

# 進化した 環境技術を 世界の製鉄所へ

## 発電とコークスの 品質改善を担うCDQ

コークス炉で約1000℃まで蒸し焼きにされた赤熱コークスは、CDQで200℃以下に冷却して高炉へ運ばれる。かつては冷却塔で水をかける湿式消火が行われていたが、CDQでは水を使わずに、不活性ガス(※1)でコークスを冷却している。全工程が完全に閉じた構造になっており、水で急冷する湿式消火のようなダスト混じりの白煙も発生しない(写真1)。回収された熱エネルギーは蒸気として発電に利用され、現在は製鉄所で使用する電力エネルギーの約40%を供給する発電設備として重要な役割を担う。

また、コークスは高炉内で簡単に潰れない硬さと粒度を持つことで、高炉内の溶銑と還元ガスの通

# コークス 乾式消火 設備

路を確保する役割を持つが、CDQは不活性ガスで徐々に冷却することで、水冷で起こるコークスの多孔化や内部亀裂の発生を抑えるとともに、冷却過程のコークス同士の摩擦で脆弱部が剥離してコークスの強度が高まり、高炉の還元効率(反応効率)を向上させ出銑量が高める効果がある。さらに、コークスに含まれる水分を極限まで減らすことで、高炉に必要な熱量を下げて、熱源としてのコークスの使用量を低減することができる。

新日鉄エンジニアリングでは、省エネルギーに対するニーズが高まった第一次オイルショック時期に、ロシア(当時ソビエト連邦共和国)よりCDQ技術を導入し、1976年に新日鉄八幡製鉄所で稼働を開始。それ以後、導入当初56トン/時だった処理能力の向上を狙った設備大型化を主眼に、独自に技術開発・改良に取り組み、

製鉄プロセスは、石灰を蒸し焼きにして固めたコークスで鉄鉱石(酸化鉄)から鉄を還元する製銑工程から始まる。コークス乾式消火設備(Coke Dry Quenching/以下CDQ)は、コークス炉で蒸し焼きにした赤熱コークスを冷却し、回収した熱で高温・高圧の蒸気を生じさせる設備。そこで生まれた蒸気は鉄鋼生産用の電力として利用されている。新日鉄エンジニアリングは、1976年の設備導入後、製鉄技術の高度化とあわせて同技術の改良・改善に取り組み、現在ではその設備技術力において世界トップの地位を確立している。今号では、製鉄プロセスにおけるCDQの位置付けやメカニズム、設備能力の最大化を目指す技術開発の軌跡を紹介する。

## 固体・液体・気体が 熱交換を繰り返す

現在では海外の製鉄所に最新設備を納入するまでになっている。

CDQはチャンバーとボイラーの2つの熱交換器で構成されている(図1)。チャンバーでは不活性ガスを利用してコークスを冷やし(熱回収)、ボイラーでは熱回収したガスで発電に使用する蒸気を発生させる。そして、この2つの装置の間にガス循環設備を装備している。CDQのメカニズムを、コークスと不活性ガスの2つの流れで見してみる。

図2のとおり、コークス炉から押し出されバケット(搬送装置)に入れられた赤熱コークスは、チャンバーの頂上部から装入される。チャンバー内では上部のプレチャ

ンバーに高温のコークスを溜め、一定の速度で下部のクーリングチャンバーに下降させる。約3時間半に及ぶその過程でコークスは200℃まで冷却され、チャンバー底部から排出されてコンベアで高炉に運ばれる。

一方、図3のとおり、不活性ガスはガス循環設備のガスブローからチャンバー下部に吹き込まれ、上部に上昇する過程で高温のコークスと接触する。そしてクーリングチャンバーとプレチャンバーの境界域にあり、コークス熱との熱交換率(ガス温度)が最も高くなるチャンバー中央部に設置された煙道からガス循環設備に入りボイラー側に流れていく。その高温ガス(950〜980℃)にはコークスから剥離した数ミリ程度のダストが含まれ、伝熱管の磨耗などボイラーに悪影響を与えるため、ボイラーに至る送管の形状などを

