

2021 年鉄鋼生産技術の歩み

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2021

(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2(2021)年は、新型コロナウイルス(COVID-19)による災厄(コロナ禍)の2年目であり、感染拡大抑制と経済活動の両立を目指すという難題に世界各国が挑んだ1年となった。COVID19の医学的な理解と対応策の進展により経済再生の動きが出てきているが、東京五輪が1年延期かつ無観客と異例の事態となったことが象徴する通り、生活様式は依然として新型コロナ禍の真只中のものであり、繰り返される変異株の出現によりアフターコロナの時代の到来も予想できないままである。このように不透明であった昨年の世界経済、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、コロナ禍による極めて大きな経済縮小から脱してきている。2021年の対前年の実質成長率は、世界全体で+5.9%、アメリカ+5.6%、欧州連合+5.2%、中国+8.1%、インド+9.0%、日本+1.6%と推定され、中国以外がマイナス成長だった昨年とは様変わりしている¹⁾。一方、北京冬季五輪への対応が象徴するように、コロナ禍でも米中の覇権争いは止む気配はなく、多分野での対立が継続する中、米中の経済摩擦が世界経済の見通しに影響を落としている状況にも変わりが無い。

日本経済は実質成長率こそプラスに転じたものの未だにデフレ脱却宣言は出されず²⁾、先進国の中でも経済の戻りは弱い1年であった。財政出動・減税への期待が高いデフレ下での消費増税に新型コロナ禍の景気後退が重なり、他の先進国と比較して回復の足取りは重い。“失われた20年(あるいは30年)”における長期の実質成長率の低さから、労働生産性(実質GDP/就業人口)の国際比較でも順位転落の一途にある³⁾。民間最終消費支出がGDP構成項目の中で最大である⁴⁾

内需型経済の我が国において、第2次岸田内閣で需要創出の経済政策が打ち出されたが⁵⁾、先進国並みの成長率実現には、需要創出の継続が期待される。

昨年の国別粗鋼生産量のトップ10は表1の通りである^{6,7)}。1位中国、2位インド、3位日本という序列は2018年以来変わらず、粗鋼生産量は世界合計で、約19.5億トン(前年比+3.8%)と増加した。中国は約10.3億トン(前年比-3.0%)と減少、インドは1.2億トン(前年比+17.9%)と大幅増であった。中国に関しては、2020年が粗鋼生産量のピーク、2022年も2年連続で減少する、という報道も見受けられる。鉄鋼グローバルフォーラム(GFSEC)の閣僚報告書⁸⁾によれば、構造的な過剰生産能力は2020年で約6億トンと依然として高い。中国に対しGFSECへの復帰も呼びかけられたが、まだ復帰は実現していない。

我が国鉄鋼業の2021年の粗鋼生産量は9,633万トンで前年比+15.8%と大幅増となった⁹⁾。2020年はコロナ禍により8,319万トン(対前年-16.2%)とリーマンショック後の8,753万トン(2009年)を下回ったが、2021年度は経済の回復に伴い増加、1972年以来続いている、年間約1億トンレベルへと一歩のところまで回復した。2022年度の内需は底堅く推移するとみられ、外需も2021年度並みと予想されている¹⁰⁾。

コロナ禍からの経済回復により国内鋼材需要も増加、需給タイト化による価格上昇、海外事業からの寄与もあって、高炉各社は軒並み好業績となっている。しかしながら、短期的には好環境であっても長期的な鋼材内需の伸びが見込めない現状故、国内設備の構造改革は変わらず進展しており、各社で高炉の休止や製造拠点の集約等が計画通りに進められている。一方で、日本製鉄(株)、JFEスチール(株)ともに電磁鋼板の生産能力増強を決定、日本製鉄は超ハイテンの効率生



表1 国別粗鋼生産量のトップ10 (出所: WSA; 百万トン)^{6,7)}

順位	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	変化率 (%) 2021/20
1	日本	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	▲ 3.0
	101.6	128.5	355.8	638.7	803.8	870.9	928.3	1,001.3	1,064.7	1,032.8	
2	中国	日本	日本	日本	日本	日本	インド	インド	インド	インド	17.9
	95.4	106.4	112.5	109.6	105.1	104.7	109.3	111.4	100.3	118.2	
3	米国	米国	米国	米国	インド	インド	日本	日本	日本	日本	15.8
	95.2	101.8	94.9	80.5	89.0	101.5	104.3	99.3	83.2	96.3	
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	18.0
	51.6	59.1	66.1	69.0	78.8	81.6	86.6	87.8	72.7	85.8	
5	ドイツ	ドイツ	韓国	ロシア	ロシア	ロシア	韓国	ロシア	ロシア(e)	ロシア(e)	5.6
	42.1	46.4	47.8	66.9	68.7	70.5	72.5	71.6	71.6	75.6	
6	韓国	韓国	インド	韓国	韓国	韓国	ロシア	韓国	韓国	韓国	5.1
	36.8	43.1	45.8	58.9	69.7	71.0	72.2	71.4	67.1	70.6	
7	イタリア	ウクライナ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	トルコ	トルコ	12.9
	27.8	31.8	4.5	43.8	42.7	43.3	42.4	39.6	35.8	40.4	
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	トルコ	トルコ	ドイツ	ドイツ	12.4
	25.1	27.9	38.6	33.4	33.3	37.5	37.3	33.7	35.7	40.1	
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	14.7
	22.3	26.9	31.6	32.9	31.5	34.8	35.4	32.6	31.4	36.0	
10	インド	イタリア	イタリア	トルコ	ウクライナ	イタリア	イラン	イラン(e)	イラン(e)	イラン(e)	▲ 2.0
	22.0	26.8	29.4	29.1	23.0	24.0	24.5	25.6	29.0	28.5	
世界合計	752.3	848.9	1,148.0	1,433.4	1,622.9	1,734.9	1,825.6	1,880.1	1,880.4	1,951.4	3.8

(e): 部分的またはWSA以外のデータに基づく値

産が可能な次世代型新熱延ミル建設を決定するなど高付加価値化を狙った設備増強を推進する動きもある。さらに長期の視点で言えば、2050年カーボンニュートラル実現へ向けた長期ビジョンを高炉3社がそれぞれ作成、公表することとなり、2021年はカーボンニュートラルが鉄鋼業における最重要ターゲットとなったことを象徴する年となった。

技術に関し注目を集めたキーワードは、やはり、DX (デジタルトランスフォーメーション) とカーボンニュートラルの2つであろう。DXについては、DX事業者認定の取得や、製鉄所内でのデータ送受信必要な5G無線局開設許可取得など、製造現場への実装が進展、デジタル人材育成も含め各社の投資規模も拡大してきている。ドローン (小型無人機) による構内や設備の保守・点検に関する情報 (データ) 収集も融合され、デジタル技術の製造現場展開が急ピッチで進んでいる。もう一方のカーボンニュートラルだが、総理大臣による2050年カーボンニュートラル宣言¹¹⁾以降、鉄鋼業におけるCO₂発生量削減は、技術においても最重要課題となった。ゼロカーボン・スチール¹²⁾実現に向けた取組みもより一層加速してきている。グリーンイノベーション基金事業 (約2兆円規模)¹³⁾の一環として、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による約2,000億円の事業、「製鉄プロセスでの水素活用プロジェクト」もスタートした¹⁴⁾。(一社)日本鉄鋼協会でもカーボンニュートラルに関する国際会議、CUUTE-1 (The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global

Environment、第1回 地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム)¹⁵⁾を主催した。さらにCO₂発生量削減に寄与する技術の積上げに資するべく、新たな知恵を鉄鋼分野に呼び込むための研究助成制度、鉄鋼カーボンニュートラル研究助成の新設を決定し¹⁶⁾、産業分野の枠を越えた学術ベースでの連携を推進する。以下に、2021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

2021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、コロナ禍の影響による操業度の回復ペースの遅れや、豪州における大雨の影響もあり¹⁷⁾、最終的には2020年比0.6%増の8億4,667万トンとなった¹⁸⁻²⁰⁾。

鉄鉱石のスポット価格 (Fe 62%、中国着価格) は、2020年後半以降のコロナ禍からの需要回復傾向を反映し、2021年1月の月間平均168.13ドル/トンから6月には月間平均214.55ドル/トンまで急騰した。しかし、2020年9月の国連総会で習近平国家主席が表明した「30・60目標」(2030年CO₂排出量ピークアウト、2060年カーボンニュートラル)の達成に向けて、鉄鋼業に対して減産を求めたことに加え、投資抑制策による不動産開発投資の減速にともなう建設向け需要の減少、および半導体等の部品不足による自動車向け需要の減少により状況は一変し、11月には月間平均94.97ドル/トンま

で下落した^{21,22)}。

豪中通商摩擦にともなう中国への豪州炭の輸入規制は継続しているが、経済活動を再開した欧州、インド、日本、韓国等が豪州炭の輸入を拡大したことで豪州原料炭価格（中国向けスポット価格）は上昇し、年初の100ドル/トン強の水準から10月末には過去最高値の400ドル/トン超（強粘結炭、中国着価格）まで上昇した。この時、米国、カナダ炭のスポット価格は600ドル/トン超まで上昇しており、両者の値差が200ドル/トン超程度まで拡大した。その後、中国の鉄鋼減産政策や行き過ぎた高値に対する反動等から米国、カナダ炭の価格が軟化したことで、価格の二極化状態はほぼ解消し、中国着価格は年末には300～350ドル/トンのレンジに一旦収斂した²³⁾。

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。中国向けスポット価格の高騰を反映し、鉄鉱石、原料炭とも、2020年に比べて輸入価格は上昇した²⁴⁾。

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。コロナ禍における自動車等の減産、および建物等の解体工事の減少等によって鉄スクラップの発生量が減少したことに加え、「30・60目標」達成に向けて、中国の鉄スクラップ輸入量が増加している影響により、鉄スクラップ（H2）価格は2020年12月の月間平均18,000円/トンから、2021年12月には月間平均42,000円/トンまで急上昇し、過去10年で最高値となった^{25,26)}。

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²⁷⁾、（一社）日本自動車工業会、（一社）日本造船工業会、（一社）日本電機工業会等のホームページによると、2021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、国土交通省、および各工業会のホームページを参照されたい。

【土木】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」が実施されていることから、受注額は前年比増加で推移している。民間土木は、製造業や運輸業を中心に感染症により落ち込んだ前年度から回復している。鋼材消費は土木全体で前年度比微増となる見込みである。

【建築】建築部門の鋼材需要は、住宅、非住宅ともに前年度を上回る見込みである。住宅では、持家は住宅取得支援策に伴う駆け込み需要等が見込まれ、分譲も戸建て住宅が感染症の影響によるテレワークの普及により増加していることから、着工戸数全体でも前年比プラスが見込まれる。非住宅では、前年度がコロナ禍拡大による経済活動への制約により減少となったが、本年度に入りワクチン普及に伴う経済活動の再開等から事務所、店舗、工場等が緩やかに回復し、全体では前年比増加が見込まれる。鋼材消費は建築全体で前年度比増加となる見込みである。

【造船】船価の上昇にともない受注環境（輸出船契約量）は改善している。手持ち工事量も2020年10月月末には総トン数1,403万GTと約1年分まで減少していたが、足元、1.6年程度

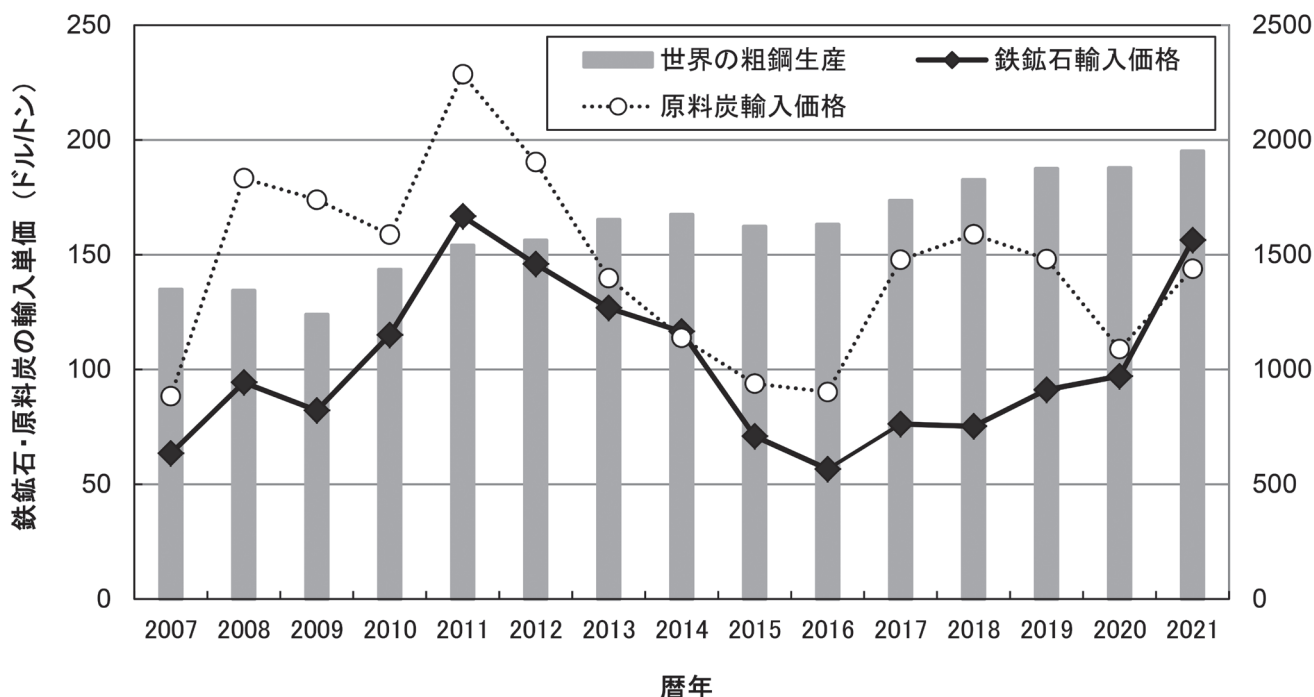
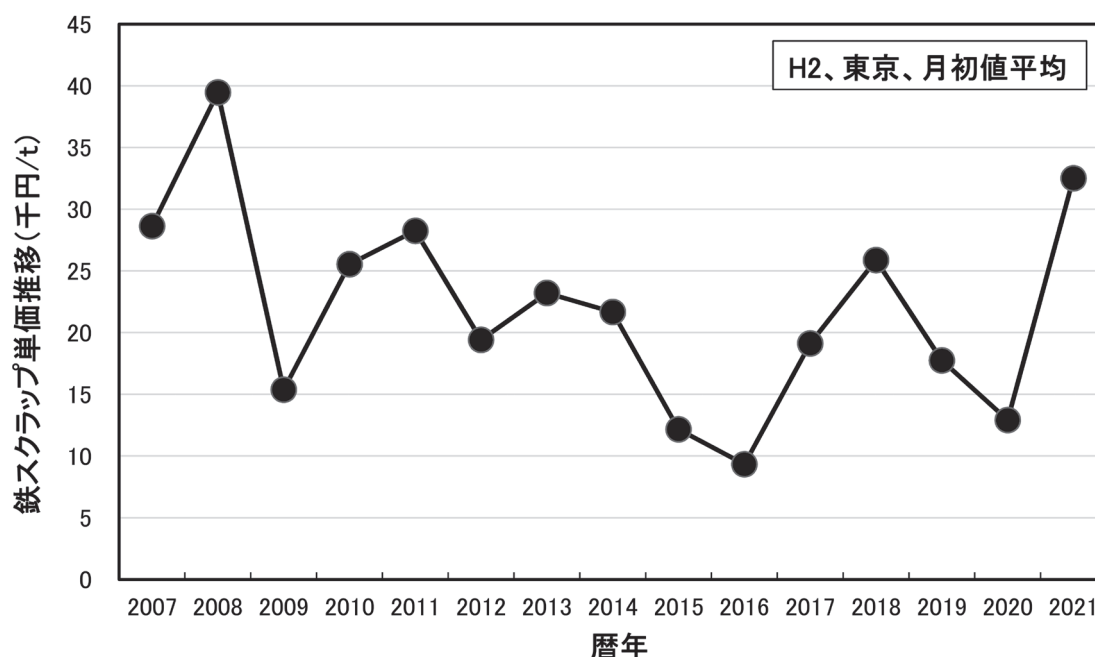


図1 世界の粗鋼生産量と鉄鉱石・原料炭の輸入単価推移（暦年）^{6,24)}

図2 東京地区の鉄スクラップ (H2) 価格の年間平均値推移²⁵⁾

まで持ち直している。輸出船契約量は回復しているものの、受注から建造までのタイムラグがあることや、竣工時期も2022年～23年ものが多く、21年度は起工量、鋼材消費ともに前年度から減少する見込みである。

【自動車】国内販売は、需要は好調であったものの、供給が追いつかず、20年度を下回る見込みである。国内生産は、コロナ禍拡大による部品供給不足を背景に、自動車メーカー各社で工場稼働停止が相次いだことから、20年度から横ばいが見込まれる。完成車輸出についても、各国での需要はある一方、各社減産の影響により20年度から横ばいを見込む。部品供給不足により生産は横ばいだったものの、ノックダウン部品(KDセット)の輸出等に支えられ、鋼材消費は増加の見通しである。

【産業機械】コロナ禍からの経済回復が国内外で見られ、企業の設備投資も増加傾向である。年度を通し、昨年度のコロナ禍による影響からの反動増が続き、特に建設機械、金属加工・工作機械は、外需の回復に牽引され、徐々に持ち直しの動きとなっている。以上から、鋼材消費は前年度を上回る見込みである。

【電気機械】近年高水準の生産が続いた家電・民電は減少の見込みである。一方重電は昨年度コロナ禍による大幅減少の反動に加え、自動車生産と国内外での設備投資の回復を背景に増加傾向。産業用電子は電子計算機等の需要に一巡が見られたものの、通信機械が5G需要により好調に推移したため、産業用電子・通信機械では前年度を上回る見通しである。以上から、鋼材消費は前年度を上回る見込みである。

