

## 技術解説

## 土木建築水道技術開発の歩みと今後の展望

## Development of Civil Engineering, Building and Water Treatment Technology

川人 健二\*

kenji KAWAHITO

兼 森 伸 幸

Nobuyuki KANEMORI

山本 祐史

Yuuji YAMAMOTO

榎田 忠宏

Tadahiro ENOKITA

石井 和利

Kazutoshi ISHII

## 1. はじめに

新日本製鐵の土木建築水道分野における1980年以降の技術開発の歩みを以下に述べる。

80年代は70年代の新製鉄所建設が一段落し、設備の長寿命化、安価化、品質向上に視点を当てた質の時代への移行期であった。クレーンランウェイガーダー耐疲労設計法や高炉・転炉工場建屋の耐震設計法の研究、気流解析を用いた工場換気設計、めっき排水中の重金属除去技術、脱硫排水処理技術など、我々が現在拠り所とする基礎技術が多く産声を上げている。また港湾構造物の防食技術やコンクリート劣化に関わる課題解決等、長期間での設備劣化の防止にも取り組み始めている。

90年代はバブル景気とその後の景気後退の下で設備費安価化がキーワードとなり、省力化施工に着目した一柱一杭基礎、二重鋼殻ハイブリッド工法等の地下構造や、方杖型制震デバイスをはじめとする免制震構造を開発した。水処理分野では旧エンジニアリング事業本部の下水・河川浄化分野への展開に呼応し、下水高度処理技術(窒素、りん等)の開発と環境浄化技術に対象を拡大した。また、高炉改修の短工期化や拡大改修へのニーズの高まりに対応し、改修毎に新技術や新工法を織り込み、土木建築分野での改修技術を発展させてきている。

2000年代に入ると、鉄鋼製造に伴う環境負荷のさらなる低減を目指し、硫黄酸化細菌や鉄酸化菌など最新の生物処理を用いた鉄鋼排水処理技術の開発や、製鋼建屋内浮遊粉塵や屋外ヤード防塵課題への気流解析技術によるソリューション提供を行ってきた。地震防災の問題もクローズアップされ、岸壁耐震化の計画と工法開発や、工場建屋に適した独自の耐震補強構法の開発を行っている。

本論では、これらの中から高炉一貫製鉄所の基盤を支える、高炉改修技術、工場内集塵効率化技術、最新の水処理技術の3つについて、その概要を紹介する。

## 2. 代表的な技術紹介

## 2.1 高炉改修技術

高炉改修は、改修期間中には溶鉄の生産量が一時的に減産となる一方、能力増強の絶好の機会でもある。そのためエンジニアリング上は、改修期間の最短化と最大限の炉容拡大計画の折り込みが強く求められる。この課題に対する土木建築技術面での取り組みを述べる。

## 2.1.1 短工期改修技術

近年の改修工事は、当社と新日鉄エンジニアリング(株)が共同開発した炉体大ブロック工法<sup>1)</sup>で実施されており、本工法を初適用した新日本製鐵名古屋製鐵所第3高炉第4次改修(2000年4月火入れ)は改修工期の予定128日を93日へ大幅短縮した。

一方、近年の改修は大規模な鑄床改造も実施しており、この工事短縮も必須である。そのため改修エンジニアリングでは炉体更新、鑄床改造に関わる工程短縮の技術開発やエンジニアリング上の工夫に積極的に取り組んできた。

炉体搬出入に干渉する鑄床を最短で復旧する工法として、鑄床大ブロック工法を実現した。これは新しい鑄床を別の場所で完成に近い状態まで施工しておき、復旧タイミングでは大型重量物の運搬が可能なユニットドーリーで運搬し、所定の場所に据え付ける工法である。床コンクリートや溶鉄樋の耐火れんが等も事前に築造しておくため、運搬中の強制変形や振動に伴う損傷や亀裂に十分に配慮した計画、設計が求められる。

本課題に対して、各構造体の許容ひずみ量を求め、これを満足する鑄床支持構造や機器配置、ドーリー配置等を3次元構造解析により詳細に検討し、構造計画や輸送計画に反映させることで実現してきた。本工法の実績としては、2004年4月に火入れした新日本製鐵大分製鐵所第2高炉第3次改修にて鑄床面積約1000m<sup>2</sup>、重量約3000tonの巨大ブロックまで成功させた(写真1)。

