鉄素材としては初！

第47回 市村産業賞「本賞」を受賞！

市村産業賞本賞トロフィー

環境負荷低減型超ハイテン橋梁ケーブル用鋼線材の開発

新日鉄住金は今年４月、「環境負荷低減型超ハイテン橋梁ケーブル用鋼線材の開発」で、「第47回市村産業賞本賞」を受賞した。最上位賞である「本賞」を鉄鋼メーカーが受賞するのは２度目、第44回の当社受賞（銅ボンディングワイヤEX1）以来の快挙だ。鉄素材としては初めての「本賞」受賞となる。ここでは、受賞の背景と開発内容を紹介するとともに、量産・実用化に至った経緯や今後の展開を開発・拡販に携わるメンバーから聞いた。

世界で増え続ける長大橋プロジェクト計画

橋の支柱と支柱の間（支間）が長い長大吊橋は、超高強度鋼線でつくられたケーブルが支える。明石海峡大橋（1998年完成）では、直径5ミリの亜鉛めっき鋼線を約3万7000本束ねた、直径約1メートルのケーブルが使われている。このメインケーブルの高強度化は、単に支間長を伸ばすだけでなく、軽量化による建設費の大幅な削減をもたらし、社会インフラ整備の促進に貢献する。

新日鉄住金は明石海峡大橋での1770MPa（※1）級ケーブルの採用実績などを武器に、世界の橋梁市場をリードしてきた。近年は国内での長大橋プロジェクトが一段落する一方で、新興国を中心にモータリゼーションに伴う交通インフラ整備の一環として、吊橋や斜張橋といった長大橋プロジェクトが数多く計画されている。

橋梁のメインケーブルに使われる鋼線は、橋梁の仕様を決定する重要部材だ。従来この鋼線は、製鉄所から出荷した線材を加工メーカーで加熱し、鉛を溶かした槽に漬ける調整冷却「鉛パテンティング（LP処理）（※2）」を経て伸線加工されていたが、線材一本ごとに処理するため生産性が低く、鉛による環境負荷も懸念されていた。また新興国の加工拠点では高品質な鋼線材の組織をつくり込むLP処理を行うことが難しい。今後の新興国の需要増に応えて供給量を増やしていくために、現地での熱処理・加工技術レベルの制約を減らす線材の開発が求められた。

環境にやさしい工程簡略化と高強度・延性の両立を実現

新日鉄住金では環境負荷が低く生産性の高い橋梁用鋼線製造の研究に長年取り組んできた。まず製造プロセ

※1　MPa：メガパスカル。引張強さや圧力の単位。N/mm²と同じで、1mm²あたり1N（約0.1kgf）の力が作用する。
1kgf/mm²=9.8MPa

※2　Lead Patenting：鋼線材の加工性を維持しながら強度を高めるための調整冷却（550℃前後の熱処理）。
この技術は19世紀にイギリスで特許（パテント）第1号となったことから「パテンティング」と名付けられた。

超ハイテン橋梁ケーブル用鋼線材のDLP処理技術開発
最適な金属組織制御技術を確立

開発業績

CO_2排出量の低減と鉛フリー化実現
強度と線径の製造範囲拡大を実現
橋梁の設計自由度拡大と施工期間の短縮を実現

スでは、ボロン（B）とチタン（Ti）の添加による組織制御により、強度と延性（加工性）の難しいバランスをとった材料を実現した。また熱間圧延直後の強水冷で組織のバラツキを減らして鋼材品質の安定化を図った。そして線材をコイル状のまま、溶融塩槽に漬ける（※3）、鉛フリーの「直接パテンティング（DLP処理）」を開発。超ハイテン橋梁ケーブル用鋼線材のDLP処理を世界で初めて成功させた。

この開発成果によって、生産面では加工メーカーでの熱処理工程を省略して生産性を高め、CO_2排出量の大幅な削減と鉛フリー化を実現。また材料面では線材の延性が向上し、熱処理の線径自由度が高まることで、鋼線の強度と線径の製造範囲が拡大した。2008年の実用化（中国・荊岳長江公路大橋）以後も着実に受注が増えている（採用実績約1・7万トン）。今回の受賞では、鋼線の優れた生産性、性能により、橋梁の設計自由度の拡大、メインケーブル架設作業期間の短縮など、社会貢献へのポテンシャルの大きさが高く評価された。

