巻 頭 言

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

カーボンニュートラル化へ向かう日本

The Carbon Neutralization of Japan

古谷 博秀[*1]
FURUTANI Hirohide

キーワード：カーボンニュートラル化，ガスタービン，水素，アンモニア
Key Words：Carbon Neutralization, Gas-turbines, Hydrogen, Ammonia

2020年10月26日に菅総理が2050年までに日本もカーボンニュートラルを目指すことを表明された。この時以来，報道では，「脱炭素」や「カーボンニュートラル」という文字を見ない日はない。日本政府が大きく「カーボンニュートラル」に向かった背景には，世界的な「脱炭素」への動きがある。きっかけとなったのは，2015年のパリ協定で，その後，短期的な投資ではなく，持続可能な活動への投資に重みを置くESG投資が世界中の全投資の中でも大きな割合を占めるようになり，金融や企業の間で「低炭素化」の機運が非常に高まってきた。2018年ごろから日本でもこの動きはより活発になってきたと感じている。さらに，この動きは，2020年に猛威を振るった新型コロナウイルス感染症により大きく加速される。欧州を中心に，この大きな災いからの復興には，巨額の投資が必要になるため，災いの始まる前の世界に戻るのではなく，より良い世界に戻るようにとのグリーンリカバリーの意識が大きく働き，一気に「脱炭素」の議論が世界中に広まった。米国も大統領の交代により，急激にこの方向が進んでいる。この復興する方向性として元のところではなく，より良い位置にという思いは，東日本大震災の際に，福島県が再生可能エネルギーを軸とした復興により，2040年までに使用しているエネルギーと同量の再生可能エネルギーを生み出すことを目標としたことと重なる。

この「カーボンニュートラル」は，資源の多くを海外から輸入し，再生可能エネルギーも決して豊富ではなく，電力グリッドも大規模発電を軸として広域での電力融通に制限のある日本にとっては難題であると個人的には感じている。一方，これまで日本は海外からのエネルギーの輸入をできるだけ抑えるようにとの省エネの努力を常に行い，石炭から石油，そして天然ガスへのエネルギーの転換や，多くのエネルギーをミックスして上手に使う技術を実現してきており，経験も含め技術的な側面では優位性を持っているとも感じる。政府の「カーボンニュートラル」には，日本自身を「脱炭素」するだけではなく，それにかかわる新しい技術をイノベーションにより生み出し，明日の日本の糧としたいという思いも大きい。この思いは，「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」として，2020年12月にまとめられている。

この成長戦略において，2050年のカーボンニュートラルのためのエネルギー構成として，非電力のエネルギー消費については電化が大きな軸になっており，電力の総量については，現状より30から50％増加し，約1.3兆から1.5兆kWhとされている。また，その電源構成については，再エネで50から60％，原子力と火力（CCSまたはカーボンリサイクル付）の組み合わせで30から40％，水素とアンモニアで10％をカバーする形が議論の前提として記述されている。これらのことから，日本のカーボンニュートラル化に向けて，電源をゼロエミッション化していくことが必要であり，その中で水素やアンモニアなどのゼロエミッション燃料へ多様化していくことが重要であることがわかる。

今回の特集は，フラッグシップとして水素エネルギーを先導してきた燃料電池技術に加え，脱炭素燃料としての液体水素，MCH（メチルシクロヘキサン），アンモニアの水素キャリアの最新の技術開発状況が第一線の開発担当者により紹介される。まさに日本のカーボンニュートラル化に資する特集になっており，読者の皆様に，脱炭素化の技術開発の重要性をさらに認識いただき，その中でガスタービンの役割も多いことを再認識いただけることを期待します。

原稿受付　2021年２月４日
＊１　産業技術総合研究所再生可能エネルギー研究所
〒963-0298　郡山市待池台２－２－９
E-mail: furutani.h@aist.go.jp

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

水素エネルギー・脱炭素燃料の動向

Trends in Hydrogen Energy and Decarbonized Fuels

高木 英行[*1]
TAKAGI Hideyuki

キーワード：カーボンニュートラル，水素エネルギー，カーボンリサイクル，水素基本戦略，革新的環境イノベーション戦略
Key Words：Carbon Neutrality, Hydrogen Energy, Carbon Recycling, Basic Hydrogen Strategy, Environment Innovation Strategy

1．はじめに

水素は，再生可能エネルギーを含め多種多様なエネルギー源から製造し，貯蔵・運搬することができることから，一次エネルギー構造を多様化させるポテンシャルを有する。さらに，製造段階でCCS（Carbon dioxide Capture and Storage）技術や再生可能エネルギー技術を活用することで，トータルでも脱炭素化したエネルギー源とすることが可能であり，水素から高効率に電気・熱を取り出す燃料電池技術と組み合わせることで，電力，運輸のみならず，産業利用や熱利用など，様々な領域で脱炭素化が可能となることから，2020年12月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（以下，グリーン成長戦略と記載）」においても，発電・輸送・産業など幅広い分野で活用が期待されるカーボンニュートラルのキーテクノロジーとして，重要分野における「実行計画」の中で取り上げられている[(1)]。また，脱炭素燃料についても，カーボンリサイクル技術への期待が高まる中，グリーン成長戦略において，燃料のカーボンニュートラル化の必要性が示されており，合成燃料（e-fuel）やカーボンリサイクルメタンなどに対する取り組みが求められている。

本稿では，水素エネルギーおよびカーボンリサイクルを含む脱炭素燃料の動向について，政策サイドの取り組みを中心に概説する。また，産業技術総合研究所（産総研）における最近の取り組みについて簡単に紹介する。

2．水素エネルギーに関する動向

Fig. 1に，東日本大震災後の日本のエネルギー政策と水素エネルギーおよびカーボンリサイクル技術に関する動向を示す。この度の３月と５月号に渡る特集「水素・脱炭素燃料の最新動向」には，液化水素，有機ハイドライド，アンモニアおよびメタン（メタネーション）等の動向や取り組みについての論説・解説があることから，水素基本戦略における水素・エネルギーキャリア技術に関する内容も含めて概説する。

2.1　水素基本戦略と水素・エネルギーキャリア技術

2011年３月11日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を機に日本のエネルギー政策が大きな転換を迫られる中，2014年４月に新たな日本のエネルギー政策の方向性を示すものとして「第4次エネルギー基本計画」が閣議決定された。この中で，水素は，将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待されるとの記載がなされ，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として，水素の本格的な利活用に向けた水素発電等の新たな技術の実現や“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定などが示されている[(2)]。また，2014年６月には，経済産業省資源エネルギー庁が事務局を務め，産学官の有識者により構成された水素・燃料電池戦略協議会において「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～」が策定された[(3)]。このロードマップでは，水素社会実現の意義や水素社会実現に向けた対応の方向性等が取り纏められている。さらに，2016年３月には，家庭用燃料電池や燃料電池自動車/水素ステーションに係る自立化に向けた道筋や定量目標等が盛り込まれたロードマップの改訂版が策定されている。

2015年12月の国連気候変動枠組条約第12回締約国会議（COP21）においてパリ協定が締結され，世界的にも低炭素化・脱炭素化に向けた取り組みが加速する中，日本では，2017年12月に，水素利活用に係る世界初の国家戦

原稿受付　2021年１月26日
＊１　（国研）産業技術総合研究所　ゼロエミッション国際共同研究センター　水素製造・基盤研究チーム　研究チーム長
〒305-8569　つくば市小野川16-１
E-mail: hide-takagi@aist.go.jp

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

2014年4月　第4次エネルギー基本計画
2014年6月　水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～
2015年12月　パリ協定　国連気候変動枠組条約第12回締約国会議（COP21）
2016年5月　地球温暖化対策計画
2017年12月　水素基本戦略
2018年7月　第5次エネルギー基本計画
2018年10月　水素閣僚会議
2019年3月　水素・燃料電池戦略ロードマップ
～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～
2019年6月　パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略
2019年6月　G20持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合
2019年6月　カーボンリサイクル技術ロードマップ
2019年9月　水素閣僚会議2019・第1回カーボンリサイクル産学官国際会議
2020年1月　革新的環境イノベーション戦略
2020年12月　2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

Fig. 1　Japan's energy policy after the great east japan earthquake and trend in hydrogen energy and carbon recycling technologies

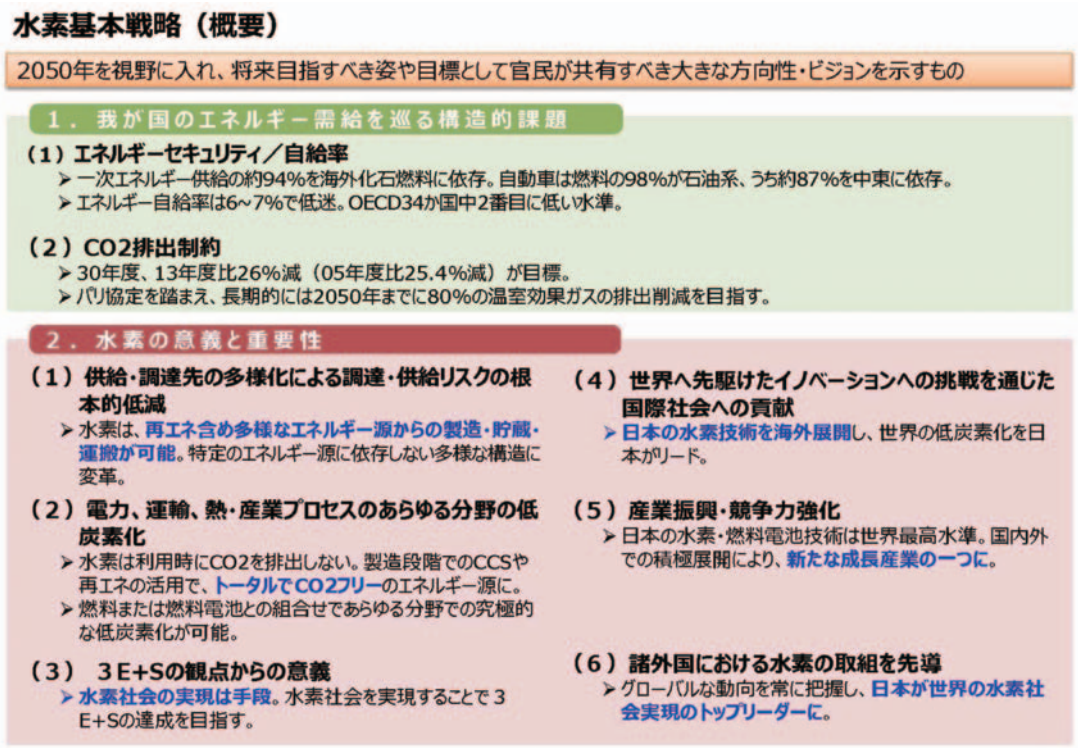


Fig. 2　Basic hydrogen strategy（key points）

略として「水素基本戦略」が策定された。水素基本戦略では，水素をカーボンフリーな選択肢として位置づけ，政府全体として施策を展開していくための方針が示されている。Fig. 2に，水素基本戦略の概要を示す[4]。2050年を視野に入れ，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・ビジョンを示すものとして策定されたものであり，水素の意義と重要性について，下記の項目が挙げられている。

(1)供給・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的低減
(2)電力，運輸，熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化
(3)3E+Sの観点からの意義
(4)世界へ先駆けたイノベーションへの挑戦を通じた国際社会への貢献
(5)産業振興・競争力強化
(6)諸外国における水素の取組を先導

水素社会を実現していくためには，水素の製造，貯

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

蔵・輸送，利用まで一気通貫したサプライチェーンの構築が求められ，効率的な水素の貯蔵・輸送を可能とするエネルギーキャリア技術が必要となる。水素基本戦略では，この水素・エネルギーキャリア技術として，液化水素，有機ハイドライド法によるメチルシクロヘキサン（MCH），アンモニアおよびメタンが挙げられている。

液化水素は，①気体水素に比べて体積が約1/800となること，②気化することで，純度の高い水素の取り出しが容易であること，③液化天然ガス（LNG）と同様のインフラ構成であり，技術的に連続的であること，④国内の輸送インフラが確立していること等の特長を持つ。一方で，LNGより更に低温であることから，海上輸送，荷役・貯蔵に関する新規のインフラが必要となり，技術開発を進める必要がある。現在，新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業として，オーストラリアの褐炭等の海外の安価な未利用資源から水素を製造し，日本に輸送する国際水素サプライチェーンの実証事業が，技術研究組合CO_2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）により実施されている。

有機ハイドライド（MCH）は，①体積が気体水素の約1/500となること，②常温常圧で液体であることから取り扱いが容易であり，長期貯蔵が可能であること，③タンカーやタンク等の既存の輸送・荷役インフラを活用可能であること等の特長を持つ。一方で，水素化・脱水素化に係る設備が必要であり，技術開発を要する。また，脱水素にはエネルギーを要することから，例えば発電時の排熱を脱水素化プロセスに組み込むなどの工夫が必要であり，現在，NEDO事業として，MCHを使った国際水素サプライチェーンの実現に向けた実証事業が，次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）において実施されている。

アンモニア（NH_3）は，①他の水素キャリアと比較して体積水素密度が大きい（液化水素の1.5倍）ため，インフラ整備をより小規模で安価に形成できること，②天然ガスから製造されるため比較的安価であること，③既存の商業サプライチェーンを活用可能であること等の特長を持つ。また，アンモニアから水素を取り出す（脱水素）ことなく，発電等に直接利用することも可能であり，燃焼時にはCO_2を排出しないが，一方で，①天然ガス改質によるアンモニア製造段階でのCO_2フリー化や，②直接燃焼利用時の窒素酸化物（NOx）の低減，③可燃性劇物に係る安全性確保に課題がある。エネルギーキャリアとしてのアンモニアの利活用については，2014年度から開始された内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「エネルギーキャリア」事業において，アンモニア製造から利用に至る幅広い技術開発が実施された。また，2019年には，民間企業を中心に一般社団法人グリーンアンモニアコンソーシアムが設立され，CO_2フリーアンモニアの供給から利用までのバリューチェーン構築を目指し，技術開発・評価，経済性評価，政策提言，国際連携等に関する取り組みが進められている。

水素は，CO_2と反応させることでメタン化（メタネーション）することが可能で，①国内における既存のエネルギー供給インフラ（都市ガス導管やLNG火力発電等）の活用や，②熱利用の低炭素化の観点から，エネルギーキャリアとして大きなポテンシャルを有する。一方で，大量かつ安価にCO_2フリー水素が調達可能であることを前提として，近隣に大規模なCO_2排出源が存在することや既存のLNGインフラが利用可能なことが条件となる。メタネーション技術は，カーボンリサイクル技術として期待されており，「3．脱炭素燃料に関する動向」において後述する。

2.2 第5次エネルギー基本計画と国際連携強化

2018年7月に策定された「第5次エネルギー基本計画」では，水素を再生可能エネルギーと並ぶ新たなエネルギーの選択肢とするため，環境価値を含めた水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜色ない水準まで低減させていくとし，水素社会の実現に向けた取組の抜本強化として，以下の6項目が挙げられている[5]。

(1)燃料電池を活用した省エネルギーの推進
(2)モビリティにおける水素利用の加速
(3)低コストの水素利用実現に向けた国際的な水素サプライチェーンの構築と水素発電の導入
(4)再生可能エネルギー由来水素の利用拡大に向けた技術開発の推進と地域資源を活用した地方創生
(5)2020年東京五輪での“水素社会”のショーケース化
(6)グローバルな水素利活用の実現に向けた国際連携強化

2019年3月には，水素・燃料電池戦略協議会において，水素基本戦略及びエネルギー基本計画で示された方向性を踏まえ，これまでのロードマップを大幅に改訂した「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～」が策定された。本ロードマップでは，目標実現に向けて必要な要素技術のスペック及びコスト内訳が明確化されている[6]。

日本の水素基本戦略策定後，ドイツ，オランダ，オーストラリア，EU，韓国等で水素の国家戦略・ロードマップが策定されるなど，世界各国においても取組が活発化している。日本も，国際連携強化に向けた取り組みを積極的に進めており，2018年10月に，東京において水素閣僚会議が開催されている。この会議では，グローバルな水素の利活用に向けたビジョンの形成・共有，国際連携の強化をテーマとし，21か国・地域・機関の代表，関係企業トップを含め300名以上が参加，会議の成果としてTokyo Statement（東京宣言）が発表されている。2019年9月には，2回目となる水素閣僚会議が東京で開催され，各国の水素・燃料電池に関する行動指針として「グローバル・アクション・アジェンダ」が議長声明として発表されている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

2.3　革新的環境イノベーション戦略

水素エネルギーについて，上述のように，国内だけではなく，世界各国においても取り組みが活発化する中，2020年１月に，内閣官房長官を議長とする統合イノベーション戦略推進会議において，「革新的環境イノベーション戦略」が策定された[7]。この戦略では，日本が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的なイノベーションを創出し，社会実装可能なコストを実現，これを世界に広めていくことを目指しており，水素は，５つの重点領域のうちの一つとして位置づけられている（Fig. 3）。

水素は，運輸，産業，発電など様々な分野で活用可能として，温室効果ガス（GHG）削減量が大きく，日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマのうちの３テーマに挙げられている。具体的には，低コストな水素サプライチェーンの構築として，「⑦製造」，「⑧輸送・貯蔵」，および「⑨利用・発電」があり，このうち「⑧輸送・貯蔵」について，Fig. 4に示す。技術としては，圧縮水素，液化水素，有機ハイドライド，アンモニア，水素吸蔵合金等があり，2030年頃に商用規模のサプライチェーンを構築することを目指すとしている。また，要素技術開発については，大学や公的研究機関，企業が連携し，実用化・実証開発については，商用化を念頭にエンジニアリング会社に加え，商社や物流に関わる企業も連携した体制で実施するとしている。

3．脱炭素燃料に関する動向

3.1　カーボンリサイクル技術ロードマップ

2019年６月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」では，重点的に取り組む横断的施策として「技術のイノベーション」が挙げられており，イノベーションが期待されているCO_2大幅削減に貢献する主要な革新的技術として，水素と合わせてCCU（Carbon Capture and Utilization）/カーボンリサイクルも提示されている[8]。カーボンリサイクルは，CO_2を資源として捉え，これを分離・回収し，鉱物化や人工光合成，メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに，大気中へのCO_2排出を抑制していく取り組みであり，2019年６月にカーボンリサイクル技術ロードマップが策定されている。カーボンリサイクル技術ロードマップでは，主要な戦略分野である化学品，液体燃料，鉱物の３分野について，開発・実用化していく道筋が示されている[9]。Fig. 5に示すように，フェーズ１では，特に2030年頃から普及が期待できる，水素が不要な技術や高付加価値製品を製造する技術については重点的に取り組むとして，ポリカーボネート等の化学品，バイオジェット燃料等の液体燃料および道路ブロック等のコンクリート製品が挙げられている。フェーズ２では，水素の低コストでの利用を前提とし，需要が多い汎用品に拡大していくとして，オレフィンやBTX（ベンゼン-トルエン-キシレン）等の化学品，ガス・液体燃料およびコンクリート製品（汎用品）が挙げられている。

その後，2019年９月には，第１回カーボンリサイクル

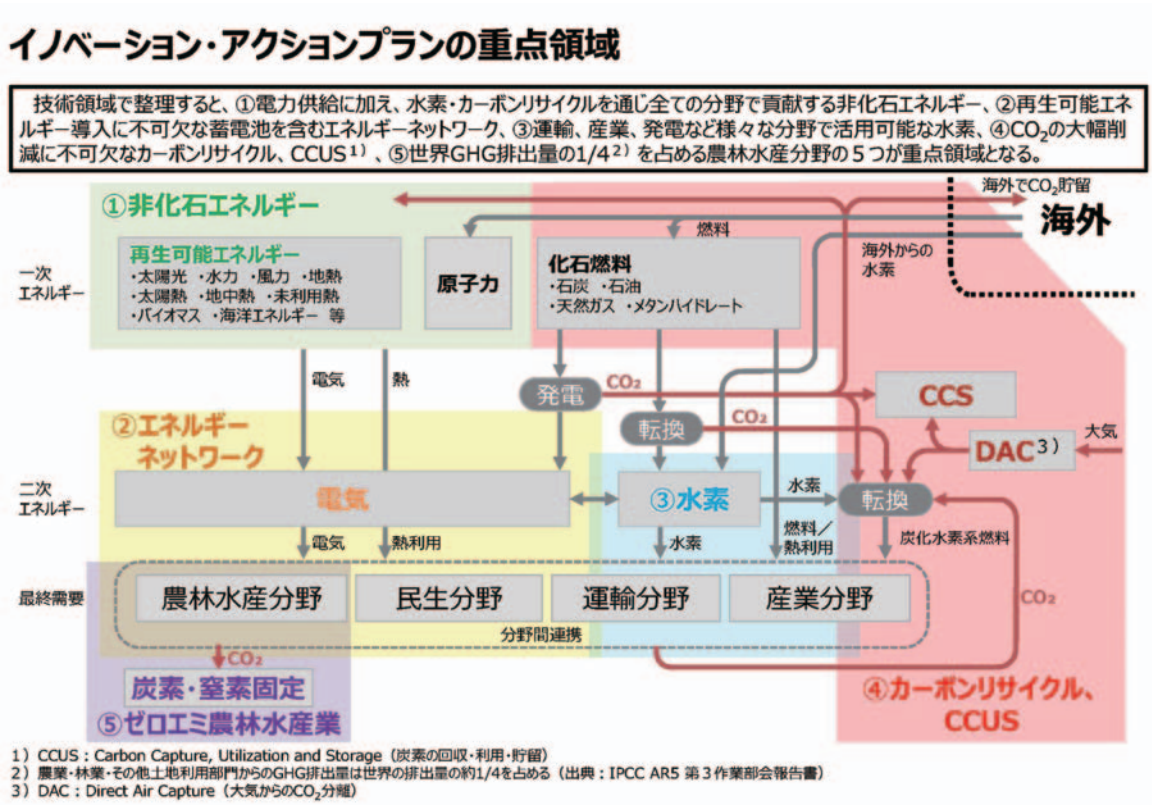


Fig. 3　Prioritized technology sets in the environment innovation strategy

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

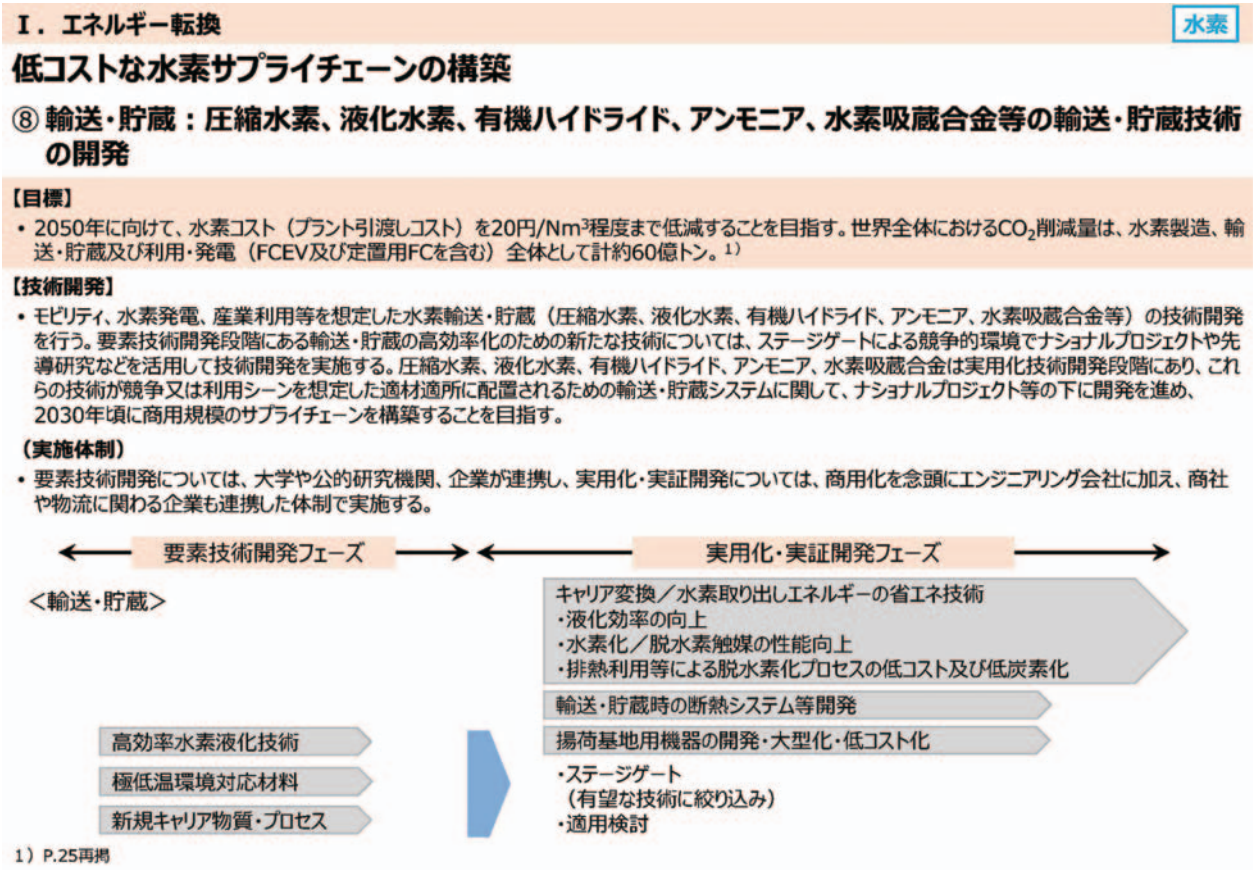


Fig. 4 Low-cost hydrogen supply chain 8) storage（Environment innovation strategy）