1.3 我が国の粗鋼生産状況

コロナ禍からの需要回復を受けて、我が国の2021年の粗鋼生産量は前年比15.8%増の9,633万トンとなった⁸⁾。土木、建築、機械、自動車各部門における内需の回復と、経済活動の再開による世界の鉄鋼需要増加によって、生産量は2020年からは回復したが、日本製鉄が高炉を休止する等、足元で進む設備集約の動きの影響で、コロナ禍前の2019年の水準には届かなかった²⁸⁾。2022年は、新型コロナウイルス変異株の影響、グローバルサプライチェーンの混乱、原材料費高騰、米中貿易摩擦、中国経済の動向といったリスク要因はあるものの、内外需ともに底堅く推移すると見込まれる⁸⁾。

炉別生産では、転炉鋼が7,194万トン(前年比16.0%増)、電炉鋼が2,439万トン(前年比15.4%増)となり、電炉鋼比率は25.3%(前年比0.1%減)となった(図3)。また鋼種別では、普通鋼が7,391万トン(前年比12.4%増)、特殊鋼が2,242万トン(前年比28.6%増)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^{8,29)}。

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。2021年の世界全体の粗鋼生産量の合計は19億5,143万トンとなり、前年の18億8,041万トンにくらべて3.7%の増加となった⁶⁾。主要国の粗鋼生産量を見ると、中国が10億3,279万トンと前年比3.0%減となったのに対し、第2位のインドが前年比17.9%増の1億1,823万トン、第3位日本は前年比15.8%増の9,633万トンと回復した。その他、

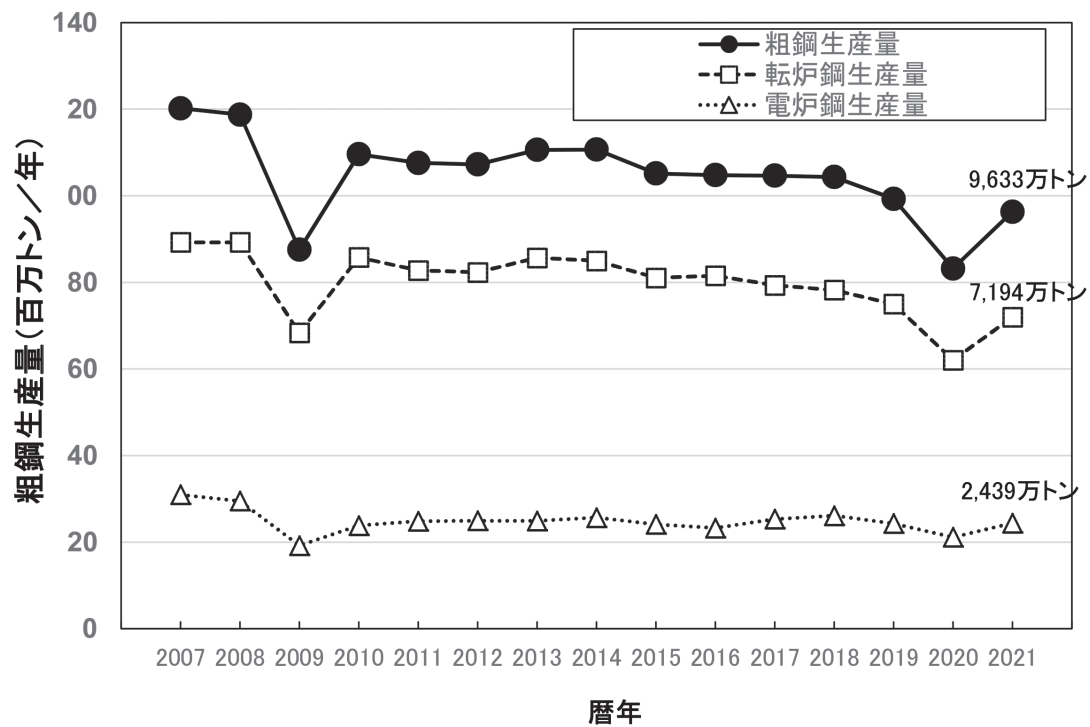


図3 我が国の粗鋼生産量の推移 (暦年) 9,29)

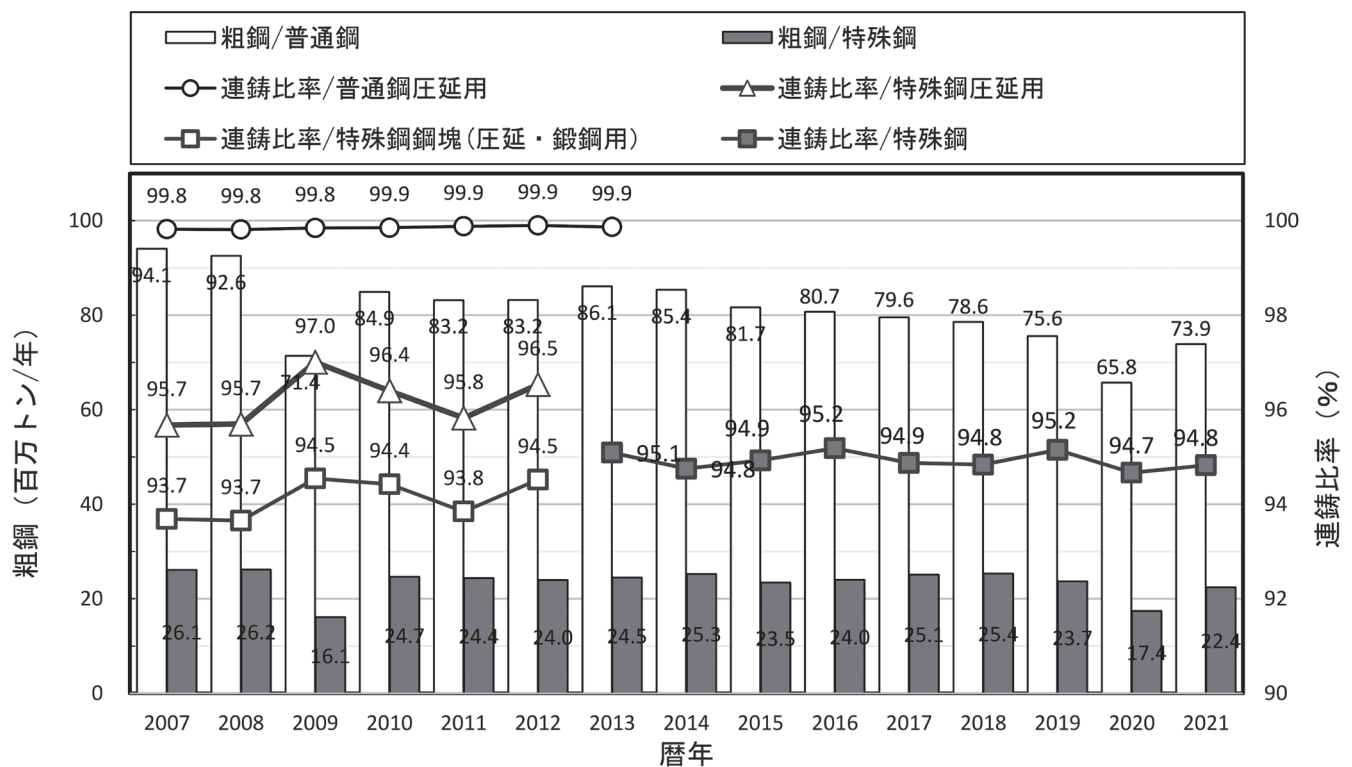


図4 普通鋼と特殊鋼の粗鋼生産量と連铸比率 29)

2020年に粗鋼生産量が大きく落ち込んだEU、南北アメリカ地域においても、概ね2019年と同レベルかそれ以上に回復した⁷⁾。

中国の粗鋼生産量は、2021年は10億3,279万トンとなり、

初めて10億トンを超えた2019年以降、3年連続で10億トン超となったが、2020年比で3.0%減と、2015年以来6年ぶりの減少となった^{6,7)}。これは、2020年に発表した「30・60目標」の達成に向け、2021年の粗鋼生産量を2020年比で減少

させるよう要請したことで、国有企業を中心に生産停止や減産に向けて動いたことが原因であるとされている。またこれ以外の要因として、中国国内での需要の弱まりも指摘されている。中国では鋼材需要に占める建設向けのシェアが高く、2020年の鋼材消費量の58.5%が建設向けとなっている。中国政府による地方債の抑制や地方政府向け与信の抑制といった投資抑制策によって、2021年春頃から鉄道や道路等のインフラ投資が減速したことや、2020年夏に導入された不動産開発企業の資金調達条件の厳格化措置と住宅需要の減少等により、建設向け鋼材需要は2021年春以降、急速に弱まった。また自動車販売台数が、半導体をはじめとする部品不足によって、年率換算で2,700万台(2020年後半～2021年4月)から同2,300万台(2021年9月)に大きく落ち込んだことで、自動車向け鋼材需要も減少した。この結果鋼材在庫率が増加しており、当面は在庫調整のための減産が続くものの、建材向けや自動車向けの需要の緩やかな回復が見込まれていることから、2022年春頃には増産に転じると予測される²⁰⁾。

インドの粗鋼生産量は、2021年は1億1,823万トンと、2017年以降5年連続で1億トン超となった⁶⁾。新型コロナウイルスの感染再拡大や、半導体不足による生産減の影響で自動車販売台数が前年比で減少する等のマイナス要因はあったものの、粗鋼生産量は春以降、前年比増の状態が継続している³⁰⁾。2022年度は、人流の増加や新たな変異株の流入により感染リスクが再び高まり、経済活動が一時停滞する恐れがあるが、ワクチンの普及などにより経済活動の正常化が進み、景気が徐々に安定感を取り戻すとみられる。2022年の実質GDP成長率は前年比+7.6%と高めの成長が予測されることから³¹⁾、鉄鋼需要は堅調に推移すると予測される。

2 技術と設備

経済産業省では、金属素材産業が直面する課題として、i) ユーザーからの素材に対するニーズの高度化と多様化、ii) 海外競合者のキャッチアップ、iii) 国内需要の減少やエネルギー・環境制約、人と設備の制約等、iv) デジタル化が及ぼす変革インパクト、を掲げた³²⁾。技術開発戦略としては、材料設計技術の開発、製造技術の開発、分析・評価技術の開発、人材育成、デジタルデータを用いた予防保全、資源・エネルギーの有効活用技術の開発、環境への負荷を考慮した素材開発、が示された³²⁾。国内製造基盤強化としては、産業事故の防止、事業再編による競争力強化、エネルギー・環境問題への対応、デジタル化が及ぼす変革への対応、等が示され、グローバル戦略の一つとして、原材料供給リスクへの対応としてリサイクルを含めた資源循環が挙げられた³²⁾。日本の鉄鋼各社もこれらの方向性、課題に沿った技術開発、設備導入を

進めている。

近年、世界的な規模で急速にデジタル化、ネットワーク化が広がり、Internet of Things (IoT)、人工知能 (AI)、センサー、生体認証、ロボット、等の科学技術が進展し、ものづくり分野を中心にその成果を活用した技術開発が進められている。第5期科学技術基本計画では、世界に先駆けた「超スマート社会」の実現にむけた取り組みを「Society 5.0」として、科学技術の成果をあらゆる分野や領域に浸透させ、未来の産業創造と社会変革を目指している。「情報空間」(サイバー)、「現実空間」(フィジカル)さらに「心理空間」(ブレイン等)まで加わり融合が進展し、サイバー空間における情報、データの獲得、融合、解析、プラットフォーム化が重要になっている。鉄鋼業界においても、高炉大手各社では、AI技術を適用し、生産現場の操業や設備保全、研究開発、製品開発に引き続き取り組んでいる。

このような背景の下、我が国の鉄鋼産業は、異なる素材との組み合わせによる新しい価値の追求等、素材間協調にも配慮しつつ、素材間競争が進む中、例えば加工性の高い超高張力鋼の開発等、ユーザーニーズに応える製品開発を粛々と進めている。

また、地球温暖化対策については、日本が2050年カーボンニュートラルを目指し、2030年度において2013年度比で温室効果ガス46%削減を目指すことが表明され、長期戦略の中でエネルギー分野、産業分野においても「あるべき姿」としての長期的ビジョンが示された³³⁾。鉄鋼業も脱炭素化のものづくりとして「ゼロカーボン・スチール」への挑戦等を掲げ、種々の取り組みを開始した。

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

2021年の銑鉄生産量は、前年比14.2%増(2019年比6.1%減)の7,034万トンであった⁸⁾。生産体制見直しの一環として、日本製鉄は2021年9月に瀬戸内製鉄所呉地区の第1、第2高炉、第1、第2焼結機および関西製鉄所和歌山地区の第1高炉、第5コークス炉、第5-1焼結機を休止した。和歌山地区第4コークス炉については、休止予定を2022年度上期から2024年度末に変更した。また2024年度末を目処に、東日本製鉄所鹿島地区の第3高炉、第2A・B・C・Dコークス炉、第3焼結機を休止することを発表した。これにより、2021年末時点の国内稼働高炉数は2019年末から4基減の21基に、またそのうち内容積5,000m³以上の高炉数は14基となった。

設備の改修では、日本製鉄は名古屋製鉄所第3コークス炉の改修を完了した。JFEスチールは西日本製鉄所倉敷地区第4高炉、および西日本製鉄所福山地区第3コークス炉B団の

改修を完了した。

技術開発では、日本製鉄は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) と共同で実施中の「鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創製のための革新的省エネプロセスの開発」において、波崎研究開発センターに建設していた小型試験プラントを完成させ、2022年1月より検証試験を開始した³⁴⁾。

2.2 製鋼

2021年の粗鋼生産量は、前年比15.8%増(2020年比3.0%減)の9,633万トンであった⁸⁾。生産体制見直しの一環として、日本製鉄は2021年9月に瀬戸内製鉄所呉地区の製鋼設備を休止した。また2022年度上期の関西製鉄所和歌山地区の第3鋳造機の一部設備に加えて、2021年度末を目途に東日本製鉄所君津地区の第1連続鋳造機を休止することを発表した。新規設備の導入動向では、JFE スチールが西日本製鉄所倉敷地区に第7連続鋳造機を新規導入した。

中国における環境規制の強化によって、昨年より需給逼迫による価格上昇が顕在化していたが、2021年はさらに、中国国内の電力不足の影響で、マグネシア系耐火物の原料である電融マグネシアやアルミナ系耐火物の原料である電融アルミナの生産が大幅に減少しており、特に電融マグネシアについては調達不安が台頭している³⁵⁾。

同様に電力不足の影響で、脱酸剤に使用するフェロシリコン、ニッケル、マンガン等の市場価格も上昇している^{26,34)}。また鉄鋼生産量の回復にともない、原料であるニードルコークスの価格が再び上昇していることから、黒鉛電極の価格も上昇傾向となっており、いずれも製鋼コストを引き上げる要因となっている^{36,37)}。

開発成果が社会的に公知された事例については、JFE スチールの「炭化水素燃料バーナーを利用したクロム鉱石溶融還元プロセス」が第53回市村産業賞本賞を、「使用後耐火物クローズドループリサイクル技術の確立」が令和3年度資源循環技術・システム表彰「経済産業省産業技術環境局長賞」を受賞した。

2.3 鋼材

2.3.1 薄板

自動車用鋼板分野においては、より一層の燃費向上およびCO₂排出量削減のため、鋼板の高強度化・薄肉化による車体軽量化が強く求められ、高張力鋼板(以下、ハイテン)の適用拡大が進められている。これまで、980MPa級以上の超ハイテンは強度と相反する成形性能の制約から、適用できる部品は単純で成形しやすい形状のものに限定されていた。

そこで日本製鉄は、フロントサイドメンバーやリアメン

バー等の特徴であるS字形の部品の加工に適したせん断成形工法を開発した。シミュレーション技術により金型内での鋼材の挙動を解析、鋼材のブランクの形や変形の仕方を変えることで割れやしわの発生を回避し、超ハイテンでの複雑形状の成形を可能にしている。自動車メーカーに採用され、世界で初めて難成形部品であるフロントサイドメンバーへの1180MPa級ハイテンの採用が実現した。

さらに、日本製鉄は、車体部品に多く見られるL字・T字状の湾曲や連続的なフランジを持つ複雑形状に対し、シミュレーション技術を駆使して、プレス成形時の材料変形を最適制御するプレス加工技術を開発し、第53回市村産業賞貢献賞を受賞した。加工時の材料変形量を従来の50%以下に低減し、これにより超ハイテンを複雑な形状の部品へ加工することが可能となった。

一方、JFE スチールは、冷間プレスによる車体骨格部品の強度としては世界最高レベルとなる1.5GPa(1,470MPa)級ハイテンのスプリングバック抑制成形工法を開発し、ルーフセンターリフォースに採用された。ハイテンでは、鋼板のプレス成形時に生じるスプリングバックが、通常の鋼板に比べて大きくなるため、スプリングバック後に正しい部品形状となるよう金型形状をより精密に設計する必要がある、事前の金型製作には多大な時間やコストがかかっていた。同社は、バウシンガー効果を利用し、スプリングバックの要因となるプレス成形時の残留応力を低減させる工法を開発した。

また、衝突エネルギーを吸収する必要のあるフロントサイドメンバーやリアサイドメンバー等の部品では、超ハイテンを適用すると衝突時の部品座屈や曲げ変形時に母材が破断してしまい、必要なエネルギー吸収が得られないという課題もあった。そこで、JFE スチールは、高延性・高密着性樹脂を超ハイテン製の部品本体と薄肉鋼板製の部品でサンドイッチしたマルチマテリアル構造を開発し、エネルギー吸収部品に超ハイテンを適用可能とした。樹脂をサンドイッチした結果、車両衝突時にエネルギー吸収部品が座屈・曲げ変形する際の変形部の曲げRが大幅に拡大し、超ハイテン部品が破断しなくなるため、エネルギー吸収能が大幅に向上した。また、振動を吸収しやすい樹脂のおかげで、走行時に発生する振動も大幅に低減が可能となった。

JFE スチールは、ハイテンの熱間連続圧延技術(以下、エンドレス圧延)を開発した。独自のコイル接合技術の開発により、ハイテンのエンドレス圧延を実現した。本技術は東日本製鉄所千葉地区熱延工場に導入されており、ハイテンの安定生産および生産性向上に寄与している。

車体部品の高強度化・薄肉化においては、プレス加工性と同時に車体の耐久性を高めるための防錆性も必要となる。JFE スチールは、プレス加工性に優れる高張力合金化溶融重

