

# Watching

2021. 5 No. 319

## ハイライト

脱炭素化を加速する新「住生活基本計画」	1
CO <sub>2</sub> ネットゼロに向けた資源化技術	2
産業部門の脱炭素に資するPower to Chemical	4
熱需要と火力発電のゼロエミ化が拡大	6
CO <sub>2</sub> 排出ゼロの燃料アンモニア導入への期待	8
グローバルな競争、協力が加速する水素産業	11
核融合発電は炭素中立の切り札となるか	13
航空機エンジンの金属疲労破壊と新技術	19
ロボット開発は人間らしさを追求へ	21
がんのAI画像診断の実用化が始まった	23
機械学習の医療分野への応用の期待と現実	24
新型コロナ終息の鍵となる変異株	25
在宅勤務における社員同士の対話創出策	27
日本でも始まる巨大IT企業への規制	28
正式発行へと着実に歩を進める“e-CNY”	29
米国が通商政策を発表へトランプ手法から転換へ	31
欧米で高まる人権侵害監視、日本も法制化を検討	33
多様性重視で、脱ステレオタイプな表記へ	34
ARC活動報告・予定(3月～)	36



株式会社 旭リサーチセンター

## A R C 作成：主要経済指標の天気マップ

	四半期別推移												月別推移		
	2018年			2019年				2020年				2021年			
	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	12	1	2	
鉱工業生産															
第3次産業活動															
家計実質消費支出															
乗用車新規販売台数															
機械受注(除:船舶、電力)															
公共工事・受注金額															
新設住宅・着工戸数															
輸出・数量指数															
実質賃金															
新規求人数															

注1：天気マーク☀️は前年比3%以上、☁️は前年比0%~3%、☁️は前年比▲3%~0%、☔️は前年比▲3%超を基準にしている。

注2：四半期別推移 I は1~3月、II は4~6月、III は7~9月、IV は10~12月。

注3：月別推移は異常値補正のため、前月、前々月との3ヵ月平均値を使用している。

注4：各指標の数字は2021年4月9日時点での入手可能なデータに基づく。

## IMFの世界経済見通し（2021年4月） （実質GDP、年間の増減率%）

	2020年	2021年		2022年	
全世界計	▲3.3	6.0	(0.5)	4.4	(0.2)
先進国・地域	▲4.7	5.1	(0.8)	3.6	(0.5)
米国	▲3.5	6.4	(1.3)	3.5	(1.0)
日本	▲4.8	3.3	(0.2)	2.5	(0.1)
ユーロ圏	▲6.6	4.4	(0.2)	3.8	(0.2)
英国	▲9.9	5.3	(0.8)	5.1	(0.1)
新興国・地域	▲2.2	6.7	(0.4)	5.0	(0.0)
中国	2.3	8.4	(0.3)	5.6	(0.0)
インド	▲8.0	12.5	(1.0)	6.9	(0.1)
ブラジル	▲4.1	3.7	(0.1)	2.6	(0.0)
ロシア	▲3.1	3.8	(0.8)	3.8	(▲0.1)
ASEAN5（注）	▲3.4	4.9	(▲0.3)	6.1	(0.1)
メキシコ	▲8.2	5.0	(0.7)	3.0	(0.5)

注：ASEAN5は、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムの5ヵ国。

2021年、2022年の（ ）内の数字は前回（2021年1月）見直しからの変化幅。

出所：IMF「World Economic Outlook, 2021.4.5」

## 脱炭素化を加速する新「住生活基本計画」

### ◆新たな「住生活基本計画」を国土交通省が発表

2021年3月、国土交通省は住宅政策の新たな方向性を示す「住生活基本計画」を閣議決定した。10年ごとに策定される計画は30年度までの指針となる。

新計画のポイントは2つある。1つは社会環境の変化を踏まえ、新たな日常や豪雨災害等に対応した施策の方向性を示している。もう1つは、50年のカーボンニュートラル実現に向けた施策の方向性を示している。後者については、30年の全住宅のエネルギー消費量を13年度比で18%削減するという目標を掲げている。住宅の建設から居住、廃棄までのライフサイクルでCO<sub>2</sub>排出量が少なく長寿命な長期優良住宅、ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）を拡充する。また、ライフサイクルでCO<sub>2</sub>排出量をマイナスにするLCCM（ライフ・サイクル・カーボン・マイナス）住宅の普及を図る。21年4月には改正建築物省エネ法が施行され、省エネ基準の義務付けや省エネ性能表示の規制を強化する説明義務制度が始まった。今後、新計画にのっとり、住宅の脱炭素化に向けた制度整備が進む。

### ◆脱炭素化を目指す住宅関連の取り組みが活発化

CO<sub>2</sub>排出量を削減する住宅の省エネは、これまで戸建て住宅を中心に展開されてきたが、集合住宅での取り組みも出始めた。21年2月、大東建託は京セラとの協業で日本初となるLCCM賃貸集合住宅の建設を開始し7月完成を予定している。三菱地所、野村不動産など大手不動産事業者によるZEH-M（ゼッチ・マンション）事業も相次いでいる。

一方、脱炭素に関連する住宅材料や素材の新技术も登場している。21年1月、長谷工コーポレーションは独自開発の環境配慮型コンクリート「H-BAコンクリート」（特許出願中）を横浜市の新築マンションの一部に初採用した。これまでのコンクリート材料に由来するCO<sub>2</sub>排出量を約8.2%～18.5%削減できる。

住宅の建設と居住に関連するCO<sub>2</sub>排出量を合わせると、国内のCO<sub>2</sub>排出量全体の約3割を占めるといわれており脱炭素化への影響は大きい。建設から廃棄までのライフサイクル全般を見据える視点が一層重要になりそうだ。 【新井佳美】

## CO<sub>2</sub>ネットゼロに向けた資源化技術

### ◆封筒サイズで最大1.0ton-CO<sub>2</sub>/年を変換可能なCO<sub>2</sub>電解スタックの開発

温室効果ガス低減対策が始まったのは30年以上前の1990年になる。この間、省エネなどCO<sub>2</sub>の排出削減が実施されてきた。一方、CO<sub>2</sub>の有効利用の技術開発は、多くの企業、大学、公的研究機関などにおいて、さまざまな検討が行われてきたが、人工光合成に代表されるように経済性の課題を解決できていない。

21年3月22日、東芝はCO<sub>2</sub>を燃料や化学品の原料となるCOに電気化学変換するCO<sub>2</sub>資源化技術「Power to Chemicals(P2C)」の実用化に向けて、電解セルを積層化する技術を開発し、単位面積あたりの処理量を高め、封筒サイズの設置面積で、最大1.0ton-CO<sub>2</sub>/年の処理量を達成した。

この処理能力は、常温環境下で稼働するCO<sub>2</sub>電解セル積層化において、世界最高<sup>1</sup>である。2,000m<sup>2</sup>（バスケットコート5つ分に相当）程度の設置面積で、一般的な清掃工場1日のCO<sub>2</sub>排出量200tonが処理できる。さらに、電解セルを積層することでスケールアップが可能であり、今後CO<sub>2</sub>排出量が清掃工場の数十倍になる火力発電所への適用を目指して開発を進める。

これまでの電気化学的手法では、水溶液中に溶解させた微量のCO<sub>2</sub>を有機物に変換する方法が採られてきたが、大量のCO<sub>2</sub>を処理できないとの課題があった。

これを解決するため、固体（触媒）、気体（CO<sub>2</sub>）、液体（水）の三相を同時に反応させる三相界面反応が可能となる触媒電極を開発した（図.1）。さらに触媒層のCO<sub>2</sub>ガスを流路を多孔質構造として、より多くのCO<sub>2</sub>を触媒に供給できるようにした。これらの結果、常温常圧の環境下で、電流密度700mA/cm<sup>2</sup>、ファラデー

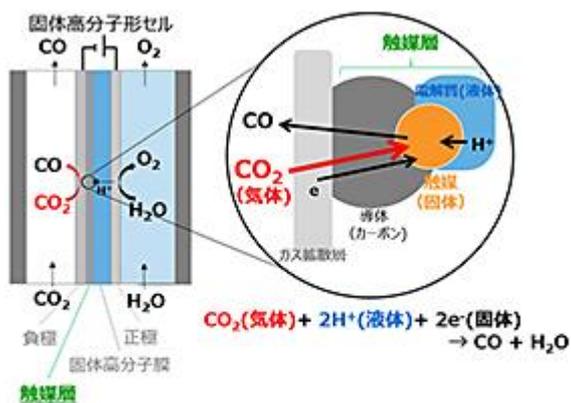


図 1. 電解セルの概念図

出典：[https://www.toshiba.co.jp/rdc/detail/1903\\_02.htm](https://www.toshiba.co.jp/rdc/detail/1903_02.htm)

<sup>1</sup> 2021年3月4日現在

効果<sup>2</sup>92%を達成した。これまでの技術の約450倍にあたる世界最高レベルのCO変換速度である。また、積層化による発熱で処理速度が低下する課題があったが、冷却流路を設けることで解決し、社会実装に向けて大きく前進させた。

◆世界で初めて96%の量子収率で水を分解する光触媒を開発

20年5月、NEDOと人工光合成化学プロセス技術研究組合は、太陽光エネルギー変換効率が低い紫外線領域ながら、世界で初めて96%の量子収率<sup>3</sup>で水を水素と酸素に分解する半導体光触媒を開発した。これまでに開発された光触媒の水分解反応の量子吸収は10%未満であった。ソーラー水素の実用化には、太陽光エネルギーの変換効率を向上させ、製造コストを下げる必要がある。今回は、変換効率向上に向け、紫外線領域における光触媒の量子収率を高める調製法や助触媒の組み合わせに焦点を絞った。代表的な酸化物光触媒であるSrTiO<sub>3</sub>(Alドープ)を用い、粒子の結晶表面に水素生成助触媒を、別の結晶面に酸素生成助触媒を担持させ、

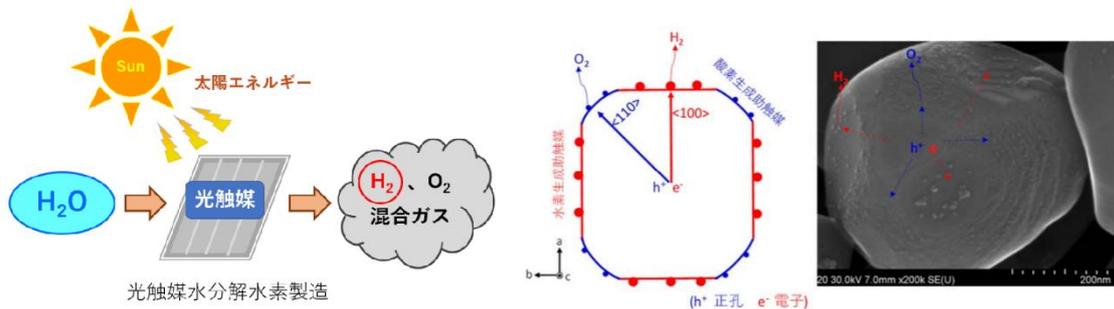


図2. 光触媒水分解水素製造工程の概念図と光触媒の構造

出典：<https://www.shinshu-u.ac.jp/institution/rism/activity/2020/05/nature.html>

機能分離させたところ、半導体微粒子内で電位勾配を発生させることできた。光励起で生じた電子 (e-) と正孔 (h+) が電場によって異なる方向に移動し、助触媒により水素および酸素生成反応で速やかに消費されるので、再結合がほぼ完全に抑えられ、100%に近い量子収率での水分解反応が達成できた (図. 2)。今後はバンドギャップが小さく幅の広い可視領域の光を利用できる光触媒で、太陽光エネルギー変換効率約16%を目指す。

循環型社会を支えるCO<sub>2</sub>資源化の経済性に解決策が見つかった。【成田誠】

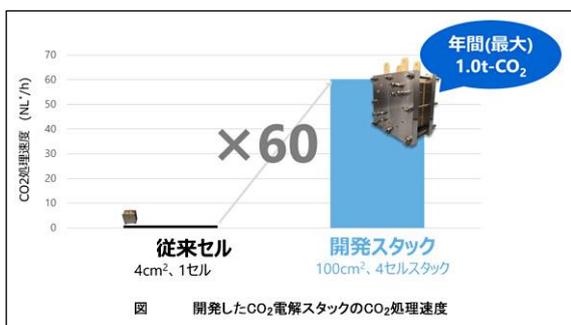
<sup>2</sup> ファラデー効果：全電流に対して、生成物に寄与した部分電流の割合。

