

2020年鉄鋼生産技術の歩み

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2020

(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

2020年は、新型コロナウイルス、COVID-19のパンデミック(以後、コロナ禍)という災厄が人類を襲った。この災厄は、経済に甚大な被害をもたらし、社会の有様にも多大で多様な変化を強要した。

世界経済はコロナ禍の影響で極めて大きな経済縮小を経験した。2020年の対前年の実質成長率は、世界全体で-3.5%であり、日米欧印がマイナス成長の中プラス成長だったのは中国であった¹⁾。2019年末に中国・武漢で感染が初めて確認されたCOVID-19²⁾は、瞬く間に世界中に拡大、苛烈なパンデミックとなった³⁾。その結果、中国始め世界各地で大規模な都市封鎖や行動制限等が実施され経済活動が停滞した。その後、行動制限の緩和等による経済回復が始まり、2021年は世界全体で+5.5%成長と予測されている¹⁾。ワクチンによる収束期待はあるが新たな感染やウイルスの新しい変異株の恐れが経済回復にとって懸念要因となっている¹⁾。また、米中対立に伴う貿易摩擦が米国の政権交代でどう変化するかも見通しを不透明にしている。

日本経済も、昨年はコロナ禍により大幅に減速した。46月期は実質-27.8%の減速となり、戦後最大の減少率⁴⁾であった。1990年代半ばから名目GDPがほぼ水平飛行となっている日本経済⁵⁾は、まさに「失われた30年」の中にいる。欧米各国には1997年から2019年の間で名目GDPが約2倍から数倍増加する国がある中で⁶⁾、日本は約3%増でしかなく⁵⁾、経済開発協力機構(OECD)加盟国でも平均賃金は加盟国平均以下の下位に低下⁷⁾、貧困化が進んでいるとの指摘も散見される。

このような長期経済推移の中、2019年10月の消費税増税

による消費の落ち込み、米中経済摩擦、そこにコロナ禍による経済活動の停滞が重なった⁸⁾。デフレ脱却にも有効な需要増にも繋がる公共投資は1995年度をピークに2011年度には半減⁹⁾、国土強靱化の動きで2019年度に約6割となったが⁵⁾、例えば、新幹線の整備は2019年で約4割の進捗^{9,10)}と依然、計画値に達していない。公共投資の見通し等からも、名目GDPの力強い長期の成長を予測する報告はあまり見当たらない。短期的には、2021年は2020年の落ち込みの反動はあるものの、コロナ禍の再拡大懸念もあり回復のペースは緩慢なものになるとの見通しが幾つか見られる^{1,8,11)}。

昨年の国別粗鋼生産量のトップ10は表1の通りである¹²⁾。1位から3位の序列は2018年以来変わらず、粗鋼生産量は世界合計で、18億6,398万トン(前年比-0.9%)とわずかに減少した。中国の粗鋼生産量は、2019年に続き10億トンを突破した。インドの粗鋼生産量は、2017年から3年連続1億トンを超えていたが、2020年は1億トンを下回ることとなった。

我が国鉄鋼業の2020年の粗鋼生産量は大幅減となった。1972年に1億トンを越えて以来、年間約1億トンレベルをほぼ毎年維持していたが、コロナ禍による鋼材需要の減少を受けて、2020年は8,319万トン(対前年-16.2%)となり、リーマンショック後の8,753万トン(2009年)を下回った¹³⁾。

国内高炉は、2020年4月の日本製鉄(株)と日鉄日新製鋼(株)の合併により、日本製鉄、JFEスチール(株)、(株)神戸製鋼所の3社体制となった。各社構造対策による固定費削減を継続して追求しているが、コロナ禍の需要減でさらに厳しい試練が課された。日本製鉄が呉の全設備休止を、JFEスチールが京浜の上工程休止を相次いで決定、その他合わせて約900万トンの粗鋼生産能力が削減され、鋼材内需増加が期待できない中、能力絞り込みが進展している。一方で、長期



© 2021 The Iron and Steel Institute of Japan. この記事は、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC BY-NC-ND の下で提供しています。
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>)

表1 国別粗鋼生産量のトップ10 (出所: WSA; 千トン)¹²⁾

順位	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	変化率 (%) 2020/19
1	旧ソ連	日本	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	+5.2
	154,436	101,640	128,500	355,790	638,743	803,825	807,609	870,855	928,260	1,001,306	1,052,999	
2	日本	中国	日本	日本	日本	日本	日本	日本	インド	インド	インド	▲ 10.6
	110,339	95,360	106,444	112,471	109,599	105,134	104,775	104,661	109,272	111,351	99,570	
3	米国	米国	米国	米国	米国	インド	インド	インド	日本	日本	日本	▲ 16.2
	89,726	95,191	101,803	94,897	80,495	89,026	95,477	101,455	104,319	99,284	83,194	
4	中国	ロシア	ロシア	ロシア	インド	米国	米国	米国	米国	米国	ロシア(a)	+2.6
	66,349	51,589	59,136	66,146	68,976	78,845	78,475	81,612	86,607	87,761	73,400	
5	東西ドイツ	ドイツ	ドイツ	韓国	ロシア	ロシア	ロシア	ロシア	韓国	ロシア	米国	▲ 17.2
	44,000	42,051	46,376	47,820	66,942	68,695	69,014	70,537	72,464	71,575	72,690	
6	イタリア	韓国	韓国	インド	韓国	韓国	韓国	韓国	ロシア	韓国	韓国	▲ 6.0
	25,467	36,772	43,107	45,780	58,914	69,670	68,576	71,030	72,201	71,412	67,121	
7	韓国	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	ドイツ	トルコ	+6.0
	23,125	27,766	31,767	44,524	43,830	42,676	42,080	43,297	42,435	39,627	35,763	
8	ブラジル	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	トルコ	ドイツ	▲ 10.0
	20,567	25,076	27,865	38,641	33,432	33,258	33,163	37,524	37,312	33,743	35,658	
9	フランス	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	▲ 4.9
	19,016	22,309	26,924	31,610	32,948	31,517	31,642	34,778	35,407	32,569	30,971	
10	イギリス	インド	イタリア	イタリア	トルコ	ウクライナ	ウクライナ	イタリア	イラン	イラン(e)	イラン(e)	+13.4
	17,841	22,003	26,759	29,350	29,143	22,968	24,218	24,007	24,520	25,609	29,030	
世界合計	770,458	752,271	848,934	1,147,975	1,433,432	1,622,938	1,631,341	1,734,921	1,825,565	1,880,137	1,863,980	▲ 0.9

(a): 11ヶ月の実績に基づく推定値

(e): 部分的またはWSA以外のデータに基づく値

的にも世界鉄鋼需要の伸びは期待されており、各社海外での需要増をいかに取り込むかに腐心している。実際に、2020年でも堅調な需要があった中国市場での各社の合弁事業は好調であったし、需要減から逸早く前年並みに粗鋼生産量が回復したインド市場での合弁事業も同様であった。

技術に関し注目を集めたキーワードは、やはり高度IT (情報技術) と省CO₂の2つであろう。高度ITへの取り組みは、開発・導入フェーズから実装フェーズとなり、例えば、高炉への導入で成果・進捗が見られた。省CO₂については、水素還元製鉄も検討され始めたが、カーボン・フリー水素の実現や、CO₂の回収・貯留 (CCS)、再利用 (CCU) も視野に入れた、ゼロカーボン・スチール^{14,15)} 実現に向けた挙国体制での取組みが進められつつある。産学連携を旨とする (一社) 日本鉄鋼協会でも、より一層、学術ベースで産業分野の枠を越えた連携を進める必要に迫られている。以下に、2020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

2020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、コロナ禍による混乱や、2019年にブラジルで発生したテリングダム決壊事故からの回復の遅れの影響はあったものの、年後半の鉄鋼生産量の回復を受け、最終的には2019年比2.2%増の8億4,147万トンとなった¹⁶⁻¹⁸⁾。

鉄鉱石のスポット価格 (CFR China Fe 62%) は、1月の月

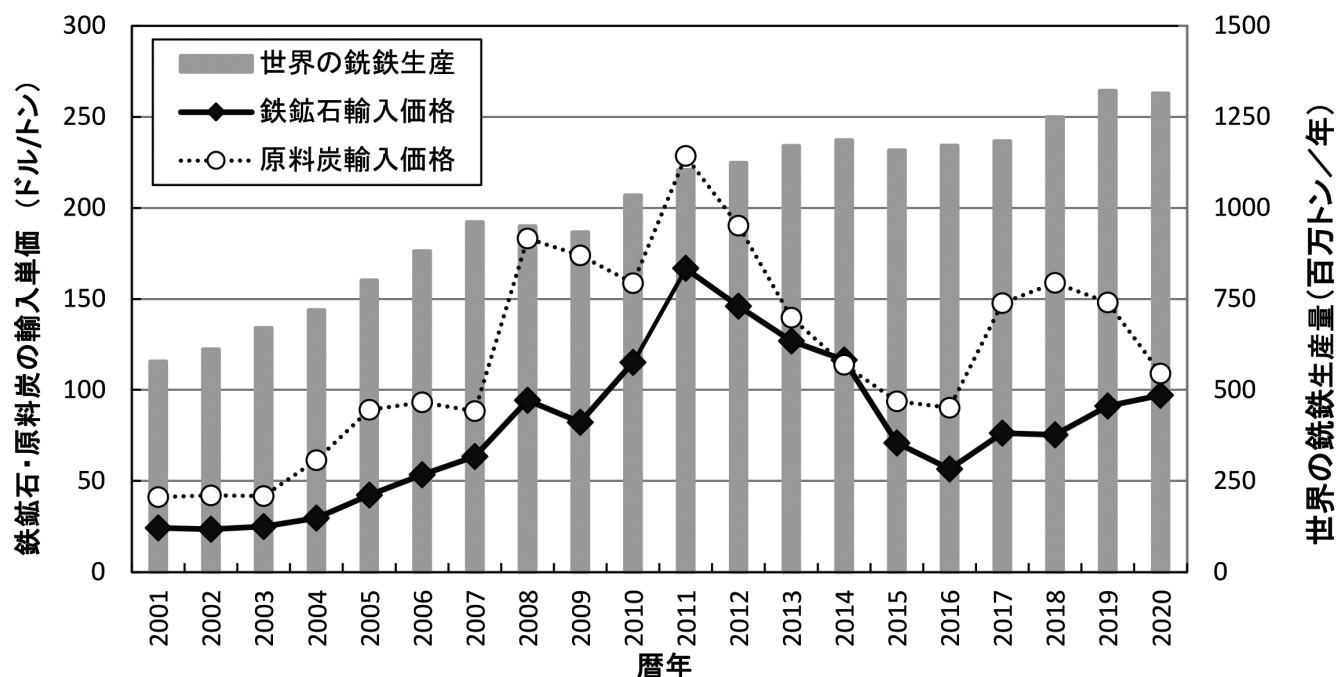
間平均93.9ドル/トンから、コロナ禍が世界で広がった3～4月には、世界経済の落ち込み懸念から一時83ドル/トン台まで下落したが、その後いち早く感染が収束したとされる中国での需要拡大を背景に上昇傾向に転じ、12月には月間平均158.2ドル/トンと年初比で約1.9倍に急騰した¹⁹⁾。その一方で原料炭は、コロナ禍をめぐる対応に端を発した豪中通商摩擦によって、中国への豪州炭の輸入が事実上禁止されている影響で、鉄鉱石に比べて価格上昇圧力が弱く、豪州炭のスポット価格 (強粘結炭FOB) は1月の月間平均69.7ドル/トンから12月の月間平均83.0ドル/トンと約1.2倍の上昇に留まっている^{20,21)}。一方、原料炭の輸入供給が逼迫していることから、米国炭やカナダ炭の対中価格は上昇し、豪州炭との価格差が一時100ドル/トン以上に拡大した²²⁾。

図1に、世界の鉄鉄生産量と鉄鉱石および原料炭の年間平均輸入単価の長期推移を示す^{12,23)}。これによると、鉄鉱石の年間平均輸入単価は2016年の56.7ドル/トンを底値に上昇基調に転じ、2020年は97.1ドル/トンまで上昇した。一方、原料炭の年間平均輸入単価は、2016年の90.2ドル/トンから2018年には159.0ドル/トンまで上昇したが、2020年は108.9ドル/トンと大幅に下落し、2014年と同水準となった。

1.2 鉄鋼需要産業の動向

(一社) 日本鉄鋼連盟の鉄鋼需給四半期報²⁴⁾、(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、2020年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、

図1 世界の銑鉄生産量と鉄鉱石・原料炭の輸入単価推移 (暦年)^{12,23)}

および各工業会のホームページを参照されたい。

【土木】2020年度の土木部門の活動は、公共部門については、前年度比増加を見込む。公共土木受注額は、国土強靱化政策や自然災害からの復旧・復興需要で治山治水を中心に増加しており、前年度比増加で推移している。一方、民間土木受注額は、リニア中央新幹線などの大型プロジェクトは継続するものの、感染症による設備投資計画の見直しにより工事の中止や延期が予想されることから前年度比では減少している。土木部門全体としては前年度比増加を見込む。

【建築】2020年度の建築部門は、住宅については貸家の相続税対策の剥落に加え、感染症の影響が加わり着工戸数が前年度比減少して推移している。非住宅についても、建設着工床面積が倉庫物流施設などでは堅調なものの、その他用途では感染症の影響で低調に推移している。全体としては前年度対比減少を見込む。

【造船】感染症の世界的な拡大から世界経済が停滞、海上貿易量も減少している。船腹過剰感は解消されておらず、韓国、中国造船メーカーとの造船受注環境は厳しい状況が続いている。こうした状況は当面継続すると見られ、起工量は前年対比減少する見込みである。

【自動車】2020年度の国内販売は、コロナ禍の影響により大幅に数量が減少したが、7-9月期以降回復しつつあり。10-12月期は前年同期比増加となった²⁵⁾。完成車輸出も、回復基調にあるものの、10-12月期まで前年実績を下回る見通しである。この結果、完成車生産、鋼材消費はともに前年割れとなる見込みである。

【産業機械】2020年度の産業機械の生産活動は、コロナ禍の影響により内需外需とも大幅に数量が減少した。建設機械では、国内需要は公共事業向けが堅調も、全体では前年比で減少が見込まれる。工作機械は、中国向けを中心とした外需の持ち直しにより回復基調にあるが、前年対比では減少が続く見通し。産業機械全体では、前年を下回る見通しである。

【電気機械】2020年度の電気機械の動向をみると、重電は石炭火力発電の計画見直し、感染症影響による設備投資抑制などから減少。家庭用電気機器もコロナ禍の影響による消費の減退等から低調に推移する見通しである。一方、電子部品については在宅勤務普及によるパソコン需要を背景に堅調に推移しているが、電気機械全体では前年を下回る見通しである。

