

2023年鉄鋼生産技術の歩み

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2023

(一社) 日本鉄鋼協会 生産技術部門

The Technical Society, the Iron and Steel Institute of Japan

1 日本鉄鋼業の概況

2023年の世界経済、日本経済、世界鉄鋼業と日本鉄鋼業について振り返る。世界経済は、ウクライナ問題、中国経済減速、中東情勢悪化という経済三重苦を抱え、回復ペースは依然として遅い。世界全体の対前年実質成長率は、2022年の3.5%から、2023年は3.1%へと低下、2024年も3.1%となる見込みである¹⁾。地域別にみると、2023年は、アメリカ+2.5%、欧州連合+0.5%、中国+5.2%、インド+6.7%、日本+1.9%と推定される。不動産バブル崩壊からの金融危機にあり、20%超と高い若年失業率の中国経済や²⁾、沈静化の兆しのない世界の軍事情勢からも、世界経済は明るい見通しが持てる状態とは言い難い。インフラ投資にまで及んでいる米中覇権争い³⁾も止む気配は依然としてない。

日本経済は、1990年代後半より約30年間ほぼ水平飛行を続けている(名目GDP(自国通貨)の推移⁴⁾より)。国民負担率が5割弱まで高まる中⁵⁾、実質賃金も20ヶ月連続で減少し⁶⁾、日本はG7(先進7ヶ国)中、相対的貧困率が最も高くなった⁷⁾。デフレ完全脱却のための総合経済対策⁸⁾が打出されたものの、賃上げ・投資促進など民間の施策も必要であり、需要創出効果を注視していく必要がある。デフレ、即ち、需要不足の長期化で供給力の低下が顕在化し、外国人労働力の導入による対応も進むが、先行する欧州のような治安悪化等による社会の混乱も懸念される。内需型の日本経済に有効である需要創出の高進によって力強い成長へ移行し、デフレを完全に脱却することが望まれる。

2023年の粗鋼生産量は、世界合計で、約18.9億トン(2022年比0.0%)と対前年比で横ばい、国別粗鋼生産量では、第1位が中国、第2位がインド、第3位が日本であった⁹⁾。この

序列は2018年以来変わっていない。中国に関しては、2020年が粗鋼生産量のピークとなり、2年連続減少の後、2023年は前年並みとなった。鉄鋼の世界的な能力過剰は6億トンを超えており¹⁰⁾、この問題を協議する多国間の枠組み「鉄鋼グローバル・フォーラム(GFSEC)」も引き続き参加国拡大を試みているが¹¹⁾、中国、インドの再参加の見通しは報じられておらず、市況の軟化懸念に大きな変化は期待できない状況である。

2023年、日本鉄鋼業の粗鋼生産量は8,700万トンとなり、2022年比で2.5%減少した¹²⁾。2020年はコロナ禍により大幅減(8,319万トン)、リーマンショック後の生産量すら下回ったが、2021年は経済の回復に伴い増加し(9,633万トン)、年間約1億トンレベルまであと一歩のところまで回復した。しかしながら、その後2022年から2年連続で減少した形である¹²⁻¹⁵⁾。2024年度は、内需は横ばい圏内で推移、外需は前年並みに留まると見込まれ、粗鋼生産量も横ばいとなる見通しである¹⁶⁾。

2023年度の日本鉄鋼業の粗鋼生産量は、半導体不足等の供給制約が解消された自動車部門向け中心に国内鋼材需要が回復し、また、外需も増加する見込み¹⁶⁾だが、他の需要分野が振るわず、全体としては前年度割れとなる見込みである¹⁶⁾。一方、高炉各社の業績は、数量減や原料価格高止まりもあった中、構造改革の進展と鋼材価格の値上げで、3年続きの高利益水準で推移した。鋼材内需の伸びが長期的に見込めない状況に変化は見られないことから、国内設備の構造改革として高炉休止や製造拠点集約等が2023年も進展した。その一方で、カーボンニュートラル実現を目指す挑戦的な研究開発には、より一層のリソースが投入されており、低CO₂鋼材の販売も開始された。データサイエンス活用もすでに現場に定着、さらなる発展が進められている。



以下に、2023年の日本鉄鋼業を取り巻く環境について、鉄鋼原料の動向、鉄鋼需要産業の動向、日本および世界の粗鋼生産の状況等の観点から概要をまとめる。

1.1 鉄鋼原料の動向

2023年の三大メジャー(リオティント、BHP、ヴァーレ)の鉄鉱石生産量の合計は、2022年比2.2%増の8億6,539万トンとなった¹⁷⁻¹⁹。鉄鉱石および原料炭の輸入価格年間平均値の長期推移を図1に示す。鉄鉱石の価格は2022年に引き続き下落した。2022年に急騰した原料炭は一転して下落した^{20,21}。鉄鉱石のスポット価格(Fe 62%、中国着価格)は、2023年は概ね110～130ドル/トンで推移したが、中国、インドの堅調な需要を背景に後半上昇傾向を示している。また、2022年急騰した原料炭のスポット価格は、2023年は鉄鋼需要が世界的に停滞傾向であることから下落傾向であるが、インドの原料炭輸入が増加している事もあり、引き続き高値圏で推移している^{22,23}。東京地区の鉄スクラップ(H2) 価格の年間平均値の推移を図2に示す²⁴。2023年はスクラップ価格の変動が小さく、夏場に一時下落したものの、2023年後半は38,000円/トン前後で安定的に推移した。

1.2 鉄鋼需要産業の動向

(一社)日本鉄鋼連盟の鉄鋼需給四半期報²⁵、日本鉄鋼連盟主催による鉄鋼需給説明会資料によると、2023年度の鉄鋼需要産業の動向は概略以下のとおりである。詳細については、原典あるいは日本鉄鋼連盟、および各工業会のホームページを参照されたい。

2023年度の鉄鋼内需全体は、2022年度比減少する見込みである。自動車産業における半導体不足が解消したものの、全体として人手不足や資材費上昇等による不振が続き、国内の鋼材消費量全体は2022年度比1.1%減の5,271万トンが見込まれている。主な需要産業の動向は以下のとおりである。

土木・建築分野での鋼材消費は、2022年度比で減少する見込みである。公共土木は、「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」が実施されているが、人手不足や、人件費・資材費等の上昇等により、入札時から工事費が増額するケースも見られ、工期遅れ等が散見される。民間土木では、企業の建設工事に対する投資への慎重姿勢が伺えるなか、人手不足などの供給制約も懸念されている。また、住宅着工戸数は、持家が建築コスト高騰の影響から減少が続いており、分譲も建築資材高騰等からマンション販売価格が上昇するなど不振が続いていることから、住宅全体でも2022年度比で減少する見込みである。非住宅着工床面積は、首都圏を中心とした大型案件が堅調なものの、資材価格の高騰や人手不足等による建設コスト上昇から中小案件を中心に不振が続く見込みである。

造船分野での鋼材消費も、2022年度比で減少する見込みである。堅調な新造船受注や2年半以上の手持工事量など、需要環境は底堅い一方、供給側を見ると、慢性的な人手不足が継続しており、建造ピッチを上げるのが難しい状況にあるためである。

一方、自動車分野での鋼材消費は、2022年度比で増加する見込みである。国内完成車生産は、半導体供給制約が改善し、バックオーダー解消のため各メーカーが増産し、2022年度比

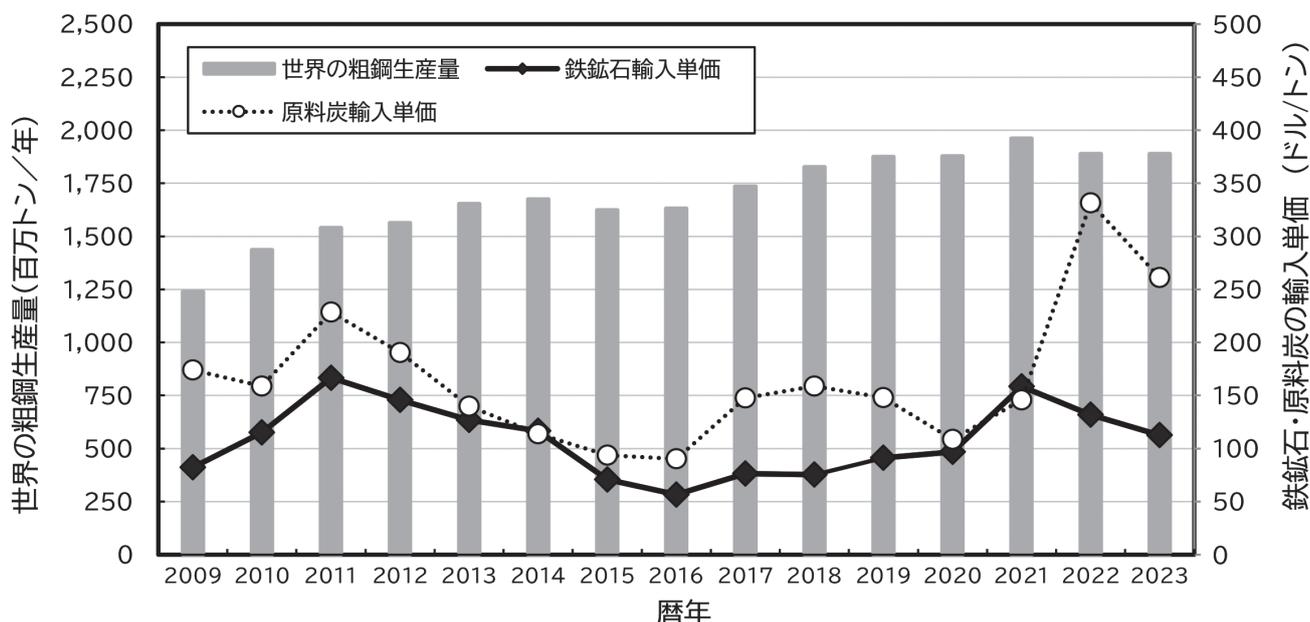


図1 世界の粗鋼生産量と鉄鉱石・原料炭の輸入単価推移 (暦年) ^{20,21}

で増加する見込みである。KD（ノックダウン）セット生産についても、日系メーカーの中国でのシェア低下の影響は大きいものの、北米・欧州地域の堅調な需要に牽引され、2022年度より増加する見込みである。

建設機械・産業機械分野での鋼材消費は2022年度より減少する見込みである。建設機械は、北米が日本の外需を牽引し堅調に推移するも、下期以降は高位生産の反動による減速感が伺える。金属加工・工作機械は、半導体製造装置メーカー等からの需要が伸び悩んでいるほか、主要輸出先である中国向けも減少するなど、内外需ともに弱さが見られ、2022年度より減少する見込みである。その他機械は、人手不足対応への省力化投資や更新投資等の需要はあるものの、コロナ禍からのペントアップ需要があった2022年度と比較すると減少する見込みである。

電気機械分野に関しては、重電は、世界経済減速の影響を受け、2022年度比微減する見込みである。家電も、外出機会の増加に伴うサービス消費へのシフトや、物価高を背景とした消費者の節約志向に影響を受け、2022年度より減少する見込みである。

1.3 我が国の粗鋼生産状況

前節で詳述したとおり、2023年は、半導体不足等の供給制約が解消して、自動車部門の生産活動が回復した一方、他の需要分野が振るわず、粗鋼生産量は2022年比2.5%減の8,700万トンであった²²⁾。炉別生産では転炉鋼が2022年比1.9%減の6,417万トン、電炉鋼が2022年比4.2%減の2,283万トンとなり、電炉鋼比率は2022年比0.5%減の26.2%となった(図3)。また鋼種別では、普通鋼が2022年比1.9%減の6,753万トン、

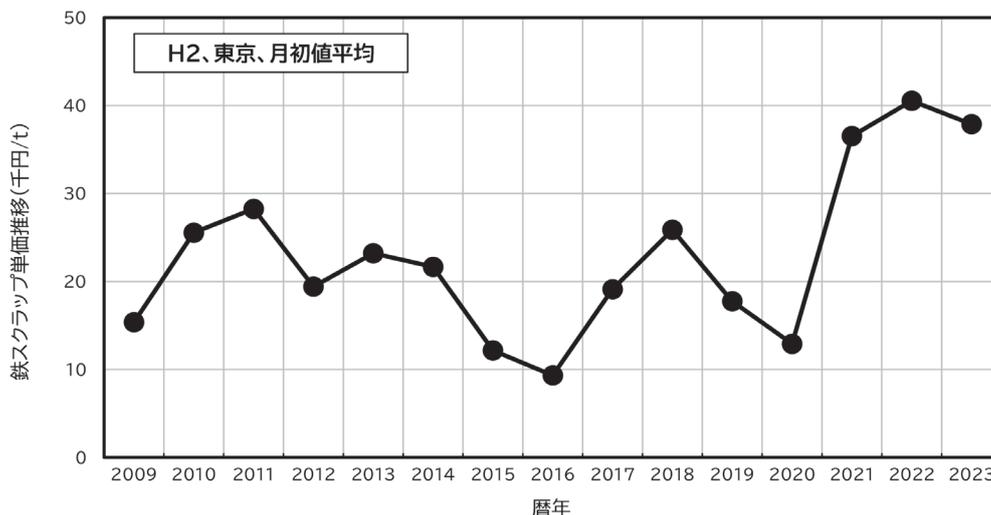


図2 東京地区の鉄スクラップ (H2) 価格の年間平均値 (暦年)²⁴⁾

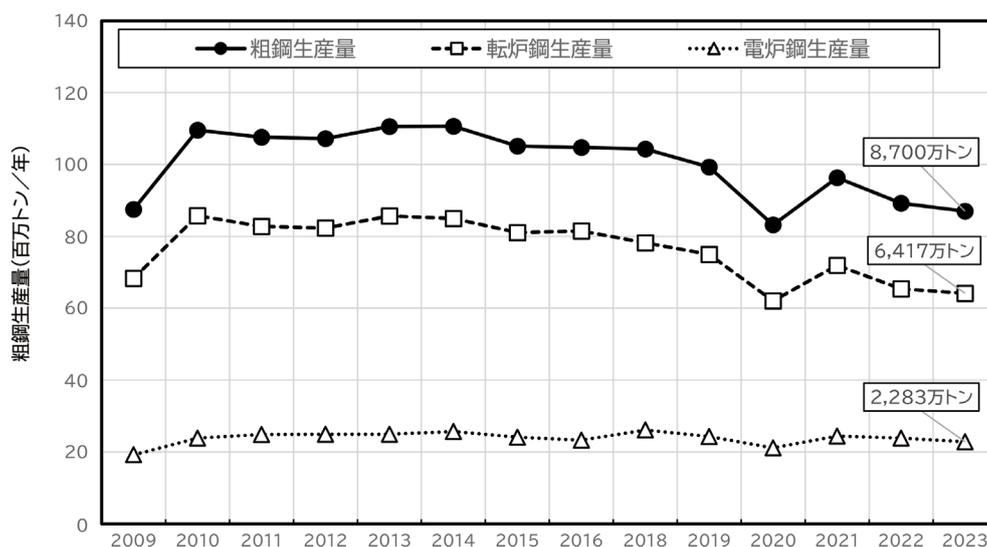


図3 我が国の粗鋼生産量の推移 (暦年)²⁶⁾

特殊鋼が2022年比4.7%減の1,947万トンとなった(図4)。

2024年も、建築部門では住宅価格高止まり等を背景とした住宅着工数の減少や、人手不足の影響が継続する事もあり、鋼材需要は減少すると見られる。製造業では造船部門は人手不足の影響で前年並、機械部門も弱含みであることから鋼材需要は減少する見通しである。一方自動車部門は、前年度受注残も解消分もあるとの予想から増加を見込んでおり、トータルでは鉄鋼内需は、2023年から横ばい圏内で推移する見通しである。また鉄鋼外需についても前年並に留まると予想されており、ロシア・ウクライナ戦争や中東情勢の緊迫化による資源燃料価格の高止まり、中国経済の動向、内外の金融政策の動向等のリスクはあるものの、粗鋼生産は2023年比で横ばいとなる見通しである¹⁶⁾。

1.4 世界の粗鋼生産状況

表1に、世界上位10カ国および世界全体の粗鋼生産量の推移を示す。2023年の世界全体の粗鋼生産量の合計は18億8,820万トンとなり、2022年の18億8,760万トンからほぼ横ばいとなった。主要国の粗鋼生産量を見ると、第2位のインドは2022年比11.8%増の1億4,020万トンとなったものの、第1位の中国が2022年比ほぼ横ばいの10億1,910万トン、第3位の日本が2022年比2.5%減の8,700万トン、その他ドイツ、トルコ、ブラジルも2022年比減となった²⁸⁾。

中国の粗鋼生産量がほぼ横ばいとなったのは、2020年8月に導入された中国版総量規制の導入に端を発した不動産不況

の継続や、若年層の高失業率等に起因する「ゼロコロナ」政策脱却後のリベンジ消費が不発であった事等により、景気は回復したものの力強さに欠けたことが、その背景にあると考えられる。一方で2023年11月以降、民営企業への強力なテコ入れが始まりつつある等、好ましい変化も出始めており、これが奏功すれば民営デベロッパーへの信頼感がある程度回復し、不動産市場も安定化に向かうと期待される。これにより建設用鋼材の市場が底打ちし、2024年の鉄鋼需要は増加すると予測されている^{29,30)}。

インドについては、2017年以降7年連続で1億トン超となった。インドの躍進は、コロナ禍からの経済・社会活動の正常化が一巡している事を背景にしている。消費をけん引役に高成長を維持している事に加え、2011年以来となるクリケットワールドカップの開催や、インフレの鈍化とそれを踏まえた政策金利据え置き等を受けて、景気は好調に推移した。エネルギーや食糧を中心にインフレ圧力が低下している事を受けて、2024年も景気は底堅く推移する可能性が高いことから、鉄鋼需要も堅調に推移すると予測される³¹⁾。

