

特殊鋼

2021
Vol.70 No.2

3

The Special Steel

特集／水素社会実現に向けての活動と水素環境下で使われる特殊鋼の紹介



★ 大同の高級特殊鋼

冷間ダイス鋼

DC53 DCMX

金型材のコンサルタント

株式会社 竹内ハガネ商行

取締役社長 竹内 誠二

本社 〒143-0016 東京都大田区大森北1-5-1 大森駅東口ビル4階

☎ 03(5767)1211番(代表) <http://www.takenet.co.jp>

関東営業所 ☎0480(68)5141番(代表)

新潟竹内ハガネ㈱ ☎0256(63)2227番(代表)

大阪営業所 ☎072(962)4731番(代表)

長野竹内ハガネ㈱ ☎0266(54)3160番(代表)

名古屋営業所 ☎052(363)1251番(代表)

仙台営業所 ☎0224(83)2888番(代表)

隔月刊 特殊鋼 年間購読ご案内

国内：年間購読料 7,434円(6号分、消費税込、送料含む)

一般社団法人 特殊鋼倶楽部

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館

TEL：03-3669-2081~2 FAX：03-3668-4350

下記申込用紙にご記入の上、一般社団法人 特殊鋼倶楽部 宛、郵送またはFAXでお願い致します。
追って請求書を発行させていただきます。

キ リ ト リ 線
年 月 日 「特殊鋼」購読申込書

会社名 部課名 及び個人名			
送付先 住所	〒 _____ TEL. _____		
誌代請求先	〒 _____ TEL. _____		
購読期間	年 月号～ 年 月号	部数	各月 部

上記の通り特殊鋼誌の年間購読を申し込み致します。(申込担当者

印)

特殊鋼

3 目次 2021

【編集委員】

委員長	井上幸一郎	(大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫	(中川特殊鋼)
委員	宇田川毅志	(愛知製鋼)
〃	福岡 義晃	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	小川 道治	(大同特殊鋼)
〃	浜田 貴成	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	殿村 剛志	(日本高周波鋼業)
〃	及川 誠	(日本冶金工業)
〃	北園 大輔	(日立金属)
〃	養口 光樹	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

【特集／水素社会実現に向けての活動と水素環境下で使われる特殊鋼の紹介】

I. 水素社会の実現に向けて

1. 水素社会実現に向けた取り組み

(1) 日本国内の取り組み

……………国立研究開発法人新エネルギー・
産業技術総合開発機構 大平 英二 2

(2) 海外の取り組み……………(株)テクノバ 丸田 昭輝 6

2. 新型MIRAIの燃料電池システムについて

……………トヨタ自動車(株) 高橋 剛 11

3. 水素ステーション

……………(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) 池田 哲史 16

4. 家庭用燃料電池……………パナソニック(株) 尾関 正高 20

5. 山梨県におけるCO2フリーの水素社会構築を 目指したP2Gシステム技術開発

……………山梨県企業局 坂本 正樹 23
東レ(株) 出原 大輔
東京電力ホールディングス(株) 小野寺 真
(株)東光高岳 石渡 剛久

II. 耐水素脆化用鋼

1. 水素脆化とは……………上智大学 高井 健一 28

2. ステンレス鋼……………日本製鉄(株) 大村 朋彦 33

3. ボルト鋼……………(株)神戸製鋼所 高知 琢哉 37

Ⅲ. 会員メーカーの耐水素用材料

耐水素脆性ばね用ステンレス鋼線

『HYBREM[®]-S』…………… 日本精線(株) 明 剛史 41

“特集” 編集後記 …………… 愛知製鋼(株) 宇田川毅志 53

●一人一題：「旅行の効能」……………中島特殊鋼(株) 中島 伸夫 1

■業界のうごき …………… 42

▲特殊鋼統計資料 …………… 45

★倶楽部だより（2020年12月1日～2021年1月31日）…………… 49

☆特殊鋼倶楽部の動き …………… 50

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 …………… 52

特集／「水素社会実現に向けての活動と水素環境下で使われる特殊鋼の紹介」

編集小委員会構成メンバー

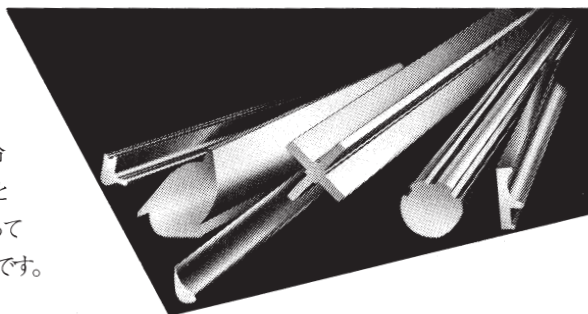
役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
小委員長	宇田川毅志	愛 知 製 鋼 (株)	品質保証部 お客様品質・技術室 主任職
委 員	福岡 義晃	(株) 神 戸 製 鋼 所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット 線材条鋼商品技術部 次長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	小川 道治	大 同 特 殊 鋼 (株)	技術開発研究所 ソリューション支援室 兼企画室 副主席部員
〃	浜田 貴成	日 本 製 鉄 (株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	及川 誠	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	北園 大輔	日 立 金 属 (株)	金属材料事業本部 技術部長
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	関谷 篤	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中 川 特 殊 鋼 (株)	鉄鋼事業部 技術部長

シルド・セクション

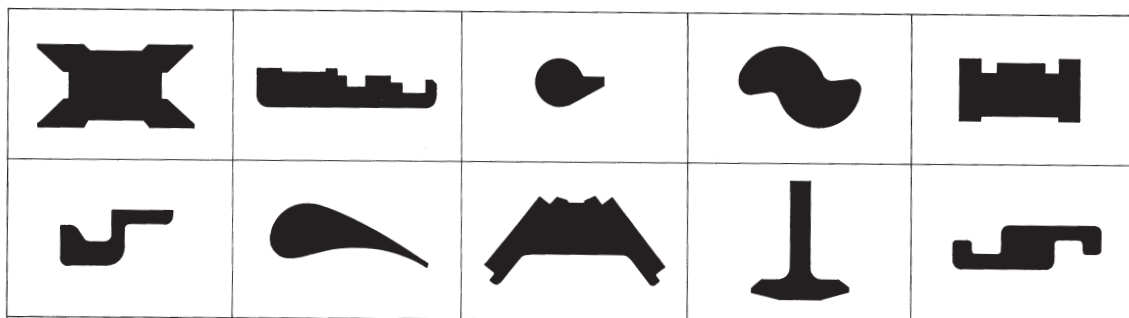
あらゆる産業の要に
異形引抜製品

シルドは…

一つの最終形状をつくるために熱間(冷間)圧延、冷間引抜、曲り矯正、切断、面とり等の工程を一貫ラインで製造を行なっている我国唯一の異形引抜専門メーカーです。



あらゆる形状・ 鋼種・精度に 挑戦します。



●低炭素鋼(SS, SC, SUY) ●ステンレス鋼(SUS) ●高炭素鋼(SK, SKS, 製造鋼種 SUP, SUJ, SKH) ●クローム鋼(SCr) ●ニッケルクローム鋼(SNC) ●クローム(材質)ーームモリブデン鋼(SCM) ●ニッケルクロームモリブデン鋼(SNCM) ●快削鋼(SUM) ●パーマロイ ●非鉄(Al, PBB, BsBM)

各種ステンレス平角鋼・チタン
・インコネル・モネル等平角鋼
の製造も致しております。

SILVER DRAWING
株式会社 シルド

<http://www.sild.co.jp>



JMAQA-1277

本 社 〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町2-3-3	☎03(3662)5331(代表)	FAX03(3662)9382
大 阪 支 店 〒541-0046	大阪市中央区平野町1-8-7	☎06(4707)7581(代表)	FAX06(6208)0015
千 葉 工 場 〒270-1406	千葉県白井市中402-1	☎047(492)0912(代表)	FAX047(492)0930
成 田 工 場 〒270-1501	千葉県印旛郡栄町矢口神明4-13-1	☎0476(95)7600(代表)	FAX0476(85)0198

「旅行の効能」

中島特殊鋼(株) 代表取締役 なか しま のぶ お
中 島 伸 夫



特殊鋼倶楽部の皆様初めまして。中島特殊鋼株式会社の中島伸夫と申します。どうぞ宜しくお願い致します。

私の趣味の一つに旅行があります。

若い頃は、なるべく多くの見所を巡るべくかなりの強行軍でがむしゃらに旅をしていたのを思い出します。

週末や休暇となると、妻や子供を車に押し込み日本全国47都道府県全て巡りました。

東にお祭りが有ると聞けば夜中から出発し、西で花が綺麗だと聞けば行って団子迄まで食べ尽くす。寒い時は南へ、暑い時期は北の北海道を目指す、そんな気ままな旅でした。

何が目的だったかと思い返すと、名所旧跡などで子供たちと今で言う「映える」写真を撮ったり、地元のローカルスーパー（我が家では地スーパーという）で地域限定の食材等を買ったり、B～C級グルメを堪能していました。子供のころから社会科で学んだ地域特性やテレビで見た知識欲求に任せて、上っ面を舐めるような旅だったなと思い返されます。しかし、家族と共有した時間と経験は、何物にも代えがたいものでした。

近頃は、子供も大きくなり一緒に行くことも少なくなって主に夫婦二人での旅行です。

新型コロナウイルス感染症禍で緊急事態宣言が発出されて県を跨いでの外出が憚れて、最近では、万歩計を持って「知多四国八十八カ所巡り」を緩く詣でております。

歩いて巡っていると、普段ではあまり気につけない道端での事象や参拝に来られる方々の人となりを想像したり、お寺の天井の画の渋さに感心したり、スローな旅行も良いものだと感じております。特に信心深いわけではありませんが、この厄災が早く終息することを願って、大人のスタンプラリーを続けて行こうかと思います。

GoToトラベルが、ウイルス拡散に役買ったのではとされていますが、旅行の効能は、遥かにそれを上回ります。旅に行けないストレスは、甚大であの非日常感が早く戻ってくることを望み、温泉に浸かって癒されたい気持ちが爆発しそうです。書いているだけで、大分県の長湯温泉に行きたくなくなってきました（笑）

皆様、もう少しの我慢です。名所旧跡の歴史に比べれば短い時間です。この厄災を克服し、いろいろな場所で皆様にお目にかかれればと楽しみにしております。

段々と暖かくなり旅行の虫が疼きますが、ステイホームで我慢して地方の取り寄せグルメで晩酌をしながら、ドローンによる素晴らしく美しい映像の旅番組の再放送でも見て、次回の新しい癒しの旅を計画しましょうか。



水素社会実現に向けての活動と 水素環境下で使われる特殊鋼の紹介

I. 水素社会の実現に向けて

1. 水素社会実現に向けた取り組み

(1) 日本国内の取り組み

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 おお ひら えい じ
次 世 代 電 池 ・ 水 素 部 統 括 研 究 員 大 平 英 二

まえがき

気候変動問題への対応も含めた持続可能な社会の実現に向け、温室効果ガスの排出を全体としてゼロとする、カーボンニュートラルの達成が世界的な目標となりつつある。この実現には様々な脱炭素技術の開発や社会への実装が必要であるが、その中で、利用時に温室効果ガスを発生しない、また再生可能エネルギーも含め様々な資源から製造できる水素への期待が国内外で高まってきている。日本を始め、世界各国で水素の利活用に関する戦略・ロードマップといった政策が策定されるとともに、幅広い分野での利活用のための技術開発が進展している。日本は長年に渡る取り組みを下敷きに、世界に先駆け家庭用燃料電池や燃料電池自動車の製品化を成し遂げるなど、この分野で世界をリードしている。本稿では、日本の水素エネルギーに関する政策やNEDOにおける技術開発の取り組みについて紹介する。

◇ 水素エネルギーに関する日本の政策

1. これまでの水素・燃料電池に関する取り組み

日本における国としての水素・燃料電池技術開発に関する取り組みの歴史は長く、1974年に開始したサンシャイン計画（新エネルギー技術開発計

画）の中で水素製造技術、1978年からのムーンライト計画（省エネルギー技術開発計画）において燃料電池技術（1981年開始）に関する研究開発が進められた。さらに1993年にサンシャイン計画、ムーンライト計画等を統合したニューサンシャイン計画（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画）がスタート。このプログラムの中で、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET: World Energy Network）研究開発プロジェクトが開始されたが、これは海外の再生可能エネルギー等で製造した水素を輸送し利活用するための技術開発であり、現在日本で取り組んでいる水素サプライチェーンの原型とも言えよう。

その後、2000年代には家庭用燃料電池や燃料電池自動車の社会実証や市場導入に不可欠な規制・基準・標準の整備に関する取り組みが進められ、いずれも製品化が成し遂げられている。

2. エネルギー基本計画上の位置づけ

これまで水素・燃料電池は将来有望な技術として期待はされていたが、エネルギー政策上は、主として省エネルギーの一つとして燃料電池が位置づけられている程度であった。しかしながら、2014年4月に改訂された第4次エネルギー基本計画で、大きく取り上げられることとなる。具体的には、「将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加

え、水素が中心的役割を担うことが期待される」とし、「水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、すなわち“水素社会”」の実現に向けた取組の加速について言及がなされた。また、水素社会を実現していくため、これまでの燃料電池の技術開発や普及拡大の取り組みに加え、水素発電技術や水素の安定供給に向けた製造、貯蔵・輸送技術開発の推進の必要性が指摘された。2018年7月に策定された第5次エネルギー基本計画においては、2030年に向けた政策対応の一つとして「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が掲げられるとともに、再生可能エネルギー拡大に不可欠な調整力として水素利活用への言及がなされるなど、エネルギーシステムにおける新たな役割への期待も示されている。

3. 水素・燃料電池戦略ロードマップ

2014年4月に閣議決定された第4次エネルギー基本計画を受け、経済産業省は2014年6月に水素社会実現に向けた官民の関係者の取組を示した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」をとりまとめた。このロードマップは水素に関する技術的課題の克服と経済性の確保に要する期間の長短に着目し、3つのフェーズ（フェーズ1：水素利用の飛躍的拡大、フェーズ2：水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立、フェーズ3：トータルでのCO₂フリー水素供給システムの確立）にステップ・バイ・ステップで取り組むこととした。このロードマップに基づき、NEDOではフェーズ2とフェーズ3に対応する水素発電、水素サプライチェーン、水電解水素製造技術の開発を含むPower to Gas技術開発に取り組むこととなる。更に技術の進展や燃料電池自動車の市場投入などを踏まえ、2016年3月にロードマップの改訂が行われ、燃料電池自動車台数や水素ステーション設置箇所等の目標が追記された。

2019年3月には、後述する水素基本戦略や第5次エネルギー基本計画で示された方向性を踏まえ、ロードマップの大幅な改訂が行われた。この改訂では、その構成を水素基本戦略の構造に組み替えたものに改めるとともに、これまでロードマップで示してきた導入目標が水素基本戦略に包含されたことを踏まえ、その実現に向けて必要な要素技術のスペック、コスト及び価格などの数値目標を

明確化した。さらにこの目標を達成するために取り組むべき具体的な行動（アクションプラン）が新たに盛りこまれた。併せて、ロードマップの進捗状況を把握するための評価ワーキンググループが設置されることとなった。今後、ロードマップに示された目標・アクションプランに基づいた施策の展開が見込まれる。

4. 水素基本戦略

水素・燃料電池戦略ロードマップは経済産業省の政策として策定されたが、さらに安倍総理大臣（当時）の指示を受け、政府一体となって世界に先駆けて水素社会の実現に向けて取り組む方向性として、産学官の有識者の議論等を経て2017年12月「水素基本戦略」が策定された。この戦略は、2016年11月のパリ協定の発効を受け、主要国で2050年に向けた野心的な構想・ビジョンが公表され始めている状況を踏まえ、2050年を視野に入れた水素社会実現に向けて将来目指すべき姿や目標として官民が共有すべき方向性・ビジョンであると同時に、その実現に向けた行動計画として取りまとめたものである。長期的なビジョンについては、カーボンフリーな水素を実現し、水素を新しいエネルギーを選択肢とすることを目指し、従来エネルギーと同等程度の水素コストの実現を掲げた。また行動計画については、経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で示されてきた家庭用燃料電池、燃料電池自動車、水素ステーション等の導入目標値を包含するとともに、燃料電池バスやフォークリフトなど新たなアプリケーションの導入目標も追加された（図1）。

◇ NEDOの取り組み

1. 概要

NEDOでは経済産業省の政策に基づき、水素・燃料電池分野の技術開発プロジェクトを推進している。燃料電池に関しては、移動体をターゲットとした固体高分子形燃料電池（PEFC）、定置用としての固体酸化物形燃料電池（SOFC）の技術開発に取り組んでいる。また、燃料電池自動車の普及に不可欠な水素ステーションに関し、その設置・運営コストの半減に向けた技術開発、規制の見直し・新たな基準等策定に向けたデータ取得などの取り組みを進めている。更に、水素エネル

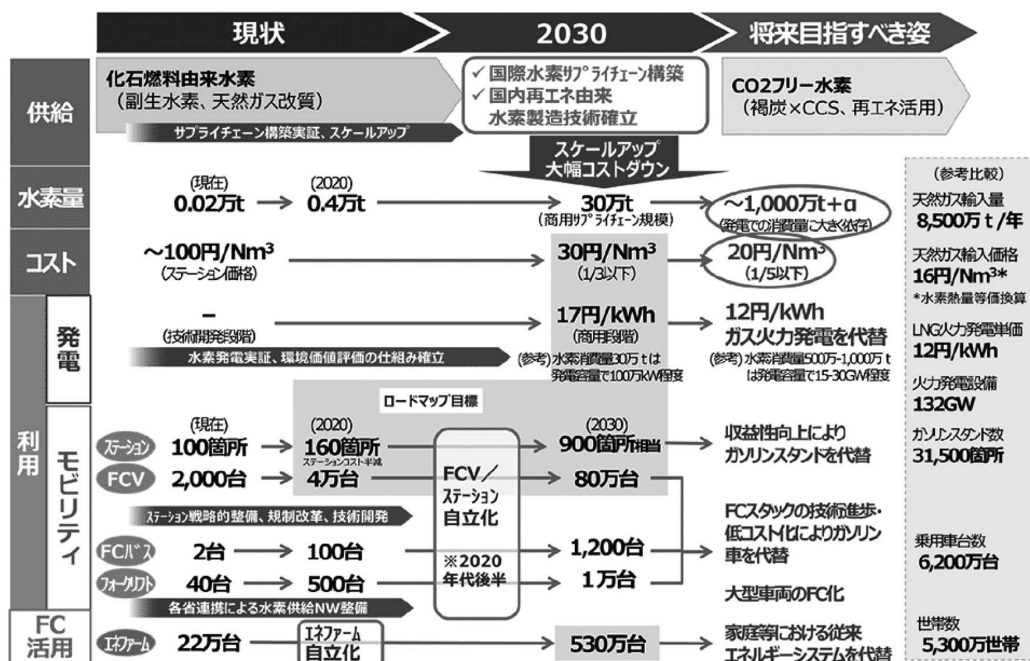


図 1 水素基本戦略の概要 (出展：経済産業省Webサイト)

ギー利用の飛躍的な拡大のための水素ガスタービン発電、国際水素サプライチェーン構築、再生可能エネルギーと組み合わせたエネルギーシステムであるPower to Gasの実現に向けた技術開発プロジェクトも展開している。ここでは主な取り組みについて紹介する。

2. 燃料電池技術開発

PEFCについては、2030年以降の燃料電池自動車の自律的な普及拡大に向け、その際に要求される高効率・高耐久・低コスト化を同時に実現する電極触媒、電解質膜、膜電極接合体 (MEA)、MEA構成材料など、各種素材や部材の技術開発や、共通基盤的な技術としての高精度な性能予測技術、燃料電池システム劣化予測技術、高精度計測技術 (高温下までのMEAセル／部材構造／特性評価手法、高精度計量観察技術) などの開発に取り組んでいる。また、短期的なアプローチとして、材料やMEAの大量生産を可能とする量産プロセス技術開発や、船舶など自動車以外での燃料電池利用技術開発を進めている。

SOFCについては、分散型電源としての利用拡大に向け、高効率 (発電効率65%超)・高耐久化 (耐久時間13万時間) を両立するセルスタック、シ

ステムの開発を促進するための基盤技術開発や商用化を想定したプロトタイプでの技術検証を実施している。

3. 水素ステーション

水素ステーションの普及拡大に向けた課題に対応するため、規制見直しの推進や水素ステーションの整備費・運営費の低減に資する技術開発、車載用高圧水素タンクや充填する水素の品質管理方法等の国際基準調和・国際標準化等について研究開発を実施している。規制見直しについては、省人・無人運転実現のための課題抽出、リスクアセスメントに基づく最適設備構成検討、汎用材料の適用性拡大のための各種データ取得等を実施している。低コスト化に関しては、標準的な仕様条件に基づくモジュール化・パッケージ化検討、構成機器の寿命延長の安全性評価方法の検討を行うとともに、高圧対応長寿命高分子部材、電気化学式圧縮機などの技術開発を実施している。また大型車両向けに新たな水素充填手順 (プロトコル) の開発を米国・欧州との国際連携を視野に進めている。

4. 水素発電／サプライチェーン

水素を燃料とするガスタービン発電システムの

実現に向け、特に燃焼時のNO_x排出抑制、フラッシュバックによる燃焼器の焼損防止、燃焼振動対策といった水素発電特有の技術課題解決のため、小型（数MW級）と大型（数百MW級）を想定した燃焼器の開発に取り組んでいる。また水素発電の利活用を進めるため、世界で初めて1MW級水素専焼／LNG混焼が可能なシステムを神戸市に設置、地域に熱と電気を併給する技術検証を進めている。

さらに海外の未利用資源を活用して水素を製造し、日本に輸送する国際水素サプライチェーン構築について、液化水素とメチルシクロヘキサンを水素キャリアに用いた技術開発を進めている。メチルシクロヘキサンについては、2019年11月に世界初となる水素輸送試験を開始。液化水素については、水素輸送船、水素受入基地等主要設備が完成し、今後試験運転を開始する予定である。

5. Power to Gas

Power to Gasのカギとなる水電解水素製造装置については、大型化、高耐久化、負荷追従性、低コスト化が主な課題であるが、NEDOにおいては、この開発を支える基盤技術として、劣化を含む反応メカニズムの解析、性能評価手法の開発などに取り組んでいる。

一方システムについては、2014年度より小規模（水素製造能力5～30Nm³／時程度）の開発を開始。現在は大型（水素製造能力300～1,200Nm³／

時程度）の技術開発を福島県浪江町及び山梨県甲府市進めている。このうち、福島県浪江町にて実施するプロジェクトでは世界最大規模となる10MW級水電解水素製造装置を要する試験研究設備である福島水素エネルギー研究フィールド（FH2R）を設置（図2）。自らの20MW太陽光発電設備を最大限活用して水素を製造するとともに、水電解水素製造装置を含む全体システムの負荷を変動させることにより、調整力としての利用可能性について検証を行うこととしている。

むすび

菅総理大臣が2020年10月26日に開会した臨時国会の所信表明演説で表明した、国内の温室効果ガスの排出を2050年までに「実質ゼロ」とする方針を受け、2020年12月には「カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。この成長戦略においても水素は引き続き重要分野と位置づけられており、水素を含めた脱炭素技術の推進のため、今後10年間の研究資金として2兆円の補正予算が要求されているなど、政策面での後押しも期待される。

水素の本格的な普及に向けてのハードルは決して低くなく、課題も山積しているが、持続可能な社会の実現に向け、着実に技術開発の歩みを進めていきたい。



図 2 FH2R全景（写真提供 東芝エネルギーシステムズ）

(2) 海外の取り組み

(株) テクノバ エネルギー 研究部 まる た あき てる
エネルギー技術調査グループ グループマネージャー 丸 田 昭 輝

まえがき

2020年は世界的にCOVID-19で経済活動は低調であったが、水素社会実現に向けた取り組みはむしろ加速した年であった。表1に、日本が世界初の水素戦略を発表してから2020年末までの、主な水素戦略やそれに類する性格のロードマップを示す。2020年に多くの国が水素戦略を策定したことが分かる。

以下、ドイツ、欧州連合、韓国、中国、米国における水素社会実現に向けた取り組みを概観する。

◇ ドイツ

再エネ先進国であり、脱炭素化に向かってエネルギー転換を進めるドイツは、一部地域（ノルトライン＝ヴェストファーレン州、バーデン＝ヴュルテンベルク州など）を除いて、水素を国のエネ