1.3 我が国の粗鋼生産状況

我が国の2020年(暦年)の粗鋼生産量は、前年比16.2%減の8,319万トンとなり、リーマンショック後(2009年)の8,753万トンを下回り、1969年以来51年ぶりの低い水準となった²⁶⁾。これは昨年来の米中貿易摩擦を背景とした世界経済の成長鈍化傾向に加えて、コロナ禍の影響で自動車向けを中心とした鋼材需要が減少したことが原因である。

2020年度に入ってから需要急減で粗鋼生産も急激に落ち込んだが、自動車生産台数の回復と堅調な中国内需等が生産増を牽引する形で、6月を底に生産増へ反転した²⁷⁾。「原料高製品安」の構造の中、年央から値上げラッシュの年となり、また、想定以上に早い需要回復から、年後半は鋼材

が不足する状況にまでなった²⁸⁾。2021年は、コロナ禍の再拡大等の不安要素により先行き不透明感はあるものの、内外需ともに前年の落ち込みの反動もあり、総じて回復に向かうと推定される⁸⁾。

炉別生産では、転炉鋼が6,205万トン（前年比17.3%減）、電炉鋼が2,115万トン（前年比13.0%減）となり、電炉鋼比率は25.4%（前年比0.9%増）となった（図2、図3）^{26,29)}。また鋼種別では、普通鋼が6,576万トン（前年比13.0%減）、特殊鋼

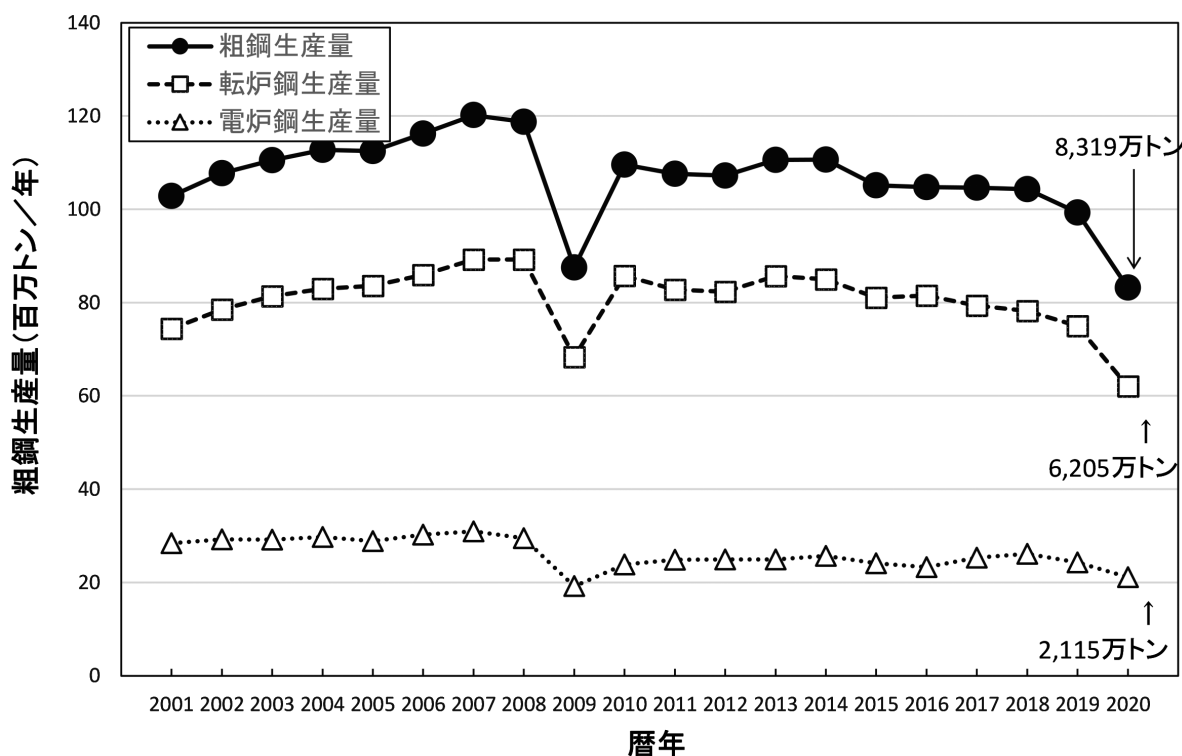


図2 我が国の粗鋼生産量の推移（暦年）²⁶⁾

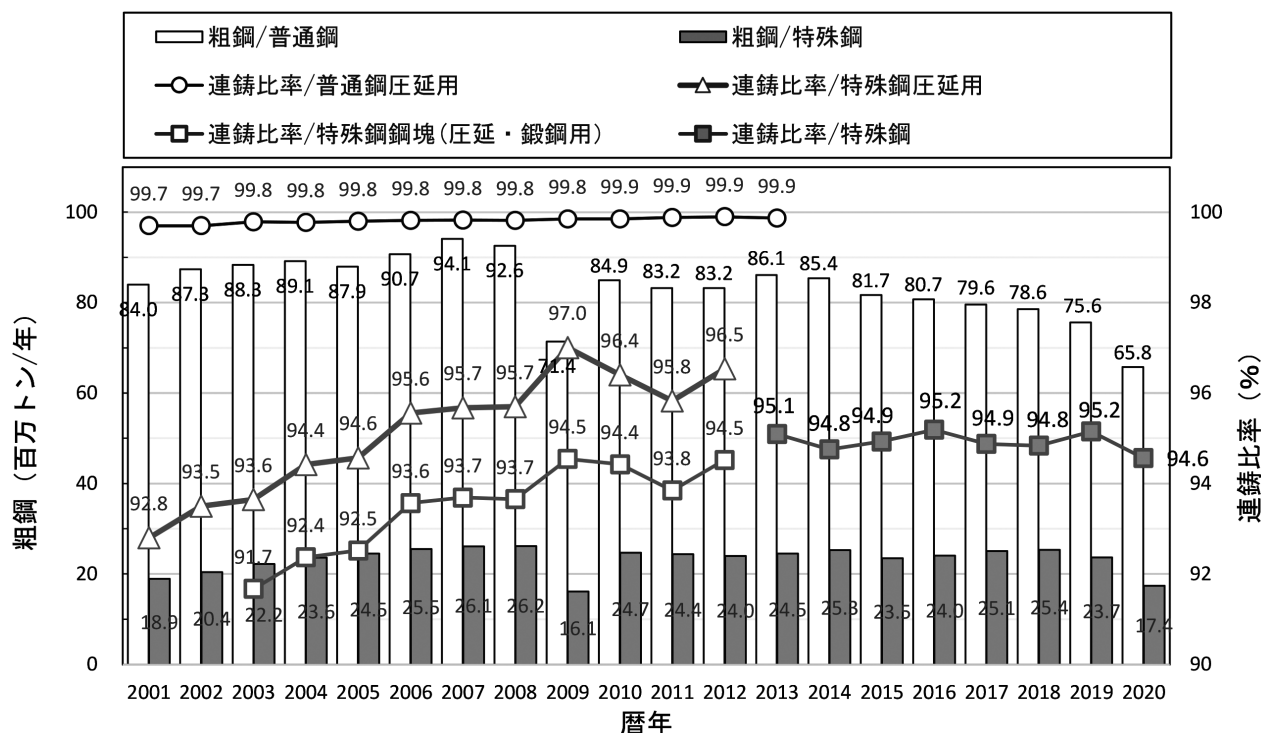


図3 普通鋼と特殊鋼の粗鋼生産量と連铸比率²⁹⁾

が1,744万トン（前年比26.4%減）となった（図2、図3）^{26,29)}。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。

1.4 世界の粗鋼生産状況

世界の2020年（暦年）の粗鋼生産量は18億6,398万トンとなり、前年の18億8013万トンにくらべて0.9%の微減となった¹²⁾。主要国の粗鋼生産量を見ると、中国が10億5,300万トンと前年比5.2%増となったのに対し、第2位のインドが前年比10.6%減の9,957万トン、第3位日本は前年比16.2%減の8,319万トンにそれぞれ大きく低下した（表1）。その他、コロナ禍の影響が大きかったEU、南北アメリカ地域の生産量が前年度に比べて大きく低下した。

中国の粗鋼生産量は、初めて10億トンを超えた2019年に続き、2020年は10億5,300万トン（前年比+5.2%）となった¹²⁾。コロナ禍ではあったものの、積極的な財政政策等による投資拡大が鋼材消費を押し上げており、需要増に応じて粗鋼生産量も伸びている。2021年も実質GDPは+8.1%と予測されており¹⁾、経済政策が需要増を促進するとみられることから、粗鋼生産量も1.4%増となることが見込まれている³⁰⁾。一方で、豪州からの石炭輸入停止起因とも言われる電力不足からの2020-21冬の各地での停電発生や³¹⁾、国有企業の社債デフォルトなど景気押し下げ要因³²⁾も見受けられることから、増加幅も押し下げられる可能性もある。また、中国鉄鋼業の生産能力は、いまだに大きく過剰であると推測される。2019年で10億トンを超えない粗鋼見掛け消費量³³⁾に対して、粗鋼生産能力は2019年で11.5億トンと推定されている³⁴⁾。インドや我が国の粗鋼生産量を上回る過剰生産能力があることになる。2019年に続き、2020年もまた、地条鋼復活の気配が報じられており³⁵⁾、巨大規模の過剰生産能力は市況の波乱要因となる恐れもある。

インドの粗鋼生産量は、2020年は9,957万トン（前年比-10.6%）となり、2017年から3年連続1億トンを超えていたが、2020年は1億トンを下回ることとなった¹²⁾。2020年は、やはり、コロナ禍の影響を受け、国内の需要が急激に減少したが、自動車販売も4月には底を打ち、そこからの販売台数の回復³⁶⁾などもあって、粗鋼生産量も5月から急激に回復、8月には2019年並みとなり、その傾向が継続している²⁷⁾。国内景気全体としては、2021年は、不十分な財政政策や金融緩和の遅れにより回復ペースが緩やかになるとの見通し³⁷⁾もある一方で、IMFの実質成長率見通し（対前年）では、2020年は-8.0%、2021年は+11.5%（対2019年+3%弱）の見通し¹⁾となっている。豊富な鉄鉱石資源と将来性のある大きな鋼材市場が国内に共存するため、鉄鋼業発展の期待が高いインド市場であるが、2021年に入り、インド政府は公共事業で使用

する鉄鋼製品で、国内製品の調達をさらに強化する方針を公表した³⁸⁾。2018年より我が国を上回る粗鋼生産量のインドであるが、粗鋼換算鋼材見掛け消費量は2018年で約1億トン規模であり³⁹⁾、今のところ、鉄鉱石資源と鋼材ともに量的には国内で完結できる構図は継続するものと推定される。

2 技術と設備

2015年に経済産業省では、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⁴⁰⁾。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。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。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。

最近、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。このような背景の下、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。

また、地球温暖化対策については、「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宣言された。さらに、イノベーションの推進により社会実装可能なコストを実現するため、「革新的環境イノベーション戦略」にてコスト等の明確な目標の設定と課題の設定等を策定し中期的に取り組むことが示された⁴¹⁾。

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、ユーザーニーズに答える製品開発を粛々と進めている。以下に、鉄鋼技術の分野別に主要な技術動向や維持会員企業の技術的なトピックスを紹介する。

2.1 製鉄

2020年(暦年)の鉄生産量は、前年比17.8%減の6,160万トンであった²⁶⁾。鉄鋼需要の急激な減少に対応するため、日本製鉄は北海製鉄(株)室蘭第2高炉改修工事を前倒しすると共に、東日本製鉄所鹿島地区第1高炉(2020年4月～21年1月)、君津地区第2高炉(2020年6月～11月)、関西製鉄所和歌山地区第1高炉(2020年4月～継続中)、瀬戸内製鉄所呉地区第2高炉(2020年2月～継続中)の計4基の高炉のバンキング※を実施した。また、2020年7月に九州製鉄所小倉地区第2高炉を休止した。JFEスチールは西日本製鉄所(福山地区)第4高炉(2020年6月～9月)のバンキング※を実施した。また西日本製鉄所(倉敷地区)第4高炉を2020年4月に吹止めし、改修工事に着手した。この結果、2020年末時点の稼働高炉数は20基、そのうち内容積5,000m³以上の高炉は12基となり、2019年末と比較して稼働高炉数は5基(バンキング3基、休止1基、改修中1基)、5,000m³以上の高炉数は2基、それぞれ減少した。

さらに生産体制見直しの一環として、JFEスチールは2023年9月を目処に東日本製鉄所(京浜地区)の製鉄設備(第2高炉、シャフト炉、第1焼結機、第1、第2コークス炉)を休止することを発表した。

設備の改修、新規導入では、日本製鉄は北海製鉄室蘭第2高炉の改修を完了した。また、2022年に名古屋製鉄所第3高炉を改修する計画を発表した。JFEスチールは東日本製鉄所(千葉地区)第6高炉を2022年に改修する計画を発表した。神戸製鋼所は「AIによる高炉の炉熱予測システム」を開発し、8月より加古川製鉄所第2高炉にて運用を開始した。また、JFEスチールは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、日本製鉄、神戸製鋼所と共同で実施中の「環境調和型プロセス技術の開発/フェロコークス技術の開発」において、西日本製鉄所(福山地区)に建設していた中規模フェロコークス製造設備(製造量300トン/日)を完成させ、10月より実証試験を開始した。

2.2 製鋼

2020年(暦年)の粗鋼生産量は、前年比16.2%減の8,319万トンであった(表1)²⁶⁾。生産体制見直しの一環として、日本

製鉄は2022年上期を目処に、関西製鉄所和歌山地区の第3铸造機の一部を休止することを発表した。JFEスチールは2023年9月を目処に、東日本製鉄所(京浜地区)の製鋼設備(転炉、第1電気炉、第1、第3、第5連続铸造機)を休止することを発表した。

新規設備の導入動向では、日本製鉄は2022年に瀬戸内製鉄所広畑地区の冷鉄源溶解プロセスを電気炉プロセスに刷新する計画を進めている。

中国における環境規制の厳格化により、マグネシア系耐火物の原料であるマグネシア等の原料供給が減少したため、2017年以降マグネシア系耐火物の価格が上昇したが、世界経済の成長鈍化の影響で2019年後半より低下傾向に転じていた。しかし2020年秋以降、中国の鉄鋼生産が堅調に推移する一方で、マグネシア鉱山の環境規制が一段と強化されたため需給がひっ迫し、価格は再び上昇傾向に転じた⁴²⁾。また、これまで原料となるニードルコークスの供給逼迫により価格が上昇傾向であった黒鉛電極は、鉄鋼生産量減の影響で2020年は低下した^{43,44)}。

フェロマンガンをはじめとするマンガ系合金鉄の価格は、コロナ禍拡大以降、欧州や南アフリカ等の主要生産国で生産回復が遅れているため、供給のタイト感が増大して2020年後半は価格が上昇傾向となり、製鋼コストを引き上げる要因となっている⁴⁵⁾。