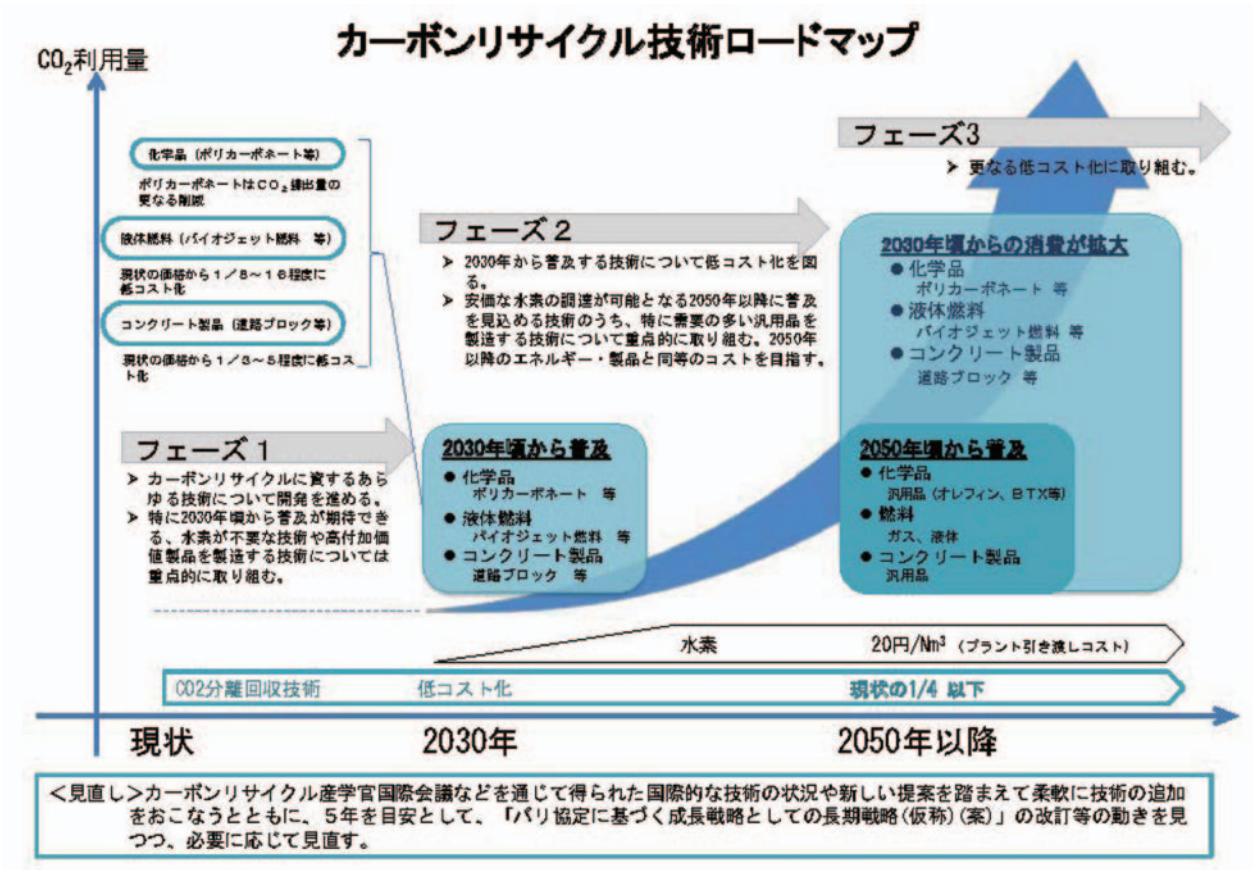


Fig. 5 Roadmap for carbon recycling technologies

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

産学官国際会議が開催され，「カーボンリサイクル３Cイニシアティブ」が公表されている。このイニシアティブは，カーボンリサイクル技術ロードマップに基づいて技術開発を加速度的に進め，各国と協調しながらイノベーションの進展を図るものであり，３つのCのアクション，①相互交流の推進（Caravan），②実証研究拠点の整備（Center of Research），③国際共同研究の推進（Collaboration）に取り組んでいくことが示されている。

3.2　液体燃料とガス燃料

Fig. 6にカーボンリサイクル技術ロードマップにおける技術開発の概要を示す。液体燃料としては，微細藻類バイオ燃料，およびCO_2由来燃料（e-fuel）またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く）が挙げられている。この中で，合成燃料（e-fuel）は，発電所や工場等から回収したCO_2と水素を合成して作られるエンジンで利用可能な液体燃料である。グリーン成長戦略では，燃料のカーボンニュートラル化に向けては，既存のインフラが使えるe-fuelが注目されているが，商用化に向けた一貫製造プロセスが未確立，また，製造に当たって，専用の設備を新設する必要があり，大規模な投資・設備維持コストが必要となるため，製造効率の向上等により，低コスト化を図る必要があると記載されている。したがって，今後の取組として，2050年に，ガソリン価格以下のコストが実現できるよう，既存技術の高効率化・低コスト化に加え，革新的新規技術・プロセスの開発を実施するとともに，商用化に向けた一貫製造プロセス確立のための応用研究を実施するとしている。

一方，ガス燃料としては，メタンの製造技術が挙げられている。低コストメタネーション（CO_2と水素からの燃料製造）技術の開発については，Fig. 7に示すように「革新的環境イノベーション戦略」でも，「カーボンリサイクル技術によるCO_2の原燃料化など」としてまとめられている。この中で，再生可能エネルギー由来の水素，火力発電所等から回収したCO_2を利用した，燃料に使用可能なメタンを低コストで製造する技術を確立するため，劣化の少ない革新的な触媒の開発，製造システム全体の最適化等について技術開発を行うとしている。現在，NEDO，国際石油開発帝石株式会社（INPEX），日立造船株式会社は，CO_2と水素からメタンを合成する試験設備をINPEX長岡鉱場（新潟県長岡市）の越路原プラント敷地内に完成させ，各種試験および連続運転を実施している。この試験設備では，越路原プラントで天然ガス生産時に付随して出されるCO_2と，水の電気分解によって製造された水素を合成することにより，メタンを製造する。今後，メタン合成プロセスの反応温度，反応圧力，反応負荷などのパラメータを種々変化させた最適化などの技術課題の評価・検討を実施し，カーボンリサイクル技術の一つであるメタネーション技術の確立を目指していくとしている[10]。

カーボンリサイクル技術開発の概要

※1　価格は事務局調べ
※2　基幹物質、化学品（一部の含酸素化合物の除く）、燃料の多くの技術は普及するために安価で、大量の、CO_2フリー水素が必要。バイオマス由来の場合にも水素化処理等に用いる水素が必要。

カテゴリー	CO_2変換後の物質	現状※1	課題	既存の同等製品の価格※1	2030年	2050年以降
基幹物質	合成ガス・メタノール等	一部実用化、革新的プロセス（光、電気等利用）は研究開発段階	変換効率・反応速度の向上、触媒の耐久性向上　など	－	プロセスの低コスト化	プロセスの更なる低コスト化
化学品	含酸素化合物	一部実用化（ポリカーボネート等）、その他は研究開発段階【価格例】既存の同等製品程度（ポリカーボネート）	ポリカーボネートはCO_2排出量の更なる削減 ポリカーボネート等以外の実用化（転換率・選択率の向上　など）	300-500円程度／kg（ポリカーボネート（国内販売価格））	既存のエネルギー・製品と同等のコスト	更なる低コスト化
化学品	バイオマス由来化学品	技術開発段階（非可食性バイオマス）	低コスト・効率的な前処理技術、変換技術　など	－	既存のエネルギー・製品と同等のコスト	更なる低コスト化
化学品	汎用品（オレフィン、BTX等）	一部実用化（石炭等から製造した合成ガス等を利用）	転換率・選択率の向上　など	100 円／kg（エチレン（国内販売価格））	－	既存のエネルギー・製品と同等のコスト
燃料	液体燃料（微細藻類バイオ燃料）	実証段階【価格例】バイオジェット燃料　1600円／L	生産率向上、低コスト・効率的な前処理技術　など	100円台／L（バイオジェット燃料（国内販売価格））	既存のエネルギー・製品と同等のコスト（100-200円／L）	更なる低コスト化
燃料	液体燃料（CO_2由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））	実証段階（E-Fuel等）、バイオエタノールのうち、可食性バイオマス由来については一部実用化	現行プロセスの改善、システム最適化　など	50-80円（原料用アルコール（輸入価格））約130円（工業用アルコール（国内販売価格））	－	既存のエネルギー・製品と同等のコスト
燃料	ガス燃料（メタン）	実証段階	システム最適化、スケールアップ　など	40-50円／Nm^3（天然ガス（輸入価格））	CO_2由来CH_4のコストダウン	既存のエネルギー・製品と同等のコスト
鉱物	炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物	一部実用化、低コスト化に向けた様々な技術の研究開発が実施中【価格例】数百円／kg（道路ブロック）	CO_2と反応させる有効成分の分離、微粉化　など	30円／kg（道路ブロック（国内販売価格））	道路ブロック：既存のエネルギー・製品と同等のコスト	道路ブロック以外：既存のエネルギー・製品と同等のコスト
共通技術	CO_2分離回収	一部実用化（化学吸収法）、その他手法は研究・実証段階【価格例】4000円程度/t-CO_2（化学吸収法）	所要エネルギーの削減　など	－	1000-2000円台/t-CO_2（化学吸収、固体吸収、物理吸収、膜分離）	1000円以下/t-CO_2
基盤物質	水素	概ね技術確立済み（水電解等）、他の手法含め低コスト化に向けた研究開発が実施中	低コスト化　など		30円/Nm^3	20円/Nm^3（プラント引き渡しコスト）

Fig. 6　Summary of carbon recycling technologies R&D（Added the chart border）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

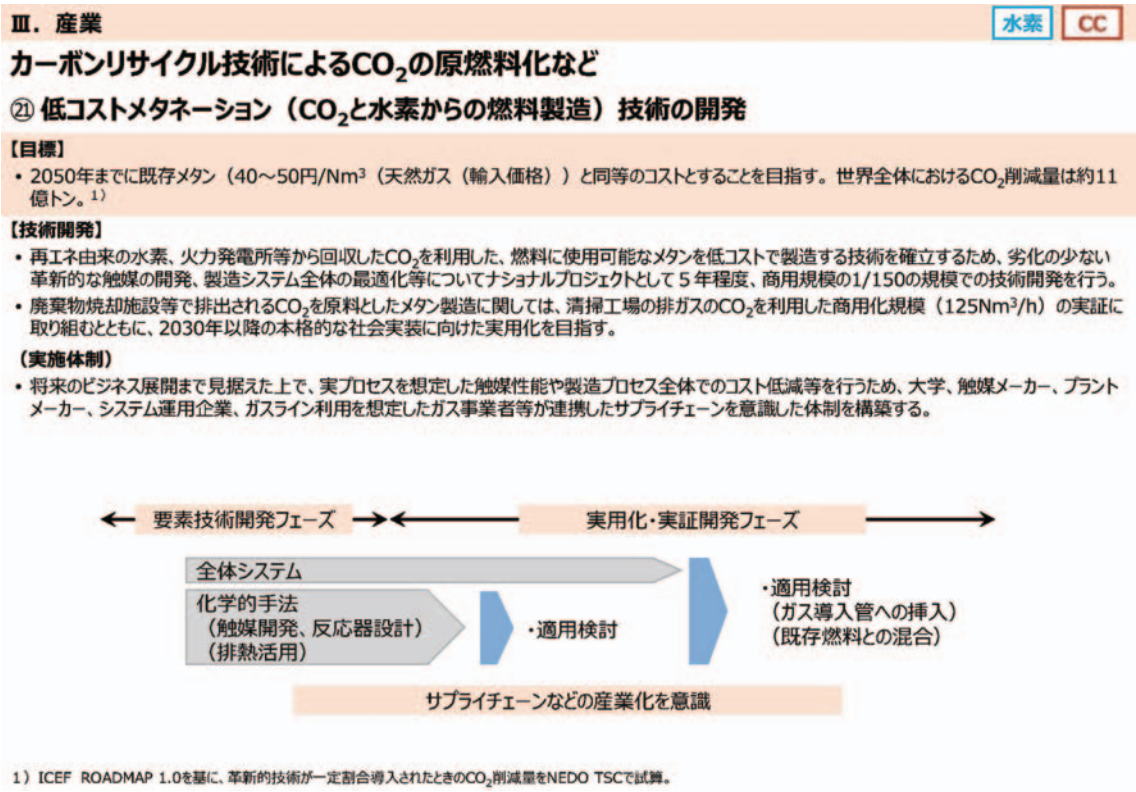


Fig. 7 Carbon recycling technologies to transform CO_2 to materials and fuels 21)
Low-cost methanation (Environment innovation strategy)

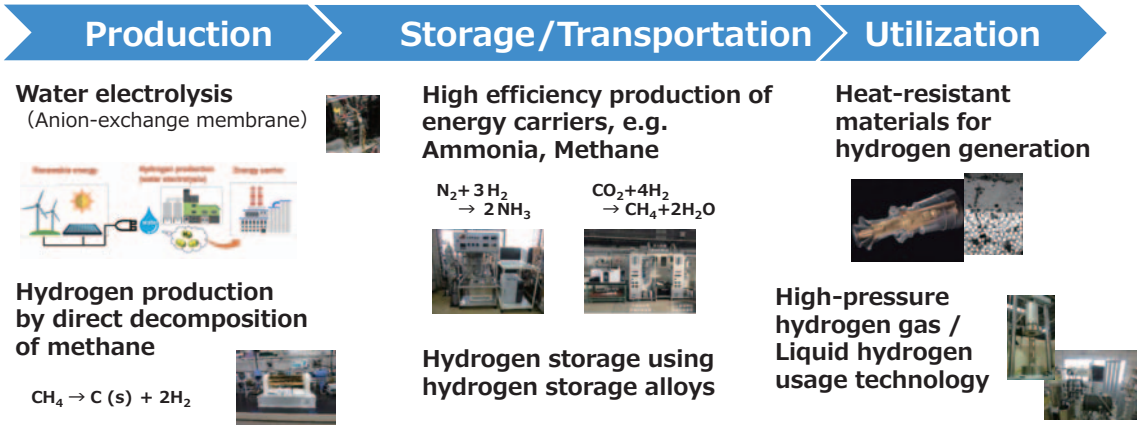


Fig. 8 Research Outline of Hydrogen Production and Storage Team,Global Zero Emission Research Center

4．産業技術総合研究所における取り組み

産総研では，「革新的環境イノベーション戦略」の下，CO_2削減対策を強化するために必要となるイノベーション創出を目的として，2020年１月にゼロエミッション国際共同研究センター（GZR）を設立した。

センターには，現在，10の研究チームがあり，主に，水素製造・貯蔵基盤研究チーム，人工光合成研究チーム，エネルギーキャリア基礎研究チーム，CO_2資源化研究チーム，電気化学デバイス基礎研究チームおよび環境・社会評価研究チームにおいて，水素エネルギーおよび脱炭素燃料を含むCCU技術に関する研究開発を行っている。このうち，水素製造・貯蔵基盤研究チームでは，革新的な水素製造技術，高性能な水素貯蔵・供給システムおよび利用技術構築のための触媒・材料・評価技術等に関する研究開発に取り組んでいる（Fig. 8）。水素製造技術として，再生可能エネルギーから，より高効率に水素を製造するためのアニオン交換膜（AEM）水電解装置に関する研究を進めている。また，革新的な技術として，メタンの直接分解によるCO_2を副生しない水素製造技術の研究開発を実施している。本研究では，メタンから水素と固体炭素を製造可能とするプロセスの提案に向けて，触媒開発，反応器最適化およびシナリオ検討等を進めている。水素貯蔵・輸送について，水素を利用したエネルギーキャリア（アンモニア，メタン等）の高効

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

率製造技術や水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵技術に関する研究に取り組んでいる。さらに，水素利用技術として，水素発電用の耐熱材料，また，液化水素および高圧水素ガス利用技術に関する研究開発も推進している。

4．おわりに

本稿では，水素エネルギー・脱炭素燃料の動向について，水素基本戦略や革新的イノベーション戦略など政策動向を中心に概説した。グリーン成長戦略でも，テーマ横断的な取組として，水素利用・輸送・製造に関する革新的技術の研究開発・実証に継続的に取り組むとしており，2050年カーボンニュートラルの実現に向けて，技術開発に対する期待は大きい。一方で，カーボンニュートラルに貢献するべく新しい技術を実用化・社会導入していくためには，一つの技術，一つの機関で対応していくことは難しく，連携した取り組みが重要になってくる。

カーボンリサイクル技術においては，安価なCO_2フリー水素を調達することが大きな課題であり，水素製造コストの低減に向けた取り組みが重要となる。一方，水素・燃料戦略電池ロードマップにおいても，「水素と炭素は炭化水素の主要な構成物として，いわば表裏一体の関係であり，CO_2フリー水素と二酸化炭素からプラスチック製品等を製造する技術など，二酸化炭素の回収・利用により気候変動問題に対応する技術（カーボンリサイクル技術・CCU）の実用化に向けた検討・研究開発を実施する」と記載されているなど，水素とCCU技術とは関係が深く，合わせて技術開発を進める必要がある。

水素と脱炭素燃料に関する技術開発や取り組みを広く網羅したこの度の特集が，更なる連携に繋がることを期待したい。

参考文献

(1) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 2020年12月〈https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(2) 第４次エネルギー基本計画　2014年4月〈https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(3) 水素・燃料電池戦略ロードマップ　2014年6月〈https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/pdf/report01_03_00.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(4) 水素基本戦略（概要）　2017年12月〈https://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-2.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(5) 第５次エネルギー基本計画　2018年7月〈https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(6) 水素・燃料電池戦略ロードマップ　2019年3月〈https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(7) 革新的環境イノベーション戦略　2020年1月　〈https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(8) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略　2019年６月〈https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/Long-term_strategy.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(9) カーボンリサイクル技術ロードマップ　2019年6月〈https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf〉（参照日2021年1月26日）.

(10) NEDOニュースリリース　2019年10月〈https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101217.html〉（参照日2021年1月26日）.

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用

Establishing a Liquefied Hydrogen Supply Chain and Appling a Hydrogen Gas Turbine for Power Generation

足利 貢[*1]　山口 正人[*1]　堀川 敦史[*2]
ASHIKAGA Mitsugu　YAMAGUCHI Masato　HORIKAWA Atsushi

キーワード：水素サプライチェーン，液化水素，水素ガスタービン，熱電併給，ドライ低NOx燃焼
Key Words：Hydrogen Supply Chain, Liquefied Hydrogen, Hydrogen Gas Turbine, Combined Heat and Power, Dry Low-NOx Combustion

1．はじめに

パリ協定が提案されたCOP21よりも早く，日本では資源エネルギー庁より産学官の知見を集約した「水素・燃料電池戦略ロードマップ[(1)]」が2014年に策定・公開された。さらには省庁連携の下，より具体化した「水素基本戦略[(2)]」が2017年12月に再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議で承認された。2018年７月に公開された第五次エネルギー基本計画においても，水素エネルギーの活用について具体的に記載されている[(3)]。

CO_2排出量の削減目標としては，2030年度の排出を2013年度の水準から26％削減するとしており，さらに2020年10月には菅総理の所信表明演説にて2050年に温室効果ガス排出を実質的に“0”とする目標が示された。このような野心的な目標を達成するためには，低炭素エネルギーへの移行を進める必要があり，特に水素がエネルギー移行に重要な役割を担うと考えられている。

日本の水素基本戦略では，水素を再生可能エネルギーと並ぶ将来の重要なエネルギーの選択肢と位置付けており，輸送・発電・産業およびビルや家庭などすべてのセクターでの水素利用推進を掲げている。また，水素発電とこれを支える液化水素サプライチェーンの商用化を2030年代初頭に開始するとしており，当社はこれを念頭に技術開発および実証を進めている。

このように，水素エネルギー利用を目指す動きは日本が世界をリードしてきたが，近年では洋の東西を問わず一斉に水素利用を目指し始めている。エネルギー・資源，プラント，産業ガス，輸送機器などのグローバル企業13社が集まり，水素社会の早期実現に向け活動するHydrogen Council（水素協議会）[(4)]は2017年１月の発足後，３年間で参画企業数が約６倍拡大して2020年７月末時点で92社に増加している。さらに，G20の７割の国が政策に水素利用を組み込んでおり，水素の利用および市場拡大の蓋然性は急速に高まっている。

2．国際水素サプライチェーンの構築

2.1　CO_2フリー水素サプライチェーンのコンセプト

当社は，2010年の中期経営計画で「CO_2フリー水素サプライチェーン（CO_2フリー水素チェーン）構想」を公表し，以来その実現に向けた技術と製品の開発にとどまらず，商用化を目指した技術実証と協業コンソーシアムの構築に取り組んできた。

CO_2フリー水素チェーンの構想はFig. 1に示すように，豪州ビクトリア州ラトローブバレーの褐炭をガス化・精製して製造した水素を液化し，液化水素運搬船で日本に海上輸送するものである。褐炭は，水分が多いため輸送効率が低く，乾燥すると自然発火し易いため，採掘地の近傍で発電に利用されるに留まっている。世界に賦存する石炭の半分は褐炭であるが，特にビクトリア州には莫大な量が存在し，ラトローブバレー地区だけで日本の総発電量で240年分に相当する褐炭が賦存する。Fig. 2に示す南半球最大と言われているロイヤン炭田では，露天掘りの周長が14kmにも達し圧倒的なスケールである。

褐炭に限らず化石燃料をガス化・精製すると水素が得られるが，精製過程でCO_2を副生する。このCO_2を現地で回収して地中に貯蔵するCCS（Carbon Dioxide Capture Storage）処理を行うことで，CO_2の大気排出

原稿受付　2021年１月25日
＊１　川崎重工業㈱ 技術開発本部
水素チェーン開発センター プロジェクト管理部
〒673-8666　明石市川崎町１番１号
＊２　川崎重工業㈱ 技術開発本部
技術研究所 熱システム研究部
〒673-8666　明石市川崎町１番１号

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

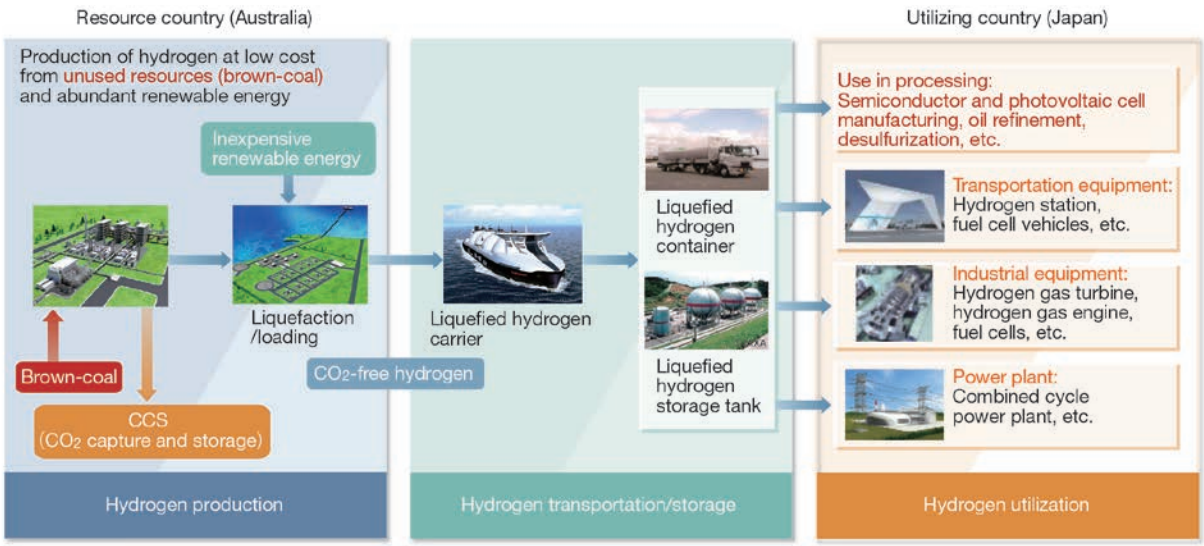


Fig. 1　Concept of CO_2-free hydrogen energy supply chains

を伴わない水素（CO_2フリー水素）が得られる。豪州連邦政府およびビクトリア州政府は共同してCCSプロジェクト「CarbonNet」を推進しており，ビクトリア州は褐炭とCCSを同時に利用できる適地となっている[5]。ラトローブバレーで製造した水素は，ガスパイプラインで圧送され，港近くに設置された水素液化機で液化水素に変換される。そして一旦貯蔵タンクで保管された後，液化水素運搬船に積み込んで日本に運搬される。

