

鋼管の技術進歩と今後の展望

Progress in Pipe & Tube Technology and Its Future Prospect

日下 嘉蔵*
Yoshizo KUSAKA

抄 録

新日鉄住金(株)の鋼管事業は、旧新日本製鐵(株)と旧住友金属工業(株)が培った技術をベースにその先端技術を補完融合させながら技術開発を推進している。新日鉄住金の鋼管について製品分野別に技術開発状況とその展望を述べる。

Abstract

Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation (NSSMC) has been promoting research and development on pipe & tubes, combining high level technologies which have been cultivated in each company, Nippon Steel Corporation and Sumitomo Metals Industries Ltd. This paper introduces the progress in pipe & tubes technology and its future prospect for each products.

1. 緒 言

2012年10月、旧新日本製鐵(株)と旧住友金属工業(株)が統合し新日鉄住金(株)が誕生した。新会社は、旧両会社で培った技術をベースにその先端技術を補完融合させながら技術開発を推進している。本報告は、新日鉄住金の鋼管について製品別に技術開発状況とその展望を述べる。

2. 油井管

2.1 概況

原油、天然ガス資源は、世界の将来にわたるエネルギー需要の増加予想の中、主要なエネルギー源として益々その重要性を増しており、可採埋蔵量の増加のため、従来開発困難であった大深度の井戸開発、超深海の井戸開発、高腐食環境の井戸開発といった各石油会社のチャレンジが続いている。

それに伴い、油井管に対する技術的な要求も多様化しかつ極限の性能を求めるものも多い。大深度および超深海の井戸開発では、高温、高圧の環境となり、高強度かつ厚肉の鋼管材料と、厳しい複合荷重(引張/圧縮/内圧/外圧)での耐リーク性能を有する継手の組み合わせが要求される。更に高腐食環境とのダブルな厳しい環境となると耐腐食減肉や耐腐食割れ性能を合わせもつ高強度材料の開発もニーズとなっている。

また、シェールオイル/ガスといった非在来型資源の開発も水平坑井と水圧破砕の技術により実用化され、米国において一挙に資源エネルギーソースの主要なひとつとなってきた。油井管に対する要求は、比較的深度は浅いものの長い水平坑井を短期間、低コストで多数仕上げる観点よりの要求が主体となっている。

一方、井戸開発時の環境対応技術も視点となっている。継手が締め付けられる時に、高い耐リーク性能と耐焼付き性能を保持するためには、API ドープと呼ばれる高性能な潤滑剤を使用することがポイントであるが、ドープは潤滑とシール性能を高める目的で重金属を含むため、海洋の汚染等の懸念となる。近年ドープフリーと呼ばれるAPI ドープを使用しない技術が、北海、シベリア、カスピ海等で要求されてきた。

2.2 シームレス油井管

シームレス油井管の製造は、和歌山製鉄所(外径60.3mm~425.4mm)、尼崎製造所(外径60.3mm~339.7mm)の2か所の製造所で実施している。和歌山製鉄所は、炭素鋼から13Cr鋼まで、尼崎製造所は、ステンレス鋼(高Ni合金ステンレス鋼や二相ステンレス鋼)を冷間仕上げにより高強度化した油井管を製造している。

高強度の耐サワー炭素鋼の油井管は、以下のように製品シリーズ化を整えている。

* 鋼管事業部 鋼管技術部長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

- ① 1atm以上のサワー性能を有する Extreme Sour service として SM-XS シリーズを SM-80XS, SM-90XS, SM-95XS, SM-110XS と制定し、ハイコラプス性能を有する SM-TXS シリーズをオプション追加している。
- ② 0.1atmH₂S 対応の Enhanced Mild Sour service として、SM-ES シリーズを SM-110ES, SM-125ES と制定しハイコラプス性能を有する SM-TES シリーズをオプション追加している。
- ③ 0.03atmH₂S 対応の Mild Sour Service として、SM-125S を制定している。

これらのグレードは、それぞれの井戸環境に適した選択で、顧客に適用されている。更に厚肉品や標準サイズ外の外径への対応も、適宜顧客のニーズに合わせて開発をしている。

高 CO₂ / 高 H₂S の厳しい腐食環境井戸には、高 Ni 合金ステンレス鋼の SM2535 (25%Cr-35%Ni-3%Mo) や SM2550 (25%Cr-50%Ni-6%Mo) を供給している。それぞれ、高温・高圧高耐食性の性能ニーズに対応し、高温でかつ固体硫黄の存在するサワー環境でも適応できる技術限界をクリアにする開発や、より大深度に適用する高強度グレードを開発、更に大深度のガス井戸を効率よく生産するため 9-5/8" 外径といった大径の高 Ni 合金ステンレス鋼の製造技術の開発等を成し遂げてきている。この技術分野で、1993 年に高強度・高耐食 Ni 合金油井管の開発、2013 年に天然ガスの大幅増産を実現させる高合金油井管および製造技術の開発と、2 度の大河内記念賞の受賞を得ている。

