

特殊鋼

2017
Vol.66 No.2

3

The Special Steel

特集／エネルギー産業で活躍する特殊鋼



特殊鋼

3

目次

2017

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	永濱 睦久 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	田代 龍次 (新日鐵住金)
〃	宮崎 貴大 (大同特殊鋼)
〃	赤見 大樹 (日新製鋼)
〃	正能 久晴 (日本金属)
〃	殿村 剛志 (日本高周波鋼業)
〃	戸塚 覚 (日本冶金工業)
〃	井上 謙一 (日立金属)
〃	福田 方勝 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

【特集／エネルギー産業で活躍する特殊鋼】

I. 総論

日本のエネルギー政策

…………… 資源エネルギー庁総合政策課戦略企画室 松野 大輔 2

II. エネルギー産業を支える特殊鋼製品

1. 化石エネルギー

(1) 日本が世界に先駆けた超々臨界圧

火力発電ボイラ用鋼管

…………… 新日鐵住金(株) 伊勢田敦朗 8

(2) 掘削技術を支える特殊鋼

…………… 大同特殊鋼(株) 仲 賢二 13

(3) 海底パイプライン… JFEスチール(株) 井上 智弘 16

(4) 地球環境保護及び船舶の安全航行に貢献する

原油タンカー用耐食鋼及び船体用高延性鋼

…………… 新日鐵住金(株) 金子 道郎 19

…………… 新日鐵住金(株) 市川 和利

(5) 極低温での韌性に優れた

LNGタンク用ニッケル鋼板

…………… (株)神戸製鋼所 小林 克壮 23

2. 再生可能エネルギーおよび送電

(1) 風力発電装置に用いられる

軸受および軸受用鋼

…………… 山陽特殊製鋼(株) 丸山 貴史 27

(2) 太陽光発電セル製造に使われる特殊鋼

…………… 日本冶金工業(株) 戸塚 覚 30

(3) 固体酸化物形燃料電池

インターコネクタ用鋼

…………… 日立金属(株) 山村 和広 33

(4) 水素社会を支える特殊鋼

…………… 愛知製鋼(株) 渡邊 義典 36

(5) 変圧器の省エネ化に貢献する

鉄基アモルファス軟磁性合金

…………… 日立金属(株) 中島 晋 39

(6) 高圧架空送電線に用いられる

高強度インバー合金線

.....	山陽特殊製鋼(株)	中間 一夫	43
	住友電気工業(株)	松岡 知哉	

Ⅲ. 会員会社のエネルギー産業に貢献する製品

高硬度高耐食Ni基合金 DSA760船用バルブ

.....	大同特殊鋼(株)	前川 博	46
-------	----------	------	----

“特集”編集後記.....	新日鐵住金(株)	田代 龍次	57
---------------	----------	-------	----

●一人一題：「築地百年」.....	中川特殊鋼(株)	中川陽一郎	1
-------------------	----------	-------	---

■業界の動き			47
--------------	--	--	----

▲特殊鋼統計資料			50
----------------	--	--	----

★倶楽部だより (平成28年12月1日～平成29年1月31日).....			54
--------------------------------------	--	--	----

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧			56
----------------------	--	--	----

特集／「エネルギー産業で活躍する特殊鋼」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	田代 龍次	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室長
委員	杉本 淳	愛知製鋼(株)	品質保証部お客様品質・技術室 主査
〃	永濱 陸久	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 次長
〃	宮崎 貴大	大同特殊鋼(株)	特殊鋼ソリューション部 東京第一ソリューション室 室長
〃	赤見 大樹	日新製鋼(株)	グループ開発本部 開発戦略センター 担当部長
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長

「築地百年」

中川特殊鋼(株) なか がわ よういちろう
取締役社長 中 川 陽一郎



関東大震災の翌年大正13年、祖父の秀太郎が中川秀太郎商店として築地に店を構えてから、弊社は今年で93年になります。土地の氏神にご守護いただき、お取引先、お仲間の皆さまに支えられて、今日まで鋼の商売を続けて来ることができましたこと、皆さまのお蔭とあらためて深く感謝申し上げます。

さて、茅場町から八丁堀、築地にかけての一带は鋼問屋さんが集まった地域です。鋼という重い荷物を集散するためには、大正から昭和30年代にかけて堀や運河を利用した水運が欠かすことのできない運送手段であったように思います。ご多聞に漏れず弊社の店の前には江戸幕府によって造成された築地川の支流南支川が流れていました。昭和30年くらいまでは、店前の川にはしけをつけ、鋼材を荷卸しする風景を見ることができたそうです。

昭和30年代後半、東京オリンピック開催（昭和39年）に向けて、首都高速道路の建設が急ピッチで進んでいました。都心部分での首都高速道路建設用地の確保が難しかったのか、運河を暗渠にしてその上に高速道路を走らせるというアイデアが浮上しました。京橋から銀座、汐留にかけての首都高は川を埋め立て暗渠にしたその上を高速道路が走っています。弊社前の南支川もその時に高速道路用地として埋め立てられました。その後川幅いっぱい細長い緑地公園に様変わりしました。

川土手を桜並木にしたその公園は、4月になると花が咲きこぼれ、公園は花見の一大名所に変身します。弊社ビルの事務所からは眼下に満開の桜並木を眺め、公園の向こう岸には端正なデザインの聖路加病院を見渡すことができます。なんともぜいたくな風景画です。

しかしその弊社ビルも寄る年波には抗えず、昨年解体となり、半世紀近くにわたり日々の業務を支え続けてくれたビルとお別れいたしました。新本社事務所スペースも旧本社から歩いて5分ほどのところで見つかりました。築地という街とはよくよくご縁があるものです。本社事務所移転を契機として、社員全員が気持ちを新たに、ますますの社業発展を祈念いたしました。

さて、最後になりますが、弊社は昭和27年特殊鋼倶楽部設立メンバーのうちの1社です。特殊鋼倶楽部が設立されて、今年で早65年。

弊社はその矜持を常に持ち、築地の地においてまずは100年。さらにその先まで、日本のものづくりを支える企業としてなお一層の努力をしてまいる所存です。特殊鋼倶楽部の皆さま今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。



特集

エネルギー産業で活躍する特殊鋼

I. 総論

日本のエネルギー政策

資源エネルギー庁総合政策課戦略企画室 まつの 松野 だいすけ 大輔

まえがき

我が国は、化石燃料に乏しく、その大半を海外からの輸入に頼るという脆弱性を抱えており、エネルギーを巡る国内外の状況変化に大きな影響を受けやすい構造を有している。このため、我が国の国民生活と産業活動にとって、エネルギーの安定的な確保は常に大きな課題となってきた。

本稿では、こうした課題と後述する東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故後の状況の変化を踏まえて策定したエネルギー基本計画・長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）、そしてこれらの実現に向けた取組を御紹介させていただきたい。

◇ エネルギーを巡る状況の変化

2011年3月、東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故が発生し、これによってエネルギーを巡る状況は大きく変化している。

第一に、原子力発電所が停止した結果、2014年時点における我が国のエネルギー自給率は6.0%まで落ち込み（震災前（2010年）は19.9%）、**図1**に示すように、国際的に見ても自給率の非常に低い脆弱なエネルギー供給構造となっている。

第二に、電源構成の変化によって電気料金が上昇した（東電管内の電気料金は家庭用で2割増、

産業用で3割増）。特に中小・零細企業の中には、**図2**に示すように、電気料金の上昇を転嫁できず、経営が非常に厳しいという声も高まっている。

第三に、原子力発電所の停止に伴う火力発電の焼き増しの影響により、**図3**のとおり、温室効果ガスの排出量が増加した。特に一般電気事業者によるCO₂排出量について、2014年度は震災前（2010年度）に比べて約0.8億トン増加している。我が国の温室効果ガス排出量の約9割はエネルギー起源CO₂であることから、エネルギー分野においてCO₂排出を抑制していくことは、地球温暖化対策として喫緊の課題となっている。

◇ エネルギー基本計画・エネルギーミックスの策定

こうした状況を踏まえ、2014年4月に第四次エネルギー基本計画を、2015年7月にエネルギーミックスを決定し、**図4**のとおり、2030年度のエネルギー需給構造のあるべき姿をお示しした。このエネルギーミックスは、安全性の確保を大前提に、3Eの政策目標を同時に達成するよう検討を行って決定している。具体的には、①エネルギー自給率については、震災前（約20%）を上回る概ね25%程度を目指すこと、②電力コストについては、現状よりも引き下げること、③温室効果ガス目標については、欧米に遜色ない削減目標を達成

安定供給：自給率(現状)

○震災前(2010年: 19.9%)に比べて大幅に低下。OECD34か国中、2番目に低い水準に。

※ IEAは原子力を国産エネルギーとして一次エネルギー自給率に含めており、我が国でもエネルギー基本計画で「準国産エネルギー」と位置付けている。

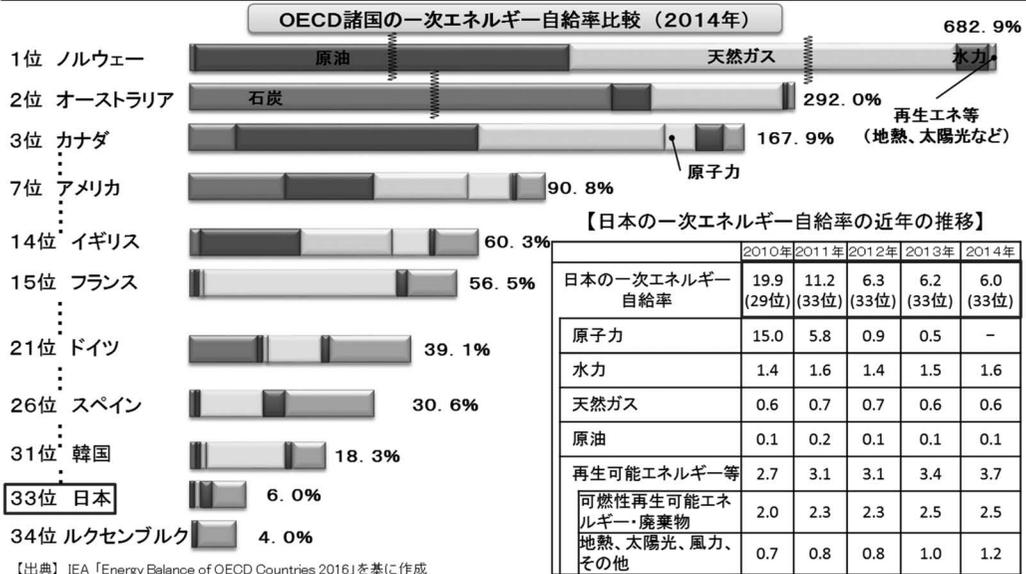


図 1 各国のエネルギー自給率

電気料金の上昇と産業への影響

○震災発生以降、原子力発電所の低下に伴う火力発電の焼き増しや再エネ賦課金等により、家庭向けの電気料金は約20%、産業向けの電気料金は約30%上昇。

○中小・零細企業の中には、電気料金の上昇を転嫁できず、経営が非常に厳しいという声も高まっている。

○他方、2014年後半以降の大幅な原油価格の下落等により、2015年度は1年前の2014年度と比較して、家庭向け電気料金の平均単価は約5%、産業向け電気料金の平均単価は約6%低下。

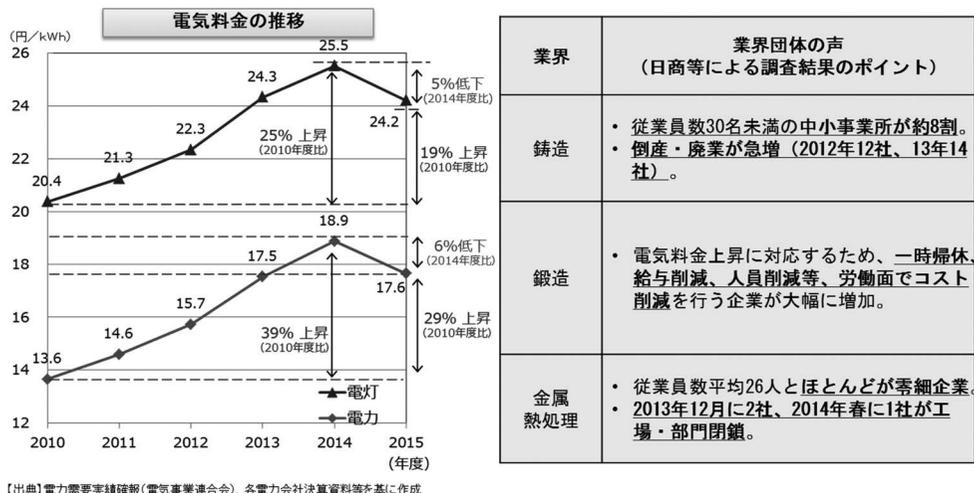


図 2 電気料金の上昇

我が国の温室効果ガス排出量の推移

○震災以降、温室効果ガス排出量は増加。2013年度、エネルギー起源CO₂排出量は1,235百万トン(過去最高)。
○2014年度(確報)は5年振りに減少し、1,189百万トン。震災前に比べると、電力分は原発代替のための火力発電の焚き増しにより、2010年度比83百万トン増加。

我が国の温室効果ガス排出量の推移

	1990年度	2005年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度
温室効果ガス排出量 (百万t-CO ₂)	1,270	1,397	1,304	1,354	1,390	1,408	1,364
エネルギーCO ₂ 排出量 (百万t-CO ₂)	1,067	1,219	1,139	1,188 (10年比)	1,221 (10年比)	1,235 (10年比)	1,189 (10年比)
うち電力分* (百万t-CO ₂)	275	373	374	439 +65	486 +112	484 +110	457 +83
うち電力分以外 (百万t-CO ₂)	792	846	765	749 ▲16	735 ▲30	751 ▲14	732 ▲33

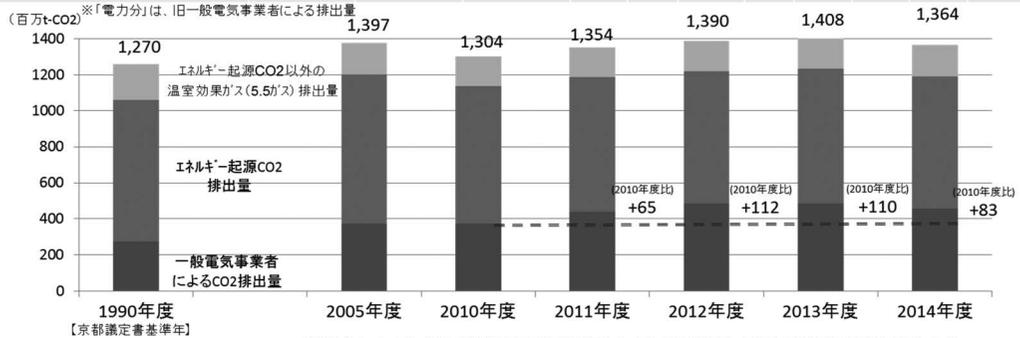


図 3 温室効果ガス排出量の推移

2030年度の需給構造の見通し：電力需要・電源構成

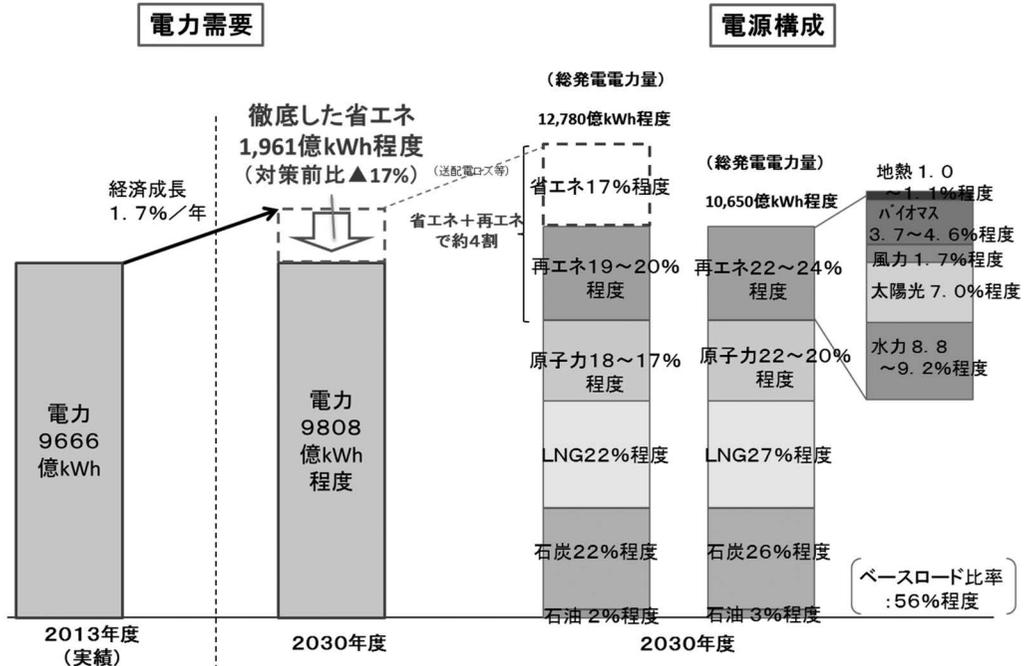


図 4 エネルギーミックス

することを政策目標として検討を行っており、徹底した省エネルギー、再生可能エネルギーの最大限の導入、火力発電の高効率化等により、原発依存度は可能な限り低減させた姿となっている。あらゆる面で優れたエネルギー源がない中で、このエネルギーミックスは3Eを同時に実現する姿になっており、この実現に向けて全力で取り組んでいくこととしている。

◇ 具体的な取組

エネルギー基本計画やエネルギーミックスを踏まえ進めている具体的な取組の一端を御紹介したい。

1. 徹底した省エネルギー

省エネについては、経済成長と徹底した省エネを両立することが重要である。規制と支援の両輪で省エネ投資を促していきます。

エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）では、事業者エネルギー消費効率を年1%以上改善することを求めており、目標達成のためには事業者の自主的な取組を促進することが必要である。

そのため、具体的な省エネの取組として、産業部門では、業界ごとに省エネ目標を定めて省エネを促す産業トップランナー制度の対象範囲を拡大するとともに、省エネ法に基づき事業者をS、A、B、Cの4段階へクラス分けし、クラスに応じたメリハリのある対応を実施するSABC評価制度の運用を開始し、省エネ取組のインセンティブを付与していく。加えて、省エネ取組に限界がある場合には、企業の連携による省エネ取組も考慮することが重要であり、例えば2016年度からは、外部で発生した未利用熱を購入し、自社の工場等で使用した場合に、省エネ取組として評価する未利用熱活用制度を運用開始した。また、これらの取組による省エネ投資を促すため、一部の高効率設備の導入支援を行っている。

運輸部門では、物流の効率化のためには、荷主・貨物輸送事業者が相互に連携して、輸送網の効率化を共同で進めることも重要であり、こうした連携を適切に評価する制度面の整備等についても検討を実施していく。

2. 再生可能エネルギーの最大限の導入

再生可能エネルギーについては、2017年4月か

ら施行される改正FIT法を着実に実施し、国民負担の抑制と再生可能エネルギーの最大限の導入の両立を実現していく必要がある。具体的には、大規模太陽光を対象とした入札制度を導入してコスト効率的な導入を進めていくとともに、地熱発電や中小水力発電といったリードタイムの長い電源については、数年先の認定案件の買取価格まで予め示し、新規参入を促していく。

FIT法改正の他にも、通常は3～4年要する風力・地熱発電の環境アセスメントの手続期間を半減させるために、前倒し環境影響調査の実証事業の実施やその一般化等を通じた規制改革を進めていく。また、最適地が限られている風力発電については、地域内に送電網を敷設し、送電網の電圧変動等を制御する技術の実証を進め、系統制約の解消を図っていく。平成29年度は、北海道・青森県・秋田県における送電線の設計等を行う。

さらに系統問題について言えば、単に連系線を増強するだけでなく、既存の連系線設備をより効率的に利用できるルールの整備が必要である。近年、発電設備を設置しようとする者からの地域間連系線の利用・増強ニーズが高まっている中で、連系線設備の先着優先ルールを継続する場合、一秒を争って申し込み順位を争う不毛な競争が生じるおそれがある。先着優先によって確保されている連系線容量を原則開放し、卸電力市場を介して、コストの安い電源順に送電させるようなルール（間接オークション）を導入し、公正な競争環境の下で送電線の利用を促すことによって、卸電力市場の活性化、より広域的かつ効率的な電源活用、将来的な調整力の広域運用を可能とし、その結果として、再生可能エネルギーの最大限の活用を促していきたい。

3. 火力発電の高効率化

制度面では、省エネ法・エネルギー供給構造高度化法（高度化法）により電気事業者の発電効率の向上や販売電力の低炭素化を進めていく。具体的には、2016年4月から新たな仕組みを導入し、省エネ法において発電事業者に対して高い発電効率（石炭火力：41%以上、LNG火力：48%以上等）を求めるとともに、高度化法においては小売電気事業者に対し非化石電源の調達比率（再生可能エネルギーと原子力を合わせて44%以上）を求め

ている。

技術開発については、産学官の有識者からなる「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」における議論を踏まえ、2016年6月に次世代火力発電に係る技術ロードマップをとりまとめた。この中でA-USC（先進超々臨界圧火力発電）を早期に技術確立するほか、IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）やGTFC（ガスタービン燃料電池複合発電）等の次世代の高効率火力発電技術を2025年度頃までに段階的に技術確立させるといった方針を示している。具体的には、A-USCについては、送電端における発電効率46%程度の達成を目指していくとともに、IGFCについては、現在、中国電力と電源開発の出資による大崎クールジェンが大崎発電所（広島県）構内で実証実験を実施しており、商用機の送電端における発電効率55%を目指していく。2017年度も引き続き、IGFCやGTFC等の技術開発をしっかりと支援していく。

4. 原子力発電所の再稼働と核燃料サイクル

徹底した省エネルギーや再生可能エネルギーの最大限の導入などを行い、原発依存度を可能な限り低減させることとしているが、3E+Sを同時に実現しようとするれば、原発依存度をゼロにすることはできず、やはり一定程度の原発は稼働させなければ、責任あるエネルギー政策を実行できない。

原発の再稼働については、2015年に川内原発1号機・2号機、2016年に高浜原発3号機・4号機、伊方原発3号機が再稼働した（高浜3号機・4号機は仮処分判決を受け現在停止中）。今後も、いかなる事情よりも安全性を優先し、原子力規制委員会によって新規基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し再稼働を進めていく。そして、その際には、国民や地元の理解を得られるよう丁寧に理解活動に取り組むことが重要であると考えている。

核燃料サイクルについては、エネルギー基本計画において、「使用済燃料の処分に関する課題を解決し、将来世代のリスクや負担を軽減するためにも、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減や、資源の有効利用等に資する」ものと位置づけており、引き続き関係自治体や国際社会の理解を得つつ取り組んでいく。また、2016年12月には、原子力関係閣僚会議において、「高速炉開発の方

針」を新たに決定した。高速炉は、核燃料サイクルの有効性を高める観点から重要であり、同方針に基づき、取組を進めていく。

5. エネルギーシステム改革

エネルギーシステム改革については、2013年4月に閣議決定された電力システム改革に関する基本方針において、①広域系統運用の拡大、②小売及び発電の全面自由化、③法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保という3段階からなる改革の全体像を示し、エネルギー基本計画においては、ガスシステム及び熱供給システム改革について、電力システム改革と一体的に検討を進めていくこととしている。そして、2015年6月には、3段階の電力システム改革の総仕上げとなる電気事業法の改正を行った。

こうしたシステム改革を貫徹するため、2016年9月より、総合資源エネルギー調査会の下に「電力システム改革貫徹のための政策小委員会」を設置し、取組の方向性について検討を行い、2016年12月に中間整理を行った。今後、競争活性化の鍵となる仕組みや、安全・防災、福島第一原発事故の廃炉・事故収束、環境への適合といった公益的な課題への対応が促される仕組みなど、総合的な制度改革を具体化していく。

そうした改革の一つとして、低炭素電源市場の創出を紹介したい。前述のとおり高度化法により小売電気事業者は自らの調達する電気に対する非化石電源の比率を2030年度に44%以上とすることが求められている。しかし、現在、卸取引所を経由した電気に関しては、非化石電源と化石電源の特定がされていないため、小売電気事業者にとって非化石電源比率を高める手段として活用できず、本来の非化石価値が埋没してしまっている。こうした状況では、特に取引所取引の割合が高い新規参入者にとっては高度化法の目標達成が困難になってしまう。また、FIT電気の持つ環境価値については、現状、賦課金負担に応じて全需要家に均等に帰属するものと整理されているが、国民負担の軽減を図る観点から、その価値を顕在化するような制度設計の在り方についての更なる検討が求められている。こうした問題に対し、非化石価値を顕在化し、その価値に適切に評価を与えることが出来るような低炭素電源市場の創設（図5参

新市場イメージ

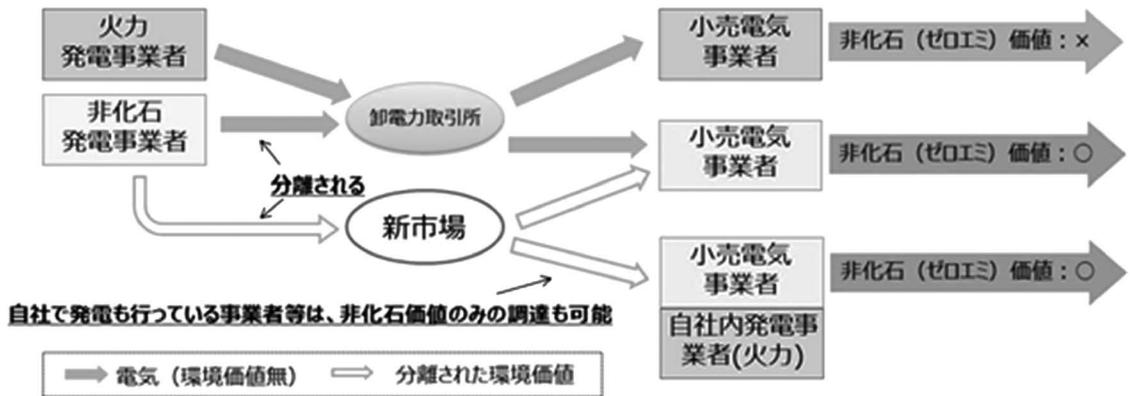


図 5 低炭素電源市場のイメージ

照) に向け、さらに具体的な制度を議論していくこととしている。

◇ 結 語

以上の取組をはじめ、様々な政策措置を適切に講じていくことで、今後も、国民生活と経済・産

業活動を支える責任あるエネルギー政策を遂行していくことがますます必要となっている。今後とも、福島復興、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に全力を傾けつつ、国内外の情勢変化に対応したエネルギー政策を実行してまいりたい。