CO_2フリー水素サプライチェーン構想における特長を以下に示す。

・大量・安定確保が可能：未利用資源から水素製造
・環境性良好：水素製造時のCO_2は現地で回収・貯留
・産業競争力が向上：水素を扱う技術・産業力が必要
・国富流出を抑制：高価な資源の単なる購買ではない

このように，CO_2フリー水素は将来のエネルギーに求められる条件であるエネルギー安全保障・経済性・環境性および安全性（3 E+S）に適合している。

Fig. 2　Loy Yang coalfield in Latrobe Valley, Australia

2.2　日豪パイロット実証

水素エネルギーの社会実装に向けて，世界初となる褐炭由来水素による液化水素の長距離大量海上輸送を含むパイロット規模（運搬船容量で商用の約1/120）の水素サプライチェーンの技術実証（日豪パイロット実証）を2021年より実施する。パイロット実証は，Fig. 3に示すようにラトローブバレーの褐炭ガス化水素製造設備から神戸空港島の液化水素荷役基地に至る一気通貫の水素サプライチェーンであり，技術・安全・運用および社会受

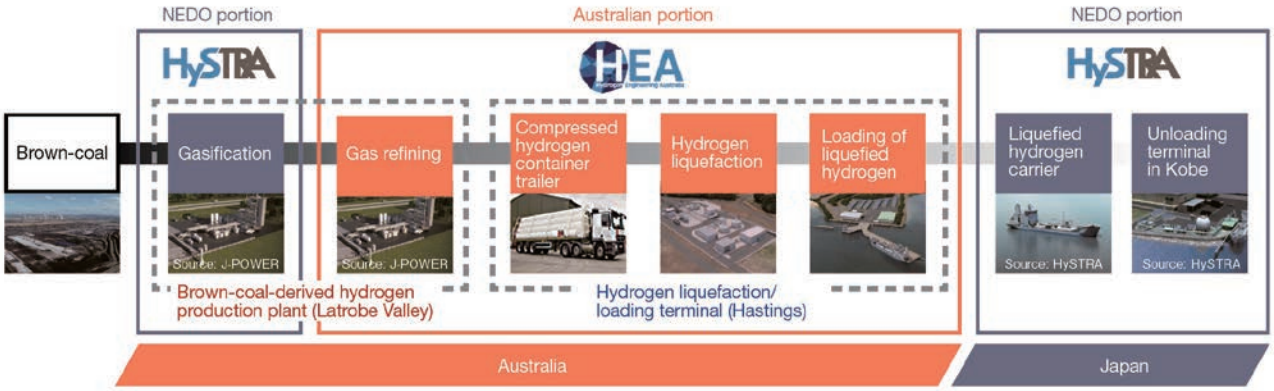


Fig. 3　The whole structure of Japan-Australia pilot demonstration projects

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

Fig. 4 Sea trial of liquefied hydrogen carrier “SUISO FRONTIER”

容性に関わる課題摘出を行う。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」で実施しているNEDOポーションと，豪州政府の補助金を得て実施している豪州ポーションがある。

NEDOポーションは，当社のリードにより2016年に設立した技術研究組合 CO_2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）を推進母体としている。加入企業は川崎重工業㈱，岩谷産業㈱，電源開発㈱，シェルジャパン㈱，丸紅㈱，ENEOS㈱および川崎汽船㈱の７社。

また豪州ポーションは，当社の現地法人 Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd（HEA）が豪州政府補助の窓口となって推進している。参画企業は川崎重工業㈱，岩谷産業㈱，電源開発㈱とその現地法人 J-Power Latrobe Valley Pty Ltd（JPLV），丸紅㈱，AGL Loy Yang Pty Ltdおよび住友商事㈱である。

日豪パイロット実証の進捗状況としては，ラトローブバレーの褐炭ガス化水素製造設備や積荷港となるヘイスティングス港の水素液化基地，日本側の揚げ荷基地（神戸空港島）が順次完成しており，それぞれの設備にて試験運転を行っている。液化水素運搬船についても，2020年10月に海上試運転を完了し（Fig. 4），2021年からの日豪運航に向けて最終的な仕上げを進めている。

3．ガスタービン発電での水素利活用

3.1　水素ガスタービンにおける技術課題

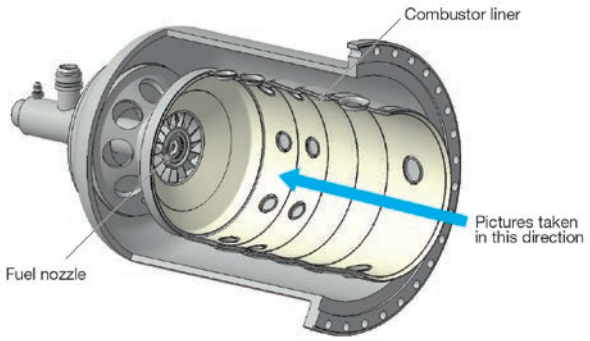
国際的な水素サプライチェーンを実現する上では，スケールメリットにより水素価格を低減させることが重要であり，そのためには需要フェーズで大量の水素利用ができるアプリケーションが必要となる。ガスタービン発電での水素利活用は，このような大量の水素需要を喚起する上で大いに期待されている。

ガスタービンは多様な燃料に対応できることから水素を燃料ガスとすることが可能であるが，水素特有の燃焼特性に適合する燃焼技術が必要となる。水素の安定燃焼と大気汚染物質であるNOxの低排出性を兼ね備えた燃焼技術と燃焼器部品の開発が水素発電を実現するための鍵となる。

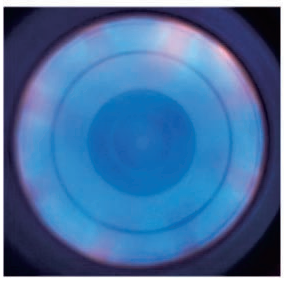
1）**水素の安定燃焼**　水素は天然ガスに比べて　燃焼速度が速く，燃焼時の火炎が燃焼器部品に接近するため，部品の高温化や燃焼不安定を起こす可能性が高くなる。天然ガス焚き用の燃料ノズルで天然ガスと水素を燃焼試験した際の，燃焼器内部での火炎の状態をFig. 5（b），（c）に示す。水素燃焼時には，燃料ノズル部品に水素の火炎や燃焼ガスが近づき，温度が非常に高いことを示す赤熱を起こしている。

　ガスタービンでは燃焼器の後段に高速で回転するタービンがあり，燃焼器部品が下流へ脱落するような損傷が生じるとタービン部品を破壊してエンジンを停止させる事態となる。このため，水素でも異常な燃焼状態を発生させず安定した燃焼状態を維持できるように，燃焼器の部品形状などを工夫することが重要となる。

2）**NOxの抑制**　燃焼器内で形成される天然ガスと水素の混合気の火炎を調査するため，燃焼器部品の一部をガラス円筒に置き換えた可視化燃焼器と，高速度カメラを用いて撮影した火炎の様子をFig. 6に示す。同図（b）のように天然ガスの割合が多いときは，火炎が燃料ノズルから離れた場所で形成されるのに対し，同図（c）のように水素の割合が多いと燃料ノズルの直近で火炎が形成されるようになる。このような反応域の変化および局所的な火炎温度の上昇により，ガスタービン実機での燃焼条件における水素燃焼時には，NOxの発生量が天然ガスに比べて２から2.5倍近くになることから，その発生量抑制も大きな課題である。



（a）Structure of combustor

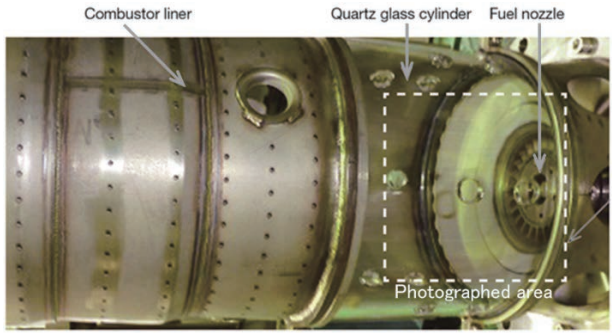


（b）Natural gas combustion

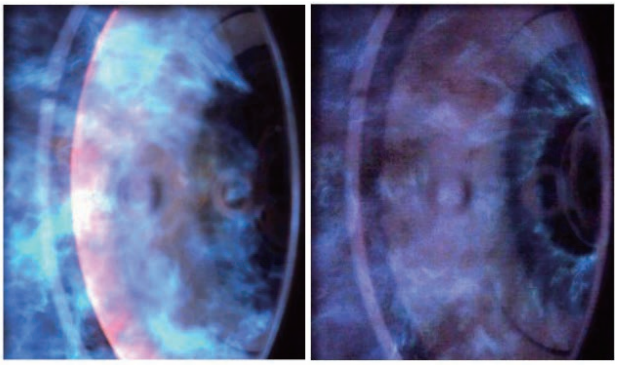
（c）Hydrogen combustion

Fig. 5 Combustor structure and combustion state

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.



(a) Visualization combustor



(b) 80 vol% natural gas to 20 vol% hydrogen　(c) 5 vol% natural gas to 95 vol% hydrogen

Fig. 6 Visualization combustor and flame behavior

3.2　水素ガスタービンの開発と実証

ガスタービンで用いられる燃焼方式およびNOx抑制方式には，燃焼安定性に優れる拡散燃焼に水や蒸気を燃焼器内に噴射してNOxを抑制する「ウエット方式」と，空気と燃料の混合方法などを工夫することによりNOxを抑制する「ドライ低NOx方式」がある。

空気内に燃料ガスを送り込んで燃やす拡散燃焼では，燃焼器部品の高温化への対策により水素燃焼にも対応できる。当社では水素ガスタービンの技術を早期に確立するために，このウエット方式の開発を先行して実施した。

しかしながら，ウエット方式では，水や蒸気を供給する純水製造設備の導入が必要になるとともに，効率が若干低下するためランニングコストが増加する。このため，水素の燃焼特性に適合する新たなドライ低NOx方式を採用した燃焼器についても研究開発を進めてきた。

1）水素コージェネレーション実証　ウエット方式の水素ガスタービンは，NEDO助成事業「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」(2015～2018年度）へ適用し，水素コージェネレーションシステム（水素CGS）として実証を行った（Fig. 7)。本実証設備には，当社製「M1A-17型ガスタービンエンジン」(Fig. 8）を装備する定格発電出力1 MW級の「PUC17型常用発電装置」を使用し，ウエット方式の水素対応燃焼器を搭載した。

この燃焼器は燃料ガスの組成変化に柔軟に対応でき，水素ガス専焼（純水素100％），都市ガス専焼，水素と都市ガスを任意の割合で混合した混合ガスによる混焼運転が可能で，混焼率は運転中に天然ガス100％から水素100％までシームレスに切替え可能である。

Fig. 7 Hydrogen CGS demonstration plant

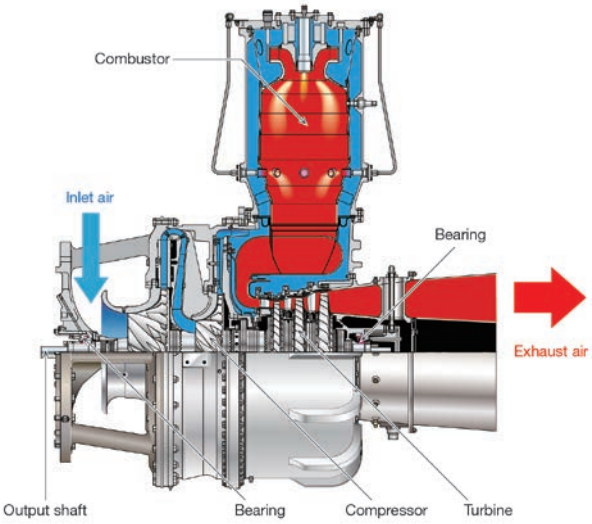


Fig. 8 KAWASAKI 1MW class gas turbine (M1A-17)

実証設備は神戸市ポートアイランドに建設され，2017年12月に設備が完成，試運転を経て2018年３月より水素と天然ガスの混焼および水素専焼による熱電併給の実証試験を開始した。

2018年４月19日，20日の実証試験では，水素のみを燃料とした運転に世界で初めて成功するとともに，近隣の公共施設へ電力約1.5MW，熱（蒸気）約１ton/hrを同時供給し，水素エネルギーによる熱電併給も達成した（Fig. 9，Fig. 10)[6]。ウエット方式燃焼器のNOx性能としては約50ppm（O_2=16％換算）であり，国内の大気汚染防止用で定められているNOx規制値70ppm（O_2=16％換算）を十分にクリアしている。

なお，本実証事業は㈱大林組との共同実施であり，同社は「水素」「電気」「熱」エネルギーの効率的な利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステ

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

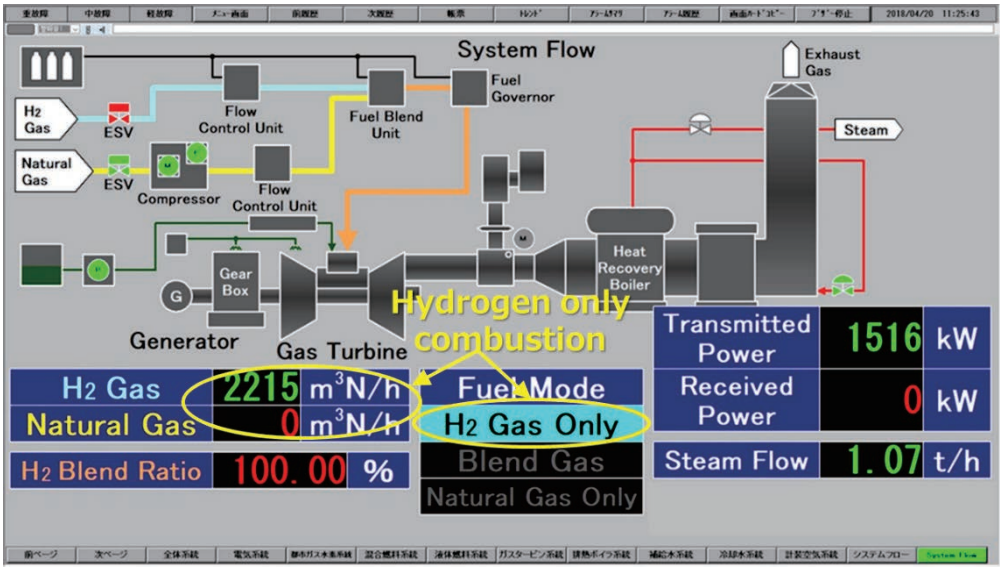


Fig. 9　Operation monitoring system（at the first time achieved 100% hydrogen operation）

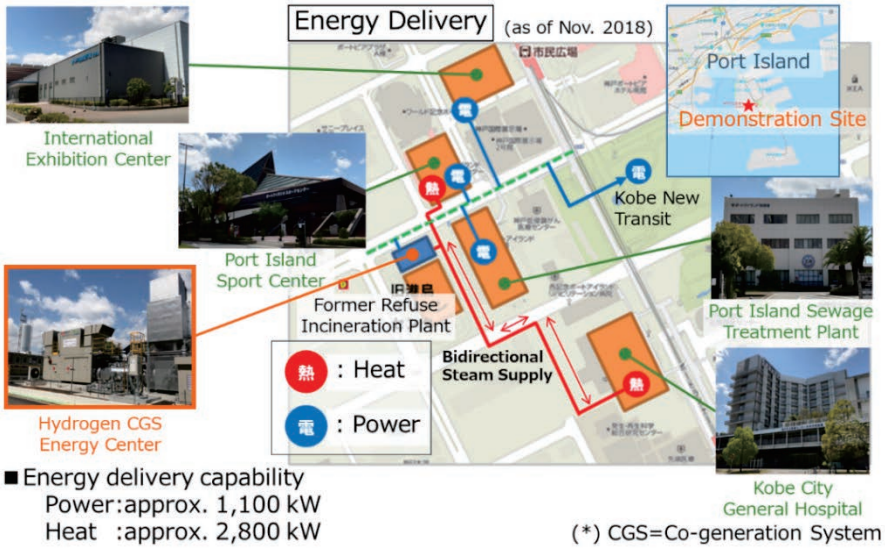


Fig. 10　Energy delivery in the hydrogen CGS demonstration

ム（統合型EMS：Integrated Energy Management System）の技術開発・実証を担当している。

2）**ドライ低NOx水素専焼燃焼器**　天然ガスでは，空気と天然ガスを予め混合してから燃焼させる希薄予混合燃焼によりドライ低NOx燃焼を達成している。一方，水素は反応性が高く逆火などの燃焼不安定が生じるため，ドライ低NOx燃焼は非常に難しい。

そこで，微小な水素火炎を用いた水素専焼ドライ低NOx燃焼方式であるマイクロミックス水素燃焼技術のガスタービンへの適用研究を進めてきた。Fig. 11に示すように，直径1 mm以下の微小な水素噴射孔から水素を噴射し，直行する空気噴流と急速に混合することで，燃焼安定性に優れる微小な水素火炎を形成し，かつ反応時間を短くすることでNOxの発生を抑制している。

1 MW級ガスタービン用ドライ低NOx水素専焼燃焼器をFig. 12に示す。水素バーナ部はリング形状としており，水素の焚き量（運転負荷）に応じて使用するリング数を変更する[7]。これにより，エンジン起動時から低負荷時における高い燃焼効率と高負荷時の低NOx燃焼の両立を実現した。

試作燃焼器を用いて，着火・保炎性能や高負荷燃焼状態でのNOx性能などを取得した。Fig. 13（a）には実際のガスタービンと同様の高温・高圧環境を再現できる試験設備へ搭載した試作燃焼器，同図（b）には100％定格負荷相当時の燃焼器内部での水素火炎の様子を示す。

本試験により，安定した水素の燃焼を確認するとともに，50％負荷から定格100％負荷相当の範囲で，国内規制値の半分となるNOx値 35ppm（O_2＝16％換算）以下を得た。

このようにして開発した燃焼器を，NEDO助成事

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

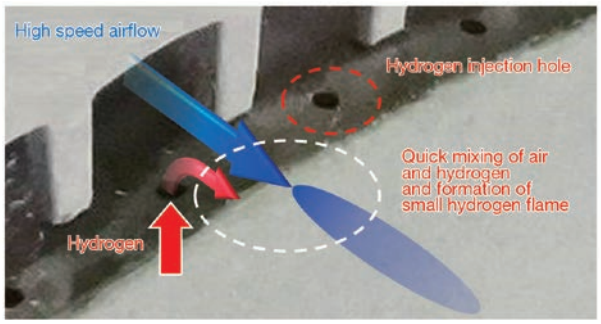


Fig. 11　Micro-mix hydrogen combustion technology

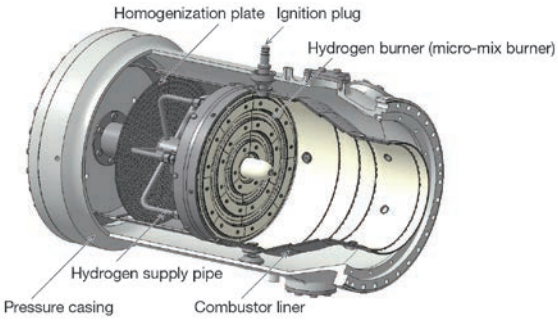
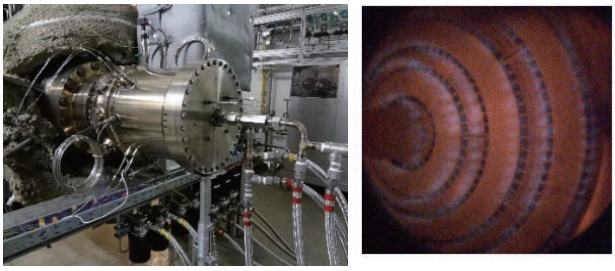


Fig. 12　Hydrogen dry low NOx combustor



(a) Test facility and trial combustor　(b) Inside of combustor in design condition equivalent

Fig. 13　Rig tests of hydrogen combustor

業「ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」(2019 ～ 2020年度) にて神戸市ポートアイランドの実証設備へ搭載し，フィールド実証を実施，2020年 5 月に世界初となるドライ方式での水素専焼運転に成功した[8]。その後は実証試験を継続し，本燃焼器による発電効率・環境負荷低減効果などの性能検証を進めている。

4．おわりに

水素エネルギーは，脱炭素のみならずエネルギー安全保障や経済・雇用にも貢献することから，多くの国々が実証に着手している。その動きをリードしてきた日本の政策に沿って，当社はいちはやく水素サプライチェーンの開発・実証に取り組み，着実に進めてきた。

また，水素サプライチェーン実現の一環として，水素燃焼技術の開発ならびに水素燃焼ガスタービンの開発も推進してきた。これらの技術により水素を天然ガスと同様にガスタービンの燃料として使用することが可能となり，将来の水素社会構築に大きく貢献できるものと考えている。

謝辞

本稿にて紹介した内容は，NEDO助成事業「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」,「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」,「ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」，およびNEDO委託事業「水素ガスタービン燃焼技術の研究開発」にて得られた成果をもとにしております。

また，当社が進める水素関連プロジェクトへの助成・支援を頂いた関係官庁・自治体，およびプロジェクト推進に協力頂いた関係各社に深く謝意を表します。

参考文献

(1) 水素・燃料電池戦略ロードマップ
＜http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/report_001.html＞
(accessed on 24 June, 2014).

(2) 水素基本戦略
＜http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html＞
(accessed on 26 December, 2017).

(3) 第五次エネルギー基本計画
＜http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf＞(accessed on July, 2018) .

(4) Hydrogen Council ＜https://hydrogencouncil.com/en/＞
(accessed on January, 2017).

(5) Victoria州 CarbonNet Projectホームページ
＜https://earthresources.vic.gov.au/projects/carbonnet-project＞(accessed on 26 November, 2020).

(6) NEDOホームページ
＜https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100945.html＞
(accessed on 20 April, 2018).

(7) Horikawa, A., Okada, K., Wirsum, M., Funke, H. and Kusterer, K., Application of Low NOx Micro-Mix Hydrogen Combustion to 2MW Class Industrial Gas Turbine Combustor, IGTC2019 Tokyo (2019).

(8) NEDOホームページ
＜https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101337.html＞
(accessed on 21 July, 2020).

