正の湾曲型連続機の矯正に広く用いて、高速鑄造の品質に寄与させている。

3.2 鑄片の支持

ロール間の鑄片のバルジングが、中心偏析、内部割れの主原因のひとつであることがわかり、設備設計においてロールピッチの短縮がはかられ(図5)、ロールの小径

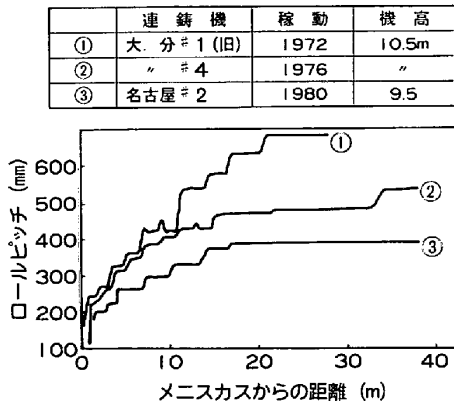


図5 ロールピッチ短縮の例¹⁴⁾

化、ロールスタンドのセグメント化が進められてきた。ロール径の縮少のため分割ロールを採用する例¹¹⁾¹²⁾も少なくないが、今日までのところVöest型が分割ロールを標準装備する¹³⁾ように垂直曲げ型を中心とする機高の大きなマシンに適用されているケースが多い。川崎製鉄では軸受が高温で過酷な状況にさらされるなど分割ロールに関する整備保全上の問題に対して種々の改善を加えて、駆動ロールに対しても分割ロールを適用する技術を開発した¹⁵⁾。

引き抜き力の分散による内部応力の緩和、最後尾鑄片引き抜き時のロール過負荷軽減のために、多くの駆動ロールをマシン上部から配置するマルチドライブ方式は広く採用されているが、これは短尺ダミーパー上方装入、圧縮鑄造の実施にも不可欠である。

設備設計と同時に操業時においてロールのアライメントを正常に維持しておくことが内部品質対策の要諦である¹⁶⁾。この理解にもとづいてパスライン等の計測技術の開発(図19)とそれを用いた管理基準¹⁶⁾の整備が進み、電動スクリーによるロール間隙調整方式⁹⁾が普及した。

中心偏析やポロシティの改善のためにロールアライメント不整を防止するだけでなく凝固先端部のロール間隙を制御する、いわゆる「絞り込み」が適用される^{17)~19)}。日本鋼管(京浜#1)では最終凝固部約4mの間で最高3mm/ロールの圧下を行う未凝固鑄片軽圧下方式を実用化している²⁰⁾。

3.3 二次冷却

二次冷却を強化して凝固を促進しシエル強度を高めてバルジングを抑制するため、注水量が増やされ、また、二次冷却帯が凝固完了部もしくは機端まで延長された。矯正点通過時の鑄片表面温度が700°C~900°Cの脆化領域を避けるようにすることで、表面横割れを防止できることがわかり、内部品質の改善のためと合わせて、冷却を強め脆化領域の低温側で矯正する強冷却低温矯正パターン¹¹⁾²¹⁾²²⁾が、多く適用されている。しかし最近、熱片直送圧延の実施のために品質を確保しつつ高温の鑄片

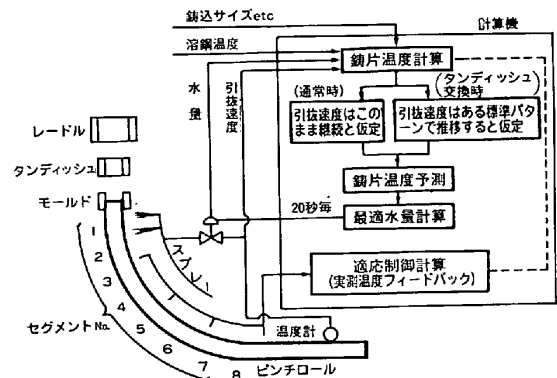


図6 二次冷却水制御システムの例³⁰⁾

を製造することが望まれるようになり、二次冷却パターンの見直しが進められている。上部強冷・水平部復熱パターンや、表面縦割れ防止と高温出片を狙って鑄型直下から緩冷却をし、矯正温度を脆化領域より高温にする緩冷却高温矯正パターンの適用例³¹⁾が報告されている。後者の例では、注水量を下げるため、冷却制御範囲が広くロール間、幅方向冷却の均一な気水噴霧冷却(図7)が、そして内部品質保持のためウォーキングバー、圧縮鑄造が用いられている。断面欠陥²³⁾、横ヒビ割れ²¹⁾、表層下割れ²⁴⁾対策としては幅方向のスプレーの分割、短辺スプレーの制御²⁵⁾が行われている。これら二次冷却の効果は鑄造速度によつて変化するので速度変動に追従した管理を必要とするが、当初の二次冷却ゾーン別比水量管理方式からしだいに高度な制御が行われるようになって

た。すなわち、矯正点など数ヶ所の鑄片表面温度の実測による定点温度管理方式²⁶⁾や、さらに計算機を用いてストランド全長の鑄片温度をリアルタイムに計算して所定の温度パターンとなるようゾーン別水量を求め制御する方式^{27)~30)}へと発展しつつある(図6)。

3.4 電磁攪拌

電磁攪拌は自由晶率の増大によるリジングや中心偏析の軽減を目的として近年急速に設備導入され出した(表5)。従来、凝固組織の改善のためには低温鑄造を余儀なくされていたのが、電磁攪拌の導入で鑄造温度を高めてノズル詰りや介在物対策に専念できる³²⁾ようになった。

同一電気容量で未凝固鑄片内に大きな攪拌推力を与えるためには、励磁コイルを鑄片表面に近接させることが望ましいが、一方、パルジングを起こさせないようにする必要があり、図8のような移動磁界方式^{32)~34)}の他、静磁場通電方式³⁵⁾など各種の型式が開発されている。また攪拌効果、負偏析帯解消の観点で攪拌パターン、位置など最適条件の探求^{35)~37)}が行われている。鑄型内で電磁攪拌を行つて低炭素 Al キルド鋼の表面および表層介在物を改善する試み³³⁾も報告されている。新日鉄(広畑)では溶鋼流動の CO 気泡抑制効果に着目して、精密な脱酸調整と鑄型内電磁攪拌とによつてリムド鋼相当材の連鑄化に成功した³⁹⁾。

3.5 モールドパウダー

パウダーの果すべき機能は一般に、(1)溶鋼表面のシールと断熱、(2)浮上介在物の吸収・溶解、(3)鑄型と鑄片間に流入して潤滑および鑄型抜熱の緩和・均一化、の三つが考えられている。パウダー物性の研究開発は(1)(2)の解決の後、特に高速鑄造に伴なう縦割れやブレイクアウトの発生増加に絡んで(3)の解明に向けられ、均一流入に関して粘性、熔融温度、熔融速度の重要性が広く認められるようになった。一般に高速鑄造ほど低粘性、低融点、高熔融速度が選択されるが、鑄造速度に応じて最適値のあることも知られている^{40)~42)}。橘ら⁴³⁾は一方向加熱によりパウダーの溶解状態を観察して、粉塵対策で導入された顆粒状パウダーが未反応層から焼結層、半熔融層、熔融層へ連続的な整層溶解状況