<sup>3</sup> 量子収率：光化学反応を起こした原子または分子の個数 m と、吸収された光子の個数 n との比

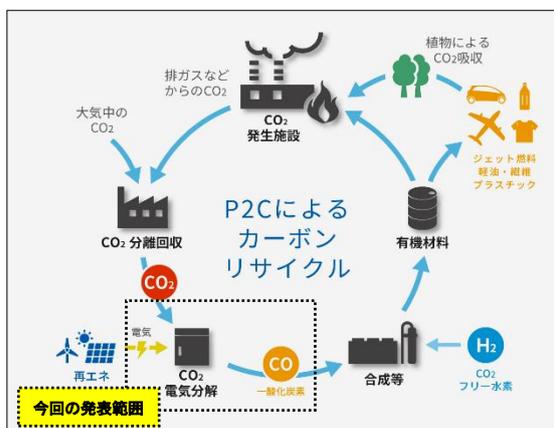
## 産業部門の脱炭素に資するPower to Chemical

### ◆産業部門の脱炭素化に貢献するPower to Chemical技術を東芝が開発

2021年3月、東芝は工場などから排出されるCO<sub>2</sub>ガスから基礎化学品であるCOを合成する実用的な技術を開発したと発表した。触媒を用いた電気化学反応によって、小型の電解スタックで、CO<sub>2</sub>を年間最大1.0トン処理できる。常温環境下のCO<sub>2</sub>電解技術としては世界最高の処理速度である。東芝は、自社の燃料電池技術を発展させた電気化学反応によるCO<sub>2</sub>の再資源化の技術を”Power to Chemicals (P2C)”と呼び、再生可能エネルギーによる電力の利活用を想定している。



年間1.0tCO<sub>2</sub>を変換可能なCO<sub>2</sub>電解スタック



Power to Chemicals(P2C)のプロセス全体のイメージ図  
(出所:東芝 プレスリリース 2020.12, 2021.3)

効率的にCO<sub>2</sub>を触媒と反応させる三相界面制御と、多孔質構造で触媒活性面積を拡大した構造制御の2つの技術の向上が開発の決め手となった。この開発により、例えば、ゴミ焼却施設の1日200トンのCO<sub>2</sub>ガスを、50mプール2つほどの面積の装置で回収できるようになる。同社では、冷却機構を付加し、スケールアップを図り、脱炭素化に貢献できる技術として、今後、発電所や工場などに展開していく予定である。

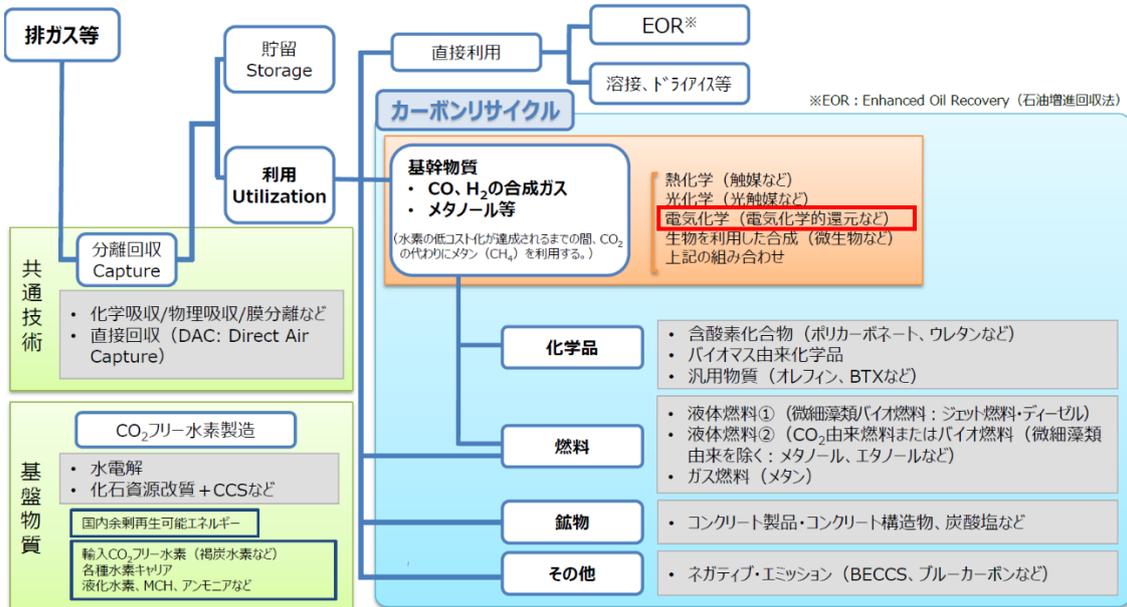
同社は、東洋エンジニアリング、出光興産、全日空などと協働して、工場設備の排出ガスから分離回収したCO<sub>2</sub>から“持続可能なジェット燃料”を合成する、カーボンリサイクルのビジネスモデルを検討すると20年12月に発表している。

### ◆CO<sub>2</sub>の電気化学変換はカーボンリサイクル技術の一つ

COは様々な化学品や燃料の基礎原料となる。経産省などが19年6月に策定した

## ハイライト

“カーボンリサイクル技術ロードマップ”において、CO<sub>2</sub>をCOに電気化学的に変換する技術は、CO<sub>2</sub>を利用する技術（CCU、カーボンリサイクル）の重要技術の一つと位置づけられている。



カーボンリサイクル技術ロードマップ

(出所：経産省・内閣府・文科省・環境省 2019.6)

### ◆ドイツではPower to X研究所を設立し、ゼロエミッション重要拠点に

再生可能エネルギーによる水素製造プラントの建築が進むドイツは、21年3月、ドイツ東部ブランデンブルク州にラウジッツPtX研究所を設立した。PtX（Power to X, P2Xとも表記）はP2Cなどカーボンリサイクル技術を含む上位概念である。PtXは、再生可能エネルギーによる電気分解で水から水素を還元し（グリーン水素）、他の有機化合物（燃料や化学品など）を合成する技術の総称である。EUでは、EUの50年ゼロエミッションに向けた複数のシナリオにおいて、PtX（P2X）を重要な技術として取り上げている。

同研究所では、PtXの基盤技術の蓄積と同時に、グリーン水素を利用した燃料製造の実証プラントを建設し、技術普及のための国際的拠点を目指す。グリーン水素利用技術は、電力、運輸、製造業などの産業界の各セクターで求められており、PtX技術者と産業界との対話の促進、あるいは世界の企業との共同研究も行う予定である。

また、ドイツは、同州コットブス市に19年に設立された気候変動コンピテンセンター（シンクタンク）とPtX研究所との連携を強化することで、エネルギー集約産業において気候変動対策が促進されることを目指す。 【新井喜博】

## 熱需要と火力発電のゼロエミ化が拡大

### ◆化石燃料の蒸気利用を伴わないプロセスへの転換

2021年2月26日、ノースカロライナ州立大学の研究チームは、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減できる効率的なスチレン製造方法を発表した。酸化還元触媒が、酸化塔と還元塔を循環する、ケミカルルーピングと呼ばれるプロセスの1種で、エチルベンゼンからスチレンへの酸化脱水素反応と、副生水素の燃焼による熱供給が、還元塔で行われる。触媒は、酸化塔で空気と反応して酸化し、還元塔で水素燃焼に必要な酸素を供給する。熱や酸素を供給するために多量の蒸気が必要となる既存プロセスと比較して、エネルギー消費量を82%、CO<sub>2</sub>排出量を79%削減できた。

21年3月24日、BASF、SABIC、Lindeは電気加熱式スチームクラッカー炉を開発・実証する共同契約を締結した。Lindeがクラッカー炉の開発を、BASFとSABICが全体プロセスの開発と運用を担当する。従来は化石燃料を使用するクラッキングプロセスを電動駆動とし、かつ再エネ電力を利用することで、従来のプロセスよりも90%のCO<sub>2</sub>排出量削減を目指す。

### ◆産業部門の熱需要や火力発電をゼロエミッション燃料で脱炭素化

国内の産業部門におけるエネルギー需要の6割は熱利用である。エネルギー、鉄鋼業、化学産業では多くの企業が自家火力発電設備を保有し、工場で使用する電力と熱エネルギーの両方を供給している。大型自家発電設備を保有する企業で構成される、大口自家発電施設者懇話会によると、会員各社の火力発電出力の合計値は、約18,000MWと、国内最大の火力発電会社であるJERAに次いで2番目の規模となる。火力発電のゼロエミッション化には、代替燃料への転換が必要であり、水素、アンモニア、バイオマス、CCUS付き化石燃料などが検討されている。

21年2月、経産省の燃料アンモニア導入官民協議会が中間報告書を発表した。火力発電へのアンモニアの直接利用によって、発電設備からのCO<sub>2</sub>排出抑制に大きな効果を期待できることや、アンモニアは水素よりもコスト面や運搬性に優れ、開発ステージが実証レベルまで進んでいることが示されており、主要なゼロエミッション燃料の筆頭として提唱されている。

## ハイライト

21年3月9日、東京ガスとLNG購入企業の15社は、CNL（カーボンニュートラルLNG）のアライアンスを設立した。CNLは天然ガスのライフサイクルで発生するCO<sub>2</sub>排出量を、森林再生などのクレジットの購入によって相殺し、燃焼させても地球規模ではCO<sub>2</sub>が増加しないとみなす。現在、LNGは石炭・重油よりも低炭素な燃料として需要が増加している。さらにCNLの概念を普及させることで、脱炭素社会においても、燃料としてLNGを使用できる環境を確保する狙いだ。

### ◆電力企業のゼロエミッション宣言、火力発電燃料はアンモニア・水素が本命

20年10月に菅内閣が示した、50年の脱炭素化方針を受け、電力・エネルギー企業におけるゼロエミッション宣言が相次いでいる。

21年3月23日、中部電力は、50年までに事業のCO<sub>2</sub>排出量ネットゼロを目指す「ゼロエミチャレンジ2050」計画を発表した。2月26日にはJ-POWER、関西電力、

中国電力が、20年10月にはJERAが、ゼロエミッション化目標を表明した。いずれも火力発電の代替燃料として、アンモニア・水素を中心に挙げており、JERAは30年までに石炭/アンモニア混焼の実証試験や本格運用を計画している。

企業	~2030年	~2050年
JERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非効率石炭火力の廃止</li> <li>・アンモニア：混焼実証⇒本格運用</li> <li>・水素：混焼実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CNG（クリーンLNG）活用</li> <li>・アンモニア：専焼化</li> <li>・水素：混焼率拡大</li> </ul>
J-POWER	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内石炭火力：老朽化したものから順次フェードアウト</li> <li>・低炭素化（バイオマス・アンモニア混焼等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素発電 実証/アップサイクル(ガス化炉)</li> <li>・CO<sub>2</sub>フリー発電</li> </ul>
関西電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゼロカーボン燃料（水素・アンモニア等）を使用した発電への移行</li> <li>・CCUS技術の活用</li> <li>・水素等の利活用に向けた「ゼロカーボン技術拠点化」の推進</li> </ul>	
中国電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非効率火力廃止</li> <li>・高効率石炭火力・バイオマス発電の活用</li> <li>・CCUS、IGFCの技術開発</li> <li>・水素・アンモニア燃焼技術の検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱炭素電源の活用</li> <li>・水素・アンモニア発電</li> <li>・IGFC+CCUS</li> <li>※IGFC：石炭ガス化燃料電池複合発電</li> </ul>
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゼロエミ火力（アンモニア混焼、水素混焼）の実証・本格運用</li> <li>・高効率CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究</li> <li>・CO<sub>2</sub>オフセット技術の活用</li> </ul>	

図表 電力各社の2050年ゼロエミッション化に向けた火力発電関連の取り組み  
出所)各社資料をもとにARC作成

### ◆火力発電をカーボンネガティブにするBECCS（CCS付きバイオマス火力発電）

アンモニアや水素の混焼によって火力発電のCO<sub>2</sub>排出量を削減する検討が進む中、CO<sub>2</sub>排出量がネットでマイナスとなる、BECCS（CO<sub>2</sub>回収・貯蔵機能付きバイオマス火力発電）への注目が高まっている。21年3月1日、英国電力会社のDraxはBECCSの建設計画を発表した。英国の既設石炭火力発電所を、バイオマス火力発電所に変更し27年に稼働する。同社によると、毎年数百万トンのCO<sub>2</sub>を大気中から除去する、ヨーロッパ最大の脱炭素プロジェクトとなるという。同じく3月、Microsoftは、米国カリフォルニア州とデンマークに、年間約30万トンのCO<sub>2</sub>を除去するBECCSの建設計画を発表した。

