

Green Journal

グリーンフォーラム 2024年度 活動報告書

2025



巻頭言

気候変動政策を安全保障・ 産業政策として再設計せよ

座長 藤井 康正

寄稿

理想と現実のギャップをいかに埋めていくか

学界委員 秋元 圭吾

エネルギー政策の抜本的な見直し着手を

学界委員 竹内 純子

巻頭言

- 02 気候変動政策を安全保障・産業政策として再設計せよ
座長 藤井 康正

寄稿

- 03 理想と現実のギャップをいかに埋めていくか
学界委員 秋元 圭吾
- 04 エネルギー政策の抜本的な見直し着手を
学界委員 竹内 純子
- 05 資源循環技術について
—2024年度資源循環技術委員会の活動—
資源循環技術委員会 委員長 水戸部 啓一

活動報告

- 06 第1回 事例研究会
地中熱活用の可能性
大阪公立大学／大阪市環境局／三菱重工サーマルシステムズ
- 14 第2回 事例研究会
省エネ・低・脱炭素で存在感
カーボンニュートラル燃料対応進むコージェネの最新動向
経済産業省／日本ガス協会／川崎重工業
- 22 第3回 事例研究会
CN実現へ日本の切り札なるか!?
CO₂回収・地下貯留 (CCS)
経済産業省／地球環境産業技術研究機構
- 30 資源・循環技術委員会
JEPLAN／ベトリファインテクノロジー視察
- 35 フィールドワーク JA北海道厚生連 帯広厚生病院
エネルギーをリサイクル 排熱で20%省エネ化
- 38 フィールドワーク エア・ウォーター LBM製造プラント
北海道・十勝発 エネ革命 乳牛ふん尿から液化バイオメタン
- 43 フィールドワーク 中鹿追バイオガスプラント／しかおい水素ファーム
乳牛ふん尿由来のグリーン水素 ゼロカーボンの街づくり
- 46 フィールドワーク ホンダ・モビリティリゾートもてぎ
『人』と『データ』で持続可能な森づくり
よみがえる『里山』 生物5800種共生
- 52 2024年度委員／グリーンフォーラム 関係諸機関

資料

- 53 2023年度 活動報告紙面

(文中の肩書は、いずれも当時)

気候変動政策を安全保障・産業政策として再設計せよ

座長

藤井 康正

(東京大学 大学院工学研究科 教授)

ウクライナ危機以降、欧州の気候変動政策は大きな転換点を迎えている。従来、環境保護や国際協調を前面に掲げてきた脱炭素政策は、エネルギー安全保障と産業競争力の確保という現実的課題と強く結び付けられるようになった。この変化は、エネルギー輸入依存度が高く、地政学的制約を多く抱える日本にとって重要な示唆を与える。

まず、気候変動政策をエネルギー安全保障政策として位置付け直す必要がある。欧州は再生可能エネルギーや原子力の拡大を「脱炭素」だけでなく、「脱ロシア依存」の手段として推進している。日本にとっても、再エネ、原子力、省エネルギーの拡充は、気候対策にとどまらず、輸入依存低減と経済安全保障の柱として再定義されるべきである。

次に、原子力の位置付けをより現実的に見直す必要性が挙げられる。欧州では、ドイツを除けば原子力を低炭素かつ安定的な基幹電源として再評価する動きが強まっている。中国では、原子力発電容量を5年後には米国に並ぶ世界一に、10年後には更に倍増させる計画がある。日本は高度な原子力技術、人材、既存設備を有しながら、再稼働の不確実性や制度的停滞により十分に活用できていない。このままでは、脱炭素とエネルギー安全保障の両立は困難になるだろう。

再エネ政策の質的転換も必要だ。欧州では再エネ急拡大の結果、系統制約や調整力不足、イベリア半島大停電が起きたことで大規模停電リスクが顕在化した。日本も単なる導入量目標の追求ではなく、送電網の増強、蓄電池や揚水発電等の活用、市場を通じた調整力確保など、研究開発も含めて、電力システム高度化への投資増が最優先課題といえる。

そして、水素やアンモニアなどの脱炭素燃料をめぐる戦略の冷静な再評価も必要だ。欧州では水素への楽観論が後退し、用途を産業プロセスや系統調整などに限定する現実的アプローチが主流になりつつある。日本でも輸入水素への過度な依存は、新たなエネルギー安全保障リスクを生みかねない。水素は国際交渉の切札として重要だが、国内の脱炭素電源を補完する限定的な役割として位置付けるべきだろう。

さらに炭素価格政策で先行する欧州では、炭素価格の急激な上昇が国民負担を増大させ、社会的反発を招いている。日本でも同様の手法を主軸に据えることは政治的に現実的ではない。炭素価格は経済学的手法としては効率的だが、規制、補助金、投資誘導を組み合わせた政策パッケージの中で、補完的手段に留まざるを得ないだろう。

最後に、脱炭素政策を産業競争力強化の手段として捉える視点が不可欠だ。欧州はCBAMなどを通じ、脱炭素を産業保護と結び付けている。日本もエネルギー多消費産業の空洞化を防ぐため、環境政策と何らかの形で絡ませてそれらへの支援策を強化すべきだ。

以上を要すれば、気候変動政策は、理念先行型から地政学的現実を踏まえた実践重視型へと転換する必要があると言える。



理想と現実のギャップを いかに埋めていくか

学界委員

秋元 圭吾

(地球環境産業技術研究機構 主席研究員 東京科学大学 特任教授)

米国では2025年1月に第2期トランプ政権が誕生し、再びパリ協定からの脱退を決めた。また、欧州ではロシア・ウクライナ戦争が長引く中、気候変動対策の強化が難しくなってきた。2035年までに内燃機関を有する乗用車の新車販売を禁止する制度も、2025年12月になって、より緩やかな目標へと変更する方針が示された。

2024年の世界平均気温は1.5℃を超え、国連グテレス事務総長は気温のオーバーシュートは不可避と発言するようになり、2025年の国際エネルギー機関IEAの世界エネルギー展望（WEO）では、Net Zero by 2050 (NZE) シナリオも、気温のオーバーシュートシナリオへと変更がなされた。

国内では2025年2月に、第7次エネルギー基本計画、GX2040ビジョン、地球温暖化対策計画が閣議決定された。そして、2050年カーボンニュートラルに向かう排出削減の道筋として、2035年▲60%、2040年▲73%を決定し、国別貢献（NDCs）として国連にも目標の提出を行った。その上でエネルギー基本計画では、これを基軸としつつも、様々な不確実性に備えたリスクヘッジシナリオとして、より排出削減が緩やかな「技術進展」シナリオを提示するなど、国際的な変化にも備えた計画となった。

原子力の再稼働は比較的順調に進みつつある一方、再エネは厳しい局面となっている。再エネだけではなく、需給両面で幅広い対策を追求していく重要性を改めて認識した1年となった。他方、大阪では大阪・関西万博が開催され、持続可能な発展、温暖化対策は主要なテ

マともなった。RITEでは二酸化炭素直接回収（DAC）技術などの展示も行い、見学頂いた方々から大変好評であった。

2024年度の事例研究会は、大阪・関西万博関連で脱炭素まちづ

くりもテーマに取り上げたほか、二酸化炭素回収・貯留（CCS）、グリーン鉄も取り上げるなど、今年度も幅広く、かつ、最先端の話題を取り上げて、最新の動向そして課題の認識共有が行われた。

グリーン鉄は、製品としては差異がない一方で高いグリーン鉄に対する需要が世界的に増大していくかどうか为主要な課題であり、またその移行過程での環境価値の取り扱い方法が重要である。国際的に同じような強度で同じ歩調で排出削減を行えない現状での環境の中で、どう取り組んでいくべきか難しい課題となっている。様々な技術が大きく進展してきている一方、引き続き様々な課題が残っており、その解決に向けた方策を技術、制度面双方で、より良く理解していくことが必要である。

複雑化する国内外の情勢の中、多様な視点を持ちながら、この先に重要になりそうな課題意識を共有しつつ、気候変動対策、SDGsの同時達成を探っていきたく、本フォーラムが少しでもそれに資することを期待している。



エネルギー政策の抜本的な見直し着手を

学界委員

竹内 純子

(国際環境経済研究所 理事・主席研究員 東北大学 特任教授)

昨年誕生した高市政権は、それまでの「新しい資本主義実現会議」に代えて「日本成長戦略会議」を立ち上げるなど、経済成長に力点を置いた政策を展開している。そのためにまず必要なことは、エネルギーを安定的に、できる限り安価に確保することだ。国民生活や経済活動のすべてはエネルギーを基盤としており、この土台が不安定であれば、生活も経済も成長もない。とりわけDXや半導体産業には、安定安価な電力供給が不可欠であり、供給力の確保は喫緊の課題である。東京電力のエリア内でデータセンターによる供給申し込みは31年までに600万キロワット超、37年では1200万キロワットに上る。このすべてが実現するわけではないが、エネルギー供給の不足がわが国のDXや成長産業育成の足枷になる事態は避けなければならない。急ぎ議論が必要な論点を3つ提示したい。

第一に、原子力の活用をどのように進めるかだ。GX推進を契機として政府は原子力活用の方針に舵を切ったが、原子力利用に関わる各制度にその方針を浸透させる必要がある。安全規制の改善や、立地地域の理解と安心の獲得、そして原子力損害賠償制度において国が前面に立つ必要がある。現状の制度のままでは、次世代原子力技術の開発が進んだとしても国内での活用は期待しづらい。

第二に、再生可能エネルギーの拡大をどう維持するかだ。わが国では2012年以降、FITなどによる手厚い補助により、世界で類を見ないスピードで太陽光発電の導入が進んだ。しかし、メガソーラーは昨年に「熊」と並んで「嫌われもの」となり、これ以上拡大が継続するとは考えづらい。屋根上の活用などに活路を見出す必要があるが、コストや建物の構造上の制約により急速には

進まないだろう。重要なものが、一度導入された太陽光発電を退出させない取り組みだ。FITによる補助により短期で投資回収を終えた太陽光発電のオーナーの多くは、再投資する強い意志は持っていない。

パワコンの交換などの再投資をしてもこれまでのような高い収益は期待できなくなれば、退出する太陽光発電が多く出かねない。もはや太陽光発電に対する補助は不要になりつつあるが、再投資のインセンティブ設計については議論が必要だろう。

第三が燃料サプライチェーンも含めた火力発電の維持だ。脱炭素の名の下に火力発電の役割が過小評価されてきたが、特に筆者が議論を急ぐべきだと考えるのは石炭だ。天然ガスについては国際的にも移行期間のエネルギー源として再評価が進んだが、石炭についてはやや諦めムードが強く、上流投資も不足している。すでに石油火力発電はほぼ全滅した今、国内に2週間程度しか備蓄のないLNGの一本足打法はあまりに脆弱だ。電力自由化と再生可能エネルギー導入が重なり、稼働率が低下した火力発電所の休廃止が進むが、供給力維持の観点から政策を見直すべきだ。また、国内でのLNG火力の新設・建替にとどまらず、日本の高効率火力発電技術の海外展開を支援し、経済成長と低炭素化の双方に悩む東南アジア諸国と連携する視点も重要だ。

課題は山積している。新政権の下で、エネルギー政策の迅速な見直しが進むことを期待したい。



資源循環技術について

—2024年度資源循環技術委員会の活動—

資源循環技術委員会 委員長

水戸部 啓一

(国際環境経済研究所 理事)

2025年は米国新政権が発足し、パリ協定から離脱や相互関税などにより気候変動対策や資源問題の踊り場となった。米国は、これまでの政策から方向転換し、化石燃料の増産やBEVへの支援策の見直し、関税の引き上げに舵を切った。米中間ではレアアースの輸出規制が組上に上がり、資源安全保障が米国の重要なテーマとなった。日本でも2050年カーボンニュートラルに向けて様々な政策が進められているが、加えてレアアースのような資源問題にも対応が求められるようになった。

資源循環経済を目指す動きは2000年の循環型社会形成推進法によって3Rなどの推進が図られ、また国際的な動向を踏まえて資源制約リスクや廃棄物問題、資源効率性などの課題に対応する政策が進められている。海洋プラスチック汚染もまた国際的な課題で、2022年には製品の設計から廃棄物処理までに関わるプラスチック資源循環の取り組み(3R+Renewable)を促進するプラスチック資源循環法が制定された。

今年の資源・循環技術委員会ではフォーラム参加各社の事例発表に変えて、事例研究としてプラスチックリサイクル関連施設の見学を行った。JEPLANが進めているのはペットボトルのリサイクルの中でも、使用済みペットボトルを原材料レベルのPET樹脂までリサイクルするケミカルリサイクル技術を用いたボトル to ボトル(B to B)リサイクルで、年間約2万トンを生産している。リサイクルで課題の大きい使用済みペットボトルの回収には多くの自治体とパートナーシップ協定を結んで行っている。

B to Bの方式には他にメカニカルリサイクルがあり、設備投資が少なくコストが安いことから99%はこの方式を

とっているが、劣化や不純物の影響でB to Bリサイクル可能な回数は少なくなる。ケミカルリサイクルはコストが高いという課題もあり、現状は資源の再利用率や温室効果ガスの削減という効果も踏まえて評価している大手飲料メーカーへの供給に限定されている。

また、佐賀市の清掃工場を核としたCCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)施設を見学する機会を得た。佐賀市は清掃工場の更新を進めるにあたり熱や二酸化炭素吸収塔・再生塔で回収したCO₂の利用を進めており、農業の生産性向上やバイオマスの研究などを通じて脱炭素・資源循環のまちづくりを目指している。産官学の連携で藻類培養や植物工場などの実証や事業を進めており、成果を上げつつある。

この取り組みでは地方自治体が長期的で横断的な視点で推進の中心的役割を担っていることが特筆される。資源循環技術は、従来型のビジネスモデルではコストや投資の課題で広がらないことが多いが、限られた資源を国内で有効活用する体制が必要である。事例研究のような企業や行政の先進的な取り組みを支援するためにも、今年度の資源法の一部改正による資源循環の強化などの政策が、実効性の高いものとなることを期待したい。



第1回 事例研究会

地中熱活用の可能性

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は2024年度第1回事例研究会を東京都中央区の日刊工業新聞社本社で開催した。テーマは「地中熱活用の可能性」で、活発な議論が展開された。

(1) 大容量帯水層蓄熱の魅力と
その応用安価・省スペースの余剰再生
エネ吸収システム実現へ

大阪公立大学 都市科学・防災研究センター特任教授

中尾 正喜 氏



地中熱は私たちの足元にある再生可能エネルギーの一つ。地下100メートル程度の比較的浅い土の層に存在する低温の温度環境であり、熱交換を介して空調熱源などに利用する。地中の温度は、地下10—15メートル程度の深さになると年間を通してほぼ一定であり、13—15度C程度に安定している。この地中の持つ断熱性は、夏場は外気温度よりも低く、冬場は外気温度よりも高いという状況を作り出している。地中熱は、この外気との温度差を季節をまたいで利用することを実現する。