鉛めっき（以下、ハイテンGA）鋼板の開発を進め、革新的雰囲気制御による溶融亜鉛めっき薄鋼板製造技術の開発で、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。同社は、製造工程の雰囲気を精密に制御することによって、鋼板表面における強化元素の濃化を抑制し、無害化することに成功した。その結果、強化元素の添加量を高めることが可能となり、プレス加工性の指標となる伸びが従来鋼と比較して約2割向上した590～980MPa級ハイテンGA鋼板を、表面欠陥なく製造できるようになった。

JFEスチールは、高速モータに適した省資源型Si傾斜磁性材料の開発により、Steelie Awards 2020を受賞した。Steelie Awardsは世界鉄鋼協会が1年に一度7つの部門で表彰するもので、環境負荷の低減や生産性向上などに寄与する画期的な技術開発を表彰する「Innovation of the year」部門において、鋼板の厚さ方向のSi濃度勾配を最適化し、高周波低鉄損と高磁束密度を両立させることで、モータのさらなる高効率化・小型化を可能としたことが評価され、受賞に至った。尚、Steelie Awardsの受賞は国内鉄鋼業界初である。

神戸製鋼所は、加古川製鉄所薄板工場において溶融亜鉛めっきライン（第3CGL）の営業運転を2021年3月に開始した。第3CGLは、冷延鋼板および溶融亜鉛めっき鋼板兼用製造ラインであり、最新鋭の熱処理機能を有し、生産能力の拡大と、将来的な更なる高強度化、高加工性ニーズへの対応を実現可能とする設備である。

2.3.2 厚板

厚板分野においては、日本製鉄が開発した船舶向けの耐衝突・座礁性に優れた高延性厚鋼板が、第3回日本オープンイノベーション大賞における国土交通大臣賞を受賞した。船舶が衝突し油が漏洩すると甚大な海洋環境汚染に繋がる。同社は、鋼材特性の向上による船舶の損傷軽減に向けて、製鋼工程での不純物と介在物の極限までの低減と微細分散、及び熱加工プロセスを活用した金属組織の微細分割や伸びの阻害要因の排除で理想的金属組織を達成し、従来鋼より5割以上の高い伸び値を持つ高延性鋼材を開発した。

JFEスチールは、大入熱溶接が可能な780N/mm²級厚鋼板を世界で初めて開発、建築構造用低降伏比780N/mm²級厚鋼板として大臣認定を取得した。主な用途は高層建築物の低層部の鉄骨柱に用いられる溶接組立箱形断面柱であり、高強度かつ高変形性能（低降伏比）であることで、建築物の耐震安全性の確保に寄与する。従来以上の超高層化や大スパン化が可能となり、低層部における大空間の確保など、設計の自由度が高まる。また、大入熱溶接が可能であるため建設業界で深刻化する現場溶接工の不足に対する省力化のニーズに応え、ボックス柱の溶接時間の大幅短縮を実現した。成分設計

と新たに導入した焼入設備を活用した冷却制御により、高強度と低降伏比の両立を実現した。

2.3.3 鋼管

日本製鉄の高合金シームレス油井管が、Equinor ASA（本社：ノルウェー王国、以下、エクイノール）が欧州北海で主導するCCSプロジェクトであるNorthern Lights Joint Venture（ノーサーン ライツ ジョイントベンチャー、以下、同JV）に採用された。同JVは、ノルウェーの都市部や周辺国の工場で発生する排ガスから回収した二酸化炭素（以下、CO₂）を、100km沖合の中間貯蔵基地までパイプラインで運搬した後、海底下2,600mにある貯留層に圧入するサービスの事業化を目指している。CO₂を海底下へ圧入する際、液化した高濃度CO₂を注入するため、使用する鋼管には高い耐食性が求められる。日本製鉄が開発した高合金油井管は優れた耐食性を有しており、高濃度CO₂環境でも腐食することなく使用できる。同JVは、2024年の稼働に向けてすでに着工しており、日本製鉄は、これまでに炭素鋼の油井管を約130本（1,550メートル）供給してきたが、今般新たに高合金油井管も採用が決定し、2021年10月より供給開始予定であり、採用本数は約120本（1,390メートル）となる。

日本製鉄は、ロイヤルダッチシェルグループ（以下、シェル）が年に1回選出するエクイプメント サプライヤー オブザ イヤー 2020（Equipment Supplier of the year）を住友商事（株）と共同で受賞した。このアワードに選出されるのは、世界で1社のみであり、同社は、2015年、2018年、2019年に続いて3年連続4度目の受賞となる。

このアワードは、シェルの開発・製造ターゲットに最も重要な貢献をし、2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにするというシェルの目標を進展させたサプライヤーに授与される。日本製鉄は、シェルにとって必要不可欠な鋼管製品を高いレベルの納期対応で供給を続け、シェルの競争力保持に重要な貢献を果たしたことが評価されての受賞となった。

2.3.4 条鋼・形鋼・鋳鍛鋼

日本製鉄が開発した環境負荷低減型超ハイテン橋梁ケーブル用線材の製造技術が、「令和3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、吊り橋等のメインケーブルに用いられる橋梁ワイヤは、鉄鋼メーカーから供給された高炭素鋼線材を、ワイヤメーカーにて加熱後、溶融鉛浴に浸漬して金属組織と引張強さを整える熱処理（以下LP処理）を施し、引抜き加工（伸線）及び亜鉛めっきを施して製造されていた。しかしながら、LP処理は生産能力が低いこと、国によっては鉛が環境規制の対象となることから、LP処理を施さずに伸線が可能な線材の製造が強く望まれていた。

本開発では、ワイヤの延性を低下させる金属組織の生成を回避するため、橋梁ワイヤ用線材では使用例のない硼素とチタンを有効に添加し、線材圧延ライン中で、圧延直後に溶融塩浴に浸漬して金属組織と引張強さを整えるDLP (Direct In-Line Patenting) 処理を施すことで、LP処理を省略して伸線が可能な橋梁ワイヤ用線材を、世界で初めて開発した。

日本製鋼所M&E (株) は、室蘭製作所の油圧3,000tプレス機にLazorkin Engineering 社 (ウクライナ) で開発された四面鍛造デバイス (FDFD) を導入した。縦横から同時に圧力をかけられる四面鍛造により丸棒や角材の四面鍛造が簡易的に実施可能となり、最大で40%の鍛造時間短縮を実現している。

2.3.5 鋼材の清浄度評価

山陽特殊製鋼 (株) では、特殊鋼製品の更なる信頼性向上に資する清浄度評価技術を開発した。鋼材の疲労強度の改善には、疲労破壊の起点となる非金属介在物を低減することが必要であるが、高清浄度鋼では非金属介在物の存在確率が低いことから高精度の評価にはより大きな体積を調査する必要がある。従来の顕微鏡観察法や超音波探傷法等では、最大介在物の大きさや種類等を短時間で正確に評価することが困難であった。そこで、山陽特殊製鋼では、サイズを拡大した独自設計の試験片を用い、水素による脆化作用と超音波疲労試験を組み合わせることで、より大きな体積を調査対象とする鋼中最大介在物の迅速かつ正確な測定技術を開発した。さらにこの方法による複数の測定結果に極値統計法を適用することにより、鋼材に含まれる最大介在物の大きさをこれまで以上に高い精度で推定することを可能とした。

2.4 計測・制御・システム

計測関係では、JFE スチールが自走式ロボットと超音波探傷器を組み合わせた「厚板自走式超音波探傷ロボット」を開発し、東日本製鉄所京浜地区の厚板工場の厚板オフライン探傷プロセスに3台導入した。本ロボットは、屋内型の高精度自己位置認識システムを採用し、厚板上のロボットが移動すべき目標位置と自己位置の差分を認識することで、目標ルート上を自動で移動しながら超音波探傷することができる。探傷動作から合否判定に至るプロセスを自動化することができるため、検査信頼性はオンライン自動探傷検査と同等で、手動探傷作業の自動化により検査信頼性と作業効率のさらなる向上を実現した。また、検査結果はデジタルデータで自動保存し、トレーサビリティの向上、および品質トレンド管理の簡易化にも寄与している。さらに、ロボット本体を1人で持ち上げ運搬可能なレベルまで小型・軽量化するなど、ユーザビリティも大幅に向上させている。同じくJFE スチールは、人間の視覚認知に基づく画像処理技術をオンライン検査に適

用した「テクスチャ (模様) 解析型表面検査装置」を開発した。従来の画像式表面検査法では濃淡差がわずかな場合は欠陥の検出が難しく、目視検査を一部併用せざるをえなかったが、本法により、従来自動検出が難しかった濃淡差が少ない欠陥についても、自動で検出することが可能になった。本装置は、人間の視覚認知に基づき撮影した画像と、様々な長さ・向き of 縞模様との類似度を計算し、その結果を統計的に評価し、正常部との模様の違いを異常度として定量化することにより欠陥部を抽出するものである。本装置を西日本製鉄所倉敷地区の溶融垂鉛めっき鋼板の製造プロセスに導入し、目視検査の自動化による確実な表面欠陥検出によって、鋼板の表面品質向上に寄与している。

日本鉄鋼連盟は、鉄鋼各社からの要望を集約して、ドローンの高度規制の緩和と許可基準の明確化を内閣府規制改革・行政改革担当大臣直轄チームに働きかけ、官民連携して関係諸機関と協議・調整した結果、居住区と明確に区切られ安全・防犯等の管理が徹底されている地域に対して、一定条件下での規制緩和が実現した。これを受け、鉄鋼各社では、従来規制のあった飛行高度 (150m 以上) での点検、自動運転による広範囲の点検、製鉄所岸壁の海べりの飛行による護岸や設備の点検にドローンを一層利活用することができるようになった。

操業支援システム分野では、JFE スチールは、データサイエンス技術により製鉄所の設備異常予兆を検知するシステムを開発し、西日本製鉄所および東日本製鉄所の全地区熱延工場に導入した。2018 年度に最初に導入した西日本製鉄所倉敷地区熱延工場においては、年間50時間以上 (生産量3万t以上) 相当のトラブル抑止効果が確認されていた。全地区共通のシステムを導入し全地区で容易に共有できるようにすることで、全社レベルで最適なモデルの構築を推進している。本システムでは、ビッグデータ解析技術により、電流・圧力・流量・温度・振動をはじめとする操業状態を示す膨大なデータを効率的かつ網羅的に解析し、正常時の基準値に対する外れ度合いを異常度として指標化することで、過去に経験したトラブルだけではなく、想定外のトラブルも未然に防止することができるようになった。また、異常度の経時変化を大きさに応じてマップ化することで、異常が発生している装置・部位を即座に特定し、適切な保全アクションにつなげることができる。今後は、製鉄や製鋼をはじめとする他製造プロセスにも展開していくことで、設備トラブルの未然防止を通じてさらなる生産性向上を目指していく。

JFE スチールは、鉄鉱石の製鉄所内の物流計画を最適化するシステムを開発した。配合する頻度が高いなど、操業安定性に対する影響が大きい産地の鉄鉱石を分散して保管し、膨大な山配置のパターンから山数が最小となるパターンを日単位で選択する山配置計画システムを独自に開発し、数十秒の

計算で、数か月間にわたるヤードの最適な運用計画を作成することができるようになった。本システムの導入より、鉄鉱石ヤード（置場）の運用計画を最適化することによって、物流効率の大幅な向上と安定操業の両立を実現した。既に西日本製鉄所（福山地区）に、本システムの導入しており、今後は、原料炭や他地区への展開を進め、原料購買から次工程への払出に至る原料管理全体について、全社レベルでの最適化を推進していく。

日本製鉄は、経済産業省が定める「DX認定事業者」としての認定を取得した。本認定は、「情報処理の促進に関する法律」に基づき、「デジタルガバナンス・コード」の基本的事項を満たしている企業を国が認定するものである。日本製鉄は、「デジタルトランスフォーメーション戦略の推進」を中長期経営計画の4つの柱の1つとして掲げており、鉄鋼業におけるデジタル先進企業を目指し、データとデジタル技術を駆使して生産プロセスおよび業務プロセス改革に取り組んでいく。

2.5 建築・土木

建築分野では、愛知製鋼（株）が国際ステンレススチールフォーラムの年次総会において、愛知県国際展示場内に設置した垂直緑化ユニットにより「Best Development Award（開発賞）」の銅賞を受賞した。中部国際空港の空港島という立地による、耐風圧性、耐塩害性、耐候性という要求性能に対応するステンレス鋼を採用、施工後のメンテナンスコスト低減を図りつつ、安全・安心でかつ意匠性の高い垂直緑化を実現した。

建材では、チタン合金の適用事例も多く見られた。京都清水寺本堂の保存修理工事、広島県呉市の亀山神社の奉名板屋根、浄土宗大本山増上寺大殿の屋根瓦、で日本製鉄製造のチタン合金建材が採用された。日本製鉄は、その意匠性チタン・チタン合金製品群で、(公財)日本デザイン振興会が主催する2021年度グッドデザイン賞を受賞、非鉄金属素材として、世界初の受賞となった。意匠性チタン合金製品群は、長寿命（百年超）・軽量高強度・高い環境性能といったチタンの素材特性と、加工による表面性状制御や陽極酸化等により制御された素材表面の光と色、素材自体が備える色彩・色調による意匠を特徴としている。

環境に配慮した取組としては、日本製鉄が酸化チタンを用いた可視光応答型光触媒機能鋼板を開発した。酸化チタンは光触媒であり、可視光照射により表面で強い酸化作用を示し、抗ウイルス効果を始め、抗菌/消臭/抗アレルギー効果が得られる。表面処理鋼板が持つ意匠性、耐食性、耐指紋性等に光触媒機能が付加されており、かつ、成形加工後も光触媒層が残存、加工品としてもその機能が維持されている。コロナ禍による衛生意識の高まりもあり、不特定多数の人々が交錯

する環境では、このような製品への要求が高まることが期待される。

土木分野でも環境という視点からの取組が目立つ。日本製鉄は、(株)大林組、ポゾリスソリューションズ(株)と共同で、現場施工への適性を高めたジオポリマーコンクリートを開発し、同社鹿島地区構内の高温環境の擁壁（鉄筋コンクリート構造）補修工事に適用した。ジオポリマーコンクリートの主原料はフライアッシュ（石炭灰）と高炉スラグ微粉末とし、普通コンクリートよりも、耐熱性が高く、製造過程での発生CO₂量も1/4以下と環境性能も優れている一方で、粘性が高く硬化が速いため大断面補修や狭隘箇所への打ち込みが困難である課題があった。今回、ポゾリスソリューションズが開発した特殊混和剤を使用し、施工に適した流動性と常温養生での強度確保を両立させた。神戸製鋼所もポゾリスソリューションズと共同で、通常のコンクリート/モルタルよりも製造時のCO₂排出量低減が可能で、従来品より高い流動性と強度を有し、かつ、様々な用途に対応可能なジオポリマー試作品を共同開発した。生産工程で使用した後のアルカリ性溶液や高炉スラグ微粉末など原料の有効活用によりコスト削減が進んでいる。JFEスチールも東北大学、および日本大学と共同で、施工時の流動性や養生後の強度に加えて、高い耐凍害性を有する独自のジオポリマーを開発した。

日本製鉄は、土木・社会インフラ分野で一般的に使用されている後めっきや、従来の高耐食めっきよりも高い耐食性能を有する新しい高耐食めっき鋼板を開発し、同社実施の試験では、平面部の耐食性が高耐食めっき鋼板や溶融亜鉛めっき鋼板GIより著しく向上した。市場からの高耐食性へのニーズは途切れるものではなく、国土強靱化や社会インフラ老朽化対策、労働人口の減少に伴う省工程・省力化などのニーズに加え、世界的に急増している再生可能エネルギー関連需要の中で、特に厳しい環境下に設置されるプロジェクトや、沿岸部及び高温多湿なエリアで使用される様々な用途での適用が期待されている。

2.6 環境・エネルギー

2.6.1 気象変動に関する日本政府の取組みと国際交渉

国際エネルギー機関（IEA）の分析によると気温上昇2度未満の実現には2070年までに温暖化ガスの排出を「実質ゼロ」にする必要があるとされているが、国家レベルで初めて「実質ゼロ」を掲げたのは2017年6月のスウェーデンである。その後2019年に欧州連合（EU）は2050年までに域内の排出「実質ゼロ」を目指すとして決め、2020年後半には日本、中国、韓国などアジア諸国も相次いで「実質ゼロ」の目標を掲げた。また、2020年11月にパリ協定から正式に離脱していた米国は、2021年1月に就任したバイデン新大統領が温暖化ガスの排出

削減を目指す大統領令に署名し、パリ協定に復帰することになり、2050年に経済全体での排出ガス「実質ゼロ」を達成することも掲げた。

また、コロナ禍により1年間延期されていた国連気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）が2021年10月末から11月にかけて英国グラスゴーにて開催され、グラスゴー気候合意として、産業革命前からの気温上昇を摂氏 1.5 度に制限するための努力を継続することが明記された。また、パリ協定第6条に基づく市場メカニズムの実施指針が合意され、パリルールブックが完成した³⁸⁾。

我が国では、地球温暖化対策の総合的かつ計画的な推進を図るため、政府が「地球温暖化対策推進法」に基づいて、2016年5月に「地球温暖化対策計画」を策定した。本計画では、2030年度に2013年度比で温室効果ガスを26%削減するとの中期目標、及び2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す長期目標が掲げられている。2019年6月には「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が閣議決定され、「脱炭素社会」を今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指し、2050年までに温室効果ガス排出量80%の削減に取り組むことが改めて示された。

2020年10月には菅内閣総理大臣が「2050年カーボンニュートラル」を宣言し¹¹⁾、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。さらに10月には「地球温暖化対策計画」を5年ぶりに改定するとともに「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を見直した。長期戦略では、地球温暖化対策は経済成長の制約ではなく、積極的に地球温暖化対策を行うことで産業構造や経済社会の変革をもたらす大きな成長につなげるという基本的考えの下、2050年カーボンニュートラルを目指し、「あるべき姿」としての長期的ビジョンが示された。各分野のビジョンと対策・施策の方向性として、エネルギー分野では、エネルギー転換・脱炭素化を進めるため、再生可能エネルギーの主力電源化、火力のCO₂排出削減、CCS・CCU／カーボンリサイクル、水素社会実現／蓄電池／原子力／省エネ等あらゆる選択肢を追求することが挙げられ、また産業分野では、脱炭素化ものづくりとして「ゼロカーボン・スチール」への挑戦等のCO₂フリー水素の活用、CCU／人口光合成等のバイオマスによる原料転換等が示された。さらに、脱炭素社会の実現に向けて、従来の延長線上ではない、非連続的なイノベーションによりグリーン成長を加速し、持続可能で強靱な経済社会へのリデザイン（再設計）を謳っている³³⁾。

