

# 21世紀を支える新日鉄の鋼管 省エネルギー・環境・安全

鋼管の用途はエネルギー産業に直接・間接的にかかわるものが多く、省エネルギー・環境・安全性をキーワードに対応分野が年々広がっている。

今号の特集では、21世紀の主要エネルギーとして期待されるクリーンエネルギーの効率輸送を可能とする高強度鋼管、自動車の高強度化と軽量化に寄与するスーパーハイドロフォーム、環境・安全・景観性に配慮したユニーク商品、世界初の24インチ電縫鋼管新成形機など、鋼管の高付加価値化、高機能化を実現する技術・商品を紹介する。



鋼管は、筒状に成形された圧延鋼材だ。主に中間加工品として用いられ、その用途は水道管、ガス管など身の回りのものから化学プラント、火力・原子力発電設備、土木・建築、各種産業機械まで多岐にわたる。年々拡大する鋼管の対応分野の中で、最も多いのがエネルギー分野だ。その市場ニーズは(1)省コスト(2)環境保全(3)安全性(4)景観性の4つのキーワードに分類することができる。

「エネルギー分野では、お客様とともに省エネルギーを実現します。また、鋼管を必要とする産業分野は多岐にわたりお客様のニーズを幅広くつかめるため、設計段階から市場ニーズを取り込んだ存在価値の高い商品を提供しています」と、鋼管事業部鋼管営業部部長の赤崎宏雄は語る。

鋼管事業部  
鋼管営業部 部長  
赤崎 宏雄



# クリーンエネルギーの効率輸送に貢献

## 超高強度ラインパイプ「X120」/高強度UO鋼管「タフエース」

### 常識への挑戦「X120」

石油や石炭に比べて炭酸ガスの排出量が少ないことから、クリーンエネルギーとして注目を集めている天然ガス。しかし、その主要産地の多くは大消費地から遠く離れた場所にある。その輸送を担うのがパイプラインだ。

天然ガスは産出地から圧力をかけてパイプラインへ送り込まれ、ポンプステーションで加圧されながら遠隔地へ輸送される。その距離は数千kmに及ぶこともあるため、天然ガス輸送コストをいかに低くできるかがプロジェクト実現のカギを握る。

長距離パイプラインの天然ガス輸送コストを低くするためには、高圧操業、使用するラインパイプの小径・薄肉化が有力な方法であり、このためには従来よりも高強度のラインパイプでなければならない。

“21世紀は天然ガスの時代”と明確に位置づけ、熱心に開発を進めているのが石油メジャーのエクソンモービル（ExxonMobil）社だ。1994年2月、同社では輸送コストの削減を目指し、優れたラインパイプを共同開発する鉄鋼メーカーを探していた。その後、新日鉄と共同研究の契約を取り交わしたが、この時エクソンモービル社が新日鉄に求めたラインパイプの性能は、当時としては「常識を超えた」ものだったと技術開発本部君津技術研究部主幹研究員の寺田好男は言う。

「パイプラインには非常に高い信頼性が求められるため、高強度鋼管の採用には大変慎重です。10年で1段階グレードアップするのが常識とされてきました。当社でもラインパイプ用鋼管としてX60、X70、X80と高強度化を図り、当時はX100を研究していました。ところが、同社の要求はいきなり『X120』（引張り強さ：931MPa）と超高強度のもので、正直驚きました」（図1）

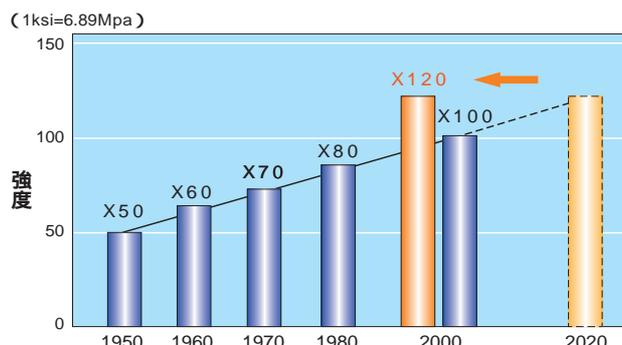
### 開発を可能にした研究者の熱意と先進設備

まず、鋼材開発から始まった。パイプラインの敷設作業を行う場所は零下数十、埋設される地下でも0以下という厳しい環境が珍しくない。深海でも多く利用される。また、「X120」が適用される大規模プロジェクトでは短期間に集中して生産する必要があり、高い生産性と溶接性が要求される。

高強度・高靱性という相反する特性をいかに満足させるか。さらに、使用環境の違いに伴う耐食性や溶接性などが複合的に絡む。検討の結果、強度と靱性を満足させるには、微細な組織（下部ベイナイト）に作り込めば良いことがわかった。技術開発本部鉄鋼研究所鋼材第二研究部主任研究員の原卓也は次のように語る。

「いかに少ない合金元素量で下部ベイナイトを生成させるかが大きな課題でした。そこで、ラインパイプの世界ではほとんど使用されていなかった硼素（ボロン）を採用し

図1 ラインパイプ技術の発展



ラインパイプの高強度化を加速した「X120」。世界の有力メーカーがX100の開発を進めている同時期に、「X120」の開発に成功した。マーケットの予想よりはるかに早い登場だった。

ました。しかしながら、実験室では達成できた高い靱性を、実機レベルで安定して確保するには至りませんでした」

実機で発生する数ミリ単位の大きな結晶粒の存在が、靱性の阻害要因だった。これをいかに数ミクロンレベルに抑えるか。「これを解決するのに非常に多くの時間を割きました」と、原は当時を振り返る。

従来とはまったく違う現象であり、これを解決するには新しい発想が必要だった。研究スタッフたちの試行錯誤が始まり、開発への執念が、ついにこの結晶粒の問題を解決した。君津製鉄所鋼管管理グループリーダーの村田正彦は語る。

