

(解説)

## 鋼材生産体制の概要

### Outline of Steel Production System

浜田 努\*<sup>1</sup>

Tsutomu HAMADA

While taking place of upgrading such as consolidations and mergers in order to increase competitiveness in the steel industry, Kobe Steel aims to enhance competitiveness through the high added value of technology, products and services, and further differentiation by constructing unique business models. In order to provide competitive technologies and products, in 2017 Kobe Steel completed a new hot metal pretreatment plant at its Kakogawa Works and in order to enhance cost competitiveness, decided and implemented the consolidation of upstream (ironmaking and steelmaking) processes of Kobe Works with Kakogawa Works. After consolidation, Kakogawa Works has been transformed into the cost-competitive steelworks that manufactures a wide variety of steel products, such as steel sheets, thick plates and wire rods. Kobe Works could significantly improve the quality and cost competitiveness of special steel wire rods and bars using billets manufactured by Kakogawa's equipment introduced the latest technology, without reducing steel production. In the global supply system for products, Kobe Steel has established a three-pole supply system in Japan, US and China for special steel wire rods (steel wire) and high formable advanced high tensile strength steel sheet.

ま え が き = 当社の鉄鋼事業は幅広い分野でものづくりを進め、優れた製品や技術を提供することにより、社会や産業の発展に貢献してきた。鉄鋼事業部門は、鋼材、鋳鍛鋼、チタン、鉄粉の事業ユニットからなり、品質・生産性・コスト競争力の向上を見据えた「ものづくり力」の強化を徹底している。また、特長ある製品・技術のグローバル展開や自動車に代表される輸送機分野などの今後成長が予測される需要分野への対応を強化している。

本稿では、最新技術を適用した近年の設備投資に加え、加古川製鉄所への上工程集約により生まれ変わった高効率かつ高品質製品を供給可能な鋼材の生産体制、および特長ある鋼材製品のグローバル供給体制について述べる。

#### 1. 当社鋼材部門の沿革

1905年創業時の当社製品は、金床や錨（いかり）、炭坑用車両の車輪などの鋳物が始まりであった。1924年には神戸脇浜地区で第1線材工場を稼働させて高炭素鋼線材を国産化した。その後、増大する国内需要に対応するために新しい線材工場を増設し生産量を拡大していった。1959年には当社初となる高炉操業を神戸灘浜地区において開始し、銑鋼一貫製鉄所として神戸製鉄所をスタートさせた。さらに、加古川製鉄所の建設に着手し、1968年に厚板工場を完成させたのに続き、1970年には第1高炉に火入れを行った。製鋼、熱延、冷延、線材の主力工場も相次いで完成させ、第二の銑鋼一貫製鉄所である加古川製鉄所をスタートさせた。これによって当社

は、線材・棒鋼に加えて厚鋼板・薄鋼板のメニューを揃えた<sup>1)</sup>。

現在では、神戸・加古川両製鉄所において総計約600万トン/年の鋼材を生産し、北米、中国、アジアの各地において複数の加工拠点を展開することにより、国内外のお客様に様々な鋼材製品を提供している。

#### 2. 鋼材生産拠点と品種構成

当社では現在、神戸製鉄所において線材および棒・条鋼製品を生産し、加古川製鉄所においては薄鋼板、厚鋼板に加えて線材製品を生産している。

線材・棒鋼製品は、主に自動車用の特殊鋼である。とくに自動車のエンジンや足回り部品に使用されるばね用線材<sup>2), 3)</sup>、クランクシャフトや歯車用の棒鋼、ボルト・ナットなどのファスナ類に使用される冷間圧造用(CHQ: Cold Heading Quality)線材などの幅広い商品で、国内自動車メーカーを中心に、北米をはじめ欧州や中国、アジアに出荷している。

薄鋼板製品の主な用途は自動車、家電、建材である。とくに、世界最高レベルの強度を持ちながら加工性の良い鋼材である高張力（ハイテン）鋼板の開発・製造に注力しており<sup>4)~6)</sup>、自動車の軽量化、燃費向上による環境負荷低減といった社会ニーズに対応している。主に建築、橋梁、造船分野向けである厚鋼板製品においては、溶接性に優れた高強度鋼などに対するお客様のニーズに沿った新製品の開発を行っている。

