

共同研究会活動報告

UDC 669.18(047.2) : 669.184 : 621.74 : 621.746.047

製鋼部会の活動状況について

石原重利*

Report of the Steelmaking Committee of the Joint Research Society of ISIJ

Shigetoshi ISHIHARA

1. 概 要

製鋼部会は昭和30年第1回部会の発足以来、今日までに62回を重ね、共同研究会のなかでも最古、最多を誇るものである。この間精錬面では平炉を中心とした諸問題に取り組み、なかでも酸素の利用技術の確立に関する共同研究の成果は特筆すべきものであった。その後時流のつて昭和41年にI.D技術懇談会を吸収合体して、今日のL.D転炉時代の隆盛の技術的発展の基盤となったことはいうまでもなく、さらに着実な進歩が続けられている。凝固に関する研究では一貫して優良鋼塊製造技術に取り組み、地道な数多くの研究の積重ねによつて今日の水準に到達できた訳であるが、近年連続鑄造技術の本格的導入に呼応して、今日では部会の研究報告の大半がこの分野で占められるようになってきている。また近年の社会的、経済的背景の変動に対応する技術として、製鋼工場の自動化、省力化、環境対策あるいは省資源、省エネルギー、その他の問題もかなりのウエイトで研究の対象とされている。

製鋼部会運営の基本理念は「競争と協調」である。枠にはまらない自由な形での最新のテーマによる研究報告を中心としているので、優秀な研究報告は他を刺戟してさらに卓越した研究成果へと発展していく雰囲気にある。このような「せつきたくま」が技術の向上発展をもたらす一つの大きな原動力であり、よい意味での競争する心を失つては共同研究会の進歩は止つてしまうものと考えられる。これと相対するものとして協調の精神の必要性はいうまでもない。共通の問題の解決あるいは向上を志向する者同志の集まりの場であるので、これが基盤となつていくことはいうまでもない。このように「競争と協調」の適度な調和をはかることが肝要と考えている。

具体的な製鋼部会の運営方法は大きく分けて二部からなつている。その一つは各自が自由に選んだテーマによる研究報告および討議であつて、もう一つはあらかじめ幹事会において選出した共通テーマについて、これに

見識のある座長を中心に討議を進める場である。製鋼の分野における製鋼部会の位置は電気炉部会、特殊鋼部会および鑄型分科会と分担しているものであるが、それでもなお製鋼部会は製鋼用主副原料の問題、転炉、造塊、連続鑄造をそれぞれ中心とする諸技術、その他製鋼に関連する諸技術というように、広い分野と重要な内容を包含している。そこで自由提出議題だけでは多岐にわたつて焦点がぼけるし、共通議題だけでは最新の技術の動向に十分に対処できるとは限らないので、両者の併用によつていく訳である。

このように多岐にわたり、内容も豊富であるので、提出される研究報告および出席者は多く、部会の運営に支障をきたすこともあるので、やむをえず一部会当たり研究報告20件、出席者100名前後を目途に制限を設けている現状である。しかし開催頻度を多くすることによりこの問題を軽減するために、年3回という他の部会に例のない多くの開催頻度としている。

この外、開催地製鉄所の幹部による特別講演および工場見学は総括的な技術の現状、進歩の足どりおよび今後の発展の方向を認識するために極めて有意義である。また恒例の懇親会は和気あいあいのなかに、共通の場にある者同志がお互いに知己を得、あるいは自由な意見の交換が行なわれる貴重な場となつている。これら各種の行事は約5年ごとに開催を割当てられる製鉄所の並々ならぬ配慮によつて円滑かつ効果的に行なわれており、深く謝意を表すものである。

2. 活動状況

前に述べたごとく、製鋼部会の内容は多岐かつ豊富であるが、最近の動向を把握するの一助として、最近の共通テーマを表1にまとめて紹介する。また表2には自由提出テーマを分類して件数で示した。連続鑄造に関するものが目立つのはこの時期に量的にも質的にも大幅に伸展したのと合致している。以下に主要な技術についてその活動状況とその成果について述べる。

