

特別講演

□第187回春季講演大会生産技術賞(渡辺義介賞)受賞記念
特別講演(2024年3月13日)

若い鋼・ステンレス鋼で未来を拓く

Exploring the Future with “Young Steel” ; the Possibility of
Stainless Steel as Fundamental Industrial Material

井上昭彦

日鉄ステンレス(株)
代表取締役社長

Akihiko Inoue



*脚注に略歴

1 はじめに

この度は、栄えある渡辺義介賞を頂き、誠に光栄に存じます。この栄誉に与りましたのも、これまで一緒に仕事をさせて頂いた社内外の多くの皆様から頂戴したご指導、ご助言の賜物とおもっております。紙面をお借りして、改めて御礼申し上げます次第です。

私は、1982年に新日本製鐵(当時)に入社し、名古屋製鐵所に配属されて以来、鋼管、薄板、研究開発などの業務に携わり、微力ながら鉄という基礎素材を通じて、世界をより良いものにしようと取り組んでまいりました。

この3年間は、ステンレス鋼という、その発明から未だ百年ほどしか経っていない、人間でいえばまだ青年期にあるといっても過言ではない「若い鋼」に携わる機会を得ることができました。普通鋼製品も日々新たな進化を続けておりますが、ステンレス鋼に携わってみると、改めてステンレス鋼製品、更には産業自体が「未だ発展の余地が大きい」ということに気づかされた日々でした。

今日は、ステンレス鋼の将来性と可能性、ステンレス鋼が我々が直面する社会的課題の解決に寄与し得る魅力的な鉄鋼製品であることについて、いくつか事例の紹介も含めながらご紹介させていただきたいと思っております。

2 ステンレス鋼の歴史…製品と産業

2.1 ステンレス鋼の定義

今日私たちの社会には、その用途に応じて開発されてきた様々なステンレス鋼が満ち溢れています。これらステンレス鋼の基本定義に立ち返りますと、炭素(C) = 1.2%以下、ク

ロム(Cr) = 約10.5%以上の合金鋼ということになります。この定義は、ISOのTS15510として登録されていますが、この定義が国際的に統一されたのは1988年1月と、長い鉄鋼の歴史の中で言えば「ごく最近のこと」ということになります。ステンレス鋼は、耐食性や耐熱性等の「機能」と、耐食性の上に独自の製造方法を用いることで得られる「意匠」を兼ね備えた鋼であり、様々な合金の添加により新鋼種を開発し、要求特性を満足させつつ発展してきた歴史を有しています。

冒頭、「ステンレス鋼の発明から未だ百年ほどしか経っていない」と述べましたが、より具体的には、ステンレス鋼は1910年代に欧州、特にドイツ、イギリスを中心に進められた合金鋼研究の中で発明された鋼です。

我が国におけるステンレス鋼の研究・開発は1916年にスタートし、1920年には官営八幡製鐵所が13Cr鋼の試作に成功、1927年には18% Cr-8% Ni鋼、即ち現在のSUS304の製造技術を確立しており¹⁾、即ち我が国は発明から10年と遅れることなくステンレス鋼の生産を始めています。この事実を鑑みるに、私達の先人の技術への挑戦心に対し、改めて敬意を強くするものです。

その後の我が国のステンレス鋼産業は、戦前は軍需関連が主体で消費量も限られたものでしたが、戦後になってから冷延技術、鍛造技術、精錬技術等の導入により、高品質なステンレス鋼製品を大量かつ安価に生産することが可能となると、化学プラントや鉄道車両等の産業用機器を嚆矢に、システムキッチンや電化製品、自動車の排気系部材等の大衆消費財に係る需要の開拓を可能とし、急速なステンレス鋼の生産規模拡大につながりました(図1)²⁾。

その中で我が国ステンレス鋼メーカーは、需要家の要請に応じて汎用鋼から高級鋼に至る幅広い製品を生産しており、

* 1982年3月東京大学大学院産業機械工学専攻修了後、直ちに新日本製鐵(株)に入社。一貫して鋼管・薄板部門の操業・技術開発に携わり、薄板技術部長を経て、2018年代表取締役副社長、2020年日鉄ステンレス(株)代表取締役副社長執行役員を歴任後、2021年より現職。

特にその高い技術力を生かした高機能・高付加価値、省資源等の特長を持つ高品質ステンレス鋼の開発とソリューションの提供に強みがあり、画期的な製品の開発・投入と市場創造を続けてきました。これらの高機能・高付加価値製品は難製造である場合も多く、製造プロセスや製造技術の発展を促し、技術と製品の好循環を生み出しました。

世界的に見ると、20世紀のステンレス鋼産業は、発明の地

である欧州の他は、米国と我が国が主たる生産国であり、即ち鉄鋼業の技術先進国・地域においてステンレス鋼産業が成長してきたこととなります(図2)³⁾。

しかしながら20世紀末には、新興国における鉄鋼産業の興隆と共にステンレス鋼の生産国も増加、21世紀に入ると欧米や我が国では鉄鋼産業の再編・統合が進む一方、中国では改革開放経済下における需要の増加が、需要の伸長を上回る