油井管の開発には、材料と組み合わせて継手の開発ニーズも多様化し、過酷な環境へ対応できる性能の追求となってきた。複合荷重（引張／圧縮／内圧／外圧）での耐リーク性能を有する継手として、VAM® TOP の後継で、耐リーク性能とランニング性能を改善した VAM® 21 継手を開発し、順次サイズ拡大を行っている。更に、顧客のニーズの多様化に対応し、スリムで高性能の継手やハイトルクな継手等を開発している。また、ドープフリーの要求に対して、VAM® CLEANWELL と VAM® CLEANWELL-DRY の技術にて、世界のニーズに対応を進めている。

2.3 ERW 油井管

名古屋製鉄所（外径 114.3mm ~ 406.4mm）と光鋼管部（外径 318.5mm ~ 609.6mm）で、プロダクションケーシングからコンダクターケーシングまで広範囲な ERW（電気抵抗溶接）油井管を製造している。

新日鐵住金の ERW 油井管の製造上の特徴は、高度な溶製技術と熱間圧延工程における TMCP（Thermo mechanical control process）を駆使した高強度熱間圧延鋼板を素材とし、独自の成形法と溶接管理（自動入熱制御、溶接現象監視システム）による信頼性の高い電気抵抗溶接の実現によって

非調質（非熱処理）で高強度、高靱性の ERW 油井管を製造することにある。製品別では名古屋製鉄所で製造する小中径の ERW 油井管はその優れた寸法精度と熱延 TMCP による高強度化技術により API 規格を上回るドリフト性と圧潰強度を特徴とし、最小降伏強度（SMYS）95ksi 以下の製品（NT-HE シリーズ、通称 T.U.F. パイプ）を供給してきた。

更に近年、米国のシェールガス&オイルの開発が活発化するにつれて更に高い圧潰強度を有する高強度ケーシングが求められるようになったことから SMYS 110ksi の高圧潰ケーシング（NT-110HE）の開発に成功し、供給を開始している。また、油井掘削コストの大幅削減に寄与する新工法用のケーシング、Expandable Tubular 用素材の開発にも取り組み、低・中拡管率で使用される製品を継続供給する一方で、高拡管率、耐腐食性等の特性を有する次世代型素材の開発に今後、取り組んでいく。

光鋼管部では、シームレス製法では製造しにくい 406.4mm 以上の大径ケーシングにおいてはこれまで SMYS 80ksi 以下で供給実績を伸ばしてきたが、昨今の油井環境の苛酷化（深井戸化および腐食環境）から高強度あるいは高圧潰特性が求められるケースが増えており、昨年初に造管ラインの設備能力を増強し、このような需要家の要求に対応する製品開発に取り組んでいる。

2.4 今後の技術開発のポイント

掘削技術関連の技術進歩により、オイル&ガスのエネルギー可採埋蔵量を増やす試みは、人類の将来エネルギーの確保に重要な位置づけとなる。それに伴い油井管に対する技術的な要求も、更なる要求の多様化、高度化、複合化、経済性、安全信頼性の追求と益々拡大される。新日鐵住金は、シームレス鋼管、ERW 鋼管の種々の高級油井管を供給してきたが、今後、これらを更に高める製品の開発に注力していく。

3. ラインパイプ

3.1 概況

近年、原油、天然ガスなどのエネルギー資源の開発は、北海、シベリア、カナダ、サハリンなどの寒冷地や地中海、黒海、メキシコ湾、ブラジル沖などの深海域における掘削、横断へと、その自然環境の苛酷な地域に進展してきた。さらに北海、バルト海、オーストラリア北西沖大陸棚開発などの長距離高圧海底パイプラインの建設や、オーストラリア東部での炭層ガス開発、カナダなどでのオイルサンド開発、アメリカで急速に進展したシェールガス、シェールオイルの開発なども進められている。また、地球環境重視の観点から需要が増大している天然ガスパイプラインについては、システムの経済性の観点から鋼材重量の低減や操業圧力の増加が求められている。

