
製鋼研究 10 年の歩み

Recent Activities in Research of Steelmaking

反町 健一(Kenichi Sorimachi)

要旨：

製鋼研究部門の過去 10 年間ににおける研究開発技術についてまとめた。過去 10 年間に
いては、製鋼プロセスの総合完成度を高め鋼材の品質と特性の向上に努めるべく、各種新
技術開発を進めた。また主要技術の紹介として、精錬分野では、極低炭素鋼の大量生産技
術、クロム鉱石の溶融還元法を中心としたステンレス鋼の新しい溶製プロセス開発などを、
凝固分野では電磁気力を利用した鋳型内溶鋼流動制御 (FC ÷ Mold), タンディッシュにおけ
る介在物除去法 (CF tundish) およびブルームの中心偏析改善のための連続鍛圧法などの
開発について述べた。

Synopsis：

The last decade activities in steelmaking research laboratory at Kawasaki Steel have
been described. The main activities were concentrated on high productivity, high quality,
and cost reduction process to compete with the world wide market. The following newly
developed technology has been also discussed: high efficient production method for ultra
low carbon steel, a Cr ore smelting reduction method in top and bottom blowing
converter, the new electromagnetic brake for the molten steel in the mold (FC mold),
separation of inclusions from molten steel in a tundish (CF T/D) and continuous forging
process.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Recent Activities in Research of Steelmaking



反町 健一
Kenichi Sorimachi
技術研究所 製鋼研究
部門長・工博

要旨

製鋼研究部門の過去 10 年間における研究開発技術についてまとめた。過去 10 年間においては、製鋼プロセスの総合完成度を高め鋼材の品質と特性の向上に努めるべく、各種新技術開発を進めた。また主要技術の紹介として、精錬分野では、極低炭素鋼の大量生産技術、クロム鉱石の溶融還元法を中心としたステンレス鋼の新しい溶製プロセス開発などを、凝固分野では電磁気力を利用した鋳型内溶鋼流動制御 (FC-Mold)、タンディッシュにおける介在物除去法 (CF tundish) およびブルームの中心偏析改善のための連続鍛圧法などの開発について述べた。

Synopsis:

The last decade activities in steelmaking research laboratory at Kawasaki Steel have been described. The main activities were concentrated on high productivity, high quality, and cost reduction process to compete with the world wide market. The following newly developed technology has been also discussed: high efficient production method for ultra low carbon steel, a Cr ore smelting reduction method in top and bottom blowing converter, the new electromagnetic brake for the molten steel in the mold (FC mold), separation of inclusions from molten steel in a tundish (CF T/D) and continuous forging process.

1 緒 言

製鋼工程は製品の品質とコストを決定する上で重要な工程である。近年需要家からの鋼材の要求特性の高度化に合わせて製鋼工程への要求も高度でかつ多様なものになりつつある。過去 30 年の歴史を俯瞰してみると、最初の 20 年間は精錬・凝固プロセスにそれぞれ転が・連続鋳造プロセスが導入され、両プロセスの最適化により粗鋼生産量の増加、歩留まり、および生産性の大幅向上を果たした時代であった。ひるがえって、最近の 10 年間は転が・連続鋳造プロセスが確立された後に鋼材品質の向上に対応するべく製鋼プロセスの総合完成度を高めた時代であったと言える。自動車用鋼板を中心とした極低炭素鋼を、大量安価かつ高品質の下に製造する技術確立したのが最も代表的な例と言えよう。当社においては 10 年間に、高品質の鋼を製造するため水島製鉄所において 4RH の新設や第 4 連続鋳造設備の建設を、千葉製鉄所においても 3RH の増強を進めた。

また、この 10 年間はステンレス鋼の需要が増加するとともに品質向上の要求が高くなった時期と言うことができる。この要求に応えるべく、千葉製鉄所にステンレス専用の第 4 製鋼工場が建設された。

製鋼研究部門では、上に述べた新工場の建設に際して高純度化お

よびコストダウンを実現するべく新技術を開発・導入することに注力してきた。さらに、次世代に重要となる環境・リサイクル問題や省エネルギーにも研究を進めてきた。新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) および金属系材料研究開発センター (JRCM) が通商産業省の補助金を受けて実施している「環境調和型金属系素材同生利用基盤技術の研究 (新製鋼プロセスフォーラム)」および、JRCM が通商産業省の補助金を受けて実施している「エネルギー使用合理化金属製造プロセス (電磁気力プロジェクト)」がその代表である。