【塚原祐介】

## CO<sub>2</sub>排出ゼロの燃料アンモニア導入への期待

### ◆脱炭素燃料としてのアンモニアの活用技術開発

2021年2月、経済産業省の燃料アンモニア導入官民協議会が、アンモニアを脱炭素化のための燃料として導入、活用拡大するため、技術的・経済的な課題とタイムラインを、「中間とりまとめ」として発表した。

アンモニアを燃料利用する技術は、14～18年に実施された内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）において開発された。このプログラムは海外で生産された水素を運搬するためのキャリアとしての液化アンモニアの有用性を研究する一方で、アンモニアの燃焼の安定化、燃焼時の窒素酸化物発生抑制技術、ガスタービン・石炭混焼ボイラ・工業炉などにおける燃焼技術などを開発し、アンモニアを水素に再転換せずに直接燃料として活用できる可能性を示した。

特に注目されたのは、石炭火力発電において混焼する技術である。アンモニアは燃焼してもCO<sub>2</sub>を排出しない。SIPでは、アンモニア20%混焼（エネルギーベースでの20%）で、CO<sub>2</sub>排出量を20%削減できることが確認された。アンモニアは火力発電の脱炭素化に貢献する新たな燃料として期待されている。

### ◆燃料アンモニア導入、拡大への取り組みの方針

「中間とりまとめ」では次の4つの視点で、燃料アンモニア導入・拡大に向けての方針が、現状分析を踏まえて整理されている。

#### (1) 安定的な供給量確保

現状では世界のアンモニア生産量は年間2億トン（19年）で、肥料用途や工業用途の原材料として利用されている。ほとんどが地産地消され、貿易量は約1割（約2,000万トン）に過ぎない。仮に、日本国内の大手電力会社のすべての石炭火力でアンモニアの20%混焼を実施した場合、年間約2,000万トン消費し、世界の貿易量と同量が必要になる。

よって、原材料用途とは別に燃料アンモニア市場を形成する必要がある。コスト競争力を持たせるために、北米、中東、豪州などの生産適地にプラントを新設

## ハイライト

して輸入することを検討する。長期的には燃料アンモニアが海外でも普及すると想定し、1億トン規模(うち日本向け輸入は3,000万トンの想定)の日本企業による調達サプライチェーン構築を目指す。そのための生産国と日本企業の連携支援、輸送に関わる港湾整備、ファイナンス支援などの環境整備を政府が進める。

### (2) コスト低減

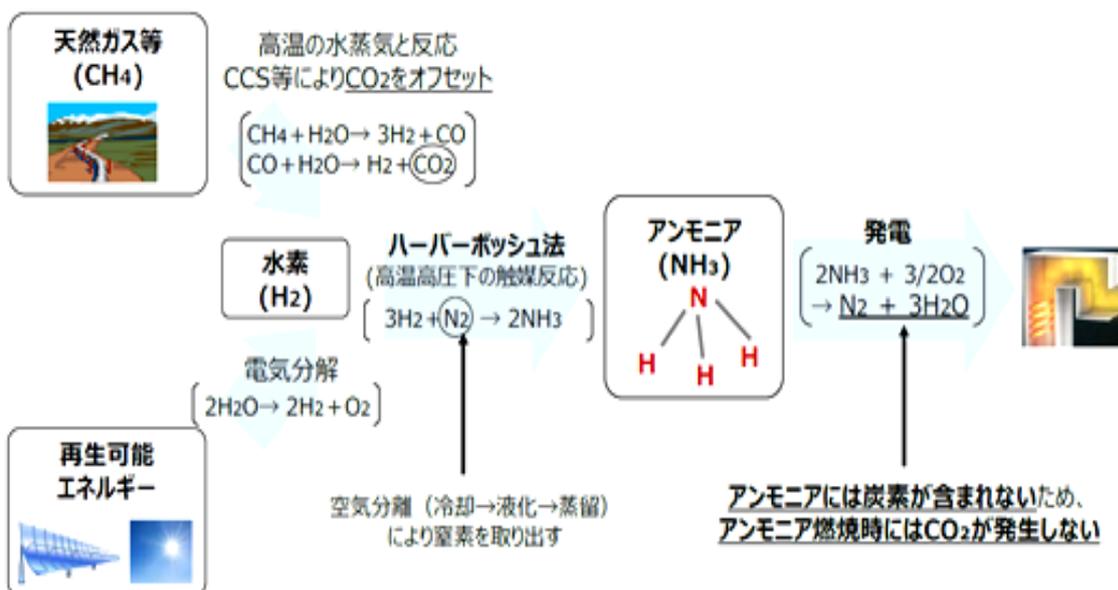
アンモニアは原材料市場ですでに生産、輸送実績があるため、その実績を参考にコスト試算ができるメリットがある。18年時点の試算発電コストは、20%混焼では12.9円/kWhで、20年12月の石炭火力の発電コストより約1割高い程度であるが、アンモニア専焼となると23.5円/kWhと倍以上と差が大きい。短期的には現製造技術、輸送技術での効率化によるコスト低減を目指すほか、50年に向けては、再エネを利用して電気化学的にアンモニアを生産する新技術の開発も行う。

### (3) 環境配慮(脱炭素化の優先順位)

火力発電設備については、50年に向けてアンモニア専焼の実現を目指す。まずは、SIPにより基礎技術が確立しており、設備変更費用も抑制できる20%混焼を20年代後半に導入していく。

現在、アンモニアは主として天然ガスなどの化石燃料から製造され、製造時にCO<sub>2</sub>が発生する。燃料アンモニアは生産時からCO<sub>2</sub>フリーであることが望ましいが、活用拡大を優先し、当面はCO<sub>2</sub>フリーではないアンモニアでも利用する。

### 【燃料アンモニア製造～発電】



(出所: 第2回 燃料アンモニア導入官民協議会資料「燃料アンモニアに関する検討状況」 資源エネルギー庁)

## ハイライト

長期的には、CCS（二酸化炭素回収・貯留技術）やEOR（油田の残存原油をガス圧入で回収率を上げる技術）の技術確立、導入によるブルーアンモニアの生産体制確立を目指す。また豪州などの再エネ適地では、再エネから作られたCO<sub>2</sub>フリーの水素を原料とするグリーンアンモニアの製造計画を進める。

また輸送時の脱炭素化のために、燃料アンモニアを船舶燃料とした液化アンモニアガス運搬専用船が、28年までに商用化を目指して開発されている。

### （4）海外展開

石炭火力発電の割合が高い東南アジア諸国を中心とする海外にも燃料アンモニアの技術やノウハウを展開し、世界の脱炭素化に貢献する。海外でも適切なアンモニア混焼技術が導入されるように、日本が主導して国際的な標準や基準を策定する。そのために、クリーン燃料アンモニア協会（CFAA、旧グリーンアンモニアコンソーシアム）内に標準・基準の専門ワーキンググループを立ち上げて検討し、その後ISO（国際標準機構）で国際標準化を進める。

### ◆20年代後半の商用化への期待

23年までに石炭火力実機での混焼実証、燃料アンモニア供給拡大に向けてのフィジビリティスタディなどの実証段階が終わり、20年代後半に商用化に入る。

燃料アンモニア導入官民協議会は、今後は半年に1回程度開催され、進捗を確認し、計画内容を修正しつつ推進することになっている。 【石井由紀】

燃料アンモニア導入官民協議会「中間とりまとめ」具体的取組内容概要

	2030年まで	2050年まで
発電部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>●20年代後半、石炭火力への混焼技術(20%)実用化</li> <li>●ガスコンバインド発電への混焼技術実用化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●アンモニア専焼技術実用化 (発電用途、工業炉用途、コージェネレーション)</li> </ul>
船舶部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>●アンモニア燃料船商用化（～2028年）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●長距離船での一般利用</li> <li>●アンモニア燃料補給体制確立</li> </ul>
供給事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>●製造技術の効率化によるコスト減</li> <li>●貯蔵・輸送技術、体制整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●アンモニア新合成技術開発</li> <li>●ブルーアンモニア、グリーンアンモニア製造</li> </ul>
環境整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 制度整備</li> <li>●アンモニアの燃料用途としての国内法整備 燃料アンモニアの国際標準・基準策定（燃料アンモニアの仕様、燃焼時のNO<sub>x</sub>排出基準など）</li> <li>●港湾、海運の環境整備</li> <li>(2) ファイナンス等支援強化 JBIC(国際協力銀行)、NEXI(日本貿易保険)活用</li> <li>(3) 国際連携 産ガス国・再エネ生産適地（北米・豪州・中東）と日本とアジアの潜在的需要国の連携</li> </ul>	

(出所：経済産業省HP「燃料アンモニア導入官民協議会 中間取りまとめ（2021年2月）」よりARCまとめ)

## グローバルな競争、協力が加速する水素産業

### ◆水素・燃料電池戦略協議会、今後の方向性について中間整理

経済産業省の水素・燃料電池戦略協議会は2021年3月、水素政策の方向性議論の中間整理をまとめた。20年12月のグリーン成長戦略では、水素産業は洋上風力などとともに重点14産業の一つに位置付けられており、2～3月には29社・団体からのヒアリングが行われた。日本は世界に先駆けて燃料電池自動車（FCV）や定置用燃料電池（エネファーム）を実用化してきたが、欧州はじめ世界各国が水素産業の発展を目指している。中間整理は、日本で進められる個別の取り組み間の連携を促し、相乗効果を出す必要があると指摘している。

協議会でのヒアリング先（左欄は協議会開催月日）

2/ 9	パナソニック、JERA、三菱パワー、日本製鉄
2/19	電気事業連合会、東京ガス、大阪ガス、川崎重工業、千代田化工、三菱ケミカル
3/ 2	旭化成、日立造船、神戸製鋼所、東レ、東芝エネルギーシステムズ、丸紅
3/ 4	日本郵船、日本政策投資銀行、三井住友銀行、福岡県、水素バリューチェーン推進協議会、神戸・関西圏水素利活用協議会、中部圏水素利活用協議会
3/ 5	日本水素ステーションネットワーク、トヨタ自動車、本田技研、日野自動車、ENEOS、岩谷産業

### ◆欧州の水素利用は産業需要と商用車、日本は自動車と発電

日本と欧州の水素戦略を比較すると、水素製造について、欧州では再エネによる水分解で製造された水素のみをクリーン水素とするのに対し、日本は再エネ水素に加えて、化石資源由来で炭素回収・利用・貯留（CCUS）を組み合わせる製造された水素も含めて、クリーン水素として扱っている。

また、水素利用について欧州は、20年代は石油精製や化学産業など既存水素需要の再エネ由来水素への置き換えからスタートし、輸送用途ではバスやトラックなど商用車での利用を優先する。一方、日本では20年代後半に水素の大量供給システムを確立し、発電用途に取り組むとしている。さらに、水素の輸送に関しては、欧州では既存のガスパイプラインの活用が見込める一方、日本は海外からの大量海上輸送や国内水素ステーションの整備に力点が置かれている。

日欧の水素戦略の力点比較

	日本	欧州
水素製造	再エネ水電解、化石由来+CCUS	再エネ水電解
水素輸送	海上輸送、水素ステーション	パイプライン
水素利用	自動車、発電	既存産業需要の置換、商用車

◆水素の大規模社会実装には、海外からの水素輸入が不可欠

水素を社会実装していくには、水素コストが課題となる。水素を製造する水電解装置には、高効率、低コストで大型化が容易なアルカリ形と、小型化しやすく負荷変動への対応・調整力があるPEM形がある。出力変動があり、小規模分散な再エネ利用の場合はPEM形、大規模で安定した再エネ資源であればアルカリ形といった水素利用とコストのバランスが考えられる。

再エネは、日本では小規模でコストが高いが、海外の水力や地熱、太陽光などが豊富などところでは化石資源以下のコストが実現しつつある。そうした再エネ資源国に日本の水素製造技術を持ち込み、低コストの水素を大量輸入することで、日本国内の発電用途など大規模な社会実装につなげる道筋も示されている。



- ダークブルー  
：水素供給が不足するエリア
- ライトブルー  
：低コストで水素生産が可能
- グリーン  
：再エネ資源が豊富なエリア

(資料) HYDROGEN STRATEGY FOR CANADA (2020.12)