これらの環境条件の変化に対応してラインパイプに要求

される特性はますます高度化かつ多様化しており、大きく分けると、(1) 厚肉・高強度化、(2) 高靱性化、(3) 現地溶接(円周方向溶接)性の向上に伴う低炭素当量(Ceq)化、(4) 耐食性の厳格化、(5) 凍土、地震・断層地帯での高変形性能の要求である。また、これらの特性は使用環境に従い、複合して要求されるのが普通である。

3.2 UO ラインパイプ

エネルギー用途を中心とした大径鋼管(外径457.2mm～1524mm)を鹿島製鉄所、君津製鉄所で製造している。両工場合計の生産量は創業以来合計2600万トンを超え、世界各国で天然ガス、石油を中心としたエネルギー輸送に使われている。いずれの工場も、製鋼、厚板圧延、製管、検査を一貫した製造技術を確立し、常に最先端技術を確立してきた。主要なものとして、高純度鋼溶製技術、新型CC(連続鋳造機)による中心偏析軽減技術、厚板TMCP技術(制御圧延+加速冷却、鹿島製鉄所: DAC(Dynamic Accelerated Cooling)-n、君津製鉄所: CLC(Continuous on-Line Control process)-μ)、高強度及び高靱性溶接材料、厚肉高強度鋼管の造管にも適した高精度プレス・拡張技術、デジタルX線、多チャンネルプローブ・フェイズドアレイを含むUST(超音波探傷)などの最新非破壊検査技術、自動寸法測定装置などがあげられる。また、新日鐵住金の特徴として、パイプライン安全性評価に関わる技術を有し、種々のシミュレーションと共に実管での破壊安全性実験を行っている。

一方、冶金的技術としては、高強度まで対応可能な溶接性にも優れたサワーガスラインパイプ用成分系及びそれを利用したプロセスメタラジー(加工熱処理技術)や、溶接熱影響部の靱性に優れた微量Tiによる細粒化技術、オキサイドメタラジー(TiO₂, MgOなど)、化学成分系の最適化がある。また、高強度鋼の製造においては、化学成分、加工熱処理を駆使してマイクロ組織を制御する技術を開発した。また、FEMに基づくシミュレーション技術を開発し、厚肉、高強度、高変形能ラインパイプ製造条件の高度化、アプリケーション技術の提案などを実施している。

これらの技術を適用した商品としては、耐サワーラインパイプ、極低温用ラインパイプ、厚肉深海用ラインパイプ、高強度ラインパイプ、高変形能ラインパイプ、高HAZ(溶接熱影響部)靱性ラインパイプなど多岐にわたる。

耐サワーラインパイプでは、APIグレード(アメリカ石油協会の強度分類)のX70まで、既に量産供給を行っている。一般的にはX65までのグレードが中心であったが、鋼材の軽量化、敷設溶接コストの低減などのために、優れた耐サワーガス性能を達成した高強度化を実現した。

アラスカ、カナダ、ロシアなどでは、冬季に-40～-60℃に曝されるため、それらの地域で使われる極低温用ラインパイプを製造し、陸上のガス、石油精製プラント建

設等に供給している。また、サワーガスを扱うガス精製プラントでは、スラグキャッチャーと呼ばれる装置で、断熱圧縮に耐えうる-46℃程度の低温用サワーガスラインパイプが適用されている。

厚肉深海用ラインパイプでは、水深1500m～2200mクラスのメキシコ湾、地中海、黒海などの海底パイプラインに厚肉性能、低温靱性が優れた高寸法精度の厚肉パイプを供給している。

近年、高強度ラインパイプは、ガスの高圧輸送、鋼材コスト低減、敷設工事コストの低減などから急激に適用されるようになってきた。X80グレードは、既に、ドイツ、チェコ、英国、ロシア、カナダ、アメリカ、日本などで適用され、特に、中国では第二西気東輸プロジェクトで、ロシアでもヤマル半島のガス田開発で長距離、高圧輸送化したパイプラインに適用している。更にX100はカナダのトランスカナダパイプライン社へ2回に渡り供給し、実証試験並びに実操業に適用されている。X120については、アメリカのエクソンモービル社と共同研究を行い、やはり、敷設施工実証試験を兼ねて、カナダのアルバータ州にトランスカナダパイプライン社とパイプライン敷設を行い、成功を収めた。