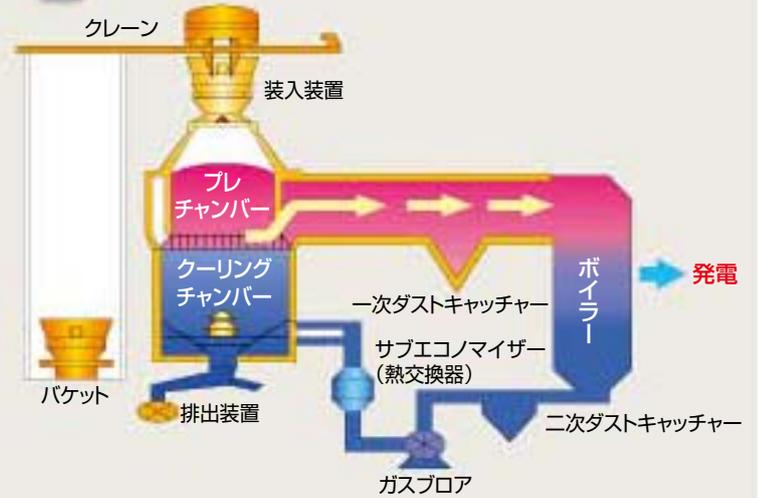
※本企画では2010年4月号から数回にわたり、長年、製鉄事業で培ってきた経験と技術を基盤に成長・発展を遂げるグループ各社の保有技術にスポットを当てて、その原点と技術開発の最先端を紹介しています。