地中熱の利用形態はさまざまあるが、エネルギーの循環利用という側面では蓄熱式に利があるだろう。蓄熱式では、冬の寒さを夏に、そして夏の暑さを冬に持ち越すことが可能になる。蓄熱式は熱媒体によって土壤利用（BTES）と地下水利用があり、前者は土壤を蓄熱体として熱交換チューブなどを介して採熱および蓄熱する。

地下水利用は、帯水層の地下水を熱媒体として利用する帯水層蓄熱（ATES）となる。ATESで利用可能な帯水層は厚さ5メートル程度以上、流速は年間30メートル程度以下である。

ATESは、熱交換後の地下水を還元井戸側の帯水層へ戻すことが必要である。帯水層に対して100メートル程度の間隔で低温用と高温用の二つの井戸を設置して、水を汲み上げ（揚水）あるいは戻して（環水）熱を出し入れする。例えば夏場は低温側の地下水を汲み上げてヒートポンプの熱源として冷房に使用し、温まった水は高温側の井戸に注入して温排熱を蓄える。冬は夏に貯めた高温側の地下水を汲み上げて暖房用に使い、冷めた水は低温側の井戸に戻して冷排熱を蓄える。

つまり地下水を熱エネルギーとして、巨大な蓄熱槽に見立てた帯水層に季節をまたいで蓄熱し、それを年間

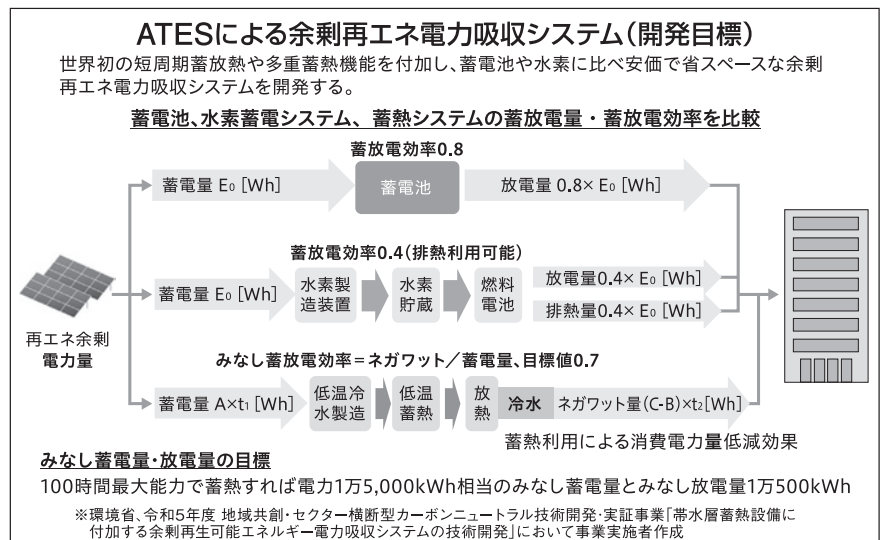
サイクルで繰り返し利用することで冷暖房の熱効率を高めて省エネルギー化を図ることができる。その反面、地下水の動きが速いところではためた熱が流されていくこと、地盤沈下抑制による厳しい地下水汲み上げ規制などがあり、蓄熱のポテンシャルと利用場所、利用の可否は必ずしも一致するわけではない。

大阪公立大学では大阪市、三菱重工などとの産学官連携により環境省事業に参画し、従来比で一ケタ上の数百キロワットクラスの能力を備えるATESの開発を進めてきた。JR大阪駅前のうめきた地区開発プロジェクト（大阪市北区）での大規模実証のほか、三菱重工神戸造船所への導入、人工島・舞洲（大阪市此花区）での二つの帯水層を使ったシステム実証を経て、現在はいうめきた二期開発プロジェクトや大阪・関西万博での導入も進んでいる。

ポイントは専用ボーリングマシンの開発と1時間100立方メートルの揚水・環水でも目詰まりしない熱源専用井戸技術。地中熱先進国であるオランダの標準的技術（配管内の常時加圧によって外気の侵入を防ぎ、酸化鉄の生成を抑止する仕掛け）を採用し、帯水層が薄く複雑な国内の地層構造に適用できるようにした。運用制御面では、年間サイクルを繰り返す揚水・環水による地盤沈下の予測技術を確立。加えて日本の気候や空調熱負荷に適用した運用制御法と長期運用を可能とする蓄放熱収支制御技術などを開発した。

実用化されたシステムは、1対の井戸で1時間100トン程度の揚水・環水とした場合、熱量は約700キロワット。温度差を10度Cとすれば1400キロワットの熱の出し入れができる。これは冷却能力2キロワットの家庭用エアコンに置き換えると約350台—700台に相当する規模だ。冷房・暖房シーズンごとの積算揚水体積8万立方メートルで運用した場合、シーズンごとの蓄熱量で賄える住宅数は冷房で100平方メートルの集合住宅500戸分、暖房では200戸分に相当する。

2023年度以降は、オフィスビルを主対象としていた従来の適用施設から用途拡大に向けた新規研究開発に着



手している。その一つがATESの高機能化だ。ATESは季節間蓄熱として使用するだけでなく、安価で省スペースな余剰再生エネルギー吸収システムとなる可能性を秘めている。近年は太陽光や風力発電の導入拡大に伴い電力需給バランスの調整による出力抑制が激増。資源エネルギー庁の調査では、23年度の出力抑制量は全国で約19億キロワット時に拡大し、再生エネ電源の主力化の支障となっている。

日本卸電力取引所（JEPX）の実績では、22年度に再生エネ電力の余剰が主要因とみられるエリアプライス約定価格（30分スポット約定価格）にて、1キロワット当たり0.01円となる時間が九州電力エリアで954時間に達している。そこで短周期蓄放熱や多重蓄熱機能を付加。再生エネ余剰電力を利用して、ATESによる低温蓄熱に大容量蓄電池と同じ機能を持たせる。再生エネ電力の余剰解消と同時に、エネルギー需要の旺盛な大都市自らが再生エネ電源調整能力を高めることができるようになる。

開発目標値は「みなし蓄放電効率（蓄電量とネガワットの比）」で0.7。蓄電池と水素蓄電システムの蓄放電効率は、それぞれ0.8と0.4程度であり、蓄電池に匹敵するものを想定している。100時間最大能力で蓄熱した場合、電力1万5000キロワット時相当の「みなし蓄電量」（1万500キロワット時のみなし放電量）を実現できれば、蓄電池のコストが1キロワット時で5—6万円とした場合、6億円相当の追加投資に匹敵する。需給調整機能の実装とともに実用化を急ぎたい。

(2) TES(帯水層蓄熱システム)の普及に向けた行政の取り組み

CNに貢献 大阪発のサステナブル エネルギーシステム

大阪市環境局 環境施策部長

河合 祐藏 氏



政府によると我が国の2050年カーボンニュートラル(CN)に向けた温室効果ガス(GHG)の排出削減は順調と言われている。しかし、本年6月に閣議決定されたエネルギー白書では、国内の電力需要は生成AIやデータセンター(DC)の利用拡大で大幅な増加が予測されている。エネルギーの低炭素化やGHG排出原単位の低減のみならず、エネルギー消費量の抑制も一段と加速させていく必要がある。

日本の都市部の多くは河川の河口域、いわゆる沖積平野と呼ばれるエリアで発展したことから豊かな帯水層に恵まれ、工業用や冷房用に地下水を利用してきた。大阪市域も地下水の熱利用ポテンシャルは非常に高く、それは市内の年間エネルギー消費量の約15%に相当する年2800万ギガジュールと推定される。しかし、高度成長期の過剰な汲み上げにより、地下水は戻すことなく使い捨てにされた結果、激甚な地盤沈下を経験。法令によって地下水の汲み上げが厳しく規制され、その後、地下水のポテンシャルは地盤沈下の沈静化とともに長らく忘れられている。地盤沈下を技術で克服できれば、大都市が本来持っている地下水の熱ポテンシャルを再び利用できる。

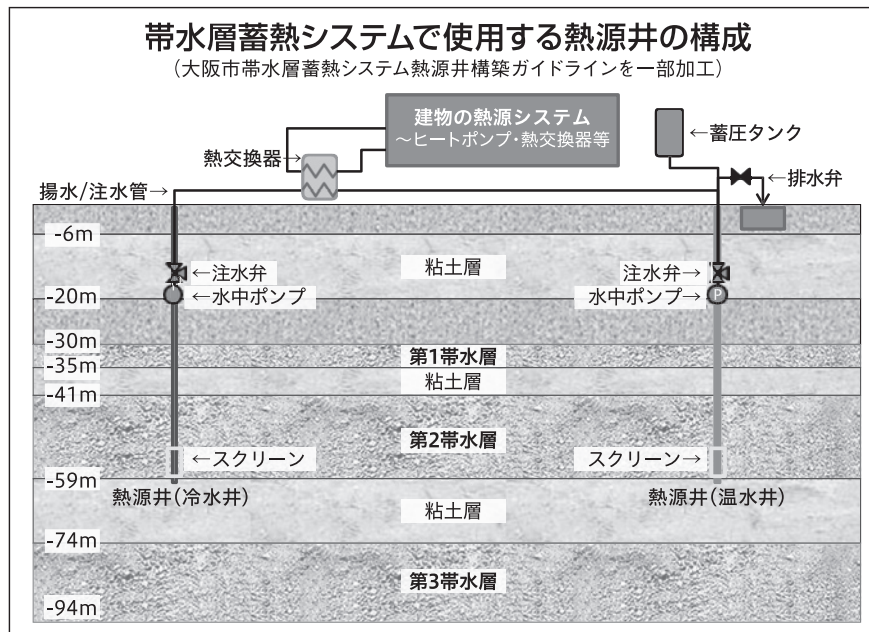
大阪市は、地中熱利用が広く普及しているオランダ(在

大阪オランダ王国総領事館)と大阪公立大学の3者で協力・連携体制を構築し、地域特性に即した未利用エネルギーである帯水層蓄熱システム(ATES)の普及に取り組んでいる。

地盤沈下を回避するためには、汲み上げた地下水を熱利用の後に地下に還元する必要があることは明白であった。しかし、国内で全量還水に成功した事例はわずかであり、汲み上げた水を還元する際に目詰まりを生じ、採熱量が小さくなることが通例であった。大容量の揚水と全量還水を1組の井戸で繰り返すことができる高性能な熱源専用井戸が求められていた。

ブレイクスルーとなったのはJR大阪駅前の「うめきた2期暫定利用区域」における産学官連携による実証だ。熱源専用井戸の掘削にはベントナイトを使わず、水の静水圧で孔壁を保護するリバースサーキュレーション工法を採用し、井戸1組で1時間あたり100立方メートルの地下水の汲み上げと全量還水に成功した。これは床面積1万立方メートルのビル空調を賄う規模であり、従来システム比35%の省エネルギー効果と地盤変位量が2ミリメートルに抑制されることを確認。大容量エネルギー貯蔵システムと地盤沈下抑制技術の両立を国内で初めて立証した。

そしてもう一つ。地盤沈下について条件の厳しい埋立



地での実証だ。大阪市の人工島の舞洲では、大容量全量還水の性能と地盤沈下の抑制効果の確認に加えて、1組の井戸で、さらに深い層を含む2層の帯水層に蓄熱を行う「W-ATES」を実現した。W-ATESは、蓄熱容量（揚水量）を2倍とする世界初の成果だ。この技術は、蓄熱容量を深度方向に2倍とするため井戸間距離（蓄熱半径）が制限される密集市街地での利用が期待できる。舞洲の実証では、床面積1万4000平方メートルのビル空調を賄う大容量システムを実現し、従来システム比47%の省エネ効果を確認。新たな地盤沈下は観測されず、実証後は営業運転に移行している。

ATESの社会実装におけるもう一つの壁が法制度。地下水採取は、地盤沈下を防止する目的から用水2法と呼ばれる工業用水法とビル用水法によって規制されている。大阪市では、ほぼ全域が指定されている。

規制により地盤沈下が沈静化して約50年。大阪市では地下水位は完全に戻っている。そこで有識者会議を設置し、全量還水による地盤沈下の抑制効果と今後の揚水規制のあり方について検討を開始。実証成果を地盤沈下のメカニズムに照らして科学的に証明し、制度改革に向けて国に働きかけている。

帯水層蓄熱は、1時間当たり100立方メートルの地下水を汲み上げて採熱した後、全量を還水するため、応力変化は水位低下量にしてわずか数十センチメートル。粘土層が持つ弾力性に比べて十分に小さいことから空

調に利用する限り、大阪市内の規制地域内においても使用できるという結論に至った。これを受けて大阪市は、18年に国家戦略特区制度によるビル用水法の緩和を内閣府に提案。19年に特例措置（内閣府と環境省の共同命令）の交付を受けた。これによりうめきた2期地区における区域計画が認定され、特区制度を活用した全国初のATES社会実装が実現することとなった。

さらに埋立地での実証結果から、ATESは地盤工学的に見て「地盤沈下について条件の厳しい場所であっても地盤高に著しい変化が生じる可能性が低く、これをシミュレーションで確認できれば実証を要さずに特区の要件を満たしたと判断できる」との有識者会議での取りまとめを経て、今後、政府にさらなる規制緩和を求めていく方針だ。

大阪市では普及拡大に向けて帯水層蓄熱ポテンシャルマップを作成、公開している。帯水層の厚みや深さ、揚水可能量や熱の賦存量、井戸コストなどを参照できる。さらに3月には大容量の全量還水を実現する熱源井の構築手法をガイドラインにとりまとめて公表。国内の他都市とも知見共有を進めている。

本年、うめきた2期地区において2組の帯水層システムが冷暖房用として運用が始まる。25年には大阪・関西万博にも導入される。CNに貢献する大阪発のサステナブルなエネルギーシステムとして社会実装、展開を進めていく。

(3) 700kW大規模高効率帯水層蓄熱システム ～地中熱ビジネスの展望と技術革新～

冷暖消費電力を大幅低減 都市部でも導入可能性

三菱重工サーマルシステムズ 大型冷凍機技術部 部長
上田 憲治 氏



三菱重工グループは、2040年カーボンニュートラル（CN、温室効果ガス〈GHG〉排出量実質ゼロ）に向けて二つの柱で取り組んでいる。一つは自社の事業活動に伴う排出量「スコープ1」「スコープ2」削減。そしてもう一つが、バリューチェーンを通じた社会への削減。つまり「スコープ3」とCCUS（CO₂の回収・利用・貯留）技術による削減貢献。環境負荷の低いエネルギーへの転換を軸とした成長戦略を進めており、ガスタービン発電での水素混焼や水素専焼、石炭火力でのバイオマスやアンモニア混焼といったステップで大きくカーボンニュートラルを進めていく。