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

“SPERA水素®” システムによる国際間水素サプライチェーン実証

The International Hydrogen Supply Chain Demonstration by “SPERA Hydrogen®” System

岡田 佳巳*1
Okada Yoshimi

キーワード：水素，有機ケミカルハイドライド，メチルシクロヘキサン，脱水素，スペラ水素
Key Words：Hydrogen, LOHC, Methylcyclohexane, MCH, dehydrogenation, SPERA Hydrogen

1．緒言

パリ協定以来，地球温暖化防止対策としての脱炭素の潮流は年々加速しており，我が国も昨年10月に2050年までに炭素排出ゼロを目指すことが宣言された[(1),(2)]。解決には，再生可能エネルギーの利用拡大が必須であり，再生可能エネルギー等の一次エネルギーを利用した水素製造を通じて，クリーンな水素燃料に変換して「貯める」「運ぶ」を行う水素エネルギーのシステムは，人類が永続的に利用できる究極的なエネルギーシステムである。脱炭素社会の実現には，水素を石油や天然ガスのように国際間での大規模長距離輸送が必須であり，将来には水素を石油に替えて国家備蓄する必要も生じると考えられる。すなわち，水素エネルギーが従来の燃料のように市民権を得るには，3E+S（Environment, Economic Efficiency, Energy Security + Safety）の要件を満たす必要がある。これらの要件を満たす水素貯蔵輸送技術の実用化は，グローバルな低炭素社会の構築に極めて重要な課題である。

当社は，天然ガスを精製・冷却液化して輸出するLNG設備の建設プロジェクトの売上比率が高く，天然ガスの次に来る燃料が水素と考えられることから，2000年当時に水素を大規模に輸送する技術の検討を行い，有機ケミカルハイドライド法に着目した。この方法は，LOHC（Liquid Organic Hydrogen Carrier）と呼ばれる有機化合物の分子内に水素を貯蔵して，常温・常圧の液体状態で既存のタンクやケミカルタンカーなどで大規模に貯蔵輸送でき，ガソリンや軽油の流通と同等の安全性を有する方法であるとともに，既存のタンクやケミカルタンカーのインフラを最大限に転用して投資コストを低減できる特徴を有していることが着目した理由である。

当社は2002年から触媒開発を開始して，2011年に鍵となる水素発生に必要な脱水素触媒のラボ開発と工業触媒化に成功した。その後，2014年にパイロットプラントによる技術実証デモンストレーション運転を通じて，全工程の基本的な技術確立を完了している。

当社では，本技術を「SPERA水素®」システムと命名するとともに，2015年度から世界で初めて国際間で水素を大規模輸送する国際間水素サプライチェーン実証を目指したNEDOプロジェクトに参画して，2020年に本システムによる全工程にわたる国際間水素サプライチェーン実証を成功裏に完了している。本稿では，SPERA水素システムの概要と特長，および国際間水素サプライチェーン実証について紹介する。

2．SPERA水素システム

2.1　システムの概要[(3)-(6)]

Fig. 1に本システムの全体工程を示す。再生可能エネルギー等から製造した水素をトルエンなどの芳香族と水素化反応させて生成するメチルシクロヘキサン（MCH）の分子内に水素原子を貯蔵する。この水素化工程によって，常温常圧のMCHの液体として水素を「貯める」「運ぶ」ことが可能なる。海上輸送や陸上輸送の後，脱水素反応でMCHから必要量の水素を取り出して利用する。この脱水素工程で生成したトルエンは，水素出荷場所に戻して，再度，水素化工程の原料として利用する。このように，本システムは，水素化工程と輸送工程，および脱水素工程からなり，トルエンは繰り返し利用する。

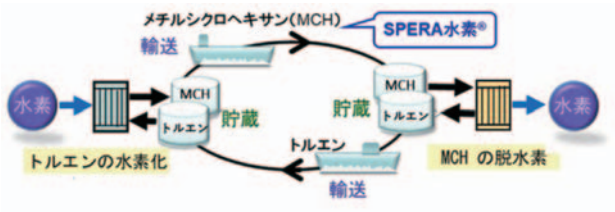


Fig. 1　Scheme of SPERA hydrogen system

原稿受付　2021年１月31日
＊1　千代田化工建設㈱
技術開発部兼水素チェーン事業推進部
〒220-8765　横浜市西区みなとみらい４丁目６番２号
E-mail: okada.yoshimi@chiyodacorp.com

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

2.2　SPERA水素システムの特長

本システムは次のような長所を有している。

2.2.1　常温・常圧の液体貯蔵輸送が可能　常温常圧の液体のため貯蔵輸送中のエネルギーロスが少なく，トルエンとMCHが変化することがないことからエネルギー効率が高く，長期間の大規模貯蔵に際してもエネルギー消費が極めて少ないことから，既存の石油備蓄基地のタンクを転用して水素を国家備蓄することも可能である。

2.2.2　取扱いが容易　トルエンとMCHは，ペンキや修正ペンにも使用されている毒性が低い塗料溶剤であり，ガソリンや軽油の成分なので毒性が低くハンドリングが容易である。

2.2.3　既存の設備の転用が可能　トルエンとMCHは，工業溶剤として大規模に流通しており，ケミカルタンカーによる海上輸送のほか，ISOタンクコンテナ（ISO規格に則したタンクで貨物船/トラック/鉄道などに，そのまま積み替えてシームレスに輸送できるコンテナ用タンク）やケミカルローリーでの陸上輸送も実用化されている。また，製油所などの既存の大型タンクの転用も可能なため，既存インフラを最大限に転用して設備投資コストの低減が可能である。

2.2.4　安全性が高いシステム　水素は爆発性の気体のため，特殊な条件下での貯蔵輸送や毒性の高い物質に変換した貯蔵輸送の場合，事故が起きた場合に周辺に与える影響が大きく，事業者にとっても事故時の補償など潜在的なリスクが非常に高い物質である。トルエンとMCHは，腐食性がなくガソリンや軽油と同等に取扱いができるため，事故等の潜在的なリスクが少なく安全性が高いシステムである。

2.2.5　全工程の技術が確立されたシステム　本システムは，2014年に延べ約１万時間にわたるパイロットプラントによるデモンストレーション運転を通じて，水素化工程と脱水素工程の技術確立が完了しているほか，2020年の国際間水素サプライチェーン実証によって輸送工程を含めた大規模な水素サプライチェーンの商業化に必要な全工程に関する実証が完了したことで，世界に先駆けた早期の商用化が期待できるシステムである。

2.2.6　コストダウンのポテンシャルが高いシステム　我が国の水素基本戦略では2030年に30 ￥/Nm^3，2050年に20 ￥/Nm^{3}の水素供給コストを目標としている。本システムは化学的な方法のため，工程の簡略化などの技術イノベーションが原理的に可能あり，コストダウンのポテンシャルが高いシステムである。

3．SPERA水素システムの開発

3.1　触媒開発[7],[8]

触媒開発の課題は，劣化要因である顕著な炭素析出を抑制して連続１年以上にわたり収率95％以上を維持できる触媒寿命を確保することであった。また，触媒を利用する反応器形式は最もシンプルな多管式固定床反応器を利用することが前提とされた。開発された触媒はアルミナ担体に，担体断面全体にわたって世界最小クラスの大きさである１nm程度の白金粒子を均一に高分散させたUniform型のナノ白金/アルミナ触媒である。Fig. 2に開発された脱水素触媒の推定表面モデルを示す。

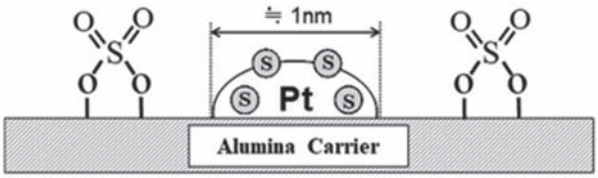


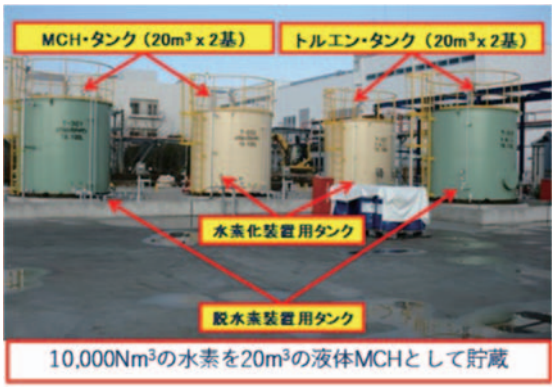
Fig. 2　Estimated surface model of dehydrogenation catalyst

3.2　技術確立実証[9]–[18]

Fig. 3にパイロットプラントの写真を示す。2013年４月から2014年11月にわたって，技術の確立を目的としたデモンストレーション運転を行った。

SPERA水素 システムの特徴は各プロセスの構成がシンプルなことにある。トルエンとMCHは常温・常圧の条件下に液体状態でタンクに貯蔵され，反応は触媒を充填した反応管を配列した熱交換器型の多管式固定床反応器にて気相反応で行われる。反応後の留出ガスを100℃以下に冷却して単純な気液分離を行うことにより，液体状態のMCHとトルエンをそれぞれ高い収率で得ることができる。反応条件は水素化反応温度が250℃以下，脱水素反応温度は400℃以下であり，反応圧力は双方とも

(a) Reaction section



(b) Storage section

Fig. 3　Pilot plant（Yokohama, Chiyoda R&D center）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

に１MPa以下の化学反応としては低圧で温和な反応条件である。

延べ約１万時間にわたる実証運転において98%以上の高い収率を維持できることを確認するとともに，商業プラントに必要な各種のデータ取得を実施して水素化，および脱水素反応プロセスの術を確立することができた。パイロットプラントによる実証を通じての技術確立の完了に伴い，2015年度から開始された国際間水素サプライチェーン実証プロジェクトに参画することができた。

４．国際間水素サプライチェーン実証[19)–24)]

4.1　実施体制

Fig. 4に本実証の実施体制を示す。本実証は，NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）による助成事業（「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」（NEDO助成事業：水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発））として遂行された。

具体的には，千代田化工建設，三菱商事株式会社，三井物産株式会社，日本郵船株式会社の４社が設立した技術研究組合，AHEAD（次世代エネルギーチェーン技術研究組合：Advanced Hydrogen Energy Chain Association for Technology Development）によって遂行されたプロジェクトである。AHEADでは上記の４社のほかに技術協力先として三菱パワー株式会社と株式会社日本政策投資銀行にもご協力を頂いたほか，ブルネイ政府，および川崎市にも多大なご協力を頂いている。

Fig. 4　Project execution structure

4.2　実証の概要

Fig. 5にブルネイ・ダルサラーム国の位置を示す。また，Fig. 6に本国際実証の概要を示す。ブルネイ・ダルサラーム国は，日本から5,000 km離れた東南アジアのボルネオ島北西部に位置する小さな国でイスラム教国であり，日本への天然ガス輸出国として知られている。

本実証は，このブルネイ・ダルサラーム国で水素を製造，SPERA水素システムで日本の川崎臨海部に輸送するものである。装置規模はブルネイ側に建設された水素化装置，川崎側に建設された脱水素装置ともに300 Nm^3/hで，１年間に最大210トンの水素を製造して輸送できる規模であり，燃料電池自動車（FCV）の水素充填量に換算すると４万台に充填できる水素量に相当する。

Fig. 5　Brunei dursaalum and japan

設備規模	フル稼働時　210 トン/年 （FCVフル充填4万台分相当）
チェーン運用期間	2020年3月 ～ 12月を予定
水素供給源	LNGプラントのプロセス発生ガスから 水蒸気改質により水素製造 （ブルネイ・ダルサラーム国）
水素供給先	ガスタービン発電設備用燃料 （川崎市臨海部）
輸送方法	ISO タンクコンテナ （定期コンテナ船 / トレーラ輸送）

Fig. 6　Outline of the demonstration project

ブルネイでは，隣接するLNGプラントのプロセス発生ガスを水素化プラントへ送り，水蒸気改質による水素製造装置で製造された水素をトルエンと水素化反応させてMCHを製造する。MCHはタンクからISOタンクコンテナに積み替えられ，港から貨物船で川崎に海上輸送される。ISOタンクコンテナはトレーラーに積み替えられて，東亜石油株式会社の製油所内に建設された脱水素プラントに輸送される。脱水素反応で発生させた水素は，製油所に隣接している水江発電所に供給されている副生ガスに混合されてガスタービン発電に供された。水素発生後に生成するトルエンは，ISOタンクコンテナで陸上輸送と海上輸送されてブルネイに戻り，再び水素化反応によりMCHに変換される。これらの工程をFig. 7に示す。

4.3　国際間水素サプライチェーンの各工程

4.3.1　水素貯蔵工程　Fig. 8にブルネイ・ダルサラーム国に建設された水素化プラントとMCHを充填したISOタンクコンテナを陸上輸送して貨物船で出荷した港の位置を示す。

水素化プラントはブルネイの南シナ海に面した工業団地SPARKに建設された。天然ガスからメタノールを製造しているブルネイメタノールのプラントを挟んで隣接するブルネイLNGの天然ガス工場で発生するプロセスガスを敷設した配管を通じて水素化エリアに送り，水蒸気改質による水素製造プロセスにて製造された水素をト

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

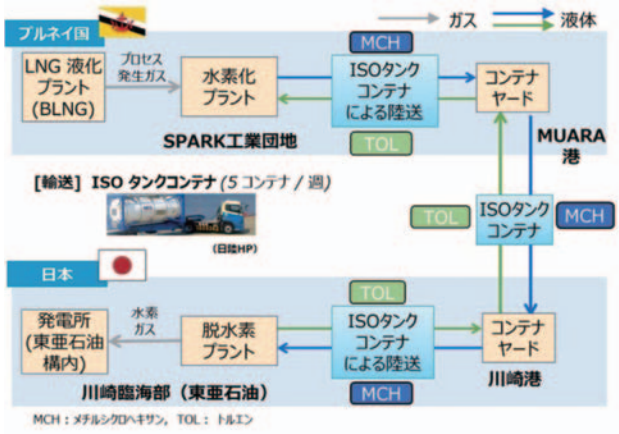


Fig. 7　Entire scheme of the demonstration project

Fig. 8　Location of hydrogenation plant and shipping port

ルエンとの水素化反応の原料として利用した。2019年11月に稼働を開始してMCHを充填したISOタンクコンテナとしてMUARA港から出荷された。Fig. 9に水素化プラントの写真を示す。

Fig. 9　Hydrogenation plant（Brunei darussalam）

4.3.2　輸送工程

MCHは常温・常圧のままFig. 9の写真で手前に設置されている横置き型のタンクに貯蔵され，Fig. 10に示すISOタンクコンテナに移される。ISOタンクコンテナは鋼製の枠組みの中に固定されており，このままトレーラーの荷台に積載して陸上輸送できる。本実証では，SPARK工業団地から約90 km離れたMUARA港に輸送され，Fig. 11に示した大型貨物船に枠組みごと積載されて海上輸送された。

4.3.3　水素発生工程

Fig. 10　ISO container tank

Fig. 11　Large sized cargo ship

Fig. 12に川崎臨海部の東亜石油株式会社の京浜製油所に建設された脱水素装置の写真を示す。2020年３月に稼働を開始，12月までの10か月間に約110トンの水素を発生させて発電所燃料に混合供給を行った。奥に見える６本のタンクはトルエンとMCHのタンクであり，タンクヤードの奥に入出荷ヤードが設置されている。月曜日から金曜日の週５日の間，毎日１台のトラックがMCHを充填したISOタンクコンテナを搬入するとともに，回収されたトルエンはISOタンクコンテナに充填されて川崎港のコンテナヤードに輸送されて貨物船への積載を待つ形態で運用された。このようにして脱水素装置を連続

Fig. 12　Dehydrogenation plant（Kawasaki city）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

的に稼働させる24時間運転体制で実証が進められた。

写真の手前に写っている部分が脱水素装置である。ブルネイ側の水素化装置の写真と比較すると小さく見えるが，ユーテリティーを東亜石油株式会社から融通頂いているため，これらの設備が不要であったことによる。ブルネイ側は，林を整地した更地に水素製造装置，水素化装置，及びユーテリティー設備をすべて建設しているために装置，敷地ともに大きくなっている。

4.3.4 水素利用工程

Fig. 13に東亜石油株式会社の水江発電所の写真を示す。

Fig. 13 Mizue thermal power plant of TOA OIL CO., LTD

脱水素反応を通じて発生させた水素は水江発電所のガスタービン燃料に利用されている所内の副生ガスに混合されて利用された。水江発電所はガスタービンによるコンバインドサイクル発電を採用しており，製油所の電力を供給しているほか，東京電力エナジーパートナー株式会社を通じて一般にも利用されている。

本国際実証は，水素エネルギーキャリアを利用した国際間の大規模水素輸送を世界で初めて実証したほか，サプライチェーンの全工程の実証と輸送した水素を発電に利用する実証ともなった。

5．まとめ

当社が本システムの基礎研究を開始した2002年から18年が経過した。本稿でご紹介させて頂いた国際間水素サプライチェーン実証が無事に完了したことで，本システム開発は商業化段階に移行する。

2015年のパリ協定以来，脱炭素化の潮流が加速されている。特に昨年は各国からカーボンゼロの宣言が相次ぎ，我が国の水素基本戦略の水素利用量目標も大幅に 増大されることが予想され，水素エネルギーに対する期 待は今後も大きくなると考えられる。

水素サプライチェーンの普及拡大には，コストダウンが極めて重要である。2030年のコスト目標に対しては，本国際実証で確立された基本システムの改良触媒や改良プロセスによるコストダウンで対応する方針である。また，2050年のコスト目標は大変にチャレンジングな目標ではあるが，本システムは化学的な方法であることから，ドラスティックな技術改良が可能と考えており，既に基礎研究を開始している。

当社は，本システムの実用化を通じて大規模な水素燃料の火力発電燃料としての供給を早期に実現させるとともに，水素ステーションをはじめとする中小規模工業用水素やその他用途向けの水素供給，および水素ステーション等の中小型システムによる水素供給を実現し，さらに，そのCO_2フリー化とコストダウンに向けた技術開発を継続的に取組みたいと考えている。

謝辞

本国際間水素サプライチェーン実証は，NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）による助成事業（「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」(NEDO助成事業：水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発)）として設立された技術研究組合であるAHEADに参画させて頂いて実施させて頂いた。ここに，NEDOおよびお世話になったNEDOの方々に深く感謝の意を表する。また，ブルネイ政府，川崎市および東亜石油にも多大なご協力を頂き，深く感謝の意を表する。さらに，AHEADに参画された各社，共同研究先として参画頂いた各社，および各社のご協力を頂いた方々に感謝の意を表する。

参考文献

(1) 日本経済新聞，菅首相の所信表明演説全文，<URL> https://www.kantei.om/article/DGXMZO654652W0A021C2000000. 2020年10月26日（2021年1月30日参照）.

(2) 首相官邸HP，グリーン社会の実現 https://www.kantei.go.jp/jp/headline/tokushu/green.html 2020年10月（2021年1月30日参照）.

(3) 岡田佳巳，水素の大量・長距離輸送技術の開発，JETI, vol. 56, No. 14, (2008), pp. 12-15.

(4) 岡田佳巳，斉藤政志，坂口順一，グローバルな水素サプライチェーン構想と水素貯蔵・輸送システムの開発，水素エネルギーシステム，vol. 33, No. 4, (2008), pp. 8-12.

(5) 岡田佳巳, 有機ケミカルハイドライド法脱水素触媒の開発，化学工学，vol. 74, No. 9, (2010), pp. 468-470.

(6) 岡田佳巳，有機ケミカルハイドライド法水素貯蔵輸送システムの開発，PETROTECH, vol. 34, No. 2, (2011), pp. 112-115.

(7) 岡田佳巳，今川健一，志村光則，水素の大量貯蔵輸送技術の開発，燃料電池，vol. 11, No. 4, (2012), pp. 56-61.

(8) 岡田佳巳，今川健一，河合裕教，三栗谷智之，安井誠，水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術，エネルギー学会誌，vol. 93, No. 1, (2013), pp. 15-20.

(9) 岡田佳巳，細野恭生，有機ケミカルハイドライド法による水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術の安全性，安全工学，vol. 53, No .6, (2014), pp. 386-391.

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

⑽ 岡田佳巳，今川健一，安井誠，水素の大量貯蔵輸送システム，燃料電池，vol. 14, No. 1, (2014), pp. 36-40.
⑾ 岡田佳巳，今川健一, 三栗谷智之，安井誠，水素エネルギーの大規模貯蔵輸送システム-SPERA水素システム-，触媒, vol. 57, No. 1, (2015), pp. 8-13.
⑿ 岡田佳巳，今川健一，河合裕教，三栗谷智之，安井誠，有機ケミカルハイドライド法を利用したSPERA水素®システムの技術実証による水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術の確立と水素サプライチェーン構想，エネルギー学会誌，vol. 94, No. 7, (2015), pp. 611-617.
⒀ 岡田佳巳，安井誠，表面化学，水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技-“SPERA水素®”システム-，vol. 36. No. 11, (2015), pp. 577-582.
⒁ 岡田佳巳，安井誠，水素の大規模貯蔵輸送技術と今後の展望，日本機械学会誌，vol. 119, No. 1169, (2016), pp. 12-15.
⒂ 岡田佳巳，三栗谷智之，安井誠，水素エネルギーの大量貯蔵輸送技術-SPERA水素システム-，ケミカルエンジニアリング，2015年3月号, (2016), pp. 23-29.
⒃ 岡田佳巳，水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術，電気設備学会誌，vol. 36, No .4, (2016), pp. 238-241.
⒄ 岡田佳巳, 安井誠, 有機ケミカルハイドライド法による水素の大規模貯蔵輸送技術-SPERA水素システムと応用展開-，計測技術, 2017年5月号, (2017), pp. 20-24.
⒅ 岡田佳巳，エネルギーキャリアの開発動向とSPERA水素システム，防錆管理，2017年12月号，(2017), pp. 475-480.
⒆ 岡田佳巳，有機ケミカルハイドライド法水素貯蔵輸送技術と将来の展望,エネルギー・資源, vol. 39, No. 3, (2018), pp. 168-172.
⒇ 岡田佳巳，溶接学会誌，vol. 88, vol. 1, (2019), pp. 27-32.
(21) 岡田佳巳，東京都高圧ガス保安協会 会報，vol. 630, No. 7, 8, (2019), pp. 49-53.
(22) 岡田佳巳，東京都高圧ガス保安協会 会報，vol. 631, No. 9, (2019), pp. 42-47.
(23) 岡田佳巳，水素の大量長距離輸送技術 世界初の国際間水素サプラオチェーン実証, 配管技術，2020年12月号, (2020), pp. 1-8.
(24) 国際間水素サプライチェーン実証紹介映像,
千代田化工建設HP (2020) <URL>
https:/www.chiyodacorp.com/jp/service/spera-hydrogen/

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

カーボンフリーアンモニア燃料の製造及び利用技術 -福島再生可能エネルギー研究所における取り組み-

Synthesis and Utilization Technology of Carbon Free Ammonia - Ammonia Initiative in Fukushima Renewable Energy Institute, AIST-

壹岐 典彦[*1] IKI Norihiko　難波 哲哉[*2] NANBA Tetsuya　倉田 修[*3] KURATA Osamu　Okafor Ekenechukwu[*1] Ekenechukwu C. OKAFOR　辻村 拓[*1] TSUJIMURA Taku

キーワード：アンモニア，バリューチェーン，水素キャリア，アンモニア合成，ガスタービン
Key Words：Ammonia, Value chain, Hydrogen Carrier, Ammonia Synthesis, Gas Turbine

1．緒言

2015年の第21回国連気候変動枠組条約締約国（COP21）でパリ協定が採択され，地球温暖化対策の長期目標が掲げられた。世界各国で2030年，2050年の温暖化ガス排出量の目標に向かって様々な取り組みを行っている。2020年は新型コロナウイルスのために，世界経済に大きなダメージがあったが，一方，水素やゼロエミッションに関わる様々なニュースがあり，脱炭素社会に実現に向けた取り組みが成長戦略として位置づけられるようになってきた。我が国でも同年１月に「革新的環境イノベーション戦略」が閣議決定され，10月に菅首相が「2050年カーボンニュートラル」宣言を行い，技術革新の加速が求められている。ポストコロナ時代における環境ビジネスでの雇用創出が期待されるなど，関連分野への投資も関心が高まっている。

我が国でも「再生可能エネルギーの主力電源化」が謳われるようになってきたが，太陽光や風力などの再生可能エネルギー電源は，その不安定性により，系統電力への導入制約が課題となっている。一方，海外では太陽光発電の電力コストが著しく低下する中，化石燃料をカーボンフリーのエネルギー源として利用するための，CCU（Carbon Capture and Utilization）やEOR（Enhanced Oil Recovery）のプロジェクトが進められており，カーボンフリーのエネルギー輸出について，様々な実証プロジェクトが開始されている。そのエネルギー媒体として，水素や水素キャリアへの関心が高まってきている。

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下，産総研）では福島再生可能エネルギー研究所（以下，FREA）を2014年に福島県郡山市に開所し，「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通した復興への貢献」を大きな使命として研究開発を実施している。FREAの再生可能エネルギー研究センターでは，水素キャリアチームを設置し，様々な水素キャリアの研究開発を行っており，FREA開所当初より，アンモニアをエネルギーキャリアとして用いるための研究開発を進めてきた。特に，FREAにおいては，アンモニアに関して，ラボスケールの研究開発だけでなく，スケールアップした技術の実証において，大きな成果を上げてきた。本稿では，カーボンフリーアンモニアに関連して，内閣府SIPエネルギーキャリア（2014～2018年度）を主として，アンモニア合成[(1),(2)]，アンモニア燃焼[(3)]，アンモニアサプライチェーンに関連する研究開発を紹介する。