2.6.2 日本鉄鋼業の取組み

日本鉄鋼連盟は、京都議定書第一約束期間に実施した「自主行動計画」に続き、現在2020年度をターゲットとした低炭素社会実行計画フェーズⅠを推進している。また、2014年11月には、我が国の約束草案（2030年度目標）の策定に先駆け、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きた。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³⁹⁾。低炭素社会実行計画に参加する企業の2020年度のCO₂排出量は、BAU基準で1億5,233万トンであった。2020年度の補正排出量（生産構成比変化を考慮、電力排出係数を固定）は1億5,055万トンであり、基準の2005年度に比べ648万トン削減となり、目標（300万トン）比348万トンと大幅な超過達成であった。鉄鋼業全体の2019年度の排出量は1億5,000万トンであった³⁹⁾。

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。表2にカーボンニュートラル行動計画（旧：低炭素社会実行計画）の目標を示す³⁹⁾。

2018年11月には、我が国の「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」に呼応する形で、日本鉄鋼連盟は上記フェーズⅡの取組みに加え、新たに2030年以降を見据えた「ゼロカーボン・スチール」の実現を目指した「長期温暖化対策ビジョン」を策定した。将来の鉄鋼需給を想定したうえで、鉄鋼業の長期温暖化対策シナリオをBAU（なりゆき）から超革新技術を開発適用した場合の6シナリオについて、2100年におけるCO₂排出量を試算した。COURSE50やフェロコックスなどの「革新技術開発」が実用化された場合、天然資源ルートのCO₂排出量の10%削減が期待される（CO₂貯留効果を除く）が、これらの取組みだけではパリ協定が目指す長期目標レベルに到達することはできず、それらを越えた「超革新技術」が必要となる¹²⁾。

2021年2月には、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、「エコソリューション」、「エコプロダクト」による技術・商品での貢献と「エコプロセス」、「革新的技術開発」に

表2 日本鉄鋼連盟のカーボンニュートラル行動計画の目標³⁹⁾

		フェーズⅠ	フェーズⅡ
エコプロセス		BAU ^{※1} 比500万t-CO ₂ の削減目標 ^{※2}	BAU ^{※1} 比900万t-CO ₂ の削減目標
エコプロダクト		約3,400万t-CO ₂ の削減貢献（推定）	約4,200万t-CO ₂ の削減貢献（推定）
エコソリューション		約7,000万t-CO ₂ の削減貢献（推定）	約8,000万t-CO ₂ の削減貢献（推定）
革新的技術開発	革新的製鉄プロセスの開発（COURSE50）	水素による鉄鉱石の還元と高炉ガスからのCO ₂ 分離回収により、生産工程におけるCO ₂ 排出量を約30％削減。2030年頃までに1号機の実機化 ^{※3} 、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえ、2050年頃までに普及を目指す。	
	革新的製鉄プロセスの開発（フェロコックス）	高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコックス及びその操業プロセスを開発し、製鉄プロセスの省エネルギーと低品位原料利用拡大の両立を目指す革新的技術開発を行う。	

※1：BAUとは、Business as usualの略称であり、本目標では、2005年度を基準としてそれぞれの粗鋼生産量において想定されるCO₂排出量を意味する。
※2：500万t-CO₂削減目標の内、省エネ等の自助努力に基づく300万t-CO₂削減の達成に傾注しつつ、廃プラ等については2005年度に対して集荷量を増やすことが出来た分のみを、削減実績としてカウントする。
※3：CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に向けて経済合理性が確保されることが前提。

よる鉄鋼生産プロセスにおけるCO₂排出削減の取組みを続け、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⁴⁰⁾。

経済産業省は、2021年10月に鉄鋼分野の脱炭素への移行に向けた技術ロードマップを策定した。本技術ロードマップでは、鉄鋼分野での2050年カーボンニュートラル実現に向けて、科学的根拠に基づき必要と想定される「技術」が示されおり、これらの技術には、現状利用可能な省エネ・高効率化等の着実な低炭素技術に加え、将来的な革新技術についても、国内の各政策及び国際的なシナリオ等を参照し、背景や時間軸とともに示されている。図5に本技術のロードマップを示す⁴¹⁾。

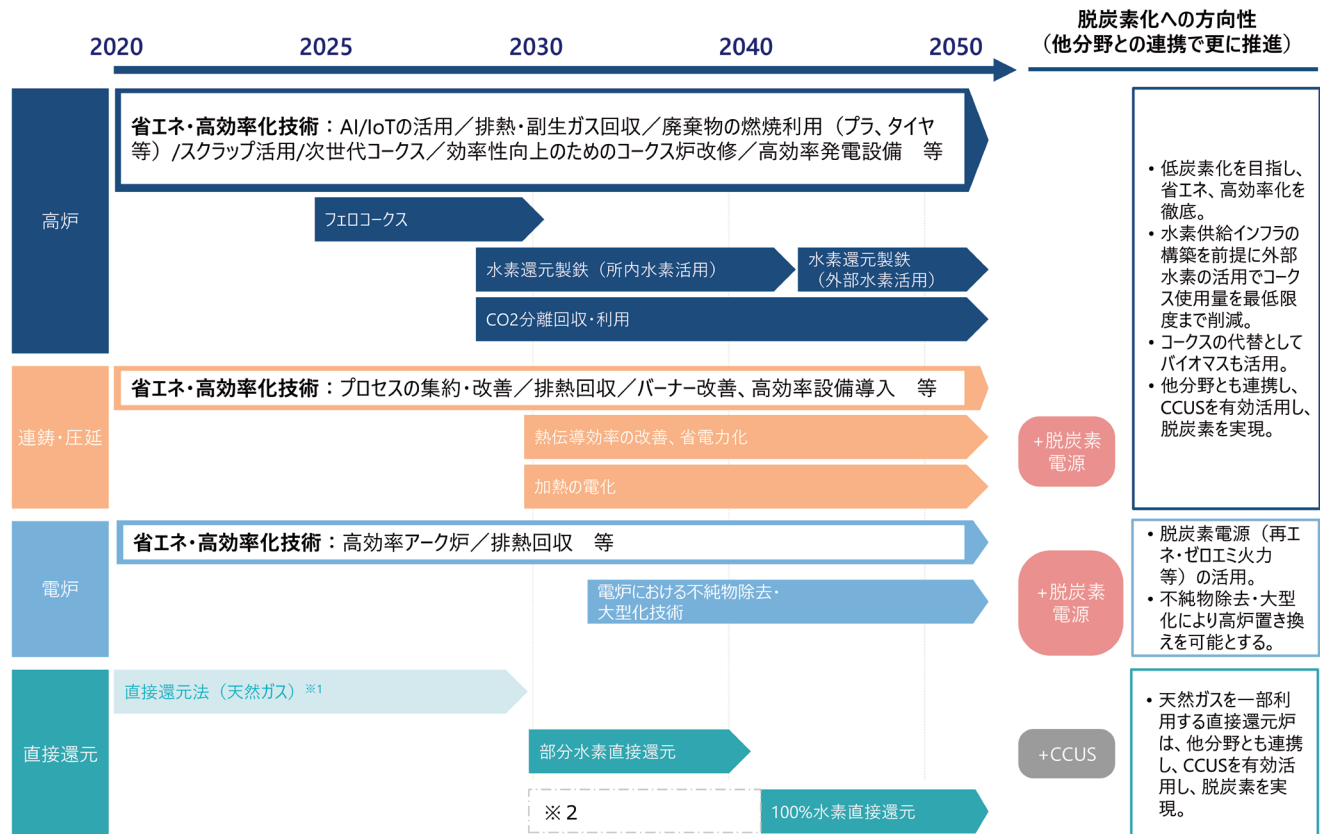
日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、JRCMは、2020～21年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の先導研究「『ゼロカーボン・スチール』の実現に向けた技術開発」を実施し、水素還元製鉄の技術開発や実用化における諸課題の抽出、「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた研究開発ロードマップの作成等を行った。さらにこれら4社は、NEDOから公募された「グリーンイノベーション基金事業／

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2021～30年度の10年間の予定で予算は1,935億円である。研究開発項目を表3に示す。

また、電気炉により鋼を製造している大同特殊鋼（株）、愛知製鋼、山陽特殊製鋼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。

2.6.3 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。日本製鉄は、ゼロカーボン・スチールに重点的に取り組むことを表明するために、「環境ブランドマーク」を制定し、日本製鉄の環境経営施策、特にゼロカーボン・スチールに関する取り組みを、環境ブランドマークも活用し国内外において積極的に発信することにした。JFEスチールは、カーボンニュートラル達成に向けて社内組織を改正した。カーボンリサイクル高炉およびCCUメタノール合成の要素技術開発等の推進を目的として「カーボンリサイクル開発部」を、直接還元法に適した原料の開発およびCO₂削減に資する外部鉄源の確保の推進を目的として、「グリーン原料室」を設置し、さらに経営会議の下に「カーボンニュートラル推進会議」を



※1 国内では諸条件（品質や生産規模、コスト等）が満たされておらず導入されていない

※2 IEAでは2030年に導入想定記載があるが、本技術ロードマップでは水素供給インフラの構築を考慮した社会実装年を記載

※3 P 8 に示すような脱炭素に貢献する製品（エコプロダクツ）は、鉄鋼分野の低・脱炭素化を扱う本技術ロードマップの対象とはしていないが、トランジション・ファイナンスの対象にはなっている。

図5 カーボンニュートラルへの技術の道筋を示す技術ロードマップ⁴¹⁾ (Online version in color.)

表3 製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクトの研究開発項目

研究開発項目		目 標	実施者
高炉を用いた水素還元技術の開発	所内水素を活用した水素還元技術等の開発	2030年までに、所内水素を活用した高炉における水素還元技術及びCO2分離回収技術等により、製鉄プロセスからCO2排出を30%以上削減する技術の実装	日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、JRCM
	外部水素や高炉排ガスに含まれるCO2を活用した低炭素化技術等の開発	2030年までに、中規模試験高炉において、製鉄プロセスからのCO2排出50%以上削減を実現する技術を実証	日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、JRCM
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	直接水素還元技術の開発	2030年までに、低品位の鉄鉱石を水素で直接還元する技術により、中規模直接還元炉において、現行の高炉法と比較してCO2排出50%以上削減を達成する技術を実証	日本製鉄、JFEスチール、JRCM
	直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発	2030年までに、低品位の鉄鉱石を活用した水素直接還元—電炉—貫プロセスにおいて、自動車の外板等に使用可能な高級鋼を製造するため、大規模試験電炉において、不純物（製品に影響を及ぼす成分）の濃度を高炉法並みに制御する技術を実証	日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、JRCM

設置し、カーボンニュートラル達成に向けた取り組みを更に加速すべく、新製鉄プロセスの開発、グリーン原料の調達および中長期目標の策定など、カーボンニュートラルに関わる各組織・プロジェクトの重要課題を一元的に審議・決定し、迅速かつ効率的に対応することにした。

神戸製鋼所は、エンジニアリング事業の天然ガスを使った還元鉄製鉄技術と鉄鋼事業の高炉操業技術を融合し、高炉工程でのCO₂排出量を大幅に削減できる技術を実証した。実証試験は、2020年10月に加古川製鉄所の大型高炉(4,844m³)で約1か月間行った。実証試験では、高炉に天然ガスを使った還元鉄製鉄法で得られた熱間成形還元鉄(以下、HBI)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518kg/t溶銑から415kg/t溶銑に安定的に低減(CO₂排出量を従来比の約20%削減)できることを確認した。また世界最少水準の кокс 比(239kg/t溶銑)も同時に達成し、現有技術を用いたCO₂低減策として、安価な追加コストでCO₂を削減できるソリューションを提供できる目途が立った。

神戸製鋼所の100%子会社である米国のMidrex Technologies, Inc.(ミドレックス社)と、ライセンス供与先であるPaul Wurth SA(PW社)のコンソーシアムが、ロシアのMikhailovsky HBI LLC(ミハイロフスキー社)から、天然ガスを使ったHBI製造プラントを受注した。本プラントは、ミハイロフスキー社がロシアのクルスク州ゼレズノゴルスクに新設するもので、HBI生産能力は世界最大の年産208万トンで、エネルギー消費量と環境負荷も低減できるのが本プラントの特長で、将来的には使用する還元材を水素へ完全に移行することも視野に入れた設計である。工場稼働は2024年前半を予定している。また同コンソーシアムが2016年に受注したアルジェリアのAlgerian Qatari Steelのベラーラ地区製鉄所向けプラント(生産能力:250万トン/年)が完成し、還元鉄(DRI)の同社電気炉への投入を開始した。本製鉄所は、同プラントで生産した還元鉄を用いて、同製鉄所内の電気炉で溶解し、連続鋳造機・圧延機にて約200万トンの棒鋼・線材が生産される予定である。今回の設備の特長は、当該プラントと電気炉間を接続し、還元鉄排出時の温度を保ったまま次工程の電気炉へ輸送することで、省エネ性と生産性に優れたプロセスとなることである。本プロセスは、天然ガスを使った還元鉄製鉄法としては、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で、世界で90基以上が稼動しており、全世界においてカーボンニュートラルに向けてグリーン社会の実現に貢献している。

日本製鉄、JFEスチールと(一財)日本海事協会等は、「CCR(Carbon Capture & Reuse)研究会 船舶カーボンリサイクルWG」において、メタネーション技術によって製造されたカーボンリサイクルメタンが、船舶のゼロ・エミッション燃料となりうることを確認した。原材料の輸入や鉄鋼製品の国

内外の輸送のほとんどを船舶で運搬する臨海製鉄所において、製鉄所から排出されるCO₂を分離・回収し、生成した合成メタンを船舶燃料に利用することで、鉄鋼サプライチェーン全体でのCO₂排出量削減に貢献することができる。

日本製鉄は、大阪市立大学、東北大学とともに、「NEDO先導研究プログラム/未踏チャレンジ 2050」において、脱水剤を用いずに、常圧二酸化炭素とジオールから脂肪族ポリカーボネートジオールの直接合成を行う触媒プロセスの開発に世界で初めて成功した。高炉などから排出される常圧の二酸化炭素を原料として反応させることを目指し、回収・再利用などが必要となる脱水剤を用いずに、二酸化炭素からのポリマー合成を実現できる固体触媒系の開発を行った。常圧の二酸化炭素を吹き込み、生成物やジオールと水の沸点差を利用し、水を蒸発除去することにより、脱水剤が不要となり、酸化セリウム触媒が高い活性を示すことを見出した。

日本製鉄は、ゼロカーボン・スチールの実現に向け、大量の水素の安価・安定供給を実現するサプライチェーンの構築と、それに必要なインフラの実装・整備について検討するため「中部圏水素利用協議会」に参画している。これまでに、中部圏の産業各セクターにおける水素需要ポテンシャルの試算、海外からの水素受入れから需要地までのサプライチェーン、切り替え可能な水素コストの検証等を実施した。このほど、『中部圏における2030年に向けた水素大規模利用の可能性検討結果と今後の取り組み』がまとめられた。今後も本協議会を通じて他産業と連携して政策提言等を行う。

JFEスチールはBHP社と製鉄プロセスの低炭素化に向けた取り組みに関する覚書を締結した。同社はCO₂排出量削減に有効な技術開発を促進するため、高炉法や直接還元鉄製造について、原料処理技術も含めて、豪州鉱を活用した共同研究を行い、この共同研究を通じて、製鉄業界のサプライチェーン全体でのCO₂排出量を大幅に削減する革新的な技術の確立を目指す。一方で、JFEスチールは中国電力(株)および千葉パワー(株)とともに、2018年12月から天然ガス火力発電所開発の事業実現性検討を行ってきたが、十分な事業性が見込めないと判断したことから、本検討を中止し千葉パワーを解散した。

日本製鉄は、日本CCS調査(株)、(一財)エンジニアリング協会、伊藤忠商事(株)とともにNEDOの公募事業「CCUS研究開発・実証関連事業/苫小牧におけるCCUS大規模実証試験/CO₂輸送に関する実証試験」に共同で応募し、採択された。本実証プロジェクトでは、2030年頃のCCUSの社会実装に向け、年間100万トン規模のCO₂の供給地点から利用・貯留地点への長距離・大量輸送と低コスト化に繋がる輸送技術の研究開発を行い、実証試験及び関連調査を通じ、液化CO₂の船舶輸送技術の確立を目指す。具体的には日本製鉄はCCUSを目的とした船舶輸送の事業性調査を伊藤忠商事とともにを行い、CO₂回

収・輸送事業の実現に向けて製鉄業を含む国内の様々な多量排出源からのCO₂輸送に係るビジネスモデルの検討を実施する。

日本製鉄は、日鉄ケミカル&マテリアル(株)、JRCMと共同で、NEDOの「先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム／ブルーカーボン(海洋生態系による炭素貯留) 追及を目指したサプライチェーン構築に係る技術開発」に応募し、採択された。臨海製鉄所を生かして、カーボンニュートラル材であるマリンバイオマス(海藻)を生産し、それを製鉄プロセスの中で利用する「バイオマスの地産地消」という新たなサプライチェーンの構築を目指す。マリンバイオマスは、製鉄プロセスで利用される炭素源(炭材や炭素材料)としての活用を検討し、生産は、製鉄プロセスで発生する鉄鋼スラグを利用した藻場造成で培った技術を活かして、海藻の積極的な育種に取り組む。マリンバイオマスのカーボンニュートラル材としての検討は、世界的に例がなく、本事業では、上記要素技術の開発とともに、全体の経済性やCO₂削減効果を含めた事業性検討を行い、実証段階への道筋を作ることを目指す。

JFEスチールは、NEDOの委託事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発」(事業期間:2021年度～2024年度)に応募し、以下の2件が採択された。1)「CO₂を用いたメタノール合成における最適システム開発」((公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)と共同)では、圧力スイング吸着法(PSA)による低コスト型CO₂分離、およびCO₂から高効率なメタノール合成が可能なH₂O膜分離型反応器の技術開発を進め、前処理設備やメタノール合成時の反応生成水のリサイクルも含めた最適な全体システムの構築を目指す。製鉄所の高炉ガスはCO₂濃度が比較的高く、副次成分としてCOやH₂を含むという特徴があり、これらを最大限利用することで、メタノール合成の低コスト化・高効率化を図る。2)「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」(国立大学法人愛媛大学と共同)では、鉄鋼生産の副産物として生成する高温状態の製鋼スラグに、石炭利用産業から排出されるCO₂を吹き込むことにより、製鋼スラグ中の酸化カルシウム成分に、短時間で多量にCO₂を固定して炭酸塩化する革新的な技術を開発する。同時に、CO₂固定化後のガスの熱を回収することでエネルギー効率を高め、プロセス全体でのCO₂固定量および削減量の最大化を図る。また、炭酸塩化した製鋼スラグは、需要が大きな道路用鉄鋼スラグとして利用する。

