

製鋼操業を支える設備技術

Steelmaking Plant Technology for Steelmaking Operation

三 村 義 人*
Yoshihito MIMURA
四 阿 佳 昭
Yoshiaki SHIA
東 博 文
Hirofumi HIGASHI

木 下 潤 一
Junichi KINOSHITA
石 森 裕 一
Yuichi ISHIMORI
脇 田 修 至
Shuji WAKIDA

梅 津 健 司
Kenji UMETSU
大 下 功
Isao OHSHITA

関 健
Takeshi SEKI
松 石 長 之
Nagayuki MATSUIISHI

抄 録

製鋼技術は、様々なニーズや環境変化に対応して進展してきた。製鋼設備分野では、その中でも、品質の高度化への対応、地球環境問題への対応、情報処理技術や計算機処理能力向上といった側面が、技術を進展させた。このような観点から、最近の製鋼設備技術の概要とその成果について述べた。

Abstract

Steelmaking technology have been developed by some needs and environmental changes. Among them, in steelmaking plant, more technology have been preceded by production of high quality products, approach for global environmental affairs and application of information technology and computer technology. From these viewpoints, some aspects and results of recent steelmaking plant technology will be described in this paper.

1. 緒 言

前回の製鋼特集号で、自動化、省力化を中心に製鋼設備技術を紹介してから、18年経過した。この間、生産面では、バブル崩壊による低生産の状況から、東アジア、特に中国の発展に刺激された生産の拡大、その後のリーマンショックによる落ち込みと、めまぐるしく変化した。

この間、その時々々の要請により、製鋼設備技術分野でも様々な課題提起とその対応を行ってきた。これらの中で、一貫して、顧客ニーズに対応した品質の高度化への対応、社会環境ニーズへの対応、周辺技術の進歩の取り込み等が、製鋼設備技術の変遷に大きな影響を与えている。

① 品質高度化への対応

この18年間は、鉄鋼製品のプロダクトミックスをハイエンド化させた。製鋼設備面でも、色々な対応技術が発展した。本論文では、その中で、RHでの極低炭素製造設備、鋳型電磁攪拌(EMS)、タンデイッシュ加熱技術について紹介する。

② 社会環境ニーズへの対応

1992年の地球サミット以降、地球環境問題、特に省CO₂

が大きな課題になった。従来の省エネルギーだけではなく、いわゆる3Rの推進やLCAの視点からの取り組みも重要になった。製鋼操業分野では、スクラップの使用やスラグ、ダストの資源化等の課題対応があげられる。製鋼設備では、設備自体のLCA改善として、製鋼設備の長寿命化が、大きな課題になっている。この例として、転炉炉体、連続鋳造(CCまたは連鋳)ロールの長寿命化について述べる。

③ IT技術の進展、計算機の高速化、大容量化とその活用

情報処理技術(IT)の進展は、情報の受発信のユビキタスを可能とした。製造現場でも、オンライン、オンサイトで色々な情報を入出力できるようになった。本論文では、特に、安全面で活用した事例を紹介する。

又、1990年代以降の計算機の高速化、大容量化は、従来、実行が難しかった計算機シミュレーションを可能にした²⁾。本論文では、製鋼工場の集塵シミュレーション事例を紹介する。

2. 品質高度化への対応

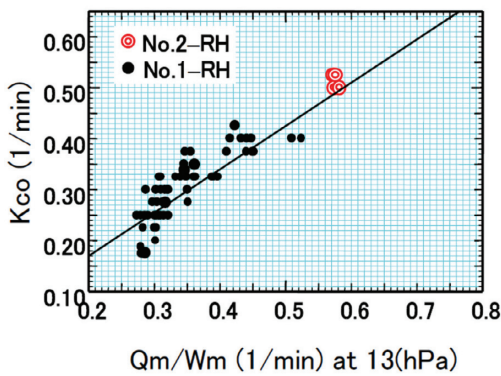
2.1 RH極低炭素鋼溶製技術

近年、自動車用鋼板としてInterstitial Free(IF)鋼など極

* 設備・保全技術センター プラントエンジニアリング部 部長 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

低炭素鋼の需要が急増した。自動車向け鋼板の幅広化や連続 casting での高速 casting 化が進んだことで、RH 処理時間の短縮が必須となった。このような背景から、極低炭素鋼溶製のため、RH 工程での脱炭速度向上と排気時間短縮、溶鋼中への炭素汚染防止等の対策が採られてきた。まず、脱炭速度向上のため、真空槽の浸漬管口径の拡大や環流ガス流量アップによる溶鋼環流能力の増大を図った。君津製鐵所（以下各所とも製鐵所を省略）No.2RH では、No.1RH と同等の排気能力ながら、環流量向上により脱炭速度を向上させた（図1）³⁾。

また、処理初期の真空到達時間短縮を狙って処理前に真空槽以外を事前に真空排気する予備真空技術を採用した（表1）。これにより、名古屋No.3RH では初期排気時間を約1分短縮した（図2）⁴⁾。さらに、高効率ブースター・エジェクターと高性能メカニカルポンプを組み合わせ、省蒸気化しつつも、強力な真空排気系の装備による排気速度の向上が図られた。一方、溶鋼中への炭素汚染防止のため、槽上方より挿入するバーナー設備を用い、待機中だけでなく、処理間などの短時間で付着地金を溶流除去する設備を装備した。これらを有した新鋭RH設備が、君津(2,3RH)、名古屋(3RH)に設置され、脱炭時間15分で [C] < 10 ppm の極低炭素鋼溶製を確実に実現している（図3, 4, 表2）^{3, 4)}。