更にAPI及びISOのラインパイプ規格においては、X120までのグレードの規格化を実行した。

不完全永久凍土地帯、断層地帯、地震地帯などを通過するパイプライン用としては、これらによるひずみによる変形に耐えうるための高変形能ラインパイプを開発した。鋼材のマイクロ組織を微細かつ複層化し、強度、変形性、低温靱性を兼ね備えたものである。すでに、日本、中国、カナダ、ロシアなどに供給している。

3.3 シームレスラインパイプ

エネルギー用シームレスラインパイプの製造を和歌山製鉄所(外径15.9mm～425.4mm)、尼崎製造所(外径60.3mm～244.5mm)、東京製造所(外径33.4mm～168.3mm)の3か所で実施している。

シームレスラインパイプは、世界の海底パイプライン、低温パイプライン、腐食性(H₂S/CO₂)のオイル/ガスパイプライン等、厳しい環境で、高い性能と信頼性が要求される処に使われているが、新日鐵住金は市場ニーズの技術的な変化に対応して高い付加価値を持つハイエンド商品を拡大していく戦略を取っており、更に技術的に深化させていくことがテーマとなっている。

海底パイプラインは、300m～3000mの深海のパイプラインの開発が増加し、高強度/高靱性で厚肉のシームレスラインパイプへの品質と性能の要求は次々に高いものとなっている。また、パイプラインの施設コストの経済性の追求のためリーリング工法への適応性やパイプ寸法形状の改善による溶接施工性の向上も求められる。これらの要求に対し、世界最高レベルの技術を常に開発し続け、顧客の

期待に応じている。

低温パイプラインは、北欧、ロシア、アラスカ、カナダ等の寒冷地域で、厚肉ラインパイプの靱性への要求がより高度になり、開発を継続している。

腐食性 (H_2S/CO_2) のオイル／ガスパイプラインは、中東、カスピ海沿岸といった高い H_2S を含むオイル／ガスパイプライン用に、耐サワーの X65 シームレス炭素鋼を大量に供給し、高い品質にて顧客の信頼を得ている。また、北海やオセアニア、東南アジアの高 CO_2 / 低 H_2S の腐食環境に対応するスーパー 13Cr 鋼や二相ステンレス鋼の適用の拡大を顧客とコミュニケーションを持って進めている。施工性に優れ、性能／コストのパフォーマンスの高い新商品 (SM65-2505 (DP25U)) も開発完了している。

新日鐵住金が開発した高強度 X90, X100 のグレードは、API 規格への規格化を認められた。

3.4 ERW ラインパイプ

エネルギー用 ERW ラインパイプの製造を名古屋製鉄所 (16 インチミル)、光鋼管部 (24 インチミル) で行っており、高周波誘導加熱方式で製造している。歴史は長く、海外での海底パイプライン、低温ラインパイプ、サワーガスラインパイプにも使われている。しかしながら、新日鐵住金は、新成形法 (Flexible Forming eXcellent : FFX)、溶接現象をカメラでモニタリングする最先端技術を開発し、最適な溶接条件での製造を管理、監視する装置を導入した。

ERW は熱間圧延製造によるホットコイルを素材として適用し、やはりこれも自社製の一貫品質管理された技術、製品を適用しており、最先端の素材を適用している。ERW ラインパイプは、生産性が優れるため相対的にコストが安価に造れる利点がある。ERW ラインパイプは従来、強度 X65 以下で、板厚 16mm 以下が主流であったが、UO ラインパイプやシームレスラインパイプの製造領域と重なるサイズ、グレードにも適用されるようになってきたため、厚肉化、高強度化、高靱性化要求が高まってきている。特に最近では、海底パイプラインのリーリング工法に適用可能な、高寸法精度、均質な材質、強度分布の狭レンジ、低降伏比 (YS/TS = 降伏強さ／引張強さ) 鋼管の要求が高まり、供給を開始した。

3.5 今後の技術開発のポイント

新日鐵住金は UO 鋼管、シームレス鋼管、ERW 鋼管の種々の高級ラインパイプを供給してきているが、今後、更なる要求の多様化、高度化、複合化などの市場動向が続く中で、鋼管単体としてではなく、パイプラインシステム全体の経済性、安全信頼性を高める製品および利用技術の開発に注力していく必要がある。

4. ボイラ用鋼管

4.1 概況

わが国は 1980 年代に従来の石油火力からいち早く安価で安定なエネルギー源である石炭火力にシフトする中、新日鐵住金は世界に先駆け蒸気温度を高温高圧化する超々臨界圧 (Ultra Super Critical : USC) ボイラ用鋼管の研究開発をスタートさせた。その成果である新材料鋼管が、世界の USC ボイラに採用され、 CO_2 削減による地球環境改善に大きく寄与している (大河内記念生産特別賞および全国発明協会会長賞を受賞)。以下に独自商品の一部を紹介する。