本論文では、まず精錬および連続鋳造分野における技術変遷について述べる。ついで、主要な技術開発について個別に述べる。

2 製鋼研究部門の過去 10 年間の技術の概略

2.1 精錬分野の技術概要

この 10 年間に行われた精錬プロセスに係る当社の技術開発を概観すると、極低炭素鋼の大量生産技術の確立¹⁾、クロム鉱石の溶融還元法をベースとしたステンレス鋼の新しい溶製プロセス開発²⁾、および新ステンレス製鋼工場稼働による高効率生産プロセスの研究開発³⁾に集約される。これらは後に詳述するので、これら以外の精錬プロセスの研究開発に関して述べる。

溶鉄予備処理プロセスにおいては処理比率を 100% に近づけるため高速処理が行える手段を研究した。また、予備処理における熱バ

* 平成10年10月26日原稿受付

ランス改善を目的に、安価な単管ランスから気体酸素を吹き込む方法を開発した³⁾。さらにその後「製鋼スラグ極少化研究会」⁴⁾などの活動を通して溶鉄予備処理プロセスの最適化と反応機構の明確化の研究を継続している。

普通鋼の転炉精錬に関しては、底吹き転炉において吹錬末期の酸素流量と羽口圧力を変化させ、吹錬の最適化を図る研究を行った⁵⁾。またステンレス鋼の脱炭精錬炉におけるクロム酸化ロスの低減のため吹錬末期における上吹きランスからの N_2 吹きおよびスラグ組成適正化によりスラグ/メタル反応を促進する研究を行い、実機操業のコストダウンに寄与した⁶⁾。

二次精錬に関しては、RH 環流式真空脱ガス設備 (RH) における酸素上吹き法 (KTB 法) について反応モデルを用いて最適化した⁷⁾。この技術はその後日本の鉄鋼他社にも導入され、現在も世界中で販売されている。また引き続き、後述する極低炭素鋼の大量生産技術開発に注力した。同時に極低炭素鋼の製品欠陥の原因となる Al_2O_3 の生成を抑えるため、転炉出鋼以降の Al_2O_3 生成とその原因について調査を行い、取鍋スラグ中酸化物の還元処理を積極的に行う方法 (スラグ改質) の研究を行った⁸⁾。現在も簡便にかつ確実にスラグ改質する手段に関しては研究を継続している。その他 RH において従来明確にされていなかった取鍋内溶鋼の均一度の影響を三次元流動解析と数値モデルにより解析し、取鍋内にデッドゾーンはほとんど存在せず完全混合と見なしてもほぼ問題ないことを明らかにした⁹⁾。

またステンレス鋼においては、第 1 製鋼工場 RH で上吹き法 (KTB 法) により酸素吹精を行い二次精錬における脱炭の最適化を行った¹⁰⁾。その後新ステンレス製鋼工場では、全量 VOD 処理を行うプロセスを採用した¹¹⁾。VOD 精錬では製品の表面品質に大きく影響する介在物組成とその形態制御が重要であり、基礎実験や実機実験によりスラグ組成、攪拌条件と介在物組成との関係などを明確にする研究を行った¹²⁾。当社の特色である極低炭素、低窒素フェライト系ステンレス鋼の高効率・高品質溶製に加え、一般ステンレス鋼に関してもこれらの研究が寄与している。

2.2 連続 casting 分野

連続 casting、凝固分野では、10 年間の研究開発は、電磁力を用いた鋳型内流動制御技術 (FC mold)、およびステンレス鋼におけるタンディッシュ内の介在物除去技術 (CF tundish) に代表される清浄度向上技術と新連続 casting 機における高速 casting 技術に集約されるといえる。また、水島製鉄所ではブルームの中心偏析改善を目的に連続鍛圧法における偏析制御技術の開発が行われ、高級軸受け鋼などに適用された。これらの技術については後に詳述するので、ここではそれ以外の技術開発について述べる。

冷間圧延鋼板のフクレ欠陥を主に防止するため 4 孔ノズルの開発¹³⁾や、モールドパウダー欠陥の防止を目的に水モデルによるパウダー巻き込み現象の研究¹⁴⁾などを行い、その後の鋳型内流動制御の研究開発の発展に寄与した。フクレや介在物の欠陥を解明するべく、介在物や気泡のシェルへの付着性¹⁵⁾や鋳型内溶鋼での挙動¹⁶⁾についても研究を行った。鋳片の表面品質やフクレについて影響の大きいノズル詰まりについても水モデルやホットモデル実験により種々の調査検討を行った¹⁷⁾。