* 日本鉄鋼協会共同研究会製鋼部会部会長 新日本製鉄(株)取締役生産管理部長

表 1 製鋼部会における共通テーマ

部 会	開 催 時 期	共 通 テ ー マ
54	昭和48年 3月	鑄片の表面欠陥, 内質欠陥およびその防止策について
55	〃 7月	
56	〃 11月	連続鑄造の能率向上
57	昭和49年 3月	脱硫技術について
58	〃 7月	製鋼工場における省資源, 省エネルギーについて
59	〃 11月	製鋼工場における省資源, 省エネルギーについて
60	昭和50年 3月	高級厚板用連鑄材の品質向上対策
61	〃 7月	溶鋼の成分調整について
62	〃 11月	連鑄鑄片に及ぼす機械的, 物理的諸要因とその防止策について

表 2 製鋼部会における一般テーマ

部 会	一般テーマ内訳													
54	脱硫	転 炉			O ₂ メータ	REM 添加	造塊	連続鑄造						
55	転 炉			REM 添加	脱 ガ ス		造 塊	連続鑄造						
56	脱 硫	造塊	連 続 鑄 造											
57	転 炉			O ₂ メータ	造 塊	連 続 鑄 造								
58	転 炉		O ₂ メータ	REM 添加	脱ガス	造 塊	連 続 鑄 造							
59	転 炉			脱 ガ ス		連 続 鑄 造								
60	脱硫	転 炉				造 塊	連続鑄造	連鑄用語検討 小委員会報告						
61	脱 硫	転 炉	脱ガス	造 塊			連 続 鑄 造							
62	省エネルギー	転 炉		造 塊							連 続 鑄 造			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

2.1 転炉の操業技術

20年近くの歴史を経た転炉はその技術面でも数多くの進歩発展をもたらしてきた訳であるが、最近つぎの二点について特に著しい。

(1) 転炉用炉材の原単位低減

転炉用炉材の原単位は単に製鋼原価の低減のみならずエネルギー的にも重要な問題である。すなわち今日の転炉用炉材の原料は天然のものよりも海水よりマグネシアを抽出、合成したものに主として依存しているからである。図1に近年の転炉炉体寿命の最高記録を示すが、昭和45年ごろまでのゆるやかな上昇は主として炉材品質の向上によるところが大きかったが、昭和46年ごろから転炉の熱間吹付補修技術の積極的導入が進み、これにより新日鉄八幡では2000回を越えることができ、引続いて住金小倉では3000回を達成するに至った。さらに軽焼ドロマイトによるスラグコントロールの技術が附加されたことにより、新日鉄君津ではついに5000回を越えるに至った。このように従来の優秀な炉材に加えて熱間吹付補修およびスラグコントロールという炉体メンテナンス技術、転炉操業技術の向上によつて、わが国全体の転炉炉材の原単位についても図2に示すように大幅な

低減をみるに至っている。

(2) 転炉の自動制御

転炉の制御は終点における温度および炭素含有量の適中を目的としており、初期条件から終点を予測するいわゆるスタティック・コントロールによつていた。しかしこの精度には限界があり、温度および炭素含有量の同時適中率はせいぜい50%程度であつた。この精度向上のためには中間における測定値により軌道修正を行なういわゆるダイナミック・コントロールが必須とされ、信頼度の高い中間測定値を得る方法とそれによるダイナミック・モデルの開発が精力的に進められてきた。中間測定値を得る方法としてサブランス方式が開発され、各種のきめ細かい改善により、新日鉄名古屋では図3に示すようなシステムによつて同時適中率の90%を越える実績を得るに至り、永年の目標であつた転炉の自動制御はここに完成をみる事ができた。