「当社には高純度、高品質鋼を生産できる製鋼設備や、厚板のTMCP（加工熱処理）の設備をはじめ、さまざまな先進設備が揃っています。また、その最高性能を引き出せる高い操業技術力もあります。だからこそ実験室と実機レベルのギャップを埋められるのです」

### 総合力を発揮、ついに「X120」を実用化

しかし、「X120」の開発はむしろそこから本番だった。材質が高強度化すると、鋼管に成形する際に強い反発力（スプリングバック）を持つため、成形しにくくなる。また、母材と同等以上の高い強度で、厳しい環境でも靱性が損なわれないシーム溶接技術の確立も求められた。新日鉄は材質設計にまで立ち返り、一つずつ解決していった。

そして、高純度鋼溶製技術、中心偏析軽減技術、制御圧



技術開発本部  
君津技術研究部  
主幹研究員  
寺田 好男



技術開発本部  
鉄鋼研究所鋼材第二研究部  
主任研究員  
原 卓也



写真1 極寒のカナダ・アルバータ州で行われた、X120デモンストレーション (2004年2月)

## 「一致協力して、全世界の市場でX120の使用拡大を」

ExxonMobil社 Upstream Research社長 S. Cassiani 氏

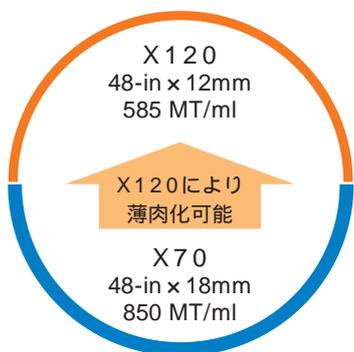
遠隔地から天然ガスを輸送する方法は、陸上のパイプラインルート以外に考えられません。プロジェクトの成功のためには、長距離パイプラインのコストを引き下げることが重要な鍵となります。そこでExxonMobilは高強度ラインパイプ鋼の開発に大いに注目し、鋼管製造分野でトップの地位にある新日鉄と1996年に共同開発契約に署名し、協力を得ることができました。

新日鉄との協力関係はすばらしく、120ksiの高強度を持つラインパイプ鋼の開発に成功しました。X120は従

来のX80鋼の強度を50%も上回っており、これにより、長距離パイプラインの総コストを最大10%も削減させることが可能となりました。

今年の初め、当社は、北極地帯北アルバータ州の天然ガス配送システムで、新日鉄の36インチのX120ライン用パイプを用いた1.6kmの現場設置に成功しました。これからもExxonMobilと新日鉄は、一致協力して、全世界の市場でこの新しい鋼材X120の使用拡大に全力を上げてまいります。

図2 従来パイプとX120の肉厚比較



延・加工熱処理(TMCP)技術などを駆使し、ついに従来グレードをはるかに凌ぐ「X120」の商品化に成功した(図2)。

「高い製造技術が要求される『X120』は、新日鉄の総合力を駆使し、製鋼、厚板圧延、鋼管成形、シーム溶接など、鋼管製造にかかわるあらゆる分野の要素技術を有機的に結合したからこそ、開発に成功しました」(原)。

今年2月、極寒のカナダで「X120」のデモンストレーションが行われた(写真1)。鋼管営業部鋼管商品技術グループマネジャーの鮎川直史は説明する。

「1.6kmにわたり、実際に『X120』でパイプラインの敷

設が問題なく行われ、エクソンモービル社から高い評価をいただきました。この成功で今後の展開が大いに期待されます。お客様の関心も高く、話を聞きたいと直接連絡が入ることもあります。今後特にエネルギー需要の高いアジアをはじめ大型プロジェクトが目白押しとなりますので、『X120』を提案していきます」

### “高変形能”と“高HAZ韌性”を兼ね備えた高強度UO鋼管「タフエース」

近年、ラインパイプには、高強度、低温韌性、溶接性に加え、“変形能”が求められつつある。地震・断層地帯やカナダ、シベリアなどの不連続凍土地帯の場合、土地の凍結・溶解が繰り返されるため、地盤変動に耐える「高変形能(曲げモーメントに耐えられる性能)」が要求されるからだ。

TMCP技術を駆使し、ミクロ組織を制御することによって鋼管の“変形能”は向上する。

さらに厚板製品で開発された「HTUFF」の溶接熱影響部(HAZ)韌性改善技術を複合させたのが、低温用高強度高延性鋼管「タフエース(Tough-Ace)」で、地震地帯や寒冷地などの多様な使用条件に対応できる商品だ。

「UO鋼管の技術者とHTUFFの研究スタッフ、製鋼技術者が集結して議論を重ねました。化学成分やTMCP条件の適正化など鋼管に適した材質設計を行うことが開発のポイントでした」(寺田)。

サハリンは地震地帯で、パイプラインが敷設される冬期には零下35にもなる。そこで「タフエース」の“変形能”と韌性が評価され、採用された。

「このプロジェクトを通して『タフエース』の製造技術も確立し、現在では万全の製造・販売体制を確立しています」(村田)。



君津製鉄所  
鋼管管理グループリーダー  
村田 正彦



鋼管営業部  
鋼管商品技術グループマネジャー  
鮎川 直史

# 耐食性に優れたプラント用鋼管

## ロングセラー商品を改良「新 S-TEN1」

プラントの配管にはさまざまな鋼管製品が使われる。プラントごとに使用環境は異なるが、共通して求められる特性は「耐食性」だ。特に高温の温水・熱水や腐食させやすい溶液を使用する化学プラントでは、高い耐食性が求められる。

耐硫酸性に優れた低温腐食対策鋼「S-TEN」シリーズは、重油焚きの火力発電所の排煙設備に利用され、発売から30年以上経つロングセラー商品だ。近年、火力発電所やゴミ焼却炉では、ダイオキシン低減のために排ガスを急速に冷却する傾向にあり、硫酸露点腐食に加え、塩酸露点腐食が発生してしまう。そこで新日鉄は、「S-TEN」に高い耐塩酸性を備えた「新S-TEN1」鋼を開発し、これらの腐食の課題を克服した（写真1）。