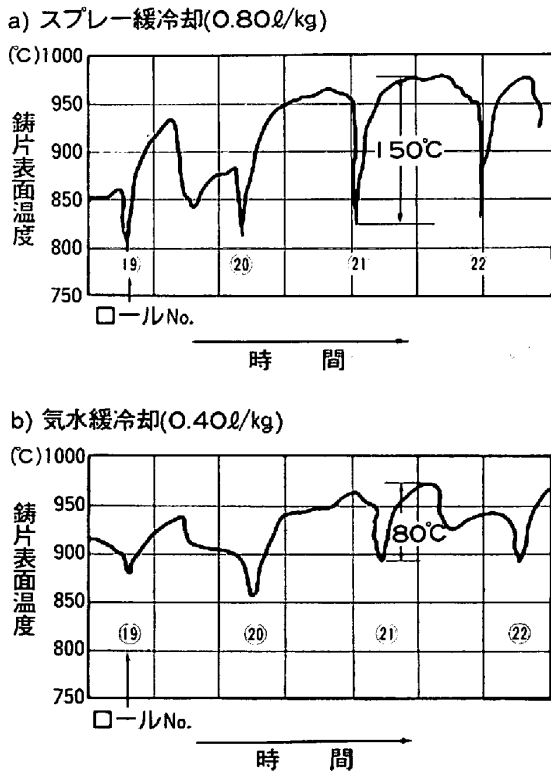


図 7 冷却方法による鑄片表面温度推移の違い³¹⁾

表 5 スラブ連鑄機への電磁攪拌の導入概況 (1980. 5)

連 鑄 機	稼 動	型式	連 鑄 機	稼 動	型式
新日鉄/君津 #1/2	1972	N	日新製鋼/周南	1978	N
新日鉄/室蘭 #1	1980	N	S. S. A. B./Oxelo.	1977	C
新日鉄/光 #1	1973	N	Krupp/Rhein.		C
新日鉄/大分 #1/5	1974	N	川崎製鉄/水島 #6	1980	C
新日鉄/広畑	1975	N	川崎製鉄/千葉 #1	1980	C
新日鉄/八幡 #1/3	1977	N	Mannesmn/Duis.		M
新日鉄/名古屋 #1	1977	N	Thyssen/Beeck.		M
	1977	N	Italsider/Tar.		M
	1979	N	Dillinger/Dil.	(1972)	I
	1978	N			

(型式) N : 新日鉄/安川電機, C : Concast/ASEA, M : Mannesmann/AEG, I : IRSID/CEM

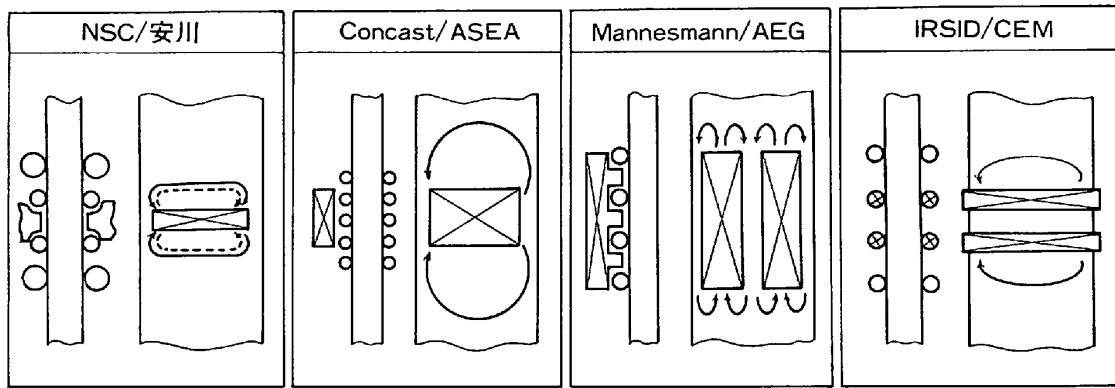


図 8 種々のスラブ連铸機用電磁攪拌装置

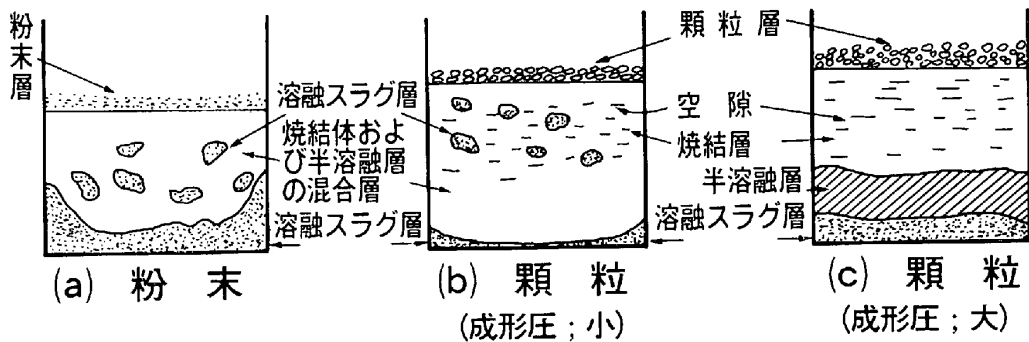


図 9 一方向加熱におけるパウダー溶融状況⁴³⁾

(図9)を呈して均一溶解性に優れていることを見出した。桜谷ら⁴⁴⁾はこれを発展させて、パウダーの均一流入と铸造条件変動への追従性をよくするためには半熔融層の厚みと構造の制御が重要であるとした。粉末原料を焼成後粉碎して粒径、組成の均一性を改善したフリット状パウダー⁴⁵⁾や含 Zr⁴⁶⁾、極低 C 鋼⁴⁷⁾など特殊な鋼種のためのパウダーの開発も報告されている。

3-6 清浄化

铸片の介在物系欠陥の防止のために連铸操業で重要なことは、(1)溶鋼の再酸化、タンデッシュ (TD) スラッグの(2)注入流によるたたき込み、(3)渦巻による捲込みと(4)耐火物の溶損の防止および(5)TD と(6)铸型内での浮上の促進である。このため、取鍋-TD 間の断気(ガスシールまたはロングノズル)と浸漬ノズルへの不活性ガスの吹き込み(スライディングノズル、ストッパー、上ノズル、浸漬ノズルなどから)および TD せきが、ほとんどの連铸機で採用されている。図 10 に実施態様の一例を示す。TD に入った取鍋スラッグと特に取鍋交換時や多連々铸の際の铸片清浄性との因果関係にもとづいて、各種 TD せきの設置、TD 形状の改善⁴⁸⁾⁴⁹⁾、容量の大型化⁴⁹⁾⁵⁰⁾といった設備対策のほか、取鍋交換時の TD 湯面高さ管理が重要視されている。浸漬ノズルについては、介在物の侵入や浮上、溶鋼表面への熱補給、パウダーの捲き込み、ノズル詰り等の観点で、内外径、吐

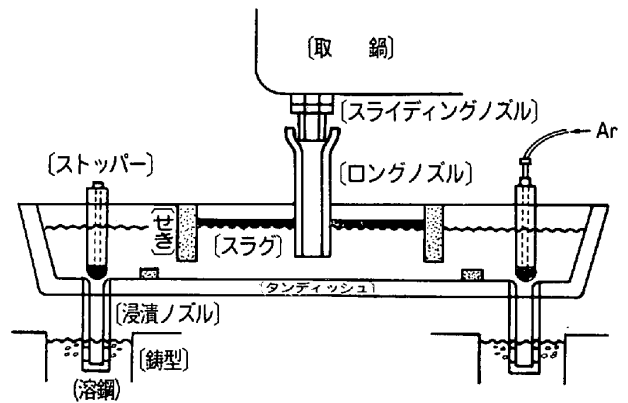


図 10 典型的な取鍋～铸型間注入方法

出孔の数、径、形状、角度など多様な設計がなされている。

清浄度要求の一段と厳しい鋼種に対して、三重せき⁵¹⁾、大口径非対称ノズル⁵²⁾、攪拌強化型せき⁵³⁾、铸型内に吐出流緩衝板を設置する方法⁵⁴⁾、LLTM 铸造方式¹¹⁴⁾などの適用例がある。