写真 1 CDQ設備外観

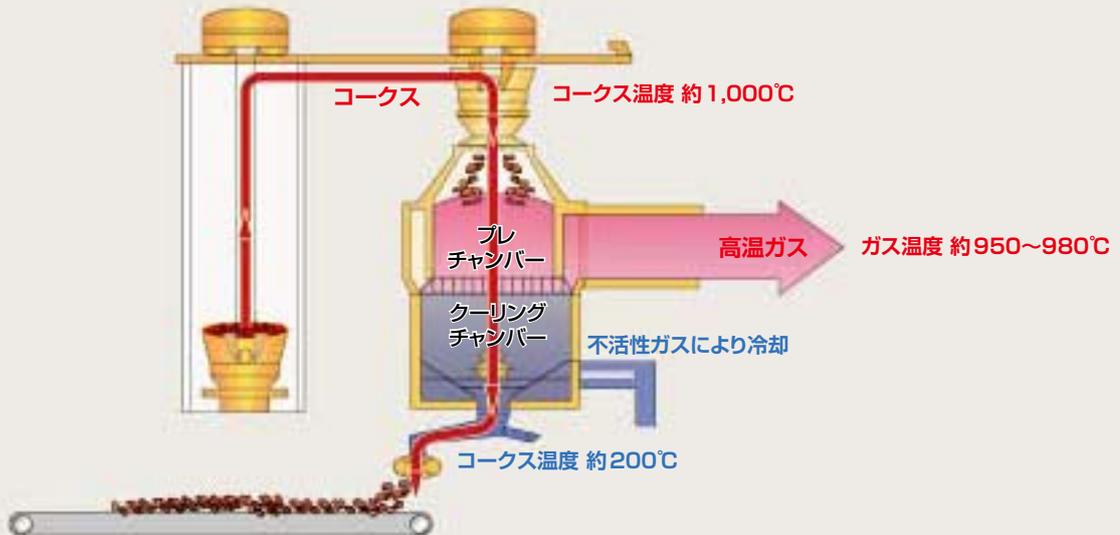


新日鉄名古屋製鉄所のCDQ

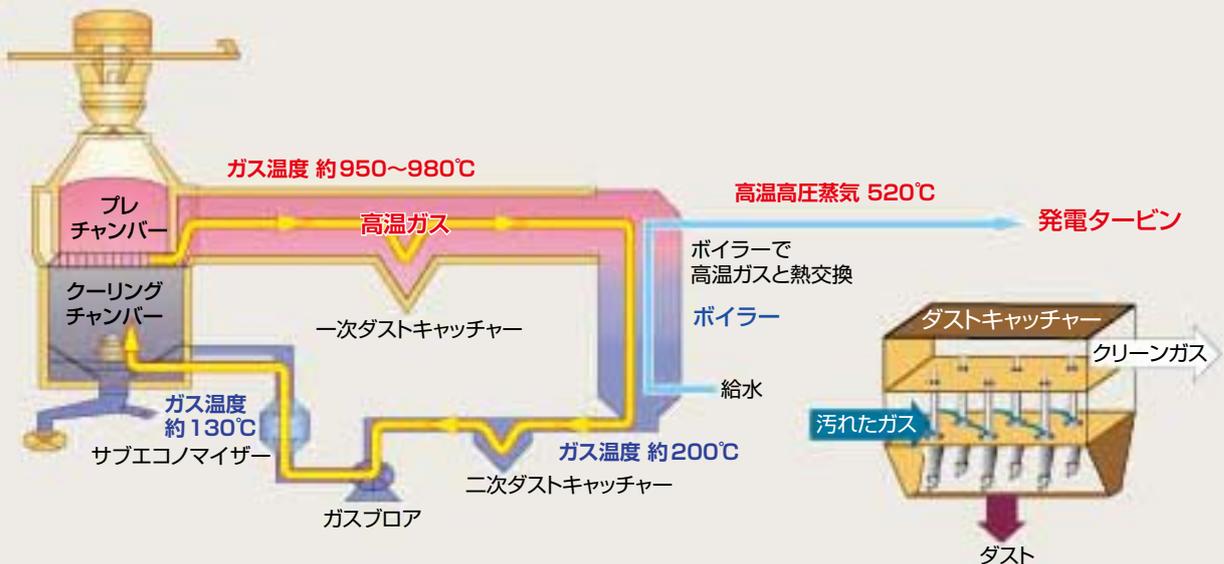
1 CDQ全体の仕組み



2 チャンバーの仕組み・コークスの流れ



3 ガス循環設備・ボイラーの仕組みと不活性ガスの流れ



※ 1 不活性ガス 化学反応を起こしにくい気体。ヘリウム・ネオン・アルゴンなど希ガス類元素や、窒素など。CDQでは主に窒素(その他CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、微量のCOとH<sub>2</sub>)

工夫したダストキャッチャーで捕集する。その後、ボイラーに入ったガスは200℃以下まで冷却され、ガスプロアに戻り再びチャンバーに吹き込まれる。ボイラーでは下から注入された水が上昇する過程で高温ガスと熱交換して蒸気となり、それが発電用のエネルギーとなる。

## 処理能力を最大化する 設備大型化への挑戦

新日鉄エンジニアリングは「省エネルギー設備」の観点からCDQの改良・改善を重ね、高効率化や稼働コスト低減を進めた。また、コークス生産量の増加に対応するため、処理能力56トン/時から始まった設備の大型化と信頼性の向上を実現する技術開発を進めた。その間、処理能力を80年代に100トン/時、150トン/時、180トン/時と向上させ、2009年には世界最大となる260トン/時の最新設備を中国の京唐鋼鉄に納入した。

処理能力向上のポイントにはチャンバーの大型化だ。しかし大型化すると、チャンバー内のコークスの粒度のばらつき制御が難しくなり、ガスの流れを悪化させて熱交換効率低下の要因となる。

90年代までの取り組みの中心はバケットの改善だった。コークスをバケットに入れるとき、粒径が大きいものほど転がり落ちやすい。バケット内のコークス粒度分布の偏りはそのままチャンバー内でも起こり、潰れにくく通気性の良い大きいコークスが集まった場所だけによく不活性ガスが流れ、全体の熱交換率を低下させる。そこで、80年代中ごろ、従来四角だったバケット形状を円筒にして回転させながらコークスを受けることにより、粒度が異なるコークスをまんべんなく混ぜ、チャンバー内での通気性の偏りを抑制して冷却効率を高めた(図4)。また、分配用チャージングベルを炉円周の中央部に装備し、熱交換効率が悪くなりがちな中央部に粒度の小さいコークスが集中しないように制御している(図5)。