同商品は2004年上期に、米国の火力発電所用排気ダクトの鋼管として採用された。米国では環境基準が一段と厳しくなり、火力発電所では排煙脱硫装置の設置が増加傾向にある。鋼管営業部プラント鋼管グループマネジャーの岡本潤一は次のように説明する。

「当社の技術者を派遣して、使用環境を細かく分析し、豊富な実験データを示しながら『新S-TEN1』の適用をご提案しました。優れた特性に加え、材料選定のアドバイスにまで踏み込んだソリューションが高く評価され、大型受注につながりました」

現在では火力発電所建設が旺盛な中国をはじめ、台湾、韓国への拡販にも注力している。一方、国内市場では、ここ数年好調を維持している船舶関連での需要が期待される。

「船舶にはボイラーが不可欠です。その8割近くのシェアを誇る三菱重工（株）の製品にも『S-TEN1』が使用されており、より使いやすくするために、年内には日本海事協会から製造法承認される予定です」と、君津製鉄所鋼管工場鋼管管理グループマネジャーの添野明雄は語る。

写真1 新S-TEN1耐食試験（塩酸80、10.5%浸食試験結果）



鋼管営業部  
プラント鋼管グループマネジャー  
岡本 潤一



君津製鉄所鋼管工場  
鋼管管理グループマネジャー  
添野 明雄

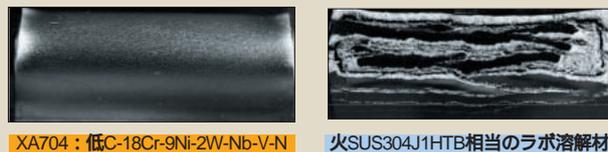
## 過酷な環境に耐える「XA704」

石炭焚きボイラーは、600 という高温で高圧力下という過酷な環境での耐久性、耐食性が求められる。高温・高圧にさらされ続けると、鋼管ではクリープ（注1）による破裂が起きることがある。

新日鉄では1997年、高いクリープ強度を持つ高強度高耐食オーステナイトステンレス鋼管「XA704」（注2）を開発。製鉄所にある自家発電設備の石炭焚きボイラーのスーパーヒーター（注3）に使用し、高い耐久性、耐食性を維持することを実証した（写真2）。すでに国内の大型火力発電所での使用実績もあり、さらに今後は成長著しい中国でも期待が高まっている。

「今年11月には、中国の電力設計院の材料認定機関との技術交流会を行い、『XA704』の優れた特性を説明しました。また、海外のボイラー・圧力容器構造規格であるASMEにも規格化を申請中で、来年初めにはTP347Wとして登録される予定です」（岡本）

写真2 XA704耐食試験（粒界腐食試験後の割れ発生状況）



## 食品業界で注目を集める「YUS270」

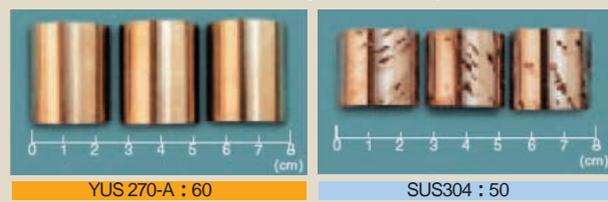
一方、塩化物イオンの高い海水・塩酸環境のほか、硫酸環境の耐食性に優れた鋼材として注目を集めているのが、スーパーオーステナイトステンレス鋼「YUS270」だ。YUS270は、東南アジアや中近東で建設される海水淡水プラントの濃縮海水配管に適用されている。それに加えて、現在需要が高まっているのは食品関連設備の配管だ（写真3）。

消費者の食品に対する安全性、信頼性への期待は大きい。耐食性に優れた「YUS270」は、局部腐食が発生しやすい醤油やスポーツドリンクなど、食品関連設備の配管など高い塩分濃度の食品を取り扱う設備の安全性と信頼性を向上させ、食品会社のコストダウンにも貢献している（写真4）。



写真3 食品加工装置に使用されたYUS270の配管およびフランジ

写真4 YUS270耐食試験（孔食試験結果）



クリープ：高温下で応力が持続して負荷された際に徐々に変形する現象。

XA704：低C-18Cr-9Ni-2W-NbVN。高強度に加え、耐粒界腐食性および溶接性も良好という特徴を持つ。

スーパーヒーター：蒸発管で発生した蒸気を加熱し、さらに高温の過熱蒸気にする伝熱部分。通常最も高温となる。

# 環境、安全、景観性を備えたユニーク商品

## 「U字リブ」と「ニッツツポール」

幅広い市場ニーズに応えるため、研究・製造・営業が一体となり生み出したユニーク商品を紹介しよう。

照明柱などに使われる「ニッツツポール」とその基礎の耐疲労構造「U字リブ構造」は、市場から高い評価を受ける人気商品だ（写真1）。2002年度には「土木学会技術開発賞」を受賞して技術的信頼性を高め、日本道路公団や首都高速道路公団から数多く採用されている。首都高速道路公団では既に約6,000本、日本道路公団では「愛・地球博」に備えた豊田ジャンクションなどにも採用された。

「過去に発生したポール倒壊の事例を分析し、販売を行うヨシモトポール㈱やお客様と対話しながら地道に開発に取り組みました。照明柱以外にも高速道路の吹流しポールの支柱等に使用され、適用範囲が広いこともU字リブ構造の強みです」と、鋼管営業部鋼管プロジェクトグループリーダーの近藤哲己は語る。

「ニッツツポール」は、新日鉄独自の「温間スピニング加工」(注1)で形状を自由に作り込むことができる。

その他にも、強度を高めるために長さ方向に肉厚を徐々に変化させた「差厚管」や鋼管底部の内側に短管を締結した「底部二重管」がある。照明柱は下部に電気装置を設置しなければならず、その開口部に亀裂が発生する場合がある。

強度を上げるためには、開口部の鋼管の断面積を広げることが有効で、新日鉄は溶接をすることなく厚肉直管とテーパ管をつないだ構造を実現できる。これらは世界的にも例を見ない技術であり海外への発展性を秘めた商品である。