3-7 垂直曲げ型連铸機

垂直部を有する連铸機のメリットとされる介在物¹²⁾⁵³⁾、等軸晶率⁵⁵⁾、ブレードアウト¹⁰⁾の各点については、最近稼動した垂直曲げ型連铸機でも確認されている(図

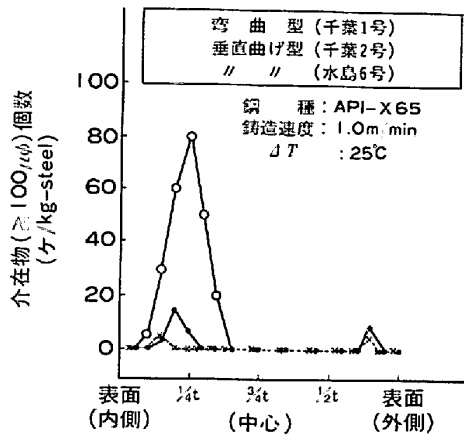


図 11 大型介在物分布におよぼす連铸機型式の影響⁵³⁾

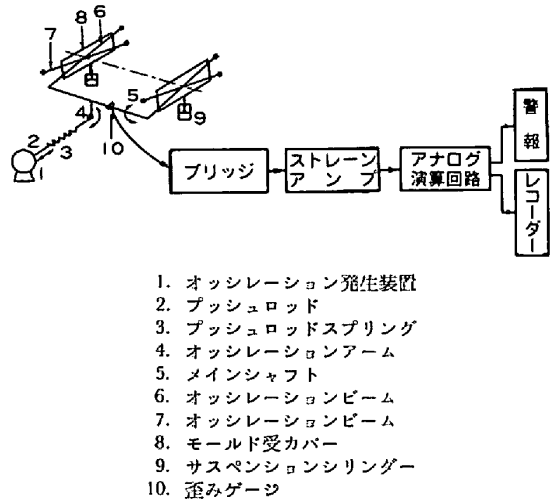


図 13 オシレーション歪み測定によるブレイクアウト予知装置⁶⁴⁾

11). 一方でパルジングや設備保全性等を考えたとき湾曲型に比較して不利な面もあり、連铸機の型式によらず清浄な溶鋼を注入することが第一義とする声もある⁵⁶⁾。

4. 生産性向上のための操業技術

4.1 高速铸造

一般に高速铸造は表層介在物⁵⁷⁾とピンホール欠陥⁵⁸⁾を例外として各種の品質の悪化をもたらすが、前章で述べた種々の操業技術の進歩により高速铸造でも遜色ない品質を得ることができるようになった。

高速铸造に伴う操業上の問題はブレイクアウトであり铸型を長くすることによつて铸型下端での铸片シェルの増大と均一化をはかるロングモールド¹⁴⁾⁵⁹⁾が実用化され(図 12)、パウダーの選択¹⁴⁾とあわせて効果を上げている。また、铸型直下をウォーキングバー⁹⁾やクーリンググリット⁶⁰⁾で支持する連铸機もある。最近焼付性ブレイクアウトの発生機構の推定⁶¹⁾により、铸片と铸型の潤滑状態を計測することによつてその発生を予知する技術が実機化された(図 13)。この他にも各種のブレイクアウト予知方法⁶⁰⁾が報告されている(図 19)。

取鍋交換時に強いられる铸造速度低減の品質への悪影響はよく知られているが、生産性の面でもその低下要因のひとつである。40~65 tの大型 TD¹⁹⁾⁵⁰⁾が用いられ、

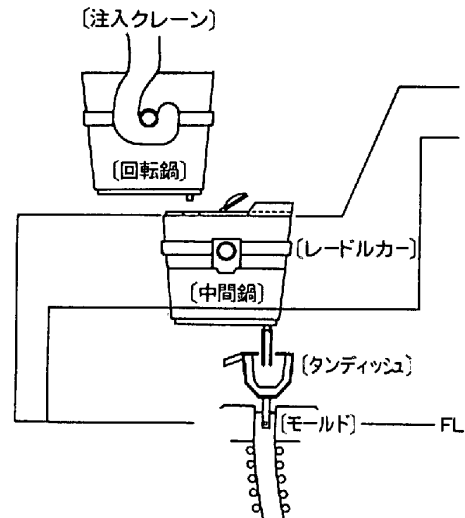


図 14 LLTM 铸造方式

また、新日鉄(名古屋¹⁾)では中間鍋を加えた LLTM 铸造方式(図 14)を全面的に適用¹⁴⁾して一定速度铸造を実現している。今日、国内外を問わず 1.3~1.5m/min の铸造速度はさほど珍しくない。

4.2 連々铸

铸造中の幅変更技術は 1975 年頃から相次いで種々の方法が開発され、今日、国内では幅拡大、幅縮小とも広く実施^{14)67)~69)}されている。20~400 mm の幅変えを月に数百回以上実施する例が少なくなく、これは近年、諸外国にも波及しつつある。また、鋼種の異なるチャージを連々铸する技術¹⁴⁾¹⁷⁾⁶⁸⁾の報告もなされている。これらの技術開発と浸漬ノズル寿命延長、铸造中ノズル交換技術等と合わせて、近年の連々铸率は図 16、表 6 のように大幅に向上した。

4.3 铸片断面の大型化

出来るだけ広幅のスラブを铸造して生産性を上げるた

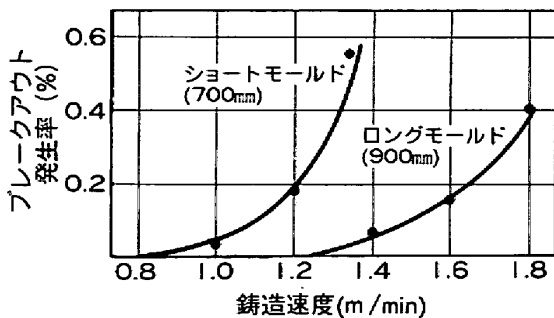


図 12 ブレイクアウト発生防止対策¹⁴⁾

表 6 連々鋳世界記録の例

連 鋳 機	達成年月	連 々 鋳		
		時間 (h)	鋳片量 (t)	チャージ数
川崎製鉄/水島 #2	1974. 12	148.1	32,582	166
U. S. Steel/Gary	1976.	108.4	27,983	132
National/G. Lakes	1979. 11	156.2	49,936	212
新日鉄/名古屋 #1	1980. 5	88.0	36,843	153

めに、倍幅鋳造スラブをガス切断機によつてスプリットする方法が漸次拡がってきた。1978年、National Steel (Gleat Lakes) でオンラインスプリット設備での異幅分割を含む全量倍尺の超広幅スラブ (241 m/m 厚×2642 m/m 幅) 鋳造の連鋳機⁷⁰⁾が稼動し、以後同種の構想を採用するところがあるのである。住友金属 (鹿島 #2) では狭幅スラブのツインキャストイングを行つている。

4.4 その他の設備技術

1970年前半に稼動率の向上のため種々の設備改善が行われたが、その後の世界の各連鋳機の新設や改造の際にとりいれられたものも多い。主要なものを図15にまとめた。ロール⁷¹⁾や鋳型⁷²⁾⁷³⁾の寿命改善のための材質や表面被覆に関する開発も成果をあげている。