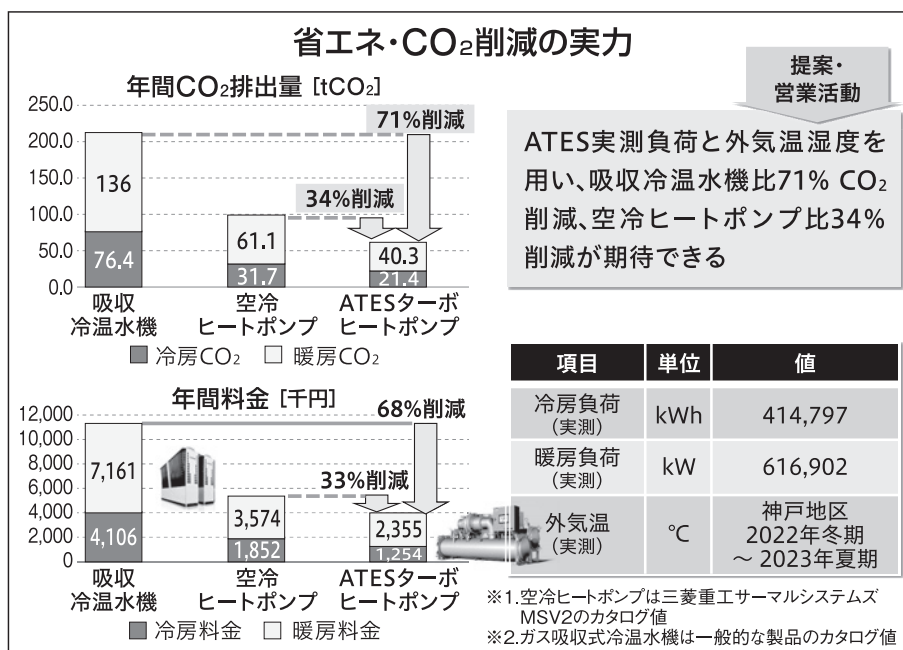
三菱重工は、効率的なエネルギー利用を可能にするさまざまなヒートポンプ製品を有している。小規模ならエアコン150台分、大規模なら5000—6000台分までを1台で賄え、大空間空調や工場を支えるターボ冷凍機、住宅用・業務用の空調機、コールドチェーンの輸送冷凍機など、多様な分野にソリューションを提供している。中でもターボ冷凍機はオフィスビルや大型商業施設のほか、半導体工場やデータセンター（DC）などあらゆる施設の空調およびプロセス冷却で使用されている。

三菱重工における帯水層蓄熱システム（ATES）事業は足掛け10年。2015年以降、自社グループ施設への

導入や産学連携による実証・技術開発を通して、“帯水層”によるCN貢献に向けて大容量ATESの実用化と社会実装に取り組んできた。冷却水に排熱するターボ冷凍機は基本的には冷房専用。そのため対となる暖房では燃焼系が残ってしまう。これに対し季節間で排熱を利用できるATESは、ターボ冷凍機の高効率ポテンシャルを暖房にも生かすことができ、省エネルギーやCN推進の強力な選択肢となる。三菱重工では、これまで積み上げてきた技術や知見をターボ冷凍機や制御システム、モニタリングや井戸掘削技術などにインテグレートしていくことでATES事業に取り組んでいる。

未利用エネルギーである帯水層蓄熱は、夏の温熱を冬の暖房に使い、冬の冷熱を夏の冷房に使う高効率蓄熱システム。熱源温度と冷暖温度差が小さいほど省エネだ。年間を通じて冷暖消費電力を大幅低減できる（省エネ・CO₂削減）ほか、夏期は上水不要&薬液不要な冷房（水資源保全）、夏期は冷風のみ大気に放出（ヒートアイランド抑制）といったメリットがある。

日本の土壌は複雑な地層形状であり、帯水層の厚みは10メートル程度。井戸掘削はイニシャルコストに占める割合が高いため、熱源井戸は深さ100メートル程度が目安となる。オランダでは深さ200メートル、帯水層厚50メー



トルのシステムも見られ、水量は日本の約5倍に相当する大きな設備が運用できる。日本は浅くて薄い帯水層を上手に使っているといえるだろう。

三菱重工では、大阪公立大学や大阪市などと共同で市域中心部での実証や技術検証を通して、日本の帯水層に最適化しながら地盤沈下や熱源井の目詰まりを抑制した700キロワット大容量 ATES システムの技術を確立した。本システムの標準構成は、帯水層厚10メートルで水量は1時間当たり100立方メートル、井戸間距離200メートル（蓄熱半径100メートル）。3000時間運転した場合、31万立方メートルに相当する蓄熱槽となる。30万立方メートル超の蓄熱槽は日本に存在せず、しかもそれが熱需要の高い事業所が集中する都市部でも実現できる可能性がある。

三菱重工では導入から運用までを一体で支援できる体制を敷いている。中でも運転制御システムは季節に合わせた四つの運転モードを搭載。冷房負荷が多い地域や施設は、冷房熱量が暖房熱量に比べて著しく大きい。そのため冬期の暖房時に蓄熱した冷排熱だけで夏の冷房をすべてまかなうことは不可能だ。そこで熱量・流量バランスを維持する目的で、通常の冷房／暖房に加えて二つの蓄冷モード（冷水蓄熱）を装備。自動で最適な運転モードに切り替えて夏冬の空調負荷のアンバランスを解消し、省エネルギーと持続可能な地中熱利用を実現する。ユーザー向けカスタマーポータルではモニタリ

ングシステムも提供。ターボ冷凍機をIoT化し、状態監視から運用提案、運転データレポートやメンテナンス情報まで日々の運用業務をサポートする。

ATES 導入で期待される CO₂削減効果は、CN のアイテムとしては十分な数値だ。三菱重工神戸造船所における700キロワットシステムの実測負荷と、外気温湿度を用いたシミュレーション数値を比較した場合、吸収冷温水機比でCO₂は71%減。空冷ヒートポンプに対しては34%減となる。年間の電気料金は、いずれも68%減と33%減。CO₂削減のみならず省エネでも大きな効果が期待できる。

ATESの適地候補を示す帯水層ポテンシャルマップは、福岡、広島、名古屋、大阪、札幌、仙台、静岡、徳島、東京の9都市を準備。エリア拡大に向けて整備を進めている。熱源井情報などに加えて、工業用水法などの地下水揚水規制にも対応。地理情報システム「QGIS」に重ねて表示する。

日本冷凍空調工業会の調査によれば、大容量冷暖房熱源である吸収式冷温水機の国内需要（出荷実績）は、年20万冷凍トン（1冷凍トンは12—16畳用エアコンの能力に相当）規模で推移している。将来、その10%に当たる年2万冷凍トン（700キロワット ATES システムで約100セット）で帯水層システムが適用された場合、年間のCO₂削減量は約1万5000トンと試算される。これが累積されていけば我が国のCNに非常に大きな後押しとなる。

意見交換

ATES、需給調整機能に期待 導入の企業メリット 普及のカギ

秋元圭吾委員 再生可能エネルギーと省エネルギーという二つの側面を持つ地中熱の利用は大変重要だと感じている。帯水層蓄熱システム (ATES) においては、地下水を大容量の蓄熱システムとすることで、蓄電池だけではカバーしきれない再生エネの変動吸収など、長時間の需給調整機能に貢献できる可能性もある。出力制御の抑制に向けたパッケージの一つとして期待したい。

(大阪市) 河合祐藏氏

需給調整機能としてのポテンシャル (量的メリット) は十分期待できる。技術面でのウイークポイントである「応答速度」についても、その解決に向けて今春から新たな実証をスタートさせている。調整機能という部分で、再エネ出力抑制とセットで政府がATESや地中熱利用全般に対して幅広く後押ししていけるよう、大阪市は国家戦略特区を活用して実績を積み上げ、イニシアチブを発揮していきたい。

(大阪公立大学) 中尾正喜氏 ATESを需給調整に利用する場合、応答速度が重要になる。メーカー側でターボ冷凍機 (ヒートポンプ) の余剰電力を吸収するときの応答速度や吸収スピードの検証が進んでいる。現在、フルロードまで約20分。瞬時レスポンスする場合は蓄電池と併用するハイブリッド構成になると考えている。

(三菱重工) 上田憲治氏 ATES導入や地中熱利用ヒートポンプに対しては、環境省のCO₂排出抑制に対する補助金や地方公共団体の制度を利用することで、井戸構築費用や周辺

費用の一部などが助成される。ただ、CO₂削減やカーボンニュートラルにおける訴求を踏まえた場合、企業メリットをいかに打ち出せるかが重要になる。

(パナソニック) 下野隆二氏 ATESで得られた省エネ効果をクレジット化して外販する仕組みなどが提供できれば、企業にとっても優位となる。導入ハードルも下がるのではないだろ

うか。

(NEC) 稲垣孝一氏

揚水と環水に多くのエネルギーを必要としているのではないかと。

河合氏 我々が実用化したATESは加圧して水を戻す仕様ではない。井戸ポンプは汲み上げる目的だけに使われ、後は反対側の井戸内に送り込まれた水位上昇分のわずかな水圧だけで全量環

水する。揚水目的以上に大きな圧力はかけていない。汲み上げる分の補機動力は増えることになるが、その分を補ってなお余りあるエネルギーメリットがある。

下野氏 ATESを社会実装する場合の地域対策やステークホルダー対策はどうだろうか。地盤沈化対策をどういう形で担保していくのか。

河合氏 オランダでは社会実装に際して、州政府がグランドデザインを描いてリードしていったと聞いている。大阪市では、導入実績を積み重ねてデータを蓄積していきながら、同時に報告制度や監視体制の構築を進めている。水準点測量による沈下域のモニタリングや観測井戸を使った変動の見える化



グリーンフォーラム 2024年度第1回事例研究会 全体討議 (本社会議室)



グリーンフォーラム座長 東京大学
大学院工学系研究科教授 藤井康正氏

などだ。今後、社会実装が進めば、こうしたデータをディスクロー
ジャーしていくことで周辺地域対策につなげていきたい。

(ホンダ) 青木健氏 例えば地下水の流速が速い場所で
18度Cの水が流れているとすると、そこに23度Cの水や13度C
の水を入れてもすぐに18度Cになる。一つの井戸を掘れば効
率は下がるものの、一対でなくても5度C分の温度の出し入れ
はできるのではないかな。

中尾氏 井戸1本だけの場合は、やはり沈化リスクが高まる。
流速が速ければ、一定温度の熱源として利用して下流側に戻
す熱源水利用という使い方もある。下流側は温度が変わるた
め、それをまた活用する複合的なカスケード利用という方法も
あるのではないかな。

青木氏 企業は環境報告書で水資源に関する情報も報告
しているが、揚水や環水による水の出し入れは取水や排水の
カウント対象になるのだろうか。

河合氏 大阪市ではATESにおいて汲み上げた量、戻し
た量の報告義務を設けており、将来的に環境報告書にも使わ
れていくと想定している。全量還水なので水資源の消費量は
原則ゼロになると見込まれる。他にも環境アセス面で、自然状
態ではない温度の違う水を地下に注入することによって、パク
テリアに対する影響の議論も行っている。特に高温側が危惧
されるが、環境省の調査によると、28.8度Cを超えなければ
微生物の群集構造に大きな変化が認められなかったという報
告例があり、十分な温度差での蓄熱が可能である。

藤井康正座長 ATESは、すでに国産技術で完結できる
レベルにあるのだろうか？それとも諸外国の技術や製品に依存
する部分が残っているか。



上田氏 掘削孔
に挿入する本管(ケー
シング)はオランダ
の技術を使っている。
ダイレクトにフィル
ターを切っている
もので加工技術には
専用の機械が必要だ。
ケーシングの外側に入
れるグラベルもフィル
ターとのセットにな
ってくるので、オラ
ンダ製を使用している。
ケーシングは、ある程
度のロットが出てく
ると国産化していく
ことになるだろう。



稲垣孝一氏 (NEC)



下野隆二氏 (パナソニック)



青木健氏 (ホンダ)

第2回 事例研究会

省エネ・低・脱炭素で存在感 カーボンニュートラル燃料対応進むコージェネの最新動向

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は2024年度第2回事例研究会を開催した。テーマは「省エネ・低・脱炭素で存在感 カーボンニュートラル燃料対応進むコージェネの最新動向」で、活発な議論が展開された。

(1) カーボンニュートラルトランジション期の コージェネレーション～期待される 役割とエネルギー政策～

再生エネ拡大 調整電源の一翼担う存在

経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部
政策課長 熱電併給推進室長

村上 貴将 氏

現在、政府はエネルギーの安定供給、経済成長、脱炭素の同時実現に向けた取り組みを加速している。2023年のグリーン・トランスフォーメーション（GX）推進戦略では、10年間で150兆円規模の官民投資を喚起する成長志向型カーボンプライシング構想が始動。25年2月にはエネルギー政策の指針となる「第7次エネルギー基本計画（エネ基）」とGX推進戦略を改訂した「GX2040ビジョン」を閣議決定し、エネルギー政策の中長期的な方向性ととも、GX実現に向けた産業立地・産業構造のあり方、またGX価値を評価するための市場創造などの方向性を示した。

経産省では、これらを一体的に遂行しながら、GX経済移行債を活用した20兆円規模の先行投資支援を実施しているほか、炭素に価格付けを行い、企業のGX投資を促進するための「カーボンプライシング（CP）」の

詳細設計を進めている。

エネ基では、特定の燃料に過度に依存しないバランスの取れた電源構成を目指している。

特に生成AI（人工知能）普及によるデータセンター（DC）新設など、約20年ぶりの電力需要の増加が予想される中、エネルギーの安定供給と脱炭素の両立の観点から「原子力か再生エネか」といった二項対立を改め、再生エネ、原子力などの脱炭素電源を最大限活用する方向を示した。

コージェネレーション（熱電併給）システムは、ガスエンジンやタービン、燃料電池などの方式により発電するオンサイトの分散型エネルギーリソース。単純に発電するだけでなく排熱も有効活用できる省エネ技術だ。電気と熱をそれぞれ生成する場合と比べて、エネルギー効率と二酸化炭素（CO₂）排出量の両面で優位性がある。



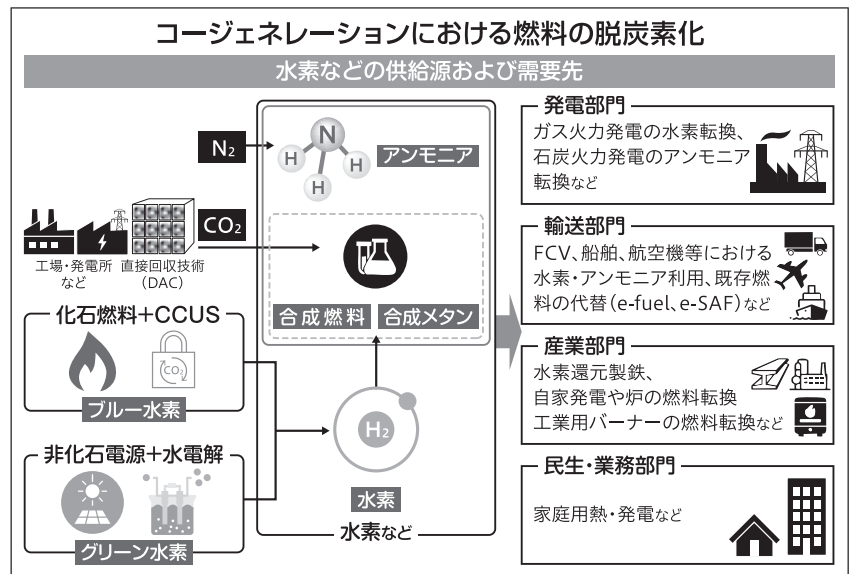
エネ基においては、従来の省エネ性や環境性に加えて、多角的な活用推進による調整力としての役割やレジリエンス価値など、より広範で新たな役割に言及している。具体的には、①需要側でのエネルギー使用の合理化②仮想発電所（VPP）など地域マイクログリッドによるエネルギーの面的利用や電源多重化におけるレジリエンス強化。これらに加え