\* 設備・保全技術センター 土木建築技術部長 千葉県富津市新富2-1 〒293-8511

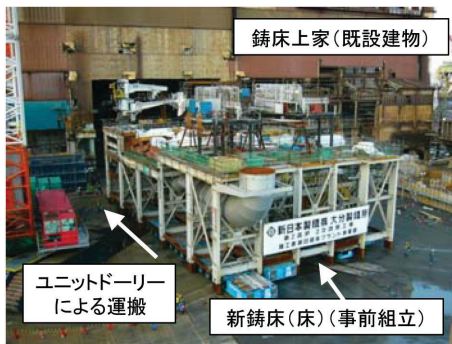


写真1 大分製鐵所第2高炉改修の鑄床大ブロック工法

上記以外の部位の鑄床改造についても工程を抜本的に短縮するため、従来のコンクリート製でバラスを中詰めしていた鑄床構造を中空の鉄骨構造に変更している。特に樋壁部分は1500℃近い溶銑の放射熱の影響を受け、かつ形状も複雑であるため、合理的な構造の開発が必要であった。

具体的には、二つのタイプの基本構造を考案し、樋壁の熱負荷や平面形状に応じて使い分けている。一つは下地材を配した鋼板を鑄床鉄骨に取り付けたプレート型樋壁、もう一つは角型鋼管を壁状に並べて溶接接合したコラム型樋壁である。実現に当たっては、既存樋壁の温度・熱伸び測定に始まり、鉄骨部材の効率的な空冷方法、鋼材耐力の温度影響を考慮した部材設計、さらには熱伸びの吸収方法等の検討を行い、改修の都度、改良を重ねてきている。

### 2.1.2 炉容拡大への取り組み

近年の高炉改修は、既設設備の大幅な改造を伴わない範囲で炉容を最大限拡大する計画が採用されている。炉体を支える基礎杭の耐力が炉容に制約を与えることも例外ではなく、安価で操業影響を出さない基礎補強工法の実現が強く求められる。

高炉基礎は大径鋼管杭を200本程度打設し、その上にコンクリート基礎を築造して総重量30000tonに及ぶ炉体、槽、鑄床等の重量物を支持している（図1）。開発した基礎補強工法は、基礎直下の比較的緩い地盤の範囲をセメント等で固化させる地盤改良技術を応用している。高炉基礎に作用する鉛直荷重は改良層を介して堅固な支持地盤に伝

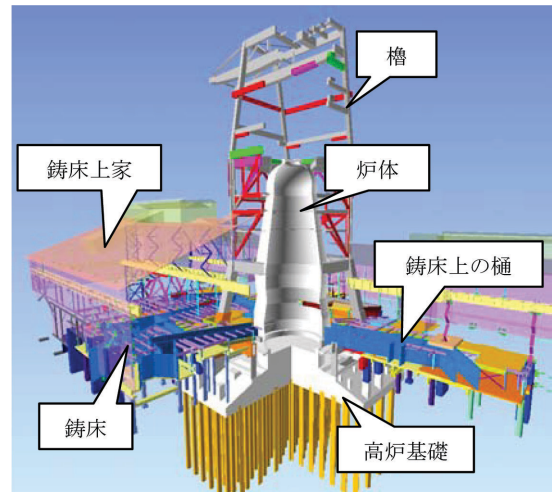


図1 高炉構造の概要

達され、杭の負担を軽減することが可能となる（図2）。

また、上部構造から入力される地震時の水平荷重が基礎耐力を超える懸念がある場合には、これらを低減する免震や制震の考え方を取り入れた設備計画を実施している。

### 2.2 気流解析技術

製鐵所には、鉄の製造過程で高熱や粉塵が発生する設備があり、工場内に滞留すると作業環境の悪化を招くため、多くの工場では、高温の気流を屋外にスムーズに排出する換気設備や、浮遊粉塵を室内に拡散させずに吸引する集塵フードを配置している。

当社ではそれらの設備の設置効果を最大限に高めるため、数値流体解析を用いた新規設備設計や既存設備の改善検討を実施している<sup>2)</sup>。粉塵を例とした解析モデルの基本概念を図3に示す。粉塵はガスと共に炉内から発生し、通常ガスや空気よりも比重が重いため、拡散の途中で流速が遅くなると重力沈降し始める。流体力学の基礎方程式を解けばこの現象に沿った解を得られるが、実際の工場内の気流は、形状の複雑な機械設備や移動機器、開口部等の影響を強く受けるので、実現象を精度良く再現するには、メッシングやパラメータ設定に関するノウハウが不可欠である。当社の強みは、多くの工場での実測データと数値解析の比較検証を通じて、多種多様なノウハウを蓄積してきた