2 技術と設備

国内鋼材需要の減少を受け、2023年9月に日本製鉄(株)が瀬戸内製鉄所呉地区を閉鎖、JFEスチール(株)は東日本製鉄所京浜地区の高炉1基を休止し、製鉄所の再編が進められた。その一方で、インドでは、インフラの整備や自動車産

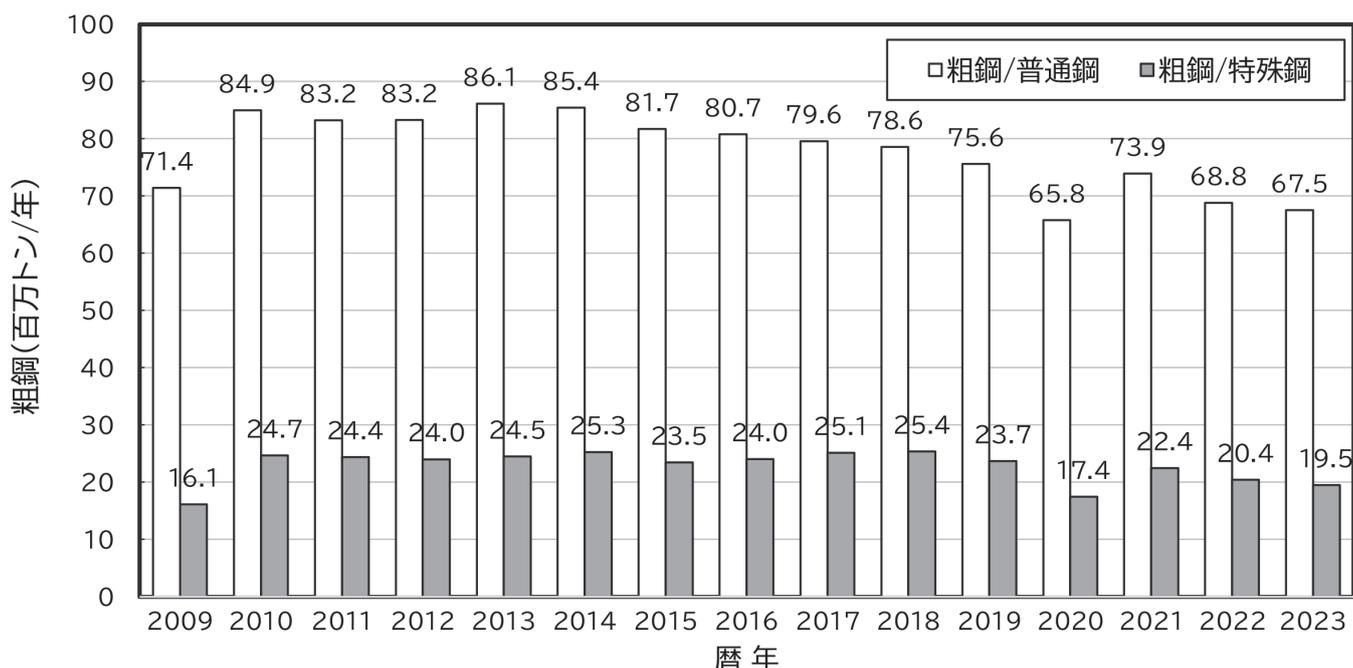


図4 普通鋼と特殊鋼の粗鋼生産(暦年)^{26,27)}

表1 国別粗鋼生産量のトップ10 (出所: WSA; 百万トン)²⁸⁾

順位	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	変化率 (%) 2023/22
1	日本	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	+0.1
	101.6	128.5	355.8	638.7	803.8	1,001.3	1,064.7	1,034.7	1,018.0	1,019.1	
2	中国	日本	日本	日本	日本	インド	インド	インド	インド	インド	+11.8
	95.4	106.4	112.5	109.6	105.1	111.4	100.3	118.2	125.4	140.2	
3	米国	米国	米国	米国	インド	日本	日本	日本	日本	日本	▲2.5
	95.2	101.8	94.9	80.5	89.0	99.3	83.2	96.3	89.2	87.0	
4	ロシア	ロシア	ロシア	インド	米国	米国	米国	米国	米国	米国	+0.2
	51.6	59.1	66.1	69.0	78.8	87.8	72.7	85.8	80.5	80.7	
5	ドイツ	ドイツ	韓国	ロシア	ロシア	ロシア	ロシア(e)	ロシア(e)	ロシア(e)	ロシア(e)	+5.6
	42.1	46.4	47.8	66.9	68.7	71.6	71.6	77.0	71.7	75.8	
6	韓国	韓国	インド	韓国	+1.3						
	36.8	43.1	45.8	58.9	69.7	71.4	67.1	70.4	65.8	66.7	
7	イタリア	ウクライナ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	トルコ	トルコ	ドイツ	ドイツ	▲3.9
	27.8	31.8	4.5	43.8	42.7	39.6	35.8	40.4	36.9	35.4	
8	ブラジル	ブラジル	ウクライナ	ウクライナ	ブラジル	トルコ	ドイツ	ドイツ	トルコ	トルコ	▲4.0
	25.1	27.9	38.6	33.4	33.3	33.7	35.7	40.2	35.1	33.7	
9	ウクライナ	インド	ブラジル	ブラジル	トルコ	ブラジル	ブラジル	ブラジル	ブラジル	ブラジル	▲6.5
	22.3	26.9	31.6	32.9	31.5	32.6	31.0	36.1	34.1	31.9	
10	インド	イタリア	イタリア	トルコ	ウクライナ	イラン(e)	イラン(e)	イラン(e)	イラン	イラン	+1.8
	22.0	26.8	29.4	29.1	23.0	25.6	29.0	28.3	30.6	31.1	
世界合計	752.3	848.9	1,148.0	1,433.4	1,622.9	1,880.1	1,880.4	1,960.4	1,887.6	1,888.2	0.0

(e):推定値

業の成長に伴い鉄鋼需要が高まっており、成長市場を巡って日本企業の投資が相次いでいる³²⁾。また、日本製鉄は12月に、米鉄鋼大手USスチールを買収すると発表した。カーボンニュートラルの取り組みを中心に、日本と米国の鉄鋼業の連携がさらに深まると期待されている。

技術に関し最も注目を集めたのは、2023年もCN（カーボンニュートラル）のキーワードであった。高炉各社は、2050年CNへの挑戦と、2030年中間目標を表明、達成に向けた野心的・挑戦的開発を開始している。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）「グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト（GREINS）」に関しては、当初予算1,935億円が4,499億円に倍増され、鉄鋼業界の脱炭素化を後押しするとともに、Super COURSE50技術について大きな進展があった。直接還元鉄と電炉の組合せもCN達成へのルートの一つであることから、電炉技術への関心も高まっている。CNに必要なゼロ・エミッション水素の確保やCCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）等技術開発については、外部条件と位置づけながらも、高炉各社が独自の動きを見せ始めている。データサイエンスについては、様々な現場において、課題解決のためのアルゴリズム開発、実用化が進められるとともに、データサイエンスツールを使って業務課題を解決する手法が現場に定着しつつある。商品開発では、軽量化、CO₂

排出量削減等を目的とした、高強度化や長寿命化を指向する材料開発や、水素社会の到来を見据えた材料開発等が地道に進められている。以下に、鉄鋼技術の分野別に主要な技術動向や維持会員企業の技術的なトピックスを紹介する。

2.1 製鉄・製鋼

2023年の鉄生産量は2022年比1.7%減の6,304万トン、粗鋼生産量は2022年比2.5%減の8,700万トンであった¹²⁾。生産体制見直しの一環として、日本製鉄は2023年9月に瀬戸内製鉄所呉地区の全設備を休止した。JFEスチールは2023年9月に東日本製鉄所（京浜地区）の上行程設備を休止した。これにより、2023年末時点の国内稼働高炉数は20基、そのうちの内容積5,000m³以上の高炉数は13基となった。設備の改修、新規導入では日本製鉄は、高炉プロセスから電炉プロセスへの転換について、九州製鉄所八幡地区および瀬戸内製鉄所広畑地区を候補地とした本格検討を開始することを発表した。JFEスチールは、東日本製鉄所（千葉地区）第6高炉の改修を完了した。またスクラップ利用量拡大によるCO₂排出量削減を目的に、東日本製鉄所（千葉地区）第4製鋼工場に新たにアーク式電気炉を導入する事を発表した。また、2.3節に詳述するが、西日本製鉄所（福山地区）のコークス炉において、デジタルツイン技術を活用した設備設計によりコークス炉の部分燃焼を最適化し、燃料使用削減量約5%、CO₂排出削減

量6,600t/年の効果を達成したと発表した。大同特殊鋼(株)は高級鋼需要増への対応として、渋川工場に真空アーク再溶解炉(VAR)を1基増設し、9月から稼働を開始したと発表した。さらに知多第2工場に同設備2基を増設し、2024年度末に稼働する計画を発表した。

2.2 鋼材

2.2.1 薄板

自動車用鋼板分野においては、燃費向上・CO₂排出量削減のための鋼板の高強度化・薄肉化の要求が継続しており、高張力鋼板(以下、ハイテン)の適用拡大が進められている。特に、980MPa級以上の超ハイテンは強度に相反して成形が難しく、遅れ破壊発生リスクも高まるという課題があり、超ハイテン適用のための研究・開発が進められた。

日本製鉄は、スズキ(株)、(株)バルソニカと共同で、1470MPa級冷延ハイテンを用いた軽量Aピラーを開発した。緻密な成分設計と組織制御により、高強度と加工性を両立した1470MPa級冷延ハイテンを用いて、従来5部品で成形、溶接していた窓枠部分の一体成型を実現した。遅れ破壊やスポット溶接性といった技術課題についても対策を行い、1470MPa級冷延ハイテンを適用することで、軽量化・CO₂削減と大幅なコストダウンを実現した。

JFEスチールは「自動車の燃費と衝突安全性を向上する超高強度薄鋼板の発明」により、令和5年度全国発明表彰経済産業大臣賞を受賞した。独自のWQ方式連続焼鈍プロセスによる超急速冷却技術を駆使し、遅れ破壊に悪影響を及ぼす合金元素を低減しつつ金属組織の均一性を極限まで高めることに成功し、これにより耐遅れ破壊特性を実用可能なレベルに引き上げ、冷間プレス工法での超高強度部品製造を実現した。引張強さが1320MPa以上の超高強度でありながら耐遅れ破壊特性を飛躍的に高めた自動車用冷延鋼板に関するもので、冷間加工用1320/1470MPa級超高強度冷延鋼板に活用されている。

2.2.2 厚板

船舶分野において、JFEスチールは「超大型コンテナ船の建造を実現した極厚高強度鋼板の開発」により、令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞した。コンテナ船は、コンテナを数多く積載するため、デッキ上部に大きな開口部を有しており、海上を航行する際、船体に大きな波の荷重を受けるため、デッキ上部やハッチコーミングと呼ばれる船体側面には、極厚かつ高強度の鋼材を使用する必要がある。近年、輸送効率の向上を目的に、コンテナの積載量が20,000個を超える超大型コンテナ船が登場しており、それに合わせて鋼板は板厚が50mmから

100mmまで拡大し、降伏強度で460MPa級までの高強度化が求められるようになった。一方、鋼材の板厚が厚くなるほど、脆性き裂の進展を停止するために必要なアレスト性能がより高くなっており、TMCP(Thermo Mechanical Control Process)技術を駆使し、鋼板の板厚中央部にき裂の伝播に抵抗する向きの結晶比率を高める独自の技術を確認し、板厚100mmの極厚高強度鋼板においても、高アレスト性能の確保を可能にした。

橋梁分野において、日本製鉄は「鋼橋・港湾設備の長寿命化に資する塗装周期延長鋼CORSPACE®の開発」により、第55回(令和4年度)市村賞において市村産業賞を受賞した。重要な社会インフラである橋梁の多くは、高度経済成長期に建設され、老朽化が進行しており、老朽化した橋梁の補修・維持管理費用の縮減や少子高齢化に伴う労働人口の減少に対応可能な橋梁のミニマムメンテナンス化・長寿命化技術の構築が課題となっている。鋼橋の多くは塗装防食が施されており、塗装の傷部や部材鋭角部などの塗装欠陥部において鋼材の腐食が集中し、進展することから、塗装欠陥部の腐食抑制機能を有する新たな耐食鋼の開発に取り組んだ。酸性溶液で鉄が溶け出る反応を遅らせる元素を鋭意探索し、鋼材に微量のSnを添加することで、溶け出したSnイオンにより鉄の溶解反応を抑制し、塗装欠陥部の塗膜剥離面積を従来鋼に対して半減させる塗装周期延長鋼CORSPACE®を開発した。JFEスチールは、疲労損傷への耐久性を高めた薄物耐疲労鋼「AFD®」鋼を開発した。従来の厚板と同等の機械的性質を維持しつつ、一般鋼と比べて疲労損傷への耐久性を高めた最小板厚9mmの鋼板を開発した。特に橋梁は薄肉部材が多いことから、自動車等の交通荷重により疲労き裂が発生する場合があり、点検や補修までの期間にき裂が進展するリスクがあった。AFD鋼は一般鋼の上限値と比較して、疲労き裂伝播速度が1/2以下に抑制され、製品寿命が一般鋼の約2倍と部材の長寿命化を実現した。JFEスチールは、溶接部の疲労き裂の起点になる箇所に応力レベルを軽減して疲労損傷への耐久性を高めることのできる新たな溶接施工法「FLExB®溶接」も開発している。一方、(株)神戸製鋼所は、厚鋼板に疲労亀裂の発生を抑制する機能を付加し、疲労亀裂発生寿命を改善した耐疲労鋼板「EX-Factor®」を開発した。厚鋼板の疲労亀裂発生までの損傷に着目し、最適成分設計とTMCP技術を駆使した製造法により、亀裂の発生を抑制可能とした。従来鋼に比べて繰返し数1千万回における疲労強度が36%向上した。造船では、疲労破壊に対する安全性を確保した上で薄肉化、設計の合理化を実現でき、鋼製橋梁では、路面下の床構造部位である鋼床版に適用すると模擬疲労試験にて2倍の疲労亀裂発生寿命の改善効果を実現した。

2.2.3 鋼管・形鋼・交通産機品

鋼管分野では、来るべき水素社会に備え、高圧水素用や液体水素用の鋼管開発が進められている。日本で稼働中の水素ステーションの多くは、トレーラーなどで運ばれてきた気体の水素を圧縮したうえで燃料電池車などに充填している。この過程で水素を運ぶ配管などは高圧の水素にさらされることになり、水素脆化の課題があった。日本製鉄は既に、高圧水素環境下で耐水素脆性に優れた継目無鋼管を開発しており、多くの商用水素ステーションに採用されているが、今回、極低温靱性も併せ持つ液体水素用の新材料を開発し、市場投入を目指している。一方、水素受入基地から需要地への大量輸送の手段としては、現在の天然ガスサプライチェーンと同様にパイプラインを利用することが考えられている。特に海外では、水素脆化の課題を踏まえ、安全基準や品質調査のための材料特性評価法の整備が進んでいる。(公財)日本財団と石油メジャーを含む海洋技術開発コンソーシアムが連携する水素関連技術開発において、JFEスチールの電縫鋼管を用いた、高圧水素輸送用ラインパイプ材の特性評価に関する研究開発が採択された。ExxonMobil社、TotalEnergies社と連携し、高圧水素輸送用の鋼管材料などの評価基準および方法を確立し、世界初の高圧水素輸送向けパイプラインの実用化を図る。

鉄鋼などの産業素材について、品目ごとに環境負荷の大きさを「見える化」する動きが広がっている。原料調達から生産、リサイクルに至るライフサイクルで発生するCO₂量などを、「エコリーフ宣言」と呼ばれる環境ラベルの認証を得た上で開示する。エコリーフは、製品ごとの環境情報の信頼性を担保しながら開示する日本独自の環境ラベルであり、製品ごとに数値化した環境情報を専門機関が認証する「EPD(環境製品宣言)」の国際規格に準拠している³³⁾。日本製鉄は、2021年5月に油井管・ラインパイプ(炭素鋼、低合金鋼)について「エコリーフ宣言」の認証を取得しており、2023年11月にステンレス鋼での追加取得により、日本製鉄が製造するあらゆるグレードの油井管・ラインパイプで、ライフサイクルでの環境負荷を客観的に評価することができるようになった。日本製鉄は、建設をはじめとする様々な分野において使用される国内向け汎用鋼管(配管・構造管)や、河川・港湾・道路・土留・仮締切などの工事分野において使用される鋼矢板製品についても「エコリーフ宣言」の認証を取得している。JFEスチールも、溶接鋼管および継目無鋼管品種、並びに建築構造用の継目無角形鋼管について同認証を取得している。

日本製鉄は、東海旅客鉄道(株)と「新幹線用新型ブレーキパッド」を共同開発し、令和4年度の市村産業賞受賞に続き、令和5年度文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞した。従来のブレーキパッドは、高速時に急ブレーキをかけ

た際に、摩擦材がディスクの熱変形に追従せずに部分的に接触することで、ブレーキ力の低下等を誘発するという課題があった。この課題を解決するため、摩擦材がディスクの熱変形に追従して均一に接触する新型ブレーキパッドを開発・実用化し、ブレーキ距離の短縮を実現した。

