

2022年鉄鋼生産技術の歩み

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2022

(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

令和4(2022)年の世界経済、日本経済、世界鉄鋼業、日本鉄鋼業について振り返る。世界経済は、コロナ禍での縮小からは脱したものの、当初予想を下回る回復となっている。世界全体の対前年実質成長率は、2021年の6.0%から、2022年は3.4%へと低下した。2024年には成長加速の見通しはあるものの、2023年は2%台となる見通しである¹⁾。地域別にみると、2022年は、アメリカ+2.0%、欧州連合+3.5%、中国+3.0%、インド+6.8%、日本+1.4%と推定され、高水準の物価高騰、大半の地域における金融引き締め、ロシアによるウクライナ侵略、長引くコロナ禍、すべてが成長への逆風となった。米国の半導体輸出規制が象徴するように、このような状況下でも米中覇権争いも米中経済対立も止む気配はない。

日本経済は、2019年10月に消費増税したところに2020年からのコロナ禍によるダメージも加わり景気低迷が長引いた。2021年も他の先進国と比して回復の足取りは重かったが、2022年も世界的な景気鈍化の影響を受けてなお低成長率のままであり、成長率の鈍化が余りないという皮肉な状況となった。内需型経済の我が国で有効な需要創出政策が打ち出されない状況が続く想定からか、2023年も低成長が続くことが予想されている^{1,2)}。我が国を取り巻く安全保障環境の変化から防衛力の抜本的強化が議論されているが、これを増税により実現させるとなれば経済への打撃は避けられず、さらなる成長率低下も懸念される。

昨年の粗鋼生産量は、世界合計で、約18.8億トン(前年比-4.2%)と減少、国別粗鋼生産量では、1位中国、2位インド、3位日本であった³⁾。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、

2022年も2年連続で減少した。鉄鋼業の世界的な能力過剰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)」は暫定的な1年延長が決まったものの⁴⁾、インドが不参加となり⁴⁾、中国も日本からの参加呼び掛けに応じない⁵⁾ことに加えて、生産量が伸びている東南アジア諸国の取り込み等、課題山積であり、市況の軟化懸念に大きな変化は期待できない。

我が国鉄鋼業の2022年の粗鋼生産量は8,923万トンで前年比-7.4%と減少した⁶⁾。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(8,753万トン)すら下回ったが、2021年は経済の回復に伴い増加(9,633万トン)と節目の年間約1億トンレベルへあと一步のところまで回復したものの、2022年は再び減少に転じた^{7,8)}。2023年度の内需は底堅く推移するとみられるものの、外需は前年割れが見込まれている⁹⁾。

低成長とはいえ回復する国内経済の下、国内鋼材需要の回復も堅調であったが、半導体供給不足の影響を受けた自動車部門の回復遅れもあり、また外需も減となり、粗鋼生産は前年割れとなった。さらに、原料高騰とそれに円安が重なったが、マージン拡大や構造改革の進展で、高炉各社の業績は2年続きの高水準で推移した。内需創出政策が期待されず、長期的な鋼材内需の伸びが見込めない状況が変化する気配はなく、国内設備の構造改革としての高炉休止や製造拠点集約等が進められているが、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も始動、データ活用の現場展開も進展している。

以下に、2022年の我が国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、我が国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

2022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、2021年比0.3%増の8億4,688万トンとなった^{10,12)}。

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。鉄鉱石の価格が前年より下落したのに対して、原料炭は対前年比で2倍強に上昇した¹³⁾。

鉄鉱石のスポット価格(Fe 62%、中国着価格)は、2022年前半は130ドル/トン～150ドル/トンで推移したが、中国でゼロコロナ政策の影響で高炉メーカーの生産活動が伸び悩んだこと、および欧米や日本、韓国でも、前年より続く半導体不足に起因する自動車向け需要の減少によって鉄鋼生産が減退したこと等によって、2022年後半は伸び悩み、100ドル/トン前後まで低下した^{14,15)}。

2月のロシアによるウクライナ侵略に起因するエネルギーの供給不安から、電力用一般炭のスポット価格が急騰し、電力用一般炭と原料炭の価格が逆転するという異常な状態となった。さらに一般炭の価格上昇に引きずられる形で原料炭のスポット価格も上昇し、3月初旬にはFOB(本船渡し価格)で一時671ドル/トンと、中国向けスポット価格が対日四半期価格の指標に使われ始めた2014年度以降の最高値をつけた。これにともない対日四半期価格は2022年4～6月積みで526ドル/トンの過去最高値を更新した^{14,15)}。

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。ウクライナ危機の影響で海外マーケットが急騰し、その影響がアジアにも波及した結果、2022年前半のH2

価格は急騰した。その後反動で海外市場が下げに転じ、日本の市況も調整局面に入ったことや、ロシア製の安価なピレットがアジア市場に流入したことによる影響で鉄スクラップの余剰感が強まり、2022年後半は下落したものの、年間平均では前年の36,500円/トンから40,500円/トンに上昇した^{16,17)}。

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¹⁸⁾、日本鉄鋼連盟主催による鉄鋼需給説明会資料によると、2022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。

2022年度の鉄鋼内需全体は2021年度に引き続き、前年度比で微増が見込まれている。自動車産業においてサプライチェーン混乱による鋼材需要の停滞などがあったものの、景気の穏やかな回復、国内外の設備投資の増加等により、国内の鋼材消費量全体は2021年度対比1.3%増の5,540万トンが見込まれている。主な需要産業の動向は下記の通りである。

土木分野での鋼材消費は土木全体で前年度比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・工事遅延、資材全般価格高騰等の要因が複合的に合わさり、前年度比減少が見込まれる。一方、民間土木は製造業を中心とした設備投資の回復に伴い、前年度比増加が見込まれるが、公共土木の減少分は補えず、土木全体としては前年度比減少の見込み

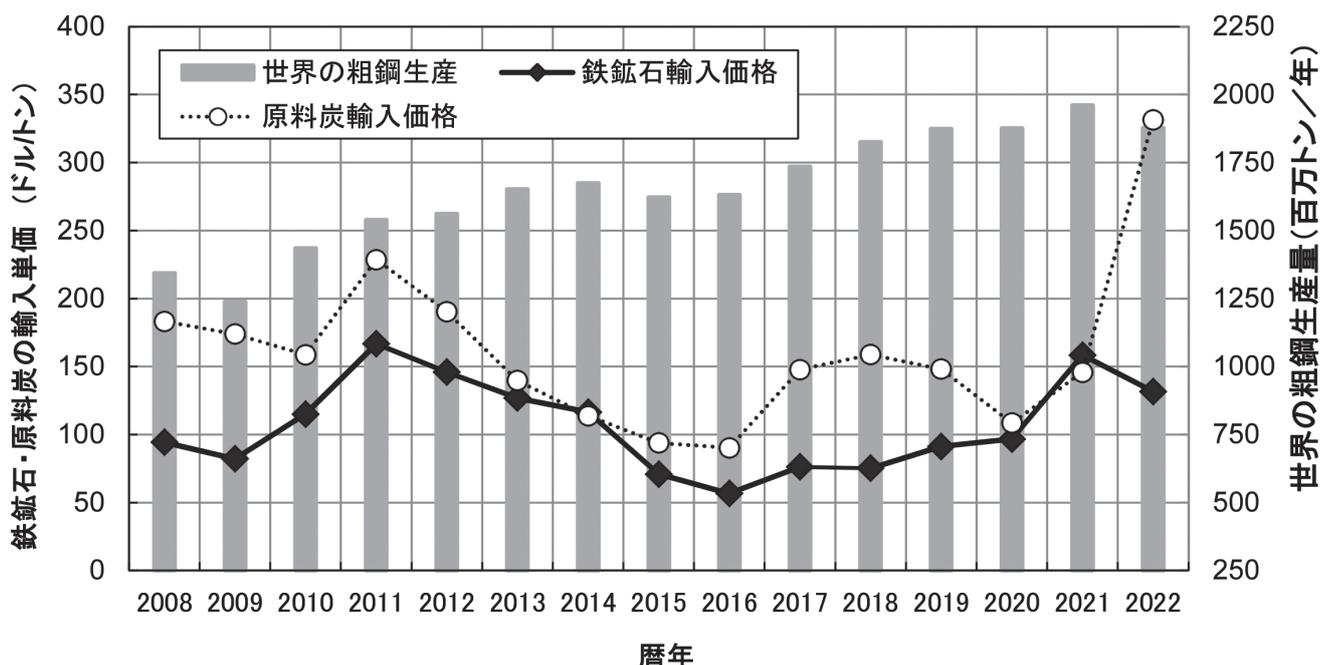
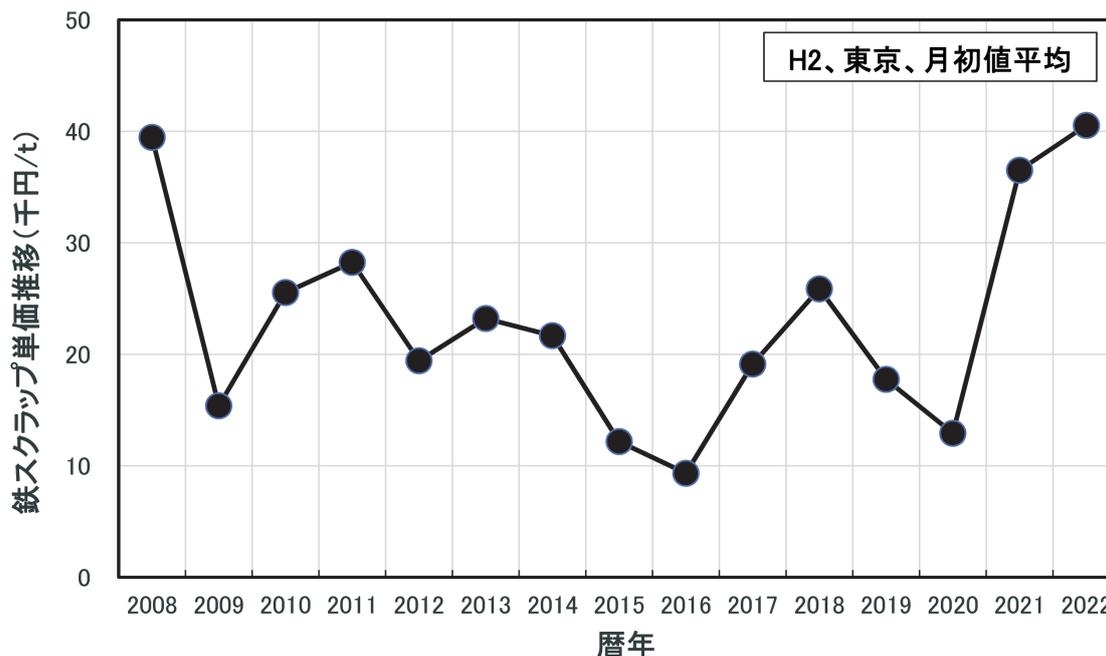


図1 世界の粗鋼生産量と鉄鉱石・原料炭の輸入単価推移^{3,13)}

図2 東京地区の鉄スクラップ (H2) 価格の年間平均値推移¹⁶⁾

である。

建築分野での鋼材消費は建築全体で前年度比増加する見込みである。住宅着工戸数は、賃貸が回復傾向を辿っている一方、持家が住宅取得支援策の縮小等から減少が続いており、分譲もマンション、戸建てとも前年水準並みにとどまると見込まれ、住宅トータルでは前年度比減少が見込まれている。一方、非住宅着工床面積は、景気回復に伴う設備投資を背景に工場等が回復したほか、倉庫・物流施設が前年に引き続き堅調に推移しており、全体では前年度比増加が見込まれている。

造船分野での鋼材消費は前年度比減少する見込みである。新造船受注は、2021年度からコロナ禍の巣ごもり需要を背景にコンテナ船を中心に回復してきたが、2022年度の下期からは落ち込みを見せている。ドル金利高、船価高もあり受注減少、手持工事量も減少傾向にある。こうした受注環境に加え、造船メーカーの能力削減、人員不足等もあって、起工量は前年割れで推移している。

自動車分野での鋼材消費は、半導体不足の影響が継続するも、2021年度の落ち込みの反動で増加する見込みである。国内完成車生産は、2020年度以降の大幅な落ち込みが、2022年度から回復すると期待されていたが、ロシアによるウクライナ侵略、中国ロックダウン、半導体供給制約が要因で穏やかな増加に留まる。ノックダウン部品 (KDセット) の生産も海外生産活動の回復を受け増加の見通しである。

産業機械分野での鋼材消費は高水準であった2021年度を上回る見込みである。2022年度上期は半導体等の部品供給不足により内燃機関等で生産に影響が出たものの、国内外の経

済回復により企業の設備投資が穏やかに回復。建設機械、金属加工・工作機械は外需の回復に牽引され、昨年度に引き続き高水準を維持した。

電気機械分野での鋼材消費は国内外の設備投資の増加に下支えされ、前年度比微増となる見込みである。重電は自動車生産の増加や国内外の設備投資の回復を背景に増加した。一方、家電は巣ごもり需要の剥落や中国ロックダウンの影響から部材の調達難が発生し、一部生産制約が見られたことにより前年度対比減少の見込みである。

1.3 我が国の粗鋼生産状況

2022年は建築、機械部門の需要は増加したが、半導体不足の影響により自動車部門の回復が限定的であったこと、受注低迷にともなう生産能力削減や建造のスローダウン等による造船部門の需要低下、加えて国際市場の需要低迷等の輸出環境の悪化の影響により、我が国の粗鋼生産量は前年比7.4%減の8,923万トンとなった¹⁹⁾。

2023年は、ウクライナ危機の影響による原燃料費高騰の継続、世界の景気後退、サプライチェーンの混乱にともなう部品等の供給制約の継続等の下振れリスクがあるが、鉄鋼内需は相対的には底堅く推移する見通しである。一方で自動車部門における半導体不足等の供給制約が解消に至らず、自動車等外需は鈍化することから鉄鋼内需の回復は限定的となることに加え、鉄鋼外需についても海外経済の減速から前年割れとなることが予想されており、粗鋼生産は前年比で微増となる見通しである²⁰⁾。

炉別生産では、転炉鋼が6,540万トン（前年比9.1%減）、電炉鋼が2,383万トン（前年比2.3%減）となり、電炉鋼比率は26.7%（前年比1.4%増）となった（図3）。また鋼種別では、

普通鋼が6,882万トン（前年比6.9%減）、特殊鋼が2,042万トン（前年比8.9%減）となった（図4）。なお特殊鋼の連铸比率は、2014年から95%前後とほぼ一定で推移している^{19,21)}。