\*<sup>1</sup> 鉄鋼事業本部 加古川製鉄所 計画室

### 3. 鋼材事業の競争力強化に向けた設備投資

#### 3.1 加古川製鉄所における新溶銑処理工場

高い清浄度が要求される高品質な鋼材を製造するために、溶銑処理は欠かせない工程である。加古川製鉄所においては、新溶銑処理工場（図1）を2014年に稼働させ、2017年には脱りん炉2基および脱硫設備2基の体制を整えた。脱りん処理は従来、混銑車で行っていたが、新規に導入した脱りん炉によって脱りん比率が約50%向上し、粗鋼生産能力を向上させることができた。さらに、業界最高効率の脱硫、脱りん技術の導入による大幅なコスト改善を図った。この稼働開始により、特殊鋼線材やハイテン鋼板、エネルギー関連向け厚鋼板などの高い清浄度が必要とされる製品の製造能力が向上した。

#### 3.2 上工程の加古川製鉄所への集約

中長期の国内外の事業環境を見据えると、国内における需要の減少や、海外での製鉄所増設などによる供給増により、鋼材事業を取り巻く環境は厳しくなる状況である。いっぽう神戸製鉄所は、所内にコークス工場や焼結工場の事前処理工場がないことや、生産規模が小さいことなどの構造的要因から、コスト競争力は加古川製鉄所と比較して劣位となっていた。そのため、2017年に神戸製鉄所の上工程設備（高炉～連続鋳造、一部の分塊圧延）を休止し、加古川製鉄所にそれらを集約した。本号の巻頭言で述べられているように、本集約におけるプロセス別課題に対する取り組みによって上工程の稼働率や鋼材品質を向上させた。また、製造コストを改善するとともに、お客様の希望納期に安定的に納入する体制を整えた。

加古川製鉄所は従来、薄鋼板や厚鋼板の大ロット品種を製造する大型製鉄所であった。しかしながら上述の集約の結果、小ロット多品種である線材、棒鋼などの特殊鋼製品をも高品質・低コストで大量に生産できるようになるなど、国内外において例をみない製鉄所に生まれ変わった。



図1 新溶銑処理工場

Fig.1 New factory for hot metal treatment

#### 3.3 加古川製鉄所第3高炉の改修

神戸製鉄所の高炉などの上工程設備を休止し、加古川製鉄所へ集約した後は加古川製鉄所が唯一の鉄源供給基地となる。このため、集約前の2016年に加古川製鉄所第3高炉の改修を実施した。改修工事は、高炉本体の鉄皮を継続使用するという国内大型高炉では初めての工事を採用した。このとき、粗鋼減産期間をできる限り短縮することを目的に、90日間という短工期での改修を行った。

いっぽう、老朽化対策のための改修だけでは集約の意義・効果は十分には得られない。すなわち、鉄源の供給責任を果たすため、高炉のより高レベルで安定な操業が求められる。そこで、高炉内に各種センサを設置し、それらから得られる情報を活用して安定な操業を支援するAIシステムを導入した<sup>7)</sup>。

### 4. 集約後の鋼材生産体制

3章で述べた設備増強後の両製鉄所における鋼材生産体制を図2に示す。集約により神戸製鉄所における高炉、製鋼の各設備を休止したことに伴い、加古川製鉄所で製造した半製品を加古川と神戸両製鉄所の圧延工場に供給する体制とした。以下に両製鉄所における各工程の特長を概説する。

#### 4.1 加古川製鉄所

##### 4.1.1 原料事前処理工程

加古川製鉄所には、原料（鉄鉱石）の事前処理として焼結工場とペレット工場を各1ライン保有している。原料の粉鉄石を焼結工場にて焼成および整粒して製造した焼結鉄に加えて、粒度が細かく焼結原料に適さない微粉鉄を用いて造粒および焼成したペレット鉄を高炉にて使用している。このように、鉄鉱石の使用範囲を拡大してコストの低減を図っている。焼結工場は、原料粒径の適正設計による生産性向上を図り、ペレット工場は、焼成に自社製作の世界最大級のグレートキルン方式<sup>8)</sup>を採用することによってさらなるコストの低減を図っている。