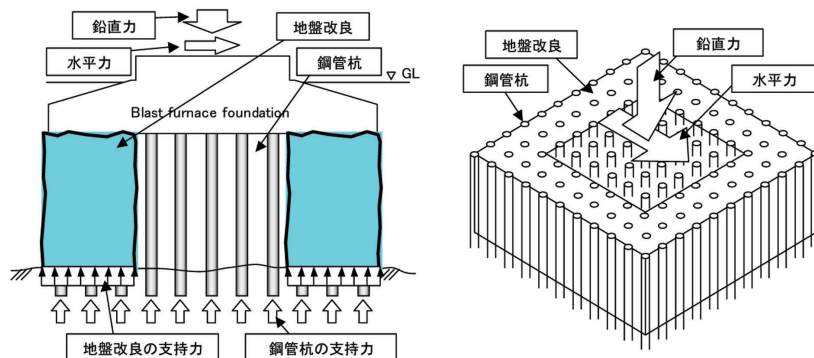


図2 高炉基礎補強の概要

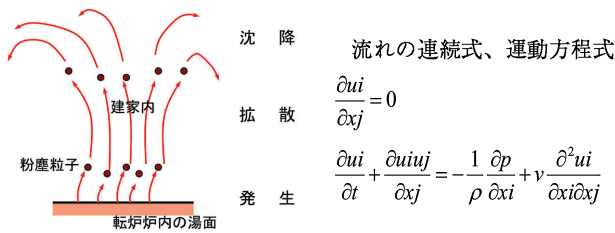


図3 気流・粉塵シミュレーション基本概念

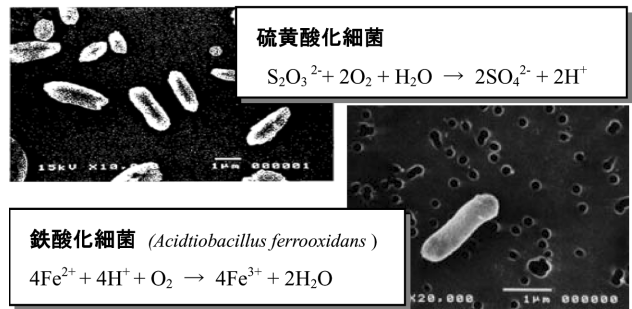


写真2 硫黄酸化細菌と鉄酸化細菌

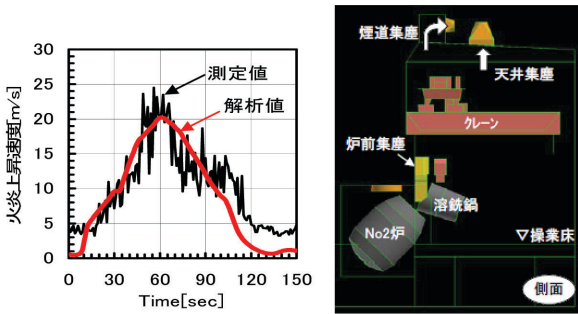


図4 製鋼工場での集塵対策検討事例

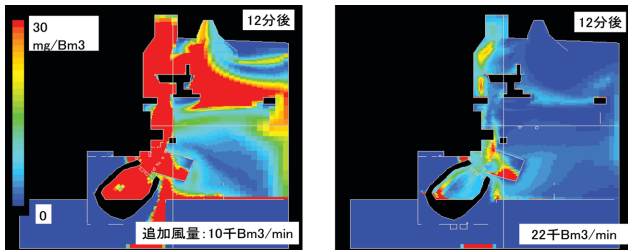


図5 製鋼工場での粉塵シミュレーション結果

点にある。

製鋼工場建屋での集塵設備増強の検討例を図4に示す。炉からの発生ガス量の時間変化を再現した非定常解析のモデルを作成し、既存の集塵フードがある炉前、煙道、天井の3箇所で集塵風量を追加した際の建屋内粉塵濃度を予測した。その結果、この設備では発生ガス噴出の勢いが強いので、発生源に近い炉前や煙道での追加は効果が薄く、発生源から離れた天井フードでの追加が効果的であることが判った。また、追加風量の大きさやフード形状についても最適化を図り(図5)、工場内浮遊粉塵量を従来の1/5に低減する設備増強計画を立案した。対策完了した工場建屋内では作業環境の大幅な改善が図られている。