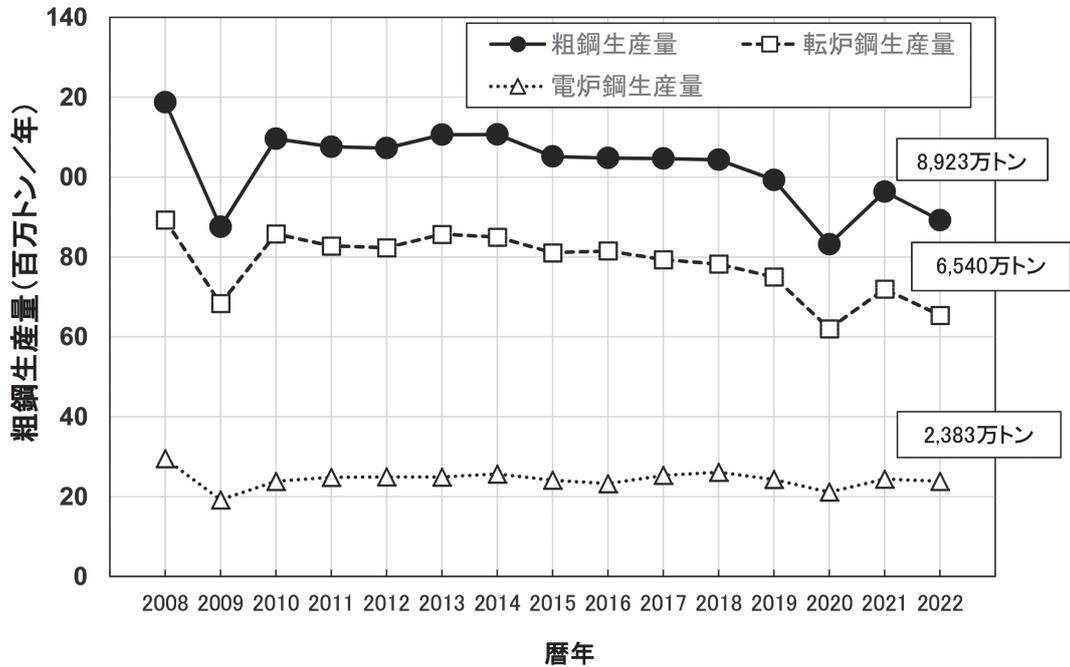


図3 我が国の粗鋼生産量の推移 (暦年)¹⁹⁾

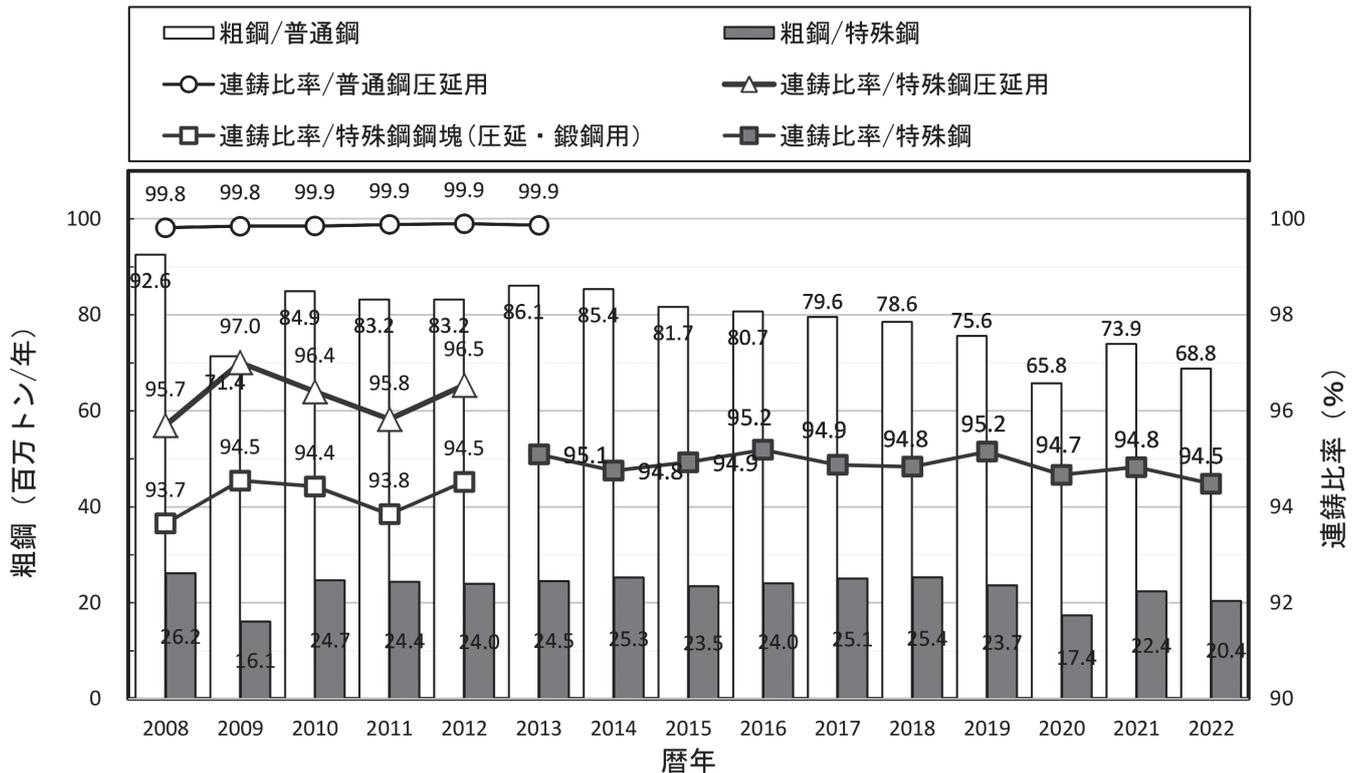


図4 普通鋼と特殊鋼の粗鋼生産量と連铸比率²¹⁾

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。2022年の世界全体の粗鋼生産量の合計は18億7,850万トンとなり、前年の19億6,040万トンに比べて4.2%の減少となった。主要国の粗鋼生産量を見ると、第2位のインドは前年比5.5%増の1億2,470万トンとなったものの、第1位の中国が前年比2.1%減の10億1,300万トン、第3位の日本が前年比7.4%減の8,923万トン、その他、EU、南北アメリカ地域も前年比減となった³⁾。

中国の粗鋼生産量は、2022年は10億1,300万トンとなり、初めて10億トンを超えた2019年以降、4年連続で10億トン超となったが、2021年比で2.1%減と、2021年に続き2年連続の対前年減となった^{3,22)}。3月末から約2カ月間に及んだ上海のロックダウンに代表されるいわゆる「ゼロコロナ政策」により工場の操業に支障が生じたことや、中国恒大集団の信用問題などを背景にした不動産市況の低迷により、建築向け鋼材の需要が低迷したことが原因とされている^{22,23)}。2022年12月に「ゼロコロナ政策」を撤廃し「ウィズコロナ政策」に転換したことで、2023年の中国経済は旅行や外食といったサービス消費のリバウンドが景気の底打ちの原動力となることが期待される。また多くの地方政府が2023年の経済成長率目標を+6%以上に設定するとともに、投資の拡大に注力する方針を示しており、インフラ投資が加速すると考えられるが、その一方で不動産市場停滞の長期化、およびウクライナ危機の影響等により国内外で市場の回復が遅れることが予

想されており、2023年の粗鋼生産量も前年より減少すると予測されている^{24,25)}。

インドの粗鋼生産量は、2022年は1億2,470万トン（前年比+5.5%）と増加し、2017年以降6年連続で1億トン超となった³⁾。世界的に鋼材需要が弱含む中でも建築向け鋼材等の引き合いが好調であったこと、および新車販売台数が日本を抜き世界第3位となる等が通期での需要増につながったとみられる²³⁾。2023年のインド経済はコロナ禍からの回復の勢いが弱まるなか、インフレの高止まりや金融引き締め策の継続が重石となって内需の拡大は鈍化し、かつ世界経済の減速により輸出が鈍化傾向にあるものの、公共投資が景気の下支え役となって、減速はするものの底堅い成長を維持し、鉄鋼需要は堅調に推移すると予測される²⁶⁾。

2 技術と設備

国内設備の構造改革としての高炉休止や製造拠点集約等が進められる一方で、カーボンニュートラル実現に向けた挑戦の一環として、新たな設備投資の計画あるいは稼働開始が公表された。日本製鉄（株）、JFEスチール（株）共に、2030年までに大型電炉の建設計画を明らかにし、脱炭素に向けて大型電炉での高級鋼製造技術の開発を着実に推進することを表明した。

技術に関し注目を集めたのは、2022年もDX（デジタルトランスフォーメーション）とCN（カーボンニュートラル）、

表1 国別粗鋼生産量のトップ10（出所：WSA；百万トン）³⁾

順位	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	変化率 (%) 2022/21
1	日本 101.6	中国 128.5	中国 355.8	中国 638.7	中国 803.8	中国 928.3	中国 1,001.3	中国 1,064.7	中国 1,034.7	中国 1,013.0	▲ 2.1
2	中国 95.4	日本 106.4	日本 112.5	日本 109.6	日本 105.1	インド 109.3	インド 111.4	インド 100.3	インド 118.2	インド 124.7	+5.5
3	米国 95.2	米国 101.8	米国 94.9	米国 80.5	インド 89.0	日本 104.3	日本 99.3	日本 83.2	日本 96.3	日本 89.2	▲ 7.4
4	ロシア 51.6	ロシア 59.1	ロシア 66.1	インド 69.0	米国 78.8	米国 86.6	米国 87.8	米国 72.7	米国 85.8	米国 80.7	▲ 5.9
5	ドイツ 42.1	ドイツ 46.4	韓国 47.8	ロシア 66.9	ロシア 68.7	韓国 72.5	ロシア 71.6	ロシア(e) 71.6	ロシア(e) 77.0	ロシア(e) 71.5	▲ 7.2
6	韓国 36.8	韓国 43.1	インド 45.8	韓国 58.9	韓国 69.7	ロシア 72.2	韓国 71.4	韓国 67.1	韓国 70.4	韓国 65.9	▲ 6.5
7	イタリア 27.8	ウクライナ 31.8	ドイツ 4.5	ドイツ 43.8	ドイツ 42.7	ドイツ 42.4	ドイツ 39.6	トルコ 35.8	トルコ 40.4	ドイツ 36.8	▲ 8.4
8	ブラジル 25.1	ブラジル 27.9	ウクライナ 38.6	ウクライナ 33.4	ブラジル 33.3	トルコ 37.3	トルコ 33.7	ドイツ 35.7	ドイツ 40.2	トルコ 35.1	▲ 12.9
9	ウクライナ 22.3	インド 26.9	ブラジル 31.6	ブラジル 32.9	トルコ 31.5	ブラジル 35.4	ブラジル 32.6	ブラジル 31.0	ブラジル 36.1	ブラジル 34.0	▲ 5.8
10	インド 22.0	イタリア 26.8	イタリア 29.4	トルコ 29.1	ウクライナ 23.0	イラン 24.5	イラン(e) 25.6	イラン(e) 29.0	イラン(e) 28.3	イラン 30.6	+8.0
世界合計	752.3	848.9	1,148.0	1,433.4	1,622.9	1,825.6	1,880.1	1,880.4	1,960.4	1,878.5	▲ 4.2

(e): 推定値

あるいは、GX（グリーントランスフォーメーション）の2つのキーワードであった。DXについては、全社のデータを集約、カタログ化するデータプラットフォームの構築やデータ資産の有効活用を狙った本社基幹システムのオープン環境への完全移行など、データを収集・分析して経営戦略などの意思決定を行い、業績の向上を図るデータドリブン経営に向けた動きが加速している。また、少子高齢化に伴う人手不足や製造現場での技能伝承、設備老朽化課題を背景に、産業基盤のDXによる「機械化・遠隔化・自動化」の推進が喫緊の課題となっており、異常検知・トレンド監視を実現するための無線IoTセンサ活用プラットフォームの構築等々、実際に現場での使用が拡大、成果を上げつつある。CNについても、それに向けた挑戦と実行が本格化した1年であった。グリーンイノベーション基金事業（約2兆円規模）の一環としてスタートした、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）による約2,000億円の事業、「製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト」も本格稼働を開始した。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が、それだけにとどまらず、CNというコンセプトを名称に冠した低CO₂鋼材の販売開始、あるいはその計画を発表した。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た。また、省エネや燃費向上を通してCO₂排出量削減に資する「エコプロダクト」の開発にも多くの進展がみられた。

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

2022年の鉄生産量は前年比8.8%減の6,416万トン、粗鋼生産量は前年比7.4%減の8,923万トンであった⁶⁾。設備の改修では、JFEスチールは東日本製鉄所千葉地区の第6高炉の改修を完了した。2022年末時点の国内稼働高炉数は2021年から変わらず21基、そのうちの内容積5,000m³以上の高炉数は14基であった。

新規設備の導入動向では、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月より開始したことを発表した。これによって、世界初となる電炉一貫でのハイグレード電磁鋼板の製造・供給が可能となるとしている。またここで得られた知見も踏まえ、脱炭素に向けて大型電炉での高級鋼製造技術の開発を推進することも表明している。またJFEスチールは、2022年6月に転炉でのスクラップ利用拡大を目的に、全地区に環境調和型転炉溶銑予備処理プロセス（DRP）の実装を完了したと発表した。本プロセスは、溶銑中の珪素（Si）を熱源として最大限活用することで

転炉でのスクラップ投入量を拡大し、転炉精錬時のCO₂排出量の低減が可能となるとしている。

2020年に顕在化した耐火物原料の需給ひっ迫は足下も続いており、さらにウクライナ危機の影響によるエネルギー価格の高騰も相まって、2022年も耐火物価格は上昇傾向となった²⁷⁾。また、脱酸剤あるいは成分調整に使用されるフェロシリコン、フェロマンガン、シリコマンガン等の合金鉄の価格も同様の理由で上昇しており²⁸⁾、これらはすべて製鋼コストを引き上げる要因となっている。

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なるため、難成形部品へ適用するための研究・開発が進められた。

JFEスチールはティッセン・クルップ・スチール・ヨーロッパ社と共同で、冷間加工用980～1180MPa級ハイテンを開発した。局部延性を向上させる鋼成分設計と高温から急冷、再加熱することにより延性に寄与するオーステナイト相を室温でも安定化させる熱処理（Quenching & Partitioningプロセス）を用いて、高降伏強度かつ高延性、特に局部延性に優れた超ハイテンを実現し、難成型部品の製造を可能とした。

また、日本製鉄が開発した「自動車の進化を支える超高強度鋼板加工技術」が令和4年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）を受賞した。これまで、冷間加工用超ハイテン（強度780～1470MPa）が開発されていたが、複雑な部品形状への加工が課題であった。最適化した形状の素材鋼板をせん断変形させて部品形状に成形するプレス加工技術「自由曲げ工法（NSafe[®]-FORM-LT）」、「フランジ連続化工法（NSafe[®]-FORM-RU）」により、プレス加工時の成形不良を防止し、超ハイテンを複雑な形状に加工することを可能とした。

さらに、日本製鉄はマツダ（株）と共同で、1.8GPa級および1.3GPa級アルミめっきホットスタンプ鋼板（以下、AL-HS鋼板）を使用したTWB（テールドウェルドブランク）構造の軽量Bピラーを開発し、実車適用した。ホットスタンプは、熱間成形で高強度な部品を得る工法として自動車の軽量化において冷間プレス成形が難しい高強度領域に適しているが、冷却時間による生産性の低下、溶接部へのアルミニウム混入による継手強度の低下、異強度・異厚のTWBによる部品の品質精度ばらつき（焼入れ性や寸法精度）といった課題があった。日本製鉄は、独自開発のTWB接合技術により高い継手強度を実現し、TWBと部分パッチワーク技術の適用により、従来の一体型Bピラーからレインフォース部品の省略を可能