2．カーボンフリーアンモニア

2.1　アンモニア燃料

アンモニアは，水素と窒素の化合物で，水素は質量の17%を占めており，沸点が-33.4℃，蒸気圧が1.177MPa（30℃）とプロパン並みに液化が容易で，液化ガスとして輸送・貯蔵が可能である。アンモニアは主に窒素肥料の原料として化学工業で用いられており，商用ベースで輸送，貯蔵技術が確立されて，世界規模でアンモニアは

原稿受付　2021年１月27日
＊1　国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
〒963-0298　郡山市待池台２－２－９
E-mail: n-iki@aist.go.jp
＊2　国立研究開発法人産業技術総合研究所エネルギー・環境領域エネルギー・環境領域研究戦略部
〒305-8560　つくば市梅園１－１－１
＊3　国立研究開発法人産業技術総合研究所
〒305-8564　つくば市並木１－２－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

流通している。このようにアンモニアは水素キャリアとして優秀である。

しかし，アンモニアの製造には大量のエネルギーが必要であり，巨大なプラントが一般的である。また，アンモニアは，劇物であり，法令により様々な規制を受けている。アンモニアを水素に変換して利用する場合には，変換によるエネルギー損失とコストアップがあり，コストと効率面では他の水素キャリアに比べて必ずしも有利とは限らない。一方，水素と同様にカーボンフリー燃料として利用可能であるが，燃料としては着火しにくく，保炎が難しい上に，窒素酸化物を他の燃料よりも多く生成するなど，実用化に向けた課題が多く，半世紀の間，燃料としての利用は進まなかった。

2.2　アンモニア合成

アンモニア合成は一般的にハーバー・ボッシュ法で製造されている。この製造プロセスは，100年以上の歴史があり，大規模製造することで経済性が高まる。本プロセスでは高温高圧（500℃，200気圧）で水素と窒素からアンモニアを合成するため，天然ガスや石炭などを改質して得られる水素の持つ圧力および熱を有効に利用できる。

一方，再生可能エネルギーから得られた電力で電気分解を行って水素を得る場合は，圧力も温度も低いため，ハーバー・ボッシュ法用のアンモニア合成触媒を用いようとすると，水素の昇圧と温度上昇に多くのエネルギーが必要となる。再エネ水素の供給量変動を，バッテリーや水素タンクなどの併用で平滑化することも可能であるが，設備コストが増加してしまう。電池や水素タンクなどバッファーのサイズを最小化し設備コストを削減するためには，触媒反応器が変動を許容する機能をもつことが重要である。また，天候によっては再エネ水素の供給停止に陥る可能性があり，プロセスの停止と再起動の繰り返しも想定される。これらの再エネ電力の変動に起因する水素供給量の変動に対応するためには，触媒ならびにプロセス両面において技術開発が必要である。

さらに再エネ水素を水電解により製造する場合，ほぼ常温・常圧であることを考慮しなければならない。アンモニア合成（$3H_2 + N_2 \rightleftarrows 2NH_3$）は，モル数が減少する反応であるため，圧力が高いほど有利である一方，昇圧に必要なエネルギーも増大する。そのため，アンモニア製造量を考慮しつつ，できる限り低い圧力で運転することが望ましい。

以上のように，再エネ水素を用いてアンモニアを合成するためには，触媒およびプロセスの両方とも従来の化学プロセスとは異なるコンセプトでの技術開発が必要となる。変動に対応する産総研の触媒開発のコンセプトは，次の通りである。

①条件変化に対する活性の応答性が速いこと

②プラント停止/再起動時に短時間で活性が再現されること

また，従来の化学プロセス用の触媒では，最適条件での運転にあわせた触媒活性が重視されるのに対して，再

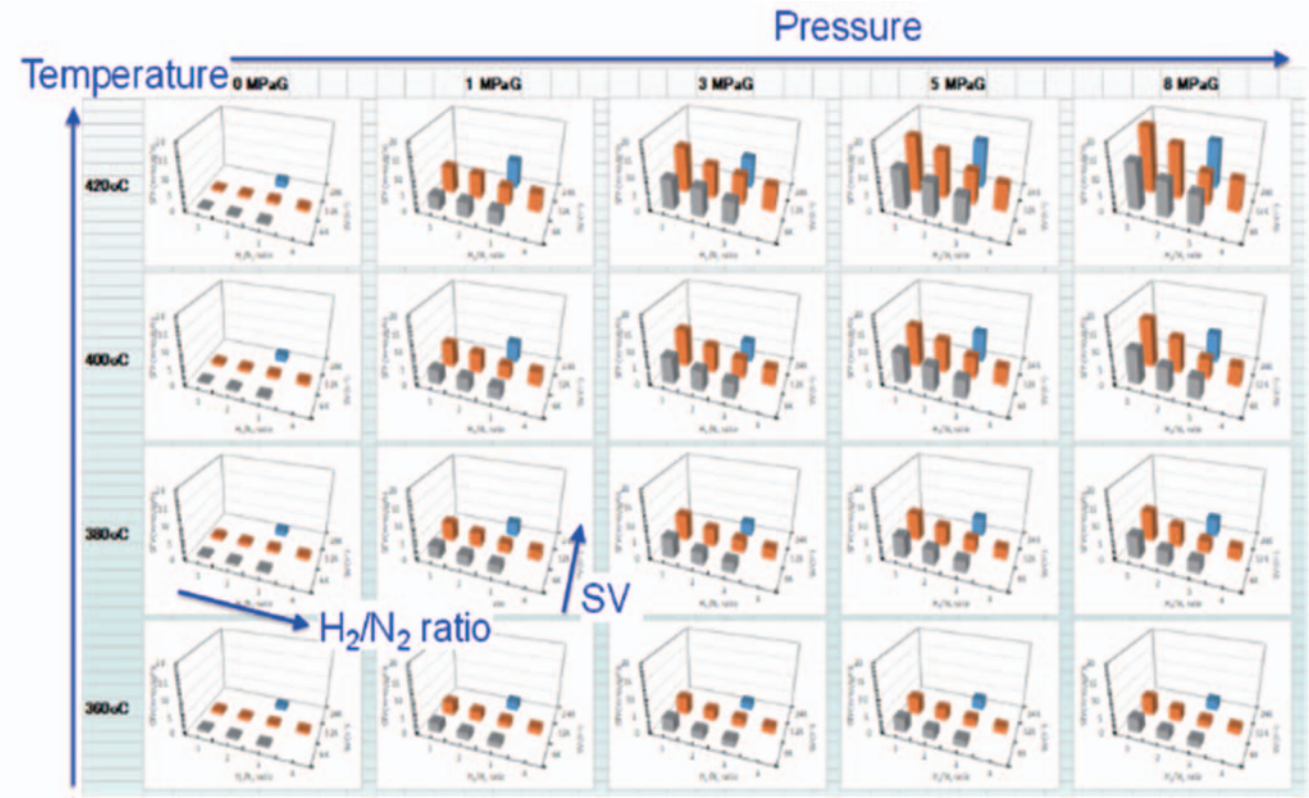


Fig. 1　Ammonia Synthesis activity in Ru/CeO_2 catalyst［NH_3 rate（mmol/g/h, full scale:20mmol/g/h）at N_2/H_2 ratio=1, 2, 3, 4 and SV=6000, 12000, 24000 h^{-1}）］

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

エネ水素を用いるアンモニア合成では，再エネ水素の供給量変動にあわせて，温度，圧力，空間速度SV，H_2/N_2比など反応条件を変えて，適切な合成速度を得ることが必要である。このため，広い条件範囲での触媒活性を把握しておかなければならない。触媒活性把握の一例として，Fig. 1に1 wt% Ru/CeO_2触媒について，様々な反応条件におけるアンモニア合成速度（mmol/g/h）を示す。これは，N_2/H_2 ratio=1, 2, 3, 4及びSV=6000, 12000, 24000（h^{-1}）に対する合成速度の3次元棒グラフを，温度と圧力に対してマッピングしたものである。

前述の開発指針を踏まえ，比較的低温でのアンモニア合成活性を示すルテニウムRuを活性成分とした触媒を検討した。Ru触媒のアンモニア合成では，水素のRuへの強い吸着が反応阻害効果となって，水素からアンモニアへの転化率に圧力依存性が見られ，最大値をとる圧力が現れることが一般に知られている。この最大活性の圧力がプロセスで設定できる最大圧力になるため，その圧力が低い場合には十分なアンモニア製造量が得られないこともあり得る。触媒担体の改良を進めた結果，Fig. 2に示すように，担体としてCeO_2を用いた場合に，400℃で10MPaGまでアンモニア合成活性が増加する触媒を見い出した。本触媒は，ハーバー・ボッシュプロセスよりも低圧に設定した目標の圧力領域において，必要なアンモニア製造量に応じた圧力でのアンモニア製造に適していることが示唆された。

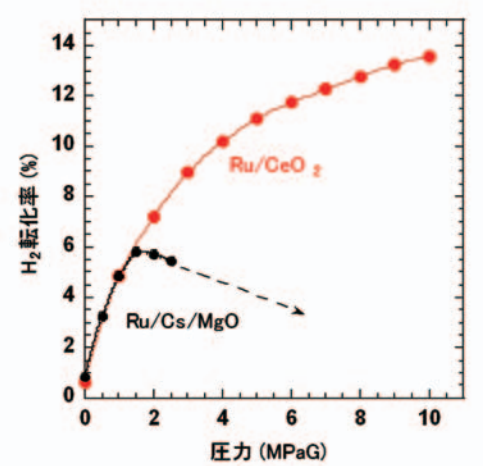


Fig. 2 Pressure dependence of ammonia synthesis activity in Ru/CeO_2 catalyst（400℃ , SV 6,000 h^{-1}, H_2/N_2 =3.）

開発したRu/CeO_2触媒の調製条件を最適化し，日揮触媒化成㈱が工業触媒化して，日揮㈱（現 日揮グローバル㈱）と共同でアンモニア合成実証試験を行った。Fig. 3に示す実証試験プラントは，変動性を示す再エネ水素を原料とすることを前提として，アンモニア合成のプロセス設計を行っており，1日に20kgのアンモニアを合成できる。実証試験運転では，水素供給量に応じてSV，H_2/N_2比，温度，圧力を変化させる操作を行い，約130におよぶ測定条件でのアンモニア製造量を確認した。また，本実証試験は，月曜に運転開始し，金曜にシャットダウンするWSS（Weekly Start-up and Shutdown）運転を行った。Ru/CeO_2触媒は，起動・停止の繰り返しでも，起動後の短時間で停止前の活性が得られることを確認した。本実証試験により，変動水素供給に対応可能な触媒プロセスが構築できた。

Fig. 3 Ammonia synthesis demonstration plant

2.3　アンモニア燃焼

アンモニアは燃焼速度が小さく，メタンの1/5の7 cm/s程度である[4]。着火しにくい燃料である上に，Fuel NOxが大量に発生しやすいので，燃焼強化技術とNOx低減技術の研究開発が重要である。産総研では，学会誌2020年3月号で紹介したように，アンモニア直接燃焼ガスタービンの研究開発を実施し，低NOx燃焼器なども開発した。その後の展開も含めて紹介する。

2.3.1　マイクロガスタービン

トヨタタービンアンドシステム（現トヨタエナジーソリューションズ）の50kWガスタービンをベースエンジンとして東北大学と研究開発を開始し，研究開発の成果を踏まえトヨタエナジーソリューションズが50kW級のガスタービンコジェネレーションシステムを製作した[5]。

仕様はTable 1のようになっており，最初のモデルは灯油起動のガスタービンを改造して，灯油，アンモニア，メタンの3種類の燃料を制御できるようにしたものである。ただし，同時に制御するのは2種類で，一定流量を流す燃料と所定の発電出力を得るために流量制御する燃料の組み合わせになっている。

これに対して，新しい方のモデルは，アンモニア燃焼用に設計したもので，メタン起動で，メタンとアンモニアの燃料だけ供給する形になっている。また，コジェネレーション用で温水ボイラーを搭載している。さらに，低NOx燃焼技術を適用したことにより，排出ガスの処理に必要な脱硝触媒の量を減らすことができ，SCR脱硝装置をパッケージ内に搭載できた。

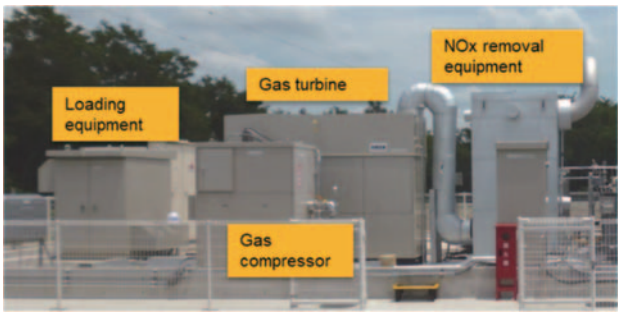
2.3.2　燃焼器開発

燃焼器としては当初，灯油用燃焼器をベースにガス燃料噴射弁を増設してアンモニアを燃焼できるようにしたが，未燃アンモニアとNOxの発生が課題となった。ア

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

Table 1 Specification of micro gas turbines

	First Model	Second Model
Manufacturer	Toyota Turbine and System Inc.	Toyota Energy Solutions Inc.
Cycle	Regenerative cycle	Regenerative cycle
Boiler	W/O	Hot Water Boiler
SCR	Outside of Package	Inside of Package
Shaft	Single shaft	Single shaft
Compressor	Centrifugal one-stage	Centrifugal one-stage
Turbine	Radial one-stage	Radial one-stage
Rotating Speed	80,000rpm	80,000rpm
Electric Power Output	47kW (Actual Value)	51kW
Fuel	Kerosene, Methane, Ammonia	Methane, Ammonia
Combustor	Single can, Diffusion combustion	Single can,Diffusion combustion/ Premixed combustion



(a) First model

(b) Second model

Fig. 4 Ammonia combustion gas turbine

ンモニア専焼においては，燃焼用空気温度を450℃から500℃に温度上昇することで，未燃アンモニアは急激に減少し，NOは線形に上昇して，アンモニアとNOの濃度が逆転した。また，メタンや灯油との混焼により，未燃アンモニアを減少できるが，NOxはアンモニア専焼より多くなる場合もあった。

産総研では，NOxの低減方法として，リッチ・リーンの２段燃焼方式を採用し，燃焼器の研究開発に取り組んできた。一次燃焼領域では燃料リッチ，二次燃焼領域では未燃ガスを燃焼する形であり，東北大学の基礎研究から一次燃焼領域における燃焼用空気とアンモニアの濃度が均一であるほどNOx低減効果が大きいことが示唆された[4]。そこで，アンモニア予混合燃焼にも取り組んでいる。

アンモニア直接燃焼ガスタービンの最初のモデルでは燃焼器においてはアンモニアとメタンは混合後にガス燃料噴射弁から供給されるのに対し，新しいモデルでは灯油噴射弁が無く，ガス燃料噴射弁で起動用のメタンを供給する。しかし，アンモニアの低NOx燃焼に適したガス燃料噴射弁で起動時の着火・保炎が可能とは限らない。このことから，新しいモデル用の低NOx燃焼器においては，起動時のメタン拡散燃焼用とアンモニア予混合燃焼用の２種類のガス燃料噴射弁を搭載するものも試験した。

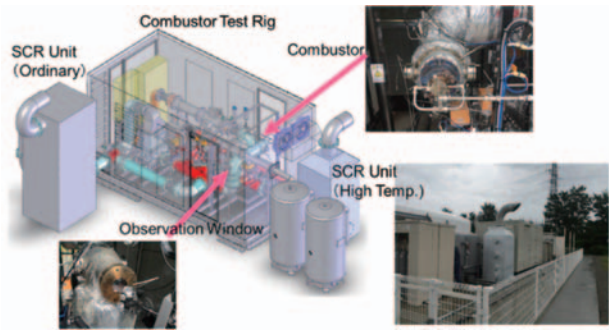
アンモニア用の低NOx燃焼器は，Fig. 5の燃焼器テストリグにおいて，燃焼器の特性を調べた上で，ガスタービンに搭載して実証試験を行ってきた。燃焼器テストリグはマイクロガスタービンと同じ再生熱交換器を搭載しており，燃焼用空気をマイクロガスタービンと同様に予熱できるとともに，万が一燃焼器を焼損してもガスタービンの翼を損傷することはないため，燃焼器の大きな設計変更への挑戦を可能とした。着火，保炎性能，排出ガスの成分を調べるだけでなく，燃焼器ライナーの温度確認にも用いている。

発電実証において，低NOx燃焼器は，STEP4まで改良が進められた。ガスタービンの最初のモデルに搭載してSTEP1では400ppm（以下NOxは16%O_2換算），STEP2では230ppmを実証したが，発電出力は50kWまで到達できなかった。STEP3からガスタービンは新しいモデルになり，アンモニア拡散燃焼で174ppmまでNOx低減が行え，50kW付近でNOx低減効果を確認した。STEP4ではアンモニア予混合燃焼を行い，最低値161ppmまで低減できた。パッケージに搭載した脱硝装置により，48.6kW発電時に164ppmのNOxを25ppmまで低減し，SIPエネルギーキャリアの目標値としていた大気汚染防止法のNOx排出基準値70ppmをクリアし，未燃アンモニアも測定限界以下となった。温暖化効果が極めて高いN_2Oについても，STEP3，STEP4では低NOx燃焼時には，2ppm以下となった。

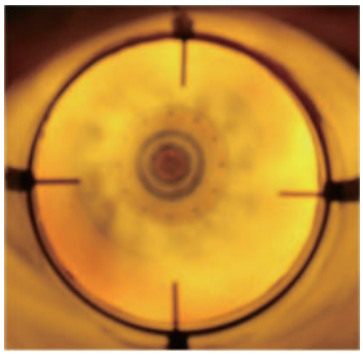
発電出力が小さく，燃焼用空気温度が低くなる場合にでも，低NOx燃焼器は，未燃アンモニアやN2Oを低く抑えることに成功しており，NOx低減と燃焼強化を両立している[6]。

また，低NOx燃焼器といってもガスタービンの排気ガスの基準を未だクリアできていないため，脱硝装置は必須である。脱硝装置については，50kWマイクロガスタービンには市販のSCR触媒（酸化バナジウム系）を用いたものを使用したが，高温用500℃以上の高温域でも機能する触媒（鉄/ベータ型ゼオライト系）を開発し，トヨタエナジーソリューションズの300kWマイクロガ

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.



(a) Outlook of test rig



(b) Ammonia flame in the combustor

Fig. 5 Combustor test rig

スタービンでのアンモニア専焼試験で十分な性能が得られることを実証した[7]。

SIPエネルギーキャリアの終了後，燃焼器テストリグはアンモニア燃料用燃焼器の試験装置としてマイクロガスタービン以外の燃焼器の開発にも利用している[8]。IHI，東北大学と共同で実施しているNEDOプロジェクトでは，アンモニア噴霧燃焼の研究開発に利用している。試作ガスタービン燃焼器において，メタン燃焼を行いながら，液体アンモニアの噴霧を供給して，アンモニア噴霧燃焼を行うもので，開発が成功すれば燃料ポンプでのアンモニア供給が可能となるため，アンモニア供給設備のコストダウンが期待される。

2.4　アンモニアサプライチェーン実証

カーボンフリーアンモニアには，水素と同じく化石由来燃料のブルーアンモニアと再生可能エネルギー由来のグリーンアンモニアがあるが，FREAではどちらの実証にも関わってきた。

2.4.1　グリーンアンモニア

2018年日揮と産総研は再エネアンモニアの製造と発電利用のサプライチェーン実証を行った[9]。この実証試験では，産総研に設置した太陽光パネルの電力で製造した水素を用いて，前述の実証試験プラント（Fig. 3）でアンモニアの合成を実施し，新規触媒がアンモニアを安定的に供給できる性能を有することを検証した。そのアンモニアを500kgボンベに貯蔵して，Fig. 4 (a)の50kWマイクロガスタービン用のアンモニア供給設備に運び込み，発電を実施した。

Fig. 6のように，ガスタービンは，灯油を燃料として起動し，燃料をメタンに切り替えて暖機してから，アンモニアに切り替えた。発電機の設定電圧を高めるなど改良を施し，発電出力を改造前の定格に近づけ，47.2kWの発電に成功した。この発電実証において，起動・停止時以外はアンモニアのみで発電できており，CO_2を出さない発電用の燃料として使用可能であることを検証した。

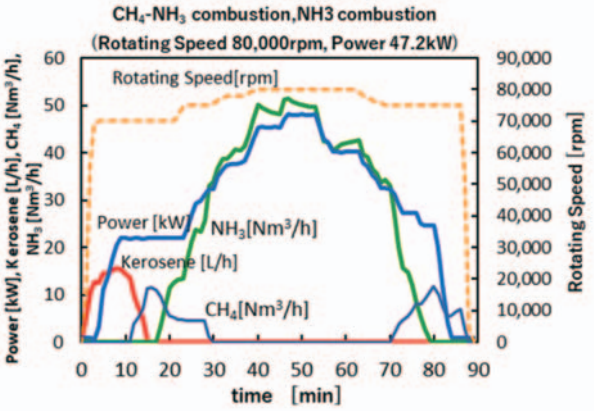


Fig. 6 Power generation using green ammonia

2.4.2　ブルーアンモニア

2020年，サウジアラビアから日本に向けて，世界初のブルーアンモニアの輸出が行われた。これは日本エネルギー経済研究所とサウジアラムコが実施した実証試験である。トヨタエナジーソリューションズと産総研は，産総研に設置した50kWマイクロガスタービンコジェネレーション（Fig. 4 (b)）をアンモニア専焼が可能な設備として実証試験に参加した[10],[11]。このプロジェクトでは，炭化水素（天然ガス）から水素を取り出してアンモニアを合成するプロセスとそのプロセスから発生するCO_2を回収し隔離するバリューチェーンとなっており，ブルーアンモニアは日本に輸送されて40トンが発電用途に利用され，回収されたCO_2はサウジアラビアで30トンがメタノール合成に用いられ，20トンが石油増産（EOR）のため油田に注入される計画であり，メタノール製造によるCCUS（Carbon Capture, Utilization and Storage）が含まれている。アンモニアの輸入は三菱商事が担当し，日本における石炭火力でのアンモニア混焼，2 MWガスタービンでの天然ガス-アンモニア混焼をIHIが担当した。

3．最後に

FREAでは，水素キャリアのサプライチェーンに係わる様々な研究に取り組んでおり，アンモニアについては，合成と燃焼，関連する触媒技術に取り組んできた。大きな成果を上げてはきたものの，アンモニア合成についても，アンモニア燃焼についても社会実装を行うためには，一層の性能の改善が必要である。さらに，様々な法規制やアンモニアハンドリング上の課題があり，未だ一般の従来燃料と同様な取り扱いは難しい。FREAにはアンモ

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

ニア燃料に係わる実証試験設備がまとまって整備されていることから，今後も，カーボンフリーアンモニアに係わる各機関と連携しながら研究開発を進めるとともに，その際に得られた知見を活かして社会実装に向けて貢献していきたい。

謝辞

本研究の一部は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「エネルギーキャリア」（管理法人：JST）によって実施されました。東北大学小林秀昭先生をはじめ数多くの関係者に多大な協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

(1) 産業技術総合研究所，SIPエネルギーキャリア「CO_2フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送技術の開発 アンモニア合成触媒の開発・評価」終了報告書，＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team3-2.pdf＞（参照日 2021年1月17日）.

(2) 日揮，SIPエネルギーキャリア「CO_2フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送技術の開発 CO_2フリー水素からのアンモニア合成プロセスの構築・実証」終了報告書，＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team3-1.pdf＞（参照日 2021年1月17日）.

(3) 産業技術総合研究所，SIPエネルギーキャリア「アンモニア直接燃焼 アンモニア内燃機関の技術開発」終了報告書，＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-7.pdf＞（参照日 2021年1月17日）.

(4) 東北大学，SIPエネルギーキャリア「アンモニア直接燃焼 アンモニア燃焼の基礎特性解明と基盤技術開発」終了報告書，＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-1.pdf＞（参照日 2021年1月12日）.

(5) トヨタエナジーソリューションズ，SIPエネルギーキャリア「アンモニア直接燃焼 アンモニア燃焼マイクロガスタービン」終了報告書，＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-0.pdf＞（参照日 2021年1月12日）.