「下部が直管で途中からテーパとなったポールは、工事の際に垂直に立てることも容易で、工事時間と製造時間が短縮できます。また、耐疲労ポールとしてU字リブ構造とセッ

トで採用されるケースも多く、デファクトスタンダード化の夢もあります」と、名古屋製鉄所鋼管工場鋼管課マネージャー上田学は語る。

また新日鉄では、公園内の地際腐食(注2)のメカニズムを解明し、新日鉄化学㈱が開発した塗料を用いた新たなソリューションを提供するなど、適用箇所や設置条件等の細かなニーズに対応する製品提供を行っている。

## ユニーク商品発想の原点は現場に

水道や空調、灌漑<sup>かんがい</sup>などの配管にも、新日鉄独自の技術やソリューションが取り入れられている。

例えば、溶接せずに配管を接合する「フレア加工鋼管」(写真2)は、火気が使用できない場所でも接合できる。ルーズフランジを取り付けたフレア加工面の間にパッキンを挟み、ルーズフランジ同士をボルトで締結する。パッキンやボルトの痛みもなく、曲げ部分は厚肉で高強度だ。

さらに、フランジ部分のつばだし加工(注3)をスクリーウ状にして回転杭に使用する商品もあり、住宅基礎杭にも適している。こうしたユニーク商品の発想の原点は、施工現場のニーズの吸い上げにあると言う。

「テーパポールを垂直に施工する時間をもっと短縮できないか、という工事現場の声と疲労強度に強い鋼管を持ち合わせたことが重なり、ストレート部を含むニッツツポールの採用が増えています。常に施工現場の評価とニーズをリアルタイムでつかむことが、次の商品開発へのステップとなります」(上田)

製鉄所で利用された鋼板がヒントとなり、商品化に結び付いた鋼管商品も多い。

「縦縞鋼管やアンチスリップ鋼管は、製鉄所の階段などの滑り止めとして使われていた床鋼板を管形状にしたところ性能が優れていたため、商品化されました。鉄の魅力は色々な形状に変化すること。特に鋼管は立体的な鋼材ですので、用途の広がりが期待できます」(上田)

「今後も高い関心と好奇心を持って施工現場に赴き、お客様のニーズに合致する技術・商品を提供し続けていきたいと思っております」(近藤)



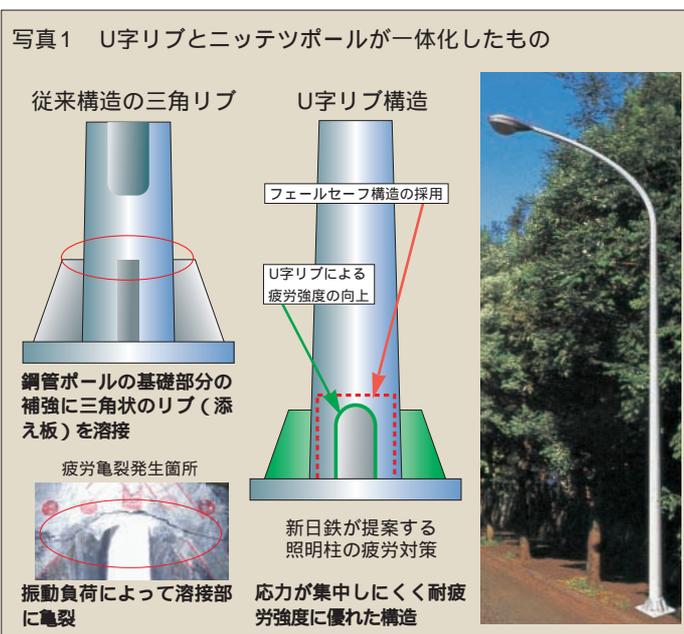
写真2 フレア加工の接続写真



鋼管営業部  
鋼管プロジェクトグループリーダー  
近藤 哲己



名古屋製鉄所鋼管工場  
鋼管課マネージャー  
上田 学



温間スピニング加工：鋼管を加熱、高速回転させながらNC制御されたロールで圧下、成形しテーパ率の変化、段付き、鋼管内での肉厚の変化を自由に設定できる。景観性のみでなく共振防止機能がある。

地際腐食：柱の根元（地面と接する部分）が腐食すること  
つばだし加工：管端をシルクハットのように“つば出し”する加工

# 自動車の安全と軽量化に貢献 ハイドロフォーム

## 試作・解析・実機化まで一貫したソリューションを提供

### 「ULSAB プロジェクト」がきっかけ

自動車部品の高強度化と軽量化の両方のニーズを満たす技術として注目を浴びているのが、「ハイドロフォーム成形技術」だ（図1）。

ハイドロフォームは、1990年代に欧米の自動車部品の成形技術として実用化が進んだが、日本ではほとんど普及しなかった。その理由に、欧米のプレス成形機が老朽化し、プレス成形技術も陳腐化していたのに対し、日本では世界的に見てもプレス技術が高い水準で確立されていたことが挙げられる。

「日本で普及するきっかけとなったのは、1994年から世界の鉄鋼メーカー35社が集結して鋼製の超軽量ボディを追求した『ULSABプロジェクト』です。この中でハイドロフォームが成形技術の1つとして採用されました」と、鋼管営業部特殊管グループマネジャーの小弓場基文は当時を振り返る。

1998年、新日鉄は国内他社に先駆けてドイツから技術開発本部（富津）に大型のハイドロフォーム装置を導入し、ハイドロフォームに関する研究を開始した。

「現在、新日鉄のハイドロフォーム用鋼管が日本の自動車会社向けに高いシェアを維持できている理由として、当社の優れた成形技術研究が評価されていることが大きい」と小弓場は続ける。

ハイドロフォームは、成形の際、高度で複雑な制御が必要で、同じ材料でもそれを間違えると上手く加工できない。密閉された金型の中で水圧で成形され、外からはその進行が見えないため、適切な加工条件を見つけるのが非常に難しい。実用化が先行した欧米でも加工条件を見つけるためにトライアンドエラーを重ねてきた。