同じく、神戸製鋼所は、NEDOの同事業に(株)神鋼環境ソリューションと共同で「製鋼スラグを活用したCO₂固定化プロセスの開発」を提案し、採択された。鉄鋼スラグは土木や建築用資材向け製品などとして、ほぼ100%が有効活用されており、環境負荷低減に資する製品として、その多くがグリーン購入法の公共工事における特定調達品目に指定されて

いる。鉄鋼スラグ中のCaなどのアルカリ成分はCO₂と反応しやすいことから、鉄鋼スラグはCO₂固定化に有用な素材として注目されている。鉄鋼スラグへのCO₂固定化技術においては、固定化後の生成物である炭酸塩の利用価値向上により、経済性を高めることが重要である。但し、鉄鋼スラグにはアルカリ成分以外の不純物も含まれており、利用価値向上のためには炭酸塩の純度を高めることが課題で、環境負荷低減への更なる貢献を目指し、鉄鋼スラグのうち特にアルカリ成分を含む製鋼スラグへのCO₂固定化技術の開発を進めている。

JFEスチールは、持続可能な開発目標(SDGs)の達成と社会貢献を目的として、国立大学法人広島大学に「共同研究講座(第2期)」を開設した。JFEスチールと広島大学は、2011年に包括協定を締結し、鉄鋼副産物である鉄鋼スラグの海域環境改善資材としての研究開発を共同で進めてきた。更に、2018年からは、「共同研究講座(第1期)」を設置し、新たに陸域での肥料分野へも研究範囲を拡張、両分野での鉄鋼スラグ資材の有用性について開発と検証を進めてきた。これにより循環資源である鉄鋼スラグの有効利用技術の実用化を加速し、社会実装の早期実現を目指す。

日本製鉄は代表法人として、(公社)2025年日本国際博覧会協会および大阪商工会議所が主催する実証実験において、超軟弱地盤における鋼管杭および地盤改良の実験を行うことになった。地盤改質には、鉄鋼スラグを原料として成分管理と粒度調整を施したカルシア改質材を使用し、混合した軟弱な浚渫土の強度を改善するもので、海域環境改善資材として、アルカリ成分を含む製鋼スラグの有効利用を図るものである。

JFEケミカル(株)と中国宝武鉄鋼集団有限公司傘下の子会社である宝武炭業科技股份有限公司(宝武炭業)が出資する烏海宝傑新能源材料有限公司(烏海宝傑<ウーハイバオジェ>)のリチウムイオン電池用負極材製造工場が操業開始した。現在中国は、電動自動車の世界最大規模の市場になっており、今後もEV等電動車の増大が見込まれ、中国の電動車や定置型蓄電池向けを中心にリチウムイオン電池用負極材の需要に応え、2022年後半からの本格的な負極材販売(年間生産能力10,000t)を目指す。JFEケミカルは、今回、本合弁事業を通じ、新たにニードルコークス系リチウムイオン電池用負極材の生産拠点を獲得、環境負荷の低い持続可能な社会の実現に貢献する。

日本製鉄は、(一社)サステナブル経営推進機構(SuMPO)が認証する「エコリーフ」環境ラベルの取得を進めており、2019年12月にロール成形H形鋼での取得を皮切りに、その後も大断面サイズの外法一定H形鋼、ブリキ、ティンフリースチール、ラミネート鋼板、油井管・ラインパイプ、溶接軽量H形鋼、建築構造用厚鋼板、2022年2月に棒鋼・線材製品で取得し総計21件となった。当該品種での取得はいずれも国内初

である。エコリーフは、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国際的な認証制度の一つである。顧客はこれに基づき、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可能となる。「持続可能な開発目標」（SDGs）にも合致した、高リサイクル性と低環境負荷を特徴とする鉄鋼製品の環境性能開示が積極的に進められている。

JFEスチールは、日本通運（株）と共同で、物流環境大賞（主催：一社 日本物流団体連合会）の特別賞を受賞した。JFEスチール西日本製鉄所福山地区からJFE物流東京物流センター（千葉県市川市）間の薄板コイル輸送では、コイルを積載したパレットごと船に積み込む特殊な船を使用しているが、幅狭・幅広コイルは、パレット上に安定して積むことができないため、トレーラーで陸送（輸送距離734km）していた。そこで、薄板コイルを安定して固縛する専用架台により航海中に商品落下等のトラブルを発生させない輸送方法を確立し、2019年より、宇野港（岡山県玉野市）から千葉中央港（千葉県千葉市）の区間を定期フェリーによる輸送に切り替え、陸送区間の距離を、西日本製鉄所福山地区から宇野港（63km）および千葉中央港から東京物流センター（24km）の合計87kmに大幅短縮した。これにより、トレーラー運転手の運転・拘束時間を76%短縮するだけでなく、運送時のCO₂

排出量を22%削減することに成功したことが評価された。

愛知製鋼はアイチ物流（株）とともに「令和3年度 グリーン物流パートナーシップ会議」の「優良事業者表彰」において、「グリーン物流パートナーシップ会議 特別賞」を共同受賞した。本事例は、人手不足など運送事業者の課題に対し、低積載率ルートの見える化に取り組み、商流全体で物流集約化を行ったものである。これにより積載率が20%向上し、運行数を大幅に削減でき、年間210トンのCO₂排出量削減を達成した。商流を越えた物流集約による環境負荷低減活動事例が高く評価されたものである。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図6に鉄鋼業の2020年度までの技術貿易収支の推移を示す⁴²⁾。技術輸出対価受取額は、2019年度に北アメリカ向けが大幅に増加した影響がなくなり、2018年度の水準まで低下した。技術輸入対価支払額は、前年対比では大幅減となり、2020年度支払額5億円は過去10年で最も少ない金額となった。

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

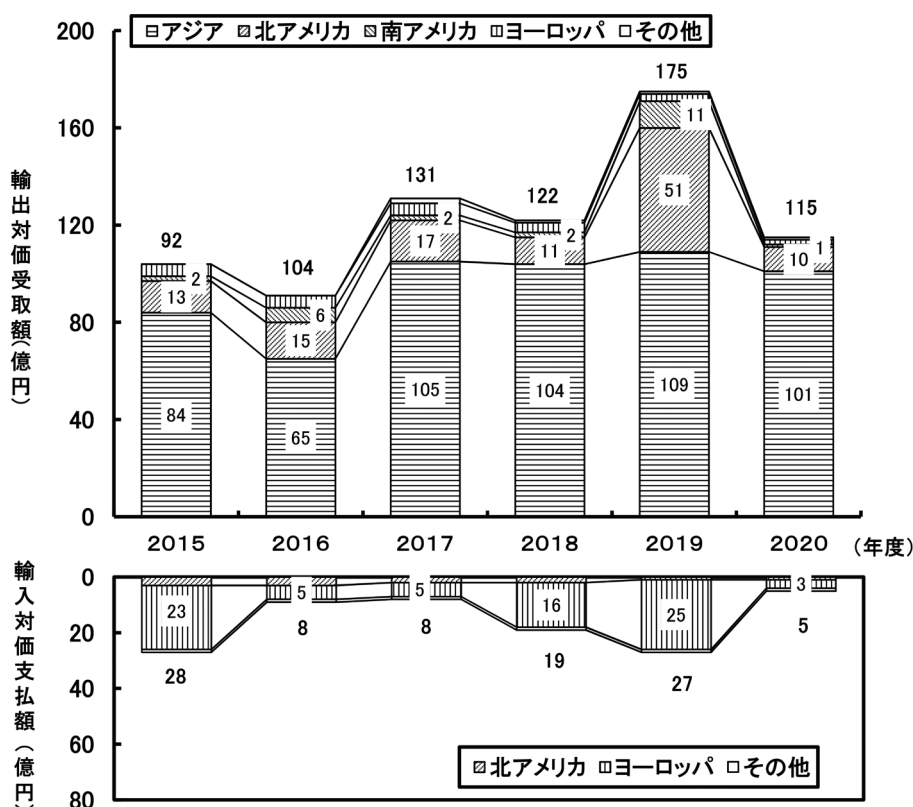


図6 鉄鋼業の技術貿易収支⁴²⁾

て、2020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⁴³⁾。

〔売上高対研究費支出比率(図7)〕 前年度と比較して、全産業は横ばいであるが、鉄鋼業は低下している。全産業の研究費比率は16年度以降、大きな変化が無いが、鉄鋼業は比較的に比率の増減が大きく、2020年度は前年度対比約0.1ポイント低下した。この変化は年間約100億円の研究費支出の減少に相当する。

〔従業員1万人当たりの研究本務者数(図8)〕 全産業は2017年度に増加に転じたが、2019年度以降は2年連続して減少した。

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来たが、2020年度に比較的大きく減少し、1万人当たり研究本務者数は321人となった。

〔研究本務者1人当たりの研究費(図9)〕 全産業では過去四、五年ほぼ一定レベルを維持してきたが、2020年度は僅かに低下した。鉄鋼業は前年度と比較して減少したが、2014年度以降、過去20年間で最も高い水準(3,600万円/人)にある。

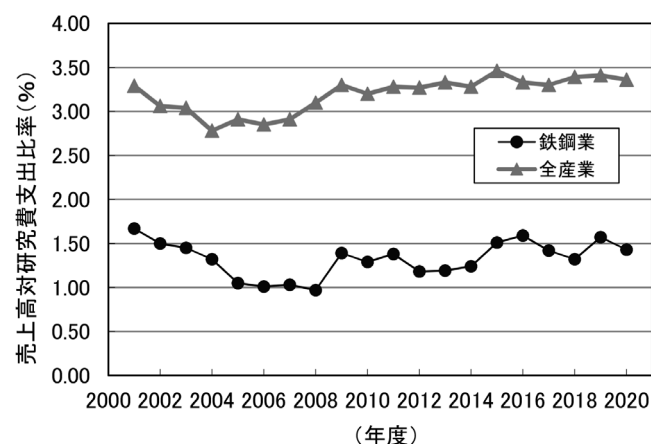


図7 売上高対研究費支出比率の経年変化⁴³⁾

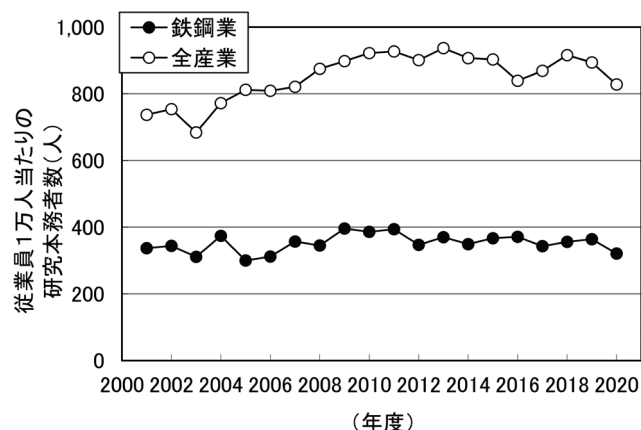


図8 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化(人)⁴³⁾

3.3 公的資金を活用した研究開発の動向

鉄鋼関連の技術開発プロジェクトに関する主要継続プロジェクトは、「[ゼロカーボン・スチール]の実現に向けた技術開発」(2020～2021年度、委託者：NEDO)、「鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創製のための革新的省エネプロセスの開発」、「熱制御科学による革新的省エネ材料創製プロセスの研究開発」(いずれも2019～2021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」、「CCS研究開発・実証関連事業」、「超高圧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)、「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」(2016～2021年度、委託者：NEDO)、経済産業省/NEDOの「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／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)、「サステナブルな鋼構造系インフラ用的高性能鋼材と利用技術の研究開発」(2021年度、委託者：NEDO)がある。公的資金を取得して行っている鉄鋼関連の研究・技術開発テーマの主なものを表4に示す。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。

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

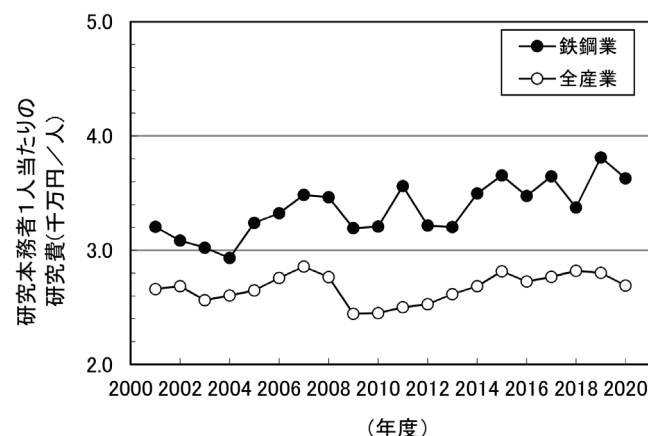


図9 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化(千円/人)⁴³⁾

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年度は前年度に引き続きコロナ禍により、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。

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。一方、「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、オンライン開催で実施し45名の受講生が参加した。

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セミナー」は中止とし、

鉄鋼工学セミナー専科5専科をオンラインで開催し、64名の受講生が参加した。

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9大学で実施し、約1900名の学生が聴講した。

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、2018年4月からは「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）」を設置し、関連学協会等と情報交換を行いながら、広く鉄鋼業からのCO₂排出量削減に資する技術の検討を行ってきた。なお、CGSはこれまでの活動を取りまとめた上で2021年度末までで活動を終了し、CGS会議の提言を引き継いで、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

表4 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	環境調和型プロセス技術の開発 フェーズⅡ	NEDO	2018	2022
	鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創製のための革新的省エネプロセスの開発	NEDO	2019	2021
	熱制御科学による革新的省エネ材料創製プロセスの研究開発	NEDO	2019	2021
	「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発	NEDO	2020	2021
	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
要素技術	元素戦略プロジェクト＜研究拠点形成型＞ 構造材料	文部科学省	2012	2021
	カーボンサイクル・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
	超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業	NEDO	2018	2022
	サステナブルな鋼構造系インフラ用の高性能鋼材と利用技術の研究開発	NEDO	2021	2021
その他	超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト	NEDO	2016	2021
	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
	令和3年度「原子力産業基盤強化事業補助金」に係る間接事業	特定非営利活動法人地球と未来の環境基金	2021	2022

NEDO：(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

表5 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	・ 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：鉄鋼及び鉄鋼関連企業の技術者、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	・ 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

する目的で、2022年度に「鉄鋼カーボンニュートラル検討会議」を新設することにした。

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5）。2021年度は2020年度に引き続き技術部会活動はコロナ禍により大きく影響を受けることにはなったが、2020年度と比較するとオンラインにより部会大会を開催する部会も増え、制限された状況の中でもそれぞれ工夫して情報交換の場の継続を模索する動きが見られた。

参加者延べ人数も、WEBによる参加を含めて1,610名と2020年度の405名から大きく復調し、大学等からの研究者の参加も39名（2020年度は0名）に至った。

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オンライン開催を中心に再開する動きが見られたが、国際交流に関する諸活動は、まだ実施が難しい状況が続いている。

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（表5）は、4部会が活動中である。2021年度は引き続きコロナ禍の影響を受けながらも、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予定通り会議が開催できなかったことを受けて、当初予定では2021年度にまとめる予定であった報告書について、活動期間を1年間延長し、

2022年度に取りまとめることとなった。

また、「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オンラインにて実施するとともに、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、先進耐熱鋼WGでは昨年度までの活動を踏まえて、Phase IIとしての検討を開始した。

「社会インフラ鋼材技術検討部会」は2021年度から活動を開始し、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、特に土壌汚染対策法に関連する課題の絞り込みや、講演会等を行った。

5.3 研究助成

本会の研究助成に関する制度を表6に示す。「鉄鋼研究振興助成」では、2021年度から受給開始となる対象者として新たに28件（若手12件）が採択され、2020年度から開始した35件と合わせて2021年度は合計63件が受給テーマに基づく活動を実施した。

「研究会」は、2021年度には19研究会が活動し、その内の5研究会が同年度に終了した。一方、コロナ禍により活動が予定通り進められなかった12研究会について、活動期間を1年間延長することとなった。2021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）4件であった（表7）。また、2022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2件（表8）である。

鉄鋼協会研究プロジェクトは、2021年度から新たに2件が活動を開始し（表9）、2022年度から活動を開始するプロジェ

表6 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	・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：63件(2021年度受給者数)
研究会	・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：19件(2021年12月末現在活動中)
鉄鋼協会研究プロジェクト	・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：4件(2021年12月末現在活動中)

表7 2021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	凝固過程の偏析・欠陥の3D／4D解析	高プロ	宮原 広郁(九大)	2018～2021年度(1年延長)
I	スラグ由来の人工リン鉱石	環境	久保 裕也(福岡工大)	2018～2021年度(1年延長)
I	高能率・安定圧延を実現する人とシステムのシェアードコントロール	計制シ／創形	北村 章(鳥取大)	2018～2021年度(1年延長)
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	資源拡大・省CO ₂ 対応コークス製造技術	高プロ	鷹觜 利公(産総研)	2019～2021年度
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	鉄鋼スラグ中リン酸の有効活用	スラグ	和崎 淳(広島大)	2019～2021年度
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CCU	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	高品質焼結鉱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

表8 2022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	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	評価分析	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

※ 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、
製鉄：製鉄技術部会、制御：制御技術部会、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9 2021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
高強度鋼の水素脆化における 潜伏期から破壊までの機構解明	水素脆化の潜伏期から破壊に至る過程において、実験および計算科学の両面からマルチスケール（原子空孔からき裂進展まで）で解析することで、水素脆化メカニズムを整理し、水素脆化評価法の提案および新たな高強度鋼開発の指針を発信する。	高井 健一 (上智大)	2019～2021年度
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 (物材機構)	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 (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