II. エネルギー産業を支える特殊鋼製品

1. 化石エネルギー

(1) 日本が世界に先駆けた超々臨界圧

火力発電ボイラ用鋼管

新日鐵住金(株) 鋼管事業部 いせだ あつ ろう
鋼管技術部 特殊管商品技術室 伊勢田 敦 朗

まえがき

日本の火力発電ボイラの蒸気条件は、高度成長期の約30年近く最高温度538～566℃、最高圧力約24MPaの超臨界圧であった(図1)。その後これらの超臨界圧ボイラが更新期を迎えると、より高い発電効率の大型ボイラとして、蒸気条件の高温高圧化(いわゆる超々臨界圧ボイラ)技術と新材料の研究開発が活発になった^{1)、2)}。そして1990年代、世界に先駆け600℃蒸気級の超々臨界圧ボイラが国内に次々建設された。地球環境対策のCO₂削減が世界規模で叫ばれるとともに、欧州で超々臨界圧ボイラが実現、さらに中国はじめ新興国の飛躍的経済発展とともに、世界で超々臨界圧ボイラ

の建設ラッシュを迎えた。現在世界で建設されている高効率の600℃蒸気級超々臨界圧ボイラは、日本が先行開発した技術と新材料が標準になっている。本解説では、日本が世界に普及させた超々臨界圧ボイラ用鋼管と新技術についてその一端を紹介したい。

◇ 超々臨界圧火力発電ボイラ用鋼管の開発経緯

図2に火力発電ボイラの概略系統図と部位別の鋼管名を示す。旧来の538～566℃蒸気級超臨界圧ボイラでは、最高温度・圧力の蒸気を生成する熱交換器管(伝熱管、専門用語でチューブ)には、汎用の18Cr系オーステナイトステンレス鋼管(SUS347HTB、SUS321HTBなど)が、タービンに高温高圧蒸気を送る主蒸気管、再熱蒸気管(配管、パイプ)には、汎用2～9Cr系フェライト鋼管(STPA24、STPA26など)が使われてきた。一方、欧米の超臨界圧火力発電ボイラも、一部の先進ボイラを除いて同様の蒸気条件で、同類同グレードの鋼管材料が使われてきた。

図3にフェライト鋼管(チューブとパイプ)と、図4にオーステナイトステンレス鋼管(チューブ)の火力発電ボイラに使用される鋼管材料の規格体系を示す。これらの中で「火」の冠がついた規格が「火力技術基準の解釈」に規定され超々臨

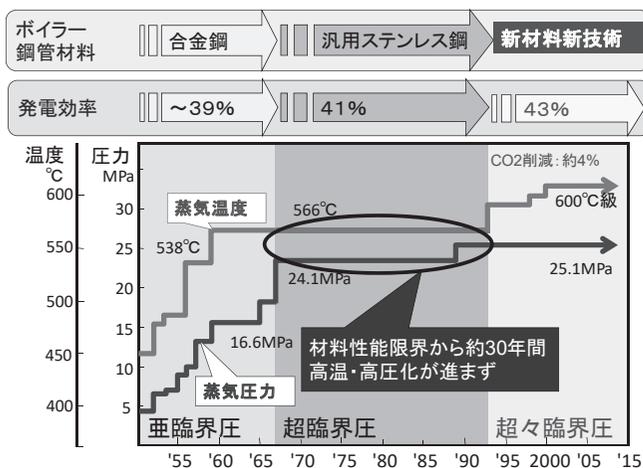


図1 日本の火力発電ボイラの蒸気条件と鋼管材料の推移

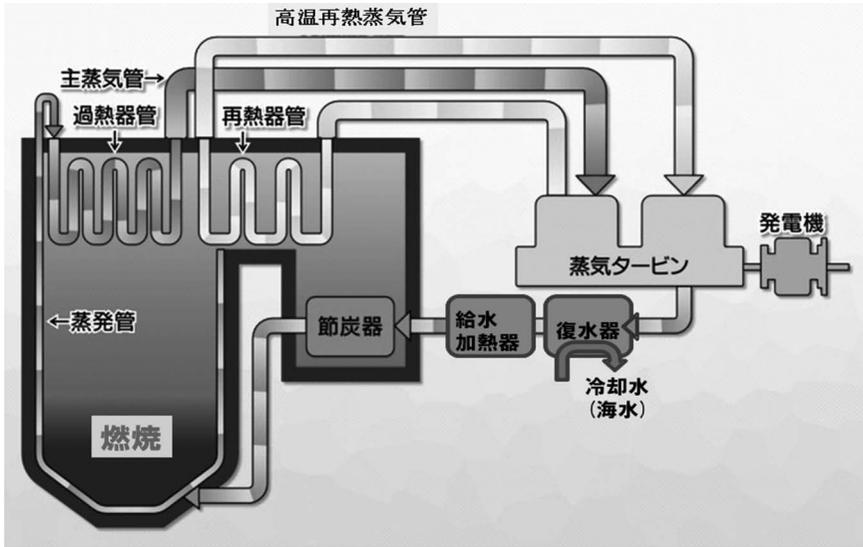


図 2 火力発電ボイラの概略系統図と部位別の鋼管名

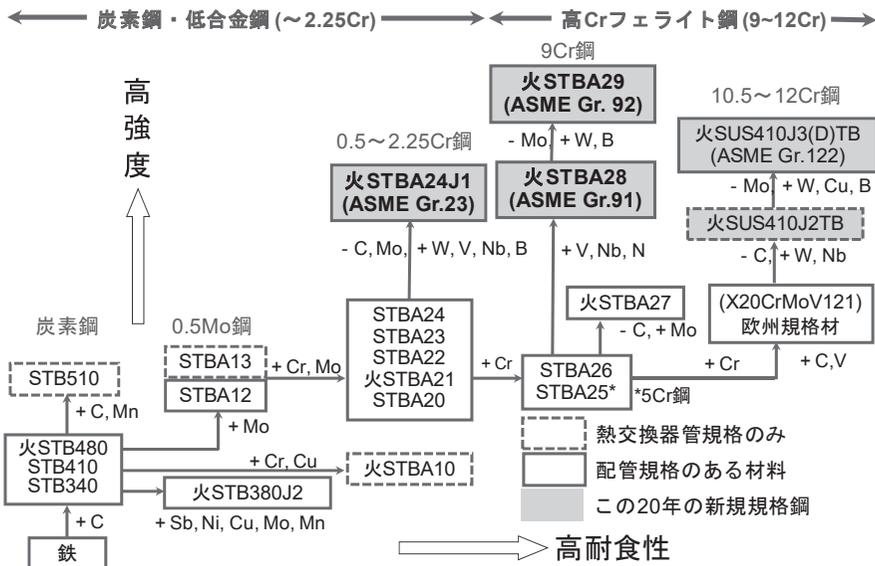


図 3 フェライト鋼管の規格体系（冠の『火』は火力技術基準の解釈に規定された材料）

界圧ボイラに採用された新しい鋼管材料である。それ以外は従来ボイラに用いられてきた汎用JIS規格材料である。一般にフェライト鋼管は、オーステナイトステンレス鋼管に比べ熱伝導性が高く熱膨張係数が小さい。高価なNiを添加しないため安価であり、加工性や溶接性にも優れ、熱交換器管のみならず配管材料として主蒸気管や再熱蒸気管の大径厚肉管に適用できる。一方、オーステナイ

トステンレス鋼管は高温強度や耐食性を高くすることができるため、最高温部の熱交換器管として用いられる。反面、フェライト鋼管に比べて熱膨張が大きいいため熱疲労性に劣ること、Niを8～20%多量添加するため高価なこと、溶接性や加工性に劣ることから、主蒸気管や再熱蒸気管には不向きでほとんど使用されていない。

超々臨界圧ボイラ鋼管の研究開発では、蒸気温

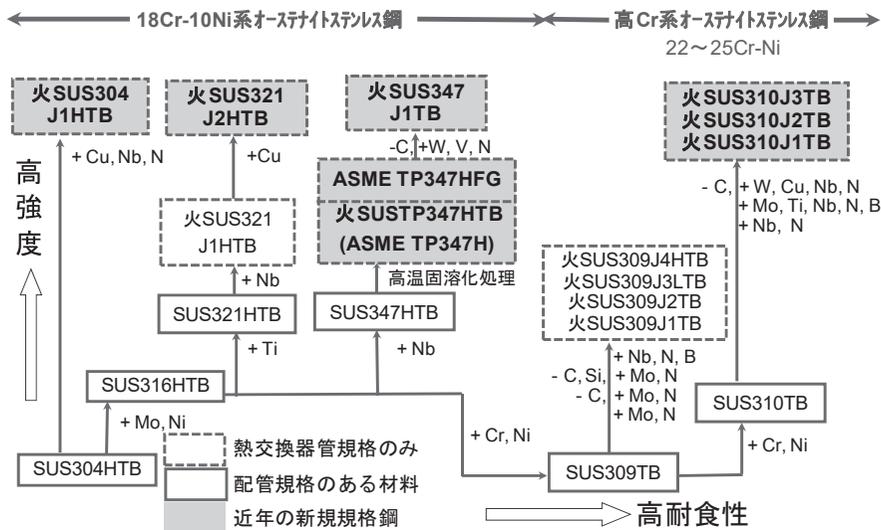


図 4 オーステナイトステンレス鋼管の規格体系 (冠の『火』は火力技術基準の解釈に規定された材料)

度や圧力を高めるために、汎用鋼管の高温強度や耐食性を飛躍的に向上させなければならなかった³⁾。フェライト鋼管の高強度化は、VやNbなどを少量添加し、それらの炭窒化物（MX析出物と呼ばれる）を微細分散析出させた強化法と、MoやWを従来鋼より多量添加した固溶強化とその析出物（ラーベス相）による強化法が採用された。オーステナイトステンレス鋼管の高強度化は、MoやWの固溶強化法、N（窒素）を多量添加した固溶とMX析出の強化法、微細Cu相の析出強化法などを最適に組み合わせている⁴⁾。

一方、超々臨界圧ボイラの高温腐食は、管外面の石炭などの燃焼による高温腐食と、管内面の高温蒸気による水蒸気酸化であり、蒸気条件の高温高圧化によって鋼管材料はより過酷な腐食環境にたえなければならない。フェライト鋼管の耐食性向上には主にCr量を高めた9~12Cr系フェライト鋼管が開発された³⁾。一方、オーステナイトステンレス鋼管では、Cr量を高めた高強度の22~25Cr系鋼管が開発された。さらにオーステナイトステンレス鋼管の耐水蒸気酸化性を向上させる日本が開発した2つの革新技术がある。一つは、汎用18Cr系鋼の細粒金属組織の製造プロセスで、高温強度と耐水蒸気酸化性をバランスさせ向上させることができる^{5)、6)}。もう一つは、管内面に高いショット加工（ピーニングやブラスト）する製造

技術で、18Cr系鋼であっても22~25Cr系鋼なみの高い耐水蒸気酸化性を得ることができる⁷⁾。

次項に日本が世界に先駆け実用化した超々臨界圧ボイラ用鋼管の革新技术について紹介する。

◇ 高温強度に優れた新しいフェライト鋼管

1. 火STBA24J1／火STPA24J1 (0.06C-2.25Cr-1.6W-V-Nb-B, ASME Gr. 23)

本鋼管は汎用0.1C-2.25Cr-1Mo系フェライト鋼管(STBA24/STPA24, ASME Gr. 22)の高温強度を、VとNbの微細MX析出と極微量B（ボロン）添加による安定な焼き戻しベイナイト組織として向上させ、さらにC添加量を減らして溶接割れを抑制した材料である⁸⁾。575℃の許容引張応力は、従来鋼に比べ約1.8倍高く、溶接割れ感受性が低い。耐食性が問題とならない低温部位、たとえば水壁管、再熱器管に世界的に使われている。欧州の超々臨界圧火力発電ボイラは圧力約35MPaを採用しており、強度の高い低合金鋼として本鋼管が役立っている。また、蒸気温度の低い排熱回収ボイラのヘッダーや主蒸気管としても使われている。

強度を高めた材料ではあるが、溶接継手については、強度の安全性を考慮した溶接継手強度低減係数が指針に規定されている⁹⁾。また、母材は溶接割れ感受性が低く、予熱や後熱なしでも使える性能を有するが、実際の溶接施工においては、残

留ひずみを考慮した予後熱処理や再熱割れへの配慮が必要である。

2. 火STBA28／火STPA28 (9Cr-1Mo-V-Nb-N, ASME Gr. 91)

1970年代に米国オークリッジ研究所が高速増殖炉用高強度9Cr系フェライト鋼として国策で開発した材料である。本鋼はV、Nb、N複合添加による微細MX分散析出強化と、焼きならし・焼き戻し熱処理による安定な焼き戻しマルテンサイト組織とすることによって、高温強度を高めている。1982年に民用に公開され、日本・欧州の鉄鋼メーカーが鋼管として実用化した。特に主蒸気管・再熱蒸気管大径厚肉鋼管は、1990年代に日本が世界に先駆け超々臨界圧ボイラで実用化し、世界に普及して標準となった。本鋼の厚板や大型鍛造品、鋳造品も実用化され、世界で広く使われている。

本鋼は強度に優れた実績ある材料ではあるが、実用化直後から母材や溶接継手の長時間高温強度の低下が問題となり、数回にわたり許容引張応力の見直しがおこなわれている。強度低下のメカニズムの研究はいまでも続いている¹⁰⁾。今後とも経年材の信頼性、寿命予測の観点から溶接継手を含む長時間クリープ強度の長期試験の継続と定期的な検証が必要である。このような強度問題を克服する新たな材料の研究開発が進められている¹¹⁾。

◇ 耐水蒸気酸化性を高める細粒組織をもつ18Cr系オーステナイトステンレス鋼管

オーステナイトステンレス鋼管は耐食性に優れるものの、管内面の水蒸気酸化スケールが剥離しやすいことが課題である。特に蒸気温度の高い超々臨界圧ボイラでは水蒸気酸化の抑制が必要である。一般に18Cr系オーステナイトステンレス鋼管の水蒸気酸化性は、金属組織の結晶粒度と高い相関性がある。図5に示すように、結晶粒度番号が8番以上の細粒金属組織とすることによって、水蒸気酸化スケールの成長を大幅に抑制することができる¹²⁾。酸化を防止する薄い被膜(Cr₂O₃、クロミア)が、Crが結晶粒界を拡散して管内表面に集まり生成することから、細粒金属組織がクロミア皮膜生成に有利になる。しかしながら、従来の321H系(18Cr-10Ni-Ti)鋼管や347H系(18Cr-10Ni-Nb)鋼管は、高温強度を得るために、高温で固溶

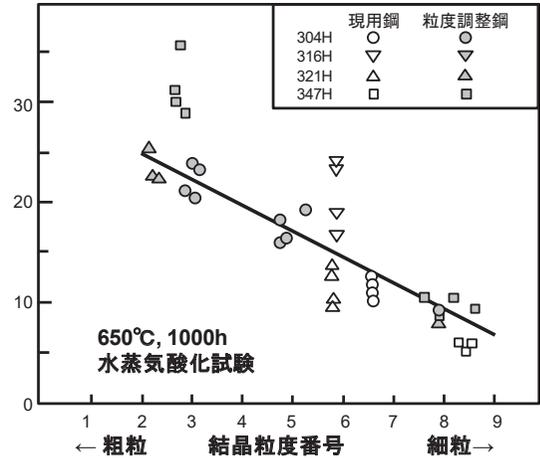


図5 18Cr-10Ni系オーステナイトステンレス鋼の結晶粒度と水蒸気酸化の関係¹²⁾

熱処理をおこなう。このため金属組織が粗粒化して、安定なクロミア皮膜が生成せず、耐水蒸気酸化性を損なうことが問題であった。日本が開発した加工と熱処理による細粒組織の製造技術は、高温固溶化熱処理を適用して高強度を維持しながら、細粒金属組織とすることで耐水蒸気酸化性をも高めることができる⁵⁾。この細粒金属組織の347H鋼管は、ASME TP347HFGとして規格化され、世界で使われている。細粒金属組織は、Cu添加して微細Cu相の析出強化を活用した火SUS304J1TB鋼管⁶⁾などにも採用され、高温強度と耐水蒸気酸化性の優れた18Cr系オーステナイトステンレス鋼管が超々臨界圧ボイラを実現したと言っても過言ではない。

◇ 耐水蒸気酸化性を高めるショット加工層をもつ18Cr系オーステナイトステンレス鋼管

日本が開発し世界標準となったもう一つの耐水蒸気酸化性の向上技術として、管内面のショット加工(ショットピーニング、ショットブラスト)がある。ショット加工は、0.1mm程度の深さに高密度の加工層(ひずみ)を付与することで、Crの拡散を促進させ、管内表面に安定なクロミア皮膜を生成させて水蒸気酸化を防止する技術である。図6に示すように、クロミア皮膜のブレイクアウト(700℃以上)がなければ、水蒸気酸化スケールの生成はほとんどない。ショット加工によって、

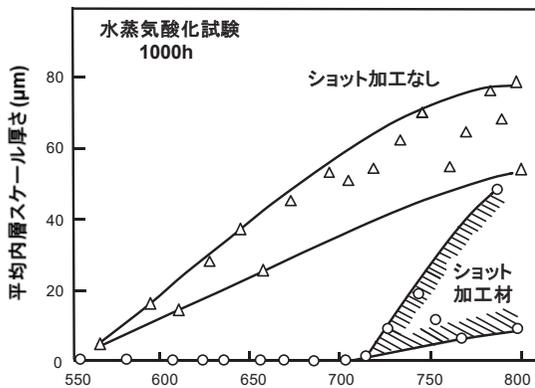


図 6 SUS321H鋼の水蒸気酸化と管内面ショット加工の効果¹³⁾

高温強度に優れた粗粒金属組織の材料に適用して高価な25Cr-20Ni系鋼なみの耐水蒸気酸化性を得ることができる。

ただしショット加工は一過性であり、溶接や曲げ加工の熱処理によって加工層が消失すると、その効果がなくなる。また、ブレイクアウトした場合は修復しないため注意が必要である。そのため、現在の超々臨界圧ボイラでは、細粒金属組織と併用して使われることが多い。

◇ 高温強度を高めた25Cr系オーステナイトステンレス鋼管

燃料の石炭燃焼等による熱交換器管の高温腐食は、超々臨界圧ボイラの高温化によって一段と過酷になる。特に腐食を促進するS(硫黄)分の高い石炭を使用する場合は、18Cr系オーステナイトステンレス鋼管では耐食性が不十分で、Crを25%添加したオーステナイトステンレス鋼管が必要である。超々臨界圧ボイラには高温強度も必要である。Mo、Wの固溶と析出強化に加え、Cu、Nb、Ti、B、Nの複合适量添加で析出強化させた火SUS310J1/J2/J3TBは、従来のSUS310TB(25Cr-20Ni)鋼管に比べ高温強度が約2倍の材料である。

Crを25%添加する場合は、高温で安定なオーステナイト組織であって、脆いシグマ相の析出を抑制するため、少なくとも20%のNi添加が必要である。その他の合金元素の添加量と合わせ、金属組織と高温強度の安定性確保からNi量が決められている。なお、Cr量が25%になると、粗粒の金属組織であってもクロミア皮膜が安定に生成するため、

水蒸気酸化対策の細粒金属組織やショット加工層を付与する必要はない。ただし、18Cr系鋼(Ni量は8~12%)に比べNi添加量が多くなる分高価である。

日本で開発された新しい25Cr系オーステナイトステンレス鋼管は、超々臨界圧ボイラの高温腐食の厳しい部位に使われ、世界に普及している。なお、さらに耐食性を高めるためにCr量を25%以上にした鋼管材料は、研究段階であり、Ni量の増加やシグマ相脆化が問題となるため、まだ高温材料規格にはない。

むすび

日本が開発し世界に普及した超々臨界圧発電ボイラ用鋼管について、その一端を紹介した。ここに紹介した鋼管と技術は、1980~2000年に研究開発・実用化されたものである。地球規模のCO₂削減は喫緊かつ重要課題である。世界の持続的発展には高効率石炭火力発電ボイラが重要な役割を担っている。これからも日本が最先端技術をもって世界に貢献するためにも、次世代火力発電ボイラ用鋼管の研究開発に期待したい。

参考文献

- 1) 山田宏彰ほか：火力原子力発電、52(2001)、p 1217
- 2) R. Viswanathan and W. T. Baker : Proc. 200 Int. Joint Power Generation Conf. Miami Beach, FL, USA, July 23-26, (2000)、IJPGC 2000-15049
- 3) 増山不二光：学振耐熱材料123委員会研究報告、50(2009) 2、pp 161-173
- 4) 伊勢田敦朗：ふえらむ、日本鉄鋼協会、18(2013) 12、pp 712-717
- 5) H. Teranishi, Y. Sawaragi, M. Kubota, Y. Hayase: The Sumitomo Search, 38(1989)、pp 63-74
- 6) 樫木義淳、大塚伸夫、小川和博、名取敦、山本里己：住友金属、46(1994) 1、pp 27-37
- 7) 遠山見、南雄介、関幹人、野中一男、古賀国敏：火力原子力発電、45(1994) 2、pp 165-174
- 8) 樫木義淳、五十嵐正晃、伊勢田敦朗、山本里己、増山不二光：住友金属、49(1997) 1、pp 77-88
- 9) JEAC3701発電用ボイラ規程、日本電気協会火力専門部会(2016)
- 10) 屋口正次：火力原子力発電、63(2012) 6、pp 484-509
- 11) 伊勢田敦朗、吉沢満、岡田浩一、浜口友彰、平田征弘、浄徳佳奈、小野敏秀、田中克樹：火力原子力発電、67(2016) 11、pp 763-779
- 12) 小若正倫、永田三郎：日本金属学会誌、36(1972)、p486
- 13) 大塚伸夫：住友金属、44(1992) 3、pp 30-41

(2) 掘削技術を支える特殊鋼

まえがき

人類は地球を掘削し、資源を大量に取り出すことで大きく発展してきた。金・銅・石炭・石油・天然ガスの採掘からシェールオイル・ガス、レアアースメタル、メタンハイドレートなど、人類は発展とともにさまざまな資源を地球から享受している。

これら資源の採掘に必要な不可欠な掘削技術・ツールは、産業革命以降、目覚ましい進化を遂げている。その進化を影で支えているのが素材＝特殊鋼といえる。鉱山開発で使用されるロックドリルや海上油田開発で使用されるボーリングツールには、硬い岩盤に耐えうる高強度・厳しい腐食環境に耐えうる耐食性をもつ素材が要求される。シェールオイル・ガス開発で用いられるセンシング機能を駆使した傾斜掘りツールには、センサの誤作動防止のために非磁性の素材が求められる。

大同特殊鋼(株)は、掘削技術に求められるさまざまな機能をもつ素材を開発・製造している。その一部を図1に示す。本稿では、弊社の開発鋼4種を紹介する。

◇ 開発鋼「DNM」

開発鋼「DNM」は、非磁性オーステナイト系ステンレス鋼であり、Cr-Mn系オーステナイト系ステンレス鋼をベースにCr、Mn、Nなどの成分を最適化し、更に温間加工を施すことにより高強度・高耐食化を実現した。また、オーステナイト相形成元素であるMn、Ni、Cu、Nを利用することにより非磁性を実現した。

開発鋼「DNM」は、3種の強度レベルで製品ラインアップしている。表1に製品毎の機械的特性および透磁率測定結果の一例を示す。

開発鋼「DNM」は現在、シェールガス・オイルや陸上および海上油田の開発現場において、地下3～10km地点の掘削ツールとして使用されている。

◇ 開発鋼「DSA760」

開発鋼「DSA760」(Ni合金)は、高硬度かつ高耐食、さらには非磁性という、従来にない材料である。本合金は、Ni-38Cr-3.8Al (mass%)を基本組成とし、 γ 相(Ni3Al)と α -Cr相が複合的に析出することで60HRCに近い高硬度が得られる。一

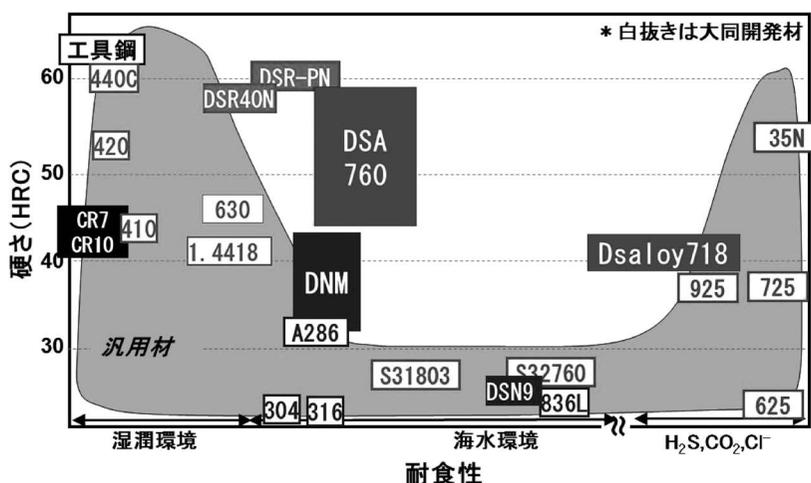


図 1 掘削業界向特殊鋼の位置付けマップ

表 1 開発鋼「DNM」の機械的特性・透磁率一覧表

製品名	0.2%耐力 (ksi)	引張強さ (ksi)	伸び (%)	絞り (%)	シャルピー値 (J/cm ²)	透磁率
DNM110	110	120	18	50	81	<1.005
DNM140	140	150	18	50	68	<1.005
DNM160	160	170	18	50	68	<1.005
SUS316*	35	80	60	70	-	<1.005