て、新たに③変動性再生エネの大量導入に伴う需給調整機能など、さまざまな補完的役割が期待されることを明記した。

再生エネの普及拡大には、出力変動や需給バランスをコントロールできる仕組みがカギとなる。そこで期待されるのが仮想発電所（VPP）やデマンドレスポンス（DR、電力の需給調整）を活用した分散型エネルギーリソースだ。コージェネも変動電源への補完として太陽光発電のフラクチュエーション（継続的な変動）対策などで活用。電力需給ひっ迫時に調整電源として稼働させ、電力負荷を平準化する「下げDR」として貢献している。コージェネは、省エネのストーリーから説明されることが多いが、今後、一段と調整力が重要になってくる社会においては、これらに資するエネルギーリソースとして一翼を担う存在になるだろう。

政府は、高効率コージェネシステムを含む省エネ設備への更新に対して、3年間で7000億円の支援を措置していく。また、切れ目のない支援を実現すべく、24年度補正予算で省エネ支援パッケージを設定した。事業者向けに600億円、エネファームなどの家庭用に580億円の追加導入支援対策を行っている。これに加え、分散型エネルギーリソースを新規に設置したり、その天然ガス利用設備の設置に利用したりできる支援制度も用意している。これはゼロベースでコージェネ導入にも使えるものだ。産業界には、これらを組み合わせながら導入・活用推進を図ってもらえるよう、引き続き働きかけていきたい。

コージェネの貢献力という部分で、新たな動きを紹介しておきたい。24年8月に行われた政府の発電コスト検



証ワーキンググループでは、コージェネ発電単価の算定について議論がなされた。その中で、電気や排熱の価値だけでなく、調整力や災害時の活躍面も金額換算できるかどうかについて検討が進んでいる。いずれこうした部分も含めてその価値を見出し出していけるようになれば、コージェネの役割や意義が、より際立ってくると思われる。

現在、コージェネの燃料は天然ガス（都市ガス）が主流。つまり化石燃料だ。そのため既存燃料に置き換わる燃料の脱炭素化は大きな方向性として存在している。政府も水素やアンモニア、合成燃料や合成メタン（e-メタン）といった次世代燃料への支援をスタートさせている。

一方で、こうしたカーボンニュートラル（CN）な燃料の社会実装は、一足飛びに適応できるわけではない。CNへのトランジション期においては、当然のことながら、どうしても熱需要の脱炭素化という課題が存在する。脱炭素化が確立途中にある多排出業界での両立をどう図るか。経産省では、水素をはじめとして現状できる省エネや燃料転換などをしっかり進め、そしてイノベーションを実装していく。CNを段階を追ってステップで進め、着実にゴールにたどり着くシナリオを描いている。

水素はCNに向けてカギとなる環境性に優れたエネルギーだ。政府はエネルギー安全保障の観点からも水素基本戦略や水素社会推進法を通じて、低炭素水素などの導入拡大に向けた規制と支援の両面で一体的な施策を講じている。合成メタンにおいても、30年度に供給量の1%相当を導管に注入する目標を掲げている。革新的なメタネーション技術に向けて集中的な支援を行っていく。

(2) 都市ガスのカーボンニュートラル化 ～「e-メタン」と天然ガスの国内・ 海外の最新動向～

環境価値指標など 国際的ルール整備へ

日本ガス協会 エネルギー・環境グループマネージャー兼
カーボンニュートラル推進センター長

奥田 篤 氏



コージェネレーションシステムのカーボンニュートラル (CN) 化について、ガス業界の取り組みを紹介したい。

日本のエネルギー政策は、基本理念「S+3E (安全性+安定供給・経済効率性・環境適合)」を維持しながら、エネルギー安全保障と脱炭素、そして環境性を産業につなげる経済成長の実現に向けた取り組みが進んでいる。その中で天然ガスに対する新たな位置付けが「第7次エネルギー基本計画 (エネ基)」に含まれた。

それは天然ガスがトランジション期のみならず、CN実現後も重要なエネルギーとして位置付けられたことだ。

天然ガスは石油や石炭などと同じ化石燃料。しかし、燃焼効率や発電効率が高く、また環境特性が高いクリーンなエネルギーだ。二酸化炭素 (CO₂) 排出量は石炭の半分程度であり、輸送技術の進展や輸入国の多様化が進んだことで経済性にも優れ、供給力の安定性も高い。CN化と経済成長に貢献できるエネルギーとして評価・再認識されたことは追い風だ。

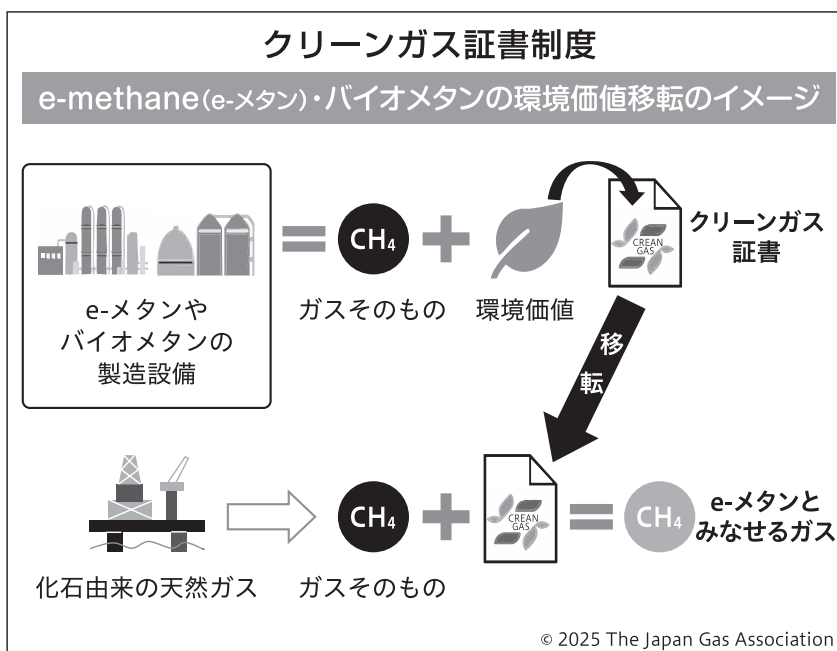
コージェネは電力と熱を供給できる省エネかつ高効率なエネルギーリソース。燃料は天然ガス (都市ガス) が主流であり、天然ガスコージェネは、徹底した省エネ技術をベースにしながらCO₂排出量の抑制に足元から貢献できるシステムとして優位性がある。

一方で2050年のCN実現に向けてコージェネ燃料の脱炭素化、つまり水素や合成燃料を使ったクリーンエネルギーへと移行していく道筋を用意しなければならない。カーボンリサイクル (CR) 燃料への転換は電力のCN化だけでなく、ガス熱需要のCN化にも貢献できる。

その一つとしてガス業界が推進しているのが、メタネーション技術を活用したe-methane (e-メタン) だ。再生エネによる水電解で製造されたグリーン水素と、大気中に排出されるCO₂を合成して生成する。e-メタンのメリットは、天然ガスからの置き換えが容易なこと。都市ガスと主成分が同じであり、液化天然ガス (LNG) 輸送や導管などの既存インフラ設備がそのまま流用できる。需要側も機器を入れ替える必要はない。都市ガスを段階的にe-メタンに置き換えていくことで、コストを抑えながらスムーズなCN化への移行が可能だ。

トランジション期においてはブルー水素なども活用しながらe-メタンの普及拡大を図り、将来的には再生エネ由来のグリーン水素を活用していく方針だ。

e-メタンは社会実装に向けて「環境価値取引」と「CO₂カウトルール」の課題を解決しなければならない。例えば海外でコスト競争力のあるe-メタンを生成しても、消費する国内でCO₂が発生する。どの国やプロセスで



CO₂を削減したことにするのか。CR燃料のCO₂を扱うルールを整備する必要がある。バイオ燃料を燃焼した場合はゼロエミッションとされているので問題はないが、これはe—メタンをはじめとするCR燃料に固有の課題である。ガス協会としても国際的なルール整備に向けて関係省庁などと連携して取り組んでいる。

昨年、国内においては温対法（地球温暖化対策の推進に関する法律）の中の「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度（SHK制度）」において、需要家がe—メタンを利用した際のCO₂排出量をゼロと見なす方針が示された。24年度分の排出実績報告から運用が開始される。

また、環境価値指標として製品のカーボンフットプリント（CFP）を定量化するための国際標準規格（ISO）では、e—メタンの原料CO₂が一定の要件を満たす場合にはマイナスカウントできる算定式を収録した規格が24年1月に発行された。バイオマス由来や「DAC（ダイレクト・エア・キャプチャー）」により大気から回収されたCO₂を原料とする場合のほか、化石燃料由来であっても、排出として計上・報告済みの場合は需要側での燃焼時の温室効果ガス（GHG）排出量と相殺できる。

24年9月には、欧州連合（EU）の排出枠取引制度（EU—ETS）において、EUルールで認証されたe—メタンをはじめとするCR燃料の環境価値が消費側に帰属することも明確化された。今後は国連の気候変動に関す

る政府間パネル（IPCC）や温室効果ガス排出量の国際算定基準（GHGプロトコル）でも議論が進んでいけらう。

e—メタン製造の既往技術は、水素とCO₂を原料に触媒を介してメタンを生成するサバティエ反応を利用したもの。製造コストの大半は、水素製造に係る電力コストが占めており、現時点ではLNGとの価格差が発生する。

そこでメタネーション技術の革新と大量生産プロジェクトによる低コスト化を進め、50年にはLNGと同等の価格まで低減することを目標としている。

電気のグリーン証書や非化石証書のように、e—メタンやバイオガスなどをクリーンガスとして証書化する仕組みが、24年度から民間制度としてスタートした。CO₂排出が実質ゼロのe—メタンであることを証明しながら、その環境価値を取引する仕組みとして使われるのが「クリーンガス証書」だ。環境価値をエネルギーから分離・移転することで、あらゆる需要家がe—メタンを利用できるようになる。

コージェネは今後、ベースロードとしての熱・電気供給に加えて、再生エネの大量導入でカギとなる電力システム安定化のための調整用電源として使われる場面が増えてくる。CN燃料対応に向けた技術開発も進んでおり、ポテンシャルは高い。ガス協会は天然ガスへの燃料転換による低炭素化を推し進め、同時にCN化に向けて各会員事業者によるe—メタンへのイノベーションを後押ししながら、社会の脱炭素化に貢献していく。

(3) CN 燃料に対応する コージェネ機器開発の動向

水素混焼エンジンの開発を 先行

川崎重工業 水素発電プロジェクト開発室 室長

辰巳 康治 氏



川崎重工では脱石炭から天然ガス、さらには水素混焼から専焼へと燃料転換技術の開発が着実に進行している。コージェネレーションシステムのソリューションベンダーとして、水素コージェネにおける開発動向を説明したい。

水素は脱炭素化への貢献が期待される究極の代替エネルギーだ。将来の脱炭素化の実現に二酸化炭素(CO₂)フリー水素の利用は必要不可欠。コージェネにおける脱炭素燃料を見据えた中長期的なエネルギーシステムにおいても、水素対応を進めて燃料利用していく必要がある。

コージェネの内燃機関にはガスタービンやガスエンジン、ディーゼルエンジン、そしてガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインサイクルが利用される。川崎重工では現在、発電出力1.5メガワットから30メガワット級のガスタービンコージェネと、5メガワットおよび8メガワット級のガスエンジンシステムをラインアップしている。

コージェネを取り巻く環境は、カーボンニュートラル(CN)に向けたトランジション期においては燃料の低炭素化(脱石炭化)、つまり天然ガス焚きコージェネ設備の導入による省エネを軸に進展していくと想定している。

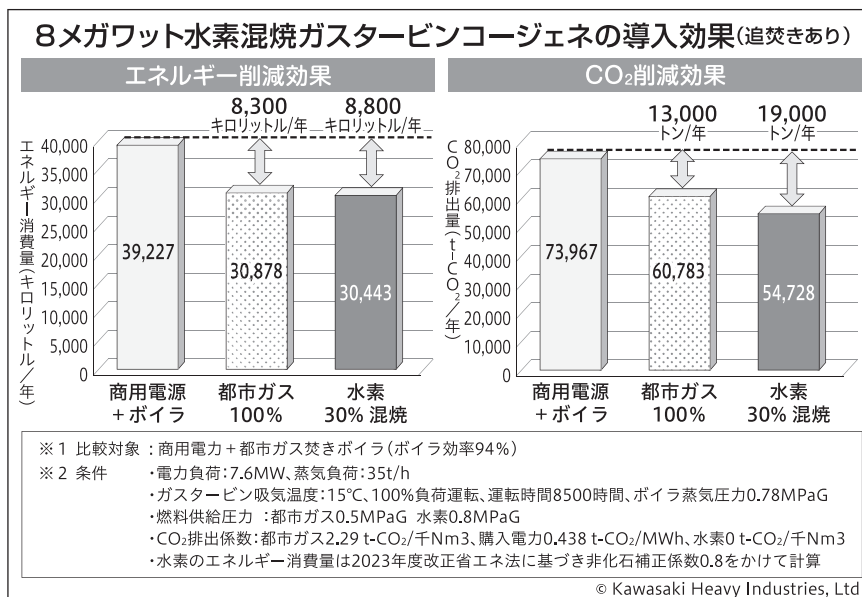
ガスタービンは圧縮機、燃焼器、タービンから構成さ

れるエンジン。水素を含む多様な燃料に対応可能な原動機だ。川崎重工では、特に中小型機は顧客の要望に応じて燃料多様化に取り組んできた経緯から、水素対応もこの流れの中で開発を進めている。

燃料多様化への対応は、燃料種別に応じた燃料ノズル、燃焼器および燃料供給系統の開発となる。川崎重工では水素混じり燃料の利用については、各種プロセスから発生する副生ガス利用の一環として、拡散燃焼器による対応を中心に取り組んできた。これまでの燃焼技術の蓄積により、高い水素混焼率への対応や水素専焼ガスタービンの開発においては、一日の長があると感じている。

水素発電装置の普及には、当然ながら水素供給網の整備が伴う。一方、ガスタービンやガスエンジンを用いた発電装置は運用期間が15年以上と長く、その間に運用条件が変化することが予想される。例えば水素供給網の整備や水素・天然ガス価格、炭素税の価格、さらには公的支援制度などだ。発電設備側にとっては、こうした外部環境の変化にも継続して運用でき、座礁資産とならないことが理想だ。