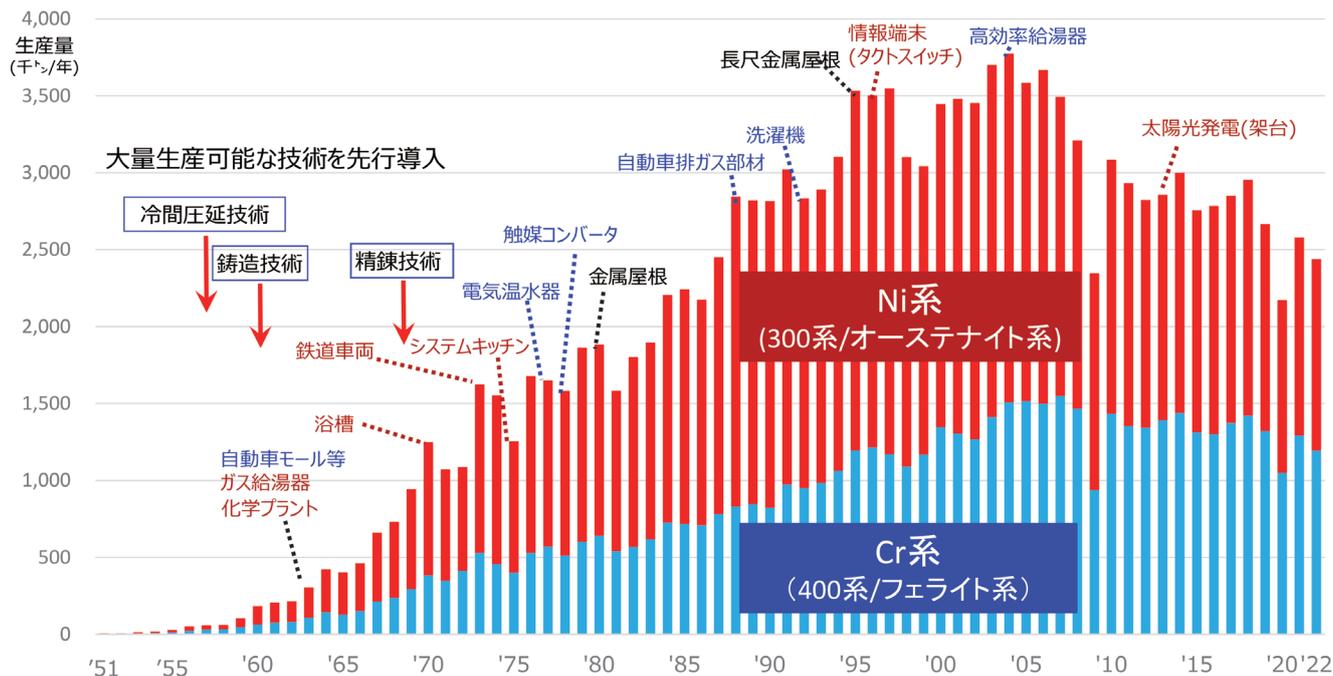


図1 我が国ステンレス鋼生産量推移(熱間圧延鋼材ベース)²⁾ (Online version in color.)

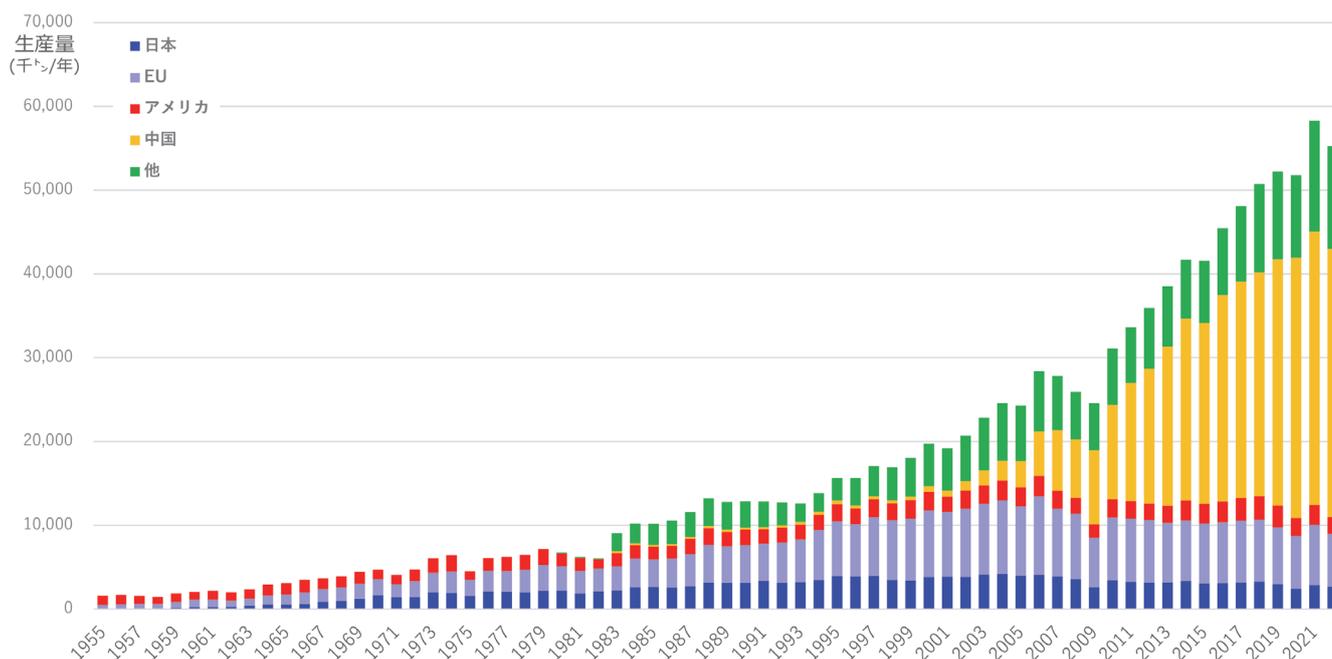


図2 世界のステンレス粗鋼生産量推移³⁾ (Online version in color.)

過去とは不連続な能力増強につながりました。この結果、ステンレス粗鋼生産能力で見た場合、20世紀末時点では上位10社の内6社を日・欧メーカーが占めていたのに対し、足下は上位10社に我が国メーカーの名前はなく、5社が中国メーカー、しかも上位2社だけで世界のステンレス粗鋼生産能力の三分之一を占めるに至っています(図3)⁴⁾。

ここでステンレス鋼の粗鋼生産の内訳を鋼種別に見てみたいと思います(図4)。World Stainless Associationの統計によれば、全世界のステンレス粗鋼生産の内訳は、ニッケル(Ni)系が約6割、クロム(Cr)系が約2割、マンガン(Mn)系が約

2割となっています⁵⁾。ステンレス鋼の場合、溶解・精錬の容易なNi系やMn系等のオーステナイト系の生産が主流となっています。特に代表鋼種であるSUS304(18Cr-8Ni)は、Ni系の7割強、即ち世界のステンレス粗鋼全体では約4割を占めています。一方Cr系の代表鋼種であるSUS430(17Cr)は、Cr系の約4割、ステンレス粗鋼全体では約1割を占めており、即ちステンレス鋼ではSUS304やSUS430等の伝統的な代表鋼種が全体の5割強を占めています。このことは、SUS304やSUS430等の代表鋼種が非常に機能、コスト、製造性、加工性等のバランスがとれた鋼種であることを示唆して