さらに同時期に、ガスプロアとチャンバーの間にサブエコノマイザーという熱交換器を設置し、チャンバーに吹き込むガスの温度を一層下げて、チャンバー内の熱交換効率を高めた。熱交換器を設置すること自体は難しくないが、温度を下げ過ぎるとコークスに含まれる硫黄分で熱交換器の腐食が起りやすくなるため、最善の温度領域を模索した。

その後、200トン/時以上の処理能力を目指す上でさらなる技術開発が求められるようになった。模型やフルスケールの実験機を製作し、チャンバーの内部形状やコークスの下降経路、ガス流の解析を行った。例えば、チャンバー底部中央にあるコークスの排出口はそのままだと蟻地獄のように真ん中のコークスばかり早く落ちてしまう。その均一化のため、チャンバー底部に傘の形状をしたブラストヘッドを装備し、またその形状や大きさの最適化を図り、コークスの位置にかかわらず底部から均等に排出される仕組みを考案した(図5)。

また、大型化すると流れるガス量が増加するため、設備信頼性の観点からボイラーの磨耗対策に取り組んだ。秒速約10〜15mで送管内を流れる硬質のダストがボイラーの伝熱管を損傷させないように、ダストの流れをシミュレーションして解析し、ダストとの接触が集中する箇所形状・材質を改善して耐磨耗性を高めたほか(図6)、ダスト自体の量を低減するためにダストキャッチャーの角度や深さなど形状にも工夫を凝らしている。

新日鉄エンジニアリングは長年の地道な技術開発を通して、さまざまなサイズに対応する世界トッ

プの実績と操業ノウハウ、そしてその経験を基盤とした高精度な解析モデルの確立・活用によりCDQの能力と信頼を支えている。

## 省資源・エネルギー 設備としての価値を 世界に

CDQはコークス処理量100トン/時の設備1基で1時間あたり約18MWh(※2)の発電量が得られ、重油焚きでなく赤熱コークスの顕熱(※3)を使用するため発電時にCO<sub>2</sub>を発生させることもない。CDQによるCO<sub>2</sub>排出量削減効果については2009年国会でもその可能性が言及され、今後、中国やインド、電力価格が上がりつつある欧州などへの設備提供が期待されている(図7)。

今後も、環境面での効果や、高炉での還元効率の向上(出鉄比向上)、高炉操業時の熱量低減(コークス比低減)(図8)、および高炉の炉頂温度が上昇することによる炉頂圧発電量(※4)の増加など、多くのメリットを世界に向けて発信しながら、製鉄事業の技術革新とともに育んだ最新鋭のCDQ設備の普及を通して省資源・エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量削減に貢献していく。

監修

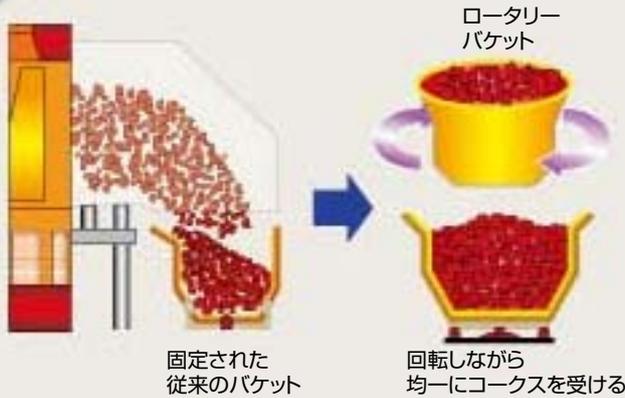
新日鉄エンジニアリング(株)  
製鉄プラント事業部  
製鉄プラントエンジニアリング第一部  
商品技術室 原料技術グループ  
グループ長  
**横手 孝輔** (よこて・こうすけ)  
(1992年入社、機械工学専攻)