2.2.4 電気機械

大同特殊鋼は、通信技術やIoT機器の高周波化、自動車の電動化に伴い発生するEMCノイズ(主に磁気ノイズ)の抑制効果を有したパーマロイ箔 STARPAS[®]に、約100kHz以下の低周波において優れたシールド性を誇る製品を新たにラインナップに追加し、2023年1月から販売を開始した。曲げや打ち抜きなどの加工性に優れ、機器への貼り付けが容易なパーマロイで低周波向けのシールド材を開発したことで、低周波における最適なシールド設計を実現し、電動車や自動運転技術で使用される機器などの軽量化や薄型化に貢献する。また大同特殊鋼は、プラスチック射出成形金型に適した3Dプリンタ用ステンレス系粉末LTX[™]420を開発し、8月から販売を開始した。LTX[™]420は、耐食性や耐摩耗性が要求されるプラスチック金型に用いられるSUS420J2系金型用鋼材を、SLM方式の3Dプリンタでの造形に適した合金組成に調整し、造形時に発生するひずみを大幅に低減したものである。これにより、造形過程で必要とされてきた特殊処理をしなくても、連続的な造形において割れを抑えるとともに、大型品の造形が可能となった。

2.3 計測・制御・システム

現在は第4次産業革命と言われており、ICT(情報通信技術)の発達により、あらゆる活動を逐一データ化し、ビッグデータとしてインターネット等を通じて集約した上で分析・活用し新たな価値が生まれている。鉄鋼各社もDX推進の部門を設けるなど注力し効果が出始めている。その一端である「数理最適化技術」は、「因果関係や規則がわかっていながら、解決策が導き出せない現実の問題に対し、最適解を導き出す問題解決の手法」であり、歴史は古く、数学的な手法により最適化を実現する数理計画法が開発されてきたが、現実の数理最適化の問題は多数の込み入った要件を持つことが多く開発・適用が困難であった。しかし近年、計算機の性能向上に加えAI波及によるデータの整備が進み、数理最適化問題を解決できるケースが増えてきた。日本製鉄と日鉄ソリューションズ(株)は、数理最適化技術を応用した製鋼工程における生産計画を高速立案する「出鋼スケジューリングシステム」を共同で開発し、日本製鉄東日本製鉄所君津地区で本格運用を開始した。鉄鋼業の生産プロセスの中でも基幹となる製鋼工程は、膨大な選択肢の中から最適な計画を導き出す必要が

あり、これまで熟練技能者が週次で多大な時間をかけて計画を作成していた。今回開発した本システムは、熟練技能者と同等以上の週次計画案を、数秒から数分という短時間で導き出すことが可能である。これによって、従来に対して圧倒的に短時間で計画案を作成するとともに、週次計画担当者が後続業務の担当者と連携、計画評価・修正を行うことで、品質・コスト・納期を総合的に満足する計画を作成することが可能な仕組みを実現した。

日本製鉄は、鉄鉱石や石炭などの原料を海上輸送する際の配船管理において、リアルタイムに運航情報取得を可能にするシステムを構築し運用を開始した。輸入原料船の運航管理においてこれまで、天候影響などによって、航海日数や停泊日数が変動し、結果的に運航計画の適宜見直しが必要であった。今回、日本製鉄の原料需給管理システムで管理する輸入原料船の最新の運航情報を把握することで、最新の航海スケジュールや原料在庫見通しに基づく意思決定迅速化が図られ、生産の安定化、最適な在庫管理につながり、原料調達から輸送、生産までのサプライチェーンの効率化に貢献し、さらには、運航・輸送効率の向上などによりカーボンニュートラル社会の実現にもつながるものである。

「デジタルツイン」は、「高度な計測・観測により収集されたデータを基に、大規模データ処理と現象のモデリングを通じてフィジカル空間内の現象や人工物をサイバー空間内で仮想的に再現・複製するシミュレーション技術」である。各分野において近年各段に活用範囲が拡大しつつある。JFEスチールは、デジタルツイン技術を活用した設備設計により、西日本製鉄所（福山地区）のコークス炉において、省エネルギー効果とCO₂削減効果のある新設備の技術開発を行い、工程運用を開始した。JFEスチールでは、既にあらゆる生産プロセスでデジタルツイン技術を活用しており、例えば高炉の休止から再稼働までの期間を従来の6カ月以上から約2カ月への短縮を実現した際にもデジタルツイン技術を活用している。

JFEスチール、JFE物流（株）および（株）NICHIGOは、西日本製鉄所（倉敷地区）の構内にて、自転車位置認識センサー等を搭載した大型特殊車両（キャリアパレット車）による鋼材自動搬送に関する基本機能の開発を完了し、実証実験を開始した。将来的なドライバーの労働力不足や労働環境改善を目的としている。今回開発している自動搬送は、GNSS（Global Navigation Satellite System）の衛星情報とLiDAR（Light Detection And Ranging）などのセンサーにより自転車の位置認識を行い、予め設定したルートを自律的に無人走行するものである。またJFEスチールは、高温環境にも対応可能な内部冷却機構を独自に開発し、自走式ロボットに組み込むことで、高温・粉じん・悪路という難条件対応型自走式清

掃ロボットも開発している。

JFEスチールは、西日本製鉄所（倉敷地区）基幹システムの形鋼品種領域をオープン環境に完全移行した。高炉を保有し24時間連続操業している大規模製鉄所、かつ国産メインフレーム（富士通製（株））のシステムリフレッシュの完了はJFEスチールとして初である。JFEスチールでは、各製鉄所・製造所の基幹システム刷新を推進し、2025年からの全社完全オープン化を目指しており、これまでに本社基幹システムおよび仙台製造所のオープン化を完了している。本件の完了範囲は、倉敷地区基幹システム規模の約1割に相当し、引き続き製鉄所全体のシステムリフレッシュを推進する。オープン環境への移行により、鋼材の受注・納入に関するビッグデータ解析を通じたサプライチェーン全体の効率化など、データ資産を活用した業務改革をさらに加速させることが可能となる。

2.4 建築・土木

建築分野：ZEH（ゼッチ、net Zero Energy House）は、外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅である。また、ZEH-M（ゼッチ・マンション）は集合住宅、ZEB（ゼブ、net Zero Energy Building）は建造物を対象としている。日本製鉄およびNSハイパーツ（株）が共同で開発した独自のスチールハウス工法である「NSスーパーフレーム工法[®]」は、薄板軽量形鋼造（スチールハウス）による建築工法のひとつで、木造2×4（枠組み壁工法）と同じように、枠材と面材でできたパネルにより壁、床等を構成する構造であり、進化・発展を続けてきたものである。日鉄テックスエンジ（株）は、同工法として初のZEH-M認定（取得予定）の共同住宅設計施工を大分県内で進めている。また、前述の「NSスーパーフレーム工法[®]」について、日鉄テックスエンジが和歌山県内で建設を進めていた省エネ・高断熱事務所が2023年7月に竣工した。当該事務所は、業界トップ水準の断熱材を用いたハイブリッド断熱手法（外張り断熱＋充填断熱）を採用することで、鉄骨造で品確法住宅の断熱等級6相当（建築物省エネ法で2025年に義務付けられる省エネ基準に対応する断熱等級4、2030年までに義務付けが予定されているZEH・ZEB基準に対応する断熱等級5を更に上回る断熱性能）を実現するとともに、Nearly ZEB（前述のZEBに限りなく近い建築物）の認証を取得している。

日本製鉄と（株）竹中工務店は共同で、鉄骨小梁の耐火被覆を最大100%削減する床システムの耐火設計技術を確立し、2件のプロジェクトに適用しており、床システムを構成

する鉄骨小梁の耐火被覆を合理化した耐火建築物として、国土交通大臣の認定を国内で初めて取得した。鉄骨造の耐火建築物では、建物の主要構造部となる鉄骨に耐火被覆を施すことが建築基準法で定められているが、本技術の活用により床システムの耐火被覆の施工面積を最大で約7割まで低減することができる。このことは、使用材料の削減や工期の短縮につながり、近年大きな社会課題となっている建築工事における環境負荷の低減および生産性向上に寄与することが期待される。

土木分野：JFEスチールと(株)大林組、およびジェコス(株)が共同開発した「J-WALL II 工法」が、JR横須賀線武蔵小杉駅の雨水貯留槽増設工事(2023年3月竣工)に適用された。増設にあたっては、既設雨水貯留槽と隣り合う形で、JR横須賀線の高架橋や用地の境界との狭い範囲の地下に雨水貯留槽を設置するため、施工性・経済性に優れた工法が求められた。「J-WALL II 工法」は、合成構造用鋼矢板を仮設土留め壁および本設躯体の一部として利用できる工法であり、本工法を雨水貯留槽側壁へ適用することで、狭い範囲を最大限利用した雨水貯留槽の増設を実現した。なお、「J-WALL II 工法」は、これまでに地下擁壁への適用事例があったが、鉄道近接およびボックスカルバート構造(地中に構築される箱型のコンクリート構造物)への適用は今回が初めてである。

2.5 カーボンニュートラルへの動き

2.5.1 気象変動に関する世界の動き

200近くの国・地域が参加する気候変動対策の国際枠組み「パリ協定」では、産業革命前からの世界の気温上昇を1.5度以内に抑える目標を掲げる。国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)はこれまでの報告書で、現状の排出量が続けばあと10年ほどで1.5度に到達するとし、1.5度目標の達成には2030年までに10年比で温暖化ガス排出を45%減らす必要があると評価していた。しかしながら、国連気候変動枠組み条約(UNFCCC)事務局は、2023年11月に公表した報告書の中で、世界各国が国連に提出している2030年の温暖化ガス削減目標を検証した結果、各国の温暖化ガスの削減目標を合わせても2030年の排出は10年比で8.8%増加するとの分析結果を明らかにした³⁴⁾。このように、世界の温暖化ガス排出量は、足元減少どころかむしろ増加傾向にある。2023年3月に公表されたIPCCの第6次統合報告書では、「パリ協定」の目標達成には、温暖化ガス排出量を2035年に2019年比で60%減らす必要があると提示し、各国の従来削減目標は「極めて不十分」と警鐘を鳴らした³⁵⁾。その後4月に開催された主要7カ国(G7)気候・エネルギー・環境相会合がまとめた共同声明には、2035年の温暖化ガス排出削減幅を「2019年比60%減」が盛り込まれ、石炭や天然ガスなどの化石燃料の

段階的廃止の加速で合意がなされた。なおこのとき、日本が2030年時点で依存する計画である石炭火力については、廃止時期の明記は避けられている³⁶⁾。またこのG7では、国際的に複数あるCO₂排出量測定手法の調整に向け、鉄鋼生産とCO₂排出の「グローバル・データ・コレクション・フレームワーク」の作業を開始することが合意された³⁷⁾。続いて12月に行われた第28回国連気候変動枠組み条約締約国会議(COP28)においても、この10年で化石燃料からの脱却を加速すること、2035年までに2019年比で温暖化ガス60%減などが成果文書に盛り込まれた³⁸⁾。

一方、国際エネルギー機関(IEA)は、地球温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」に基づき、地球の気温上昇を産業革命以前から1.5度以内に抑える目標の実現に必要な再生エネルギーの容量を試算し、2023年9月の報告書の中で、気温上昇を抑えるために再生可能エネルギーの設備容量を2030年までに2023年の3倍に拡大するよう提言した。この目標は世界が2050年に温暖化ガスの排出量を実質ゼロにすることと概ね整合するとされている³⁹⁾。

2.5.2 国内政策と国家プロジェクト

日本鉄鋼連盟は、2021年2月に、「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」を発表し、我が国の2050年カーボンニュートラルという野心的な方針に賛同し、これに貢献すべく、日本鉄鋼業としてもゼロカーボン・スチールの実現に向けて、果敢に挑戦することを宣言した。具体的には、最先端の省エネ技術や設備によって、生産工程のCO₂削減をめざす「エコプロセス」、軽くて強い高機能鋼材の供給を通じて、製品の使用段階での省エネを促進する「エコプロダクト」、そして、世界最高水準の省エネ技術を海外へ普及させることで世界規模でのCO₂削減をめざす「エコソリューション」、これら3つのエコでCO₂を削減する。特に「エコプロセス」においては、後述する革新的技術の導入効果も含め、2030年度のCO₂排出量を2013年度比で30%：約5790万トン削減するという目標を設定し、その達成に向けて活動している。ゼロカーボン・スチールの実現は、極めてハードルの高い挑戦であることから、高炉のCO₂抜本的削減と、CCUSの組合せ、更には水素還元製鉄等の超革新的技術開発の挑戦に加え、スクラップ利用拡大や中低温等未利用廃熱活用、バイオマス活用などあらゆる手段を組合せて複線的にCO₂削減を推進する。またこれらを実現するためにはゼロ・エミッション水素、ゼロ・エミッション電力の大量安定供給や経済合理的なCCUSの実現が不可欠である。

日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、(一財)金属系材料研究開発センター(JRCM)は、NEDOから公募された「グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素

活用プロジェクト (GREINS)」に、高炉を用いた水素還元技術の開発及び水素だけで低品位の鉄鉱石を還元する直接水素還元技術の開発を共同提案し、2021年12月に採択され、現在技術開発を進めている。実施期間は2021～30年度の10年間であり、予算は採択当初1,935億円であったが、経済産業省は2023年9月に、本プロジェクトへの開発支援額を4,499億円に倍増すると発表、鉄鋼業界の脱炭素化を後押しし、実用化時期の前倒しを図る⁴⁰⁾。本プロジェクトに関し、2023年は大きな進展があった。日本製鉄は、東日本製鉄所君津地区の水素還元試験炉 (内容積12 m³) において、加熱した水素を使用してCO₂を削減するSuper COURSE50技術の開発試験を実施しているが、これまでの試験において、世界最高水準となる高炉本体からのCO₂排出量を22%削減する効果を確認したことを、2023年8月に発表した。この試験炉において、所定の成果を得られたことから、同地区の第2高炉において製鉄所内発生水素をベースとした水素系ガス吹込み技術の実証試験の実行に入ることを決定、2026年1月からの実証試験開始に向け、水素系ガス吹込み技術の実証設備導入に着手する。4,500 m³の大型高炉実機を用いた高炉水素還元の実証試験は、世界的にみても初めての先進的な取組みとなる。

ゼロカーボン・スチールの実現に向けては、現在進めているGREINSに加え、政府による中長期的な視点での設備実装化支援や、ゼロ・エミッション水素/電力の大量安定供給、経済合理的なCCUS実現への支援が不可欠となる。政府は民間の脱炭素投資を後押しするため、2023年度からの10年間で20兆円規模のGX経済移行債の発行を始めると発表した。鉄鋼や化学など製造業の脱炭素には10年間で計1.3兆円を支援し、電炉などCO₂の排出量が少ない製造工程への転換を促す。また、次世代の脱炭素エネルギーとして期待する水素の普及に向け、天然ガスなど既存の燃料との価格差を補う支援に15年間で3兆円を投じ、割高な水素のコストを抑えて普及を狙う⁴¹⁾。2023年度は1.6兆円を調達し、そのうち研究開発支援は9,000億円、その内訳の最大は水素製鉄技術の開発で、およそ2,500億円をあてる⁴²⁾。また、2050年カーボンニュートラルを達成するにはCO₂回収・貯留 (Carbon Capture and Storage、以下「CCS」) が必要であり、国内で2030年度に600万～1200万トンの貯留を始める計画であるが、CCSを認める「貯留権」や、貯留の適地かどうかを確認するための掘削を認める「試掘権」を設けるなど、その普及に向けた法整備も進められている⁴³⁾。

このように、2023年度は脱炭素を進める鉄鋼業界に対する政府支援策が前向きに講じられた年になったと言える。しかしながら、課題はなお山積している。その一つが、欧州が導入している国境炭素税である。欧州連合は、環境規制の緩い国からの輸入品に事実上の関税を課す「炭素国境調整措

置 (国境炭素税)」の導入を最終承認し、2023年10月からEUへ輸出する企業は製品のCO₂排出量の報告が義務づけられ、2026年からは、排出量に応じ実際の課税が始まる。英国も同様の政策導入を計画している。技術などの機密に触れかねない情報も報告対象となっており、日本鉄鋼連盟はEU側に報告手続きの負担軽減とともに、機密保持規定を設ける必要性も訴えている⁴⁴⁾。

2.5.3 個別企業の取組み

日本鉄鋼連盟の「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」を受けて、高炉3社は、2021年にそれぞれ2050年までのカーボンニュートラルの実現を目指すビジョンを公表し、各社経営の重要課題に位置付けた。これにより、鉄鋼メーカー各社の取組みが活発化している。

【直接還元】世界的にカーボンニュートラルの動きが加速する中で、還元鉄の活用はCO₂排出削減に向けた重要な取り組みと位置付けられている。神戸製鋼所は、加古川製鉄所の大型高炉 (4,844 m³) でCO₂排出量を25%削減できる技術の実機実証を行った。実証試験では、高炉にMIDREX™プロセスのHBI (還元鉄) を多量に装入し、高炉からのCO₂排出量を決定づける還元材比を386kg/t溶銑に安定的に低減、CO₂排出量を2013年度比で25%削減できることを確認し、2023年10月に発表した。また、100%子会社であるミドレックス社のMIDREX Flex™直接還元鉄プロセスが、thyssenkrupp社のデュイスブルグ製鉄所で建設予定の水素還元鉄プラントに世界で初めて採用されたことを2023年3月に発表している。初期段階では還元剤として天然ガスを利用するが、thyssenkrupp社が十分な水素を調達できるようになる見込みの2027年以降、最大で水素100%への移行を計画している。

さらに神戸製鋼所は、MIDREX™プロセスを活用した直接還元鉄HBIの製造・販売の事業化について三井物産 (株) と共に検討を進め、オマーン国の特別経済地区を管理する行政機関であるOPAZ (正式名称Public Authority for Special Economic Zones and Free Zones) と低炭素鉄源事業の推進に関する包括的覚書を締結したことを2023年4月に発表した。年産500万トンの直接還元鉄製造を検討しており、当面は還元剤として天然ガスを使用する予定だが、将来的には水素への転換やCCUS等の適用による更なる低炭素化も検討するとしている。JFEスチールも、伊藤忠商事 (株)、アラブ首長国連邦 (UAE) 鉄鋼最大手のエミレーツ・スチールとAbu Dhabi Ports Groupと共に、低炭素還元鉄のサプライチェーン確立に向けた協業体制の構築に関する覚書を締結し、プロジェクト候補地をアブダビとする詳細な事業化調査を共同で推進している。