とし、34%軽量化、および衝突安全性の向上を実現した。さらに、金型表面と鋼板の隙間に冷却水を流入し、鋼板を直接水で冷却する直水冷ホットスタンプ工法により焼入れ性、寸法精度ばらつき等の品質安定化、部品製造時の生産性も向上した。その後、日本製鉄は、2.0GPa級ホットスタンプ鋼板も開発し、国内新型車のBピラーに採用されている。

一方、軽量化ニーズ以外にも鋼板の高強度化が進められている。中大型トラックの突入防止装置向けには、衝突安全性の観点から厚肉な熱延鋼板が適しており、590, 780, 980MPa級熱延ハイテンが幅広く採用されていた。しかし、国土交通省が定める、突入事故（もぐりこみ事故）の防止および被害軽減のための「突入防止装置に関する協定規則」が改正され、強度基準が引き上げられたため更なる高強度化が必要となった。日本製鉄は、いすゞ自動車（株）、プレス工業（株）と共同で1180MPa級熱延ハイテンの突入防止装置への適用を実現した。

JFE スチールが行った「電気機器の省エネに貢献する省資源型Si傾斜磁性材料の開発」が令和4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。モーターや変圧器等の電気機器は小型化の観点から駆動周波数の高周波化が進んでおり、鉄心材料として用いられる電磁鋼板には高周波域で鉄損の低い材料が求められる。鉄損低減には、電気抵抗増加元素であるSi濃度アップが有効だが、同時に飽和磁束密度の低下を招く。そこで、独自開発したCVD（化学気相蒸着）連続浸珪プロセス技術を用い、表層部のSi濃度分布を高く、板厚中心部のSi濃度を低くした板厚方向のSi濃度分布コントロールにより高周波鉄損を低減したSi傾斜磁性材料を開発した。さらに、浸珪処理前の母材成分適正化に取り組み、浸珪処理中にSiの拡散速度が遅いオーステナイト相（ γ 相）となる成分とすることにより、鋼板の表層部にSiを局在化させ、一層の高周波鉄損低減に成功した。

2.2.2 厚板

厚板分野においては、日本製鉄、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所及び今治造船株式会社が共同で行った「高延性厚鋼板（日本製鉄の商品名NSafe[®]-Hull）を用いた衝突安全性に優れた船体構造の発明」が令和4年度全国発明表彰において「発明賞」を受賞した。タンカーからの原油流出事故による海洋汚染を防ぐため、原油タンカーには二重船殻化が義務づけられている。しかし、原油流出事故は続き、船殻幅の拡大といった構造変更による安全性の向上が検討された。構造対策は施工コスト増大、船体重量増加による輸送速度低下や、可積載荷油量の減少を招く。そこで、日本製鉄らは事故統計等も踏まえ、船舶の損傷を軽減するため、船側部の外板、内板、さらにそれらに付随する補強部材に、国際

船級協会連合の統一規格で規定された全伸びの値の1.4倍以上の全伸びを有する高延性厚鋼板を使用した船殻構造を適用し、十分に厳しい衝突速度（12ノット）でも超大型原油タンカーの破口発生を低減することを可能とした。

また、JFEスチールが行った「国土強靱化に資する環境対応型高耐震性高強度鋼板の開発」が、第68回（令和3年度）大河内記念技術賞を受賞した。建築構造物の超高層化や快適な空間を得るための大スパン化（鉄骨柱の本数削減）のためにハイテンのニーズが高まっており、かつ、大地震にも耐える優れた変形性能（低降伏比）を有する鋼板が求められている。さらに、鉄骨柱（ボックス柱）を製作する際の鋼板の溶接において、高能率で大幅な省力化を実現できる超大入熱溶接（最大入熱：～100kJ/mm程度）を適用可能とするために、溶接部の高靱化も課題である。独自の熱間圧延-冷却制御技術を駆使した高度な鋼板製造プロセスにより、低合金成分設計で軟質相と硬質相からなる極めて微細な複相組織とする先進的な組織制御技術および微量元素を活用した超大入熱溶接部を高靱化するマイクロアロイング技術を確立し、超大入熱溶接が可能で、高強度かつ低降伏比を有し耐震性に優れたハイテンを実現した。

2.2.3 鋼管

日本製鉄のスリップジョイント構造を持つ鋼管を使用した電車線柱（以下、スリップジョイント電車線柱）が、一般社団法人日本電気協会、澁澤元治博士文化功労賞受賞記念事業委員会より、第67回澁澤賞を受賞した。同賞は、電気の保安、信頼性向上に関わる顕著な業績を表彰する権威ある賞である。共同開発先である独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構、（公財）鉄道総合技術研究所、（株）興和工業所、ヨシモトポール（株）の職員および社員が共同で受賞した。

今回の受賞は、耐震性に優れたスリップジョイント電車線柱に耐食性に優れた溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを施し、これを整備新幹線（北陸新幹線、北海道新幹線）の電車線柱に実用化したことへの業績が認められたものである。従来、電車線柱にはコンクリート柱が多く用いられてきたが、近年耐震性を高める観点からより軽量の鋼管柱が多く採用されている。しかしながら、北陸新幹線や北海道新幹線の一部区間においては、設計上、従来型の鋼管柱より更に高強度かつ高耐震性を有する電車線柱が必要となっていた。スリップジョイント電車線柱は、下部鋼管柱と上部鋼管柱から構成され、テーパ形状を有する下部鋼管柱を、上部鋼管柱に差し込むことで用いられ、これにより、上部鋼管柱のみを軽量化（薄肉化）することが可能となり、耐震性を向上させた。加えて、四方を海に囲まれた我が国においては塩害への対策も重要な課題だが、溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを施すこと

が一つの解決策として挙げたものの、電車線柱を後めっきする際のめっき槽の制約により、めっき対象物の長さ制限が課題となっていた。スリップジョイント構造はこの制約を解消し、電車線柱への溶融亜鉛アルミニウム合金めっきの適用により耐食性の更なる向上を実現した。

日本製鉄は、化学工業プラント用の低炭素オーステナイト系ステンレスシームレス鋼管「NEXAGE®347AlPha (ネクサージュ 347アルファ)」を新たに開発し、カナダの需要家向けに初受注したと発表した。

日本製鉄は、過酷な環境用途に独自のオーステナイト系ステンレス鋼、Ni基合金を開発し、次世代のマテリアルソリューションとして、NEXAGEシリーズとして販売を開始している。そのなかでも耐食性に優れた低炭素オーステナイト鋼のラインナップは、特に過酷な環境である原油やガス等を高温に加熱して分解、改質する化学工業プラントにおいて、ユーザーのメンテナンス性向上、ランニングコスト削減に貢献できるとしている。

今回の新製品「NEXAGE®347AlPha」は、低炭素オーステナイト鋼の特徴である耐食性、溶接部で発生する応力緩和割れの抑制効果に加え、汎用鋼347Hに比べて高強度である優位点も併せ持つ独自開発鋼。特に天然ガスから水素を製造するプラントでの使用にも適した材料であるため、カーボンニュートラル分野で貢献できることを期待されている。

日本製鉄と住友商事(株)は、英国シェル向けの鋼管供給開始から50周年を記念した式典をオランダのハーグにて開催した。日本製鉄と住友商事は、1972年にブルネイシェル向けに油井管を出荷して以来、シェル向け鋼管供給を50年間継続してきた。2006年以降は全世界オペレーションを対象とした油井管およびラインパイプの長期販売契約を締結しており、これまで全世界のシェル向けに累計170万トン以上の鋼管を納入している。

2.2.4 条鋼・形鋼・鋳鍛鋼

日本製鉄は(一社)サステナブル経営推進機構(SuMPO)の「SuMPO環境ラベルプログラム」に基づく「エコリーフ環境ラベル」を「棒鋼工程省略鋼」・「線材工程省略鋼」(以下、棒線工程省略鋼)で追加取得した(2022年2月に「棒鋼製品」「線材製品」「棒鋼製品(建材)」「線材製品(建材)」にて品種包括的に取得済)。エコリーフ環境ラベルは、LCA(ライフサイクルアセスメント)手法を用いて、資源採取から製造、物流、使用、廃棄リサイクルまでの製品のライフサイクル全体を考えた環境情報を定量的に開示する認定制度の一つ。ユーザーはこれにより、使用する製品の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。

JFEスチールはエコリーフについて、H形鋼・スーパーハ

イスレンドH形鋼(SHH)・極厚H形鋼・建材厚板・建材コラムの5製品で取得した。エコリーフの取得は、JFEスチールとしては缶用鋼板製品に続いて2件目となる。

大同特殊鋼(株)は日産自動車(株)の2022年「Nissan Global Supplier Award-Global Innovation Award」を受賞した。本賞は、日産自動車の商品力向上やブランド力向上に繋がる、サプライヤー企業の革新的な取り組みを表彰するもので、「VC-Turboエンジン溶射シリンダーボア用ステンレス鋼の開発」において、日産自動車の業績に顕著な貢献をしたことが評価された。溶射被膜特性の向上を目的に、成分組成を適正化しワイヤ表面に銅めっきを施し、VC-Turboエンジン溶射シリンダーボア用途に最適なステンレス鋼ワイヤを開発した。

(株)プロテリアルは、鉄鋼冷間圧延用として、高性能な鋳造ロールCR²(Cast Roll for Cold Rolling)を開発し、販売を開始した。CR²(シーアールツー)は、鍛鋼ロールの性能の壁を乗り越える鋳造ロールで、冷間圧延工程に求められる高い耐摩耗性(粗度維持性)や耐事故性を有する。冷間圧延用には、古くから鍛鋼ロールが使用されているが、ハイテン材や電磁鋼板を圧延する上でのニーズである耐摩耗性などの性能の大幅な向上は見られなかった。また、冷間圧延には金属組織の均一性と高い硬度が要求されるため、冷間圧延には一般的に鋳造ロールを使用していなかった。同社はこの課題を解決すべく、これまで熱間圧延で使用されるロールの研究開発で培ってきたノウハウと、鋳造欠陥の発生を防止する鋳造技術、精度の高い製造技術で、冷間圧延用鋳造ロールを開発した。CR²は、鍛鋼ロールと比べ、耐摩耗性3~5倍、破壊じん性2倍、耐クラック性5倍の性能を有するため、鋳造ロールとしては新しい分野である冷間圧延のワークロールとして使用できる。高い耐摩耗性(粗度維持性)や耐事故性を有するCR²の導入により、冷間圧延工程の生産性が向上する。

2.2.5 交通産機品

日本製鉄が行った「新幹線用新型ブレーキパッドの開発」が第54回(令和3年度)市村賞において、市村産業賞を受賞した。新幹線の速度向上に伴い、安全を支えるブレーキ性能のさらなる向上が求められている。東海道新幹線開業以来用いられてきたブレーキ(リジッド)パッドは、摩擦材を一体で押し当てる構造のため、高速から急制動すると、熱変形するディスクと部分的に接触し、局所的な高温部(ヒートスポット)を生じ、ブレーキ力の低下を招く。そこで、熱変形したブレーキディスクと摺動するブレーキパッドの摩擦材が局部接触することなく、熱変形に追従するように、皿ばねを搭載した。それにより、ヒートスポットの発生を抑制し、ディスク表面温度は従来品と比較すると100℃以上低減された。温度低減により摩擦係数の低下を防ぎ、制動距離の短縮も実現した。

2.3 計測・制御・システム

データを収集・分析して経営戦略などの意思決定を行い、業績の向上を図るデータドリブン経営に向けた動きが加速している。企業の業務内容と直接関わる基幹システムは、従来、各メーカーの独自規格で構築されていたため、システム構成の選択肢や機能の拡張性に乏しく、先端デジタル技術の活用が難しいなど、データ資産活用の前提となる「変化に強い柔軟なIT構造」を構築するうえでの課題を抱えている。JFEスチールは、本社基幹システムをオープン環境に完全移行、4,000万STEPを超える大規模な基幹システムのオープン環境への完全移行は日本初の事例となる。システムの移行先として、日本アイ・ピー・エム（現キンドリルジャパン）と構築したハイブリッドクラウド環境を採用している。同環境は、従来のシステム環境と同水準の信頼性を有しており、データ処理量の急な増加にも迅速に対応できる。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。日本製鉄は、LPWA（省電力長距離無線通信）とクラウド技術を用いて、各製鉄所製造拠点データを一元管理する無線IoTセンサ活用プラットフォームを構築し、東日本製鉄所君津地区、鹿島地区において、設備の早期異常検知を目的とした実運用を開始した。各製鉄所製造拠点では、それぞれセンサデータを収集・保持しており、拠点ごとにデータを分析し、それぞれの知見によって特異点検出など生産管理に活用している。無線IoTセンサ活用プラットフォームを導入することで、各製鉄所製造拠点に導入したセンサから取得するデータの管理を一元化し、多拠点から収集した統合ビッグデータが設備の検知やトレンド監視へ活用可能となるため、データ分析の高度化につながりデータドリブンな生産プロセスの構築を実現するとともに、労働生産性が向上する。また、経営情報やKey Performance Indicator (KPI) をリアルタイムに把握し的確なアクションを可能とする統合データプラットフォームを構築し、経営上必要とするデータおよび各製鉄所で個々に蓄積しているデータを統合集約し、経営レベルから第一線まで同じデータを元にした迅速で高度な意思決定・課題解決を図っている。

我が国では、少子高齢化に伴う人手不足や製造現場での技能伝承、設備老朽化課題を背景に、産業基盤のDXによる「機械化・遠隔化・自動化」の推進が喫緊の課題となっており、操業支援システム分野で多くの成果があった。高温のスラグを溶銑から分離する作業において、作業員は現場に設置したカメラで確認しながら重機を用いて遠隔操作で作業を実施しているが、スラグの状況が変化する中で、作業員の知識・経験に基づく判断が重要であり、効率的に技能伝承を進めるた

めには実作業の指標化や熟練作業員のスキル・ノウハウを形式知化することが必要となる。日本製鉄は、AIを利活用した様々なイノベーションを提供するスタートアップ企業と共同で、製鉄現場の重機操業における効率的な技能伝承を実現するため、熟練作業員の作業状況を可視化するデータ解析基盤を構築し、君津地区で実証実験を開始した。現場にある重機の操業位置・速度等のセンサデータ、スラグ分離作業の状況、溶融物の状態等の動画データ、処理日時、作業員情報等の操業情報を連携し、現状作業の可視化を行った。作業員の熟練度合いを解析することで、勤続10年以上の作業員がもつ操業技術を可視化し、新人作業員でも同等の操業が行えるように作業を支援するソフトウェアの検証を開始している。製鉄所内で、高所作業が必要となるような設備点検において、ドローンの活用が進められているが、複雑な構造の設備の狭い部位や場所においては、安定飛行や精度の良い撮像には限界があった。日本製鉄は、寸法20cm、重量185gと業界最小クラスの機体に、高度な姿勢制御機能を搭載した高性能の産業用小型ドローンを導入することにより、高所作業の削減や整備作業の負荷軽減が可能となり、さらに三次元データを用いて、設備保全の高度化を推進し、生産の安定化・効率化を図っている。JFEスチールは、トラックドライバーの労働力不足や労働環境改善を目的として、2019年度より製鉄所内搬送車両の自動化技術の共同開発をIHIと進めており、走行・転回・停止に係わる基本的な自動化機能の開発を完了、この開発を実環境で検証するため、東日本製鉄所京浜地区内の搬送ルートの一部区間で、100トンの実貨物を積載したトラクタトレーラーを用いた搬送試験を2023年2月より開始した。ルート上の交差点や横断歩道に標識などの設置、ならびに信号制御により、他車両や歩行者へ自動搬送車両の接近を知らせる適切な交通整理方法についても検証を実施し、より安全な搬送工程の実現、および構内道路を自動搬送車が走行することに対する受容性の向上を図っている。