Q_m : Circuration rate
 W_m : Steel in ladle
 K_{CO} : Reaction rate constant of CO bobble formation

図1 溶鋼環流量と脱炭速度の関係
 Correlation between K_{CO} and Q_m/W_m

表1 君津RH設備主任様比較
 Specification of No.1RH and No.2RH at Kimitsu Works

| | No.1RH | No.2RH |
|--------------------------------|----------|----------|
| Ar gas injection rate (NI/min) | Max.2500 | Max.4000 |
| Snorkel diameter (mm) | 650 φ | 750 φ |
| Lower vessel diameter (mm) | 2288 φ | 2420 φ |
| Evacuation capacity (kg/h) | | |
| at 0.7 hPa | 1000 | 1000 |
| at 1.3 hPa | 1500 | 1500 |
| Steam consumption (t/h) | 40 | 20 |

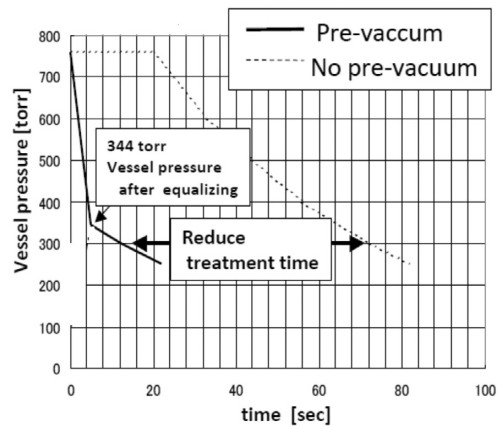


図2 真空予備弁の効果
 Effect of pre-vacuum valve

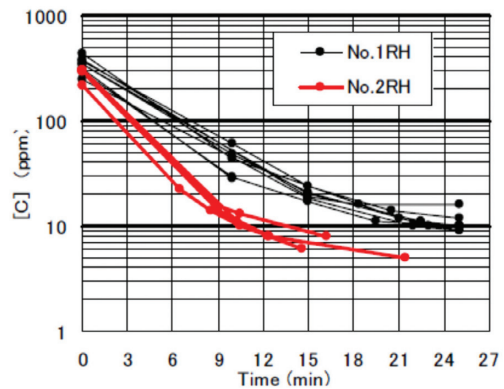


図3 脱炭挙動(君津RH)
 Change of [C] in No.1RH and No.2RH at Kimitsu Works

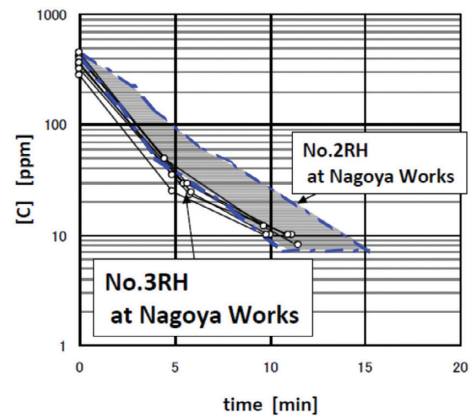


図4 脱炭挙動(名古屋RH)
 Change of [C] in No.2RH and No.3RH at Nagoya Works

表2 名古屋RH設備主任様比較
 Specification of No.3RH at Nagoya Works

| | No.3RH |
|--|----------------------|
| Snorkel diameter (mm) | 800 φ |
| Ar gas injection rate (Nm ³ /h) | Max.200 |
| Evacuation capacity (kg/h) | 1350 (at 0.7 hPa) |

2.2 CC 電磁ツールの設計と適用

鋳片の品質向上は転炉から各プロセス毎に種々の方法で行われているが、鋳造プロセスで大きな役割を果たすのが電磁ツール適用である。その主体は図5の鋳型長辺2面に沿って対に配置されたリニアモータ型電磁攪拌装置(以後“EMS”と表記)で、メニスカス近傍で水平方向に溶鋼を攪拌することで介在物の凝固部への付着防止と初期凝固部位の熱の均一化の制御を担う。新日本製鐵では1980年代から実用化に成功し、1990年代に入ってEMSの数値解析による設計に着手。今世紀に入ってから本格的に詳細な仕様決めと性能確認を行い、より精度の高い設備仕様決定が可能になった。なお、凝固制御という観点からは全く新しいアプローチとして電磁鋳造も試行している(本号別記事)。

EMSは図5右下のように2つの長辺に沿って3相交流の磁極配置を施す。これをモデル化した1例が図6で、4極構成のものである。

このEMSが溶鋼の発生する電磁力をメニスカスで上方から見たのが図7である。極数に応じた電磁力の渦が出来ているのがわかる。この電磁力(ローレンツ力)を元に流動解析を行った結果が図8で、EMSのある部位で左→右の強い流れが生成される。