ルギーシステムに統合しようとする動きは鈍かったが、2019年夏頃より連邦政府が国家水素戦略の策定をはじめ、2020年6月に正式にこれを発表し

表 2 ドイツの国家水素戦略の概要

- ・2023年までを第一フェーズとし、水素市場立ち上げと国内市場整備、研究開発・国際連携を推進する。2024年以降を第二フェーズとし、欧州と国際的な水素サプライチェーンを形成し、ドイツ経済の拡大を図る。
- ・水素製造のために、水電解装置を2030年までに最大5GW、2035～2040年にさらに5GWを設置する。それでも国内需要を賄うには不足なので、大部分は輸入水素になる。
- ・水素輸入では、既存のエネルギー貿易国だけでなく、多様な主体と共同プロジェクトや技術実証を行う。
- ・FCは、公共交通機関（バス、電車）、トラック、商用車、物流で利用される。
- ・水素ガス専用ネットワークを構築する。
- ・水電解、バイオベースの水素製造、メタン熱分解、人工光合成、FCなどの主要な技術の研究を推進し、ドイツのリーダーシップを確立する。

出所：国家水素戦略より筆者作成

表 1 2017年12月以降に発表された世界の水素戦略

2017年12月	日本「水素基本戦略」
2018年6月	フランス「水素展開計画」
2018年8月	米国（カリフォルニア州）「カリフォルニア州FC革命」
2019年1月	韓国「水素経済活性化ロードマップ」 欧州燃料電池水素共同実施機構「欧州水素ロードマップ」
2019年9月	ニュージーランド「水素ビジョン」
2019年10月	韓国「水素R&Dロードマップ」
2019年11月	オーストラリア「豪州水素戦略」 米国（民間）「水素経済ロードマップ」
2020年4月	オランダ「国家水素戦略」 欧州（民間）「2×40GWグリーン水素イニシアティブ」
2020年5月	ノルウェー「低炭素社会を目指した国家水素戦略」
2020年6月	ドイツ「国家水素戦略」
2020年7月	欧州委員会「気候中立のための水素戦略」 ポルトガル「国家水素戦略」
2020年9月	フランス「カーボンフリー水素開発のための国家戦略」
2020年10月	スペイン「水素ロードマップ：再エネ水素へのコミットメント」 ロシア「2024年までの水素エネルギー開発行動計画」
2020年11月	チリ「グリーン水素国家戦略」
2020年12月	カナダ「水素戦略」

出所：各種資料から筆者作成

た（予定より半年遅れ）。

この国家水素戦略では、当面は化石燃料由来水素（＝グレー水素）や化石燃料由来でもCCS（二酸化炭素貯留）を行って低炭素化した水素（＝ブルー水素）を活用するものの、徐々に再エネ由来（＝グリーン水素）に切り替えることが主張されている。また製造された水素は主に産業分野で活用すること、ドイツでも大量の水素輸入が必要になること、他国での水素製造のためにドイツの技術輸出を促進することなどが強く打ち出されている。

◇ 欧州連合

2019年1月に、水素R&D・実証を手掛ける欧州燃料電池水素共同実施機構（FCH JU）は「欧州水素ロードマップ（Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition）」を発表した。このロードマップによると、欧州は現状で35.4億トンのCO₂を排出しているが、2℃目標達成には7.7億トンまで削減する必要があるとし、現状のエネルギー政策では17億トンまでの削減は見通せるが、まだ10.7億トンが残る。水素はこのうちの約半分（5.6億トン）の削減に寄与するとしている（図1）。

さらに、2030年の最終エネルギーでは、水素は665TWh（水素量換算1,700万トン／年）を占める可能性があるとし、そのうち238TWh（水素換算610万トン／年）は新規需要である。また新規需要

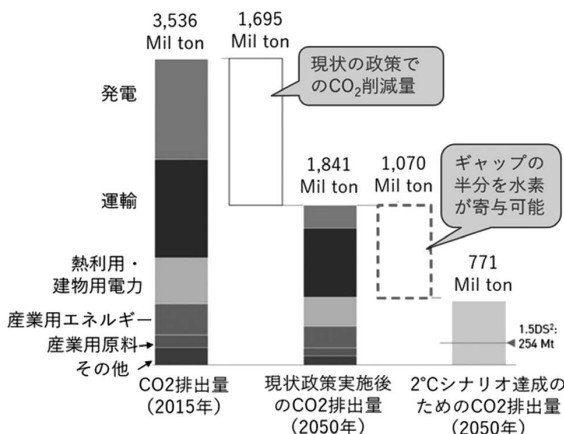


図1 欧州における2050年のCO₂排出量の低減見込み
出所：欧州燃料電池水素共同実施機構「Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition」より筆者作成

の6～7割程度を水電解でカバーするには40GWの容量が必要であるとしている。この「40GW」という値が、これ以降の水素議論で一つの目安となった。

民間企業を中心とする欧州水素・燃料電池協会（Hydrogen Europe）は、2020年4月に「2×40GWグリーン水素イニシアティブ（2×40GW Green Hydrogen Initiative）」を発表した。このイニシアティブはその名の通り、2030年までに欧州域内で40GW、欧州域外（ウクライナと北アフリカ）で40GWの水電解装置を展開するという構想である（図2）。欧州域内の40GWで合計440万トン／年の水素を製造し、欧州域外の40GWで300万トン／年の輸入用水素を製造する。

さらに2019年12月に発表された「欧州グリーンディール」は、2050年のカーボンニュートラルを目指す目玉政策であるが、ここでも欧州が先導すべきプライオリティにクリーン水素・FCが含まれている。

このような背景のもと、欧州連合は2020年7月に「欧州気候中立のための水素戦略（A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe）」を発表した。上述の通り「2×40GW」を前提とし、欧州の産官学連携組織「欧州クリーン水素アライアンス（European Clean Hydrogen Alliance）」設立などの政策が打ち出されている。なおこの戦略におい

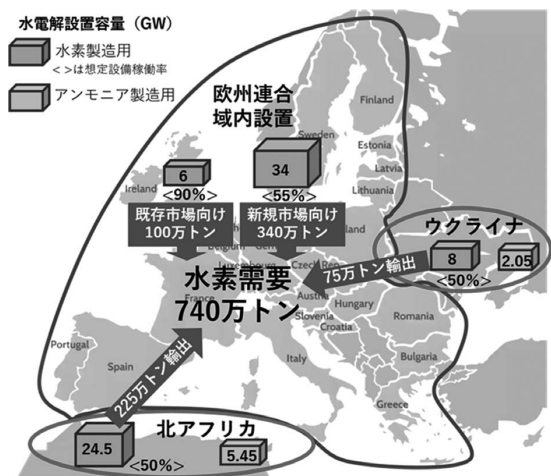


図2 2×40GWグリーン水素イニシアティブが想定する水電解装置設置容量と水素製造量
出所：欧州水素・燃料電池協会「2×40GW Green Hydrogen Initiative」より筆者作成

表 3 欧州水素戦略の3つのフェーズ

	第1フェーズ (2020～2024年)	第2フェーズ (2025～2030年)	第3フェーズ (2030～2050年)
水素製造	- 水電解:>6GW - 水素:100万吨/年 - 水電解装置製造スケールアップ(最大100MW)	- 水電解:>40GW - 水素1000万吨/年(輸入含む) - 既存水素製造設備へのCCS設置	再エネ電力の1/4を水素製造に利用
インフラ	水素基幹パイプラインの計画開始	- 既存ガス網の水素転換 - EU規模の水素輸送網の構築 - 水素ステーションネットワーク構築	—
水素利用	—	再エネ水素のコスト低減と新用途(製鉄、トラック、鉄道、船舶、電力システム)への利用開始	CO2中立な合成燃料の利用(航空、船舶、ビル等)
その他	- 市場活性化のための支援 - 欧州クリーン水素アライアンス(European Clean Hydrogen Alliance)設立	- 水素地域実証(水素バレー)展開 - 水素の域外諸国の国際取引	—

出所:「A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe」より筆者作成

ては、ドイツ国家水素戦略のような水素の色分けは行っていないものの、「クリーン水素は再エネ由来水素」と定義されている。欧州水素戦略は3つのフェーズからなり、第1フェーズ(2020～2024年)では最低でも6GWの水電解を設置し、100万吨/年の再エネ水素を製造するとし、第2フェーズ(2025～2030年)では最低でも40GWの水電解を設置し、1000万吨/年の再エネ水素を製造としている(表3)。

◇ 韓 国

韓国は2018年6月に「官民共同水素自動車産業エコシステム構築の加速」という成長戦略を発表し、2022年までの水素展開目標を定めた。2022年までに2.6兆ウォン(2,600億円)を投資し、燃料電池自動車(FCV)は1.6万台、燃料電池バス(FCバス)は1,000台が普及し、水素ステーション設置数は310か所としている。

また韓国は、2019年1月には2040年までの目標を定めた「水素経済活性化ロードマップ」を策定した(表4)。さらに2019年10月には、水素製造、水素貯蔵・輸送、水素利用(モビリティ)、水素利用(発電・産業)、安全・環境・インフラの5つの分野での将来展開を定めた「水素R&Dロード

表 4 韓国「水素経済活性化ロードマップ」の目標値(輸出含む、カッコ内は国内普及、2019年実績は筆者加筆)

分野	2018年 実績	2019年 実績	2022年 目標	2040年 目標
FC車両全体 [台]	1.8千 (0.9千)	6.7千 (5.1千)	8.1万 (6.7万)	620万 (290万)
乗用車 [台]	1.8千 (0.9千)	6.7千 (5.1千)	7.9万 (6.5万)	590万 (275万)
バス [台]	2	13	2千	6万 (4万)
タクシー [台]	—	10	—	12万 (8万)
トラック [台]	—	輸出 開始	—	12万 (3万)
水素ステーション [か所]	14	34	310	1,200
FC発電用 [MW]	307	397	1,500 (1,000)	15,000 (8,000)
FC家庭・建物用 [MW]	7	11	50	2,100
水素供給量 [トン/年] (水素源)	13万 (化石 燃料)	—	47万	526万 (輸入・ 再エネ)
水素コスト [W/kg]	—	—	6,000	3,000

出所:韓国産業通商資源部「水素経済活性化ロードマップ」より筆者作成

マップ」を策定している。

韓国は、このロードマップを実現するために、2020年6月には、日本のように海外からの低炭素

水素を調達するための「クリーン水素海外事業団」を、2020年7月には国家の司令塔となる「水素経済委員会」を設立している。

◇ 中 国

中国はこれまで、FC車両（主にFCトラック、FCバス）の普及を企業への補助金で支援してきた。しかしこの補助金は車両購入者に対してではなく、企業に対してであったため、製造しても実際には市場に販売されない車両も多くあった。

水素ではすでに地域ごとの取り組みが活発化していることもあり（例えば上海・長江デルタエリア、広東省佛山市・雲浮市、北京市・河北省張家口市、武漢市など）、中央政府は2020年末より、都市クラスターによる奨励金制度に切り替えた（表

表 5 中国のFC車両普及政策：補助金政策から都市クラスターによる奨励金制度へ

～2019年3月	～2020年4月	2020年9月～
補助金政策 ・乗用車 6,000元/kW (95万円/kW) 最大20万元/台 (320万円/台) ・小型商用車 30万元/台 (475万円/台) ・大型商用車 50万元/台 (790万円/台)	補助金政策 (暫定措置) 補助金は 8割で継続	モデル都市奨励金制度 ・都市グループ（含む企業）による申請（リード市が普及政策を策定） 申請条件 ・普及政策・産業政策があること ・現状でのFC車両普及台数：100台以上 ・現状での水素ステーション数：2か所以上 ・FC充填能力（1か所当り）：500kg/日以上

出所：上海重塑（Refire）プレゼンテーションより筆者作成

5)。実際には、中核都市がその地域の都市と連携して普及・産業化計画を中央政府に提出し、計画が認められた都市クラスターはその目標に向かって4年間のデモンストレーションを行う。実際の奨励金は、デモンストレーションの成果（目標達成度）を評価されて決定される。このようにFC普及は成果主義的となったため、中国のFC車両・水素ステーションの普及は加速していくものと予想される（FCの国産化を奨励する項目も含まれている）。

◇ 米 国

トランプ政権下では、連邦政府は全く新しいエネルギー・環境政策を打ち出せなかった。その一方で、環境政策に熱心であるカリフォルニア州は2018年8月に「カリフォルニア州FC革命（The California Fuel Cell Revolution）」を発表した。ここでは、2030年までにFCVでは100万台、水素ステーションでは1,000か所普及を目指すとしている。またカリフォルニア州らしく、FCV用水素の再エネ率を将来は100%とすることを定めている（現状では30%）。作成には、カリフォルニア州政府の他に連邦エネルギー省、GM、北米トヨタ、米国ホンダ、米国現代自動車、Air Liquide、Shell等が参画している。

また2019年11月には民間企業により、全米を対象とした「水素経済ロードマップ（Road Map to a US Hydrogen Economy）」が発表された。このロードマップは、低炭素経済の達成と米国のリーダーシップを主張しており、また2030年までの普及目標（FCV 530万台、水素ステーション 5,600

表 6 米国「水素経済ロードマップ」の概要

	現在 (直近の展開)	2022年 (スケールアップ)	2025年 (多様化)	2030年 (広範な展開)
水素需要	1,100万トン	1,200万トン	1,300万トン	1,700万トン
FCV	7,600台	5万台	20万台	530万台
FCV用水素ステーション	63か所	110か所	580か所	5,600か所
FCフォークリフト	25,000台	50,000台	125,000台	30万台
FCフォークリフト用水素充填装置	120か所	300か所	600か所	1,500か所
年間投資額	－	7億ドル	13億ドル	80億ドル
新規雇用	－	5万人	10万人	50万人

出所：Road Map to a US Hydrogen Economyより筆者作成

か所、FCフォークリフト 30万台）と2050年までの水素ビジョンを提示している。作成には民間18社（表7）の他にエネルギー省傘下の国立研究機

表 7 米国「水素経済ロードマップ」の作成に関わった企業

・ Air Liquide ・ American Honda Motor Co., Inc ・ Audi ・ Chevron ・ Cummins Inc. ・ Daimler AG: Mercedes-Benz Fuel Cell GmbH/ Mercedes-Benz Research & Development North America ・ Engie ・ Exelon Corporation ・ Microsoft ・ Nikola Motors ・ Nel Hydrogen ・ Plug Power ・ Power Innovations ・ Shell ・ Southern California Gas Company ・ Southern Company Services, Inc. ・ Toyota ・ Xcel Energy
--

出所：Road Map to a US Hydrogen Economyより筆者作成

関（アルゴンヌ国立研究所、国立再生可能エネルギー研究所）も関わっており、事実上の米国のロードマップといえる。

2021年1月からバイデン政権となり、再び米国の水素政策の加速が期待されるところである。直近では、2021年2月に、米国での水素バリューチェーンの構築と気候変動対応のエネルギー転換推進を目指して民間企業9社が「Hydrogen Forward Coalition」を結成しており、官民で動きが活発化している（表8）。

表 8 Hydrogen Forward Coalitionのメンバー

・ Air Liquide ・ Anglo American ・ Bloom Energy ・ CF Industries ・ Chart Industries ・ Cummins Inc. ・ Hyundai ・ Linde ・ McDermott ・ Shell ・ Toyota
--

出所：Hydrogen Forward Coalitionより筆者作成

2. 新型MIRAIの燃料電池システムについて

トヨタ自動車(株) たか はし つよし
FC製品開発部 高 橋 剛

要 旨

近年、環境問題、脱炭素、エネルギー問題等に対するソリューションの一つとして燃料電池のアプリケーションが提案されている。その応用としては定置用発電機（家庭用エネファーム等）、乗用車に加え、バス、トラック等の商用車、船舶、鉄道に至るまで広範な範囲での実用化が図られようとしている。

トヨタ自動車（株）では2014年に普及型燃料電池システム（トヨタフューエルセルシステム TFCS）を搭載した初代Miraiをリリースした。数年を経て、この度、更なる本格普及を目指し進化を果たした新型Miraiをリリースした。本稿では新型Miraiに搭載された第2世代TFCSの技術チャレンジについて紹介する。

◇ はじめに

トヨタ自動車は地球環境、エネルギー問題等に対し様々な環境技術に取り組んでいるが、その中でも電動化は大きな柱である。HVで培われた電池、モーター制御の技術を基盤とし、PHV、EVに加えFCVの開発を推進している。燃料電池の開発は1992年にスタートし、2002年、世界に先駆けて燃料電池車（FCHV）の限定リースを開始し、2008年には燃料電池車における主要課題であった航続距離、氷点下始動に一定の目途をつけたFCHV-advを発表した。更に2014年、トヨタフューエルセルシステム（TFCS）を搭載した初代Miraiを開発し、世界初となる量産車と呼べる燃料電池車を世に送り出すに至った。この度、更なる普及を目指し、第2世代TFCSを搭載した新型Miraiを開発した。FCシステムとしては軽量、パッケージ性の向上等正常進化に加え、大幅なコスト低減、システム出力向上、航続距離の飛躍的向上、生産技術革新等多くの課題にチャレンジした。本稿では、これらの取り組みについて報告する。

◇ 燃料電池システム

図1に燃料電池システムの車両搭載図を、図2に燃料電池システムをそれぞれ示す。燃料電池の発電原理は一般に「水の電気分解」の逆の反応として表現される。即ち、水素と酸素を燃料電池内に送り、水と電気が生成する反応である。水素極で水素がプロトンと電子に分かれ、電子は外部回路を經由しながら仕事をし、対極の空気極では水素極から移動してきたプロトンと外部回路を經由してきた電子、空気中の酸素とが反応し水が生成する。従い、燃料電池のシステム（図2）は水素源の高圧水素タンク、レギュレータ、インジェクタ等から構成される水素系、エアコンプレッサ、調圧弁等から構成される空気系、ラジエータ、ウォーターポンプ等から構成される冷却系により構築される。燃料となる水素の利用率を向上させ

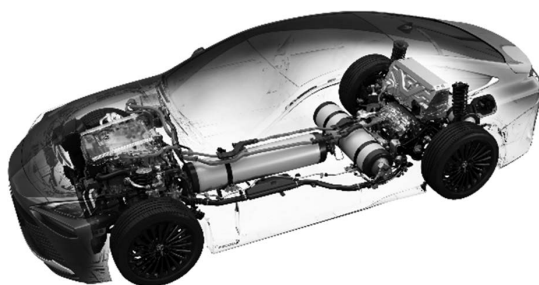


図 1 車両搭載図

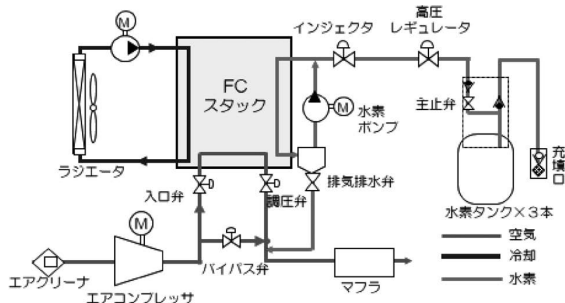


図 2 燃料電池システム図

るため我々のシステムでは水素ポンプによる水素循環を実施している。燃料電池は効率の高い「発電機」であるが100%の効率で作動できる訳ではないので損失分の排熱があり、内燃機関と同様に冷却が必要となる。

◇ FCスタックの進化

第2世代FCスタック ASSYの外観を図3に示す。第1世代から第2世代でスタック本体の体積を33Lから24Lに小型化すると同時に最大出力を114kWから128kWへと大きく向上させた。また、従来の床下からフード下に搭載位置を変えるにあたりパッケージ性を向上させるためFCスタックの出力電圧をシステム電圧まで昇圧するDC-DC昇圧コンバーターをスタック上部に配し一体化構造を実現した。また、Airコンプレッサー、水素ポンプ、ウォーターポンプ等の各補機部品をスタックの下部に配し経路の最適化を図った。量産化を目指すうえでコスト低減は極めて重要である。第2世代スタックでは材料、設計、工法の観点でコスト低減を進めた。

1. FCスタック性能向上

FCスタックの性能指針として最大出力をFCスタック体積で割った出力密度という尺度で定義することが可能である。スタックの出力密度の変遷を図4に示す。第1世代から第2世代で出力密度は3.5kW/Lから5.4kW/Lに大きく向上させることができた。出力自体を上げるため電極触媒開発を推進し電極単位面積当たりの出力を15%向上することができた。またセルの構成材を見直し、従来

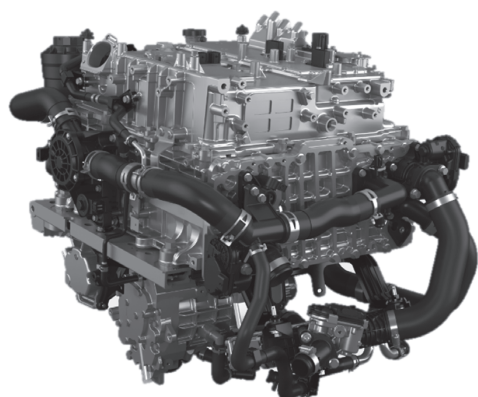


図 3 スタック ASSY 外観

3部材／セルであったのを2部材／セルと簡素化することによりセルの厚みを15%薄くするとともに軽量化も果たした。出力が向上することにより第1世代FCスタックからセル数を40セル削減でき小型化を更に進めることができた。

2. コスト低減

FCシステム全体では図5に示すように第1世代から第2世代でコストを約1/3に低減することができた。コスト低減の中で特に寄与が高かったのは、スタックのコスト低減である。また、水素タンクについてはタンク本数を第1世代の2本から第2世代で3本に変更したが、ほぼコスト増なしで実現している。システム部品についても流用品の活用、設計見直しにより大きく低減することができた。

FCスタックのコストは第1世代比で75%低減している。前述のように出力を上げるとともに小型化を実現し、電極触媒性能向上により貴金属（白金）使用量自体も58%低減することができた。出力密度を上げることににより電極、電解質膜、セパレータ等の構成部材を低減でき、このことがコス

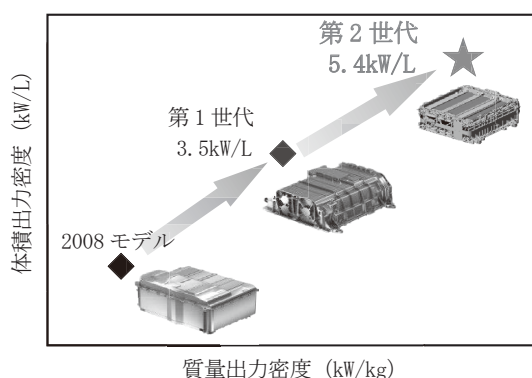


図 4 スタック出力密度の進化

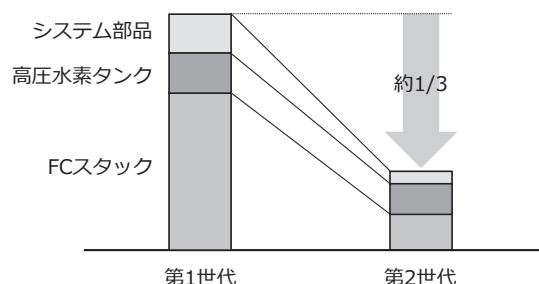


図 5 FCシステム原価低減

ト低減に大きく結びついた。また前述の構成簡素化もコスト低減に直結している。後述する生産革新によるサイクルタイム短縮、設備投資削減等も貢献が大きい。

◇ 航続距離の拡大

自動車の商品性の中で航続距離は重要である。特に電動車のカテゴリーにおいてユーザーは高い関心を示す。電気と比較し水素はエネルギー貯蔵性が高いと言えるが、高压水素タンクはガソリンタンクに比較し体積が大きく、パッケージ性に優れるとは言えない。一般に航続距離を拡大するためには搭載燃料（水素）の増加と燃費（効率）の改善のアプローチがあるが、新型ミライでは、その両方を実施し、従来に比較し約30%の向上を図り、約850kmの航続距離（@WLTCモード）を達成することができた。

1. 水素貯蔵性能

水素タンクは樹脂ライナーに高強度のCF（カーボンファイバー）を多層巻いた構造である（図6）。TYPE IVと呼ばれる方式を採用し、70MPaの水素を充填し使用する。一般に水素の貯蔵性能は質量効率（wt%）で示され、この定義は水素搭載量をタンク質量で割ったものである。第2世代のタンクではCFの強度を向上させ、CFをライナーに巻く設計を改善することによりCF層を低減し、貯蔵効率を5.7wt%から6.0wt%に向上させ、タンク本数を2本から3本に増やすことにより有効水素搭載量を4.6kgから5.6kgと21%向上させることができた。