川崎重工のガスタービンは、水素をはじめとする環境条件の変化にシームレスに対応できるよう予混合ドライ・



ロー・エミッション (DLE) 燃焼器、拡散燃焼器、マイクロミクス (MMX) 燃焼器の3タイプの水素対応燃焼器の開発を進めている。

現在の主流は、予混合DLE燃焼器を搭載した“水素Ready仕様”。導入初期は天然ガスでの運用がメインとなるが、水素供給環境に応じて天然ガス専焼から水素混焼運用に容易に移行することが可能だ。納入済みの天然ガス焚き発電装置も水素混焼化への対応が可能であり、設備を廃止することなく脱炭素化への移行が図れる設計となっている。

そして来たるべく再生エネ電力の普及と本格的な水素社会（安価でクリーンな水素の安定供給）においては、専焼可能な拡散燃焼器やMMX燃焼器への搭載替えを行うシナリオを描いている。

現在、分散型発電やコージェネ用途に使われる水素対応の常用ガスタービン発電装置として、出力1.8メガワット級から30メガワット級まで5種をラインアップ。予混合DLE燃焼器による30%混焼は全ラインアップ化が進んでいる。水素専焼の拡散燃焼器、そしてMMX燃焼器についても1.8メガワット級での実証が進んでいる。

水素は可燃性ガスであるが、その燃焼特性から燃焼速度は都市ガスの約8倍、温度は約150度C高くなる。燃焼速度が速いことから予混合方式によるDLE燃焼器では逆火が発生するリスクが高くなる。逆火は燃焼室の炎が燃料の供給側に逆戻りする不安定燃焼だ。

また、水素濃度を増やしていくと窒素酸化物 (NO_x)

の発生量が増加。水素専焼では天然ガスの1.8倍程度となり、NO_x低減の難度が上がってしまうという課題がある。このため、天然ガス用の予混合DLE燃焼器では水素混焼率を30%に制限し、逆火が発生しない範囲で運用する。

川崎重工では逆火・低NO_x対策として、微小な水素拡散火炎を用いたMMX燃焼技術を確認。水噴射を用いないMMX方式による水素専焼運転が可能でDLE燃焼器の開発を進めてきた。2020年に世界初の技術実証試験に成功し、専焼と50%混焼実証において大気汚染防止法の規制値を下回るNO_x35ppm (O₂:16%換算)を達成している。

ガスタービン各社は、水素混焼20%—30%は予混合タイプのDLE燃焼器でラインアップ化を進めており、もはや“水素Ready仕様”は業界のスタンダードになりつつある。そして水素専焼器は、DLE方式による低NO_x化に開発競争が移りつつある。

ガスエンジンのラインアップは5.2メガワットから7.8メガワットの4機種。25年中には全機種で分散型発電やコージェネをターゲットに水素30%混焼仕様モデルの投入を予定している。ガスタービンと同様に、天然ガス（都市ガス）性能を落とさずにCO₂排出量の削減効果が得られる水素混焼エンジンの開発を先行し、既存機へのレトロフィット（改造による機能追加）も視野に入れる。

水素普及が始まると見込まれる30年頃をめぐり、天然ガス100%—水素100%までの混合比率可変対応な運転をカバーする水素専焼エンジンの投入を予定している。

意見交換

CN 燃料普及へ制度設計・ インフラ整備カギ

秋元圭吾委員 産業部門では燃料転換ニーズなど、コージェネレーションのポテンシャルがまだあると考えられる。補助金など政策的な措置の見通しはどうか。

(経産省) 村上貴将氏 補助金の訴求など政策的にやれるところはある。省エネ補助金は昨年度より3年間で7000億円規模の予算が措置されており、ニーズ把握の精度を高めて執行率を上げていきたい。補助金はコージェネのリプレースだけでなく、ボイラーをコージェネに置き換えることも対象となる。中堅・中小など、使える人がまだ使っていないと考えられる。省エネ診断の拡充や金融機関と連携して需要の深掘りも進めていく。

(日本ガス協会)

奥田篤氏 エネルギー基本計画

で天然ガスが再認識されたことは追い風だ。カーボンニュートラル(CN)に向けてガス、そしてe-メタンへの道筋があることは脱炭素投資の後押しになる。都市ガス導管が通っていない地域に対しては、インフラまで含めた支援があれば、さらなる普及拡大につながると考えている。

(川崎重工業) 辰巳康治氏 企業側のニーズを踏まえつつ、水素を燃料とするコージェネ発電装置を示すことで、将来のCNへとシームレスにつながるコージェネシステムの提案を行っ

ている。石炭や重油燃料焚きのボイラタービン発電装置から天然ガスコージェネへの転換、そして天然ガス専焼から水素混焼・専焼へと水素サプライチェーンの動向を見ながら速やかに産業利用できるよう準備を進めていく。燃料面では、地産地消で局地的に水素を作る水電解装置による水素転換も含めて提案している。

秋元氏 カーボンプライシングの見通しは。

村上氏 本通常国会に提出しているGX推進法改正案において具体化する。その上で、排出枠の割当基準や排出枠の上下限価格などの詳細については政府内で検討を行っていく。徐々に炭素価格が上昇していく制度設計とする



グリーンフォーラム 2024年度第2回事例研究会 全体討議(本社会議室)

ことで、予見可能性が担保された仕組みとなるよう政策当局者とも議論していきたい。

奥田氏 カーボンプライシングはGX推進戦略の中で、新たな技術開発などの先行投資のコスト面をカバーする一つになってくる要素もある。コージェネは現場ではCO₂を排出するが、日本全体の排出量を減らす重要な技術でもあり、それらを踏まえた制度になるよう制度設計の動向を注視していきたい。

(ホンダ) 青木健氏 脱炭素燃料は国際競争力のある価

格での安定供給が重要。しかし特に海外からの輸入水素は大規模集中発電などに使われてしまい、分散型で使いたい需要家へ届かないのではないかと懸念されている。

村上氏 可能性としてはゼロではない。トランジション期には発電所も含めて、鉄鋼や化学といった燃焼・熱需要産業など、どうしても必要となる場所に優先的に割り当てて社会実装を進めていく。ただ国内における再生エネ由来の水素製造は諸外国と比較してコスト面で不利。国際水素サプライチェーンの商用化など、安価でクリーンな海外水素の輸入も、日本の水素戦略上の一つのオプションとして活用していく。

(NEC) 稲垣孝一氏 クリーンガス証書における国際的な脱炭素イニシアチブとの連携は。

奥田氏 クリーンガス証書は環境価値の認証の信頼性がカギとなる。国内で運用がスタートしており、今後輸入が想定される米国産e-メタンなど、海外産e-メタンについても認証できる仕組みの検討も進めている。実績を積み上げながら国際機関などとも連携しながら国際ルールで認めてもらえるよう働きかけている。

(国際環境経済研究所) 水戸部啓一氏 水素専焼時のNOx低減について技術的見通しは。

辰巳氏 水素は燃焼温度が天然ガスより高いため、NOx値が高めに推移する。現在は大気汚染防止法規制値70ppm(O₂:16%)を達成しているが、技術革新を進めて数値を下げていく使命がある。ただ、天然ガスの知見を踏まえても相当程度の時間は要するのではないかと懸念されている。環境規制の問題にもなるが、バックアップ電源のように運用時間が大幅に短い場合は、年間の排出総量とのトレードオフによる緩和ルールという考え方があってもユニークかもしれない。

(パナソニック) 下野隆二氏 e-メタンの全国展開ロードマップは。

奥田氏 2030年に1%の導入に向けて、まず大手を中心に輸入が進む。ただ50年には90%の導入も見据えており、環境価値の移転によって全国にも供給できるようにしていく。次回のエネルギー基本計画のタイミングではより具体的な道筋を出せるようにしたい。

水戸部氏 コージェネのマイクログリッドなど面的利用における支援は考えているだろうか。

村上氏 コージェネの面的利用に賦課金を入れる意味を考えた場合、妥当性が得られるかどうか疑問だ。スタート直後のグリーン製品価格は高くなるが、コージェネはすでに技術が



グリーンフォーラム座長
東京大学 大学院工学系研究科教授 藤井 康正氏

確立されている。一定のレベルに安定するまでは国民全体で公平に負担するという主旨において、そぐわないのではないかと懸念されている。

水戸部氏 日本のガスパイプラインは非常に限定的だ。新規投資の可能性は。

奥田氏 日本において都市ガス導管は人口密度が高いところに集中しており、ガスパイプラインの敷設率は、国土面積の約6%に過ぎない。パイプラインを新たに内陸まで整備することはハードルが高い。e-メタンの「環境価値の移転」を活用しながら地域間の需給ギャップにも柔軟に対応していきたい。

藤井康正座長 水素コージェネの出番はどういうところだろうか。

村上氏 インフラ的には水素コージェネの出番はかなり限定されるのではないかと懸念されている。ただ、需給が隣接するなど条件が合えばパイプラインを引く選択肢も出てくる。地下共同溝に入れる類型として水素ラインを考えていく議論もあるのではないかと懸念されている。e-メタンと水素、両方あり得る最適解を探していきたい。

奥田氏 大規模な需要家を抱えるガス大手事業者は水素の利活用にも取り組んでいる。ガスを補完したり、水素と役割分担したり、需要家ニーズの観点から場所や用途から適材適所で使っていくことになるのではないかと懸念されている。

辰巳氏 弊社のコージェネ設備は内陸部にも存在している。水素利用時は液水サテライト設備を作って対応する方法などを検討している。

第3回 事例研究会

CN実現へ日本の切り札なるか!?

CO₂回収・地下貯留 (CCS)

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は、2024年度第3回事例研究会を開催した。テーマは「CN実現へ日本の切り札なるか! ? CO₂回収・地下貯留 (CCS)」で、活発な議論が展開された。

(1) 日本の CCS 政策について

エネ安定供給・経済成長・ 脱炭素を同時実現

経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部
燃料環境適合利用推進課 CCS 政策室長

慶野 吉則 氏



CCS（二酸化炭素回収・貯留）は、事業者から排出されるCO₂（二酸化炭素）を分離・回収して地中深くに貯留する技術であり、約50年来の石油増産技術を転用したものだ。CO₂を貯留層と呼ぶ地下の安定した地層に閉じ込めることで、大気中に放出されるCO₂を削減する。日本政府は2030年からのCCS事業開始に向けた事業環境の整備を進めている。

日本のCCS政策は、生産活動プロセスにおいて不可避免的にCO₂が発生してしまう鉄鋼や化学、電力セクターといった多排出産業の脱炭素化が、まず当面の狙いだ。一足飛びにCO₂排出の削減が困難な産業（ハード・トゥ・アベイト）に対して、トランジション期のソリューションにとどまらず、エネルギー安定供給、経済成長、脱炭素の同時実現の切り札となる。

政府は30年までをCCSビジネスモデル構築期として事業環境を整備。30年以降に本格的にCCS事業を展開し、同時にスケールアップを図っていく。政策の扇の要が「CCS事業法」「改正ロンドン議定書」「先進的CCS事業」の三つ。国内ではCCS事業法と先進的CCS事業をステップとしてCCSバリューチェーンを立ち上げていく。

CCS事業法は保安やビジネス上の規制など、国内でCCS事業を行うための枠組みだ。主にCO₂の輸送・貯留に関わる規制を定めており、試掘・貯留事業の許可制度の創設が特徴だ。24年5月に成立し、現在、三段階施行のうち、第一段階の探査、第二段階の試掘まで施行済みとなっている。試掘は特定区域としてまずは北海道・苫小牧地域を指定しており、早ければ今秋をめどに試掘の許可が出る。

第三段階の貯留に関わるレギュレーションについては、今夏をめどに環境省と共同で検討会を立ち上げる。モニタリングのやり方などの詳細を詰めていく。

国内のCCS開発と並行して海外のCCS開発案件も積極的に推進していく。国内で排出されたCO₂を液化して船に積んで海外の枯渇油ガス田に貯留するプロジェクトだ。海外のCO₂貯留地を活用することは、条件がそろえば有力な選択肢の一つとなる。

一方で海外の海域CCS目的でCO₂を輸出する場合、ロンドン議定書09年改正に基づいた国家間の協定または取り決めが必要となる。24年の国会で議定書受諾が承認されたことから、CCS貯留地確保とCO₂輸出に向けて、貯留国との対話が本格化している。

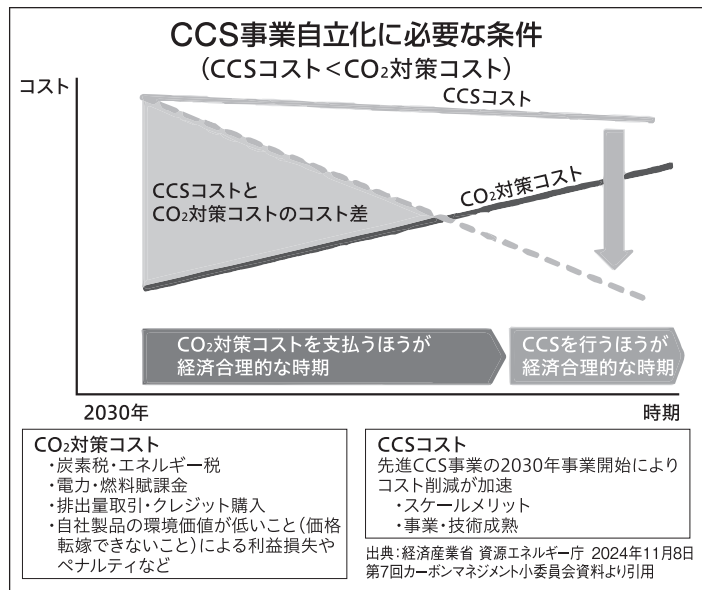
現在、CO₂の越境輸送先候補としてはマレーシア、インドネシア、豪州など。マレーシア政府との間では、本年1月の石破総理とアンワル首相の会談でもCCSの協力推進で一致。またCO₂輸出国間の連携として、経済産業省は24年8月にシンガポール貿易産業省との間で協力覚書を締結している。

経産省は23年からエネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)と共同で「先進的CCS事業」を立ち上げてCO₂の分離・回収から輸送、貯留に至るバリューチェーンの一体的支援に取り組んでいる。模範となる先進性のあるプロジェクトを通してCCS市場の創出や参入促進、事業の自立化につなげていく。

先進的CCS事業では24年に9案件を採択した。北海道・苫小牧地域など国内5カ所とマレーシアなど海外4カ所だ。

バリューチェーンの設計作業や海底構造の把握、貯留層の試掘など、初期段階のフェーズを政府が支援する。30年までの事業開始を目指し、26年をめどに事業者による投資決定へバトンをつないでいく。

資源エネルギー庁としては、26年頃の事業者による投資決定と時間軸を合わせ、事業者の円滑な参入や操業を可能とする支援制度を設計して実行していく。また、



中長期的には40年に向けて高い予見性の下で自立的にCCS事業を開始できるよう、知見の横展開やコスト低減、貯留量確保に取り組んでいく。

CCSがビジネスとして自立するためには、大前提としてCCSコスト（分離回収と輸送と貯留の合計コスト）が、排出者が負担するCO₂対策コスト（カーボンプライシングのコスト）を下回ることが必要だ。現在、CCS単価はトン当たり3万円を超える水準にあり、CO₂対策コストとのギャップは大きい。ビジネスベースでは、CCSを実施するインセンティブはないというのが現状だ。