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「環境調和型高品質ステンレス鋼溶製プロセスの開発」が、令和2年度文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)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のため鋼板の高強度化による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。JFEスチールが開発した冷間プレス用1.5GPa(1470MPa)級冷延ハイテンが、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級冷延ハイテンは、バンパーやドアインパクトビームをはじめとする単純な形状の部品へ既に適用されている。一方、プレス成形性や遅れ破壊の問題から、形状が複雑な車体骨格部品への冷延ハイテンの適用は1310MPa級にとどまっていた。ホットスタンプによる1.5GPa級ハイテンの適用も進んでいるが、加熱・冷却に時間がかかるため製造コストの増大が課題であった。JFEスチールは、独自の水焼き入れ方式連続焼鈍プロセスにより、合金

※バンキング：送風を停止することで、高炉を再稼働が可能な状態で休止する方法

添加と微視組織の不均一性を極限まで低減し、1310MPa級のプレス加工性と高い降伏強度および耐遅れ破壊特性を両立することで、車体骨格部品への1.5GPa級冷延ハイテンの適用を実現した。

自動車用懸架ばねにおいても高強度化による軽量化が強く求められている。近年のばね加工技術の向上により規格鋼SUP12の高強度化が検討されているものの、高強度化に伴う靱性や耐水素脆性の低下が課題であった。そこで日本製鉄は、従来鋼より少ない合金添加量で靱性および耐水素脆性を改善した低合金高強度懸架ばね用鋼を開発した。この鋼材では比較的安価なSi、Cr添加により焼戻し温度を維持しつつ、Ti添加によりオーステナイト粒を微細化し靱性を向上、B添加によりP偏析や粒界炭化物の析出を抑制し耐遅れ破壊特性を改善している。

電磁鋼板分野においては、環境負荷を低減しつつ、省エネに貢献できる高機能電磁鋼板の開発が進められている。近年、モータや変圧器等電気機器の小型化に伴い駆動周波数の高周波化が進んでおり、電磁鋼板には高周波域での鉄損低減が求められている。高周波域での鉄損低減には鋼の電気抵抗を高めるSiの添加量アップが有効であるが、同時に飽和磁束密度が減少しモータトルクの低下を招くという課題があった。JFEスチールは、CVD（化学気相蒸着）連続浸珪プロセス技術を用い、表層のみSi濃度を高くしたSi傾斜磁性材を開発し、「第8回ものづくり日本大賞」内閣総理大臣賞を受賞している。さらに、同プロセス技術において浸珪量と拡散条件の最適化によるSi濃度分布のコントロールおよび結晶方位制御により、従来の無方向性電磁鋼板並みの磁束密度を維持しつつ高周波鉄損を低減し、モータの高トルク化と大幅な高効率化の両立を可能とする高速モータ用Si傾斜磁性材料を開発した。

開発成果が認められた事例としては、日本製鉄が開発した新型高精度平坦度計を用いた高強度熱延鋼板の製造技術が、令和2年度文部科学大臣表彰科学技術賞（開発部門）を受賞した。同技術により、熱間圧延中における鋼板の伸び率の幅方向分布（平坦度）を高精度に測定した上で、圧延機を自動制御し、機械特性に優れた薄鋼板を安定的に製造することが可能となった。

また、JFEスチールが開発した世界最速を実現する調質圧延装置が、第54回機械振興賞 機械振興協会会長賞を受賞した。各種センサーデータと最適化・シミュレーション技術をリアルタイムに融合したインテリジェント制御技術により、鋼板の形状、伸び率、蛇行量などを高精度に自動制御し、鋼板全長にわたる品質向上と、世界最速である800m/minでの安定した圧延が可能となった。

2.3.2 厚板

厚板分野においては、JFEスチールが開発した超大型コンテナ船用極厚高アレスト鋼板が、第66回（令和元年度）大河内記念賞を受賞した。数多くのコンテナを積載するコンテナ船は、デッキ上部に大きな開口部を有している。海上航行にあたっては、船体に大きな波の荷重を受けるため、デッキ上部や船体側面に、極厚かつ高強度の鋼材が使用されている。近年、輸送効率向上を目的に、コンテナの積載量が20,000個を超える超大型コンテナ船が登場し、鋼板板厚は50mmから100mmまで拡大し、降伏強度は460MPa級までの高強度化が求められるようになった。しかし、鋼材の板厚が厚くなるほど、脆性き裂の進展を停止するために必要なアレスト性能が高くなる。そこで同社は、加熱温度や圧延温度を精緻に制御するTMCP技術を活用し、鋼板の板厚中央部にき裂の伝播に抵抗する向きの結晶比率を高める技術を確認し、世界最厚となる100mmの極厚高強度鋼板においても、高アレスト性能の確保を可能とした。

2.3.3 鋼管

JFEスチールの熱間成形継目無角形鋼管が、「CLT PARK HARUMI（CLT パークハルミ）」のパビリオン棟の鉄骨柱に採用された。本鋼管は、熱間シームレス成形により製造される国内唯一の継目無角形鋼管で、2014年3月に国土交通大臣の認定を取得している。小径・厚肉の断面を特徴とし、柱材に使用した場合、空間の有効利用・省スペース化が可能であり、意匠材としても有効に活用できる。「CLT PARK HARUMI」では、小径・厚肉の角形断面をもつ本鋼管を用いることで、2方向の地震力に耐えつつ、鉄と木材のコラボレーションによる優れた意匠性を実現することができた。

日本製鉄と日鉄ステンレス鋼管（株）が製造・販売する高圧水素用ステンレス鋼が、東京ガス（株）と日本水素ステーションネットワーク（同）が共同で建設した「豊洲水素ステーション」に採用された。本鋼は、高圧水素環境下においても水素脆化を起こさないことから、水素ステーションの長寿命化・安全性向上を実現した。また、高強度であることから配管の薄肉設計と内径の拡大が図られ、水素の大流量化・高速充填が可能となった。さらに、溶接部においても母材と同等の強度・耐水素脆性をもつため、数多くの継手部を従来の機械式継手から溶接施工とすることが可能で、水素ステーションのコンパクト化に寄与する。

JFEスチールとJFEコンテナ（株）は、水素ステーション用蓄圧容器の開発を行っており、2018年度に国産初の水素ステーション用Type2蓄圧器の商品化を完了したが、このJFE製Type2蓄圧器が豊田豊栄水素ステーション（愛知県）で初めて採用され、2020年12月より運用が開始された。JFE

製Type2蓄圧器は使用可能圧力範囲が広く、一度に燃料電池車（Fuel Cell Vehicle：FCV）に多量の水素を供給できる特長がある。そのため、燃料電池バスや供給台数が多いステーションでの採用が期待され、FCVの普及が進むことで今後更にニーズが高まっていくことが予想される。当容器は、JFEコンテナが設計し、JFEスチール製の鋼管から製造した鋼製ライナの胴部に、炭素繊維を巻きつけたものである。耐圧性能を鉄と炭素繊維で最適に分担し、高圧力範囲で長寿命化を実現している。形状はシンプルなストレート型で、ライナの製造と炭素繊維の巻きつけ工程の簡略化、炭素繊維の使用量減による製造コストの低減、また大口径を活かしたメンテナンスの簡易化が可能となった。

2.3.4 条鋼・形鋼

日本製鉄は、圧延H形鋼として世界最大の外法一定H形鋼の販売を開始した。既存の大型サイズを約2割超える製品ウェブ高さ1200mm迄の圧延プロセスを確立し、大断面サイズを中心としてサイズメニューを拡充して、2020年4月より販売を開始した。製造拠点の関西製鉄所和歌山地区（堺）大形工場は、1961年10月より、ユニバーサルミルを採用した国内初の大形形鋼工場として操業を開始し、これまで世界最大級の超極厚H形鋼やハット形鋼矢板等の新商品を世に送り出してきた。中でも、画期的な製造プロセスの導入により、1989年から製造・販売を開始した外法一定H形鋼は、ウェブ高さ・フランジ幅一定により設計簡素化と加工省力化を実現し、以降もサイズメニューの拡充も行いながら、豊富なバリエーション、優れた寸法・形状精度と正確なデリバリー等によりユーザーから信頼を得てきた。

2.4 計測・制御・システム

計測関係では、JFEスチールが、「ツイン投光差分方式表面検査装置」で第55回機械振興賞 機械振興協会会長賞を受賞した。凹凸欠陥のみを強調し検出できる「ツイン投光差分方式表面検査装置」を独自に研究開発し、知多製造所のシームレス管工場や電縫管工場、東日本製鉄所（京浜地区）や西日本製鉄所（福山地区）の厚板工場における黒皮鋼材の製造ラインへ導入し、欠陥の流出防止、製品の表面品質向上に活用している。さらにJFEスチールは「漏洩磁束法による鋼板の微小凹凸欠陥計測装置の発明」で、令和2年度全国発明表彰 発明協会会長賞を受賞した。欠陥部の歪により生じる鋼板の磁気特性変化を漏洩磁束法により検出することで、微小凹凸欠陥の自動検出に成功した。本発明により、これまで人手に頼っていた検査を自動化することで、自動車用途等の高品質鋼板の生産性が向上し、熟練技術者の感覚に頼っていた砥石かけ検査を省略することで、確実な鋼板の品質保証が可能

となった。なお、本発明の自動検出技術は、2017年10月「中国地方発明表彰 文部科学大臣賞」、2019年2月「機械振興協会 機械振興協会会長賞」を受賞している。

2～3年前からIT技術に関する専門部署が高炉会社を中心に設置され始めたが、昨年も引き続き、日本製鉄がデータとデジタル技術の積極活用による事業競争力の更なる強化を目的として、2020年4月に「デジタル改革推進部」を設置する等、デジタルトランスフォーメーション（DX）に関わる組織の再編および機能再構築を行った。新組織は、製造・整備の現場、販売・生産計画、収益管理等に関する全社横断的な課題への一元的対応およびこれらの基盤となるデータマネジメントの強化により、業務・生産プロセス改革の実行を加速する。JFEスチールも、DXを推進する部署を開設し、製造プロセスのサイバーフィジカルシステム（CPS）化を進めるなど、DXを積極的に推進することで、革新的な生産性向上および安定操業の実現を目指している。今後とも、製造現場におけるあらゆる分野の課題を、DXを通じて解決していくことで、持続可能な社会の実現に貢献していく。

操業支援システム分野では、神戸製鋼所が「AIによる高炉の炉熱予測システム」を開発し、2020年8月より加古川製鉄所第2高炉にて運用を開始した。これにより、5時間先の溶銑の温度が自動かつ高精度で予測可能となり、炉内温度低下などの操業トラブルを未然に防止し、さらなる安定操業に繋がる。運用を開始した予測システムは、「炉熱予測」を可能にするもので、炉内の反応熱や放散熱を複数のパラメータを有する数学モデルに入力し、5時間先の溶銑温度を算出するシステムである。特長は、予測精度が最高になるよう、過去数十時間の操業実績に基づき、長期的な炉熱変化を再現するとともに、特に直近数時間の炉熱実績は極めて高精度に再現できるよう、AIで最適なパラメータの探索を可能にした点である。さらに通気予測についても自動化されると、コークスの使用量が少ない状態での高炉操業において、AIが自動で最適な判断、対処をすることが可能となる。なお、本開発は2018年10月に発足したAI推進プロジェクト部の成果の一つである。また、JFEスチールは、国内の製鉄所の燃料・電力運用における省エネルギー・CO₂削減、コスト最小化を目的に、オペレータによる運用を支援するガイダンスシステムを開発し、運用を開始した。これまでに西日本製鉄所（倉敷地区、福山地区）に導入し、その活用による運用効果を確認している。今後は、他事業所への導入を進め、さらなる省エネルギー・CO₂削減を実現していく。これまでは、現在時点のガス需給状況と日毎生産計画を前提に運用していたが、本システムの導入により、リアルタイムの測定データと生産計画を用いて高精度な燃料・電力需給予測に基づいた副生ガス貯蔵、払出の適切な需給調整が可能となり、都市ガス、電力の購入量の

最適化が可能となった。従来のオペレータの経験や能力に基づく運用に対して、さらに効率的な運用ができるようになり、省エネルギー・CO₂削減、燃料・電力コストの低減を実現した。

JFEスチールは、コイル製品倉庫の荷役設備である自動天井クレーンのスマート運用システムを開発し、全社展開を開始した。本システムを導入し、作業スケジュールおよび製品配置を最適化にすることによって、出荷能力の大幅な向上を実現した。今回開発したスマート運用システムでは、「スケジュールリングプログラム」によって、操業・出荷計画等をベースに作業順を自動的に最適化することで、入出庫作業の効率向上および無人化を実現した。さらに、本プログラムの機能の一つである「配置最適化機能」によって、手待ち時にコイル製品を理想的な配置に並べ替えることで、別のコイル製品が上に乗ってしまっている場合に発生する掘り出し作業を低減し、入出庫の待ち時間を大幅に削減することが可能となった。2020年10月までに、西日本製鉄所（福山地区）のコイル製品倉庫で稼働する自動クレーン6基に、本システムの導入を完了し、これまで発生していたコイル製品の搬出時待ち時間が不要になるなど、出荷能力の大幅な向上を実現した。

JFEスチールおよびNECソリューションイノベータ（株）は、「人物行動分析ソフトウェアを用いた安全行動サポートシステムの開発」で、2019年度人工知能学会現場イノベーション賞・金賞を受賞した。今回受賞した安全行動サポートシステムは、あらかじめ作業員や工場内設備の画像をAIに学習させることで、工場内に設置したカメラ映像からAIが動く物体を自動的に識別し、作業員が安全な行動をとれるようサポートするもので、NECソリューションイノベータが開発し、JFEスチールが導入した。

設備・操業の監視システム関連では、日本製鉄が、製鉄所での設備状態監視基盤の構築に向け、日本電気（株）のAI技術「インバリエント分析技術」を活用したAI分析ソフトウェアを採用し、2021年1月に東日本製鉄所君津地区で設備状態のオンライン監視における長期間運用テストを開始した。また、原因究明に10日間を要した解決難易度の高いトラブルに対し、オフラインデータを用いて本ソフトウェアを活用することで、事前にトラブルの予兆を検知できることを実証し確認した。製造工程各所に設置した500点の物理センサーから収集したデータを含む2,000以上の計測項目データ（電流・温度・圧力・制御信号など）を基に設備や装置の振る舞いをAIにより学習し、モデル化することで、トラブルを未然に防ぎ、設備点検・稼働監視の効率化を図る。

JFEスチールとKDDI（株）は、東日本製鉄所（千葉地区）において、第5世代移動通信システム「5G」を2020年4月から導入し、4K映像等の活用を通して、JFEスチールの安定操