*SUS316は固溶化熱処理状態、代表例

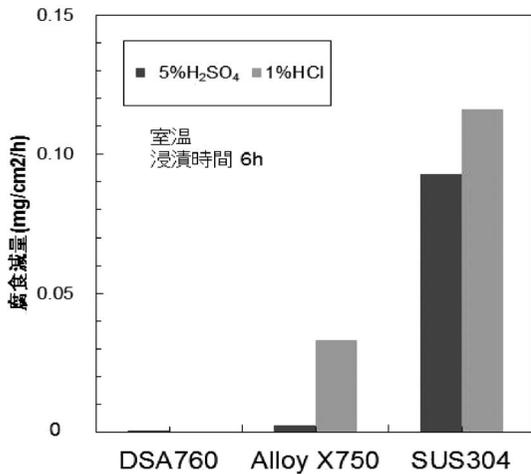


図 2 耐食性比較データ①

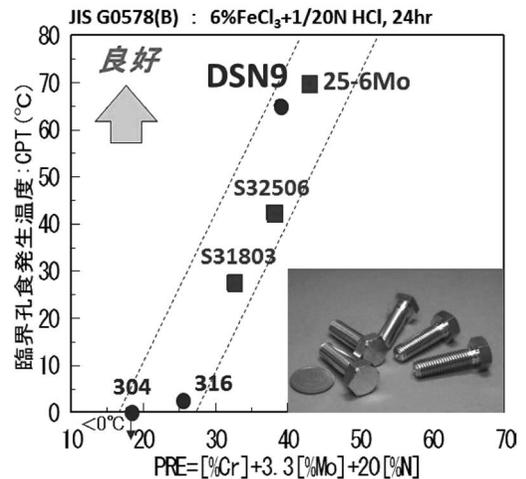


図 3 耐食性比較データ②

方、固溶化熱処理状態では冷間加工も可能である。さらに、高Crであることから、様々な腐食環境に対して耐食性を有している。図2に5%硫酸、1%塩酸中への室温浸漬試験結果を示す。比較材であるSUS304、AlloyX750が腐食減量を生じるのに対し、「DSA760」はほとんど腐食減量が生じず、非常に優れた耐食性を有している。

開発鋼「DSA760」は、掘削環境や海洋など、腐食環境下での特殊ベアリングや耐摩耗部材、ボルトなどの締結部材、ハウジングなどへの適用が期待される。

◇ 開発鋼「DSN9」

SUS836L (Fe-25Ni-23Cr-6Mo-0.2N) に代表される耐海水用のスーパーオーステナイト系ステンレス鋼は、フェライト生成元素であるCrおよびMoが耐食性改善目的に多く添加される。これに伴いオーステナイトの安定化を図るために多量のNi添加を必要とし、高価なステンレス鋼となる。弊

社は、Fe-23Cr-10Ni-6Mn-2Mo-0.5Nを基本組成とし、SUS316をベースにNiの代替として高レベルの窒素Nを添加し、強度および耐食性の改善を図った「DSN9」を開発した。

開発鋼「DSN9」の強度は、固溶化熱処理状態でSUS316の引張強さが600MPa前後に対して、800MPaを超える高い強度を有する。また、図3に示すように、耐食性も優れており、SUS836Lに近い耐食性を有する低コストな材料である。

開発鋼「DSN9」は、安価かつ高強度、高耐食性を有することから、オフショア/プラットフォーム設備・機器などの構造部材やワイヤーライン、スクリーンパイプなどへの適用が期待される。

◇ 開発合金「DSALOY718」

高温強度、高耐食性を兼ね備えたUNS07718 (Ni基合金) は、掘削業界でも多く使用されている。本合金の欠点は、切削加工工具寿命が短い点である。弊社はこの欠点を克服すべく、切削加工性に

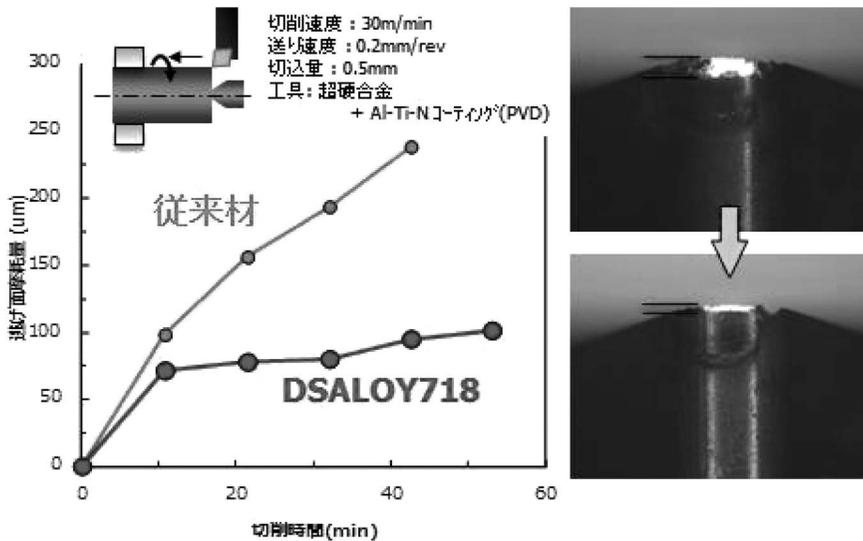


図 4 切削工具摩耗量比較データ

優れる「DSALOY718」を開発した。

開発鋼「DSALOY718」は、弊社独自の精錬技術による介在物コントロールを実施し、被削性アップ（切削工具摩耗の抑制）を実現した。図4に旋盤切削工具による工具摩耗試験結果を示す。開発鋼「DSALOY718」は、UNS07718対比、切削工具寿命の7倍化を達成している。

開発鋼「DSALOY718」使用により加工コスト低減および複雑加工された掘削ツールの開発が容易になることを期待する。

むすび

今後も人類は、環境に配慮しつつ更なる発展を目指し、深海資源開発や北極等の極寒地資源開発、宇宙資源開発へと掘削技術を進化させていくだろう。さらに、低コスト追求や高次元の安全性・信頼性担保を、掘削ツール（素材）に求めるだろう。弊社は、創業100年の歴史の中で積み上げた特殊鋼開発技術をもって、掘削技術進化の一端を担うことを目指していく。

(3) 海底パイプライン

JFEスチール(株) いの うえ とも ひろ
鋼管企画部 **井上智弘**

まえがき

腐食成分を含む石油や天然ガスの輸送用鋼管として特殊鋼は広く使われており、地下資源開発の進展にともない、その需要は増大することが期待されている。

本稿では石油および天然ガス輸送用海底パイプラインへの特殊鋼鋼管の適用環境について述べるとともに、トピックスとして海底パイプラインの敷設コスト低減のため、近年増えているリール敷設法への対応についても紹介する。

◇ 海底パイプライン用特殊鋼鋼管の適用環境

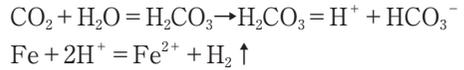
地中から抽出されたままの石油や天然ガスにはCO₂やH₂S、海水(Cl⁻)などの腐食成分が含まれる。CO₂だけが主な腐食成分である場合、一般には炭素鋼パイプラインの流体に腐食防止剤(インヒビター)を添加する手法が用いられる。しかし、たとえば無人の海上プラットフォーム、海底や遠隔地のプロダクションライン、あるいは環境汚染へのリスクにより、常に監視を必要とするインヒビターでの運用が、困難あるいは割高である場合、パイプラインに特殊鋼の耐食材料が採用される場合がある¹⁾。

腐食条件がよりシビアな環境では、腐食成分の含有量や塩基度、温度に応じてステンレス鋼かNi合金鋼の鋼管が選択される。実際のパイプラインで複合的な腐食条件にさらされる場合は、その材料選択にあたり、実環境を模した腐食試験での評価が求められる場合がある。

以下はDNV-OS-F101海底パイプライン規格²⁾にもとづく、代表的な腐食成分に対する材料選定である。

1. CO₂含有

炭素鋼のCO₂腐食は、パイプ内の水分にCO₂が溶存し、生成する炭酸物質とFeのイオン化反応が進行することによる。



炭素鋼のCO₂腐食速度はCr添加により減少し、一般にCrが12%以上で効果が最大化することがわかっている(図1)³⁾。13%程度のCrを含有するマルテンサイト系ステンレス鋼は、CO₂腐食に対して十分な耐性を持つと考えられており、ねじ接合する油井管用途に使用されてきたが、溶接性(溶接割れ)の問題からパイプライン用には用いられていなかった。この低い溶接性は、溶接金属や溶接部熱影響部(HAZ)に溶解した水素、ならびにHAZのマルテンサイト変態に伴う、硬化や残留応力の発生に起因する。パイプライン用の13%Crマルテンサイト系ステンレス鋼では、溶接割れの防止策としてCを0.015%以下に低減して、マルテンサイト変態時の硬化を抑制している。ただしパイプ同士の円周溶接部でCrの欠乏域が発生し、粒

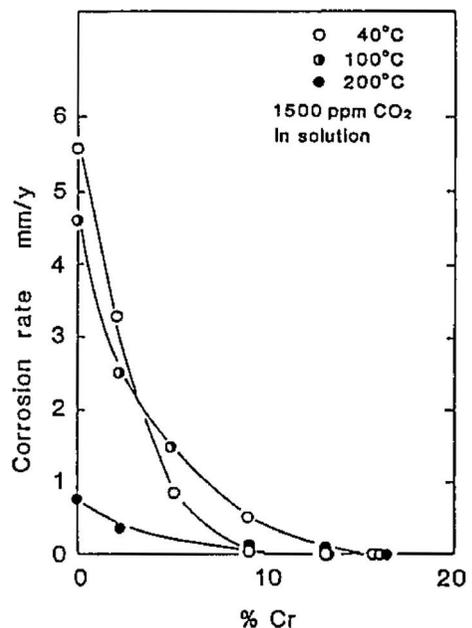


図 1 40、100、200℃における鋼の炭酸ガス腐食に与えるCrの影響

界応力腐食割れ (IGSCC: Inter Granular Stress Corrosion Cracking) が発生することが判っているため、円周溶接後に熱処理 (PWHT) を実施して欠乏域へのCr拡散を促す必要がある^{4), 5)}。

22%Crおよび25%Cr 2相ステンレスおよびオーステナイト系316Lは、同様にCO₂腐食に対して十分な耐性を持ち、しかもパイプ溶接でのPWHTは不要である。Ni合金鋼も同時に多量のCrを含むため、CO₂環境では腐食を生じないとされている。

2. H₂S含有

微量H₂Sが主体の環境では、腐食そのものはあまり問題とならず、H₂Sによる硫化物応力腐食割れ (SSCC: Sulfide Stress Corrosion Cracking) が問題となる。パイプラインにおけるSSCC対策は主に硬化組織の抑止であり、ISO 15156規格⁶⁾において低合金鋼のマイクロ組織硬さHv248がSSCC発生抑止の上限值と定められている。

しかしCO₂とH₂Sが共存する環境では、腐食と割れを同時に解決する必要があるため、ステンレス耐食材料が選択される。パイプライン用ステンレス鋼やNi合金鋼の耐SSCC特性は、各鋼管メーカーよりその特性値が独自に提供されている。13%Crマルテンサイト系ステンレス鋼それ自体は耐SSCC特性を持たないが、Moを2.0%ないし2.5%添加することで、SSCCの割れの起点となる孔食を抑止し、再不動態化能を向上させて耐SSCC特性を改善している^{4), 5)}。

3. 海水 (Cl⁻) 含有

SCC (Stress Corrosion Cracking) 応力腐食割れとは、応力 (ストレス) が作用する条件下で、材質・環境の特定の組み合わせで発生する割れの総称で、ステンレス鋼においてはCl⁻イオンの存在下でSCCへの感受性が高まることが知られている。海底パイプラインでは鋼管の外面に防食層をコーティングし、加えて鋼管への陰極防食処理 (CP: Cathodic Protection) も実施してFeの腐食反応を抑止するが、流体そのものにCl⁻が含まれるような場合はそれでも特殊鋼の選定が必要となる場合がある。

高Ni化はSCCの抑止に効果が認められ、Ni合金 Alloy625は海水に対して腐食の心配はないとされる。25%Cr 2相ステンレスも海水への耐性をもつがマイクロ組織に厳格な管理が必要である。22%

Cr 2相ステンレス、オーステナイト系316、Ni合金 Alloy825は、未処理の海水には耐性をもたないが脱酸素処理されれば適用可能と考えられている。

◇ 日本におけるパイプライン用特殊鋼鋼管の製造

1. JFEスチール⁴⁾

DNV-OS-F101に規定されるマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管を製造する。強度はAPI規格のX80級。Cに加えてNも0.01%程度にまで低減した成分系を採用し、円周溶接時の予熱フリーを実現している。

2. 新日鐵住金⁵⁾

13Crマルテンサイト系ステンレスと22%Cr/25%Cr 2相ステンレスの継目無鋼管を製造する。またPWHTフリーで既存の2相系より安価な、新型2相ステンレス鋼も開発された。

3. (株)日本製鋼所⁷⁾

オーステナイト系ステンレスの316L、Ni合金系のAlloy825、Alloy625を合わせ材とするクラッド鋼管を製造する。クラッド鋼管とは炭素鋼を母材、ステンレスや合金鋼を合わせ材とするクラッド鋼板をプレスベンディングによって円形とし、突合せ面を溶接してパイプとする製管法である。パイプの内面側に耐食材を配し、外面側の炭素鋼でパイプラインとしての強度をもたせる。

◇ 海底パイプライン用リール敷設法への対応

海底へパイプラインを敷設する場合、一般には長さ40ft (12.2m) 前後のパイプを敷設船 (Laybarge) に運び、洋上でパイプを溶接してつなぎながら海底に沈めて行く方法がとられる。これに対しリール敷設法 (Reel-lay installation) では、陸上の基地 (Spool base) でパイプを溶接して、接岸しているリール敷設専用の船 (写真1、Reel barge) の大型のリールにパイプを巻き取っておき、洋上の敷設地点に到着したらリールを巻き戻してパイプを沈めてゆく。洋上での溶接作業と品質検査を省略できるので、1回のリールで敷設できる量ならば従来法よりも敷設コストは安くなると言われており、特に北海を中心にその適用が増えている。対象は外径16インチ (406.4mm) 以下の小径パイプ中心であるが、至近では外径20インチ

(508mm) のパイプでも巻き取り能力のある船が建造されている。本稿で紹介するソリッドのステンレス継目無鋼管や、クラッド鋼管をはじめ、炭素鋼の電縫管でも適用実績がある。JFEスチールでは炭素鋼の電縫鋼管を外管、マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管を内管にしたPipe-in-pipe二重管が、2015年にリール敷設された。

リール敷設法では、①リール巻き取り時②巻き戻し時③アライナー通過時④ストレートナー通過時に、パイプ長手方向に塑性変形相当のくりかえし応力（引張&圧縮）×2）がかかる。リール巻き付け時でパイプ外周側に引張応力、内周側に圧縮応力が作用するので、①から④の過程の曲率-モーメント特性図を書くと、外周と内周で位相が反対となる（図2）²⁾。

リール敷設法はパイプの塑性変形を前提とした施工方法であり、材質に厳しいパイプライン用途

としては他に例をみない。パイプの出荷検査では最初のロットの小型試験片に①から④に相当する圧縮・引張の繰り返し応力を付与し、しかる後に強度や靱性の仕様に合格することが求められる。このため塑性加工による特性劣化分を見込んだ材質設計が必要となる。また敷設中の曲げ応力でパイプが局部座屈することを防止するため、パイプ間の強度や真円度・管厚のばらつきにも厳格な管理が要求される。座屈防止のための設計基準はDNV-OS-F101規格²⁾にやや保守的なガイドラインがあるが、その適用拡大のためリール敷設会社において限界条件の研究がいまも盛んに行われている。JFEスチールでは、リール敷設と同じ条件で鋼管を曲げ・戻す大型試験装置を導入し、電縫鋼管や継目無鋼管の性能評価を行っている。

参考文献

- 1) Palmer King: Subsea Pipeline Engineering 2nd edition (2007)、Pennwell
- 2) Offshore Standard DNV-OS-F101 “Submarine Pipeline Systems” October 2013
- 3) 正村：石油環境における炭酸ガス腐食とその対策 石油公団新技術講座（石油開発における腐食とその対策）（平成7年10月）
- 4) 宮田ら：ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管 JFE技報No. 9 (2005) p13
- 5) 相良ら：ラインパイプ用ステンレス鋼の材料と適用技術の開発 新日鉄住金技報第397 (2013) p 58
- 6) ANSI/NACE MR0175/ISO 15156 “Materials for use in H2S-containing environments in oil and gas production”
- 7) 西本ら：天然ガス輸送用クラッド鋼管の最近の技術開発と製造実績 日本製鋼所技報 No.65 (2014) p 9



写真1 リールバージでのパイプ巻き取り

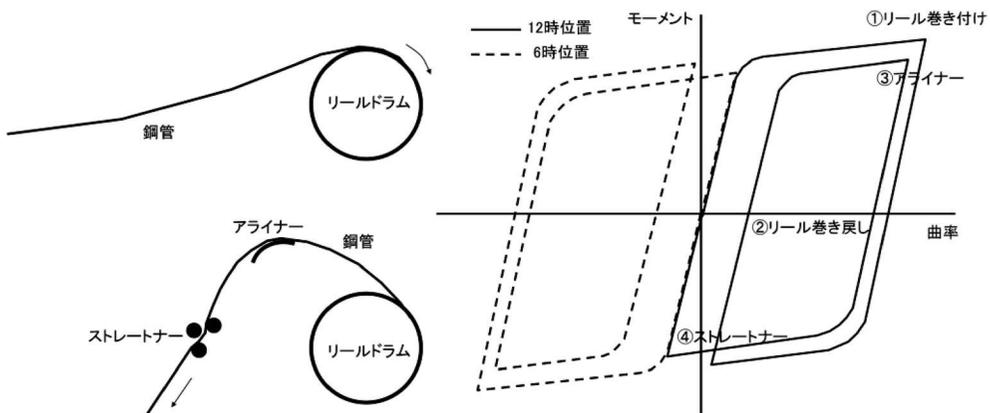


図2 リール敷設のパイプ歪み履歴

(4) 地球環境保護及び船舶の安全航行に 貢献する原油タンカー用耐食鋼 及び船体用高延性鋼

新日鐵住金(株) 技術開発本部 かね こ みち お
鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 金 子 道 郎
新日鐵住金(株) 技術開発本部 いち かわ かず とし
鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 市 川 和 利

まえがき

原油及び石炭は、世界のエネルギー需要を支える重要な化石エネルギーであり、その輸送手段には、船舶が重要な役割を果たしている。このように海上を大量輸送される原油であるが、1960年代以降原油タンカーからの原油流出による海洋汚染が大きな問題となり、IMO (International Maritime Organization: 国際海事機関) は、1989年のエクソン・バルディス号の事故を契機に、船舶の事故などによる海洋汚染を防止することを目的としたMARPOL条約を1992年に採択し、船殻を二重化するダブルハル化を義務づけた。更に、IMOで、原油タンカー内の原油槽の上甲板裏と底板の防食措置として、2010年に塗装もしくはその代替手段として耐食鋼を用いるSOLAS (The International Convention for the Safety of Life at Sea) 条約が2013年に発効した。この原油タンカー用耐食鋼に関しては、1990年代に原油槽の腐食が問題となった際に、いち早く、我が国が産学連携し、第242研究部会 (原油タンカーの新形コロージョン挙動の研究)¹⁾ を立ち上げ、原油槽の腐食メカニズムの解明に大きな役割を果たしたことがその基礎となっている。各鉄鋼メーカー²⁾⁻⁴⁾ はSR242の知見を基に原油タンカー用耐食鋼を開発し、更には、原油タンカー用耐食鋼を原油槽の防食措置として、日本からIMOに提案し、EU等から、提案された防食塗装と共に、原油槽の防食措置として、低合金耐食鋼を用いた世界初の国際条約発効に結びつけた日本発のオリジナル技術である。

重大海難事故の中で船舶の衝突・座礁は最も頻度が高い事故である⁵⁾。上述のダブルハル化により、油漏洩の危険性は低減したものの、一部にはいまだ不十分との指摘もある。原油タンカーに限らず、例えば、最近でも2011年には、韓国、釜山沖で、石炭を運搬するばら積み運搬船「パシフィックキャリアー」がコンテナ船から衝突され、破口・浸水し、その後の台風により二つに分断した事故が発生している。船舶で万が一、衝突・座礁事故が発生した場合の被害軽減策が現在でも世界的関心事項である。船体構造に非金属材料を導入したり^{6)、7)}、構造の変更⁸⁾を行うことで、衝突時の損傷を低減する技術が提案されているが、必要な特性を向上させた鋼材を使用することにより、船体重量並びに溶接などの施工や検査の負荷を増加させずに、衝突や座礁による船舶の損傷を軽減する技術は経済合理性の観点からも優れている。

そこで、例えば、新日鐵住金株式会社は、従来鋼に比べて格段に延性に優れた鋼板「NSafe[®]-Hull」を開発し⁹⁾、これを適正に船体に配置することにより、衝突エネルギーを吸収し、衝突安全性を高めることに成功している。今治造船株式会社は新日鐵住金株式会社、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所や一般財団法人日本海事協会との産学連携による衝突シミュレーションで本鋼の効果を検証し、既に多くのばら積み運搬船に適用した¹⁰⁾。

本章では、この新たに開発・実用化された原油タンカー用耐食鋼について解説すると共に、近年、開発・実用化された船舶の衝突安全性を飛躍的に

向上させた船体用高延性鋼についても解説する。

◇ 原油タンカー用耐食鋼

原油の海上輸送は、全世界で約20億トン近くに達しており積載量20万トン級VLCC（Very Large Crude oil Carrier：超大型原油タンカー）などを用いて各地に輸送されている。原油タンカーには、**図1**²⁾に示す原油槽が複数あり、防食が義務づけられた部位は（矢印表示）、上甲板裏と底板である。これらの部位は、塗装あるいは耐食鋼を用いた防食措置が強制化されており、使用される塗料及び耐食鋼はIMOで規定された性能認証試験に適合する必要がある。耐食鋼の性能認証試験は、底板と上甲板裏の腐食メカニズム解明に基づいて鉄鋼メーカーが中心となってIMOに提案し採択されたものである。

底板は、積載する原油によって形成されるオイルコートが鋼材を腐食から守っているが、部分的にオイルコートの防食性能の弱い箇所が存在すること及び貨物槽底には、油井由来のブライン（塩水）が滞留するため、防食性能の弱い箇所ですり状の腐食（孔食）が発生する¹⁾。ピットの深さは最大で10mmにも及ぶため、ピットが板厚を貫通した場合は、原油がバラスト槽に流出する危険性があり、極めて問題となる腐食である。

一方、上甲板裏側は、昼夜の温度差により結露と乾燥が繰り返される環境であり、結露水はCO₂やSO₂の存在によりpHが2～4程度まで低下する。上甲板裏には、オイルコートが形成されないため、腐食形態は、全面腐食である¹⁾。また、酸素と硫化水素が存在する特殊な腐食環境のため、鉄錆が触媒となって上甲板裏で硫黄が生成するた

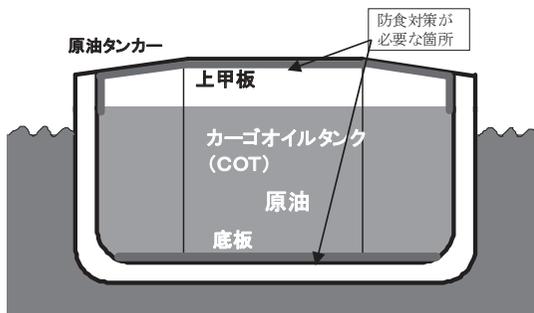


図1 原油槽の模式図と防食措置が義務づけられた部位¹⁾

め、鉄錆と硫黄の混合物が上甲板裏から落下する。SR242研究会以前は、落物全体が腐食生成物と考えられていたので極めて速い腐食速度と思われていたが、平均の腐食速度は概ね0.1mm/年と底板と比較すると腐食速度は遅い。しかしながら、長期の使用で鋼材が損耗すると船体強度を損なう懸念を生じることとなる。

上記の腐食対策として、各鉄鋼メーカーによって原油タンカー用の新たな低合金耐食鋼が開発・実用化されている^{2)~4)、11)}。これらの低合金耐食鋼は、底板及び上甲板裏の腐食メカニズムに基づき、そのような環境下で鋼材の耐食性を有効に向上する合金元素を少量、適切に組み合わせることで添加したものであるため、それらの機械的性質、溶接性等の特性は、従来鋼と同様である。したがって、これらの低合金耐食鋼を用いて造船所が原油タンカーを建造する際も従来鋼と同様な工程で建造が可能である。なお、溶接材料については、IACS（International Association of Classification Societies：国際船級協会連合）のUI SC258¹²⁾を満足する溶接材料を使用する必要がある。

紙面の都合で全ての原油タンカー用耐食鋼を紹介することは困難なため、一例として、**図2**に海運会社と鉄鋼メーカーが共同で開発した耐食鋼を原油槽の底板の全面に適用した場合に、底板のピットの発生頻度が無塗装の従来鋼と比較して、どの程度低減するかを調べた結果を示す。耐食鋼は6隻のVLCCの底板に全面適用されているが、ピット頻度は、従来鋼と比較して大幅に低減しており、耐食鋼が孔食対策の有効な防食措置である

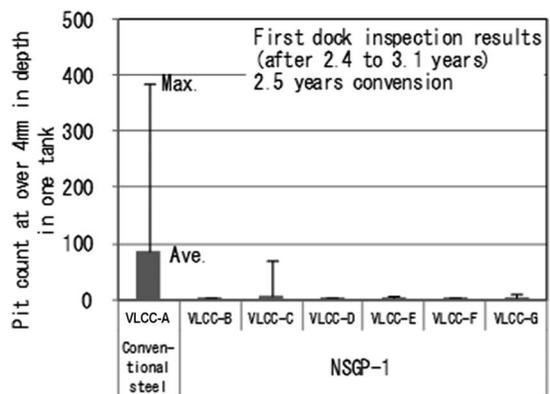


図2 無塗装の従来鋼と耐食鋼を底板に適用したVLCCのピット頻度の比較³⁾

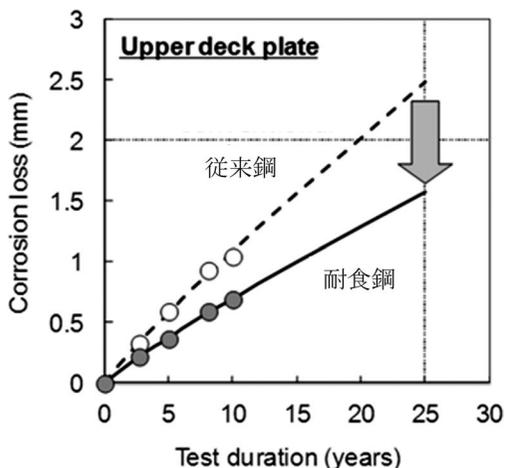


図 3 原油タンカーの原油槽の上甲板裏に適用された無塗装の従来鋼と耐食鋼の腐食損耗量の測定結果³⁾

ことが良く理解できる。

図 3 は原油槽の上甲板裏に適用された耐食鋼と無塗装の従来鋼と腐食損耗量の竣工後10年間の比較結果であるが、耐食鋼は従来鋼と比較して、大幅に腐食損耗量が低減し、高い耐食性を発現していることが分かる。

原油タンカー用耐食鋼は、船舶の腐食損耗による事故を防止すると共に、塗装を全く用いることないことから、VOC (Volatile Organic Compounds : 揮発性有機化合物) の発生が全くなく地球環境保護にも大きく貢献する防食技術である。