還元剤であるコークス処理は、1970年から関西熱化学（株）が加古川製鉄所内で行い、コークスとともにコークスガスの供給を受けている。コークス炉は4炉全248門が稼働中であり、2020年で炉齢50年を迎える。このため現在、コークス炉の更新を計画中である。

##### 4.1.2 製銑工程

上工程集約前の当社高炉は、神戸製鉄所のNo.3高炉、および加古川製鉄所のNo.2、No.3高炉の計3基体制であった。上述のとおりNo.2高炉は2007年に、No.3高炉は2016年にそれぞれ改修を完了させており、集約によって現在は、加古川の2基のフル操業によって出銑している。

また、加古川製鉄所はコークスの一部を外部購入しコストアップとなっていた。このため、エネルギーコスト低減を目的として、高微粉炭比と同時に低コークス比の操業<sup>9)</sup>を指向した技術開発を進めている。その結果、国内でもトップクラスの高微粉炭比・低コークス比操業



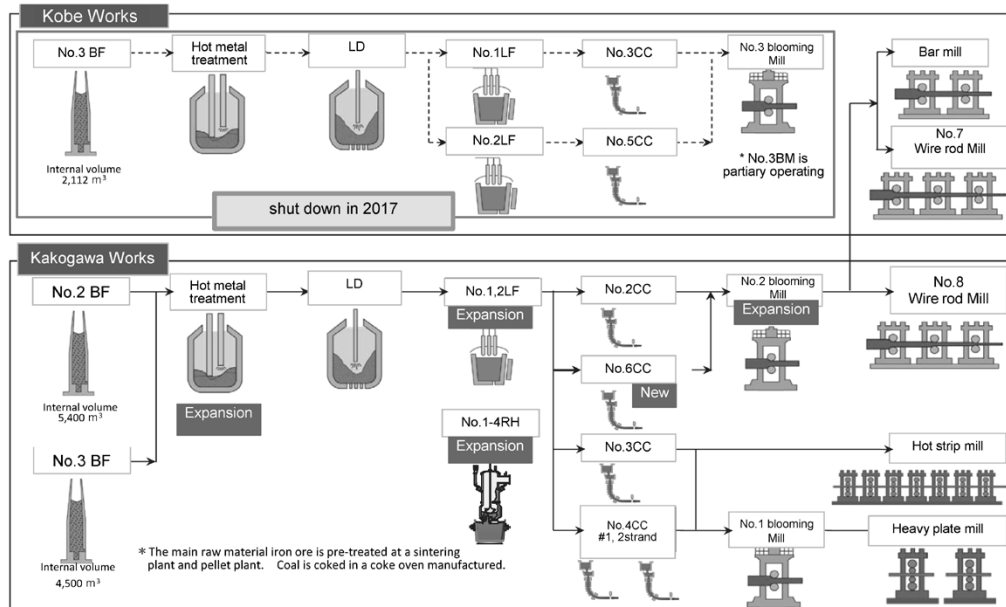


図2 鋼材生産体制  
Fig. 2 Steel production system

を継続している。

#### 4.1.3 製鋼工程

加古川製鉄所の製鋼工場は、薄鋼板、厚鋼板、線材の多品種への粗鋼供給を特徴としている。すなわち、溶銑を脱りん・脱硫処理した上で、上吹き転炉3基により広範囲な成分系の鋼種をカバーしている。さらに吹錬後の溶鋼は、LF (Ladle Furnace), RH (Ruhrstahl-Heraeus) 脱ガス装置などを用いた溶鋼処理を行うことによって介在物制御鋼<sup>10)~12)</sup> や超清浄鋼<sup>13)</sup> などの高品質鋼の製造を可能としている。

溶鋼処理を済ませた後、スラブ連続铸造設備、およびブルーム連続铸造設備により、高品質・高機能を有した各種特殊鋼を生産している。

加古川製鉄所では2017年にKR (Kanbara Reactor) 脱硫設備と転炉型脱りん炉を各2基備えた新溶銑処理工場が完工した。この完工により、高い清浄度が要求される特殊鋼線材・棒鋼、ハイテン鋼板やエネルギー関連向け厚鋼板などの製造において、溶銑処理時間の大幅な短縮と効率化が図れた。