※3　溶融塩は熱伝導性が高く、回収・再利用が可能な中性塩。
特性を出すため、溶融塩槽に漬け、緻密な温度管理を行う。

市村産業賞とは？

企業集団であるリコー三愛グループ各社を統轄した創業者、故市村清氏（1900－68）の紺綬褒章受章（1963年4月29日）を記念し、財団法人新技術開発財団の主宰で創設された賞。優れた国産技術を開発することで、産業分野の進展に貢献・功績のあった技術開発者またはグループに贈られる。本賞、功績賞、貢献賞があり、最上位賞の本賞は、技術開発者と共に在籍企業の代表者も表彰され、賞金と記念牌が贈られる。技術開発の成果だけでなく、採用実績による社会貢献度が評価されるのが本賞の特徴。

開発・実用化への挑戦

プロセス・材料・商品技術、三位一体で成し遂げる

プロセス開発

需要増に応える熱処理プロセスの開発に成功

足田（ひきた） 尚志（なおし） 君津製鉄所 品質管理部 線材管理室 主幹

新興国を中心に増える長大橋プロジェクトの需要に応えるためには、国内の伸線加工拠点だけでは鋼線の供給量に限界がありました。海外現地の伸線加工拠点での高度な熱処理・加工技術の制限をなくして工程を簡略化し、供給量を増やすことを目標に、2002年、製鉄所で熱処理までを行う鉛フリーのDLP技術の適用に挑みました。

DLP技術自体は1985年に開発され、橋梁以外の高炭素鋼での実用化は進んでいましたが、橋梁用高強度鋼線材（高シリコン（Si）材）では、コイル状のまま熱処理すると温度ムラにより組織のバラツキが出やすく、長さ数キロメートルにも及ぶ鋼線全体の組織を均一に制御するのが困難でした。製鉄所での線材の組織制御により、長手方向の組織を均一化し延性を高める。そこをターゲットに試験を繰り返しました。

鋼線は、加工メーカーで伸線加工したあとでなければその特性を評価できないため、非常に長い試験サイクルが必要です。国内プロジェクトで長年協業してきた東京製綱（株）と連携して熱処理・加工試験に地道に取り組み、徐々に最適な温度条件を絞り込み、橋梁用高強度鋼線のDLP技術を確立しました。そしてその後は、真鍋主任研究員を中心に開発を進めた新鋼線を量産するための製造条件の設計、実用化に取り組みました。

従来処理とDLP処理の工程比較

材料開発

高 Si 材を安定的に量産できる組成を導き出す

真鍋（まなべ） 敏之（としゆき） 技開本部 君津技術研究部 主任研究員

橋梁用高強度鋼線材のDLP技術を確立したあと、2004年から第2ステップとして、数万トン単位の鋼線材を安定的に量産するために、材料成分の検討を行いました。シリコン（Si）を添加した高炭素鋼では、DLP処理で製造すると表層部の組織が不均一になることが課題の一つでした。これを解決するために着目したのが、ボロン（B）とチタン（Ti）の活用です。薄板や厚板などの低炭素鋼では、強度アップのためにこれらの元素は積極的に使われていますが、橋梁用鋼線のように炭素を多く含む高炭素鋼では、これら元素はあまり使われていませんでした。

そこで発想を変え、高炭素鋼におけるボロン、チタンの効果を改めて検証し、もともと高強度である鋼線の延性を高める目的での新たな活用手法の確立に挑戦しました。まず、富津（REセンター）の鉄鋼研究所や先端技術研究所のナノレベルの微細組織解析によって、組織が均一なほど鋼線の延性が高くなるという知見を得ました。その上で、ボロンやチタンの添加量を緻密に変化させることで、不均一な材質の原因となるベイナイト組織（※3）の生成を抑える手法を確立し、2007年、延性の高い新たな高炭素鋼線の量産化技術の開発に成功しました。