◇ 船体用高延性鋼

たとえば新日鐵住金株式会社が開発した船体用高延性鋼NSafe®-Hullは従来の船体建造における施工性（溶接性や加工性など）を維持しながら、日本海事協会規則要求値の約1.5倍以上の伸びを有している（図 4）⁹⁾。このような性能改善は、化学成分の適正化と最先端のTMCP (Thermo Mechanical Control Process) 技術の活用により達成されている。

海上・港湾・航空技術研究所を中心にして行った非線形有限要素法解析による最先端の衝突シミュレーション^{9), 13)~15)}の結果、例えば、石炭の運搬に使用されるばら積み運搬船に適用した場合、船体中央部に側面から衝突された際の破口発生までの衝撃吸収エネルギーは、従来鋼に比べ約3倍

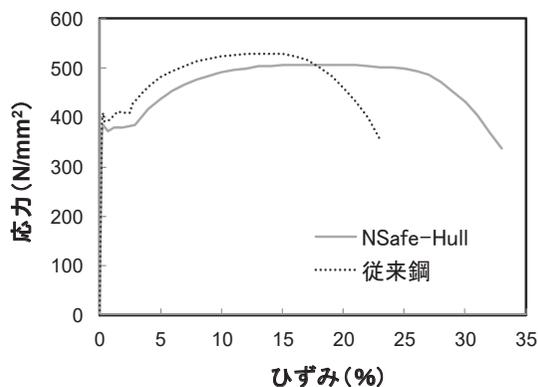


図 4 NSafe®-Hullと従来鋼の応力-ひずみ曲線⁹⁾

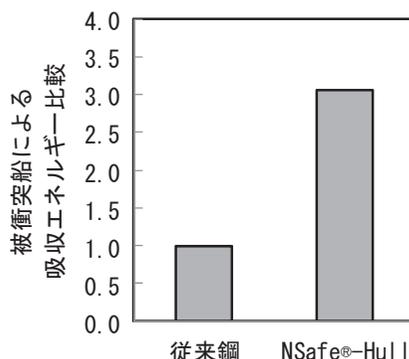


図 5 衝突時の被衝突による吸収エネルギーの比較例（相対比較）⁹⁾

となっている（図 5）⁹⁾。今治造船株式会社は実際にこのようなシミュレーション結果などを基にばら積み運搬船にNSafe®-Hull高延性鋼を採用する範囲を決定し、初適用船は2014年8月に進水した。側面から衝突を受けた際でも、破口の発生を抑制することで、貨物倉内への浸水を防止し、貨物の保護や沈没による乗員の生命への危険性の低減を可能にした。また、燃料油タンク部への適用により、衝突時の油流出防止にも特に寄与している。

このような高延性鋼の適用は同様にVLCCにも検討が進んでいる^{13)~15)}。図 6 に船体側面から様々な衝突角度でVLCCの衝突を受けた場合の二重船殻の外板の破口限界曲線¹⁴⁾の例を示す。このように、従来鋼を使用した場合には、衝突速度3ノットで深刻な油流出に繋がる破口が推定されるが、NSafe®-Hullを船側構造に部分適用あるいは全適用した場合には、衝突角度90°で海上交通安全法施行規則の東京湾の速力制限である12ノットの衝突を

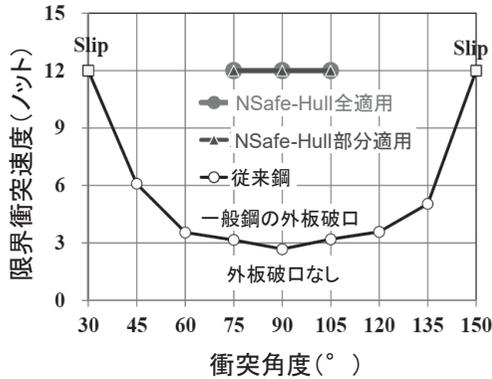


図 6 NSafe[®]-Hullと従来鋼の破口限界曲線の例 (参考文献¹⁴⁾中の図を編集)

受けたような厳しい条件でも破口が生じない計算結果が得られている。

新日鐵住金株式会社では既にこの高延性鋼に関し、日本海事協会の材料認証「Particulars of Approval」(例えば、従来の規則要求の1.5倍の伸びを有する「KA32-HD50」など)を得た。また、本鋼を適用した上述のばら積み運搬船は衝突や座礁に対するエネルギー吸収に効果のある鋼を適用した船舶に付記される日本海事協会の「Notation」を取得した。

むすび

現在、原油タンカー用耐食鋼は、20隻以上の原油タンカーに適用されているが、2013年の条約発効を受けて、今後、益々、その適用が進んでいくであろう。同様に船体用高延性鋼もタンカーを始め、LNG船などへの適用も期待される。このように高機能鋼の適用により、地球環境保護及び船舶の安全航行に大きく寄与することが期待される。

以上のように、原油タンカーの原油槽用耐食鋼や衝突安全性に優れた船体用高延性鋼板は、世界で初めて日本の鉄鋼メーカーによって開発・実用化されたものである、また、それには、産学連携による腐食や衝突による破口発生メカニズム解明が基礎となっていた点及び、更には日本から耐食鋼を用いた防食措置をIMO提案・採択・条約発効や船級認証に結びつけた活動が不可欠であった。すなわち、船体用高機能鋼の開発と実用化が進捗している背景には、日本は最先端の研究水準を有する公的研究・教育機関があることに加えて、世界有数の海運会社、造船会社、船級協会と鉄鋼会

社のいわゆる海事クラスターが集結した類まれな特長を有していることによる。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会 第242研究部会：「原油タンカーの新型コロージョン挙動の研究—研究概要総括書—」(2002)
- 2) 伊藤実、鹿島和幸、本田貴之、原宗理、稲見彰則、西村誠二：新日鐵住金技報、400 (2014)、p. 86-91
- 3) JFE技報、33 (2014)、67
- 4) 阪下真司ほか：溶接学会誌、4 (2015)、84
- 5) 海上保安庁：「海難の現況と対策について」(2012)
- 6) G. Nataro, K. Brinchmann and E. Steen: Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures, ed. by J. Amdahl, S. Ehlers and B. J. Leira, (CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2013)、p. 85-92
- 7) M. Schöttelndreyer, I. Tautz, W. Fricke and E. Lehmann: Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures, ed. by J. Amdahl, S. Ehlers and B. J. Leira, (CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2013)、p. 101-108
- 8) S. Rudan, B. Aščić and I. Višić: Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures, ed. by J. Amdahl, S. Ehlers and B. J. Leira, (CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2013)、p. 331-337
- 9) 大川鉄平、市川和利、柳田和寿、白幡浩幸、稲見彰則、石田浩司、山田安平、稲井智明：新日鐵住金技報、400 (2014)、p. 31-37
- 10) 市川和利、大川鉄平、白幡浩幸、柳田和寿、中島清孝、小田直樹、山田安平、戸澤秀、紙田健二、船津裕二：まてりあ、56 (2017)、p. 30-32
- 11) 古川直宏、鹿島和幸、伊藤実、釣之郎、坂下真司：ふえらむ、20 (2015)、p. 6-11.
- 12) IACS UI SC 258, For Application of Regulation 3-11, Part A-1, Chapter II-1 of the SOLAS Convention (Corrosion Protection of Cargo Oil Tanks of Crude Oil Tankers), adopted by Resolution MSC.289 (87) The Performance Standard for Alternative Means of Corrosion Protection for Cargo Oil Tanks of Crude Oil Tankers, (2013)
- 13) Y. Yamada, K. Ichikawa, K. Kamita, S. Tozawa, A. Inami, H. Suga, H. Fujita, Y. Senga, T. Arima, S. Murakoshi: Proceedings of the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (St. John's, Newfoundland, Canada, 2015, OMAE-2015-41074)
- 14) Y. Yamada, S. Tozawa, T. Arima, K. Ichikawa, N. Oda, K. Kamita and H. Suga: 7th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures, ed. by S-R. Cho, H. K. Shin, J. Choung and R-T Jung, (The Society of Naval Architectures of Korea, 2016)、pp. 215-22
- 15) Y. Yamada, S. Tozawa, T. Arima, K. Ichikawa, K. Kamita, H. Suga: Proceedings of the 13th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (Copenhagen, Denmark, 2016)

(5) 極低温での靱性に優れた LNGタンク用ニッケル鋼板

(株)神戸製鋼所 鉄鋼事業部門 厚板開発部 厚板開発室 小林 克壮

まえがき

天然ガスは、燃焼時に大気汚染の原因となる硫黄酸化物 (SO_x) が排出されない点や、温室効果ガスとなる二酸化炭素 (CO₂) の排出量が化石燃料の中で最も少ないことなどから、クリーンエネルギーの一つとして注目されている。

天然ガスは輸送や貯蔵に際して、マイナス162℃の極低温に冷却・液体化 (LNG化) し、体積を気体の約600分の1にまで低減させるが、その消費量の増加を背景として産地からの受入や貯蔵のためのLNGタンクは大型化している。

LNGタンクの形式は地上式と地下式に大別され、地上式の中でも複数の構造が実用化されており、いずれも安全性への高い要求に対して構造設計、材料選定、および建設施工・検査にてさまざまな工夫がなされている^{1)~3)}。

LNGタンクへ適用される材料は、鉄鋼やステンレス鋼、およびアルミニウムなどがあるが、本稿では地上式LNGタンクにおいて、図1に示すようなLNGに直接触れる内槽材に適用されている9%ニッケル (Ni) 鋼を中心に解説する。

◇ LNGタンク内槽用鋼板に求められる破壊靱性と評価方法

地上式LNGタンクの内槽材へは構造部材として

内槽側板・立向溶接継手部 内槽側板 (9%Ni鋼)

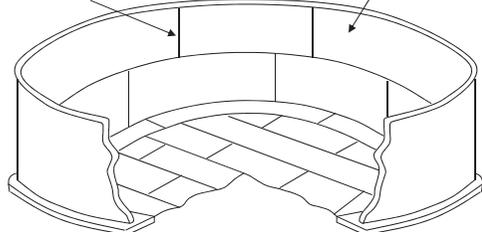


図 1 LNGタンク内槽の概略

の強度とともに、マイナス162℃という極低温における高い破壊靱性が求められる。

具体的には、疲労き裂などの微視的な欠陥が存在しても脆性き裂の発生を抑制する特性と、万一脆性き裂が発生した場合にでもき裂の伝播を停止させ、大規模な脆性破壊を阻止する特性が求められる。

そのため鋼板は、母材と溶接継手の引張試験やシャルピー衝撃試験などの基本性能試験に加えて、脆性き裂の発生抑制力や伝播停止力を評価するために、それぞれCTOD (Crack Tip Opening Displacement: き裂先端開口変位) 試験や、混成ESSO試験などの破壊靱性試験により特性を評価される^{4), 5)}。

◇ 金属組織とその制御

9%Ni鋼の金属組織は、図2に示すように、複数のブロックから構成されているマルテンサイトを主体とし、そのブロックの下部組織であるラスの境界に極低温でも相変態しない安定な残留オーステナイトが分散している。

一般的な炭素鋼の破壊の単位は結晶粒やブロックであるのに対して、9%Ni鋼ではラス境界に分散している残留オーステナイトがブロックを分断するため、破壊の単位は炭素鋼より小さくなり、極低温でも高い破壊靱性を発現すると考えられて

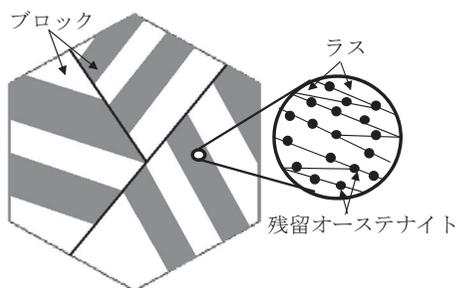


図 2 9%Ni鋼の組織概略

いる⁶⁾。

このため化学成分設計の基本的な考え方は、効果的な残留オーステナイトによるブロック分断作用を得るために、金属組織上で不純物となるP（りん）、S（硫黄）を極力低減させた上で、ニッケルのほか合金成分量の最適化を図っている。

また製造プロセスは、焼入れ（Q: Quenching）- 焼戻し（T: Tempering）熱処理が適用されていたが、Q-T熱処理の間に二相域焼入れ（L: Lamellarizing）を取り入れた3段階（Q-L-T）の熱処理を施すことで残留オーステナイトをより多く得ることが可能となっている⁵⁾。

一方、高価なニッケルの省資源化によるコストダウンや、価格の変動や供給制約のリスクを低減するために、低ニッケル化させた鋼材開発が進められてきた¹⁾。

低ニッケル化による残留オーステナイト量の減少を補うために、その生成サイトとなるラス境界の細分化を図るための組織制御法として、TMCP（Thermo Mechanical Control Process）の適用が検討された。

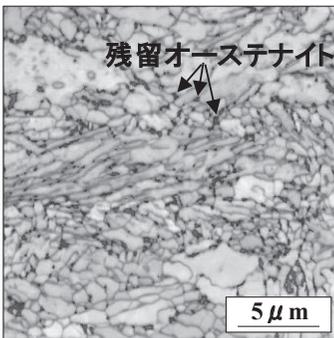


写真1 7%Ni鋼の組織と残留オーステナイト

TMCPは、熱間圧延工程におけるオーステナイトの再結晶域と未再結晶域での粒径の制御と、加速冷却工程における低温変態組織への生成促進を組み合わせたプロセス技術であり、写真1に示すようなラス境界に微細に分散した残留オーステナイトを得ることが可能となる。

この技術により2%ものニッケル含有量を低減しても9%Ni鋼と同様に極低温でも高い破壊靱性を発現するTMCP型7%Ni鋼が開発・実用化されている⁷⁾⁻⁹⁾。

◇ 鋼材と溶接継手の特性

1. 基本特性

表1にQ-T熱処理により製造した板厚36mmの9%Ni鋼と、TMCPの適用後にL-T熱処理を施した板厚40mmの7%Ni鋼の母材基本特性を示す。

図3にはそれぞれの鋼材について、LNGタンク内槽側板の突合せ立向溶接を模擬したSMAW（Shielded Metal Arc Welding）継手の基本特性の一例として、引張試験とマイナス196℃でのシャルピー衝撃試験の結果をJIS G3127での規定値とともに示す。

いずれの特性も規定値を満足しているとともに、LNG温度より過酷なマイナス196℃でも安定した靱性を有している⁷⁾。

2. 破壊靱性

脆性き裂の発生抑制力と伝播停止力を評価する試験の一つであるCTOD試験と混成ESSO試験の概説、および母材と溶接継手の試験結果を以下に示す。

CTOD試験では疲労き裂先端での開口変位量（限界CTOD値）を測定し、脆性き裂が発生するまでの変位量が大きいほど発生に対する抑制力は高

表 1 母材の基本特性

供試材	板厚 (mm)	母材特性				
		引張試験			シャルピー衝撃試験	
		YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	試験温度 (℃)	vE _{-196℃} .ave (J)
9%Ni鋼	36	726	743	33	-196	243
TMCP型 7%Ni鋼	40	655	738	31	-196	256
JIS G3127		≥590	690~830	≥21	-196	≥41

供試材	溶接条件	継手引張試験	
		TS (MPa)	破断位置
9%Ni鋼	SMAW/立向 最大入熱 4.4kJ/mm	748	溶接金属
TMCP型 7%Ni鋼		713	溶接金属
JIS G3127	-	≧ 690	-

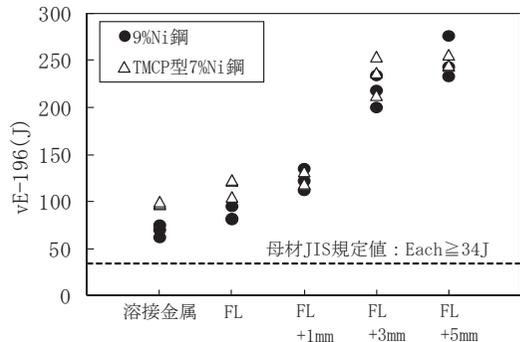


図 3 溶接継手の基本特性

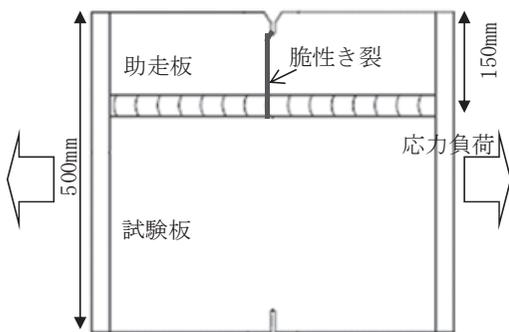


図 4 混成ESSO試験体の概略

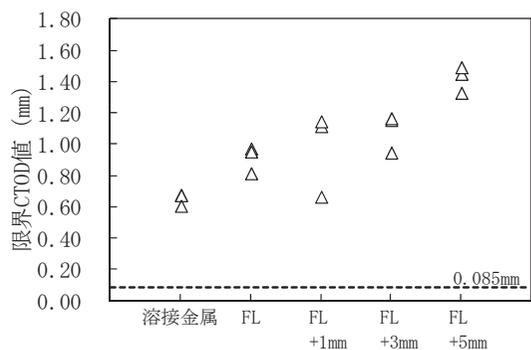


図 5 溶接継手のCTOD試験結果

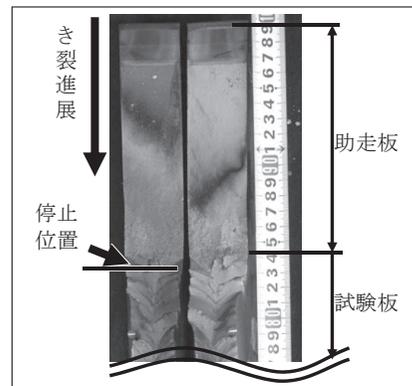
表 2 母材のCTOD試験結果

供試材	板厚 (mm)	母材CTOD試験	
		試験温度 (°C)	限界CTOD値 (mm)
9%Ni鋼	36	-165	0.65, 0.70, 0.68
TMCP型 7%Ni鋼	40	-165	1.18, 1.05, 1.18

いと評価できる。

混成ESSO試験では実際のLNGタンクにおける内槽側板への負荷応力と脆性き裂の内槽側板への進展を模擬する。図4に示すように熱処理により意図的に脆化させた鋼板(助走板)に脆性き裂を発生、進展させ試験板(母材)へ突入させる。突入後、直ちに停止すれば伝播停止力は高いと評価できる。

マイナス165°Cで実施した母材とSMAW継手のCTOD試験結果を、それぞれ表2、図5に示す。短周期地震時の必要限界CTOD値として、例えば



供試材	試験温度 (°C)	負荷応力 (MPa)	判定
TMCP型 7%Ni鋼	-196	392	No-Go

図 6 き裂の停止状況と判定結果

14万³m³LNGタンククラスの0.085mm¹⁰⁾や、20万³m³クラスのおよそ0.1mm以上¹¹⁾が示されているが、母材、溶接継手ともにいずれの必要値よりも大きく、脆性き裂発生に対する高い靱性を有し

ている。

図6にTMCP型7%Ni鋼を用い、LNG温度よりも過酷な条件であるマイナス196℃にて392MPaの応力を負荷した混成ESSO試験のき裂進展状況と判定を示す。助走板より進展した脆性き裂は試験板に突入後、直ちに停止していることから、脆性き裂進展に対する高い靱性を有している⁷⁾。

むすび

今後、安全性を担保した上でLNGタンクの大型化が進むと想定され、鉄鋼メーカーは今まで以上に高まる鋼材への要求に応えるため、材料とプロセスの両面から技術開発を進めていくであろう。

本稿ではLNGタンク用9%Ni鋼を中心に解説してきたが、溶接材料も同様の極低温での高い靱性が求められる。また、建設コストの縮減といったニーズも踏まえて溶接材料の開発や高効率な溶接施工法の検討も進められている^{1)、12)}。加えて、タ

ンク建設の新たな工法への技術開発も進められており、これらの技術が国内外のエネルギー供給の安定化やインフラ整備・発展に貢献することが期待されている。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会. ふえらむ: 2016, Vol. 21, No. 9, p 2, p 6
- 2) 中西保正ほか: 溶接技術. 2014-12, p 99
- 3) 新見健一郎: 溶接技術. 2016-10, p 80
- 4) 高橋康哲: 特殊鋼. 2016-9, 65巻, 5号, p 42
- 5) 日本鉄鋼協会. 鉄鋼便覧: 2014, 第5版, 第3巻 p 195, p 314
- 6) 牧正志: 日本金属学会会報. 1988, 第27巻, 第8号, p 623
- 7) 仮屋崎誠: 神戸製鋼技報: 2014-4, Vol. 64, No. 1, p 54
- 8) 宮脇ちよ美ほか: 日本高圧力技術協会. 秋季講演会講演概要集. 2013, p 63
- 9) 加賀谷崇之ほか: 新日鉄住金技報, 2014, 第400号, p 38
- 10) 町田進ほか: 圧力技術. 1991, Vol. 29, No. 6, p 341
- 11) 西岡信之ほか: 三菱重工技報. 1996-7, Vol. 33, No. 4, p 238
- 12) 福田和博: 溶接技術, 2016. 2, p 45



2. 再生可能エネルギーおよび送電

(1) 風力発電装置に用いられる

軸受および軸受用鋼

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター まる やま たか し
軸受・構造用鋼グループ 丸 山 貴 史

まえがき

CO₂排出による地球温暖化や環境汚染物質による大気汚染等の環境問題が深刻化している現在において、風力発電は再生可能なクリーンエネルギーとして注目されている。古くは欧米を中心として普及されてきたが、近年では中国を中心とした大幅な拡大を見せ、世界的規模のマーケットとなっている。図1に風力発電装置の設置実績と予測¹⁾を示す。近年では発電容量を大きくするために風力発電装置が大型化する傾向にあり、特に洋上での風力発電装置の導入が進んでいる。また、風力発電装置の各機器とそれに用いられる鉄鋼材料に

ついて表1²⁾にまとめる。動力伝達や制御系の歯車や軸受を中心に多くの特殊鋼が使用されている。本稿では特に風力発電装置に用いられる軸受及び

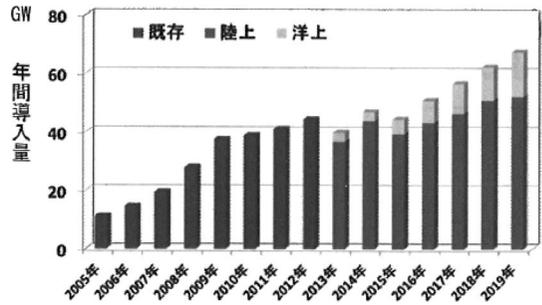


図 1 風力発電装置の設置実績¹⁾

表 1 鉄鋼材料が用いられる風力発電装置の機器一覧²⁾

機能	機器名	使用材料
ローター	ローター軸	特殊鋼 (鍛造品)
	ハブ用ボルト	特殊鋼
動力伝達	主軸シャフト	特殊鋼
	主軸用軸受	特殊鋼 (鍛造品)
	増速機用軸受	特殊鋼 (軸受鋼、大形用途SUJ3及びSUJ5)
	増速機用歯車	特殊鋼 (肌焼鋼)
発電	発電機	電磁鋼板
運転・制御	ピッチ制御装置：シャフト	特殊鋼
	ピッチ制御装置：軸受	特殊鋼 (軸受鋼、小型・中型はSUJ2)
	ヨー駆動装置：旋廻輪用軸受	特殊鋼 (大形はSCM440、小型は炭素鋼又はMn鋼)
	ヨー駆動装置：軸受	特殊鋼 (軸受鋼)
	ヨー駆動装置：シャフト	特殊鋼
	ヨー駆動装置：歯車	特殊鋼 (肌焼鋼)
支持・構造	ナセル	薄板
	タワー	厚板 (及びコンクリート)
	各種ボルト	特殊鋼

軸受用鋼について取り上げる³⁾。

◇ 風力発電装置の構成と風力発電機用軸受

図2に風力発電装置ナセル部の主要な構成を示す。風によって回転するブレードのトルクがローターを介してナセル内に伝えられ、増速機によって発電効率を高められたのちに発電機にて電気エネルギーに変換される。風力発電装置にはナセル回転用の旋廻輪、ナセル本体内の主軸、増速機内の回転軸及び発電機の軸部等に軸受が使用されており、その総数は風力発電装置1機で100以上に上る。各軸受の役割について以下にまとめる。

1. 旋廻輪用軸受

ナセル旋廻輪用軸受は風力発電装置全体でも最大の外径を待ち、小径のものには炭素鋼やMn鋼、大径のものにはSCM440等の中炭素合金鋼を高周波焼入焼戻しにより表面を硬化して使用されている。

2. 主軸用軸受

主軸用軸受は、ローターを支持して風車の回転トルクをギヤボックスへと伝える主軸を支える軸受であり、風力発電機本体であるナセル内では最大の軸受となる。5MWクラスの大型風力発電装置の場合、主軸用軸受として外径が3,000mmを超えるサイズのものもある。このように近年の風力発電装置の大型化に伴い、特に洋上風力発電装置では一般の産業機械では使用されない程の大形軸受が使用される。

常に風により受ける荷重、回転速度が変化し、更にギヤボックスやブレードの振動によるフレッキングが発生する過酷な環境下においても長時

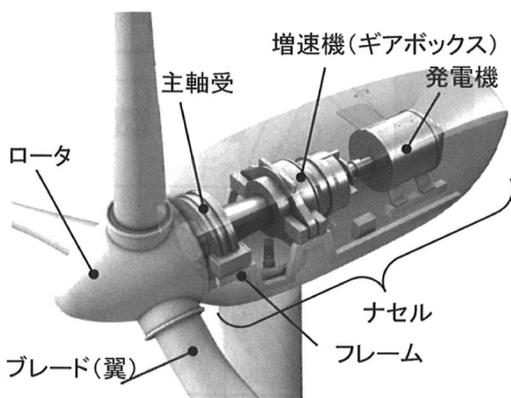


図2 風力発電装置の構造¹⁾

間の使用に耐える高い信頼性が求められる。国内では、焼入性の高いSUJ3やSUJ5等が使用されている。

3. 増速機用軸受

風力発電装置において風により10~30rpm程度の低速で回転しているローターの回転速度を最適な発電効率とするために、1,500~1,800rpm程度まで増速することが増速機の役割である。そのため、大小様々な軸受が非常に多く使用される。増速機のギヤボックスは、一般に図3に示す様に入力主軸、遊星歯車、低速軸、中間軸、高速軸で構成され、徐々に回転速度を増速する機構となっており、幅広い荷重・速度域で使用される。また増速機用軸受は、歯車群と潤滑油が共通化されるため、歯車の摩耗粉等を異物が混入する過酷な使用環境となる。そのため、異物混入への対策として肌焼鋼や軸受鋼に対して浸炭窒化処理を適用する場合もある。