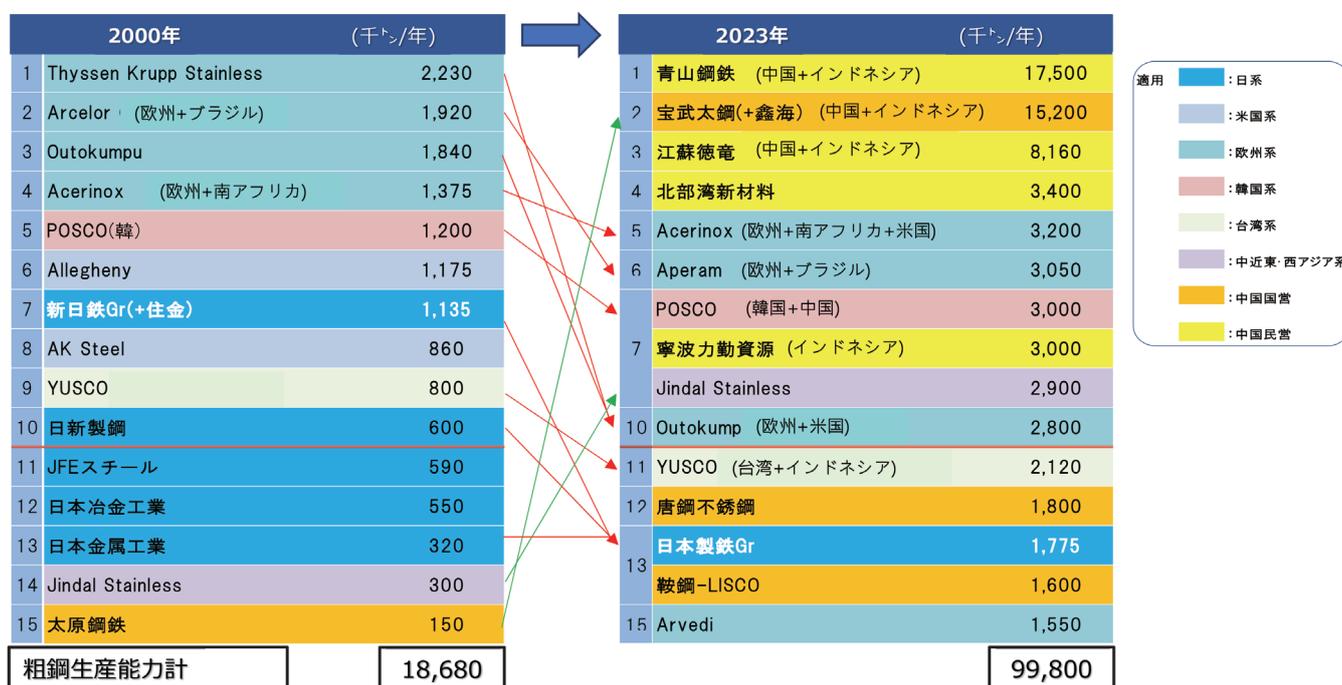


図3 世界のステンレス粗鋼生産能力ランキング⁴⁾ (Online version in color.)

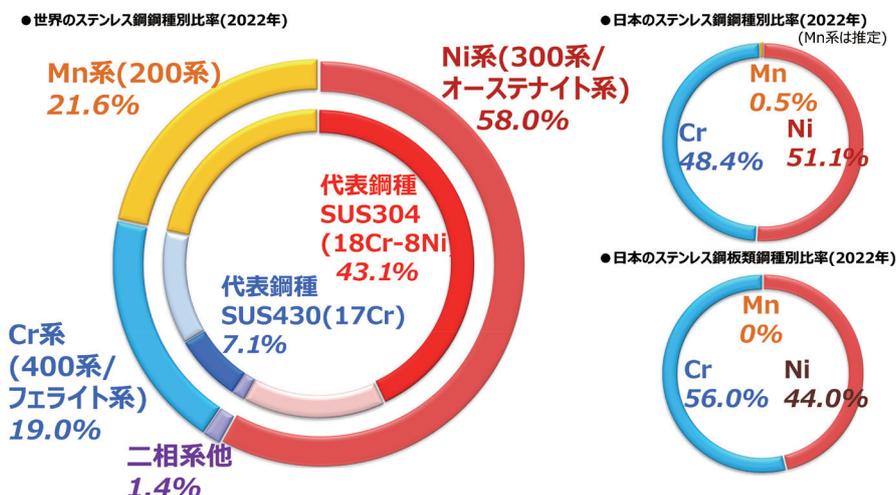


図4 世界と我が国のステンレス鋼の鋼種構成^{5, 6)} (Online version in color.)

います。特にSUS304は、耐食性や加工性の面で非常に使い出の良い鋼である一方、技術的には非常に製造が容易な鋼であり、このことが新興ステンレス鋼生産者の市場参入を容易にしています。SUS304の数少ない欠点は、固有原料として添加されるニッケルのコストが製品価格を押し上げていること、更には金融商品として市場に上場されていることで、ステンレス鋼の実需の動きと関係なく価格が乱高下することです。

ここで我が国のステンレス鋼の鋼種構成⁶⁾に目を転じると、世界の構成とは大きく異なり、ステンレス粗鋼ではNi系とCr系が概ね半々、鋼板類に限ってみればCr系が過半を占めており、各々Mn系は殆ど生産されていません。これは我が国のステンレス鋼生産者が有する技術力により、高い精錬技術を要求されるCr系の鋼種開発とその安定生産を実現してきたこと、また我が国の需要産業は、高機能且つ相対的には低コストではあるものの、利用加工の面で難易度の高いCr系ステンレス鋼を使いこなす技術力を有していたことによるものであり、特に自動車の排気系や家庭用電化製品、建築内外装等の幅広い分野で、Cr系ステンレス鋼の活用が進んでいることによるものです。

一方、中国メーカーは、その成長の過程においてSUS304や200系などの代表鋼種を中心に、規模の経済によるプロダクトアウト型の低コスト化を志向したビジネスモデルを展開しました。その結果、中国市場が飽和状態に陥ると、今度は海外に大量に製品を輸出し、更には過剰能力の海外展開を進め、その一方で生産品種構成の高度化等に目を転じるなど、世界のステンレス鋼産業に対し大きな影響を与える存在となっています。

3 新しいステンレス鋼の開発

かかる事情を背景に、我が国ステンレス鋼メーカーは「若い鋼」であるステンレス鋼に自らが有する技術先進性を適用し、「新しいステンレス鋼」の開発を加速、SUS304やSUS430等の代表鋼種の耐食性能を担保しつつ、省資源化・低コスト化や、高機能化を追求した新鋼種開発に注力してきました(図5)。その代表的な例として、SUS304を代替する二相ステンレス鋼のNSSC2120[®]と、SUS430を代替する錫添加ステンレス鋼のNSSC[®]FW1の例をご紹介します(図6)。ここでは縦軸をコスト、横軸を機能(耐食性等)としています。代表鋼種であるSUS430、SUS304、更には高耐食鋼のSUS316(18Cr-12Ni-2Mo)を図中にプロットすると、概ね右肩上がりの関係となります。「若い鋼」であるステンレス鋼の技術開発の方向性には、「機能の向上」と「コストの低

減」の二つの可能性があると考えられますが、本日紹介する二相鋼とフォワード(FW)シリーズは、その双方を両立させることに成功した新しいステンレス鋼です。即ち、二相鋼のNSSC2120、NSSC2351は、耐食性の向上とコストの低減が可能な既存二相鋼に技術的な改良を加えることで溶接性を向上させ、SUS304やSUS316の代替を促進、また低Cr系の鋼に錫を微量添加することで、固有原料の添加量を削減しつつ機能を向上させたFWシリーズは、SUS430の代替に留まらず上位の代表鋼種であるSUS304の代替も可能とする新たな鋼として開発に成功しています。以下、各鋼種を詳しく説明してまいります。