2.4 建築・土木

建築分野：日本製鉄が建物やインフラ構造物の建設市場に対して高度なソリューションを提供するブランドを立ち上げた。自動車分野での取組み同様、建設市場の様々な課題に応えるために、高性能鋼材製品と高度鋼構造技術を組み合わせた「鋼材×利用技術」パッケージを材料～設計・施工までの総合技術サポートとともに提供することを目指している。日本製鉄は、建築物の大型化に伴う鉄骨の大断面化、人手不足を背景とした更なる工期の短縮化のニーズに応えられるよう大断面サイズの圧延H形鋼のラインナップを拡大、ラインナップすべてで、上述したエコリーフ環境ラベルを取得、環境への配慮もなされている。JFEスチールは、建築構造向け耐震

用製品、耐震壁を開発、構造安全性とその設計法について（一財）日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得した。汎用鋼材を鋼板パネルとし、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、耐震壁全体が安定的に抵抗力を発揮することができる。設計における合理性を高め、利便性の向上を実現した耐震壁を建築構造設計者に提供することが可能となった。

建材では、チタン合金の適用拡大が進んでいる。日本製鉄は、意匠性を謳ったブランディングを進めており、中国江蘇省の国際会議センター屋根、タイの研究開発施設エントランス等、国際的にも採用が進んだ。意匠性チタンブランドは、レッド・ドット・デザイン賞2022 (Reddot Design Award 2022) を受賞、本賞の受賞は、金属素材として、世界初の受賞となった。レッド・ドット・デザイン賞は、国際的なプロダクトデザイン賞であり、世界3大デザイン賞と称されるものの一つである。

土木分野：JFEスチール、日本製鉄、五洋建設（株）、東亜建設工業（株）、および日本海工株式会社の5社は、鉄鋼スラグ活用材料「カルシア改質土」による海底地盤改良の新工法であり、軟弱な海底地盤の表層改良を可能とする「カルシア改質土のバッチ式原位置混合工法」を共同開発、2022年7月から8月に国土交通省中国地方整備局と広島県の協力の下、広島港出島地区の実海域において実証試験を実施した。カルシア改質土は、軟弱な浚渫土に製鋼スラグを原料としたカルシア改質材を混合することにより、性状を改質した材料であり、強度が発現して固化するなどの特性を有している。本工法は、原位置（海底）で行うため施工工程の簡略化が可能、密閉式バケット内で合するため、粘土攪拌による濁りが発生しないなどの特徴を有する。本工法の開発により、軟弱な海底地盤の浅層改良、浅場・干潟などの土留め潜堤など、カルシア改質土の用途拡大が期待される。JFEスチールは、土留め用鋼製壁体の壁体としての構造性能やコンクリート床版接合部の構造性能を実証、一般財団法人先端建設技術センターの技術審査証明を取得した。仮設の土留め壁を本設の地下壁に兼用することで、従来工法と比較し、難条件下での急速施工を実現するもので、コンパクトで剛性の高い土留め用鋼製壁体である。市街地における薄壁・省スペース施工を実現し道路・鉄道の拡充に貢献することが期待される。日本製鉄は、日鉄エンジニアリング（株）のタンザニア向けODAでの合成床版橋受注に協力、海外向けに初めての採用となった。工場ですべり主桁および合成床版の鋼殻を一体化することで現場施工が簡略化・短工期化されるため、特に橋梁が道路や鉄道を跨ぐ場合に最小限の交通規制での架設が可能、交通渋滞など周囲への負担も軽減できる。日本政府の重要施策である日本の高度な技術を生かして途上国の開発に資する「質の高いイ

ンフラ」の輸出に貢献することが期待される。

2.5 環境・エネルギー

2.5.1 気象変動に関する世界の動きと日本政府の取組み

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、世界の気温上昇を1.5度以内に抑える目標を掲げる。21年11月に英国で開催された第26回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP26）では、各国が1.5度目標の達成に向けて「努力を追求する」と確認した。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30年までに10年比で排出を45%減らす必要があると評価している。しかしながら、足元、世界の排出量は増加傾向で、国際エネルギー機関（IEA）によると21年の二酸化炭素排出量は新型コロナ禍からの景気回復に伴い過去最高を更新した。このような中、2022年4月に、IPCC総会が行われ、世界の平均気温の上昇を産業革命前に比べて1.5度以内に抑える目標達成の方策をまとめた。世界の温暖化ガス排出量は遅くとも2025年には減少に転じさせる必要があるとした²⁹⁾。2022年11月には、第27回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP27）が行われた。気象災害で「損失と被害」を受けた途上国を支援する基金の創設を決めた。また、30年の排出量を19年比で43%減らす目標も示した。しかしながら、「2025年排出ピークアウト」の文言は盛り込まれず、各国には23年のCOP28までに削減目標を再提出するよう求めるに留まった³⁰⁾。国際エネルギー機関（IEA）は、2022年12月に公表した報告書において、2022年の世界の石炭利用が、ロシアのウクライナ侵攻によるEUでのエネルギー不足や、中国、インド、東南アジアなどの需要増により、前年比1.2%増と80億2500万トンとなり、過去最高を更新するとの見通しを示した³¹⁾。

国内に目を向けると、2020年10月には菅義偉内閣総理大臣（当時）が「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2021年には、3月に地球温暖化対策推進法の改正を閣議決定し、4月に、2030年度において2013年度比で温室効果ガス46%削減を目指すことを表明した。この表明では、2050年目標と整合的・野心的な目標である2030年度の46%削減に加え、50%削減の高みに向けて、挑戦を続けていくことが示された。しかしながら、ウクライナ情勢などの背景も重なり、その実現は容易ではない。このような中、日本政府の対応には大きな変化があった。政府は、2022年12月、GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議を開き、脱炭素社会の実現に向けた基本方針の中で、原子力について「将来にわたって持続的に活用する」と明記し、東日本大震災以来、原発の新增設・建て替えを「想定しない」としてきた政策を転換した³²⁾。

2.5.2 日本鉄鋼業の取組み

日本鉄鋼連盟は、2030年度をターゲットとする低炭素社会実行計画フェーズⅡを策定し、その達成に向けて活動している。これらの自主的な取組みの基本コンセプトは、「エコプロセス」、「エコプロダクト」、「エコソリューション」の3つのエコと「革新的技術開発」の4本柱である。エコプロセスは鉄鋼生産プロセスにおける省エネ／CO₂削減努力を目指すものであり、エコプロダクトは高機能鋼材の供給による製品の使用段階での削減に貢献するもの、そしてエコソリューションは日本鉄鋼業が開発・実用化した省エネ技術の移転普及による地球規模での削減に貢献するものである。革新的技術開発としては、革新的製鉄プロセスの開発（COURSE50）と革新的製鉄プロセスの開発（フェロコックス）に主に取り組んでいる。2021年2月に、日本鉄鋼連盟は「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、上述の4本柱の取組みを続けるが、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、現在推進中のCOURSE50やフェロコックス等を利用した高炉のCO₂抜本的削減と、CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）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や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。さらに、脱炭素社会に向けた国家戦略や推進体制・制度設計、財政支援などの政策について政府に要望している。日本鉄鋼連盟は2022年3月、高炉大手が進める設備集約や、スクラップ利用拡大などの環境変化を踏まえ、低炭素社会実行計画フェーズⅡで掲げていた目標：「2030年度に2005年度比で900万トン削減」を見直し、名称を「カーボンニュートラル行動計画」と改め、2030年度の二酸化炭素（CO₂）排出量を2013年度比で30%：約5790万トン削減する、という新たな目標を設定した。既に世界最高水準にあるエネルギー効率の下、これまで進めてきたBAT（Best Available Technologies）の最大導入のみならず、冷鉄源の活用など新たな視点を加味し、野心度を高めたものである³⁴⁾。

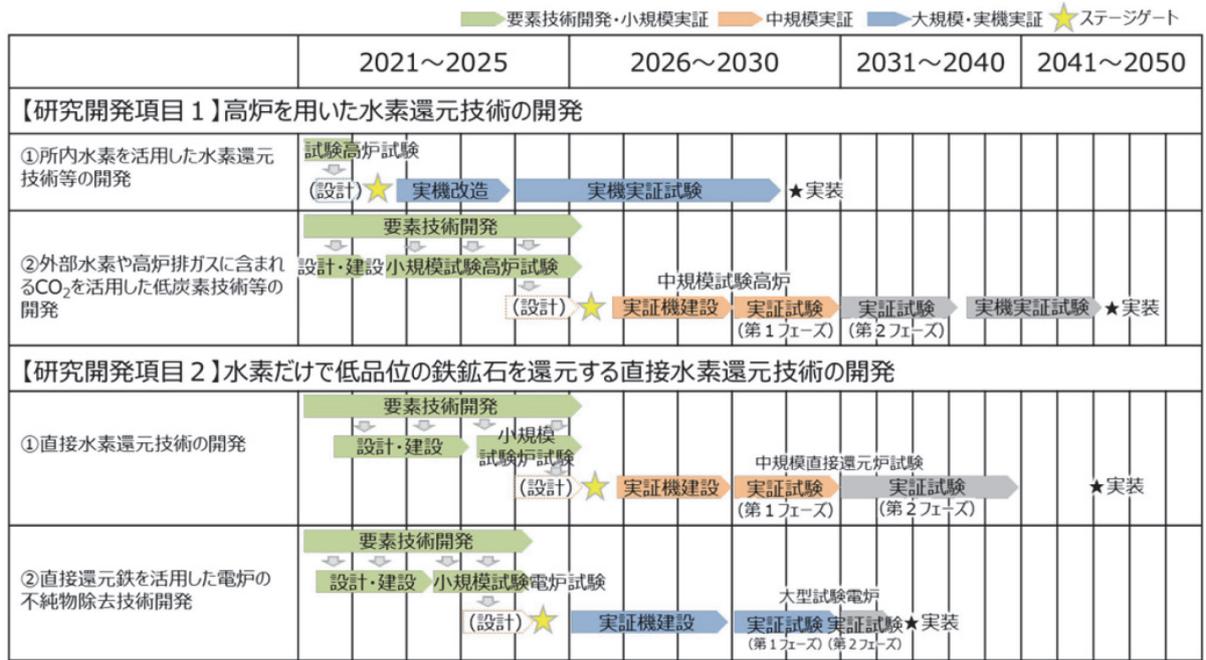
日本製鉄、JFEスチール、(株)神戸製鋼所、(一財)金属系材料研究開発センター(JRCM)は、NEDOから公募された「グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける

水素活用プロジェクト」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月に採択された。実施期間は2021～2030年度の10年間の予定で予算は1,935億円である³⁴⁾。図5に、本プロジェクトとその社会実装の想定スケジュールを示す。所内水素を活用した水素還元技術等の開発については、2030年までの実用化を目指し、2029年度頃までの研究開発期間を想定している。それ以外のアイテムについては、実証実験を含め2030年度までの研究開発期間を想定している。一方、電気炉により鋼を製造している大同特殊鋼、愛知製鋼(株)、山陽特殊製鋼(株)などの特殊鋼メーカーは、そのCO₂の発生量は高炉メーカーに比較すると少ないが、電力と都市ガスからのCO₂排出量が総排出量の80%から90%程度を占めているため、主として燃料と電力の脱炭素化に取り組んでいる。

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り組みが活発化している。【直接還元】神戸製鋼所の子会社であるミドレックス社と、ライセンス供与先であるPaul Wurth S.A.のコンソーシアムが、スウェーデンの製鉄会社H₂グリーンスチール社（正式社名H2GS AB）向けに、MIDREX H₂™直接還元鉄プラントを受注した。当プラントは、世界初の100%水素直接還元鉄プラント商業機となり、年産能力は210万トンで2025年の稼働開始を目指している。H₂グリーンスチール社は、化石燃料を使用しない製鉄所の建設を計画、従来の製鉄・製鋼工程と比較して約95%のCO₂排出量削減を目指しており、神戸製鋼所は、同社への出資を決定するとともに、将来的なグリーンHBI（熱間成形還元鉄）購入に向けた協議を開始した。JFEスチールは、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・スチールと共に、鉄鋼業界のグリーン化に向けた低炭素還元鉄のサプライチェーン構築に関して、プロジェクト候補地をアブダビとする事業化調査を推進する。鉄鉱石の還元には天然ガスを使用し、そのプロセスで排出されるCO₂はUAEの油田へ圧入(Enhanced Oil Recovery：EOR)するCCUSで処理する、としている。【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、世界初となる電炉一貫でのハイグレード電磁鋼板の製造・供給が

^{*}炭素(石炭)から水素への転換とCO₂の回収固定(CCUS)の組み合わせでCO₂排出をゼロにする



※想定されるスケジュールの一例を記載

図5 「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトの想定スケジュール³⁴⁾ (Online version in color.)