4.2 世界スタンダードとなったステンレスボイラチューブ

TP347HFG 鋼管 (18Cr-12Ni-Nb) は、合金成分の適正化と合わせ、独自の加工熱処理法により、高温熱処理による高強度化と金属組織の細粒化による高耐水蒸気酸化性を同時に実現した。本鋼管は国際規格である ASME に本規格化された (1970 年代以降に開発されたステンレスボイラチューブでは世界初)。さらに、安価な Cu (銅) を強化元素に活用して従来の 347H 鋼の 1.5 倍の強度を有する SUPER304H® (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N) 鋼管を開発した。本鋼は、TP347HFG 同様に細粒鋼で、世界の USC ボイラに採用され、本年 ASME の本規格となる予定である。

一方、600℃ 級蒸気ボイラでは、石炭中の不純物による厳しい高温腐食が避けられない。開発した HR3C 鋼管 (25Cr-20Ni-Nb-N) は高耐食性環境の部位に用いる世界スタンダード鋼管として、ASME 本規格を取得済みである。

4.3 世界の USC ボイラを支える高強度 9Cr 系大径厚肉鋼管

ボイラの主蒸気管、高温再熱蒸気管には外径 350 ~ 850mm 程度、肉厚 25 ~ 130mm 程度の大径厚肉鋼管が用いられる。USC ボイラの大径厚肉鋼管には、熱膨張が大きく熱疲労破壊を生じやすいオーステナイト系ステンレス鋼は使用できない。Gr.91 鋼管 (9Cr-1Mo-V-Nb) は高温強度に優れる 9Cr 系フェライト鋼で、1980 年代にいち早く大径厚肉管の研究開発を進め、世界に先駆け国内 USC ボイラに実用化した。また Gr.91 よりさらに高温強度の高い Gr.92 (NF616 : 9Cr-1.6W-V-Nb-B) 鋼管を開発した。W (タングステン) や B (ボロン) を添加して高温クリープ強度を高めた材料であり、世界の USC ボイラに採用されてスタンダード鋼となった。

4.4 再生可能エネルギーへの展開と A-USC (Advanced Ultra Super Critical) ボイラの展望

耐硫酸・塩酸露点腐食鋼管 S-TEN® は、ボイラの低温領域 (煙突、周辺配管) の機器配管に利用されている。また

耐応力腐食割れ (SCC) 性を改善した XA704 (低 C-18Cr-9Ni-2W-V-Nb) や NF709 (22Cr-25Ni-1.5Mo-Nb-N) も実績がある。

ガスタービンと蒸気タービンの組合せで高効率に発電する LNG ガスコンバインドサイクル発電には、TP347HFG や SUPER304H が採用され蒸気の高温度と高効率化に一役買っている。

バイオマスを活用した再生可能エネルギーボイラには、その耐食性が評価され細粒組織の TP347HFG や高耐食性 HR3C, NF709 が採用されるとともに、都市ごみ燃焼ボイラにも採用され実績を得ている。

さらに、次世代 (A-USC) ボイラでは、蒸気温度を 700℃ に上げる構想があり、欧州や米国、日本、中国で官民一体のプロジェクトが進行中である。新日鐵住金は各プロジェクトに参画し、HR6W (25Cr-43Ni-8W-Ti-Nb) や HR35 (30Cr-50Ni-W-Ti-Nb) などの次世代の高強度 Ni 基合金の研究開発を進めている。

5. 石油精製・石油化学用鋼管

5.1 概況

石油精製・石油化学プラントでは、炭素鋼溶接管から、汎用ステンレス鋼管、二相ステンレス鋼管、Ni 基合金シームレス管まで、あらゆるグレードの管製品が使われている。シェールオイル・ガスやオフショア開発の活発化、ガソリン中の硫黄規制等に、新日鐵住金はニーズを先取りした新材料開発を進めている。以下に代表的な開発材料を紹介する。