4.5 生産性の進歩

以上述べたような設備、操業技術の進歩によつて近年、スラブ連鋳機の実産性はめざましい進歩をとげた。まず、最近の休止時間の内訳と稼動率の例を表7に、注

入時間率の向上の状況を図16に、それぞれ示す。また、図17に示すようにこの5年間に国内連鋳機の月間生産量の平均は2ストランドマシン1基当たり8万tから

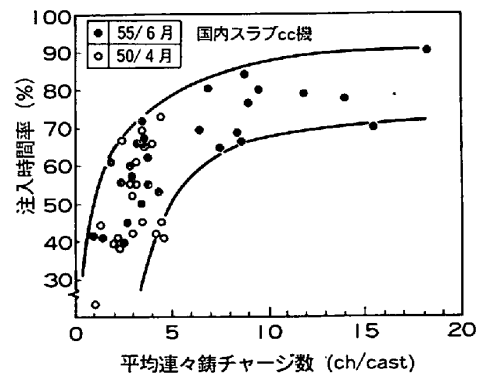


図 16 連々鋳率と注入時間率の向上³⁾

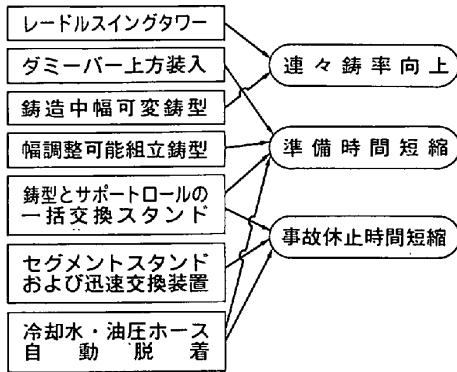


図 15 生産性向上のための設備改善

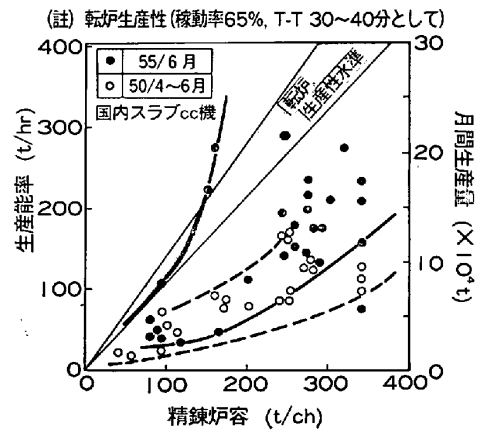


図 17 スラブ連鋳機の実産性の向上³⁾

表 7 スラブ連鋳機稼動率の例⁷⁵⁾

連 鋳 機	スト ド 数 ラン	休止時間率 (%)				稼 動 率 (%)	生 産 (×10 ³ t/月)	稼 動 (日/月)	期 間
		定修	ブレーク アウト	故障	待機				
Vöest-Alp. (Linz #3)	1	5.3	1.5	0.1	1.1	92.1	77	25	1977 ~1978
新日鉄 (名古屋 #1)	2	3.8	1.6	3.0	4.7	86.9	203	30	1979

表 8 生産量 (月間) 世界記録の例

連 鋳 機	新日鉄 大分 #5	新日鉄 名古屋 #1	新日鉄 八幡 #3
達成年月	1976. 12	1979. 8	1980. 7
生産量 (t/月)	251,751	264,043	267,600
稼働率 (%)	92.1	93.4	93.1
注入時間率 (%)	66.9	86.4	88.8
平均鋳造速度 (m/分)	1.44	1.13	1.48
平均スラブ寸法	250×1703	245×1583	202×1630
平均連々鋳率 (ch/cast)	3.2	19.1	14.1

15 万 t 程度にまでは倍増し、転炉 1 基の生産性に匹敵する高能率に到達した連鋳機さえある。表 8 には月間生産量記録の例を示す。海外においても月間 15 万 t 前後の実績を出している連鋳機は少なくなく、近年設置された連鋳機には公称能力が 100 万 t/年を越すものの方が多い (表 2)。

5. 関連する操業技術

5.1 溶鋼処理

造塊に較べて出鋼から鋳造までの時間のばらつきが大きく、厳しい鋳造温度管理を要求される連鋳の特徴から、温度調整のための取鍋内バブリングが脱酸、合金添加、清浄化機能と合わせて広く実施されている。Ca, REM の添加¹⁷⁾⁵³⁾⁷⁴⁾⁷⁷⁾によつて介在物の形態制御にとどまらず、Al₂O₃ クラスターの低減や鋳造組織改善、中心偏析の軽減をはかることも行われている。RH 真空脱ガ

ス装置の機能を OB 軽処理法⁷⁸⁾の開発で汎用鋼処理にまで拡大した新日鉄 (大分) では、これを発展させて RH での Al の精密調整と高速鋳造との組み合わせでリムド相当弱脱酸鋼⁸⁰⁾を、新日鉄 (広畑) では弱脱酸 Al-Si 鋼⁷⁹⁾をそれぞれ量産している。鋳型内電磁攪拌との組み合わせによるリムド相当鋼の開発については先に述べた。

5.2 鋳片処理

連鋳スラブを既存の分塊圧延機にかけて、主として厚板向に必要な薄肉あるいは小サイズスラブを造っているところがある。また鋳片幅の広幅集約による連鋳機を生産性向上を目的にして連続熱延機の幅圧下能力を 100 mm 以上に増強する動きもあり、熱延の前にスラブの幅殺しを行う検討⁸⁰⁾⁸¹⁾も行われている。熱片直送の動向に対応してこれまでの冷間ガス切断によるスラブ幅分割にかわるロールによる熱間幅分割技術の開発の報告⁸²⁾もあ

表 9 無手入圧延実施例

工 場	無 手 入 圧 延 実 施 状 況			
	開 始	対 象	量, 率	時 期
新日鉄/名古屋 ¹⁴⁾	1974	低 C-Al キルド	80%	1977. 6
日本鋼管/京浜 ⁹²⁾	1972	厚板	5 万 t/月	1979. 9
川崎製鉄/水島 ⁹⁰⁾	1975	低 C-Al キルド	98%	1977. 12
神戸製鋼/加古川 ⁷⁶⁾	1976	厚板 40 キロ鋼	60%	1977. 9
住友金属/鹿島 ¹²¹⁾		熱延	90%	1978. 頃
Rautar./Raahe ²⁾		熱延	80%	1978. 頃
Bethlehem/B. H.		熱延, 厚板	88%	1979. 11

表 10 熱片直送圧延実施例

直送	工 場	熱片直送圧延実施状況			
		開 始	対 象	量 (t/月)	時 期
加 熱 炉	新日鉄/君津 ⁹³⁾	1980	熱延	66 000	1980. 9
	日本鋼管/京浜 ⁹³⁾	1973	熱延	51 000	1980. 8
	川崎製鉄/水島 ⁹⁵⁾	1977	厚板	54 000	1979. 8
	住友金属/鹿島 ⁹³⁾	1976	熱延	27 000	1980. 2
	神戸製鋼/加古川 ³⁸⁾	1979	熱延	8 000	1979. 9
均炉 熱	〃	1979	厚板	9 000	1979. 9
	新日鉄/名古屋	1980	厚板	27 000	1980. 8