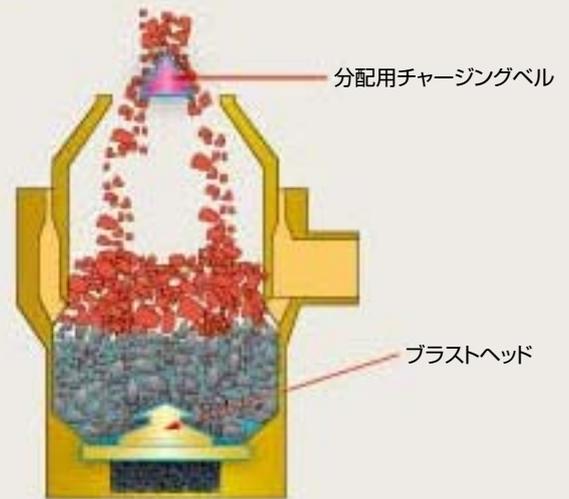
マネジャー  
**福岡 隆志** (ふくおか・たかし)  
(2000年入社、機械エネルギー工学専攻)



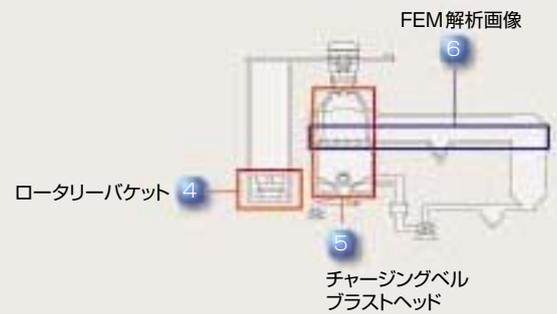
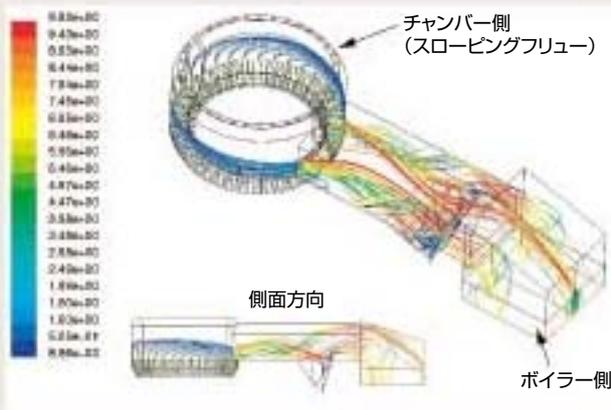
4 ロータリーバケットの仕組み



5 チャージングベル、ブラストヘッドの仕組み



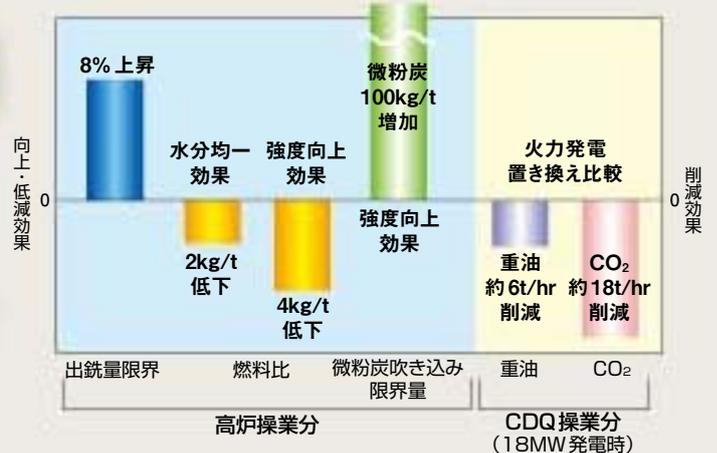
6 ボイラーへのダスト流のFEM解析画像



7 新日鉄エンジニアリングのCDQ納入実績



8 出鉄比の増加、コークス比の低減がもたらす省資源・エネルギー効果 (湿式消火(WET)コークス比)



※2 参考:(財)省エネルギーセンター「平成17年度 待機時消費電力調査報告書」 一世帯あたりの年間の全消費電力量は4.2MWh/年・世帯

※3 顕熱:物質の状態を変えずに、温度を変化させるために費やされる熱量

※4 炉頂圧発電:高炉から発生する高炉ガスの圧力エネルギーでタービンを回し、電気エネルギーを回収する発電技術