クトの採択はなかった。

なお、2022年度から「鉄鋼カーボンニュートラル研究助成」を新設し、鉄鋼業のカーボンニュートラルに質する萌芽的、先端的研究を支援する予定である。

参考文献

- 1) 世界経済見通し, IMF (国際通貨基金), (2022年1月), <https://www.imf.org/ja/Publications/WEO/Issues/2022/01/25/world-economic-outlook-update-january-2022>, (参照日: 2022年1月28日).
- 2) 内閣府, 月例経済報告, <https://www5.cao.go.jp/keizai3/getsurei/getsurei-index.html>, (参照日: 2022年2月2日).
- 3) 労働生産性の国際比較2021-プレスリリース・サマリー, 日本生産性本部, (2021年12月17日), https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/press_2021_new.pdf, (参照日: 2022年1月5日).
- 4) 国民経済計算 (GDP統計), 内閣府, <https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>, (参照日: 2022年2月3日).
- 5) 経済対策等-コロナ克服・新時代開拓のための経済対策, 内閣府, (2021年11月19日), https://www5.cao.go.jp/keizai1/keizaitaisaku/2021/20211119_taisaku_gaiyo.pdf, (参照日: 2021年12月16日).
- 6) Total production of crude steel - World total 2021, World Steel Association, https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/annual-production-steel-data/P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND, (参照日: 2022年3月18日).
- 7) worldsteel銑鉄・粗鋼生産量・時系列表2011～2020年, 日本鉄鋼連盟, https://www.jisf.or.jp/data/iisi/documents/summary_2020CY_.pdf, (参照日: 2022年1月27日).
- 8) 鉄鋼の過剰生産能力に関するグローバル・フォーラム閣僚会合が開催されました, 経済産業省, (2021年10月4日), <https://steelforum.org/events/gfsec-ministerial-report-2021.pdf>, (参照日: 2022年1月5日).
- 9) 全国鉄鋼生産高/全国鋼材生産高 (Excel), 日本鉄鋼連盟, (2022年1月21日), <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/documents/2021CY.xls>, (参照日: 2022年2月28日).
- 10) 2022年度の鉄鋼需要見通し, 日本鉄鋼連盟, (2021年12月14日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/document/s/2022tekkoujyuyoumitoushi.pdf>, (参照日: 2022年1月5日).
- 11) 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 首相官邸, (2020年10月26日), https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html, (参照日: 2022年2月8日).
- 12) ゼロカーボン・スチールへの挑戦! -2030年以降を見据えた日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策ビジョン, 日本鉄鋼連盟, (2021年4月1日), <https://www.zero-carbon-steel.com/>, (参照日: 2022年2月8日).
- 13) グリーンイノベーション基金, 経済産業省, (2021年12月), https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/index.html, (参照日: 2022年2月8日).
- 14) グリーンイノベーション基金事業-カーボンニュートラルな未来へ, NEDO (新エネルギー産業技術総合開発機構), (2021年12月20日), <https://green-innovation.nedo.go.jp/>, (参照日: 2022年2月8日).
- 15) CUUTE-1 (The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment, 地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム), 日本鉄鋼協会, <https://isij.or.jp/english/event/cuute-1.html>, (参照日: 2022年3月14日).
- 16) 鉄鋼新聞, 日本鉄鋼協会 脱炭素研究の助成制度創設, 2021年12月20日1面.
- 17) 鉄鋼新聞, 鉄鋼原料 回顧と展望, 2022年1月5日4面.
- 18) Production, Rio Tinto, (Fourth Quarter Operations review 2021), <https://www.riotinto.com/invest/financial-news-performance/Production>, (参照日: 2022年1月21日).
- 19) BHP OPERATIONAL REVIEW FOR THE HALF YEAR ENDED 31 DECEMBER 2021, <https://www.bhp.com/investor-centre/financial-results-and-operational-reviews/>, (参照日: 2022年1月21日).
- 20) VALE'S PRODUCTION AND SALES IN 4Q21 AND 2021, <http://www.vale.com/EN/investors/information-market/quarterly-results/Pages/default.aspx>, (参照日: 2022年2月14日).
- 21) 中国の鉄鋼減産の要因と今後の見通し, 日本総研アジア・マンスリー2022年1月号, <https://www.jri.co.jp/file/report/asia/pdf/13100.pdf>.
- 22) Commodities-Iron ore-About the Price, Market Index, (Iron Ore (62% CFR China)), <https://www.marketindex.com.au/iron-ore>, (参照日: 2022年1月25日).
- 23) 鉄鋼新聞, 鉄鋼この1年 (6), 2021年12月16日2面.
- 24) 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/srch/index.htm?M=35&P=0>, (参照日: 2022年1月31日).
- 25) 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: 2022年1月

- 31日).
- 26) 日本経済新聞, 製鋼用の合金鉄, 1ヶ月で8割高 中国の電力制限で品薄, (2021年10月26日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC228PY0S1A021C2000000/>
- 27) 鉄鋼需給四半期報, 日本鉄鋼連盟編, No.279~281(2021), No.282(2022).
- 28) 日本経済新聞, 国内粗鋼生産15%増 コロナ前水準に届かず, (2022年1月22日), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC215VS0R20C22A1000000/>
- 29) 経済産業省生産動態統計-2020年年計確報, 経済産業省, (2.製品月表 鉄鋼), (2021年1月31日), https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu4, (参照日: 2022年1月31日).
- 30) 鉄鋼需給の動き, 日本鉄鋼連盟, (2022年1月), <https://www.jisf.or.jp/data/jyukyu/documents/jyukyu2201.pdf>, (参照日: 2022年1月25日).
- 31) インド経済の見通し~感染第2波からの経済回復が続くも, オミクロン株の流行が下振れリスクに, (2021年12月7日), ニッセイ基礎研究所, <https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=69553?site=nli> (参照日: 2022年2月7日).
- 32) 金属素材競争力強化検討会-金属素材競争力強化プラン取りまとめ, 経済産業省, (金属素材競争力強化プラン), (2015年6月12日), https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/iron_and_steel/downloadfiles/kinzokusozaio2planhontai.pdf, (参照日: 2022年2月8日).
- 33) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(令和3年10月22日閣議決定), 環境省, (パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略), (2021年10月22日), www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/chokisenryaku.html, (参照日: 2022年2月8日).
- 34) 鉄鋼新聞, 高リン鉱石の活用技術開発 高炉3社が本格着手, 2022年2月3日2面.
- 35) 鉄鋼新聞, 鉄鋼向け耐火物生産に”黄信号”, 2021年11月4日.
- 36) 決算発表関連資料, 昭和電工株式会社, (2021年12月期第2四半期決算説明会Q & A要旨), (参照日: 2022年2月6日).
- 37) 11月, 中国ニードルコークス市場近況(2021年11月), CMI株式会社, https://www.cmicorporation.com/news/files/CMI_20211108-2-jp.pdf. (参照日: 2022年2月7日).
- 38) 国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26), 京都議定書第16回締約国会合(CMP16)及びパリ協定第3回締約国会合(CMA3)の結果について, 環境省, (2021年1月21日), <https://www.env.go.jp/press/110207.html>, (参照日: 2021年2月8日).
- 39) 地球温暖化対策-鉄鋼業界の取り組み, 日本鉄鋼連盟, (鉄鋼業界の取り組み カーボンニュートラル行動計画), <http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/>, (参照日: 2022年3月11日).
- 40) 「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」の策定について, 日本鉄鋼連盟, (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), (2021年2月15日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/20210215.html>, (参照日: 2022年2月8日).
- 41) 脱炭素化への移行に向け, トランジション・ファイナンスに関する鉄鋼分野における技術ロードマップを取りまとめました, 経済産業省, (「トランジション・ファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ), (2021年10月), <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211027002/20211027002.html>, (参照日: 2022年2月24日).
- 42) 科学技術研究調査-2021年(令和3年)科学技術研究調査-データセット一覧-企業/表番号11, 政府統計の総合窓口(e-Stat), (産業, 州別国際技術交流の対価受払額(企業)), (2021年12月17日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003321300>, (参照日: 2022年2月9日).
- 43) 科学技術研究調査-2021年(令和3年)科学技術研究調査-データセット一覧-企業/表番号11, 政府統計の総合窓口(e-Stat), (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)), (2021年12月17日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003320423>, (参照日: 2022年2月9日).

(2022年3月1日受付)

☆2021 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。

2021 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	J F E スチール(株)	骨格部品向け 1.5GPa ハイテン	冷間プレス用途として、世界で初めて自動車の骨格部品に採用された 1.5GPa 級高張力冷延鋼板。
	山陽特殊製鋼(株)	ニッケル・モリブデンフリー高強度肌焼鋼「E COMAX 5」	省合金組成で高強度であることに加え、ユーザーでの部品製造工程における各種熱処理の省略・簡略化が可能な肌焼鋼。
	日立金属(株)	高靱性・高切削性冷間ダイス鋼「SLD®-f」	自動車骨格部品における金型ニーズの多様化に対応した、被削性・靱性に優れた新冷間ダイス鋼。
		高性能ダイカスト金型用鋼「DAC-X®」	ダイカスト鑄造工程におけるハイスサイクル化に対応した、高温強度に優れたダイカスト金型用鋼。
建築向け製品	日本製鉄(株)	高耐食性めっき鋼板「ZEXEED®」	優れた耐食性を活かし、LCC 削減、国土強靱化やインフラ老朽化対策及び省工程等のニーズに応えられる Zn-Al-Mg 系溶融めっき鋼板。
	J F E スチール(株)	建築構造用低降伏比 780N/mm ² 級厚鋼板「HBL®630」	世界初の大入熱溶接が可能な建築用 780N/mm ² 級鋼板。国土交通大臣認定を取得。
産業機械向け製品	J F E スチール(株)	ニッケルフリー合金鋼粉「FM1300S」	ニッケル(以下、Ni)の含有無しでありながら、引張強さ 1300MPa 級の high 強度と、Ni 含有合金鋼粉と同等以上の靱性および疲労強度を備え、被削性にも優れた粉末冶金用途向けの Ni フリー合金鋼粉。
	大同特殊鋼(株)	積層造形金型用の高熱伝導率金属粉末「HTC®45」「HTC®40」	ダイカスト金型の造形に適した熱間ダイス鋼系高熱伝導率金属 3D プリント用粉末。
電気機械向け製品	日本製鉄(株)	高意匠性鋼板「FeLuce®」	素材表面への「華飾」ではなく、めっき層自体にヘアラインを付与する製法で金属素材感を発現させた新たな意匠鋼板。
	大同特殊鋼(株)	磁気ノイズ抑制パーマロイ箔「STARPAS®」	高透磁率なパーマロイを 30μm 以下に箔化した、kHz~MHz 帯の交流における磁気ノイズ抑制に効果を発現する金属箔。
		次世代自動車のタッチパネルに適した黒化膜用ターゲット材「STRAMESH®-β1」	独自の合金設計により耐久性と低反射を備えた車載用大画面タッチパネルに適したメタルメッシュ黒化膜用ターゲット材。
エネルギー分野向け製品	J F E スチール(株)	水素ステーション用 Type2 蓄圧器	JFE スチールと JFE コンテナが 2018 年度に国産初の商品化を完了した水素ステーション用 Type2 蓄圧器。豊田豊栄水素ステーション(愛知県)で 2020 年 12 月より運用開始。

☆生産技術のトピックス☆

2021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。

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

神戸製鋼所は加古川製鉄所第3高炉において、HBI (Hot Briquetted Iron: 還元鉄) 多配合操業の実炉実証に成功した。KOBELKCOグループの独自技術(装入物分布制御技術、高品質ペレット製造技術、AI操炉[®]技術ならびにMIDREX[®]法によるHBI製造技術)の適用により、世界最高レベルのCO₂削減量(従来比で約20%削減)を達成した。518kg/t-溶銑から415kg/t-溶銑の還元材比低減とともに、世界最小水準のコークス比239kg/t-溶銑を達成した。

還元材比低減を目的としたHBI使用は、欧州や北米で積極的に試行されてきた。しかし、高炉下部の通気低下を課題としてコークス比低減に限界があり、HBI多配合も達成できなかった。これはHBI使用によるコークス比低減に伴い、融着帯形状が悪化し、通気障害対策としてコークス比を上げざるを得なかったと推測される。神戸製鋼所では、この問題を解決するため、MIDREX[®]プロセスで製造された高品位HBIを305kg/t-溶銑(世界最高レベル)使用するに際して、高炉径方向のHBI装入位置の制御により融着帯形状を最適化した。また、世界最高水準の高被還元性ペレットの使用により還元効率を向上させた。さらに「AI操炉[®]技術」を活用して5時間先の溶銑温度を高精度に予測し、炉熱低下を予防し、低コークス比操業下での安定操業を実現した。

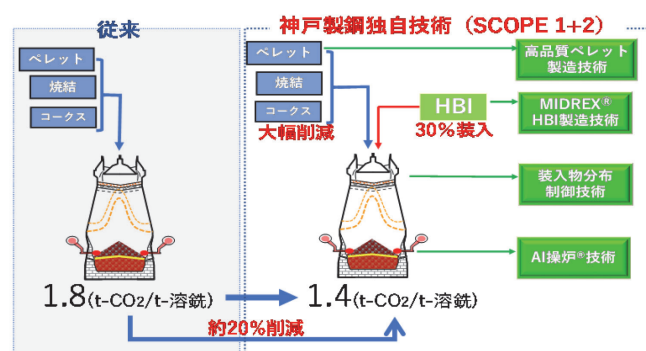


図1 CO₂低減ソリューションのコンセプト (Online version in color.)

第7連続鑄造設備稼働

JFEスチール(株)

JFEスチールは西日本製鉄所倉敷地区に新たな連続鑄造設備である、第7連続鑄造機を稼働させた。第7連続鑄造機は、世界トップクラスの大断面を有する垂直未凝固曲げ連続鑄造機であり、最新の制御機構を導入することにより、スラブ表

面から内部に至るまで非常に高品質で、かつ大断面・大単重のスラブを高効率に製造することを可能としている。

カーボンニュートラルへの取組みの中で、洋上風力発電では電力コストの削減のために、風車の大型化や基礎構造物の大型化が進んでいる。今回の新連鑄機の稼働により、高品質でかつ大断面及び、最大37tの大単重の洋上風力発電向け鋼板を製造することが可能となった。洋上風力発電用の基礎構造物製造に大単重鋼板を使用するメリットとしては、大径が10m前後にも及ぶモノパイルの溶接量や組立工数削減によるコストダウンや、製造時間の短縮等が上げられ、製造数量増加にも繋がる。よって、新連鑄機の稼働は洋上風力発電導入の促進に寄与するものと考えている。

第7連続鑄造機の建設は2017年11月に着工し、新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けたが、2021年6月に稼働した。投資金額は530億円で、生産能力は年間200万t。立上げ以降、順調に稼働しており、今後洋上風力発電事業への貢献を通じて、CO₂排出量低減に大きく寄与していく。



図2 第7連続鑄造機 (Online version in color.)

建築構造物低降伏比780N/mm²級鋼板『HBL[®]630』

JFEスチール(株)

JFEスチールは、板厚22～100mmの大入熱溶接が可能な建築構造物低降伏比780N/mm²級鋼板『HBL[®]630』を世界で初めて開発し、2021年8月に国土交通大臣認定を取得した。主な用途は、高層建築物の低層部の鉄骨柱に用いられる溶接組立箱形断面柱（ボックス柱）(図3)である。

JFEスチールは、これまでに建築物の耐震安全性の確保に寄与する建築構造物低降伏比高強度鋼板「HBL[®]シリーズ」を開発している(図4)。『HBL[®]630』は、独自の化学成分設計と、高度な冷却制御を可能とする新焼入設備「Super-RQ」による革新的な再加熱焼入技術を活用した組織制御により、世界最高グレードの780N/mm²級強度と高変形性能(低降伏比)の両立を実現した厚鋼板である。さらに、高効率な大入熱溶接(最大入熱：～100kJ/mm程度)を780N/mm²級鋼板

として初めて可能とし、ボックス柱の溶接に要する時間の大幅な短縮を実現した。

『HBL®630』は、建築物の超高層化や大スパン化（建造物の柱間の距離拡張）を可能にし、快適な大空間の確保など、建築物の設計の自由度を上げてデザイン性を高めることに貢献するとともに、建設業界で深刻化する現場溶接工の不足に対する省力化のニーズにも応え、今後の超高層ビルの建設に大きく寄与すると期待される。

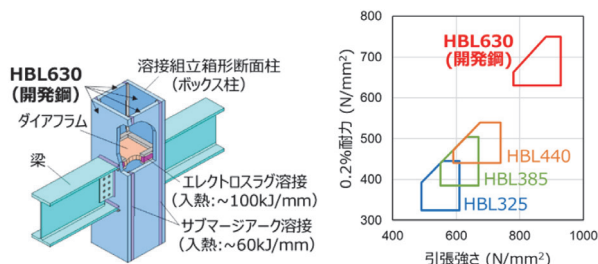


図3 溶接組立箱形断面柱 (ボックス柱)
(Online version in color.)

図4 HBL®シリーズ性能比較 (強度特性)
(Online version in color.)

ハイテンの熱間連続圧延技術

JFE スチール (株)

JFE スチールは、高張力鋼板 (以下、ハイテン) の熱間連続圧延技術 (以下、エンドレス圧延) を開発した。エンドレス圧延では、粗圧延機と仕上げ圧延機との間に設置した接合装置で先行材と後行材のコイル先端を接合し、仕上げ圧延機に複数のコイルを連続的に装入する事ができる為、コイル先端の無張力部を低減可能であり、鋼板形状や通板性が大きく向上する。

しかしハイテンへの適用にあたっては、機械的特性の向上を目的に添加している合金元素 (Si, Mn 等) の影響で接合界面の強度および延性が低下するため、仕上げ圧延時に破断するという課題があった。JFE スチールは破断原因となる接合界面に形成される合金元素酸化物を効率的に排出可能な独自の接合技術の開発により、ハイテンへのエンドレス圧延技術の適用を実現した。本技術は東日本製鉄所 (千葉地区) 熱延工場に導入されており、ハイテンの安定生産および生産性向上に寄与している。

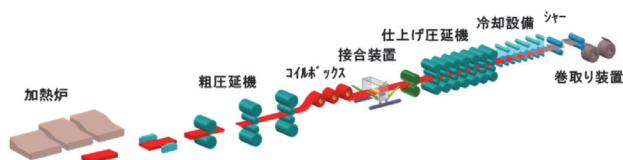


図5 エンドレス圧延設備の概要 (Online version in color.)