る。また、連铸スラブを均熱炉で加熱して脱H⁸³⁾や中心偏析の拡散⁸⁴⁾⁸⁵⁾による品質改善を行い連铸化対象の拡大がはかられている。

なお、スラブを圧延してブルーム⁸⁶⁾やH型鋼⁸⁷⁾を製造したり、スラブを幅分割してブルームとすることも実用化されているが、対象量が少なくて専用の連铸機の新設に見合わない場合の効果的な技術と言える。

5.3 無手入および熱片直送圧延

品質の向上の結果、無手入化と熱片直送圧延が広く行われるようになった(表9, 10)。海外においても無手入圧延はほとんど一般的に実施されているようだ²⁾⁸⁸⁾⁸⁹⁾。この場合の品質保証は一般に铸造条件あるいは抜取テストスカーフなどによる品質の推定評価を主体としているが、各種の熱間疵検出装置が開発あるいは実機化されており、内質の評価にオンライン電磁超音波探傷装置やQuick Sulphur Print法⁹¹⁾の適用例がある(図19)。

無手入、直送圧延の実施に関連して各種の铸片バリ取り装置⁶⁴⁾⁹⁴⁾、自動マーキング装置⁶⁴⁾が実機化されており、铸片搬送時の温度低下防止のため、保熱カバー、保熱ピットが適用されている。図18に熱片直送圧延の省エネルギー効果の例を示す。

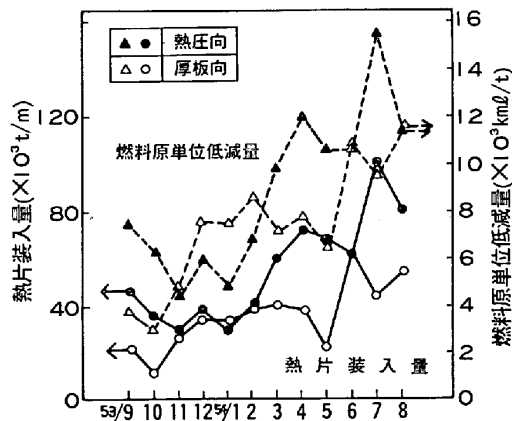


図18 熱延直送圧延による省エネルギー効果⁹⁵⁾

6. 計測と自動化

操業からのニーズに応じて多様な計測技術が開発された。これらを目的別に分類して図19に示す。特に湯面変動やロールアライメント不整の品質への悪影響が知られるようになり、湯面レベル検出およびロール間隔測定の開発と実機化が進展した。最近では、ブレイクアウト予知のための計測技術や、直送圧延のための熱間疵検出技術の開発の報告が多い。

6.1 操業の自動化

自動化は省力にとどまらず、安全、作業環境の点でも重要な意味を有しており、その可能性の大きさは造塊法に比較して、連铸法の魅力のひとつである。同時に、自動化が連铸の生産性や品質の改善に果たす役割の大きいことが古くから理解されてきた。主要な自動化項目を図20に示すが、中でも二次冷却制御、ロールアライメント

64) 96)	光学, 電磁	スラグ流出検出	自動錆込み	操業制御	
1) 17) 42)	放射, 電極, γ線,	鑄型湯面検出			二次冷却制御
96) 97) 98)	電磁, 渦流, 熱電対,				
99) 100)	マイクロ波				クレーターエンド制御
96) 98) 101)	熱電対, ITV放射	鑄片表面温度測定			ブレイクアウト予知
96)	電磁UST	凝固厚測定			
65)		鑄片短辺形状測定			
42) 62)	鑄型振動	鑄型・鑄片滴落状態検出			ブレイクアウト予知
63) 64)	振動系負荷				
96)	加速度計	鑄型短辺テーパ測定			
15) 17) 56)	差動トランス	ロール間隔測定	設備異常管理	整備・保全	
62) 64) 102)	ロードセル	ロール回転検出			
15)		パスライン測定			
102)		スプレー詰り検出			
66) 15)	背圧, ITV	スプレー詰り検出	品質推定	品質保証	
96) 103) 104)	表面波UST, 写真	表面底検出			
105) 106) 107)	光学, 渦流, 赤外線,				
108)	放射光				
109)	電磁UST				
		鑄片幅測定			

図19 計測技術の開発

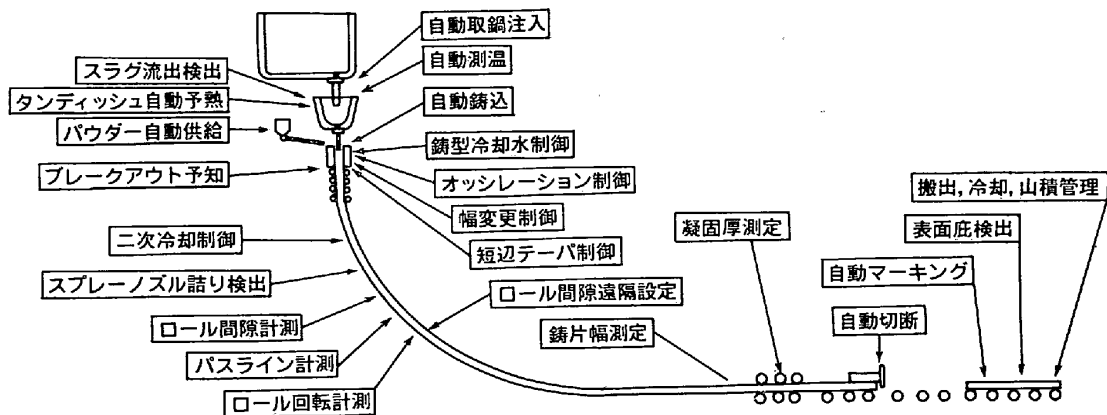


図20 スラブ連铸機の主要な自動化項目

計測, 切断, マーキングの自動化や自動鋳込みが比較的よく普及している。項目として目新しいものは少ない代わりに, 内容的には次第にきめこまかく, かつ高度になり, 制御や管理精度の向上とともに歩留り, 品質, 生産性の向上をもたらす隠れた力となってきた。

6.2 計算機制御

近年の連鋳機の計測制御技術上の進歩の特徴は次の二点である。(1)ハード面で, 機器制御の分野において従来のリレーやPID調整計などのアナログ計装計器に代わってマイクロコンピュータが広範囲にとり入れられた。(2)ソフト面では, 機器制御の段階からプロセス計算機の導入による連鋳機の操業全体を自動化するプロセス制御の段階に発展した。ハード面でのこのような変化はマイコンの改良と普及による全産業分野の動向であり, おのおのの機器を制御するマイコン群を上位のプロセス計算機で直接統括するプロセス制御の仕組みが連鋳機でも適用されだした¹¹⁰⁾。この結果, 制御機能の高度化とともに, 機器の信頼性の向上, 設備費の低減, 制御ソフトの更新の容易化などの効果が得られた。そして, 従来の巨大な操作, 監視盤が数台のCRTに置きかえられて, CRTにより諸操業データならびに数値設定を集中制御⁶⁶⁾¹¹¹⁾するようになるという作業上の変革ももたらされた。

プロセス計算機を中央のビジネス計算機と直結して, 生産命令・報告の送受, 生産技術データの収集をオンラインで行う製鉄所を包含する生産工程あるいは技術管理システムが普及しつつあるが, 連鋳機のプロセス制御システムもこのような総合管理システムに組み入れられて, 前後工程とのマッチング管理⁶⁶⁾¹¹²⁾, 品質管理¹¹³⁾の用に供せられている。

7. 耐火物

連鋳における操業の安定, 品質, 生産性の向上はいつの時代にも耐火物技術の改善, 進歩が支えの支柱となってきた。1970年代後半に入つての連鋳技術の進歩も, また, 取鍋, タンディッシュ等への苛酷な操業からの要求に対し, 耐火物の品質と施行技術が常に追従して向上してきたことが大きな支えとなつている。