可能となった。今後、直接還元鉄とスクラップを原料とした大型電炉一貫プロセス（処理量約300トン／1チャージ規模）を実機化し、不純物の濃度の制御など、自動車の外板等に使用可能な高級鋼を製造する技術の確立を2030年度までに目指す、としている。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。また、千葉地区でのGI基金試験電気炉による技術開発、およびJFEグループ電気炉技術の導入により、高効率製造・高品質鋼製造の両立を目指す。

【CCUS】日本製鉄は、deepC Store Limitedが開発する大型洋上浮遊式CO₂回収貯留ハブ・プロジェクトへのCO₂の回収・液化・海上輸送に関する共同スタディ契約を締結し、製鉄所から年間100万トンから500万トンのCO₂を回収・液化・海上輸送する事業の採算性検証を行うとしている。さらに、米エクソンモービルのシンガポール子会社、三菱商事（株）とともに国内製鉄所から発生するCO₂を分離・回収して、オーストラリアやマレーシアなどのCCS施設で地下に貯留するCCSの実現に向けた覚書（MOU）を結び、プロジェクトの検討に入ると発表している。一方、JFEスチールは、CO₂有効利用技術の実用化試験を進めている。（公財）地球環境産業技術研究機構と共同で研究開発を推進している「CO₂を用いたメタノール合成における最適システム開発」に関しては、西日本製鉄所（福山地区）に試験設備の建設を予定、カーボンリサイクル高炉などの製鉄プロセスと組み合わせた大規模

CCUプロセスの実用化を目指している。また、愛媛大学と共同で研究開発を推進している「製鋼スラグの高速多量炭酸化による革新的CO₂固定技術の研究開発」については、東日本製鉄所（千葉地区）に試験設備を建設予定であり、2025年度末までに実用化試験を完了予定である。

【電力・水素】愛知製鋼は、使用電力の脱炭素化を目指し、日本卸電力取引所の非化石価値取引市場にてFIT非化石証書（FIT制度を通じて買い取られたFIT電気非化石価値を証書にしたもの）を購入することで再エネ電気を導入、購入量は刈谷工場を中心に、関工場、岐阜工場および東浦工場の4工場分に相当し、年間で合計約1万トンのCO₂削減に貢献するとしている。刈谷工場、岐阜工場では、2021年より「カーボンニュートラルな都市ガス」を導入しており、今回の再エネ電気導入により、関工場、岐阜工場、東浦工場では、カーボンニュートラルを実現、刈谷工場では、再エネ導入に加え、重油炉の燃料転換を完了させることで2022年度中にカーボンニュートラルを実現する。神戸製鋼所グループは、2050年のカーボンニュートラル達成に向け、「ハイブリッド型水素ガス供給システム」の実証試験を、2023年3月頃から高砂製作所内で実施する予定である。中小規模の事業者にとって導入のカギとなる「安定かつ安価な水素づくり」に対するソリューションを提供するもので、極低温液化水素気化器、水電解式水素発生装置、運転マネジメントシステムより構成されている。液化水素気化プロセスと再生可能エネルギーを活用した水電解式水素発生装置を平行配置したハイブリッ

ド型とすることで、コストミニマイズと再生可能エネルギー特有の供給不安定性の解消の両立を図る。大同特殊鋼は、2021年に水素を燃料とするラジアントチューブバーナの開発に着手、燃焼テストを重ねていたが、今年度、水素混焼および専焼テストに成功し、水素インフラが整備されるまでの切り替え過渡期に対応可能としている。本バーナは、熱処理炉への適用を目指して開発を進めており、今後、実機相当レベルでの実証評価を計画している。

【低CO₂高炉鋼材】高炉各社は、自工程のCO₂削減効果を一部商品に割り付けるマスバランス方式による低CO₂高炉鋼材の販売に向けて動き出した。神戸製鋼所は、独自のミドレックス技術を用いて製造したHBIを加古川製鉄所の高炉に多量に装入することで、高炉からのCO₂排出量を削減して製造した低CO₂鋼材を、“Kobenable Steel”として一早く商品化し、自動車向け部品や鉄骨への採用が決定した。CO₂削減効果については、ISO 20915に準拠して計算を行い、英国の認証サービス機関である、DNV BUSINESS ASSURANCE SERVICES UK LIMITEDから第三者認証を取得している。日本製鉄とJFEスチールも、2023年度から、低CO₂高炉鋼材の販売を開始するとしている。販売数量は、CO₂排出量削減規模と関係してまだ限定的であり、日本製鉄は、2023年度の供給量は年率30万t程度を予定、JFEスチールは、30年度時点で年間500万トンの販売を見込んでいる。

【地域連携】JFEスチールは、千葉市のコンビナートにおける

カーボンニュートラルの実現に向けた共同検討を実施するための覚書を締結した。覚書に基づき、エネルギー産業、石油化学産業、化学産業、鉄鋼産業、素材産業などの同地区の異業種企業9社とYOKOGAWAグループが連携し、2030年頃までに、(1) CO₂排出を最小化する産業間連携エネルギーマネジメントシステムの導入、(2) 産業間連携によるCO₂回収と有効活用、(3) 既存プロセスからの水素などを含む副生ガスを産業間連携で活用することによるCO₂排出量の削減、に関する事業化の検討、そして2050年の同地区コンビナートのカーボンニュートラル実現に必要な施策を検討する。JFEスチールは、岡山・水島コンビナートにおいても、脱炭素の協議会に参画している。中部圏においても、日本製鉄、JFEスチールなど、中部圏水素利用協議会に参画する18社が、2050年の「カーボンニュートラル」達成の重要な役割を占める水素サプライチェーンの社会実装に向け、地元自治体ならびに地元経済団体と連携し、水素の輸入・貯蔵・供給・利用を促進するためのインフラ整備や計画の策定等の各種取り組みや、水素の利活用促進に資する取り組みを加速する。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図6に、鉄鋼業の2021年度までの技術貿易収支の推移を示す³⁵⁾。技術輸出対価受取額は、2020年度に比べて北アメリカ

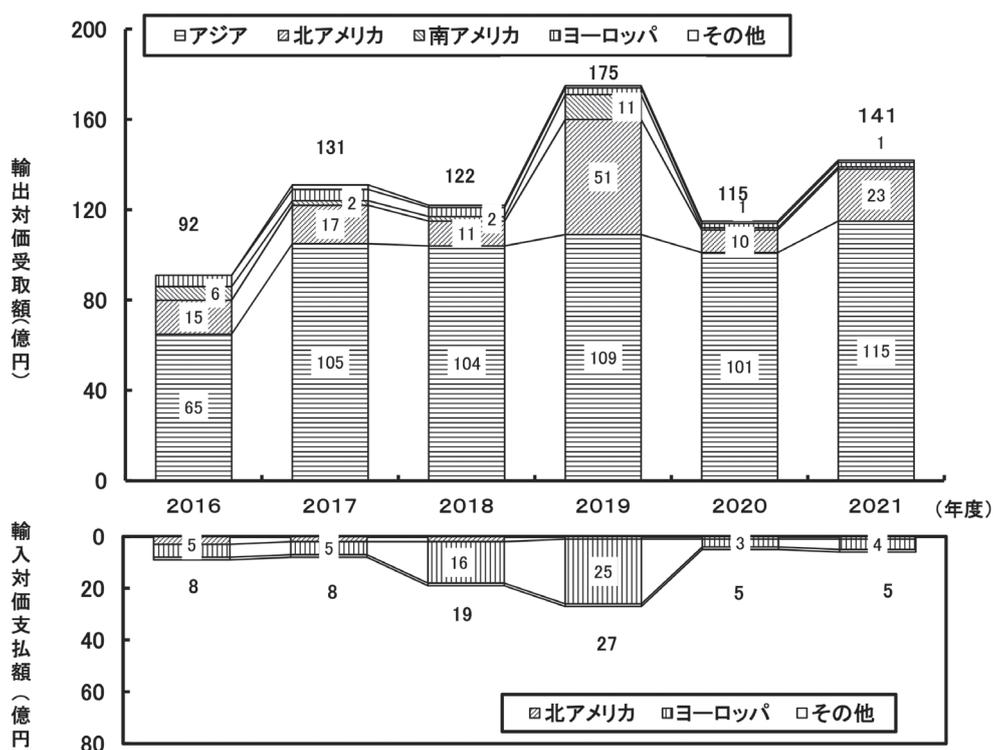


図6 鉄鋼業の技術貿易収支³⁵⁾

向け、アジア向けが大幅に増加したことから、受取額全体としては前年度対比+23%の伸びとなった。アジア向けについては2013年度の119億円に次ぐ高い水準となった。技術輸入対価支払額は、2020年度に引き続き低い水準となった。

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、2021年度までの以下の3項目を整理した。その結果を図7～図9に示す³⁶⁾。

【売上高対研究費支出比率(図7)】 前年度と比較して、全産業では0.3ポイント低下した。この間、全産業トータルで研究費支出は3,636億円増加しているが、売上高が研究費支出の伸びを上回る大きな伸びとなり、売上高対研究費支出比率としては大きな低下となった。鉄鋼業は前年度対比0.5ポイントの低下であり全産業に比べても低下の度合いが大きい。鉄鋼業も売上高が大きく伸びた影響もあるが、一方で研究支出そのものが前年度対比減少しており、より売上高対研究費

支出比率の低下が大きくなった。

【従業員1万人当たりの研究本務者数(図8)】 鉄鋼業は2011年度まで増加傾向で最高値を示したが、2012年度に減少した。それ以降その水準で推移している。

【研究本務者1人当たりの研究費(図9)】 全産業では前年度対比で横ばいの水準にある。鉄鋼業は前年度と比較して2021年度は大幅な減少となった。

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)、「環境調和型プロセス技術の開発 フェーズⅡ」、「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」(いずれも2018～2022年度、委託者：NEDO)、「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)、「革新的新構造材料等技術開発」(2013～2022年度、委託者：NEDO)、「ミルフィーユ構造の材料科学—新強化原理に基づく次世代構造材料の創製」(2018～2022年度)等である。新たに開始されたプロジェクトとしては、「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)、「インドネシア／電炉(製鋼)工場へのタンデイッシュプラズマ加熱装置導入によるGHG排出削減事業のJCM実現可能性調査(FS)」(2022年度)がある。

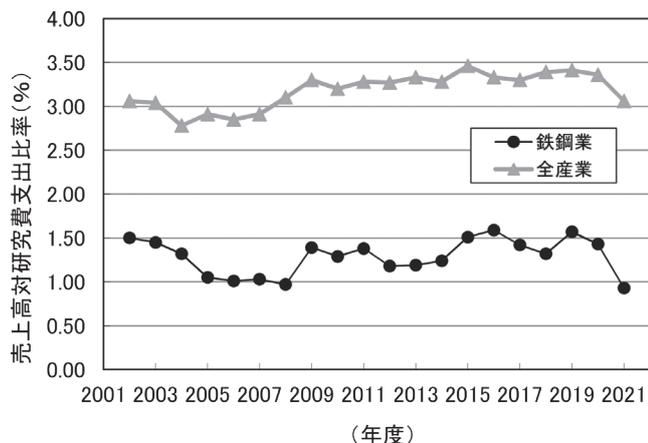


図7 売上高対研究費支出比率の経年変化³⁶⁾

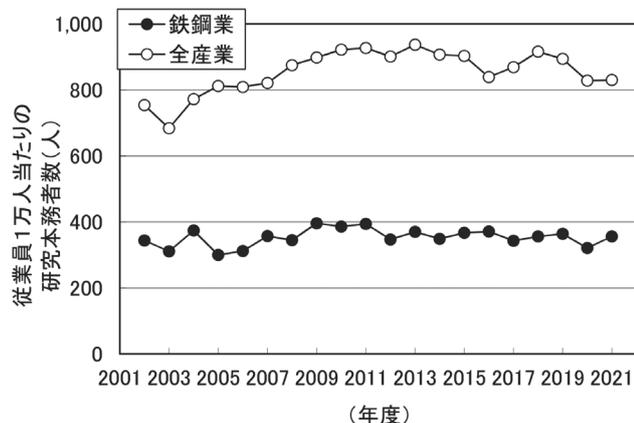


図8 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化(人)³⁶⁾

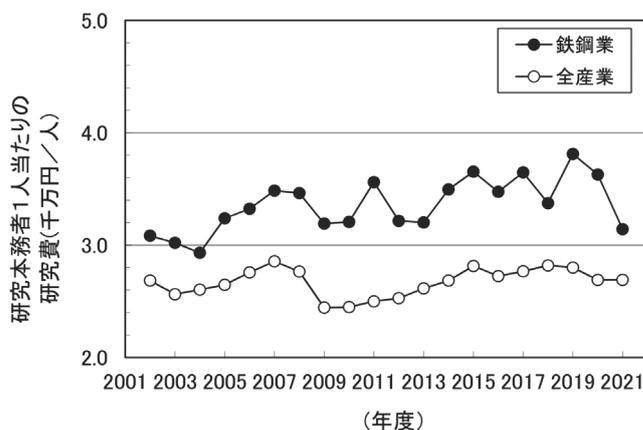


図9 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化(千円/人)³⁶⁾

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
プロセス・設備	環境調和型プロセス技術の開発 フェーズⅡ	NEDO	2018	2022
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
	インドネシア／電炉(製鋼)工場へのタンディッシュプラズマ加熱装置導入によるGHG排出削減事業のJCM実現可能性調査(FS)	経済産業省	2022	2022
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
製品	革新的新構造材料等研究開発	NEDO	2013	2022
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	2022
	ミルフィーユ構造の材料科学—新強化原理に基づく次世代構造材料の創製	文部科学省	2018	2022

NEDO:(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

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)および学生人材育成事業を継続して実施している。

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、2011年度より産学人材育成パートナーシップ事業を継承し、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。2021年度はコロナ禍の影響により、学生人材育成、企業人材育成事業のセミナーの開催、運営が大きく影響を受けたが、2022年度は感染症防止対策を徹底した上で、対面での開催を再開した。

学生人材育成については、工場見学が主体となる「最先端鉄鋼体験セミナー」は、2021年度は企業事業所の受入れ体制が整わず、また旅程中での感染リスクも危惧されたことから全面中止となったが、2022年度は人数制限、事前の体調確認等の対策を実施した上で、例年通り4製鉄所でセミナーが開催可能となった。「鉄鋼工学概論セミナー」「学生鉄鋼セミナー」については、講義、討論が中心のセミナーであることから、2021年度はオンライン開催で実施したが、討論が深まらない等のご意見が講師、受講生双方から寄せられていた。2022年度については、「最先端鉄鋼体験セミナー」同様に人数制限、事前の体調確認等を実施し対面での開催を実施した。

企業人材育成においては、合宿形式となる「鉄鋼工学セミナー」、「鉄鋼工学アドバンストセミナー」は2021年度はいずれも中止としたが、2022年度は人数制限、事前の体調確認等の対策を実施した上で対面での開催を再開した。「鉄鋼工学セミナー」については例年170～180名程度の受講者を集め

て開催してきたが、コロナ禍以降で初開催となる今回は、受講者を70名程度に制限して、受講期間中のソーシャルディスタンスの確保を優先しながらの運営となった。

「鉄鋼工学セミナー専科」については5専科の開催を計画し、4専科を対面で、1専科をオンラインで開催した。その他、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10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13大学で実施し、約2000名の学生が聴講した。

日本鉄鋼協会では上記に示した各事業に加え、2022年度より新たに高校生・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の助成事業、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年度からの新事業として、本会個人会員向けにオンラインによる講演会・講座を開始した。その内容は、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種あり、ホームページ上に掲載している。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。2022年4月からは、鉄鋼のカーボンニュートラルに関して、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取り組むべき課題を明確にすることを目的とした「鉄鋼カーボンニュートラル検討会議」を新設し、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)」の提言を引き継ぐ形で、産学がタイアップした活動を行っている。

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、部会大会を定期的に開催し、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)。2022年度の技術部会活動は、コロナ禍の影響が残る中でも、オンラインや対面オンラインとのハイブリッドまたは感染対策に万全を期した上での対面による部会大会等が開催されるようになった。参加者延べ人数はWEBによる参加を含めて2,436名と2020年度の1,610名からさらに復調し、大学等からの研究者の参加も56名(2021年度は39名)に至った。参加方法にオンラインを取り入れることにより、コロナ禍以前より多くの参加者を得ている部会もあり、それぞれの目的や開催環境に合わせて、より多彩な運営方法を工夫する動きが見られた。また、若手育成のための各種企画やテーマごとの各種技術検討会活動も再開の動きが見られたが、国際交流に関する諸活動は引き続き見送りとなった。