製鉄プロセスは操業状態により境界条件が激しく変化するので非定常解析を要するケースが多く、解析対象空間も広いので、計算負荷が比較的高い。しかし今や数値流体解析は製鉄工場内の作業環境改善に欠かせない検討ツールとなっており、建屋の集塵計画や換気設備計画を中心に、作業者の熱中症対策、有害ガスの漏洩事故対策、下工程での結露対策等の検討に広く適用されている。

### 2.3 高度水処理技術

鉄鋼業は用水型産業であり、一般的な固液分離技術をは

じめ、化学的酸化還元処理技術、生物処理技術に至る様々な水処理技術を駆使し、例えば当社君津製鐵所では、日量340万 $m^3$ の水使用量のうち約93%を循環再利用している。微生物による生物処理技術は、環境負荷が少なく、低エネルギー、低コストの高効率な水処理技術であり、下水道分野や産業排水処理分野において、活性汚泥法や生物学的窒素・りん除去法としてBOD(生物化学的酸素要求量)及びCOD(化学的酸素要求量)負荷の低減や窒素・りん除去に利用されている。当社では、微生物を用いた排水処理技術を、還元性硫黄化合物を含むアルカリ排水の硫黄酸化細菌を用いた処理やめっき排水中の金属成分の鉄酸化細菌による分離回収にまで広く適用し、環境負荷の低減を図っている(写真2)。

硫化物やチオ硫酸化合物を含むアルカリ排水は、還元性硫黄化合物に起因するCODが高く、そのまま公共用水域に排出できないため、一般的には多量の次亜塩素酸ナトリウムを注入して酸化処理した後、中和剤でpH中和する。これらの薬品注入量の削減を目的に、pH中性域で活性のある硫黄酸化細菌を馴養し、排水中に存在する還元性硫黄化合物を生物反応により酸化すると共に、生成する硫酸で同時にpHを低下させる技術を開発し、アルカリ排水処理に適用している<sup>3)</sup>。

一方、めっき工程から発生する酸排水は、鉄、ニッケル、亜鉛等の金属イオンを含有しており、化学反応では分離できないため、一般的には中和後、金属水酸化物として処分されている。この混合排水から金属を選択的に分離するために、鉄酸化細菌を活用することを特徴としたプロセスを開発し、酸排水処理に適用している。すなわち、第一段階として、鉄酸化細菌を用いてpH4程度の酸性条件で $Fe^{2+}$ を $Fe^{3+}$ に酸化して $Fe(OH)_3$ として析出分離した後、ニッケル、亜鉛の分離回収を行う処理システムを構築した<sup>4)</sup>。

これらの硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌は酸化過程で生じるエネルギーで炭酸同化可能な独立栄養細菌であり、ランニングコストの大幅な低減が可能となった。

### 3. まとめ

土木建築水道分野の技術領域は、設備建設を中心としつつ、鉄鋼製造に関わる多様な領域、例えば地域環境の維

持、低炭素社会への対応、スラグ有効活用、地震防災、BCP (business continuity plan)、設備保全へとその裾野を広げている。

今後は、老朽化した構造物を適切に維持管理し再生する技術や、極大地震・津波に強い製鉄所土木建築水道設備を合理的に実現する技術、水質・大気保全面での一層の規制強化に対応する技術等がますます強く求められていくであろう。

土木建築水道分野では、これらの時代のニーズに応じ、

また世の中の最新技術を適切に取り入れながら、製鉄業に特有の要素技術を進化させていく。

#### 参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会生産技術部門:ふえらむ. 15 (5), 22 (2010)
- 2) 石井和利 ほか:新日鉄技報. (364), 51 (1997)
- 3) 嘉森裕史 ほか:新日鉄技報. (360), 5 (1996)
- 4) 加藤敏朗 ほか:排水・汚水処理技術集成. 初版. 東京, (株)エヌ・ティー・エス, 2007, p.139



川人健二 kenji KAWAHITO  
設備・保全技術センター  
土木建築技術部長  
千葉県富津市新富 20-1 ☎ 293-8511



石井和利 Kazutoshi ISHII  
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



山本祐史 Yuuji YAMAMOTO  
設備・保全技術センター  
土木建築技術部 建築技術グループリーダー



兼森伸幸 Nobuyuki KANEMORI  
設備・保全技術センター  
土木建築技術部 水道技術グループリーダー



榎田忠宏 Tadahiro ENOKITA  
設備・保全技術センター  
土木建築技術部 土木技術グループ  
マネジャー