2. FCVの駆動と効率（燃費）の向上

燃費を向上させるためには車両側の向上（空力、

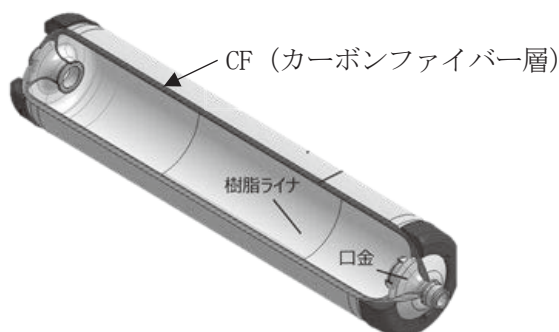


図 6 水素タンク構造（TYPE IV）

車重、負荷等）とシステム側の向上（補機損失の低減、モーター効率、電池充放電効率、FC効率、DC-DCコンバータ効率等）とがある。駆動システム構成を図7に示す。FCVはFCからの出力と駆動バッテリーからの出力とを用いるHVシステムを採用している。バッテリー単独、FC単独でそれぞれ作動させる場合もあり、車両負荷が高い場合はFC、バッテリーの双方から出力し、また車両減速時には減速のエネルギーを回生しバッテリーに充電する。バッテリーの充電状態（SOC）によってはFCがバッテリーを充電する。FC、バッテリーはそれぞれ直流電圧であり、システム電圧に比較し低い電圧なので、各々昇圧コンバータを有し、システム作動電圧まで電圧を昇圧する。また、モーターは交流なのでインバータにより交流に変換しモーターを制御、駆動する。

今回、図8に示すような効率の向上を図った。

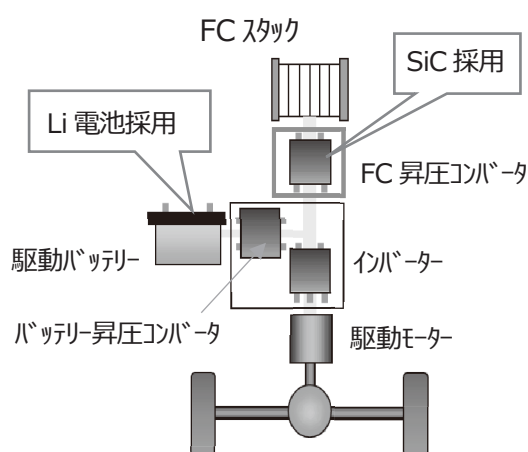


図 7 駆動システム構成

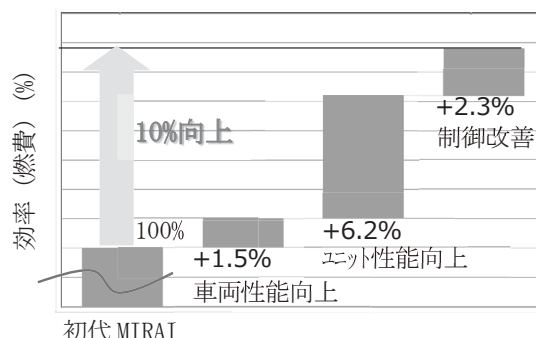


図 8 効率（燃費）の向上

即ち、車両の効率を1.5%向上させ、FC、昇圧コンバータ、バッテリー、モーター等各ユニットの効率をそれぞれ向上させることにより6.2%、FCシステムの制御を改善することにより2.3%、合わせて約10%の効率（燃費）向上を図ることができた。尚、新規技術としてLiイオン電池の採用、DC-DCコンバータへのSiC素子の採用等がある。

◇ 生産性の向上

FCの普及を目指すためには量産性を改善することが不可欠である。生産の最適化のための尺度としてスペース効率、生産設備の投資等の観点があるが、ここでは第1世代と第2世代を比較したスタック製造、タンク製造に関する設備投資の比較を図9に示す。事業規模（生産規模）は第1世代に比較し第2世代では約10倍となったので、本来設備投資も10倍程度必要となるが、その7割を削減し、第1世代と比較し約3倍の投資で約10倍の生産規模を実現した。これを達成するためいくつかの生産革新にチャレンジしたのでこれを紹介する。

1. セル製造における革新

FCのセル製造におけるチャレンジを図10に示す。第1世代が1セルを製造するのに十数分を要していたのに対し、第2世代では数秒で製造できるようになった。FCスタックは330セルから構成されており、スタックの生産量から換算すると第2世代では年間数百万セルを製造する必要がある、セル製造のサイクルタイムを大幅に短縮する必要性があった。これを目指しターゲット（目標）設

定を実施し、設計、生技、製造一体となり開発を実施した。燃料電池は水素、空気、冷却水の3流体を互いにセパレートして流す必要があり、構造上各流体のシール確保が極めて重要である。第1世代ではセパレータ間をEPDMゴムの成形により構成した。ゴム成形後、加硫時間を要し、このことが生産上（サイクルタイム）の課題であった。第2世代では熱可塑性樹脂シートを用いることにより、短時間での接合完了およびシール信頼性の両立を達成することができた。

2. タンク製造における革新

タンク製造における革新を図11に示す。タンクは主として樹脂ライナー、口金、CF（カーボンファイバー）層から構成され、ガスの機密を担保する樹脂ライナーの外側に高圧ガスに対する強度を保障するためのCF層を多層に巻き付けて製造する。タンクの製造工程の中でもFW（フィラメントワインディング）と呼ばれるCFを巻き付ける工

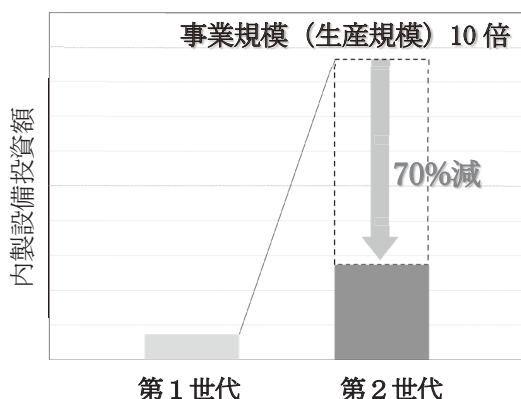


図 9 設備投資

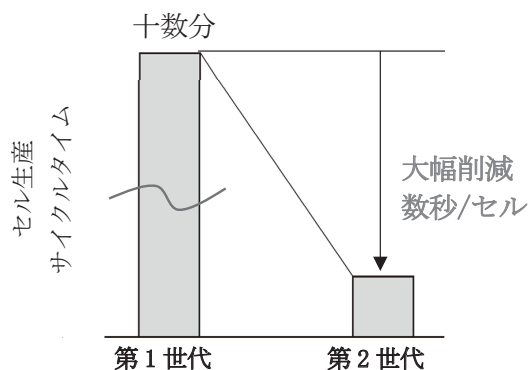


図 10 セル生産性の革新

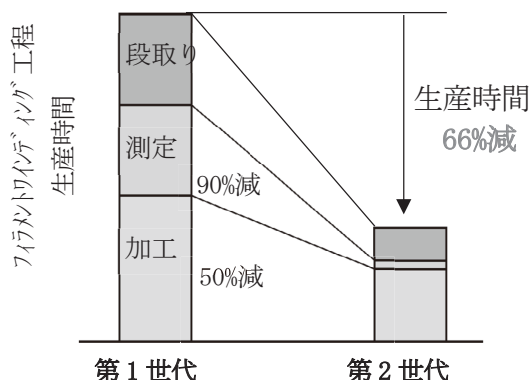


図 11 タンク生産性の革新

程が重要であり、高い精度が必要である。従い第1世代のFW工程では精度を担保するため計測(測定)、段取り時間を要していた。第2世代では工程自体の能力を大きく向上させることにより測定、段取り時間を大幅に低減し、CFを巻き付ける加工スピードを約2倍に引き上げることでFW工程自体の生産時間を約1/3にすることができた。

むすび

全世界的なコロナ禍の中で人類が苦しんだ2020年でしたが、各国政府はアフターコロナを視野に新たな政策を打ち出しつつあります。長期的なカーボンニュートラルを目指し、新たなエネルギー政策、将来の成長戦略の一つとして水素のキーワードを挙げています。一方、水素社会実現のためには、水素の製造、運搬、需要創出のそれぞれのステージでブレークスルーが必要です。燃料電池車FCVは水素社会を構築するための一つのピースにすぎませんが、その普及には水素インフラの構築が不可欠です。トヨタ自動車はこの度新

型ミライを世に出し(2020年12月)、更なる量産普及を目指した商品開発を行いました。今後も政府、インフラ関係の各企業様、志を同じくする各協力企業様、大学、研究機関のサポートを賜り、連携を深め、自らも水素社会構築に貢献できるよう努力して参りたいと思います。

参考文献

- 1) 木崎幹士、浅井尚雄、弓矢浩之：MIRAIにつながるFCシステム、トヨタテクニカルレビュー、Vol. 61 (2015)
- 2) Tsuyoshi Maruo, Masashi Toida, Tomohiro Ogawa, Yuji Ishikawa, Hiroyuki Imanishi, Mitsuhiro Nada, Yoshihiro Ikogi: Development of Fuel Cell System Control for Sub-Zero Ambient Conditions. WCX™ 17: SAE World Congress Experience (2017)
- 3) Norishige Konno, Seiji Mizuno, Hiroya Nakaji, Yuji Ishikawa: Development of Compact and High-Performance Fuel Cell Stack. SAE 2015 World Congress & Exhibition (2015)
- 4) Akira Yamashita, Masaaki Kondo, Sogo Goto, Nobuyuki Ogami: Development of High-Pressure Hydrogen Storage System for the Toyota "Mirai". SAE 2015 World Congress & Exhibition (2015)



3. 水素ステーション

(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) 理事・事務局長 いけ だ てつ あみ 池 田 哲 史

ま え が き

我が国において水素ステーションが登場したのは約20年前まで遡る。2002年度より開始された水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC: Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)¹⁾にて水素ステーションの実証研究が実施された。(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) の前身である水素供給利用技術研究組合は、このJHFCの3期目の事業となるJHFC3「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業①技術・社会実証研究」(2011年度～2013年度)において水素ステーションの実証研究を推進した。

2014年12月に世界初の量産燃料電池自動車 (FCV) トヨタMIRAIの販売が開始され、それに先立って商用水素ステーションの整備が開始された。HySUTは2016年4月より技術研究組合から一般社団法人に改組して、商用水素ステーションの整備、運用のための技術支援を行う業界団体として活動している。

本稿は、FCVに燃料としての水素を供給する商用水素ステーションについて、機器構成、安全対策、普及状況、今後の課題等について解説する。

◇ 水素ステーションとは

FCV用の燃料としての水素は圧縮ガスとして供給されるため、水素ステーションは図1に示すような構成となる。水素はトレーラあるいはカードルに充填されステーションに運び込まれるか、ステーション内で天然ガスやLPガスから製造される。前者はオフサイト型、後者はオンサイト型と呼ばれている。

水素の供給方法以外の設備構成は、オフサイト型、オンサイト型に差はない。水素はまず圧縮機で82MPaまで圧縮され、蓄圧器に貯蔵される。FCVには蓄圧器からディスペンサーを通して車のタンクとの圧力差で水素が充填される。この時、

FCV内の水素タンク内の温度が上昇するため、水素は予めプレクーラーにより約-40℃まで冷却される。

水素ステーションのタイプとしては、図1のような定置式に加え、移動式と呼ばれる方式も存在する。図2に移動式ステーションの概要を示す。特徴としては予め届け出た複数の場所において水素の充填が可能であり、定置式ステーションでカバーできないエリアにおけるFCVへの水素供給を行うことができる。基本的に定置式と同様な設備構成と性能を有するが、水素の供給量には一定の制約がある。

FCVの水素タンクに充填される水素の圧力は、国際的な技術規則により15℃において最高70MPaと定められている。また、FCVタンクに許される温度は最高85℃であるため、その時の圧力である87.5MPaがタンクに許容される最高圧力となる。したがって、どのような温度条件においても、タ

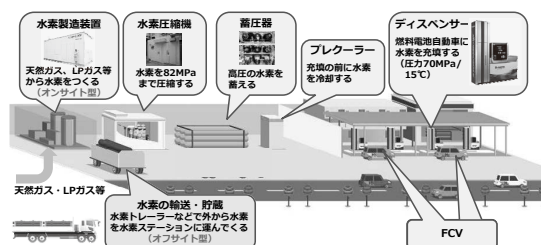


図 1 水素ステーションの構成

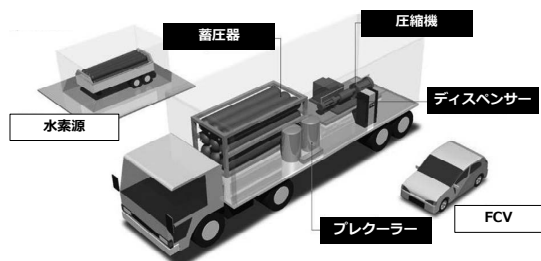


図 2 移動式水素ステーション

ンク温度が15℃となる時に70MPaを超えないような圧力で充填が終了するよう自動的に制御する機構が採用されている。

なお、日本国内においては高压ガス保安法により商用水素ステーションの最高圧力は82MPaと定められているため、国内の商用水素ステーションで充填可能な最高圧力は82MPaである。

◇ 水素ステーションの安全について

水素ステーションの建設および運用にあたり、最も重要な安全性を確保するため、法規、基準・規格等が整備されている。図3にそれらの概要を示した。

法規の中で、最も大きく関わるのが高压ガス保安法である。一般高压ガス保安規則において商用水素ステーションにおける主要な遵守事項が定められている。その他、消防法、建築基準法も水素ステーションの建設時に大きく関与する。

技術基準・規格は安全に関わる性能等を規定したもので、基本的に強制力はないものの重要な判断基準が示されている。ISO/TC197は水素技術

に関する国際規格を策定する専門委員会であり、HySUTが国内の審議団体を務めている。また、FCVへの水素充填方法に関する基準はJPEC-Sにて定められている。

水素の品質や計量管理と言った信頼性に関わる項目は、現時点では法制化されていないが、業界の自主ガイドライン（HySUT-G）としてルール化されている。

このように、法規や基準・規格、ガイドライン等により安全性や信頼性が確保されている水素ステーションにおける具体的な安全対策を図4に示した。

ここで示した5項目が水素に対する安全対策の基本である。最も大切なことは水素を漏らさないということに尽きる。仮に漏れた場合にはガス検知器により早期に検知し漏えいの拡大を防ぐとともに、水素が溜まらないような対策が水素ステーションのあらゆる場所で取られている。さらに漏れた水素に火がつかないような対策も取られている。それでも万一火災等が発生した場合、その影響を最小限に抑える対策もなされている。

◇ 普及の状況

FCVと商用水素ステーションの国内の普及状況を図5に示す。ここでいう「商用」の定義は、一般のFCVユーザーに対して有償で水素を販売する水素ステーションを言う。国内には実験用の水素ステーションや実証用としてユーザーを限定して水素を供給する水素ステーションも存在するが、その数はここで示すデータには含まない。

商用水素ステーションは2014年7月に国内初となるステーションが開業した後、整備が進み2020

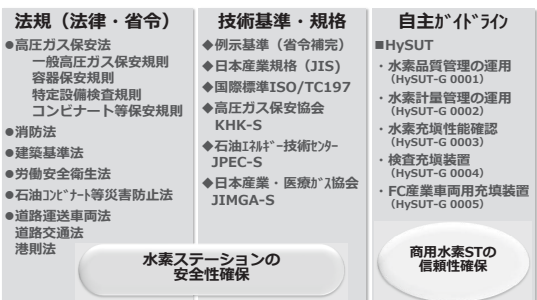


図 3 関連法規、基準・規格の概要



図 4 水素ステーションの安全対策

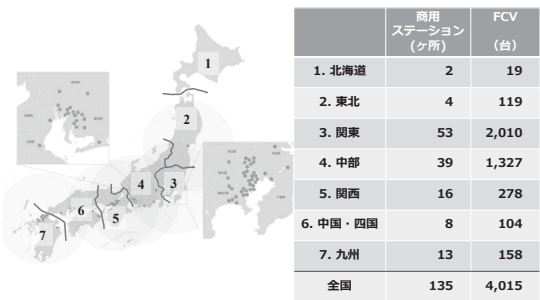


図 5 商用水素ステーションとFCVの普及状況（2020年10月末現在）

年10月末現在で135箇所が運用されている。また、2020年度末には水素燃料電池ロードマップ²⁾の目標である160箇所に迫る見通しである。一方、FCVの登録台数は4,015台を数えるが、ロードマップの目標(40,000台)には届いていない。しかし、2020年12月に新型MIRAIが販売され生産能力も増強されることから、今後の伸びが期待される。

地域別の普及状況は関東地域が水素ステーション数、FCV登録台数とも突出しており、1ステーション当たりのFCV台数は40台近くまで伸びてきた。次に愛知県を中心とした中部地域が続いている。一方、その他の地域については、1ステーション当たりのFCV台数は10数台に止まる地域もあり、地域差は大きい。

FCV以外の車両として、FCバスの普及も進みつつある。トヨタSORAは2020年までに96台が納入された³⁾。それに対応する形でFCバス用水素ステーションの整備も進んでいる。表1にFCバス用商用水素ステーションの整備状況を示す。

図6はFCVの登録台数と国内の商用水素ステーションにおける月別の水素充填量(FCバスへの充填量は含まない)の推移を示す。登録台数の伸びとともに水素充填量も着実に伸びていることがわかる。水素充填量は2020年の前半はコロナウィルス感染拡大に伴う非常事態宣言等の影響で一時的

表 1 バス用水素ステーションの状況

No.	ステーション名	事業者名	所在地	開業
1	イワタニ水素ステーション東京有明	岩谷産業	東京都江東区	2017年3月
2	セントレア水素ステーション	東邦ガス	愛知県常滑市	2019年3月
3	エア・リキード所沢松郷水素ステーション	JHyM、日本エア・リキード	埼玉県所沢市	2019年11月
4	豊洲ステーション	JHyM、東京ガス	東京都江東区	2019年12月
5	イワタニ水素ステーション東京葛西	JHyM、岩谷産業	東京都江戸川区	2020年1月
6	東京大井水素ステーション	JHyM、ENEOS	東京都品川区	2020年8月
7	東京晴海水素ステーション	ENEOS	東京都中央区	2020年10月
8	イワタニ水素ステーション羽田空港	JHyM、岩谷産業	東京都大田区	2020年10月
9	豊田豊栄水素ステーション	JHyM、東邦ガス	愛知県豊田市	2020年12月

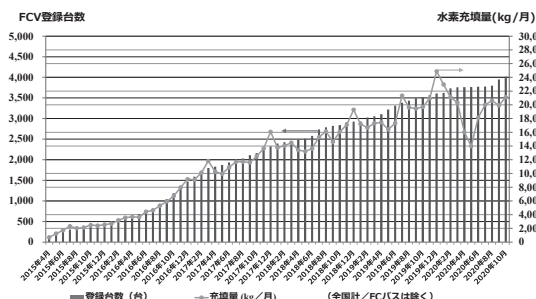


図 6 FCV登録台数と水素充填量の推移

に大きく低下したが、現時点では回復傾向にあり、月間20t程度の充填量で推移している。

この水素充填量の持つ意味を考察してみた。2019年1月～12月の国内水素充填量の合計は227,400kg、この間のFCV台数の平均は3,300台であった。FCV 1台当たりの年間走行距離は次の式で表すことができる。

$$(1 \text{ 台当たり年間走行距離}) = \frac{(\text{水素充填量}) \times (\text{燃費})}{(\text{平均FCV台数})}$$

ここで、FCVの燃費を105km/kgとすると、1台当たりの年間走行距離は7,200kmと算出された。この走行距離は国内の乗用車の平均的な走行距離と同レベルであることがわかった。

◇ 普及拡大に向けた課題

今後、より一層の普及拡大を実現するためにはいくつかの課題が挙げられる。最も大きな課題がコストダウンと信頼性向上である。そのためには、規制見直し、技術開発等に加え、ステーション仕様の業界標準化等による対応も必要と考える。

図7に規制見直しに関する取組状況⁴⁾を示す。これまで水素ステーションの整備に伴い、10年以上にわたり官民一体となって数々の見直しが実施されてきた。これらの成果により、今後のコストダウンにつながる事が期待されている。

技術開発については、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」および「超高圧水素イ

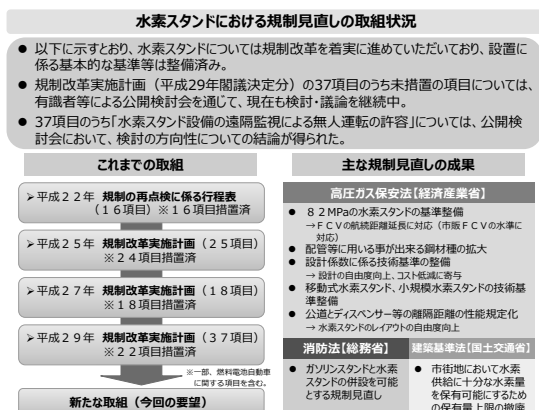


図 7 規制見直しの取組状況

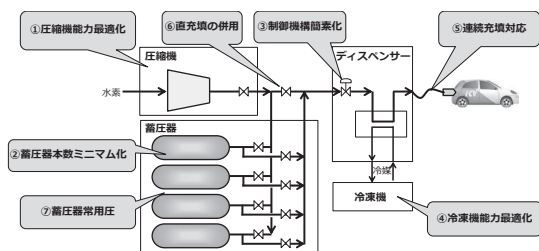


図 8 コストダウン検討の概要

「インフラ本格普及技術研究開発事業」において水素ステーションのコストダウンを目的とした研究開発が進められてきた。図8は設備構成におけるコストダウン検討の一例を示したものである。安全性を確保したまま、設計の見直しや制御の簡素化によるコストダウンの可能性について検討が進められてきた。

水素ステーションの仕様に関する業界標準化およびガイドライン化についても検討されている。設備仕様について可能な部分については標準化して行くことにより、設計費や工事費等の削減につながる事が期待されている。

◇ 今後に向けて

水素ステーションの整備を加速するために、2018年2月に日本ステーションネットワーク合同会社（略称：JHyM）が設立された。図9に示すとおり、自動車会社、水素ステーション事業者に加え投資家が参画して、水素ステーションの整備を加速し、事業者の運営を支援する仕組みが構築された。

JHyMのミッションは、水素ステーションの戦略的な整備と効率的な運営への貢献であり、2021年度までの4年間で新たに80箇所の商用水素ステーション整備を目指している。

図10は2019年3月に示された水素・燃料電池ロードマップ⁵⁾で、水素ステーション整備数等の目標に加え、コスト目標が示されている。カーボンニュートラルを目指して国内外で水素が注目される中、水素社会構築に向けたインフラの整備はま



図 9 JHyMの概要

水素・燃料電池ロードマップ〜水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン〜（全体）

● 基本戦略等での掲げた目標を確実に実現するため、 ① 目指すべきターゲットを新たに設定（基盤技術のスペック・コスト内訳の目標）、達成に向けて必要取組を規定 ② 有関係による評価V/Gを設け、分野ごとのロードマップを策定		
基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組
FCV 2025年0.35台/1000人 2030年0.7台/1000人	2025年 ● FCVの価格帯（300万円〜400万円） ● FCV主要システムのコスト（燃料電池 約2万円/kW〜4.5万円/kW、水素供給 約2万円〜4.5万円/kW）	● 徹底な規制改革と技術開発
ST 2025年0.35台/1000人 2030年0.7台/1000人	2025年 ● 整備・運営費（整備 3.5万円〜4.5万円、運転 3.47万円〜4.5万円） ● ST構成機器のコスト（圧縮機 0.9万円〜0.5万円、配管 0.5万円〜0.1万円、配電 0.5万円〜0.2万円）	● 全額貯蔵STや、土曜営業の拡大 ● 5分給付/1分〜給付5分拡大
利用	2025年 ● FC/CV車両価格（1800万円〜2000万円） ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	● 1分給付5分拡大
2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	● 高効率な燃焼装置等の開発
2025年 ● 産業・産業用燃料電池のグリッドバリエーションの実現	2025年 ● 産業・産業用燃料電池のグリッドバリエーションの実現	● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）
2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）
2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	2030年 ● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）	● 水素供給設備での発電効率（26%〜27%）

図 10 水素燃料電池ロードマップ

ずまず重要性を増してくるものと期待されている。水素ステーション関係者はロードマップの目標達成に向けてそれぞれの立場で努力を継続している。

（本報告には、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）委託事業の成果の一部が含まれる）

参考文献

- 1) (一財)日本自動車研究所HPより <http://www.jari.or.jp/portals/0/jhfc/>
- 2) 経済産業省HPより（2016年3月） <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/20160322001.html>
- 3) トヨタ資料（2020年11月）
- 4) 規制改革推進会議投資等WG資料（2020年5月）
- 5) 経済産業省HPより（2019年3月） <https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001.html>

4. 家庭用燃料電池

パナソニック(株) アプライアンス社 技術本部 お ぜき まさ たか
エアコン・コールドチェーン開発センター 総括 尾 関 正 高

ま え が き

当社は、定置型家庭用燃料電池「エネファーム」(以下、エネファーム)の戸建住宅向け一般販売を2009年に開始した。その後、寒冷地向け、集合住宅向け、LPガス対応モデルを順次発売し、ラインナップを拡充してきた。更には、欧州でも2014年度に家庭用燃料電池市場を開拓し、これまで販売を伸ばして来ている。本稿では、エネファームのしくみと、2019年4月に発売した戸建住宅向けエネファームの特徴を紹介する。