業やスマートファクトリー化を推進している。5Gは、高速・大容量、低遅延、多数の端末との接続を特長としており、リアルタイム性と安定性が求められる製造現場のネットワーク環境において、5Gの技術を活用することで、さまざまなセンサーで取得した大量のデータを一括収集し、各設備を一括制御することが可能になり、製造現場全体の最適化を図ることができる。また、生産効率向上、工場内の自由なレイアウト変更への対応、設備と作業員の協働支援など、工場のスマートファクトリー化、DXの更なる推進に貢献することが期待されている。Step1として、2020年4月に東日本製鉄所（千葉地区）熱延工場内に生産ラインを監視する高精細ITVカメラとKDDIの5G基地局を設置し、カメラにより撮影された4K映像を5Gで伝送することにより、蓄積される映像と各種トレンドを同期化して分析できる仕組みを構築し、試運転の後、5月より稼働させた。

JFEスチールは、最新の複合現実（Mixed Reality）技術を活用した教育訓練シミュレータを、西日本製鉄所へ導入した。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、実操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。このたび、連続鋳造機での溶鋼鋳込み量調整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。通常の操業変化だけではなく、鋳込み量を調整するノズルの閉塞現象をはじめとする異常事態のシナリオも準備しており、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できる。シナリオを容易に追加することができるため、必要に応じて様々な異常事態に対する訓練を追加で実施することができる。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はなく、異常事態での判断や処置を迅速に行うことができる。

2.5 建築・土木

日本製鉄は、製品ウェブ高さ1200mmまでの大断面サイズの外法一定H形鋼で、一般社団法人サステナブル経営推進機構（SuMPO）が認証する「エコリーフ」環境ラベルを取得した。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。ふえらむの2020年12号でも特集した、「持続可能な開発目標」（SDGs）を意識した、こうした鉄鋼製品の環境性能開示のトレンドは今後ますます加速すると予想される。

2.6 環境・エネルギー

2.6.1 気象変動に関する国際交渉と日本政府の取組み

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19年に欧州連合（EU）は50年までに域内の排出「実質ゼロ」を目指すとして、20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、21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。

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。2018年4月に「第五次環境基本計画」が決定され、SDGs、パリ協定を踏まえてイノベーションの創出や経済・社会的課題との同時解決など今後の環境政策の展開の方向が示された。さらに同年7月には「第五次エネルギー基本計画」が決定され、エネルギー政策の基本的な方向が示された。2030年に向けた対応として、温室効果ガス26%削減に向けてエネルギーミックスの確実な実現に取り組むこと、2050年に向けては、温室効果ガス80%削減を目指してエネルギー転換・脱炭素化への挑戦が掲げられ、あらゆる選択肢の可能性を追求することが示された。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。さらに、環境と成長の好循環を実現するための横断的施策として、イノベーションの推進により社会実装可能なコストの実現を図るため、「革新的環境イノベーション戦略」にてコスト等の明確な目標の設定と課題の設定等を策定し中期的に取り組むことが示された⁴¹⁾。エネルギー分野では、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、人口光合成等のCCU／バイオマスによる原料転換等が示された。「ゼロカーボン・スチール」の実現では目標として、2050年以降のでき

るだけ早い時期までに、現在の高炉法による鉄鋼製造と同等のコストで水素還元製鉄技術等の超革新技术の開発を行うことが挙げられ、実用化の条件としては、2050年の水素コスト（プラント引渡しコスト）20円/Nm³という目標をさらに下回る水準でCO₂フリー水素が安定的かつ大量に供給されることが併記されている。

パリ協定及び2015年のCOP21決定において、締約国は2020年までに削減目標等である「国が決定する貢献（NDC）」を作成・通報・維持することが定められており、2020年までに改めてNDCを通報又は更新し、また条約事務局へそれを提出することが求められている。日本は、2020年3月に日本のNDCを決定し、1) 現在の中期目標（2030年度26%削減（2013年度比））を確実に達成し更なる削減努力を追求し「地球温暖化対策計画」の見直しに着手すること、2) 温室効果ガス全体に関する対策・施策を積み上げ更なる野心的な削減努力を反映した意欲的な数値を目指すこと、3) 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」に基づき2050年にできるだけ近い時期に脱炭素社会を実現できるよう努力することを掲げ、今後このNDCに基づいて気候変動対策を強化し脱炭素社会に貢献していくことを表明した。

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を策定した。これらの自主的な取り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⁴⁶⁾。低炭素社会実行計画に参加する企業の2019年度のCO₂排出量は、BAU基準で1億7,164万トンであった。2019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1億7,364万トンであり、基準の2005年度に比べ330万トン削減となり、目標（300万トン）比30万トン超過達成であった。鉄鋼業全体の2019年度の排出量は1億7,671万トンであった⁴⁶⁾。

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に低炭素実行計画の目標を示す⁴⁶⁾。

表2 日本鉄鋼連盟の低炭素社会実行計画の目標⁴⁶⁾

		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。

COURSE50は、NEDOのプロジェクト「環境調和型プロセス技術の開発」に位置づけられ、2008年度から実施されている。事業目的は、地球温暖化防止に貢献するため、高炉からのCO₂の発生量を減少させる技術、及び発生したCO₂を分離・回収する技術を開発することである。具体的には、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス（COG）に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替にその水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス（BFG）からCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO₂の分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO₂出量の約3割削減を目標としている。これらの技術開発においては、フェーズⅠ-STEP1（2008-2012年度）として要素技術開発を実施し、フェーズⅠ-STEP2（2013-2017年度）では各要素技術を統合したパイロットレベルの総合実証試験を行った。その結果、試験高炉により水素を活用した高炉のCO₂低減操業が可能であることを実証するとともに、高炉のCO₂分離回収についても世界トップレベルのCO₂吸収液・プロセスを実現した。

2018年度からは水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ-STEP1（2018-2022年度））が開始され、フェーズⅡ-STEP2（2023-2025年度）を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂排出削減を可能とすることを目標としている。2020年8月に行われたフェーズⅡ-STEP1の中間評価において、未利用排熱回収技術、CO₂分離回収技術、高性能焼結材の技術開発が進み、短期間で高い成果が得られたと、非常に高く評価された⁴⁷⁾。具体的には、a) 高炉からのCO₂排出削減技術では、実用化に向けて

高炉の水素活用還元技術の選択肢拡大のため、常温水素系ガスの羽口吹込み単独操作で、約10%のCO₂削減が達成可能であることを実験（試験高炉）と理論（数学モデル）の両面から実証し、b) 高炉ガスからのCO₂分離回収技術として、i) 理論限界に近い分離回収所要エネルギー原単位1.63GJ／t-CO₂を達成し、ii) 実排ガスの清浄調査により、耐久性を考慮した排熱回収設備構成を提示した⁴⁸⁾。

フェーズⅡ-STEP1の最終目標は、a) 高炉からのCO₂排出削減技術として、i) 高炉からのCO₂排出削減量約10%達成すること、ii) 高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」の試験操業を実施し、上記目標達成に資すること、b) 高炉ガスからのCO₂分離回収技術として、高炉ガスからのCO₂分離回収コスト2,000円／t-CO₂を実現する技術の確度向上を図り、分離回収エネルギー1.6GJ／t-CO₂を到達し、CO₂排出削減量約20%の技術に資することであったが、a) の最終目標を以下のように変更した。すなわち、a) 高炉からのCO₂排出削減技術の最終目標は、i) 高炉からのCO₂排出量約10%削減に向けて、実効性の高い見通しを得ること、ii) 高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、CO₂削減技術開発の状況をみながらフェーズⅡ-STEP2（2023年度）以降に行い、上記目標達成に資する、と変更された⁴⁸⁾。なお、COURSE50の最終目標は、CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることを前提に、2030年までに1号機の実用化、高炉関連設備の更新のタイミングを踏まえて、2050年までの普及を目指すことであり変更はない⁴⁸⁾。

一方、フェロコックス事業は、2006年度から3年間、経済

産業省の産学共同プロジェクト「革新的製鉄プロセスの先導的研究」で推進され、さらに2009年度から4年間NEDO・経済産業省の「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」プロジェクトとして実施され、要素技術を開発した。本プロセスは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行い、還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物（フェロコックス）を使用することで、投入するコックス量（炭素量）を削減できる省エネルギー技術である。この技術は省エネ、CO₂削減効果を最適化する観点から、「水素還元等プロセス技術の開発」との一体推進が適当と判断され、NEDOプロジェクト「環境調和型プロセス技術の開発」の中に「フェロコックス技術の開発」として加えられた。

NEDOとJFEスチールは、神戸製鋼所、日本製鉄と共同で2017年度に「環境調和型プロセス技術の開発／フェロコックス技術の開発」プロジェクトを開始し、2020年にJFEスチールは、西日本製鉄所（福山地区）に建設していた日産300トンの中規模フェロコックス製造設備を完成させ、10月9日より実証試験を開始した。本設備は、商用化した際の想定規模である日産1500トンの5分の1の規模であり、商用化の前段階の実証設備である。設備は粉碎・乾燥設備、混練・成型設備、乾留設備より構成され、粉碎された低品位石炭、低品位鉄鉱石、バインダーを練り合わせ、成型、乾留し、金属鉄を含有するフェロコックスが製造される。2022年度まで、本設備でフェロコックスの製造を行い、実高炉へ長期的に連続装入することで、高炉の還元材比や操業安定性に及ぼす影響を評価する。本設備での実証研究を経て、高炉使用時のCO₂排出量の大幅削減、省エネルギー、および低品位の石炭・鉄鉱石使用による資源対応力強化を目的としたフェロコックス製造技術を開発し、2023年頃までに製鉄プロセスにおけるエネルギー消費量とCO₂排出量を約10%削減する技術の確立を目指すものである⁴⁹⁾。

2.6.3 個別企業の取組み

CO₂の利用・削減技術としては、日本製鉄と国立大学法人富山大学及び民間企業4社は共同で、NEDOの「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／化学品へのCO₂利用技術開発」に応募し、技術開発事業の委託先として採択された。NEDOは、既存の化石燃料由来の化学品を、CO₂を原料とする化学品に代替することを目的とするCO₂利用技術の開発として、CO₂を原料とするパラキシレン製造に関する技術開発事業への取り組みを開始した。パラキシレンは、化学品を製造するカーボンリサイクル技術の中では水素原料の使用量を抑えてCO₂を固定化できる特長がある。仮に現在の世界のパラキシレン

の需要を全てCO₂原料に切り替えた場合のCO₂固定量は1.6億トン／年に上る。また、日本製鉄は、国立大学法人京都大学、(公財)高輝度光科学研究センター(JASRI)、国立大学法人信州大学及び日本製鉄の研究グループが、従来の吸着剤とは異なる新材料（ゲート型吸着剤）を活用した二酸化炭素の高効率分離システムを提案したと発表した。本研究グループは、自身が吸熱的に構造変形することでCO₂を取り込む際の熱発生を抑えることが可能なゲート型吸着剤の優れたCO₂分離性能を明らかにし、このゲート型吸着剤の特性を活かした高速度吸着分離システムを考案し、そのCO₂分離効率が従来方式と比較して極めて高くなることを見出した。本研究は、ゲート型吸着剤がCO₂の吸着分離回収システムの高効率化・省エネルギー化に有用であることを示したものである。

JFEスチールは、太平洋セメント(株)と(公財)地球環境産業技術研究機構(以下RITE)とともに、i)鉄鋼スラグや廃コンクリート等を対象として、これらから湿式で抽出したアルカリ土類金属を活用し、工場等より排出された二酸化炭素との反応により、安定した化合物である炭酸塩として回収する技術の開発、およびii)生成した炭酸塩の有効利用技術の開発、を中心に3者で研究会を設置し協力して取り組むことを明らかにした。

日本製鉄及びJFEスチールは、民間企業6社及び(一財)日本海事協会とともに「CCR研究会船舶カーボンリサイクルWG」に参加し、第一回会合を開催した。本WGは、メタネーション技術を船舶のゼロ・エミッション燃料に活用する構想の実現可能性を探ることを目的として、2019年8月に、CCR研究会に設置されたものである。本WGの活動を通じ、日本による輸出入の99.6%を担う海上輸送の過程での温室効果ガス排出をゼロにして、持続可能な社会の形成に寄与することを目指している。

日本製鉄とリオティントは、炭素排出の少ない鉄のバリューチェーンへの移行に向けた技術の探索、開発、実証を共同で行うための覚書を締結した。このパートナーシップの目的は、鉄鉱石の採掘から製鉄までの鉄のバリューチェーン全体で脱炭素化に向けた技術を幅広く検討することで、日本製鉄の製鉄技術とリオティントの鉄鉱石処理技術を統合して炭素排出を低減した革新的な鉄鋼製造プロセスを確立することが含まれる。鉄鋼業界のカーボンニュートラルへの移行が長期的かつ複雑であることを踏まえて、世界の鉄鋼業がカーボンニュートラルに移行する上での新たな有望な技術を追求していく。

大同特殊鋼(株)は、(一社)日本経済団体連合会が策定した「チャレンジ・ゼロ(チャレンジ ネット・ゼロカーボンイノベーション)」に参加した。「チャレンジ・ゼロ」は、日本経済団体連合会が日本政府と連携し、気候変動対策の国際枠組み「パリ協定」が長期的なゴールと位置付ける「脱炭素社会」の実現に向

け、企業・団体がチャレンジするイノベーションのアクションを国内外に発信し、後押ししていくことを目的としたプロジェクトである。炉体旋回式電気炉第1号機を2013年に知多工場（愛知県東海市）に導入したが、今後は当社の電気炉更新時期に合わせて炉体旋回式電気炉を導入し、一層のCO₂排出削減にチャレンジすることに加え、新設・改造を問わず国内外の製鋼事業者へ炉体旋回式電気炉の普及・拡販を推し進めることにより、鉄鋼業界全体のCO₂排出削減にチャレンジしていく。

また、大同特殊鋼は2020年11月に2030年、2050年に向けた中長期戦略的CO₂削減目標と行動計画の策定を目的に「CO₂削減プロジェクト」を新設し、「継続的省エネ技術開発」、「再生可能エネルギーの積極活用」、「CO₂フリー水素の有効活用」に取り組み、全社を挙げて積極的にCO₂排出削減にチャレンジする。

山陽特殊製鋼は、廃熱回収装置であるレキュペレータのエネルギー効率向上を図るため、従来の高クロムフェライト系耐熱鋼よりも高い廃熱回収温度に耐え得る高温強度と耐高温腐食性を有する次世代型レキュペレータ用鋼を開発した。開発鋼を使用することで、各種工業炉におけるエネルギー効率向上による燃料節減とCO₂排出量削減が期待される。また、このイノベーション事例で「チャレンジ・ゼロ」に参加した。

次に、スラグ利用技術に関しては、日本製鉄が第52回（令和元年度）市村賞において、開発技術「鉄鋼スラグによる多様な生態系サービスをもたらす海の森再生技術」で市村地球環境産業賞を受賞した。製鋼スラグと腐植土を活用した海域向けの施肥材（鉄分供給鉄鋼スラグ製品）による i）多様な生態系サービスの提供、ii）藻場（ブルーカーボン生態系）でのCO₂吸収・固定による地球温暖化抑制に関する技術を開発・実用化したことが評価された。2004年から同技術による海の森再生に着手し、全国38箇所で開催しており、調査した30箇所の再生藻場面積は約3.2haであり、ブルーカーボンとして固定化された量は年間最大115t-CO₂と試算されている。

