

次世代型制御冷却プロセス「CLC-μ」

組織制御技術の向上で 高機能商品への対応力を強化する

シリーズ第2回目となる今回は、次世代型制御冷却プロセス「CLC-μ（ミュー）」を取り上げる。従来の冷却制御方式を抜本的に改良し、強冷却から緩冷却まで極めて広い範囲で安定した制御を可能にしたこのプロセスの開発により、厚鋼板の組織制御が格段に容易となった。ニーズが高まる高強度・高靱性鋼などの製造に適用されるこのプロセスの開発経緯と今後の展望を紹介する。

CLC : Continuous on Line Control Processの略称

CLC-μの「μ」の意味合い 自在冷却を用いたMetallurgically Universal（メタラジカルに万能）なプロセスの意で、頭文字読みエムユーの音韻でミュー組織制御、粒径をイメージさせるμ（マイクロ）
Ultra, Ultimate, Unrivaled, Universal, Uniform, Unique, Unlimited, など、u（ユー、優）のイメージ

冷却技術のパイオニアとなった「CLC」

厚鋼板の強度・靱性を高める方法は大きく分けて2種類ある。合金を加える方法と、制御圧延後に加速冷却を行い、組織を変化させる「制御冷却」と言われる方法だ（図1）。「制御冷却」の長所は、合金添加に頼らずに高強度・高靱性を達成できるため、溶接性に優れた鋼板の製造が可能となることだ。需要家の施工コスト削減・生産性向上のニーズに応えるべく、鉄鋼各社は制御冷却プロセスの技術開発に注力してきた。新日鉄の制御冷却プロセスは、1983年に均一冷却性を極限まで高めることを狙って、「冷却前形状矯正」と「拘束冷却方式」を導入した「CLC(Continuous on Line Control Process)」を独自開発したことからスタートした（図2）。

「冷却前形状矯正」はその名の通り、冷却前にホットレベラーと呼ばれる装置で鋼板の形状を矯正する方法だ。当時、他の鉄鋼各社は冷却後に形状を矯正する手法をとっていたが、矯正前の鋼板の形状不良が冷却時の温度むらを助長してしまう問題があった。このため新日鉄では、ホットレベラーを制御冷却装置の前に設置し、鋼板の形

状を整えてから冷却する方法に着目し実機化した。

「拘束冷却方式」はロールで鋼板をはさみ込み、ロール間に冷却ノズルを配置する方式で、これによりノズルどうしの水流の干渉を防止し、冷却むらをなくす効果が得られる。

新日鉄が制御冷却プロセス導入当初から採用したこれらの方式に、やがて他社も追随するようになり、一般的なものになりつつある。

CLC-μの開発スタート 専門技術チームと取り組んだ 均一冷却性の向上

制御冷却鋼板の品質は、主に成分・加熱・圧延・冷却の各条件で決まる。CLCが受け持つ冷却はこれらの最終工程であり、製品の出来映えを決める重要な役割を果たす。冷却における課題は、さまざまな厚さ、幅、長さの鋼板を均一に冷やすことであり、均一な冷却ができなければ品質のばらつきに直結する。均一冷却性のさらなる向上は、品質の向上と材質づくり込みの自由度の拡大を

図1 制御冷却プロセスにおける鋼板の組織制御

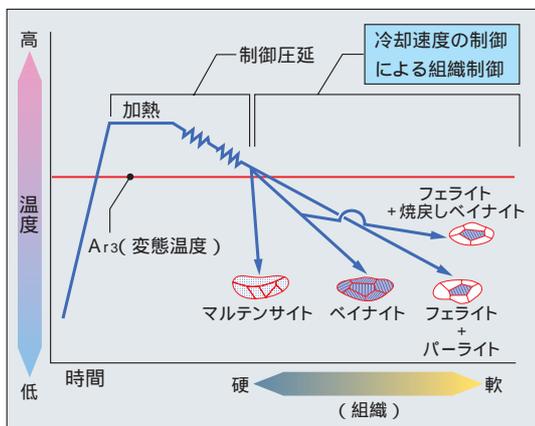
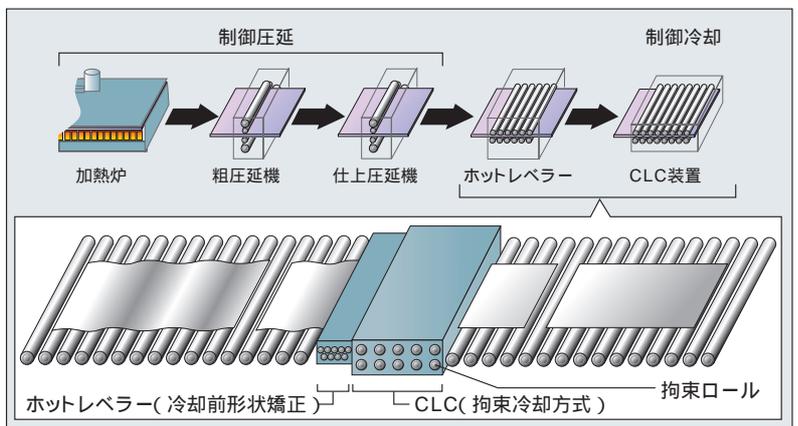