4. 発電機用軸受

発電機用軸受は、増速機と発電機とを連結する高速軸を支える軸受であり、漏洩電流による電食を防止するために一般に絶縁軸受が用いられる。絶縁軸受としては、軸受鋼や肌焼鋼をベースにセラミック等の絶縁体を被覆処理した軸受や転動体が用いられる。近年では、転動体にセラミックボールを用いて絶縁性を高め、更に軸受の温度上昇を抑制することで長寿命化を図る例⁴⁾も見受けられる。

◇ 増速機用軸受における白色組織変化型はく離とその対策

風力発電装置の場合、設置場所が洋上等でアクセスが困難であり、ナセルやローターは高所に存

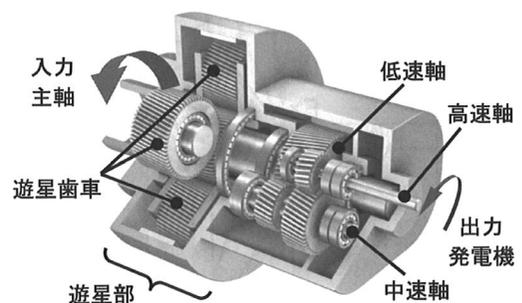


図3 増速機ギヤボックス内の構造¹⁾

在するため、修理・部品の交換には多大な費用が発生する。そこで、軸受には一般の機械部品以上に高い信頼性が必要であり、鋼材に対しても清浄度が高く、偏析の少ない高品質の鋼が求められる。

近年、増速機ギヤボックス内の大形ころ軸受において白色組織変化を伴った破損が報告されている⁵⁾。この白色組織変化を伴う破損は内部起点型はく離の1種であり、鋼中に侵入した水素が影響を及ぼすことで組織変化を伴う早期破損に至ると考えられている^{6)、7)}。そのため、これら白色変化型のはく離への対策として鋼材成分の適正化や特殊熱処理技術の適用が提案されている⁸⁾。

むすび

風力発電装置において、特殊鋼は動力伝達部である増速機軸受や歯車を中心に非常に重要な役割を占めている。装置の大形化による付加荷重の増加や洋上風車の適用拡大による使用環境の過酷化

等、風力発電装置に使用される特殊鋼には益々高い信頼性が求められている。

当社では、これらの要求に応え、優れた品質の鋼材を提供することで今後更に拡大していく風力発電の進展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 井上靖之：特殊鋼、Vol. 63、No. 4、2014、pp. 27-32
- 2) (一社) 特殊鋼倶楽部 事務局：特殊鋼、Vol. 63、No. 4、2014、pp. 2-10
- 3) 小林一博：Sanyo Technical Report、Vol. 13、No. 1、2006、pp. 73-76
- 4) 高山透：JTEKT ENGINEERING JOURNAL、No. 1010、2012、pp. 49-57
- 5) Kenred Stadler、Arno Stubenrauch：Power Transmission Engineering、2014、pp. 34-40
- 6) 平岡和彦：Sanyo Technical Report、Vol. 15、No. 1、2008、pp. 43-52
- 7) 平岡和彦、常陰典正：Sanyo Technical Report、Vol. 16、No. 1、2009、pp. 45-52
- 8) 山口晃：月刊トライボロジー、No. 328、2014、pp. 38-40



(2) 太陽光発電セル製造に使われる特殊鋼

日本冶金工業(株) とつか さとる
ソリューション営業部 戸塚 覚

まえがき

世の中に太陽電池が出始めた大昔なぜ電池と呼ぶのか、ふと疑問に思いました。一次電池は内部に貯めてある化学物質が反応して電気を起こします。2次電池は充電し内部に電気をためられ別名蓄電池とも言って電池という呼び方に納得できるのですが、太陽電池はなぜ電池なのだろう。調べた所、何らかの方法で直流を発生させる機器を電池と呼ぶそうで、電気を貯める池ではないそうです。

写真1に今流行のメガソーラーを示します。川崎市が浮島に設置したものです。

◇ 世界の太陽光発電*

太陽光発電に用いる太陽電池セルの世界全体の生産量は2005年の190万KWから2013年には4,300万KWと20倍以上に急成長しています。

累積の太陽光発電導入量については、2005年の約450万KWに対し2015年末には約22,850万KWと50倍程度になっています(図1)²⁾。

日本は2004年までは世界最大の太陽光発電導入国でしたがドイツの導入量が急速に増え、2005年には2位に、2014年末段階ではドイツ3,820万KW 中国2,830万KW 日本2,340万KW イタリア1,860万



写真1 川崎大規模太陽光発電所¹⁾

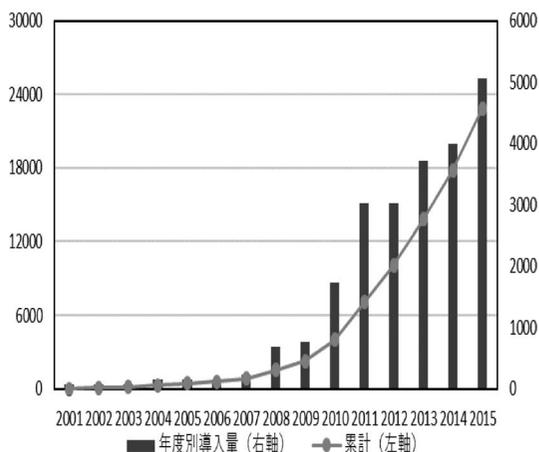


図1 世界の太陽光発電導入量 単位は万KW

KW 米国1,820万KWとなっています。その他の国は600万KW以下です。

* 国際的に太陽電池セルにより直接発電する方法を太陽光発電、集光して熱・蒸気等に変換し発電する方法を太陽熱発電と区別されています²⁾。

◇ 日本の太陽光発電とモジュール生産

図2は日本の太陽光発電年度別導入量と累積導入量です。2009年に住宅用太陽光発電に政府補助が復活し余剰電力のFIT(固定価格買取制度)が制定され前年度の倍程度になり、2012年全発電量にFITが実施され倍々になっています³⁾。

2014年度で太陽光発電の全発電量に占める割合は2.2%、2015年度は3.3%(共にISEP調査)であり全体から見ると少量ですが確実に大幅に増加しています。ただこの補助金が電気料金に上乗せされるため電気を大量消費する電炉業界には多大なコストアップになっています。

太陽電池モジュール生産は2005年当時日本が47%のシェアを占めており(83万KW)世界トップでしたが、以降需要が旺盛な欧州市場を狙って、中国・台湾勢が著しい設備投資を行い、2007年に

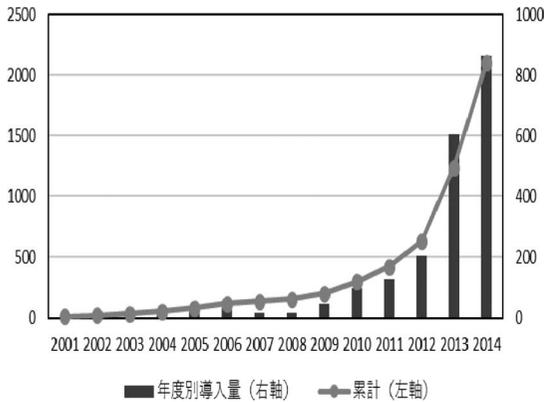


図 2 日本の太陽光発電導入量 万KW

中国が世界1位となり（中国120万KW 日本93万KW）2012年時点では日本は6%（191万KW）中国62%（1,978万KW）となっています。

◇ 太陽電池パネルの原料

太陽電池のパネルは半導体のLSIと同様に高純度のシリコンによって製造されています。単結晶シリコン、多結晶シリコン、薄膜系シリコン、化合物半導体等々ありますが、主流は結晶シリコンです。

半導体グレードのシリコンは11-N（イレブンナイン）99.9…と9が11個並んだ純度が要求される単結晶シリコンです。一方ソーラーグレードシリコンは6~7-Nの単結晶・多結晶シリコンです。

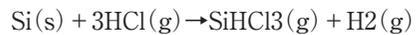
半導体グレードのシリコンは単結晶シリコンしか使えないので特殊な技術を用い、溶解したポリシリコンを長時間かけ製造されます。一方多結晶

シリコンは同じ時間で10倍程度製造でき、また単結晶シリコンの不良部を再溶解しても作られます。

◇ ポリシリコン製造方法

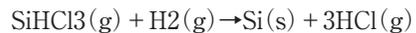
ポリシリコン製造の主流はシーメンズ法と呼ばれる方法でその概略を図3に示します。98~99%純度の金属シリコンを原料に高純度ポリシリコンを取り出します。

不純物の多い金属Siを精製するために最初にHClによりトリクロロシランガスを作ります。



この工程が高温（約600℃）高圧かつ塩酸が存在するため高温強度が高く耐食性のよいNCF800Hという合金が用いられます。

このトリクロロシランガスを精製しCVD反応炉へ送り下記反応で種Siロッドの上にSiを析出させます。



出来上がった製品がポリシリコンです。

これを再度溶解して単結晶・多結晶シリコンを製造します。

これらの製造過程では、高温・高圧の方が反応速度も上がり効率的ということで耐熱合金が用いられます。また塩素ガスや塩化物環境ということもあり耐食かつ耐熱合金が必要となります。

◇ ポリシリコン製造に用いられる特殊鋼

そこで用いられる素材はJIS G4902 NCF800H（ASTM B409 UNS N08810相当）という合金です。その成分規格を表1に示します。

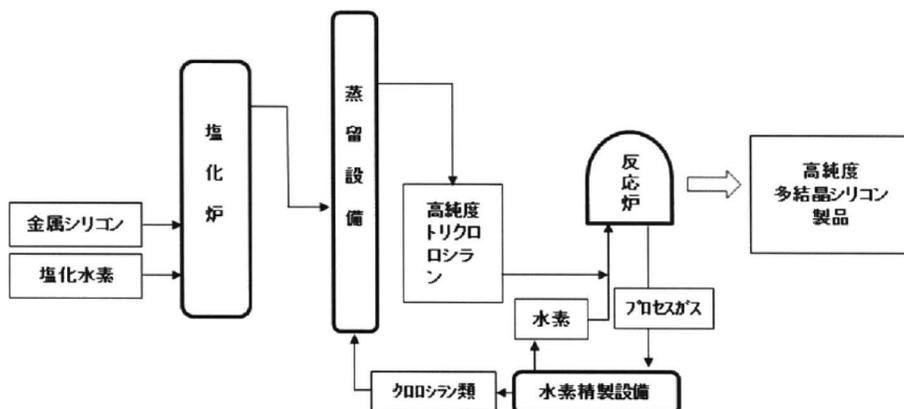


図 3 ポリシリコン製造模式図

表 1 JIS G 4902 NCF800 NCF800H

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Ti	Fe
NCF800	0.10以下	1.00以下	1.50以下	0.030以下	0.015以下	30.00～35.00	19.00～23.00	0.75以下	0.15～0.60	0.15～0.60	BAL
NCF800H	0.05～0.10	1.00以下	1.50以下	0.030以下	0.015以下	30.00～35.00	19.00～23.00	0.75以下	0.15～0.60	0.15～0.60	BAL

NCF800Hは基本的にはNCF800と同様な成分系ですが、高温域でのクリープ強度が要求される用途のため、炭素はNCF800の0.10%以下が0.05～0.10%と高めに誘導し、熱処理は焼きなまし（980～1060℃）が固溶化熱処理（1100～1170℃）になり、結晶粒度は5またはこれより粗い事となっています。

その装置の例を写真2に示します

図4はJIS B 8265（圧力容器の規格）の許容応力曲線です。許容応力とはある温度で変形しないで継続的に使用可能な応力を示したものです。

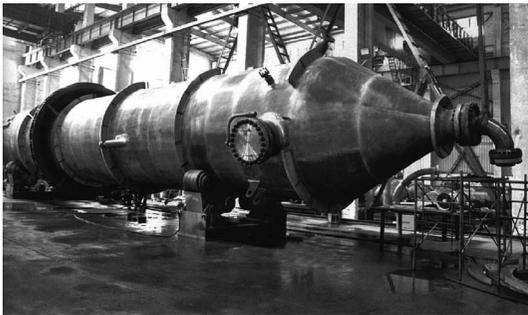


写真2 水素化流動床反応器 NAS800H

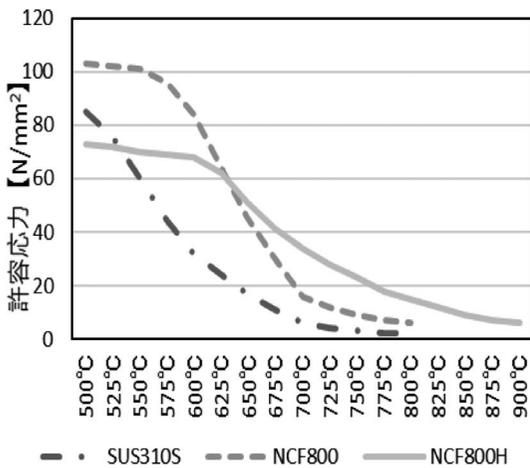


図 4 高温域での許容応力

一般的な耐熱鋼のSUS310SよりNCF800系のほうが550℃以上では許容応力が大きく特に625℃を境にNCF800Hの許容応力が一番高くなっています。またAlとTiを含有しているため耐高温酸化と耐高温腐食の特性も優れています。

むすび

今回は太陽電池セルのうちポリシリコン製造に使われる特殊鋼としてNCF800Hを紹介しましたが、これ以外にも

- ・シリコンインゴットの切断に用いるソーワイヤーは高純度の高強度線にダイヤモンドがまぶしたものが用いられます⁷⁾。
- ・太陽電池パネルの架台や取り付け金具として第15回ステンレス協会賞の優秀賞を受賞した下記3アイテムも使用されています⁸⁾。
- ・海岸地域での使用および薄肉化（軽量化）による作業性の向上を目的とした二相鋼ステンレス
- ・屋根上の長尺架台であるため熱膨張係数が小さく裏面反射率向上を狙ったSUS443J1-2B仕上材
- ・金属屋根への取り付けや長期の耐候性が得られるアルミメッキステンレス鋼板

参考文献

- 1) [http://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/29-4-3-2-4-0-0-0-0.html](http://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/29-4-3-2-4-0-0-0-0-0.html)
- 2) SolarPower Europe Global Market Outlook For Solar power/2016-2020: 14
- 3) ISEP（環境エネルギー政策研究所）Renewables 2015 Japan States Report（Summary）: 7
- 4) 経済産業省 資源エネルギー庁 HP <http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/>
- 5) 阪井純也 水素エネルギーシステム Vol. 33, No 2 (2008)
- 6) Chiang Mai J. High Purity Polycrystalline Silicon Growth and Characterization Sci. 2007; 34(1): 47-53
- 7) 杉山香里 ふえらむ Vol 18 (2013) No. 4: 170-173
- 8) ステンレス協会HP 第15回ステンレス協会賞 (2014)

(3) 固体酸化物形燃料電池

インターコネクタ用鋼

日立金属(株) やまむら かずひろ
冶金研究所 山村和広

まえがき

燃料電池は水素と酸素から化学反応により電気を作り出す装置である。発電過程において生じる物質が水だけであること、化学エネルギーを電気エネルギーに直接変化させていることからエネルギーの変換効率が高いなどの利点があり、化石燃料の使用量低減、CO₂の排出抑制等、太陽光発電や風力発電と同様に環境・エネルギー問題を解決する手段として注目されている。

燃料電池は発電を担うセルの材質によって幾つかの種類に分類され、それぞれ作動条件が大きく異なる。中でも、セル材質にセラミックスを用いる固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell、SOFC）では、金属材料の果たす役割が大きい。そこで本稿ではSOFCに使用される合金について解説する。

◇ SOFCの構造と特長

SOFCは、①600～1000℃程度の高温で運転するため発電効率が高い、②水素だけでなく天然ガス等多様な燃料を用いることができる、③家庭用分散電源から火力発電との複合発電まで規模を選ばず適用できる、④白金のような貴金属触媒が不要といった特長を有している。その反面、起動停止に時間を要するといった課題があることから、定置型の発電設備を主なターゲットとして、国内外セラミックスメーカーを中心に開発が進められている。

図1に代表的なSOFCの模式図を示す。セラミックス、またはサーメットからなる空気極、電解質、燃料極をまとめてセルと呼び、以下の反応に従って発電が行われる。

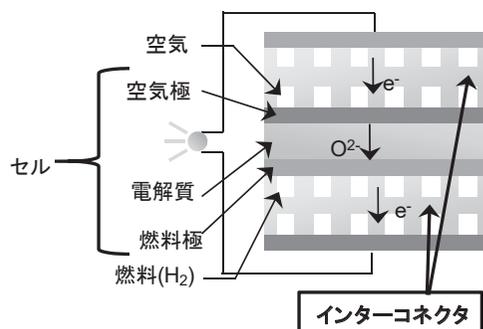
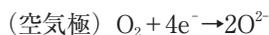


図 1 固体酸化物形燃料電池（SOFC）の模式図

最終的に必要な出力を得るため、セル間はインターコネクタという部材によって電氣的に接続されている。SOFCの開発初期においては1000℃近い作動温度のためインターコネクタ材にも導電性セラミックスが用いられてきた。しかしセルの材質、構造の改良が進み、700～800℃程度まで作動温度が下がってきたことにより、セラミックスに比べて加工が容易で安価な金属材料をインターコネクタとして適用する事例が2000年頃から増えている。

◇ SOFCインターコネクタ材に要求される特性

SOFCインターコネクタ用金属材料に求められる特性は大きく以下の4点である。

①セラミックスに近い熱膨張係数

インターコネクタはセル材質として用いられるYSZ（イットリア安定化ジルコニア）等のセラミックスと高温で接触することになるため、熱膨張係数をセラミックスと極力近づける必要がある。1000℃の時、YSZの熱膨張係数は $10.9 \times 10^{-6}/\text{K}$ であるが、一般的に耐熱合金として使用されるオーステナイト系ステンレスやNi基合金のようにFCC構造を有する合金は約 $17 \times 10^{-6}/\text{K}$ と大きく異なっ

ている。インターコネクタには高温強度はあまり重要視されないという点も考慮して、熱膨張係数が比較的近いBCC構造を有する合金の適用が検討されている。価格の点から多くの場合Fe-Crフェライト系合金（約 $13 \times 10^{-6}/K$ ）が選択されるが、合金-セラミックス間の熱膨張係数の差異を特に重要視する場合にはCr基合金（約 $11 \times 10^{-6}/K$ ）を用いる例もある。

②作動温度（700～800℃程度）における優れた耐酸化性

現在のSOFCは90,000時間以上の寿命を目指して開発が行われている。従ってインターコネクタは高温で長時間、空気または水蒸気に曝され続けることになるため、非常に高い耐酸化性が要求される。一般に金属材料の耐酸化性を向上させようとする場合、Al、Si、Cr等を添加し、合金表面に緻密で保護性の高い酸化被膜を形成させることが有効である。しかしSOFC用鋼の場合、Fe-Crフェライト系合金の主要合金元素であり、かつ後述する電気伝導性の関係上からも、主たる添加元素としてCrが選択される。また酸化被膜が剥離すると耐酸化性の低下だけでなく、電気伝導性の極端な低下を招くため、これを防ぐ目的でTiやZr、さらにはLaのような希土類元素が添加されることが多い。

③作動温度における導電性

前述の通りインターコネクタとはセル間を電気的に接続する部材であり、作動温度で十分な導電性を有することが必要である。運転中にインターコネクタ最表層は次第に酸化していくため、インターコネクタ材が形成する酸化膜にも十分な導電性が要求されることになる。このため耐酸化性こそ優れるが絶縁性の酸化膜である Al_2O_3 、 SiO_2 は不適となり、 Cr_2O_3 を形成する合金が使用される。またインターコネクタの電気抵抗は酸化膜の厚さに大きく依存しているため、酸化膜が薄ければ薄いほど導電性を向上させることができる。これはすなわち、耐酸化性が優れるインターコネクタは導電性も優れていると言い換えることができる。

④Cr蒸発の抑制

ここまでインターコネクタ材は表面に Cr_2O_3 を形成することが重要であると述べてきたが、一方で Cr_2O_3 はSOFCの空気極側の電極性能を劣化させ

るCr被毒を引き起こす原因として知られている。

Cr_2O_3 は酸化物としては蒸気圧が比較的高く、さらに水蒸気が含まれる雰囲気では以下の反応によりCrの蒸発が加速される。



SOFCの空気極にはSrを含む酸化物が使用されることが多いが、蒸発したCrがSrと反応して電極性能を急速に劣化させる現象があり、これをCr被毒と呼ぶ。インターコネクタだけでなくガス配管等もCr被毒の要因となりうることから、SOFCに金属部材を使用する際の課題となっている。

Crの蒸発源は合金そのものではなく Cr_2O_3 であることから、導電性を必要としない周辺部材であれば表層に Al_2O_3 を形成するような合金を使用するといった対策があるが、インターコネクタ材については Cr_2O_3 を形成するような合金でありながらCr蒸発を抑制する必要がある。このため合金にMnを添加し、 Cr_2O_3 の上に $(Mn, Cr)_3O_4$ からなる酸化膜を最表面に形成することでインターコネクタからのCr蒸発を抑制する成分設計とするのが一般的である。また更なるCr蒸発低減のため、SOFCメーカー各社では独自の導電性耐熱コーティングを行う等の対策を行っている。

◇ SOFC用フェライト系Fe-Cr合金について

ここからは当社が開発したZMG[®]232Lとその改良材であるZMG232G10を基にSOFCインターコネクタ用鋼の詳細について解説する。表1に両合金の代表的な化学成分を示す。

いずれの合金も22～24%のCrを含有しており、さらに耐酸化性向上を狙ってZr、La、W等が添加されている。またMn、CuはCr蒸発量を低減する目的で添加されている。

まず初めにZMG232LとZMG232G10の大気中での耐酸化性評価結果の一例を図2に示す。850℃、10,000hの試験において、いずれの合金も酸化膜の剥離や異常酸化等は確認されず、放物線則に従っ

表 1 ZMG232L、ZMG232G10の代表的な化学成分 (mass%)

	Cr	Mn	Zr	La	W	Cu	Fe
ZMG232L	22	0.5	0.25	0.07	—	—	Bal.
ZMG232G10	24	0.3	0.25	0.07	2	1	Bal.

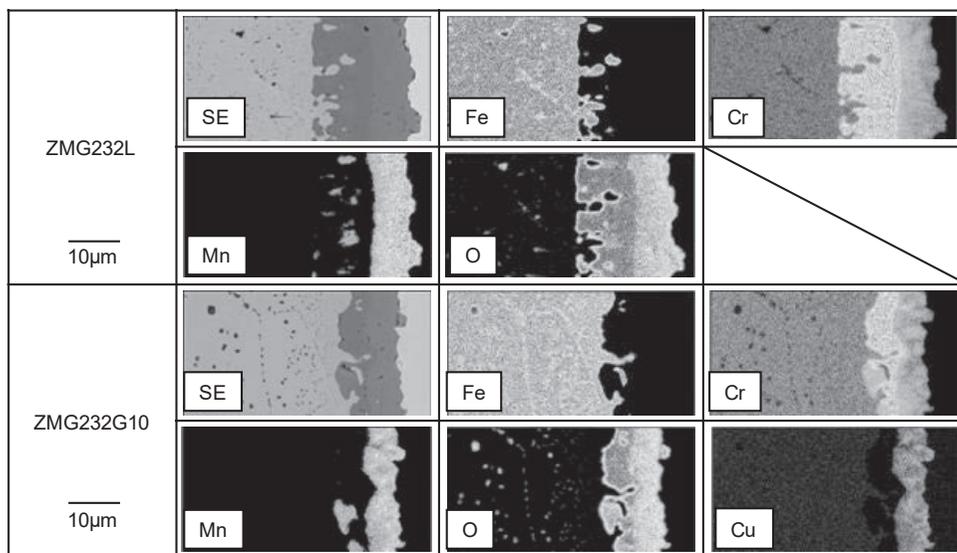


図 3 ZMG232L、ZMG232G10の酸化試験後断面元素マップ（850℃×10,000h酸化後）

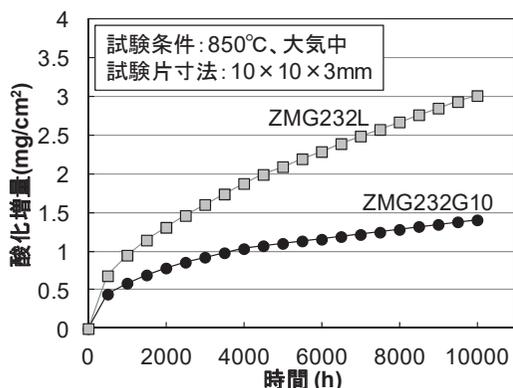


図 2 ZMG232L、ZMG232G10の長時間耐酸化試験結果（850℃、大気中）

た安定した酸化挙動を示していることがわかる。またZMG232G10はZMG232Lに比べて酸化増量が小さく、耐酸化性が改善されていることがわかる。

続いて図3にZMG232L、ZMG232G10の850℃×10,000h酸化試験後における酸化被膜断面元素マップを示す。いずれの合金もマトリクスの直上にCr₂O₃被膜が形成しており、さらに最表層には(Mn, Cr)₃O₄が形成している（ZMG232G10の場合は(Mn, Cr, Cu)₃O₄）。先述の通り、金属インターコネクタ材として必要な耐酸化性と導電性を主にCr₂O₃層が担い、最表層の(Mn, Cr)₃O₄層がCr蒸発を抑制する保護膜として働いている。一般的には(Mn, Cr)₃O₄層が厚いほどCr蒸発抑制効果は高

くできるが、導電性の低下につながる。ZMG232G10の場合はCuを添加することで、(Mn, Cr, Cu)₃O₄層が薄いにもかかわらず、ZMG232Lよりも少ないCr蒸発量を達成し、耐酸化性、導電性との両立を図っている。

むすび

本稿では当社開発材を中心にSOFCインターコネクタ用鋼の概略について述べた。想定されているSOFCの製品寿命は非常に長く、このため材料～システムの評価にも時間を要するのが実情である。しかし、SOFCは家庭用では既に一部実用化、また産業用についても2017年度の商用化を目指して各社にて開発が進められており、水素社会の実現に向けて着実に前進している。燃料電池、ひいては水素エネルギーの本格普及は全世界的に見てもまだまだこれからであるが、当社としてもお客様との協創によってクリーンエネルギーの発展に貢献したいと考えている。

謝辞

本研究は平成20～22年度に行われた新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託された「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」にて得られた成果を含むものです。