【電炉・スクラップ】日本製鉄は、瀬戸内製鉄所広畑地区に新設した電炉による商業運転を2022年10月より開始したが、政府の温室効果ガス46%削減の目標に貢献するために高炉プロセスから電炉プロセスへの早期転換が必要と考え、九州製鉄所八幡地区および瀬戸内製鉄所広畑地区を候補地として本格検討を開始することを2023年5月に発表した。JFEスチールは、西日本製鉄所（倉敷地区）において、2027年～2030年に改修タイミングを迎える高炉を1基休止し、高効率・大型電気炉を導入する検討を行っている。東日本製鉄所（千葉地区）では、ステンレス鋼の製造において、高炉からの溶銑と自所発生スクラップ、およびクロム鉱石やクロム含有ダストを主な原料とした製鋼プロセスを採用しているが、そのCO₂排出量削減に向けて大同特殊鋼の炉体旋回式電気炉を導入し、2025年度に稼働予定である。CO₂排出量削減効果は最大約45万t/年を見込んでいる。

高炉を一部電炉に転換してもその消費電力は大きく、発電過程で排出されるCO₂を踏まえると、電炉でも省エネ化をさらに進める必要がある。電炉では大量の電気を流す電極を炉に上から差し込むことで鉄スクラップを溶かす。従来の操業では、計測した電気量などをベースに、炉内の状況と関係なく機械的に電極を上下し、必要以上に電力を消費していた。スチールプラントック（株）は、炉内の鉄スクラップの溶解具合など、リアルタイムの炉内状況からAIが電極の上げ下げを判断して電力消費を抑える技術を開発し、実証実験を始めている⁴⁵⁾。一方、JFE条鋼（株）は、海外メーカーの省エネルギー型製鋼用電源システムを姫路製造所に導入し2025年の稼働を目指している。また大阪大学は、鉄スクラップが炉で溶け切るタイミングを熟練者に代わって音や振動から見極めるAIシステムの構築を通して、電炉を無駄なく稼働させる省エネ化の取り組みを進めており、電炉メーカーで実証実験を進めている⁴⁶⁾。

【CCS】日本製鉄と三菱商事（株）とエクソンモービルは、豪州など海外アジアパシフィック圏内でのCCS、及びCCSバリューチェーン構築に向けた共同検討に関する覚書を締結したことを2023年1月に発表した。本覚書に基づき、3社は日本製鉄の国内製鉄所から排出されるCO₂の回収に関する調査や必要な設備開発の評価を行い、エクソンモービルによる豪州及びマレーシア・インドネシアを始めとする海外アジアパシフィック圏でのCO₂貯留先の調査、及び三菱商事による海外へのCO₂輸送及びCCSバリューチェーン構築に向けた評価を実施する。3社は、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の令和5年度「先進的CCS事業の実施に係る調査」に関する公募において、伊勢湾/中部地域の複数産業から排出されるCO₂を対象とした海外CCSバリューチェーン構築の実現可能性調査を受託して活

動を加速する。

JFEスチールと石油資源開発（株）（JAPEX）、日揮HD（株）、川崎汽船（株）は、マレーシア国営エネルギー会社ペトロナスと進めているマレーシアにおけるCCSに係る共同スタディと連携した、日本を起点とするCCSバリューチェーン構築を目指す共同検討の実施について覚書を締結したことを2023年6月に発表した。4社は本共同検討の中で、JFEスチールの日本国内の製鉄所で排出されるCO₂の分離・回収、およびマレーシアまでの液化CO₂の海上輸送と受け入れまでのCCSバリューチェーン構築について、必要な設備やコストなどを含めた検討を行う。またJFEスチールは2023年12月に、住友商事（株）、住友大阪セメント（株）、川崎汽船、オーストラリアのWoodsideとともに、「瀬戸内・四国CO₂ハブ構想」実現に向けた事業性調査の実施にも合意し、5社間で覚書を締結したことを発表した。瀬戸内・四国地域に点在するCO₂排出源から小型液化CO₂輸送船を活用してCO₂を回収し、国内に設置するCO₂輸出用ハブポートにて一時的にCO₂を集積・貯蔵した後、大型液化CO₂輸送船で豪州へ輸送し、圧入・貯留する一連のCCSバリューチェーン構築に向けて5社で事業性調査を実施する。これにより、瀬戸内・四国地域複数の地域、産業、企業から排出されるCO₂をまとめて取り扱うことで大規模化とコスト低減を実現し、個社では難しいCCSバリューチェーン構築を日豪企業が一体となって目指す。

近年では、気候変動や地球温暖化の原因とされる大気中のCO₂を海草や海藻が大きく吸収しているブルーカーボン（海洋生態系によるCO₂の吸収・固定）効果が分かってきており、CCSの主要な担い手として注目されている。藻場の回復・造成が新たな地球温暖化防止対策としても大きな潜在効果を持っていることが示され、ブルーカーボンのクレジット（排出枠）創出に、高炉メーカーも参入している。日本製鉄は、鉄分施肥材を磯焼けした海に設置・拡大することを通じ、藻場の再生による「海の森づくり」と「藻場によるCO₂吸収・固定（ブルーカーボン）」を推進、JFEスチールは、鉄鋼スラグ製品を用いた海藻藻場創出、およびそれによるCO₂の吸収量を算定しており、それぞれ、国土交通省が認可したブルーカーボンクレジット認証法人のジャパンプルーエコノミー技術研究組合からクレジットの認証を受けている。

【水素】海外において、環境負荷の低い電力から製造した水素を使った鋼材生産が進められている。日本製鉄グループ、山陽特殊製鋼（株）の欧州子会社OvakoがスウェーデンのHofors工場場で建設を進めていたカーボンフリー水素プラントが完成し、2023年9月に開所式を行った。このプラントは、脱化石電力を活用した水の電気分解によって毎時約4千m³のカーボンフリー水素を生成する能力を有し、生成した水素を特殊鋼製造に必要な燃料として活用することで、OvakoはHofors工場

の加熱工程で排出するCO₂を大幅に削減することが可能となる。ただ、このような試みは、国内では環境負荷の低い電力で作れ出す水素の製造コストが高いため、すぐに実施するのは困難と見られており、官民をあげた水素調達コストの低減や、価格転嫁を促す仕組み作りが期待される。

国内では、水素の輸入受け入れに向けた検討が始まっている。水島コンビナートには多くの産業が集積し、将来的に大規模な水素利用が期待される地域である。JFEスチールは、2023年10月に、ENEOS(株)と共にこの地域においてCO₂フリー水素の受入・貯蔵・供給拠点の整備および利活用に関する検討を開始すると発表した。2030年までにCO₂フリー水素サプライチェーン構築を目指し、2030年以降の水素利用拡大を見据えたサプライチェーンの拡大と脱炭素社会の実現に向けた水素の有効な利用方法について検討する。また、JFEスチール東日本製鉄所(京浜地区)の高炉の跡地には水素受け入れ拠点をづくり、周辺に存在するコンビナートや火力発電所での需要を見込む。2024年度から水素の受け入れ拠点として整備を進め、2028年度にも実証事業を始める予定である⁴⁷⁾。神戸製鋼所は、「ハイブリッド型水素ガス供給システム」の実証試験を予定通り2023年3月から高砂製作所内で開始するとともに、2023年6月より試験用ボイラーへの水素供給による水素燃焼試験において、水素混焼を開始した。液化水素から冷熱回収ができる液体水素気化器、水電解式水素発生装置、ならびに運転マネジメントシステムより構成されており、中小規模事業者の水素導入のカギとなる「安定かつ安価な水素づくり」に対するソリューション提供を図る。

【風力発電】再生可能エネルギーの中で、風力発電は大規模に発電できれば経済性も確保できる可能性があり、特に大きな導入ポテンシャルを持つ洋上風力発電が国内で計画されている。発電量拡大等を目的に、風車とそれを支える基礎構造物の大型化が求められている。基礎構造物にはジャケット方式とモノパイル方式があり、それぞれ国内で技術開発が進められている。日鉄エンジニアリング(株)は、石狩湾で2023年度中に稼働する着床式の洋上風力発電設備向けに、海底に打ち込んだ杭に脚を差し込んで風車を支えるジャケットを国内で初めて製造し、2023年6月までに積み出しを終えた。同社は、2025年に風力発電の運転を予定している北九州地区向けにもジャケットを供給する⁴⁸⁾。一方、モノパイル方式の基礎構造物では、極厚の厚鋼板を溶接して製造するため、溶接作業負荷が高く作業効率の向上が課題となっている。JFEスチールは、風力発電用大単重厚鋼板を開発することで溶接作業回数の削減を実現し、2023年8月に洋上風力発電用のモノパイルに初めて採用されたと発表した。大同特殊鋼は、風力発電機向け重要部品用ベアリング鋼の生産工程で、その量産製造技術と品質保証体制について風力発電機

の重要部品用鉄鋼製造認証を取得した。カーボンニュートラルの動きが加速する中で、洋上風力発電はグリーンエネルギーとして大きく期待されており、今後さらなる洋上風力発電ビジネスの拡大が見込まれている。

【低CO₂高炉鋼材】CO₂排出削減効果を特定製品に割り当てるマスバランス方式を採用した低CO₂高炉鋼材が2022年5月に日本で初めて神戸製鋼所から発売されて以来、造船、自動車や建築分野など様々な需要分野で採用の動きが広がってきた。海運業界向けでは、神戸製鋼所の「Kobenable® Steel」が、2023年2月に今治造船(株)が建造する18万t級バルクキャリアに採用され、船舶分野において世界で初めての採用となった。JFEスチールの「JGreeX™」は、NYKバルク・プロジェクト(株)他海運8社が建造予定のドライバルク船に採用されることとなった。また、JFEスチールは、CO₂削減コストをサプライチェーン関係者によって広く負担する新たなビジネスモデルを構築し、川崎汽船が今治造船にて竣工予定のウルトラマックス級ドライバルク船に本鋼材を採用するに際しても、このビジネスモデルを適用することとしている。自動車向けとしては、神戸製鋼所の非調質ボルト用鋼が、「Kobenable® Steel」としてトヨタ自動車(株)の競技車両に使用されるエンジン部品締結ボルトに、日本製鉄の「NSCarbolex® Neutral」が、愛宕自動車(株)のリサイクル資源運搬用コンテナに採用されている。また、建築向けとしては、JFEスチールの「JGreeX™」が、住友商事が開発するオフィスビル「(仮称)水道橋PREX」に採用されている。エネルギー関係では、日本製鉄の13%クロム鋼シームレス油井管、方向性電磁鋼板が「NSCarbolex® Neutral」として、それぞれオランダの地熱開発事業者；85 Degrees Renewables社、発電設備メーカー；GE Vernova社に採用されている。「NSCarbolex® Neutral」は他に、ソーワイヤー用線材、容器用材料としても採用されている。

【地域連携】国土交通省は、港を管理する自治体や事業者に対してCO₂排出量の大幅な削減に加え、水素燃料や再生可能エネルギーの供給網の整備などを促している。これに伴って、産学官で協議会を立ち上げる動きが加速している。

茨城県は、日本製鉄や東京ガス(株)、三菱ケミカル(株)などの企業や大学・研究機関等からなる「いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会」を開き、アンモニアサプライチェーンの構築に関してワーキンググループを設置した。国が今後カーボンニュートラル燃料拠点を選出するにあたり、採択されることを目指して実現可能性を調査・検討する⁴⁹⁾。岩谷産業(株)やJFEスチールなど千葉県内の京葉臨海コンビナートに進出する製造業9社と横河電機(株)の計10社は、同コンビナートの千葉市蘇我地区から市原市五井地区にかけての地域で脱炭素化を共同で検討する。2030年

ごろまでにCO₂排出量の抑制につながる具体策を取りまとめる⁵⁰。2020年に設立された「中部圏水素利用協議会」は、水素の需要拡大と安定的な利用のためのサプライチェーン構築を目指し水素大規模利用の可能性を検討しており、日本製鉄やJFEスチール、トヨタ自動車などが参画しているが、今回新たに大同特殊鋼と愛知製鋼(株)が参画した。水島コンビナートの「カーボンニュートラルネットワーク会議」は、JFEスチールや旭化成(株)、中国電力などの大手立地企業のほか、岡山大学や地元自治体などで構成し、水素やアンモニアといった次世代エネルギー導入などの取り組み方針をまとめ、2023年度は専門部会を設けるなど取り組みを具体化した⁵¹。周南コンビナートでは、日鉄ステンレスや出光興産(株)など5社の立地企業が、カーボンニュートラルの実現に向けて、アンモニア等を燃料とする発電設備の設置、CO₂排出の少ない原材料の購入、CO₂の回収・貯留等を共同実施することを検討しているが、これらの共同行為について独占禁止法上問題がない旨の回答を公正取引委員会から得ている⁵²。「福岡県水素グリーン成長戦略会議」は、日本製鉄や

岩谷産業、九州電力など県内外企業や九州の大学関係者が参加する組織であり、水素利用の拡大や技術革新を目指している。「グリーン水素」の大規模な製造・輸入拠点を北九州市臨海部に整備する計画を打ち出し、県内外に水素のサプライチェーンを築き、関連産業の育成・誘致につなげる⁵³。大分県は、大分市内にあるコンビナートの脱炭素化に向けた企業間連携や周辺地域とのつながり方を産学官で検討する会議体「グリーン・コンビナートおおいた推進会議」を設置した。日本製鉄や(株)レゾナックなど11社や大学関係者が参加し、今後約10年に全国8カ所程度で整備が想定される水素・アンモニア供給拠点に選ばれることをめざす⁵⁴。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図5に鉄鋼業の2022年度までの技術貿易収支の推移を示す⁵⁵。技術輸出対価受取額は2021年度と比較して50%増加し、技術輸入額対価支払額も400%増加した。

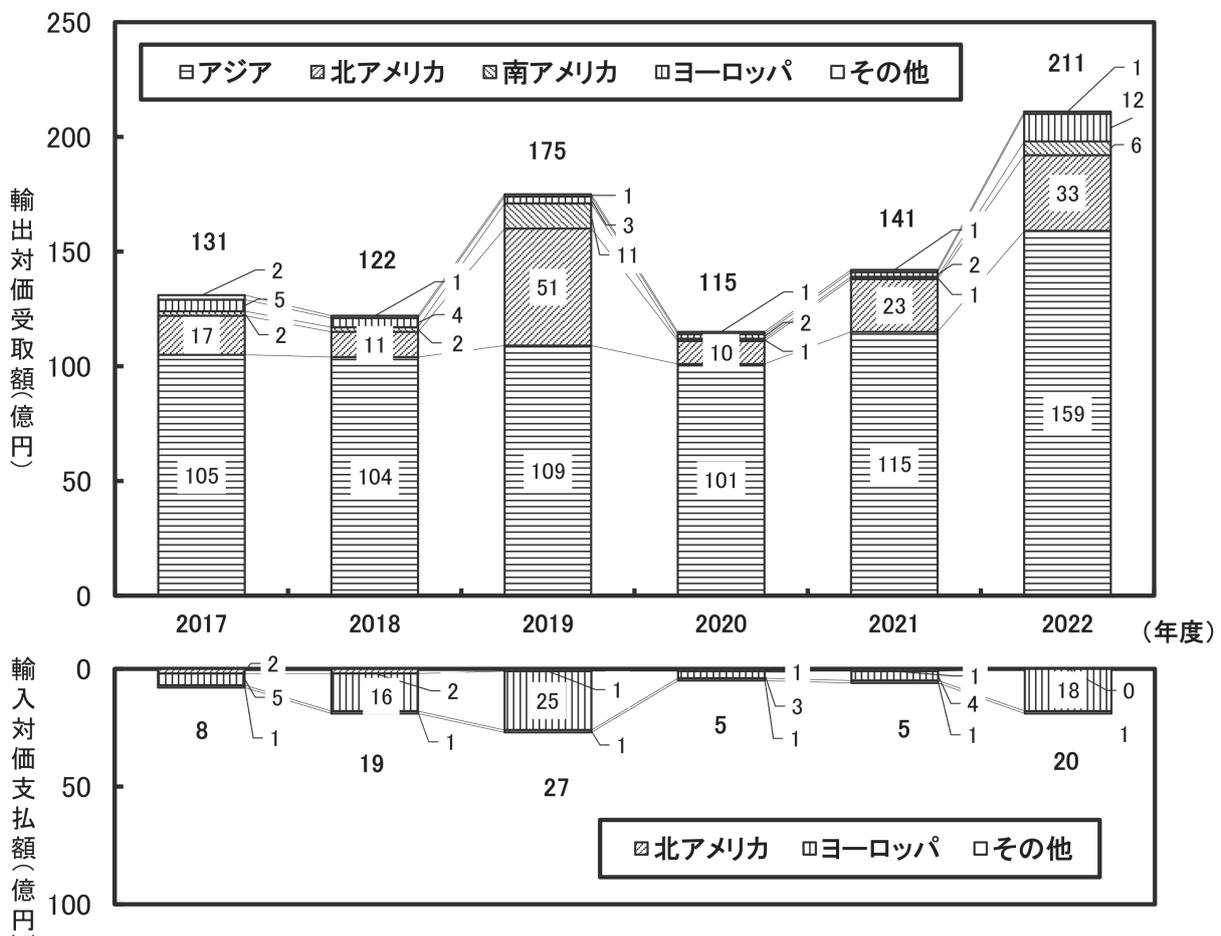


図5 鉄鋼業の技術貿易収支⁵⁵⁾

3.2 研究費支出・研究者数

総務省統計局「科学技術研究調査」の結果の概要にある統計表の第3表「企業における研究活動」にあるデータを用いて、2022年度までの以下の3項目を整理した。その結果を図6～図8に示す⁵⁶⁾。

〔売上高対研究費支出比率〕 2021年度と比較して全産業

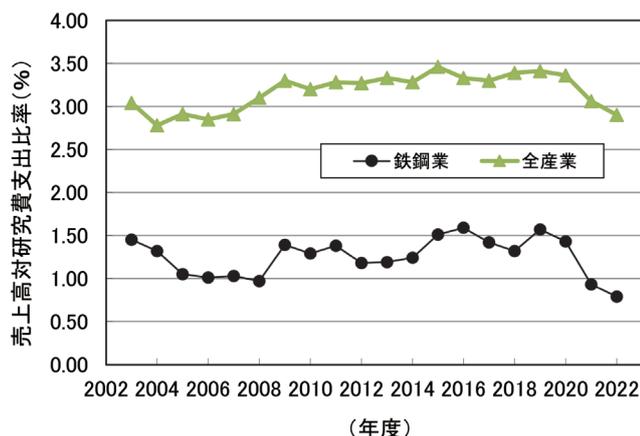


図6 売上高対研究費支出比率の経年変化⁵⁶⁾ (Online version in color.)