これに対し、新日鉄ではこれまでの各種鋼材加工において蓄積してきたシミュレーション技術が威力を発揮する。FEM（有限要素法）を使った解析により加工中に鋼管がどこで割れるか、あるいはどのタイミングで座屈が起こるか等が予測できる（写真1）。

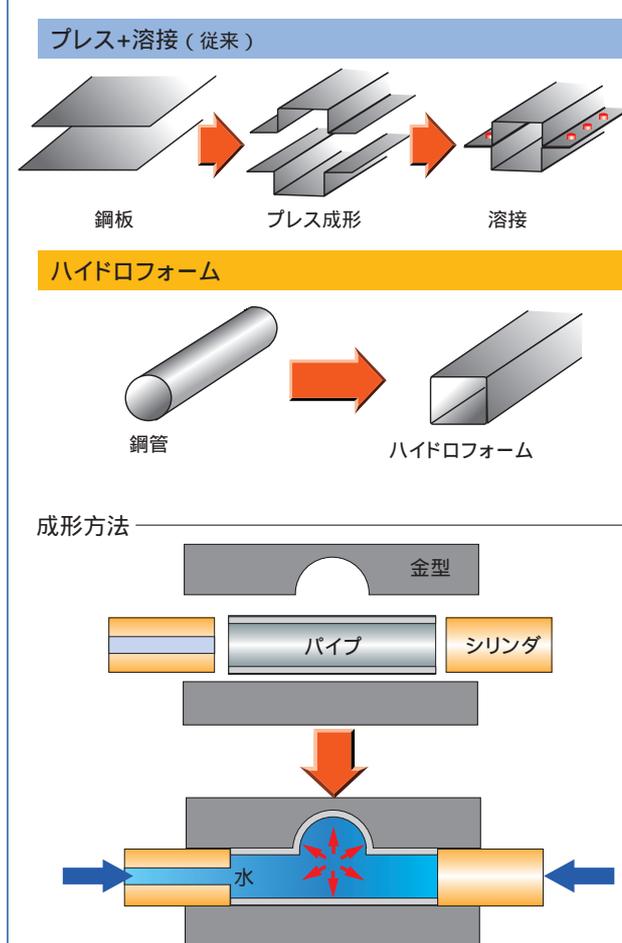
「しかも、新日鉄は解析に必要な材料データを豊富に蓄

積しているため、精度の高いシミュレーションが可能です。ハイドロフォームは材料、解析、加工技術が結集したことにより、効率的な開発ができる技術で、まさに新日鉄の総合技術力を発揮できる分野です」と、技術開発本部鉄鋼研究所加工技術研究開発センター主任研究員の水村正昭は自信をのぞかせる。

### トヨタ自動車と共同で装置開発

ハイドロフォームが日本で普及するためのもうひとつの大きな課題として、加工設備が高価で大きいということがある。そうした中で、トヨタ自動車㈱からハイドロフォーム装置の共同開発に関する打診があり、新たな展開を模索していた新日鉄とトヨタ自動車の共同開発が始まった。

図1 ハイドロフォーム成形とは



鋼管営業部特殊管グループ  
マネジャー  
小弓場 基文



技術開発本部鉄鋼研究所  
加工技術研究開発センター  
主任研究員  
水村 正昭

鋼材などの材料は変形しても体積は変わらない。例えば、鋼板を両側から引っ張ると長さは伸びるが板厚が薄くなる。ハイドロフォームは、金型にセットした鋼管内に液体を充填し、内圧をかけて材料を膨らませる（引っ張る）ことで金型通りに変形させるが、板厚が薄くならないように両サイドから工具で鋼管を圧縮する（軸押し）そうすることで成形後の鋼管は短くなるが、板厚がほとんど薄くならないため、プレスよりも大きな変形が可能となる。

名古屋製鉄所設備部エネルギー技術グループマネジャーの本多修は、当時の開発課題を次のように語る。

「トヨタ自動車からは、部品の組み立て・溶接ラインの中に hidroフォーム装置を組み込みたいという要望がありました。この開発では、いかにして hidroフォーム設

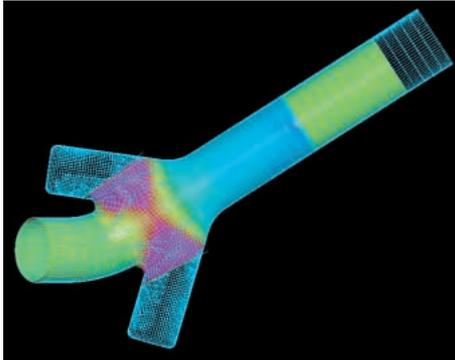
備をコンパクト化するか、新たな発想が成功の鍵を握っていました」

製鉄所の設備部では、24時間365日稼動する製鉄プロセスにおいて、自社に合致した設備開発を行うことで製造の効率化を追求してきた。

これら製鉄設備における技術開発を通じて培った技術や、鉄鋼メーカーとして装置の材料強度をフル活用するための技術が、今回の hidroフォーム設備開発に活かされた。前述した hidroフォーム加工に関する研究開発力に加え、ここでもまた、新日鉄の総合力が活かされた。

「低コストでコンパクトな設備がさらに広まれば、自動二輪車、事務機器、建機など hidroフォームを活用した鋼管用途の適用範囲拡大が期待できます」(本多)