5.2 技術検討部会

分野横断的、業際的技術課題を検討する技術検討部会(表3)は、4部会が活動中である。2022年度は引き続きコロナ禍の影響を受けながらも、2021年度同様、WEBを活用した会議や研究発表等の活動が進められた。「実用構造用鋼の材質向上に向けた不均一性制御技術検討部会」は、2020年度にコロナ禍により活動機関を1年延長したが、今年度は予定通り報告書を取りまとめた。「自動車用材料検討部会」では、(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するとともに、自動車技術会と特殊鋼の水素脆化に関する課題について協議を行った。「压力容器用材料技術検討部会」では、鋼材規格検討WG、先進耐熱鋼WGがそれぞれの活動を継続した。また、2021年度から活動を開始した「社会インフラ鋼材技術検討部会」は、前年度に引き続き、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と維持管理に関して検討した。

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、2022年度から受給開始となる対象者として新たに29件(若手19件)が採択され、2021年度から開始した30件と合わせて2022年度は合計59件が受給テーマに基づく活動を実施した。2022年度からは、個人向けの助成として「鉄鋼研究振興助成」に加え、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することを特徴とした「鉄鋼カーボンニュートラル研究助成」が新設された。2022年度は、本助成の枠組みで24件の課題が採択された。鉄鋼にとどまらず、多くの分野の斬新な英知を結集する核となり、CO₂発生量削減に寄与する技術の創造につながっていくことが期待される。

産学共同チーム向けの助成である「研究会」は、2022年度には21研究会が活動し、その内の5研究会が同年度に終了した。2022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)2件であった(表5)。また、2023年度から発足する研究会は、研究会Iが5件、研究会II(ニーズ型)が1件(表6)である。鉄鋼協会研究プロジェクトでは、2022年度から活動を開始するプロジェクトの採択はなかったが(表7)、2023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、または業際的技術課題 部会種類：実用構造用鋼の材質向上に向けた不均一性制御技術検討部会、自動車用材料検討部会(第VII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、受給期間は2年間 ・特徴：研究者個人を対象、若手枠を設置 ・件数：29件(2022年度受給者数)
鉄鋼カーボンニュートラル研究助成 (2022年度新設)	<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年もしくは2年 ・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：24件(2022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、公募により毎年度採択、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(2022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(2022年度12月末現在活動中)

表5 2022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	多相融体の流動理解のためのスラグみえる化	高プロ	齊藤 敬高(九大)	2019～2022年度(1年延長)
I	部材の極限軽量化に資する偏肉鋼管加工技術	創形	桑原 利彦(農工大)	2019～2022年度(1年延長)
I	不均一変形組織と力学特性	材料/評価分析	土山 聡宏(九大)	2019～2022年度(1年延長)
I	LIBS実用場適用技術開発	評価分析	出口 祥啓(徳島大)	2019～2022年度(1年延長)
II	エリアセンシング技術による製鉄所設備診断	制御	石井 抱(広島大)	2019～2022年度(1年延長)
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CGU	サステナ	坪内 直人(北大)	2020～2023年度(1年延長)
I	攻めの操業を支えるシステムレジリエンス	計制シ	藤井 信忠(神戸大)	2020～2022年度
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	高品質焼結鉄の鉱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

表6 2023年度開始 研究会

型	研究会名	所属部会等(略記※)	主査	研究期間
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ス製造技術	高プロ	鷹鷲 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	計制シ/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加熱・溶解機構(FS)	電気炉	植田 滋(東北大)	2023年度

※ 高プロ：高温プロセス部会、環境：環境・エネルギー・社会工学部会、計制シ：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、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 2022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
破壊に強い延性二相チタン合金の組織設計原理の確立	航空機エンジン用チタン合金の疲労特性向上を図るため、延性二相チタン合金の組成プロセス-組織形態-き裂進展挙動の関係を示すプロセスウィンドウを作成し、破壊に強い延性二相チタン合金の組織設計原理を確立する。	御手洗 容子 (東大)	2020~2022年度
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	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る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

表8 2023年度開始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
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

参考文献

- 1) IMF (国際通貨基金), 世界経済見通し, (2023年1月), <https://www.imf.org/ja/Publications/WEO/Issues/2023/01/31/world-economic-outlook-update-january-2023#Overview>, (参照日: 2023年2月2日).
- 2) 日本経済新聞, IMF局長「日本は財政の長期戦略を」 足元の拡張は理解, (2022年11月26日朝刊5面).
- 3) World Steel Association, December 2022 Crude Steel Production and 2022 Global Crude Steel Production Totals, <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2023/december-2022-crude-steel-production-and-2022-global-totals/>, (参照日: 2023年2月2日).
- 4) 日刊産業新聞, 鉄鋼過剰生産能力問題 多国間枠組み1年延長, (2022年12月27日1面).
- 5) 鉄鋼新聞, 日中鉄鋼対話 オンラインで開催 経産省, (2022年11月2日2面).
- 6) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼需給の動き, (2023年1月), <https://www.jisf.or.jp/data/jyukyu/documents/jyukyu202301.pdf>, (参照日: 2023年2月2日).
- 7) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼統計要覧 (2022年版) No.62, (2022年10月25日), p.2.
- 8) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼統計要覧 (2017年版) No.57, (2017年10月30日), p.2.
- 9) 日本鉄鋼連盟, 2023年度の鉄鋼需要見通し, (2022年12月23日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/2022tekkoujyuyoumitoushi.pdf>, (参照日: 2023年2月27日).
- 10) Production, Rio Tinto, (Fourth Quarter Operations review 2022, <https://www.riotinto.com/invest/financial-news-performance/Production>, (参照日: 2023年1月23日).
- 11) BHP OPERATIONAL REVIEW FOR THE HALF YEAR ENDED 31 DECEMBER 2022, <https://www.bhp.com/investor-centre/financial-results-and-operational-reviews/>, (参照日: 2023年1月23日).
- 12) VALE'S PRODUCTION AND SALES IN 4Q22 AND 2022, <https://vale.com/en/4q22-sales-and-production-report>, (参照日: 2023年2月1日).
- 13) 財務省, 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, <https://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=35&P=0>, (参照日: 2023年2月2日).

- 2023年1月31日) .
- 14) World Bank Commodity Price Data, <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/5d903e848db1d1b83e0ec8f744e55570-0350012021/related/CMO-Historical-Data-Annual.xlsx>, (参照日: 2022年1月12日) .
- 15) 鉄鋼新聞, 鉄鋼原料 回顧と展望, 2023年1月5日4面.
- 16) 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: 2023年1月26日) .
- 17) 鉄鋼新聞, 鉄鋼この1年 (7), 2022年12月26日2面.
- 18) 鉄鋼需給四半期報, 日本鉄鋼連盟編, No.283 ~ 285 (2022), No.286 (2023).
- 19) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼生産速報, (暦年 全国鉄鋼生産高/ 全国鋼材生産高), <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/documents/2022CY.xls>, (参照日: 2023年1月23日) .
- 20) 日本鉄鋼連盟, 2023年度の鉄鋼需給見通し, <https://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/2023tekkoujuyoumitoshi.pdf>, (参照日: 2023年1月4日) .
- 21) 経済産業省, 経済産業省生産動態統計 (鉄鋼), http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu4, (参照日: 2023年2月2日) .
- 22) 日本経済新聞 電子版, 22年の世界粗鋼生産, 4.2%減 中国で需要停滞, (2023年1月31日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC3187Q0R30C23A1000000/>, (参照日: 2023年2月19日) .
- 23) 日本経済新聞 電子版, 世界の粗鋼生産7年ぶり減 22年, 唯一のプラスはインド, (2023年2月1日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC0130Z0R00C23A2000000/>, (参照日: 2023年2月19日) .
- 24) ニッセイ基礎研究所, アジアマンスリー2023年2月号, p.8, (2023年1月26日), <https://www.jri.co.jp/file/report/asia/pdf/13953.pdf>, (参照日: 2023年1月27日) .
- 25) 日刊産業新聞, 中国, 23年鋼材需要減少予想 不動産市場停滞が長期化, (2022年12月26日), <https://www.japanmetal.com/news-t20221226123832.html>, (参照日: 2023年2月8日) .
- 26) ニッセイ基礎研究所, 世界一の人口大国となるインド経済の見通し, (2023年2月7日), <https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=73808?site=nli>, (参照日: 2023年2月8日) .
- 27) 例えば, 黒崎播磨株式会社, 2023年3月期第3四半期決算短信, (参照日: 2023年2月9日) .
- 28) 新日本電工, 新日本電工事典2022, <https://www.nippondenko.co.jp/shared/pdf/jiten.pdf>, (参照日: 2023年2月8日) .
- 29) 日本経済新聞 電子版, 炭素半減に最大30兆ドル必要 IPCC, 再生エネに投資促す, (2022年4月5日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA043H30U2A400C2000000/>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 30) 日本経済新聞 電子版, COP27閉幕, 途上国支援基金で合意 排出削減は進展なく, (2022年11月20日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA200YW0Q2A121C2000000/>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 31) 日本経済新聞 電子版, 世界の石炭利用, 過去最高更新 アジアの需要旺盛, (2022年12月16日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGR168WH0W2A211C2000000/>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 32) 日本経済新聞 電子版, 原発建て替え・運転延長へ転換 政府, GX基本方針, (2022年12月22日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA221FX0S2A221C2000000/>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 33) 日本鉄鋼連盟, カーボンニュートラル行動計画フェーズ I (2020年度) 実績およびフェーズ II (2030年度) 目標見直し等について, (2022年3月4日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/20220304.html>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 34) 経済産業省, 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」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画, (2021年9月14日), <https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210914002/20210914002-2.pdf>, (参照日: 2023年2月2日) .
- 35) 政府統計の総合窓口 (e-Stat), 科学技術研究調査-2022年 (令和4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)), (2022年12月16日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003321300>, (参照日: 2023年2月9日) .
- 36) 政府統計の総合窓口 (e-Stat), 科学技術研究調査-2022年 (令和4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員数, 社内使用研究費, 受入研究費及び社外支出研究費 (企業)), (2022年12月16日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003320423>, (参照日: 2023年2月9日) .

(2023年2月27日受付)

★2022年新製品★

本会維持会員企業における最近の新製品およびその動向を示す。

2022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
自動車向け製品	日本製鉄(株)	2.0GPa級ホットスタンプ用鋼板	自動車車体の軽量化、および安全性能向上を実現する 2.0GPa 級ホットスタンプ用鋼板。国内新型車 B ピラーに世界初採用。
		アルミめっきホットスタンプ用鋼板を用いたテーラードウェルドブランク製品	アルミめっきホットスタンプ用鋼板を用い高い継手強度を有するテーラードウェルドブランク製品。国内車に初採用。
		1180MPa級熱延ハイテン鋼板	軽量化と安全性能向上の両立を実現する 1180MPa 級熱延ハイテン鋼板。中大型トラックの後部突入防止装置に日本初採用。
	J F E スチール(株)	自動車向け冷間加工用の新ハイテン	Quenching & Partitioning プロセスを活用し、高い降伏強度と優れた局部延性を有する 980~1180MPa 級高張力鋼板。
	大同特殊鋼(株)	SLM方式3Dプリンタ用金属粉末「LTX®」	SLM 方式の 3D プリンタ造形時に発生するひずみを低減できるダイス鋼系粉末。SKD61 同等の特性、大型品も造形可能。
土木向け製品	J F E スチール(株)	アルカリ活性材料を用いた意匠性を有する低炭素型プレキャストコンクリート製品	高炉スラグを最大活用し、コンクリートと同品質かつ CO ₂ 削減に貢献できるアルカリ活性材料。
産業機械向け製品	日鉄ステンレス(株)	アロイ 800H (ASTM/ASME UNS N08800、N08810 および N08811 の総称)	高温環境用途の耐熱ニッケル合金である「アロイ 800H」の広幅厚板ラインナップ。
電気機械向け製品	J F E スチール(株)	圧粉磁心用絶縁被覆純鉄粉「電磁郎™」	加圧成形により、モータに適した複雑形状圧粉鉄心が作製可能な絶縁被覆純鉄粉。アキシシャルギャップモータ等へ適用を期待。
	大同特殊鋼(株)	メタルメッシュに適した新黒化膜用ターゲット「STARMESH®-γ1」	独自の合金設計により耐久性・低反射・高エッチング性を備えた車載用途に適したメタルメッシュ黒化膜用ターゲット材。
その他製品	大同特殊鋼(株)	バッチ型熱処理炉「プレミアムSTC®炉（第2世代）」	新開発機能を搭載することで、標準型炉対比で処理に伴う CO ₂ 排出量を 11%削減達成、IoT/UX 機能を強化した熱処理設備。
	(株)プロテリアル	鉄鋼冷間圧延用鋳造高性能ロール「CR ² 」	増加する自動車用高張力鋼・電磁鋼板に対応した耐摩耗性や耐クラック性に富む冷間圧延用鋳造ロール。
	(株)神戸製鋼所	Kobenable Steel	HBI を高炉に多量に装入し CO ₂ 排出量を大幅に削減しマスバランス方式で特定の鋼材に割り当てた低 CO ₂ 高炉鋼材。

☆生産技術のトピックス☆

2022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。

倉敷第4高炉改修

JFEスチール(株)

JFEスチール(株)は西日本製鉄所倉敷地区第4高炉の4次改修を実施した。本改修では、主に生産の安定・弾力性の確保およびCO₂削減・コスト低減に対応する改善を図った。

生産の安定・弾力性向上に関する内容は、(1) 炉内容積を下工程とのバランスを考慮しつつ生産の上方弾力性を確保するため5005m³から5100m³へ拡大、(2) 原料搬送ラインにおいて通常操業下では高稼働率で劣化が著しい部位を更新することで搬送能力を確保し操業安定性を担保、(3) 炉前機器更新にともない操作性の改善と機器作動時のデータ活用環境の改善を促進し出銑閉塞作業の定量化と作業精度向上を図ることで操業を安定化、(4) 20年以上の炉寿命を確保するべくこれまでの炉体長寿命化に関するノウハウを反映した炉体構成を設計、である。

またCO₂削減・コスト低減に関しては、さらなる還元材比の低減を推進するべく原料装入装置の改善を行い炉内への原料の装入落下位置制御機能を向上させた。

投資額は約500億円で、新型コロナウイルス感染拡大の影響により2020年4月に3次高炉の操業を停止し、工事完了後、需要状況を考慮して2021年12月に4次高炉を稼働した。火入れ以降、順調な稼働を継続しており、今後とも継続して投入した機能の活用によって操業改善を推進し、カーボンニュートラルに向けた取り組みに寄与していく。



図1 倉敷第4高炉(4次)(Online version in color.)