また、上工程集約に伴い、神戸製鉄所で長年培った技術をベースに表面品質などの先端技術を導入した連続铸造設備や溶鋼処理設備を新設した。これによって、神戸製鉄所での線材・棒鋼の生産に必要な粗鋼量15万トン/月を加古川製鉄所から供給する体制を整えた。

#### 4.1.4 分塊工程と半製品の物流

上工程集約後は、神戸製鉄所での線材と棒鋼の生産に使用するため、加古川製鉄所第2分塊工場で分塊した鋼片を神戸製鉄所に月間13万トン供給している。従来、第2分塊工場の分塊能力は月間15万トンであった。このため、上工程集約工事において加熱炉を新設すると同時に鋼片連続圧延ミルを増強(図3)するなどの生産能力増強工事を行い、分塊工場単体としては世界に類を見ない月間30万トンの圧延能力を確保した。また、加古川から神戸への鋼片輸送は、従来の月間約3万トンから月間13



図3 加古川製鉄所第2分塊工場の鋼片圧延機  
Fig. 3 Rolling mill in No. 2 blooming mill factory at Kakogawa Works

万トンに激増するため、RORO (roll-on/roll-off) 船2隻を新たに建造した。また従来は、鋼片を玉掛けにより船に積載していたが、鋼片を積載したパレットを用いて搬送することにより安全で効率的、低コストな輸送体制を整えた。こうした取り組みによって神戸製鉄所の圧延工程への安定供給にも寄与している。さらに、加古川と神戸両製鉄所のそれぞれに総在庫能力16万トンの鋼片ヤードを新設した。これによって在庫を積み増すことができ、特殊鋼特有の少量多品種受注において、お客様の希望納期に対応可能な体制を整えることができた。

#### 4.1.5 薄鋼板工程

公称月間能力36万トンの熱延工場では、熱間圧延後に出荷する熱延製品(厚鋼板)やチタン材も生産している。また、自動車向けハイテン鋼板や家電用高機能鋼板<sup>14), 15)</sup> などの素材を冷延工場に供給している。

冷延工場では、熱延コイルを素材に冷延製品(薄鋼板)やめっき鋼板向け素材を冷間圧延している。連続焼鈍設

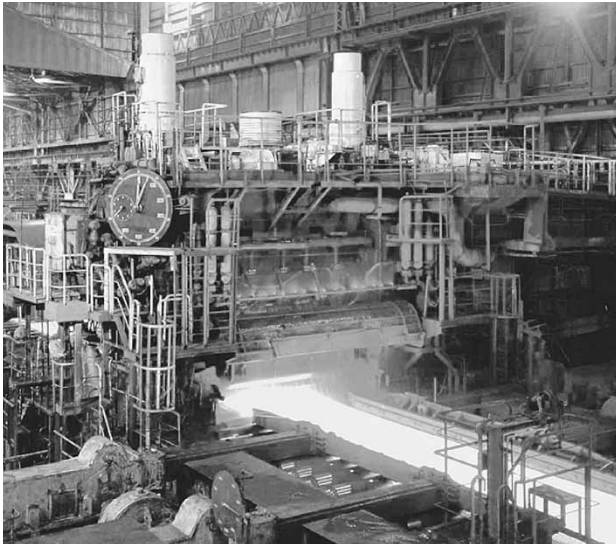


図4 加古川製鉄所厚鋼板仕上圧延機

Fig. 4 Finishing mill for thick steel plate at Kakogawa Works

備 (CAL : Continuous Annealing Line) や溶融亜鉛めっき設備 (CGL : Continuous Galvanizing Line), 電気亜鉛めっき設備 (EGL : Electro Galvanizing Line) を用いて, ハイテン鋼板から高機能表面処理鋼板<sup>16)</sup> まで幅広い製品をメニュー化している。