写真1 hidroフォームのFEM解析画像

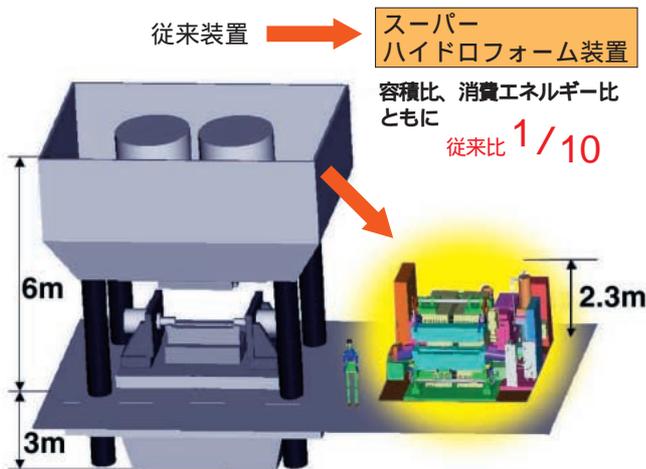


新日鉄の数値解析技術「FEM(有限要素法)」により、成形中の鋼管の変化をシミュレーションできる。割れやしわなどが発生する要因を把握し、材料にとって最適な成形条件を導き出す

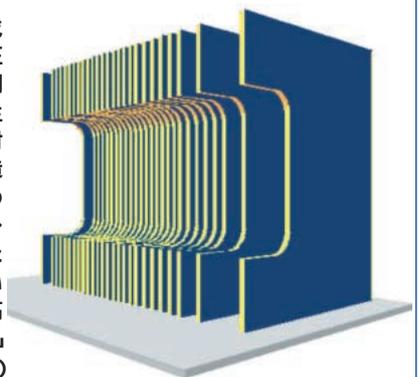
名古屋製鉄所設備部  
エネルギー技術グループ  
マネジャー  
本多 修



### 「スーパー hidroフォーム装置」設備コンパクト化のポイント

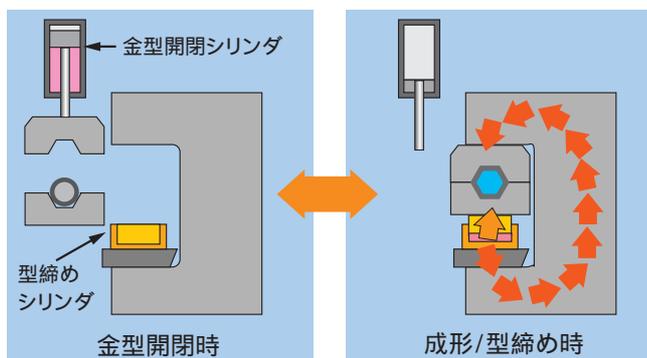


積層C型フレーム構造 hidroフォームでは成形中に鋼管内に高い水圧をかけるため、金型が開く方向に巨大な力が発生する。この巨大な力に対抗する高強度な装置構造が必要となるが、従来の装置では大型の油圧プレス装置を流用していたため、設備が大型化していた。今回、厚さ50mmの高張力厚板「WEL-TEN780」(通常の2倍の疲労強度)を、製品長手方向に重ねて並べる積層C型フレーム構造を考案・採用した。



#### 必要な機能を整理

hidroフォームに必要な機能を「金型開閉機構：大ストローク動作×軽負荷」と「金型保持(型締め)機構：小ストローク動作×重負荷」の2つに整理し、それぞれの機能を最適化することでコンパクト化および省エネルギー化を図った。



#### セルフロック機構

型締めの巨大な力を発生させるため、小径・短ストロークで超高压化、大出力化したシリンダを複数配置するシステムを考案・採用した。加えて、このシリンダの駆動用圧力源として成形用水圧力を導入することで、成形中の金型開き力に対し型締め力を自ら自然に調整できるものとなっている。



## トヨタ式リーン生産方式の追求で、イノベーションを実現

### “ビルのような装置”を“八畳間”に

トヨタ自動車におけるハイドロフォーム開発に第一線で携わり、また今回のコンパクト設備の開発を仕掛けた、トヨタ自動車(株)鍛圧・部品生技部ボデー部品技術室担当員の平松浩一氏は語る。

「ハイドロフォーム開発のひとつのハードルは、初期投資です。既存の欧米のハイドロフォーム設備は巨大かつ高価で、大きな工場建屋にオフラインで設置されているために、多くの中間製品在庫が必要です。これはトヨタの目指す生産方式<sup>(注1)</sup>に合うものではありませんでした。」

そこで、従来設備に替わる独自設備の共同開発をスタートさせた。これまでの「大規模集中型」「オフライン」「汎用設備」というコンセプトは否定され、適量生産に見合った「最適分散型生産システム」をキーワードにした新たな挑戦が始まった。

「当社の生産方式に合致した、『インライン』の『専用小型設備』をコンセプトに、“ビルのような装置”を“八畳間”に置くことを目標にしました」(平松氏)(9頁、表1)。

「小型化」と「低コスト化」そして従来のプレス板金を前提とした生産システムをも改善する、革新的システムをどう構築するか。溶接・塗装・組立などの後工程の前にハイドロフォーム装置を設置するためにも、小型化は不可欠だった。

プレス工場から組立工場への運搬作業が不要になれば、中間在庫もなくなる。まさにSCMの徹底追求だ。しかも生産性(スピード)が求められるオフラインの大型設備と違い、インラインであれば組立のスピードに追従すれば良い。設備費とともにランニングコストも下がる(9頁、図1)。

小型化により、エネルギー伝達経路を効率化・ミニマム化することで、従来の30分の1にも及ぶ省エネルギー

につながった。そして、開発設備は『スーパーハイドロフォーム』と命名された。スーパーは、Surprise Uniquely Production Energy Reduction systemの頭文字を取ったものだ。

「他人の真似をせずに、他の人が見たら驚くような設備にしたいという意を込めました。そこには、この設備技術を用いた商品開発で、省エネルギーを実現し、作る人や使う人、全ての人たちにとっての幸せを提供したいという思いがあります」(平松氏)。

今回、開発で特に評価されているのが「WEL-TEN780」というハイテン鋼材を活用した「積層C型フレーム構造」だ。

「材料開発、材料加工を知り尽くし、設備技術のノウハウをも蓄積している新日鉄の提案がなければ実現しなかった構造です。今回の開発手法は、材料メーカーと自動車メーカーが、相互に乗り入れて課題を解決していくことを実践した成功例です。今後もモノづくりに関する優秀な人材が集い、お互いの領域を補完し合う、材料メーカーとのパートナーシップがますます広がっていくことを期待しています」と平松氏は言う。