関係各位に深く感謝いたします。

(4) 水素社会を支える特殊鋼

愛知製鋼(株) 技術本部 わた なべ よし のり
技術開発部 第2開発室 渡 邊 義 典

まえがき

水素は、様々な一次エネルギーから製造でき、水素化物や液体水素、高圧水素ガスの形で貯蔵できるだけでなく、燃料電池を用いて容易に電気に変換することができます。環境に優しく、持続可能で、活力に溢れた社会を形成するため、新たなエネルギーキャリアとして水素を用いる、水素社会化の取り組みが始まっています。

エネルギーとして水素を利用する代表例として、燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle: FCV)が挙げられます。2014年12月にはトヨタ自動車(株)殿よりMIRAIが市販となり、2016年3月には本田技研工業(株)殿よりCLARITY FUEL CELLが発売となる等、水素利用の拡大が進んでいます。

FCVでは、水素ガスの経路となる容器から燃料電池までの配管、継手、減圧弁や圧力調整弁等の各種バルブ等において、SUS316L等のステンレス鋼が使用されています。FCVに燃料である高圧水素ガスを供給する水素ステーションでは、蓄圧器からディスペンサーまでの配管、継手、各種バルブ等においてSUS316L等のステンレス鋼が使用されています。また、鋼製の蓄圧器には、SCM435等の低合金鋼が使用されています。

本報では、水素社会を支える特殊鋼の中でも特にステンレス鋼に着目して、水素ステーションにて活躍するステンレス鋼を紹介します。

◇ FCVの普及を支える水素ステーション

FCVに燃料である水素ガスを供給するのは水素ステーションであり、FCVの普及を支えています。現在、約100箇所の水素ステーションが整備され、4大都市圏(首都圏、中京圏、関西圏、北部九州圏)とそれらを繋ぐ高速道路沿いを中心に、更なる整備が進められています。燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)のFCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ¹⁾では、2030年においてFCV

台数65万台、水素ステーション設置数720箇所を目標としており、その後も更なる市場の拡大と技術の発展が期待できます。

◇ 水素環境と鉄鋼材料

鉄鋼材料の多くは、高圧水素ガス環境において延性が低下することが知られています。この現象は水素ガス環境脆化と呼ばれ、古くは1960年代のアメリカ航空宇宙局(NASA)の研究まで遡ります。一般に、マルテンサイト鋼やフェライト鋼では高圧水素ガス環境における延性の低下が顕著であり、オーステナイト鋼では高圧水素ガス環境の影響を受け難いと考えられています。

水素ステーションの構成部品は、高圧水素ガス環境に曝されるため、部品に使用される材料には高圧水素ガス環境の影響を受け難い特性が求められます。そこで、高圧水素ガス環境の影響を受け難い金属材料の代表例であるオーステナイト系ステンレス鋼SUS316Lは、水素ステーションにおける構成部品の材料として活躍しています。

なお、FCVにおける水素貯蔵手段としては、高圧水素ガスが用いられていますが、水素ステーションへの水素の輸送・貯蔵手段としては、高圧水素ガスに加え、液体水素も利用されています。水素ガスは液化することで約800分の1の体積となるため、液体水素は効率的な水素の輸送・貯蔵媒体と考えられます。しかしながら、液体水素は約-253℃と極低温であるため、金属材料の低温脆化が課題となります。

そこで、洋上および陸上で液体水素を輸送するタンカー、タンクローリーの液体水素容器や配管および、各種バルブ等においては、オーステナイト系ステンレス鋼をはじめとする、低温脆化を起こし難い特殊鋼が活躍しています。

◇ 水素ステーションの設備と構成部品

図1に、水素ステーションにおける設備構成を

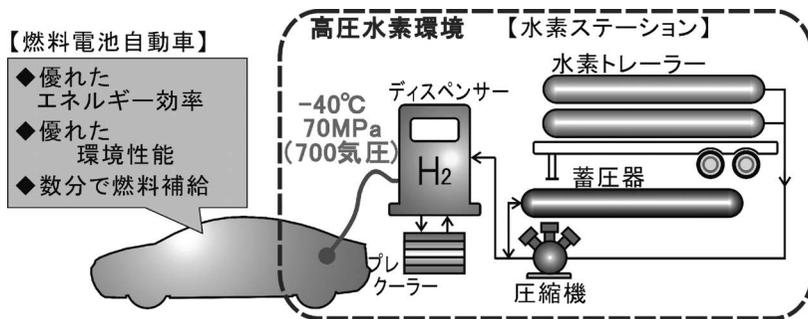


図 1 水素ステーションにおける設備構成を簡略化した模式図

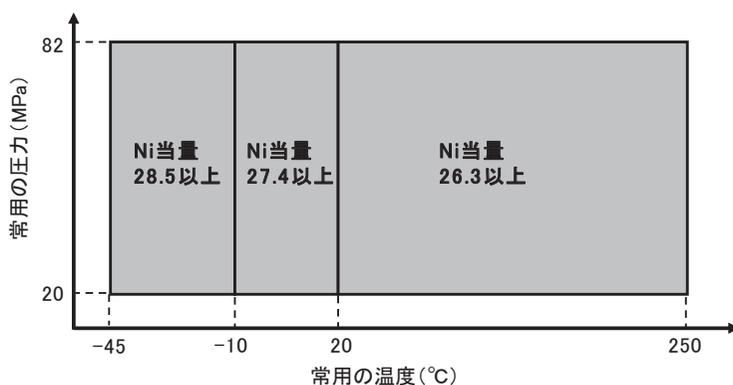


図 2 高圧ガス環境での使用に必要とされるNi当量 (SUS316・SUS316Lの場合)²⁾

簡略化した模式図を示します。水素ステーションは、主として水素トレーラー（もしくは水素ガス製造装置）、圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー、プレクーラーと呼ばれる設備から構成されます。なお、水素ガス製造装置を有する水素ステーションをオンサイト型と呼ぶのに対し、水素ガスを工場にて製造し水素トレーラーにて運搬して運用する水素ステーションをオフサイト型と呼びます。

製造された水素ガスは、圧縮機にて高圧に圧縮され、蓄圧器に貯蔵されます。蓄圧器に貯蔵された高圧水素ガスは、ディスペンサーにてFCVへ供給されます。プレクーラーは、充填前の高圧水素ガスを冷却する設備です。充填前の高圧水素ガスを -40°C まで冷却するプレクール技術により、充填時間を数分に短縮することができ、FCVの利便性を高めています。

◇ 水素ステーションの低温高圧水素ガス部品にて使用されるステンレス鋼

室温で高圧水素ガス環境の影響を受け難い

SUS316Lであっても、その化学成分によっては、低温の高圧水素ガス環境において延性が低下する場合がありますことが知られています。この延性低下はオーステナイトの安定度と関係することが知られています。プレクール技術の進歩に伴い、低温においても高圧水素ガス環境の影響を受け難い材料が求められます。

そこで、高圧ガス保安法の一般則例示基準²⁾においては、図2に示すように、オーステナイト安定度の指標として、Ni当量 (mass%) = $12.6\text{C} + 0.35\text{Si} + 1.05\text{Mn} + \text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo}$ ³⁾ を適用して、各温度、各圧力の高圧水素ガス環境において使用できるSUS316Lの組成を規定しています。また、機械的性質において、水素の影響が最も顕著に現れる絞りを、JIS規格より厳しい値に規定しています。例えば、温度 $-45^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ かつ、圧力 $20\text{MPa} \sim 82\text{MPa}$ の低温高圧水素ガス環境においては、Ni当量28.5以上かつ、絞り75%以上のSUS316・SUS316L固溶化熱処理材を使用できると規定されています。



高圧水素用手动弁・逆止弁
(写真提供: (株)フジキン殿)



充填ノズル
(写真提供: (株)ハマイ殿)

図 3 水素ステーションにおける構成部品の例

図3に、Ni当量28.5以上のSUS316Lが使用されている構成部品の例として、高圧水素用手动弁・逆止弁および、充填ノズルを示します。

◇ 水素ステーションにて活躍する特殊鋼の拡大に向けた研究開発

水素ステーションにて活躍する特殊鋼の更なる拡大に向けて、活発な研究開発が進められています。その一例として、(国立研究開発法人)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト「水素利用技術研究開発事業」における(一財)JRCM、(株)日本製鋼所、新日鐵住金(株)、新日鐵住金ステンレス(株)、愛知製鋼(株)、(国研)NIMSらによる取り組みが挙げられます。

本プロジェクトにおける研究成果の代表例としては、新日鐵住金(株)殿のHRX19^{®4)}が挙げられます。HRX19[®]は、高圧水素ガス環境の影響を受け難く、高強度でかつ、溶接性に優れたステンレス鋼で、その優れた特性を活かして、水素ステーションの配管等への適用が進められています。また、希少元素であるMo等を低減した高圧水素用ステンレス鋼STH1およびSTH2⁵⁾や、AUS305-H2(Ni当量28.5以上のSUS305)⁶⁾の研究開発も進められています。

むすび

エネルギーキャリアとして水素を用いる、水素社会の拡大が進んでいます。FCVに燃料である水素ガスを供給する水素ステーションでは、SUS316Lをはじめとする様々な特殊鋼が使われています。また、特殊鋼は、水素ステーションの高圧水素ガス部品用途のみならず、洋上および陸上で液体水素を輸送するタンカー、タンクローリー等においても更なる活躍が期待されています。水素社会化の更なる進展により、水素社会を支える特殊鋼の利用拡大が更に加速することを期待します。

参考文献

- 1) 燃料電池実用化推進協議会(FCCJ):FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ(2016年3月11日)
- 2) 経済産業省:一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について及びコンビナート等保安規則の機能性基準の運用についての一部を改正する規定(2014年11月20日)
- 3) 平山俊成、小切間正彦:日本金属学会誌、第34巻、第5号(1970)、507-510
- 4) 大村朋彦:JRCM NEWS、No.337(2014)
- 5) 秦野正治:JRCM NEWS、No.341(2015)
- 6) 窪田和正、渡邊義典:日本金属学会誌、第79巻、第3号(2015)、100-106

(5) 変圧器の省エネ化に貢献する 鉄基アモルファス軟磁性合金

日立金属株式会社 高級金属カンパニー 中島 晋
軟磁性部材統括部 開発部

まえがき

地球温暖化を抑制するためのCO₂排出量削減が喫緊の課題となっている中、変圧器もその省エネ化が求められている。このため、世界各国で変圧器の損失、あるいはそのエネルギー効率を定めた規制が施行されている。また、これらの規格は規制値をより厳しくする方向での改定が進められてきており、米国、EU、インドなどでは強制規格となっている^{1)~3)}。日本では、電力会社向けを除く油入およびモールドタイプの標準変圧器（単相：10kVA～500kVA、三相：20kVA～2,000kVA、入力：6kV、3kV、出力：100V～600V）について、その損失上限値を定めた自主規格が定められ、これを満たす変圧器はトップラランナー変圧器と呼ばれている⁴⁾。さらに、2014年4月に規格をより厳しくした新自主規格が施行され、この規格を満たす変圧器は第二次トップラランナー変圧器と呼ばれている⁵⁾。

変圧器では、これを構成する鉄心に用いる軟磁性材料として方向性電磁鋼板が用いられてきたが、1980年代から、より低損失の鉄基アモルファス軟磁性合金を鉄心に用いた高効率変圧器（以下、アモルファス変圧器）が用いられるようになり、近年、その需要が急拡大した。また、中国ではアモルファス変圧器に関する規格も定められている⁶⁾。ここでは、変圧器の省エネ化の観点から、ますます注目を集めるようになってきている鉄基アモルファス軟磁性合金とアモルファス変圧器について解説する。

◇ 変圧器の機能とその損失

変圧器の基本的な機能は電圧変換（例：入力6,600V→出力100V）と入力と出力間の電氣的絶縁

の2つである。変圧器の一例として、油入単相変圧器の構造を図1に示す。変圧器は、鉄心、巻線、絶縁油とこれを満たすためのタンク、入力端、出力端、入出力端とタンクを絶縁する碍子等で構成される。

変圧器の損失およびエネルギー効率は、変圧器の定格容量に対する変圧器出力の比率である負荷率（出力／定格容量）により変動する。図2に、油入三相1,000kVA（50Hz）の第二次トップラランナー変圧器の負荷率と損失およびエネルギー効率の例を示す。第二次トップラランナー変圧器では基準負荷率（定格容量500kVA以下40%、500kVA超50%）における全損失である基準エネルギー消費効率（本例では2,960W）以下、および定格容量におけるエネルギー効率規格値（本例では98.80%）以上とする必要がある⁷⁾。同図に示すように、変圧器の損失には、鉄心で発生し負荷率に依存せず常に一定の待機電力に相当する図示一点鎖線で示す無負荷損（鉄損）と巻線で発生し負荷率の2乗に比例して増加する図示破線で示す負荷損（銅損）の二種類があり、これらの和が図示実線で示す全損失である。また、変圧器の全損失は、低負荷率

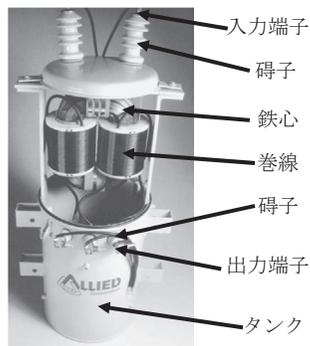


図 1 油入単相変圧器の構造例

時は無負荷損が支配的となり、高負荷率時は負荷損が支配的となる。変圧器の負荷損の低減には巻線の電気抵抗を下げる必要があり、固有抵抗の小さな導体の適用と導体の占積率の高い角形巻線の適用などが行われている。一方、変圧器の無負荷損の低減に最も有効な手段は低鉄損軟磁性材料の

鉄心への適用であり、変圧器の低損失化は軟磁性材料の低損失化と一体で進められてきた。

変圧器の負荷率は、早朝、日中や深夜などの時間帯および季節などにより大きく変動する。このため、変圧器の省エネ性は、年間を通じての負荷率の加重平均である等価平均負荷率を求め、この等価平均負荷率での全損失値で判断する必要がある⁸⁾。実際の変圧器の等価平均負荷率は、柱上変圧器とオフィスビルや公共施設の平均で20%程度以下、工場の平均で40%程度である⁸⁾⁻¹⁰⁾。また、風力発電や太陽光発電システムで電力会社の配電系統に接続する昇圧変圧器の場合の等価平均負荷率は、前者で平均25%程度¹⁰⁾、後者で平均15%以下である¹¹⁾。これらの用途の変圧器の等価平均負荷率の平均値は、トッランナー基準で定められる基準負荷率（定格容量500kVA以下で40%、500kVA超で50%）よりも低い。

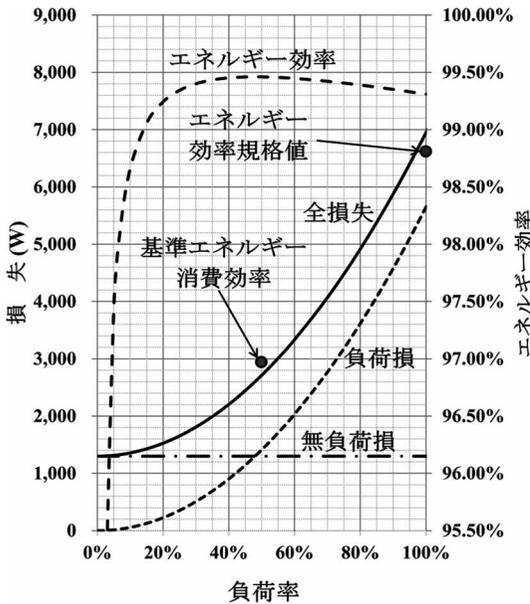


図 2 損失と効率の負荷率依存性の一例
油入三相1,000kVA第二次トッランナー（50Hz）変圧器

◇ 鉄基アモルファス軟磁性合金とこれを用いた変圧器の特徴

鉄基アモルファス軟磁性合金（以下アモルファス合金）は、内部が水冷された高速回転する金属ロール上に溶融合金を噴出し、瞬時に凝固させる単ロールによる液体急冷法で製造されている¹²⁾。この製法により、結晶化が抑制される $10^{6^{\circ}\text{C}}/\text{s}$ 以上

表 1 鉄基アモルファス軟磁性合金と方向性電磁鋼板^{13), 14)}

材 質		鉄基アモルファス軟磁性合金		方向性電磁鋼板CRGO			
		Metglas [®] 2605HB1M	Metglas [®] 2605SA1	磁区制御材 23ZDMH80	高磁束密度材 23ZH85	普通材 23Z110	
呼称厚さ (mm)		0.025		0.23			
占積率 (%)		84min.		94.5min.			
密度 (kg/dm ³)		7.33	7.18	7.65			
固有抵抗 ($\mu\Omega\cdot\text{m}$)		1.2	1.3	0.50	0.50	0.50	
鉄損 (W/kg)	50Hz	1.7T	-	-	0.80max.	0.85max.	1.10max.
		1.5T	-	-	0.55typ.	0.61typ.	0.70typ.
		1.4T	0.11typ.	0.11typ.	0.48typ.	0.53typ.	0.60typ.
		1.3T	0.08typ.	0.08typ.	0.42typ.	0.46typ.	0.52typ.
	60Hz	1.7T	-	-	0.97typ.	1.09typ.	1.35typ.
		1.5T	-	-	0.73typ.	0.81typ.	0.91typ.
		1.4T	0.14typ.	0.14typ.	0.64typ.	0.70typ.	0.78typ.
		1.3T	0.11typ.	0.11typ.	0.55typ.	0.61typ.	0.68typ.
磁束密度 (T)	800A/m	1.63typ.	1.56typ.	1.87min.	1.88min.	1.80min.	
	80A/m	1.50min.	1.35min.	1.79typ.	1.77typ.	1.68typ.	

の急冷速度が実現できアモルファス合金が得られる。表1に、寸法、密度と電磁気特性をアモルファス合金Metglas® 2605HB1M（以下HB1M）とMetglas® 2605SA1（以下SA1）、および方向性電磁鋼板（以下CRGO）との比較で示す。量産されているHB1MとSA1の薄帯幅は142mm、170mmと213mmの3種類で、磁気特性は窒素雰囲気中で磁路方向に2,400A/mの直流磁界を加えながら、前者は340℃、後者は360℃で2時間熱処理した試料のエプスタイン法による測定結果である。表1からアモルファス合金はCRGOに比べ鉄損が大幅に低く、このことがCRGOと比較した時の最大のメリットである。一方、アモルファス合金は、CRGOに比べて、占積率と磁束密度が低い欠点もある。HB1MはCRGOに比べて低い磁束密度の改善を行ったもので、SA1に比べ高磁束密度である。アモルファス合金は、CRGOに比べて、高価、厚さが1/10と薄く、そのビッカース硬度が約900と固く、塑性変形もしないため加工が難しく、変圧器への適用は困難とされてきた。しかし、アモルファス合金の連続鑄造技術の確立による製造コストの大幅な削減により、重量当たりの価格がCRGO高磁束密度材と同程度になったこと、磁気特性と占積率が改善され品質も向上したこと、アモルファス合金を5枚重ねた5層巻コイルでの供給およびこの5層巻コイルを3コイル装着して、15層積層した状態で切断できるアモルファス変圧

器鉄心用の自動切断装置が複数のメーカから供給されるようになったことなどにより、2000年代後半から需要が急拡大した。このため、現在、変圧器用アモルファス合金の世界の年間販売量は15万トン程度と推定され、純鉄を除く金属軟磁性材料中、重量ベースの販売量では電磁鋼板に次ぐ販売量の金属軟磁性材料になっている。

HB1Mを用いた変圧器用鉄心の外観を図3に示す。アモルファス合金は熱処理で若干脆化するため、本鉄心ではコア内外周面をCRGO、オーバラップ部を除く端面をエポキシ樹脂コーティングで保護している¹⁵⁾。なお、エポキシ樹脂コーティングにより鉄心表面に加えられる応力による磁気特性劣化（鉄損増、透磁率減）を嫌って、鉄心外周にテープを巻き付けることなどの別の手法で保護を行っている例もある。

表2に油入3相1,000kVA50Hz第二次トップラ



図3 HB1Mを用いた変圧器用鉄心

表2 油入第二次トッランナーアモルファス変圧器とCRGO変圧器の比較例^{16), 17)}

	アモルファス変圧器	CRGO変圧器
定格容量 (kVA)／相数／周波数 (Hz)	1,000/3/50	
1次および2次電圧 (V)	6600/210	
無負荷損 (W)	365 [0.281]	1,300 [1]
負荷損 (W)	8,350 [1.48]	5,650 [1]
定格出力時のエネルギー効率 (%)	99.13 [0.998]	99.31 [1]
定格出力時のエネルギー効率規格値 (%)	98.80	
基準負荷率 (%)	50	
基準負荷率における全損失	2,453 [0.904]	2,713 [1]
基準負荷率における全損失規格値 (W)	2,960	
負荷率20%における全損失 (W)	699 [0.458]	1,526 [1]
体積 (m ³)	2.468 [0.886]	2.785 [1]
総重量 (kg)	2,930 [0.857]	3,420 [1]

注：[] 内の数値はCRGO変圧器の数値を1としたときの比率

ランナー対応のアモルファス変圧器とCRGO変圧器の比較例を示す。同表中、[] 内の数値は、いずれもCRGO変圧器の数値を1としたときの比率である。アモルファス変圧器は無負荷損をCRGO変圧器に比べて1/3程度に低減できるため、負荷損を大きくしても規格を満足でき、CRGO変圧器より負荷損を大きくしている。このため、アモルファス変圧器の全損失は、CRGO変圧器に比べて、基準負荷率である50%では約10%少ないだけだが、等価平均負荷率の20%（オフィスビルや公共施設の平均）では1/2以下と大幅に少なく、このような低負荷率の変圧器の省エネ化には極めて好適である。また、全損失の差は変圧器の稼働コストとなる電気料金の差に直結するため、平均稼働年数が26年程度とされる変圧器の稼働コストの低減の面でもCRGO変圧器より優れる。なお、本比較例ではアモルファス変圧器の方がCRGO変圧器より体積、総重量ともに小さい。アモルファス変圧器はCRGO変圧器よりも大きくて重いという従来の認識は、本比較例のような定格容量の大きな油入第二次トプルランナー変圧器に対しては当てはまらない。

むすび

アモルファス合金を用いた省エネルギー変圧器が実用化されてから30年以上が経過した。当初、アモルファス合金はCRGOに比べて数倍と高価であり、これを用いた変圧器も省エネ性は優れるものの、非常に高価で大きく重いため、なかなか普及しなかった。しかし、その後の製造技術の進歩と新材料HB1Mの実用化などにより、アモルファス合金の価格はCRGOと遜色ないレベルになった

こと、および変圧器の省エネ規格の厳格化の進展により、アモルファス変圧器とCRGO変圧器の価格差および大きさや重量の差が大幅に減少した。特に、比較的負荷率の低い用途においては、アモルファス変圧器は省エネ性とライフサイクルコストの両面で優れた省エネ変圧器として市場での地位を獲得し、普及が着実に進展している。これに伴い、アモルファス合金の需要も着実に拡大して行くものと考えられ、地球温暖化抑制に一層貢献できる環境親和製品とすべく、今後とも高性能化と品質向上に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) USA Federal Register Number: 2013-08712 (2013)
- 2) Commission Regulation (EU) No 548/2014 (2014)
- 3) IS 1180 (Part 1): 2014 (2014)
- 4) 平成16年1月22日 経済産業省告示第8号 (2004)
- 5) 平成25年12月27日 経済産業省告示第269号 (2013)
- 6) 中華人民共和国国家標準 GB 20052-2013 (2013)
- 7) JIS C 4304:2013 (2013)
- 8) 高木、山本、山地：電学論B、129巻1号 pp. 205 (2009)
- 9) 高木、山本、山地：電学論B、128巻6号 pp. 885 (2008)
- 10) Eup_Lot2_Transformers_Final Report.pdf (2011)
- 11) 総合資源エネルギー調査会、長期エネルギー需要見通し小委員会（第4回会合）資料1 (2015)
- 12) 増本、鈴木、藤森、橋本：「アモルファス金属の基礎」、オーム社 (1982)
- 13) 日立金属カタログ：「アモルファス合金薄帯Metglas®」、No. HJ-B10-C (2015)
- 14) 新日鐵住金カタログ：「方向性電磁鋼帯」、D004je_01_201210f (2012)
- 15) 日立金属カタログ：「省エネルギー変圧器用アモルファスコアの特徴と磁気特性」、No. HJ-B13-B (2016)
- 16) 日立産機システムカタログ：「日立超高効率変圧器SUPERアモルファスZero」、ST-148 (2014)
- 17) 三菱電機カタログ：「三菱配電用トプルランナー油入変圧器Rseries」、L (名) 10030 (MDOC) (2013)

(6) 高圧架空送電線に用いられる 高強度インバー合金線

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター なか ま かず お
高合金鋼グループ 中間一夫
住友電気工業(株) 導電製品事業部 まつ おか とも や
開発技術グループ 松岡知哉

◇ 送電線の構造と求められる特性

高圧送電線は、発電所で作られた電気エネルギーを電力消費地に送る経路であり、現在の社会では欠かすことのできない重要なインフラである。送電線には、地上の鉄塔等に電線を張る架空送電線と、地下にケーブルを敷設する地中送電線がある。架空送電線は、海沿いにある火力発電所や原子力発電所、山間にある水力発電所などから、電力を消費する都市部や工業地帯近郊の変電所までの長い距離、電力輸送する役割を担っている。電力需要の増大や送電エネルギー損失低減に対応するため、送電線は高圧大容量化が進んでいる。

送電線の導電体には、主に銅やアルミなどの導電性の良い金属が用いられる。ただし、これらの金属自体は強度があまり高くなく、架空送電線として鉄塔間に張られた場合、自重や強風、積雪、振動などによる負荷に対して十分でないことがある。そこで、強度の高い鋼を芯線として、その周りにアルミ導体を撚り合わせた構造を持つ鋼心アルミより線が用いられている。鋼はアルミよりも熱膨張が小さいため、電流が流れるときに発生する熱に伴い電線温度が上昇しても鋼の芯線部分は伸びが小さい。このため、電線にかかる張力を鋼線部分が担うことになり、電線全体の伸びもこの部分の伸び量によって決まる。

鋼の線膨脹係数は、 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 程度（長さ1mの棒の温度が 100°C 上がったときに1mm伸びる程度）であり、熱膨張で伸びた長さは鉄塔間に張られた送電線の垂れ下がり増加に繋がる。電力需要増加に対応して電流量を増やすと、温度上昇に伴う垂れ下がりが大きくなり、必要な地上高さを確保できない問題が生じる。そこで考え出されたのが、

インバー合金を芯線として用いる方法である。図1に、インバー合金を芯線に用いた架空送電線の構造を、図2には、インバー合金を芯線に用いた



図 1 インバー合金を芯線に用いた架空送電線用インバー電線の構造
(住友電気工業・大阪製作所で製造)