7.1 溶鋼取鍋

近年, 大型スラブ連鋳設備を有する工場がRH, DH

方式などの真空脱ガス設備を相次いで設置し連鋳向溶鋼の大量処理化が進んでいるが, 取鍋内張り耐火物にとってこれらの使用条件は, 連鋳化比率の増加と相まって非常に厳しいものとなつている。その結果, 内張りへの適用材質は高珪酸質主体から耐食性のよいジルコン質, ハイアルミナ質, 塩基性材質などへ移りつつある。国内では, 1977年上半期におけるスラブ連鋳を有する工場の高珪酸質の使用比率は約2/3であつたが, 1980年上半期のそれは, 約1/2に減少しており適用材質の高級化は溶鋼の清浄化要求の厳しさと相まって, さらに進む方向にある。

取鍋からの流量制御方式はスライディングノズル方式が一般化し, 事故減少による連鋳操業の安定, 省力化, コスト低減に大きな役割を果たした。スライディングノズルのプレートにはコランダムとムライトを主要構成鉱物とする高アルミナ質が主に使用され, れんが品質の改善とともにタールやピッチなどの含浸処理を行うことで多数回使用を可能ならしめた。しかし, 使用時の発煙が作業環境上問題とされ, 無発煙プレートとしてアルミナ・カーボン系のプレートの実用化が進んでいる。

溶鋼の温度, 成分調整を目的に取鍋底部よりガスバブリングを行うためのポーラスれんがは, 永年の材質改善により高い安全性を確保するに至つたが, 最近ではアルミナ, ムライト, 塩基性などの材質のみならず, 特殊な製造法によるマイクロポーアを持つポーラスれんがも使用されている¹¹⁵⁾。多連々鋳時におけるスライディングノズルの不開孔は操業上問題であるが, 詰め物を改善して100%近い開孔率を得ている例もある(表11)。なお取鍋〜タンディッシュ間に注入流保護としてロングノズルが多く用いられている(図10)。このノズルには熔融石英質やアルミナグラファイト質が使用されるが, 耐用性からアルミナグラファイト質が有利であり, 多数回使用も可能となつてきた。

7.2 タンディッシュ

介在物浮上促進や, 取鍋交換時の鋳造速度の変動低減といった操業ニーズから最近のタンディッシュは容量の大型化とともに, 形状についても長方形の単純な形からT型, V型⁴⁹⁾も使用されている。このような変化は耐火物原単位の増加をもたらすはずであるが, 実際には図21のごとく原単位は年々下降しており, チャージ/タンディ

表 11 スライディングノズル詰め物の改善¹¹⁶⁾

	化 学 組 成 (%)						粒 度 (mm)
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	R ₂ O	
従来詰め物	28		20	15	30		0.5~2
合成詰め物	3.3	94.0				1.7	0.5~2

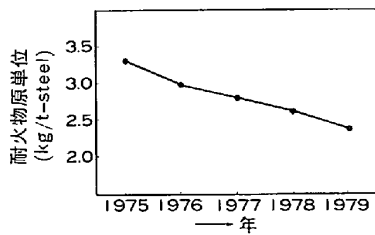


図 21 国内タンディッシュ耐火物原単位の推移³⁾

ッシュの向上努力や耐火物整備技術の改善による効果がうかがわれる。

内張耐火物の施工はレンガ積みが主体であるが、新日鉄(大分)では振動成型(VF 施工法)¹¹⁷⁾が採用されており、今後、流し込み法やスタンプ法などの不定形化は進むものと考えられる。コーティング材料としてはハイアルミナ質、シャモット質、マグネシア質に大別されるが、最近では耐食性にすぐれるマグネシア質が主流となっている。コーティングのかわりに断熱ボードを内張りする方法も特に海外で多く実用化されており、作業性改善と予熱軽減の効果を得ている¹¹⁸⁾。

タンディッシュから鑄型への溶鋼流量制御方式は取鍋と異りストッパー方式が依然多い(図 10)。新設される連鑄設備では自動化にさいしての制御性の容易さからスライディングノズル方式の採用が多くなっている。日本鋼管(京浜)では、ストッパー方式による注入の自動化を完成させている¹¹⁹⁾。ストッパー使用の場合、タンディッシュの寿命はヘッドの寿命に左右されるため、ヘッドの材質はハイアルミナ質、ジルコン質も使用されるが、耐食性にすぐれるアルミナグラファイト質の使用が多い。スリーブとヘッドを一体成形したストッパーも使用されている¹²⁰⁾。

タンディッシュ寿命を左右するいま一つの因子は浸漬ノズルの溶損と閉塞である。溶鋼とくに高 Mn 溶鋼に対する耐食性が十分でないために、ノズル閉塞に対しては有利といわれる熔融石英質の使用が減少しアルミナグラファイト質の使用が支配的となつた。アルミナグラファイト質ノズルは鑄型内に添加されるパウダーによる溶損が大きいこと、ノズル内面に付着物が生成し閉塞しやす

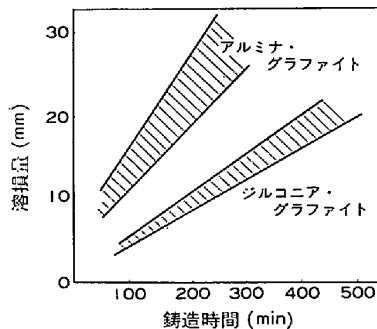


図 22 浸漬ノズル材質と溶損量比較¹¹⁷⁾

いことが難点であつたが、前者に対しては耐食性にすぐれるジルコニアカーボン質をパウダーライン部にばかし 2 層成形することにより(図 22)、後者に対してはノズル内に種々の方法で不活性ガスを吹き込むことにより、いずれも大幅に改善された。

以上述べた諸改善によりタンディッシュは最近では 300 分以上の連続使用は珍しくなくなつており、連鑄生産性の向上に大きく寄与している。

8. 結 言

連鑄法への信頼が高まり、その歩留り、省エネルギー、品質の向上のすぐれた実績のため今日、連鑄化比率が鉄鋼業の近代化の重要な指標とみなされるようになった。今後も新規設備の導入と既存設備の改造で連鑄化が積極的に進められるであろうが、後続の圧延工程との直行、直結化の方向が一層強まることが予想される。日本のように連鑄化の進んだところでは、造塊法のあり方についての判断を迫られることになろう。品質要求厳格化のすう勢や、特殊サイズ、小ロット注文の存在を考える時、造塊法の有する品質や生産に関するフレキシビリティには容易に捨てがたいものがある。連鑄機の側ではスラブ・ブルーム兼用機で代表されるような厚みを含めた多様な鑄造断面サイズあるいは、少量の多様な成分系に効果的に対応できる技術が求められる。一方、連鑄法の機能や効果の拡大に対して分塊圧延機の有効利用を含めた圧延技術の活用を検討も進められている。小断面で実用の域にはいつた水平連鑄やロータリーキャスターのように、これまでと全く異なつた種類の連鑄機がいつかはスラブの分野で出現するかも知れない。現実の問題として、連鑄比率の拡大と生産性の向上の結果、少数の連鑄機で工場の大半の生産を担うことになつた連鑄法に対して、操業の安定と信頼がこれまで以上に厳しく求められることになるだろう。