また、このサブランス方式により、従来の転炉で倒炉して人力で测温、サンプリングを行なう作業を省くことができるようになり、転炉の作業形態を一変させることになつた。

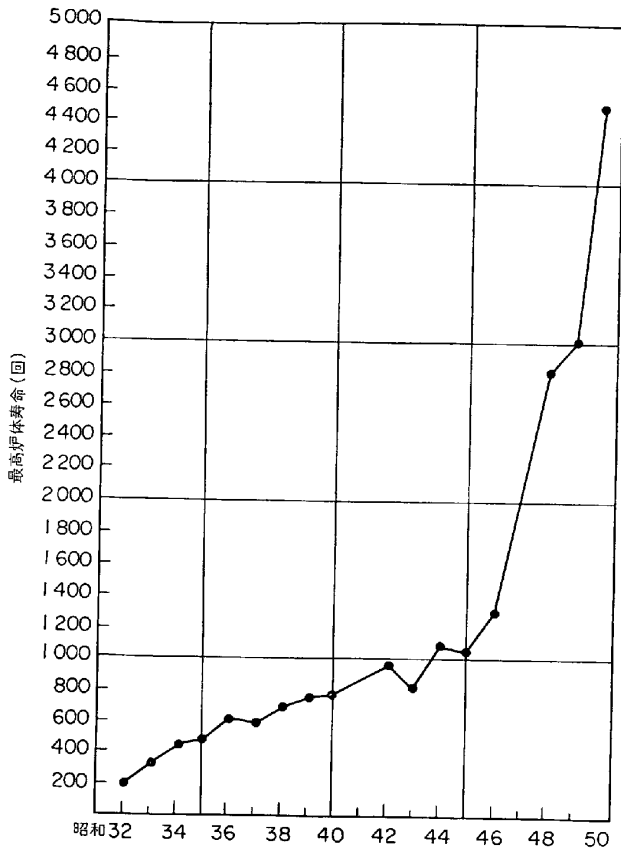


図1 最高転炉々体寿命の推移

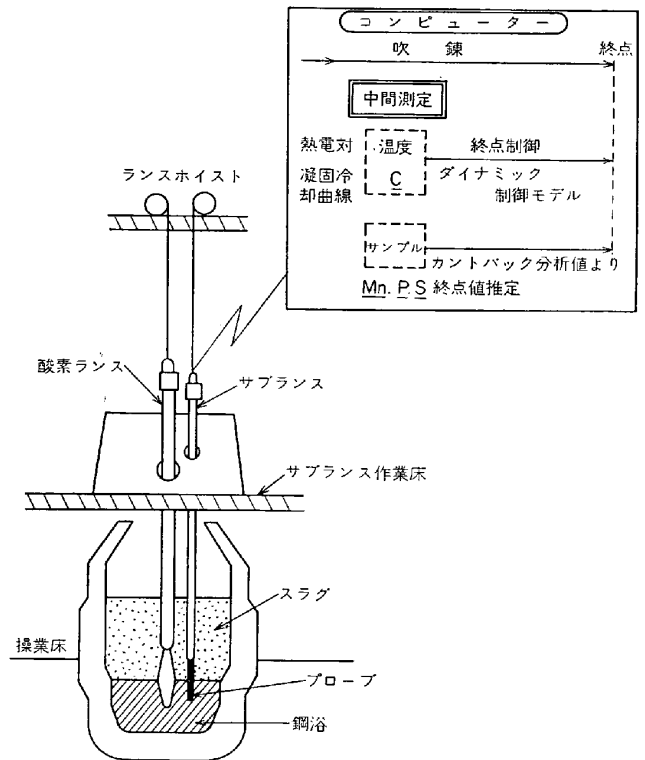


図3 サブランスによるダイナミック操業システム (鋼 59-6 新日鉄・名古屋)