◆ENEOSや岩谷産業などが中東、東南アジア、オーストラリアで協業

ENEOSは21年3月、サウジアラムコとの水素サプライチェーン構築に向けた協業を発表した。LNGなど化石資源からの水素製造、製造時に発生するCO<sub>2</sub>の回収・貯留、アンモニアやMCH（メチルシクロヘキサン）などをキャリアにした海上輸送形態などをフィージビリティスタディ（FS）する。1月には、マレーシアで水力発電による水素製造、MCH変換後の海上輸送についてもFSを始めている。

また、川崎重工業や岩谷産業などは3月、オーストラリアで褐炭から水素を製造、液化するプラントが運転を始めたと発表した。褐炭から出る炭素の回収、貯留はオーストラリア政府が進め、日本側は液化水素を神戸まで海上輸送する。

中東やオーストラリア、東南アジアとの水素における協力が、新たな資源・エネルギー外交として注目されるかもしれない。

【長谷川雅史】

## 核融合発電は炭素中立の切り札となるか

### ◆100年前に提案された核融合発電の原理と現状

1920年、英国の物理学者エディントン博士は、太陽の輝きは核反応による、と考えた。水素の原子核同士が融合してヘリウムの原子核となる際の質量欠損をアインシュタインの公式「 $E=mc^2$ 」によってエネルギーに変換すれば、太陽を光り輝かせることができる、との仮説を立てた。この推測は正しく、その後の核融合利用の原理となった。

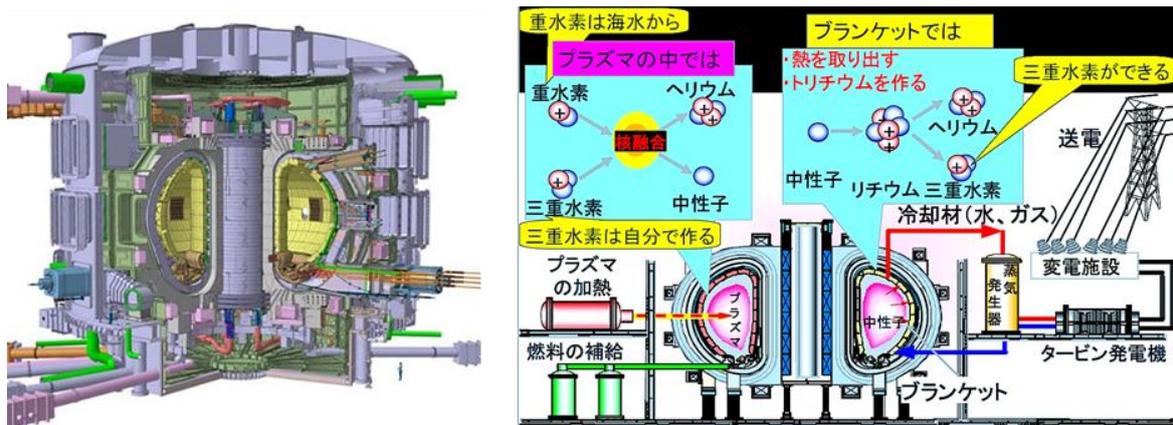
核融合発電とは、プラズマ状態となった重水素や三重水素などの同位体水素による核融合を人工的に作り出す技術である。水素を高温にすると、原子核（正電荷イオン）から電子（負電荷）が分離してプラズマとなる。さらに温度が上昇して原子核イオンが素早く動くようになると、静電力に打ち勝った原子核同士が融合する距離にまで近づく。その結果、エネルギーが放出される。5,000万℃の極高温と $10^{20}/\text{m}^3$ の高密度のプラズマ状態を1秒以上、安定維持し（ローソン条件）、核融合によって放出される熱量が、プラズマに注入されるエネルギーを上回ることができれば、発電設備となる。燃料である同位体水素の入手は比較的容易であり、核融合発電が実現すれば、継続的な経済成長に伴うエネルギー需要を満たすことができる。また、運転時に温暖化効果ガスを排出しないため、従来の発電方法に比べて環境負荷を大幅に軽減できる。さらに、核分裂発電のような危険性はなく、故障があれば、速やかに設備を停止できる。

旧ソ連によるトカマク炉の開発のブレークスルーを受けて、核融合発電の研究は70年代の「ビックサイエンス」となった。現在では、EU、米国、ロシア、中国、日本を筆頭に、ブラジル、カナダ、韓国などでも研究が行われている。発電炉の構造材料や設計には極めて難度の高い工学的課題が多く、巨額な費用を分担するための国際的な協力体制も構築されているが、実現には、常に「あと10年」と言われ続けてきた。ところが、ここ数年で欧米を中心に40から50社の核融合関連の企業が生まれつつある。特に、北米では、数億ドルの投資を受けたベンチャー企業が、米国政府や大学との協業の下で、開発を加速している。

◆核融合発電の技術体系

核融合発電の現在の技術水準では、重水素（D）とトリチウム（T）の2つの同位体水素を利用する。核融合炉内で生じる、D-T核融合反応で発生した中性子が、炉心を囲むブランケットに吸収される。このとき、ブランケットは、中性子の運動エネルギーを吸収することで加熱される。ブランケット内を流れる冷却材（水、ヘリウム、リチウム鉛共晶）によって熱エネルギーが回収され、従来型の発電機によって電力が得られる。

重水素は30g/m<sup>2</sup>の濃度で海水中に存在し、他のエネルギー燃料に比べて豊富な資源である。一方、トリチウムは、半減期が約12年と比較的に短期間で消滅する放射性物質であるため、自然界には微量しか存在しない。そこで、リチウムと中性子との核反応によってトリチウムが得られることを利用し、ブランケットにリチウムを含ませることで、燃料を自己完結的に製造する方法が検討されている。

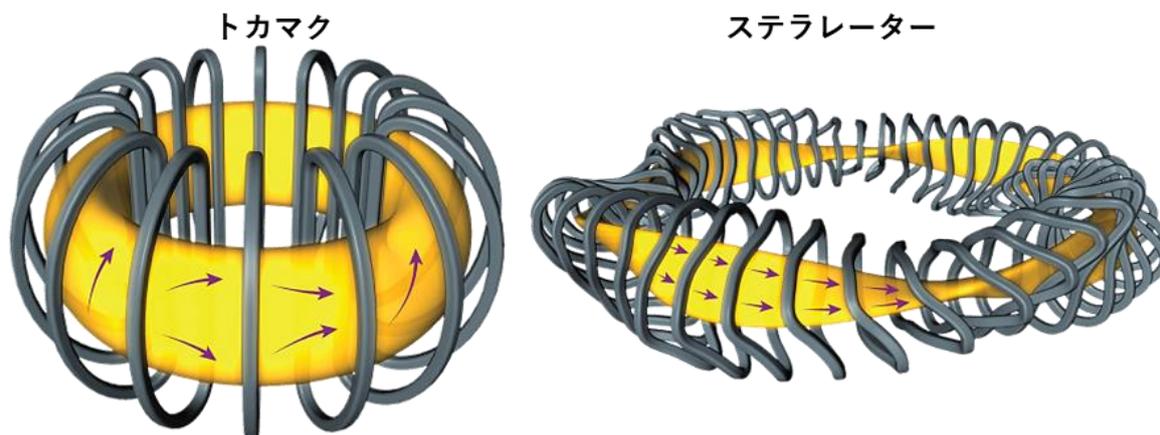


左図：トカマク核融合炉「ITER」のモデル図。中央の黄色部でプラズマを生成する。  
 右図：水素プラズマ中の核融合によって中性子が生成し、ブランケット内で中性子の運動エネルギーを熱に変換し、リチウムとの核反応でトリチウムを再生する。  
 （量子科学技術研究開発機構のHPから引用）

核融合炉の設計思想は、プラズマの封じ込めの方法によって、磁場閉じ込め、慣性閉じ込め、磁化標的核融合に分類される。

磁場閉じ込め方式では、ドーナツ型に配置された電磁石を用い、ループ状の磁場によってプラズマを数気圧の圧力で閉じ込め、核融合温度まで加熱する。プラズマ自体は高温となるが、磁場によって原子炉の壁面には接触しない。磁場の形状や方向によって、トカマク、ステラレーター、逆磁場ピンチの設計が開発されている。トカマクでは、炉の周囲に等間隔で配置されたコイル群でドーナツ型磁場が形成される。最も有望な設計であり、世界各地でトカマクの研究が行われて

いる。ステラレーターでは、らせん状の磁場を用いている。炉と電磁石の形状が複雑なため、トカマクに比べて設計・製作が非常に難しいが、燃焼プラズマの制御と監視が容易であり、定常状態での連続運転が可能である。逆磁場ピンチは、トカマクに類似する配置であるが、ドーナツの中心と外側で逆向きの磁場分布を用いる。磁場符号の空間分布が逆転することで、プラズマ電流が強力となる。



磁場閉じ込め方式における電磁石の配置（灰色）、プラズマの分布と流れ（黄色）。逆磁場ピンチは、トカマクのドーナツの中心と外側で逆向きの磁場分布を用いる。  
(Simmons Foundation Annual Report 2019より引用)

慣性閉じ込め方式は、新しい研究分野である。直径数ミリのD-T混合燃料のペレットの表面にレーザーやイオンビームを照射し、内層部が圧縮されて加熱されることを利用する。ペレットの中心部は液体密度の1,000倍にまで圧縮され、核融合が生じ得る状態となる。一度、核融合が始まると、放出エネルギーによって周囲の燃料が加熱され、さらに核融合を起こし、ペレットの中心から外側に向かって連鎖反応が広がる。大阪大学が行った最近の研究によれば、高さ1ミリの円錐形に圧縮された燃料に高強度のレーザーパルスを照射することで、より低温での連鎖反応が可能になることが報告された。燃料圧縮と連鎖反応発生とを分離できれば、より実用的なプロセスとなることが期待される。

磁化標的核融合は、慣性核融合の圧縮型加熱と磁場によるプラズマ閉じ込めを組み合わせた方法である。レーザー、電磁氣的、機械的な手段で圧縮加熱を複合的に行い、適切なプラズマを形成して核融合条件まで加熱する。磁場閉じ込め方式に比べてプラズマの閉じ込め時間や圧縮速度の条件を緩和できるため、低コストでシンプルな方法となるものと考えられている。米国のロスアラモス研究所やカナダのGeneral Fusion社などで検討が進められている。

核融合発電の研究開発例（各種資料よりARC作成）

研究・実験炉の名称	運営機関	核融合の方式	経緯、現状、予定
ITER	中国、インド、日本、ロシア、韓国、米国、EUによる国際連携	次世代トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・88年より設計開始、13年より建設開始、計220億ドルを投資。</li> <li>・25年に水素-水素燃料、35年にD-T燃料での核融合実験を予定。</li> <li>・50M W の投入電力で500M W -400秒の連続プラズマ発生を目指す。</li> </ul>
JET	欧州共同体が建設、英国が運営中	トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITERの準備設備として、78年から計画開始。</li> <li>・91年にD-T燃料で核融合電力を生成、20年から追試中。</li> <li>・24M W の投入電力で16M W -1秒のプラズマ生成の実績あり。</li> </ul>
KSTAR	韓国・核融合研究所	トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITERのサテライト研究設備として建設。</li> <li>・08年に初のプラズマを生成、20年に1億℃で20秒以上のプラズマ運転に成功。</li> <li>・23年より原型炉の先行試験を予定（D-T燃料は使用せず）。</li> <li>・ITERの次の商業発電炉となる計画。</li> </ul>
K-DEMO tokamak	米国・プリンストンプラズマ物理研究所と韓国・核融合研究所による協同研究計画	大口径トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1G W の出力で数週間の連続運転を目指す。</li> <li>・9.4億ドルを投資し、37年から初期運用の予定。</li> <li>・高温超電導磁石による小型化技術を開発。</li> </ul>
ST25 HTS, ST40	英国・Tokamak Energy社	球形トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・15年に初号機「ST25 HTS」で29時間の連続プラズマ発生を実現。</li> <li>・19年に2号機「ST40」で1,500万℃のプラズマ温度を達成。</li> <li>・2030年までに電力供給の商業化を予定。</li> </ul>
ALCATOR	米国・マサチューセッツ工科大学	高磁場トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・93年から16年まで小型炉を稼働。</li> <li>・16年に4M W の投入電力で3,500万℃のプラズマを2秒間維持。</li> <li>・21年から次世代実験炉を建設予定。</li> </ul>
EAST	中国・科学院合肥物理科学研究所	超電導トカマク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・18年に5,000万℃の水素プラズマで102秒を維持。</li> <li>・18年に1億℃の水素プラズマで10秒を維持。</li> </ul>
Large Helical Device	日本核融合科学研究所	ステラレーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・98年に初回プラズマを生成、大型核融合炉と同等のプラズマ閉じ込め特性を実現。</li> <li>・約1億6000万度の温度、144M Jのプラズマ蓄積エネルギーを達成。</li> </ul>
Wendelstein 7-X	独逸・マックスプランク研究所	ヘリカル型ステラレーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・16年に2M W の投入電力で8,000万℃のプラズマを0.25秒間維持。</li> <li>・将来は30分の連続運転を計画。投資額は10億ユーロ。</li> </ul>
General Fusion	カナダ・General Fusion社	磁化標的核融合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・02年に設立、計1億ドルの投資を獲得。</li> <li>・300eVのプラズマを生成し、0.5秒の封じ込めに成功。</li> </ul>
National Ignition Facility	米国・ローレンスリバモア国立研究所	レーザー慣性閉じ込め	<ul style="list-style-type: none"> <li>・12年に1.85M Jの紫外線レーザー光を直径2mmの燃料ターゲットに照射。</li> <li>・13年に核融合による発生エネルギー量が、燃料に吸収される量を上回る。</li> </ul>
LPP Fusion	米国・LPP Fusion社	高密度プラズマ集中法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素-ホウ素燃料による非中性子系核融合を開発。</li> <li>・400keVの電子エネルギーの取り出しに成功。</li> </ul>