#### 4.1.6 厚鋼板工程

厚鋼板製品は, 連続铸造設備から送付されてきたスラブを公称月間能力14万トンの厚鋼板仕上ミル (図4) で製造され, 建築, 橋梁分野や造船分野などで使用されている。制御圧延・加速冷却によるTMCP (Thermo-Mechanical Control Process) 技術<sup>17)</sup> を用いることによって, 良好な溶接施工性を具備しながらも強度と靱性に優れた鋼材を製造しており, 建築用大入熱鋼<sup>18), 19)</sup> や造船用低温用鋼<sup>20)</sup> など幅広い製品をメニュー化している。最近の適用事例では, 東京スカイツリーや六本木ヒルズに使用された円形鋼管がある。

#### 4.1.7 線材工程

公称月間能力11.5万トンの第8線材工場において,  $\phi$  5~18 mmの線材を製造している。第8線材工場は4ストランドミルの量産型工場であることから, 線材巻取後のステルモアコンベアでの制御冷却を適用したタイヤスチールコードやワイヤロープ用などの高炭素鋼線材の大量生産に適している。

近年は, 製造プロセスの改善によって冷間圧造用線材やばね鋼などの自動車用高機能品種の圧延量を拡大し, お客様の幅広い需要に対応している。また, 自動車用特殊鋼線材に対する昨今の需要の高まりに対して, 量産タイプのミルでありながら, 表面品質などを向上させる生産技術の開発・導入により, 厳格な表面品質が要求される冷間圧造用線材の生産量を拡大している。

### 4.2 神戸製鉄所

神戸製鉄所で生産される線材および棒鋼製品の全出荷量の約7割は自動車向け高機能特殊鋼である。

#### 4.2.1 線材工場

第7線材工場 (図5) は, 公称月間能力5.5万トンを有し,  $\phi$  5.5~22 mmの線材製品を製造している。仕上



図5 神戸製鉄所第7線材工場のレイングヘッド

Fig. 5 Laying head of No. 7 wire rod and bar mill at Kobe Works

圧延ラインに世界最高水準の制御圧延・制御冷却能力を具備しており<sup>21)</sup>, 精密寸法圧延や超低温圧延による線材の軟質化<sup>22)</sup> により二次加工におけるプロセス簡略化など自動車部品のコスト低減が可能な製品を供給している。

#### 4.2.2 棒鋼工場

棒鋼工場は, 公称月間能力6.8万トンを有し,  $\phi$  17~108 mmの棒鋼製品, および $\phi$  17~60 mmの太径線材製品を製造している。仕上圧延ラインには業界最高水準の製品寸法精度 ( $\pm 0.1$  mm) による圧延が可能な仕上圧延機を有しており, 多くのお客様のニーズに対応している。棒鋼加工工場においては, 棒鋼の非破壊検査により全表面・全断面の品質を保証している。

#### 4.2.3 線材・棒鋼二次加工

線材・棒鋼の二次加工を行うための拠点を所内に配置している。これらの拠点において冷間圧造用鋼や軸受鋼, ばね鋼などの酸洗, 熱処理, 表面潤滑処理などの加工を行うことにより, さらなる高付加価値をお客様に提供している。

### 5. 特殊鋼線材およびハイテン鋼板のグローバル供給体制

#### 5.1 線材圧延拠点

タイを中心としたアジア圏においては今後, 自動車用特殊鋼線材の需要が拡大することが予想されている。そこで, 当社の線材工場では唯一の海外拠点となる「Kobelco Millcon Steel Co., Ltd.」(以下KMSという, 図6) を2016年にタイのラヨン県に設立し, 2017年に生産を開始した。

#### 5.2 線材二次加工および部品加工拠点

国内における線材二次加工拠点として, 当社のグループ会社である神鋼鋼線工業(株)が高強度ばねや建築・橋梁用のワイヤロープなどの二次加工製品の製造を行っている。また, 神鋼ボルト(株)は建築・土木・橋梁用などの高