さらに、水素社会に向けて、水素を直接燃料として利用する水素燃料電池も紹介する。

◇ エネファームとは

エネファームとは、ご家庭の都市ガス、LPガス等を用いて機器内部で水素を作り出し、その水素を用いて「電気」と「お湯」を同時に作り出す家庭用コージェネレーションシステムであり、燃料電池ユニット、貯湯ユニット、バックアップ熱源機から構成される。図1にエネファームのしくみを示す。

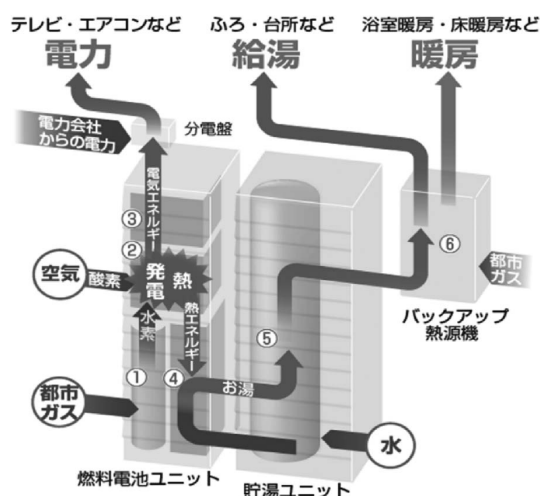


図 1 エネファームのしくみ

図1に示す燃料電池ユニットは

- ①都市ガス、LPガス等から水素を生成する燃料処理装置
- ②水素と空気中の酸素を反応させて直流の電気と熱を発生させる燃料電池スタック
- ③燃料電池スタックで発生した直流電気を家庭用交流電気に変換するインバータ
- ④燃料処理装置、燃料電池スタックで生成された熱を回収する熱回収装置

で構成される。④で回収された熱は、図1に示す貯湯ユニット(⑤)にお湯として貯められ、給湯・風呂に利用することが可能となる。お湯が不足した場合には、バックアップ熱源機(⑥)が作動する。

このようにエネファームは、発電時に発生する熱も合わせて活用するコージェネレーションシステムとなっており、エネルギーの高効率利用が可能な地球環境に優しい製品となっている。

2019年4月に発売した第6世代エネファームでは、発電効率40%(LHV)を実現すると共に、業界最高¹⁾の総合効率97%(LHV)を実現している。このエネファームを設置し一年間運用することで、ガス給湯暖房機使用の住宅と比較して、CO2排出量を年間約1.4トン削減²⁾できる試算を得ている。

◇ エネファームの方式

エネファームに搭載される燃料電池には下記の2つの方式がある。

- ・固体高分子形燃料電池(PEFC)
- ・固体酸化物形燃料電池(SOFC)

固体高分子形燃料電池(PEFC)は、運転温度が100℃以下と低いため起動停止がスムーズで、電力需要の変動に対して柔軟に出力調整が可能なことから、小規模な分散型電源や自動車用途に向いている。固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、発電効率に優れ、火力発電所の代替などの大規模電源

に向いている。当社では、ご家庭の朝から夜までの電気や熱の需要がある間に運転し、夜中は停止することでエネルギー効率の良い運用を目論みPEFCを採用し、世界に先駆け家庭用燃料電池システムを開発してきた。以降では、その具体的な事例について説明する。

◇ 燃料処理装置

ここでは、都市ガス等から水素を生成する燃料処理装置について説明する。

まず、燃料処理装置は図2に示すように3つの部位からなる。

(1) 改質部

都市ガス等の主成分であるメタンと水蒸気を反応させて水素を生成する。この時、同時に二酸化炭素や一酸化炭素が生成される。

(2) 変成部

改質部で生成された一酸化炭素は燃料電池を劣

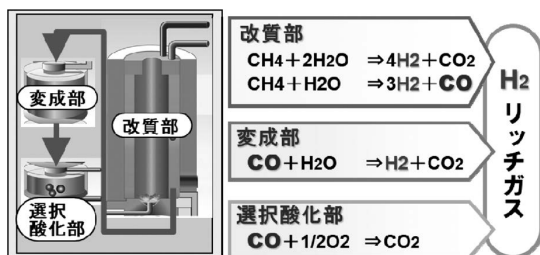


図 2 燃料処理装置の構成と反応式

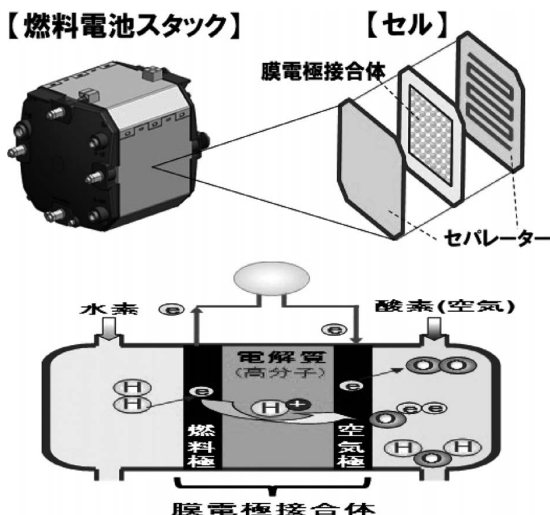


図 3 燃料電池スタックとセルおよび発電原理

化させるため、一酸化炭素と水を反応させて一酸化炭素を減少させる。

(3) 選択酸化部

変成部の反応後も残留する一酸化炭素を、さらに空気と反応させることで、一酸化炭素を数ppmレベルまで減少させる。

上記3つの反応を経て、燃料処理装置では都市ガス等から水素に富んだガスを生成する。

◇ 燃料電池スタック

ここでは、水素と空気中の酸素を反応させて直流の電気と熱を発生させる燃料電池スタックについて説明する。

図3の上方に示すように燃料電池スタックはセルと呼ばれる単電池の積層体として構成される。

セルは膜電極接合体を2枚のセパレータで挟持した構成になっている。一方のセパレータの膜電極接合体と接する面には水素が流れる流路が構成されており、他方のセパレータの膜電極接合体と接する面には空気が流れる流路が構成されている。

このセルでは図3の下方に示すような原理で発電反応が起こる。ここで、膜電極接合体は、水素イオンを通す電解質膜が燃料極と空気極とで挟持されて構成されている。

1. 膜電極接合体の燃料極側に供給される水素は、燃料極にて水素が水素イオンと電子に分離される。
2. 分離された電子は燃料電池スタック外部の電線を通して空気極へ移動する。
3. 分離された水素イオンは電解質膜を通して空気極へ移動する。
4. 膜電極接合体の空気極側に供給される空気中の酸素は、燃料極から各々の経路で移動してきた電子と水素イオンと結合して水となる。

上記4つの反応が継続されると電線に電子が流れ続けるため、直流電流が発生し続ける。これによって、セル、およびその積層体である燃料電池スタックで発電が継続的に行われる。

◇ エネファームの進化

当社のエネファームは、2009年の販売開始から現在までに6世代に亘る進化を遂げている。進化

の過程では低コスト化、小型化、高耐久化を3つの重要な要素としてきた。主要な部品である燃料処理装置と燃料電池スタックに対して地道な改良を重ねることで、最新の第6世代エネファームでは第1世代に対して、コストは1/4以下、製品重量及び設置スペースは1/2以下、発電寿命（耐久性）は2倍以上と大幅な進化を実現した。

特に、燃料電池スタックにおいては、触媒の配合や電極への含有量を最適化する事で、高価な白金の使用量を約1/6まで低減してきている。

一方で、社会環境の変化を捉えて商品性の向上も合わせて行っている。

従来から、省エネと健康で快適な暮らしの両立需要はどんどん高まっている。それに加え、昨今頻発する集中豪雨や台風などの自然災害による長期的な停電の発生により、長期間の自宅避難を実現できる非常時のエネルギー供給源の必要性も高まっている。

この様な社会環境変化を捉え、2019年4月に発売した第6世代エネファームでは、下記2点の機能追加を行った。

（1）排熱利用床暖房

省エネ性と快適性を高い水準で両立した排熱利用床暖房システム

（2）レジリエンス機能の強化

停電時においても、簡単な構成で多くの電力が供給できるエネファームとハイブリッド蓄電システムとの直流連携システム

◇ 純水素燃料電池

純水素燃料電池は高効率、低騒音で発電が可能のため、来るべき水素社会において非常に重要なシステムとなると考えられる。そのため、当社では家庭用のみならず業務用、産業用で活用頂ける純水素燃料電池の開発に取り組んでいる。

図4に当社の純水素燃料電池を示す。純水素燃料電池は、水素が直接供給され、空気中の酸素と共に発電を行うシステムである。水素が直接供給されるため、エネファームのように内部で水素を作る必要がない。そのため、純水素燃料電池には燃料処理装置は搭載されていない。その結果、図4に示す純水素燃料電池は図1に示すエネファーム

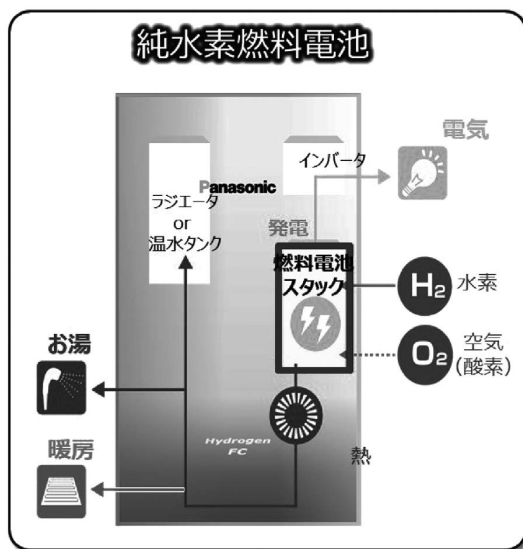


図 4 純水素燃料電池

ムとほぼ同程度の体積で5kWの発電能力を備えることができた。

また、発電効率も56%（目標）としており、当社では2021年10月に発売予定としている。

むすび

当社は、お客様により良いくらしの提供と、低炭素社会の実現を目指して1999年より燃料電池の開発に取り組んできた。2020年6月には累計生産台数19万台を突破し、着実に燃料電池の普及を進めている。さらに、2021年10月には純水素燃料電池の発売も予定している。

エネファームと純水素燃料電池は双方とも、東京五輪 選手村跡地に誕生する新しい街「HARUMI FLAG」へ設置される予定である。

今後は以上の取り組みを更に加速し、燃料電池の高い環境性能と優れたレジリエンス機能によりお客様に安心・快適なくらしを提供するとともに、持続可能な社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 2019年2月現在、家庭用燃料電池コージェネレーションシステム「エネファーム」における総合効率において
- 2) パナソニック試算値 詳細な資産条件は下記URLにて公開
<https://panasonic.biz/appliance/FC/lineup/house01.html>

5. 山梨県におけるCO2フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム技術開発

山 梨 県 企 業 局
電気課研究開発担当

さ かもと まさ き
か 本 正 樹
いず はら だい すけ
出 原 大 輔
お の でら
小野寺 しん
いし わた たけ ひさ
石 渡 剛 久

東レ(株)

東京電力ホールディングス(株)

(株)東光高岳

◇ 米倉山太陽光発電所（電力貯蔵技術研究サイト）

1. はじめに

水素をはじめとした次世代エネルギーシステムに関する研究開発の拠点として山梨県が整備する米倉山太陽光発電所及び電力貯蔵技術研究サイトについて解説したい。

まず、同地の運営管理を行う山梨県企業局について案内する必要がある。

山梨県の公営企業の始まりは、戦後復興期の昭和26年に、県内の生活基盤・産業基盤の整備を目的として、当時の商工労働部電力課が早川流域に県営発電事業を計画したことに端を発する。昭和32年4月に西山発電所が完成、営業運転を開始し、昭和33年1月に電気局を設置することで地方公営企業法を適用し、電気事業を開始した。現在は、電気、温泉、地域振興の3事業の経営を行っており、エネルギーシステムに関連する研究開発はこ

のうち電気事業にて所掌している。

電気事業では、当県の豊富な水資源を活用し、早川水系において6発電所、笛吹川水系において11発電所、塩川ダム直下において1発電所、これに再生可能エネルギーの固定価格買取制度の認定を取得した9つの発電所を加えた合計27の水力発電所を運営している。水力発電設備の総出力は12.2万kW、年間発生電力は約5億kWhである。また、太陽光発電設備は、甲府市内の米倉山のメガソーラーなど、5箇所を管理・運営している（令和2年11月現在）。

山梨県の「公営電気事業」は、再生可能エネルギーを活用した電力を安定供給し、その収益をもって、県民福祉の増進を図ることを目的として事業を展開している。

2. 米倉山太陽光発電所

山梨県では、地球温暖化を防止するため「山梨県地球温暖化対策条例」を平成20年12月に制定し、総合的かつ計画的に地球温暖化対策を実施していくことを目的として、「山梨県地球温暖化対策実行計画」を平成21年3月に策定した。これに基づき、企業局は、平成21年度に山梨県県有地である米倉山（甲府市）にて東京電力との共同事業による国内最大級の10MW太陽光発電所を建設し、これに併設するPR施設「ゆめソーラー館やまなし」を開館した。これが米倉山太陽光発電所であり、2年間に及ぶ建設工事を経て平成24年1月に営業運転を開始した。

3. 電力貯蔵技術研究サイト

この米倉山太陽光発電の建設を起点として「小



図 1 米倉山太陽光発電所全景

水力発電」の普及拡大や、日照時間が全国有数である本県の特長を活かした「太陽光発電」などのクリーンエネルギーの開発を推進することにより、低炭素社会の実現と、経済活性化の両立を目指す「グリーンイノベーションの推進」と題する施策に取り組むこととした。

グリーンイノベーションの推進事業の中では、太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入拡大に向け、その大きく変動する電力を安定的かつ効率的に利用するためには、貯蔵することが難しいとされる電力を一時的に蓄える「蓄電技術」の開発が必要となることを見通し、民間企業等と共同で、様々なタイプの新たな電力貯蔵に係る技術開発を行なうことを目的として「電力貯蔵技術研究サイト」を整備した。

電力貯蔵技術研究サイトでは、電力系統において、蓄電に係る社会的投資コストを最小限化し、最大の効果を得るためのコンセプトとして、充放電の時間軸において、短周期蓄電、中周期蓄電、長周期蓄電の3つに区分し、それらが機能を相互に補うシステムを目指すことを研究開発方針としている。

平成26年には、実証試験用の1,000kWの太陽光発電所を建設し、蓄電システムと組み合わせた系統連系試験を行うことが可能な受変電設備を整備し、電力貯蔵技術の研究開発が進展している。

現在、短周期蓄電は「超電導フライホイール蓄

電システム」、中周期蓄電は「ハイブリッド水素電池システム」、長周期蓄電は「Power to Gasシステム」の研究開発に取り組んでいる。

また、「ゆめソーラー館やまなし」においても同様のコンセプトに従い各機器を導入しており、館内の使用電力の自給自足に取り組んでいるところである。

◇ Power to Gasシステム実証研究による再生可能エネルギー供給拡大

ゆめソーラー館やまなしでの水素電力貯蔵を計画した時点においては、Power to Gasという語は一般的ではなかったが、欧州において再生可能エネルギーによる発電の割合が増し、電力の調整力として、水素エネルギーへの転換が有効な手段となり得ることが認識されると、電力からガス体エネルギーを製造し利用するというPower to Gasという概念が一般化した。欧州においては、特にドイツにおいて、Power to Gasの実証試験が多数実施され、MW級の実証も数件実施されている。

本県においては、ゆめソーラー館やまなしでの水素電力貯蔵実証を経て、電力貯蔵技術研究サイトにおける大型水電解システムの導入を達成すべく経済成立性の条件等を検討し、平成27年度に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）から東レ（株）が受託した技術開発事業「高効率固体高分子型水素製造システムに

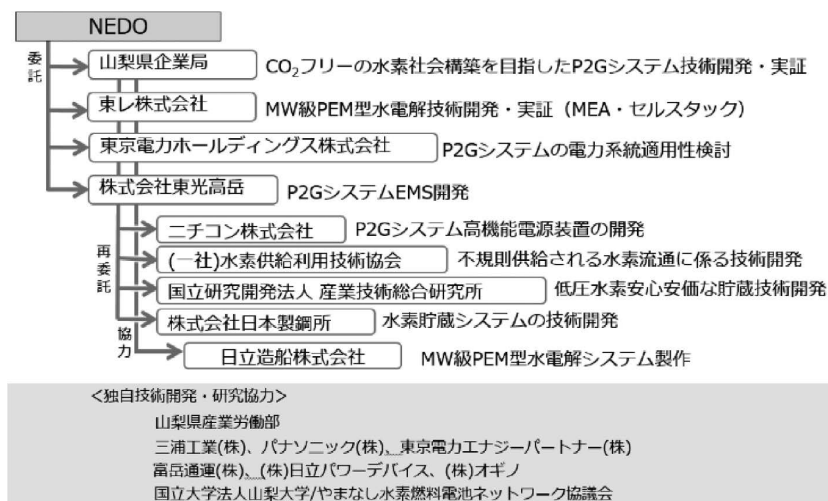


図 2 研究開発の実施体制

よるPower to Gas技術開発」で実施していたPower to Gasシステムの経済成立性の検討に協力し、PVデータの提供や電力安定化に関するシミュレーション結果を提供し、共同研究を開始した。

平成28年度には、NEDOにより水素社会構築技術開発事業の公募があり、山梨県企業局は、東レ(株)、東京電力ホールディングス(株)、(株)東光高岳と「CO2フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム技術開発」と題する提案を行い、平成29年にかけての約半年間で技術成立性、経済成立性の基礎検討を実施し、ステージゲート審査を経て、平成29年下期からは技術開発フェーズに次の体制(図2)により移行した。

本事業では、再生可能エネルギーを用いた水素製造から輸送・貯蔵、利用までを通じた技術開発及び社会実装を含めた実証を行うことによって、Power to Gasシステムの実用化に向けた基盤的技術の確立を目指し、米倉山において、大きく変動する太陽光発電の電力を用い、その変動を吸収する1.5MWの水電解装置を実際に導入することにより、年間45万Nm³(計画値)の水素を製造、貯蔵及び利用するP2Gシステムの確立を目指すこととした。

◇ Power to Gasの「やまなしモデル」

我が国におけるエネルギー利用の75%は熱によるものであり、電力として利用される割合は25%に

過ぎない。長期エネルギー需給見通しでは、熱利用をできるだけ高効率な電力に置き換えつつ、省エネを推進することによって、エネルギー全体の利用を低減していくこととしている。一方で、蒸気を必要とするプロセスにおいては、エネルギー源を電力に置き換えることが難しく、対策が必要である。我々が提案するPower to Gasシステムは、電力網において大きく変動して利用することが難しい再生可能エネルギーの変動する不安定な電力を用いて、ガス体エネルギーである水素を製造することで、電化で対応することが難しいとされてきた蒸気熱供給のCO2フリー化を促進させるものである(図3)。

また、再生可能エネルギーによる事業用の発電設備の半数以上が、配電網に接続されていること、また、多くのエネルギー需要家も同じく大半が配電網から電力供給を受けていることに鑑み、配電網における電力機器の接続要件(2000kW未満、6600V以下)においてシステム効率を最適化できるシステムとして、コンパクトかつ高品質で幅広い需要用途に対応できるパッケージ型のPEM形水電解システムを提案している。

1. 研究開発目標

本事業は、材料の開発から、エンジニアリング、機器の運用による社会実証までのすべてを包含するプロジェクトとなっており、2つの技術開発目標を掲げ事業を管理している。

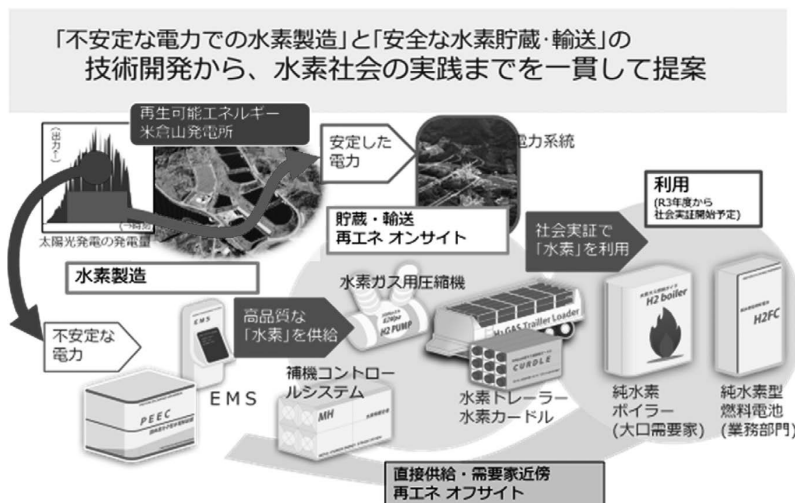


図 3 Power to Gasのやまなしモデル概要図

研究開発項目Ⅰ：PEM形水電解技術開発

基礎検討において、水電解装置は、将来において高効率（システム効率80.5%）、高耐久（スタック耐久性10年）及び低コストにてシステム技術開発可能であれば、経済成立性を確保できることが見いだされた。

平成29年～30年度には1.5MW級PEM形水電解装置に必要な基盤技術を確認するため、25kW級大面積開発実証機を用いて、必要な性能と耐久性の実現を見通すことができる水電解スタック（水電解電極面積が1.5MW級PEM形と同面積）を実証し、2030年において目標とするシステム効率80.5%を達成するため、2020年の実証フェーズにおける水電解システム効率の目標とする74%を達成可能な大型スタックの製作を目指す。

研究開発項目Ⅱ：Power to Gasシステム技術開発

Power to Gasシステム実運用によるCO₂フリー水素エネルギー社会実証により水素埋設配管に関連する、法令、技術基準及び既往の実証試験の状況を踏まえた上で、実証システムの仕様を策定し、水素の製造から輸送、利用まで含めた一貫した水素エネルギー社会を実践し実証するものとし、サプライチェーン全体における技術成立性を確認する。

2. これまでの具体的成果

2.1. 1.5MW PEM形水電解装置の基盤技術

PEM型水電解装置の技術に関して説明したい。PEM型水電解の特徴は何といたっても水道水と電力から直接水素を製造できることにあり、後処理なくFCV、半導体製造等で利用可能な高品質なものを提供可能なところにある。また、液体に水道水から精製した純水しか使用せず、固体の電解質膜で水素精製するためメンテナンスが容易であり幅

広いユーザーに適用できるほか、コンパクト化が可能で、さらにはMWクラスでもシステムの最高効率を達成でき、配電線路において需要家オンサイト、再エネオンサイトどちらにも広く適用できる。また、変動電力に対する適用性が高いため、再エネ変動抑制分野プライマリー領域の電力調整市場へのアプローチも視野に入れることができる。デメリットとしては、貴金属を触媒に使用することが挙げられるが、貴金属は使用するものの消費せず電解槽内部に留まり再利用できるため、資源の循環システムを構築することにより対応できる。

電解質膜に触媒・電極等を付加した膜電極接合体をMEAといい、MW級のシステムを構築するためには、この大面積化が必須の技術開発となる。これまでに、大面積MEAを積層し、MEAの反応の面的均等性、シール・流路、セル間の電圧のばらつきなどを25kW大面積セルスタック評価設備（図4）にて、実際に水電解を行うことで評価し、実証フェーズにおける水電解システム効率目標の74%を達成可能な大型スタックの製作を見通すことができた。

2.2. 制御システムの検討

水電解装置により再生可能エネルギーの出力変動を吸収するため、太陽光発電実測データによるシミュレーションを実施し、出力抑制制御、変化率安定化制御、計画発電制御、外部入力制御の4手法の有効性、実現性を確認し、①「変化率安定化制御」（太陽光発電の出力を水電解により、逐次一定の変化率以下に調整制御）②「計画発電制御」（日射量予測に応じて前日に計画発電目標を設定し、当日水電解で修正制御）の2つの制御に集約した。この2つの制御手法のプログラムを計算機



図 4 大面積セルスタック評価設備全景

に実装した上でのシミュレーションを行い、その動作を確認できた。また、25kWの大面积セルスタック評価設備にプログラムを実装し、太陽光発電と水電解装置の実運転によって、その効果を検証できている。

◇ 地域におけるCO2フリーエネルギーの供給

CO2削減の視点においては、大口の需要家における燃料の水素への転換が効果的である。令和3年度からの水素社会実証においては、事業者向けの水素利用デバイスとして純水素燃料電池と純水素ボイラを利用することとし、燃料電池は5kW/台、ボイラは250kg/hの技術開発を行い、操業中