鋳型内での現象を理解するために、気泡分散モデルを用いた 4 孔ノズルによる鋳型内気泡濃度の検討¹⁸⁾や電磁流動制御における介在物や気泡の粒子の軌跡の解析¹⁹⁾などの溶鋼流動数値解析を行い、その解析手法も高度化した。タンディッシュ内溶鋼流動についても熱対流を考慮した介在物の浮上性の検討やアルミナクラスターの凝集体の解析²⁰⁾を行った。

5t 規模の試験連続 casting 機を建設し、オシレーションマーク部 (OSM) の偏析軽減や鋳型鋳片間の摩擦抵抗軽減を目的とした鋳型の水平振動法²¹⁾や、鋳型内緩冷却化を得る析出強化型 Ni 基合金鋳型の開発²²⁾、未凝固ロール多段圧下 casting 法による内部割れ限界歪の検討²³⁾などを検討した。

電磁力の利用は、後に述べる FC Mold や CF T/D に実用化されているが、その他、タンディッシュの流動制御²⁴⁾や単孔ストレートノズルとの組み合わせ²⁵⁾も試みた。また超伝導磁石を応用した鋳型内流動制御についても現在国家プロジェクトで取り組んでいる。

その他薄鋼板の表面品質の厳格化にともない、OSM の形成機構解明のための潤滑シミュレーション²⁶⁾や、OSM 部爪深さに及ぼすパウダ粘度の影響や表面偏析の発生機構の検討²⁷⁾、OSM 生成機構やパウダ消費機構を解明するためのコールドモデル実験²⁸⁾や銅の連続 casting 初期凝固の直接観察²⁹⁾などを行った。モールドパウダに関しては伝熱特性の評価や凝固温度について研究を行った³⁰⁾。

3 主要開発技術概要

3.1 極低炭素鋼脱炭促進技術の開発³¹⁾

自動車用鋼板を中心とした加工性の優れた冷間圧延鋼板製造のために、 $[C] < 10 \sim 15 \text{ ppm}$ の極低炭素鋼の大量溶製技術確立することが必要となった。そこで、RH における極低炭素濃度域の高速脱炭技術の開発を行った。

3.1.1 化学工学的アプローチによる RH 装置条件の検討

従来より溶鋼環流速度の増大が脱炭促進に効果的であることが知られていたが、環流管径の大幅な拡大は設備改造費およびランニングコストの増大を招くうえ、脱炭反応の停滞する極低炭素濃度域における効果は不明確であり、装置設計の基準もなかった。そこで、水島製鉄所 2RH において、従来にない大径環流管と真空槽断面積を有する大型下部槽を用いた実験を行った。大型下部槽により脱炭速度は大幅に向上し、さらに脱炭速度の解析を進めた結果、環流速度の増大は反応界面積の増大にも効果的であることが分かった。これらの知見をもとに装置条件に対して脱炭速度定数を推定し、要求される C 濃度 ($[C]$) と操業条件に適する装置条件を設計することが可能となった。現在水島製鉄所 4RH、千葉製鉄所 3RH において $\phi 0.75 \text{ m}$ の環流管を工程的に使用しており、 $[C] \leq 15 \text{ ppm}$ の極低炭素鋼を大量溶製している。

3.1.2 RH 水素吹き込み法による $[C] \leq 10 \text{ ppm}$ の溶製技術³²⁾

極低炭素濃度域における脱炭速度の低下は、真空槽内での CO ボイリングの減少により気液界面積が減少するためと考えられている³³⁾。そこで環流ガスとして大量の水素ガスを吹き込んで溶鋼中に溶解させ、通常 CO ボイリングが減少する極低炭素濃度域においても真空槽内での気泡生成の駆動力を高位に維持することにより、脱炭速度を向上することを検討した。水素ガスを $3 \sim 4 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 吹き込むことにより $[H] \approx 3 \text{ ppm}$ まで上昇可能であり、これにより $[C] = 20 \sim 10 \text{ ppm}$ での脱炭速度定数は 0.05 min^{-1} から 0.1 min^{-1} に増大し、最低到達 $[C] = 4 \text{ ppm}$ が可能となった。Fig. 1 に示すように環流管径の拡大によらずとも、比較的短い処理時間で $[C] \leq 10 \text{ ppm}$ を安定して溶製することが可能となった。