次世代鋼製自動車に対応するソリューションコンセプト

“NSafe®-AutoConcept” 技術の開発

日本製鉄 (株)

日本製鉄は、2019年に発表した次世代鋼製自動車ソリュー

ションコンセプト“NSafe®-AutoConcept (以下、NSAC)”の技術開発を大きく進化させている。

具体的には、NSACを構成する加工技術群 (NSafe®-FORM シリーズ) の拡充を進め、「せん断成形工法」では、世界で初めてとなる難成形部品フロントサイドメンバーへの1180MPa級ハイテンの適用を実現し、「自由曲げ工法」と「フランジ連続化工法」で市村産業賞貢献賞を受賞 (2021年4月) した。さらに、NSACの主要要素技術群に、評価・解析技術としてMBD (Model Based Development) に貢献するバーチャル設計技術を、新たにメニュー化した。また、CASE、MaaSに対応する電動車向け“NSafe®-AutoConcept xEV”や多種多様な次世代モビリティ向け“NSafe®-AutoFrameConcept”を新たに構築した。

地球環境意識の高まりから、NSAC技術を提案する際には、LCA (Life Cycle Assessment) による温室効果ガス排出量削減効果を定量評価する取り組みも合わせて開始した。

日本製鉄は、技術開発を進化させ、NSACの提案技術の拡充を進めている。それにより、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軽量化を実現し、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く。

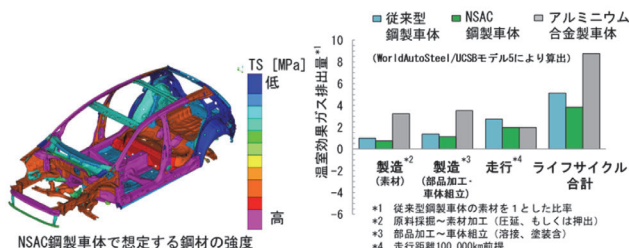


図6 NSAC鋼製車体で想定する鋼材の強度とLCAによる温室効果の排出量評価 (Online version in color.)

出所: 日本製鉄 web サイト

高感度磁気ノイズ抑制シート「STARPAS®」

大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼は、MHz帯までの周波数域において世界最高レベルの磁気ノイズ抑制を有するパーマロイ箔「STARPAS®」を商品化した。

ノイズ問題は、多様なデジタル機器の登場で機器間の干渉による誤動作など、より複雑化した。今後、EV化や自動運転の進展とともに、更に深刻化することが考えられる。

ノイズは、直流付近では磁界波が主流であり0.1mm以上の軟磁性鋼板でシールドされる。一方、数10MHz以上の周波数では電磁波となり、アルミ等の良導体の金属板などが適用される。近年、ワイヤレス給電や電源・インバータ機器の普及により数10kHz～数10MHzのノイズ対策の重要性が増加した。電磁波は高い周波数で表皮効果により材料表面のみに集中し、厚い鋼板は適さない。このため、30μm厚以下のアモルファスやナノ結晶材が使用されるが、これらは加工性に課

題がある。また、ノイズの複雑化により半導体レベルのデバイスへの対策として数10 μ m厚のスペースへ加工できる対策が必要とされてきた。

これに対して、大同特殊鋼は、自社で製造する最も高感度なパーマロイ材を30 μ m厚以下へ冷延加工してその金属組織を微細化し、磁気焼鈍により交流の磁気特性を最適化した。これにより、数10MHz帯までの高い磁気シールド性に加工性の良さを兼ね備えた商品を実現した。また、比抵抗が低く、数10MHz以上の周波数でもアルミと同等以上の電磁波のシールド性も有している。今後、更なるラインナップ化で社会のノイズ対策に貢献していく。

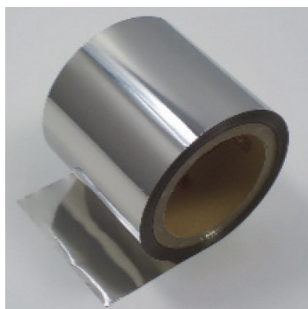


図7 「STARPAS®」の外観 (Online version in color.)
出所：大同特殊鋼web サイト

冷間プレス用1.5GPa級高張力冷延鋼板

JFEスチール (株)

車体衝突時の乗員保護と軽量化による燃費改善のため、980MPaを超える高張力鋼板を車体骨格部品に適用する動きが加速し、近年では1.5GPaを超える強度部品も増加している。1.5GPa以上の部品強度を得るための工法として、鋼板を高温に加熱して、そのままプレス型の中で急冷して高強度化する、熱間プレス工法が普及しているが、プレス後にマルテンサイト変態が完了するまで金型で押さえておかねばならないため、冷間プレス品と比べて生産能率が低いという課題があった。

JFEスチールは独自のWQ (Water-Quench) 方式の連続焼鈍プロセスの高い冷却能力を活用し、フルマルテンサイト型冷間プレス用1.5GPa級高張力冷延鋼板 (1.5GPa-MS) を開発した。WQ方式を採用した開発鋼は炭素や焼入れ元素の添加を抑制できるため、効果的に高強度化が可能であり、スポット溶接性に加え、遅れ破壊特性も優れた性能を有する。また急速冷却により鋼板の微視組織の不均一性を極限まで低減したことで、優れたプレス成形性 (穴広げ性、曲げ性) も有している。このように優れた加工性と遅れ破壊特性を具備した1.5GPa-MSは、クロスメンバーレインフォースやルーフセンターレインフォースなど、衝突時の変形抑制が必要なキャビン構成する部品に適用が可能であり、低コストの冷間プレス用途として世界で初めて自動車骨格部材に採用され、実車

への適用が進んでいる。

本開発鋼は、部品の衝突性能が飛躍的に向上するため、部品性能を維持しつつ、薄肉・軽量化が可能となり、1180MPa材からの材料置換で板厚が1.6mmから1.4mmに低減 (約13%軽量化) が期待される。また高い降伏強度を有する本開発鋼は熱間プレス部品代替も可能であり、加熱工程省略による部品製造時のCO₂排出量削減にも貢献できる。

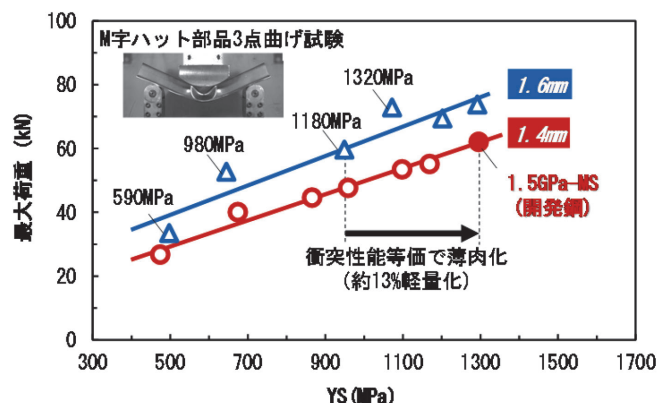


図8 素材YSと衝突性能の関係 (Online version in color.)

ストレスリバーズ™工法

JFEスチール (株)

JFEスチールが開発した「ストレスリバーズ™工法」が、レクサスNXルーフセンターリフォースにおいて、冷間プレスによる車体骨格部品の強度としては世界最高レベルとなる、1.5GPa級高張力鋼板のスプリングバック抑制成形工法として採用された。

一般的に鋼板のプレス成形時においては、スプリングバックとよばれる成形後に元の形に復元する現象への対処が必要になる。超高張力鋼板は車体軽量化に大きく貢献する素材であるものの、通常の鋼板に比べスプリングバックが大きくなるため、スプリングバック後に正しい部品形状となるよう金型形状をより精密に設計する必要があり、事前の金型製作には多大な時間やコストがかかっていた。

そのため、お客様においては超高張力鋼板であってもスプリングバックを抑制する成形工法に関する強いニーズがあり、それに応えるためのプレス成形工法を開発した。一般的に、プレス成形時に材料に残る応力が小さいとスプリングバックは小さくなる。今回採用された「ストレスリバーズ™工法」は、バウシinger効果とよばれる変形を逆にした直後の変形応力は小さくなるという鋼板特性を活かし、プレス成形時に材料に残る応力を低減させることを特徴とする技術である。「ストレスリバーズ™工法」は、2021年度日本塑性加工学会論文賞を受賞しており、学術的にも高く評価されている。



図9 ルーフセンターリフォース (Online version in color.)

プレート式熱交換器向け極薄スーパー二相ステンレス鋼板

日本冶金工業 (株)

日本冶金工業は、石油精製設備用プレート式熱交換器 (PHE) 向けにスーパー二相ステンレス鋼 NAS74N 及び、独自開発した NAS74NU (いずれも UNS S32750) のコイル製品 (0.8mm 厚×1000mm 幅) を提供した。NAS74N 及び NAS74NU は耐孔食指数 (PRE*) が 40 以上と SUS329J3L や SUS329J4L より耐食性に優れるため化学プラントや海水淡水化プラント等に用いられている。NAS74NU は Mo 量を規格範囲内で高めることで、より厳しい環境での適用を可能としたもので、二相ステンレス鋼の耐食性と靱性に大きく影響する σ 相の析出挙動を大きさ $0.1\mu\text{m}$ 、精度 0.1% まで定量評価し得た知見を元に、従来のスーパー二相ステンレス鋼に比べ σ 相の析出や相比の変化を抑えるよう独自に合金設計した高機能材である。

スーパー二相ステンレス鋼は耐食性に優れるものの、硬質で加工性 (成形性) にやや劣るため、用途が限定されることがある。加工性を求められるプレート式熱交換器ではオーステナイトステンレス鋼が採用される場合が多くあるが、成分調整以外に熱処理条件など製造工程全般も見直すことで加工性の課題をクリアした。今後とも同用途への継続した採用拡大を見込んでいる。また、現在も溶接部を含む耐食性の評価を顧客と共同で継続実施している。

* PRE = % Cr + 3.3 × % Mo + 16 × % N



図10 石油精製設備用プレート式熱交換器の使用例 (Online version in color.)

次世代自動車に適したメタルメッシュ黒化膜用ターゲット材 STARMESH®-β1

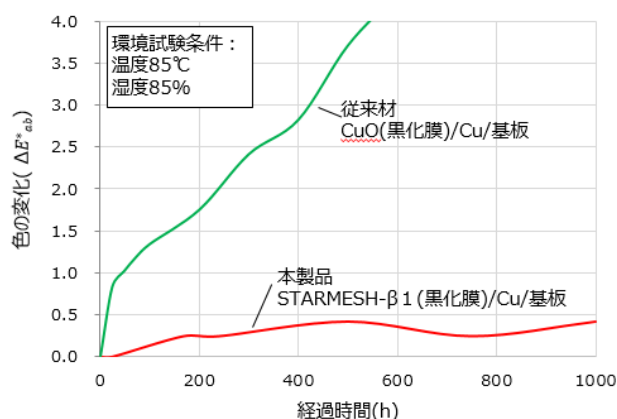
大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼は、次世代自動車に適した低反射で信頼性の高いタッチパネル用配線黒化膜を製造可能なターゲット材を開発した。

スマートフォンなどのタッチパネルの透明電極には一般的に ITO (Indium Tin Oxide 酸化インジウム錫) が使用されているが、次世代自動車に適した大画面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。

これまでの黒化膜は、長期間過酷な環境に曝されると変色により視認性を悪化させる課題があったが、今回、ターゲット材の合金組成と成膜条件の最適化によって、低反射率 (10 ~ 20%) と高信頼性 (環境試験 (条件: 85℃、85% RH、1000 時間) で変色無し) を両立した黒化膜を製造できるターゲット材を開発した。

今後、低反射のメタルメッシュは、新たなタッチセンサーとして 5G 通信用の透明アンテナや、透明ノイズシールドなど、次世代自動車の機能向上の場面で活躍が期待される。

図11 STARMESH®-β1の変色耐性 (Online version in color.)
出所: 大同特殊鋼製品カタログ

新高耐食めっき鋼板「ZEXEED®」(ゼクシード)の開発

日本製鉄 (株)

日本製鉄は2000年に溶融亜鉛めっき鋼板をベースに Al と Mg、Si 等を添加した高耐食 Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板 (スーパーダイマ®、ZAM®) を開発商品化した。その国内外累計販売量は約 1,500 万トンにのぼり、建材や自動車、家電等の幅広い分野で採用されている。他方、マーケットからは更なる高耐食性ニーズが寄せられていたことから、日本製鉄は、2021 年 10 月に新高耐食 Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板 ZEXEED® を

商品化した。ZEXEEDは、溶融亜鉛めっきの10倍以上、従来の高耐食めっきの2倍以上の耐食性を有し（図13）、加えて、従来の高耐食めっき鋼板が苦手としていた流水環境や水滴下環境でも優れた耐食性能を示す。この飛躍的な性能向上は、めっき層中のAlとMgの比率を高め、めっき自体の溶出抑制は勿論、めっき腐食によって生じる保護皮膜を緻密化し水分等の透過をも抑制させることで実現した（Mg添加量は加工性等の商品性能バランスも考慮し最適な6%とした）。

日本製鉄は、ZEXEEDの優れた耐食性を活かして、製品の長寿命化によるライフサイクルコスト削減や、国土強靱化や社会インフラ老朽化対策、労働人口の減少に伴う省工程・省力化、CO₂低減効果等、お客様と社会の様々なニーズに応えていく。

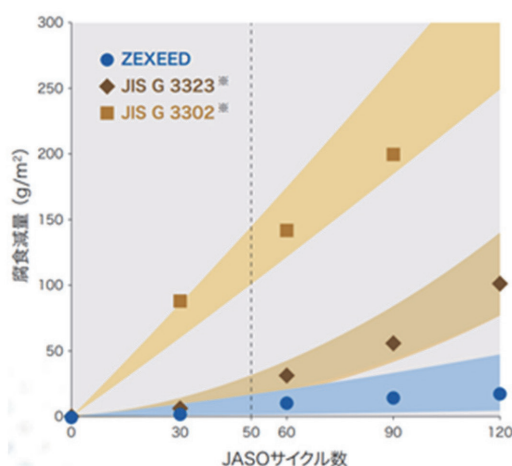


図12 各めっき鋼板のJASO試験における腐食減量推移 (Online version in color.)
出所：日本製鉄webサイト

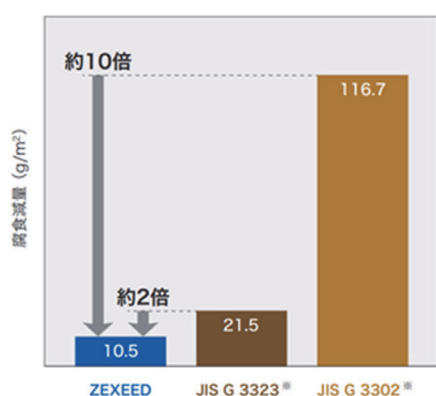


図13 JASO 50 サイクル腐食減量 (Online version in color.)

加古川製鉄所 第3CGL 営業運転開始

(株) 神戸製鋼所

神戸製鋼所は2021年3月より、加古川製鉄所薄板工場において、第3CGL（溶融亜鉛めっきライン：Continuous Galvanizing Line）の営業運転を開始した。本設備は、自動車

用超ハイテン鋼板の需要拡大を見据えた生産能力の拡大と、将来的な更なる高強度化、高加工性ニーズへの対応を実現可能とする設備である。

自動車メーカーは、世界的に高まる燃費規制と衝突安全基準の厳格化への対応のため、「車体の軽量化と高強度化」を推進しており、それらに資する自動車用ハイテン鋼板の需要拡大、並びに機能向上へのニーズは、カーボンニュートラルへ向けた動きの加速とともに、今後益々高まっていくと想定される。

第3CGLは、冷延鋼板および溶融亜鉛めっき鋼板兼用製造ラインであり、最新鋭の熱処理機能を有することで、お客様のニーズに即した冷延および溶融亜鉛めっきの高加工性超ハイテン鋼板の生産が可能である。



図14 第3CGL建屋外観 (Online version in color.)

部品製造工程の省略・簡略化を実現する「ECOMAX5」を開発 山陽特殊製鋼（株）

山陽特殊製鋼は省合金型の高強度ギヤ用肌焼鋼「ECOMAXシリーズ」の新たなラインナップとして、「ECOMAX5」を開発した。

ECOMAX5はこれまでの同シリーズと同様、成分バランスと鋼材製造時の操業条件最適化により、Ni・Moを非添加としながら高強度を有する。特にギヤ歯面のピッチング疲労寿命に対しては一般的な肌焼鋼の5倍以上の長寿命であり、EV駆動部等のギヤが高速回転する過酷な潤滑環境においても部品の小型・軽量化への貢献が期待される。

さらにECOMAX5はその成分設計によって、ギヤ部品の製造工程に対しても優れる特性を実現した。例えば冷間鍛造の際、加工性確保のために行う「球状化焼鈍」では、一般的な肌焼鋼に対して処理時間を大幅に短縮できる。また、焼鈍後の組織中では球状化炭化物が均一分散するため、冷間鍛造において割れが発生し難く、ニアネット成型と高相性である。さらに浸炭時の耐結晶粒粗大化特性に優れることから、一般の肌焼鋼で結晶粒度安定化のために通常実施される浸炭前の

「焼ならし」を省略でき、さらに浸炭温度の高温化による処理時間の短縮にも期待できる。これらの特性によって部品製造工程の大幅な簡略化が可能であり、コスト低減やCO₂排出削減への貢献が期待できる。

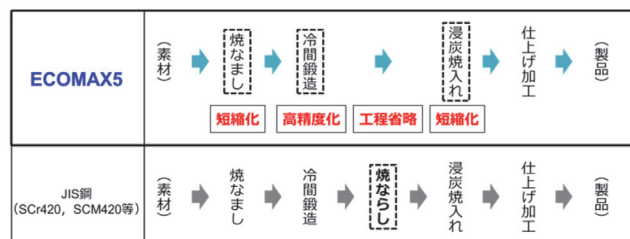


図15 ECOMAX5の適用による部品製造工程の簡略化(一例) (Online version in color.)



図16 厚板自走式超音波探傷ロボット (Online version in color.)