光学顕微鏡による鋼線材組織比較

ボロンとチタンの添加により、鋼線の組織が均一になり延性が高まった（右）

※3　ベイナイト組織：鋼材の温度変化の過程で成長する針状、羽毛状の硬い金属組織。

第47回 市村産業賞「本賞」を受賞！

商品技術

新技術の海外PRを展開し、早期の実用化を実現

谷田部（やたべ） 比呂志（ひろし） 棒線事業部 棒線技術部 棒線商品技術室 主幹

新技術がいくら優れていると言っても、その良さをお客様にご理解いただけなければ意味がありません。2007年の製造法の確立と並行して、各国の長大橋施主への技術提案に取り組みました。「水先案内人」であるプロジェクト開発部の調査内容・情報に基づき、同部と共に現地で、新たな高強度鋼線の優れた特性はもちろん、伸線加工後のワイヤの品質安定性や生産性の高さ、建設コスト削減メリット、さらに鉛フリーで環境負荷が低いことなど、多彩な強みをPRする技術的なプレゼンテーションを、施主・ゼネコン・ケーブルメーカーへと展開しました。

その結果、今回開発した鋼線は、2008年、世界で初めて中国・荊岳長江公路大橋（斜張橋）のメインケーブルへの採用が決まりました。その後も、材料開発部門、製造部門と連携して、大量生産における歩留向上を実現する成分設計の見直しなどを継続的に実施し、2013年にはトルコ・イズミット湾横断橋のメインケーブルへの採用に結び付けました。

現在世界で計画されている長大橋だけでも約33万トンの需要が見込まれています。各プロジェクトでの技術提案を行い、社会貢献に資する開発鋼線を着実に普及させていきたいと思います。

イズミット湾横断橋（2016年開通予定）

提供：（株）IHIインフラシステム

プロジェクト開発

新たな長大橋プロジェクトの探索と、新市場の開拓に挑む

那須（なす） 健二（けんじ）
プロジェクト開発部
海外開発室 主幹

岡田（おかだ） 裕行（ひろゆき）
プロジェクト開発部
海外橋梁・鋼構造技術室 主幹

材料開発の進捗とスケールアップを可能にする橋梁技術の発展、各国の社会・経済環境を掌握し、プロジェクト案件を調査・探索するプロジェクト開発部。

「現在、中国をはじめ海外での大型橋梁案件を中心に、現地の技術ニーズを捉えて棒線事業部につなぎ、研究・製造・営業部門、グループ会社と連携をとりながら、プロジェクトへの参画に挑んでいます。新開発ワイヤは、これまで考えられなかった距離の長大橋建設を可能にすることで、従来のスペックを変えてしまうインパクトを持っています。今後はフィヨルドを横断する3700メートル級長大橋など、従来の常識を超えた最先端の橋梁計画への参画を実現していきます」（岡田主幹）

「当社はすでに長大橋ケーブルでは世界市場のメインシェアを占めていますが、さらに採用実績を増やしてブランド力を高め、当社線材商品への世界的信頼を獲得することが使命です。高強度ワイヤの需要は長大橋ケーブルに加えて、浮体式橋梁の係留用ワイヤやコンクリート構造物のPC鉄筋、重量物吊上用の高強度ロープ、送電線の芯材など、インフラ・エネルギー分野を中心にさまざまな分野が考えられます。高強度・高延性・安定した品質のメリットを訴求する提案活動に取り組んでいきます」（那須主幹）

支間長世界トップ10
長大吊橋用新日鉄住金材の採用実績　（◎：高強度DLP®線材）

完成年	橋名	最大支間長 m	長さ順位	国名	当社材採用実績
1981	ハンバー橋	1,410	8	英国	
1998	明石海峡大橋	1,991	1	日本	○
1998	グレートベルト・イースト橋	1,624	3	デンマーク	
1999	江陰長江大橋	1,385	10	中国	○
2005	潤揚長江公路大橋	1,490	6	中国	○
2009	舟山西候門大橋	1,650	2	中国	◎
2012	南京長江第四大橋	1,418	7	中国	
2013	李舜臣大橋	1,545	5	韓国	
2015（予定）	第三ボスポラス橋	1,408	9	トルコ	
2016（予定）	イズミット湾横断橋	1,550	4	トルコ	◎