3.2 クロム鋇石溶融還元法によるステンレス鋼製造技術の開発²⁾

1985 年よりすでに第 1 製鋼工場において 2 基の上底吹き転炉 (K-BOP) を用いた溶融還元プロセスを採用していたが、連々鋳の casting

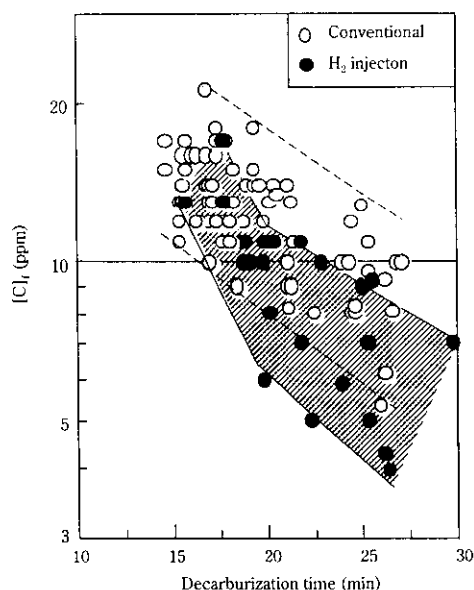


Fig. 1 Relation between final [C] and decarburization treatment time in H_2 injection method and conventional method

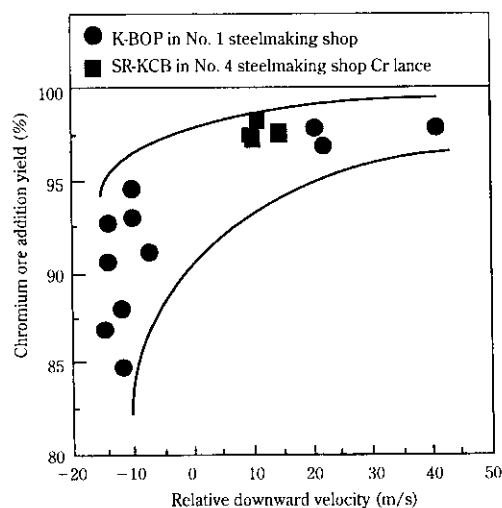


Fig. 2 Relation between chromium ore addition yield and relative downward velocity calculated as the difference between downward velocity of chromium ore and that of gas

時間以内に短時間で処理するために原料として半還元クロムペレットを用い溶融還元を行っていた。第4製鋼工場では、多量の電力を使用するフェロクロムの使用を最小にし、クロム鉱石を直接還元する新溶融還元炉について検討を進めた。

世界で産出されるクロム鉱石の大半は砂状であり、添加方法によっては排ガス系への飛散ロスが懸念される。そこで、事前に第1製鋼工場でもクロム鉱石添加実験を行い、種々の添加方法の得失を比較した。その結果、ランスを通じてクロム鉱石を炉内に直接添加する方法がクロム鉱石を歩留まり良く添加する点で有利であることを確認した。さらに、流体解析プログラム“PHOENICS”を用いて転炉内ガス流れの数値解析を行い、Fig. 2に示すように炉内下向き相対速度（鉱石の落下速度－炉内ガス上向き流速）で鉱石の添加効率が整理でき、下向き流れの生じる炉内中心近傍にクロム鉱石を直接添加する方法が適切であることを明らかとした。

上述の実験結果および数値解析結果から新製鋼工場では、クロム

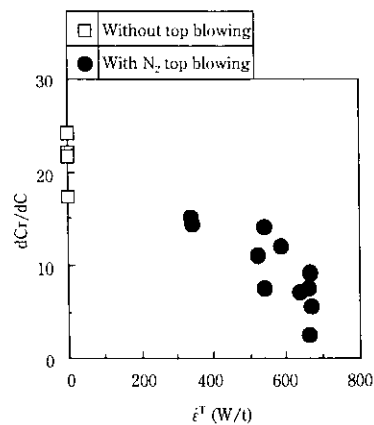


Fig. 3 Effect of N_2 blowing method with top lance in the final stage of decarburization in DC-KCB (ϵ^T : Stirring energy by top blowing N_2 (W/t))

鉱石専用投入ランスを採用した。クロム鉱石投入ランスは、上吹きランスと独立に昇降機能を有し、溶融還元期にのみ下降し、クロム鉱石を投入する。

溶融還元炉では、その他に多量のスラグを炉内に滞留できるため、炉容積の拡大、酸素供給速度の大幅増加（最大 $950 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ）、および底吹きガスの流量増加を行った。また、同時にステンレス鋼スクラップの大量使用にも対応可能な設備とした。