耐熱ニッケル合金 アロイ800Hの広幅厚板を商品化し 受注・生産開始

日鉄ステンレス(株)

日鉄ステンレス(株)は高温環境用途の耐熱ニッケル合金であるASTM/ASME UNS N08800, N08810およびN08811(以下、総称して「アロイ800H」)を商品ラインナップに加え、受注・生産を開始した。この材料はJIS規格のNCF800およびNCF800Hにも適合している。アロイ800H(主成分:20Cr-30Ni-Al, Ti)は高クロム・高ニッケルで、チタンやアルミなども含有していることから、高温環境で優れた引張強度、クリープ強度を有し、かつ耐酸化性にも優れた耐熱ニッケル合金である。太陽光発電パネルや半導体の素材になる多結晶シリコンの製造設備をはじめとして、塩化水素処理反応器、工業用加熱炉、発電プラントの熱交換器など、高温での強度を必要とする幅広い分野に適用されている。中でも多結晶シリコン製造設備や発電プラント関連の需要は、再生可能エネルギーや脱炭素発電という観点から今後大幅な拡大が見込まれている。

日鉄ステンレスは2014年1月以降、旧・新日鐵住金(株)直江津製造所(現・日本製鉄(株)東日本製鉄所直江津地区)で製造していた高合金を含む特殊ステンレス厚板を日鉄ステンレス八幡製造所へ集約することで、鋼板の板幅・板長さなどの製造可能範囲を拡大し、お客様へ供給する体制を整えてきた。日鉄ステンレス八幡製造所では、アロイ800Hを板厚6mm~90mm、幅3,000mmという世界最大級の厚手・広幅で製造が可能であり、今回新たに高合金厚板の商品群に追加することでラインナップの高度化を実現した。本製品については、お客様で使用される設備の設計自由度を高め、また溶接コストの大幅な削減や工期の短縮などに貢献していけるよう、さらなる製造サイズ拡大にも取り組んでいる。

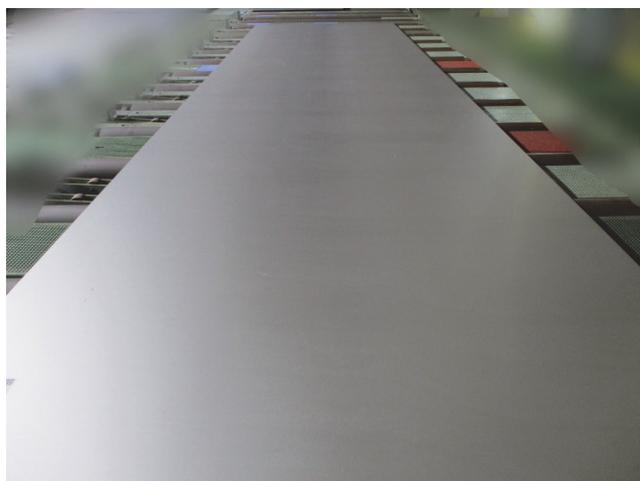


図2 800H厚板の外観例(Online version in color.)

鉄鋼冷間圧延用鋳造ロールCR²

(株)プロテリアル

自動車用鋼板の分野では軽量化のニーズが高まり高張力鋼(ハイテン材)の使用比率拡大、また、xEVの増加に伴い、駆動モーターに使用される電磁鋼板の生産量が増加している。これらの鋼板はいずれも強度が高く、その生産に使用される圧延用ロールは、耐摩耗性や耐クラック性が要求されている。これらの鋼板は、今後も組織制御や高合金化などによる高性能化が進み、さらに硬く伸びにくくなることが予想される。このため、鋼板圧延中のスリップや板破断といった製造トラブルの増加にもつながることが懸念され、圧延ロールに求められる性能はさらに高くなっていくと考えられる。これまで熱間圧延用ロールの研究開発で培ってきたノウハウと、鋳造欠陥の発生を防止する鋳造技術、精度の高い製造技術で、冷間圧延用鋳造ロールの実現に取り組んできた。CR²は、鍛鋼ロールと比べ、耐摩耗性3～5倍、破壊じん性2倍、耐クラック性5倍の性能を実現、鋳造ロールとしては新しい分野である冷間圧延のワークロールとしての使用が可能となった。現在、CR²は遠心鋳造複合ロール材「NCW10」と連続鋳掛肉盛複合ロール材「NCW20」の2材質でミル特性に合わせた選択が可能である。

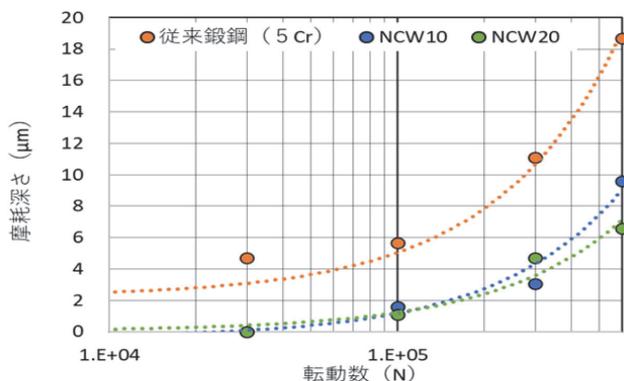


図3 CR²ロールの西原式摩耗試験による摩耗試験結果 (Online version in color.)

出所：プロテリアルWEBページ

次世代自動車の車載用大型タッチパネルに適した黒化膜用ターゲット材「STARMESH[®]-γ1」

大同特殊鋼(株)

大同特殊鋼(株)は、低反射で、変色耐性・エッチング性に優れたメタルメッシュ黒化膜用ターゲット材を開発した。

車載用途などに適した大画面形状や曲面形状のタッチパネルには、電気抵抗の低い金属(例えば銅)を数マイクロメートル幅に微細加工を行ってメッシュ状に配線を形成し、かつ配線表面に外光の反射を抑制する黒化膜を配した低反射のメタルメッシュが求められている。

今回、合金設計技術と薄膜形成技術の最適化により、これまでの黒化膜の課題を解決できるターゲット材を開発した。

<開発材を使って成膜された黒化膜の特長>

- ①低反射率：銅(Cu)の導電膜の可視光平均反射率を10%以下に抑制できる
- ②高変色耐性：環境試験後(温度85℃、湿度85%、1000時間)も変色しない
- ③エッチング性：銅エッチングに一般的な塩化第二鉄でエッチングが可能

今後、メタルメッシュは新たなセンサーとして、次世代自動車などのタッチパネル用途に加え、5G通信用の透明アンテナなどの非タッチパネル用途でも適用拡大が期待される。

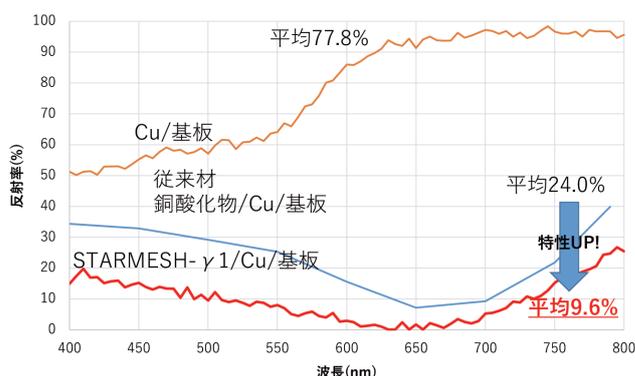


図4 STARMESH-γの反射率抑制効果 (Online version in color.)
出所：大同特殊鋼WEBページ

アルミめっきホットスタンプ用鋼板を用いたTWB製品

日本製鉄(株)

日本製鉄(株)は、アルミめっきホットスタンプ用鋼板(AL-HS鋼板)のテーラードウェルドブランク(TWB)技術を独自開発し、TWB製品の販売を開始した。

TWBの接合技術は、板厚や強度の異なる鋼板(ブランク材)をレーザー溶接で接合して一枚の鋼板にする加工技術であり、部材の強度や板厚の最適化による車体性能向上、軽量化、およびコスト低減を図ることを可能にする。しかしながら、AL-HS鋼板をTWB用にレーザー接合すると、溶接部にアルミが混入し焼き入れ性の低下を招き、ホットスタンプ後の継手強度が下がる課題があり、自動車車体への適用は困難であった。

日本製鉄は、独自開発した接合部のアルミめっき除去技術により、ホットスタンプ後に高い継手強度を有する事が可能となり、その結果、センターピラー上部には乗員の生存空間確保のための高強度AL-HS鋼板を、下部には側面衝突時の衝撃エネルギーを吸収するための低強度AL-HS鋼板を接合する事を実現し、国内新型車のセンターピラーに採用された。

日本製鉄は、先進的な素材開発はもちろん、AL-HS鋼板を用いたTWB技術のような新たな構造を具現化する加工技術の開発を進め、自動車に求められる安全性向上と温室効果ガス排出量削減のための車体の軽量化と高強度化を実現し、次世代自動車の設計開発、および製造への支援を強化している。

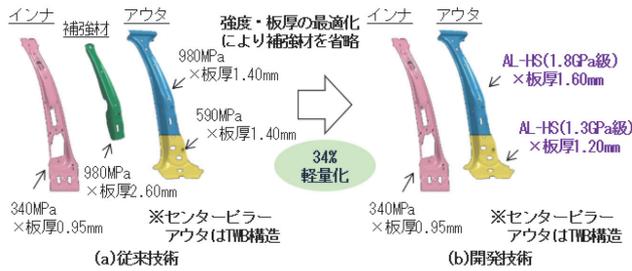


図5 AL-HS鋼板を用いたTWB技術の活用事例 (Online version in color.)
出所：日本製鉄

光輝焼鈍マッフル炉用 Ni 基合金 NAS600, NAS601

日本冶金工業 (株)

カーボンニュートラル実現は産業界全体の主たる課題である。鋼材の熱処理工程において、水素などの雰囲気ガス下で熱処理を施す光輝焼鈍は今後の利用拡大が期待されている。但し、炉体交換に代表されるメンテナンスが必要であり、その素材特性として耐クリープ性や耐酸化性の向上が求められる。この需要に応えるべく、当社は優れた耐高温特性を有するニッケル基耐熱合金NAS600 (77Ni-16Cr-6Fe) およびNAS601 (60Ni-23Cr-Al) を提供している。

NAS600は合金成分ならびに製造工程の最適化により耐クリープ性を改善した。2017年から開始したNAS600製縦型炉の実操業中でのデータ採取において、炉体の伸び量は耐熱ステンレス鋼であるSUS310S製炉と比較して半分以下を示し、商業運転での使用環境における優位性を証明した。

NAS601においても合金成分の最適化を行い、耐酸化性ならびに耐クリープ性を向上させた。2023年より横型炉として実操業中でのデータ採取を開始し、実環境における優れた耐高温特性の実証を進めていく。

日本冶金工業 (株) は今後も様々な分野・用途に適した合金を提供し、持続可能な社会に貢献し続ける。

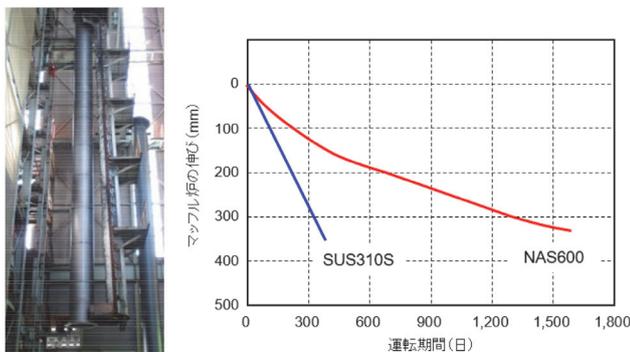


図6 NAS600製縦型光輝焼鈍炉外観 (左) および実証試験における炉体の伸び変形挙動 (右) (Online version in color.)

三次元測定機導入による寸法測定作業の自動化

日本製鋼所 M&E (株)

日本製鋼所 M&E (株) は Leica Geosystems (株) の三次元測定機である Leica レーザートラッカー ATS600 (以下 ATS600) を導入し、鍛鋼品の寸法測定に適用した。

従来、日本製鋼所 M&E では熱処理工程後の鍛鋼品を熱処理工場です寸法測定していた。これは早期寸法確認により後続品の鍛造要領を改善するためである。その後、機械工場の定盤上の罫書作業によって正確な寸法測定をしていたため、二重作業が問題となっていた。そこで、短時間かつ高精度で寸法測定できる ATS600 を導入し、問題解決を図った。

ATS600 は測定機本体から最大 60m までの範囲を非接触かつマーカー無しで測定できる特徴を有している。この測定により離れた箇所でも製品の表面形状を座標化してポリゴン化できることから、ポリゴン化したデータを製品形状の CAD モデルと合わせ込むことで余肉量のカラーマップが得られる。合わせ込みは手動でも調整可能であるため、機械加工や品質を考慮した最適な芯を設定できる。また、上記のデータを用いて製品上の任意の場所にレーザーを照射し、マーキングすることで罫書作業を可能にした。ATS600 により寸法測定作業を自動化したことで従来の二重作業を解消し、測定作業の省人化と 65% の作業時間短縮を実現した。

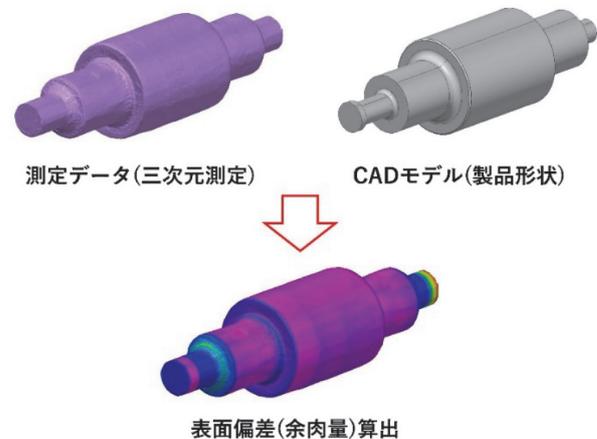


図7 三次元測定データとCADモデルの合わせ込み (Online version in color.)

圧粉磁心用絶縁被覆純鉄粉 電磁郎[®]

JFE スチール (株)

JFE スチール (株) は、主にアキシシャルギャップモータ (図 8) への適用に最適な圧粉磁心用絶縁被覆純鉄粉『電磁郎[®]』を開発した。アキシシャルギャップモータは従来のラジアルギャップモータに比べ、扁平小型化が可能であり、車載用途などへの適用が期待されている。また、電磁郎[®]の開発により、JFE グループは電磁鋼板からソフトフェライトコアまで幅広い軟磁性材料をラインナップし、モータを含むあらゆる

電源機器に対して、ワンストップで最適なソリューションを提供することが可能となった。

圧粉磁心は軟磁性金属粉末に絶縁被覆を施し、圧縮成形して製造される。現在、鉄心材料として多用されている電磁鋼板と比べると、複雑形状かつ三次元的に等方的な磁気特性を有する鉄心の製造が容易であり、図8に示したようなアキシシャルギャップモータの鉄心に最適である。また、電磁鋼板を打ち抜き、積層する従来工法に比べ、歩留が高く、更にモータ廃棄時の銅線回収も容易なため、リサイクル性も高い。

今回開発した電磁郎®はJFE独自の球形水アトマイズ技術と絶縁被覆が施されている。純鉄粉を球形化することにより、圧縮成形時のひずみ、絶縁被覆の損傷を低減しており、従来の不定形鉄粉よりも低鉄損化を達成した。

現在ユーザー評価中であり、今後、適用拡大が期待される。

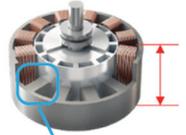
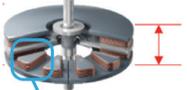
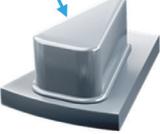
	ラジアルギャップモータ	アキシシャルギャップモータ
モータの構造		
鉄心の拡大図		

図8 モータおよび鉄心構造 (Online version in color.)