3.1 SUS304の省資源化…NSSC2120の開発

二相鋼は、マイクロ組織で見ると、フェライト相の素地にオーステナイト相が微細に分散析出した鋼であり(図7)、

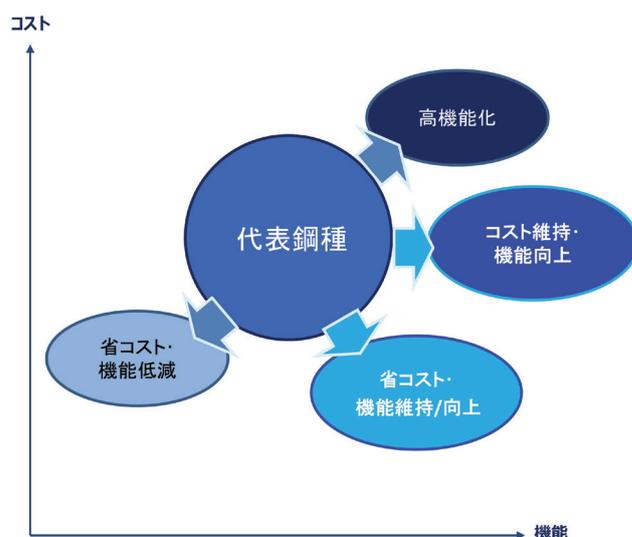


図5 新しいステンレス鋼開発の方向性(概念図)
(Online version in color.)

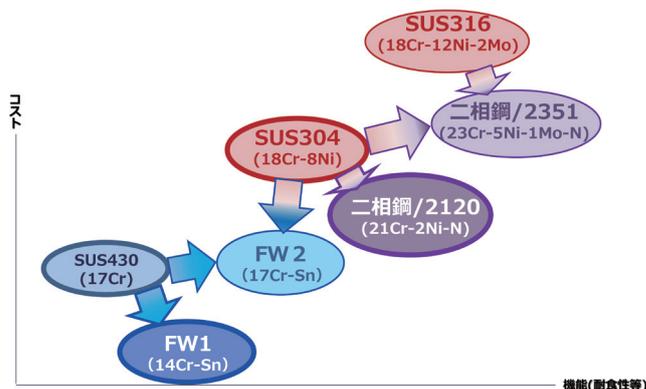
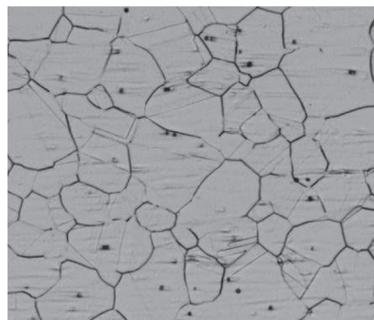


図6 日鉄ステンレスにおける商品開発取り組みの方向性(概念図)
(Online version in color.)

・オーステナイト系ステンレス鋼



・二相ステンレス鋼

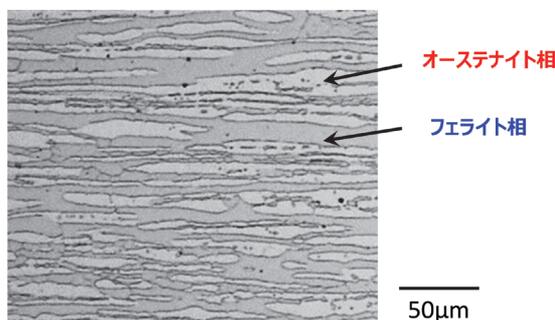


図7 オーステナイト系ステンレス鋼と二相ステンレス鋼のマイクロ組織の例 (Online version in color.)

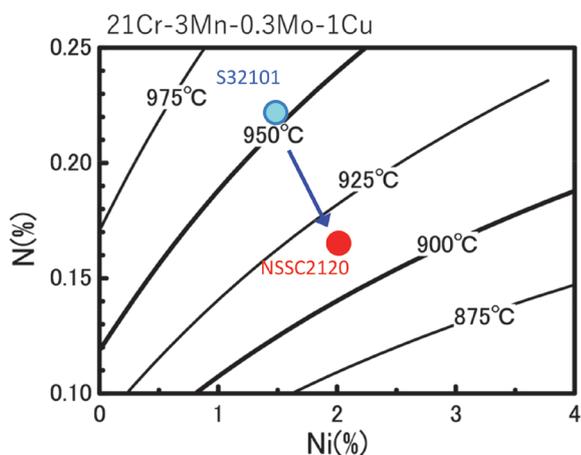


図8 クロム窒化物の平衡析出温度に及ぼすニッケル，窒素量の影響 (Thermo-Calc 計算結果)⁷⁾ (Online version in color.)

固溶化熱処理の状態では両相の比率は概ね1:1となり、SUS304に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼に比べて強度が高く、耐食性に優れると共に、塩化物環境での応力腐食割れに対して優れた耐性を有しています。従来SUS304を代替する二相鋼としてS32101 (21Cr-1.5Ni-5Mn-0.22N)が存在していましたが、この鋼は大入熱で溶接を行うと熱影響部の耐食性が劣化することから、溶接入熱を制限する必要があり、溶接効率の点で課題がありました。耐食性劣化の原因は、溶接後の冷却時のCr窒化物析出によるものであることを突き止め、成分設計と製造技術の見直しを図ることで大入熱溶接が可能な二相鋼、NSSC2120 (21Cr-2Ni-3Mn-1Cu-0.17N)を開発しました。より具体的には、溶接部耐食性の劣化は、溶接後の冷却時のCr窒化物 (Cr₂N)の析出により低Cr領域が生成されることであり、その析出抑制のための析出温度の低温化を検討するべく、平衡計算によりCr₂N析出とNi及びNの関係を明確化し (図8)⁷⁾、溶接後のγ相の再析出量、Cr窒化物の析出と耐食性の関係を確認、目標特性を満たす成分系を決定した結果、NSSC2120の溶接部耐食性は、大入熱のSAWにおいてもSUS304と同等以上に向上させるこ

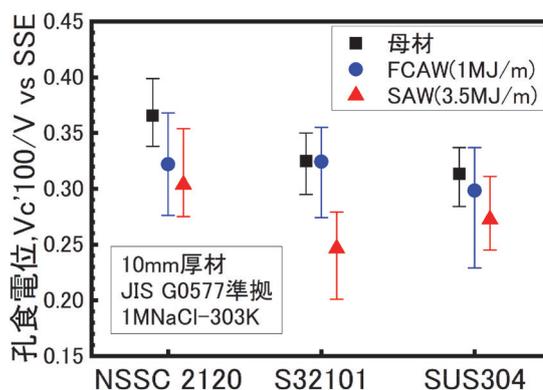


図9 溶接部耐食性評価結果⁸⁾ (Online version in color.)