設計段階ではこれらを種々の電氣的、機械的条件でモデル化して、必要な流速を持ったできるだけ均一で滑らかな攪拌流を生成するようにモデル変更を進めていく。

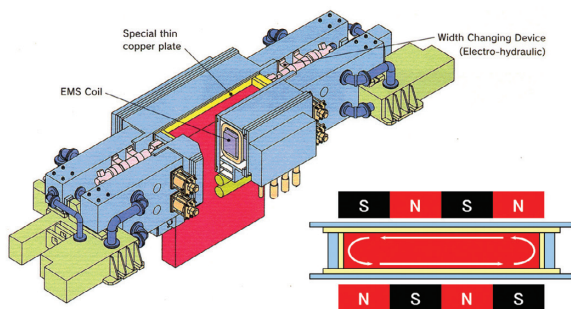


図5 電磁攪拌装置(EMS)外観図
Electromagnetic stirrer in a CC mold

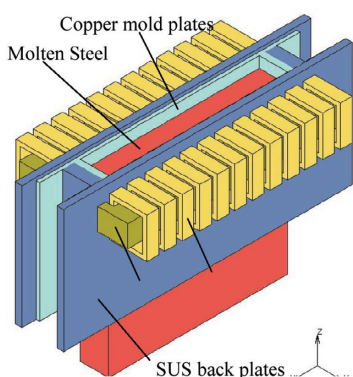


図6 EMSの設計モデル例
Model of EMS



図7 EMSによる溶鋼内電磁力分布(コア高さ中心)
Lorentz force distribution in the molten steel at middle-height of the EMS core

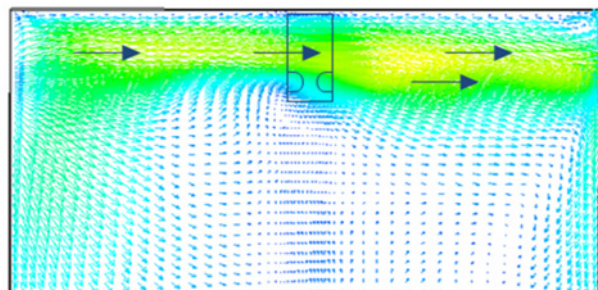


図8 EMSによる溶鋼内壁面流動
Molten steel flow by the EMS force on the mold plate

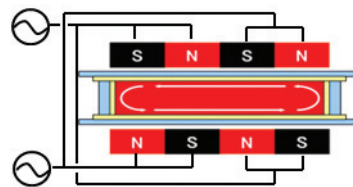


図9 非対称電源配置
Diagonal power configuration

具体的には、鋳造幅より広幅にしたことが上げられる。EMSは鋳型内蔵のため大きな改造となるが、端部の大幅な電磁力低下により、流動無制御域ができるため、流動上の不安定要因になる。それをできるだけ排除するための方法である。これに関連して、鋳型の大きさによっては設計初期に極数の見直しを行うこともある⁹⁾。また鋳造厚が異なる場合、その厚みに合わせて周波数を変えるなどで攪拌の均一化を図るなどしている。

より均一な流動を求める観点からは、メニスカスで鋳型短辺からノズルへ向かう上昇反転流を考慮して、図9のように電源を2つの面で分けず、対角の組で電源を割り振り、2つの電源を出力を非対称にし、電磁力の配分に強弱をつけて行うという方法を取ることもある。

以上のような品質はEMSへの電磁流動解析による本格導入により、大幅に欠陥が減ってきており、無欠陥材も得られるまでになってきている。上記の方法を組合せて異なる特徴を持つ各連鋳機毎に操業条件を探り、無欠陥スラブの安定量産に努めているというのが生産現場の現況である。

EMSの設計のための数値解析技術は1990年代に大きく進展したが、その背景には計算機の能力向上とダウンサイジングがある。1990年代ではミニスーパー級の計算が

Windowsの普及とともに今世紀に入るとPC上で廉価で実現できるようになった。それに歩調を合わせて実際の連続機用EMSの詳細設計の体制と技術を確認して現在に至っている。しかしながら、数値解析による本格的設計を開始して10年程度であり、さらなる高品質を目指して現場から研究所まで一体となって改善が続けられている。

2.3 タンディシュ加熱技術

2.3.1 新日本製鐵式タンディシュプラズマ加熱装置

近年、連続 casting プロセスにおいて品質向上、生産性向上、省エネルギー及び高級鋼の歩留り向上を同時に実現できる装置として、タンディシュ内の溶鋼温度を制御するタンディシュプラズマ加熱装置を設置してきた。図10に示すように、タンディシュ内溶鋼温度は耐火物への吸熱や表面からの放熱の影響を受け、 casting 末期、鍋交換時には低下が避けられない。プラズマ加熱適用により、タンディシュでの溶鋼温度補償が可能となるため、転炉等での出鋼温度を低減することができ、炉や鍋の耐火物コスト、出鋼の際の投入エネルギーを削減することができる。また、溶鋼温度補償により非金属介在物浮上分離促進や浸漬ノズル詰りの軽減により品質・操業安定性を向上させることができる。

新日本製鐵では従来からこれらのニーズに対応して、シングルトーチ式（“NS-Plasma I”）⁶⁾及びツイントーチ式（“NS-Plasma II”）⁷⁾タンディシュプラズマ加熱装置を開発し、数多くの生産設備にてその効果を発揮している。

表3に新日本製鐵タンディシュプラズマ加熱装置の特徴を示す。シングルトーチ式はタンディシュ上面に設置した陰極（カソード）トーチと、タンディシュ耐火物内に埋設した鉄板を陽極（アノード）としたものであり、プラズマ放電には熱電子放出による熱陰極型トーチを採用している。一方、ツイントーチ式はタンディシュ上面に設置した2本のトーチそれぞれをカソード電極とアノード電極としたものである。その特徴として、プラズマアークが溶鋼との間で2本形成するためシングルトーチに比べて高出力を