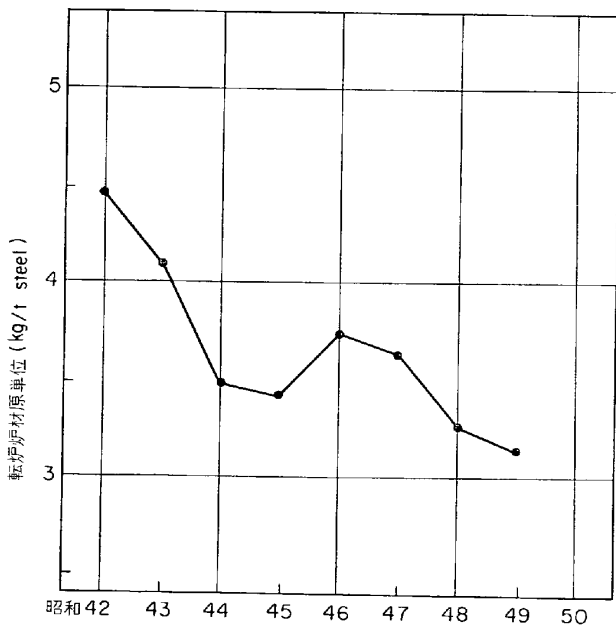


図2 転炉々材原単位の推移

2.2 溶鋼の処理技術

最近の鋼材の優秀な品質は精錬と凝固の一貫した高度の操業管理にあることはいままでのないが、さらに精錬と凝固の中間で主として取鍋において各種の処理技術を附加することにより、目的とする品質が確実かつ容易に得られるようになった。以下にその例について述べる。

(1) 酸素メーターの開発と活用

製鋼操業の管理上、鋼中の自由酸素を迅速に測定することが要望されていたが、昭和 47 年ごろから実用に供せられるようになった。これにより各種の鋼種の脱酸の解析と定量化が進んだのみならず、定常操業においても鋼中自由酸素の測定値にもとづく脱酸調整あるいはアルミニウムの添加量の調整などが実施されるようになった。たとえば新日鉄大分ではこの技術を活用してリバンド鋼製造に大きな効果をあげている。

(2) アルミニウムなどの添加技術の改善

取鍋におけるアルミニウムの添加はその比重が軽いことおよび容易に酸化されることのため、歩留の低いことによるアルミニウムの損失はもとより、精度よく鋼中アルミニウム含有量を得ることは困難であり、この問題解決のため各種の試みがなされてきた。その成果として住金と歌山ではアルミニウムを弾丸状にして溶鋼中に打込む方法により、日本鋼管福山ではワイヤー状にして高速で溶鋼中へ供給することによりこの問題を解決した。その効果の一例を図4に示すが、歩留、バラツキともに大幅な向上をみている。また住金と歌山ではカルシウムの添加についてもほぼ同様の方法で効果をあげ、鋼材の特性の改善に大きく寄与している。

2.3 造塊の操業技術

従来高温重筋作業であった造塊作業の大幅な改善が近年進んでいる。その代表的なものは取鍋におけるスライ

ディングノズルの採用であつて、これによつて注入作業も著しく省力化され、さらにクレーンスケールなどの活用によつて自動化の方向に進みつつある。附帯作業についても、鑄型内面掃除の機械化あるいはサンドスリナー法のような不定形耐火物による取鍋築造法の確立があげられる。

鋼塊の品質については永年の研究の積重ねの上にさら

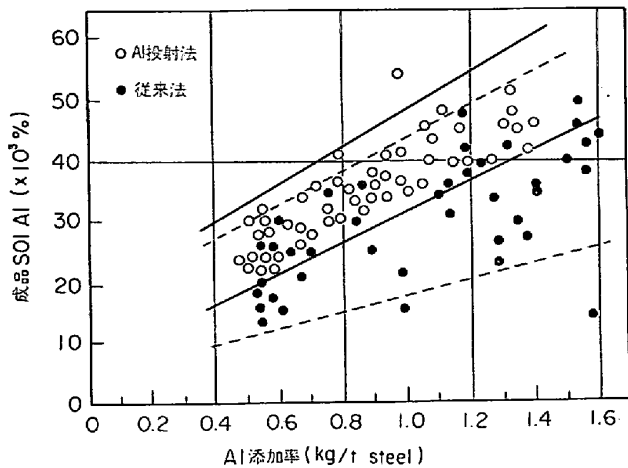


図 4 Al 添加量と成品 Sol. Al の関係 (Al-Si キルド鋼) (第53回製鋼部会(住金和歌山))

に地道な研究がなされているが、最近の成果としてキルド鋼の押湯技術および酸化防止のための湯面被覆技術が

表 3 溶鋼清浄剤使用時の超音波探傷欠陥および介在物 [第53回製鋼部会：神戸製鋼，神戸]