文 献

- 1) H. HATZENBICHLER: Steel Times, 208 (1980), p. 284
- 2) K. RELANDER, K. LOUNAMAA, and T. LINDHOLM: Ironmaking and Steelmaking, 5(1979), p. 245
- 3) 日本鉄鋼連盟資料
- 4) E. WOODHEAD: Proc. Natl. Open Hearth Basic Oxygen Steel Conf., 60 (1977), p. 257
- 5) 住友金属鹿島: 製鋼部会, 鋼 73-11 (昭 54.11)
- 6) IISI, C. C. レポート (1977)
- 7) 野崎輝彦: 第 40-41 回西山記念技術講座 (昭 51.9) p. 31
- 8) 山内信一, 打田安成, 山本利樹, 三隅秀幸: 製鉄研究, 294 (1978), p. 62
- 9) 河原 実, 安西 章, 家 勝治, 原田新一: 神戸製鋼技報, 29 (1979) 3, p. 30

- 10) W. HORST: *Steel Times*, 208 (1980), p. 296
- 11) 森 隆資, 綾田研三, 河原 実, 安西 章, 原田新一: *神戸製鋼技報*, 29 (1979) 3, p. 22
- 12) 橋 昌久, 石黒守幸, 小森重喜, 村上勝彦, 福田有: *日本鋼管技報*, 79 (1978), p. 313
- 13) H. MUELLER and K. NETTELBECK: *Iron Steel Eng.*, 57 (1980) 10, p. 58
- 14) 井上俊朗, 田中英記: *製鉄研究*, 294 (1978), p. 1
- 15) 市原 晃, 久保田和雄, 丹野栄一, 石亀公夫, 佐藤貞夫: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 531
- 16) 堀 珊吉: 第 40-41 回西山記念技術講座 (昭51.9 p. 59
- 17) 喜多村 実, 副島利行, 小山伸二, 松田義弘, 安封淳治: *神戸製鋼技報*, 29 (1979) 3, p. 11
- 18) 市川 浩, 山崎 勲, 戸崎泰之, 豊田 守: *鉄と鋼*, 62 (1976), S 108
- 19) 橋 昌久, 小森重喜, 田中 久, 村上勝彦: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 209
- 20) 橋 昌久, 石黒守幸, 遠藤豪士, 村上勝彦: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 207
- 21) 植田嗣治, 橋尾守規, 丸川雄浄, 徳田 誠, 川崎守夫, 木村智彦: *鉄と鋼*, 64 (1978), A 115
- 22) 児玉正範, 小島信司, 中井一吉, 反町健一, 今井卓雄, 垣生泰弘, 野崎 努: *鉄と鋼*, 64 (1978), A 123
- 23) 石黒守幸, 武田州平, 半明正之, 内田繁孝: *鉄と鋼*, 62 (1976), S 480
- 24) 重住忠義, 伊藤幸良, 田代 清: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 662
- 25) 江本寛治, 大森 尚, 鈴木康治, 鈴木健一郎, 村田賢治: *鉄と鋼*, 65 (1979), S 716
- 26) 飯田義治, 児玉正範, 鈴木康治, 山崎順次郎, 前田瑞夫, 宮原一昭: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 657
- 27) 岩尾範人, 永沼洋一, 森玉直徳, 加藤正彦: *鉄と鋼*, 63 (1977), S 616
- 28) 今井卓雄, 反町健一, 森脇三郎, 浜上和久, 矢治源平, 佐藤国浩: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 658
- 29) 日本鋼管福山: 計測部会, 計 65-2-1, (昭 57.2)
- 30) 住友金属和歌山: 製鋼部会, 鋼 72-10, (昭 54.3)
- 31) 新日鉄大分: 製鋼部会, 鋼 77-9, (昭 55.11)
- 32) *Steel Times*, 207 (1979), Special Supplement, S47~S52
- 33) H. MARR: *Iron and Steel Intern.*, 52 (1979), p. 29
- 34) 和田 要, 萩林成章: *製鉄研究*, 294 (1978), p. 91
- 35) 白岩俊男, 杉谷泰夫, 小林純夫, 石村 進: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 647, S 648
- 36) 新日鉄大分: 製鋼部会, 鋼 64-14, (昭 51.7)
- 37) 長谷川守弘, 丸橋茂昭, 村中 裕, 上館良興, 星記男, 衣笠雅普: *鉄と鋼*, 66 (1980), S 217
- 38) 神戸製鋼加古川: 製鋼部会, 鋼 74-重 5 (昭 54.11)
- 39) 竹内栄一, 藤井博務, 大橋徹郎, 木村一茂, 高橋靖, 山広実留: *鉄と鋼*, 66 (1980), S 796, S 797
- 40) 中戸 参, 垣生泰弘, 江見俊彦, 由井信子: *鉄と鋼*, 62 (1976), S 507
- 41) 宮坂直樹, 平岡照祥, 北村 修, 大野唯義, 安藤貞一, 大橋徹郎: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 663
- 42) B. MAIRY: *Rev. Mét.*, 77 (1980), p. 403
- 43) 橋 林三, 児玉正範, 大西正之, 江本寛治, 馬田一, 今井卓雄, 中戸 参, 江見俊彦: *鉄と鋼*, 62 (1976), S 542
- 44) 桜谷敏和, 江見俊彦, 武 英雄, 江本寛治, 越川隆雄: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 441
- 45) 沢田保弘, 岡崎一正, 横見 襄, 桑野信敬, 酒井正雄, 佐藤正廣: *鉄と鋼*, 63 (1977), S 611
- 46) 吉田圭治, 小林経明, 福島佳春, 吉原正裕, 石川遼平: *鉄と鋼*, 63 (1977), S 128
- 47) 竹内英磨, 西田祚章, 松村省吾, 柳井隆司, 駒野忠昭: *鉄と鋼*, 63 (1977), S 612
- 48) 新日鉄大分: 製鋼部会, 鋼 63-11 (昭 51.3)
- 49) 上田典弘, 浜上和久, 越川隆雄, 白石昌司, 垣生泰弘: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 479
- 50) 脇田淳一, 溝口庄三, 吉田基樹, 石飛精助: *鉄と鋼*, 66 (1980), S 864
- 51) 宮原 忍, 菅原功夫, 田口喜代美, 内田繁孝, 政岡俊雄: *鉄と鋼*, 65 (1979), S 228
- 52) 日本鋼管福山: 製鋼部会, 鋼 72-重 2 (昭 54.3)
- 53) 垣生泰弘, 吉井 裕, 江見俊彦, 内藤雅夫, 久々湊英雄, 今井卓雄, 森脇三郎, 児玉正範: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 458
- 54) 新日鉄君津: 製鋼部会, 鋼 77-重 1 (昭 55.11)
- 55) 飯田義治, 大森 尚, 江本寛治, 前田瑞夫, 大園秀志, 小島信司: *川崎製鉄技報*, 10 (1978), p. 328
- 56) H. SCHREWE and K. WÜNNENBERG: *Iron and Steelmaker*, 5 (1978) 12, p. 15
- 57) 飯田義治, 江本寛治, 中井一吉, 前田瑞夫, 武英雄, 小島信司: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 470
- 58) 新日鉄大分: 製鋼部会, 鋼 72-重 1 (昭 54.3)
- 59) 成田貴一, 森 隆資, 綾田研三, 藤巻正憲: *神戸製鋼技報*, 29 (1979) 3, p. 60
- 60) H. MUELLER: *Iron and Steel Intern.*, 50 (1977), p. 275
- 61) 糸山哲司, 垣生泰弘, 反町健一, 越川隆雄: *鉄と鋼*, 65, (1979), S 167
- 62) 梨和 甫, 吉田圭治, 友野 宏, 木村 隆, 辻田進: *鉄と鋼*, 66 (1980), S 856
- 63) 中森幸雄, 川口 正, 曾我 弘, 南 憲次: *鉄と鋼*, 66 (1980), S 851
- 64) 飯田義治, 前田瑞夫, 江本寛治, 山崎順次郎, 下戸研一, 平田賢二, 上田正美, 高橋 暁: *川崎製鉄技報*, 12 (1980), p. 514
- 65) 田口喜代美, 小谷野敬之, 山本圭太郎, 宮下芳雄, 宮原 忍: *鉄と鋼*, 64 (1978), A 127
- 66) H. EDMISTEN and T. WITTMER: *Iron and Steelmaker*, 5 (1978) 10, p. 25
- 67) 竹村洋三, 高橋良太, 詫摩三朗, 竹内恒夫: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 127