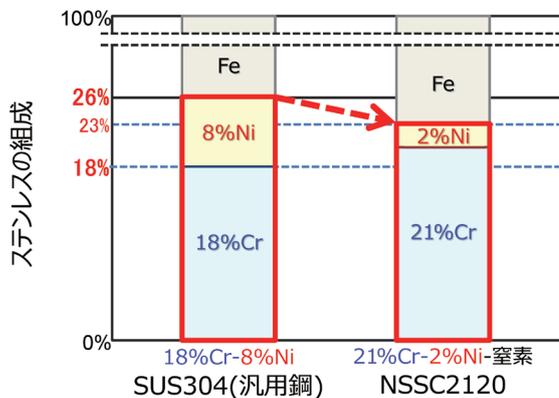


図10 二相鋼による合金元素の省資源化 (Online version in color.)

とができました (図9)⁸⁾。またNSSC2120は、安価で入手性の良いNを活用することで、高価なNiの添加量をSUS304の約1/4に削減し、機能の向上と省資源化・コスト最適化を両立させることに成功しています (図10)。

このNSSC2120で得られた知見を応用して開発されたのが、SUS316・SUS316L (18Cr-12Ni-2Mo, LC) 代替鋼のNSSC[®]2351 (23Cr-5Ni-1Mo-0.17N)です。NSSC2351の開発に際しては、①Cr₂N析出温度はNSSC2120と同等以下、②耐食性指数

はSUS316Lと同等以上、③Niの最小化、④フェライト量は50%等の条件を満足するようにNi、Nを最適化、母材・溶接部の特性評価を重ね、成分系の最適化を行いました(図11)⁹⁾。

これら新たに開発された二相鋼は、耐食性の向上に加えて耐力も向上(NSSC2120, NSSC2351の0.2%耐力は各々SUS304, SUS316Lの約2倍を確保)しており、添加原料の省

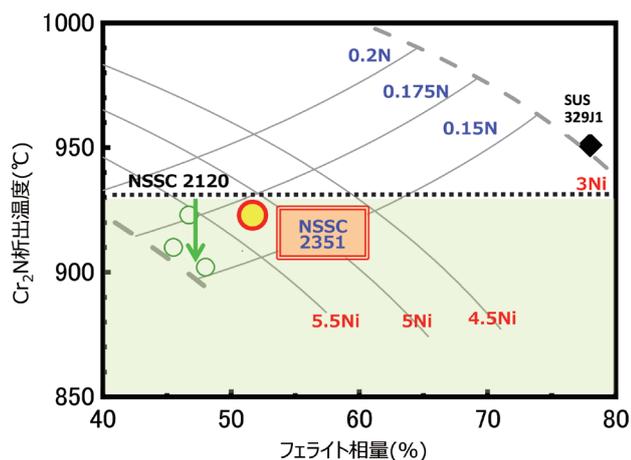


図11 フェライト量推定値とCr₂N析出開始温度の当量線マップによるNSSC2351の適正成分導出⁹⁾(Online version in color.)

資源化に加えて製品設計板厚の薄肉化による鋼材使用量の低減による初期投資の低減、更には構造物の軽量化を通じた作業性の向上を実現可能とすることで、ステンレス鋼の更なる普及に貢献しています(図12)。

3.2 SUS430 (17Cr)の省資源化…NSSC FW1の開発

Cr系ステンレス鋼の代表鋼種であるSUS430の代替は、Crを低減できる元素の探索が課題でしたが、Snの微量添加による耐食性向上の発見がこの課題への解となりました(図13)。

Snは不働態域が広く、酸性環境ではSn²⁺及びSn⁴⁺イオン、中性環境ではSnO₂が安定しており、このSnをステンレス鋼に微量添加した際の効果を検討することから始めました。その結果、Cr添加量を14%まで低減させた鋼にSnを0.1%添加することで、耐食性が向上することを確認し(図14)¹¹⁾、製品化への目途を得るに至りました。Sn添加により不働態化が促進されるメカニズムは、素地の溶解によりSnがSn²⁺として溶出、Sn²⁺を主体とするSn化学種が表面に吸着してアノード溶解を抑制し、表層の(Cr, Fe)₂O₃中のCr富化により不働態化を促進し、耐食性が発現するものと推定されます(図15)。

この微量錫添加技術は、SUS430を代替するNSSC-FW1に加え、SUS304を代替するNSSC[®]FW2等、バリエーションを

・機械的特性例

	耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び (%)
NSSC2120	570	792	31
SUS304	300	654	56

	耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び (%)
NSSC2351	613	830	29
SUS316L	281	561	53

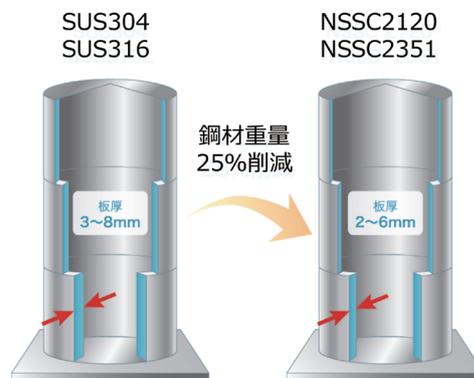


図12 二相ステンレス鋼の高強度特性を活用した円筒型タンクの鋼材重量削減のモデル(Online version in color.)

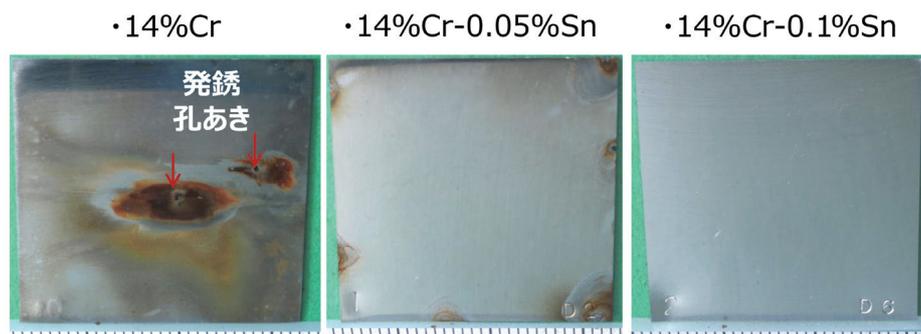


図13 80°C、0.5% NaCl水溶液中168hr浸漬後の外観¹⁰⁾(Online version in color.)