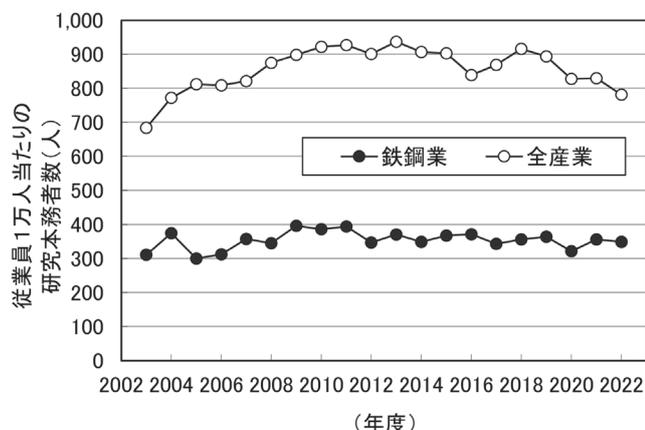


図7 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化 (人)⁵⁶⁾

で0.16ポイント低下、鉄鋼業で0.14ポイント低下した。なお、研究費支出は全産業では増加、鉄鋼業では横ばいであり、両方とも売上高が伸びたため売上高対研究費支出比率は低下となったものである。

〔従業員1万人当たりの研究本務者数〕 2021年度と比較して全産業では減少、鉄鋼業では横ばいである。なお、全産業の研究者数は増加しており、従業員総数の増加が上回り従業員1万人当たりの研究本務者数は減少となったものである。

〔研究本務者1人当たりの研究費〕 全産業では3年前までの高い水準に増加した。鉄鋼業は低下した2021年度と同水準となっている。

3.3 公的資金を活用した研究開発の動向

公的資金を取得して行っている鉄鋼関連の研究・技術開発テーマとして、プロセス、環境・エネルギー分野、材料開発分野などで多くのテーマが取り組まれている。主なものを表2に示す。鉄鋼関連の技術開発プロジェクトにおける主要継続プロジェクトは、「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」(2016～2025年度、委託者：NEDO)、

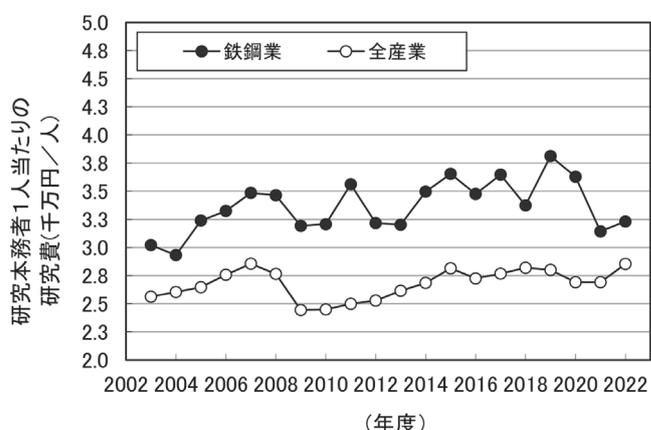


図8 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化 (千円/人)⁵⁶⁾

表2 鉄鋼業における公的資金取得研究テーマの一例

分類	事業名称	委託者	開始年度	終了年度
地球環境・カーボンニュートラル	グリーンイノベーション基金事業/製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト	NEDO	2021	2030
	グリーンイノベーション基金事業/次世代蓄電池・次世代モーターの開発	NEDO	2022	2030
	地熱増産のための熱安定性に優れた耐食合金と密閉技術の開発	日本財団	2022	2023
	鉄スクラップ由来のトランプ元素影響軽減技術に関する研究開発	NEDO	2023	2025
要素技術	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発	NEDO	2016	2025
	CCS研究開発・実証関連事業	NEDO	2018	2026
その他	超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業	NEDO	2018	2023

NEDO:(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

「CCS研究開発・実証関連事業」(2018～2026年度、委託者：NEDO)、「グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト」(2021～2030年度、委託者：NEDO)、「グリーンイノベーション基金事業／次世代蓄電池・次世代モーターの開発」(2022～2030年度、委託者：NEDO)、「地熱増産のための熱安定性に優れた耐食合金と密閉技術の開発」(2022～2023年度、委託者：日本財団)等である。新たに開始されたプロジェクトとしては、「鉄スクラップ由来のトランプ元素影響軽減技術に関する研究開発」(2023～2025年度、委託者：NEDO)がある。

4 技術系人材育成

本会では、業界横断的な人材育成を目的として、企業人材育成事業(鉄鋼工学セミナー、鉄鋼工学セミナー専科、鉄鋼工学アドバンストセミナー)、学生人材育成事業、技術講座、及びWeb講演会・講座を継続実施している。コロナ禍の影響を脱しつつあった2022年度より更に脱コロナは進み、一部事業を除く多くの事業でコロナ禍前の規模で対面開催となった。

学生人材育成については、従来行ってきた「学生鉄鋼セミナー」に加え、産学人材育成パートナーシップ事業を継承し、2011年度より、修士学生対象である「鉄鋼工学概論セミナー」、学部学生対象である「最先端鉄鋼体験セミナー」を実施している。「鉄鋼工学概論セミナー」は、鉄鋼基礎工学と現場での技術開発について大学および企業講師が講義を行い、最終日に工場見学(2023年度はJFEスチール西日本製鉄所(福山地区))を行う3.5日コースで、11大学から31名が参加した。「最先端鉄鋼体験セミナー」は鉄鋼に関する最先端技術や将来の展望を紹介し、工場見学を行う1日コースの講座であり、2023年度はJFEスチール東日本製鉄所(千葉地区)、日本製鉄関西製鉄所和歌山地区、日本製鉄北日本製鉄所室蘭地区、大同特殊鋼知多工場の4箇所で開催され、トータル60名が参加した。鉄鋼企業の経営幹部による「経営幹部による大学特別講義」を11大学で、日本鉄鋼協会専務理事による「鉄鋼技術特別講義」を11大学で実施し、約2,000名の学生が聴講した。

企業人材育成においては、「鉄鋼工学セミナー」、「鉄鋼工学アドバンストセミナー」を対面で開催した。「鉄鋼工学セミナー」は2022年度より規模を拡大、例年の7割程度の規模で、「鉄鋼工学アドバンストセミナー」は2023年度もコロナ禍前の規模で対面開催した。「鉄鋼工学セミナー専科」については5専科を対面で、1専科をオンラインで開催した。

技術講座として、次の2講座を開催している。鉄鋼に関する研究・技術・設備等の最近の進捗をテーマとした講演で構成する西山記念技術講座(2テーマ各2回計4回)と、鉄鋼業

の進歩に貢献する関連分野の各種技術に関する講演で構成される白石記念講座(1テーマ計1回)である。

上記に示した各事業に加え、2022年度より開始した高校生・高専生を対象にした鉄鋼の魅力伝える教育/教育支援の事業を継続して進めている。具体的には①製鉄所見学事業(交通費支給)の対象拡大(大学学部から高校、高専及び大学全部(大学院を含む)に拡大)、②高校・高専への大学教育出張授業への補助事業、③高校・高専の教科で活用できる動画教材の制作の3プログラムである。

さらに、2022年度から開始した、本会個人会員向けのWeb講演会・講座も継続して実施している。これらは、①鉄鋼に関連する産業、政索、技術に関する講演(鉄鋼協会Web講演会)、②鉄鋼技術の最前線・動向に関する講演(Web講演会～鉄鋼技術最前線シリーズ～)、③鉄鋼の基礎技術講座(Web講座～入門講座シリーズ～)の3種である。③は比較的若年の鉄鋼技術者・研究者向けに関連する技術の学問的背景の理解や周辺技術の習得を主目的とし、本会会報誌「ふえらむ」入門講座に掲載された記事を解説するもので、学生等の初学者の教材としても有用である。

5 本会における技術創出活動

本会では、生産技術部門に属する技術部会および技術検討部会が中心となって、鉄鋼生産技術に関する技術情報の調査、技術開発課題の抽出と課題解決に向けた活動を行っている。また、鉄鋼におけるカーボンニュートラルに関して、2022年4月に「鉄鋼カーボンニュートラル検討会議」を設置し、前身である「地球温暖化対策計画の実現に向けた鉄鋼技術検討会議(略称CGS)」の提言を引き継ぎ、生産技術部門に限らず、学会部門も含めた鉄鋼協会全体としての活動を行っている。

5.1 技術部会

鉄鋼製造にかかわる特定分野毎の活動を推進している技術部会は、部会大会を定期的で開催し、現時点で重要な課題を共通・重点テーマとして、例年活発な議論を行っている(表3)。2023年度の技術部会活動は、約3年間続いたCOVID19による行動規制が5月に解除されたことにより、一部見送りとなっていた諸活動を含め全面的に活動が再開された。また、コロナ禍に普及したオンライン、及びハイブリッドの開催形式がコロナ禍後も効率的な運用として定着した。2023年度の技術部会大会の参加者延べ人数はオンラインによる参加を含めて2,500名(2022年度は2,436名)であり、大学等からの研究者の参加は53名(2022年度は56名)であった。

表3 生産技術部門における技術創出活動の主体

種 類	概 要
技術部会	<ul style="list-style-type: none"> ・対 象：鉄鋼製造全般にかかわる特定分野 ・部会種類：製鉄、コークス、製鋼、電気炉、特殊鋼、耐火物、厚板、熱延鋼板、冷延、表面処理鋼板、大形、棒線圧延、鋼管、圧延理論、熱経済技術、制御技術、設備技術、品質管理、分析技術、以上 19 部会 ・参 加 者：鉄鋼企業の技術者、研究者、大学等教職員 ・活動目的：現場技術水準の向上を目的とした鉄鋼生産に関する技術交流、各分野における技術課題の抽出と課題解決、若手技術者の育成、産学連携による技術向上、海外技術の動向調査 ・活 動：部会大会(年 1~2 回)、特定テーマを扱う技術検討会、若手育成のための講習会等各種企画、等
技術検討部会	<ul style="list-style-type: none"> ・対 象：鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際技術課題 ・部会種類：実用構造用鋼検討部会、自動車用材料検討部会(第X期)、压力容器用材料技術検討部会、社会インフラ鋼材技術検討部会、以上 4 部会 ・活動内容：技術の方向と課題解決のための技術討議、調査等の研究、他学協会との情報交流、等

表4 日本鉄鋼協会の研究助成制度

種 類	概 要
鉄鋼研究 振興助成	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨：鉄鋼研究の活性化、鉄鋼の基礎的基盤的研究の支援、若手研究者の育成 ・募集：公募により毎年採択、活動期間は 2 年間 ・特徴：研究者個人を対象、若手枠を設置 ・件数：26 件(2023 年度受給者数)
鉄鋼カーボンニュートラル研究助成	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨：地球温暖化防止に向けて鉄鋼協会として取り組むべき課題の明確化 ・募集：公募により採択、活動期間は原則として 1 年間もしくは 2 年間 ・特徴：鉄鋼分野以外の化学工学、機械工学、電気工学等の分野も含め、既に検討を開始したカーボンニュートラル/グリーントランスフォーメーションに資する研究や、アイデア段階の萌芽的な研究を支援 ・件数：23 件(2023 年度受給者数)
研究会	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨：鉄鋼研究の活性化、技術革新の基盤創生、産学連携による人的研究ネットワーク構築 ・募集：提案、公募により毎年採択、活動期間は原則として 3 年間 ・特徴：大学等研究機関からのシーズ主導の基礎的・先端的テーマを扱う「研究会 I」と鉄鋼企業からのニーズ主導の応用的・産業的テーマを扱う「研究会 II」を設置、産学参加 ・件数：21 件(2023 年 12 月末現在活動中)
鉄鋼協会研究プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨：鉄鋼業の技術課題の解決、重要かつ基盤的領域の研究、国家プロジェクト等への展開 ・募集：公募により毎年採択、活動期間は原則として 3 年間 ・特徴：鉄鋼業のニーズに基づく産業応用に資する重要技術の研究開発プロジェクト、産学参加 ・件数：3 件(2023 年 12 月末現在活動中)

5.2 技術検討部会

分野横断的、業際技術課題を検討する技術検討部会は、4 部会が活動を行った(表3)。「自動車用材料検討部会」では、例年同様、(公社)自動車技術会/(公社)日本金属学会/日本鉄鋼協会による合同シンポジウムを実施した。「压力容器用材料技術検討部会」は、2011年の発足以来多くの成果をあげて一定の役割を終え、2023年度にて活動を終えた。「実用構造用鋼部会」では、2023年度より「実用構造用鋼のGX・DX 技術適用検討部会」の活動を開始し、グループ討議等を行った。「社会インフラ鋼材技術検討部会」は、2022年度に引き続き、主に製鉄所における鋼構造の新規建設、増改築、設計施工における課題に関して検討を進めた。

5.3 研究助成

本会の研究助成に関する制度を表4に示す。「鉄鋼研究振興助成」では、2023年度から受給開始となる対象者として

新たに26件(若手15件)が採択され、2022年度から開始した29件と合わせて2023年度は合計55件が受給テーマに基づく活動を実施した。2022年度に新設した「鉄鋼カーボンニュートラル研究助成」では、2023年度から受給開始となる対象者として新たに23件が採択され、2022年度に開始した研究期間2年間の18件と合わせて2023年度は合計41件が受給テーマに基づく活動を実施した。産学共同チーム向けの助成である「研究会」は、2023年度には21研究会が活動し、その内の9研究会が同年度に終了した。2023年度に新規に活動を開始した研究会は、研究会 I (シーズ型) 5件、研究会 II (ニーズ型) 1件であった(表5)。また、2024年度から発足する研究会は、研究会 I 3件、研究会 II 3件(表6)である。鉄鋼協会研究プロジェクトでは、2023年度は3件が活動し、2023年度から活動を開始したプロジェクトは1件であった(表7)。また、2024年度から新たに1件が活動を開始する予定である(表8)。

表5 2023年度活動 研究会

型	研究会名	所属部会等(略記※)	主査	研究期間
I	次世代水素富化高炉における塊状帯制御	高プロ	大野 光一郎(九大)	2020～2023年度(1年延長)
I	凝固過程の介在物生成・成長・変性機構	高プロ	松浦 宏行(東大)	2020～2023年度(1年延長)
I	鉄鋼CCU	サステナ	坪内 直人(北大)	2020～2023年度(1年延長)
I	微生物腐食の解明と診断・抑止技術の構築	材料	宮野 泰征(秋田大)	2020～2023年度(1年延長)
I	高品質焼結鉄の鉄物組織マルチスケール評価	高プロ	林 幸(東工大)	2021～2023年度
I	インフラ劣化診断のためのデータサイエンス	サステナ	片山 英樹(物材機構)	2021～2023年度
I	AM材の構造因子の数値化と破壊強度	創形/材料	尾崎 由紀子(九大)	2021～2023年度
I	鉄鋼関連材料の非破壊・オンサイト分析法	評価分析	今宿 晋(東北大)	2021～2023年度
I	鑄造凝固における欠陥のマルチスケール解析	高プロ	及川 勝成(東北大)	2022～2024年度
I	溶融酸化物の熱伝導度計測高精度化	高プロ	助永 壮平(東北大)	2022～2024年度
I	炭素鋼における切削現象の系統的再解明	創形	生田 明彦(近畿大)	2022～2024年度
I	溶融めっき皮膜の機能創出に資する構造因子	材料	高田 尚記(名古屋大)	2022～2024年度
I	高度な技能に基づく鉄鋼分析操作の化学検証	分析	上原 伸夫(宇都宮大)	2022～2024年度
II	水素脆化評価法に必須の要素技術の抽出	自動車	高井 健一(上智大)	2022～2024年度
II	リン濃縮鉄鋼スラグの肥料化	スラグ	和崎 淳(広島大)	2022～2024年度
I	水素侵入と水素捕捉に関する革新的評価技術	材料/サステナ	伏見 公志(北大)	2023～2025年度
I	局所塑性に由来する損傷発達および破壊	材料/サステナ	小山 元道(東北大)	2023～2025年度
I	次世代環境調和型コークス製造技術	高プロ	鷹嘴 利公(産総研)	2023～2025年度
I	圧延ロール界面現象の見える化	創形	柳田 明(東京電機大)	2023～2025年度
I	製鉄プロセスを安定化する内部分布計測技術	計測シ/高プロ	藤垣 元治(福井大)	2023～2025年度
II	アークによるスクラップ伝熱・溶解機構(FS)	電気炉	植田 滋(東北大)	2023年度