3.3 強攪拌上底吹き転炉-VOD 複合脱炭による高速脱炭技術の開発²⁾

$[C] < 1.0\%$ の低炭素濃度域では、耐火物の溶損防止とクロム酸化を抑制するため 1700°C 前後の狭い温度範囲にコントロールする技術が必要となる。当社では第1製鋼工場より実験を重ね、クロム酸化を低減しつつ溶鋼温度上昇を抑制する技術として、吹錬末期に上吹きランスから窒素ガスを吹き付ける技術（上吹き N_2 法）を開発した。吹錬末期に上吹き N_2 を用いることで底吹き羽口の酸素供給速度を維持したままクロム酸化を抑制できる。Fig. 3に低炭素濃度域でのクロム酸化量と上吹き N_2 の攪拌力の関係を示す。上吹き N_2 法では、 N_2 流量の増加以外に、ランスを低下させハードブローにすることでクロム酸化が小さくなっており、上吹き N_2 法の効果はスラグ金属の攪拌力増加効果によると考えられる。また、脱炭炉（DC-KCB）と VOD の処理時間の合計を最小とする複合脱炭プロセスを採用することにより、脱炭炉と VOD の処理時間の均等化とクロム酸化の最小化を可能としている。以上述べたステンレス専用新製鋼工場は 1994 年 7 月に稼働を開始し、当社の主原料戦略に合わせたステンレス鋼の合理的な溶製を続けている。

3.4 FC モールドによる鋳型内溶鋼流動制御³⁴⁾

湾曲型連铸機の内部品質および生産性の向上を目的に開発されていた電磁ブレーキ（EMBR）は、湯面の沈静化や内部介在物の低減に効果を発揮していたが³⁴⁾、鋳造速度の増大には限界があった。

湾曲型連続鋳造機を基に開発された第一世代電磁ブレーキの弱点を改良して、高速鋳造に対する第二世代電磁ブレーキとして FC モールド（flow control mold）を開発した。FC モールドは特に表面欠陥の発生しやすい極低炭素鋼の鋳造において威力を発揮するように、Fig. 4に示すように鋳型長片面の全幅に幅方向に一樣な、切れ目のない磁場をメニスカス部と鋳型下部の上下 2 段に配置した構造となっている。従来型 EMBR ではノズルからの吐出流に制動をか

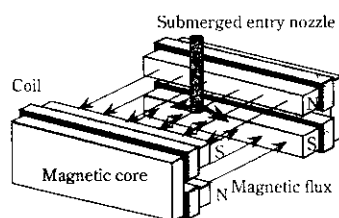


Fig. 4 Schematic illustration of the FC mold

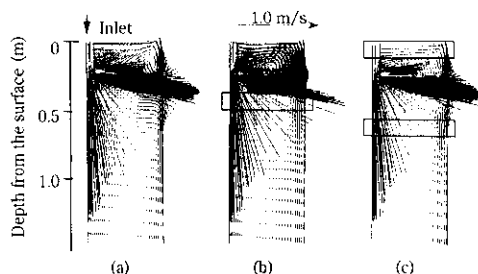


Fig. 5 Calculated velocity patterns of liquid flow in the centerline section of a mold: (a) without magnetic field, (b) with 1 pair of magnetic poles, (c) with 2 pairs of magnetic poles (FC mold)

け流れを分散させるようにしていたが、FC モールドでは上下の磁場の間にノズルからの流れを閉じ込めるように改善された。Fig. 5 に流動解析による厚み中心位置でのフローパターンを示す。(a) 磁場印可なし、(b) 一段磁場印可、(c) 二段磁場印可を比較すると、磁場印可がない (a) の流れに比べて、磁場印可を行う (b)、(c) いずれもモールド下部での流速の均一化が実現されている。さらに、表面近傍での流れに注目すると、(b) の一段磁場印可の場合に比べ、(c) の二段磁場により表面部の流速が低減されていることが分かる。

すなわち、メニスカス部に配置された上極により溶鋼表面の水平流速の低減と安定化を図り、かつメニスカスレベル変動を大幅に減少させるとともに、鋳型下部の下極により短辺下降流速が低減され、鋳型下部からの流れがプラグフロー化する。この二段磁場印可による鋳型内の流れの制御により、湯面でのモールドパウダーの巻き込みが減少し、また鋳片内部への大型介在物や気泡の侵入が抑制される。