(6) Iki, N., Kurata, O., Inoue, T., Matsunuma, T., Tsujimura, T., Furutani, H., Kawano, M., Arai, K., Kobayashi, H., Hayakawa, A. and Okafor, E., Rich-Lean Combustor for a 50kW Class Micro Gas Turbine Firing Ammonia, Proceedings of Global Power and Propulsion Society Beijing Conference 2019, GPPS-BJ-2019-0074 (2019).

(7) トヨタエナジーソリューションズ，【世界初】アンモニア100％燃焼による 300kW級マイクロガスタービン発電に成功，＜https://www.toyota-energy.co.jp/wp-content/uploads/2019/04/190408_press-release.pdf＞（参照日 2021年1月12日）.

(8) 倉田修他，ガスタービン用アンモニア液噴燃焼の試み，第58回燃焼シンポジウム講演論文集，C125 (2020).

(9) 再生可能エネルギー由来の水素を用いたアンモニア合成と発電に世界で初めて成功 ＜https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20181019.pdf＞（参照日 2021年1月27日）.

(10) 世界初のブルーアンモニアの輸送が開始される持続可能な社会に向けての新しい道 ＜https://eneken.ieej.or.jp/press/press200927.pdf＞（参照日 2021年1月12日）.

(11) ブルーアンモニアサプライチェーンの実証試験に関するビデオリリース ＜https://eneken.ieej.or.jp/press/press201118.pdf＞（参照日 2021年1月12日）.

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

燃料電池システム開発の最新動向と今後の取り組み

Latest and Future Developments of Hydrogen Fuel Cell System

坂田 悦朗*1
SAKATA Yoshiaki

キーワード：燃料電池，水素，二酸化炭素，カーボンニュートラル
Key Words：Fuel cell, hydrogen, carbon dioxide, carbon neutral

１．緒言

地球温暖化や気候変動などの環境意識が国際的により一層高まっている。昨今，CO_2排出量を実質ゼロとする「カーボンニュートラル」に向けた戦略やロードマップが各国にて設定され，再生可能エネルギー，電気自動車の拡大，水素やカーボンリサイクルをはじめとするグリーン関連技術開発の加速に向けた目標・方針が掲げられている。水素は，CO_2排出量削減だけでなく，エネルギー供給構造の多様化を実現するポテンシャルを有しており，日本国内で策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においても，発電・輸送・産業など幅広い分野で水素エネルギーの利活用が期待され，カーボンニュートラルに貢献するキーテクノロジーとして注目を集めている。

当社は，再生可能エネルギーと水素利活用により，持続可能な水素社会を実現するべく，水素製造技術およびその水素の貯蔵技術，利活用技術の開発に取り組んでいる。また，利活用技術のアプリケーションとして，純水素型燃料電池システム「H２Rex™」の開発，製造を行っている。

本稿では，定置用燃料電池システム「H２Rex™」100kW機の特徴と導入例および小型化，簡素化，低コスト化を掲げて開発を進めている100kW機の最新モデルの開発状況ならびに100kW機を１つのモジュールとして複数台連携し出力を拡張したMWモデル開発の最新状況について述べる。また，船舶，鉄道，建機などの大型モビリティ用途向けの燃料電池モジュール「H２Rex™-Mov」の開発動向についても言及する。

原稿受付　2021年２月２日

＊１　東芝エネルギーシステムズ㈱
水素エネルギー事業統括部　企画部
〒212-8585　川崎市幸区堀川町72番地34
E-mail: katsuya.eguchi@toshiba.co.jp

２．100kW機の特徴と導入例

「H２Rex™」100kW機は，2016年度に第１世代モデルを商品としてリリースし，その発電容量の大きさから，工場やホテルなどの商業施設へ提供を行ってきた。そして2018年度にシステム発電効率50％ LHV以上，発電効率と排熱回収効率を合計した総合効率は95％ LHV以上という高い効率性能と，世界最高クラスの８万時間という耐久性はそのままに，サイズ40％ダウン，大幅なコストダウンを達成した第２世代モデルの開発を行い，市場導入した。

Fig. 1に第２世代モデルの標準仕様機の外観を，Fig. 2に川崎市キングスカイフロント内の東急REIホテルに設置したシステムの外観を，Fig. 3に福島県あづま総合運動公園（福島市）に設置したシステムの外観を示す。

川崎市キングスカイフロント内の東急REIホテルに設置したシステムは，昭和電工㈱にて製造した使用済みプラスチック由来の水素を燃料とし，運転により得られた電力および温水により，ホテル全体の30％に相当するエネルギーを供給している。

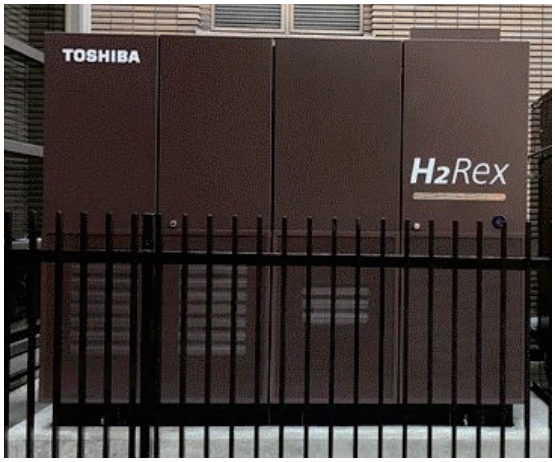
あづま総合運動公園に設置したシステムは，2020年６月に発電を開始した。特徴として，その外装色は標準仕様の白を基調としたデザインから，設置周辺の施設や樹木などと調和する環境色のデザインに変え，また世界最大級となる水素製造装置を備えた「福島水素エネルギー研究フィールド（FH２R）」で製造した水素を貯蔵量2700m３のトレーラ付きトラクタにより，月２回程度，FH２Rからあづま総合運動公園に運搬し，燃料として利用している。今回，FH２Rの水素を使って「H２Rex™」の発電を開始したことで，福島県内で水素を「作り」，「貯め・運び」，そして「使う」という一連のサプライチェーンを実現した。発電された電力はあづま総合運動公園内の体育館の照明や空調に使用され，発電の過程で発生する熱はお湯として利用されている。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

Fig. 1　Outlook of 100kW H2Rex™
（Standard　2nd model）

※昭和電工㈱殿が代表として受託された環境省・地域連携・低炭素水素実証事業にて採用

Fig. 2　Outlook of 100kW H2Rex™
（KAWASAKI KING SKYFRONT TOKYU REI HOTEL）



※福島県庁が発注した「あづま総合運動公園水素利用設備設置工事」にて採用

Fig. 3　Outlook of 100kW H2Rex™
（AZUMA SPORTS PARK）

3．第３世代モデル100kW機の開発

第２世代モデルから更なるコンパクト化および低コスト化を実現すべく第３世代モデルの開発を行っている。

Fig. 4にモデル毎のサイズを示す。第１世代モデルでは，パッケージの高さ，幅の制約条件により，トレーラを輸送手段として使わざるを得なかったが，第２世代モデルの開発により，大幅なサイズダウンを達成し，８ｔトラックでの輸送が可能となり，輸送費および設置工事などのコストダウンを実現した。また，第３世代モデルは，20ftコンテナに搭載可能なパッケージサイズとすることを開発ターゲットとしており，第１世代モデル比で約65％のコンパクト化を実現している。

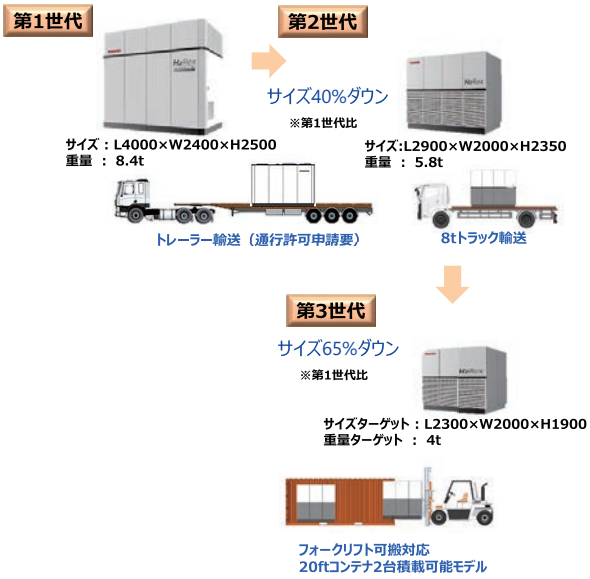


Fig. 4　System size of each model

4．MWモデルの開発状況

脱炭素社会へ向けて期待されている水素発電システムの大規模用途に対応するために，MWモデルの開発を推進している。

MWモデルは，100kW単位でモジュール化したシステムを複数台組み合わせることで，100kW ～ MW級まで柔軟に出力を拡張することができる。また，EMS（Energy Management System）を搭載し，高効率化などの各種運転制御を行うことにより，排熱回収効率も含めた全体システム効率の最適化を行う他，各セルスタックの発電時間や機器特性を考慮し，機器寿命の最適化や，メンテナンスタイミングの集中化を可能とする。

更に，１MW機を１ユニットとして複数の１MW機を統合的に運用するマルチMWモデルの開発も進めている。Fig. 5にマルチMWモデルのシステム構成図を示す。

各１MW機のEMSを統合する上位EMSを設置し，各EMSのデータを上位EMSがネットワーク上で統合的に監視・制御を行うことで，マルチMW機としてより効率的な運用とする。マルチMW化することにより，より広

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

範囲の出力において高効率の発電が可能となる他，メンテナンス時における設備稼働率の低下を防止できる。

また，電力系統に停電が発生した場合にも水素発電システムの電力を供給可能とする自立運転機能については，100kW機が持つ自立運転機能を拡張し，複数台の自立運転ユニットによるロードシェア運転を開発中である。複数台のPCSを自立並列運転することにより，大容量の自立負荷や，大きな負荷変動への耐性が高まり，BCP用途としての活用を目指している。

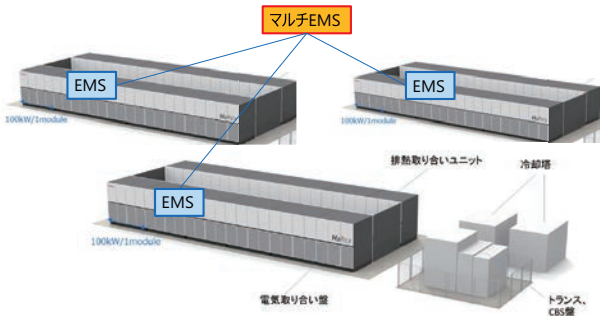


Fig. 5　System configuration of multi-MW model

5．移動体モデルの開発

低炭素社会の実現に向けて，従来から燃料電池の実用化が進んでいる自動車，バス，定置発電用だけでなく，更なる多用途への展開が期待されている。

船舶分野においては，2018年に国際海事機関（IMO）が，2050年までに国際海運分野からの温室効果ガスの排出量を半減するロードマップが策定されている。また，日本国内においては，「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において，船舶産業での燃料電池船の普及や，物流産業での燃料電池鉄道の実装に向けた基準規制などの整備が盛り込まれており，燃料電池を搭載する船舶や鉄道の普及・展開が期待されている。

当社では，以前より，移動体向けの燃料電池システムの開発を行っており，野村不動産グループのNREG東芝不動産（当時）と東京海洋大学の共同研究に，2016年には3.5kW純水素燃料電池システムH２Rex™を，2019年からは30kW純水素燃料電池システムH２Rex™-Movを供給し，実験船「らいちょうN」にて運転試験実施し，海洋環境での運用による燃料電池性能の低下がないことを確認している。

上記背景のもと，船舶，鉄道，建機などの大型モビリティ用途に向けた燃料電池モジュール（H２Rex™-Mov）の開発を開始した。大型モビリティ用途においては，（１）定置用並みの高出力における連続運転が可能であること，（２）搭載水素燃料量の低減及び燃費経済性の向上のため高効率であること，（３）高い稼働率・長期運用に対応する高い耐久性があること，が求められる。定置用燃料電池システムの特徴である，連続出力・高効率，長寿命の技術を活用しながら，モビリティへの搭載を可能とするためにコンパクトなモジュールとするための開発を進める。また，移動体用途に向けて，応答性や起動性の向上や，用途に応じた振動，傾き，温度などの環境条件への対応，技術基準・規格への対応を行う。更に，様々な規模の移動体に対応するため，モジュールを複数連動させることにより，数百kWから数MWまでの幅広い出力に対応可能とする計画である。

Fig. 6に燃料電池モジュール（H２Rex™-Mov）の開発イメージを，Fig. 7およびFig. 8に本モジュールを船舶および鉄道に搭載する際のイメージを示す。

Fig. 6　Image of H2Rex™-Mov module

Fig. 7　Image of H2Rex™-Mov module installed on a ship

Fig. 8　Image of H2Rex™-Mov module installed on a railroad

燃料電池搭載船舶の実用化に向けた実証事業として，日本郵船株式会社，川崎重工業株式会社，一般財団法人日本海事協会，ENEOS株式会社と共同での実証プロジェクトを開始し，2024年の実証運行に向けて，実用化に向けた燃料電池搭載船，および水素燃料の供給に関す

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

る検討を進めている。

商業利用可能なサイズの燃料電池搭載船の開発，および水素燃料の供給を伴う実証運航は，日本初の取り組みであり，実証試験においては当社が開発している船舶向けの燃料電池モジュールを実証試験への提供を予定している。

6．あとがき

2016年度に初めて市場投入した「H２Rex™」100kW機は，大幅なコンパクト化，低コスト化を実現するための開発を継続しており，最新モデルを2021年度にリリースする予定としている。また，100kW機を１つのモジュールとして複数台連携したMW機の開発，実証を進めている。更に，従来から燃料電池の実用化が進んでいる自動車，バス，定置発電用だけでなく，多用途への展開が期待されている船舶や鉄道などへの燃料電池の適応拡大・実用化への貢献を目指し，燃料電池モジュール（H２Rex™-Mov）の開発に着手した。

また，水素のサプライチェーン全体を俯瞰し，業界横断的かつオープンな組織として，社会実装プロジェクトの実現を通じ，早期に水素社会を構築することを目的とした「水素バリューチェーン推進協議会」が設立された。当社は，環境やエネルギー，インフラシステムに関わる豊富な経験や技術をベースに，本協議会の活動を積極的に推進する予定である。

謝辞

100kW機の複数台連携試験においては，環境省の「地域連携・低炭素水素技術実証事業」の助成を受けている。また移動体向けモジュールの開発については，経済産業省並びに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「大型モビリティに適応する多用途型燃料電池モジュールの研究開発」の委託および「高出力燃料電池搭載船の実用化に向けた実証事業」の助成を受けて，開発を行っているものである。
関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

(1)　干鯛将一，「純水素燃料電池システムの開発と市場展開」FCDIC年報2020.
(2)　下道剛，ほか，「電気推進実験船による移動型燃料電池システムの運転試験」東芝レビュー．2020，75，3，p.55-58.

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

特集：水素・脱炭素燃料の最新動向（その１）

福岡県における水素エネルギー社会実現に向けた取組み

Efforts to Realize a Hydrogen Energy Society in Fukuoka Prefecture

福岡県商工部新産業振興課
Fukuoka Prefecture Department of Commerce and Industry New Industries Promotion Division

キーワード：福岡水素エネルギー戦略会議，水素，自治体の取組み
Key Words：Fukuoka Strategy Conference for Hydrogen Energy, Hydrogen, Efforts of local governments

1．はじめに

地域経済の発展を図っていくためには，成長産業を育成していくことが重要であり，福岡県では県経済を牽引する自動車産業をはじめ，将来の成長と大きな雇用が見込まれるバイオ・メディカル，IoT，ロボット・システム，Ruby・コンテンツ産業の振興に加え，水素，航空機などの次世代産業の育成に取り組んでいる。本稿では，水素エネルギー社会実現に向けた本県の取組みについて紹介する。

2．福岡水素エネルギー戦略会議の取組み

福岡県では，水素エネルギー社会の実現を目指して，平成16年８月，他に先駆けてオールジャパンの産学官連携組織「福岡水素エネルギー戦略会議」を設立し，研究開発や関連産業の育成・集積，社会実証など総合的に取り組んできた（Fig. 1）。

Fig. 1　Initiatives of Fukuoka Strategy Conference for Hydrogen Energy

2.1　研究開発

九州大学を核として，この分野における世界最先端の知の拠点が形成されている。九州大学の４つの水素関連研究所では，国内外の大学・研究機関・企業の多くの研究者が水素製造，輸送・貯蔵から利用まで世界最先端の研究活動を行っている。

2.1.1　水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）

水素ステーションや燃料電池自動車（FCV）など高圧水素環境で用いる材料に関する集中研究拠点。水素が材料に及ぼす影響に関する原理の解明を進め，水素ステーションやFCVなどの企業の製品開発や国の規制見直し・国際標準化に向けた取組みを支援し，安全で経済的な水素利用に貢献している（Fig. 2）。

2.1.2　産総研・九大 水素材料強度ラボラトリ（HydroMate）

九州大学と国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）が共同で設立した研究所。九大がもつ機械工学的な視点と，産総研がもつ材料工学的な視点を融合し，水素の安全で経済的な利活用のため，水素用材料の脆化現象の解明とそれに基づく新規材料の開発を目指した基礎的研究を行っている（Fig. 2）。

Fig. 2　HYDROGENIUS / HydroMate

2.1.3　次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）

SOFC（固体酸化物形燃料電池）をはじめとする次世代型燃料電池の開発・早期実用化を可能とする世界初の研究拠点として設立された。十数の企業が入居し，次世代型燃料電池の耐久性や信頼性の向上，更なる高性能化などの課題解決に向けて，産学共同で研究開発を行っている（Fig. 3/建物右側）。

2.1.4　カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I²CNER）

低炭素分野における世界トップレベルの研究所。水素エネルギー利用やCO_2の効率的な回収・貯留など持続可能な低炭素社会の実現を目指した基礎研究を，国内外の大学・研究機関と連携して行っている（Fig. 3/建物左側）。

原稿受付　2021年１月10日
＊１　福岡県商工部新産業振興課
〒812-8577　福岡市博多区東公園７－７
E-mail: info@f-suiso.jp

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

Fig. 3　I²CNER / NEXT-FC

2.2　産業の育成・集積

水素・燃料電池を新たな産業として育成し，その集積を図るべく，県内に世界的な研究・試験機関がある強みを活かし，水素関連製品にかかる部品の情報提供から製品開発支援，メーカーへのサンプル提供等を通じた受注機会の確保まで一貫した支援を実施している。

2.2.1　水素エネルギー製品研究試験センターによる支援　平成22年４月に日本で唯一の公的な水素製品試験機関である水素エネルギー製品研究試験センター（HyTReC）が開所した。平成26年４月には，大型水素貯蔵タンク用の新試験棟（CRADLE棟）が完成し，FCV用から水素ステーション用までほぼ全ての水素貯蔵タンク，水素関連製品の耐久性試験が可能な世界最高水準の試験機関となった（Fig. 4）。

Fig. 4　Hydrogen Energy Test and Research Center（HyTReC）

このHyTReCでの試験と九州大学（HYDROGENIUS）の知見が連携し，新たな水素関連製品の開発や水素製品に関する安全性の向上とコスト低減につなげている（Fig. 5）。

Fig. 5　Corporate support by HYDROGENIUS and HyTReC

2.2.2　情報提供，製品開発支援　県内企業の水素・燃料電池分野への参入を促進するため，水素関連メーカーと連携し，製品に求められる技術・部品などの情報を提供する研究会を開催している。

これまでに，水素ステーション，水電解装置，エネファーム等を対象とした研究会を開催した。

2.2.3　製品開発支援，実用化支援　県内に九州大学やHyTReCといった世界的な研究・試験機関がある強みを活かし，地元企業と産学官連携チームによる製品開発に係る経費の助成支援を行っている。

また，地元企業の受注を促進するため，メーカーが求める仕様に応じた改良に要する経費等への助成支援を行っている。

2.2.4　技術アドバイザーによる個別支援　FCV・エネファームメーカーのOBの方に技術アドバイザーにご就任いただき，参入意欲のある地元企業を訪問し，メーカーニーズに立脚したシーズ評価・技術指導・商談先のアドバイス・メーカーとのマッチングなど個別に支援している。

2.2.5　販路開拓支援　販路開拓のため，水素・燃料電池分野で世界最大の国際展示会である「FC EXPO」をはじめとする大型展示会への出展を支援している（Fig. 6）。

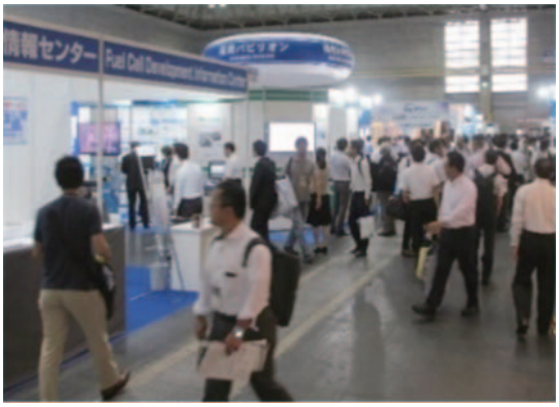


Fig. 6　Exhibition at FC EXPO

2.2.6　地元企業による製品化事例　このような取組みにより，水素用小型センサ，水素ガス不純物分析計，高圧水素用ゴム製・金属製パッキン，水素ステーション用継手など，地元企業による新規参入が着実に進んでいる（Fig. 7）。

2.3　人材育成

水素・燃料電池分野への新規参入を促進するためには，高度な専門知識や技術を有する人材の育成が重要である。そのため，九州大学と連携して，平成17年に全国初の水素人材育成機関「福岡水素エネルギー人材育成センター」を設立した。新規参入を目指す企業の経営者や技術者向けに，大学やメーカーの講師による講座を実施し，これまでの受講者は1,400名を超えている（Fig. 8）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

Fig. 7 Hydrogen related products developed by local companies (Left: Small sensor for hydrogen/Kyushu Keisokuki Co., Ltd., Right: Hydrogen gas impurity analyzer/Yabegawa Electric Industries, Ltd.)