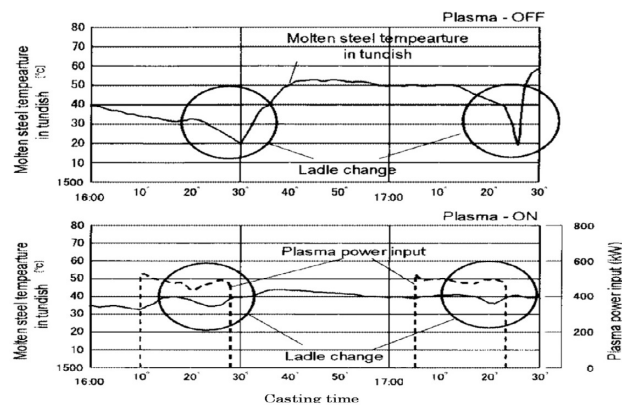


図10 溶鋼温度制御例
Molten steel temperature control (example)

表3 プラズマ加熱方式比較
Comparison of the plasma heating type

| Plasma torch type | NS-Plasma I | NS-Plasma II |
|--|---|---|
| | Single torch Cathode torch (Anode: TD) | Twin torch Cathode and Anode torch |
| Composition | | |
| Maintainability of torch | ○ An external diameter: 1.1 (Type of separated nozzle) | ○ An external diameter: 1.0 |
| Power | ○ 0.2~0.7MW Recommend 0.5MW | ◎ 0.3~0.8MW |
| Heating efficiency | ○ 60~70% | ○ 60~70% |
| Plasma gas → noise | ◎ 1.0 noise: Low | ○ 2.4 noise: a little low |
| Lifetime of torch | ○ Cathode: 1.0 Anode: 1.0 | ◎ Cathode: 2.0 Anode: 2.0 Nozzle: 2.0 |
| Electric noise | △ Generated noise: a little | ○ Generated noise: little |
| Revamp | △ Heating chamber Anode plate in tundish | ○ Heating chamber |
| Maintainability of refractory in tundish | △ Need to maintain anode plate in tundish Adapted TD heat recycle: difficult | ○ Only general maintenance Adapted TD heat recycle: possible |
| Equipment layout | ◎ (Because of one torch) | ○ (Because of two torches) |

得ることができること、タンディシュのアノード鉄板の耐火物への埋設、配線の敷設等の改造が不要になること、及びタンディシュ整備性の向上を挙げることができる。

プラズマ加熱装置の型式による特性として必要加熱能力の低い小～中規模の連続 casting 機においては、狭いスペースに適用しやすく、アルゴンの消費量、トーチ消耗品の交換量が少ないシングルトーチ式が望ましい。一方、高い加熱能力を必要とする中～大規模の連続 casting 機では、一つの電源装置で、より高出力が得られるツイントーチ式が適しており、その特性に応じて装置導入を行ってきた。

2.3.2 タンディシュプラズマ加熱装置による温度補償効果

プラズマ加熱装置の溶鋼温度補償により、高温側への温度外れ時に行っている casting 速度低下を最小にでき、また低温側への温度外れ時に生じていたノズル詰りによる casting 中断を低減できるといった生産性の向上が可能となっている。一方、図11に示すように casting 品質を確保（中心偏析

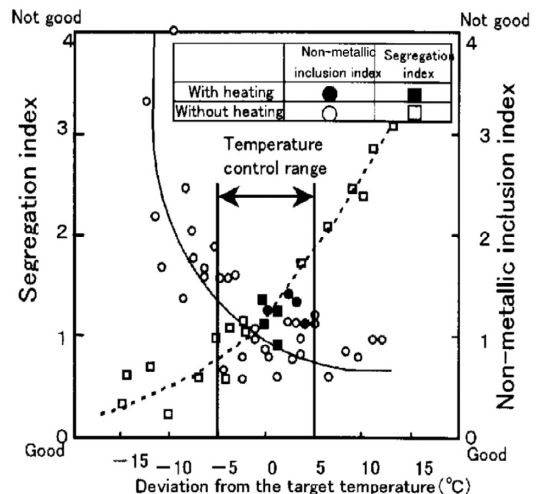


図11 溶鋼温度範囲 (品質確保)
Improved cast strand quality by the molten steel temperature

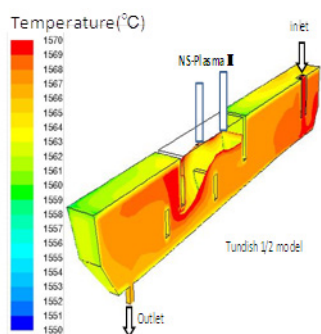


図12 溶鋼温度解析例

Temperature distribution in tundish by NS-plasma II (example)

と非金属介在物を低減)するために適正温度にて操業することが必要である。プラズマ加熱装置により、 casting中の溶鋼温度を適正に制御が可能になり、品質向上に繋げることができる。また、プラズマ加熱装置の適用により転炉や電気炉からの出鋼温度を低減することができ、耐火物コスト、投入エネルギーの削減が可能になる。

2.3.3 タンディッシュプラズマ加熱装置安定稼働対策

プラズマ加熱装置の効果発揮のために熱・流動解析を中心とした設計技術により、最適なトーチレイアウトや加熱室設計、トーチ長寿命化の観点から電極形状、材質の最適化、熱負荷に応じたトーチ冷却設計、着熱効率、応答性の改善に向けた解析技術(図12)等を適用している。また、操業技術として加熱室、トーチへのアルゴンガス吹込み方法最適化、加熱室シール性確保、トーチと湯面間距離の適正化を達成している。更に整備性を考慮したトーチ構造の採用により、交換時間短縮を達成している。以上のような総合的な取組みにより、プラズマ加熱装置の安定操業と各種効果を享受している。