自動車用極低炭素鋼の製品板において FC モールドを使用しない場合は、鋳造速度が 1.7 m/min を超えると表面欠陥の発生率が急上昇する。一方、FC モールドを使用した場合には、鋳造速度によらず表面欠陥発生率は 1/2 以下である。さらに缶用ぶき鋼板の磁粉探傷試験によると FC モールド印加により磁粉探傷指数は 1/2 以下に減少しており、内部品質も大幅に改善する。FC モールドは現在水島製鉄所第 4 連続鋳造設備、千葉製鉄所第 3 連続鋳造設備で工程化され、スラブの表面ならびに内部品質の向上と生産性の向上に寄与している。

3.5 遠心分離タンディッシュの開発³⁵⁾

高純度鋼のニーズの高まりから、当社のアルミキルドステンレス鋼では、遠心分離タンディッシュを工程化し、溶鋼の清浄化を促進している。Fig. 6 に遠心分離タンディッシュの概念を示す。タンディッシュの溶鋼供給側を円筒形として、リニアモーターによって溶鋼に水平回転流を与え、遠心分離の原理によって、溶鋼より比重の小さい介在物を回転軸芯部に集中分離する。また回転流による乱流によって介在物間の合体、凝集が促進され、また、水平回転流に

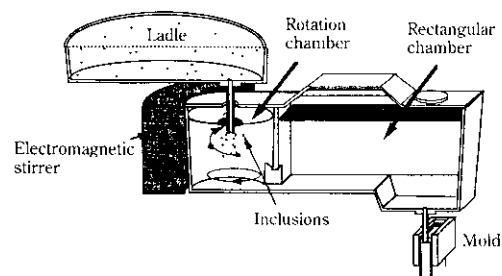


Fig. 6 Schematic illustration of the centrifugal flow tundish (CF tundish)

より、垂直方向の流れが変化し、取鍋—鋳型間の溶鋼流路の短絡流を抑制するため、取鍋交換部のスラグ分離が促進される。

以上の機構から、遠心分離タンディッシュは、0.5 min⁻¹ 以上という大きな脱酸速度定数を持ち、RH 脱ガスの 0.1~0.2 min⁻¹ 以上の大きな脱酸能を有している³⁶⁾。その結果、当社のアルミキルドステンレス鋼では、タンディッシュでの全酸素値が 5~10 ppm となり、浸漬ノズル詰まりなく、表面性状の優れた鋼板を製造できるようになっている。

3.6 ステンレス鋼・高炭素鋼の高速鋳造

千葉製鉄所第 4 連続鋳造機は、主にステンレス鋼、高炭素鋼スラブの高速鋳造化と高品質化を両立させることを指向して建設された。このため、高炭素鋼 ([C] ≧ 1.3 mass%) 鋳造用としては例のない垂直曲げ型を採用している³⁷⁾。鋳型振動条件や浸漬ノズル形状の最適化、および二次元凝固計算による二次冷却パターンの最適化とクレーターエンド位置把握などにより、SUS304、430 などの量産ステンレス鋼の最大鋳造速度はそれぞれ 1.6、1.3 m/min と、千葉製鉄所第 1 連続鋳造機（湾曲型）でのそれに比べて 30~60% 増加している。SK2 ([C] = 1.3 mass%) の場合は、同様の対応で最大 0.9 m/min と 50% 増速での安定鋳造を達成している。この大幅な鋳造速度増加にも関わらず、これにともなう表面割れ、品質劣化は見られず、良好な品質の製品を製造している。特に UT 不良は大幅に減少した³⁸⁾。自動車排ガス浄化用触媒コンバーターのメタルハニカム用素材 20%Cr-5%Al 鋼の鋳造速度も、開発した SiO₂ レスモールドフラックスにより最大 0.9 m/min で鋳造している。以上述べた 200 mm 厚スラブの鋳造のみならず、13%Cr シームレスパイプ用 260 mm 厚スラブに関しても、中心偏析の問題なく増速を達成している。以上述べたように、千葉製鉄所第 4 連続鋳造機は、第 1 連続鋳造機に比較して 30~100% の増速を達成し鋳造・製品品質ともに安定して操業している。

3.7 連続鍛圧法によるブルーム鋳片の偏析制御機構³⁹⁾

連続鋳造法では中心偏析が構造的欠陥であり、特にブルーム連続鋳造の場合には最終凝固面積が小さいために、偏析成分が集中化しやすい。さらに軸受鋼、ピアノ線材、タイヤコード用鋼などの高炭素鋼では、溶質量の絶対量が多いことに加えて、その加工工程で熱処理されることが多く、マルテンサイト組織の硬度変化が生じて製品欠陥を発生しやすいかった。