表 1 鋼材製品の海外加工拠点

Table 1 Overseas processing bases for steel products

Category	Company name	Start up	Investment ratio (%)	Business content	Location
Wire Rod and Bar	Grand Blanc Processing, LLC	*2003- 4	20	Manufacture and sales of CHQ wire	Michigan, USA
	Kobe CH Wire (Thailand) Co., Ltd.	1997- 8	30	Ditto	Thailand Bangkok
	Mahajak Kyodo Co., Ltd.	*2002- 5	30	Manufacture and sale of grinding bars	Thailand Bangkok
	Kobelco Millcon Steel Co., Ltd.	2016- 2	50	Rolling and sales of special steels and ordinary steel wire materials	Thailand Rayong Rayong County
	Kobe Wire Products (Foshan) Co., Ltd.	2004-11	60	Manufacture and sale of steel bars and CHQ wires	Foshan, Guangdong, China
	Kobelco Spring Wire (Foshan) Co., Ltd.	2012- 1	50	Manufacture and sale of high-grade spring steel wire	Foshan, Guangdong, China
	Jiangyin Sugita Fasten Spring Wire Co., Ltd.	2005- 8	60	Manufacture and sales of wire for automobile suspension springs	Jiangyin, Jiangsu Province, China
	Kobe Special Steel Wire Products (Pinghu) Co., Ltd.	2007-11	50	Manufacture and sales of CHQ wire and bearing steel wire	Pinghu, Zhejiang Province, China
Sheet	Kobelco CH Wire Mexicana, S.A. de C.V.	2014- 9	10	Manufacture and sales of CHQ wire	Mexico Guanajuato
	PRO-TEC Coating Company	1990- 3	50	Manufacture and sale of hot dipped galvanized steel sheet and cold rolled high tensile steel	Leepsic, Ohio, USA
Other	Kobelco Angang Auto Steel Co., Ltd.	2014- 8	50	Ditto	Anshan City, Liaoning Province, China
Other	Kobe Steel Asia Pte. Ltd.	1990- 1	100	Steel-related market research and technical services	Singapore

\*Date of investment



図 6 タイ国コベルコムイルコンスチール社  
Fig. 6 Kobelco Millcon Steel in Thailand



図 7 米国プロテック社  
Fig. 7 PRO-TEC Coating Company in USA

力ボルトの製造を、そして日本高周波工業(株)は軸受鋼用線材などの二次加工製造を行っている。

海外における鋼材加工拠点の一覧を表 1 に示す。北米、中国、東南アジアにおいて展開しており、現地に進出している日系部品メーカーを中心としたお客様に自動車などの部品製造に使用される素材である線材や棒鋼などをタイムリーに提供している。

2016年には、海外 9 拠点目になる冷間圧造用鋼線 (CHワイヤ) の製造・販売を行う「Kobelco CH Wire Mexicana, S.A. de C.V. (KCHM)」をメキシコに設立した。

### 5.3 薄鋼板および高加工性ハイテン鋼板拠点

北米においては、当社と米国 United States Steel Corporation との折半出資による「PRO-TEC Coating Company (以下、プロテック社という)」(図 7) が 1993年に操業を開始した。薄鋼板および高加工性ハイテン鋼板の製造拠点として溶融亜鉛めっき鋼板および冷延ハイテン製品を製造している。

中国においては、鞍山鋼鉄集団公司の子会社である鞍鋼股份有限公司 (以下、鞍鋼という) と合併で 2015年に「鞍鋼神鋼冷延高張力自動車鋼板有限公司」を設立した。鞍鋼の鞍山製鉄所内に年産能力 60 万トンの連続焼鈍設備 (CAL) を建設し、冷延ハイテン鋼板製造拠点として 2016年に稼働を開始した。

これらの拠点開設により、当社は日米中 3 極での「ハイテン鋼板のグローバル生産体制」を整えた。

## 6. 今後の計画

上工程集約に伴い、先端技術を導入した連続鋳造設備や溶銑処理設備を新設し、特殊鋼線材と棒鋼製品に対する品質向上を図った。また、タイにおいて特殊鋼線材の圧延を開始した KMS では、特殊鋼線材のアブルーバル取得に向け、現地日系自動車メーカーに評価いただいている最中である。今後、当社の第 9 線材工場として、アセアン地域における特殊鋼線材の需要に対応する計画である。