5.2 エチレンクラッキングチューブ

米国ではシェールガスを原料としたエチレンプラントの新規建設が予定されている。開発実用化したエチレンクラッキングチューブ HK4M (25Cr-25Ni-Ti-Al) および 25Cr-38Ni-Si-2Mo-Ti-Zr 合金管 (材質記号 HPM, 内面ひれ付管) は、従来の鋳造合金を改良したもので衝撃特性に優れ、熱間押出法製管による鋼管の小径長尺化、管内面の複数枚のひれ (スパイラル状に配置も可能) で、分解反応を加速してエチレンの生成収率を高めることができる。

5.3 特殊な腐食メタルダスティングに耐える新合金管開発

近年、浸炭性の高い合成ガスによるメタルダスティング (金属の粉化、脱落) が問題になっている。開発した NSSMC™696 合金管 (30Cr-60Ni-1.5Si-2Cu-2Mo) は、Si による耐食皮膜と Cu の作用によりメタルダスティングを防止する画期的な材料である。すでに ASME 等の国際規格を取得済みで、世界の化学プラントに実用化が期待されている (日本金属学会技術開発賞を受賞)。

5.4 オフショア開発に適した耐海水性鋼管

オフショア用鋼管では海水耐食性が求められる。耐塩化物性 (耐孔食性) 二相ステンレス鋼として DP3 (25Cr-7Ni-3.3Mo-N), DP3W (25Cr-7Ni-3.2Mo-2W-N), およびスーパーオーステナイト鋼として YUS®270 (20Cr-18Ni-6Mo-Cu) を開発し多くの実績を得ている。また近年、アンビリアルチューブと呼ばれる配管に、高強度高耐食性を有し溶接性に優れた二相ステンレス鋼のニーズが高まっている。DP3W は世界で実績があり、NORSOK 等の海洋用途規格をはじめとした各種規格に登録されている。

5.5 化学工業分野の開発鋼管と今後の展望

この他にも石油精製脱硫装置について、耐ポリチオン酸腐食鋼 347AP (極低 C-18Cr-11Ni-0.25Nb) を実用化している。347AP は溶接後熱処理が必要なく、かつ中和洗浄処理等も不要とする特長を有し脱硫装置用加熱炉管として多数実績がある。今後、硫黄分の高い、安価な低質原油の利用の増加、海外のガス排出規制の強化が進む中で 347AP 鋼管のニーズが期待されている。

一方、化学肥料の原料となる尿素製造プラントでは、耐尿素腐食と耐応力腐食割れ性に優れた材料が囑望されており、東洋エンジニアリング (株) と共同開発した二相ステンレス鋼管 DP28W™ (27.5Cr-7.7Ni-2.2W-Mo-N) を実用化している。すでに ASME 等世界規格を取得済みで、東洋エンジニアリングの最新製造プロセスに多くの実績を得ている。本成果は、日本溶接協会技術賞を、東洋エンジニアリングと共同受賞している。

さらに原料の多様化クリーン化により、多様な環境適用鋼管を求められている。例えば、燃料電池車向け水素ガスステーションの建設普及、および石炭ガス化のプロジェクトが推進されている。

6. 原子力用鋼管

6.1 概況

新日鐵住金は 1956 年に原子力発電向けの鋼管を出荷以降、国内に作られた全 55 基の商用原子力発電所のコアの配管部分や熱交換機用鋼管に採用されている。さらに 1994 年から海外の原子力発電所向けに認可を取得し、尼崎製造所に原子力用鋼管の専用工場の認定をうけ、高い技術開発力と、品質管理、長期保証により多くの実績を得ている (大河内記念賞生産賞を受賞)。以下に独自製品や技術の一旦を紹介する。

6.2 高い技術と品質：蒸気発生器用伝熱管と各種鋼管

加圧水型原子炉の蒸気発生器用伝熱管 (SG: Steam Generator) チューブは、主に Ni 基の 690 合金 (30Cr-60Ni) である。SG チューブの独自技術には、不純物レベルを極力下げる溶解精錬、水腐食による応力腐食割れ (SCC) を

防止する特殊熱処理による金属組織やマイクロ折出物の形態制御、非破壊（UT）検査の高SN比（Signal/Noise）を実現する高圧引抜き加工、表面きずや変形のすくないダイレスU字曲げ加工など多くのノウハウと実績を持ち、高品質による信頼を得る高合金管を世界の顧客に製造供給している。

また、大型原子炉の炉心から周辺機器に至る多様な耐食ステンレス鋼管を供給している。690合金管による蓋用管台、主に原子力グレードの高純度SUS316やSUS304配管の再循環系配管、制御棒駆動装置、炉内・炉外配管、給水加熱器管、SUS410TiやSUSXM8の湿分分離加熱器管（外面にねじのような細かなフィン加工をほどこした精密管：ローフィンチューブ）などがある。