の工場に導入して、変動許容やエネルギー供給の部分負荷運転など水素導入による効果を実証していく。

一方、水素エネルギーの利用アプリケーションの1つとして、水素を用いることによる利便性の増進に視点を置くべき価値も存在する。この利便性に重点を置いたアプリケーション向けの需要をフォローする必要がある、小口向けの水素出荷設備の整備を進めている。今後は、平成30年度までの研究開発成果をベースに、令和元年度から2年度にかけては、1.5MW大型スタック評価設備を建設し、令和3年度からの社会実証に向けた実証を進めていく。



Ⅱ．耐水素脆化用鋼

1．水素脆化とは

上智大学 理工学部 機能創造理工学科 教授 たか い けん いち
高 井 健 一

まえがき

自動車に要求される基本機能として、「環境」、「運動」、「安全」がある。いずれも、車体軽量化による効果は大きく、その実現のため材料の高強度化が求められている。また、低炭素社会へ、さらに脱炭素社会に向けて、「燃料電池車」を軸とした水素エネルギー社会への期待が高まっているが、共通する喫緊の課題として水素脆化克服が挙げられる。今後、さらなる鉄鋼材料の高強度化、および高压水素ガス環境下でも安全に使用可能で安価な鉄鋼材料の適用のためには、水素脆化研究の基礎・基盤構築は益々重要な位置付けとなる。本稿では、水素脆化に関する基礎と最新の動向について概説する。

◇ 水素の吸着から水素脆化破壊まで

水素は最も小さな原子であるため、金属中の原子の隙間を自由に動き回る。応力が負荷された状態で使用されることの多い機械・構造材料では、

水素の影響を受けてある年月経過後に小さな力で突然破壊する水素脆化が危惧され、高強度化するほど水素脆化が起りやすい問題を抱えている。

水素が金属表面に吸着してから破壊を引き起こすまでの過程と金属中の水素のポテンシャルエネルギーを対応させた模式図を図1に示す。水素ガス中では、水素分子が金属表面に物理吸着し、その一部が解離し水素原子として化学吸着して、さらにその一部が固溶熱 (E_s) を超えて金属内部へ侵入し固溶する。あるいは、実使用環境中に雨や結露などの水 (H_2O) の付着した鉄鋼材料が錆びる際、カソード反応により水素イオンが鋼中に固溶する。これら固溶した水素は、熱活性化過程の助けを借りて拡散の活性化エネルギー (E_D) を超えながら格子間の隙間を拡散する。実用金属材料は原子配列の乱れたサイト（格子欠陥、析出物、介在物など）を多く含むため、拡散の途中で水素はこのような各種結合エネルギー (E_B) を有するサイトに捕獲される。水素はこれらのサイトに濃化し、外部から応力が負荷されることで、低い応

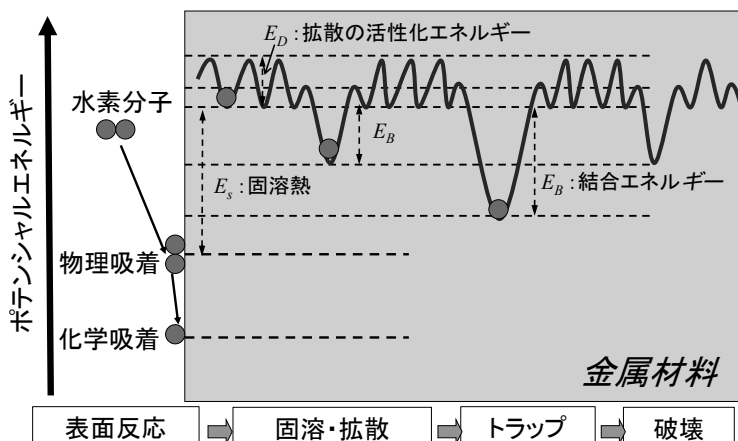


図 1 金属材料中の水素のポテンシャルエネルギーの模式図

力あるいは小さなひずみでも破壊を引き起こすことがある。

◇ 水素の存在状態解析

図1に示したように、鉄鋼材料中の水素は、鉄格子の隙間に存在する固溶水素として、高強度鋼のような多くのトラップサイトを含む格子中では、ほぼ原子空孔、転位、結晶粒界、析出物・介在物界面等でのトラップ水素として存在する。近年、鉄鋼材料中の水素量測定および水素の存在状態を分離する目的として、昇温脱離法（TDS、TDA）が広く用いられている。従来、マルテンサイト鋼中の水素を室温から昇温を開始するTDAを用いて測定すると、1つのブロードなピークのみ出現する¹⁾。一方、原子スケールでの水素の存在位置まで特定するために、 -200°C から昇温可能なTDS（L-TDS）を用いて水素の存在状態分離を試みた結果を図2に示す²⁾。(a)は水素添加無し、および(b)は0.5mass ppm水素を予添加してそれぞれ塑性ひずみ3.3%付与した焼戻しマルテンサイト鋼を準備し、脱水素後、格子欠陥評価を目的に同一条件でトレーサー水素添加し、L-TDSで分析した結果である。試験片厚さを0.3mmまで薄くし、昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ まで遅くし、トレーサー水素量を少なくして -200°C から測定することで、(a)、(b)に示すように、2つのピークに分離可能となる。両試験片とも、293K (20°C) と371K (98°C) にピークが出現する。この低温側の水素放出ピーク

ク（Peak 1）は主に転位起因、高温側の水素放出ピーク（Peak 2）は原子空孔起因である。ガウシアン・フィッティングした曲線も図2に重ねて示す。水素添加無し・有で同一の塑性ひずみ3.3%付与した(a)と(b)を比較すると、Peak 1水素量はそれぞれ0.18ppmと0.17ppmとほぼ同じだが、Peak 2水素量はそれぞれ0.03ppmと0.14ppmと大きく異なる。すなわち、水素を含んで塑性ひずみを付与することで、転位起因のトレーサー水素量に関しては違いは見られないが、原子空孔起因のトレーサー水素量が増加することから、水素の存在により原子空孔の形成が助長されることが分かる。

◇ 水素脆化評価方法

水素脆化評価方法には大別すると、鋼材間の優劣を決める相対評価と実使用環境での使用可否や寿命を判断する絶対評価がある。代表的な試験方法としては、水素添加しながら一定の引張速度で破断まで試験し、破壊強さ、あるいは延性の低下割合から水素脆化感受性を評価する引張試験、および水素添加しながら一定の荷重を負荷し破断までの時間、あるいは遅れ破壊限度応力を求める定荷重試験がある^{3)、4)}。

引張試験結果の一例として、図3に円周切欠き付きの焼戻しマルテンサイト鋼丸棒の破壊強さに及ぼす引張速度、水素量の影響を示す⁵⁾。(a)は1.67%Siを含んだ高Si鋼、(b)は0.21%Siを含んだ

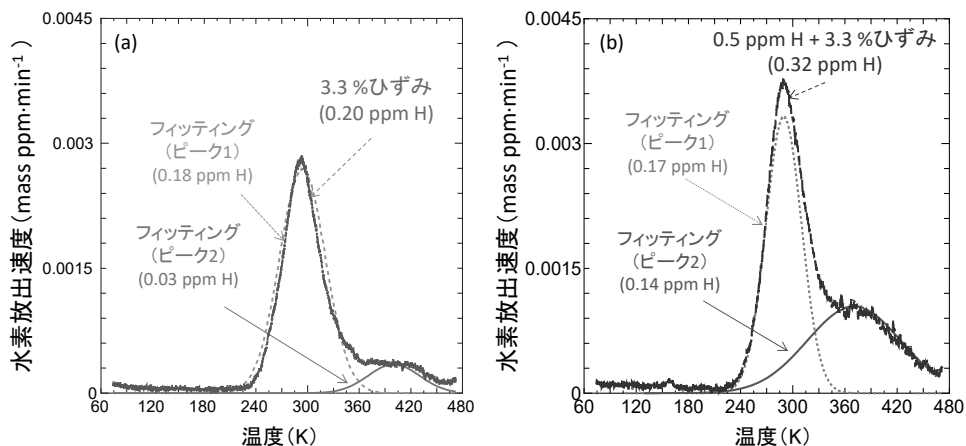


図 2 塑性ひずみ3.3%付与した焼戻しマルテンサイト鋼のトレーサー水素放出スペクトル：
(a) 水素添加無しひずみ付与材、(b) 水素添加しひずみ付与材

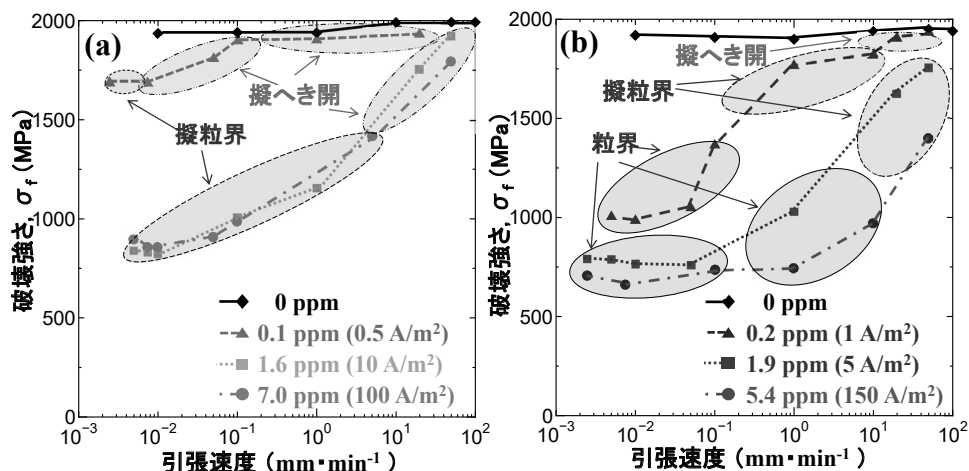


図 3 焼戻しマルテンサイト鋼の破壊強さに及ぼす引張速度、水素量の影響、および得られた破壊形態：(a) 高Si鋼、(b) 低Si鋼

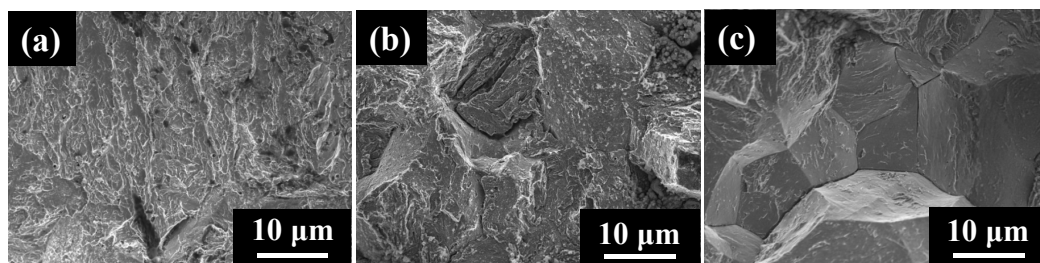


図 4 焼戻しマルテンサイト鋼の 典型的な水素脆化破面：(a) 擬へき開、(b) 擬粒界、(c) 粒界破壊

低Si鋼の結果である。水素無添加材においては、破壊強さの引張速度依存性は認められないが、水素添加することで、低引張速度ほど破壊強さが低下する傾向にあり、ある引張速度以下では一定値に収束する下限界応力が表れる。同等の水素量におけるL-Si鋼とH-Si鋼の下限界応力を比較すると、L-Si鋼の下限界応力の方がより低く、かつ、より高引張速度から一定値に収束する。図3の試験で得られた典型的な水素脆化破面を図4に示す⁵⁾。(a)は旧オーステナイト粒内で割れが進行した擬へき開破面、(b)は旧オーステナイト粒界破面上に微細な筋状模様 (tear ridge) が観察された擬粒界破面、(c)は旧オーステナイト粒界面で明瞭に割れた粒界 (粒界) 破面である。切欠き底近傍において観察された主要な破壊形態を図3上に重ねて示す。図3 (a) のH-Si鋼において、低水素量、または高水素量かつ高引張速度の条件で、擬へき開破面となる。一方、高水素量、または低水

素量かつ低引張速度の条件で、擬粒界破面となる。なお、粒界破面は観察されない。一方、(b) のL-Si鋼においては、粒界、擬粒界、擬へき開の3種類の破面が観察される。低水素では高引張速度の条件でのみ擬へき開破面となり、他の条件では粒界もしくは擬粒界破面となる。このように、水素脆化試験で得られる破壊形態は、同一強度の鋼においても化学成分、熱処理条件によって異なり、また、同一鋼材においても、水素量、引張速度とともに遷移することがわかる。

◇ 水素脆化破壊の発生・進展解析

各破壊形態における水素脆化の発生から進展過程を明らかにすることで、それぞれの破壊の実態解明および機構解明に迫ることが可能となる。ここでは、引張試験で得られた対をなす上下の破面の3次元画像から、破壊の発生・進展挙動を再現するFracture surface topography analysis (以下、

FRASTA) 法⁶⁾を用いて、X80の水素脆化破壊の発生、および進展挙動の解析を行った結果を紹介する。初期水素量0.34ppmを含んで破壊した対の破面の3次元画像から、切欠き先端領域をFRASTA法で解析した結果を図5に示す⁷⁾。破面の右上にある d 値は上下破面を引き離した距離である。対をなす破面が完全に重複した状態の(a)から徐々に互いを引き離していくと、まず(b)の点線で示すように一部の切欠き先端に割れが発生し、さらに引き離していくと(c)~(f)の点線で示さ

れるように切欠き先端全領域から白矢印で示した右方向の材料内部へステップ状にき裂が進展する。すなわち、擬へき開破壊は相当塑性ひずみ最大の切欠き先端で発生し、その後材料内部へと破壊が不連続に進展することがわかる。

◇ 水素脆化理論

従来、水素脆化理論については多くの説⁸⁾が提案されてきたが、その中で、代表的な3つの水素脆化理論の模式図を図6に示す。(1) 格子間に固

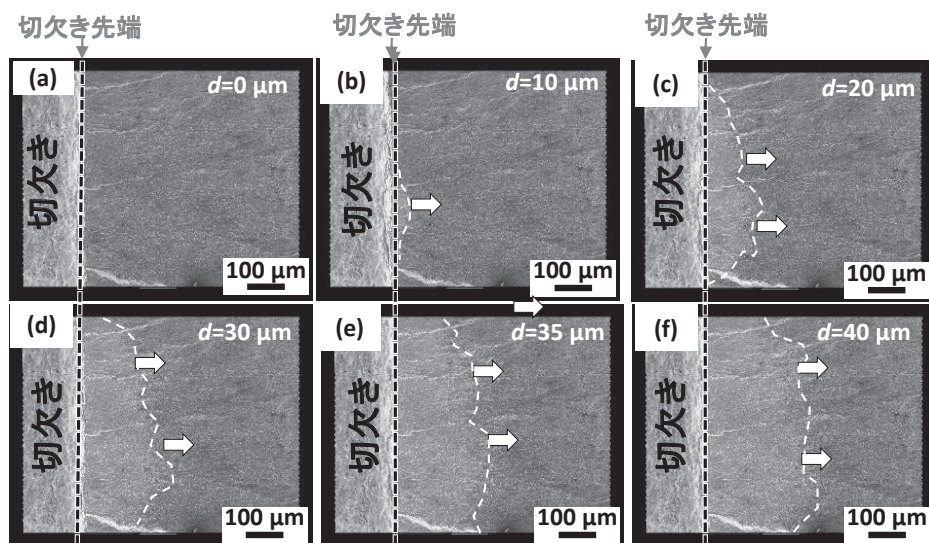


図 5 水素添加したX80鋼におけるFRASTA法を用いた割れ発生・進展挙動解析

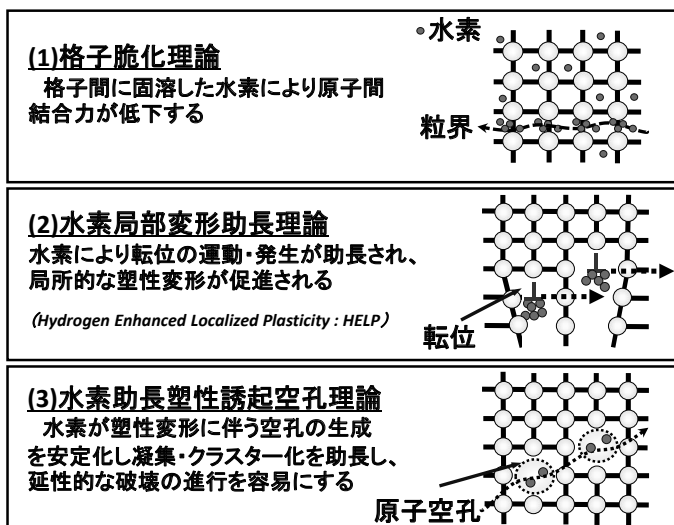


図 6 主な水素脆化理論の模式図

溶した水素により原子間結合力が低下する格子脆化理論^{9)、10)}、(2) 水素により転位の運動・発生が助長され、局所的な塑性変形が促進される水素局部変形助長理論^{11)、12)}、(3) 塑性変形に伴う空孔の生成を水素が安定化し凝集・クラスター化を助長し、延性的な破壊の進行を容易にする水素助長塑性誘起空孔理論¹³⁾が提唱されているが、国際的にも議論が分かれている。図3に示したように、同一鋼材においても水素量、引張速度によっても破壊形態が変化するため、今後はそれぞれの破面およびその近傍を詳細に解析し、塑性の関与の有無などの知見を基に各脆化理論との対応を解明する必要がある。

むすび

最近の分析技術の進歩により、金属材料中にトラップされた水素の結合の強弱だけでなく、各種格子欠陥にトラップされた水素の分離、およびそれらサイトと水素間の結合エネルギー算出も可能になってきた。また、水素脆化破面およびその直下の局所における各種解析技術の進歩により、従来の破壊形態観察だけでなく、破壊が起きた局所領域を直接、結晶学的、および下部組織の観点から実態解明できるようになってきた。長年研究されてきた水素脆化というマクロな力学特性の劣化に対し、これら両者を組み合わせて水素脆化破面近傍の局所領域を原子スケールで解明できれば、

より水素脆化の本質に迫ることが可能となる。このような基礎・基盤技術を積み上げ、水素脆化という学際的かつ複雑な現象を紐解くことで、安全で信頼性の高い高強度鋼の開発、さらには水素エネルギー社会で安全に使用可能な鉄鋼材料の開発へ展開でき、最終的には持続可能な社会へ貢献できると確信している。

参 考 文 献

- 1) 高井健一：ふえらむ、21 (2016)、639
- 2) K. Saito, T. Hirade and K. Takai: Metall. Mater. Trans. A, 50 (2019)、5091
- 3) Y. Matsumoto and K. Takai: Metal. Mater. Trans. A, 48A (2017)、666
- 4) Y. Matsumoto and K. Takai: Metal. Mater. Trans. A, 49A (2018)、490
- 5) 小川吉平、松本優、鈴木啓史、高井健一：鉄と鋼、105 (2019)、105
- 6) T. Kobayashi and D. A. Shockey: Metall. Trans. A, 18A (1987)、1941
- 7) 本間智華、穴太聖哉、小貫翔馬、高井健一：鉄と鋼、106 (2020)、651
- 8) 南雲道彦：水素脆性の基礎、内田老鶴圃 (2009)
- 9) R. P. Frohberg, W. J. Barnet and A. R. Troiano: Trans. ASM, 47 (1955) p. 892
- 10) R. A. Oriani and P. H. Josephic: Acta Metall., 22 (1974) 1065
- 11) C. D. Beachem: Met. Trans., 3 (1972) 437
- 12) H. K. Birnbaum and P. Sofronis: Mater. Sci. Eng., A176 (1994) 191
- 13) M. Nagumo: Mater. Sci. Technol., 20 (2004) 940

2. ステンレス鋼

日本製鉄㈱ 技術開発本部 鉄鋼研究所 おおむらとも ひこ
上席主幹研究員 リーディングリサーチャー 大村 朋彦

まえがき

水素社会の実現に向け、水素を燃料として走行する燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle、FCV）や、FCVに水素を供給する水素ステーションの普及が進められている。水素の輸送や貯蔵には、現在では高圧の水素ガスを使う方法が一般的である。高圧水素の輸送・貯蔵用機器には、配管やバルブ類、燃料電池自動車に搭載されるタンク、水素ステーションに設置される貯蔵容器（蓄圧器）などがある。これらの機器の多くに金属材料、特にステンレス鋼を含む鉄鋼材料が広く用いられている。

金属材料が高圧の水素ガスに曝されると、延性や強度などの機械的特性が低下することがある。この現象は水素環境脆化または水素ガス脆化と呼ばれる、水素脆化の一種である。FCVや水素ステーションで、高圧の水素ガスに曝される機器には水素ガス脆化に対する耐久性が要求される。国内では、新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization、NEDO）のプロジェクトにおいて、各研究機関に高圧水素ガス中の機械試験装置が導入され、各種材料の水素ガス脆化に対する耐久性評価が広く進められている¹⁾。

本報では、高圧水素ガス環境における機械試験法と、各種の高圧水素用ステンレス鋼の特性を概説する。

◇ 引張特性

高圧水素ガス中の機械試験のうち、引張試験は簡便に行うことができ、各種材料の脆化特性を迅速に評価するのに有効である。ただし水素による脆化は、脆化部への水素の拡散と集積に時間を要するため、ひずみ速度が小さいほど顕著となる。このため、通常の引張試験よりも遅い極低ひずみ速度での引張試験（Slow Strain Rate Test、SSRT）が水素ガス脆化の評価には有効である^{2)、3)}。装置

の構成例を図1に示す^{2)、3)}。オートクレープ中に水素ガスを所定圧まで圧縮、封入し、外部ユニットを用いて温度を調整した上で、所定の速度で引張試験を行う。試験片には丸棒や板状の引張試験片を用いる。引張試験により得られた水素中の機械的特性（引張強さ、破断伸び、絞り等）を、大気中もしくは不活性ガス中の特性と比較し、水素の影響を評価する。 10^{-4} (/s) 以下のひずみ速度で、水素による影響が顕著に現れる²⁾。

高圧水素ガス中のステンレス鋼のSSRT後の破断面の観察例を図2に示す³⁾。板状の引張試験片を用いた、室温の45MPaの水素ガス中の試験後の破面である。図2(a)(b)に示すSUS304Lでは試験片はほとんど絞れず、水素の影響により破面は平坦で脆性的となる。一方、図2(c)(d)のSUS316Lでは凹凸の大きい延性破面を呈し、これは大気中の破面と同様である。

Fe～Ni系の種々の材料の水素ガス脆化の感受性を図3に示す⁴⁾。縦軸の相対絞りは、室温の水素ガス中（45～90MPa）の絞りを、大気中の絞りで除した値である。相対絞りが100%に近いほど水素の影響が小さい、すなわち水素ガス脆化が起こり

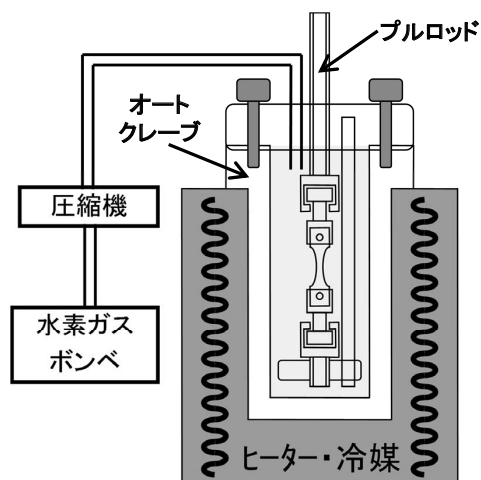


図 1 高圧水素中の機械試験装置

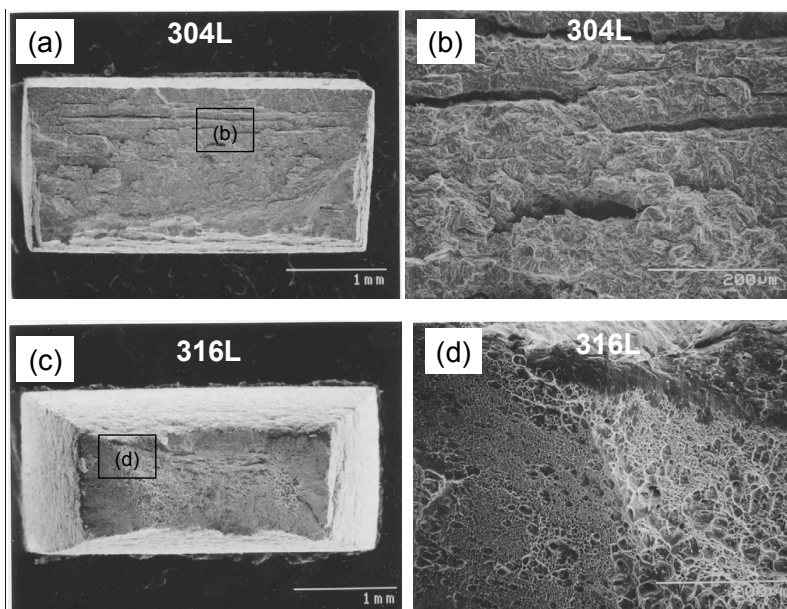


図 2 高圧水素中低ひずみ速度引張試験後の破面
(a) (b) SUS304L、(c) (d) SUS316L

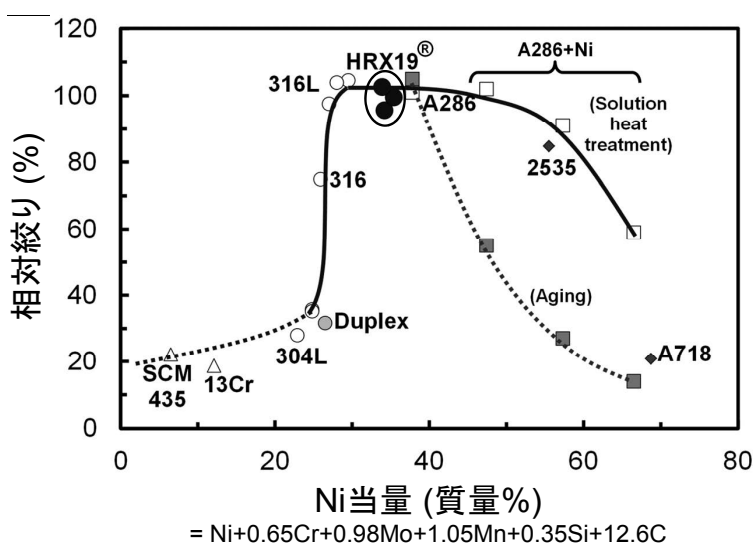


図 3 鉄～Ni系材料の水素ガス脆化特性
(室温45～90MPa水素中)