また、JFEスチールは、従来、横浜市と共同で行ってきた山下公園前の海域での鉄鋼スラグ製品を使用した浅場造成による「海の生き物がすみやすい環境づくり」を発展させ、横浜市と「横浜の海の生物生息環境改善による豊かな海づくりに関する連携協定」を締結した。JFEスチールは、今後この協定に基づき海の環境改善に向けてさらに取り組み、この事業の一環として、臨港パーク前海域での浅場・藻場などを造成し、豊かな海づくり事業を進めていく。

水素関連技術では、神戸製鋼所が、水素社会の構築・拡大に取り組む民間企業8社と共に、水素分野におけるグローバルな連携や水素サプライチェーンの形成を推進する新たな団体「水素バリューチェーン推進協議会」を設立し、参画することを表明した。新団体は、水素バリューチェーン構築の為、

横断的な取り組みを行うこと、水素社会の実現の為、社会実装に向けた動きを加速すること、金融機関と連携し、資金供給の仕組みづくりを推進すること、を目的としている。本協議会の活動を通じて、水素の社会実装に向けた革新的な取り組みを進めることで、CO₂削減、地球温暖化防止に貢献していく。当準備委員会参画企業は、水素社会構築を加速させるために、i）水素需要創出、ii）スケールアップ・技術革新によるコスト低減、iii）事業者に対する資金供給、といった3点の課題解決を目指す横断的な団体が必要と認識し、新団体設立の具体的な検討を開始した。

エネルギー関連技術では、JFEスチールが「製鉄所の溶鉄搬送容器における熱損失低減による省エネ活動」の功績により、「2019年度（令和元年度）省エネ大賞 省エネ事例部門」の「省エネルギーセンター会長賞」を受賞した。製鉄所の製鋼工程における溶鉄搬送容器では、鉄製外殻の内面に耐火物を施工して使用しているが、高性能断熱材を使用して表面温度を下げ、輻射伝熱の抑制し、搬送容器表面からの熱損失を従来の55～75%に低減した。製鉄所の搬送容器全基適用の場合、エネルギー削減量（原油換算）は年間で約2.1万kL（一般家庭消費量24千世帯分）に相当する。

また、神戸製鋼所の100%子会社である（株）コベルコパワー真岡は、栃木県真岡市に真岡発電所の建設を進めていたが、2020年3月1日、2号機の性能が所定の条件を満足していることを確認し、営業運転を開始した。2019年10月に1号機の営業運転を開始しており、2号機の営業運転開始により発電規模124.8万kW（62.4万kW×2基）となる本発電所の本格的な操業が始まり、既存の神戸発電所1号機および2号機の操業に加え、現在建設中の神戸発電所3号機および4号機が営業運転を開始する2022年度には、神戸製鋼所グループの発電規模は合計約400万kWに到達する。国のエネルギー政策に則して、火力発電設備の高効率化に寄与するとともに、経済性に優れた電力を安定的に供給することにより、我が国の電力基盤の強化に貢献していく。

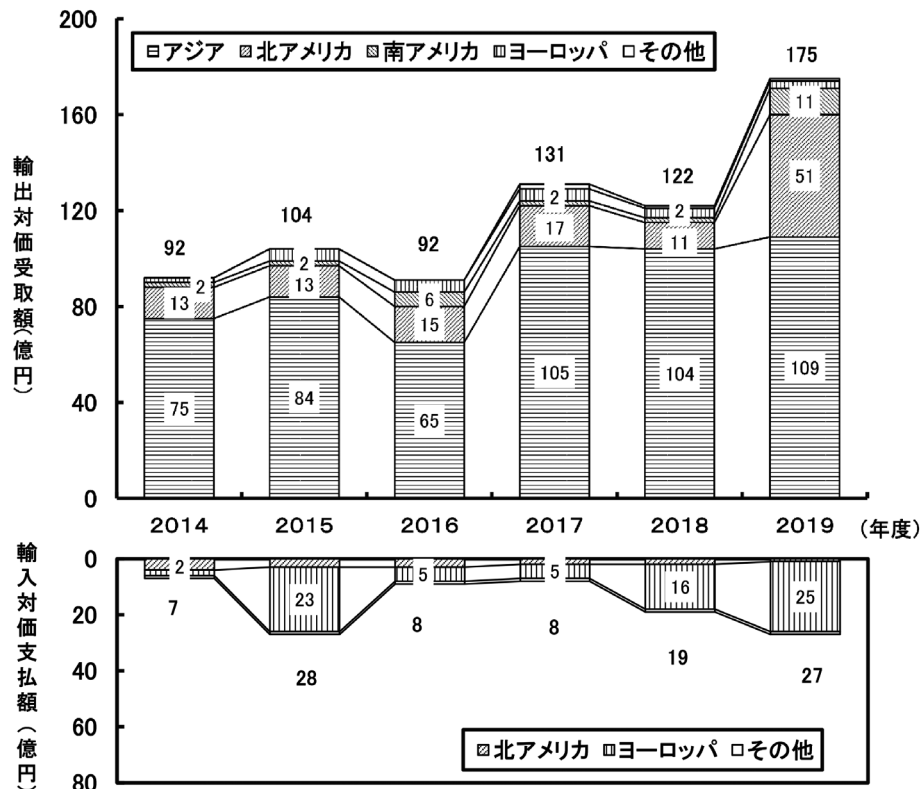
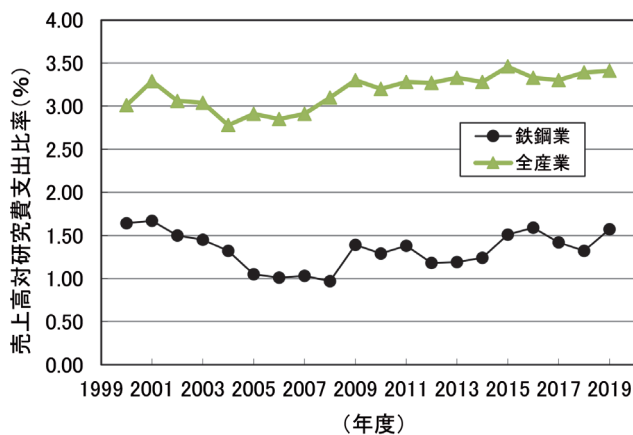
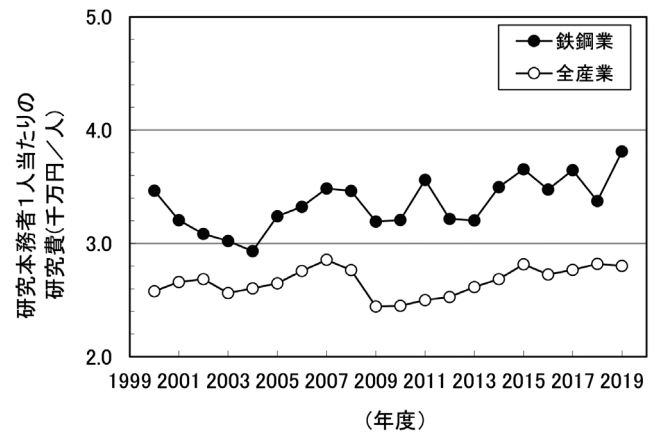
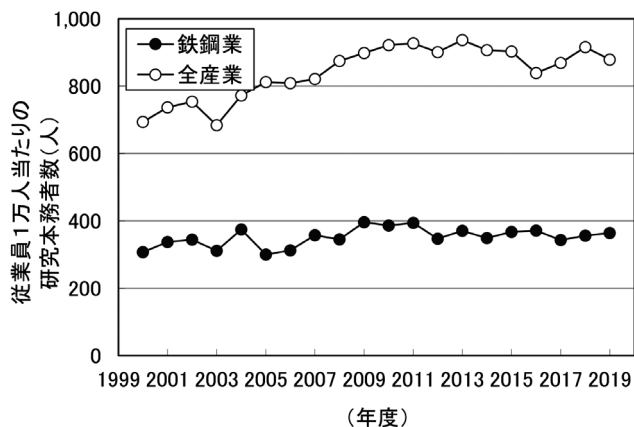
3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図4に鉄鋼業の2019年度までの技術貿易収支の推移を示す⁵⁰⁾。技術輸出対価受取額は前年度と比較して43%増加し、技術輸入対価支払額も42%増加した。

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、以下の3項目を整理した。その結果を図5～図7に示す⁵¹⁾。

図4 鉄鋼業の技術貿易収支⁵⁰⁾図5 売上高対研究費支出比率の経年変化⁵¹⁾図7 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化 (千円/人)⁵¹⁾図6 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化 (人)⁵¹⁾

〔売上高対研究費支出比率〕 前年度と比較して、全産業は横ばいであるが、鉄鋼業は増加している。全産業の2019年度は2015年度の水準で、鉄鋼業は2016年度の水準である。

〔従業員1万人当たりの研究本務者数〕 全産業は2017年度に増加に転じたが、2019年度は減少した。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、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〕 2019年度は、全産業では前年度と比較して僅かに低下している。鉄鋼業は前年度と比較して大きく増加した。鉄鋼業は過去20年間で最も高い水準にある。

表3 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	委託先	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
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
	次世代火力発電等技術開発	NEDO	2016	2021
	CCS研究開発・実証関連事業	NEDO	2018	2022
製 品	革新的新構造材料等技術開発	経済産業省	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
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	2020
	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

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し、文部科学省の「ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト」が2019年度で終了した。主要継続プロジェクトは、「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、委託先：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、委託先：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、委託先：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、委託先：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、「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、委託先：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3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きている。

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。

2020年度はコロナ禍の影響により、企業人材育成、学生人材育成事業のすべてのセミナーを中止せざるを得なかった。

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7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3大学で実施し、1,000名を超える学生が聴講した。また、大学が企画する製鉄所見学のバス代を支給する事業も実施している。

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(表4)。また、2015年から生産技術部門会議の下に設置され活動してきた「建設用鋼材利用検討WG」は、2020年度から「社会インフラ鋼材技術検討部会」として新たな体制による活動を開始しつつある。

さらに、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4)。

表4 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

しかし、2020年度はコロナ禍の影響により、予定されていた春季17、秋季18、計35の部会大会のうち、春季はすべての部会大会が中止または延期となり、秋季は6部会（対面による開催1部会、WEBによる開催5部会）が開催されるにとどまった。

それにより、参加者延べ人数もWEBによる参加を含めて405名となり、大学等からの研究者の参加はなかった。

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、国際交流活動等も軒並み中止または延期を余儀なくされ、一部の活動がWEBまたは人数を絞った対面により実施された。

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4)は、新たに発足した「社会インフラ鋼材技術検討部会」を加え、4部会が活動中である。

2020年度は、いずれの部会においてもコロナ禍の影響を受け、特に上半期はほとんどの部会やWGにおいて活動を行えない状況となったが、下期からWEBを活用した会議や研究発表等の活動を再開させた。

「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、引き続き2019年度から開始したテーマによる活動を継続中である。

また、「自動車用材料検討部会」では、自動車メーカーとの新たな協力関係のあり方について(公社)自動車技術会との協議を重ね、話題提供や若手を中心とした交流の場を設ける等の活動を進めるとともに共同研究活動開始に向けた検討を行い、2021年度からは新たなテーマによる共同研究を実施していくこととなった。

なお、予定されていた自動車技術会／(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は、延期となった。

「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行い、先進耐熱鋼WGでは、これまで3年間の活動をまとめた報告書を作成した。なお、かねてより休会状態であった水素脆化WGは、2020年度末をもって解散した。

「社会インフラ鋼材技術検討部会」は、2020年度から活動を開始する予定であったが、その後新たな運営体制の下で活動内容を見直すこととなり、検討を重ねた結果、技術課題は当初計画提案のままであるものの、対象を見直すことや法令的な課題も検討する等の変更を行うこととなった。

5.3 研究助成

本会の研究助成に関する制度を表5に示す。「鉄鋼研究振興助成」では、2020年度から受給開始となる対象者として新たに35件(若手6件)が採択され、2019年度から開始した30件と合わせて2020年度は合計65件が受給テーマに基づく活動を実施した。

「研究会」は、2020年度には20研究会が活動し、その内の8研究会が同年度に終了した。2020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件であった(表6)。また、2021年度から発足する研究会は、研究会Ⅰが4件(表7)である。

鉄鋼協会研究プロジェクトは、2020年度から新たに1件が活動を開始し(表8)、2021年度から活動を開始する2件が採択された(表9)。

なお、2020年度は、研究会Ⅰ、研究会Ⅱ、鉄鋼協会研究プロジェクトとも、コロナ禍の影響により対面での会議開催が困難な中、WEBを活用した研究発表を行う等工夫して活動を進めてきたが、一部の研究会、鉄鋼協会研究プロジェクトに関しては、やむを得ず活動期間の延長を視野に入れている。

表5 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：65件(2020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：20件(2020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：2件(2020年度12月末現在活動中)

表6 2020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)	2018～2020年度
I	スラグ由来の人工リン鉱石	環境	久保 裕也(福岡工大)	2018～2020年度
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(大和大)	2018～2020年度
I	高温材料の高強度化	材料/評価分析	中島 英治(九大)	2018～2020年度
I	鉄鋼材料への腐食誘起水素侵入	材料/環境	春名 匠(関西大)	2018～2020年度
II	腐食劣化解析に基づく鋼構造物維持の最適化	建設鋼材	坂入 正敏(北大)	2018～2020年度
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)	2019～2021年度
I	資源拡大・省CO ₂ 対応コークス製造技術	高プロ	鷹背 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)	2019～2021年度
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)	2019～2021年度
I	LIBS実用場適用技術開発	評価分析	出口 祥啓(徳島大)	2019～2021年度
II	摩擦接合技術の鋼橋等インフラへの適用性検討	建設鋼材	藤井 英俊(阪大)	2019～2020年度
II	鉄鋼材料の土壌腐食性評価	建設鋼材	西方 篤(東工大)	2019～2020年度
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)	2019～2021年度
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)	2020～2022年度
I	鉄鋼CCU	サステナ	坪内 直人(北大)	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)	2020～2022年度
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)	2020～2022年度
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

表7 2021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	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	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	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	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

※ 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、建設鋼材：建設用鋼材利用検討WG、スラグ：スラグ技術検討WG