連続鍛圧（連鍛）は、凝固末期相当部位において、上下 2 段の可動するテーバー付き金型を一定周期で往復させることによって鋳片に大圧下を連続的に加えるプロセスである。

連鍛では中心偏析の度合を自由に制御できる点が大きな特徴であり、製品の用途に応じて軸芯部の負偏析も可能である。連鍛による

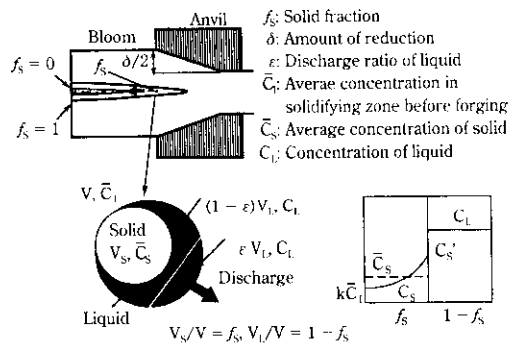


Fig. 7 Schematic drawing of segregation model

負偏析は、固液共存相内の溶質再分配によって濃化した液相が鍛圧時に上方（溶鋼側）へ排出されることにより起こると考えられる。Fig. 7 に偏析モデルを示すが、液相が連続により排出率 ε で排出されると仮定して Brody と Flemings⁴⁰⁾ のマイクロ偏析理論を用いると固相率 f_s における液相の平均濃度が求められ、物質収支より固相の平均濃度が求められる。これらより求めた偏析率 K_s は実測値と良く一致した。計算値と実測値の比較から、鍛圧時の固相率が高いほど液相の排出率は小さくなることが分かり、両者の関係を定量的に求めた。以上の知見をもとに連続鍛時の中心部固相率を制御することにより、鋳片中心の偏析濃度を可変とすることが可能となった。これを利用して高炭素線材用素材のブルーム中心部の成分を負偏析側

に制御することにより、断線率が大幅に向上した。

3.8 国家プロジェクト

当社単独ではリスクの大きい大規模の研究開発について、国家プロジェクトへの積極的な参画を行ってきた。まず、1991 年度から開始された「環境調和型金属系素材同生利用基盤技術の研究（新製鋼プロセスフォーラム）」では、スクラップの不純物除去と低エネルギー原単位での溶解プロセスに関し、鉄鋼他社と共同研究を行っている。当社は、スクラップ予熱・溶解シミュレータによる研究を受託し、1992、1993 年度は堅型炉内でのスクラップに付随する不純物除去の可能性に関する研究を、1994～1996 年度は溶解効率の高い堅型溶解炉の効率を更に向上する目的で、原材料の装入を工夫した「先進キューボラ」に関する研究を行った。今後は、新日本製鐵（株）が実施会社である「総合システム研究」の中で、「先進キューボラ」の実証と評価をしていく計画となっている。

1995 年度から別の国家プロジェクトである「エネルギー使用合理化金属製造プロセス開発（電磁気力プロジェクト）」が始まり、これにも斬新な提案をして参加している。すなわち、当社の固有技術である FC モールドを発展させ、超電導磁石による強磁場を利用した鋳型内電磁溶鋼流動制御を適用することにより従来のスループットに比して大幅な高速鋳造（10 t/min）を行っても高品質鋳片が製造できる技術の開発に着手した。水銀モデルによる原理確認研究が終了し、今後試験連続鋳造機を用いた研究段階に入ることになっている。