◆国際連携による大型実験炉の開発状況

2020年12月、英国のトカマク核融合実験炉「JET」で、トリチウム燃料を用いた実験が開始された。さらに、21年6月には、D-T混合燃料による実験も予定されている。トカマクによるトリチウム実験の実施は、実に1997年以来である。JETは、国際連携実験炉「ITER」の1/10の規模の準備設備であり、過去の実験では、24MWの投入電力から最大で16MW、持続的に5MWの核融合出力が得られた。今回の一連の実験では、核融合出力を5秒以上持続させることを目標としており、結果は、ITERのプラズマの挙動を予測し、運転設定を行うために活用される。

ITERは、中国、インド、日本、ロシア、韓国、米国、欧州連合の7つの加盟国が協定し、220億ドルを投じてフランスのカダラッシュに建設された、世界最大の核融合炉である。13年から建設が始まり、18年から水素のみを用いた低出力での実験が開始される予定であったが、25年に延期された。D-T混合燃料による実験は、35年から行われる予定である。50MW以下のプラズマ加熱の電力入力で500MWのプラズマ熱出力を少なくとも400秒間連続で運転することを目標としている（電力は発生しない）。ITERの連携国として、日本は多くのハイテク部品を提供し、量子科学技術研究開発機構が、約10億ユーロの材料試験施設を建設した。

また、三菱重工業が、ITER用の世界最大規模の超伝導磁場コイルの初号機を完成させ（20年2月）、NTTが、ITER協定国の30ヵ所の実験設備を次世代光通信基盤で接続・制御する計画を発表した（同5月）。

さらに、核融合による発電を実証するための、「Demo」と呼ばれる2GWのプラントが期待されている。コンセプト設計は17年に完了しており、24年頃に建設を開始する予定であったが、実際には40年以降に延期された。

### ◆各国独自による要素開発の状況

20年12月、中国が開発する、次世代トカマク型研究装置「中国還流器2号」が完成し、初の放電に成功したと発表された。また、同国は、ITERに必要な電磁石支持体、補正コイルシステム、ガス注入システムなどの大型部品の開発を受け持ち、20年2月には、超電導磁石や補正コイルがITERに納品されている。

20年11月、韓国は、実験炉「KSTAR」による、1億℃の高温プラズマの20秒以上の連続運転に成功した。過去の記録を2倍以上、上回る実績であり、25年には、300秒以上の運転記録を目指す。

過去にトカマク装置の運転実績を持つ日本では、次世代機である「JT-60SA」が20年を完成させており、21年3月には、コイルの通電実験に成功している。

### ◆民間企業やベンチャー企業による小型核融合炉の開発状況

20年12月、米国前政権は核融合の開発支援の予算案に署名し、3.25億ドルの財政支出を投入し、国の研究機関と民間の企業による協力体制「INFUSE Program」の認可、および、大規模システム建造の支援などをエネルギー省に指示した。

21年1月、カナダの核融合炉の開発企業であるGeneral Fusionは、ネット通販企業のShopifyの創設者による資本参加を発表した。同社には、AmazonのBezos会長からも10年前に投資がなされており、19年時点での調達額は計1億ドルに達している。General Fusionは、米国海軍研究試験所が提唱した、磁化標的核融合法を開発している。適度に加熱されたプラズマを容器に封じ込め、磁場を高速で圧縮することで超高温に昇温し、核融合を引き起こす方法である。

21年3月、米国のCommonwealth Fusion Systemは、高温超電導体による小型の電磁石を用いた原子炉の建設を21年内から開始すると発表した。同社は、

MicrosoftのGates氏の投資会社から2億ドル以上の資金を得て、3年前に設立されたベンチャー会社である。ITERの炉の重量が5,000トンであるのに対して、同社では、10トンの電磁石による設計を進めている。また、英国のTokamak Energyも同様に高温超電導体を用いた開発を行っている。

21年3月、米国のマサチューセッツ工科大学が、同国のエネルギー省傘下のプリンストンプラズマ物理研究所と協力し、次世代実験炉を6月から建設する、と発表した。同大学では、Commonwealthと連携しつつ、やはり、高温超電導体磁石を用いたトカマク型の最適化設計を行っており、エネルギー増倍率は2～10倍となると見込んでいる。

D-T核融合で放出されるエネルギーは17.6MeVであり、ウラン235の核分裂による200MeVと比べて出力密度が低い。そのため、核融合炉は核分裂炉よりも大型で、コストが高くなることが課題であった。これに対して、上述の3社は、新たな設計技術に挑戦し、ITERよりも桁違いに少額の投資で、25年という早期での商用運転開始を目標とする開発を進めている。

#### ◆核融合発電の課題と期待

本稿で述べたように、核融合発電が実用化されれば、エネルギー経済的に大きな意義があるが、環境面でのリスクは皆無ではない。

核融合炉の運用においては、長寿命の放射性物質は発生しないが、構造材料の放射化による短中期的な放射性廃棄物が発生する。高エネルギー中性子の照射に起因し、一部の構成材料が原子炉の寿命期間中に放射性物質となり、最終的には放射性廃棄物となる。長期的な放射性毒性は核分裂燃料よりも低いが、核分裂炉の構造材廃棄物と同様に取り扱われるものと予想されている。

また、核融合燃料の一種である、トリチウムは放射性物質であり、封じ込めが難しい。水素の同位体であるため、水に溶解しやすく、仮に事故などで高濃度のトリチウムが外部に放出されると、約125年間、環境や健康への影響が残る。この理由から、長期的には、トリチウムを使わない重水素-重水素の核融合発電が期待されている。

100年前にエディントン博士から提出された宿題を解決し、核融合発電が炭素中立の切り札として社会実装される日を期待したい。 【酒向謙太郎】

## 航空機エンジンの金属疲労破壊と新技術

### ◆航空機のエンジントラブルが頻発、同型機の運航を禁止

2021年2月20日、ユナイテッド航空のボーイング777のジェットエンジンが、デンバー空港離陸後に炎上し、エンジンカバーなどの部品が住宅街に落下する事故が発生した。航空機は幸いにも無事に緊急着陸ができたが、類似の事故が最近頻発していることが明らかになった（表）。短期間に同じメーカーのエンジン搭載機で発生した事故のため、各国は同型エンジン搭載機の運航を禁止した。日本では全日空と日本航空の32機が対象だ。B777にはゼネラルエレクトリック（GE）、ロールスロイス製のエンジン搭載機もあるが、これらは運航禁止の対象外だ。

表 最近発生したエンジントラブルの事故 出典；各種資料を元にARC作成

航空会社	日本航空	ユナイテッド航空	ロングテール・アビエーション
事故発生日時	2020年12月4日	2021年2月20日	2021年2月20日
航空機	B777	B777	B747貨物機
事故の状況	那覇離陸後異音と振動、エンジンが破壊し翼にも傷発生、重大インシデントに指定される	離陸直後エンジンから出火、部品多数落下、むき出しに	離陸直後エンジン発火、部品落下
エンジン	プラット&ホイットニー（P&W）製PW4000		

### ◆エンジントラブルの要因はブレードの破壊と判明

ジェットエンジンは前方のブレードが回転して空気を取り込み、圧縮・燃焼して後方に排気することで大きな推進力を得る（図1）。ユナイテッド航空の事象では、タービンブレードが破壊していることが明らかになった（図2）。ブレード破壊の最も多い例は

エンジンに鳥が飛び込む、いわゆるバードストライクによるものだ。いかに小さな鳥でも高速で回転

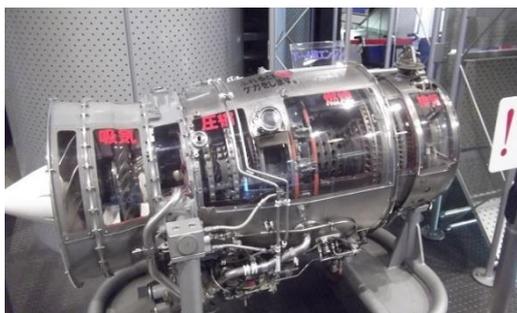


図1 ジェットエンジンの構造  
出典；陸上自衛隊浜松基地で撮影



図2 破壊したブレード  
出典；NTSB

しているため深刻な損傷を与えうる。09年に発生した「ハドソン川の奇跡」として知られる例では、離陸時に鳥の群れに遭遇し、バードストライクで両エンジンが同時に停止した。当該機は川に不時着し全員救助された。バードストライクの場合は羽や血液などが付着するが、B777の一連の事故では確認されなかった。

◆米運輸安全委員会が、ブレードの損傷は金属疲労破壊が一因と公表

3月5日、米運輸安全委員会（NTSB）は、ユナイテッド機の事故の一因が金属疲労であることを中間報告で発表した。通常金属疲労による破断面には、電子顕微鏡で縞模様が見られる（図3）。縞の数が変形を受けた回数になる。ユナイテッド機の場合、破断面に金属疲労の特徴が見られた。

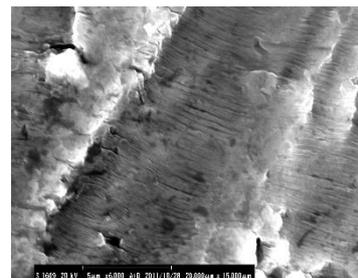


図3 金属疲労の破断面にみられる縞模様  
出典：労働安全衛生総合研

ジェット機開発の黎明期において金属疲労破壊は大きな問題だった。初期のジェット機コメットは、与圧減圧を繰り返すことで金属製のボディーの窓枠から亀裂が進行して、空中分解事故が頻発した。今回のエンジン事故で金属疲労破壊が重なった要因は何か、解明と対策が待たれる。

◆金属疲労破壊を防ぐための新技術、新素材の開発が進む

ブレードは飛行時に高速回転するため、特に金属疲労破壊は深刻な問題だ。GEの関連会社は、電子ビーム方式3Dプリンターでブレードを製造している。アルミ合金よりも軽いチタン合金の使用が可能であり、回転時の負荷も小さくなる。ブレード内部は中空構造であるため亀裂は一気に進む。しかし3D法で金属粒子を熔融造形し、内部を網目構造にすれば亀裂の進展阻止に効果的だ。

しかし金属を使う以上、疲労破壊が避けられない。金属代替として炭素繊維強化樹脂が航空機のボディーなどに使用されているが、エンジン内部では高温になるため使用できない。そこで日本発の新素材である炭化ケイ素（SiC）繊維が注目されている。SiC繊維はニッケル合金と比較して重さが3分の1と軽く、強度は2倍で、耐熱温度も最大2,000℃と高い。GEが開発したエンジンの高圧タービンには、SiC繊維とセラミックスの複合材が使われ破断には強くなった。エンジンの事故は人命がかかわるだけに新技術、新素材の展開が期待される。【松田英樹】