エネ庁ではCCSの実装を実現し、CCS関連企業の成長とビジネスモデルの自立化を促しつつ、産業の国際競争力維持とエネルギーセクターの脱炭素化に貢献していく支援制度の設計を進めている。

想定されるのがCCSコストとCO₂対策コストの差に着目したコスト差支援。水素やアンモニアの導入支援を参考に、支援制度を検討している。事業開始に必要な初期投資や操業時のランニングコストを、コスト差に着目した支援でカバーしていくことを検討する。

CCSはエネルギー安定供給、経済成長、脱炭素の同時実現に不可欠な手段として期待と役割は大きい。エネ庁は着実に社会実装を進めていながら、より高次の目標としてカーボンマネジメントを推進していく。

将来的にはCO₂を資源として捉え、化学品や燃料などへ再利用するCCU（回収・利用）／カーボンリサイクルへの道筋もつけていく。

(2) CO₂ 分離回収・有効利用技術開発の動向と RITE の取り組み

新材料・システム開発 低コスト化・大規模化 課題

地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ リーダー

余語 克則 氏



地球環境産業技術研究機構（RITE）では、二酸化炭素（CO₂）の回収・貯留（CCS）の早期実装に向けて技術開発に取り組んでいる。

RITEの設立は1990年。ほぼ期を同じくしてCO₂の分離回収技術の研究開発をスタート。常圧用ポリイミド膜から吸収液、そして固体吸収材へと対象技術を拡大し、2020年からは新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のムーンショット型研究開発事業として大気中のCO₂を直接回収する「DAC（ダイレクト・エア・キャプチャー）」の開発に着手した。パイロットスケール規模での実証試験が始まっている。

一般的にCO₂の分離・回収方法は大きく四つに分類される。①アミン水溶液や塩基性固体吸収材など、CO₂と親和力のある吸収材での吸収（化学吸収法）②吸収液への溶解度差を利用した物理吸収（物理吸収法）③無機多孔質材料の細孔内表面への吸着（物理吸着法）④高分子膜などを使った膜分離法だ。

アミンはCO₂回収技術で多用される化学物質であり、化学吸収法はアミン系水溶液（吸収液）に化学反応でCO₂を選択的に吸収させ、吸収液を加熱することでCO₂を脱離させて回収する。

CO₂の分離・回収技術は、CO₂発生源の規模と特性

により技術選択の方向性が異なる。例えばDACは固体吸収材、火力発電所や高炉では化学吸収液、そしてCO₂分圧の高い天然ガス精製や改質ガスからのCO₂回収は膜分離といった具合だ。さまざまな圧力・濃度が存在し、コストや純度の担保など適応技術は一様でなく、回収技術の難しさが異なる。

また、対象とする排ガス中のCO₂濃度が10%以下であったり、低圧状態である場合などは、分離回収コストが極めて高くなる。一般的にCO₂濃度が低いところは化学吸収法（化学反応）に優位性があり、分離膜や物理吸着法の圧力スイング吸着（PSA）は圧力差を駆動力とするため、CO₂分圧が低いところでは不利になる。物理吸収法も高圧ガスを対象とするのが有利であり、吸収液に物理的にCO₂を吸収させる。

一般的に化学吸収法による分離回収コストは、回収時のスチームのコストが5割超を占める。主に使用される吸収液はアミンを水に溶かしたアミン水溶液。アミン濃度は30%—50%程度であり、半分以上が水だ。この水溶液に常温でCO₂をアミンとの結合反応で吸収させて、加熱により逆反応でCO₂を回収する。このとき分離回収エネルギーとして比熱が最も大きな水も一緒に温めるエネルギーコストが課題となっている。見方を変えれば、反応

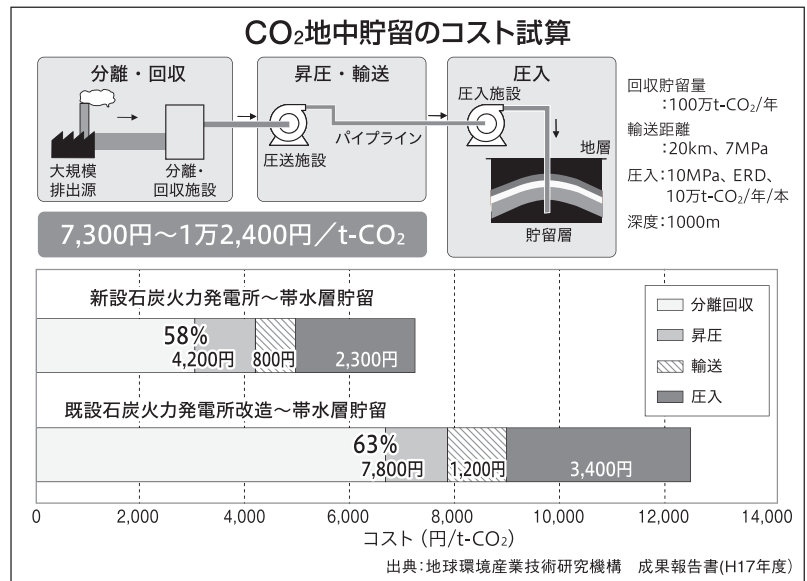
熱が小さく吸収液の回収時の加熱が低温で抑えられ、加えてスチーム損失がゼロであれば、回収エネルギーコストは低減させることができる。

最近の研究開発では、水の代わりに有機溶媒を使った混合溶媒（非水溶媒）系の吸収液がトレンドだ。また、CO₂を吸収させた後に水がリッチな相と分離して、CO₂を吸収した成分だけを加熱して再生する2相分離系やアミンを比熱の小さな多孔質の担体に塗布した水使用ゼロの固体吸収材を使う方法なども検討されている。

RITEでは、アミンのさらなる改良を進めている。開発中の非水溶媒（混合溶媒）系は、従来の吸収液と比較して分離回収エネルギーを10%以上低減できることを確認している。25年度中にパイロットスケール試験を経て、先進的CCS事業での活用や社会実装に向けた量産化研究へ着手する予定だ。

一方、CCS事業に用いられるCO₂純度は95%以上が業界慣行となっている。海外のノーザンライト・プロジェクトでは、条件によっては99.8%以上が要求される。日本は将来の海外貯留やCO₂輸出といった越境輸送に備えて、分離回収コストは上げずに回収率を引き上げ、しかも純度を担保できる技術を確立しておく必要がある。

政府はカーボンニュートラルに向けて30年から600万—1200万トン、そして50年に年1.2億—2.4億トンのCO₂貯留を目指している。このシナリオに沿った場合、単純計算で100万トン規模のCCSプラントを、国内に年6台ずつ20年間にわたって計120台設置することになる。



DACは他の排出削減技術に対するバックストップ・テクノロジーであり、いわば“最後の砦”といえる。現在、世界で稼働中のDACは40件程度。コストはトン当たり600ドルレベルと極めて高い。CO₂濃度が約0.04%（400ppm程度）の空気から直接回収するDACは、言うまでもなく濃度が低いため多くの分離回収エネルギーを要しコストも高くなる。

DAC用の吸収材に関してもアミン化合物はCO₂と反応性が高い（反応熱が大きなもの）ほどCO₂の吸収速度が速い。RITEでは材料探索を高度化して、数千種類の中から反応熱が低くてもCO₂吸収・放出性能に優れるアミンの開発に成功している。これは排熱活用の幅を広げるものだ。

DAC技術の日本の現在地は一日当たり数百キログラム程度。新しい材料・システムの開発を通じた低コスト化と大規模化がこれからの研究課題となる。



(3) カーボンニュートラル実現に向けての CO₂ 地中貯留技術の社会実装

海域地下深部 塩水性帯水層がターゲット

地球環境産業技術研究機構 CO₂ 貯留研究グループ リーダー

薛 自求 氏



二酸化炭素 (CO₂) の地下貯留は、2050年カーボンニュートラル (CN) 実現に向けた切り札として期待される役割は大きい。国際エネルギー機関 (IEA) によれば23年に世界で排出されたCO₂量は約370億トン。50年ネットゼロを前提とした世界で必要となるCO₂回収量は年38億—76億トン。このうち95%が地層中に貯留されると想定している。

地球環境産業技術研究機構 (RITE) は政府目標に寄与する基盤技術の確立のみならず、早期の社会実装を主導していく使命がある。16年には石油や化学メーカーなどとタッグを組み、二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立。スケールアップやバリューチェーン構築に向けて技術実証や共同研究活動にも取り組んでいる。

CCSにおける地中貯留の基本的な概念は、井戸を掘って貯留層と呼ばれる砂粒からなる層にCO₂を閉じ込めるものだ。原理的には砂粒には隙間があり、隙間に溜まっている古海水 (以降地層水と呼ぶ) とCO₂が入れ替わる置換プロセスとなる。そして遮蔽層^{しやへい}と呼ぶ上部を覆う難浸透性の地層が蓋^{ふた}の役目となって物理的にCO₂を遮断する。自然が作り出した封じ込めユニットであり、人手による差異があるだけで基本的なプロセスと地下の構造は石油や天然ガスといった化石燃料の蓄積と全く同じで

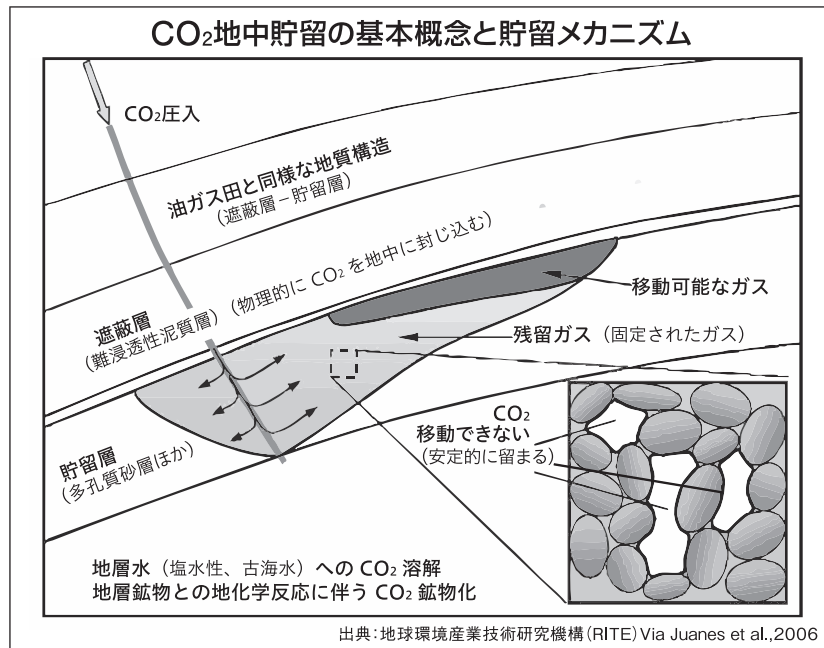
ある。

実際の地中貯留では、漏れ出さない理想的な砂層とそれを覆う泥層の地質構造を選定し、地下1000—3000メートル程度の深さにある塩水性帯水層にCO₂を圧入して封じ込む。CO₂の圧入は地中貯留に適した流体性状 (超臨界状態) にすることで、地上と比べて体積比で約200倍以上の高効率な貯留が可能だ。国内では政府の適地調査によって、日本周辺で11地点約160億トンのCO₂貯留ポテンシャルがあると推定されている。

CCSにおける貯留候補場所は大きく三つある。減退した油層もしくは枯渇ガス層、そして帯水層だ。国内においては、さらに陸域と海域という議論も存在する。

非資源国である日本は、欧米のような石油やガス田採掘場が少なく、回収したCO₂を生産性増進回収 (EOR) に用いるような使い方は期待できない。一方、化学工場や発電所、石油精製プラントは臨海部に多く、陸域のパイプライン構築や輸送には多大な費用がかかってしまう。CCSバリューチェーンとしても沿岸域が現実解となるだろう。具体的には海域地下深部の塩水性帯水層がターゲットとなる。

CO₂は水に溶けやすい物質だ。大気中に増え続けているCO₂が海水に溶けると海水は酸性化し、海洋生物



の生態系を脅かす懸念があると言われる。しかし、地層水への溶解は日本は諸外国と比べて有利だ。一般的に低温で低塩分濃度の海域ほどCO₂を多く溶解する。日本の地層水は欧州や北米と比べると塩分濃度が1桁—2桁程度低い。溶解されやすく深部に安定的に留まることは封じ込めポテンシャルが大きいと言える。

では、最初から溶解水として貯留すればいいのではないか。溶解水による貯留は新しい考え方だ。例えば、ペロブスカイト太陽光パネルの原料になるヨウ素。ヨウ素は、水溶性天然ガスが溶解している地下水「かん水」に溶け込んでいる。千葉県が国内1位の産出量を誇り、シェアは約80%。天然ガス採取時に抽出され、脱ヨウ素化した「かん水」は地中に戻される。溶解水貯留の議論は、この時にCO₂を溶かして地中に戻すという考え方だ。

「かん水」は、元々は天然ガスのメタンが水に溶解した状態であり、CO₂はメタンより水に溶けやすい。メタンが溶解した状態で貯留されているのであれば、CO₂溶解水を地中に貯留することは可能だ。しかも安全性が高くコストも抑制できる。生産した天然ガスを使えばゼロエミッションとなり、効率的で簡便な貯留手法となる可能性を秘めている。

CO₂圧入による貯留メカニズムには、経時変化順に複数の隔離プロセスが伴う。①構造トラップ②残留ガストラップ③溶解トラップ④鉱物トラップの四つだ。構造トラップは

遮蔽層など地質構造による遮断。残留ガストラップは貯留層内の孔隙に取り込まれたCO₂の界面張力による停滞化。溶解トラップはCO₂溶解によって地層水の密度が増加し安定した状態。鉱物トラップはCO₂溶解による水素イオン指数 (pH) 低下によって岩石と化学反応を起こす鉱物化。

これらメカニズムは地中貯留の安定性を高め、CO₂の地中固定化に寄与するものだ。それぞれ寄与度合いに差はあるが、圧入からの経過時間が長くなるほど貯留は安定化へ向かうことになる。

CCSでは計画通りに圧入できない事業リスクや貯留したCO₂の一部が漏出するリスクがゼロとは言いきれない。数値シミュレーションや弾性波検査解析によるCO₂分布状況の可視化、圧入中や圧入後における貯留層内部のCO₂挙動予測が重要となる。また、光ファイバーを用いた地層の変化監視モニタリングや音響ソナーによるCO₂漏出検知技術の開発も進行中だ。

しかし、こうした基盤技術と緻密な実施計画においても、地下(地層)情報の不確実性と潜在的なリスクは排除できない。それは断層調査と特性評価だ。地震大国である日本は断層を正しく評価し、諸外国以上にCCSスクリーニングによる誘発地震や地質リスクに関わるリスクマネジメントが求められる。RITEでは豪州機関との共同研究で、断層の安定性や漏出による影響評価に向けてフィールド実験を行う予定だ。