アルカリ活性材料を用いた意匠性を有する
低炭素型プレキャストコンクリート製品

JFEスチール (株)

コンクリート分野において、セメントは必要不可欠な材料であるが、製造過程で相当量のCO₂を発生させるため、CO₂低減技術が求められている。アルカリ活性材料 (Alkali Activated Material, 以下AAM) コンクリートはセメントを使用しないため、通常のコンクリートに比べて、製造時に排出するCO₂を大幅に削減できる。ただし、AAMコンクリートは、材料混練時の粘性が高いため、施工時の流動性確保が難しく、複雑な形状のコンクリート製品への展開が大きな課題となっていた。また、凍害性に劣ることも課題であった。

JFEスチール (株) は、国立大学法人東北大学、学校法人日本大学、西松建設株式会社、共和コンクリート工業株式会社と共同で、通常のコンクリートと比べて製造時のCO₂排出量を約75%削減可能なAAMコンクリートを素材とした、意匠性を有する複雑な形状のプレキャストコンクリート製品の試験製造に成功した。

開発したAAMコンクリートは高炉スラグ微粉末や高炉ス

ラグ細骨材の活用、そして、特殊な混和剤の適用などにより、流動性を確保しつつ、耐凍害性を大幅に向上させることができた。完成した製品は、細部まで十分に充填されており、短時間で脱型できることを確認した。本試験製造の成功により、さまざまな形状のプレキャストコンクリート製品への展開が進み、コンクリート分野でのCO₂排出量を大幅に削減することが期待できる。

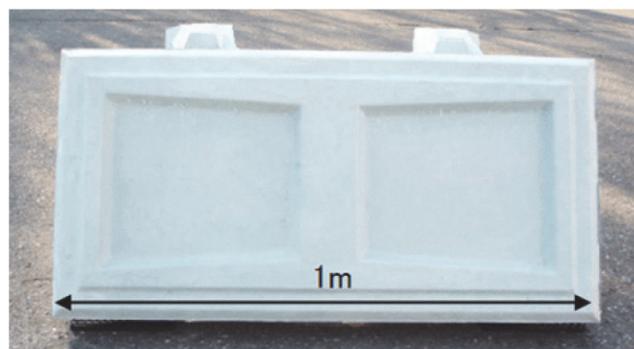


図9 AAMコンクリート製品の外観 (Online version in color.)

省エネ性、IoT機能を強化したバッチ型熱処理炉
『プレミアムSTC®炉 (第2世代)』

大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼 (株) は、2022年1月に第2世代のプレミアムSTC®炉¹⁾を発売するとともに、初号機を含む複数基を受注した。

日本政府が掲げる2050年カーボンニュートラル実現に向け、工業炉の脱炭素化を推進する取り組みが加速している。その中で雰囲気熱処理炉は、処理材料の加熱に伴うCO₂の排出量削減に加え、雰囲気ガスの生成に伴う排出削減も課題とされてきた。また、労働人口の減少に伴う熟練作業者の技能伝承、労働負荷の軽減といった課題に対し、工業炉のIoT化は、その解決策として社会ニーズが高まっている。

プレミアムSTC炉 (第2世代) は、精密炉圧制御機能や完全非水冷炉殻等、複数の新開発機能を搭載することにより、標準型STC炉対比で燃料ガス使用量の15%、窒素ガスの30%削減、操業時間を8%短縮するとともに、処理に伴うCO₂排出量の11%削減を達成した。また、新計装システムとして、専用Wi-Fiによるタブレット監視や外部ネットワーク接続からの遠隔監視により、操炉性と監視機能を強化している。さらに、加熱用バーナの熱回収効率化に伴い燃焼排ガス中に増加するNO_x (窒素酸化物) を低減させるNO_xバスター™を装備することで、省エネ性と環境性の両立にも成功している。

1) STC炉

線材コイル、各種冷間鍛造品など多品種小ロット製品の多様な熱処理を可能にした設備。



図10 プレミアムSTC炉 (Online version in color.)
出所：大同特殊鋼WEBページ

MR訓練シミュレータ

JFEスチール(株)

JFEスチール(株)は、最新の複合現実(Mixed Reality、以下MR)技術を活用した教育訓練シミュレータを導入した。これは製鉄所の熟練現場作業について、最新の仮想化技術を用いることで、仮想空間において実作業と同等の訓練を可能とする国内鉄鋼業界初のシステムである。

JFEスチールでは、現場作業の一部は、高温溶融物の取り扱いをはじめとする安全・操業リスクがある作業もあるにも関わらず、熟練が必要であるためOJTによる技能伝承に頼らざるを得なかった。そこで若手社員に技能を安全かつ着実に伝承するためには、机上教育やOJTだけではなく仮想的な環境での訓練が有効であると考え、特に熟練が必要な作業に対して、MR技術を活用することにした。

MR技術では、コンピュータ上に忠実に再現された仮想的な工場と、現実世界の人の動きを融合した訓練環境を構築することができ、定常的な操業状態、非定常な事象を再現することが可能になった。訓練では3D仮想空間の中の設備を移動したり、一部実際のスイッチを操作したりできるだけでなく、設備の稼働状況も現実のように体験することができる。

具体的には、現段階で「連続鑄造機での溶鋼鑄込み量調整作業」ならびに「転炉の傾動作業」について訓練シミュレータを開発し、既に運用を開始している。シナリオとして通常操業の状態だけではなく、異常事態も準備しており、予期せぬ操業変化や異常事態に対する訓練を、現実の作業と同様の環境で実施することが可能となった。また、OJTの前に本システムで訓練することで、従来と比べて操業・安全リスクを低減できるだけでなく、異常事態での判断や処置を迅速に行うことができるようになった。

SDGsに貢献するVフリー Ti合金 DAT[®]57Mを 米国ASTM規格に登録

大同特殊鋼(株)

大同特殊鋼(株)は、バナジウム(以下Vと記す)フリーの高強度チタン合金DAT[®]57M(Ti-6Al-1Fe、ここでDATは大同特殊鋼(株)のチタン合金の登録商標)を米国試験材料協会ASTM Internationalの規格ASTMB348/B348M(チタン、チタン合金の棒およびビレット)にGr.41として登録した。DAT57Mはゴルフ用途等で実用化・量産化されてきたが、その実績が評価されたものである。

DAT57Mはアルミニウムを6%、鉄を1%含む $\alpha + \beta$ 型チタン合金であり、世の中で広く用いられている64チタン合金(Ti-6Al-4V)と同等の機械的性質で、かつ低密度な特徴を有している(図11)¹⁾。さらに希少金属であるVを用いていないこと、あるいはリサイクル原料の活用も可能な合金であることから、64チタン合金に代わり、SDGs(持続可能な開発目標：12-2(2030年までに天然資源の持続可能な管理および効率的な利用を達成する)等)に貢献するチタン合金として今後期待される²⁾。

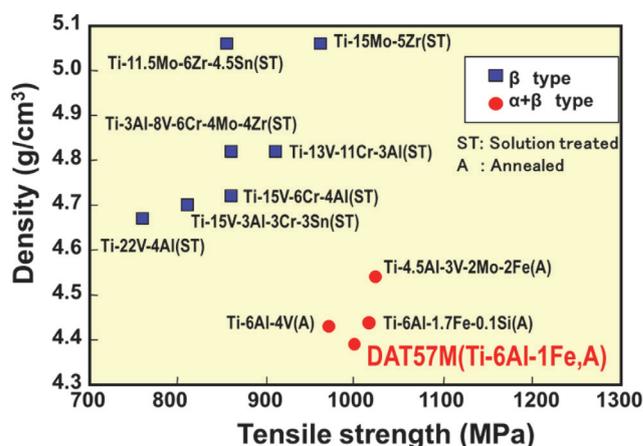


図11 各種チタン合金の常温強度と密度¹⁾ (Online version in color.)

1) 鈴木昭弘, 小柳貞彦: チタン, 71 (2023), 1, 20

2) https://www.daido.co.jp/about/release/2022/0412_sdgs.html

磁石の減磁過程のミクロな磁気構造を可視化

大同特殊鋼(株)

ネオジム磁石は、電気自動車の駆動用モータや風力発電に活用されており、さらなる高性能化が求められている。磁石は磁化の向きと逆向きに磁場を加えていくとある磁場で磁力を失うが、その磁場を保磁力と呼び、耐熱性の指標となっている。ネオジム磁石は、重希土類元素の添加による保磁力向上が適用されてきたが、近年、ネオジム磁石結晶周辺の粒界構造も保磁力に影響していることが明らかになりつつあり、

粒界相の磁化低減や、結晶粒の周りに薄く粒界相を被覆させる技術が開発されてきた。この観点から、特定の粒界構造と磁化反転の違いを比較することで、より高い保磁力の磁石開発が期待できる。

磁化反転の描像である磁区構造は、カー効果顕微鏡や磁気力顕微鏡により調査されてきたが、これまでは表面しか観察できなかった。今回、東北大学多元物質科学研究所の岡本聡教授と関西学院大学の鈴木基寛教授らの研究グループは、東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター、高輝度光科学研究センター、物質・材料研究機構、大同特殊鋼(株)と共同で、大型放射光施設SPring-8で開発された硬X線磁気トモグラフィ(磁気CT)法を用いて、1 μ m台の結晶粒を持つネオジウム焼結磁石の内部磁区構造の外部磁場に対する振舞いを3次的に可視化することに成功した。

磁区構造の変化と微細組織との相関を調べた結果、逆磁区形成の起点となる場所を特定することが出来るなど、保磁力メカニズム解明につながる成果が得られた。本研究をもとにネオジウム磁石のさらなる保磁力改善につなげていく。本研究は文部科学省元素戦略磁性材料研究拠点(ESICMM: 課題番号JPMXP0112101004)と共同で実施した。

本トピックスは、「NPG Asia Materials」14巻、記事番号70に掲載された“Real picture of magnetic domain dynamics along the magnetic hysteresis curve inside an advanced permanent magnet”[®]M. Takeuchi, M. Suzuki, S. Kobayashi, Y. Kotani, T. Nakamura, N. Kikuchi, A. Bolyachkin, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, Y. Une, and S. Okamoto (2022) (CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) [DOI: 10.1038/s41427-022-00417-0] の内容を翻訳し、加筆修正したものである。

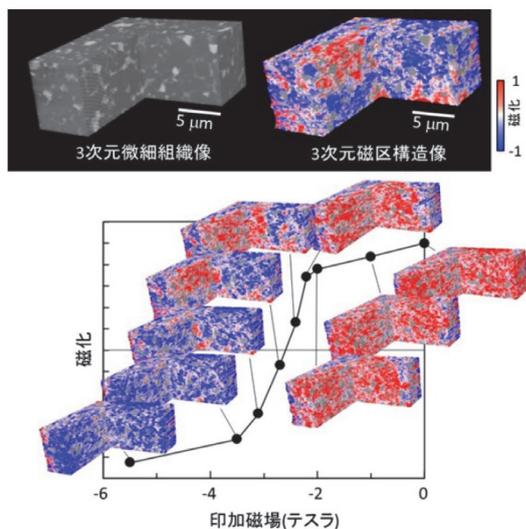


図12 先端永久磁石材料を用いた3次元磁区構造の観察結果(上段)同一観察領域における3次元の微細組織像(左)と磁区構造像(右)、(下段)磁化と逆向きの外部磁場を与えて減磁させた3次元磁区構造像の変化(Online version in color.)

造形時のひずみを低減したダイス鋼系粉末 LTX[®]

大同特殊鋼(株)

近年、金属3Dプリンタの金型への適用が増加している。特に、ダイカストでは金型の温度コントロールが製品の品質や生産性、金型寿命に大きく影響するため、3D金型による自由冷却回路の適用が急増している。金型用3D粉末では、マルエージング鋼が多く利用されているが、マルエージング鋼は特定化学物質のコバルトを含有するなど、環境面や法規制の課題があり、ダイス鋼系粉末のニーズは大きい。

一方で、ダイカスト金型に多く利用されるダイス鋼SKD61の3D粉末は、造形時に極めて割れやすいため、ほとんど利用されていない。そのため、大同特殊鋼(株)はダイス鋼系3D粉末としてLTX[®]を開発した。LTXは、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、ダイス鋼系成分でありながら、マルエージング鋼と同様に造形割れしにくく、大物金型の造形も可能な3D粉末である。また、LTXの熱伝導率は、マルエージング鋼よりも高いため、金型の冷却性能改善も期待できる。

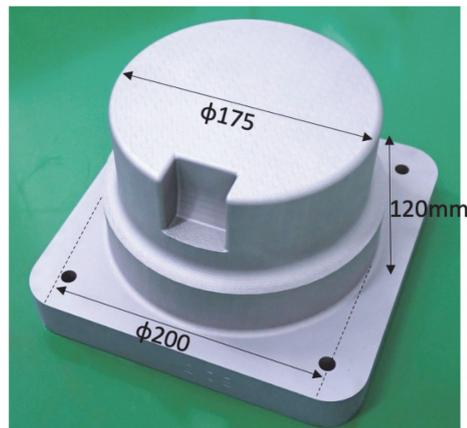


図13 LTX大型模擬型造形例(Online version in color.)
出所: 大同特殊鋼WEBページ

国内初 低CO₂高炉鋼材“Kobenable Steel”

(株)神戸製鋼所

(株)神戸製鋼所は、高炉工程におけるCO₂排出量を大幅に削減した低CO₂高炉鋼材“Kobenable Steel”を国内で初めて商品化した(神戸製鋼所調べ。2022年5月17日時点)。

本商品は、エンジニアリング事業のミドレックス技術(※1)を用いて製造したHBI(※2)を加古川製鉄所の高炉に多量に装入することで、高炉からのCO₂排出量を大幅に削減できる技術を活用したものである。

2022年度より二つの低CO₂高炉鋼材の販売を開始する。このCO₂削減効果については、特定の鋼材に割り当てる「マスバランス方式(※3)」を用いている。

本商品は、従来と同じ高炉プロセスで製造したものであり、次の二つの特長がある。

○加古川製鉄所ならびに神戸線条工場にて製造する全ての鋼材品種（薄板、厚板、線材・条鋼）での販売が可能。

○高品質が要求される高炉材の品質を維持できる。

なお、商品化にあたって、CO₂削減効果についてはISO20915に準拠し、その削減効果の算出を行っている。計算方法ならびその結果について英国の認証サービス機関である“DNV BUSINESS ASSURANCE SERVICES UK LIMITED”から第三者認証を取得している。

商品名	トン当たりのCO ₂ 排出量の削減率 (従来比※4)
Kobenable Premier	100%
Kobenable Half	50%

表1 低CO₂高炉鋼材“Kobenable Steel”の種類

※1：天然ガスを使った還元鉄製鉄法であり、世界の約80%（還元鉄全体では約60%）を占めるリーディングプロセス。本方式は、天然ガスを還元材として、鉄源は粉鉱石を加工したペレットを使用してシャフト炉によって還元鉄を製造。

※2：Hot Briquetted Iron（熱間成形還元鉄）の略。

※3：製品の製造工程において、ある特性を持った原料とそうでない原料とが混在する場合に、その特性を持った原料の投入量に応じて、製品の一部に対してその特性を割り当てる手法。神戸製鋼所では、この方式を用いて、鉄鉱石の一部を既に還元済みの鉄鋼原料である「HBI」に置き換える事で使用するコークスを減らし、CO₂排出量を削減させ、その削減効果を低CO₂高炉鋼材に対して割り当てている。

※4：18年度実績比。