Fig. 8 State of the seminar

2.4　社会実証

水素エネルギー社会を目に見えるものとし，実社会で利活用する取組みにも力を入れてきた。

県内２箇所の水素タウンでは，国内外から２万人を超える多くの視察者を受け入れ，水素・燃料電池の理解向上に貢献してきた。

これらの社会実証で得られたデータは，企業の製品開発にも活用され，安全性・性能の向上，低コスト化に貢献してきた。

また，近年では，幅広い分野の脱炭素化に貢献するため，製造工程においてもCO_2を排出しない，再生可能エネルギー由来のCO_2フリー水素を製造し，利活用する取組みに力を入れている。

2.4.1　福岡水素タウン　「福岡水素タウン」(Fig. 9) は，福岡県西部にある糸島市内の住宅団地に家庭用燃料電池（エネファーム）150台を集中設置したモデルタウンである。住民の皆様の協力を得て，様々な家族形態におけるエネファームの実データを取得し，省エネ効果やCO_2排出量の削減効果の検証等を行ってきた（平成28年３月で実証終了）。実証終了後も９割以上の方がエネファームを引き続き利用している。

Fig. 9 Fukuoka Hydrogen Town

2.4.2　北九州水素タウン　北九州市八幡東区の「北九州水素タウン」では，製鉄所の水素をパイプライン (Fig.10) で近隣の博物館や集合住宅に設置した純水素燃料電池に供給する実証に取り組んでいる。パイプラインで供給した水素を市街地で本格的に利用する世界初の取組みであり，水素ビジネスに取り組む企業の新たな実証フィールドとしても活用している。

先進主要７か国のエネルギー担当大臣が出席する「G7

Fig. 10 Pipeline installed in Kitakyushu Hydrogen Town

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

北九州エネルギー大臣会合」が平成28年５月に北九州市で開催された際には，本県の先進的なエネルギー関連施策として「北九州水素タウン」を各国代表に紹介した（Fig. 11）。

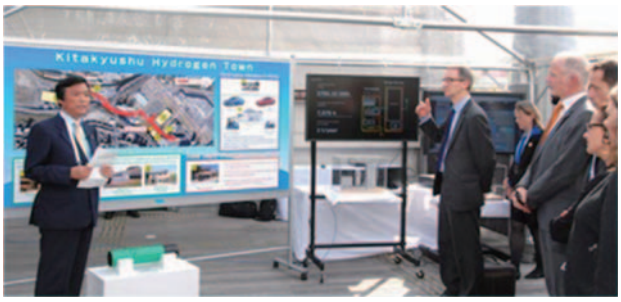


Fig. 11　Governor Ogawa of Fukuoka Prefecture explains to representatives of each country

2.4.3　FC二輪車の公道走行　スズキ㈱が開発したFC二輪車「バーグマンフューエルセル」による公道走行実証を実施した。県庁内に設置したステーションで水素を充填し，電力検針の移動手段として利用することで，公道走行におけるデータを収集し，製品化に向けての課題を検証した（Fig. 12）。

2.4.4　地産地消型再エネ水素エネルギーマネジメントシステムの導入　工場において，再エネから水素を製造，利活用するモデル事業である。トヨタ自動車九州宮田工場に設置した太陽光発電を利用し，水を電気分解して作ったCO_2フリー水素を貯蔵・輸送・供給するシステムを構築し，工場内の燃料電池フォークリフトや定置用燃料電池で活用する全国初の取組みである（Fig. 13）。当該モデル事業では，従来の電動フォークリフトや系統電力利用の場合と比較して，CO_2の排出量が大幅に削減されると見込んでおり，温室効果ガスの削減効果を検証している。

Fig. 12　Fuel cell motorcycle

2.4.5　賃貸集合住宅における燃料電池を利用したエネルギー融通モデル　県の外郭団体である福岡県住宅供給公社では，賃貸集合住宅「クラシオン小笹山手３番館」において，エネファームで発電した電力を棟内でシェアすることで，集合住宅のメリットを生かしエネルギーを有効に利用するモデル事業を実施している。

公的な賃貸集合住宅での燃料電池による電力融通は，全国初の試みである（Fig. 14）。

Fig. 14　Image of energy accommodation model business

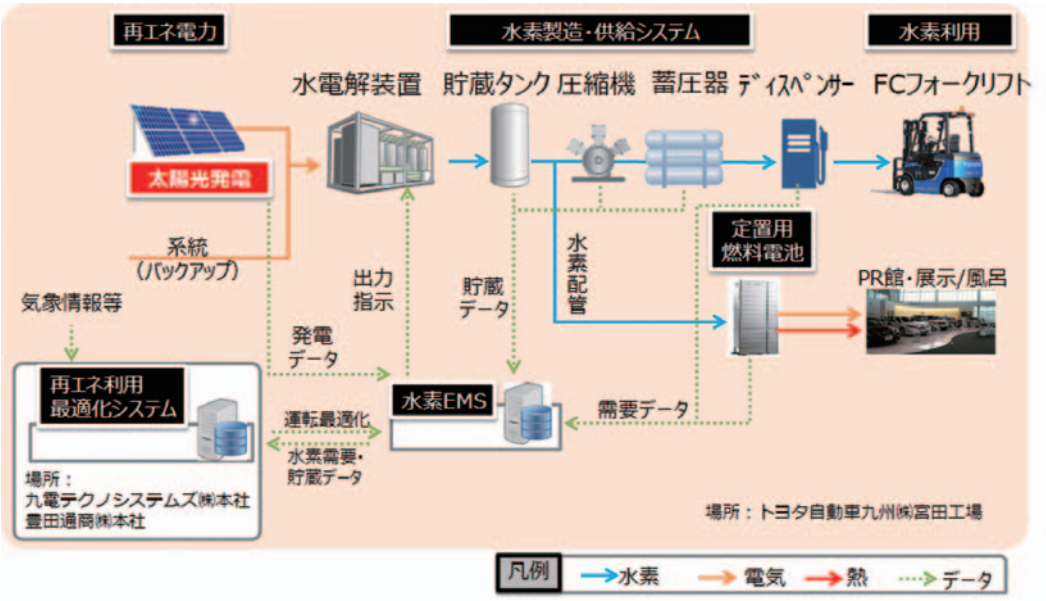


Fig. 13　Project Outline

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

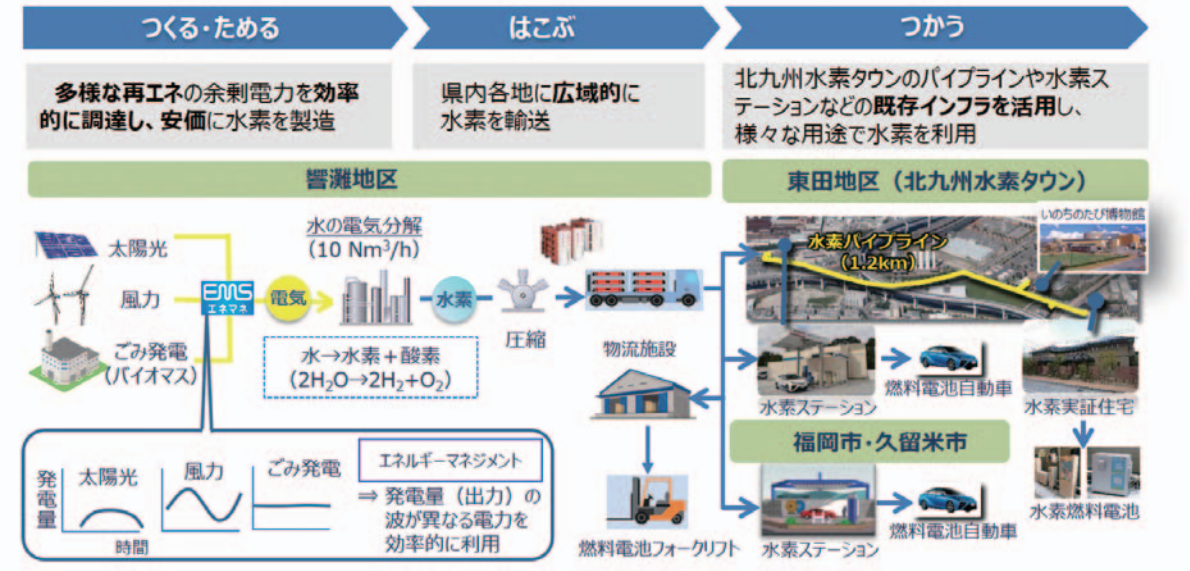


Fig. 15　Image of the project

2.4.6　地域の再エネを有効活用したCO_2フリー水素製造・供給実証事業　本年度より，環境省の委託事業を活用して，太陽光や風力といった多様な再エネ施設が集積する北九州市響灘地区において，再エネの余剰電力からCO_2フリー水素を製造し，県内各地に運搬して利用するモデル実証事業に取り組んでいる。

CO_2フリー水素の普及にあたってはコストの低減が不可欠であることから，本事業では，複数の再エネの余剰電力を効率よく調達するエネルギーマネジメントシステムを開発・導入することで，低コストなCO_2フリー水素の製造・供給モデルを構築することを目指している（Fig. 15）。

2.5　情報の発信

水素社会の実現に向けた国内外の取組みや研究成果，ビジネスに関する情報を福岡から広く発信するため，九州大学と経済産業省 九州経済産業局と連携して，平成19年から毎年，水素先端世界フォーラムを開催（Fig. 16）しており，世界の水素関係者の重要な交流の場となっている。

Fig. 16　Hydrogen Advanced World Forum

3．水素・燃料電池製品の更なる市場拡大に向けた取組み

3.1　FCVの普及拠点化に向けた取組み

平成26年８月，地元の産学官が一体となって「ふくおかFCVクラブ」を立ち上げ，地域をあげてFCVの普及と水素ステーションの整備を一体的に推進している。

県では，公用車としてFCV３台を率先導入し，北九州市，福岡市，九州大学，県内企業などにも導入が広がっている。また，全国で初めてFCVタクシー５台の導入を支援した（Fig. 17）。

Fig. 17　FCV taxi

さらに，県公用車を活用し試乗会等を県内各地で行う「ふくおかFCVキャラバン」や九州各地に拡大した「九州FCVキャラバン」の開催，野外音楽イベントにおけるFCVからの電力供給デモンストレーションの実施等により，水素エネルギーへの理解促進に取り組んでいる（Fig. 18）。

Fig. 18　Promotion activities utilizing FCV

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

3.2　水素ステーションの整備促進

水素ステーションについては，候補地の紹介から，地権者との交渉まで一貫したサポートを行っている。また，国の補助金に併せて県独自の補助金を導入し，整備を促進している。平成27年11月には，西日本で初めて，県庁敷地内に商用水素ステーションをオープンした。令和２年３月には，地元企業の福岡酸素㈱と日本水素ステーションネットワーク（同）（JHyM）の協同により，県内11か所目となる水素ステーションが開所した（Fig. 19）。

4．おわりに

国が新たに示した2050年カーボンニュートラルの方針のもと，官民を挙げた水素エネルギー社会づくりに向けた取組みが加速することが期待される。

福岡県はこれまでに得た知見や強みを活かし，今後も，水素エネルギーの普及と産業化に取組み，水素エネルギー社会の実現に貢献するとともに，地域経済の活性化に繋げていきたいと考えている。

Fig. 19　Hydrogen stations in Fukuoka prefecture

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

米国初M501Jガスタービンの建設・試運転

Construction and Commissioning of 1st M501J in United States

駒米 勇二＊1
KOMAGOME Yuji

キーワード：ガスタービン，コンバインドサイクル，試運転
Key Words：Gas Turbine, Combined Cycle, Commissioning

1．緒言

アメリカ合衆国オクラホマ州で米国初の三菱パワー（当時三菱日立パワーシステムズ（MHPS））製M501J形ガスタービンを採用したコンバインドサイクル発電設備であるGrand River Energy Center（GREC）Unit 3 が2017年より運用を開始しました。私は，普段，三菱パワーの高砂工場で主にガスタービンの性能，冷却空気系統設計，プロジェクト計画業務に従事していますが，最終性能確認および運転パラメータ最適化のために本ガスタービンの試運転に参加することになりました。その時の現地での経験について簡単に紹介します。合わせてアメリカ合衆国の電力事情についても本稿で説明します。

2．アメリカ合衆国の電力事情

2.1　電源構成

2019 年時点での米国の電源構成（総発電量4.13 Tri kWh）は天然ガス38％，石炭23％，原子力20％，再生可能エネルギー 18％，その他１％であり[1]，天然ガスを主燃料とするガスタービンおよびガスタービンコンバインドサイクル発電は米国において主要な発電設備となります。

過去の電源構成の推移を見てみると，2000 年代半ばまでは石炭がおよそ50％を占め，天然ガスは20％程度の割合でありましたが，その後，2010 年以降には石炭火力に代わり天然ガス火力の台頭が顕著にみられます。これは石炭火力の退役とその環境規制の強化，天然ガス価格が安価で取引されていることが主要因であると報告されています。

今後の電力構成推移については，米国エネルギー省情報局（US Energy Information Administration, EIA）の2020年レポート[2]によると，化石燃料を主燃料とした低効率電源の退役が進み，新設としては減税処置と初期投資費用の低減が見込める再生可能エネルギー（特に太陽光発電）および安価で調達可能な天然ガスの需要が増えると予測されています。天然ガス焚きでは高効率なガスタービンコンバインドサイクル発電設備が主流であり，今後もガスタービンの需要があると予測されます。

2.2　電力系統と電力会社

米国の周波数は60Hzであり，ハワイ，アラスカを除くと電力系統は大きく３つThe Eastern，The Western，The Electric Reliability Council of Texas（ERCOT）に分かれています。また，The Eastern, The Westernはカナダの電力系統とも接続されています。

EIAの調査では，米国での電気事業者は約3,000社あるとされています[3]。これらの電気事業者は私営電気事業者（Investor-owned Utility，IOU），公営電気事業者（Publicly owned utility, POU），協同組合（Cooperative）に大別され，2017年時点でIOUは168，POUは1958，協同組合は812あります。そのうちIOUが約３/４の顧客に電力を供給しています。これらのほかに，独立発電事業者（IPP）や小売事業者などの非電気事業者が存在します。

米国では1990 年代より電力卸売市場の自由化が進められており，連邦エネルギー規制委員会（Federal Energy Regulatory Commission, FERC）が中心となって，送電事業の別部門化や系統へのオープンアクセスを義務付けるなどの制度の整備が行われました。その一方で，電気事業は連邦政府ではなく州政府が規制・管理・監督することになっており，発送電分離や電力小売などの電力市場の自由化の形態は州ごとに異なります。

2.3　米国におけるガスタービンに対する要求の特徴

米国での発電所建設では，電力会社や独立発電事業者（IPP）から設計・調達・建設（EPC）を受注したエンジニアリング会社が，建設コスト削減と建設工期短縮を狙って発電所建設に関わる業務を分割発注することがよくあり，ガスタービン，蒸気タービン，排熱回収ボイ

原稿受付　2021年１月23日
＊1　三菱パワー㈱ 大型ガスタービン技術部
〒676-8686　高砂市新浜２－１－１
E-mail: yuji.komagome.k5@mhi.com

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

ラ（HRSG）ごとの機器単体での契約となることが多いです。最近はガスタービンと蒸気タービンを一括で契約するPower Train契約も増えていますが，それぞれ別のメーカの製品を組み合わせられることがあります。また，コンバインドサイクル発電には，ガスタービン，蒸気タービン，発電機が同一軸上に構成される一軸型とガスタービンと蒸気タービンが別の軸上で構成される別軸型とありますが，後者のガスタービン，蒸気タービン別軸の構成をとることが大半です。

夏場の出力向上のために，ガスタービンの吸気装置にチラー，吸気水噴射（FOG），エバクーラー（Evaporative Cooler）などの冷却装置が，HRSGに助燃設備が設置されることが多いです。これは，一部の地域では夏場の発電設備容量に対してCapacity Paymentが支払われること，天然ガスの価格が安く夏場の高需要時の出力向上により収益向上ができることが要因です。

使用燃料については，前述の電源構成比率からもわかる通り，天然ガスが主流です。ただし，一部の地域では，緊急時に使用する油焚き出力に応じてCapacity Payment が決定されるため，天然ガス・油の両方に対応したデュアル焚きの要求もあります。

排ガスエミッション規制については，地域毎に要求される条件が異なるという特色があります。米国では連邦レベルの大気汚染規制に関する法律として大気浄化法（Clean Air Act, CAA）が1963年に制定され，その後数回大きな改訂が行われました。この法律では，環境保護庁（United States Environmental Protection Agency, EPA）にCO, 鉛（Pb），NO_2, Ozone（O_3），粒子状物質（PM），SO_2の6 種類について連邦大気質基準（National Ambient Air Quality Standard, NAAQS）を設けることを義務づけ，当該基準を達成するために必要な施策を講ずる責任を各州に課しています。このNAAQSの達成度合いにより地域分けされ，その地域ごとに規制方法や規制の程度が異なります。

ガスタービン/ガスタービンコンバインドサイクル発電設備でのエミッション要求事項としては，定常時エミッションに加えて起動停止時エミッション総量が保証として求められ，項目として，NO_x, CO, 揮発性有機化合物（VOC），PM, SO_2 が要求されることが一般的です。

また，定常時エミッション保証値を守ることのできる運用最低負荷（Minimum Emission Compliance Load, MECL）の保証が求められ，主に低負荷域でのCO, VOCの低減が重要となります。

3．GREC Unit 3 プロジェクト概要

3.1　発電設備概要

注文主はアメリカ合衆国オクラホマ州の公益電力会社であるGrand River Dam Authority（GRDA）です。GRDAは1935年にGrand Riverの保全および開発を目的として設立され，同州からの財政援助を受けず，電力および水の販売収益により運営されています[4]。また，水力発電所，石炭火力発電所，天然ガス火力発電所，風力発電所を運営しています。

今回紹介する天然ガス専焼ガスタービンコンバインドサイクル発電設備のGREC Unit 3（Fig. 1）は，オクラホマ州の第 2 の都市Tulsaの東方約50kmに位置するChouteau（Fig. 2）にあります。隣接するUnit 1，2は約490MW級の石炭火力発電所であり，Unit 3 は老朽化したUnit1のリプレースとして計画されました。

GREC Unit 3 は，1 on 1 別軸の505MWコンバインドサイクル発電設備で，ガスタービンは三菱パワー製M501J形，蒸気タービンは三菱パワー製SRT-50（単車室三重圧再熱式，最終段翼長50インチの軸流単流排気），排熱回収ボイラ（HRSG）はNooter/Eriksen製の助燃有 3 重圧再熱式，発電機は三菱電機株式会社製が採用されました。また，吸気にはチラーおよびアンチアイシング設備が設置されています。本設備は当時世界最高水準の62％の発電効率を達成しました。

Fig. 1　GREC Unit 3

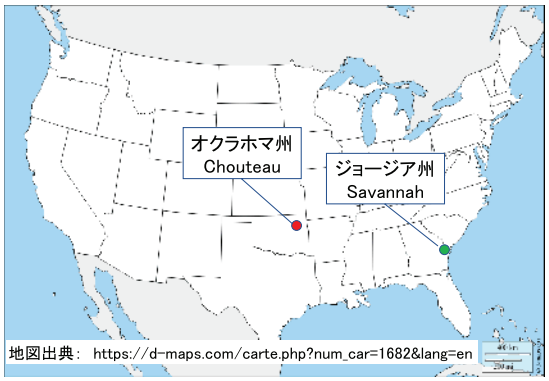


Fig. 2　GREC Unit 3 の所在地（オクラホマ州 Chouteau）

3.2　M501J形ガスタービン

M501J形ガスタービンは60Hz向けタービン入口温度1600℃級の高効率・大容量発電用ガスタービンです。

豊富な運転実績のあるタービン入口温度1400℃級F形，1500℃級G形・H形で実証済みの要素技術を集大成するとともに，国家プロジェクトとして実施した「1700℃級ガスタービン技術開発」の成果である高温化要素技

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

術を適用（Fig. 3）することにより，タービン入口温度1600℃を実現しました。

タービン入口温度上昇及び最新の要素技術を採用することにより，コンバインドサイクル発電端熱効率は従来機と比べて大きく上昇し，62%（LHV基準）以上を達成。CO_2排出量は，従来型石炭焚き火力発電所を天然ガス焚きJ形コンバインドサイクル発電所に置き換えた場合，約6割の削減が可能となります。

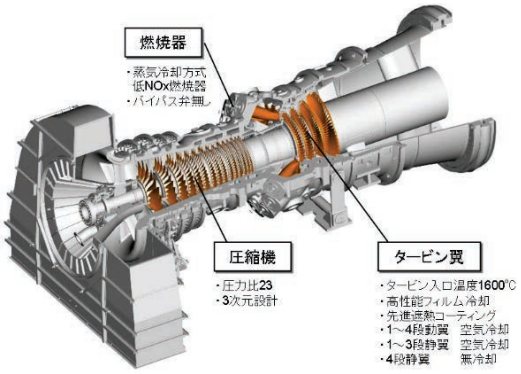


Fig. 3　J形ガスタービンに適用された技術

3.2.1　全体構造

M501J形の基本構造は，実績のあるF形，G形をベースとした設計としており，①発電機との接続は，熱伸びなどの影響が小さく，フレキシブルカップリング等が不要な圧縮機軸端駆動方式，②ロータは，圧縮機側軸受とタービン側軸受に支えられた2軸受構造，③コンバインドサイクルプラントの配置に最適な軸流排気タービン，④圧縮機ロータは，トルクピンを挟んだディスクをボルト結合し，タービンロータはカービックカップリングを持つディスクをボルトで結合し，トルクを確実に伝えるロータ構造，などの特徴を継承しています。

3.2.2　圧縮機

M501J形圧縮機は3次元先進設計による圧力比23の15段軸流方式であり，前方段での衝撃波発生による損失を低減し，中後方段での摩擦損失を低減することで性能向上を図っています。また，圧縮機の起動中は，低圧・中圧・高圧の3段から抽気が行われ，入口案内翼（IGV）と前方3段の可変静翼（VV）を制御することにより，起動中の旋回失速の発生の抑制と，コンバインドサイクルプラントの部分負荷性能の改善を図っています。

3.2.3　燃焼器

G形にて実績のある回収型蒸気冷却方式を採用しています。タービン入口温度はG形の1500℃から1600℃に100℃上昇しているが，燃料と空気のより均質な混合を目的とした燃焼器ノズルの改良を行い，燃焼領域での局所火炎温度を低減するなどの低NOx化技術を適用し，G形と同等レベルのNOx排出濃度に抑えています。

3.2.4　タービン

タービンは，軸流形4段の高負荷・高性能タービンを採用。性能向上のために，G形で採用してきた完全3次元設計に加え，国家プロジェクトにて開発したタービン空力技術を適用しました。G形からの温度上昇に対しても国家プロジェクトで開発された高性能冷却技術や先進遮熱コーティングを採用し，従来機並みの翼メタル温度を維持しています。

3.3　建設・試運転

GREC Unit 3は，2014年3月に三菱パワー（契約時はMHPS）とガスタービン・蒸気タービンの契約が締結，2014年12月に米国のKiewit傘下のThe Industrial Company（TIC）と設計・調達・建設（EPC）の契約が締結されました。その後，2015年1月より建設工事が開始されました。

GREC Unit 3向け以前にもM501J形ガスタービンは日本・アジアで既に商用運転されていましたが，これらのガスタービンは日本の三菱パワー高砂工場にて製作されていました。米国初のM501J形プラントであるGREC Unit 3向けでは，初めて三菱パワーの米国の生産拠点であるサバンナ工場（ジョージア州）（Fig. 4）で製作され，2016年1月にガスタービンが出荷されました（Fig. 5）。サバンナ工場から発電所のあるChouteauまでは直線距離で約1,600 km離れていますが，船にてミシシッピ川，アーカンソー川，バーディグリス川を通り発電所の最寄りのタルサ港まで運び，そこで陸揚げされた後，陸路で発電所に輸送されました。

その後，現地では，ガスタービン本体のオンベースの後，周辺機器，周辺配管，計器類，エンクロージャ

Fig. 4　三菱パワー サバンナ工場

Fig. 5　サバンナ工場からのM501J初出荷

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

の据付が行われました。2016年夏に隣接するUnit 2が落雷により火事になったり，ルイジアナ州で大洪水が発生し，物流に支障がでたりといろいろな障害がありましたが，2016年冬頃から補機類の試運転が開始されました。

2017年3月14日に初着火し，その2日後に系統に併列することができました。さらに，ガスタービンの負荷上昇，蒸気系統のブロー，HRSGの試運転，蒸気タービンの試運転を実施し，初着火より45 日後の4 /27にプロジェクトのマイルストーンである“Sellable Power”（コンバインドサイクルでの連続運転可能となり，電力の販売が可能となる状態）に到達することができました。その後，各種調整，蒸気タービンの仮ストレーナ撤去休転，性能試験等の各種試験を実施しました。

私の現地での作業は，ガスタービンの性能・信頼性の確認および運転パラメータの最適化を行うことでした。計測データにおかしい点はないか，想定した運転状態からの乖離はないか等を確認し，必要あれば運転パラメータの調整や現場の点検を実施しました。また，試運転中の節目では内部点検やボアスコープ点検を行い，ガスタービンの健全性の確認をしました。運転パラメータの最適化については多岐にわたるのですが，特に，北米はターンダウン負荷（運用最低負荷）の要求が厳しく，部分負荷でのCOを低く保つための最適化には少し時間がかかりました。

最大のガスタービン市場である米国初のM501J形の試運転ということで社内外から注目されており，プレッシャーも大きく，辛い時もありましたが，M501J形ガスタービン本体のシールや冷却空気系統，構造の設計に関わり，初期段階より各種検討を実施したこのプラントの試運転に従事でき，無事運開できたことは大変貴重な経験となりました。

3.4　試運転中の現地での生活

オクラホマ州はアメリカ中部にあり寒暖の差が大きい地域で，試運転が開始した3月頃は，氷点下の日もあれば，日中20℃近くまで上がることもあり，服装選びが大変難しいです。また，竜巻がよく起こる地域でもあり，現地の安全教育でも竜巻が発生した時の避難場所が教えられました。実際，私が滞在した間にも竜巻警報が発生し，試運転が中止になった日もありました。この時はこれまでに経験のないほどの激しい雷に加え，“ひょう”が降りました。

アメリカでは，移動するのに車が不可欠であり，現地ではレンタカーを借りて行動することになります。宿泊していたホテルから発電所までは約50km離れており，毎日，直線の続くフリーウェイを片道約30分かけて通勤していました。慣れない左ハンドルの車で，夜は試運転で疲れている中，外灯のない真っ暗の道を運転する必要があり，ヒヤッとすることもありました。

宿泊していたホテルは発電所から離れており，通勤は大変でしたが，隣に24時間営業しているスーパーのウォルマートがあったため，試運転終了が遅くなってしまっても生活用品や食料の調達が可能であり，その点は便利なところでした。

現地での食事は，発電所の近くにはレストランはなく，スーパーでパンや冷凍食品，インスタント食品を買い込んで昼食や夜食としていました。また，ホテルの近くに比較的遅くまで営業しているバーがあり，食事もできることから頻繁に通いました。アメリカでは，アルコールが出る店では年齢確認のために証明書の提示を求められますが，店員さんとも顔見知りになり，途中からは顔パスとなりました。

少し街中に足を延ばすと，ステーキ，ピザ，日本食，中華，タイ料理など様々な飲食店があり，試運転の節目や休みの日には，試運転メンバーと一緒に食事をし，チームの結束を高めました。特に今回のプロジェクトは，日本と米国事務所と共同で設計を行っており，試運転前まではメール・電話だけのやり取りだけで顔を合わせたこともなかったメンバーもおり，食事をしながら交流を深めました（Fig. 6）。

Fig. 6　外食時の一幕

4．最後に

米国初のM501J形ガスタービンを採用したガスタービンコンバインドサイクル発電所であるGRDA GREC Unit 3は，お客様，関係者の皆様の協力もあり，無事，運開し，最高水準の効率62%を達成することができました。この場を借りて，感謝申し上げます。

参考文献

(1)　U.S. Energy Information Administration, Electric Power Annual, ＜http://eia.gov/electricity/annual/＞（参照日 2020年12月）.