定盤区分	清浄剤	超音波探傷検査		介在物 (20% 鍛伸材)		Al ₂ O ₃ 粒子個数 (7.5φ)	
		検査重量 (t)	欠陥重量 (t)	ASTM No. (B系)	異形介在物 (≥50μ)	C系	B系
1	なし	22.0	0.44	3.0~4.5	0	100	100
2	A	22.0	0	1.5~2.0	1	69	9
3	B	22.0	0	1.0~2.0	0	63	17

注 1) 鋼下成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0.14	0.05	0.48	0.009	0.010	0.035

注 2) 下注造塊，清浄剤は注入管に投入。

注 3) 各定盤の全鋼片 (110φ ピレット T~B) についての調査結果。

注 4) Al₂O₃ 粒子個数とは全鋼塊の T~B に相当する線材の定位置から 7.5×25.0 の試料を採取し、1 試料について倍率 400 倍で 400 視野測定し、全視野の中に検出された Al₂O₃ の粒子個数を数えたもの (指数値)。

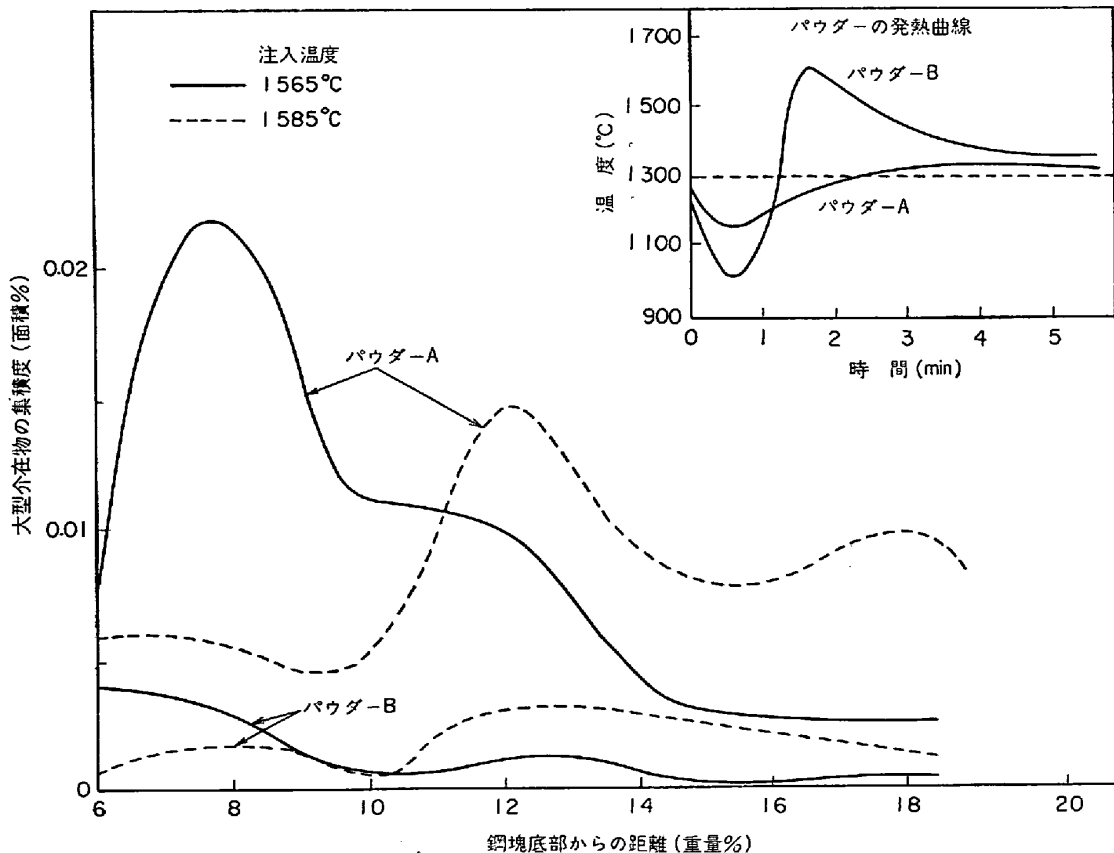


図 5 パウダーの種類と鋼塊高さ方向の大型介在物 (≥50 μ) の分布状況 [第 33 回製鋼部会：川崎製鉄，千葉・技研]