3. 設備の長寿命化

3.1 転炉炉体長寿命化技術

転炉は、導入されて以降、生産量増大とともに大型化し、送酸速度の増大や吹き止め温度の上昇、耐火物材質の変更もあって、炉体鉄皮への熱負荷が増大した。この結果、炉体、トラニオンリングの変形、亀裂が顕在化してきた。突発での亀裂補修、炉体とトラニオンリングとの隙間を管理しながら必要により隙間を確保する炉腹修正、さらには炉体更新を余儀なくされてきた。そのため、炉体、トラニオンリングの最適冷却化、炉体支持方式の改善などで、変形・亀裂抑制を行ってきた。

さらに、転炉鉄皮に、高温強度や耐クリープ性に優れた素材(sev295mod.)を適用することで、炉体の熱変形を極小化し亀裂発生を抑制した。鉄皮変形抑制の一例として、図13に炉体直胴部に従来材質(SM400C)と新素材を適用し、ある期間使用した時の炉体変形量(炉体直胴円周部で

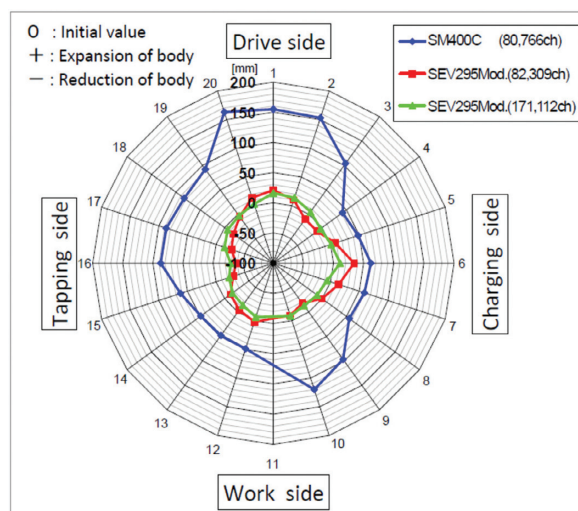


図13 炉体変形量の比較

Comparison of the converter body deformation

初期値 0 mm) の比較を示す。このように、新素材を適用した結果、炉体の経年変形がきわめて小さくなり、炉腹修正の必要が無くなった。加えて、従来、炉体鉄皮の材質調査により経年劣化を予測し計画的な炉体更新を実施してきたが、新素材の材質劣化も極めて緩やかとなり、更新までの期間が大幅に拡大した。

3.2 CC ロール

CCロールは、ロール胴部の酸化、腐食、摩耗による損耗、あるいは熱亀裂による劣化、軸受の損傷が、セグメント交換を律速する主要因となっている。これまで、操業条件の変化などに応じて、種々の劣化要因に対応した長寿命化対策を行ってきた。

① ロール材質の改善

通常、使用後のロールは劣化部位を除去し、溶接肉盛によって補修し再生利用している。特に最表面に用いられる材質は、鋳片と直接に接するため、連铸設備導入当初は、高温における耐食性、耐酸化性、耐摩耗性と耐熱亀裂性を兼ね備えた 13Cr 系溶接肉盛材料が用いられていた(図14)。その後、特に鋳型に近い上部のロールには、パウダーの材質変化等に応じて Ni など合金成分の調整により耐高温腐食性を向上した高合金系溶接肉盛材料の適用を進めてきた。

しかし、このような高合金系材料は上記の効果が高い一方で、合金成分の配合量増加は材料の熱膨張率を大きくするため、熱応力が増大することにより、亀裂が発生しやすくなるという傾向もあり適用箇所の熱的条件に応じた材質設計が重要である。

② ロール表面溝形状の最適化(熱応力の緩和)

連铸機によっては異鋼種対応力向上への要求からマシンストップの多い操業条件へと変化してロールの熱応力が増大し、熱亀裂がロールの主な寿命律速要因となった。

| | | 1970~ | 1980~ | 1990~ | 2000~ | 2010~ |
|-------------------------------|--|-------|---|----------------|--------------------------------------|-------|
| Submerged arc Welding | 13Cr-Ni Type | ◇ | Recycled roll (strike a balance oxidation resistance & heat-resistance) | | | |
| | Cr-Ni Stainless Type | | ◇ | Casting powder | ※anticorrosion | |
| Thermal Spraying | 13Cr-Ni Stainless Type(Welding)+SFA(spraying & fusing) | ◇ | Machine stop operation ※at random crack (hard layer effective) | | | |
| Plasma Transferred ArcWelding | High Characteristic materials | | | | ※High temp. strength & anticorrosion | |

図14 CCロール溶接肉盛材料の変遷
Trends for CCroll with hardfacing

亀裂の発生や進展を抑制するため、a) 発生する熱亀裂を分散に対してはNi基自溶性合金溶射の適用、b) ロール表面近傍の熱応力を低減するには表面の溝加工を行ってきた。特に最近では、b) の熱応力緩和のために表面溝形状の最適化に注力した。具体的には適用する材質の熱膨張特性や操業条件に応じたロール表面近傍の熱応力の評価(数値解析)と亀裂発生寿命を導出する技術を確立し、各セグメント位置(垂直部、湾曲部、水平部など)に最適なロール材質と表面溝形状を設計することが可能になった。