にくいことを示す。横軸はNi当量であり、これはNi、Cr、Moなどの合金元素の質量%からなる成分パラメータであり、この数値が大きいほど面心立方 (fcc: face centered cubic) 結晶構造のオーステナイト相が安定であることを示す。図3中の低合金鋼 (SCM435) やマルテンサイト系ステンレス鋼 (SUS420やSUS630) は体心立方 (bcc: body

centered cubic) 結晶構造を持ち、水素ガス脆化が起こりやすく、相対絞りは小さい。また、fcc結晶構造のオーステナイト系ステンレス鋼のうち、SUS304LなどのNiやMoの含有量が少ないステンレス鋼は、変形時にマルテンサイト変態が起こり、相対絞りが低い。ただし、ひずみ誘起マルテンサイト相の作用ではなく、積層欠陥エネルギーが低

いことが水素脆化を促進しているとの報告もある⁵⁾。SUS316L等のNiやMoの含有量が多いステンレス鋼はオーステナイト相が安定なため、室温の高圧水素ガス環境では破断伸びや絞りも低下せず、良好な特性を示す。SUS316～316L系の材料に関しては、使用される温度範囲に応じて、Ni当量が所定値以上の材料を使用すべきと高圧ガス保安協会の例示基準で推奨されている⁶⁾。一方、Niの含有量が過剰な材料（Ni基合金）はオーステナイト相が安定であるにも関わらず水素ガス脆化は起こりやすく、さらに時効熱処理によりそれが顕著になる。また、Mn含有量が高いステンレス鋼（Type205等）も、オーステナイト相が安定であっても水素ガス脆化が起こり易いと報告されている^{7)、8)}。

また近年では、高圧水素用の新ステンレス鋼も開発されている。日本製鉄（株）では、適正Ni当量の成分範囲で、N含有量を高めることにより引張強さ（Tensile Strength, TS）が800MPa以上の高強度のステンレス鋼HRX19[®]を実用化し⁸⁾、図3のように良好な特性を示すことを確認している。一方、希少元素であるNiやMo等を低減したステンレス鋼として、日鉄ステンレス（株）はSTH1およびSTH2^{9)、10)}、愛知製鋼（株）はAUS305-H2¹¹⁾の研究開発例を報告している。

水素ガス脆化は室温以下でも起こり、オーステナイト系ステンレス鋼では-100℃付近が最も脆化しやすい¹²⁾。低温ほど加工によりマルテンサイト相が生成しやすいことがこの理由である。一方、-150℃以下ではどの材料も水素ガス脆化を起こさない。極低温になると水素が拡散できなくなることがこの理由である。ただし、オーステナイト相の安定度が極めて高いSUS310S¹²⁾や上述の高Nステンレス鋼¹³⁾（商品名：HYDRIQUID[®]）は、全温度域で良好な耐水素ガス脆化特性を示す。

◇ 疲労特性

FCVや水素ステーションに用いられる機器は、水素ガスの充填等に伴う変動荷重を受けるため、水素ガス中の疲労特性も重要である。前述した高圧水素中の引張試験と同様の装置を用いて、外部から変動荷重を加えることにより疲労寿命やき裂進展速度を測定できる¹⁾。また、実際の水素ステーションに用いられる蓄圧器や配管、車載タン

クなどの円筒状部材の疲労寿命を、管状の試験片を用いて評価する方法も提案されている³⁾。試験の原理を図4に示す。内部の水素ガス圧を変動させる方法（内圧試験）と、内部の水素圧は一定で外部の水圧を変動させる方法（外圧試験）の二種類の試験が可能である。前者は配管や容器などの実際の部材の使用状況に近い試験ができ、後者は水圧変動が容易なため短時間で試験ができる利点がある。試験片の内面の初期切欠を付けた場合には、切欠を起点として疲労き裂が発生し、管の外面向かって進展し、管の外面に到達した時点で水素が管外部にリークする。この時点を経過を疲労寿命と定義する。図5に各種ステンレス鋼の外圧疲労試験の結果を示す³⁾。縦軸は応力振幅であり、計算で求めた管内面の周方向の応力の変動幅を示す。

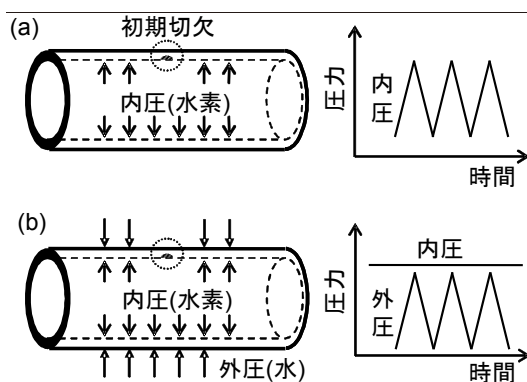


図 4 内外圧疲労試験

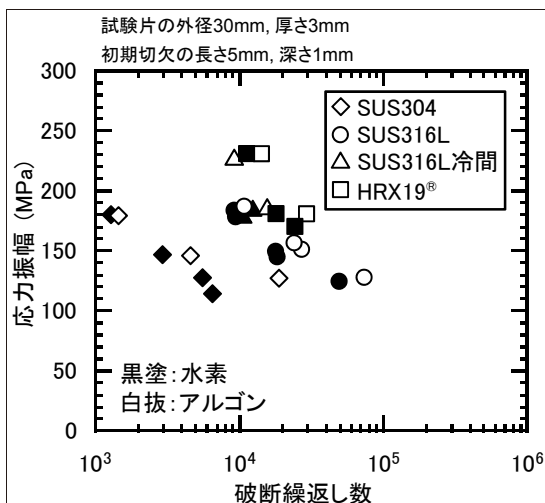


図 5 ステンレス鋼の疲労特性

横軸は破断までの繰返し数（疲労寿命）である。水素の圧力は50～70MPaである。SUS304では水素中では寿命が低下し、特に長寿命領域での低下が著しい。SUS304では前述したSSRTと同様に、塑性変形によりbcc構造のマartenサイト相が生成し、この相が脆化することによって疲労き裂の進展が加速される³⁾。また、SSRTにおけるひずみ速度の影響と同様に、疲労試験のサイクルタイムを増加させるほどSUS304の水素中の疲労寿命は低下する³⁾。SUS316Lの固溶化熱処理材（TSが約500MPa）、316Lの冷間加工材（TSが約700MPa）、HRX19[®]（TS800MPa以上）の疲労特性は、SSRTと同様に水素の影響をほとんど受けないが、強度が高いHRX19[®]が最も高い疲労寿命を示す。また、HRX19[®]は高圧水素中の疲労き裂進展に対する抵抗性も高いことが報告されている¹⁴⁾。

◇ その他の諸特性

水素用機器には、機械継手では水素ガスの漏洩が起り易いため、溶接施工できることが望まれる。オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部の高圧水素ガス中のSSRT特性は、母材と同様にオーステナイト相の安定度を高めることにより確保できることが確認されている¹⁵⁾。溶接時の高温割れを防止するため溶接部には通常10%程度のデルタ（ δ ）フェライト相（bcc構造）を含むが、20%以下のフェライト相は水素ガス脆化に影響しない¹⁵⁾。また、冷間加工材や時効強化型のステンレス鋼（Alloy286）は、溶接の熱影響を受けた部位が軟化するため、溶接施工はできない。一方、HRX19[®]は固溶化熱処理のままで強度を確保しているため溶接熱影響による軟化は起こらず、溶接して使用することができる。溶接部の強度や耐水素ガス脆化特性を確保するための適正溶接材料や条件が検討され、良好な特性を示すことが確認されている¹⁶⁾。

前章までに述べた水素ガス脆化は、常温近傍の高圧水素ガス中の引張や疲労試験により評価される。一方、長期使用後の水素吸収の影響を評価するため、高温高圧の水素ガス中にあらかじめ曝露して水素を吸収させた試験片を用いて、大気中で機械試験を行う方法もある。これは水素ガス脆化とは区別され、材料中の水素が作用する内部可逆

水素脆化（Internal Reversible Hydrogen Embrittlement、IHE）の評価となる。SUS304～316L系の材料やHRX19[®]は図3と同様の傾向を示す⁴⁾が、時効強化型ステンレス鋼のAlloy286はIHEの評価で脆化感受性が高まり^{4)、17)}、高温や長期使用ではIHEの懸念がある。また、実環境よりも多量の水素を水溶液中の電解により添加し、水素脆化を評価することもできる。このような過酷条件においてもHRX19[®]は最も高い耐水素脆化特性を示すことが報告されている⁴⁾。

むすび

水素社会の実現は、CO₂排出量の削減とエネルギー安全保障の観点から、各国の重要課題となっている。各種材料の適正な使用や新材料の開発はこれらに寄与する重要な研究開発課題であり、今後さらなる進展を期待したい。

参考文献

- 1) エネルギー総合工学研究所：水素の有効利用ガイドブック（2007）
- 2) 大村朋彦、小林憲司、宮原光雄、工藤赳夫：材料と環境、第55巻、第4号（2006）、139-145
- 3) 大村朋彦、中村潤：材料と環境、第60巻、第5号（2011）、241-247
- 4) T. Omura et al: ISIJ Int., Vol. 56, No. 3（2016）、405-412
- 5) M. Hatano et al: Acta Materialia, 第67巻（2014）、342-353
- 6) 山田敏弘、小林英男：高圧ガス、第49巻、第10号（2012）、885-892
- 7) H. Nakagawa: Proceedings of ASME PVP 2007、（2007）、2007-26462
- 8) 中村潤、浄徳佳奈：ふえらむ、第21巻、第1号（2016）、6-11
- 9) 秦野正治ほか：日本金属学会誌、第77巻、第12号（2013）、593-598
- 10) 秦野正治ほか：燃料電池、第12巻、第4号（2013）、70-74
- 11) 窪田和正、渡邊義典：日本金属学会誌、第79巻、第3号（2015）、100-106
- 12) 福山誠司ほか：日本金属学会誌、第67巻、第9号（2003）、456-459
- 13) 辻上博司ほか：圧力技術、第55巻、第6号（2017）、313-319
- 14) 井藤賀久岳ほか：日本機械学会論文集（A編）、第79巻、第808号（2013）、1726-1740
- 15) 平田弘征、大村朋彦、浄徳佳奈、中村潤、小薄孝裕：溶接学会論文集、第31巻、第4号（2013）、264-251
- 16) 浄徳佳奈、中村潤、小薄孝裕、大村朋彦、平田弘征：新日鐵住金技報、第409号（2017）、40-46
- 17) 田島直貴ほか：日本機械学会論文集（A編）、第78巻、第792号（2012）、1173-1188

3. ボルト鋼

(株)神戸製鋼所 技術開発センター 線材条鋼開発部 線材条鋼開発室 主任研究員 高知琢哉

まえがき

ボルトは自動車、建築土木、産業機械など様々な産業分野で使用されている、重要な機械要素の一つである。自動車軽量化や建設コスト低減のため鉄鋼材料の高強度化ニーズは絶えることがなく、高強度化推進におけるの重要課題の一つは、遅れ破壊、水素脆化の克服である¹⁾。ボルトの分野においても、耐遅れ破壊、耐水素脆化特性を改善し、安心して使用いただくために様々な技術開発が取り組まれている。本稿では、高強度ボルト用鋼の耐遅れ破壊特性向上技術と今後の課題について紹介する。

◇ 遅れ破壊の影響因子とボルトの遅れ破壊リスク軽減の考え方

遅れ破壊とは、静的引張応力が負荷された鋼製部品が、ある時間経過後に突然破断する時間依存型の破壊現象である。遅れ破壊は水素脆化の一種であり、めっきなどの製造工程や使用環境における腐食などにより鋼材中に侵入した水素によって引き起こされる。遅れ破壊の発生は、材料、応力、環境（水素侵入量）の三要素に起因すると言われており、高強度材、高負荷応力、高水素環境ほど遅れ破壊しやすい。ボルトの遅れ破壊リスク軽減には、使用される鋼材の種類、使用時の締結条件やボルト形状に起因する応力集中、製造工程及び使用環境での水素侵入量を考慮した適切な設計と選択が重要である。

遅れ破壊は高強度鋼ほど発生しやすく、鋼材の引張強度が1,200MPaを超えると耐遅れ破壊強度が顕著に低下することが良く知られている²⁾が、一方、同強度であれば高靱性な鋼材の方が遅れ破壊しにくい。表1にボルトの強度区分と使用鋼材例を示す。強度区分が高くなるにつれて炭素鋼から低合金強靱鋼へと耐破壊特性に優れる高品質な鋼材が必要になる。12.9級まではJIS規格鋼が使用さ

表 1 ボルト強度区分と使用鋼種例

強度区分	引張強度 (MPa)	使用鋼種例
4.8	420	SWRCH8A
5.8	520	SWRCH18A
6.8	600	SWRCH22A
8.8	800 (M16以下)	SWRCH40K/48K
	830 (M16超)	
9.8	900	SCr440, SCM435
10.9	1,040	SCr440, SCM435
12.9	1,220	SCM435/440
12.9超	1,300以上	開発鋼

れているが、12.9超級では遅れ破壊のリスクが高まるため、鉄鋼各社が耐遅れ破壊特性を改善した独自の高強度鋼を開発し、実用化されている。

ボルト締結方法では、塑性域締結は弾性域締結より高い軸力を得ることができ、ユニット軽量化などのメリットがあるが、遅れ破壊のリスクは高くなるため、ボルトの使用環境に応じた締結条件、鋼材選定が必要である。また、ボルトの遅れ破壊は、不完全ねじ部、頭部首下部などの応力集中部で生じやすく、応力集中を緩和するようボルト形状を改良した高強度ボルトも開発されている³⁾。

遅れ破壊は鋼中に侵入した水素によって生じるため、水素侵入の抑制、侵入水素量の把握、鋼中水素量の管理は、破壊リスク軽減に極めて重要である。遅れ破壊は、水素の侵入時期により内部水素起因型と外部水素起因型に大別できる⁴⁾。内部水素起因型は、めっきや酸洗などの製造段階における侵入水素に起因する。製造工程での水素侵入による問題が懸念される場合は、ベーキング処理での脱水素などの工程設計や、鋼中水素量の水準管理が推奨される。一方、外部水素起因型は使用段階に腐食などで侵入する水素に起因する場合であり、腐食が厳しい環境では耐食性に優れる鋼材選定による侵入水素量の低減や、侵入水素量に応じた耐破壊特性を有する鋼材の選定が必要である。

◇ 高強度ボルト用鋼

自動車分野等の高強度化ニーズに応えるため、鉄鋼各社にて種々の高強度ボルト用鋼が開発されている。本章では、本稿の主題である耐遅れ破壊特性に優れる高強度ボルト用鋼について、耐遅れ破壊特性向上の考え方について概説する。遅れ破壊の素過程は、鋼材へ侵入した水素が応力集中部へ拡散・集積し、集積水素量と応力集中が鋼材の耐破壊特性を超える時にき裂が発生、成長して破壊に至ると考えられており、各素過程に対して耐遅れ破壊特性の向上策が検討されている。

1. 水素侵入

使用環境下において腐食により発生した水素が鋼中へ侵入するため、鋼材の耐食性向上は水素侵入量を低減する。耐食性向上にはNi、Cu、Cr等が有効なことが知られており、高強度ボルト用鋼にも添加されている⁵⁾。

水素侵入特性を制御する他のアイデアとして、PC鋼棒用鋼ではNi、Siの多量添加による水素侵入低減効果が報告されている⁶⁾。Ni、Siともに水素侵入量を低減するが、そのメカニズムは異なる。Niは、鋼材酸化時に鋼材表面に形成されるNi濃化層が水素侵入のバリアとして作用すると結論づけられている。一方、SiもNi同様に濃化層を形成するが、Si濃化層には水素侵入抑制効果はなく、Si添加により焼戻しマルテンサイト組織が変化し、水素トラップサイトが低減することにより、水素侵入量が減少すると考えられている。

2. 水素拡散（水素トラップ）

鋼中に侵入した水素は鋼中を拡散して応力集中部に集積するが、水素は鋼中に存在する粒界や炭化物などの金属組織因子にトラップ（捕捉）されながら移動する。水素をトラップする能力は組織因子により異なり、強くトラップする組織因子は水素集積を遅延させ、遅れ破壊を抑制する効果があると考えられている。特に、V、Moなどの微細炭化物は効果的に水素をトラップすることが知られており、また、それら微細炭化物は強化因子としても有効に作用するため、各社開発鋼にV、Moが添加されている^{5)、7)~9)}。ただし、水素トラップの存在は水素侵入量を増加させ、耐遅れ破壊特性に悪影響するとの指摘もある。また、水素ト

ラップの許容量（微細炭化物析出量）を超える高水素環境ではトラップサイトが遅れ破壊抑制に対して効果的に機能しないため、水素トラップというコンセプトの有効性はボルトの使用環境に依存する。

3. 耐破壊特性

高強度ボルトの大部分には焼戻しマルテンサイト鋼が使われており、焼戻しマルテンサイト鋼の遅れ破壊では、旧オーステナイト粒界面での粒界破壊が特徴的であることから、粒界強化が基本方針である。粒界強化策として、①粒界強度を低下させるP、Sの低減、②粒界強度を低下させる粒界フィルム状セメンタイトの高温焼戻しによる粒状化、③Ti、Nbなどの炭窒化物による結晶粒微細化が古くから知られており、各社開発鋼に採用されている^{5)、7)~9)}。②については単に焼戻し温度を高温化すると強度低下を招くことから、高温焼戻し時に微細炭化物として析出して二次硬化を示すV、Moを添加し、高強度の確保と粒界セメンタイトの粒状化を両立している。また、それら微細炭化物は上述のように水素トラップサイトとして働くため、V、Mo添加鋼の高温焼戻しは、焼戻しマルテンサイト型の高強度ボルト用鋼に欠かせない鋼材設計となっている。Ti、Nbも高温焼戻しで微細炭化物し、水素トラップサイトとしても有効であるが、Ti、Nbの炭窒化物の溶解温度はV、Moの炭窒化物と比べて高温であるため、通常の焼入れ温度では十分なTi、Nbの固溶量が確保されず、焼戻し時の二次硬化を期待しにくい。ただし、焼入れ加熱時に溶解せず炭窒化物として存在することから、③の結晶粒微細化効果が得られる。V、Mo、Ti、Nbをバランス良く添加することで、合金添加量を最小限に抑え、良好な特性を実現する高強度ボルト用鋼が開発されている。

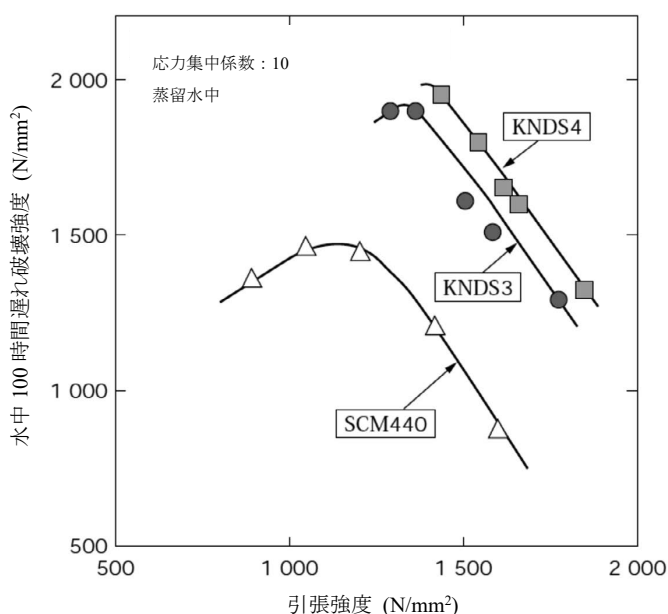
4. 各社高強度ボルト用鋼

表2に鉄鋼各社で開発された焼戻しマルテンサイト型の高強度ボルト用鋼例を示す。多少の違いはあるものの、各社とも上述の考え方に沿った成分設計が確立されている。図1に開発鋼の遅れ破壊特性の一例を示す。開発鋼（KNDS3、KNDS4）は、JIS規格鋼SCM440に対して優れた耐遅れ破壊特性を有しており、上述した耐遅れ破壊特性を向上させる成分設計指針の有効性を示している。

表 2 高強度ボルト用鋼例

鋼種	強度クラス	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	引用文献
SCM440	(11T)*	0.41	0.20	0.72	0.013	0.010	—	1.01	0.18	—	—	—	—
ADS2	(12T)*	0.34	0.28	0.37	0.008	0.005	—	1.26	0.40	—	—	0.026	(9)
KNDS4	(13T)*	0.42	0.06	0.53	0.007	0.004	0.54	1.00	0.97	0.07	0.05	—	(5)
MB14	14T	0.40	Reduce	0.50	Reduce	Reduce	—	1.20	0.70	0.35	—	—	(7)
開発鋼	(16T)*	0.58	Increase	0.30	記載なし	記載なし	—	1.20	Increase	—	—	—	(8)

*引用文献に記載の引張強度から推定

図 1 JIS規格鋼SCM440と開発鋼の耐遅れ破壊特性⁵⁾

一方、上記は数十年前の知見に基づいており、近年は新たな指針を獲得できていないとも言える。これは、遅れ破壊のメカニズムが未解明なことに起因する。遅れ破壊は過程が複雑な上、微小領域での水素の存在状態を検知し、材料因子との相互作用を明らかにする必要がある、遅れ破壊挙動の全容解明は容易ではない。課題解決には、素過程に分割した検討が肝要であり、高度な分析技術や計算科学の活用が不可欠と考えられる。より良質な鋼材を提供する指針獲得のため、鉄鋼各社では最先端の分析、計算技術の開発にも力を入れている。

◇ 遅れ破壊評価技術

上述のように耐遅れ破壊特性に優れる高強度ボ

ルト用鋼は鉄鋼各社から提案されているが、高強度ボルトの普及は進んでいるとは言えない。阻害要因の一つは、使用環境での耐遅れ破壊特性の信頼性を担保する評価技術が確立されていないことである。遅れ破壊評価方法として、酸浸漬や陰極チャージ法により試験片に水素を導入した後に定荷重試験やSSRT試験 (Slow Strain Rate Technique) を用いて遅れ破壊強度を評価する方法が広く普及している。ただし、簡便に鋼材間の相対比較は可能だが、加速試験である上、使用環境を模擬した条件ではないため、必ずしも使用環境での耐遅れ破壊特性の信頼性を保証できない。

使用環境における耐遅れ破壊特性の信頼性評価として、水素量を基準とした方法が提案されている¹⁰⁾。遅れ破壊は鋼中に侵入した水素により引き

起こされることから、鋼材が遅れ破壊しない限界水素量 $[H_c]$ と環境からの水素侵入量 $[H_e]$ を用いて、 $[H_c]$ が $[H_e]$ より大きければ遅れ破壊しないとする考え方である。実験室での定荷重試験で求めた $[H_c]$ と、CCT (Cyclic Corrosion Test) による腐食促進試験から求めた $[H_e]$ を用いて、 $([H_c]-[H_e])/[H_c]$ というパラメータで鋼材の遅れ破壊合否を判定し、ボルトの暴露試験結果と良い相関を示すと報告されている。