図 2 インバー電線 (ACIR) と鋼線 (ACSR) に同一電流を流した場合の弛度差
(住友電気工業・実規模試験線)

送電線（ACIR: Aluminum Conductor Invar Reinforced）と鋼を芯線に用いた送電線（ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced）に同一電流を流した場合の垂れ下がり例を示す。インバー合金を用いたACIRの方が、ACSRより垂れ下がり量（弛度）が小さくなっていることが分かる。

インバー（invar）合金とは、常温近傍での熱膨張が極めて小さい合金で、英語のInvariable steel（不変鋼）から名付けられた。インバー特性を持つ合金には、Fe-Ni系やFe-Pt系、Fe-Pd系など幾つか種類があり、中でもFe-36%Ni合金が有名で工業的に広く利用されている。送電線の芯線には、これをベースとした改良インバー合金が用いられてきた。このインバー合金線と耐熱アルミ合金線を組み合わせることで、垂れ下がり量を抑えつつ従来の送電線より増電流化ができた。しかしながら、インバー合金線は、従来用いられている鋼線と比べて強度が低いために同じような設計では使用できず、適用場所や鉄塔および送電線設計の検討を必要としていた。このような背景の下、鋼線並の高強度を有し、低熱膨張である芯線用インバー合金線が求められていた。

◇ 課題と開発への取組み

課題は、鋼線並みの強度と、従来のインバー合金線と同等の低熱膨張特性を備えた高強度インバー合金線の開発である。その他に、送電線芯線に必要な特性として、製造や使用時における曲げや捻りに耐える延性も必要である。電線用材料では、この延性を表す代表的な指標として、捻回特性（合金線の両端を固定して捻り、破断までの回数で評価するもの）や巻き付け巻き戻し特性（合金線を同一または2倍の径に曲げ加工したときに破断しないこと）があり、この特性が従来インバー合金線と同程度である必要もある。開発目標

を表1のように設定した。

低熱膨張で、高強度かつ高延性であるインバー合金線の開発に際し、合金設計および製造工程設計の両面から取り組んだ。本開発におけるキーテクノロジーとなったのは、合金炭化物による析出強化と伸線による加工強化を併用し、結晶粒界の脆化を抑制して延性低下を最小限としつつ高強度化したこと、および送電線実用温度域での低熱膨張化を達成するために、熱膨張特性に影響が大きいNiおよびCo量を最適化したことである。特に、強度と延性の両立に際しては、合金設計のみならず、圧延、熱処理および伸線などの各工程の製造条件を適切に制御することが重要である。

まず、合金設計の面からインバー合金の高強度化方策を検討した。Fe-Ni系インバー合金に合金元素を添加すると、添加元素の種類や量に従って、低熱膨張特性が損なわれる方向にある。しかし、添加した元素が析出物として金属基地から排出されれば、本来の低熱膨張を回復できる。そこで、合金炭化物を微細析出させて強化する方法を選択した。適切な炭化物種をスクリーニングするため、炭化物の固溶-析出量や結晶構造を考慮し、またそれぞれの機械的性質や熱膨張特性への影響を比較調査した結果、バナジウム炭化物（VC）が最適であることが分かった。VCは、金属基地と近い構造を持ち、固溶度も比較的大きい。VとCの添加量比も重要で、V過剰による熱膨張係数の増大やC過剰による粒界の脆化を抑制するための適正化を行った。

低熱膨張化のための合金設計に関しては、上述したようにNiおよびCo量の調整が重要である。よく知られているFe-36%Niインバー合金は、ある温度（キュリー温度）を超えると、インバー効果が消失して熱膨張が大きくなる。アルミ被覆インバー電線の許容温度（連続）は240℃と高温で、Fe-36%Ni合金のキュリー温度を超えている。キュ

表 1 架空送電線用芯線の特性、開発目標および実績例

	引張強さ N/mm ²	熱膨張係数 ×10 ⁻⁶ /℃	捻回値 回/100D
鋼線	1,225~1,325	11.5	≥20
従来インバー線（アルミ被覆）	1,029~1,078	<3.7	≥20
開発目標	≥1,078	<3.7	≥20
開発インバー線（アルミ被覆）	1,175~1,225	2.3~3.0	≥20

りー温度はNi+Co量に伴って上昇することから、Ni+Co量を増量調整し実用温度域の低熱膨張特性を確保した。

高強度と高延性を高次にバランスさせるためには、製造工程の最適化がかかせない。インバー合金線の製造工程においては、熱間工程でVCを完全に固溶させた後、適切な加工率で伸線を行って加工歪みを導入してから、熱処理によりVCを析出させる必要がある。このとき、析出したVCは結晶粒内に微細な形態を保ち、かつ結晶粒界では適度な回復が生じている状態が理想である。これを達成するため、伸線時の加工量や熱処理時の温度-時間の最適化を行った。

◇ 開発インバー合金線とその使用状況

表1に、開発インバー合金を用いたアルミ被覆インバー線の特性例を示す。本開発アルミ被覆インバー合金線では、従来用いられている鋼線に匹敵する強度を有し、熱膨張についても、従来のインバー合金線と同等の低い値となっている。同時に、捻回値については、電線としての規格値を満足している。

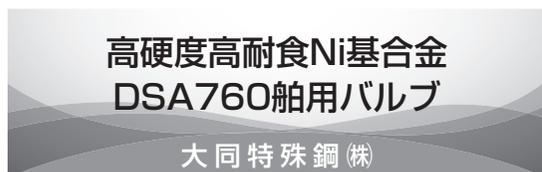
本インバー合金線は、長期信頼性実証試験に合格し、国内外で広く使用されている。また、電流

量2倍増に対応し、使用中の垂れ下がり量が小さいということは、送電線路新設の場合に鉄塔高さを低くかつ鉄塔基礎を小さくできることに繋がり、建設コストの削減のみならず、特に山間地等の自然地域での建設においては、自然環境への影響度が小さく自然破壊を抑制できる点が挙げられる。なお、電線の張り替え等の設備更新時には、廃棄電線を解体することで100%リサイクルが可能となっており、産業廃棄物の発生がほとんどなく環境に優しい製品でもある。

むすび

送電線に関わる特殊鋼の使用例として、架空送電線芯線に用いられている高強度インバー合金線の開発事例を紹介した。本事例においては、合金設計および製造条件の最適化により、鋼線に匹敵する強度を有しつつ、低熱膨張特性を兼備したインバー合金線の開発に成功し、電力需要の増加と送電線経路の建設費用削減に貢献した。今後、海外での電力需要増加や、発電サイトの増加に伴い、送電線網は社会インフラとしての重要性を増している。芯線用インバー合金線の更なる高強度化も求められており、今後も市場ニーズに的確に対応を進めていく所存である。

Ⅲ. 会員会社のエネルギー産業に貢献する製品



まえがき

石油をはじめとする資源エネルギーの多くを輸入に頼っている日本では原油、LNG等は海外から輸入しており、例えば2014年時点では、原油を年間2億KL、LNGを9,000万t輸入している。これらは主に大型タンカーで運搬される。大型タンカーは世界で7,000隻以上が稼働しており、そのほとんどが大型ディーゼルエンジン駆動である。大同特殊鋼では長年このエンジンバルブを製造・供給して来た。

近年、これらの大型船舶エンジンに対する環境規制が厳しくなりNOx、SOxの排出量低減が要求され、この対策として燃焼温度が高温化し、エンジン部品の耐熱性向上が求められている。また、運航コスト低減の観点から近年の石油原価下落、用船料低下を背景として、中低速での長時間運航が増えたため、耐熱・耐食性を改善してエンジン部品交換寿命を延長したいというニーズも高まっている。

このようなニーズに応えるべく高硬度高耐食合金 DSA760バルブを開発した。

◇ DSA760の特徴

DSA760の基本成分はNi-38Cr-3.8Al (mass%) から成り、 γ 相とCr相が複合的に析出する事で高硬度が得られる。一方、高温では γ 単相組織になるため、熱間加工により展伸が可能であり、かつ固溶化熱処理状態では冷間加工も可能である。

◇ 特性

DSA760は所定形状への熱間加工後、固溶化処理および時効効果処理を施して使用する。

1. 室温機械的性質

強度は固溶化温度により差があるが、ピーク強度は2,200MPaを超える高強度が得られる。

2. 高温硬さ

DSA760は従来超耐熱合金Waspaloy、AlloyU520より優れており、973Kまで約500HV以上の高硬度を維持する(図1)。

3. 耐酸性

5%硫酸、1%塩酸中への21.6Hr室温浸漬試験結果ではAlloyX750よりも優れた耐食性を示し、ほとんど減量が生じなかった。

4. 耐高温腐食性

図2に1,073Kで行ったサルファおよびバナジウムアタック試験結果を示す。比較材はNimonic80Aである。

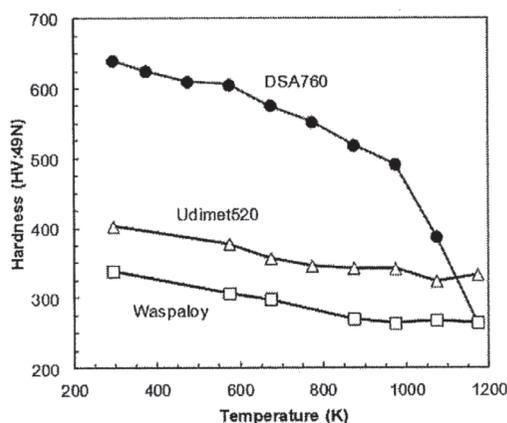


図 1 時効硬化後の高温硬さ [電気製鋼 第83巻1号 2012]

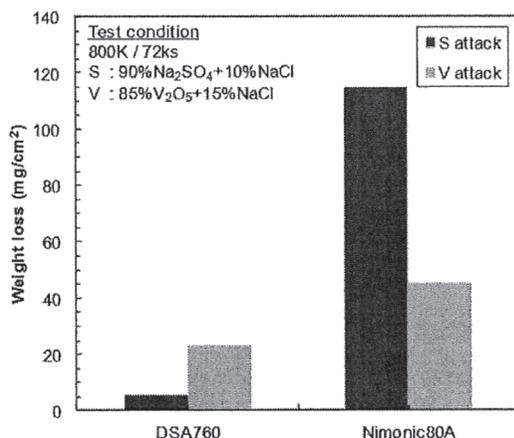


図 2 サルファ・バナジウム塩による腐食減量 (1,073K, 72ks) [電気製鋼 第83巻1号 2012]

DSA760はサルファ塩、バナジウム塩とも腐食減量が少なく耐高温腐食性に優れておりエンジン部材として最適である。

むすび

開発したDSA760合金は高温域まで高強度・高硬度が得られ、耐酸・サルファ・バナジウム性も従来材よりも優れている。また、熱間加工も可能である事から高温腐食環境下で使用される種々の製品に広く適用可能である。

注) Nimonic、UdimetはSpecial Metal社の登録商標です。DSAは大同特殊鋼(株)の登録商標です。

大同特殊鋼(株) 鍛鋼部 国内営業部 前川 博

業界のうごき

浅井産業、働き方改革 社内インフラ整備も

浅井産業は、働き方改革を進める。商社として鋼材・非鉄金属だけでなく、表面処理・金型・射出成形機部品・環境機器部品等の商品を幅広く拡販するため、昨年11月から営業支援システム「SFA」を導入。データベースマーケティングの支援事業を手掛けるランドスケイプとも組み、企業データベースを活用しながら「これまで足が遠のいていた業界」（増平社社長）にも営業強化を図る。

同社は社内のインフラ整備を急ぐ。ワークライフバランスを重視し、業務効率化を図ることで、個人の生産性を上げる狙い。営業社員全員にスマートフォン、タブレット端末を配布し、ペーパーレス化も推進。SFAを活用しニッチな業界に取扱製品を販売したい考え。さらに10月をめぐりにオービックが提供するERPソリューション「オービック7」の導入を進め販売管理系の業務を効率化する。（12月9日）

伊藤忠丸紅、山文を分割買収 阪和工材と共同経営へ

伊藤忠丸紅鉄鋼（MISI）は、ステンレス事業の収益力と業界での影響力強化を図るため、三井物産スチールと日新製鋼が出資するMSSステンレスセンターから新潟支社（山文センター）の全事業を分割買収する。約50人の従業員はそのまま継続雇用。発足時MISIが100%出資するが、その後、JFE商事グループの阪和工材に全株式の40%を譲渡し、4月1日から共同経営を行う。阪和工材は今期、ステンレス受注が絶好調で東日本（足利工場）における加工設備の能力が不足しており、山文の設備を活用しこれを補う。

新会社名「山文ステンレス」（本

社＝新潟県燕市大曲）、資本金は1,000万円で社長は未定。

ステンレス鋼材の供給と技術系による人材派遣に協力する方針。山文の年間売上高規模は約35億円で、足元は黒字経営を継続している。（1月11日）

井上特殊鋼、ベンチャーと提携 緩まないねじ開発

井上特殊鋼は、ねじのベンチャー企業であるNejiLaw（ネジロウ）と、緩まないボルト・ナット締結部材の大型切削向け製造・販売について業務提携を締結した。

ネジロウが開発した緩まないネジ「L/Rネジ」は、従来のらせん状ではなく特殊な機械的構造で、結合した場所から決して動かないネジ。大型切削向けの製造は機械加工を行うグループ会社の井上マシナリーが行う。

今後は、橋梁などのインフラ関連やプラント、造船、建設機械、産業機械分野などでの採用を想定。井上特殊鋼では、計約3億円を共同開発費用に投じており、ネジロウ側ではそれらを活用して、埼玉県下で各種検査設備を導入し、耐久試験などを進めている。（1月23日）

ウメトク、真岡に鋼材センター 関東地区拠点再編へ

ウメトクは、真岡第5工業団地（栃木県真岡市）にグループで国内最大規模の鋼材センターを開設する。関東地区事業拠点の抜本的見直しを進めるとともに、同地域周辺に集積する自動車やロボット、機械関連ユーザーへの対応強化を図る。総投資額は土地および建屋、設備を含めて約7億円。本年7月の完成を目指す。

同社では、アジア地域を主軸に海外事業展開を拡大する一方、国内ではより効率化を目的に設備合理化投資を行いながら、約30カ所ある支店や営業所、熱処理センター、物流セ

ンターなどの見直しを進めている。

新関東営業所ならびに関東センターは、真岡第5工業団地内に位置し、約1万3,000平方メートルの工場敷地に、約3,800平方メートルの倉庫および事務所建屋を建設する。構造用鋼や工具鋼をはじめとした特殊鋼鋼材の切断加工販売を行い、現地での採用を含めて約30人体制でスタート予定。関東営業所の開設に伴い、宇都宮営業所と山梨営業所の機能を同センターに集約するとともに、相模特殊鋼センターについては今後活用方法を検討する。（2月1日）

カムス、海外で表面処理 中国企業と技術提携

日本高周波鋼業の直系子会社カムスは、冷間プレス金型の表面処理事業拡大を目的に、中国の「深圳市和勝金属技術」とPVD事業のライセンス契約を締結した。中国国内でハイテン成型用プレス金型の需要が高まる中、日系自動車メーカーなどからの要請もあって海外進出することを決めた。カムスの表面処理事業での海外展開は初めて。

中部テクノセンター（愛知県瀬戸市）で行っている冷間プレス金型用表面処理技術（マカオンコートKS-G）を中国の深圳市和勝金属に技術供与する。今後は北米など、さらなるグローバル展開も視野に入れ、収益拡大を図る。（12月7日）

大同DMS、メキシコ事業拡大 金型一貫製造へ

大同DMソリューション（大同DMS）のメキシコ子会社である大同DMS・メキシコ（DMSX）は、現地での金型一貫製造に向けて17年度下期以降に熱処理および表面処理事業を開始する。現在、DMSXと七宝金型工業、関連会社の松岡特殊鋼が各50%を出資する「DMSモルデス・メキシ

業界のうごき

コ」で大型ダイカスト金型の製造・補修・メンテ事業を行っているが、現地に材料を置き加工できる体制を構築することで事業領域を拡大する。

シラオ市プエルト・インテリオール工業団地の敷地内に、17年度内に建屋を増設し、金型部材の素材となる工具鋼を在庫。熱処理・表面処理加工も可能な設備を導入し18年1-3月には稼働を開始する予定。中期的には製造した金型部材をDMSモルデス・メキシコに提供し、金型製造の現地化を目指す。(1月20日)

孟鋼鉄、三好に新型5面加工機大型材の加工強化

孟鋼鉄は、三好センター(愛知県みよし市)に新型5面加工機を導入、本格稼働を開始した。同センターが強みとする大型金型用鋼の加工領域拡大が目的。地区内で大型鋼塊を扱える数少ない流通として、案件捕捉力の強化につなげ、同センターの生産性を15-20%向上させる計画。

新設した5面加工機は東芝機械製の門形マシニングセンタ「MCW-4624」。加工する鋼塊寸法は高さ900ミリ、長さ3,000ミリ、幅2,100ミリ、重量は40トンまで対応可能。同センターでは大型鋼材加工の特色を明確化しつつ、複合加工の強化や研磨の増強を検討する方針。(1月24日)

名特、北海道に大型工場5億円投じ事業領域拡大

名古屋特殊鋼は、100%子会社のメイトク北海道(北海道勇払郡安平町)において、グループで最大級となる工場を増設する。業容の拡大に伴う能力増強と、名古屋特殊鋼本社工場のBCP対策として代替生産能力の付与が目的。新工場には大型5面加工機をはじめとした設備を導入し、増産および事業領域の拡大を図る。投資額は約5億円で、17年内の完成

を目指す。

メイトク北海道はトヨタ自動車北海道をはじめ道内自動車部品メーカー向けに各種金型を供給している。今回増設する第3工場(仮称)は建屋面積が1,000-1,400平方メートル(予定)。当面は第1期工事として、建屋半分に生産設備を設置し、残りは有効スペースとして製品ストックなどに活用しながら以降の投資に備える計画で、生産能力を3割向上する。金型の増産を主体に、BCP対策としてCVTのベルトの金型など超精密金型を製造する恒温室を設置するほか、道内の大型金型ニーズへの対応を視野に5面加工機も新設する。(1月26日)

白鷺特殊鋼、愛媛支店を開設 四国初の倉庫拠点

白鷺特殊鋼は、四国初の倉庫拠点となる愛媛支店(愛媛県西条市)を開設、1月から営業を開始した。新拠点の開設により、特殊鋼丸棒の即納体制を構築。今後は関連会社を取り扱う自由鍛造品や精密機械加工品の販売を行うとともに、既存販売先の得意商品などの拡販を進める。

愛媛支店は敷地面積が約6,000平方メートル、倉庫建屋が約1,500平方メートルと約800平方メートルの2棟、事務所建屋が約120平方メートル。アマダ製バンドソー4基を設置し、SCやSCMの丸棒をメインに扱う。人員は5人体制でスタートした。(1月16日)

ハヤカワ、水谷製作所を子会社化 鋳鍛造品の最終仕上げ内製化

ハヤカワカンパニーの持ち株会社、ハヤカワは、工作機械や電動工具、自動車部品の加工を手掛ける水谷製作所(愛知県丹羽郡)の全株式を取得しグループ化した。小型部品の精密仕上げ加工などで高い技術力を擁する同社の特性を活かし、シナ

ジー創出を進める。

水谷製作所は、東海圏を事業基盤に工作機械メーカーなどを取引先とし、金属加工業で豊富な実績を持つ。16年6月期の売上高は1億600万円で、従業員数は15人。ハヤカワカンパニーグループでは従来、鍛造品、鋳造品の最終仕上げを同社に委託していたが、今後は同事業の内製化によるコスト削減が見込めるほか、ロストワックス製品を中心としたグループ内加工製品の仕上げ加工も行い、新規受注を拡大する。2-3年後をめどに売上高2億円を目指す。(12月26日)

愛知製鋼、熱間鍛造ライン完成 CVT用、月産能力34万個

愛知製鋼は、鍛造事業リエンジンの第2期工事として鍛造工場(愛知県東海市)に建設していたCVT用熱間鍛造プレスライン2ラインが完成した。設備投資額は約38億円。世界トップクラスの高速自動鍛造ができ、生産能力は2ライン合計で月間34万個。今後は新設備を活用し、自動車向けの高品質・高精度なCVT用シャフト部品を安定供給していく。

新ラインは生産性が既存設備比で60%増と、世界トップクラスの高速自動鍛造ができるのが最大の特徴。また、熱間鍛造時の保有エネルギーを利用した熱処理ができるFIA炉を採用し、既存設備に比べ使用エネルギーは約70%削減、生産リードタイムは、物流改善効果もあり約50%短縮を見込んでいる。今回の設備建設により、同社のCVT用シャフト部品全体の生産能力は月間47万個となった。(2月2日)

神鋼・加古川、第3高炉火入れ 生産構造改革最終ステージに

神戸製鋼所は、加古川製鉄所(兵庫県加古川市)で改修を終えた第3高炉の火入れ式を行い、再び稼働を

業界のうごき

開始した。コスト競争力強化を狙いと
した第6連続铸造設備（ブルーム用）
の新設、第2分塊工場の増強、第2
脱リン炉の設置など17年10月末予定の
神戸製鉄所（兵庫県神戸市）の高炉
休止・加古川への上工程集約に向け
た体制整備の一環となるもので、生
産構造改革は最終ステージに入った。

新第3高炉は鉄皮など旧設備の一
部を活用し、高炉改修では異例の90
日という短工期で実施。炉容積は
4,500立方メートルから4,844立方メ
ートルに約1割拡充。羽口は38本、出
銑口は4本で、フリースタンディング
式。出銑比2・0（日産約1万ト
ン強）を目線に、徐々に稼働率を高
めていく。
(12月27日)

新日鉄住金、日新を子会社化へ 公取委が承認 TOB実施

新日鉄住金の日新製鋼株式取得に
よる子会社について、公正取引委員
会が承認した。表面処理鋼板の溶融
亜鉛・アルミ・マグネシウム合金
めっき鋼板とステンレス冷延鋼板に
ついて、独占禁止法上の問題解消措
置を条件に認めた。

新日鉄住金は16年2月に8%強を
出資する日新製鋼の子会社化を発表
しており、本年2月に日新製鋼に対
するTOB（株式公開買い付け）を実
施する。海外の独禁当局からはすで
に認可を受けている。

公取委ではステンレス鋼板と溶融
亜鉛・アルミニウム・マグネシウム
めっき鋼板の2品目について独禁法
上の審査を行い、神鋼、日本冶金な
どへのライセンス、取引譲渡などを
条件に子会社化を承認。これを受け
て両社間の作業は大きく前進するこ
とになる。
(1月31日)

東北特殊鋼、インド進出 特殊鋼鋼材の製販担う

東北特殊鋼はインドに特殊鋼鋼材

の製造販売子会社を5月末に設立す
る。資本金は8億インドルピー（約
13億円）。精密加工品ではタイに海
外拠点を持つが、特殊鋼鋼材として
は初の海外事業となる。

100%子会社「トウホク・ステー
ル・インディア」は特殊鋼鋼材の製
造と販売を行う。所在地はアードラ
・プラデシュ州スリシティを予定
し、代表は山田裕樹氏が務める。コ
スト競争力強化と、成長が見込まれ
るインドを中心とした市場の拡大が
必要と判断した。背景には日系自動
車メーカーの海外進出と部品の現地
調達化の加速がある。加えて国内市
場が縮小傾向にあり、既存の国内製
造・輸出販売だけでは受注の維持、
拡大が見込めず、価格競争も限界に
達してきているため。
(1月31日)

日新製鋼、ステンレス鋼管事業 完全子会社に移管

日新製鋼は、ステンレス鋼管製造
事業に関する資産・権利義務を会社
分割により、4月1日付で完全子会
社の日新製鋼ステンレス鋼管（NSST）
に移管する。14年4月にグループ内
再編として、中核事業の一つであ
ったステンレス鋼管事業を分離独立
する形でNSSTが発足。再編スピー
ドと事業構造改革の早期着手優先の
ため、日新が引き続き製造設備など
を保有していた。

今回、日新が保有するステンレス
鋼管製造事業に関する設備などの資
産を分割し、NSSTに移管すること
で、グループのステンレス鋼管事業
の競争力強化につなげる。
(12月28日)

日立金、小型ブロックコア開発 17年度下期量産へ

日立金属は、鉄道車両の補助電源
などに使用される高周波トランス
（変圧器）をさらに小型軽量化し、
電力変圧の高効率化も可能とするブ

ロックコアを新たに開発した。1月
からサンプル供給を行い、17年度の
下期からの量産を目指す。

同社ではこれまでファインメット
やアモルファス合金の技術特性を応
用したコア製品を製造。今回、大容
量トランス用の大型コアの小型化な
どに向けて、ファインメットブロッ
クコア「F3BC」、アモルファスブ
ロックコア「AMBC」シリーズを新
開発した。

「F3BC」はロ型に組むことで大型
のコアとして組み立てられ、100キ
ロワット超絶トランスの小型化を図
ることができる。「AMBC」は容易
に大型のマルチギャップコアを組み
立てることができ、フリンジング磁
束という鉄損の軽減や発熱の抑制が
可能という。
(1月11日)

不二越、再び拡大成長路線へ 17年度ロボット事業核に

不二越は売上高4,000億円、営業利
益600億円の長期ビジョン実現に向
けて、2017年度から再び拡大成長路
線を目指す。16年度は為替の円高な
どが響き4年ぶりの営業減益にな
ったが、中長期的かつグローバルに事
業拡大が期待できるロボットを核に
した総合機械メーカーを目指し、開
発と営業体制を強化。17年度は売上
高2,300億円（前年度比8.8%増）、
営業利益160億円（43.6%増）を目
指す。

営業や開発の強化、ボリュームと
コスト、地産地消を見据えた生産体
制の拡充といった先行投資を実施し
業績向上に取り組む。中核事業のロ
ボット事業は、小型ロボットのライ
ンアップを拡充する。夏頃までに適
応範囲が広い画期的なロボットと、
それを活用した自動化システムを市
場投入する計画。
(1月19日)