図2 厚板製造ラインとCLC設備



目指す上で重要課題となっていた。「CLC- μ 」の開発に携わった元君津製鉄所厚板技術グループマネジャーで、現IISI（国際鉄鋼協会）ワールドスチールフェローの上野博則は当時を振り返る。

「従来のCLCが持つ世界最高レベルの冷却速度をさらに向上させつつ、あらゆる冷却速度で均一な冷却を実現することが私たちに与えられた課題でした。この20年間で蓄積した冷却技術の知見をCLC- μ に結集し、進化させたという強い思いがありました」

設備開発に向けて技術開発本部と君津製鉄所から成る実行体制が生まれ、本格的な開発がスタートした。

「均一冷却の鍵を握るのは冷却ノズルでした。実製造ラインでの冷却は観測すること自体が困難であり、このためラボ実験装置に工夫を凝らし、さまざまな条件で冷却状態を徹底的に観測・解析し、プロジェクトメンバー全員で議論を重ねました。2000年から2004年の間、この繰り返しを経て高性能ノズルの開発にたどり着きました」(上野)

CLC- μ 実機化への道のり

実機化へ向けて試験設備を既存の製造ラインに設置し、タイトな生産スケジュールの中で時間を捻出し、冷却均一性の評価、ノズルの耐久性評価、流量制御に必要なデータの採取を行った。製造ラインでの一層複雑な冷却現象を捉えるためには、開発チームのみならず工場関係者一丸となった協力体制が不可欠であり、その中で得られた貴重な検証データを基に、実機

の設計・製作に取り組んだ。

本工事を段階的に進めていく際にも新たな問題点が浮かび上がってきた。実機の設計では、ふく射熱など厳しい環境での対策を考慮していたが、水中のカルシウム分の固着など熱負荷に起因する想定外の問題が発生した。また、



IISI(国際鉄鋼協会)
ワールドスチールフェロー
元 君津製鉄所厚板工場
(厚板技術グループマネジャー)
上野 博則

これまでほぼ均一な冷却後温度分布を示してきた新ノズルでも、特定のサイズ、冷却条件では特異な温度分布が発生する場合があった。開発のポイントであるノズル部分を中心に、実機データ解析、オフライン試験、VTR解析など徹底的に原因説明を行い、効果的な対策を講じて2005年7月に実機操業に移行した。

CLC- μ を活用した組織制御で 高機能商品への対応力を強化

CLC- μ は立ち上げから1カ月後には適用すべき鋼板に100%採用された。冷却後の鋼板内の温度ばらつきは従来と比較して半減し、あらゆる温度域において冷却の均一性が飛躍的に向上した。このような冷却制御性の高度化により、板厚方向の硬さの均一化も実現可能となるなど、鋼板の組織制御が格段に容易となった。

構造物のより高い安全性や、溶接などの施工コストのさらなる低減が求められる中で、現在、このCLC- μ 技術とHTUFF[®]鋼(1)製造技術などを組み合わせた高機能商品の開発を進めている。例えば、地震地帯や不連続凍土地帯に敷設されるパイプライン用鋼管には、地盤変動による曲げ・曲げ戻しに対する変形性能が要求されるが、既にX80(2)クラス以上の高強度においても充分高い変形性能を有する鋼板を開発し、実適用に至っている。マイナス40以下の極寒冷地においてもこれまでにない優れた溶接性と溶接継手靱性を有する海洋構造物用鋼板などと合わせ、CLC- μ を活用した新商品の出荷量は1万tを超えた。

「開発チームは、現在も1~2週間おきにミーティングを開き、冷却ノズルの経年劣化の評価、対策などのフォローや制御モデルの改善に努めています。同時に、『 μ (ミュー)』の名に込めた通り、自在冷却を活かしたプロセスメタラジーの新たな世界を切り開くよう、研究・営業部門と一体となって日々取り組んでいます」(上野)

新日鉄は、オンラインでの材質づくり込みの自由度を格段に高めたCLC- μ を活用し、今後も拡大が見込まれるエネルギー関連分野などの高機能商品への対応力を強化していく。

写真1 CLC- μ の冷却後温度分布(ラインパイプ材の例)

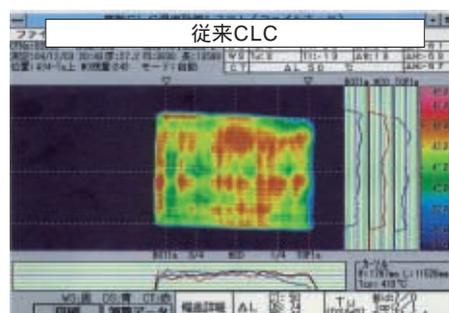


写真2 パイプライン



(1) HTUFF[®]鋼：鋼中の酸化物・硫化物のナノ粒子を分散制御し、溶接時における熱影響部の靱性を向上させた鋼材。第36回市村産業賞受賞
(2) X80：API(American Petroleum Institute)規格による鋼管(ラインパイプ)の強度グレード