表8 2020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 (東大)	2020～2022年度

表9 2021年度採択鉄鋼協会研究プロジェクトのテーマ

研究テーマ	研 究 概 要	主 査	研究期間
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

参考文献

- World Economic Outlook, International Monetary Fund, (Policy Support and Vaccines Expected to Lift Activity), (January 2021), <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update>, (参照日：2021年2月3日)。
- Disease Outbreak News (DONs), World Health Organization, (Novel Coronavirus – China), (12 January 2020), <https://www.who.int/csr/don/12-january-2020-novel-coronavirus-china/en/>, (参照日：2021年1月15日)。
- 新型コロナウイルス感染症の現在の状況と厚生労働省の対応について, 厚生労働省, (参照日:2020年12月31日), https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15828.html, (参照日：2021年1月15日)。
- 国民経済計算 (GDP統計) -統計データ-統計表 (四半期別GDP速報) -2020年-1994年1-3月期～2020年4-6月期2次速報値-結果の概要, 内閣府, (2020年4～6月期四半期別GDP速報 (2次速報値)), (2020年9月8日), https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sokuhou/files/2020/qe202_2/pdf/gaiyou2022.pdf, (参照日：2021年2月3日)。
- 国民経済計算 (GDP統計) -統計データ-統計表 (四半期別GDP速報) -統計表一覧 (2020年4-6月期2次速報値) - I .国内総生産 (支出側) 及び各需要項目-実績, 内閣府, (名目年度) 及び (実質年度), (2020年9月8日), https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sokuhou/files/2020/qe202_2/gdemenuja.html, (参照日：2021年2月3日)。
- World Economic Outlook, International Monetary Fund, (October 2020 Edition), <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October>, (参照日：2021年2月3日)。
- Average wages, OECD, (Total, US dollars, 1997-2019), <https://data.oecd.org/earnwage/average-wages.htm>, (参照日：2021年2月10日)。
- 2021年度鉄鋼需要見通し, 日本鉄鋼連盟, (2020年12月17日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/202012172021tekkoujuyoumitoshi.pdf>, (参照日：2020年12月27日)。
- 昭和45年運輸白書, 国土交通省, (第4節 全国新幹線鉄道の整備), <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/transport/shouwa45/ind030604/frame.html>, (参照日：2021年2月3日)。
- 数字でみる鉄道2020, 国土交通省鉄道局 監修, 一般財団法人 運輸総合研究所, 東京, (2021), 23。
- 2020・2021年度内外経済見通し, みずほ総合研究所, (2020年12月10日), <https://www.mizuho-ri.co.jp/>

- publication/research/pdf/forecast/outlook_201210.pdf, (参照日: 2021年2月3日).
- 12) worldsteel鉄鉄・粗鋼生産速報, 日本鉄鋼連盟, (worldsteel鉄鉄・粗鋼生産量・時系列表2011～2020年), (2021年1月27日), https://www.jisf.or.jp/data/iisi/documents/summary_2020CY_.pdf, (参照日: 2021年2月3日).
 - 13) 鉄鋼需給統計月報 (抜粋), 日本鉄鋼連盟, (主要鉄鋼指標), (2021年1月・第681号), <https://www.jisf.or.jp/data/tokei/documents/TPR1001j.xls>, (参照日: 2021年2月10日).
 - 14) 経済産業省における地球温暖化対策の取組, 経済産業省, (令和2年9月1日), https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_wg/pdf/001_s02_00.pdf, (参照日: 2021年1月15日).
 - 15) トピックス, 日本鉄鋼連盟, (「ゼロカーボン・スチール」実現に向けた技術開発事業の受託について), (2020年6月17日), <https://www.jisf.or.jp/news/topics/20200617.html>, (参照日: 2021年1月15日).
 - 16) Production, RioTinto, (Fourth Quarter Operations review 2020), <https://www.riotinto.com/invest/financial-news-performance/Production>, (参照日: 2021年1月20日).
 - 17) Investor centre-Financial results and operational reviews, BHP, (Operational Review for the half year ended 31 December 2020), <https://www.bhp.com/investor-centre/financial-results-and-operational-reviews/>, (参照日: 2021年1月28日).
 - 18) Investors-Information to the market-Quarterly Results, VALE, (4Q20 Production and Sales Report), <http://www.vale.com/EN/investors/information-market/quarterly-results/Pages/default.aspx>, (参照日: 2021年2月5日).
 - 19) Commodities-Iron ore-About the Price, Market Index, (Iron Ore (62% CFR China)), <https://www.marketindex.com.au/iron-ore>, (参照日: 2021年3月3日).
 - 20) Commodities Prices, index mundi, (Coal, Australian thermal coal Monthly Price), <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=coal-australian&months=240>, (参照日: 2021年1月28日).
 - 21) Commodity Markets, The World Bank, (Commodities prices), (March 2, 2021), <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>, (参照日: 2021年3月9日).
 - 22) 石炭資源情報, 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, (中国: 中国国内の輸入原料炭価格が豪州炭価格を100USD/トン上回る), (2021年1月14日), http://coal.jogmec.go.jp/info/docs/210114_6-1.html, (参照日: 2021年2月5日).
 - 23) 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: 2021年1月28日).
 - 24) 鉄鋼需給四半期報, 日本鉄鋼連盟編, 275～277 (2020), 278 (2021).
 - 25) 新車・年別販売台数 (登録車+自動車), 日本自動車販売協会連合会, <http://www.jada.or.jp/data/year/y-rl-hanbai/>, (参照日: 2021年2月9日).
 - 26) 鉄鋼生産速報, 日本鉄鋼連盟, (暦年 全国鉄鋼生産高/全国鋼材生産高), <https://www.jisf.or.jp/data/seisan/documents/2020CY.xls>, (参照日: 2021年1月27日).
 - 27) 鉄鋼需給の動き, 日本鉄鋼連盟, (2021年1月), <https://www.jisf.or.jp/data/jyukyu/documents/jyukyu2101.pdf>, (参照日: 2021年2月3日).
 - 28) 鉄鋼新聞, 鉄鋼この1年 (2), 2020年12月11日2面.
 - 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2月15日), https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu1, (参照日: 2021年2月15日).
 - 30) ビジネス短信, 日本貿易振興機構 (JETRO), (粗鋼生産, 2020年は初めて10億トンを突破する見込み), (2020年12月28日), <https://www.jetro.go.jp/biznews/2020/12/b4aef7f6a3f4a7c0.html>, (参照日: 2021年1月15日).
 - 31) 財経新聞, 中国で電力不足が深刻化し停電, 2020年12月25日, <https://www.zaikei.co.jp/article/20201225/601027.html>, (参照日: 2021年1月15日).
 - 32) 経済・政策レポート-景気・相場展望-中国経済展望, 日本総合研究所, (中国経済展望2021年1月号), (2020年12月), <https://www.jri.co.jp/MediaLibrary/file/report/china/pdf/12315.pdf>, (参照日: 2021年2月3日).
 - 33) 鉄鋼新聞, 駱鉄軍・中国鋼鉄工業協会副会長, 2020年12月28日2面.
 - 34) Steelmaking capacity, OECD, (Latest developments in steelmaking capacity 2020), (2020年5月22日), <https://www.oecd.org/industry/ind/latest-developments-in-steelmaking-capacity-2020.pdf>, (参照日: 2021年3月10日).
 - 35) アジア金属, 産業新聞, (中国「地条鋼」復活の動き), (参照日: 2020年4月17日), <https://www.japanmetal.com/news-a2020041795834.html>, (参照日: 2021年2月3日).
 - 36) コラム, 日本経済研究センター, (混迷インド経済によ

- うやく回復の兆し), (2020年10月12日), <https://www.jcer.or.jp/j-column/column-yamada/20201012-3.html>, (参照日: 2021年1月15日).
- 37) 研究領域 レポート-アジア・新興国経済, ニッセイ基礎研究所, (インド経済の見通し), (2020年12月3日), <https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=66264?pno=2&site=nli>, (参照日: 2021年1月15日).
- 38) The Gazette of India:Extraordinary, Ministry of Steel, (Amendments / additions to the Policy for Providing Preference to Domestically Manufactured Iron & Steel Products in Government Procurement - revised, 2019), (2020年12月31日), <https://steel.gov.in/sites/default/files/amedment%20in%20the%20Policy.pdf>, (参照日: 2021年2月3日).
- 39) 鉄鋼統計要覧2020 (令和2年), 日本鉄鋼連盟, 東京, (2020), 97.
- 40) 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/kinzokusoza02planhontai.pdf, (参照日: 2021年2月12日).
- 41) 総合科学技術・イノベーション会議(第48回)議事次第-資料, 内閣府, (革新的環境イノベーション戦略), (2020年1月21日), <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>, (参照日: 2021年2月12日).
- 42) 鉄鋼新聞, 転炉用耐火物原料価格 中国品1.5倍に急騰, 2021年2月9日付第1面.
- 43) IRライブラリ-決算説明会資料, 東海カーボン株式会社, (2020年12月期第3四半期決算説明会資料), (2020年11月5日), <https://www.nikkei.com/nkd/disclosure/tdnr/cl9mxj/>, (参照日: 2021年2月2日).
- 44) 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 窯業・土石(建材)製品), (2021年2月15日), https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu1, (参照日: 2021年2月9日).
- 45) 鉄鋼新聞, マンガン価格, 上昇鮮明, 2020年12月17日付第1面.
- 46) 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 低炭素社会実行計画), <http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/>, (参照日: 2021年2月12日).
- 47) 研究評価委員会「環境調和型プロセス技術の開発／〔1〕水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)」(中間評価) 分科会-その他資料, NEDO, (議事録), <https://www.nedo.go.jp/content/100923972.pdf>, (参照日: 2021年2月12日).
- 48) 研究評価委員会「環境調和型プロセス技術の開発／〔1〕水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)」(中間評価) 分科会-その他資料, NEDO, (資料5 プロジェクトの概要説明資料(公開)), <https://www.nedo.go.jp/content/100923806.pdf>, (参照日: 2021年2月12日).
- 49) ニュースリリース一覧, NEDO, (フェロコックス製造のための中規模設備の実証試験を開始), (2020年10月12日), https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101364.html, (参照日: 2021年2月12日).
- 50) 科学技術研究調査-2020年(令和2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)), (2020年12月15日), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003321300>, (参照日: 2021年2月9日).
- 51) 科学技術研究調査-2020年(令和2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)), <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003320423>, (参照日: 2021年2月9日).

(2021年3月1日受付)

☆2020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。

2020 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)	R I D E S W E L [®]	軽量化ニーズに応える高強度懸架ばね用鋼。省合金化しつつ、高強度化とそれに伴い低下する靱性や耐水素脆性等を両立。
	愛知製鋼 (株)	省資源高強度高圧水素用ステンレス鋼「A U S 3 0 5 - H 2」	燃料電池自動車の水素充填口などの高圧水素系部品用鋼材。モリブデン不使用、快削元素の添加により切削加工性を向上。
建築向け	J F E スチール(株)	建築構造用熱間成形継目無角形鋼管「カクホット [®] 」	熱間シームレス成形により製造される継目無角形鋼管。小径・厚肉の断面が特徴。
産業機械向け製品	山陽特殊製鋼(株)	次世代型レキュペレータ用耐熱鋼	高温強度と耐高温腐食性に優れ、レキュペレータにおいてより高温で廃熱回収が可能となる高クロムフェライト系耐熱鋼。
	日 本 製 鋼 所 M & E (株)	遠心圧縮機用大型インペラ	1 7 - 4 P H ステンレス鍛鋼製の大型インペラ素材 (最大外径φ1.9m、高さ約 660mm、重量約 7ton)。
電気機械	J F E スチール(株)	高速モータ用 S i 傾斜磁性材料「J N R F [™] 」	C V D (化学気相蒸着) 連続浸珪プロセス技術を用い、高周波鉄損の低減と磁束密度の向上を両立した。

☆生産技術のトピックス☆

2020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。

フェロコックス中規模設備の実証試験を開始

JFEスチール（株）

JFEスチールとNEDOは、神戸製鉄所、日本製鉄、国立大学法人東北大学、および国立大学法人九州大学と共同で実施中の「環境調和型製鉄プロセス技術の開発/フェロコックス技術の開発」において、JFEスチール西日本製鉄所（福山地区）に建設していた日産300トンの中規模フェロコックス製造設備を完成させ、10月9日より実証試験を開始した。

フェロコックスは低品位の石炭と低品位の鉄鉱石から製造される革新的な高炉原料である。フェロコックス中に約30%含まれる金属鉄の触媒作用を活用し、高炉内の還元効率を飛躍的に高めることで、高炉内に投入するコークス量の削減を通じて、製鉄プロセスのCO₂発生量を大幅に削減することができる省エネルギー技術と位置づけられている。

本プロジェクトでは、高炉使用時のCO₂排出量の大幅削減、省エネルギー、および低品位の石炭・鉄鉱石使用による資源対応力強化を目的としたフェロコックス製造技術を開発し、2023年頃までに製鉄プロセスにおけるCO₂排出量とエネルギー消費量を約10%削減する技術の確立を目指している。



図1 フェロコックス製造設備外観

福山No.3焼結機の建設

JFEスチール（株）

JFEスチールでは、主要な高炉原料の一つである焼結鉱の自給率を高めるために、休止していた既存のNo.3焼結機（稼働1969年、休止1982年）を撤去し、新たにNo.3焼結機（火格子面積387m²、生産能力300～400万t/年）を建設した。これにより焼結鉱の生産能力増強が図れ、外部調達をしている鉄

鉱石ペレットからより安定した品質の焼結鉱に置き換えることにより、原料コストの削減と高炉の安定操業が実現することができた。設備の更新にあたっては最新の技術（Primetals Technologies社製の焼結機と排ガス処理設備）を導入し環境に配慮するとともに、エネルギー負荷を低減した操業を実現している。

建設の着工は2017年4月、稼働は2019年12月であり、予定通りのスケジュールで建設工事を推進することができた。今回の建設工事における技術的なポイントとしては、吸着剤吹込み式バグフィルターと湿式脱硫を組み合わせた最新式の排ガス処理設備を導入したことである。これにより排ガス中のSO_x=1～2ppm、DXN<常時0.1ng-TEQ/Nm³という高い目標をクリアできている（従来基準はSO_x≤215ppm、DXN<1.0ng-TEQ/Nm³）。排ガスは循環方式にすることにより排出量を抑制し、排ガス処理設備のコンパクト化を実現した。また焼結原料層内の燃焼状態を逐次モニタリングするための温度、酸素濃度計を始めとした各種センサーを配備し、得られた膨大なビックデータを統合的に解析することにより、オペレーターに最適操業を提案する最新のDS/IoT技術も今回新たに導入した。



図2 福山No.3焼結機建設状況（全景）

電気炉排熱交換・利用設備導入によるCO₂削減

愛知製鋼（株）

愛知製鋼は「2030年ビジョン」で定められた環境基本方針に基づき、資源循環型企業としてCO₂排出量削減による低炭素社会への貢献を強力に推進している。その中でもエネルギーを大量に消費し、CO₂排出量割合が最も高い電気炉（全社の36%）においてエネルギーと資源のさらなる有効活用による地球環境と調和したモノ作りを推進することが急務であり第1段階として電気炉排熱回収設備を導入した（国内業界初）。本設備は電気炉溶解工程で排出される高温排ガス（冷却塔出側400℃）がもつ顕熱を排熱ボイラーにて回収し、蒸気