意見交換

CCS 成果の正確測定・ 定量把握に商機 システム整備期待

秋元圭吾委員 政府が初期段階で投資リスクをサポートするセントラル方式の採用は考えているだろうか。

(資源エネルギー庁) 慶野吉則氏 先進的 CCS 事業では事業者の投資決定前の特にリスクの高い調査などの部分を支援する。例えば初期の貯留層評価における試掘などを JOGMEC が実施し、その後は事業者の投資にバトンを引き継ぐ。政府と事業者で適切にリスク分担する仕組みだ。24年度補正予算では320億円を措置している。

(パナソニック)

下野隆二氏 CCS プロジェクトで米国がリードする理由は。

(RITE) 余語克則氏 貯留サイトが多いこともさることながら、米政府によるインセンティブが大きい。貯留サイトは圧倒的に EOR であり、石油の増進回収という CCS が貯留コストにとどまらない

副次的効果がある。米国は初期段階から大規模な投資を行い、補助金や税制控除など手厚く支援する。必然的にプレーヤーが集まってくる。

(ホンダ) 青木健氏 ホンダも DAC の技術開発に取り組んでいる。DAC (DACCS) のロードマップは。

慶野氏 まず大規模エミッターがけん引する CCS プロジェクトで貯留地の開発や実装支援策を講じるとともに投資を促していく。並行して DAC の研究開発は進めており、最終的に CCS と合流させていくこともあり得る。

下野氏 日本の技術力の現在地は。

余語氏 日本の環境技術はレベルが高く、CO₂分離・回収技術では三菱重工が独走している。アミン吸収法による商用プラントでは世界シェアは7割。世界ナンバーワンと言っても

過言ではない。RITE が開発した化学吸収液も小規模ながら一部実用化されており、高性能だと自負している。

(RITE) 薛自求氏 RITE は米ノースダコタ州の貯留サイトで光ファイバーによる CO₂ モニタリングを行っている。2022年から圧



グリーンフォーラム 2024年度第3回事例研究会 全体討議(本社会議室)

入を開始して6月末に50万トンを超えた。100万トンまでモニタリング技術を積み上げれば監視システムの知見を蓄積できる。日本の安全技術として世界をリードできるものとなるだろう。

竹内純子委員 CCS 事業法では事故時の賠償責任は無過失無限責任。参入事業者はリスクマネジメントの観点から二

の足を踏む規制とならないか。

慶野氏 無過失賠償責任については指摘通りだ。事業者の責任という部分ではCCS事業法は厳しい法律になっている。原子力と似ているが、制度的にCO₂が確実に圧入できて事故リスクが伴わない限り貯留許認可は降りない。他方で、相当因果関係がないものに関しては貯留事業者が責任を負うことはない。

藤井康正座長 CCS単価の見通しは。

慶野氏 現在のCCS単価はトン当たり3万円以上という試算がある。CCS事業を通して実装とスケールメリットの両面からコスト低減を加速していく。50年の目標値としてはDACCSは100ドルというのがあるが、CCSはそれ以下を目指したい。

下野氏 CCS推進の観点から電機業界に対して期待するところは。

慶野氏 技術革新の余地が大きいCCSの分離・回収セクターにおけるコスト低減技術と温室効果ガス (GHG) の測定・報告・検証するプロセス「MRV」だ。CCSビジネスにおいて企業やプロジェクトのCO₂排出削減や吸収成果を正確に測定し、それを第三者が検証できる仕組みはクレジット市場における価値担保において重要な部分となる。センサーやモニタリング技術など、MRVを支える国際規格に基づいた測定・定量把握システムの整備に期待している。

水戸部氏 国内貯留サイトへの液化CO₂船舶輸送は考えているか。

慶野氏 日本海側など国内での適地域は一定程度存在する。パイプラインを新規で200キロメートル以上敷設する場合は、液化CO₂船輸送の方が経済的という試算もある。国内での船舶輸送の場合は貯留国との取り決めは不要であり、国内貯留でいくのか、それとも海外に持っていくのか。コストとリスクの両面から適切に判断していきたい。

稲垣氏 CCSクレジットの供給は。

慶野氏 CCS政策は時間軸的には、まず鉄鋼や発電など



グリーンフォーラム座長 東京大学
大学院工学系研究科教授 藤井康正氏

CO₂排出削減が困難な産業（ハード・トゥ・アベイト）が着実に脱炭素化に向かうための移行支援からとなる。ただ先進的CCS事業に参加する事業者は、クレジット供給源になりうるBECCSなど、ネガティブエミッションの取り組みもみられる。

藤井座長 破碎した岩石に大気中のCO₂を吸収・固定化させる「岩石風化促進」技術が注目されている。

余語氏 DACの領域の中では、技術成熟度はまだ低いと認識している。スケーラブルという部分も疑問だ。また海水中からCO₂を回収するDOC（ダイレクトオーシャンキャプチャー）と同様に、CO₂をどれだけ固定したか、定量的に評価するのが難しいと思っている。

藤井座長 本日はありがとうございました。



資源循環技術委員会

JEPLAN / ペットファインテクノロジー視察



グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は5月9日、ポリエチレンテレフタレート（PET）のケミカルリサイクル事業を行うJEPLANと同社のグループ会社であるペトリファインテクノロジーの工場を視察した。ペットボトルなどの原料に使用されている汎用プラスチックのPETを半永久的に使えるようにするケミカルリサイクル施設を見学し、再生プラスチックの利用拡大について意見交換も行った。



再生PET樹脂は自社ブランド「HELIX」で展開。1年間の供給量は500mlペットボトル約10億本分

PETを半永久的リサイクル

JEPLANとペトリファインテクノロジーの本社は、川崎市臨海部の工業地帯にある。近隣には運河が流れ、発電所や倉庫、化学メーカーの巨大工場がある。同社の工場にも配管が縦横に伸びた施設があり、周囲の光景と溶け込んでいる。

JEPLANは2007年、「日本環境設計」の社名で設立。繊維商社に勤めていた岩元美智彦会長と大学院生だった高尾正樹社長が共同で起業した。循環型社会の実現を目指し、多くの業種と連携して衣料品やプラスチック

製品の回収プロジェクトを展開してきた。

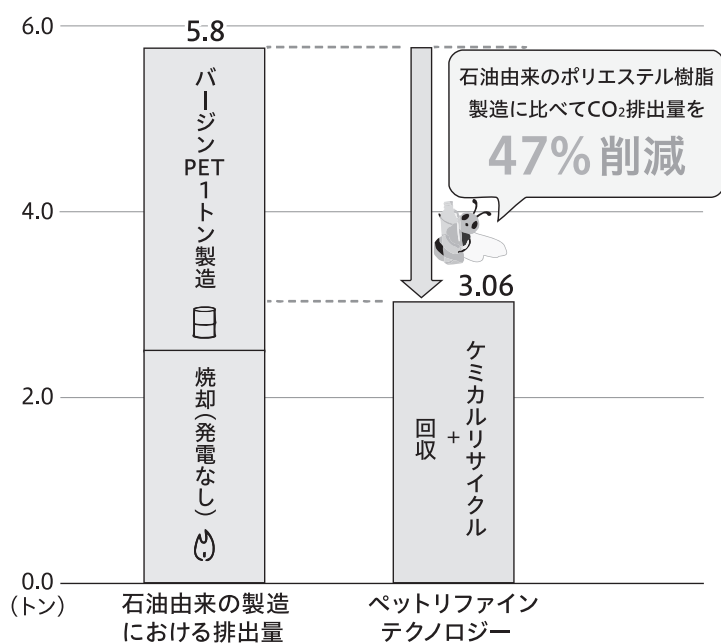
ペトリファインテクノロジーの工場は前身企業が04年に建設。稲田修司氏がペットボトルのケミカルリサイクル（CR）技術を開発して事業化した。08年に東洋製缶が事業を継承して現社名で設立され、18年にJEPLANが全株式を取得して子会社化した。

JEPLANグループとなったペトリファインテクノロジーの工場は21年に再稼働した。敷地内の建物内部に粉々のプラスチック片が高く積み上げられている。遠くから見



独自のケミカルリサイクル技術で石油由来と同等品質の再生PET樹脂を実現したJEPLAN。生産は子会社のペトリファインテクノロジーが担う。
（右）JEPLANグループでは蜜集めに飛び回るミツバチに資源循環を重ね合わせて、ハチをシンボルキャラクターとして活用している

ポリエステル(PET)樹脂1トン製造時のCO₂排出量の比較



出典: JEPLAN HP サステナビリティ <https://www.jeplan.co.jp/sustainability/>



JEPLANの高尾社長



全国の自治体などから回収された使用済みペットボトル (中間処理済み) だと雪山のようだ。全国の自治体や事業者で回収され、協賛会社で粉砕されてフレーク状になった使用済みペットボトルだ。このプラスチック片がプラントに送り込まれ、CRによってペットボトルなどの原料に再生される。

はじめの工程が化学結合を解く「解重合」だ。プラスチックは結合によって化学的に安定し、使い勝手の良い素材となっている。だが、自然界で分解されにくい結合のため、放置されると残り続ける。海に流出したプラスチック廃棄物による汚染が社会問題となっているのもこのためだ。

解重合工程ではプラスチック片をエチレングリコールで溶かし、「エステル結合」と呼ばれる化学結合を解いてBHET (ビス-2-ヒドロキシエチルテレフタレート) という分子にする。その後、活性炭やイオン交換樹脂を用

いた工程で色素や金属などの不純物を除去し、晶析、分子蒸留などの工程を経て高純度のBHETを精製する。解重合工程で使用したエチレングリコールは回収して精製し、繰り返し使う。

JEPLANの高尾正樹社長は「重要なのが分子蒸留。微細な金属イオンを取り除いて純度を高める」と強調する。

解重合とともに不純物の除去もケミカルリサイクルのポイントだ。自動販売機の脇の回収BOXのペットボトルにはペットボトル以外のビンや缶、ゴミや砂などの不純物が混ざっていることがある。また、製造工程で樹脂に触媒や色素などの目に見えない小さな不純物も添加されている。ここまでの工程でも不純物を取り除いているが、蒸留によってさらに純度を高める。BHETの蒸留は不可能とされていたが、独自技術によって蒸留を可能にした。

高純度となったBHETを重合工程に送る。ここからは石油(またはバージン材料)からPETを製造するプロセスと同じだ。重合によってBHET分子を結合させてPET樹脂を製造する。製造したPET樹脂を粒状(ペレット)に加工する。PET樹脂は本来透明だが、ペットボトル原料に求められる強度の製品に仕上げることで白く見える。

工場内には粒状の再生樹脂を詰めたフレキシブルコンテナバッグ(フレコン)が並んでいた。この粒状樹脂を出荷し、容器メーカーで成形するとペットボトルに再生さ

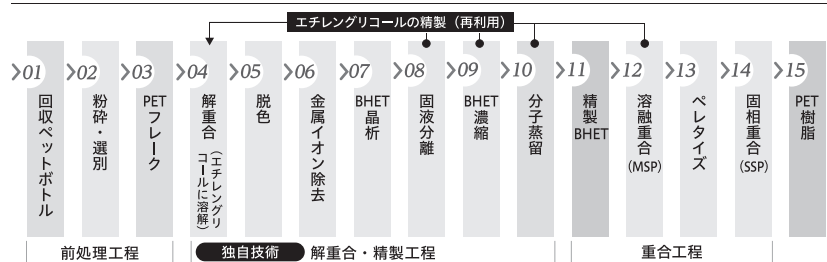


ペトリファインテクノロジーの伊賀社長



再生PET樹脂製造におけるCO₂排出量は
石油由来バージン原料からの製造と比較して約47%削減できる

ケミカルリサイクルプロセス



れる。そのペットボトルが飲料メーカーで利用され、商品となって販売される。

プラスチックの再生方法にはマテリアルリサイクル(MR)とCRがある。MRは使用済み製品を破砕して細くなったプラスチック片を溶かし、ペレットの形状にして材料に戻す。MRはプラスチック製品の再生で主流だが、熱を何度も加えることによる樹脂の劣化に加え、不純物の蓄積による品質の低下もあり、再生回数に限界が生じる。

ペットボトルの「メカニカルリサイクル」もMRの一種だ。メカニカルリサイクルは高温・減圧下で処理して汚染物質を取り除いて食品包装に使える品質にする。

CRはプラスチックの化学結合を解いて分子レベルに戻すので、繰り返しプラスチックを製造できる。ペトリファインテクノロジーは、不純物を徹底的に除去して石油と同等品質まで再生するCRを事業化した数少ない企業の1社だ。

PETボトルリサイクル推進協議会によると23年度、使用済みペットボトルを新しいペットボトルに再生した「水平リサイクル」率が33%となり、初めて30%を超えた。水平リサイクル量としても増加しており、20年度の8万6000トンが23年度には21万5000トンと2.5倍に急増した。

社会全体でプラスチック廃棄物の削減が求められており、ペットボトルの水平リサイクルが着実に進んでいるが、ほとんどがMRだ。PETを半永久的に使えるCRの比率

が高まると、化石資源の消費を減らせる。

ペトリファインテクノロジー社長の伊賀大悟氏は「分子レベルまで分解することでバージン樹脂と変わらないペットボトルに何度でも再生できる。しかもCO₂排出量は5割減」と胸を張る。ただし「課題はコスト。再生樹脂は石油由来よりも高い」(高尾社長)。コスト低減には生産量の拡大が有効となる。

業界超え連携を拡大 非食品用PET樹脂を資源循環

ペトリファインテクノロジーの再生樹脂の生産能力は年2万2000トン。具体的な工場建設は決まっていないが、「スケールメリットによってコストは加速度的に下がっていく。少なくとも数倍程度になれば、コスト面でも十分戦える」(高尾社長)とする。

また水平リサイクルを増やすために全国55の自治体と提携している。自治体が収集した使用済みペットボトルを引き取ってCRによって再生樹脂を生産している。

さらに22年、メカニカルリサイクル事業者の遠東石塚グリーンペットから、再生できなかった残さの引き取りを始めた。残さは廃ペットボトルの破砕や洗浄、異物除去の工程で一定量発生する。CRなら残さであっても、不純物



“ボトルtoボトル”循環を何度でも繰り返すことができる
ケミカルリサイクルの国内唯一の商用プラント。製造能力は年2万2000トン



川崎工場で生産される再生PET樹脂は1日約70トン

を取り除いて石油同等の品質に戻せる。従来から残さはペットボトル以外の製品にMRされ、活用はされていたが、ペトリファインテクノロジーのCRによってペットボトルに再生することで、水平リサイクルを拡大できる。

また25年1月には神奈川県小田原市とアサヒ飲料を加えた4者で協定を結んだ。小田原市内で回収した使用済みペットボトルを遠東石塚グリーンペットでメカニカルリサイクルし、残さをペトリファインテクノロジーで再生樹脂にする。その再生樹脂由来のペットボトルをアサヒ飲料が販売する。2種のリサイクルが共存しながら、地域で水平リサイクルを拡大する。

さらにJEPLANとペトリファインテクノロジーは同4月、キリンホールディングスなど6社と業界を超えた連携を発表した。非食品用途PET樹脂をCRによって資源循環させる取り組みだ。