文責＝産業新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
	工具鋼	機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'15 暦年	247,346	4,645,724	3,564,630	8,210,354	431,529	986,169	2,755,748	615,811	4,953,652	674,565	10,417,474	18,875,174
'16 暦年	242,925	4,713,936	3,593,009	8,306,945	411,650	939,192	2,784,129	590,795	5,485,686	676,186	10,887,638	19,437,508
'14 年度	267,588	4,796,279	3,938,090	8,734,369	436,613	1,028,923	2,973,816	680,990	5,806,585	669,583	11,596,510	20,598,467
'15 年度	241,082	4,638,379	3,487,357	8,125,736	421,420	962,553	2,725,384	593,245	5,048,694	694,055	10,445,351	18,812,169
'16. 1-3月	61,117	1,168,629	869,464	2,038,093	97,863	227,151	697,857	139,372	1,344,876	183,801	2,690,920	4,790,130
4-6月	60,482	1,141,891	901,829	2,043,720	105,905	236,311	670,371	152,548	1,274,279	176,142	2,615,556	4,719,758
7-9月	61,195	1,169,049	880,846	2,049,895	101,698	229,877	712,086	146,293	1,358,925	175,079	2,723,960	4,835,050
10-12月	60,131	1,234,367	940,870	2,175,237	106,184	245,853	703,815	152,582	1,507,606	141,162	2,857,202	5,092,570
'15年 11月	19,260	390,478	300,827	691,305	31,554	77,314	208,399	49,438	427,479	57,804	851,988	1,562,553
12月	20,151	369,137	288,879	658,016	35,142	72,543	242,287	44,291	397,852	51,983	844,098	1,522,265
'16年 1月	19,652	384,132	272,319	656,451	31,459	68,014	236,824	40,581	476,198	60,238	913,314	1,589,417
2月	20,714	381,932	292,531	674,463	31,851	77,302	234,331	50,867	419,546	54,824	868,721	1,563,898
3月	20,751	402,565	304,614	707,179	34,553	81,835	226,702	47,924	449,132	68,739	908,885	1,636,815
4月	20,509	371,936	284,602	656,538	33,144	72,342	208,460	41,618	389,380	60,765	805,709	1,482,756
5月	20,690	392,171	315,565	707,736	38,470	82,279	231,127	55,849	476,560	55,996	940,281	1,668,707
6月	19,283	377,784	301,662	679,446	34,291	81,690	230,784	55,081	408,339	59,381	869,566	1,568,295
7月	19,655	408,897	311,084	719,981	36,239	83,038	237,034	50,919	424,758	54,747	886,735	1,626,371
8月	18,634	365,393	260,879	626,272	33,735	69,444	229,562	48,684	437,022	68,397	886,845	1,531,751
9月	22,906	394,759	308,883	703,642	31,724	77,395	245,490	46,690	497,145	51,935	950,379	1,676,927
10月	20,549	407,234	312,835	720,069	37,585	83,172	238,329	47,459	535,872	49,990	992,407	1,733,025
11月	18,433	402,961	311,059	714,020	37,089	80,548	225,357	54,963	463,212	45,569	906,738	1,639,191
12月	21,149	424,172	316,976	741,148	31,510	82,133	240,129	50,160	508,522	45,603	958,057	1,720,354
前月比	114.7	105.3	101.9	103.8	85.0	102.0	106.6	91.3	109.8	100.1	105.7	105.0
前年同月比	105.0	114.9	109.7	112.6	89.7	113.2	99.1	113.3	127.8	87.7	113.5	113.0

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'15 暦年	270,761	5,828,923	1,081,718	4,123,192	1,508,876	6,073,343	18,886,813
'16 暦年	309,783	5,756,283	989,700	4,173,510	2,001,825	6,218,161	19,449,262
'14 年度	304,098	6,106,807	1,393,173	4,234,850	2,176,351	6,393,357	20,608,636
'15 年度	269,744	5,701,404	1,009,207	4,171,024	1,580,711	6,091,727	18,823,817
'16. 1-3月	82,013	1,372,386	252,736	1,061,788	457,860	1,566,270	4,793,053
4-6月	64,455	1,452,764	243,740	1,020,021	426,323	1,515,372	4,722,675
7-9月	70,468	1,419,552	235,702	1,053,025	505,042	1,554,264	4,838,053
10-12月	92,847	1,511,581	257,522	1,038,676	612,600	1,582,255	5,095,481
'15年 11月	16,188	495,654	80,439	345,923	101,009	524,311	1,563,524
12月	21,266	447,736	94,294	329,381	143,270	487,289	1,523,236
'16年 1月	17,173	408,955	94,828	347,752	177,400	544,280	1,590,388
2月	34,629	463,368	83,439	341,773	142,082	499,578	1,564,869
3月	30,211	500,063	74,469	372,263	138,378	522,412	1,637,796
4月	28,306	461,199	77,545	331,767	108,276	476,634	1,483,727
5月	17,578	499,109	85,861	347,689	159,389	560,052	1,669,678
6月	18,571	492,456	80,334	340,565	158,658	478,686	1,569,270
7月	19,171	512,102	77,483	364,210	147,560	506,816	1,627,342
8月	22,947	405,498	74,800	356,236	152,181	521,060	1,532,722
9月	28,350	501,952	83,419	332,579	205,301	526,388	1,677,989
10月	47,381	500,006	93,949	350,625	203,637	538,398	1,733,996
11月	21,757	501,641	73,282	346,353	184,156	512,973	1,640,162
12月	23,709	509,934	90,291	341,698	224,807	530,884	1,721,323
前月比	109.0	101.7	123.2	98.7	122.1	103.5	104.9
前年同月比	111.5	113.9	95.8	103.7	156.9	108.9	113.0

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'15 暦年	315,222	3,799,665	4,044,736	7,844,401	251,940	451,168	3,015,291	172,597	122,078	35,288	4,048,362	12,207,985	
'16 暦年	318,284	3,793,728	4,159,973	7,953,701	249,025	502,736	3,043,035	167,359	100,734	40,543	4,103,432	12,375,417	
'14 年度	315,143	3,796,580	4,075,971	7,871,971	241,867	459,359	3,036,399	185,102	126,093	28,652	4,077,472	12,264,586	
'15 年度	319,413	3,811,785	4,049,269	7,861,054	265,198	443,260	3,005,738	169,510	114,666	35,504	4,033,876	12,214,343	
'16 年 4月	26,373	314,236	349,979	664,215	20,226	43,038	247,267	13,185	9,273	2,983	335,972	1,026,560	
5月	24,731	305,369	347,226	652,595	17,145	39,488	246,236	14,174	7,856	3,143	328,042	1,005,368	
6月	27,378	312,318	351,611	663,929	22,393	43,987	250,117	14,144	10,431	3,517	344,589	1,035,896	
7月	27,019	323,589	349,466	673,055	22,705	43,615	253,680	13,765	9,230	3,347	346,342	1,046,416	
8月	24,511	294,207	335,572	629,779	19,677	40,224	244,661	12,445	7,045	3,011	327,063	981,353	
9月	26,691	319,571	350,595	670,166	22,155	44,253	269,838	14,588	6,690	4,102	361,626	1,058,483	
10月	27,026	323,739	351,228	674,967	20,091	45,889	258,254	13,248	7,822	4,156	349,460	1,051,453	
11月	27,598	327,455	354,966	682,421	22,487	47,041	257,600	14,510	8,280	3,582	353,500	1,063,519	
12月	25,254	321,491	352,053	673,544	20,563	46,163	253,014	14,600	7,317	3,698	345,355	1,044,153	
前月比	91.5	98.2	99.2	98.7	91.4	98.1	98.2	100.6	88.4	103.2	97.7	98.2	
前年同月比	97.4	101.7	106.6	104.2	103.0	128.5	101.3	97.3	85.0	126.6	103.9	104.0	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'15 暦年	8,514	219,348	126,553	345,901	26,641	37,142	126,895	26,973	173,408	26,569	417,628	772,043	
'16 暦年	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190	
'14 年度	8,552	212,735	120,601	333,336	24,229	35,151	116,398	25,803	181,594	33,355	416,530	758,418	
'15 年度	6,741	212,593	129,143	341,736	25,337	35,403	107,219	24,867	151,569	34,374	378,769	727,246	
'16 年 4月	7,860	223,881	129,602	353,483	28,186	33,342	109,401	25,890	156,042	41,889	394,750	756,093	
5月	8,298	224,516	135,890	360,406	30,236	32,464	119,892	29,300	180,315	36,242	428,449	797,153	
6月	8,081	228,413	141,867	370,280	29,233	33,565	118,640	29,992	160,576	35,517	407,523	785,884	
7月	7,748	237,371	140,806	378,177	26,677	36,183	111,134	28,903	153,789	31,247	387,933	773,858	
8月	8,399	236,148	142,859	379,007	32,170	32,650	122,606	31,361	174,678	46,840	440,305	827,711	
9月	9,457	244,310	139,352	383,662	24,745	35,009	121,784	25,600	160,916	34,502	402,556	795,675	
10月	8,109	239,292	137,912	377,204	28,416	35,078	115,799	27,310	184,631	30,540	421,774	807,087	
11月	7,385	228,513	136,701	365,214	26,434	33,138	121,877	28,367	151,869	24,103	385,788	758,387	
12月	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190	
前月比	92.6	104.7	100.0	102.9	89.3	110.7	100.3	95.7	126.2	108.9	110.8	106.8	
前年同月比	80.3	109.0	108.0	108.6	88.6	98.8	96.3	100.7	110.5	98.8	102.4	104.9	

出所: 2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'15 暦年	61,896	202,211	146,758	348,969	13,423	52,972	134,135	11,968	11,624	1,683	225,805	636,670	
'16 暦年	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883	
'14 年度	58,240	210,206	147,346	357,552	12,927	49,435	140,051	13,509	10,900	1,581	228,403	644,195	
'15 年度	61,699	200,931	139,603	340,534	13,258	53,426	135,679	14,121	11,473	1,763	229,720	631,953	
'16 年 4月	60,083	201,595	144,132	345,727	12,230	62,853	132,259	13,812	11,048	1,643	233,845	639,655	
5月	60,399	210,309	150,414	360,723	13,197	66,022	134,666	15,016	10,686	1,616	241,203	662,325	
6月	60,246	203,056	148,962	352,018	11,937	65,758	133,755	14,243	10,337	1,283	237,313	649,577	
7月	60,269	195,893	148,538	344,431	11,908	65,286	133,800	13,361	9,731	1,638	235,724	640,424	
8月	60,637	197,439	147,882	345,321	12,625	66,207	130,820	14,089	10,310	1,242	235,293	641,251	
9月	60,554	192,445	149,157	341,602	13,843	64,543	135,130	13,606	10,119	1,666	238,907	641,063	
10月	58,947	190,328	146,710	337,038	14,009	62,515	133,971	13,287	10,427	1,627	235,836	631,821	
11月	58,511	185,720	143,032	328,752	13,075	60,971	131,913	12,718	10,671	1,777	231,125	618,388	
12月	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883	
前月比	99.5	100.9	99.2	100.2	111.1	96.6	98.3	93.0	100.6	91.1	98.4	99.4	
前年同月比	94.1	92.7	96.7	94.4	108.2	111.2	96.7	98.8	92.4	96.2	100.7	96.6	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'15 暦年	57,172	445,437	540,719	986,156	188,707	1,052,226	129,239	1,370,172	11,388	5,291,875	5,303,263	7,716,762
'16 暦年	43,539	412,511	530,319	942,830	182,032	1,015,309	146,993	1,344,335	10,111	6,088,749	6,098,861	8,429,565
'14 年度	69,904	507,842	583,116	1,090,958	184,341	1,157,029	142,126	1,483,496	13,457	6,085,408	6,098,865	8,743,223
'15 年度	39,898	415,754	516,291	932,045	186,734	1,009,771	141,761	1,338,266	10,648	5,375,494	5,386,142	7,696,351
'16年 3月	3,853	34,135	47,027	81,162	15,497	89,351	15,998	120,845	949	601,841	602,791	808,651
4月	7,194	33,903	51,361	85,264	15,868	82,171	12,702	110,741	758	410,418	411,176	614,376
5月	2,701	29,961	46,240	76,200	14,543	75,948	10,420	100,911	882	481,216	482,098	661,910
6月	3,491	32,234	45,619	77,853	15,858	84,363	13,692	113,913	869	482,996	483,865	679,122
7月	3,753	36,067	46,943	83,010	18,173	92,306	11,862	122,341	1,235	551,466	552,701	761,806
8月	3,039	34,908	41,643	76,551	15,884	84,221	14,234	114,338	710	537,722	538,433	732,361
9月	2,956	33,816	41,977	75,793	13,508	92,543	12,038	118,809	1,127	548,881	550,008	746,846
10月	3,679	37,046	48,104	85,149	17,747	90,269	10,098	118,114	913	548,009	548,921	755,864
11月	3,417	40,396	41,884	82,280	12,606	78,386	11,405	102,397	620	526,767	527,387	715,481
12月	3,401	39,858	46,312	86,169	15,791	90,869	8,256	114,916	728	505,044	505,773	710,260
前月比	99.5	98.7	110.6	104.7	125.3	115.9	72.4	112.2	117.5	95.9	95.9	99.3
前年同月比	109.4	110.3	104.5	107.1	116.0	108.6	85.1	107.4	109.3	116.1	116.1	113.4

出所：財務省関税局「貿易統計」から作成。

輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					計	快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'15 暦年	3,699	4,890	524	13,359	10,752	135,755	13,244	173,634	64	18,660	774,060	792,720	975,009
'16 暦年	3,441	3,369	666	10,616	11,054	172,316	14,549	209,200	70	16,478	857,976	874,454	1,090,534
'14 年度	6,053	2,369	625	12,085	13,268	145,697	15,267	186,942	77	18,717	758,538	777,255	972,696
'15 年度	3,663	5,131	566	12,821	10,742	149,710	13,631	187,471	70	17,640	826,552	844,192	1,040,527
'16年 3月	449	322	93	872	1,091	17,616	1,325	20,998	17	2,692	52,982	55,674	77,460
4月	261	253	34	789	1,045	12,261	1,145	15,274	-	1,664	79,187	80,851	96,640
5月	342	244	26	767	1,049	14,500	1,153	17,495	-	1,808	44,541	46,349	64,430
6月	179	348	66	785	894	13,565	1,561	16,871	4	1,818	61,781	63,599	81,000
7月	265	254	32	1,001	764	11,755	1,457	15,009	-	754	51,706	52,461	67,988
8月	313	314	51	778	735	10,698	1,150	13,412	23	2,177	94,890	97,067	111,128
9月	232	352	38	832	884	12,053	1,071	14,878	-	414	72,990	73,403	88,865
10月	231	327	47	1,142	1,131	18,641	1,202	22,164	21	1,079	78,567	79,647	102,389
11月	241	267	56	1,115	754	16,578	1,163	19,666	-	2,398	62,581	64,979	85,153
p 12月	329	227	127	896	1,007	16,256	1,188	19,474	4	675	81,708	82,383	102,418
前月比	136.7	84.9	227.7	80.3	133.6	98.1	102.2	99.0	-	28.2	130.6	126.8	120.3
前年同月比	92.0	20.3	289.9	82.0	89.5	121.5	145.6	118.4	24.8	35.0	106.8	105.0	106.2

出所：財務省関税局「貿易統計」から作成。

(注) p:速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輦生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	フルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック				
'15 暦年	9,278,321	1,309,749	4,578,078	466,776	5,046,510	817,234	-	164,166	115,473	12,776	100,891	54,189	14,806
'16 暦年	9,204,590	1,200,961	4,634,097	383,959	4,970,260	808,303	-	153,067	109,249	11,580	102,600	56,089	12,500
'14 年度	9,590,733	1,364,318	4,490,724	498,061	5,297,111	831,464	7,589	171,448	114,356	14,384	97,805	60,752	16,847
'15 年度	9,187,599	1,279,403	4,582,525	447,339	4,937,734	808,174	-	157,736	114,320	12,288	101,838	54,576	13,990
'16年 3月	889,595	120,074	404,004	42,286	635,901	100,754	-	13,577	9,724	890	8,951	11,525	1,162
4月	643,996	88,437	369,131	33,576	324,747	54,435	-	12,120	7,587	914	7,963	2,814	992
5月	656,911	92,611	302,682	27,790	331,587	55,307	-	11,012	8,000	795	7,850	2,386	1,044
6月	804,299	112,828	408,079	36,284	420,911	75,488	-	13,583	10,097	1,028	8,498	5,422	1,091
7月	807,247	105,568	413,619	33,263	415,605	66,167	-	12,994	9,487	1,005	8,919	2,854	1,044
8月	658,602	89,083	327,291	27,186	336,661	56,150	-	12,194	8,322	872	8,725	3,107	981
9月	840,990	106,153	435,028	36,131	476,769	78,207	-	14,266	10,497	1,182	8,437	4,849	1,029
10月	r 781,253	r 95,104	423,480	27,727	r 378,740	62,917	-	13,566	9,575	1,161	8,783	3,175	939
11月	840,439	100,163	422,981	27,828	417,600	74,731	-	13,376	10,059	1,138	8,337	4,372	1,079
12月	781,378	91,264	422,836	30,380	397,536	63,387	-	13,199	8,767	929	8,898	7,128	1,119
前月比	93.0	91.1	100.0	109.2	95.2	84.8	-	98.7	87.2	81.6	106.7	163.0	103.7
前年同月比	104.2	92.8	102.7	86.0	107.6	104.8	-	111.2	98.4	103.9	109.4	186.9	104.4

出所：四輪自動車生産・四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産・産業車輦生産は『経済産業省生産動態統計』、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正值

特殊鋼需給統計総括表

2016年12月分

鋼種別	月別		実数 (t)	前月比 (%)	前年 同月比(%)	1995年基準 指数(%)		
	項目							
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産		21,149	114.7	105.0	95.1		
	鋼材輸入実績		329	136.7	92.0	223.8		
	販売業者	受入計		24,980	92.0	89.5	121.4	
		販売計		25,254	91.5	97.4	123.9	
		うち消費者向		18,228	90.2	96.0	194.2	
		在庫計		58,237	99.5	94.1	161.6	
	鋼材輸出船積実績		3,401	99.5	109.4	95.0		
	生産者工場在庫		6,840	92.6	80.3	61.0		
	総在庫		65,077	98.8	92.4	138.0		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産		741,148	103.8	112.6	136.5	
鋼材輸入実績			32,652	106.4	116.8	2142.6		
販売業者		受入計		674,114	100.0	104.0	204.1	
		販売計		673,544	98.7	104.2	205.4	
		うち消費者向		429,416	97.7	99.2	200.9	
		在庫計		329,322	100.2	94.4	137.0	
鋼材輸出船積実績			86,169	104.7	107.1	509.1		
生産者工場在庫			375,806	102.9	108.6	125.5		
総在庫			705,128	101.6	101.5	130.7		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産		31,510	85.0	89.7	74.0	
	鋼材輸入実績		227	84.9	20.3	-		
	販売業者	受入計		22,015	102.1	105.4	147.5	
		販売計		20,563	91.4	103.0	138.0	
		うち消費者向		4,541	99.7	99.1	36.6	
		在庫計		14,527	111.1	108.2	457.1	
	鋼材輸出船積実績		15,791	125.3	116.0	124.8		
	生産者工場在庫		23,596	89.3	88.6	73.4		
	総在庫		38,123	96.5	95.2	108.0		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産		240,129	106.6	99.1	88.9	
鋼材輸入実績			19,474	99.0	118.4	499.6		
販売業者		受入計		250,798	98.1	99.8	167.0	
		販売計		253,014	98.2	101.3	169.4	
		うち消費者向		56,349	92.1	102.1	98.9	
		在庫計		129,697	98.3	96.7	117.3	
鋼材輸出船積実績			90,869	115.9	108.6	89.4		
生産者工場在庫			122,241	100.3	96.3	83.1		
総在庫			251,938	99.3	96.5	97.7		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産		50,160	91.3	113.3	56.6	
	販売業者	受入計		13,710	98.3	94.3	81.5	
		販売計		14,600	100.6	97.3	88.2	
		うち消費者向		13,605	95.7	93.7	95.6	
		在庫計		11,828	93.0	98.8	51.7	
	生産者工場在庫		27,149	95.7	100.7	120.8		
	総在庫		38,977	94.9	100.1	85.9		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産		508,522	109.8	127.8	217.1	
		販売業者	受入計		7,383	86.6	83.5	59.6
			販売計		7,317	88.4	85.0	59.3
うち消費者向				5,510	89.7	103.0	102.4	
在庫計				10,737	100.6	92.4	81.0	
生産者工場在庫			191,633	126.2	110.5	114.4		
総在庫			202,370	124.5	109.4	111.9		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産		127,736	101.3	102.6	54.5	
		販売業者	受入計		47,648	96.8	120.2	384.7
			販売計		49,861	98.5	128.4	403.8
	うち消費者向			34,420	100.1	97.6	639.4	
	在庫計			60,535	96.5	110.8	456.9	
	生産者工場在庫		62,925	109.9	98.8	37.6		
	総在庫		123,460	102.9	104.3	68.3		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計		1,720,354	105.0	113.0	127.7	
		鋼材輸入実績計		102,418	120.3	106.2	1295.0	
		販売業者	受入計		1,040,648	99.1	102.9	182.0
販売計				1,044,153	98.2	104.0	183.5	
うち消費者向				562,069	96.8	99.2	166.9	
在庫計				614,883	99.4	96.6	139.0	
鋼材輸出船積実績計			710,260	99.3	113.4	211.6		
生産者工場在庫			810,190	106.8	104.9	106.3		
総在庫			1,425,073	103.5	101.2	118.3		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算

(注) 1.熱間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

2.鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。

3.総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(平成28年12月1日～平成29年1月31日)

平成29年新年賀詞交換会 (1月5日)

場 所：東京・ホテルニューオータニ

参加者：約700名

編集委員会

小委員会 (12月15日)

5月号特集「高張力鋼板(ハイテン)と成形加工技術(仮題)」の編集内容の検討

本委員会 (1月19日)

5月号特集「高張力鋼板(ハイテン)と成形加工技術(仮題)」の編集方針、内容の確認

市場開拓調査委員会

講演会 (12月8日)

演 題：鉄スクラップ価格の市場動向

講 師：(株)鉄リサイクリング・リサーチ
代表取締役 林 誠一 氏

流通委員会

平成28年度第1回委員会 (12月27日)

- ①流通委員会の活動経緯及び現状について
- ②特殊鋼種別の28年10～12月実績見込み及び29年1～3月需要見通しについての意見交換
- ③「金属産業取引適正化ガイドライン」検討会への流通関係の対応について
- ④今後の流通委員会の活動方針について

説明会 (12月27日)

演 題：平成28年度第4・四半期特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省製造産業局金属課
課長補佐 岡田 治 氏

参加者：36名

流通海外展開委員会 (12月19日)

- ①これまでの委員会活動経過報告
- ②今後の委員会活動方針の検討
- ③委員会メンバー構成の検討
- ④委員会規程見直しの検討

[大阪支部]

平成29年新年賀詞交換会 (三団体共催、1月5日)

場 所：リーガロイヤルホテル

参加者：約760名

三団体共催講演会 (12月5日)

演 題：「あくなき挑戦」

講 師：森末 慎二 氏

参加者：86名

三団体責任者会議 (12月5日)

賀詞交換会他、本年度下期共催事業検討他

[名古屋支部]

平成29年新年賀詞交換会 (三団体共催、1月6日)

場 所：名古屋観光ホテル

参加者：433名

部会

・企画部会 (1月25日)

- ①名古屋支部総会の日程について
- ②総会後の講演会の講師選定について
- ③次期正・副部会長選出について

～昨年に引き続き、高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展～

第4回 高機能金属展

会期：2017年4月5日(水)～7日(金)

時間：10:00～18:00 8日(金)のみ17:00終了 会場：東京ビッグサイト

主催：リードエグジビションジャパン(株) 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部は、「選ばれる特殊鋼」を目指して、特殊鋼のPRの強化を図っています。その一環として、市場開拓調査委員会で検討した結果、昨年に引き続き『第4回高機能金属展』に出展することにしました。

特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部、会員会社の紹介、会員会社の出展ブース会場案内図、当倶楽部出版物配布を行います。

是非ご来場ください。会場にてお待ちしております。

◆特殊鋼倶楽部ブースNo.：9-29



◆倶楽部ブース内会員会社展示

- ・小山鋼材株式会社
- ・中川特殊鋼株式会社
- ・ヤマト特殊鋼株式会社

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 24社</p> <p>販売業者 100社</p> <p>合 計 124社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>(株)神 戸 製 鋼</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 新 製 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹 内 ハ ガ ネ 商 行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デ ル タ ス テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 マ テ リ ア ル (株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長 谷 川 ハ ガ ネ 店</p> <p>(株)ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 商 事 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ</p>	<p>(株)平 井</p> <p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)ブ ル ー タ ス</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン チ ュ ー プ ラ ー</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

日本は、産業を発展させ、人々の暮らしも豊かな先進国としての地位を築いてきました。そのため日本は、石油などの化石燃料を中心に、世界でも上位のエネルギー消費国になっていますが、島国であり、エネルギー資源も乏しいため、エネルギー資源の大部分を輸入に依存していることは、ご存じのとおりです。それだけに産業界の省エネルギーへの取組みは進んでおり、年々増加していたエネルギー使用量は減少しています。加えて、電力のエネルギー源として筆頭だった原子力は、震災後ほぼゼロになり、他のエネルギー源に取って代わることとなりますが、その大部分は石油では無く、価格面や効率的に電力に変換できる技術が進んだLNGや石炭、加えて太陽電池などの再生エネルギーになってきています。

そのような中、今号のテーマ「エネルギー産業で活躍する特殊鋼」は、特殊鋼がどれほどエネルギー産業界で使用され、求められた性能を出す鋼材を各社が開発し、その設備の効率性向上に役

立っているかを知っていただけるよう、化石エネルギーから再生エネルギーまで、またボイラーなどの発電設備のみならず、掘削、運搬、備蓄を含めた幅広いテーマで多くの特殊鋼を紹介できるように企画しました。今回の特集記事が、少しでも読者の皆様の知識を深め、これからの業務にお役に立てば幸いですと願っております。また、今回ご紹介した他にも、残念ながらテーマアップ出来なかった、陰で活躍している特殊鋼はまだまだ有り、その幅広さと奥深さに感嘆すると共に、今後ご紹介できる機会が来ることを期待しております。

最後になりましたが、本号の作成にあたり、編集委員および事務局の皆様にはいつも以上に御苦勞をおかけし、大変お世話になりました。並びに、今回ご寄稿いただきました執筆者の皆様方に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

〔新日鐵住金(株) 本社 棒線技術部 棒線技術室 田代 龍次〕

特 集 / 1GPaを超える高張力鋼板(超ハイテン)と成形加工技術

- I. 総論
- II. 高張力鋼板と成形加工技術
- III. 高張力鋼板の成形に用いられる金型用鋼とその周辺技術
- IV. 会員会社の高張力鋼板と成形に貢献する製品

7月号特集予定…シミュレーション技術

特 殊 鋼

第 66 卷 第 2 号
© 2 0 1 7 年 3 月
平成29年2月25日 印刷
平成29年3月1日 発行

定 価 1,230円 送 料 100円
1年 国内7,300円 (送料共)

発 行 所
一般社団法人 特殊鋼倶楽部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 小 澤 純 夫
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。