表6 2024年度採択 研究会

型	研究会名	所属部会等(略記※)	主査	研究期間
I	高水素高炉用焼結鉄の製造と特性評価	高プロ	林 幸(東工大)	2024～2026年度
I	鉄鋼に関わるサプライチェーンマネジメント	サステナ	山末 英嗣(立命館大)	2024～2026年度
I	エネルギーチェーンのシステミック最適化	計測シ	諏訪 晴彦(摂南大)	2024～2026年度
II	鉄鋼スラグ中Mnの存在形態解析	スラグ	江場 宏美(東京都市大)	2024～2026年度
II	アークによるスクラップ伝熱・溶解機構	電気炉	植田 滋(東北大)	2024～2026年度
II	圧延の不均一な弾塑性変形現象の解明	圧理	柳本 潤(東大)	2024～2026年度

※ 高プロ：高温プロセス部会、計測シ：計測・制御・システム工学部会、創形：創形創質工学部会、材料：材料の組織と特性部会、評価分析：評価・分析・解析部会、サステナ：サステナブルシステム部会、電気炉：電気炉部会、圧理：圧延理論部会、自動車：自動車用材料検討部会、スラグ：スラグ技術検討WG

表7 2023年度活動鉄鋼協会研究プロジェクトのテーマ

研究テーマ	研究概要	主査	研究期間
サステナブル高純度クロム鋼溶製プロセス	スラグ制御によりクロム鋼精錬効率、クロム利用率を向上させる条件を明確にする。また、スラグ中酸化クロムの含有量を0.025mass%まで下げる方法を確立し、長期的な使用環境の変化や新しい利用先の開拓のため、スラグ中3価クロムが安定となる条件を明確にする。	三木 貴博 (東北大)	2021～2023年度
摩擦接合技術の高度化と鋼材設計指針の提案	「摩擦攪拌接合(FSW)」の積極的活用により鋼材開発の制約条件を緩和し、鋼材開発の新領域を開拓する。FSWを用いた最適プロセスを検証し高度化を図り、P、Cu以外にAl、Si、Mn、B、Nb等の合金元素の活用により、耐候性と機械的特性に優れた摩擦接合用の鋼材設計指針を得る。	藤井 英俊 (阪大)	2021～2023年度
粒界工学手法による汎用鋼の高機能鋼化	オーステナイト系以外の鉄鋼材料に対する粒界制御の指導原理および具体的な制御方法を確立し広範な鋼種への粒界工学手法の適用を可能とする。粒界制御された鉄鋼材料の実用化に向けた課題を解決する。粒界工学の学術基盤を確かなものにするため方位制御された双結晶試料を用いて最新の実験・理論的解析手法により粒界が関わる諸現象の理解の深化を図る。	連川 貞弘 (熊本大)	2023～2025年度

表8 2024年度採択鉄鋼協会研究プロジェクトのテーマ

研究テーマ	研究概要	主査	研究期間
伸線パーライト鋼の特異ラメラ組織発達機構	セメンタイト相の塑性変形挙動を完全に考慮に入れたフェライト/セメンタイト二相ラメラ組織そのものの変形機構解明を通じて、伸線パーライト鋼で発達する特異なラメラ組織の形成機構を明らかにすることを目的とする。さらに得られた知見をもとに超高強度と高加工性を兼ね備えた次世代型パーライト鋼の新設計指針の確立を目指す。	岸田 恭輔 (京大)	2024~2026年度

参考文献

- 1) IMF (国際通貨基金), 世界経済見通し, (2024年1月), <https://www.imf.org/ja/Publications/WEO/Issues/2024/01/30/world-economic-outlook-update-january-2024>, (参照日: 2024年2月6日).
- 2) 産経新聞, 高まる中国金融危機備えよ, (2023年12月5日8面).
- 3) 読売新聞オンライン, 米国, G7サミットで「途上国へのインフラ投資」重視…戦略広報調整官, <https://www.yomiuri.co.jp/world/20230517-OYT1T50199/>, (2023年5月17日).
- 4) 内閣府, 国民経済計算 (GDP統計) -国民経済計算年次推計-統計表 (国民経済計算年次推計), https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/files_kakuhou.html, (参照日: 2023年12月20日).
- 5) 財務省, 令和5年度の国民負担率を公表します, <https://www.mof.go.jp/policy/budget/topics/futanritsu/20230221.html>, (参照日: 2024年1月20日).
- 6) 日本経済新聞, 23年11月の実質賃金3.0%減 20カ月連続でマイナス (2024年1月10日夕刊1面).
- 7) 経済協力開発機構 (OECD), OECD Data-Poverty rate, <https://data.oecd.org/inequality/poverty-rate.htm>, (参照日: 2023年12月20日).
- 8) 内閣府, 「デフレ完全脱却のための総合経済対策」を決定しました, https://www.cao.go.jp/press/new_wave/20231107.html, (参照日: 2023年11月12日).
- 9) World Steel Association, December 2023 Crude Steel Production and 2023 Global Crude Steel Production Totals, <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/>, (参照日: 2024年2月6日).
- 10) 鉄鋼新聞, OECD鉄鋼委 鉄スクラップの需給など調査, 鉄鋼の過剰能力再び6億トン突破, (2023年10月3日1面).
- 11) 産業新聞, 多国間で鉄鋼過剰能力対処, (2023年12月5日1面).
- 12) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼生産概況2023暦年及び12月, <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/month.html>, (参照日: 2024年2月6日).
- 13) 鉄鋼統計要覧 (2023年版) No.63, 日本鉄鋼連盟, 2023年10月26日, p.2, 59.
- 14) 鉄鋼統計要覧 (1992年版) No.32, 日本鉄鋼連盟, 1992年10月29日, p.10, 66.
- 15) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼需給の動き2024年1月, <https://www.jisf.or.jp/data/jyukyu/documents/Jyukyu202401.pdf>, (参照日: 2023年12月20日).
- 16) 2024年度の鉄鋼需給見通し, 日本鉄鋼連盟, <https://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/2024tekkoujyuyoumitoshi.pdf>, (参照日: 2024年1月4日).
- 17) Production, Rio Tinto, (Fourth Quarter Operations review 2023, <https://www.riotinto.com/invest/financial-news-performance/Production>, (参照日: 2024年1月22日).
- 18) BHP Operational Review for the Half Year Ended 31 December 2023, <https://www.bhp.com/investors/financial-results-operational-reviews>, (参照日: 2024年1月22日).
- 19) Vale's Sales and Production performance for 4Q23 and 2023, <https://vale.com/en/4q23-sales-and-production-report%E2%80%8B>, (参照日: 2024年2月1日).
- 20) 財務省貿易統計-検索ページ-普通貿易統計-概況品別統計品目標-条件入力, 財務省, <https://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>, (参照日: 2024年2月6日).
- 21) International Monetary Fund, Exchange Rates Selected Indicators, Japan, <https://data.imf.org/>, (参照日: 2024年1月16日).
- 22) World Bank Commodity Price Data, <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>, (参照日: 2024年1月4日).
- 23) 鉄鋼新聞, 鉄鋼原料 回顧と展望, (2023年12月21日2面).
- 24) 日刊産業新聞, 相場・統計データINDEX 国内市場価格INDEX 鉄スクラップ【H2】, https://www.japanmetal.com/memberwel/marketprice/soba_h2, (参照日: 2024年1月22日).

- 25) 鉄鋼需給四半期報, 日本鉄鋼連盟編, No.287～289(2023), No.290(2024).
- 26) 鉄鋼生産速報, 日本鉄鋼連盟, (暦年 全国鉄鋼生産高/全国鋼材生産高), <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/documents/2023CY.xls>, (参照日: 2024年1月23日).
- 27) 経済産業省生産動態統計(鉄鋼), 経済産業省, http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu4, (参照日: 2023年2月6日).
- 28) December 2023 Crude Steel Production and 2023 Global Crude Steel Production Totals, World Steel Association, <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/>, (参照日: 2024年1月26日).
- 29) 中国経済: 2023年の回顧と2024年の見通し(2023年12月21日), 大和総研, https://www.dir.co.jp/report/research/economics/china/20231221_024158.html, (参照日: 2023年12月26日).
- 30) 鉄鋼需要, 24年に回復基調へ＝アナリスト(2023年12月19日), NNAアジア経済ニュース, <https://www.nna.jp/news/2604721>, (参照日: 2024年2月6日).
- 31) アジア・マンスリー 2024年1月号(2023年12月26日), p.7, 日本総研, <https://www.jri.co.jp/file/report/asia/pdf/14707.pdf>, (参照日: 2023年12月26日).
- 32) 日本経済新聞 電子版, 活況のインド製鉄業 日本製鉄が新高炉, 投資相次ぐ, (2023年11月5日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC026NF0S3A600C2000000/>, (参照日: 2024年1月24日).
- 33) 日本経済新聞 電子版, 産業素材, CO₂排出「見える化」環境認証の取得拡大, (2023年7月25日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUB140IA0U3A710C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 34) 日本経済新聞 電子版, 30年の温暖化ガス8%増, パリ協定の目標遠く 国連機関, (2023年11月14日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA143F70U3A111C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 35) 日本経済新聞 電子版, 温暖化ガス, 35年に19年比60%削減をIPCC報告書, (2023年3月20日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA2005A0Q3A320C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 36) 日本経済新聞 電子版, 排出削減の35年目標60%軸, 日本に試練G7環境相声明, (2023年4月16日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA137DQ0T10C23A4000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 37) 鉄鋼新聞 電子版, G7合意の鉄鋼データ収集/北野鉄連会長「大きな成果」, (2023年5月31日), [japanmetaldaily.com/articles/-/128088](https://www.japanmetaldaily.com/articles/-/128088), (参照日: 2024年3月1日).
- 38) 日本経済新聞 電子版, COP28, 曖昧な「歴史的合意」 気温上昇余地あと0.4度, (2023年12月14日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA087GB0Y3A201C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 39) 日本経済新聞 電子版, IEA「30年に再エネ3倍必要」 提言 脱化石燃料を加速, (2023年9月26日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA2611N0W3A920C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 40) 日本経済新聞 電子版, 水素還元製鉄の開発支援, 4500億円に倍増 経産省, (2023年9月15日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA1530Z0V10C23A9000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 41) 日本経済新聞 電子版, 水素普及へ3兆円支援, 既存燃料との価格差補填 政府, (2023年12月15日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA1578T0V11C23A2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 42) 日本経済新聞 電子版, GX債1.6兆円で脱炭素支援 水素製鉄に2500億円, (2024年2月5日), <https://www.nikkei.com/article/DGKZQO78227020V00C24A2MM8000/>, (参照日: 2024年3月1日).
- 43) 日本経済新聞 電子版, CO₂の地下貯留権を創設 24年に法案, 脱炭素投資促す, (2023年12月19日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA18BH60Y3A211C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 44) 日本経済新聞 電子版, EUが輸入品にCO₂報告義務 鉄鋼メーカー, 対応に苦慮, (2023年11月17日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUB160QM0W3A111C2000000/>, (参照日: 2024年1月17日).
- 45) 日本経済新聞 電子版, 電炉への転換, 省エネが肝 プラント大手がAIで操業制御, (2023年7月8日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC1399D0T10C23A6000000/>, (参照日: 2024年1月23日).
- 46) 日本経済新聞 電子版, 電炉省エネ, 大阪大のAIが挑む 少量データで熟練技学習, (2023年7月8日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUF2124O0R20C23A8000000/>, (参照日: 2024年1月23日).
- 47) 日本経済新聞 電子版, 水素にかかる川崎臨海部 高価格・需要開拓に課題, (2023年6月19日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC14BAH0U3A610C2000000/>, (参照日: 2024年1月24日).
- 48) 日本経済新聞 電子版, 北九州「洋上風力拠点」が始動 基礎構造14基, 石狩湾へ, (2023年6月12日), www.nikkei.com/article/DGXZQOJC07AUR0

- X00C23A600000/, (参照日：2024年1月24日).
- 49) 日本経済新聞 電子版, 茨城県, アンモニア供給網に向けワーキンググループ, (2023年3月24日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC247250U3A320C2000000/>, (参照日：2024年1月24日).
- 50) 日本経済新聞 電子版, JFEなど10社, 京葉コンビナートを脱炭素化 連携策検討, (2023年2月7日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC1291J0S2A211C2000000/>, (参照日：2024年1月24日).
- 51) 日本経済新聞 電子版, 石油化学コンビナート, 地域挙げて脱炭素へ, (2023年1月25日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC199L90Z10C23A1000000/>, (参照日：2024年1月24日).
- 52) 公正取引委員会, (令和6年2月15日) 石油化学コンビナートの構成事業者によるカーボンニュートラルの実現に向けた共同行為に係る相談事例について, <https://www.jftc.go.jp/houdou/pressrelease/2024/feb/240215shunan.html>, (参照日：2024年3月1日).
- 53) 日本経済新聞 電子版, 福岡県, 「水素の街」へ巻き返し北九州に大規模拠点, (2023年8月9日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOJC31BDU0R30C23A5000000/>, (参照日：2024年1月24日).
- 54) 日本経済新聞 電子版, 大分県, コンビナートの脱炭素化へ産学官の検討組織, (2023年8月1日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOJC015SA0R00C23A8000000/>, (参照日：2024年1月24日).
- 55) 政府統計の総合窓口 (e-Stat), 科学技術研究調査 / 2023年 (令和5年) 科学技術研究調査-データセット一覧-企業 / 表番号12, (産業, 州別国際技術交流の対価受払額 (企業)), (2023年12月15日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003321300>, (参照日：2024年2月5日).
- 56) 政府統計の総合窓口 (e-Stat), 科学技術研究調査-2023年 (令和5年) 科学技術研究調査-データセット一覧-企業 / 表番号1, (産業, 資本金階級別研究関係従業者数, 社内使用研究費, 受入研究費及び社外支出研究費 (企業)), (2023年12月15日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003463139>, (参照日：2024年2月5日).

(2024年3月1日受付)

★2023年新製品★

本会維持会員企業における2023年の新製品およびその動向を示す。

2023年における新製品およびその動向一覧表

分類	会社名	製品名および動向	内容
建築向け製品	JFE スチール(株)	JFE の耐震壁	地震時に耐震壁の耐力低下を防止するスチフナの配置を最適化することで、軽量化と施工性を両立した鋼製の耐震壁。
	(株)神戸製鋼所	大入熱溶接型 780N/mm ² 級鋼板	溶接組立箱形断面柱向けの大入熱エレクトロスラグ溶接が可能な高強度 780N/mm ² 級鋼板。
土木向け製品	JFE スチール(株)	薄物耐疲労鋼	熱処理による組織制御で複雑な二相組織を構成し、疲労亀裂の進展経路を迂回させ、進展速度を 1/2 とする薄物鋼材。
	(株)神戸製鋼所	EX-Facter [®] (土木、造船向け)	最適成分設計と TMCP 技術を駆使し、疲労亀裂の発生を抑制する機能を付加し、疲労亀裂発生寿命を改善した鋼板。
		エコビュー プラス	鋼自体の高耐食化と塗装成分とのマッチングを考慮した環境遮断効果を有する橋梁用鋼材／高湿潤環境対応型耐食鋼板。
自動車向け製品	日本製鉄(株)	一体化対応型1470MPa級冷延鋼板	部品の一体成形を可能にする高加工性 1470MPa 級冷延鋼板。一体型 A ピラーに初採用され工程省略と軽量化に貢献。
	(株)神戸製鋼所	低CO ₂ 高炉鋼材 「Kobenable Steel」	競技車両のエンジン部品締結ボルトにて、マスバランス方式により鋼材製造工程のCO ₂ 排出量を削減した非調質鋼。
産業機械向け製品	JFE スチール(株)	B0-Eye [™]	連铸機の铸型下部に設置したイメージセンサーカメラで監視・画像解析し、発生初期段階の B0 を検知するシステム。
電気機械向け製品	大同特殊鋼(株)	低周波における磁気ノイズ抑制効果を有したパーマロイ箔 「STARPAS [®] -50PC2S」	低周波で求められる軽量化が可能で加工性に優れ、約 100 kHz 以下の低周波帯にて優れた特性を誇る磁気シールド材。
		SLM方式3Dプリンタ用金属粉末 「LTX [™] 420」	SLM 方式の 3D プリンタで造形中に発生するひずみを低減できるプラスチック金型用粉末。
その他製品	JFE スチール(株)	JGreeX [™]	追加性のあるプロジェクトによるCO ₂ 削減量を価値化し、「マスバランス方式」を適用したグリーン鋼材。

☆生産技術のトピックス☆

2023年の注目すべき技術開発、新設備、新製品などの概要を紹介する。

再点火焼結による省エネ・高品質焼結製造

日本製鉄 (株)

製鉄所からのCO₂排出量の過半を占める製鉄プロセスにおいて、粉コークス等の焼結用凝結材を削減できれば、焼結鉍の被還元性向上を介して高炉還元材比も低減できる。その結果、焼結および高炉双方の排出CO₂削減に結びつく。

この背景の下、日本製鉄は、凝結材削減における課題である歩留悪化対策として、REMO-tec (RE-ignition Method for Optimization of Total Energy Consumption) を開発した。

本技術は初点火後に適正な時間を置いて再点火するプロセスである (図1)。その狙いは、1回の点火では未燃で残存する粉コークスを、再点火によって燃焼させる点である。未燃コークス低減と再点火熱により、高温保持時間伸延を通じて脆弱な焼結層上層の歩留を高められる。

本技術は、基礎検討を含むオフライン試験を踏まえ、室蘭で実機化した。実機効果として、再点火による歩留向上 (+2%) を確認し [step1]、凝結材削減 (Δ3kg/t-sinter; 全凝結材配合の6%に相当) に成功した [step2] (図2)。なお、step2では焼結鉍性状として被還元性も向上している (JIS-RI+1.5%)。