## ロボット開発は人間らしさを追求へ

### ◆「ロボット新戦略」の5年間でさまざまな分野でロボットが業務を支援する

経済産業省は2015年から20年までの5年間、総額1,000億円規模のプロジェクト「ロボット新戦略」において、幅広い分野で「導入実証」「市場化技術開発」「次世代技術開発」を行ってきた。AIの進化に伴い自律走行、自動運転技術を有したロボットが開発され、さまざまな専門業務を支援できるようになった。ロボット開発は、脳科学の技術革新と心理学の膨大な研究成果を取り込み、人間の気持ちを理解し共感できるような心の機能を持つ次世代AIの段階に入った。

### ◆「第9回ロボット大賞」の受賞ロボットが決定した

21年3月11日、経済産業省や日本機械工業連合会などが共催する「第9回ロボット大賞」が発表された。ロボット技術の発展・活用の拡大などを促すため、特に優れたロボットやソフトウェア、先進的活用、研究開発、人材育成などを表彰する制度である。第9回には131件の応募があり、その中から15件が大賞を受賞した。中小・ベンチャー企業賞を受けたDoogの協働運搬ロボット「サウザー」シリーズは、従来のAGV（Automatic Guided Vehicle）と同様ライン走行に加え、自動追従機能とメモリトレース走行機能を備えた製品である。自動追従走行では、前を歩く人をLiDAR<sup>1</sup>により追尾しながら走行する。障害物を回避しながら、どこでも作業者に付いていくことができ、複数の「サウザー」を連なって走行させると、簡単に運搬量を増加できる。さらに、メモリトレース走行機能は、追従した経路を記憶し、トレースすることで自律走行が可能である。これまで自動走行ロボットを導入できなかったような、頻繁に運用場所が変わる場合でも導入できる。狭い場所での稼働や人を見分けて追従でき、人



図1. 協働運搬ロボット「サウザー」

出典: <https://robotaward.jp/winning/index.html>

<sup>1</sup> LiDAR: Laser Imaging Detection and Ranging 「レーザー画像検出と測距」

間のように、譲り合い衝突を回避し走行する機能面と、ユーザーに合わせたカスタマイズを複数の企業と連携して実施する体制が評価された。

◆理化学研究所は人を「さりげなく」支援できるロボット開発をスタートさせる

21年3月26日、理化学研究所は「ガーディアンロボットプロジェクト」シンポジウムをオンラインで開催し、4月から新たな組織として推進していくことを発表した。プロジェクトは6チームで構成されており、インタラクティブロボット、感覚データ認識、知識獲得・対話、心理プロセス、動作学習、人間機械協調をそれぞれ研究する。AIやロボティクスの専門家はもちろんのこと、脳科学や心理学といった人文系の専門家を含めた領域横断チーム構成である。

ガーディアンロボットは、人間と生活を共にし、表情や動作を認知することで、人間の行動を予測して、「さりげなく」支援できるロボットを目標としている。

一緒に生活する老夫婦の生活状況を把握し、運動不足と認識すると、ロボットが散歩に行きたそうな雰囲気を出して、散歩に連れ出すように、支援された人が、主体的な感覚を得られるコミュニケーションが提供される。また、対話記録や個人の過去エピソードを踏まえて日常会話ができ、高齢者が忘れた名前や出来事、知識などをさりげなく思い出させることにより、思い出せないことによる自尊心低下がない、楽しく前向きな暮らしを可能にする。「さりげない」ロボットの実現にあたっての大きな壁は、対話相手の人間の意図を認識し、共感できていない点であり、そこに、脳神経科学や心理学の知見を取り入れる。人間は、自分が行為を実施するときにも、他者の行為を観察するときにも、ミラー・ニューロン<sup>2</sup>と呼ばれる神経基盤が活動することが、心理学的知見として知られており、他者の行為の意味や意図の理解との関与が示唆されている。また、会話相手の表情を作る場合では、脳活動のパターンが違うことも知られている。このように、心理プロセス研究チームでは、他者の表情筋の状態画像をAIアルゴリズムで分析し、感情を認識するモジュールを開発する。ロボットに五感を実装し、人間の感情を慮る感情コミュニケーションの機能で人間らしさを実現する。

人間の気持ちを理解して、さりげなく支援するロボットに期待する。【成田誠】

<sup>2</sup> ミラー・ニューロン：共感に関与する神経基盤 <https://bsd.neuroinf.jp/wiki/%E5%85%B1%E6%84%9F>

## がんのAI画像診断の実用化が始まった

### ◆大腸がんのAI診断ソフトウェアが医療機器承認された

2021年1月、国立がんセンターは、日本電気と共同開発した、内視鏡AI診断支援医療機器ソフトウェア「WISE VISION 内視鏡画像解析AI」が医療機器承認されたと発表した。1万病変以上の早期大腸がんおよび前がん病変の内視鏡画像25万枚をAIに学習させ、典型例だけでなく非典型例も検出できることに成功した。

WISE VISIONを大腸内視鏡検査中に使用すると、AIが通知音と円マークで病変が疑われる部位をリアルタイムで示し、内視鏡医へ伝えることができる。

外部の内視鏡専門クリニックや病院で発見された症例を重点的に深層学習させ、発見の難しい表面型・陥凹型腫瘍を診断できるようにしたことを大きな特徴としている。

さらに、現在開発中の画像強調内視鏡などの新しい内視鏡を利用することで、大腸病変の質的診断や大腸がんのリンパ節転移の予測への応用も目指している。

### ◆AIを用いた子宮体癌自動診断システムの開発も進められている

21年4月、東京大学とPredicthy合同会社の研究グループは、AIを用いた子宮鏡における子宮体癌自動診断システムの開発に成功したと発表した。

子宮体癌検診に関しては確立されたスクリーニング法がなかった。

これまでには、AIに学習させるには、通常、膨大な症例数が必要であったが、研究グループは、少ない症例数でも良好な正診率が得られる新たなアルゴリズムを開発した。具体的には、正常子宮内膜（60例）、子宮内膜ポリープなどの良性腫瘍（60例）、子宮体癌（21例）などの全177症例の子宮鏡画像を悪性グループと非悪性グループに分けてAIに学習させた。

その結果、通常アルゴリズムでは正しく診断できる確率が80%程度であるのに対して、今回開発したアルゴリズムでは90%以上と良好な結果が得られた。

今後は、正診率100%を目指して用例数を増やすとともに、AIエンジンを搭載した子宮鏡の実用化も目指すという。

【松村晴雄】

## 機械学習の医療分野への応用の期待と現実

### ◆ブロード研究所が生物学と機械学習を統合する研究センターを新設

2021年3月、米国のマサチューセッツ工科大学とハーバード大学が共同で運営しているブロード研究所は、生物学と機械学習の境界領域研究を行うことを目的に、Eric and Wendy Schmidtセンターを開設すると発表した。新センターは、シュミット財団が寄付する1億5千万ドルに、趣旨に賛同したブロード財団が提供する1億5千万ドルを加えた、3億ドルを用いて設立される。

新センターは、機械学習、自然言語処理、クラウドコンピューティングなど、急速に発展するデータサイエンスと、ゲノム解析、単細胞解析、医療イメージングなど、大量のデータを生産する生物学を結び付けて、病気の予防、診断、治療を通じて人類の健康に貢献することを目的にしている。そのために、機械学習と生物学の研究者を結集し、大学や民間企業との共同研究の場を設ける。単に結果を予測するだけでなく、背景の原理まで明らかにする成果を目指している。

### ◆機械学習により胸部X線やCT画像からCOVID-19を診断する研究の問題点

その一方で、21年3月、英国のケンブリッジ大学などの研究チームは、20年1月1日から10月3日までに論文発表された、機械学習を用いて胸部X線やCTの画像からCOVID-19の診断や予後予測を行う研究報告を再検証し、そのままでは、医療現場で実際に用いることができない内容であったと発表した。

COVID-19の診断や予後予測に機械学習による胸部X線やCTの画像解析を用いた文献2,212件から、目的に合致しないもの、記述が不適切なものを除き、内容の再現が可能な論文62件について、詳細な検討を行った。その結果、これらの論文には、サンプル数が少ない、データに偏りがあるなど、機械学習に用いたデータに問題がある、あるいは、信頼できる評価データを用いていない、データセットの内訳を明確にしていないなど、研究方法に問題があることが明らかになった。

パンデミックという緊急事態ではあるものの、均質で情報量が豊富な大量データの収集、機械学習の専門家と医療の専門家の緊密な協力など、基本に立ち戻った地道な努力が実用化への近道であるとしている。

【戸潤一孔】

## 新型コロナ終息の鍵となる変異株

### ◆ 感染性や致死率が増した新型コロナウイルス変異株の出現と拡大

COVID-19を引き起こす新型コロナウイルスSARS-CoV-2は、RNAウイルス（約3万塩基）であり、頻繁に変異を繰り返す。多くの変異は、ウイルスの生存において致命的なものだったり無意味なものだったりする。稀に変異が環境に適合し、ウイルスとしての生存率が上がる場合、新たな変異株として感染が広がる。

世界保健機構（WHO）は、千種類を超える変異株のうち、性質が変化しており、一部で流行の兆しのあるものを「注意すべき変異株（VOI）」、大流行を起こし脅威となる可能性のあるものを「懸念される変異株（VOC）」と分類している。WHOは、現時点で、3つの変異株をVOCに認定している（表）。

表 主な新型コロナウイルス変異株と特徴

WHO分類	変異株名	最初の報告国・地域	報告国数	感染性	致死率	ワクチンの有効性	重要な変異
VOC	B. 1. 1. 7	英国	130カ国	従来株に比べ50～70%増加	30%程度高い	ほぼ同等	N501Y
	B. 1. 351	南アフリカ	80カ国	従来株に比べ30～50%増加	不明	低下	N501Y、E484K、K417N
	P. 1	ブラジル	45カ国	高い可能性	不明	低下	N501Y、E484K、K417T
VOI	B. 1. 427、B. 1. 429	米国カリフォルニア州	22カ国	高い可能性	不明	不明	L452R
	B. 1. 526	米国ニューヨーク州	8カ国	高い可能性	不明	低下の可能性	D253G、E484K

（WHO 報告書などを参考に ARC 作成 2021/4/8）

英国で20年12月に報告されたVOC（B. 1. 1. 7、以下英国株）は、21年1～2月に英国で大流行を起こし、たちまち欧州各国へと伝播した。欧州各国の厳しい感染対策にも関わらず、その勢いは依然弱まっておらず、欧州での主流株となった。英国株は、ウイルスがヒト細胞に感染するために必要なSタンパク質中の501番目のアミノ酸であるアスパラギンがチロシンに変異（N501Y）することで、Sタンパク質の受容体結合力が増加している。それまで主流を占めていた従来株（B. 1）と比較して、50～70%感染力が増加し、致死率も約30%上昇している。

南アフリカで、20年12月に報告されたVOC（B. 1. 351、以下南ア株）は、南アフリカなどのアフリカ南部諸国で、主流株となっている。南ア株は、N501Yに加えて、Sタンパク質中の484番目のグルタミン酸がリジンへと変異（E484L）している。感染力が30～50%高まっているが、致死率に関しては不明である。

21年1月に、ブラジルから日本に到着した渡航者から発見されたVOC（P.1、以下ブラジル株）は、その後、ブラジル全土での流行が確認され、南米での主流株となっている。ブラジル株も、N501YとE484L変異を有しており、英国株や南ア株同様、感染力が増加している。

さらに、米国で、2つの変異株（B.1.427、B.1.429）が流行しており、米国疾病予防管理センター（CDC）は、両株を米国でのVOCに認定した。いずれも従来株に比べ、感染性が高いとされる。インドやフィリピンでも、異なる変異株が発見されており、変異株同士が交雑したと思われる株も登場している。新興国では、変異株の分析が遅れており、多くの未知の変異株が流行している可能性がある。

#### ◆ 現行ワクチンは南ア株とブラジル株に対して効果が低下

これまで開発されたワクチンは、いずれも従来株を元に作成されたものであり、アミノ酸配列が変化した変異株に対して効果が減少する可能性がある。幸いにも、ファイザー/ビオンテックのmRNAワクチンやアストラゼネカのウイルスベクターワクチンなどは、英国株に有効である。一方、E484L変異を有する南ア株に対する、現行ワクチンの有効性は低下する。特にアストラゼネカのワクチンの効果は著しく減少する。また、ブラジル株もE484L変異を有することから、現行ワクチンの効果は減少すると考えられる。