広げ、様々な製品分野において利用されています。

4 ステンレス鋼による社会的課題への挑戦

ここまでお話ししてきた通り、高い研究開発力を有する我が国ステンレス鋼メーカーは、元素の添加や組織の制御を通じて、用途や要求特性に最適化した新鋼種の開発が可能な「若い鋼」、ステンレス鋼の可能性を引き出すことに努めることで、代表鋼種の耐食性能を維持・向上させつつ、省資源化・低コスト化、高機能化等を可能とする新鋼種を開発を進めてきました。その結果開発された新鋼種群は、ステンレス鋼が基礎素材として果たすべき使命、即ち、時々刻々と変化する社会的課題に対するソリューションの提供に挑戦しています。

ここでは、その今日的な代表例として、「脱炭素・水素社会の実現」と「気候変動対応・国土強靱化への取り組み」に係るステンレス鋼のアプローチとして、前者についてはNiを低減した水素用材料のNSSC STH[®]2 (15Cr-9Mn-7Ni-0.17N)、後者については二相鋼とそれへのTMCP技術の適用、ステン

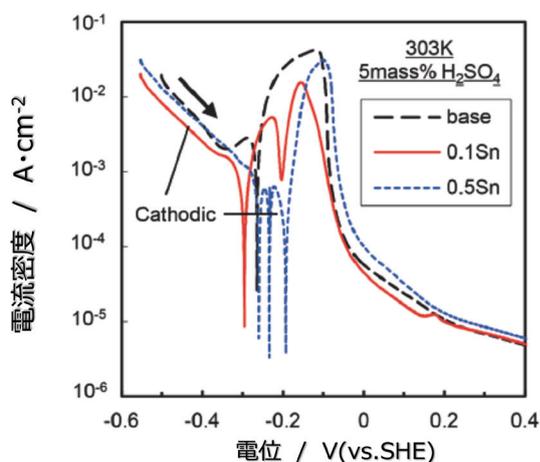
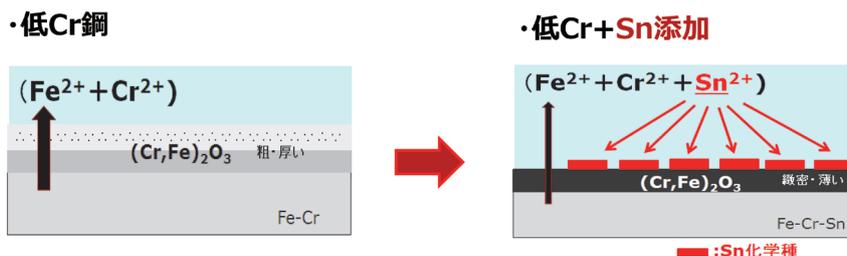


図14 303KにおけるH₂SO₄溶液中の14Crフェライト系ステンレス鋼の分極曲線に対するSnの影響¹¹⁾ (Online version in color.)



Snは素地の溶解によりSn²⁺として溶出し、Sn²⁺を主体とするSn化学種が表面に吸着してアノード溶解を抑制させ、表層の(Cr,Fe)₂O₃中へのCr富化により不動態化を促進し、耐食性発現と推定。

図15 Sn添加による水溶液中での不動態皮膜形成(推定) (Online version in color.)

レス鋼異形鉄筋の適用例等をご紹介します。

4.1 水素社会の実現に向けた最適素材の開発… NSSC STH2

周知のとおり、我が国では、2030年度の温室効果ガス排出(13年度比)46%削減、更に2050年カーボンニュートラル実現を目指す取り組みが進んでいます。その中では、エネルギーに係るソリューションが最大の課題であり、再生可能エネルギーや原子力、水素・アンモニア燃料の活用が重要なカギを握っていることは論を俟たないものと思います。特に水素については、最も有望なエネルギー源の一つと考えられていますが、水素の利用が普及するためには、水素コストを大幅に低減し化石燃料と並ぶ水準にさせることに加えて、水素の大量製造・輸送を可能とする、製造能力や輸送網の強化が必要とされています。

現在考えられている水素バリューチェーンでは、水素は液化または圧縮された状態で輸送・貯蔵されることが想定されており、液化水素の場合には-253℃、圧縮水素の場合70MPa級で-40℃という厳しい条件となります。更には水素脆化の問題から、高圧水素ガス環境下ではSUS304の適用は困難であり、耐水素脆化特性の観点からオーステナイト相の安定度(Ni当量)が高いSUS316Lの適用が現実的となりますが、コストの高いSUS316Lは普及に際しての障害の一つとなる可能性があることから、新たな水素用材料の開発を目指すものとなりました。

新たな水素用材料の設計にあたり、耐水素脆性を向上させるためにNi当量は28.5以上を確保することに加えて、高強度であること、更には低コストであるという特性を兼ね備えた材料の開発に挑戦するものとし、Ni当量の確保にはMnやNを活用、高強度化においてもNの効果が期待できることを念頭に、Ni, Cr, Mo等の添加抑制による低コスト化を目指しました。この結果開発されたのが、高強度省資源耐水素ステンレス鋼NSSC STH2 (15Cr-9Mn-7Ni-0.17N)です。

NSSC STH2はSUS316Lに対しCr, Ni, Mo添加量を約

40%削減しつつ(図16)、SUS316Lと同等以上の高い耐水素ガス脆性を示し、0.2%耐力、引張強さ共にSUS316Lを上回る鋼として完成しました(図17)¹²⁾。このような新たな鋼の普及は、我が国に留まらず、世界の水素バリューチェーンの普及・構築に大きな貢献ができるものと自負しています。

4.2 国土強靱化へのステンレス鋼の活用

4.2.1 社会インフラへのステンレス鋼の適用拡大

本年1月1日に発生した能登半島地震により、多くの方が被災されました。改めて亡くなられた方には心よりお悔やみを申し上げますとともに、被災された方々に心よりお見舞いを申し上げます。また1日も早い復旧復興を心よりお祈り申し上げます。

被災地域の復旧復興、更には将来の災害への備え・減災において、私達基礎素材産業、就中鉄鋼業が果たすべき使命は大きいものと思っております。現在我が国においては、2011年の東日本大震災を契機に、国家としてのリスクマネジメントである国土強靱化、防災・減災の取組みが進められております。特に、今後30年以内に70~80%の確率で起きると言われている南海トラフ沖地震や首都直下地震等、今後も我が国における巨大地震の発生は避けられないものであり、可能な限りその人的・経済的被害を低減させるためにも、私達が携わる基礎素材産業が、より優れた価値のある素材を生み出すことで国土の強靱化に貢献していかなければならないと信じております。

しかしながら、我が国において社会インフラが直面している課題を見ると、深刻なものがあるというのが現実です。地震や津波に限らず、大型化する台風や豪雨・豪雪等、自然災害の被災頻度の増加と激甚化が顕著になっている中で、高度経済成長期に集中的に投資されたインフラは老朽化が進んでおり、一方では少子高齢化の影響により予算と人員の減少によるインフラの維持・更新は難しさを増しています。そのような中で、少額の予算で一定の品質のインフラを維持・増