加えて、国内外の自動車メーカーにおける「自動車軽量化」は拡大しており、その需要に対応するために米国と日本の「高加工性超ハイテン」鋼板の製造能力を向上させる計画である。米国においては、プロテック社に 3 基目となる CGL を増設し、2019年から製造開始を予定している。加古川製鉄所には、連続焼鈍設備と溶融亜鉛めっき・合金化設備を併せ持つ、冷延鋼板および溶融亜鉛めっき鋼板兼用製造ラインを建設し、2021年に製造開始を予定している。いずれのラインも最新技術の熱処理・冷却機能を持たせており、業界トップの強度と加工性を兼ね備えた高加工性超ハイテン (780 MPa 以上) 鋼板を製造することが可能と考えている。さらに、中国 (鞍鋼神鋼冷延高張力自動車鋼板有限公司) を合わせた、日米中の 3 極での供給能力向上を整えることにより、品質に優れたハイテン鋼板をお客様に供給することを通じて、今後の燃費向上や CO<sub>2</sub> 削減につながる自動車の軽量化に貢献していく。

むすび=鉄鋼材料の最大需要産業である自動車産業においては、地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>排出量削減に向けた電気自動車および燃料電池車などの環境対応車の生産台数が拡大している。燃費規制と衝突安全規制厳格化に対応すべく「車体の軽量化と高強度化」のニーズが今後さらに高まるとともに、グローバル化の進展により現地生産・供給へのニーズが増大するなどの大きな変化が生じている。

こうした環境変化のなか、鉄鋼およびアルミ製品に加えて溶接材料や異材接合技術を有する世界でも唯一メーカーである当社は、今後ともお客様や社会に貢献していくために以下のような取り組みに注力していくことが必要であると考えます。

- ①高機能・高性能鋼材の新製品を提案することによるお客様ニーズへの貢献
- ②省資源・省エネルギーなどの環境に優しい生産技術の開発
- ③品質・納期・コストなどにおけるソリューションの提案活動

こうした取り組みを進めるためには高度化・多様化し続けるお客様のニーズに的確に応えることが不可欠である。また、高機能・高品質の鋼材をコストミニマムで安定的に製造するプロセスと技術を創出する必要がある。そのため、鋼材製造における溶銑や溶鋼、鋼材などの複雑な挙動を計測・予測し、制御するための高度なAI技術や評価技術のさらなる活用を含めて、多面的な開発に積極的に取り組んでいる。

## 参 考 文 献

- 1) 創立100周年記念事業実行委員会. 神戸製鋼100年の軌跡. p.42-103.
- 2) 吉原 直. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.1, p.39-42.
- 3) 丸尾知忠ほか. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.1, p.43-46.
- 4) 中屋道治ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.1, p.46-49.
- 5) 村田忠夫ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.17-20.
- 6) 内海幸博ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.3-7.
- 7) 加茂和史ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.2, p.7-11.
- 8) 山口晋一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2010, Vol.60, No.1, p.12-21.
- 9) 伊藤良二ほか. R&D神戸製鋼技報. 2000, Vol.50, No.3, p.6-11.
- 10) 木村世意ほか. R&D神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.3, p.25-28.
- 11) 木村世意ほか. 鉄と鋼. 2002, Vol.88, No.11, p.53.
- 12) Tomoko SUGIMURA et al. ISIJ International. 2011, Vol.51, No.12, p.1982.
- 13) 太田裕己ほか. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.1, p.98-101.
- 14) 平野康雄ほか. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.2, p.80-82.
- 15) 平野康雄ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.1, p.50-53.
- 16) 入江広司ほか. R&D神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.35-38.
- 17) 大宮良信ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.1, p.40-45.
- 18) 小林克壮ほか. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.1, p.47-51.
- 19) 安部研吾ほか. R&D神戸製鋼技報. 2005, Vol.55, No.2, p.26-29.
- 20) 金子雅人ほか. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.1, p.39-41.
- 21) 市田 豊ほか. R&D神戸製鋼技報. 2000, Vol.50, No.1, p.6-11.
- 22) 畠 英雄ほか. R&D神戸製鋼技報. 2000, Vol.50, No.1, p.29-32.