厚板自走式超音波探傷ロボットの開発

JFE スチール (株)

JFE スチールは、厚板自走式超音波探傷ロボットを世界で初めて開発、厚板オフライン探傷プロセスに導入し手動探傷作業を自動化することで、検査信頼性と作業効率のさらなる向上を実現した。

鉄鋼製品の品質向上は重要な課題であり、欠陥の無い製品をお客様に提供するため、様々な検査装置の開発・導入に取り組んできた。厚板内部の超音波探傷検査には、従来からオンライン自動探傷(専用装置)が適用されてきた。一方、板厚等の制約から、熟練者によるオフライン手動探傷も一部で適用されてきたが、人手では厚板上で検査機器を動かす精度、検査結果を記録する正確性、および作業効率などに限界があるため、検査信頼性と作業効率のさらなる向上が課題となっていた。

自走式ロボット方式であれば厚板のサイズ制約なし・配置精度不要、探傷処理数にも柔軟に対応可能等、メリットが非常に大きいと、本ロボットを開発・導入した。

本ロボットは、屋内型の高精度自己位置認識システムを採用した。JFE スチールにて開発済みの自律走行技術をベースに、厚板上のロボット目標位置と現在位置の差分を連続認識し、自己位置を補正制御しながら目標ルートを自動で高精度追従しつつ超音波探傷を実施する。厚板上での移動パターンはスイッチバック方式を採用しており、最エッジまでの探傷も可能である。ロボット重量は小型・軽量設計を追求した結果20kg/台を実現しており、人力で運搬可能なため高い運用性も確保している。

本ロボットの導入により探傷動作から合否判定に至るプロセスを自動化することができるため、検査信頼性をオンライン自動探傷検査と同等まで向上させるだけでなく、作業を自動化・効率化することが可能となった。検査結果はデジタルデータで自動保存されるため、トレーサビリティの向上、および品質トレンド管理の簡易化にも寄与している。

テクスチャ解析型鋼板表面検査装置

JFE スチール (株)

JFE スチールは、人間の視覚認知に基づく画像処理技術をオンライン検査に適用した「テクスチャ解析型表面検査装置」を開発し、西日本製鉄所(倉敷地区)の溶融亜鉛めっき鋼板の製造プロセスにおいて稼働を開始した。

鋼板の表面欠陥の検出にあたっては、複数の光源とカメラを用い、撮影した画像の濃淡の違いによって、正常部と欠陥部を区別する画像式表面検査装置を導入することで、検査の自動化を通じた欠陥検出精度の向上を推進してきた。一方で、濃淡差がわずかな場合は欠陥の検出が難しく、目視検査を一部併用せざるをえなかったため、欠陥検出性能のさらなる向上が課題となっていた。

今回開発した表面検査装置は、人間の視覚認知に基づき、撮影した画像と、様々な長さ・向き・縞模様との類似度を計算し、その結果を統計的に評価することで、欠陥部を抽出することを特徴としている(図17)。正常部との模様の違いを異常度として定量化することで、従来の表面検査装置では自動検出することが難しかった濃淡差が少ない欠陥についても、自動で検出することが可能となった。今後も本装置の展開を進め、目視検査の自動化による確実な表面欠陥検出によって、鋼板の表面品質向上に努める。

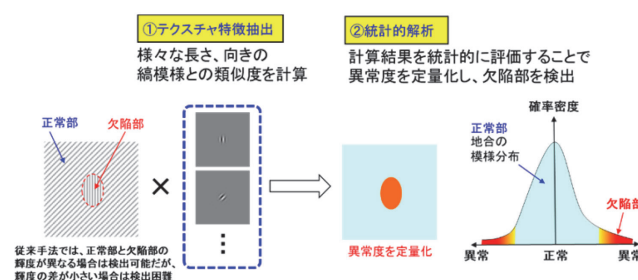


図17 テクスチャ解析型表面検査装置の仕組み (Online version in color.)

出所: JFE スチールWeb サイト

特殊鋼製品の更なる信頼性向上に資する 清浄度評価技術を開発

山陽特殊製鋼(株)

山陽特殊製鋼は、カーボンニュートラルに向けた自動車の電動化推進や風力発電の拡大等を背景とした特殊鋼製品に対する清浄度向上へのニーズの高まりを受け、特殊鋼製品の更なる信頼性向上に資する新たな清浄度評価技術を開発した。

本技術は、ベアリングをはじめとする機械構造部品の疲労寿命に影響を及ぼす特殊鋼の清浄度を、迅速かつ正確に測定する方法として確立されたもので、鋼中に低頻度で存在する、疲労破壊の起点となりうる大型介在物が内包される確率を高めるべく新設計した、大型超音波疲労試験片を用いた評価技術である。この開発した大型試験片と水素チャージによる鋼の水素脆化を組み合わせることで、市販の超音波疲労試験機を用いた試験片の迅速破断から大型介在物を現出させることができ、さらに極値統計法を組み合わせることで、鋼材中に含まれる最大介在物の大きさをこれまで以上の高い精度で推定することを可能とした。

本技術を通じて、特殊鋼製品の更なる清浄度向上に向けた製造技術の開発や、最大介在物の大きさから導き出される疲労強度の定量的な予測にもとづく部品設計最適化への貢献が期待できる。

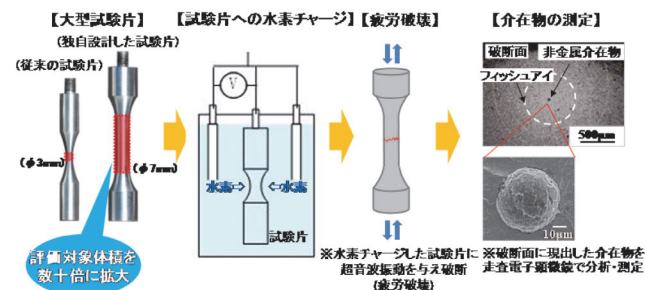


図18 清浄度評価方法のフロー図 (Online version in color.)

水素ステーション用 Type2 蓄圧器

JFE スチール(株)

日本では世界に先駆けて水素ガスを燃料とする燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle:FCV)普及の取組みが行われてきた。近年、燃料電池バス(FCバス)が実用化し、FCVの製造能力も拡大しており、近未来には黎明期から普及期へ移行する。普及期では黎明期と比較して水素ステーションからFCV・FCバスに短時間で多量の水素を供給する必要がある。短時間(約3分)で水素を供給するためには、一時的に高压で水素を貯蔵する“蓄圧器”が不可欠である。

JFE スチールはJFE コンテナ(株)と共同で、従来よりも多量の水素貯蔵が可能なType2蓄圧器を日本で初めて実用化した。極厚シームレス鋼管にCFRP層(炭素繊維:三菱

ケミカル(株)社製)を巻き付ける、鋼-CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)複合容器であり、一般的な仕様(圧力範囲50-82MPa)よりも広い圧力範囲(35-93 MPa)で圧力変動回数12万回まで使用可能という高性能化を達成した。また、蓄圧器端部を絞らないストレート形状で広開口部とし、蓄圧器内面検査時に検査機器を容易に挿入でき、ランニングコスト低減にも寄与すると考えられる。

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の水素利用技術研究開発事業(平成25～平成29年度)の一環として行った。

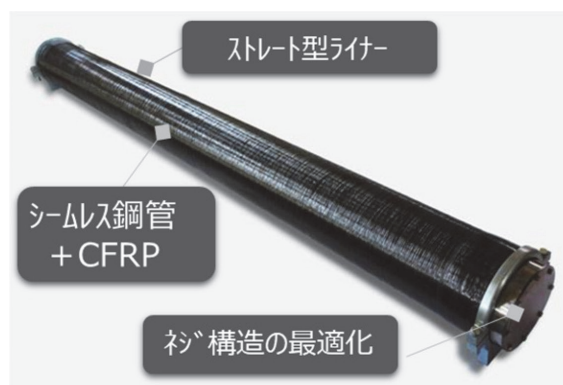


図19 Type2蓄圧器の外観 (Online version in color.)

SUS316L(Ni当量指定)と同等の耐水素ガス脆化特性を有し価格安定性に優れた高強度省資源オーステナイトステンレス鋼NSSC STH[®]2

日鉄ステンレス(株)

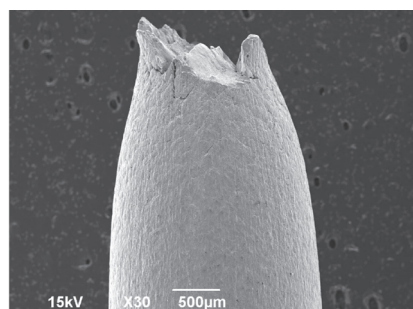
日鉄ステンレスは来るべき水素社会実現のために耐水素ガス脆化特性に優れた高強度・省合金型(低Cr低Ni省Mo)オーステナイト系ステンレス「NSSC STH2」を開発・商品化した。水素社会実現のためには水素の製造・輸送・貯蔵、利活用まで一貫したサプライチェーンの構築が不可欠であるが、水素ステーションでの鋼材使用環境は厳しく、現在はオーステナイト相の安定度をNi当量で規定したSUS316L、316が例示基準化されている。しかしながら水素社会実現のためには材料を含めたトータルコストのより一層の合理化が必要とされている。

本鋼は上記観点から、日本製鉄(株)との共同実施の下、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトに参画して開発したものであり、高压水素ガス環境下でSUS316L Ni当量規定鋼と同等の耐水素脆化特性を有している。

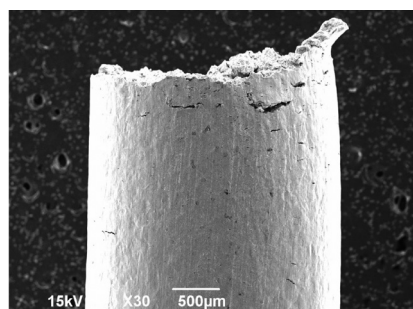
本鋼の基本成分系は「15Cr-7Ni-9Mn-N」であり、Mn、N添加によりSUS316L Ni当量規定鋼と同等の耐水素脆化特性を確保するとともに、原料価格変動の大きいCr、Ni、Mo添加量をSUS316Lより約40%少なくすることで、

鋼材価格安定性を図っている。また、母材強度（耐力値）を SUS316L の約 1.5 倍に高めているため、溶接部を含めての設計板厚の低減・機材軽量化によるコスト合理化が可能と考えている。

日鉄ステンレスの製造する薄板・厚板・棒線の三分野共に材料提供が可能であり、現在の社会実装段階からの水素社会実現に対して貢献することを期待している。



(a) NSSC STH2



(b) Ni 当量 SUS316 相当

図 20 低速度引張試験 (SSRT) 後の試験材側壁 -40°C、70MPa 中 (NEDO の「水素利用技術研究開発事業」にて実施)

地盤改良用微粒フェロニッケルスラグ

日本冶金工業 (株)

ステンレス鋼の原料であるフェロニッケルを製錬する際に副産物として生産されるスラグは、土木材料やコンクリートの原材料である骨材として広く活用され、最近はショットブラスト材として多く使用されています。しかしながら、製造過程で発生する微粒スラグは、日本冶金工業の製錬方法であるクルップレン法特有の生産物で平均粒径が 75μm と細かいものであるため、用途が限定的で埋め戻し材としての活用に留まっていた。一般的にも製錬・製鋼分野で生産される微粒スラグは用途開発の難易度が高いため、発生を抑える方向での生産が指向されてきました。

このため、2018 年より立命館大学建山研究室・前田建設工業 (株) を主体とした共同研究を実施し、環境安全性が高いことと特有な新しい物理的性質を見だし、日本土木学会に 8 件の発表を行いました。特に、製錬後の冷却過程で生成させた多数の空孔と粉碎により得られた複雑な形状によるものと考えられる締め固め特性は特有で、土工材料として優位な

材料特性を有します。具体的には、軟弱地盤にブルドーザー等で層状に敷き広げて転圧するだけで、微粒間に存在する水の作用で締め固まり、建設機械等の走行が可能となります。従来はセメントを使用し固化するまでの養生期間が必要で、工期の大幅な短縮と固化設備が不要で省エネルギーが実現できます。この微粒スラグの空孔については、空孔も含めた比表面積を測定すると、微細な空孔まで測定可能な Kr ガス吸着法では通常の測定が終了しない程大きく、N₂ ガス吸着法で 3 ~ 6m²/g と大きいものでした。また透水性も優れており、気候変動に対応した土木材料としても期待され、今後も技術開発に注力しています。

積層造形金型用の高熱伝導率金属粉末 「HTC[®]45、HTC[®]40」

大同特殊鋼 (株)

アルミニウムダイカスト (以下ダイカスト) では金型表面を均一に冷却することを目的に冷却回路を自由に配置できる SLM (Selective Laser Melting) 方式の金属 3D プリンタの活用が進んでいる。通常ダイカスト金型には SKD61 が用いられている。3D プリンタでは造形中に造形物は焼入れられ、大きな熱応力が発生する。SKD61 の様に炭素量が高く、造形したままの硬さが 55HRC 程度まで硬化する鋼種は割れやすく、造形が極めて難しかった。このためダイカスト金型の 3D 造形には従来マルエージング鋼が使用されてきた。一方、マルエージング鋼は SKD61 に比べて熱伝導率が低く、熱応力に起因した損傷が発生するダイカスト金型には適していない。

HTC[®]45、HTC[®]40 は高温強度や焼入れ性に寄与するクロム、モリブデンなどの合金元素は SKD61 と同等添加しながらも炭素量を低減して焼入れ硬さを低減した。造形したままの硬さは HTC[®]45 で 46HRC、HTC[®]40 では 42HRC 程度で SKD61 に比べて造形時の割れ発生頻度を大幅にできる。また、造形後の焼戻しにより HTC[®]45 で 50HRC、HTC[®]40 で 45HRC の最高硬さが得られる。さらにケイ素添加量を低減することにより室温でマルエージング鋼の 2 倍、SKD61 の 1.5 倍の熱伝導率を有し、高性能なダイカスト金型を 3D 造形することが可能である。

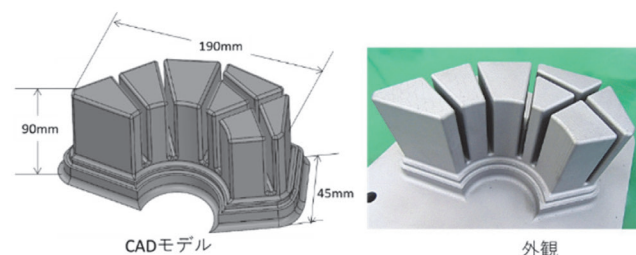


図 21 HTC[®]45 による模擬型造形例 (Online version in color.)
出所: 大同特殊鋼 web サイト

高強度と高靱性を兼ね備えたニッケルフリー合金鋼粉『FM1300S』

JFEスチール (株)

JFEスチールは、Niフリーでありながら、引張強さ1300MPa級の高強度と、Ni含有合金鋼粉と同等以上の靱性を備え、被削性にも優れた粉末冶金用途向けの合金鋼粉『FM1300S』を開発した。焼結部品には、Niが4%含まれる合金鋼粉 (図22) が広く使われているが、焼結後に被削性が悪化して加工費が増加するだけでなく、Niの市況影響を受けやすい。一方で、1300MPa級の引張強さが要求される部品には、高温焼結 (1250℃前後) が必要になってしまうことから、部品製造時のさらなるコスト低減が求められていた。これらの課題を解決するため、JFEスチールはMo粉を拡散付着させた高純度純鉄粉に、微細なCu粉を混合した合金鋼粉『FM1300S』を開発した (図22)。微細なCu粉および粒子表層のMo粉が焼結を促進するため、普通焼結 (1130℃) でも、引張強さ1300MPaを超える高強度化に成功した (図23)。これにより、従来の高温焼結で製造された引張強さ1300MPa級焼結部品に比べて、大幅なコスト低減だけでなく、エネルギー使用量やCO₂排出量の削減も可能となり、SDGsへの貢献も期待される。

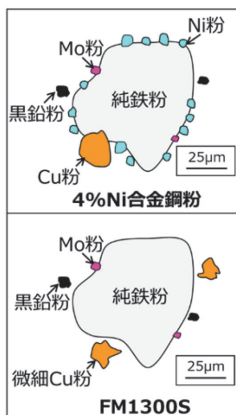


図22 粒子構造イメージ図
(Online version in color.)

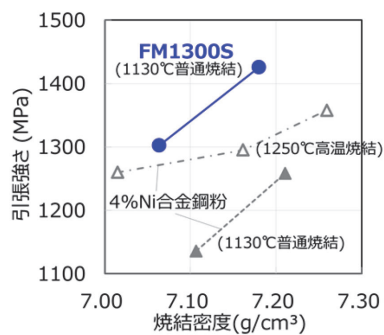


図23 焼結密度と引張強さ
(Online version in color.)

抗菌性ステンレス商品群のシリーズ化及び抗菌性ステンレス鋼板「NSSC®AM-3」にウイルス抑制効果を確認

日鉄ステンレス (株)

日鉄ステンレスは、鋼板自体に抗菌性を有する「NSSC AM-3」(18Cr-9Ni-3.8Cu)、「NSSC AM-1」(17Cr-1.5Cu-Nb)、さらに抗菌性・防汚性・防カビ性を有するクリヤー塗装を施した「NS-COAT-AM」の独自抗菌性ステンレス商品を「NSSC AMシリーズ」と体系化した。

また、上位鋼種である「NSSC AM-3」は、抗菌性に加えて、第三社機関の性能試験にてウイルス抑制効果も確認された。

NSSC AM-3、NSSC AM-1は、鋼に一定量抗菌効果を有する銅添加を行い、製造プロセス内の熱処理により銅を鋼中全体に微細分散析出させ、その銅イオンが表面から溶出することで汎用ステンレス鋼板よりも安定した抗菌性や抗ウイルス性 (細菌やウイルスの増殖抑制) を発現させている。

NS-COAT-AMは、クリヤー塗膜に銀を添加することで、同様に水分で銀イオンが溶出し抗菌性を発現する。加えて防汚性、防カビ性の機能もクリヤー塗膜に付加されている。抗菌性および抗ウイルス性は、それぞれJIS Z 2801に準拠、ISO 21702に準拠した規格にて第三社機関で性能試験を実施・確認されている (*1)。

NSSC AMシリーズは、ステンレスの美しさ、清潔感、耐久性に抗菌性や抗ウイルス性を付与したステンレス鋼板であり、昨今の衛生意識の高まりの中、人が触れる用途を中心に食品、医療、家電、建材等幅広い用途で再注目を集めており、需要拡大が期待される。

(*1) 抗菌・抗ウイルス性能は全ての細菌、ウイルスに対して発現するものではない。



図24 抗菌SUS適用例 シェラカップ (Online version in color.)