6.3 新たな安全設計による原子用鋼管と技術開発の展望

新たな安全設計による次世代型原子炉（たとえばAPWRやAP1000など）が計画されている。SG管の主元素Ni（ニッケル）の溶出による放射線被曝の低減、防止や、給水加熱器管からのCr（クロム）の溶出防止として、独自の耐食皮膜の生成技術の開発を進めている。原子レベルで管表面の耐食皮膜を解析研究し、熱処理雰囲気を精密制御してNiやCrを溶出させない皮膜を工業的に生産する技術開発を進めている。一方、コンパクトで安全性の高い小型原子炉の研究開発が世界的に進められており、材料面から国際貢献を目指している。

7. メカニカル鋼管（自動車用鋼管、建設・産業機械用鋼管）

自動車分野における課題は、地球環境対策に向けた軽量化と、衝突安全性向上であり、これらの市場ニーズに対して、自動車用鋼管の新商品開発、新加工技術開発（専用設備開発）、各種評価／解析技術開発に取り組み、薄板、棒線との総合提案として応えてきた。

軽量化に向けては、世界最高強度レベルの1765N/mm²級ドアインパクトビーム用ERW鋼管の実用化を図り、安全性向上にも貢献してきた。また、熱間SR（ストレッチレデューサー）製法により、t/D（肉厚／外径比）で30%を超える極厚肉ERW鋼管の製造が可能となり、中実材からの中実（鋼管）化による軽量化を提案していく予定である。

近年は、鋼管単体ではなく、部品形状やその加工方法、加工設備まで含めた提案が求められている。これに対し、ハイドロフォーム技術では、従来の拡管率を大幅に上回り、外径の3倍以上の拡管を可能としたことで、適用部品や工程省略の拡大が期待できる。また、従来から、ハイドロフォーム技術の適用には、大きな設備投資（大型プレス機の導入）が必要とされてきたが、大手自動車会社と共同で、コンパクトなハイドロフォーム設備を開発し、実用化を拡大

している（日本塑性加工学会会田技術奨励賞受賞（2005.4）、日本発明表彰発明賞受賞（2007.5））。2012年から実用化を開始した3次元熱間曲げ焼入れ技術（3DQ：3 Dimensional Hot Bending and Quench）では、1500N/mm²級の超高強度鋼管を、金型無しで3次元形状に加工することが可能となり、鋼管が持つ性能を極限まで追求した、世界に類を見ない画期的な加工技術、加工設備として、各方面の需要家から大きな注目を浴びている（経済産業省 第5回ロボット大賞 産業用ロボット部門 優秀賞受賞（2012.10））。

一方、シームレス鋼管では、超高压が負荷されるエアバッグ用鋼管や、ディーゼルエンジン用の燃料噴射管などにおいて、高纯净度かつ高寸法精度の製管技術を応用した、超高強度（1000N/mm²級超）、高韌性材料等を開発し、国内外の自動車部品への適用を拡大中である。

建設・産業機械用鋼管分野でも、軽量化、低コスト化要求が高まっているが、これに対して、クレーンブーム用超高強度（1000N/mm²級）継目無し鋼管の商品化や、高压油圧シリンダー用高寸法精度ERW鋼管の実用化により、需要家からの要求に応えてきた。

また、自動車、建設・産業機械分野ともに、生産拠点の海外移転が加速しており、現地での鋼管供給体制整備も重要な課題と認識している。これまでに、新日鐵住金グループのERW鋼管では、中国、東南アジア、インド、北米、メキシコでの生産体制を確立し、需要家各社の現地生産へ大きく貢献している。

今後も、益々、厳格化する市場ニーズに対し、鋼管製造技術（ERW鋼管、シームレス鋼管）や高機能鋼管製品、各種利用加工技術開発を加速するとともに、薄板、棒線との総合ソリューション提案により、需要家の期待に応えていきたい。

8. 構造用鋼管（土木・建築分野）

土木・建築分野において、性能向上、施工費用低減、補修費用低減の観点から、構造用鋼管には高強度、耐食性、耐疲労強度などが求められてきた。これらの多様な要求に対して、新日鐵住金ではユニークな鋼管およびその継手を開発してきた。