#### ◆ 日本でも変異株が従来株から置き換わって感染拡大する可能性

日本に関しては、21年4月6日時点で、886例のVOC（英国株815例、南ア株15例、ブラジル株56例）の市中感染が38都道府県で確認されている。同時期の感染例の約3%をVOCが占めている。英国株感染例のほぼ半数にあたる394例が、大阪府と兵庫県で発生している。また、ブラジル株は、45例が埼玉県と千葉県で発生している。欧州での感染拡大推移を考えるならば、日本においても、従来株から変異株に早晚置き換わっていく可能性が高い。いずれの変異株も感染性が強く、従来株より致死率も高いため一層の警戒が必要だ。

ワクチン普及までの時間を稼ぐためにも、変異株の拡大を遅らせる必要がある。また、南ア株やブラジル株など、ワクチンの効きにくい変異株の出現や流入に備えて、変異株の監視網や感染拡大の防止策が急がれる。 【毛利光伸】

## 在宅勤務における社員同士の対話創出策

### ◆社員間の「無償貸し借り支援サービス」を福利厚生として活用

コロナ禍で在宅勤務が急速に広がる一方で、社員間のコミュニケーション不足が課題になっている。電通グループ子会社のカローゼットは、2021年1月から、社員同士のつながりを活性化させる福利厚生として新サービス「Rentastic」（レントスティック）」の提供を開始した。同社と契約する企業内など特定のコミュニティ内で、家電や生活雑貨などを無償で貸し借りし合う場を提供するウェブサービスだ。自分が保有するモノを、同じ企業に勤める会員に無償で貸した日数分、「Renta!」というコインが付与され、それを使って同じ日数分、今度は自分が他の会員のアイテムを無償で借りられるという、ユニークな相互扶助モデルの仕組みになっている。「会員の安心感の担保」としてアイテムの破損や盗難などに備え、年間最大10万円の損害保険を全会員に自動付帯している。

収益は導入企業などが同社に対して支払うプラットフォーム利用料（会員1人当たり月額400円）からなる。ある導入企業によると、貸し借りは個人間で行うので、面識のない場合でも貸し借りを通じて会話や交流が生まれているという。

### ◆バーチャルオフィスで、社員コミュニケーションに新たなメリットも

システム開発大手の富士ソフトは、20年3月頃から全社的な在宅勤務をスタートさせた。IT企業でもあり在宅勤務の環境はすでに整備されていたが、社内アンケートをしたところ、やはりコミュニケーションの課題が浮上した。そこで同社は20年7月から、自社開発したバーチャルオフィスの運用を始めた。画面にオフィスのフロアを再現し、各座席には社員のアバター（仮想空間での分身）が表示され、アバターが「ランチ中」「在宅」など短いメッセージをつぶやくことで自分の状況を周りに知らせることができる。話したい相手の席近くにアバターを動かせばオンラインで会話や打ち合わせもできる。新たなメリットとして、リアルでは3地域に分散していた事業部がバーチャルオフィスでワンフロアになり今まで以上にコミュニケーションが取りやすくなったという。常態化する在宅勤務、社員同士の対話を創出させていく革新的な策に注目したい。【秋元真理子】

## 日本でも始まる巨大IT企業への規制

### ◆経済産業省が取引透明化法の対象となる巨大IT企業を指定

2021年4月に経済産業省は「特定デジタルプラットフォームの透明性及び公正性の向上に関する法律（取引透明化法）」の対象を指定した。同法は規制の対象を国内流通総額が3,000億円以上のオンラインモール、2,000億円以上のアプリストアをサービスとして提供する巨大IT企業としており、アマゾンジャパン、楽天グループ、ヤフー、グーグル、アップルの5社が今回指定された。

指定された5社は今後、取引条件などの開示、取引実態についての年1回の報告などの情報開示、出品業者に対する契約変更時の事前通告や説明責任が必要になる。経済産業省は情報開示が不十分な場合は是正を勧告でき、是正されない場合はより強い措置命令を出すことができる。

取引透明化法の規制対象に指定された5社と提供するサービス		
	事業者	提供するサービス
オンラインモール	アマゾンジャパン合同会社	Amazon.co.jp
	楽天グループ株式会社	楽天市場
	ヤフー株式会社	Yahoo!ショッピング
アプリストア	Apple Inc.及びiTunes株式会社	App Store
	Google LLC	Google Playストア

### ◆出品業者の保護とともに消費者の保護も行う取引透明化法

インターネットやスマートフォンの普及とともにオンラインモールやアプリストアなどのデジタルプラットフォームを利用した取引が急成長してきた。ただ、一部のモールやストアでは理由が示されないまま規約が変更される、取引が拒絶される、出品業者が合理的な理由に基づく要請を行うための手続きがないなどの問題が生じていた。これらの問題を解決するためにプラットフォームを運営する巨大IT企業を規制することが取引透明化法を制定した目的の1つである。

取引透明化法は消費者の保護も目指している。そのために、オンラインモールやアプリストアの利用者に対して商品掲載順位を決定する主な基準、プラットフォームが売上額などの情報を使用する場合はその内容、理由、条件などを開示することを求めている。今回の巨大IT企業の指定は法の目的を実現する第一歩であり、巨大IT企業の情報開示や取引ルールの見直しが適切に行われるか、見直しが不十分な場合の経済産業省の対応に消費者も注意しておきたい。 【藤井和則】

## 正式発行へと着実に歩を進める “e-CNY”

### ◆研究がひろがる中央銀行デジタル通貨

中央銀行デジタル通貨（CBDC：Central Bank Digital Currency）が注目を浴びている。国際決済銀行（BIS：Bank for International Settlements）が2021年1月に発表した報告書によると、CBDCを研究する中央銀行の約60%がCBDCの実験ないし概念実証を行っている。既にカンボジアとバハマではCBDCを発行済である。新興国を中心に導入に前向きな姿勢が報告されている一方で、大多数の中央銀行はCBDCを近い将来発行する予定はないとしている。現状では、経済的小国が発行に前向きな一方、主要国では電子決済が普及し現金の使用率が少ないスウェーデンと中国が、発行へ向けた実証実験などで、他の国をリードしている構図となっているようだ。

### ◆2022年北京冬季オリンピック・パラリンピックでの正式発行を目指す

20年10月に深センで、中国の中央銀行である人民銀行がCBDCであるデジタル人民元（e-CNY：数字人民幣）を一般市民に抽選で「紅包」（中国語でお年玉を意味）として、一人あたり200元（総額1,000万元）ずつ配布したのを皮切りに、12月には蘇州でデジタル決済などの実証実験を行った。



21年に入っても紅包配布形式で、1月と2月に深セン、2月に蘇州と北京などでも実証実験を行っている。またe-CNYはスマホのQRコード決済だけでなく、22年に開催予定の北京冬季オリパラ会場では、日本のSuicaと同じNFC機能を利用した、スキー手袋や時計型のウェアラブル端末のハードウェアのテストも実施している。22年の北京冬季五輪までの正式発行を目指し、e-CNYの実証実験が国内各地で着々と進められている。

### ◆e-CNYとAlipay、WeChatペイとの違いは何か

20年のモバイル決済総額が432兆元（人民銀行資料）に達している中国には、Alipay、WeChatペイという2者で国内シェア9割を占めるアプリが広く普及してい

るため、e-CNYの必要性に疑問を抱くが、中国政府は、i) 第三者プラットフォームを経由せず、ii) ネットに接続しなくても決済が可能で、iii) 銀行口座がなくても利用でき、iv) 業者に個人情報を取得される心配もなく、v) 現金に交換する際にも手数料が発生しない、vi) 法定通貨なので支払いの際に受け取る側が拒否できない、といったメリットをあげている。また、既に普及しているスマホ決済アプリに取って代わるものではなく、その不足している機能を補填するものであるとしている。



ただ、人民銀行が1月に公表した「非銀行決済組織」に対する市場の独占行為を取り締まる草案では、独占に関する監督強化の方針が打ち出されている。実証実験は店頭決済だけでなく、ネット通販大手の京東（[JD.com](http://JD.com)）のサイトでの決済も既に試行している。巨大IT企業などに関しては、金の流れ（決済業務）だけでなく、モノの流れ（ネット通販）でも監督が強化されていくのだろうか。

### ◆国境をまたぐ決済、e-CNYは国際通貨になれるか

2月に、タイ中央銀行と香港金融管理局が共同で推進するCBDCの共同研究に、人民銀行とUAEの中央銀行が参加し「複数中央銀行デジタル通貨（m-CBDC）ブリッジ」を発足させると発表した。CBDCプロジェクト、越境外国為替取引の実験、デジタルシルクロード構想などの共同研究を行うが、海外との送金や為替決済だけでなく、人民元の国際化を目指しているとの見立てもある。

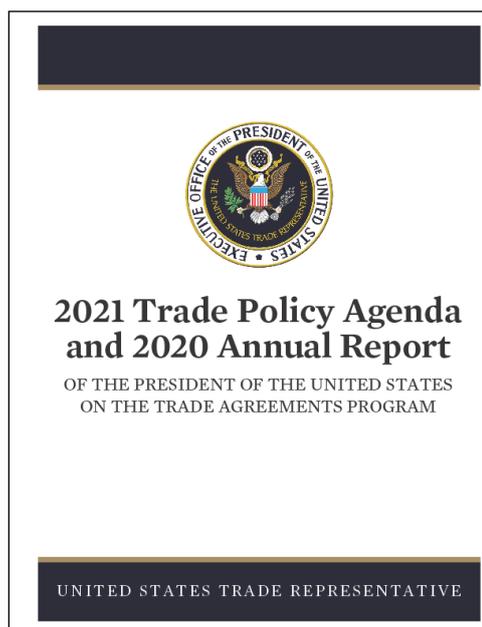
ただ、国際金融政策の制約に関する命題に「独立した金融政策の運営、固定為替相場の維持、自由な国際間の資本移動という三つを同時に達成することはできない」というものがある。中国は独立した金融政策と為替の通貨バスケット制を採用し、国際資本の自由な移動は制限している。国際通貨としてのデジタル人民元を実現させるには、自由な資本移動を避けて通るわけにいかない。ただ自由な資本移動を認めると資産流出のおそれがあるし、固定相場制を維持できなくなる。そう考えると、e-CNYは差し当たってローカルなCBDCにとどまることになるかもしれないが、CBDCに関する技術面でも、中国が世界をリードしているのは間違いないさそうである。

【森山博之】

## 米国が通商政策を発表～トランプ手法から転換へ

### ◆バイデン政権が初の通商政策を発表

2021年3月1日、米通商代表部（USTR）は「[2021 Trade Policy Agenda and 2020 Annual Report](#)」（通商報告書）を議会へ提出した。当報告書は、通商政策に関する当年の計画と前年の実績を記載したもので、米国の通商施策を見通す上での基本書となる。ただし、代表のキャサリン・タイ氏は3月18日に就任したため当報告書の作成には携わっておらず、事務方がバイデン大統領の意向を掴みながら作成しており、概略説明の域を出ていない印象だ。事実、トランプ政権下の2020年版で16ページだった当年計画に関する記述は5ページに減少している。



### ◆キーワードは労働者、人権、環境、中国、友好国

通商報告書の骨子は表1の通りである。大きく9つのテーマを掲げ、労働者、人権、環境、中国、友好国が重要なキーワードとなっている。根底にある米国第一主義や労働者重視、保護貿易主義、対中国強硬策はトランプ政策と同じだが、人権問題や気候変動問題を大きく取り上げている点と、通商政策を実行する際に友好国やWTOとの連携を重視する点などは、大きな手段の転換といえよう。政権交代以降の主な通商施策もこれに沿った内容だ（表2）。これまでのブリンケン國務長官やタイUSTR代表などの発言も加味すると、今後の対中政策は、技術や情報の流出規制と追加関税賦課、不公正貿易措置是正への圧力を維持しつつ、さらに新疆や香港などでの人権・自治侵害是正を優先課題とするため、米中対立・覇権争い（[トゥキディデスの罠](#)）は継続すると思われる。一方で、気候変動対策やWTO改革などでの協力は期待できそうだ。また、通商報告書にはFTA交渉に関する具体的な記述はなく、CPTPPへの参加時期は依然見通せない状況である。