強していくためには、トータルコストの縮減が必要であり、我々素材産業・鉄鋼業の責務も益々重くなっています。

即ち、素材単価の最適化、使用量や重量の軽減、作業性の向上による工事費の低減など、素材がインフラ投資に係るコストの低減、また鉄鋼製品の高度化・高付加価値化によるインフラの長寿命化と修繕・更新の回避によるメンテナンス費用の低減など、鉄鋼業に貢献できることは多々あると思えます。二相鋼は、高耐食性という基本的な機能に加え、高強度化による薄肉・軽量化が可能であり、素材の提供のみならず利活用に係るノウハウの提供を通じて、トータルソリューションの提案に力を入れることで、高い耐食性、高強度による軽量化、省合金鋼としての価格安定性を評価する施主の採用が増加しています。

ここで紹介している3つの物件はいずれも国土強靱化に係る案件になります(図18)。岩手県宮古港の我が国最大級の陸閘門については、二相鋼を用いることで、高い強度を確保しつつ軽量化を実現し、迅速な開閉操作を可能にしています。また和歌山の琴之浦の防潮水門ではオールステンレス鋼化することで、メンテナンスフリー化を実現して防災機能の持続性を確保しています。東京都の上平井水門では機能面の充実に加えて意匠の面でもステンレス鋼が存在感を発揮しています。ステンレス鋼の機能とコストのバランスが向上し、施主に新たなソリューションの提供を可能としたことで、ステンレス鋼を採用する土木案件は、水門やダム以外にも、橋梁や道路等の幅広い公共土木案件に広がりを見せています。

4.2.2 TMCP二相ステンレス鋼

また足下では、二相鋼厚板に普通鋼厚板の製造で用いられる「制御圧延」と「インライン熱処理」からなる、所謂TMCPプロセス(図19)¹³⁾を適用することで、合金添加量や加工に

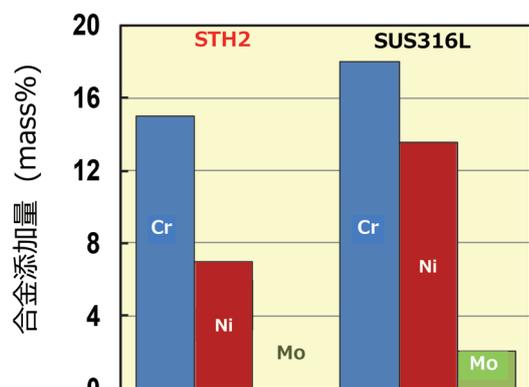


図16 NSSC STH2の合金添加量(SUS316L対比)
(Online version in color.)

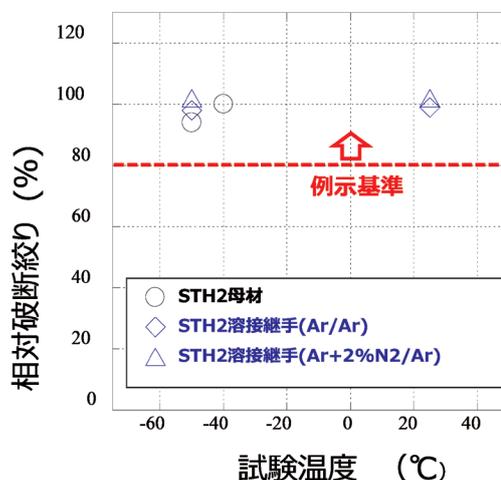


図17 NSSC STH2の水素ガス(90MPa)中での水素脆化評価¹²⁾
(Online version in color.)

必要な伸びは維持しつつ、耐力・強度・硬度等の機械的性質や耐摩耗性能を向上させることで、更なる高強度化と高硬度化を実現し、耐摩耗性に優れた新製品の開発にも成功しています。

強度と耐食性を両立させることを可能としたTMCP二相鋼ですが、本来この二つの機能は各々相反する組織制御が必要となります。即ち、高強度化のためには金属組織中の歪みを残留させることが望ましく、一方では高耐食性向上のためには析出物を抑制した方が有利であり、したがって金属組織中の歪みを低減させることが望ましいということになります。そこで、TMCP二相鋼では α 相と γ 相の回復挙動の差を利用し、 α 相のみを回復させることで、高強度と熱処理材同等の高耐食性の両立を実現することに成功しました。

NSSC2120-TMCPの場合、NSSC2120との比較において表面硬度が向上し、更には内部と表面の硬度の差が少ないことから耐摩耗性が持続することが期待されます(図20)。

二相鋼厚板は、その高い耐食性と高強度による軽量化に加え、省合金鋼としての価格安定性が評価され、ダム・水門等の土木インフラ分野での採用が拡大している中で、TMCP技術の適用により、水流や土砂による摩耗にゴムライニング等で対処していた排砂路や放流管、可動堰の底・側面等の長寿命化とライフサイクルコストの低減を実現、高品質なインフラの整備・提供に貢献、国内外において更なる普及が期待されています。



図18 国土強靱化へのステンレス鋼ソリューション提案例 (Online version in color.)

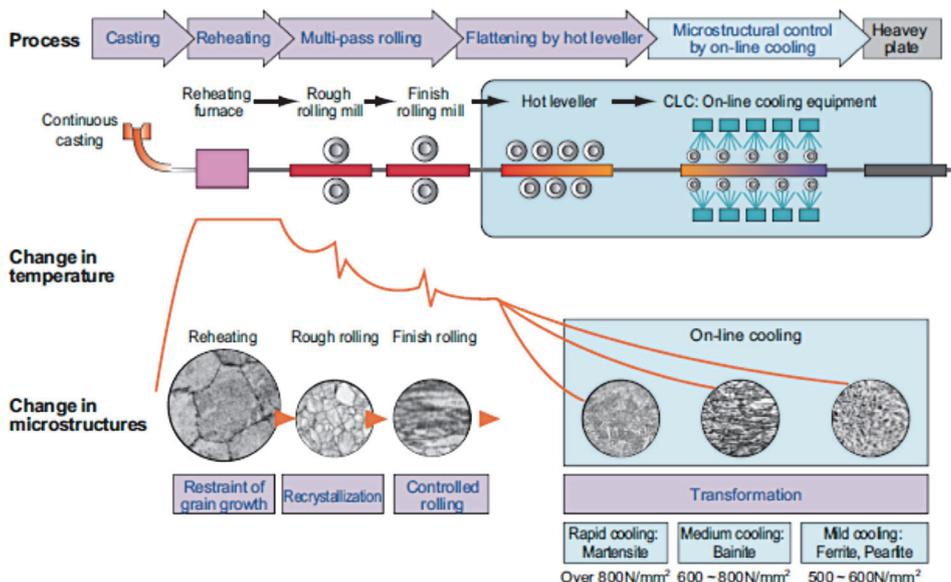


図19 厚板製造プロセス“TMCP”の概要と金属組織の変化¹³⁾ (Online version in color.)