その後、同技術は君津にも展開した。

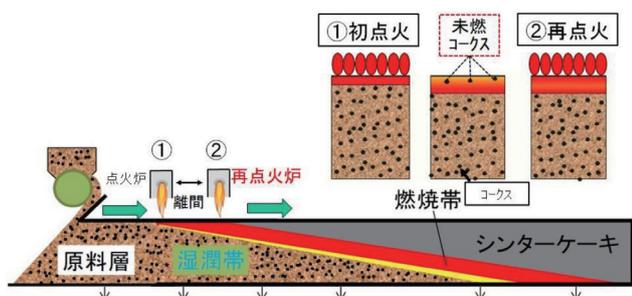


図1 REMO tec 再点火焼結 プロセスフロー (Online version in color.)
提供：日本製鉄

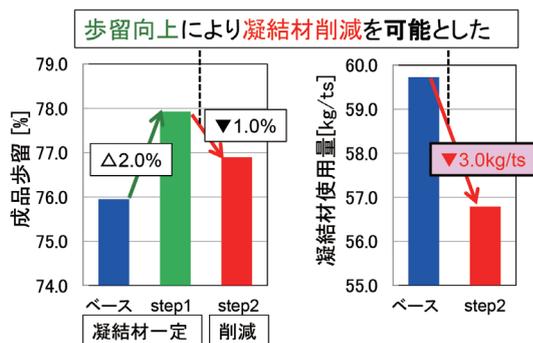


図2 試験操業評価室蘭試験期間：各5日間 (Online version in color.)
提供：日本製鉄

東日本製鉄所 (千葉地区) 第6高炉火入れについて

JFE スチール (株)

JFE スチール東日本製鉄所千葉地区の第6溶鉍炉は2022年9月23日に第2次操業の吹き卸しを実施し、1998年5月26日の火入れから8886日 (24年119日) の稼働期間を経て3次改修工事を開始した。炉内冷却完了後の工事期間は109日、翌年2023年1月13日に火入れを行った。前回の2次改修工事から千葉地区の環境は変化しており、第5溶鉍炉は休止解体されているため、3次改修は製鉄所に1基しかない溶鉍炉を止め改修工事を行うというJFE スチールとしては統合前の期間も含めて初めての試みとなった。これに対応しスラブや製品を他地区の置き場もふくめ数十万トン以上事前備蓄し、またお客様にもこまやかに情報をお伝えして対応を実施するなど、非常に多くの方々のご協力をいただくことにより工事を進めることができた。一方1次操業開始から45年経過し付帯設備の老朽化も進んでいたため、工事範囲は貯鉍槽、原料装入ベルトコンベア、熱風炉熱風本管、ガス清浄系の除塵機、湿式集塵機及び連絡配管の更新にも及び、エネルギー部門からの埋設冷却水用配管の更新も実施することとなった。延べ施工者数は23万4千人、コロナ禍での工事のため、工事管理者、施工者の方々のコロナクラスター発生防止に費やした労力も大きいなか、ロシアウクライナ問題も重なり、非常に多くの工事調整を要した。

高炉本体工事は、2次改修時でも採用した大ブロックリング工法を今回も実施し、炉体の搬出入用の斜路築造には、EPS工法 (発砲スチロールブロック) を初採用するなど、工期短縮のための技術を導入した。

新しい炉体には、原料の装入位置をよりきめ細やかに制御できる装入装置の採用、炉体冷却設備は長寿命化を目的としさらに冷却能力を強化した。炉内の反応状況をより正確に把握するためのセンサーを増設し、膨大な温度センサーのデータ送信はフィールド無線システムを採用し、配線敷設工事と炉体工事の干渉を避けることにも役立った。鋳床機器は全面更新を実施、可能な限り自動化機能を実現するとともに、鋳床機器3Dシュミレーターを採用することにより、機器の完成前からの仮想空間での操作習熟を実施することが可能となり、初出鉍からトラブルなく通常操業への移行を達成した。

高炉でのCO₂削減に向けた革新的なHBI多配合操業技術

(株) 神戸製鋼所

神戸製鋼所は2023年5月に加古川製鉄所第3高炉において、HBI (HotBriquettedIron:還元鉄) 多配合により世界最高水準となるCO₂削減効果25%の実炉実証に成功した。これは2020年10月に実施した実証結果 (CO₂削減効果20%) を大幅に上回る結果であり、極めて先進的な技術である。従来のKOBELCOグループの独自技術 (ペレット改質技術、AI操炉®技術ならびにMIDREX®法によるHBI製造技術) に加え、

HBI装入技術の深化、衝風制御技術によりHBI440kg/t-溶銑配合下で世界最小水準の還元材比386kg/t-溶銑、コークス比230kg/t-溶銑を達成した。

高炉でのHBI使用は海外で積極的に試行されてきたが、高炉下部の通気性低下が課題となりコークス比低減に限界があったためHBI多配合を達成できなかった。これはHBI使用による還元ガス量低下及びコークス比低減に伴う融着帯形状の悪化によりガス流れが不安定となり、コークス比を上げざるを得なかったためと推測される。この問題を解決するため、高炉径方向のHBI装入位置制御を深化させ融着帯形状の最適化を図ると共に、窒素による衝風制御により高炉安定操業に必要なガス量を確保した。

汎用性の高い本技術は、全世界全高炉に適用可能であり、グローバルな環境負荷低減という課題に対し社会的貢献を行っていく。

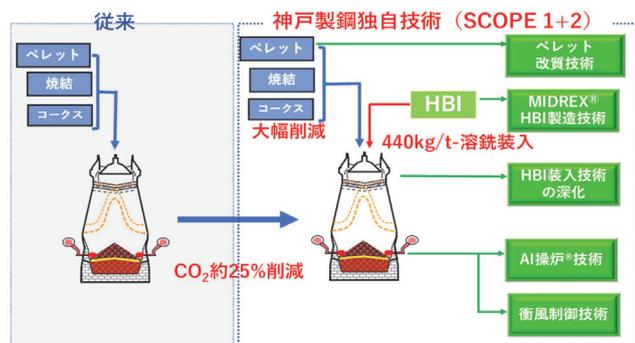


図3 CO₂低減ソリューションのコンセプト (Online version in color.)

薄物耐疲労鋼 (AFD[®] 鋼)

JFE スチール (株)

JFE スチールは、疲労損傷への耐久性を高めた薄物耐疲労鋼 (『AFD[®]』鋼) を開発した。AFD 鋼の薄肉製造を実現したことで、疲労き裂の発生しやすい橋梁の薄肉部材向けなど、より広範囲の部位に適用可能となった。本鋼板は、国土交通省の新技術情報提供システム (NETIS) に登録 (KT-220231-A) された。

2020年3月に稼働した東日本製鉄所 (京浜地区) 厚板工場の高度な冷却制御機能の特徴とする『Super-RQ』を活用し、従来の厚板と同等の機械的性質を維持しつつ、一般鋼と比べて疲労損傷への耐久性を高めた鋼板を最小板厚9mmまで商品化を実現した。本鋼板は、橋梁に用いられる溶接構造用圧延鋼材 (JIS G 3106 SM490)、橋梁用高降伏点鋼板 (JIS G 3140 SBHS500) の各規格を満たしている。

今回、開発した薄物耐疲労鋼により、これまで疲労き裂が問題となり易かった部材への適用が可能となるため、鋼構造物の耐久性向上を実現することができる。また、薄物を含むAFD 鋼は、一般鋼に比べ約2倍に改善する結果が得られており (図4)、部材の長寿命化に伴うライフサイクルコスト低減にも貢献することができる。

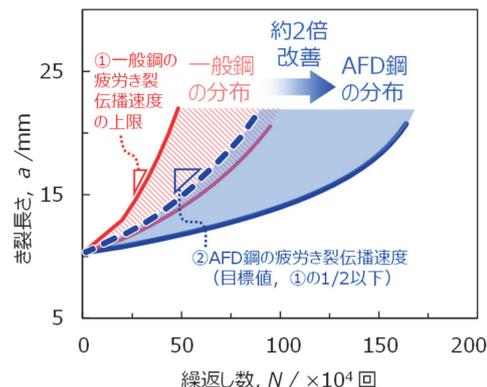


図4 一般鋼とAFD鋼の疲労き裂伝播寿命の試算 (Online version in color.)

二相ステンレス鋼 SUS821L1 厚板への TMCP 技術適用による高強度・高硬度化を実現

日鉄ステンレス (株)

日鉄ステンレスは、省合金二相ステンレス鋼 SUS821L1 (主成分: 21% Cr-2% Ni-N) 厚板に TMCP (Thermo Mechanical Control Process: 熱加工制御プロセス) を適用する事で、SUS821L1 の機械特性の更なる向上を実現した。

TMCPとは、主に普通鋼厚板で確立された製造方法で、製造時の圧下率と温度のコントロールにより、鋼材の強度や靱性等の機械的性質を高めることが可能となる。

日鉄ステンレスの二相ステンレス鋼厚板は、その高い耐食性、高強度がもたらす軽量化及び省合金鋼としての価格安定性から、全国のダムや水門等の土木インフラへの採用が広がっている。ダム等のコンクリート製河川構造物は、水流や土砂に晒される排砂路や放流管の底・側面等の摩耗が進行することで強度が低下し、機能が損なわれることから、従来は鉄やゴムでライニングされていたが、これら部位についても、日鉄ステンレスの独自二相ステンレス鋼の適用が普及している。

日鉄ステンレスは SUS821L1 厚板に TMCP を適用する事で、通常 SUS821L1 と合金添加量を変えることなく、加工に必要な伸びの下限を維持しつつ耐力・強度・硬度等の機械的性質を向上させるとともに、ステンレス鋼厚板の表面と内部の硬度差を一般的な製法より縮小することで耐摩耗性能を向上させることを実現し、河川構造物等のライニングの長寿命化によるライフサイクルコストの低減を可能とした。

SUS821L1-TMCP は、通常 SUS821L1 に対し耐力が 10% 以上向上し、上位鋼種である SUS329J4L と同じ 0.2% 耐力 $\geq 450\text{N/mm}^2$ の保証が可能であることに加えて、お客様のご要望により JIS 規格に規定の無い硬さ (ブリネル) の下限値を指定する事も可能となる。日鉄ステンレスは、今後も高品質なステンレス厚板による総合的なソリューション提案を通じて、長寿命で信頼性の高い土木インフラ整備をはじめとした国土強靱化に貢献していく。

表1 SUS821L1の機械的性質 (JIS G4304 表10 相当) (Online version in color.)

材質	引張試験			硬さ試験
	耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	硬さ HBW
SUS304	205以上	520以上	40以上	(下限規定なし)
SUS821L1	400以上	600以上	25以上	(下限規定なし)
SUS821L1-TMCP (例)	450以上	650以上	25以上	250以上

低周波磁気ノイズ抑制シート「STARPAS®-50PC2S」

大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼は、約100kHz以下の低周波において優れたシールド特性を誇る磁気ノイズ抑制シートを開発した。

近年、車の電動化や自動運転技術などの進化により、電子機器の正常な動作の妨げとなる電磁ノイズのEMC (ElectroMagnetic Compatibility) 対策が重要となっている。一般に、低周波では電磁ノイズに対するシールド効果を得るために、一定の厚みの材料の使用を余儀なくされて機器の軽量化の妨げになる場合や、材料によっては製品への貼り付け時に曲げや打ち抜きなどの加工により性能が低下するケースがあった。

そこで、高感度な高透磁率材を圧延し、熱処理を最適化することにより、低周波において求められる軽量化が可能で加工性にも優れたシールド材を商品化し、これまでのMHz帯までの中周波帯ノイズに抑制効果のある高感度用のSTARPAS®-PC2S (30 μm厚以下) と、強磁界用のSTARPAS®-DF42N (30 μm厚以下) のラインナップに加えることで、EMC対策におけるEMI (電磁妨害) ならびにEMS (電磁感受性) のいずれにも対応できる体制を確立した。

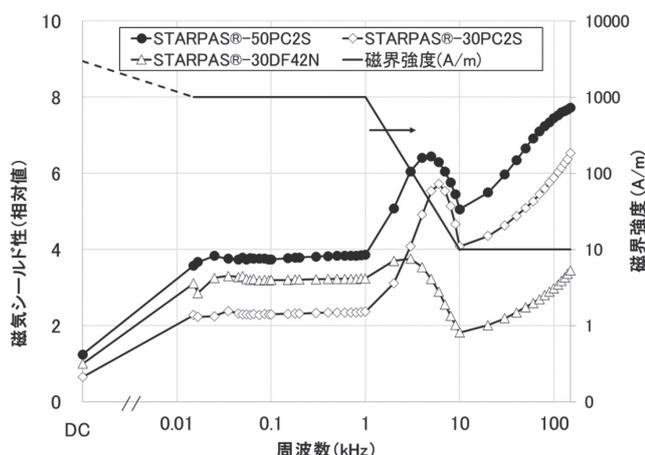


図5 ISO11452-8内部磁界 試験レベルIVシールド性

超高強度鋼板の一体成形を可能にするプレス工法 (NSafe®-FORMシリーズ) の開発

日本製鉄 (株)

日本製鉄は、カーボンニュートラル時代に対応した次世代鋼製自動車コンセプト“NSafe®-AutoConcept (以下、NSAC)”を提案し、超高強度鋼板や、NSACを構成するプレス工法群 (NSafe®-FORMシリーズ) の開発・量産化を進めている。

自動車のCO₂排出量削減と衝突安全性向上への対応には、車体の軽量化と製造工程でのCO₂削減、高強度化が必要されているが、その両立には車体への超高強度鋼板の適用と部品一体化が有効である。一方、超高強度鋼板を一体化部品に適用すると、一般的なプレス加工では板厚減少による破断限界が低いため、加工が困難であることが課題であった。

そこで、日本製鉄は、「せん断変形」に着目し、プレス金型内に設置された補助金型で鋼板の変形を制御し、成形を容易にする新たなプレス工法を開発し、“NSafe®-FORM”としてシリーズ化した。具体的には、自動車部品の中で特に成形が難しい、メンバー類に見られる湾曲ハット形状部品の縦壁部や、センターピラー等に見られるL字、T字形状端部の湾曲稜線部近傍をせん断変形させる、「せん断成形工法」や「自由曲げ工法」を開発し、超高強度鋼板を用いても、割れやしわの発生無く製品形状に一体プレス成形することを可能にした。

なお、日本製鉄は、本開発プレス工法の実用化による、車体の軽量化、高強度化、およびCO₂排出量削減の成果により、2023年度 (第58回) 日本塑性加工学会賞において、最高賞である「学会大賞」を受賞した。

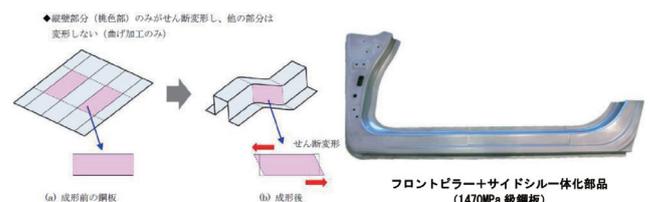


図6 せん断変形による成形の考え方と一体化部品事例 (自由曲げ工法例) (Online version in color.)

提供：日本製鉄 (株)

生体用低弾性率Ti合金Ti-15Moを国内で初めて発売

大同特殊鋼 (株)

Ti-15MoはASTM International (米国材料試験協会) にASTMF2066として2000年に登録されて以来、20年以上の歴史をもつ生体用低弾性率チタン合金であるが、アルミフリーかつ高融点のモリブデン原料を多量に含んでいるため、モリブデンの溶解残りを生じやすく製造が難しいチタン合金であった。

大同特殊鋼は、先進的溶解技術であるLIF炉 (Levitation Induction Furnace) を活用することで、国内で初めて量産製造を実現し販売に着手した。

Ti-15Moは、毒性の指摘の少ないチタンとモリブデンからなる生体用の β 型チタン合金であり、弾性率も骨に近いため骨組織との応力遮蔽や骨萎縮を生じにくい特徴を有している。また、同合金は溶体化状態では軟質で良好な成形性を有しており、時効処理を施すことで高強度化も可能な合金のため、所望の強度レベルに応じて強度の制御も可能である。

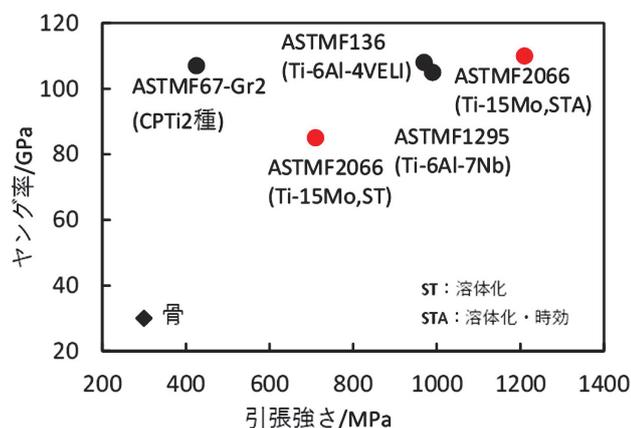


図7 各種チタン合金の引張強さとヤング率¹⁾ (Online version in color.)