この技術を活用して、マシンストップが顕著な操業条件でも数年にわたり熱亀裂を抑制できる特殊な表面溝形状およびその加工技術を開発しCCロールに適用している。

③ 軸受寿命の改善

CCロールは極めて低速で回転し、荷重も大きいいため、軸受に潤滑油膜が形成されにくく、さらにダストや水の侵入も相まって、軸受は極めて厳しい潤滑状態で稼働している。

潤滑状態を改善し軸受寿命を向上するため、軸受シールを強化し、上記異物の侵入を防ぐとともに、高性能なグリースを採用するなどの対策が採られてきた。

最近ではオイルエア潤滑システムも採用している。これにより常に軸受内部を大気圧より高くすることで異物侵入を防ぎ、適正な粘度のオイル潤滑を実現することにより軸受の寿命や信頼性を飛躍的に向上させることに成功している。

なお、通常CCロールには、自動調心ころ軸受が多用されているが、ころと内外輪転動面での僅かな周速差で二山摩耗を起こす。このため、早期に剥離などの損傷を起こしやすく、使い続けると軸受の割れなどの大きなトラブルにも繋がる。

このため、より耐摩耗性の高い材料の適用、二山摩耗を起こさない調心輪つき円筒ころ軸受の採用など、潤滑に併せて材質・構造面での寿命延長にも取り組んできた。

CCロールの長寿命化とセグメント交換の最適な計画、管理は、一層の製造コスト低減と連铸設備の稼働率向上にとって今後も重要であり、さらなる改善と技術開発をすすめていく。

4. 安全, 安心, 環境

4.1 IT技術のCCへの導入

新日本製鐵における鉄鋼製造ラインの自動制御技術は、産業界でもトップレベルと考えられるが、安定製造のためには未だ操業オペレータや設備整備技術者のノウハウに負うところが大きい。しかし、省力化や熟練層の大量退職(2007年問題)といった経緯から、製造現場では少人数化が進み、経験の浅いオペレータ比率が高くなってきている。このような状況下で懸念される様々な問題に対処すべく、ITを活用した支援技術の開発、実機化に取り組んできた⁸⁾。なお、本件は2007年日経ものづくり大賞を受賞している。本稿では、図15に示す技術要素のうち、操業ナビゲーションシステムおよびIT野帳システムに関し、製鋼での応用事例を含めて記述する。

(1) 操業ナビゲーションシステム:本システムの特徴は、熟練者が製造条件・状況に応じた注意ポイントやアクションを判断する際のルールを、形式知としてデータベースに登録でき、ガイダンスに反映できる点である(図16)。操業中、本システムは製造条件やトラッキング状況に応じて、適切なアクション指示を選択し、適時、画面や音声で操業オペレータに伝達する。ガイダンスルールの追加、改編にあたっては、プログラムの専門家でなくとも、容易にオペレーション可能な登録画面を備え、テキストメッセージだけでなく関連する電子ファイルもリンク可能としてい

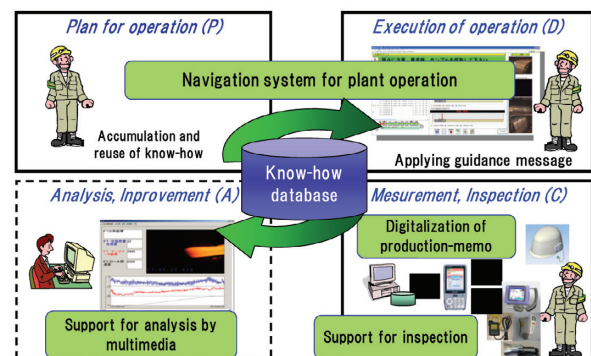


図15 IT操業支援技術の構成
Concept of IT-based operational support technology

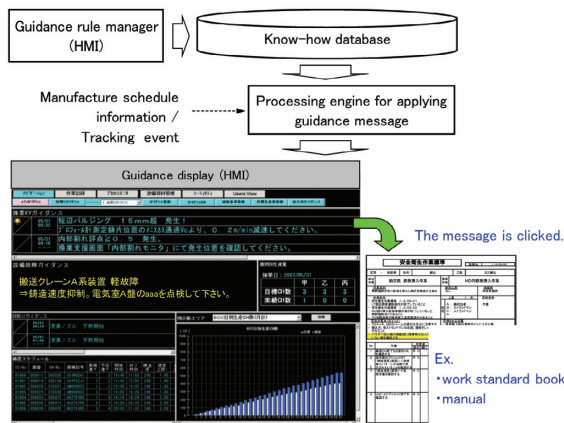


図16 操業ナビゲーションシステム
Outline of navigation system for plant operation



図17 PDAでの画面表示例
Examples of user interface by PDA

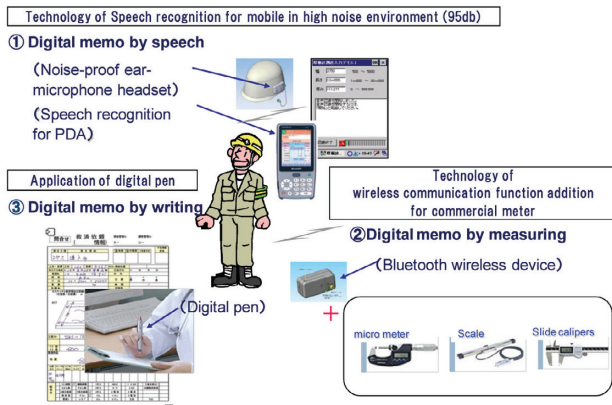


図18 IT野帳の基盤技術
Technology for digitalization of production-memo information

る。導入工場では、日々の操業改善ツールとして使用され、注意、指示の伝達不備が起因するような製造トラブルの未然防止につながっている。

(2) IT野帳システム:近年では、携帯情報端末(PDA、タブレット)の応用により、運転室外で作業するオペレータが操業、設備監視等の画面を参照できるシステム環境が整いつつある。図17にPDAでの画面表示例を示す。