(2)　U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2020, ＜http://eia.gov/oulooks/aeo/＞（参照日 2020年12月）.

(3)　U.S. Energy Information Administration, Today in energy, ＜http://eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40913＞（参照日 2020年12月）.

(4)　GRDA website, ＜https://www.grda.com/about＞（参照日 2020年12月）.

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

同窓会のホームページを作り続けて23年

It's Been 23 Years Since I made the Homepage of the Alumni Association

筒井 康賢*1
Tsutsui Yasukata

1．同窓会ホームページの始まり

「いやあ，わたしもしつこい！サーバに溜まった写真は３万枚を優に超えた」。25年前に開いた私たち土佐高校41回生卒業30周年の同窓会での話がきっかけで，翌年には細々と同級生によるメーリングリストが出来た。勢いとは恐ろしいもので（○○蛇を恐れず，の類）「母校にホームページを作ろう」と盛り上がった。私も外から眺めているだけでは我慢が出来ず，同窓会関東支部のホームページを作成。それから23年の積み重ねである。

これだけでは収まらない，メールや５万枚を超える写真を集めた「41回生の小部屋」を同期生のホームページに設置。ここには毎年，高知や東京で開かれる忘年会や花見，地元でいう｛お客｝などの写真がてんこ盛りだ。

名古屋勤務の2003年から３年間は東海支部のページも作成し，同窓会本部のページへもデータを送り続けた。

産総研を退職して高知工科大に再就職した2007年からは，毎回同じ記事を２個所にアップする作業がさすがに面倒になり「何とかならないか」と手抜きの方法を考えた。そこで思いついたのは，関東支部の２ページ目をトップページにした同窓会本部ページの作り直しだった。これは大成功で中味は全く同じだが，見た目が違ってほとんどの人には同じページだとは思わなかったようだ。

2．レスポンシブ化

「レスポンシブ化」というのは，アクセスしてくるPCやスマホ，タブレットの画面サイズの情報を得て，CSS（Cascading Style Sheets）というページのスタイル指定言語などを使ってユーザ側の画面表示を変えることだ。

スマホのユーザが多くなったことからレスポンシブ化の要望は前からあったが，常勤から解放され2017年末に東京に居を定めて時間に余裕ができてから取り組んだ。

しかし現実は甘くなく，関東支部の２ページ目を同窓会本部の１ページ目にするというごまかしが効かなくなった。これは，背景の色を変えることとロゴを使い分けることでなんとか乗り切った。

もう一つの問題は，iPhoneとAndroidで画面表示が全く異なること。手元にはAndroidしかなく，iPhone画面の確認が難しくてiPhoneユーザのところに出かけて行って，その場でCSSを書き換えるようなこともした。

3．メンテナンス

23年もやっていると「少しは凝ったことをやりたいな」と思ってくる。データはサーバに残してあったので貯まった改訂履歴の項目をクリックすれば元のページに移るように書き換えた。すべて一人で作って記事の日付や項目の書き方の様式が一定になっていたことから，Visual Basicのプログラムを組んで，元の改訂履歴のHTML（Hyper Text Markup Language）を読んで，リンクを書き込んだHTMLに書き換えることで解決出来た。

余談をひとつ。関東支部の支部報は，デジタル化されるまでは印刷版を白黒２値のスキャナーで読んだものをアップしてあり，写真はまともに見えるものではなかった。高知工科大学の教授室の前に高性能なスキャナー付コピー機があったが，まさしく“公私混同”になるのでぐっと我慢の日々だった。東京に落ち着いて，やっと同級生の司法書士事務所でスキャンをさせて貰い，画質を大幅に向上出来た。しかし，支部報はB5版中折12ページか16ページ立てで，連続スキャンするとページがとびとびになってしまう。これにはVisual Basicの画像を切り分ける機能を使ってページ毎のファイルにして，とびとびのページを並べ直したHTMLに作り直し，バックナンバーの総目次からリンク出来るようにもした。

4．終わりに

「ようやるわ」と言われそうだが，何を隠そう。高校の同窓会のページの他に旧機械技術研究所のOB・OG会のページなども作り，産総研のOB・OG会である産工会のページのウェブマスターも先輩から引き継いでいる。最後に鍵なしのページのURLを２つ記しておく。

⑴土佐中高同窓会関東支部のページ
https://www.tosako-kanto.org/

⑵土佐中高同窓会本部会報「向陽」のページ
https://www.tosaobog.com/index_koyo.html

原稿受付　2021年２月22日
＊1　高知工科大学　名誉教授
E-mail: tsutsui@msi.biglobe.ne.jp

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

報　告

「ガスタービン学生フォーラム2021」「第49回ガスタービンセミナー」報告

泰中 一樹
TAINAKA Kazuki

2021年１月28日㈭にガスタービン学生フォーラム2021，29日㈮に第49回ガスタービンセミナーがオンライン開催された。以下に，その概略を報告する。

ガスタービン学生フォーラムは，新型コロナ感染症により対面での交流や実地での情報収集が難しい状況にあっても，オンラインでの集会行事を推進し，会員だけでなく会員外の皆様との交流を拡げていくため，今回，新たに企画した。

ガスタービン学生フォーラム2021は，今後，社会での活躍が期待される学生を対象に，ガスタービンを含む動力・エネルギー関連分野への関心を高めてもらうため開催された。ガスタービンに関連する企業で活躍される方々にご協力いただき，この分野と仕事の内容をもっと知りたい，と思ってもらえるような，技術開発，業務内容，社会貢献（環境・エネルギー，持続成長）などについて，講演と質疑応答をおこなった。初開催であったが，最終的に全国各地から約170名にご参加いただき，活発な質疑応答が行われ，盛況の下に無事終了した。

１.「動力・エネルギー変換とガスタービン」では，姫野武洋氏（東京大学）が，動力・エネルギー変換におけるガスタービンの役割およびその重要性を説明した。２.「エネルギー関連事業の取り組み紹介」では，酒井義明氏（東芝エネルギーシステムズ㈱）が，新技術も含めたエネルギー技術とその技術に対する取り組みを紹介した。３.「発電用ガスタービンにおける設計職の業務紹介」では，和田稔樹氏，松尾咲生氏（三菱パワー㈱）が，ガスタービンメーカーとしての会社の概要と実際の大型ガスタービン設計業務を紹介した。４.「Hondaにおけるガスタービン開発とカーボンフリー社会の実現に向けて」では，旦誠之氏（㈱本田技術研究所）が，会社におけるエンジン開発の歴史，およびHF120開発での自身の経験を説明した。５.「ジェットエンジン開発における環境への取り組み -中堅社員の経験から-」では，加賀谷諒氏（㈱IHI）が，コロナ禍後の航空業界と，自身の業務であるジェットエンジンの軽量吸音ライナ開発について説明した。６.「高効率ガスタービンコージェネレーション開発への取り組み」では，久保博史氏（川崎重工業㈱）が，ガスタービン開発業務のやりがいや具体的な１日のスケジュールを用いて実際の業務について説明した。

第49回ガスタービンセミナーは，「ガスタービンの最新技術動向および低炭素社会に向けた技術開発」をテーマとして，オンライン開催された。約160名の方々にご参加いただき，活発な議論が行われた。講師には，産業用ガスタービン，航空用ジェットエンジンに関わるメーカー，ユーザー，研究機関の第一線でご活躍されている方々を迎え，６件のご講演をいただいた。

「セッションⅠ：エネルギーとものづくり」と「セッションⅡ：航空分野における低炭素化」の２つのセッションが開催され，それぞれ３件の講演が行われた。１.「最新鋭1650℃級JAC形ガスタービンの実機実証」では，若園進氏（三菱パワー㈱）が，高砂工場の第二T地点におけるJAC形ガスタービンの試運転結果を説明した。２.「国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用」では，足利貢氏（川崎重工業㈱）が，液化水素の関連技術開発とその実証内容を説明した。３.「航空機用ガスタービンエンジンへのAdditive Manufacturing部品の適用研究」では，梶浦幸生氏（㈱本田技術研究所）が，AM技術を活用して行く上での重要な観点を自身の経験から説明した。４.「脱炭素化にむけた航空機・エンジン電動化システムの役割」では，大依仁氏（㈱IHI）が，航空機電動化に向けた社会動向や脱炭素化に向けた技術展望を説明した。５.「航空機エンジン洗浄の現状と課題」では，永田篤志氏（㈱JALエンジニアリング）が，ジェットエンジン管理における水洗浄の重要性とその効果を説明した。６.「低炭素化に向けた航空エンジン研究開発動向」では，岡井敬一氏（（国研）宇宙航空研究開発機構）が，航空機の脱炭素化に向けて，バイオ燃料，水素燃料，エンジン電動化を対象に最新動向を説明した。

最後に，ご多忙な中，貴重な内容をご発表いただきました講師の方々，そしてご参加いただきました皆様に，厚く御礼を申し上げます。

（集会行事委員会委員）

オンライン配信されたガスタービンセミナー

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

第49回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会のお知らせ

第49回日本ガスタービン学会定期講演会を以下の要領で開催いたします。なお，開催場所については現時点の予定であり，オンライン開催，またはハイブリッド開催となる場合がありますことをご了承ください。

講演会開催日　2021年10月13日㈬，14日㈭
講演会開催場所　パピヨン24
〒812-0044　福岡県福岡市博多区千代１-17-１
見学会　2021年10月15日㈮

講演申込要領は，学会誌５月号，学会ホームページ（http://www.gtsj.org）に掲載いたします。奮ってご応募くださいますようお願い申し上げます。

講演申込締切　2021年６月18日㈮予定
講演採否連絡　2021年７月16日㈮予定
論文原稿締切　2021年８月27日㈮予定

参加申込方法は，学会誌７月号，学会ホームページに掲載する予定です。

◯本会協賛行事◯

主催学協会	会合名	協賛	開催日	詳細問合せ先
日本機械学会　関西支部	第373回講習会「構造・強度設計における数値シミュレーションの基礎と応用」	協賛	2021/5/24-25	URL：https://www.kansai.jsme.or.jp/

▷入　会　者　名　簿◁

〔正会員〕
Yu Panlong（九州大学大学院）　桑田 敬司（日本船主責任相互保険組合）　河上 誠（日立製作所）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

◇2021年度会費納入のお願い◇

2021年度会費（2021年３月１日～2022年２月末日）の納入をお願いいたします。会費は，下記の通りとなっておりますので，2021年４月30日までにお納め下さいますようお願い申し上げます。

なお，口座自動振替をご利用の方は，2021年３月23日にご指定の口座よりお引き落としさせていただきます。

＜2021年度会費（不課税）＞

正会員	8,000円
正会員（65歳以上*）	5,000円
学生会員	2,500円
賛助会員　１口	70,000円

（*2021年３月１日現在）

【納入先】

郵便振替：　00170-9-179578
銀行振込：　みずほ銀行　新宿西口支店
　　普通預金口座　1703707
いずれも口座名は，
シャ）ニホンガスタービンガッカイ です。
振込手数料は貴方にてご負担願います。

※会費の納入には，簡単・便利な口座自動振替をお勧め致します。自動振替をご利用されますと，振込手数料は学会負担となります。ご希望の方は巻末の「預金口座振替依頼書」にご記入の上，学会事務局までお送りください。

次号予告　**日本ガスタービン学会誌2021年５月号（Vol. 49 No. 3）**

特集　水素・脱炭素燃料の最新動向（その２）
論説・解説
巻頭言　古谷博秀（産業技術総合研究所）
Hondaにおける脱炭素へ向けた燃料の取組み　橋本公太郎（本田技術研究所）
JAXAにおけるバイオジェット燃料の燃焼研究　藤原仁志，水野拓哉，岡井敬一（JAXA）
日本航空におけるバイオジェット燃料の導入に向けた取り組み　熊倉　賢（日本航空）
二酸化炭素の有価物変換技術～メタネーションプロセスの開発～　成相 健太郎（IHI）
カーボンリサイクル技術によるメタノール合成　中村功，藤谷忠博（産業技術総合研究所）
2MW級ガスタービンにおける液体アンモニア直接噴霧燃焼技術の開発　内田 正宏（IHI）
微粉炭火力におけるアンモニア混焼技術　木本政義　小沢靖　白井裕三（電力中央研究所）
CO_2フリーアンモニア利用GTCC　（三菱パワー）

※タイトル，執筆者は変更する可能性があります。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

日本ガスタービン学会入会のご案内

日本ガスタービン学会は，「エネルギー」をいかにして効率よく運用し，地球規模の環境要請に応えるかを，ガスタービンおよびエネルギー関連分野において追求する産学官民連携のコミュニティーです。

会員の皆様からは，「ガスタービン学会に入会してよかったと思えること」の具体例として次の様な声が寄せられています：

- タテ（世代）とヨコ（大学，研究機関，産業界）の交流・人脈が広がった。
- 学会誌が充実しており，学会・業界・国外の専門分野の研究動向や技術情報が効率的に得られた。
- ガスタービンに熱い思いを持った人達と，家族的雰囲気で階層を意識せず自由な議論ができ，専門家の指導を得られた。

学会の概要（2020年３月現在）

会員数：1,956名（正会員 1,920名，学生会員 36名）　　賛助会員：115社

会員の出身母体数：企業・研究機関・官公庁等 約300，学校 約100

会員のメリット

個人会員（正・学生会員）：

学会誌無料配布（年６回），学術講演会の論文発表・学会誌への投稿資格，本会主催の行事の参加資格と会員参加費の特典，本会刊行物の購入資格と会員価格の特典，調査研究委員会等への参加

賛助会員：

学会誌の無料配布，学会誌広告・会告掲載（有料），新製品・新設備紹介欄への投稿，本会主催行事参加および出版物購入について個人会員と同等の特典

入会金と会費

会員別	入会金	会費（年額）	後期入会時 会費（初年度のみ）
正 会 員	500円	8,000円	4,000円
正 会 員（65才以上※）	500円	5,000円	2,500円
学生会員	500円	2,500円	1,250円
賛助会員	1,000円	一口 70,000円とし，一口以上	一口 35,000円

※当該年度３月１日現在　　後期・・・９月１日～翌２月末まで

入会方法

学会ホームページにて入会手続きができます（http://www.gtsj.org/index.html）。

学会事務局にお電話いただいても結構です。申込書を送付致します。

公益社団法人 日本ガスタービン学会
Gas Turbine Society of Japan
〒160-0023 東京都新宿区西新宿７－５－13 第３工新ビル402
電話番号：03-3365-0095
E-mail: gtsj-office@gtsj.org

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

編集後記

2017年度以来，３年ぶりに編集委員会アソシエイトエディターを担当させていただいております。昨年度来のCOVID-19の世界的蔓延により，社会的な活動の制限が様々行われている中で，編集委員会もオンラインで開催されている状況です。そのために委員の皆さんとは直接お会いできておらず，委員会の後の酒席で皆さんの様々なお話しを伺いながら親睦を深めさせていただくことも叶わないことも大変寂しく考えています。リモートによる在宅勤務など，働き方改革を加速する効果もあると思いますが，直接お会いしてコミュニケーションを取る事の重要性も再認識されているのではないでしょうか。

さて，今月号ならびに次号の５月号では２号続けて「水素・脱炭素燃料の最新動向」を特集しております。温室効果ガス排出抑制に向けた国際的な動向が急展開し，化石燃料を代替する各種燃料候補，及びその燃焼機関の開発・実証が加速しています。我が国においても，2050年にカーボンニュートラル実現を目標とすることが表明されるなど，脱炭素社会実現のための技術革新が推進されることになりました。

今月号では，脱炭素社会実現に向かう背景・動向や脱炭素燃料/低炭素燃料の位置付けや最新の技術開発の状況や水素エネルギー利用のためのインフラ構築も含めたサプライチェーンの動向，ガスタービン，燃料電池，発電に関わる要素技術開発などに取り組む各社，各機関より最新の情報をご紹介いただきました。また，水素社会実現を目指した福岡県の取り組みを紹介いただきました。

我が国は世界に先駆けて水素社会実現への取り組んできておりますが，実は，2016年７月号で「水素エネルギー利用社会への歩み，ガスタービンと燃料電池の最新情報」と題した特集をアソシエイトエディターとして編集させていただきました。今回の特集は私自身が2016年時点から現在までに，我が国における水素社会への取り組みがどのように発展してきたかを再確認させていただく機会となりました。これまでの我が国における脱炭素に関する技術的，社会的取り組みの継続により，世界をリードする「脱炭素社会」が実現されることを楽しみにしています。

最後に，本号を編集するにあたりご協力いただきました委員会の皆様，お忙しい中，本号記事を執筆いただきました執筆者の皆さまに熱く御礼申し上げます。

（渡邉 啓悦）

●３月号アソシエイトエディタ
渡邉 啓悦（荏原製作所）
●３月号担当委員
田尻 敬次（荏原エリオット）
三ヶ田 一裕（JALエンジニアリング）
宮入 嘉哉（防衛装備庁）

（表紙写真）
今回の表紙については，【論説・解説】の著者より流用およびお借りしています。
詳細については，下記記事をご参照ください。

・「水素エネルギー・脱炭素燃料の動向」…（P80 ～ 87）
・「国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用」……（P88 ～ 93）
・「“SPERA水素®”システムによる国際間水素サプライチェーン実証」……（P94 ～ 99）
・「カーボンフリーアンモニア燃料の製造及び利用技術 –福島再生可能エネルギー研究所における取り組み–」……（P100 ～ 105）
・「燃料電池システム開発の最新動向と今後の取り組み」……（P106 ～ 109）
・「福岡県における水素エネルギー社会実現に向けた取組み」……（P110 ～ 115）

☘事務局だより✉☘

日本ガスタービン学会は３月から新年度となりました。３月下旬にはE-mailあるいは郵送により４月開催の通常総会招集通知をお送りします。今回も昨年同様，コロナウイルス感染拡大防止のため，総会への出席は要請しないこととなります。正会員の皆様にはWeb会員ページあるいは葉書にて議決権を行使していただきたくよろしくお願いいたします。

１年前の今頃は，コロナウイルス感染防止対策で右往左往しておりましたが，今ではマスクをしていないとなんだか裸で外を歩いているような心もとなさを感じるくらいになってしまいました。慣れとは恐ろしいものです。昨年４月には在宅の日が続き，休日もずっと外出できないため，この機会に何か習得しましょうと，狭い家でも簡単にできる，手軽なものと考え，ネット通販でリコーダーを買いました。手に取るのは中学校以来です。音楽は特に不得手でもなかったので，ひょいと吹けるかと思ったのですが，まず指が動かない，びっくりです。そしてピアノの先生をしている友人に，簡単に吹けそうな楽曲の楽譜をもらいました。が，楽譜を見ても以前のようにパッと反応できない，記号がわからない，忘れている・・。唯一吹けるのは，音符丸暗記の小学校（母校）校歌でした。まずは楽譜を解読するところから始めないといけないのですが，結局未だに手付かずです。新学期に向けて気持ちも新たに活動しようと，１年前と同じ気持ちになっています。

新年度は，会議やイベントもオンラインと対面のハイブリッド開催となりそうです。この１年の経験を活かし，新しいスタイルでの学会活動が展開できるようにしたいと思っております。

（中村 優美）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.

学会誌編集および発行要領（抜粋）

2018年７月13日改定

1．本会誌の原稿はつぎの３区分とする。

A．依頼原稿：学会誌編集委員会（以下，編集委員会）がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は本学会会員（以下，会員）外でもよい。

B．投稿原稿：会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

C．学会原稿：本学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および会員による調査・研究活動の成果等の報告。

1.2．技術論文の投稿については，「技術論文投稿要領」による。

1.3．英文技術論文の投稿については，Instruction to Authors, JGPP（International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems）による。

2．依頼原稿および投稿原稿は，論説・解説，講義，技術論文，寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事の掲載欄に掲載することとし，刷り上がりページ数は原則として以下のとおりとする。

論説・解説，講義	6ページ以内
技術論文	「技術論文投稿要領」による
寄書，随筆	3ページ以内
書評	1ページ以内
情報欄記事	1/2ページ以内

3．原稿の執筆者は，本会誌の「学会誌原稿執筆要領」に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局（以下，編集事務局）まで原稿を提出する。編集事務局の所在は付記１に示す。

4．依頼原稿は，編集委員会の担当委員が，原稿の構成，理解の容易さ等の観点および図表や参考文献の書式の観点から査読を行う。編集事務局は査読結果に基づいて，執筆者への照会，修正依頼を行う。

5．投稿原稿のうち技術論文以外のものは，編集委員会が審査し，本会誌への掲載可否を決定する。

6．投稿原稿のうち技術論文の審査，掲載については，「技術論文投稿要領」に従う。

7．依頼原稿の執筆者には，学会事務局から原則として「学会誌の執筆謝礼に関する内規」第２条に定めた謝礼を贈呈する。

8．非会員の第一著者には掲載号学会誌１部を贈呈する。

9．本会誌に掲載された著作物の著作権は原則として本学会に帰属する。本学会での著作権の取扱いについては別途定める「日本ガスタービン学会著作権規程」による。

10．他者論文から引用を行う場合，本会誌に掲載するために必要な事務処理及び費用分担は著者に負うところとする。

付記１　原稿提出先および原稿執筆要領請求先（編集事務局）
ニッセイエブロ㈱ 企画制作部
学会誌担当：高橋 邦和
〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17 明産西新橋ビル
TEL：03-5157-1277
FAX：03-5157-1273
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp

技術論文投稿要領（抜粋）

2018年７月13日改定

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
   1）主たる著者は本学会会員であること。
   2）ガスタービン及びエネルギー関連技術に関連するものであること。
   3）「学会誌原稿執筆要領」に従って執筆された，日本語原稿であること。
   4）一般に公表されている刊行物に未投稿であること。ただし，以下に掲載されたものは未投稿と認め技術論文に投稿することができる。
      - 本学会主催の学術講演会・国際会議のプロシーディングス
      - 特許および実用新案の公報，科学研究費補助金等にかかわる成果報告書
      - 他学協会の講演要旨前刷，社内報・技報，官公庁の紀要等の要旨または抄録
2. 原則として刷り上がり８ページ以内とする。ただし，「学会誌の掲載料に関する内規」第２条に定めた金額の著者負担で４ページ以内の増ページをすることができる。
3. カラー図は電子版と本学会ホームページ上の「技術論文掲載欄」に掲載し，冊子体にはモノクロ変換した図を掲載する。著者が「学会誌の掲載料に関する内規」第３条に定めた金額を負担する場合には，冊子体もカラー印刷とすることができる。
4. 投稿者は，「学会誌原稿執筆要領」に従って作成された印刷原稿または原稿電子データを，技術論文原稿表紙とともに学会誌編集事務局に提出する。
5. 投稿された論文は，論文委員会が「論文査読に関する内規」に従って査読を行い，掲載可否を決定する。
6. 論文内容についての責任は，すべて著者が負う。
7. 本技術論文の著作権に関しては，「学会誌編集および発行要領（抜粋）」９.および10.を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol. 49　No. 2　2021.3
発行日　2021年３月19日
発行所　公益社団法人日本ガスタービン学会
編集者　佐藤 哲也
発行者　識名 朝春
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第３工新ビル402
Tel. 03-3365-0095　Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊐ 1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17
明産西新橋ビル
Tel. 03-5157-1277　Fax. 03-5157-1273

©2021，公益社団法人日本ガスタービン学会

複写複製をご希望の方へ
公益社団法人日本ガスタービン学会では，複写複製に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は，学術著作権協会（https://www.jaacc.org/）が提供している複製利用許諾システムを通じて申請ください。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.1, 2025/07/16.