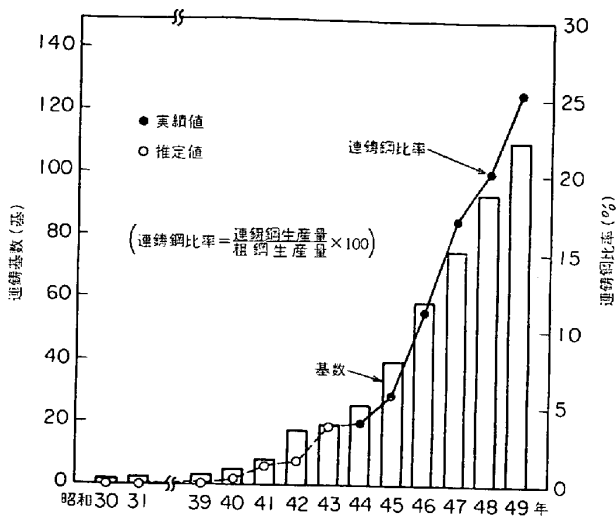


図6 日本における連铸基数と連铸鋼比率の推移

あげられる。押湯保温剤については鋼塊内質におよぼす影響が認識され、たとえば図5に示すような早期発熱型高発熱パウダーの効果が著しい。また酸化防止湯面被覆剤の改良は鋼塊表面疵の改善に大きく寄与し、たとえば表3に示すように適当な材料の選択により大きな効果をあげている。

一方近年たとえば原子力用鋼材のような大単重鋼塊の製造が増加しているため、これに関する研究報告も目立っている。

2.4 連続鑄造の操業技術

連続鑄造は図6に示すように近年急速に発展してきた技術である。このため製鋼部会における連続鑄造の操業技術に関する研究は極めて活発であり、その内容の一端を以下に述べる。

(1) 連続鑄造用語の統一

連続鑄造はその歴史が新しく、現在も発展しつつある技術であるため、用語についての統一を欠き、同じ用語であつてもその内容はかならずしも同一の内容を意味しないことも多く、ときには同一の用語が全く逆の現象を意図して使用されることさえあつた。このような事情から部会において用語および定義の統一の必要が生じたので、昭和49年に各社における連続鑄造用語の使用状況を整理し、可能なかぎり統一をはかるべく検討することを目的に小委員会を設置した。小委員会は野崎主査(神戸製鋼)以下委員6名で構成し、5回にわたる検討の結果、「連铸用語検討小委員会報告書」(50鉄共研第2006号)を作成した。その内容は膨大であるのでここでは省略せざるをえないが、部会における発表、討論を円滑にすることを目的に用語、定義の比較、整理を第一段階とし、その後統一の必要性が大きく、かつ各社が統一できる可能性のある用語については統一する方向で検討を進めた結果、推奨用語を設定したものである。

(2) 連続鑄造鑄片の品質向上

従来ほとんどすべての鋼片は造塊、分塊法によつて製

表4 連铸鑄片の主な内部欠陥とその生成原因、防止策

欠陥名	生成原因	防止策
中心偏析 (Sバンド) ※ センターポロシティも含む	<ul style="list-style-type: none"> クレーター先端部でのブリッジ生成 (→ポロシティ生成) に伴う濃化溶鋼の移動 バルジングによる濃化溶鋼の移動 (絞り出し) 	<ul style="list-style-type: none"> 等軸晶化 <ul style="list-style-type: none"> 低温鑄造 低比水量, 低速鑄造 電磁攪拌 REM添加 バルジングの防止 <ul style="list-style-type: none"> ロールアラインメントの管理, ロール整備 ロールピッチの短縮 高比水量 (シエルの強度増) 鑄造速度の規制 その他 <ul style="list-style-type: none"> [S]規制 REM添加 (S偏析の軽減)
大型介在物	<ul style="list-style-type: none"> 耐火物粒, パウダー, タンディッシュ清浄剤, 脱酸生成物, 溶鋼の空気酸化物, ノズル洗いによる生成酸化物など 鑄型注入流の侵入深さ過度 	<ul style="list-style-type: none"> 耐火物材質の選択 パウダーキャストイング, パウダーの選択 タンディッシュでの清浄剤使用 シール鑄造 適正な脱酸 高温鑄造, 溶鋼温度管理 タンディッシュの形状 (容量, 堰など) マシンプロフィール (垂直部) 浸漬ノズルの形状改善
内部割れ —— 中心割れ	<ul style="list-style-type: none"> バルジング歪み 矯正歪み 引拔ロールの強圧下 	<ul style="list-style-type: none"> バルジングの防止 (前述) 多点矯正 圧下力の上限規制