更には、製造現場での各種作業支援を目的とした携帯情報端末の活用も踏まえ、IT野帳システムの開発・実機化を進めてきている。図18に本システムの基盤技術を示す。①耐騒音型モバイル音声認識技術、②計器ワイヤレス化技術、③電子ペン応用技術といった基盤技術を、対象業務

や目的に応じて選択または組み合わせることにより、現品照合、作業記録、疵記録、寸法測定や公差チェック等の作業支援を可能としている。

以上のようなITを活用した支援技術について、新日本製鐵では君津6CCをはじめ各所での実機適用を進めるとともに、更なる高度化開発を推進している。

4.2 環境シミュレーション技術による製鋼工場の集塵対策

製鋼建屋の集塵対策の必要性は別の論文に譲り^{10,11)}、新日本製鐵が保有する環境シミュレーション技術の特長と、それをを用いた粉塵対策エンジニアリングについて述べる。

4.2.1 新日本製鐵の環境シミュレーション技術の特長

製鋼転炉から発生する噴煙が建屋内に拡散し、時間の経過とともに粉塵が重力沈降する一連の現象は、数値流体力学(CFD)により計算が可能である。しかし、計算対象は広大で複雑な製鋼工場内での流れであり、操業サイクルの中で発塵状況が大幅に変化することから、計算負荷が高くなる。さらに、大気、発生ガス、様々な粒径の粉塵からなる混相流であり、温度と流速の時間変化が激しいため、形状入力やメッシュ分割の良否が計算結果に大きく影響するという難しさをもつ。

このような計算を、対策検討に必要な十分な精度を保ちながら短期間で実施するため、現地測定計画、モデル化手法、境界条件設定等に関する独自の知見やノウハウを10年以上にわたり蓄積・担保してきている。その主な例を以下に述べる。

①モデル化手法(表4) 計算対象空間を工場全体にすると計算負荷が膨大となり、逆に一部分を切出してモデル化すると精度の良い解が得られない。そのため、計算負荷と精度を両立できる対象空間を切り出し、切り捨てた空間と

表4 計算精度と計算負荷の両立の困難さ
Difficulty to combine calculation precision and calculation load

| | Large / minute model | Small / simple model |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Target space | Whole factory | Only converter bld. |
| Input shape (ex. Overhead crane) | Minute | Box shape |
| Calc. precision | ◎ | × |
| Calc. load | × | ◎ |

の境界面に適切な処置を施すノウハウが必要となる。また、形状入力の緻密さも計算負荷と精度の板挟みとなる。例えば複雑な天井クレーンを厳密に入力することは実用的ではないが、粗すぎた場合は発生ガスの拡散の方向が実現象とかけ離れたものになるので、要所を押えた形状入力の緻密化のノウハウが必要となる。

② 境界条件設定 火炎が噴出する転炉の炉口直近では発生ガスや粉塵濃度の測定が困難であるため、炉口から離れた位置での測定結果を基に適切な境界条件を設定する必要がある。これに対応するため、多くの製鋼工場での測定と解析検討を通して、境界条件の実績データを蓄積してきている。

ここで触れたノウハウや実績データに加えて計算環境の整備も進め、シミュレーション技術としての完成度を高めており、各製鉄所や関係会社の集塵対策検討で活用されている。

4.2.2 粉塵対策エンジニアリングの実施例

図19に示す製鋼転炉において、作業床下の粉塵濃度を目標レベル以下に抑えるための集塵設備対策の検討事例を示す。

まず、前述したノウハウや実績データを用いた解析で現状を再現した結果、図20に示すように、まっすぐ上昇す

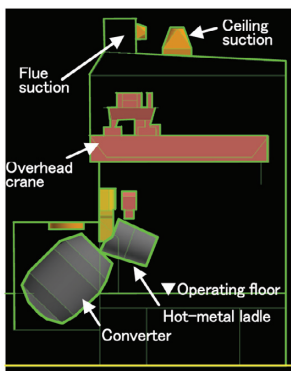


図19 転炉棟断面
Cross section of converter building

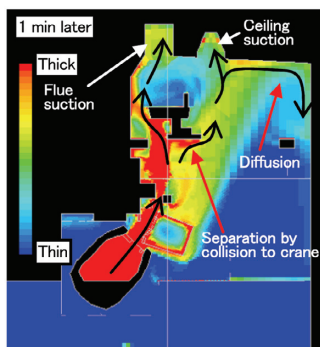


図20 粉塵濃度分布(現状)
Dust distribution (non-measure)