東京スカイツリー[®]には、高強度で大断面の鋼材が求められ、溶接性に優れた降伏点400、500および630N/mm²級の超高強度円形鋼管（UOE鋼管、プレスバンド鋼管）が使用された。従来のJIS製品（JIS G 3475 建築構造用炭素鋼鋼管）に対して、厳格な寸法精度、高いシャルピー衝撃値および良好な溶接性（低い溶接割れ感受性組成）を満足する高強度厚肉円形鋼管を開発した（国土交通省大臣の認定を取得）。

住宅や低層建築物を対象とした地盤改良や基礎、都市部の狭隘地における杭工事や山岳トンネル工事など、施工する空間や工期などが制約される環境において、小口径の鋼

管を活用した各種工法が開発されている。熱間造管プロセスを活用することにより、鋼管表面に自在に窪みを成形する技術を開発し、セメント系材料（ソイルセメント、グラウト）との付着耐力が高い段付鋼管およびディンプル鋼管の開発・実用化に成功した。柱状地盤改良、擁壁、山岳トンネル補強、太陽光発電基礎杭など、用途は多岐にわたっている。今後、さらに耐震対策や防災対策などへの適用範囲の拡大が期待されている。

小規模住宅を対象とした地盤補強に用いる杭鋼管工法で、上杭と下杭を接合するに際し、スピーディーに接合できる機械式継手（パイルフィット[®]）を開発した。現場での溶接作業が不要で火災の恐れがないこと、特殊技術・工具が不要で安定した性能が確保できること、施工が早く工事費を節約できること、などが特長である。

新日鐵住金は、構造用鋼管分野において付加価値の高い商品群を開発、実用化し、需要家からのニーズに応えてきた。今後、耐震対策、防災対策、補修などのインフラストラクチャ整備の需要がさらに増加することが予想される。高機能鋼管製品開発、鋼管継手などの利用加工技術開発を推進することによって、社会に貢献していきたい。

9. 配管用鋼管、塗覆装鋼管の展望

配管用鋼管は、給排水・空調衛生用の建築設備配管、ガス配管、プラント用配管、ケーブル保護用鋼管などに用いられる小口径の鋼管から、石油やガス及び水輸送用の比較的大口径の配管、ラインパイプと多岐にわたる。

小口径配管分野では、鋼管の接続技術への対応が重要であり、最近では転造ねじ加工及び管端つば出し鋼管継手加工（フレア加工）による接続技術が注目され、これらが公共建築工事標準仕様書に記載されたことから、今後の需要が期待されている。新日鐵住金の熱間電気抵抗溶接鋼管及び電気抵抗溶接鋼管は、特にフレア加工のような苛酷な加工に適する鋼管として認められており、当該接続分野の

中心となると思われる。

幅広い用途に使用される亜鉛めっき鋼管は、一般に鉛やカドミウムなどの環境負荷物質をめっき層に含有している。環境ニーズに対応するためこれらの環境負荷物質をほとんど含まない亜鉛めっき鋼管を実用化した。この環境対応型亜鉛めっき鋼管は、従来に比べて耐食性や加工性などの性能が向上することを確認している。

配管・ラインパイプ分野においては、塗覆装のISO規格（ISO 21809シリーズ）が2007～2011年にかけて制定され、世界標準が確立された。国内においても、このISO規格を参考にJIS G 3477（ポリエチレン被覆鋼管）シリーズが制定された。この動きに対応して、高耐久性が期待される粉体エポキシプライマーを適用した3層外面ポリエチレン被覆を実用化し、国内外で広く使用されている。塗覆装による長寿命化は、日本水道鋼管協会を中心に、外面プラスチック被覆と内面無溶剤エポキシ樹脂塗装の組合せによって100年を目指した水道鋼管の長寿命化技術を確立、JIS G 3443（水輸送用塗覆装鋼管）シリーズが改正に向けて動いており、新日鐵住金の水輸送用塗覆装鋼管の今後の伸びが期待される。

新日鐵住金の配管用鋼管、塗覆装鋼管は、上下水道、ガス、情報通信、電力輸送などのインフラストラクチャ及び建築設備と、生活に身近な分野で使用されており、今後は信頼性の向上とともに環境対策、耐震・防災対策面の要求が高まっていく中、高機能鋼管製品開発や利用加工技術開発を推進することによって、社会に貢献していきたい。

10. 結 言

鋼管分野について製品別に技術開発状況とその展望を述べた。新日鐵住金は鋼管のトップメーカーとして単なる材料開発のみならず、ユーザーの利用技術を含めてユーザーの要望に柔軟に応じていく所存である。



日下嘉蔵 Yoshizo KUSAKA
鋼管事業部 鋼管技術部長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071