表1：バイデン政権の2021年通商報告書の骨子

テーマ	概要
① COVID-19パンデミック対策と経済回復	医療機器の国内生産強化など将来の公衆衛生危機対策の投資支援 中小企業などが世界市場に輸出するための支援
② 労働者中心の通商政策	経済安保視点の通商協定に労働基準を規律 友好国とともに強制労働対策などを実施しグローバルサプライチェーンを透明化
③ 世界を持続可能な環境と気候の道筋に	通商アジェンダに強力な環境基準を規律し、炭素国境調整措置も検討 既存の貿易協定に基づく環境義務を果たせない貿易相手国に対し友好国と行動 米国の環境関連技術向上と温室効果ガス排出量目標の前倒し達成
④ 人種間平等と社会的弱者の支援	通商アジェンダに人種平等の視点を規律
⑤ 包括的戦略を通じた中国の強制的かつ不正な経済貿易慣行への対処	中国の強制的かつ不正な貿易慣行は米国労働者や技術優位性への脅威と認識 利用可能な全ての施策を使って中国の不正慣行に対処 中国の人権侵害問題への対処は最優先事項 友好国とともに中国の過剰生産問題などに対処
⑥ 友好国・同盟国とのパートナーシップ	米国のリーダーシップの回復と友好国とのパートナーシップの回復 WTO改革と、WTOを通じた不平等の拡大やデジタル化などの課題への対処 友好国とともに民主的価値観を前提としたグローバルルールの確立とギャップへの対処
⑦ 米国労働者のために立ち上がる	米国労働者のための通商政策の追求と世界市場への展開
⑧ 世界の公平な経済成長の促進	米国労働者に利益をもたらす公平な経済政策の推進 通商アジェンダに賃金格差の縮小や労働組合化促進・強制労働対策などを規律 企業の説明責任と持続可能性を貿易政策に組み込む
⑨ ルールを重視する	通商協定に労働基準や環境基準を規律 米国労働者に損害を与える他国の労働条件や権利抑制に対処 (対処方法は友好国との連携だが一方的措置も含む)

出所：USTR, "2021 Trade Policy Agenda and 2020 Annual Report"を元に旭リサーチセンター作成

表2：バイデン政権誕生以降の主な米国の通商施策

月日	分類	相手国	内容
1月25日	政府調達		バイデン米大統領がバイ・アメリカン政策を強化する大統領令に署名
1月27日	方針		バイデン米大統領が気候変動対策の大統領令に署名、気候変動危機を外交・安全保障の中心に
2月10日	外交	中国	バイデン米大統領が習国家主席と初の電話会談、不正な経済慣行や威圧的行為に懸念を表明
2月19日	方針		バイデン米大統領が初の国際舞台での演説で同盟国との連携による中国との競争を呼びかけ
2月24日	方針		バイデン米大統領がサプライチェーン強化に向けた大統領令に署名
3月1日	方針		USTRがバイデン政権発足後初の通商政策を発表（2021年版）
3月4日	輸出管理	ミャンマー	米商務省がミャンマー向け輸出管理を強化、一部で中国やロシア並みに
3月5日	301条	EU	EU・米国間で、民間航空機紛争に伴う追加関税を4カ月停止
3月17日	制裁	中国	米財務省が香港自治法に基づき中国と香港の政府関係者24人をSDNリストに掲載
3月18日	外交	中国	バイデン政権下で初の米中政府高官による対面会談を3月18、19日に米アラスカ州で開催
3月22日	制裁	中国	米財務省が人権侵害を理由に中国政府幹部をSDNリストへ掲載
3月26日	301条		USTRが英国やインドなどの6カ国のデジタル課税に対する追加関税案を発表
3月29日	制裁	ミャンマー	USTRがミャンマーとの貿易投資枠組み協定を停止、GSPの非適用も視野に

出所：ジェトロ短信などをもとに旭リサーチセンター作成

◆企業が留意すべき通商アジェンダは格段に増加

今後、企業が新たに留意すべき米国の通商アジェンダは、人権や自治侵害などを理由とする経済制裁と、EUも検討を進める炭素国境調整措置、そして人権問題などを踏まえたサプライチェーンに対する説明責任などであろう。経済制裁に違反すると取引制限などの罰則を科されるため、正確な制裁動向把握と取引先のスクリーニングは欠かせない。制裁対象が中国の場合、対抗措置にも注意が必要だ。また、炭素国境調整措置や現時点で詳細不明なサプライチェーンのクリーン化コストも、大きな負担になる可能性がある。企業はいつそう通商動向を注視し、社内外の専門家と対応策を前倒しで検討していく必要があるだろう。 【田中雄作】

## 欧米で高まる人権侵害監視、日本も法制化を検討

### ◆EUで人権デュー・デリジェンスを企業に求めるレポートを採択

2021年3月10日、欧州議会は、人権および環境に関するデュー・デリジェンスを企業に求めるレポートを採択した。レポートの採択を受けて、欧州委員会は具体的な法案作成に着手し、21年半ばまでに欧州議会への法案提出を目指す。

本レポートでは、企業に対し、バリューチェーンの川上・川下などにおける人権侵害や環境破壊の有無の調査・是正を求めている。適用対象は、EU内の法人に限らず、競争の公平性の観点からEUに製品を輸出する企業にも広げる案となっている。また、人権を侵害して製造された製品の輸入禁止も提案されている。

EUでは、人権に関するデュー・デリジェンスの法制化を企業が積極的に欧州議会に求めている。その背景としては、人権侵害をして安価な賃金で製造された製品の輸入を阻止すること、フランスやオランダなどで既に人権に関するデュー・デリジェンスの法制化がされており、企業の法律対応として、EU加盟国によって内容が大きく異なる法律が並び立つことを避けたいという点がある。

### ◆欧米が協調して人権侵害を理由に中国に制裁を発動

3月22日、米国財務省は、中国の新疆ウイグル自治区での人権侵害に加担したとして、中国政府の高官2名に対し経済制裁を発動した。2名の米国内の資産を凍結したほか、制裁対象者との直接・間接取引が禁止された。バイデン政権になって以降、人権侵害を理由にした中国への制裁は初めてとなる。EU、英国、カナダも米国と歩調を合わせ、制裁を発動した。

日本でも、3月24日、人権侵害に関与した外国政府の組織・個人への制裁を可能とする法案を議論する超党派の議員連盟が準備会合を開催した。G7諸国の中で、人権侵害を理由とした海外への制裁の法律がないのは日本のみとなっており、欧米と足並みを揃えた制裁の実現を目指す。

米中対立を背景に、中国を念頭に置いた人権侵害監視の動きは強まっていくと想定される。中国企業と取引が多い日系企業は、人権に配慮したバリューチェーンの構築・点検の重要性が増してくる。

【今村弘史】

## 多様性重視で、脱ステレオタイプな表記へ

### ◆ファミリーマートは「はだいろ」の下着を回収

ファミリーマートは2021年3月、全国で販売を始めたばかりのプライベートブランドの女性用下着で、色の表記で不適切な表現があったとして、自主回収した。「はだいろ」と記されており、人種や個人などで肌の色が異なるのに、特定の色を「はだいろ」とすることは不適切だと指摘する声が社員や加盟店から寄せられたという。関西地区で先行して販売した時は「ベージュ」の表記だったが、全国展開の際に「はだいろ」に変更した。ひらがなで分かりやすくして、幅広い世代にアピールするためだったが、表記を「ベージュ」に戻す予定だ。

### ◆花王は化粧品での「ホワイトニング」の表記を取りやめ

花王は化粧品の「ホワイトニング」の表記を、多様性の観点から取りやめる。3月発売のトワニーの「ブライトニングαセラム」では、「メラニンの生成を抑え、シミ・ソバカスを防ぎ、瞬時に肌を明るくつややかに見せてくれるブライトニング美容液」とした。今後、他のすべてのブランドでも、白い肌がベストと伝わる表現を使わない方針だ。日本では美白美容の分野の人気が高い中での、大きな決断だ。花王はさらに、秋に発売予定のファンデーションも、幅広い肌の色に対応できるように色数を増やす予定だ。

こうした動きの背景には、20年5月に米国で起こった黒人差別への抗議運動がある。その直後から、外資系化粧品メーカーが相次いで、白人のような白い・明るい肌が美しいというような、肌の色による優劣を連想させる表記の取りやめを表明していた。

### ◆ユニリーバ、ロREALなど「ホワイトニング」「ライト」などを廃止

20年6月、ユニリーバはスキンケア製品における「ホワイト」や「ホワイトニング」といった名称を使うことを廃止すると発表した。日本でもなじみのある「ダヴ」「ポンズ」「ヴァセリン」などを手掛ける同社は、より多様なビューティの価値観を発信したいとして、全製品から「フェア（色白）」「ライト」といった

美白に関する言葉の使用もやめるとした。「フェア」や「ホワイト」といった言葉は、偏った美の価値観に準じているように受け取られる可能性がある。

同じ6月には、仏ロレアルもスキンケア製品に関して、今後「ホワイト」「ライト」「フェア」といった用語の使用を廃止すると発表した。同社は「L'Oréal Paris White Perfect」や、「Lancôme Blanc（フランス語で白）Expert」シリーズなどの美白系のスキンケア用品を展開してきた。

ジョンソン・エンド・ジョンソンは、アジアと中東で美白製品の販売中止を6月に発表した。「Neutrogena Fine Fairness」シリーズなどを展開していた。

多様性を重んじる外資系メーカーで、美白表現を避ける流れが先行していた。

### ◆ユニリーバは、「ノーマル」の表示も廃止へ

ユニリーバは21年3月、新しい「ポジティブビューティ」のビジョンと戦略を発表し、その一環として、すべてのビューティ&パーソナルケアブランドのパッケージと広告から「ノーマル」（普通、標準）という言葉がなくすと発表した。何を指して、ノーマルと呼ぶのかが問題視されていた。美しさの定義を広げ、差別をなくし、よりインクルーシブ（包括）な「美しさ」のビジョンを広めていくアクションの一つだとしている。決断の背景には世論調査がある。同社によれば、ビューティケア業界に対する意識や経験を調べたグローバル調査（\*）で、「ビューティ&パーソナルケア業界は、単に外見を良くすることではなく、人々がより心地よくいられることを重視してほしい」と74%が回答。「製品のパッケージや広告にある『ノーマル』という言葉が人々に悪い影響を与えている」と10人に7人が回答、18～35歳では10人に8人にも上った。また、52%が「製品を購入する際、その企業の社会問題への姿勢に注目している」と回答した。

\*9カ国 18歳以上1万人対象 ブラジル、中国、インド、インドネシア、ナイジェリア、サウジアラビア、南アフリカ、英国、米国

「製品やパッケージから『ノーマル』という言葉がなくすだけでは、問題の解決にはならないことは分かっています。しかし、これは重要な一歩です」と、同社。毎日10億人が同社のビューティ&パーソナルケア製品を使用し、さらに多くの人々が広告を目にしているため、有害な規範やステレオタイプをなくす本質的な変化をもたらす力があるともいう。先進的な巨人の一歩は、日本の脱ステレオタイプの表記に、さらに影響を与えそうだ。

【赤山英子】

# ARC活動報告・予定（3月～）

## 1. ARCレポート

4月発行（予定）：「コロナ禍で生じた「働き方の変化」と「都心から分散する動き」  
（主幹研究員 石井由紀）

## 2. ARCテーマ別研究会

04.13 第128回 国際問題研究会  
講 師：中島恵氏（ジャーナリスト）  
テーマ：「最近の中国人の消費動向について」

## 3. 新聞・雑誌等での弊社研究員による意見発表など

◇主席研究員 田中雄作

- ・一般財団法人 国際貿易投資研究所オンラインセミナー（3月16日15～17時）  
「米中対立と企業の通商戦略・対応」を講演  
<http://www.iti.or.jp/>
- ・「世界経済評論5月・6月号」（4月15日発売）に以下を寄稿。  
「2021年、企業がとるべき通商戦略とは」

◇主幹研究員 毛利光伸

- ・Medtec Japan オンラインセミナー（2021年2月10日～6月2日 配信）にて  
「AI医療機器の現状と将来」を講演  
<http://www.medtecjapan.com/ja/onlineSeminar>

◇取締役主席研究員 長谷川雅史

- ・日本食品包装協会「第3回NextPackage2021」（Web展示会）にて  
「プラスチック問題、最近の動向を概観」を講演（動画配信）  
<http://shokuhou.jp/special/nextpackage3rd/>

Watching No.319

2021年4月19日発行

発行所 株式会社 旭リサーチセンター

編集人 長谷川 雅史

〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-1-2 日比谷三井タワー

<https://arc.asahi-kasei.co.jp/contact/>