に変換したものを同製鋼工程内のRH真空脱ガス工程用蒸気と他工場一般用蒸気（暖房等）に利用した。

その結果約47%排熱回収（電気炉から排出される排ガス顕熱を100%とした場合）できる性能であることを確認した。省エネルギー効果として従来のガス炊きボイラー燃料原単位を90%低減。これに伴いCO₂も全社の約1%削減（4.2千t-CO₂/年）を達成している。

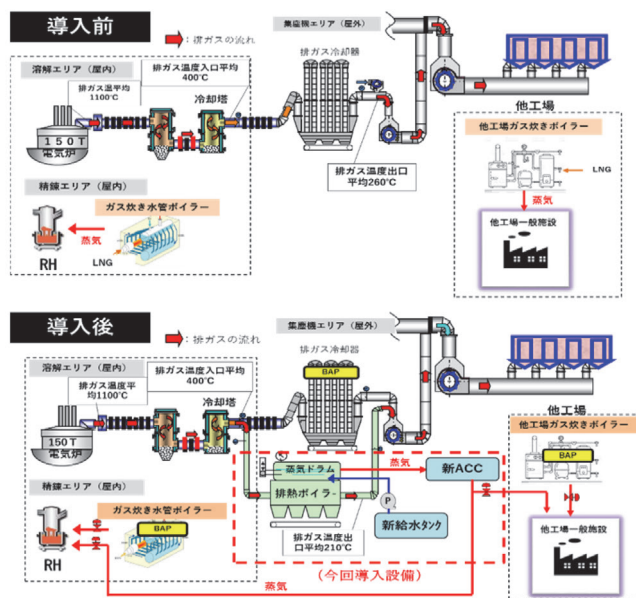


図3 電気炉排熱回収設備導入前後の設備構成

高速モータ用Si傾斜磁性材料「JNRF™」

JFEスチール（株）

電気自動車や高級家電ではモータ小型化の観点から、駆動周波数の高周波化が進展しており、モータのコア材料として使用される電磁鋼板には、高周波域での低鉄損化とともに、高トルク化の観点から高磁束密度化が求められている。高周波域での鉄損を低減するためには、鋼の電気抵抗を高めるSiの添加量を増やすことが有効であるが、磁束密度の低下を招くという課題があり、従来技術では高周波低鉄損と高磁束密度の両立は困難であった。

JFEスチールは、このような課題に対応すべく、世界で唯一のCVD（化学気相蒸着）連続浸珪プロセス技術を活用し、浸珪量と拡散条件の最適化による板厚方向のSi濃度分布制御、および結晶方位制御によって3%程度のSiを含有する無方向性電磁鋼板並みの低鉄損密度と、現行Si傾斜材を凌ぐ高周波低鉄損を両立した高速モータ用Si傾斜磁性材料「JNRF™」を開発した。

JNRF™は、電気自動車の駆動モータ、家電製品用モータ、およびドローンモータなど、小型・高速化が進展するモータ分野において、モータの大幅な高効率化に寄与すると期待されている。

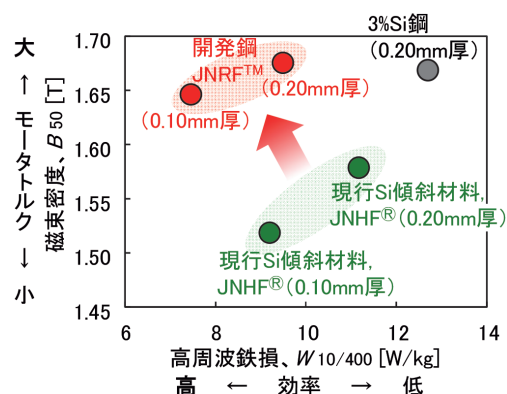


図4 高速モータ用Si傾斜磁性材料の磁気特性

高温強度と耐高温腐食性に優れた次世代型レキュペレータ用耐熱鋼を開発

山陽特殊製鋼（株）

山陽特殊製鋼は各種工業炉における燃料節減とCO₂排出削減を目的としたエネルギー効率の向上に貢献する次世代型レキュペレータ用耐熱鋼を開発した。

レキュペレータとは、LNG等を燃料とする各種工業炉の煙道に設置され、排出ガスの熱を利用して燃焼用空気を予熱する廃熱回収装置であり、山陽特殊製鋼ではこれまでに伝熱管として用いられる高クロムフェライト系耐熱鋼「SICシリーズ」を開発している。一方で廃熱回収時の伝熱管の損傷を抑えるため、現状では高温の排出ガスを希釈して温度を下げている状態であった。この度、金属間化合物の析出による強化に着目し、独自の合金設計・組織制御技術を活用して高温環境下における結晶粒界・結晶粒内での析出状態を最適化することで、既存のSIC12と同等の耐酸化性、耐高温腐食性を有しながら、大幅に高温強度を向上させた耐熱鋼の開発に至った。

本開発鋼をレキュペレータに適用することで、より高温での廃熱回収が可能となり、各種工業炉におけるエネルギー効率向上による燃料節減とCO₂排出削減が期待される。

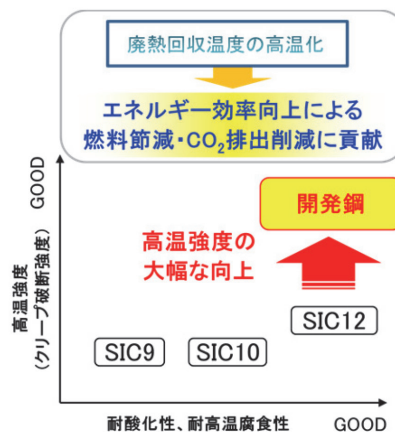


図5 開発鋼の位置付け

光電センサ、光学式エンコーダ向け 高出力赤色点光源LEDの表面実装部品の開発

大同特殊鋼(株)

大同特殊鋼は、世界最高レベルの光出力5.7mW (20mA電流注入時) を有した高出力赤色点光源LED (Light Emitting Diode) の表面実装部品「MED7P14-SMF-1」を開発した。

LEDは照明機器だけでなく、センサ光源として多くの産業分野で製造装置・ラインに組み込まれている。特に点光源LEDは発光部が微小なため光線制御性に優れ、光電センサやサーボモータの光学式エンコーダなどに搭載されている。

これまでの点光源LED素子では、ユーザーが素子を実装する必要があり、専用の実装設備や実装技術のノウハウが必要であった。また、現在利用されている電子部品の多くは、表面実装部品となっており、実装の生産性向上要求、および各種モジュールにおける小型薄型化、高密度実装化要求から、点光源LED素子においても表面実装型が求められていた。今回、電極パターンが形成されている基板上に高出力赤色点光源LED素子(製品名: MED7P14、波長: 650nm)を実装し、屈折率が高く、耐光性の高い透明樹脂でモールドすることで、点光源LED素子からの光の取り出し効率を向上させ、高出力の表面実装部品を実現した。

開発した表面実装部品では、ユーザーはその他の表面実装電子部品と同様にプリント基板に容易に実装することが可能となる。今後、工場自動化、ロボット、3Dセンシング等の用途への適用が期待される。

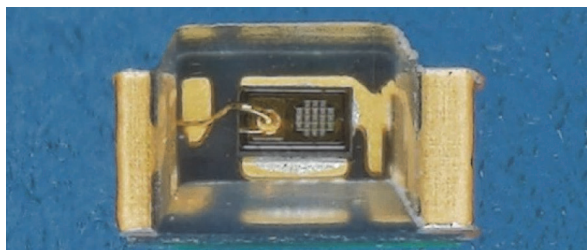


図6 表面実装部品 MED7P14-SMF-1の外観写真 (JIS規格1608M、幅1.6mm奥行き0.8mm高さ0.7mm)
出所: 大同特殊鋼web サイト

エネルギー需給ガイダンスシステムの導入

JFEスチール(株)

JFEスチールは、燃料・蒸気・電力運用における省エネルギー・CO₂削減、コスト最小化を目的に、工場の詳細な生産計画を取り込んでシミュレーションを行い、オペレータへ運用支援するガイダンスシステムを開発し、西日本製鉄所(倉敷・福山地区)に導入した。

本システム導入前は圧延加熱炉へ装入するスラブ情報(熱片・冷片)を把握できなかった為に、圧延加熱炉でのガス使用量が今後も一定量続くとした使用予測と副生ガス発生も転

炉吹錬実態による急激な需給変動に対応することができず、外部燃料購入増となっていた。本システム導入後は圧延加熱炉へ装入するスラブ情報を取り込むことで、ガス使用量を高精度に予測可能となった。これにより、ガイダンスを活用したガス需給運用を行うことで、外部燃料購入を削減した。製鋼吹錬情報等を取り込むことで、転炉同時吹錬が高精度に予測可能となり、ガス・蒸気放散を削減した。

本システムの導入により、従来のオペレータの経験や能力に基づく運用に対して、更に効率的な運用ができるようになり、省エネルギー・CO₂削減、燃料・蒸気・電力コストの低減を実現した。今後は他地区への展開及び外販等を推進して行く。

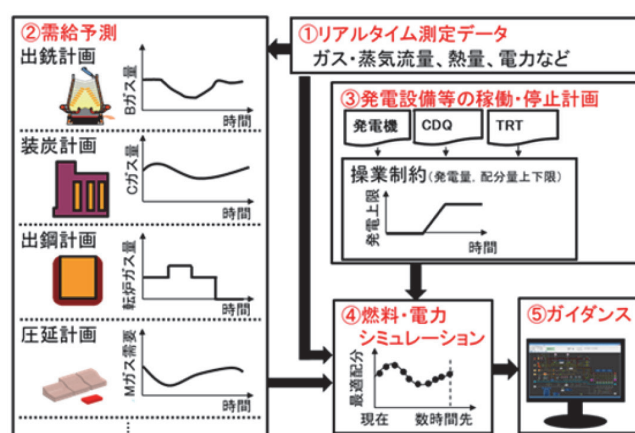


図7 エネルギー需給ガイダンスシステムの概要

JFE Digital Transformation Center (JDXC™) の開設

JFEスチール(株)

JFEスチールは2020年7月、データサイエンスおよび最新ICTを活用した全社的デジタルトランスフォーメーション(以下DX)の推進拠点として「JFE Digital Transformation Center」(以下 JDXC™)を本社に開設した。JDXC™は全製鉄所・製造所の操業データを統合的に活用できる環境を備える特徴を持つ。

日本の多くの鉄鋼一貫製鉄所は、操業開始以来何十年もの歴史を通じて、様々な製造・品質管理のノウハウ、設備・操業トラブルの予兆管理など、データを豊富に蓄積してきており、鉄鋼各社はこれまでもこれらを活用したIT化を検討・推進してきた。

JFEスチールも、各地区に蓄積されたデータを社内クラウドに共有し、全社のデータを各地区共通で解析・モデリングできる仕組みの構築を進めているが、JDXC™の開設により、これらの豊富なデータの統合的な活用を可能にし、グローバルな競争優位性を高められると考えている。

JDXC™の機能および目的としては以下の点が挙げられる。(図8参照)

1. データに関して、上工程から下工程まで連携、地区間の共有化など、統合的に活用し、生産性向上およびコスト削減等を推進。
2. 製造プロセスのサイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical System[※]、以下CPS) の共通化・標準化による、操業技術全体のレベルアップ。
3. 全社データサイエンティストの知識と経験の共有ならびに課題解決を通じた、スキルアップおよび人員拡充。

今後は、従来のDXへの取組みに加え、JDXCTMを拠点とした他の主要な製造プロセスへの取組み展開、各地区のCPS・製造設備の遠隔監視の実現、リモートワークをはじめとする様々な働き方に対応するなど、革新的な生産性向上および安定操業を目指す。

(※) サイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical System) :
フィジカル空間 (実際の設備や製品) に関する莫大なセンサー情報をサイバー空間 (仮想世界) に集約し、各種手法の解析結果をフィジカル空間にリアルタイムにフィードバックすることで価値を創出するシステム。

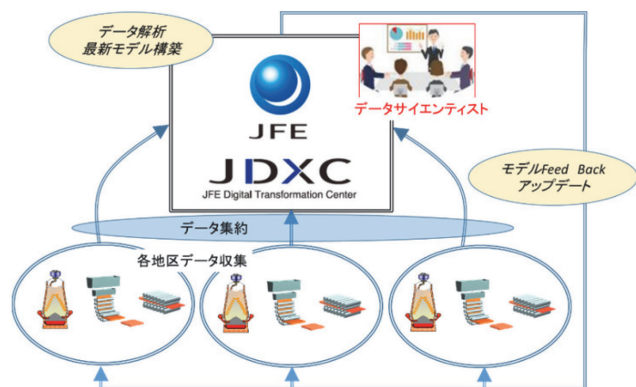


図8 JDXCTMの活用イメージ

ローカル5Gによる操業物流DXに向けた取り組み

日本製鉄 (株)

日本製鉄は、日鉄ソリューションズ (株) と共同で室蘭製鉄所において、ローカル5G (自営無線網) の構築に向けた適用検証を開始した。自営無線網は、高速な無線網を自社専用に運用することで大量のデータ通信を容量無制限で実現することができ、社外の通信網を一切通らないことから極めて高いセキュリティを担保することが可能となる。また、自ら無線基地局を設置することで、建屋等の影響により公共無線網では電波の届きにくい場所など広い敷地内の隅々まで通信できるメリットもある。

2021年に予定している5G認可に先駆けて、自営等BWA (4Gの自営無線網) を設置し、電波を遮蔽・反射する高い建造物が多い製鉄所特有の無線電波の伝わり方や伝送速度の検証を行い、5G化を進める計画としている。また、構内を走

行するディーゼル機関車に高精度測位 (RTK測位) と高精度4Kカメラによる遠隔運転化、構内IPカメラの画像を使ったAIによる自動識別・検知による安全レベルの向上、各種設備に設置するIoTセンサーからのセンシングデータを基にした設備診断・予兆管理への適用についても並行して技術検証を行う予定である。

室蘭製鉄所で得られた成果に基づき、他製鉄所への展開のみならず、日本製鉄グループの製造現場全体のデジタルトランスフォーメーション (DX) 実現を目指し進めていく。

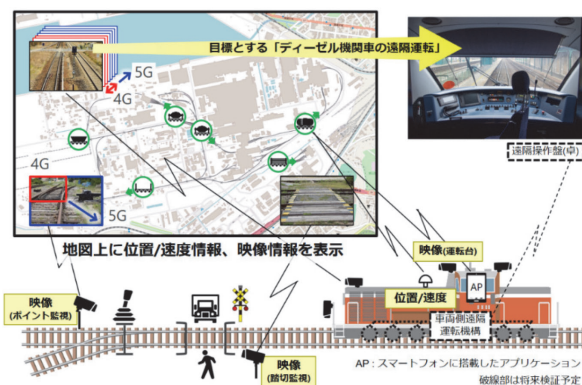


図9 適用イメージ
出所: 日本製鉄webサイト

インバリエント分析技術を活用した設備状態監視基盤の構築

日本製鉄 (株)