重要なのは使用環境を模擬した水素侵入特性評価であり、上記報告においても暴露試験環境を模擬した条件でCCT試験を行うことで、使用環境との整合性を図っている。さらに、使用環境での水素侵入挙動を解明するため、電気化学的水素透過法を用いた大気暴露環境での水素侵入モニタリングが試みられ、水素侵入の時間、季節依存性が明らかにされている¹¹⁾。また、使用環境が複雑に変化する自動車走行環境に対して、水素侵入量を精度良く連続測定できる温度補償型水素侵入モニタリングシステムが開発されている¹²⁾。

一方、ボルトを含む鋼製部品の使用環境は多様であることから個別評価には限界があり、モニタリングデータを用いたデータマイニングによる予測技術などの必要性も感じられる。使用環境での信頼性を保証するには各種評価技術の高度化が不可欠であり、今後の発展に期待したい。

むすび

本稿では、高強度ボルト用鋼の耐遅れ破壊特性向上指針と、高強度ボルトの使用環境における耐遅れ破壊特性の信頼性を保証する評価技術の取り組みについて概説した。「水素社会の実現に向けて」という本特集号の企画において、遅れ破壊に関する記事は多少のズレを感じるものの、水素環境下で使用される材料の開発、実用化においては水素脆化のメカニズム、評価技術など、水素が関与する課題として共通点は多い。水素社会の発展に伴う技術革新とともに、高強度ボルト、遅れ破壊分野でも新たな技術を展開し、持続可能な社会の実現に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 松山晋作：遅れ破壊、日刊工業新聞社、(1989)
- 2) 山本俊二ら：R&D神戸製鋼技報、16 (1968)、93
- 3) 宇野暢芳ら：新日鉄技報、387 (2007)、85
- 4) 並村裕一：特殊鋼、58 (2009)、10
- 5) 並村裕一ら：R&D神戸製鋼技報、50 (2000)、41
- 6) 白神哲夫ら：鉄と鋼、82 (1996)、777
- 7) 真鍋敏之ら：日本製鉄技報、412 (2019)、122
- 8) 安東知洋ら：電気製鋼、90 (2019)、87
- 9) 松本斉ら：住友金属、48 (1996)、207
- 10) 山崎真吾ら：鉄と鋼、83 (1997)、454
- 11) 大村朋彦ら：鉄と鋼、91 (2005)、478
- 12) 大塚真司ら：JFE技報、41 (2018)、62

Ⅲ. 会員メーカーの耐水素用材料



まえがき

水素はその使用時においてCO₂を全く排出しないことから、水素の利活用による低炭素化社会の実現に向けた様々な取組みが進んでおります。例えば、温室効果ガス削減に向けてガソリン車に関する規制が世界各国で強化され、次世代自動車への移行が加速しています。このような流れの中、燃料電池自動車（FCV）は改めて注目を集めており普及の機運が高まっています。FCVは航続距離が長い事も利点として挙げられますが、更にこれを延長させる為、充填圧力の高圧化が進んでいます。高圧に圧縮された水素を短時間で充填する際、車載容器内の温度上昇を防止する必要があり、圧縮ガスを冷却する為のプレクーラーが装備されています。プレクーラー温度は-40℃であり、この温度域では水素脆化が最も起きやすい事が知られています。日本精線(株)では、既開発材の『HYBREM：ハイブレム』を改良し、SUS304並みの強度を有し、低温水素環境下において靱性、ばね疲労特性の低下が軽微であるステンレス鋼線『HYBREM-S：ハイブレム-エス』の開発を進めてまいりました。

◇ 『HYBREM-S』の特徴

『HYBREM-S』はオーステナイト系ステンレス鋼に属し、従来の『HYBREM』よりNi当量を増加させることで、低温域における高圧水素環境下での脆化を抑制させました。又、Ni当量を高める一方で懸念される強度低下については、炭素と窒素の成分バランスを更に制御し、強度やばね特性を低下させる事なく水素脆化特性を飛躍的に向上させました。

※HYBREM-Sの語源：Hydrogen emBrittlement Resistant Material-Special

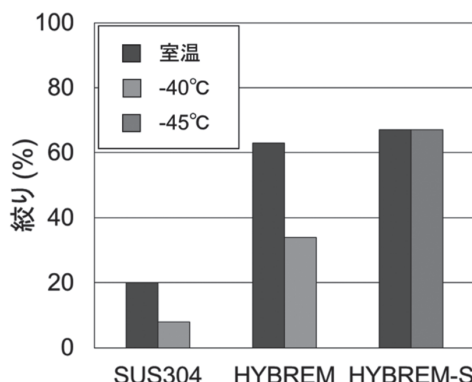


図 1 高圧水素環境下（70MPa）によるSSRT試験

◇ 『HYBREM-S』の基本特性

常温及び低温における高圧水素環境下での極低歪速度の引張試験（SSRT試験）結果を図1に示します。SUS304では水素環境下における絞り値は常温低温にかかわらず20%以下です。『HYBREM』は常温における高圧水素環境下では絞り値は63%ですが、-40℃の低温環境下では絞り値が大きく低下します。『HYBREM-S』では低温における絞りの低下は見られず、信頼性に優れた材料です。

◇ 適用範囲

線径：φ0.1～5.0mm

仕上：硬質樹脂被膜仕上（弊社記号：HRD）

その他の線径については、御引合時、別途相談を承ります。

むすび

CO₂排出削減に向けた取組みが加速し、水素を利用したMobilityやそれに伴うインフラの整備は益々進んでいく事が想定されます。『HYBREM-S』はこれらに使用される材料として大いに期待できるものと考えており、これからも水素化社会を見据え、環境・エネルギーにおける社会貢献を目指した開発を継続してまいります。

〔日本精線(株) 研究開発部 開発室 明 剛史〕

業界のうごき

井上特殊鋼 非鉄・樹脂事業を譲受 加工会社をグループ化

井上特殊鋼は、1月18日付で非鉄および樹脂の加工を行うアート・マーク（広島県福山市）の全株式を取得、グループ化した。投資額は15億円。アート・マークが得意とする非鉄・樹脂加工と、井上特殊鋼の営業力とのシナジー効果を発揮し、グループ収益の向上につなげる。

井上特殊鋼は、アート・マークの本社工場設備一式と従業員を引き受け、全事業を継続した。アート・マークは、1986年2月に創業。アルミやステンレスなどの金属加工、硬質塩化ビニルやアクリルなどの樹脂加工を基軸に、工作機械や半導体製造装置関連向けなどに部材を供給しており、2020年1月期業績は売上高10億円、経常利益1億円を計上。従業員は計47人。経営状態は堅調に推移している中、将来的な事業伸長を目指すには、事業譲渡が必要であると判断。井上特殊鋼の総合力を評価した上で、経営および資産を譲渡した。（1月21日）

佐久間特殊鋼 コロナ禍対応 オンラインで全社発表会

佐久間特殊鋼は、2020年度全社発表会を新型コロナウイルス対策として初のオンライン形式で実施した。来賓、グループ会社代表を含め189人が参加。次年度第71期会社方針の発表などを行った。

例年は各拠点の社員が名古屋市内のホテルに集まり開催していたが、今回は初のオンライン開催で、社員の7割は自宅から参加した。当日は本年度が最終年度となる3カ年中期計画および、今期会社方針の振り返りを実施。続いて今期から始めた、新分野への足掛かりにするとともに、社員がマーケティングの基礎を学び、自分のアイデアを実現するためのプ

レゼン能力の向上を目的にするスタートアップ事業で、特に実現性が高く優れたアイデアを発案者が紹介。さらに次年度の会社方針の発表、YouTubeの動画配信を利用した各種表彰式などのほか、懇親会では海外駐在員を含む全社員をグループ分けし、情報交換も行った。（12月23日）

三和特殊鋼 名古屋で帯鋸盤増設 中京地区で拡販推進

三和特殊鋼は、12月24日付で名古屋支店（愛知県豊田市）に帯鋸切断機（バンドソー）を導入、稼働を開始した。これまで3台だった帯鋸を1台増設し、生産能力を高めることで、小径の需要増への対応や中京地区での拡販を図る。

新設した帯鋸盤はアマダマシナリー製の「フレキシブルカットバンドソーマシンHFA-250」。切断能力は丸材で径250ミリ、角材（幅×高さ）で300×250ミリにそれぞれ対応、ブレード速度（メートル/秒）も20-80と高速切断が可能となった。中小企業経営強化税制を利用し、導入した。

同社では本年度（2021年1-12月）を最終年とする第4次中期3カ年経営計画を推進。今期の設備投資については、切断・加工能力増強をメインに実施する。本社で既存帯鋸盤のリプレースや機械加工部門で空調設備を新たに導入するほか、販売管理システムも約10年ぶりの更新を計画している。（1月6日）

JFE商事、グループ2社統合 国内製造拠点向けサービス強化

JFE商事は、JFE商事資機材販売とJFE商事石油販売を4月1日付で統合する。JFE商事資機材販売を存続会社、JFE商事石油販売を消滅会社とする吸収合併で、社名は「JFE商事資機材販売」とする。製鉄所密着型の営業に強みを持つ両社を統合、

一元化することで、製鉄所などJFEグループの国内製造拠点向けサービスを高める。両社のノウハウを生かすことでJFEグループ以外の取引拡大、グループへの収益貢献にもつなげる。

JFE商事資機材販売は製鉄用設備、機械部品、資材品を扱い、年間売上高は2020年3月期で32億円。JFE商事石油販売は産業用燃料油、船舶用燃料油、潤滑油、LPガスなどを扱い、売上高は20年3月期で76億円だった。統合会社はJFE商事資機材販売の現本社に引き続き本社を置く。資本金は3,000万円、両社合わせて約170人の陣容になる。（12月2日）

豊田通商 海外水力発電に出資 ベトナム社株35%取得

豊田通商は、ベトナムの大手建設不動産企業ビナコネックス社より、同社が保有するノイファット水力発電所の事業会社である第2北部電源投資開発社（NEDI2）への経営参画のため、NEDI2の株式を35%取得した。初の海外水力発電事業への出資参画となる。

ベトナムは豊富な水力資源を有し、同国の電力需要の約4割を水力発電で賄っている。NEDI2はベトナム国营電力公社と25年間の売電契約を結び、安定的な操業を継続してきた。発電容量は84メガワットで2014年から運転を開始している。

豊田通商は日本の水力発電技術やノウハウを活用し、オペレーションの改善や発電コストの低減に取り組む。NEDI2の運営を通じてビナコネックス社とパートナーシップを醸成し、同国で水力発電をはじめ再生可能エネルギー開発の可能性について検討を進める。（1月12日）

日鉄物産、国内CC2社再編へ NSM関西・大阪製造部は閉鎖

日鉄物産は、子会社のNSMコイル

業界のうごき

センターとNSTコイルセンターを4月1日付で合併する。コイルセンター事業の最適化が目的で、合併に伴い、今年夏をめどにNSMコイルセンターの関西事業所大阪製造部を閉鎖することも決めた。

NSMコイルセンターを存続会社、NSTコイルセンターを消滅会社とする吸収合併。両社の合併と大阪製造部の閉鎖によって、グループの事業基盤強化を図り、関西地区での効率的かつ高い競争力を有する薄板加工体制を構築。サービスや顧客満足度の向上につなげる。

大阪製造部の加工業務はNSTコイルセンターやNSMコイルセンター関西事業所堺製造部などへの移管を進める。同社が10%出資するサミットスチールの関西地区の加工拠点と連携し、顧客の利便性向上に努める。NSMコイルセンター所有の建屋と跡地については、閉鎖後、必要な補修などを行った上で活用する予定。(12月4日)

阪和興業、念治鉄工と新会社 特殊鋼・ステンレス販売で

阪和興業は、熱間鍛造メーカーの念治鉄工(本社=大阪府八尾市、念治進作社長)と合併で、特殊鋼丸鋼やステンレス丸鋼・切断品、鍛造品などの販売会社を設立した。国内外の建設機械や自動車向けをメインに販路を拡充する。

新会社「NJ GLOBAL」は、念治鉄工の本社内に位置し、社長には念治社長が就任。資本金は1,000万円で、出資比率は念治鉄工51%、阪和興業が49%。

特殊鋼やステンレス鋼販売に加えて、念治鉄工のメーカー機能を活用し、鋼材切断品や鍛造品、機械加工品まで幅広く、きめ細やかな商品を提供。さらに阪和の国内外での販売力を活用し、海外展開も推進。即納や小口対応、加工といったユーザーのニ

ーズに応える直需志向で拡販していく。

念治鉄工は、1956年設立。本社工場のほか上野工場(三重県伊賀市)を拠点に、熱間鍛造事業や機械加工事業、特品事業などを行い、年間売上高は約45億円。(1月22日)

三井物産、ヴァーレに権益売却 モザンビークの原料炭撤退で

三井物産は、モザンビークの原料炭鉱、モアティーズと関連インフラの権益をブラジル資源大手のヴァーレに売却する基本合意を結んだ。売却額は炭鉱とインフラ関連権益でそれぞれ1ドル。金額や詳細を詰めた上で本契約を結び、本年中に売却を完了する。ヴァーレは今回の取引を石炭撤退の一環と表明、操業を続けながら関連事業は売却を探り、2030年までの二酸化炭素排出33%減、50年までの実質ゼロを目指す。

三井物産はモアティーズの15%、輸送のためのナカラ回廊鉄道・港湾インフラ事業の50%を17年にヴァーレから取得した。操業改善などに取り組んだが、ヴァーレの石炭撤退方針を受け、事業ポートフォリオ再構築の一環で撤退を決めた。三井物産は一般炭鉱から既に撤退したが、現状で必須の原料炭は経済性などで判断する。譲渡に関する損失は精査中。ヴァーレは取得後、炭鉱などを引き続き運営する。(1月22日)

リントツ グループ役員交流会議 加工品事業拡大へ

リントツは、加工品事業の強化を主眼に、ステンレス製建具・金物・設計製作施工を行うグループ会社のリントツ工業(秋田市)と「役員交流会議」を始めた。両社の経営層が定期的に集い、グループの情報共有を密にするコラボレーションにより首都圏を中心としたビル、インフラ関連需要を深掘りする取り組みで、

現在リントツの売り上げで5%程度の加工品分野の比率を高めていく方針。

役員交流会議は3カ月に1度、リントツ工業役員と、リントツで加工品に関する設計開発・営業などを受け持つAP(アーキテクチャル・プロダクツ)事業部とで実施。会議では全国営業網からの情報や人材育成の状況なども共有する。

AP事業部は集合郵便受け箱POSTE事業の製造担当のアールテクノ(名古屋市緑区)内にあり、同社と推進する製販一体の活動をリントツ工業とも展開、加速する。(12月1日)

愛知製鋼 新型MIRAIに採用 高強度高圧水素用ステンレス鋼

愛知製鋼は、省資源・高強度の新しい高圧水素用ステンレス鋼「AUS305-H2」を開発、トヨタ自動車の燃料電池車、新型MIRAIに採用された。水素充填口などの高圧水素系部品の素材で、高強度に加えモリブデン不使用で省資源化を実現、さらに硫黄添加により切削加工性を向上。今後、他の自動車メーカーからの注文にも応じるとともに、クルマ以外の高圧水素用部材としての需要も見込む。

従来の高強度に加え、安価な炭素を用いて耐水素脆化特性を高め、高価なモリブデン添加量をゼロにし、省資源化を図った。これにより鋼材段階で約1割のコスト削減を実現している。

開発にあたり評価技術を構築するため、19年末に関工場(岐阜県関市)に国内4基目、鉄鋼メーカーでは初の「最高1,400気圧の高圧水素環境で鋼材の機械的性質を試験できる装置」を約4億5,000万円投じ導入した。

(12月11日)

神戸製鋼所 実船搭載で研究開始 バイナリー発電システム

神戸製鋼所は開発中の「船用バイ

ナリー発電システム」について、商船三井と共同で春山海運のばら積み貨物船（今治造船建造、21万5,000トン、20年10月竣工）に搭載し、実船運用に関する共同研究を開始した。期間は20年10月から約3年間の予定。今回初めてケーブサイズの貨物船に同装置を搭載し、実際の運用条件で性能や耐久性を確認する。大部分が廃棄される船舶の主エンジンの掃気冷却に伴う廃熱を熱源に利用、最大約100キロワットを発電。発電した電力は船舶動力の補助電源などに有効活用し、発電機エンジンの二酸化炭素排出量と燃料の削減を可能とする。

19年から3カ年で日本郵船、川崎汽船とそれぞれ1隻ずつパナママックスクラスでの実船による共同研究を実施しており、各試験を通じ、商用化を図る。試験は神鋼が発電性能や耐久性の評価を行い、商船三井が発電値の取得や装置の使い勝手を検証する。

（12月18日）

JFEスチール・JFEコンテナタイプ2蓄圧器が愛知県で初採用

JFEスチールとJFEコンテナは、国産初の水素ステーション用タイプ2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、運用を開始した。タイプ2蓄圧器は使用可能圧力範囲が広く、燃料電池車（FCV）に多量の水素を一度に供給できる。燃料電池バスや給水素台数が多いステーションでの採用が期待される。

タイプ2蓄圧器（内容量200リットル）は2018年11月に経済産業大臣特認を取得した。JFEコンテナが設計し、JFEスチール製のシームレス鋼管から製造した鋼製ライナーの胴部に、三菱ケミカル製のCFRP（炭素繊維）を巻き付けた。耐圧性能を鉄とCFRPで最適に分担し、高圧力範囲で長寿命化を実現。

形状はシンプルなストレート型。ライナーの製造とCFRPの巻きつけ工程を簡略化するとともにCFRPの使用量を低減することによる製造コストの低減、大口径を生かしたメンテナンスの簡易化が可能となった。（12月28日）

大同特殊鋼 パーマロイ箔を開発 世界最高の磁気ノイズ抑制効果

大同特殊鋼は、通信やIoT機器の高周波化、自動車の電動化、自動運転の普及に伴い増加する電磁波ノイズの中で、従来対策が困難だったKHzからMHz帯以下の磁気ノイズに対し、世界最高レベルのノイズ抑制効果を有したパーマロイ箔「STARPAS」を開発、1月から販売を開始した。6年後には年間9億円の売り上げを目指す。

STARPASは同社の最高透磁率材のMEN PC-2Sを厚さ10-30 μ mに箔化した製品。100KHzの比透磁率は4,800以上、1MHzでは1,400以上と世界最高レベルの磁気ノイズ抑制効果を有する。また、フープ材、シート形状のため優れた加工性を持ち、絶縁材を介した積層シートとしても供給できる。

一般に材料の交流における透磁率は周波数の増加ならびに材料が厚くなるほど低下するが、厚みの薄い開発品は透磁率の低下が小さく、高周波でも高い透磁率を維持できる。（1月14日）

日本製鉄・君津 商業運転開始 超ハイテン対応CGL完成

日本製鉄は、数百億円を投じて東日本製鉄所・君津地区（千葉県君津市）で2018年から建設を進めてきた超ハイテン鋼板対応の第6CGL（溶融亜鉛めっき設備）が完成、商業運転を開始した。月産能力は3万3,000トン。現在実用化している強度1.5ギガパスカル級など超ハイテンの製造を軸とする計画で、超ハイテンの製

造は名古屋製鉄所（愛知県東海市）と君津の2拠点が中心になる。自動車メーカーのアプルーバル（認証）取得を進めていく。

自動車業界は環境規制の強化と衝突安全基準の厳格化を背景に車体の軽量化・高強度化の両立というニーズが高まっており、各自動車メーカーで超ハイテンの採用が増加している。

新鋭ラインを武器にソリューションを含めた自動車対応を強化する。新ラインが自動車メーカーの認証を取得した後の段階では、現在君津にあるCGL設備3基のうちの1基（第4CGL、91年11月稼働）を休止する予定。

（1月19日）

日本金属 新合金サンプルを提供 マグネ二次電池負極向け

日本金属は、新たに開発した「マグネシウム合金二次電池負極用新合金」について、2021年1月をめどに企業や研究機関の開発者向けにサンプルを試験提供する。サンプルは銅添加マグネシウム合金圧延材で、サイズは板厚0.2ミリ（はがきサイズ数枚分）。

電池活性を高めた負極材料の開発を実現する目的で、埼玉県産業技術総合センターと中央工産との共同研究で開発を推進し、18年11月開催の第59回電池討論会で発表し、19年7月に国際特許を出願。

新材料は銅などを添加し、電池活性を劇的に向上させた電極材料の開発に成功。結晶方位を制御した合金に電池活性が高い結晶面を電極面にそろえることで、電池活性が向上。同社らはマグネシウム合金二次電池で唯一、高速の充放電が可能である活性炭を正極に、開発した合金を負極にすることで、これまでよりも高速で200回という充放電を繰り返すことが可能であることを確認した。

（12月16日）

文責：（株）産業新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼						計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用合金鋼	計	ばね鋼	軸 受 鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他		
'19 暦 年	220,798	4,696,002	3,849,414	8,545,416	397,465	939,803	2,667,128	570,971	5,335,063	506,642	10,417,072	19,183,286
'20 暦 年	155,917	3,419,635	2,861,119	6,280,754	294,388	646,096	2,172,096	421,126	4,144,375	388,543	8,066,624	14,503,295
'18 年 度	254,113	5,231,860	4,054,690	9,286,550	430,796	1,032,732	2,881,369	648,216	5,498,472	564,665	11,056,250	20,596,913
'19 年 度	208,719	4,424,471	3,684,277	8,108,748	371,016	858,786	2,648,575	548,062	5,236,485	483,150	10,146,074	18,463,541
'20. 1-3月	47,054	1,013,820	849,930	1,863,750	82,571	176,140	673,671	133,117	1,249,122	119,663	2,434,284	4,345,088
4-6月	38,716	634,069	547,545	1,181,614	55,850	133,035	486,844	78,179	799,176	76,124	1,629,208	2,849,538
7-9月	30,823	715,392	630,347	1,345,739	66,102	128,391	443,432	78,650	924,824	76,315	1,717,714	3,094,276
10-12月	39,324	1,056,354	833,297	1,889,651	89,865	208,530	568,149	131,180	1,171,253	116,441	2,285,418	4,214,393
'19年 11月	19,290	374,968	315,272	690,240	32,384	74,985	218,159	42,006	437,449	33,759	838,742	1,548,272
12月	15,914	335,632	274,893	610,525	29,687	67,944	227,119	41,823	443,860	27,916	838,349	1,464,788
'20年 1月	13,363	330,582	275,829	606,411	24,844	56,694	220,519	38,409	436,453	38,423	815,342	1,435,116
2月	16,793	333,166	290,703	623,869	27,987	57,385	227,566	45,370	409,818	37,993	806,119	1,446,781
3月	16,898	350,072	283,398	633,470	29,740	62,061	225,586	49,338	402,851	43,247	812,823	1,463,191
4月	15,670	267,876	220,510	488,386	24,788	55,965	172,201	30,273	311,152	36,720	631,099	1,135,155
5月	12,532	195,199	166,504	361,703	12,185	44,349	170,977	26,008	242,975	18,400	514,894	889,129
6月	10,514	170,994	160,531	331,525	18,877	32,721	143,666	21,898	245,049	21,004	483,215	825,254
7月	8,719	203,852	186,060	389,912	17,074	36,501	146,824	20,920	245,162	25,915	492,396	891,027
8月	10,525	236,816	203,918	440,734	22,146	39,616	143,755	25,808	340,111	22,508	593,944	1,045,203
9月	11,579	274,724	240,369	515,093	26,882	52,274	152,853	31,922	339,551	27,892	631,374	1,158,046
10月	12,981	334,660	277,006	611,666	28,171	61,704	195,552	42,467	386,279	44,238	758,411	1,383,058
11月	12,979	356,087	274,536	630,623	32,032	72,584	179,340	44,175	375,623	35,515	739,269	1,382,871
12月	13,364	365,607	281,755	647,362	29,662	74,242	193,257	44,538	409,351	36,688	787,738	1,448,464
前 月 比	103.0	102.7	102.6	102.7	92.6	102.3	107.8	100.8	109.0	103.3	106.6	104.7
前年同月比	84.0	108.9	102.5	106.0	99.9	109.3	85.1	106.5	92.2	131.4	94.0	98.9