日本におけるハイドロフォーム部品は今後も堅調に伸びていくと思われる。1999年に初めて日本車に搭載され、それらの車がモデルチェンジの時期を迎えつつある。各自動車メーカーでは第2世代のハイドロフォーム部品の開発と実用化が始まろうとしている。

その中では、これまでの知見を活かし、ハイドロフォームに適した部品の



トヨタ自動車(株)  
鍛圧・部品生技部ボデー部品技術室担当員  
平松 浩一氏



アベンシス



使用されている部材

トヨタ式リーン生産方式：ジャストインタイムを徹底追求した生産方式。必要な時に、必要なモノを、必要なだけ効率的に生産し、無駄のない流通を可能にする。

開発が進んでいくと思われる。

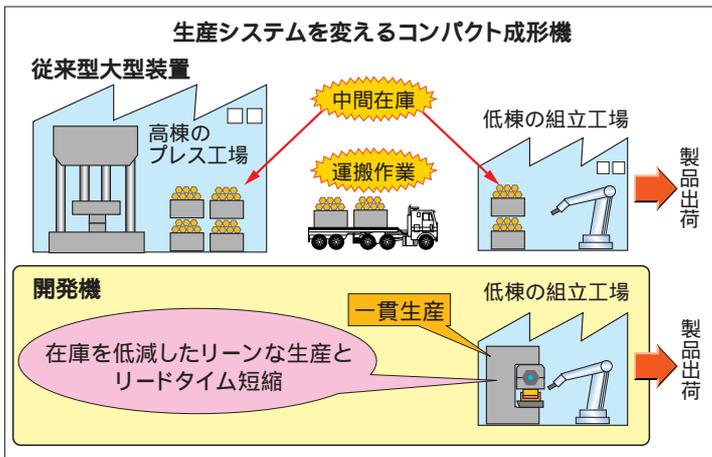
「新日鉄は、材料メーカーとして、これまで培ったハイドロフォーム総合力をさらに発展させると同時に、相互

にメリットのある提案ができるように努めていきます。これらを通じ、安全で環境にもやさしい21世紀の自動車造りに寄与していきます」と、小弓場は締めくくった。

表1 開発方針

生産形態	メリット	課題・デメリット
大規模集中型 ・オフライン ・汎用大型設備	形状自由度高い 実績多数 新部品開発トライ容易	プレス機並みの生産性確保困難 「加工スピード」「段替え性」「汎用性」を持たせることで「投資増加」「設備大型化」を招く 高付加価値部品の中間在庫増大
	先行他社&設備メーカーの指向	
最適分散型 ・インライン ・専用小型設備	低付加TR機利用で投資ミニマム 工程集約が可能	サイクルタイムネック 水廻り処理課題 型構造複雑化
	これを目指す	
	後工程溶接ラインに直結させることで高速化(設備費高騰)回避	画期的な「小型化」「低コスト化」が必要 開発ニーズ

図1 開発目標



## 高品質で多様な成形を可能にした光24"ミル

### ニーズの高度化に応える

新日鉄では、昨年11月世界初となる24インチの中径電縫鋼管新成形機（以下、光24"ミル）を稼働させた（写真1）。

従来の成形機では外径ごとに複数のロールを使い分けていたが、新成形機では、連続的に曲率が変わる「インボリュート曲線」を持つロールを可動させることにより、1つのロールで8~24インチまでの全てのサイズへの対応を可能にした。外径、肉厚、素材強度に応じて最適な曲率で成形できるため、無理な圧力が加わらず、外径ごとのロール組替の必要もない。

「鋼材の特性上、加工するほど歪みが発生し、延性などの特性が失われます。新成形法では余計な力を加えずにすむ

ため、従来よりも高品質な鋼管を製造できます」と、光鋼管部電縫鋼管工場マネジャーの中治智博は説明する。

光24"ミルが製造する鋼管の約7割は海外輸出向けで、その大部分がラインパイプだ。ラインパイプに求められる品質は年々多様化し、高度化してきている。溶接部が存在する電縫鋼管では、特に溶接部の信頼性向上が求められ、高度な製造技術と信頼性の高い品質保証が必要だと言う。

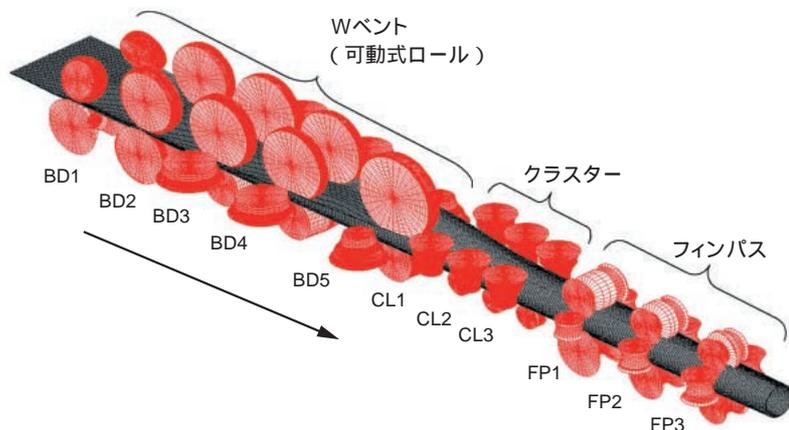
「当社では、これまで溶接状態を緻密にコントロールできる溶接技術の開発と、高い信頼性を持つ非破壊検査技術の導入を行ってきました。この技術力を地道にPRし、ラインパイプでの電縫鋼管の採用実績を伸ばしてきました」（中治）

さらに、既述したように、ラインパイプでは、近年高強度、靱性、溶接性に加え、「高変形能」が要求されている。

写真1 24インチ中径電縫鋼管新成形機



図1 新成形機プロセス



低YR：硬い材料は曲げなどの力が加わった時に破断しやすい性質を持つが、このとき降伏強度（YS）を引張強度（TS）で割った降伏比（YR）を低く抑えれば破断しにくくなる