日本製鉄は、製鉄製造現場におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) 推進の一環として、鉄鋼製造現場で長年培った設備診断、設備管理ノウハウおよびプロセス制御におけるデータ解析技術と、日本電気 (株) のAI分析ソフトウェア「NEC Advanced Analytics -インバリエント分析」を組合せた設備状態監視基盤を構築した。

本基盤は、100ms毎にリアルタイムに得られる現場設備計測データ等から、「いつもと違う」異常の予兆を自動検知し、トラブルによる稼働停止や設備不良による製品の品質劣化を未然に防止することができる。さらに稼働中の“いつもの状態”を学習することで、発生したことがない未知のトラブルの発見も可能である。また、本基盤は、鉄鋼製造プロセスの異常判定に十分なレスポンスを有し、さらに判定に用いるデータの前処理を利用者自身でカスタマイズできることから、様々な鉄鋼製造設備への展開が可能である。

今回、本基盤を君津地区の熱延工場に適用し、製造工程各所に設置した500点の物理センサーから収集したデータを含む2,000以上の計測項目データ (電流・温度・圧力・制御信号など) を基に設備や装置の振る舞いをAIにより学習・モデル化することで、トラブルを未然に防ぎ、設備点検・稼働監視の効率化を実現する。

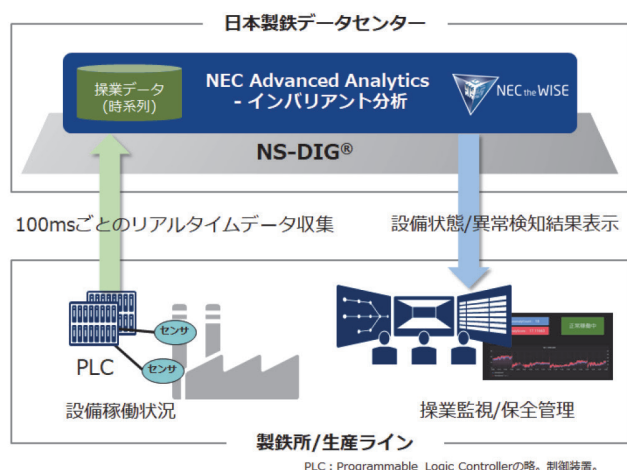


図10 設備状態監視基盤システム概要
出所：日本製鉄web サイト

遠心圧縮機用 17-4PH ステンレス鋼製大型インペラ素材

日本製鋼所 M & E (株)

石油化学プラントやガスパイプラインなどで使用される遠心圧縮機用インペラは、生産性効率化などの観点から大型化が求められており、かつ、高速回転体であるため高い信頼性が要求される。日本製鋼所 M & E は、昨今のインペラ大型化へのニーズに応えるべく、独自の熱処理シミュレーションを駆使することによって、φ 1.9m、高さ約 660mm、重量約 7ton の 17-4PH ステンレス鋼製大型インペラ素材の製造に成功した (図11)。

インペラは腐食性のガスに晒され、高速回転による遠心力が負荷される。そのため、耐食性と高強度を併せ持つ鋼種として、主に析出硬化系ステンレス鋼 (17-4PH) が使用される。本鋼種は水素割れ感受性が高いことが一般的に知られており、かつ、製品が大型化するほど、熱処理時の製品内外での温度差が大きくなり、内部のマルテンサイト変態により外表面に引張応力が発生するため、割れ発生が懸念される。従って、割れを防止するためには、鋼中水素量の低減と熱処理時の変態応力を抑えることが有効と考えられる。

そこで、変態応力を軽減するために、熱処理形状及び熱処理条件の適正化を図った。日本製鋼所 M & E では相変態を伴う鋼種の熱処理割れ防止を目的として、FEM 解析ソフトに独自のサブルーチンプログラムを組み込むことで計算精度の向上を図っている。温度-組織-応力の連成関係を考慮した解析を行うことで、冷却過程における部材内の組織分率や作用応力の分布を推定でき、実測値に近い残留応力値が得られる。日本製鋼所 M & E ではインペラの更なる大型化ニーズに応えるべく、製造技術開発を進めていく。

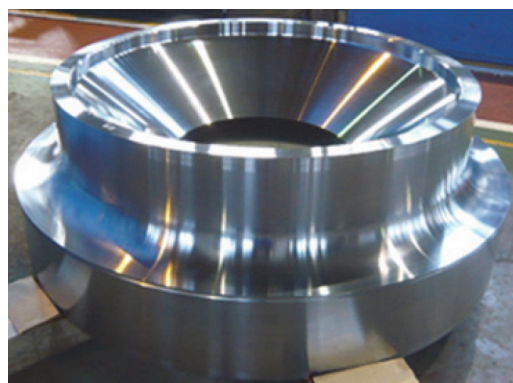


図11 17-4PH ステンレス鋼製φ 1.9m インペラ素材
出所：日本製鋼所 M&E 資料

高機能ステンレス鋼の二次加工能力増強 (知多第2工場稼働) 大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼は愛知県知多市に知多第2工場を設立し、2020年3月に棒鋼ピーリング設備1ライン (皮剥ぎ設備、月産能力 1,000t) の稼働を開始した。自動車や半導体製造装置などの部品向けに需要拡大が期待できる高機能ステンレス棒鋼の生産能力増強が狙い。主力の知多工場で製鋼、圧延したステンレス棒鋼は、これまで星崎工場で加工して梱包、出荷していたが、加工から出荷までの工程の一部を知多第2工場へ移管する。

今後は2021年中に熱処理設備2基の新設、星崎工場からピーリング設備を移設して2ライン化するほか、超音波検査装置を導入し品質保証体制をさらに強化する。これらの設備が本格稼働することで、能力増強のみならず、物量増加により手狭となっていた星崎工場の物流改善を図る。

更に知多第2工場は大同スマートファクトリーの先駆けとなるモデル工場とすべく、IoT技術を活用していく。モノづくりでの問題点や変化点を正確にとらえるための情報収集は多大な時間と労力を要するが、最新のIoT技術を活用することで「素早く応えられる」「すぐに捉え改善できる」工場とし、経営課題に対応できる生産体制を目指す。

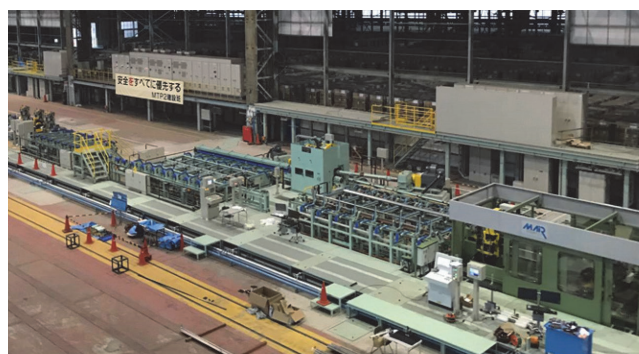


図12 知多第2工場 棒鋼ピーリング設備

中津川先進磁性材料開発センター開所

大同特殊鋼(株)

大同特殊鋼は2020年5月に磁石の研究開発ならびに次世代モーターの研究、磁性材料応用製品の研究開発拠点として岐阜県中津川市に中津川先進磁性材料開発センターを開所した。

近年の環境意識の高まりから自動車の電動化が進みつつある中、電動化の主役であるモーターに注目が集まり、モーター出力に大きく貢献する磁石に対して性能向上への要求が更に強まっている。そうした状況下、大同特殊鋼では磁石事業の成長戦略を推進中である。磁石事業においては子会社である(株)ダイドー電子が製造・販売を、研究開発を大同特殊鋼が担ってきたが、今回ダイドー電子が立地する中津川地区で新拠点を設立し、磁石の研究と製造、さらにモーターの設計・評価を同地区に集約することで、次世代モーター技術とそれを支える高機能磁石に関する産学連携の研究開発を推進し、体制強化を図っていく。

本センターの産学連携拠点化により、自動車産業、ロボット産業および素材産業の技術革新に寄与するとともに、次世代モーターと磁石などの基礎材料の双方に精通する先端技術者を育成するという役割も担っていく。



図13 中津川先進磁性材料開発センターの外観
出所：大同特殊鋼webサイト

熱処理省略可能な高強度焼結部品用ニッケルフリー合金鋼粉『FM800』

JFEスチール(株)

JFEスチールは、ベルト炉焼結のままで引張強さ(TS)800MPa級の焼結部品を実現するNiフリー合金鋼粉『FM800』を開発した。従来、焼結機械部品の鉄基原料粉末として用いられてきた4%Ni系合金鋼粉(図14)は、高強度部材用として広く使用されてきたが、切削性の悪化による加工費の増大やNiの価格高騰による合金鋼粉価格の上昇といった問題が挙げられており、Niを含まずとも同等の特性を有し、かつ安価な合金鋼粉が要望されていた。一方、TS800MPa級の強度特性を要求される焼結機械部品には、

4%Ni系合金鋼粉を焼結したままでは強度が不足するため、更に浸炭熱処理を施す必要があった。これは強度的に過剰品質の状態であり、部品の製造コストおよびリードタイムの増大のみならず、CO₂排出や環境負荷の課題を抱えていた。これらの課題を解決することを目的として、JFEスチールはCuを3%、Moを1.3%プレアロイ添加した今までにないNiフリーの合金鋼粉『FM800』(図14)を開発し、図15に示すように焼結のままでTSが800MPaを超える高強度を達成することに成功した。浸炭熱処理プロセスの省略が可能となることにより、エネルギー使用量の削減やCO₂排出量の低減などによるSDGsへの貢献も期待される。

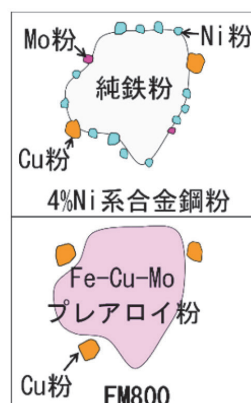


図14 粒子構造イメージ図

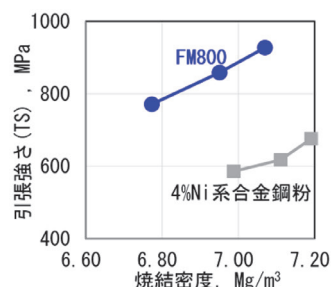


図15 焼結密度と引張強さの関係

コイル製品倉庫クレーンスマート運用システム

JFEスチール(株)

JFEスチールは、コイル製品倉庫の荷役設備である自動天井クレーンのスマート運用システムを開発し、全社展開を開始した。

製鉄所にて製造されたコイル製品は、梱包後一時的に出荷岸壁近くの商品倉庫に保管され、出荷日になると商品倉庫からクレーンによって搬出された後、運搬船やトラックにより顧客に向けて発送される。商品倉庫からのコイル搬出作業はオペレーターにより実施されてきたが、多数クレーンが並行して動く複雑な操業のため、搬出待ち時間が発生して出荷効率が十分上がらないケースがあった。

今回開発したスマート運用システムでは、「スケジューリングプログラム」(図16)によって、操業・出荷計画等をベースに作業順を自動的に最適化し、さらに「配置最適化機能」によって、コイル製品を理想的な配置に並べ替えて、別のコイル製品が上に乗ってしまっている場合に発生する掘り出し作業を低減し、搬出待ち時間を0にすることに成功した。本システムは、3段積みのコイル倉庫や、荷さばき場がなくスペースに余裕がない倉庫に対しても適用できるため、今後も全社の倉庫に適用拡大され出荷効率のさらなる向上に貢献することが期待される。

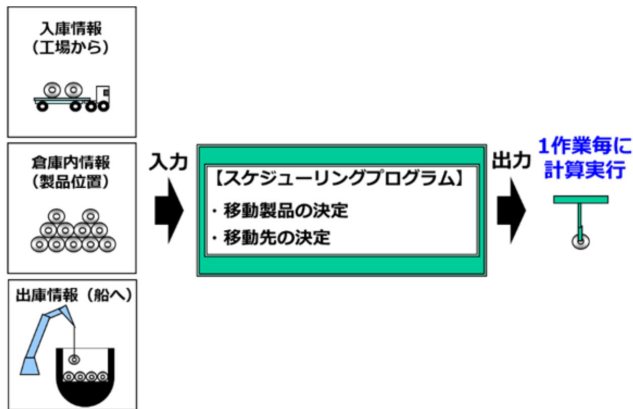


図16 スケジューリングプログラム概要
出所：JFE スチールWeb サイト

車体性能評価技術の車両開発への採用

JFE スチール（株）

JFE スチールは、自動車車体性能評価技術を含む設計支援統合技術を開発し、お客様とのEVI (Early Vendor Involvement) 活動に適用している。同技術を広範に用いた協業活動が結実し、スズキ株式会社が2020年1月に発売した「新型ハスラー」の車体開発に採用された。「ハスラー」は乗り心地や振動特性といった車体性能向上のためにスズキ車では初めて構造用接着剤を本格的に適用したモデルであり、今後の新型車においても広く採用される見込みである。JFE スチールは、設計段階での接着剤適用箇所の最適化シミュレー

ション、試験体レベルでの基礎特性評価、適用車体の特性評価・実証に至る新機種開発の広い段階で技術協力を行い、操縦安定性・乗り心地性能といったパフォーマンス向上に寄与した。JFE スチールでは、適用部位に特色あるハイテン製品群を活用する成形支援技術、トポロジー最適化を含む設計支援技術、実験的な手法を基礎とする車体特性評価技術により、自動車メーカーや部品製造メーカーと協業して、ものづくりを支援しており、衝突安全性能と軽量化・CO₂排出抑制を両立する自動車車体製造に貢献している。高品質な鋼板製品の開発・製造と合わせて鋼板利用技術を活用した適材適所へのハイテン採用を推進し、今後も競争力のある自動車製造を支援する。

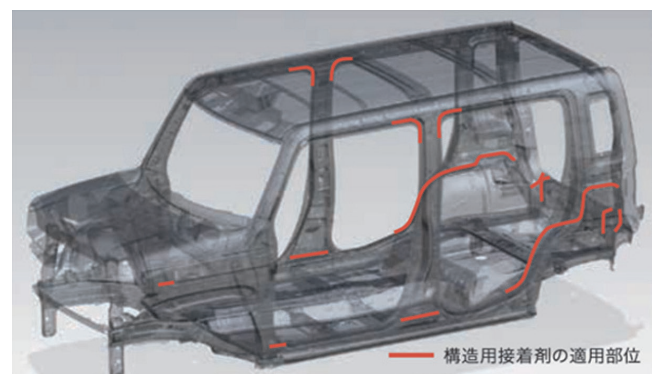


図17 構造用接着剤適用部位