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形 状 別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'19 暦 年	327,633	5,859,800	1,229,819	3,910,932	1,310,485	6,550,016	19,188,685
'20 暦 年	236,085	4,263,744	846,564	2,974,323	1,048,015	5,141,035	14,509,766
'18 年 度	383,020	6,439,522	1,203,698	4,292,348	1,495,812	6,788,499	20,602,899
'19 年 度	293,237	5,497,480	1,202,218	3,709,327	1,333,238	6,433,580	18,469,080
'20. 1-3月	62,203	1,226,254	289,689	869,361	345,757	1,553,297	4,346,561
4-6月	60,177	771,677	220,453	536,404	264,727	997,763	2,851,201
7-9月	55,332	937,551	154,755	624,189	232,033	1,092,034	3,095,894
10-12月	58,373	1,328,262	181,667	944,369	205,498	1,497,941	4,216,110
'19年 11月	23,142	465,065	108,670	308,188	106,924	536,650	1,548,639
12月	26,735	397,936	97,337	285,858	104,661	552,585	1,465,112
'20年 1月	24,198	391,670	95,270	277,185	109,583	537,703	1,435,609
2月	17,837	412,341	98,659	286,062	105,492	526,858	1,447,249
3月	20,168	422,243	95,760	306,114	130,682	488,736	1,463,703
4月	19,558	314,292	90,566	230,476	106,283	374,493	1,135,668
5月	20,843	227,442	69,200	163,329	83,012	325,713	889,539
6月	19,776	229,943	60,687	142,599	75,432	297,557	825,994
7月	14,200	271,118	51,873	175,454	70,754	308,091	891,490
8月	19,901	294,972	56,740	209,847	90,605	373,878	1,045,943
9月	21,231	371,461	46,142	238,888	70,674	410,065	1,158,461
10月	16,633	418,930	67,675	315,453	68,393	496,500	1,383,584
11月	15,719	453,040	48,237	318,676	64,243	483,691	1,383,606
12月	26,021	456,292	65,755	310,240	72,862	517,750	1,448,920
前 月 比	165.5	100.7	136.3	97.4	113.4	107.0	104.7
前年同月比	97.3	114.7	67.6	108.5	69.6	93.7	98.9

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	高 抗 張 鋼	そ の 他		
'19 暦 年	273,872	2,970,829	1,631,511	4,602,340	62,907	376,372	1,488,018	141,142	89,625	82,507	2,240,571	7,116,783	
'20 暦 年	209,727	2,198,378	1,185,987	3,384,365	56,123	314,764	1,229,083	109,383	64,711	85,442	1,859,506	5,453,598	
'18 年 度	322,765	3,543,660	2,028,274	5,571,934	119,549	546,004	1,681,386	179,074	95,026	47,294	2,668,333	8,563,032	
'19 年 度	259,702	2,759,143	1,499,742	4,258,885	52,877	356,356	1,413,730	132,161	90,062	96,935	2,142,121	6,660,708	
'20年 4月	16,015	195,961	94,730	290,691	6,156	30,602	114,762	8,126	6,519	6,954	173,119	479,825	
5月	11,052	106,148	56,564	162,712	3,749	16,304	101,837	4,594	3,338	4,442	134,264	308,028	
6月	13,412	124,631	69,708	194,339	4,112	19,464	67,881	6,542	4,159	5,056	107,214	314,965	
7月	15,554	145,054	84,354	229,408	6,187	21,850	95,918	8,079	3,986	6,048	142,068	387,030	
8月	14,036	148,067	82,830	230,897	5,764	22,220	88,643	7,597	3,246	5,682	133,152	378,085	
9月	18,471	197,384	109,514	306,898	3,667	26,891	97,931	9,840	4,469	7,239	150,037	475,406	
10月	22,075	215,984	116,893	332,877	3,786	30,108	113,116	10,994	5,076	9,118	172,198	527,150	
11月	20,060	223,300	118,890	342,190	3,797	29,833	107,572	10,877	5,341	8,080	165,500	527,750	
12月	19,198	212,895	116,174	329,069	4,115	32,289	110,681	10,489	4,445	7,885	169,904	518,171	
前 月 比	95.7	95.3	97.7	96.2	108.4	108.2	102.9	96.4	83.2	97.6	102.7	98.2	
前年同月比	94.7	97.4	99.3	98.1	106.5	117.6	97.5	103.2	62.8	100.6	100.0	98.6	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他			
' 19 暦 年	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583	
' 20 暦 年	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375	
' 18 年 度	8,276	237,787	154,530	392,317	29,638	33,728	122,372	25,391	162,107	28,897	402,133	802,726	
' 19 年 度	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885	
' 20年 4月	10,249	236,787	145,309	382,096	21,575	27,309	131,446	27,476	138,469	26,256	372,531	764,876	
5月	11,406	227,322	137,756	365,078	17,481	29,475	122,552	26,843	132,083	21,374	349,808	726,292	
6月	10,577	215,267	132,338	347,605	20,266	25,703	128,651	22,304	129,105	20,956	346,985	705,167	
7月	8,607	212,608	130,884	343,492	18,211	23,817	129,457	24,278	117,564	23,635	336,962	689,061	
8月	9,583	210,890	130,165	341,055	20,347	25,894	126,687	25,949	152,155	20,799	371,831	722,469	
9月	8,643	216,613	137,222	353,835	24,446	27,250	126,084	24,567	142,030	17,733	362,110	724,588	
10月	7,381	213,585	143,386	356,971	23,041	24,409	130,016	26,432	124,538	22,502	350,938	715,290	
11月	6,872	222,657	137,302	359,959	23,241	29,122	125,589	30,573	125,169	18,544	352,238	719,069	
12月	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375	
前 月 比	103.6	102.2	100.9	101.7	99.5	117.6	97.9	89.4	114.5	124.1	106.2	103.9	
前年同月比	70.8	90.3	84.8	88.2	94.1	111.6	95.2	104.0	76.7	124.4	89.9	88.8	

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	高 抗 張 鋼	そ の 他		
' 19 暦 年	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074	
' 20 暦 年	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618	
' 18 年 度	71,065	243,896	179,491	423,387	12,518	51,977	183,062	13,627	10,935	3,646	275,765	770,217	
' 19 年 度	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121	
' 20年 4月	77,550	253,095	179,660	432,755	12,149	54,528	183,441	15,093	10,157	10,062	285,430	795,735	
5月	78,237	263,270	190,150	453,420	12,421	59,464	189,492	16,610	10,268	10,606	298,861	830,518	
6月	79,070	259,246	189,532	448,778	12,674	57,333	194,662	17,213	10,455	10,478	302,815	830,663	
7月	76,962	246,749	176,454	423,203	12,180	53,006	193,692	14,255	10,683	9,467	293,283	793,448	
8月	75,141	250,970	172,131	423,101	12,522	52,200	194,218	13,730	11,399	8,839	292,908	791,150	
9月	71,130	238,234	164,101	402,335	11,745	50,418	189,626	13,728	12,014	8,408	285,939	759,404	
10月	67,206	240,411	158,135	398,546	11,634	50,842	190,187	12,160	12,765	7,146	284,734	750,486	
11月	65,151	240,640	163,345	403,985	11,733	52,530	193,514	11,592	12,940	7,021	289,330	758,466	
12月	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618	
前 月 比	100.4	105.3	102.4	104.1	98.0	102.9	105.1	105.9	107.4	93.2	104.3	103.8	
前年同月比	83.6	101.5	89.6	96.4	93.7	91.5	113.8	87.2	136.8	68.7	106.3	98.7	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸 出

(単位: t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼					そ の 他 の 鋼			特 殊 鋼 鋼材合計
		機械構造 用炭素鋼	構造用 合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'19 暦 年	37,039	373,118	549,771	922,888	187,541	912,981	96,189	78,476	1,100,522	3,982	4,847,994	4,851,976	7,087,091
'20 暦 年	29,024	265,564	383,431	648,995	130,574	777,330	83,044	59,199	1,050,147	3,072	4,101,391	4,104,463	5,832,629
'18 年 度	40,883	457,288	586,191	1,043,479	189,839	943,017	119,463	92,202	1,344,521	3,295	5,260,314	5,263,608	7,692,492
'19 年 度	35,063	353,608	527,588	881,195	174,665	925,925	95,132	74,822	1,270,544	3,858	5,014,950	5,018,808	7,205,611
'20年 3月	2,711	31,955	44,113	76,068	12,055	88,833	12,642	9,794	123,324	224	445,322	445,547	647,650
4月	3,209	21,425	29,992	51,418	12,335	76,452	8,075	8,665	105,526	354	348,716	349,070	509,223
5月	2,478	18,282	25,783	44,065	11,189	60,025	6,754	2,550	80,518	258	295,258	295,516	422,576
6月	2,783	18,042	28,687	46,729	5,625	67,647	6,897	2,253	82,423	167	242,750	242,917	374,851
7月	2,836	14,098	19,665	33,763	8,221	56,127	1,796	4,334	70,478	305	249,855	250,159	357,237
8月	1,983	13,484	23,285	36,769	6,245	57,535	4,926	3,441	72,147	142	277,626	277,769	388,668
9月	1,775	12,884	27,186	40,070	9,382	45,567	6,572	2,621	64,141	253	328,185	328,438	434,424
10月	2,498	24,833	37,550	62,383	13,288	57,993	6,954	3,156	81,391	379	340,546	340,926	487,198
11月	1,992	26,606	33,389	59,995	15,031	60,944	6,695	9,079	91,749	196	335,794	335,990	489,725
12月	2,235	32,316	37,808	70,124	14,412	67,390	10,864	4,911	97,578	272	363,013	363,285	533,222
前 月 比	112.2	121.5	113.2	116.9	95.9	110.6	162.3	54.1	106.4	138.4	108.1	108.1	108.9
前年同月比	86.2	108.5	88.8	96.9	93.9	78.7	108.5	172.3	85.7	119.2	90.0	90.0	90.0

出所: 財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸 入

(単位: t)

年 月	工具鋼	ばね鋼	ス テ ン レ ス 鋼					計	快削鋼	その他の鋼			特殊鋼 鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'19 暦 年	3,901	7,382	557	15,075	8,603	193,072	15,995	233,301	306	8,622	536,308	544,930	789,819
'20 暦 年	4,425	8,681	481	11,582	7,806	182,037	15,644	217,550	226	5,508	378,421	383,929	614,813
'18 年 度	3,789	4,813	901	12,809	9,392	214,008	17,217	254,327	379	6,282	524,362	530,643	793,952
'19 年 度	4,566	8,270	575	14,214	7,762	198,515	15,501	236,568	283	8,259	476,144	484,403	734,090
'20年 3月	292	446	33	944	758	19,064	1,508	22,306	17	104	28,122	28,226	51,288
4月	535	677	36	1,128	540	18,507	1,615	21,826	25	2,091	25,641	27,732	50,795
5月	464	380	38	781	567	16,967	1,242	19,596	8	294	54,074	54,368	74,816
6月	415	1,169	35	1,232	406	12,729	1,332	15,734	15	236	16,845	17,081	34,414
7月	384	831	40	1,095	863	12,791	1,345	16,135	12	51	27,006	27,058	44,418
8月	228	437	38	817	796	12,051	1,223	14,925	-	101	28,064	28,164	43,755
9月	224	590	28	1,141	769	13,070	1,131	16,139	10	41	33,604	33,645	50,609
10月	189	651	41	720	448	12,922	1,154	15,285	12	551	25,953	26,504	42,640
11月	195	749	49	923	925	14,371	1,088	17,358	38	234	38,517	38,750	57,090
p 12月	250	994	52	897	969	14,548	1,474	17,941	38	519	24,100	24,619	43,842
前 月 比	127.9	132.8	106.0	97.2	104.7	101.2	135.5	103.4	99.9	222.1	62.6	63.5	76.8
前年同月比	79.8	199.7	97.0	63.4	167.3	73.5	123.4	77.8	132.5	36.3	51.9	51.4	61.1

出所: 財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p: 速報値

関連産業指標推移

(単位: 台)

(単位: 億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新 車 登 録・ 軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機 械 受注額	産業機械 受注額	工作機械 受注額
	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	ブル ドーザ	パワー ショベル	フォーク リフト	ショベル トラック			
'19 暦 年	9,684,294	1,232,917	4,818,132	324,973	5,195,216	880,539	-	192,203	110,794	10,972	104,323	48,441	12,299
'20 暦 年	-	-	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	8,273	95,570	46,022	9,018
'18 年 度	9,750,021	1,265,838	4,837,553	347,731	5,259,589	882,342	-	197,549	122,145	12,318	104,364	52,276	16,891
'19 年 度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	111,919	9,935	104,036	47,879	10,995
'20年 3月	828,702	101,105	379,956	29,910	581,438	94,067	-	17,985	11,309	544	8,547	9,343	774
4月	438,770	70,985	193,602	17,626	270,393	50,389	-	13,187	10,203	516	7,526	3,754	561
5月	308,061	54,356	119,920	12,834	218,285	43,470	-	9,582	7,774	599	7,650	2,448	512
6月	513,626	72,291	200,080	14,274	347,372	62,928	-	14,067	8,868	671	7,066	3,258	672
7月	697,867	87,359	291,171	14,746	396,346	64,869	-	14,058	8,496	694	7,513	2,665	698
8月	556,276	69,435	269,953	14,684	326,439	55,537	-	11,140	6,331	570	7,525	4,850	680
9月	r 821,092	98,372	r 378,337	23,761	469,706	78,192	-	16,646	9,050	960	7,193	4,182	841
10月	838,205	101,870	413,862	26,153	406,851	66,472	-	18,524	8,901	960	8,425	3,067	822
11月	782,237	101,074	394,890	26,910	411,601	74,200	-	16,896	9,002	827	8,548	3,160	887
12月	-	-	370,651	30,178	379,896	64,081	-	17,037	8,723	734	8,996	3,829	991
前 月 比	-	-	93.9	112.1	92.3	86.4	-	100.8	96.9	88.8	105.2	121.2	111.7
前年同月比	-	-	92.8	117.6	110.2	107.5	-	144.8	113.6	104.9	110.3	98.8	109.9

出所: 四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r: 訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2 0 2 0 年 1 2 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前 月 比 (%)	前 年 同 月 比 (%)	2015年基準 指 数 (%)	
	項 目						
工 具 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		13,364	103.0	84.0	64.8	
	鋼 材 輸 入 実 績		250	127.9	79.8	81.0	
	販 売 業 者	受 入 計	19,430	107.9	93.6	72.0	
		販 売 計	19,198	95.7	94.7	73.1	
		うち消費者向	16,164	94.3	93.5	85.4	
		在 庫 計	65,383	100.4	83.6	110.7	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		2,235	112.2	86.2	46.9	
	生 産 者 工 場 在 庫		7,121	103.6	70.8	85.9	
	総 在 庫		72,504	100.7	82.2	107.6	
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		647,362	102.7	106.0	94.6
販 売 業 者		受 入 計	345,597	99.4	101.6	52.9	
		販 売 計	329,069	96.2	98.1	50.3	
		うち消費者向	262,959	96.6	96.4	59.9	
		在 庫 計	420,513	104.1	96.4	119.5	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		70,124	116.9	96.9	85.3		
生 産 者 工 場 在 庫		366,211	101.7	88.2	104.7		
総 在 庫		786,724	103.0	92.4	112.1		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		29,662	92.6	99.9	82.5		
ば ね 鋼		鋼 材 輸 入 実 績		994	132.8	199.7	243.9
	販 売 業 者	受 入 計	3,885	99.7	111.3	18.3	
		販 売 計	4,115	108.4	106.5	19.6	
		うち消費者向	2,445	91.8	95.2	52.6	
		在 庫 計	11,503	98.0	93.7	94.2	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		14,412	95.9	93.9	91.6	
	生 産 者 工 場 在 庫		23,123	99.5	94.1	89.5	
	総 在 庫		34,626	99.0	94.0	91.0	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		193,257	107.8	85.1	84.2	
	ス テ ン レ ス 鋼	鋼 材 輸 入 実 績		17,941	103.4	77.8	124.0
販 売 業 者		受 入 計	120,622	108.8	103.7	48.1	
		販 売 計	110,681	102.9	97.5	44.0	
		うち消費者向	57,743	98.8	97.9	103.3	
		在 庫 計	203,455	105.1	113.8	148.8	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		67,390	110.6	78.7	76.9		
生 産 者 工 場 在 庫		122,999	97.9	95.2	106.8		
総 在 庫		326,454	102.3	106.0	129.6		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		44,538	100.8	106.5	86.8		
快 削 鋼		販 売 業 者	受 入 計	11,175	108.4	86.3	79.0
	販 売 計		10,489	96.4	103.2	72.9	
	うち消費者向		10,080	96.8	103.5	72.4	
	在 庫 計		12,278	105.9	87.2	90.7	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		10,864	162.3	108.5	113.6	
	生 産 者 工 場 在 庫		27,331	89.4	104.0	98.5	
	総 在 庫		39,609	93.9	98.2	95.9	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		409,351	109.0	92.2	99.2	
	高 抗 張 力 鋼	販 売 業 者	受 入 計	5,409	98.1	82.2	52.6
			販 売 計	4,445	83.2	62.8	43.7
うち消費者向			3,606	83.4	67.7	53.8	
在 庫 計			13,904	107.4	136.8	126.8	
生 産 者 工 場 在 庫		143,334	114.5	76.7	75.6		
総 在 庫		157,238	113.9	79.8	78.4		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		110,930	102.6	115.7	80.2		
そ の 他		販 売 業 者	受 入 計	41,205	104.4	116.8	101.7
			販 売 計	40,174	106.0	113.8	99.1
			うち消費者向	38,220	106.7	116.1	104.0
	在 庫 計		60,582	101.7	88.3	114.0	
	生 産 者 工 場 在 庫		57,256	120.1	116.4	82.8	
	総 在 庫		117,838	109.9	100.0	96.3	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,448,464	104.7	98.9	92.1	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		43,842	76.8	61.1	54.0	
	販 売 業 者	受 入 計	547,323	102.2	102.2	53.8	
		販 売 計	518,171	98.2	98.6	50.9	
うち消費者向		391,217	97.6	97.9	67.9		
在 庫 計		787,618	103.8	98.7	123.6		
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		533,222	108.9	90.0	82.9		
生 産 者 工 場 在 庫		747,375	103.9	88.8	95.1		
総 在 庫		1,534,993	103.9	93.6	107.9		
特殊鋼鋼材合計							

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び銅管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(2020年12月1日～2021年1月31日)

海外委員会

本委員会（1月28日・Web会議+対面会議）

- ①中国ステンレス鋼アンチダンピング（AD）調査に関する世界貿易機関（WTO）提訴要請とその費用負担報告、検討
- ②講演会の紹介

専門部会（1月22日・Web会議）

- ①中国ステンレス鋼アンチダンピング（AD）調査に関する世界貿易機関（WTO）提訴要請とその費用負担報告、検討
- ②講演会の紹介

市場開拓調査委員会

特殊鋼PR展示・講演会WG

第7回高機能金属展 東京展に協賛すると共にブースを出展（12月2～4日）

編集委員会

本委員会（12月9日・Web会議）

- ①2021年5月号特集「熱処理（仮題）」の編集方針、内容の確認
- ②新委員就任挨拶
- ③特殊鋼ガイドからのデータ引用承諾
- ④広報誌「特殊鋼」発行直近1年の本編電子ファイルの取扱い

小委員会（1月20日・Web会議）

2021年7月号特集「熱処理（仮題）」の編集内容の検討

人材確保育成委員会

「2020年度ビジネスパーソン研修講座」等日鉄総研研提案説明（1月13日・Web会議）

- ①2020年度ビジネスパーソン研修講座（Web）提案
- ②デジタルトランスフォーメーション（DX）セミナー提案

本委員会（1月15日・書面審議）

- ①2020年度ビジネスパーソン研修講座実施の検討
- ②デジタルトランスフォーメーション（DX）講演会等実施の検討

流通委員会

説明会（12月23日）

演 題：2020年度第4・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課 課長補佐 堀口 誠 氏

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・大阪3地区）

参加者：47名

[大阪支部]

臨時運営委員会（12月2日・対面）

- ①2020年度事業実績
- ②2020年度今後の事業計画
- ③2020年度収支見込

Web会議システム活用セミナー（三団体共催）

日 程：1月22日（オンライン+対面）、
1月28日・29日（オンライン）

講 師：キューブグループ 代表
北村 秀行 氏

内 容：Withコロナ、経産省推進DXから
Web会議活用までの解説

参加者：32名

[名古屋支部]

部会

企画部会（1月27日・オンライン）

- ①総会後の講演会講師決定
- ②一般講演会（三団体共催）の講師決定
- ③定時総会後の部会長、副部会長の変更
- ④定時総会の開催方法

講座、研修会、セミナー等

コロナ対策セミナー（12月11日・三団体共催）

内 容：①名古屋市中保健センター医師からの感染状況他の説明
②会員企業等の対策事例

方 式：オンライン

参加者：40名

特殊鋼倶楽部の動き

「第7回高機能金属展 東京展」(於：幕張メッセ)へ出展しました

当倶楽部は、去る12月2日～4日、幕張メッセにて開催された「第7回高機能金属展東京展」の協賛団体となるとともに出展しました。

今年度は10月に開催されました関西展に引き続いての出展となりました。

当倶楽部ブースには、会員様企業から自社製品PRを目的として秋山精鋼(株)様、ヤマト特殊鋼(株)様の2社が同時出展し、各社様とも積極的なPR活動を実施しました。

コロナ禍にもかかわらず、ブースには内外のさまざまな業種の多くの方々にお立ち寄り頂き、盛況のうちに終了いたしました。

また当倶楽部の樋口会長(山陽特殊製鋼(株)代表取締役社長)も当ブースにお見えになられ、業界紙でも報道されました。

特殊鋼および当倶楽部の認知度向上になりました。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【左から秋山精鋼様、樋口会長、小澤専務理事、ヤマト特殊鋼様】



【説明を受けられる樋口会長】



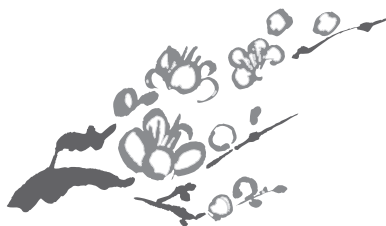
【特殊鋼倶楽部ブース全体図】



【ヤマト特殊鋼(株)様ご展示】



【秋山精鋼(株)様ご展示】



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

【会 員 数】 (正 会 員) 製造業者 25社 販売業者 103社 合 計 128社	【販売業者会員】		
【製造業者会員】			
愛 知 製 鋼 (株) 秋 山 精 鋼 (株) (株)川 口 金 属 加 工 高 周 波 熱 錬 (株) (株)神 戸 製 鋼 所 合 同 製 鐵 (株) 山 陽 特 殊 製 鋼 (株) J F E ス チ ール (株) J X 金 属 (株) 下 村 特 殊 精 工 (株) 大 同 特 殊 鋼 (株) 高 砂 鐵 工 (株) 東 北 特 殊 鋼 (株) 日 鉄 ス テ ン レ ス (株) 日 本 金 属 (株) 日 本 高 周 波 鋼 業 (株) 日 本 精 線 (株) 日 本 製 鉄 (株) 日 本 冶 金 工 業 (株) 日 立 金 属 (株) (株)広島メタル&マシナリー (株)不 二 越 三 菱 製 鋼 (株) ヤ マ シ ン ス チ ール (株) 理 研 製 鋼 (株)	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 栗 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) 井 上 特 殊 鋼 (株) (株)U E X 碓 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株) (株)カ ム ス (株)カ ワ イ ス チ ール 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鐵 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株)三 悦 三 協 鋼 鐵 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鐵 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株)		(株)日 立 ハ イ テ ク (株)平 井 (株)フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株)ブ ル ー タ ス 平 和 鋼 材 (株) (株)堀 田 ハ ガ ネ (株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 松 井 鋼 材 (株) 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三 井 物 産 ス チ ール (株) (株)メ タ ル ワ ン (株)メ タ ル ワ ン チ ュ ー ブ ラ ー (株)メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株)山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) リ ン タ ツ (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

“特集” 編集後記

今月号は水素について特集しました。水素は国内のエネルギー活用やエネルギー輸入先の多様ななどが求められているなかで、さまざまな原料から製造できるという利点があり注目が集まっています。また、水素エネルギーは利用段階ではCO₂を排出しないことから、低炭素社会へ大きく貢献するエネルギーと考えられています。

このような状況から国内外で水素社会に向けた取り組みのため、戦略・ロードマップといった政策が策定されています。今回は主に日本の水素社会に向けて、どのような取り組みが実施されているかを広く知ってもらうための特集としました。

また、このような水素社会への取り組みに対して、特殊鋼が貢献するための課題は水素脆化の克

服が挙げられます。本特集ではこの水素脆化の説明と特殊鋼の中でも特にその影響が大きいステンレス鋼とボルト鋼について解説しています。

今後、拡大していこう水素社会について本特集を読むことで、少しでも解を深めていただき、今後の活躍のきっかけに少しでも貢献出来れば幸いと存じます。

最後に本特集を発刊するにあたり、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構様には非常に多大なご協力をいただきました。紙面を借りて、厚く御礼申し上げます。

〔愛知製鋼(株) 品質保証部 お客様品質・技術室 宇田川毅志〕

特 集／よくわかる特殊鋼の熱処理

- I. 熱処理技術の現状と今後の展望
- II. 特殊鋼の熱処理
- III. 熱処理設備
- IV. 会員メーカーの熱処理・素材技術

7月号特集予定…特殊鋼製造のやさしい解説

特 殊 鋼

第 70 巻 第 2 号
© 2 0 2 1 年 3 月
2021年 2月25日 印 刷
2021年 3月 1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434円（送料共）

発 行 所
一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 小 澤 純 夫
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。