表 5 連続鋳片の主な表面欠陥とその生成原因, 防止策

欠 陥 名		生 成 原 因	防 止 策
割れ	縦割れ	<ul style="list-style-type: none"> 不均一シェル生成 ——パウダーの過剰流入, 局所流入 鋳型抜熱の不均一, 菱形変形 シェルの熱間強度不足 (高 S) 	<ul style="list-style-type: none"> パウダーの選択と管理 (粘性, 溶融速度, 溶融温度) 鋳造速度に応じた適正なスプレーパターンの設定 間接冷却 (ウォーキングバーなど) 浸漬ノズル形状の適正化 鋳型デザインの適正化 (テーパ, コーナー部の冷却など) [S] の管理
	横割れ	<ul style="list-style-type: none"> オシレーションマーク部への応力集中 ——矯正力 ——鋳造速度変動, パウダーの不均一流入によるシェルの凝固遅れ (→鋳型下降時に押しつぶし) 鋳片と鋳型間の摩擦力大 鋳片の割れ感受性大——AIN の析出 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却パターンの適正化 (復熱防止, 鋳片表面温度の管理, 間接冷却) パウダーの選択と管理 オイルパウダーキャスト 湯面変動の防止 (操業管理, 湯面レベルコントロール) オンレーションの改善 鋳型テーパの適正化 Al の管理
	ひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> Cu 脆性, AIN の析出による脆性 局所的な応力集中 ——高速鋳造, 矯正時の応力集中 (特に Nb, V 添加鋼に多い) 	<ul style="list-style-type: none"> 鋳型の Cr メッキ Al の管理, N の管理 パウダーの管理 鋳造速度に応じた適正なスプレーパターン (均一冷却, 鋳片表面温度管理)
のろかみ (スカム疵, パウダー疵)		<ul style="list-style-type: none"> スカム, パウダーの捲きこみ ——パウダーの性質不適 ——湯面変動 ——オシレーション不適 	<ul style="list-style-type: none"> パウダーの選択 (アルミナの吸収能・溶解能) 湯面変動の防止 (操業管理, レベルコントロール) オシレーションの適正化 (小ストローク) 清浄鋼の製造 (脱酸・温度管理など)
表層部アルミナクラスト		<ul style="list-style-type: none"> (上記のほかに) 溶鋼の酸化 (特に注入流の空気酸化) 鋳型内溶鋼流れの不良 	<ul style="list-style-type: none"> (上記のほかに) シール鋳造 (取鍋～タンディッシュ間, 浸漬ノズル, 浸漬ノズル接合部のシール) Al のバラツキ, 的中率の管理 浸漬ノズルの形状改善
表面気泡 (ピンホール, ブロー疵)		<ul style="list-style-type: none"> CO, H₂ 未溶解パウダーの捲きこみ 	<ul style="list-style-type: none"> 脱酸条件の適正化, [H] の管理 パウダーの管理 湯面変動の防止 (前述)