- 68) 住友金属鹿島：製鋼部会，鋼 68-4 (昭 52.11)
- 69) 飯田義治，大森 尚，前田瑞夫，小島信司，越川隆雄：川崎製鉄技報，12 (1980)，p. 405
- 70) J. ADAMS, C. VALDISERRI: Iron Steel Eng., 55 (1978) 5, p. 31
- 71) 太田定雄，豊田裕至，林 康代，仁賀博一：神戸製鋼技報，29 (1979) 3, p. 42
- 72) 原 千里，橋尾守規，木村智彦，小出優和：鉄と鋼，63 (1977)，S 550
- 73) 森 孝志，半明正之，白谷勇介，宮原 忍，鈴木幹雄，石川 勝：鉄と鋼，66 (1980)，S 854
- 74) 田口喜代美，小谷野敬之，佐藤秀樹，内田繁孝，川和高穂，今井奈一郎：鉄と鋼，63 (1977)，S 160, S 161
- 75) K. NETTELBECK: Iron Steel Eng., 56 (1979)，p. 45
- 76) 神戸製鋼加古川：製鋼部会，鋼 68-6 (昭 52.11)
- 77) 塗 嘉夫，大橋徹郎，広本 健，北村 修：鉄と鋼，66 (1980)，p. 618
- 78) 中川 一，島 孝次，桐生幸雄，大和田靖憲，常岡聡：鉄と鋼，64 (1978)，S 184
- 79) 竹内栄一，藤井博務，大橋徹郎，堀井義信，安江幹，山広実留：鉄と鋼，66 (1980)，S 135
- 80) 長田修次，河原田美，中島浩衛，神山藤雅：鉄と鋼，65 (1979)，S 303
- 81) 中川吉佐衛門，金成昌平，片岡健二，佐々木徹，宮田克彦，斉藤吉弘，小西敏弘，植木 茂：鉄と鋼，66 (1980)，S 295
- 82) 甲谷知勝，平川紀夫，儀間真一，鈴木康夫，長田修次，安田一美：鉄と鋼，66 (1980)，S 987
- 83) 菊竹哲夫，富田幸男，中尾仁二，永広和夫，猪狩繁範，奥村直樹：鉄と鋼，66 (1980)，S 479
- 84) 池田 清，関根稔弘，渡辺修司：鉄と鋼，62 (1976)，S 111
- 85) 山田勝彦，藤田照夫，小城邦雄：鉄と鋼，66 (1980)，S 872
- 86) 平沢猛志，升田貞和，大胡 馨，白山 章：鉄と鋼，64 (1978)，S 747
- 87) 柳沢忠昭，嬉野卓治，中西輝行，上村尚志，板倉仁志，阿久根俊幸：鉄と鋼，66 (1980)，S 274
- 88) M. AVENIA and A. GIUGA: Ironmaking and Steelmaking, 4 (1977)，p. 338
- 89) L. HARBOLD and J. EMIG: Proc. Natl. Open Hearth Basic Oxygen Steel Conf., 60 (1979)，p. 289
- 90) 川崎製鉄水島：製鋼部会，鋼 69-重 3 (昭 53.3)
- 91) 新日鉄大分：製鋼部会，鋼 69-重 1 (昭 53.3)
- 92) 日本鋼管京浜：製鋼部会，鋼 74-重 2 (昭 54.11)
- 93) 各社：第 51 回分塊分科会 (昭 55.12)
- 94) 楯 昌久，小森重喜，山上 諄，田中 久，小倉康嗣，長谷部信久：鉄と鋼，66 (1980)，S 852
- 95) 川崎製鉄水島：製鋼部会，鋼 74-重 3 (昭 54.11)
- 96) 計測部会資料，計 70-0-1 (昭 53.11)
- 97) 大西稔泰，柿原與志人，塩沢武夫，尾崎幸男，鈴木康夫，横山秀樹，年楳和義，仁村嘉孝：鉄と鋼，65 (1979)，S 657
- 98) G. READAL: Iron and Steelmaker, 4 (1977) 4, p. 36
- 99) 挾間繁宏，浜口千代勝，中島雄二，南 憲次，久保田守彦，大村 博：鉄と鋼，66 (1980)，S 185
- 100) 佐野和夫，安藤静吾，山田健夫，石黒守幸，中島広久，山田俊郎：日本鋼管技報，84 (1980)，p. 35
- 101) 橋尾守規，木村智彦，加藤裕勝，渡部忠男：鉄と鋼，65 (1979)，S 120
- 102) K. IVES: Iron Steel Eng., 57 (1980) 1, p. 74
- 103) 渡部 稔，小崎巧三，関 修，鈴木正根：鉄と鋼，66 (1980)，S 284
- 104) 橋尾守規，渡部忠男，中塚康雄，相馬正幸，広島龍夫，松井健一：鉄と鋼，65 (1979)，S 826
- 105) 白岩俊男，広島龍夫，坂本隆秀，久保幸雄，尾崎孝三郎，高橋昭夫：鉄と鋼，65 (1979)，S 825
- 106) K. BERGSTRAND and P. NILSSON: Iron Steel Eng., 57 (1980) 1, p. 59
- 107) 北川 孟，藤井 晃，三宅 苞，栗田邦夫：鉄と鋼，64 (1978)，S 743
- 108) 田麿兢則，大橋徹郎，福山 勝，江頭武二：鉄と鋼，66 (1980)，S 844, S 845
- 109) 工藤和也，木村弘之，村瀬昭次，草野昭彦，村田誠，下笠知治，大村 博：鉄と鋼，66 (1980)，S 846
- 110) 新日鉄設備技術センター：計測部会，計 69-2-1
- 111) 新日鉄八幡：計測部会，計 74-2-2 (昭 55.3)
- 112) 川崎製鉄千葉：計測部会，計 53-3-4 (昭 48.2)
- 113) 新日鉄大分：計測部会，計 65-2-6 (昭 52.2)
- 114) 小舞忠信，大崎真宏，山田 哲，加藤輝芳，松岡潔：鉄と鋼，65 (1979)，S 720
- 115) 新日鉄設備技術本部：耐火物部会，耐 26-7 (昭 54.12)
- 116) 河野拓夫，福久陽三：耐火物，30 (1978) 11, p. 638
- 117) 新日鉄設備技術本部：耐火物部会，耐 26-1 (昭 54.12)
- 118) J. COURTENAY: Steel Times, 205 (1977)，p. 165
- 119) 梶井 明，宮野治夫：耐火物，30 (1978)，11, p. 651
- 120) 中村俊夫，近藤正直，尾関秀吉，高橋成彰：耐火物，31 (1979) 4, p. 206
- 121) 住友金属鹿島：製鋼部会，鋼 72-重 4 (昭 54.2)