図2 低歪成形技術

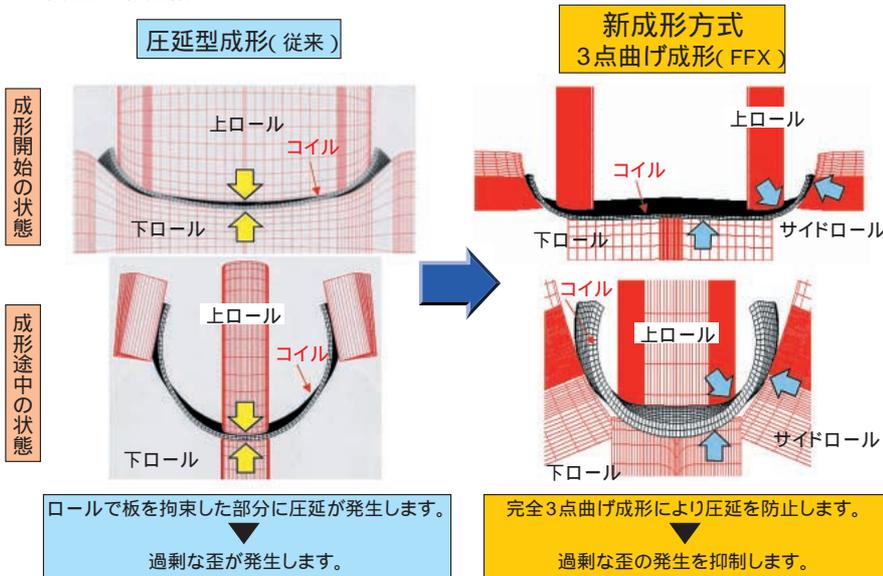
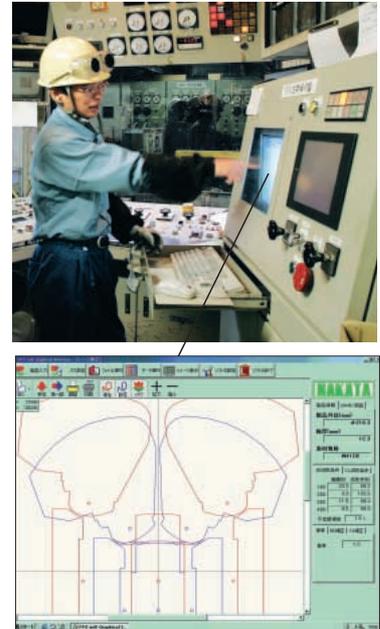


写真2



外径と肉厚に応じて鋼板の最適な曲率の点を上下ロール、サイドロールで押さえて成形。より少ない力でパイプ状に変形させる。加工時に過剰な力が加わらず、低歪み成形が可能になった。

その指標が「低YR」(注1)だ。光24"ミルの最新の成形法「FF (flexible forming) 方式」(図1)は、画期的な低YRを実現した。(図2)

「従来は上下のロールで圧延しながら成形していたため、無駄な歪みが発生していましたが、新方式では最適な曲げ成形を行うことで無駄な歪みの発生を少なくすることができ、低YRが実現しました。ロールの位置を上下移動、回転などで自由に変更できるため、全サイズの作り分けが可能で、作業効率も向上しました」と、設備の企画・検討段階から担当している光鋼管部電縫鋼管工場マネジャーの谷本道俊は説明する。ロールの位置調整は数値制御システムにより自動化されている(写真2)

### コンパクトかつ高剛性の成形機を追求

光24"ミルは、FF方式の製造実績を持つ(株)中田製作所の技術力と、新日鉄のエンジニアリング力で実現した。開発の上で最大の課題は、24インチサイズ(従来は16インチまで)に対応できる成形機の構造だった。

「既存のFF方式の成形機に比べ数倍の荷重が発生します。従来の構造のままで成形機の各パーツを単純に大きくしただけでは、この荷重に耐え得るだけの剛性が確保できないため、24インチサイズ化は非常に困難な問題でした」(谷本)



光鋼管部  
電縫鋼管工場マネジャー  
中治 智博



光鋼管部  
電縫鋼管工場マネジャー  
谷本 道俊

どうすればコンパクトで剛性の高い成形機を開発できるか検討を重ね、従来のパーツ単体での「FEM (有限要素法) 解析」ではなく、シャフト、ロール、スタンド等の各パーツを組み合わせた構造物全体での応力解析を行うことにより、コンパクト化と高剛性化を両立できるスタンド構造を導き出すことができた。

新成形機を用いて生産された中径電縫鋼管は、既にサハリン・Phase 2 開発計画(注2)でも採用されており、着々と実績を伸ばしている。

### 総力を結集して垂直立ち上げに成功

光24"ミルの開発にあたり、新日鉄の鋼管に携わる技術者が総力を結集し、検討を進めたことが新成形機導入の成功につながった。何百項目という課題を洗い出し、総合技術センター(RE) 環境・プロセス研究開発センター(EPC)、光製鉄所の設備・工場担当者、現場の操業者が総力をあげて検討したという。

「研究開発部門、設備部門は緻密な計算を行い、現場作業者は自ら納得するまで事前検討した結果、ほぼ垂直に近い立ち上げを行うことができました。今後も、さまざまな観点から技術を開発・導入し、世界でナンバー1と言われる工場を目指していきます」(谷本)

最後に中治は「今後も、造り込み技術の一層の向上を図り、商品の信頼性をさらに高めていきます」と決意を語った。

鋼管営業部のホームページ <http://www.nsc.co.jp/pipe/>  
お問い合わせ先：本社鋼管営業部(FAX 03-3275-5982)  
通常鋼管・一般構造用鋼管等 TEL 03-3275-5557  
機械構造用鋼管等 TEL 03-3275-6716  
プラント用・配管ステンレス鋼管等 TEL 03-3275-7582