4.2.3 ステンレス鋼異形鉄筋

高品質な社会インフラの実現に寄与する、もう一つの製品がステンレス鋼異形鉄筋です。沿岸橋梁、港湾構造物、融雪塩をまく道路構造物等の塩害環境下において、鉄筋腐食による鉄筋コンクリート構造物の劣化・損傷を防止できることに加えて、社会資本の高耐久化要求の高まりを背景に、国内外においてステンレス鋼異形鉄筋の利用は拡大しています(図21)。これまでこのような耐食性が要求される部位には、エポキシ被覆を施した普通鋼異形鉄筋が適用されるのが一般的でしたが、施工時のエポキシ被覆の損傷や、損傷部の補修作業

に係る負荷、更には保守部の品位や施工後のエポキシ被覆損傷時の母材耐食性の問題等、総合的な観点から考えれば、ステンレス鋼異形鉄筋の優位性は明らかであり、地球環境の温暖化による海面上昇や震災時の津波対策等、海岸線防護の重要性が今後さらに向上すると見られる中で、メンテナンス負荷の軽減、構造物の長寿命化に、コストパフォーマンスに優れたCr系ステンレス鋼異形鉄筋の適用拡大が期待されます。我が国においても、Cr系ステンレス鋼異形鉄筋が橋梁や護岸岸壁、更にはインテリジェントビル等にも適用されており、高品質なインフラの提供を実現しています。

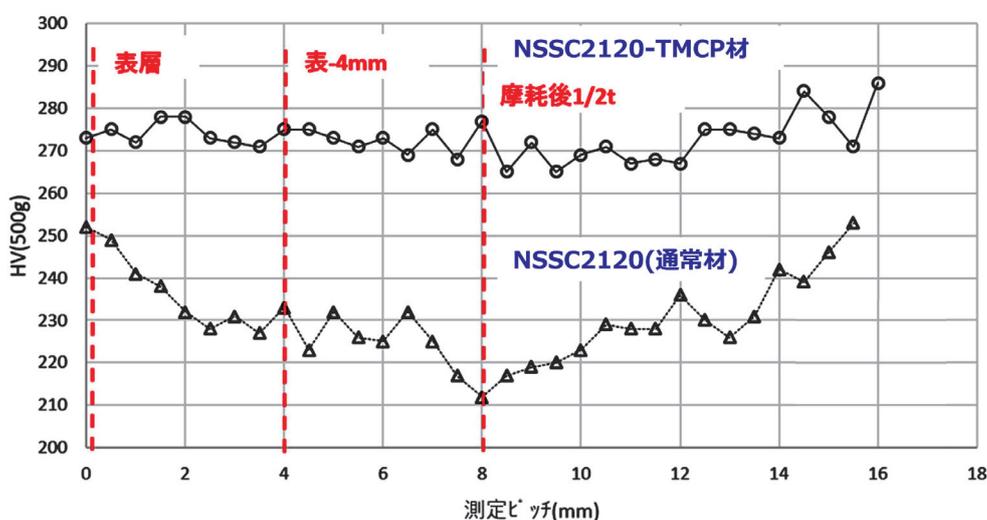
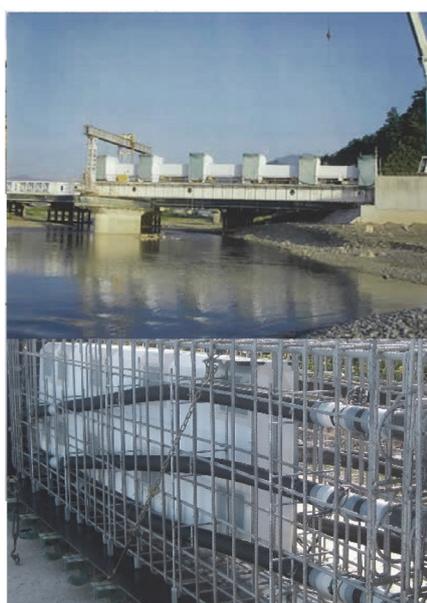


図20 TMCP二相ステンレス鋼と非TMCP二相ステンレス鋼の表面・内部の硬度対比(製品厚16mmのデータ例)(Online version in color.)



国道8号 能生大橋



護岸岸壁

図21 Cr系ステンレス鋼異形鉄筋の適用事例(Online version in color.)

5 おわりに

以上お話ししてきたように、過去100年余に亘る先人の発見・発明の積み重ねにより発展を重ねてきたステンレス鋼は、今後も新たな開発の可能性が期待される若い鋼であり、使用可能な元素の多さや組織制御技術との組合せの自由度が高い材料として、原理原則に基づく仮説や実験による現象の観察・考察を繰り返すことで、今後も更なる進化が期待される基礎素材です。世界的に優れた技術力を有する我が国ステンレス鋼メーカーは、持てる力を発揮し、時代の要請や環境変化を先取りした高機能・高付加価値なステンレス鋼を開発し、ソリューションを提案し続けることで、今後も世界のステンレス鋼産業をリードしていく責務があるものと考えています。そのためにも、私自身今後もステンレス鋼技術の発展に力を尽くしてまいりたいと考えております。

参考文献

- 1) 遅沢浩一郎：材料, 70 (2011) 7, 680.
- 2) ステンレス協会：ステンレス鋼熱間圧延鋼材生産実績推移 (暦年) を元に日鉄ステンレスがデータ補足の上作成.
- 3) 1955~1959 Metal Bulletin, 1960~INCO:World Stainless Steel Statistics, 2006~VALE INCO : World Stainless Steel Statistics, 2009~VALE : World Stainless Steel Statistics, 2012年~worldstainless データ等に基づくステンレス協会事務局推計, 2017年~worldstainless 公表データ.
- 4) worldstainless : capacity archive public realm を元に日鉄ステンレスがデータ補足の上作成.
- 5) worldstainless : Melt Shop Production by Main Grade を元に日鉄ステンレスがデータ補足の上作成.
- 6) 経済産業省：鉄鋼生産内訳月報をもとに日鉄ステンレスが作成 (一部推定).
- 7) 及川雄介, 柘植信二, 梶村治彦, 井上裕滋：溶接学会誌, 82 (2013) 6, 435 (一部加工).
- 8) 及川雄介, 柘植信二, 江目文則, 本村洋, 井上裕滋：まてりあ, 55 (2016) 2, 70.
- 9) 及川雄介, 柘植信二, 江目文則：日本製鉄技報, 416 (2020), 23.
- 10) 秦野正治, 松山宏之, 石丸詠一郎, 高橋明彦：まてりあ, 51 (2012) 1, 27.
- 11) 平出信彦, 松山宏之, 松橋透, 梶村治彦, 原信義：材料と環境, 66 (2017) 11, 361.
- 12) NEDO：水素利用技術研究開発事業, 成果報告書, (2018.2).
- 13) 児島明彦, 藤岡政昭, 星野学, 重里元一, 金子道郎, 田中睦人：日本製鉄技報, 400 (2014), 3.

(2024年3月29日受付)