造されており, この鋼片から製造された鋼材は永年の技術の蓄積の上に信頼度の高いものである. ここにおいて新入の連続鋳造機は実績および経験の浅さとたとえば中心偏析のような連続鋳造機特有の欠陥のため鋼塊材よりも低位にあつたことはやむをえないところであつた. これを鋳片品質の観点からみると, 表面疵, 中心偏析, 大型非金属介在物の軽減, 改善の問題に絞られる. これらについては部会においてあらゆる角度から重点的に討議が重ねられてきた訳であるが, その概要を表 4 および表 5 にまとめて示す. 表 4 は連続鋳造鋳片の主な内部欠陥とその生成原因, 防止策であり, 表 5 は連続鋳造鋳片の主な表面欠陥とその生成原因, 防止策であるが, これらにみられるような諸対策によりその品質は著しく向上している. その結果, 今日では連続鋳造材の適用が可能な範囲は厚板, 熱冷延板, 条鋼, 線材などほとんど全ての分野の合金鋼をも含む大部分に及んでいる. 高級鋼種に

なるほど高い品質水準, 材料特性が要求されるのはいうまでもないが, この問題もほぼ克服したといつて過言ではなからう. たとえば厚板用鋼では 40 kg/mm² 級のほぼ全品種がすでに連続鋳造適用可となつており, 現在では 50 kg/mm² 級からさらに 60 kg/mm² 級の一部のものについての連続鋳造化が積極的に進められている. またラインパイプ用鋼では APIX 60~65 級までが可能となつている. 一方ブリキ用鋼板のようにその硬度の均一性のために連続鋳造材ではなくてはならないものも出現している. 概していえばもはや連続鋳造材は鋼塊材と比して何等遜色のない地位を固めたといえよう.

(3) 連続鋳造の生産性の向上

すでに述べたように連続鋳造材の品質の向上に伴う鋼種拡大と原価的メリットの認識により, 量的拡大の要請が強かつた. このため設備の増強あるいは新設が行なわれる一方, 操業面での生産性の向上意欲が高まつた. 連

表 6 連鑄の生産性向上のための諸対策

1. 単位鑄造時間当たりの鑄造量増	① 高速鑄造—— <ul style="list-style-type: none"> • 二次冷却帯の延長 • 二次冷却強度の増大（高比水量，スクウェアノズルなど） • 鑄型下での鑄片保持・冷却（クーリングプレート，クーリンググリッド） ② 倍尺（幅）鑄造，ツイン鑄造
2. 準備時間，サイズ替え時間そのものの短縮	① クイックチェンジ方式，ロール間隔調整の遠隔操作 ② ダミーバー上方挿入，空気式ダミーバー
3. 連々鑄による準備時間比率の減少	① タンディッシュ寿命の向上——ライニング材質，ストッパーの材質・形状の選択 ② 浸漬ノズル寿命の向上—— <ul style="list-style-type: none"> • (ノズル詰り)…溶鋼温度管理，ガススリーブノズル • (ノズル溶損)…耐火物材質の選択 • 浸漬ノズル交換 ③ 設備・レイアウト上の対策——レードルカー，スウィングタワー，タンディッシュの迅速交換 ④ 製鋼炉とのマッチング—— <ul style="list-style-type: none"> • 出鋼，鑄造のタイムスケジュール管理 • 取鍋での待機 • 連鑄での時間調整（鑄造時間の調整，高速鑄造） ⑤ 工程管理——ロット集約，チャージ編成

連続鑄造の生産性の向上についても部会で重点的に論議されたが，その概要を表6にまとめて示す。生産性向上のためには鑄造速度の増大と稼働率の向上に加えて連続鑄造特有の問題として連々鑄率の向上が大きな要素を占めている。連々鑄率向上のための各種の努力の成果として日本鋼管京浜では270ヒートの連々鑄という記録を樹立している。一方連続鑄造機1基当たりの月産記録としては新日鉄大分の162000tがある。

3. 結 言

以上，製鋼部会の活動状況についてその現況と技術面における若干の成果について述べた。

製鋼部会の分担するところは一貫製鉄所における前後工程をつなぐ要に位置し，技術的にもいろいろな操作が加えやすく，しかもその影響の度合は大きいものがある。製鋼における操業の管理，改善，開発など技術力の向上は極めて重要であることはいうまでもない。その基盤となつている製鋼部会の運営，活動の重要性を考えると今後一層の発展を期して努力を続けたい。