参考文献

- 加藤嘉英、藤井徹也、末次精一、大宮 茂、相沢完二：鉄と鋼、**79** (1993)、1248
- 岸本康夫、田岡啓造、竹内秀次：川崎製鉄技報、**28**(1996)、213
- 鈴木健史、中戸 参、藤井徹也、牧野光紀、奥田治志、高橋清志：鉄と鋼、**82**(1996)、7
- 日本鉄鋼協会生産技術部門製鋼部会製鋼スラグ半減技術検討会編：「製鋼スラグ半減技術検討会 活動報告書」(1996)、12、私信
- 阿部正道、岸本康夫、竹内秀次、別所永康、鈴木 一：鉄と鋼、**82** (1996)、743
- 菊池直樹、山口公治、竹内秀次、別所永康、廣田哲仁、岸本康夫、西川 廣：CAMP-ISIJ、**9**(1996)、716
- 西川 廣、近藤 寛、岸本康夫、田村 望、朝徳隆一、大西正之：鉄と鋼、**76**(1996)、1940
- Y. Hara, A. Idogawa, T. Sakuraya, H. Hiwasa, and H. Nishikawa: Proc. of 75th Steelmaking Conf., 513, Toronto (Canada), April (1991)
- H. Suzuki, C. Tada, H. Ishizuka, H. Nishikawa, R. Asaho, M. Kuga, and Y. Hara: Proc. of 75th Steelmaking Conf., Toronto (Canada), April (1991), 199
- 加藤嘉英、中戸 参、藤井徹也、大宮 茂、高取誠二：鉄と鋼、**77** (1991)、1664
- 鍋島祐樹、小倉 滋、山田純夫：川崎製鉄技報、**28**(1996)、4、206
- 奥山悟郎、竹内秀次、反町健一：CAMP-ISIJ、**4**(1997)、847
- 斎藤健志、山崎久生、野崎 努、日和佐章一、小口征男：CAMP-ISIJ、**2**(1989)、299
- 戸澤宏一、井戸川聡、反町健一、山口整司、杉澤元達、亀山恭一：CAMP-ISIJ、**6**(1993)、1168
- 山崎久生、別所永康、山口整司、佐藤道夫、日和佐章一：CAMP-ISIJ、**6**(1993)、289
- 山崎久生、別所永康、志賀信男、藤井徹也、馬田 一：CAMP-ISIJ、**4**(1991)、1251
- 斎藤三男、反町健一、桜谷敏和、北野嘉久：CAMP-ISIJ、**4**(1991)、222
- N. Bessho, R. Yoda, H. Yamasaki, T. Fujii, T. Nozaki, and S. Takatori: Proc. of 6th Int. Iron and Steel Congress, ISIJ, Nagoya, (1990), 340
- 戸澤宏一、北岡英就、反町健一、藤井徹也、石塚晴彦、白石 健：CAMP-ISIJ、**2**(1989)、1256
- 戸澤宏一、加藤嘉英、中西知己：CAMP-ISIJ、**7**(1994)、276
- S. Itoyama, T. Mochida, K. Kurokawa, T. Matsukawa, and K. Sorimachi: ISIJ Int., **38**(1998)、461
- 反町健一、戸澤宏一、山内 章：CAMP-ISIJ、**7**(1994)、299
- 持田哲男、糸山誓司、別所永康、反町健一、松原正和、山下豊樹：CAMP-ISIJ、**8**(1995)、950
- 井戸川聡、竹内秀次、別所永康：CAMP-ISIJ、**8**(1995)、211
- 奈良正功、別所永康、藤井徹也：CAMP-ISIJ、**10**(1997)、203
- 三木祐司、北岡英就、反町健一、小林和子：CAMP-ISIJ、**4**(1991)、254
- 糸山誓司、戸澤宏一、反町健一：CAMP-ISIJ、**10**(1997)、903
- 糸山誓司、別所永康：CAMP-ISIJ、**9**(1996)、74
- 伊藤陽一、鍋島誠司、戸澤宏一、中戸 参、反町健一：CAMP-ISIJ、**10**(1997)、183
- 山内 章、反町健一、桜谷敏和、藤井徹也：鉄と鋼、**79**(1993)、167
- 加藤嘉英、藤井徹也、末次精一、大宮 茂、相沢完二：鉄と鋼、**79**(1993)、1248
- 山口公治、桜谷敏和、浜上和久：川崎製鉄技報、**25**(1993)、283
- 岸本康夫、山口公治、桜谷敏和、藤井徹也：鉄と鋼、**78**(1992)、886
- 井戸川聡、北野嘉久、戸澤宏一：川崎製鉄技報、**28**(1996)、46
- 三木祐司、北岡英就、別所永康、桜谷敏和、小倉 滋、久我正昭：鉄と鋼、**82**(1996)、498
- 柴田浩光、三木祐司、糸山誓司、岸本康夫、反町健一、廣田哲仁：CAMP-ISIJ、**8**(1995)、187
- 高士昌樹、民田彰輝、大杉 仁、持田哲男、三木祐司、糸山誓司：CAMP-ISIJ、**8**(1995)、1039
- 高橋岳彦、黒川克美、神山朋典、小倉 滋、持田哲男、糸山誓司：CAMP-ISIJ、**9**(1996)、759
- 鍋島誠司、中戸 参、藤井徹也、櫛田宏一、溝田久和、藤田利夫：鉄と鋼、**79**(1993)、479
- H. D. Brody and M. C. Flemings: Trans AIME, **236**(1966)、615