1) https://www.daido.co.jp/about/release/2023/231024_ti-15mo.html

コークス炉の部分燃焼最適化技術

JFE スチール (株)

JFE スチールは、DX戦略としてCyber Physical System (CPS) を活用してインテリジェント製鉄所の構築を目指している。また、デジタルツインはCPSのコア技術であり、現実世界の物理システムやプロセスを仮想空間上 (デジタル) に現実世界と等価なモデル (双子=ツイン) を再現し、現実世界を忠実にシミュレートするテクノロジーである。デジタルツインを活用することで従来困難であった、大規模な操業変更や設備変更時における効果の予測が可能になる。

今回、この技術を西日本製鉄所福山地区の5コークス炉D団 (以下5D炉) の操業改善に活用した。仮想空間上に構築したコークス炉のデジタルツインの情報から、5D炉では部分的に燃焼用空気の不足による燃料の未燃が発生し、燃料原単位が悪化していることが判明した。従来、炉内の空気量の調整は全体量で行っていたが、デジタルツイン技術を用いたことで、部分的に空気供給量を制御する機構が高効率操業に有効であることを確認でき、さらに燃焼最適化のための補助空気量の算出にも成功した。この知見を元に、既存設備を活用した新たな設備を開発し、実運用を開始した。部分燃焼最適化の実現により、従来比で燃料使用削減量約5%、CO₂排出削減量6,600t/年の効果を達成した。

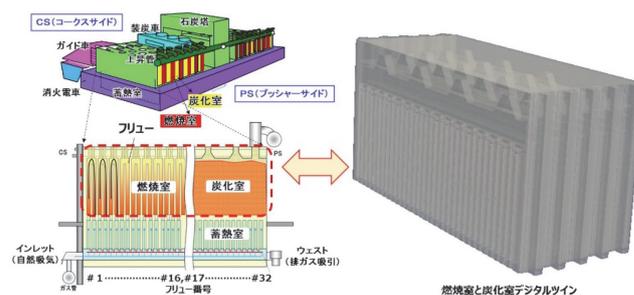


図8 コークス炉構造とコークス炉のデジタルツインモデル (Online version in color.)

難条件対応型自走式清掃ロボットの開発

JFE スチール (株)

JFE スチールは、高温・粉じんという難条件に対応可能な自走式清掃ロボットを開発し、清掃作業負荷の軽減を実現した。

上工程設備においては、設備周辺の定期的な粉じん清掃作業を実施しているが、高温の設備付近における清掃作業は作業員の負荷が非常に高い。一方で、このような環境下で清掃ロボットを用いる場合、内部の電子機器を熱から保護する冷却機構が必要である。一般的な冷却機構である換気ファンでは粉じんをロボット内部に吸引して内部機器を損傷させるリスクがあるため、外気吸引不要の冷却機構の実現が高温・粉じん環境の難条件下におけるロボット活用の課題となっていた。

ZJFE スチールは、樹脂材料の融解熱、および水の気化熱の相変化に伴う吸熱を応用した独自冷却機構を開発し、あわせて外部からの輻射熱を遮断する断熱材をロボット内部に設置することで、高温・粉じん環境でロボットを安定連続稼働させることを可能にした。

また、ロボットが自律走行するための「目」として、周囲や障害物との距離を測るレーザ測域センサを搭載し、自己位置認識システムとしてSLAM^{*1}を採用した。これにより、清掃エリア内において、ロボット自身が移動すべき目標位置と自己位置の差分を認識して、目標ルート上を自動で移動しながら清掃することが可能となる。

本ロボットは製鉄工程において検証試験を実施しており、今後は製鉄所内各設備への展開を進めることで、粉じん清掃作業の一部自動化を実現し、作業負荷軽減と安全性・生産性の向上を実現した。

*1 Simultaneous Localization and Mappingの略称、レーザ測域センサ情報を基に周囲の障害物とロボットの位置関係を把握する「地図作成」と、地図を基にロボット自身が位置と方向を認識する「位置特定」を同時に行う方式。



図9 難条件対応型自走式清掃ロボット (Online version in color.)

連続鋳造機トラブル早期検知システム「BO-Eye™」の販売を開始

JFEスチール (株)

JFEスチールは、連続鋳造機 (以下、「連鋳機」) で発生するブレイクアウト (Breakout以下、「BO」) を早期検知するシステム「BO-Eye™」を独自開発し社内の連鋳機に適用して来たが、この度社外向けに商品化を完了し、新たなソリューション商品として販売を開始した。製鉄プロセス上工程の製鋼工程では、連鋳機によって、精錬された鋼を連続的に冷やし固め、スラブを製造している。この際、冷却途中のスラブ表面が破れ、連鋳機内に溶鋼が飛散するBOと呼ばれるトラブルが発生することがある。BOは設備稼働に大きな影響を及ぼすことから、連鋳機には予知・予防するシステムを搭載し、BOの発生を抑止しているが、完全に防ぐことは困難であるため、設備被害を最小限にすることは操業上の重要な課題であった。

「BO-Eye™」は、連鋳機の鋳型下部に設置した複数台のイメージセンサーカメラによって機内のスラブを監視・画像解析し、発生初期段階のBOのみを検知し、既存の連鋳機制御システムへ速やかに伝達することで自動操業停止を可能にするシステムである (図10)。JFEスチールでは主力連鋳機10基に導入しており、それまで現場オペレーターが目視でBO検知し、手で製造停止を行っていたものを自動化し、操業停止までの時間を大幅に短縮した。この結果、BO時の溶鋼飛散が低減し、設備復旧時間の短縮および飛散溶鋼による設備被害の最小化を可能とした。

JFEスチールは、このシステムを外部の鉄鋼会社向けに商品化し、イメージセンサーカメラと画像判定装置からなるBO監視装置一式とともに、国内外で幅広く提供する。

JFEスチールは、自社内のDX推進による品質向上、労働生産性の向上、歩留改善を目指していくとともに、自社技術や操業改善ノウハウをソリューション商品として積極的に提供していく。

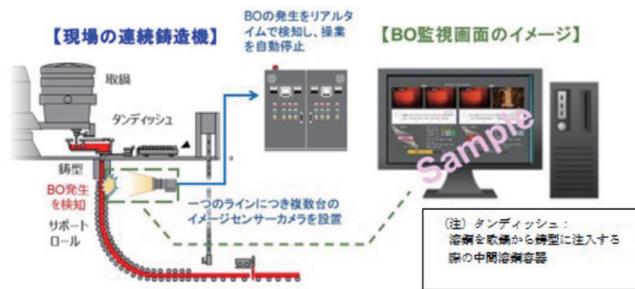


図10 BO-Eye™のシステム構成 (Online version in color.)

原料輸送におけるリアルタイムな運航情報取得を可能にするシステムを構築

日本製鉄 (株)

日本製鉄では鉄鉱石や石炭などの原料を海上輸送する原料船の配船管理において、リアルタイムな運航情報取得を可能にするシステムを構築し、2023年5月より運用を開始した。

原料を南米や豪州、アジア、中東などの産地から2週間～1ヶ月以上の日数をかけて輸送する原料船の運航は、天候などの影響を受ける。近年の台風の大型化もあり、原料船の運航に大きな影響が生じるケースが増えている。それに対応して、適宜運航計画の見直しが必要となるが、従来、原料船の運航情報の収集・システムへの反映時の精度・業務負荷の点で課題があった。今回、日本製鉄の原料需給管理システムへ最新の運航情報をデータ連携することで、数か月先までの運航計画および原料在庫見通しの随時更新が可能となった。これにより、状況変化に応じた各種調整を行うことで、最適な在庫管理・生産の安定化につなげることが可能となった。

今回のシステム構築にあたり、主なデータソースとして (株) 商船三井の海上輸送に関する情報プラットフォーム「Lighthouse」とシステム間連携を行った。商船三井以外の日本製鉄向けの鉄鉱石・石炭輸送船の運航を行う海運会社においても、「Lighthouse」を利用したデータ管理が可能なシステム構成としている。

日本製鉄では、本システムを活用した業務改革を進め、原料調達から輸送、生産までのサプライチェーンの効率化を図っていく。

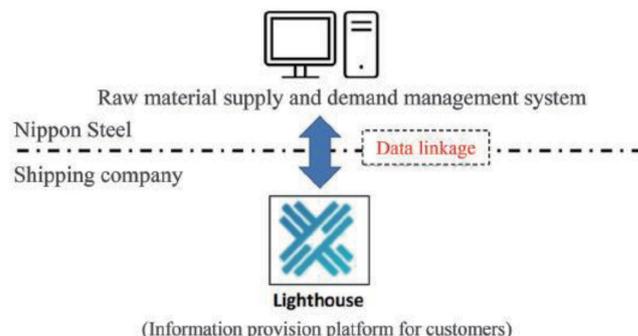


図11 システム連携イメージ (Online version in color.)

提供：日本製鉄

数理最適化技術を応用した出鋼スケジューリングシステムの開発
日本製鉄(株)

日本製鉄は、製鋼工程における生産計画を高速立案する出鋼スケジューリングシステムを日鉄ソリューションズ(株)と共同で開発し、東日本製鉄所君津地区で本格運用を開始した。本システムは、製鋼工程における週次計画を対象とし、これまで熟練技能者が週次で多大な時間をかけて作成していた計画を短時間で導出可能である。

本システムは、3つの業務改革を実現している。①熟練者の暗黙知をデータや条件として形式知化し、数理最適化技術を応用したアルゴリズムを構築することで、計画作成時間を70%削減とした。②前提条件を変更した複数の計画案作成により、計画担当者の意思決定時間を確保、質の高い業務を実行可能とした。③短時間で計画策定が可能な特性を活かし、下工程への影響評価、迅速な再スケジューリングなどの高付加価値業務の創出による業務の高度化を実現した。

本システムは、数理最適化処理のシステム基盤として、パブリッククラウドを採用し、適時、計算資源を確保、並列計算を行うなど、柔軟な運用が可能な構成となっている。

本システムは、デジタルトランスフォーメーション戦略における「生産計画DX」の一環として、全社の生産計画業務の一元化・迅速化に資するものであり、今後、各製鉄所へ順次展開する予定である。

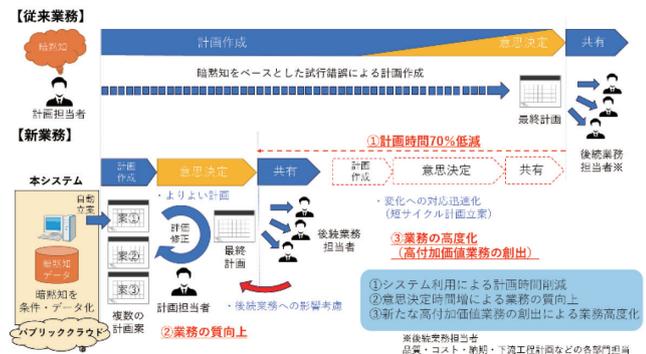


図12 本システムによる業務改革の概念図 (Online version in color.)
提供：日本製鉄

鋼構造物の耐疲労性能向上に貢献するFLExB®溶接工法

JFEスチール(株)

JFEスチールは、橋梁などの鋼構造物の耐久性を高める溶接施工法「FLExB®溶接」を開発した。長期間にわたって使用される鋼構造物は、老朽化に伴うメンテナンスコストや更新コストの低減が求められている。特に橋梁は自動車等の交通荷重が繰返し作用するため、溶接部に疲労き裂が発生するリスクがある。FLExB®溶接では、面外ガセットプレートの短辺側を溶接し、その短辺溶接部を挟み込むように長辺側を溶接し長辺ビードを延ばすことで疲労損傷を抑制できる技術である(図13)。

これにより、溶接部の疲労き裂の起点になる箇所に応力レベルを軽減し、疲労き裂の発生を遅らせるとともに、疲労き裂の進展を抑えることで、従来よりもJSSCの疲労等級の1等級向上を実現した。疲労損傷への耐久性を高めたAFD®鋼を併用することにより、さらに耐疲労強度を向上させることができる(図14)。また、溶接施工後に実施していた後処理工程を省略でき、施工能率の向上にも寄与する。

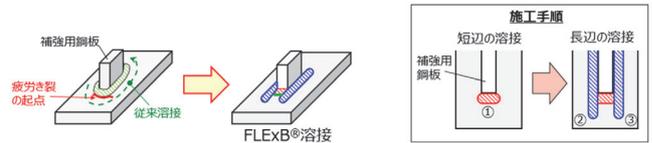


図13 FLExB®溶接とその施工手順 (Online version in color.)

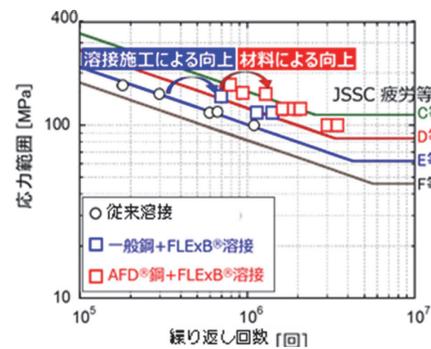


図14 FLExB®溶接継手の負荷応力と繰返し数の関係 (SN線図) (Online version in color.)

クリーンエネルギー分野向けNAS800H、NASNi201

日本冶金工業(株)

カーボンニュートラルの潮流のなか、クリーンエネルギーの重要性が高まり、再生可能エネルギーや次世代のクリーンエネルギーの需要拡大や開発が進んでいる。日本冶金工業は、同分野向けとして、主に、太陽電池の素材である多結晶シリコンの製造プラント向けNAS800Hと水素製造プラント向けNASNi201を供給している。

代表的な再生可能エネルギーである太陽光発電は、太陽電池により太陽光エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、太陽電池には多結晶シリコンを素材とする半導体を使用される。代表的な多結晶シリコンの製造方法であるシーメンス法では、金属シリコンと塩化水素を反応させ、蒸留、還元工程を経て多結晶シリコンを製造するが、高温、高圧状態となるため、高温特性に優れた耐熱鋼が求められる。NAS800H (NCF800H、UNS N08810) は高温強度と耐高温腐食性に優れ、さらに、高温での組織安定性も有するため、本用途に最適な材料であり、多くの採用事例がある。今後も、中国、アジア地区を中心にさらなる需要が見込まれている。

水素は燃料として使用する際に、二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーである。製造方法としては化石燃料をベースとする改質法などが主流であるが、近年、水の電気分解によって水素を発生させる水電解プロセスの技術開発、商

業運用の検討が進められている。水電解プロセスとして、アルカリ型水電解法や固体高分子型水電解法等が検討されているが、苛性ソーダ製造の食塩水電解を応用したアルカリ型水電解は安定的かつ大規模な水素製造が可能であるために商用化が進んでおり、耐アルカリ性、電気特性の点から純ニッケルが電極に使用される。従来から、日本冶金工業は苛性ソーダ製造の食塩水電解向けに純ニッケルであるNASNi201の板帯で多くの供給実績があり、その品質も認められていることから、アルカリ型水電解プロセスへの採用事例も増加してきている。

大型品の3D造形を可能とするプラスチック金型用ステンレス系粉末LTX™420

大同特殊鋼(株)

プラスチック射出成形の分野では耐食性や耐摩耗性が求められる金型に高硬度が得られるSUS420J2系鋼材が用いられる。近年プラスチック射出成形金型の分野でも、サイクルタイムの短縮や成形品の品質改善を目的に水冷孔を自由に配置できる3Dプリンタによる造形金型の使用事例が増えている。しかしSUS420J2粉末を用いて金型を3D造形すると造形後に硬さが増加し割れやすいため、SLM方式の3Dプリンタでの造形が難しい材料と認知されている。そのため3Dプリンタでの造形中に特殊な処理を施し造形割れを抑制する技術も開発されているが、この特殊処理は時間を要するため造形時間が長くなるという課題がある。

大同特殊鋼は造形しやすさを改善したSUS420J2系粉末としてLTX™420を開発した。LTX™420はSUS420J2を改良した成分を有しクロムを13%含有する。また成分調整によりマルテンサイト変態点を適正化することで、SUS420J2系の成分でありながら、一般的なSLM方式の3Dプリンタで予熱が可能な120℃においても、ひずみや割れが抑制されるため、連続的な造形による大物品の造形が可能な3D粉末である。また特定化学物質障害予防規則などで健康障害防止措置が義務付けられているコバルトを含有しない。

LTX™420の造形品はSUS420J2系金型材料とほぼ同じ機械特性と耐食性を有しており、3D造形による金型の冷却性能の改善が期待できる。

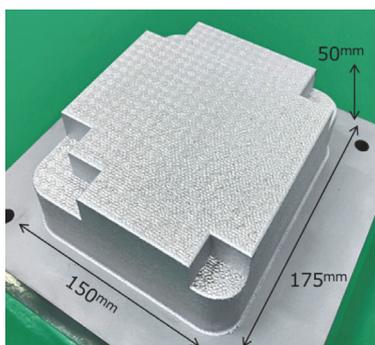


図15 LTX™420 模擬型造形例 (Online version in color.)
出所：大同特殊鋼WEB ページ

建築構造向け鋼板耐震壁

JFE スチール(株)

JFE スチールとJFE シビル(株)は共同で、建築構造用の鋼板耐震壁(図16)を開発した。

鋼板耐震壁は、高い剛性と耐力を有する耐震デバイスであり、建築物に取付けることで、地震による建築物の過大な変形を抑制することが可能となる。本耐震壁は、引張強さ400～550N/mm²級の鋼材を鋼板パネルとして用い、スチフナと呼ばれる部品で鋼板パネルを適切に補強することで、地震時に鋼板パネルがパネル面に対して垂直方向にたわむことを防止し(※1)、耐震壁が安定して抵抗力を発揮する。今回、スチフナによる補強効果を詳細に分析し、合理的な設計法を構築することで、スチフナ数を最小化し、耐震壁の軽量化と施工性の向上を実現した。さらに、地震による大変形時にも耐震壁が十分な抵抗力を保持することを載荷実験で実証し、耐震壁が十分な構造安全性を有し、構築した設計法が妥当であることの建築技術性能証明(第22-14号)を2022年8月に日本建築総合試験所から取得した。

※1 局部座屈の発生を防止するということ

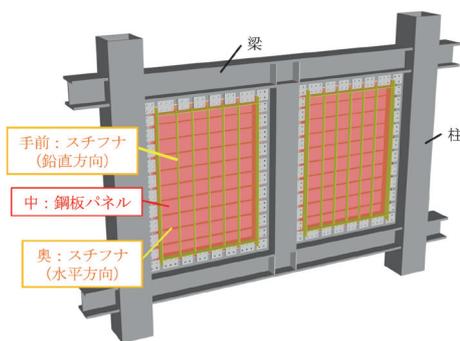


図16 JFEの耐震壁 (Online version in color.)