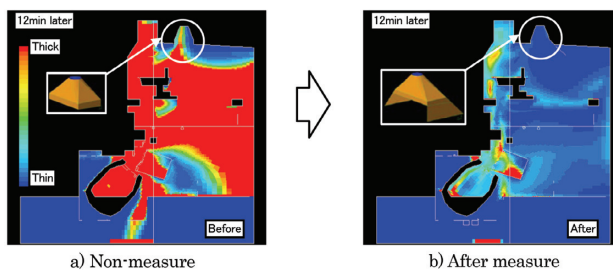


図21 対策効果解析予測(粉塵濃度分布)
Improvement of effect of dust distribution

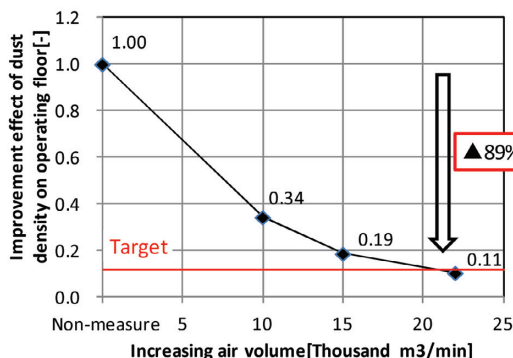


図22 風量増強による作業環境改善効果予測
Improvement effect of work environment by increasing air volume

る主流は煙道集塵口でほぼ吸引されるのに対して、天井クレーン下部に衝突して右側に分岐する副流は天井集塵口で十分に吸引されず、作業床下の粉塵濃度を上昇させていることが明らかになった。そこで天井集塵口に着目した解析ケース検討を行い、長期間の操業休止工事を要しない範囲でフードを拡張した上で風量を22千m³/min増強する設備対策を提案した(図21)。この対策による作業床下の粉塵濃度の低減効果は89%であり、目標レベル以下に抑制可能と予測された(図22)。対策工事完了後の実測の結果、低減効果は87%であり予測通りの効果が得られていることを確認した。

4.2.3 まとめ

環境シミュレーション技術は各製鉄所の製鋼工場を始め多くの製鋼・電炉工場の集塵対策検討に用いられ、その内8箇所では対策工事が実施されている。作業者の熱中症対策、圧延工場での結露防止、有毒ガスの漏洩防止等の検討にも広く適用されている。

5. 結 言

前回の製鋼特集号以降の製鋼設備技術の変遷について、品質の高度化、設備の長寿命化、安全、安心、環境といった側面から、特徴的な設備技術について紹介した。東アジア等での旺盛な新規設備投資と比較すると、現在の新日本製鐵製鋼設備技術は、既設設備の改善、改造が主体になっ

ている。それ故、多くの制約を持っているが、一方で、より経済的でコンパクトな設備技術が誕生している。このような取り組みによって、顧客ニーズや周辺環境ニーズを確実に捕捉し、その対応技術を磨くことは、グローバル競争力強化にとって、今後とも重要である。

参考文献

1) 藤井博務:新日鉄技報. (351), 70 (1994)
 2) 山村和人 ほか:新日鉄技報. (391), 143 (2011)
 3) Tanabe, K. et al.: Proc. 3rd ICST. May 2005, p. 285
 4) 阪井 航:鋼141-自3:日本鉄鋼協会生産技術部門技術部会第

141回製鋼部会. 鹿島, 2009.10, 私信
 5) 横田 健 ほか:新日鉄技報. (379), 59 (2003)
 6) 橋高節生 ほか:新日鉄技報. (375), 145 (2001)
 7) 橋高節生 ほか:新日鉄技報. (382), 16 (2005)
 8) 山下英隆:日本鉄鋼協会, 第59回白石記念講座. 2007, p. 95
 9) Shima, Shozo et al.: Laborsaving and Information Technology of Kimitsu No.6 Continuous Caster in Nippon Steel Corporation. Associazione Italiana di Metallurgia, European Conference on Continuous Casting. (6), 2008
 10) 熊倉政宣:新日鉄技報. (394), 4 (2012)
 11) 川人健二 ほか:新日鉄技報. (391), 122 (2011)



三村義人 Yoshihito MIMURA
 設備・保全技術センター
 プラントエンジニアリング部 部長
 千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511



木下潤一 Junichi KINOSHITA
 設備・保全技術センター
 プラントエンジニアリング部
 製鋼設備技術グループ グループリーダー



梅津健司 Kenji UMETSU
 設備・保全技術センター
 システム制御技術部 電計保全技術グループ
 マネジャー



関 健 Takeshi SEKI
 設備・保全技術センター
 プラントエンジニアリング部
 連铸エンジニアリンググループ マネジャー



四阿佳昭 Yoshiaki SHIA
 設備・保全技術センター 機械技術部
 機械保全技術グループ グループリーダー



石森裕一 Yuichi ISHIMORI
 名古屋製鐵所 設備部 機械技術グループ
 マネジャー



大下 功 Isao OHSHTA
 設備・保全技術センター
 システム制御技術部
 システム制御開発グループ マネジャー



松石長之 Nagayuki MATSUISHI
 設備・保全技術センター 土木建築技術部
 建築技術グループ マネジャー



東 博文 Hirofumi HIGASHI
 新日鉄エンジニアリング(株)
 製鉄プラント事業部 製鉄プラントエンジニア
 リング第二部 商品技術室
 連铸・圧延技術グループ長



脇田修至 Shuji WAKIDA
 新日鉄エンジニアリング(株)
 製鉄プラント事業部 製鉄プラントエンジニア
 リング第二部 プロジェクト管理室 連铸・圧
 延プロジェクトグループ シニアマネジャー