TDKや村田製作所はコンデンサーの生産で使った工業フィルム、花王とファンケルは店頭で回収した化粧品ボトル、キリンビバレッジは自動販売機の商品サンプルを供給し、ペトリファインテクノロジーが再生樹脂を製造する。キリンビバレッジは再生樹脂をペットボトルに、花王は化粧品ボトルの一部に採用した。ファンケルやアサヒ飲料も採用を検討する。

また、6月には太陽誘電とJEPLANとで、フィルムの再生に向けた新たな取り組みについても発表した。

村田製作所は22年から、積層セラミックコンデンサーの製造で使ったPETフィルムを原料にPETフィルムに再生する水平リサイクルに取り組んできた。順調に再生量を拡大し、資源循環に貢献してきた。ただ、MRである

ため再生回数が限られた。CRなら半永久的に再生できる。サステナビリティ推進部の大柿麻有子部長は「資源循環を目指す方向性、実現のために業界を超えて協働することに共感し、参加した」と語る。

すでに使用済みPETフィルム由来のPETボトル（キリンビバレッジ製）ができあがっている。「手に取っても、バージン品と見分けがつかない」とCRの品質を実感している。

提携する自治体が拡大し、CRによる再生樹脂を採用する企業が増え、資源循環に共感して原料を供給する業界が広がった。ペトリファインテクノロジーの前身企業がCR事業を始めて約20年。雌伏の時を経て、ペットボトルの循環の輪が大きくなろうとしている。

プラスチック循環利用協会によると、23年の国内の廃プラスチック発生量は769万トン。前年比52万トン減と大幅に減少した。包装・容器向けの需要減少が主要因だ。MRでの再利用は171万トン、割合は22%だった。このうち国内で製品に再利用されたのは46万トンにとどまり、125万トンが輸出された。国内で燃料代替として焼却された廃プラは491万トンだった。





水平リサイクル率が3割を超えたPETボトルは優等生だが、他の業界では再生プラスチックの利用量は少ない。いくつも課題はあるが、その一つがコストだ。高尾社長も飲料以外の業界との意見交換で「いつも経済合理性の壁を感じる」と話す。CRによるプラスチックの資源循環に賛同を得られたとしても、コストの話題になると採用の検討がストップすることもあり、「どこまでコストを許容してもらえるのか知りたい」と話す。再生プラの拡大には企業間のコミュニケーションも重要だ。また、政府にもコストの問題に対して「一歩進めた方針を出してほしい」と語る。

JEPLANは北九州響灘工場（北九州市若松区）にCRの小規模プラントを構える。パイロットプラントの位置づけだ。

20年、JEPLANはAxens（フランス）、IFPEN（同）と戦略パートナーシップを結び、ペットボトルや繊維などのあらゆる種類の使用済みPET製品を再生するCR技術の開発に取り組んできた。その成果として23年、北九州響灘工場でもCR技術「Rewind PET」のデモンストレーションを開始。約1年の運転で技術性能を確認できたことから、AxensによるCRの商用展開の承認を得た。Axensは世界中の顧客に、あらゆる使用済みPET製品をCRする技術ライセンスを提供する。

JEPLANはCR技術を活用した自社アパレルブランド「BRING」も展開する。

また、ペトリファインテクノロジーのCR技術によって製造された再生樹脂は、米国食品医薬品局（FDA）から食品衛生基準をクリアした安全性を認められている。

再生樹脂は脱炭素化にも貢献する。環境省がデロイトトーマツコンサルティングに委託したライフサイクルアセスメント（LCA）調査によると、CRによる再生PET樹脂は石油由来と比較して47%の二酸化炭素（CO₂）削減



フレーク状になった廃PETボトル。CRなら不純物の混入も問題ない



解重合工程ではPETフレークをエチレングリコールで溶かし、BHET分子に分解する。写真は解重合後に取り除かれたアルミや土砂、ラベルなどの不純物



本来透明なポリエステル樹脂は固相重合によって強度を高めたことで白く見える

効果がある（ペトリファインテクノロジーの購入電力の電源構成を加味）。

フィールドワーク JA北海道厚生連 帯広厚生病院

エネルギーをリサイクル 排熱で20%省エネ化

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は、捨てられる熱を集めて暖房や給湯に再利用している帯広厚生病院を視察するフィールドワークを実施した。同病院は2018年の移転新築に伴い、サステナブル建築を志向。エネルギー設備には東海大学の山川智教授が参画した。建築と環境技術の融合による「熱の動きをデザイン」した省エネ技術は、国内外から高く評価されている。

大規模病院 熱の動きをデザイン

帯広厚生病院（北海道帯広市）は医療機器などの運転で発生した排熱を集め、暖房や給湯に使っている。通常なら大気中に捨てられる排熱を再利用するエネルギーのリサイクルだ。従来のシステムと比べ20%の省エネルギー化を実現した。

大型の馬に鉄ソリを引かせて競う「ばんえい競馬」が開催される帯広競馬場。その向かい側に帯広厚生病院がある。下層階のブラウンの外壁が印象的だ。10階建ての病棟は651床あり、北海道東部で最大の医療施設。2018年の移転新築に合わせて導入した熱源システムは今年、省エネルギー化の成果が評価され、米国暖房冷凍空調学会から世界最優秀賞を受賞した。

東海大学建築都市学部教授の山川智教授がエネルギー設備の実証に携わった。山川教授は機器が発する熱の再利用を「リサイクルエネルギー」と名付けて活用を提唱している。パソコンやスマホといった電気機器は使用中に熱を発している。こうした熱は大気中に捨てられているが、回収して利用することで化石燃料の消費を抑えられる。山川教授は「エネルギー保存の法則により、電気エネルギーや化石燃料はそれらが機器で使われた後、大部分が熱エネルギーとなる。捨てずに集めてエネルギーとしてリサイクル利用することが可能だ」と力説する。

山川教授は化石燃料を「第1のエネルギー」、再生可能エネルギーを「第2のエネルギー」、そしてリサイクルエ



2018年に移転新築されたJA北海道厚生連帯広厚生病院。病棟・診療棟と外来棟、エネルギー棟の3棟から構成されている



東海大学建築都市学部教授の山川智氏。
エネルギー設備の実証に携わった

ネルギーを「第3のエネルギー」と呼ぶ。帯広厚生病院は第3のエネルギーを本格導入した初めての大规模医療施設だ。



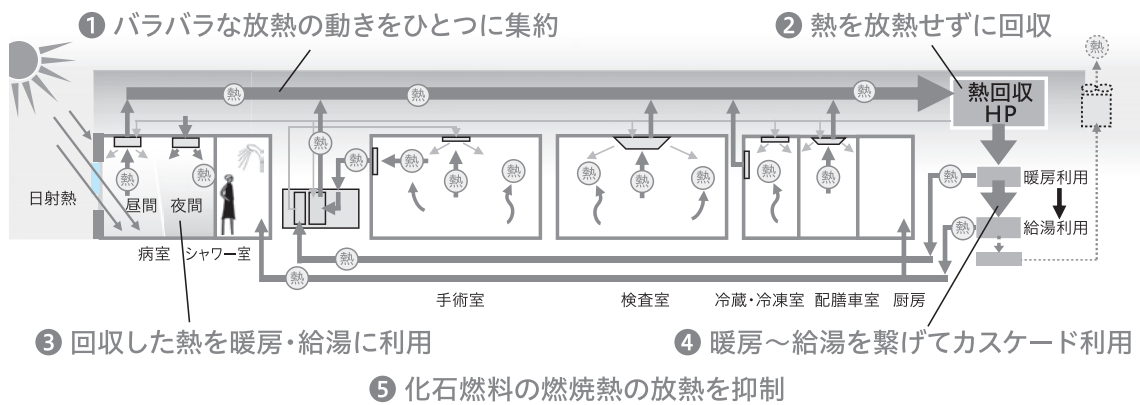
病院に隣接するエネルギーセンター棟。日本ファシリティ・ソリューションがエネルギーシステムを管理・運用している



廃熱は地上に放出せず、病院内に張り巡らされたパイプを通してヒートポンプに集められる

帯広厚生病院におけるリサイクルエネルギー活用

従来の暖房・給湯方式（ガスボイラー）と比べて、CO₂排出量 年間約800t削減



© YAMAKAWA Lab., Tokai University

熱回収ヒートポンプフル稼働

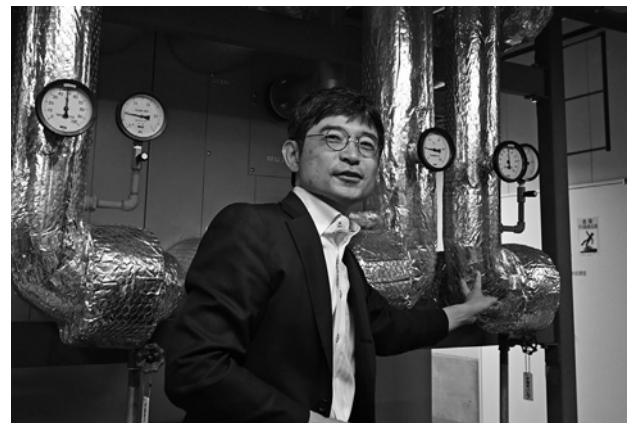
病棟とは独立して建つ「エネルギーセンター棟」には、熱回収ヒートポンプ（HP）を含む熱源機器が集約され、冷暖房の熱、給湯や蒸気を病院に送っている。熱回収HPがリサイクルエネルギーの要であり、病院内の機器

が発した熱を使ってシャワーや暖房に熱を供給している。集めた熱の分だけ、水を加温するエネルギーを削減している。

熱回収HPは工場などでも利用されているが、病院は導入に適しているという。病室のシャワーなどで一年中、お湯が使われるためだ。山川教授は「病院は熱を発す



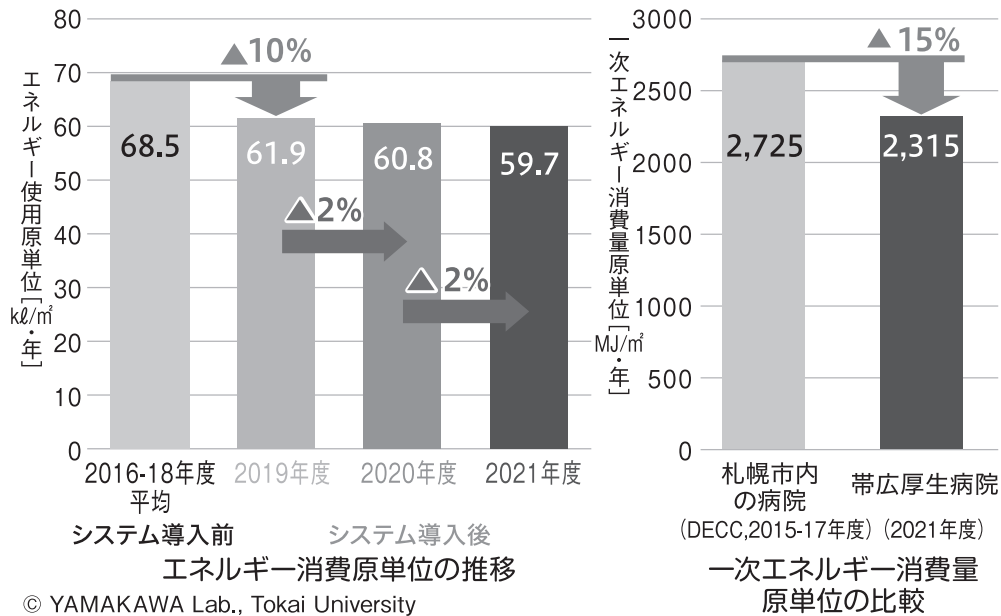
リサイクルエネルギーに大きな威力を発揮する熱回収ヒートポンプ（エネルギーセンター棟）



病院は「熱を発する機器が多くあり、冬でも排熱を集めやすい」（山川氏）という



帯広厚生病院における導入効果



る機器が多くあり、冬でも排熱を集めることができる」と解説する。

磁気共鳴断層撮影装置 (MRI) も発熱する機器の一つ。他にも手術室の照明や医療機器、給食用の冷凍室や冷蔵室、電子カルテのデータを保存するサーバーなども一年中、発熱している。こうした熱を集めて熱回収HPへ送っている。

熱回収HPはフル稼働を続けている。設備容量は熱源システム全体の1割程度だが、稼働率を上げることで給湯や暖房に必要な年間の熱量の半分以上を供給している。建て替え前と比べ、面積当たりのエネルギー消費を10%改善できた。札幌市内の大規模病院と比較しても15%少ない。CO₂ (二酸化炭素) 排出量は年800トン削減できた。熱源システムの排出量の20%を削減した計算だ。

エネルギーセンター棟は、東京電力エナジーパートナー (EP) 子会社の日本ファシリティ・ソリューション (JFS、東京都品川区) が投資して建設した。病院側は設備や制御システムなどの導入・設置と、その後の運用管理を



エネルギーセンター棟 (管理モニター)

委託。複雑なシステムの知見や管理者を病院で抱える必要がなく、エネルギーサービスプロバイダーの同社からワンストップで総合的なサービスを受けることができる。

CO₂排出削減に有効と理解していても、初期費用を気にして省エネ投資に踏み切れない企業が少ない。エネルギーサービスの契約形態であれば、初期費用を気にせずにCO₂削減を実現できる。

フィールドワーク エア・ウォーター LBM製造プラント

北海道・十勝発 エネ革命 乳牛ふん尿から液化バイオメタン

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は、北海道・十勝地域で進行する、家畜ふん尿を由来とする液化バイオメタンによるエネルギーの地産地消モデルを視察するフィールドワークを実施した。グリーン燃料を活用したい需要家と未利用バイオマスの活路を模索していた酪農家の課題を産業ガス大手のエア・ウォーターが解決に乗り出した。

LNGを代替する持続可能な国産エネルギーとして地域の資源循環と脱炭素化を後押ししている。

“厄介者”が脱炭素化 液化バイオメタン供給網構築

エア・ウォーターが事業化

北海道の十勝地方は、エネルギーの一大供給基地となる可能性を秘めている。現地で盛んな酪農から出る乳牛のふん尿が新たなエネルギーの原料となり、脱炭素に貢献するからだ。悪臭を放つため厄介者とされてきたふん尿だが、持続可能なカーボンニュートラル燃料として価値が拡大。北海道からエネルギー革命を起こそうとしている。

北海道の十勝地方は岐阜県と同等の面積があり、1市16町2村に32万人が暮らす。日本有数の畑作地帯であり、食料自給率は1100%を超える。酪農の一大産地でもあり、地域内で24万頭の乳牛が飼育されている。この酪農で発生する大量のふん尿から新たなエネルギー利用が始まった。しかも地域内で製造から消費までのサプライチェーンが成立している。

事業化したのは産業ガス大手エア・ウォーターだ。環境省の実証事業を経て、バイオガスから液化バイオメタン（LBM）の精製技術を確立し、2022年10月から帯広市内の専用工場で商業生産を開始。国産のLNG（液



エア・ウォーターのLBMセンター工場



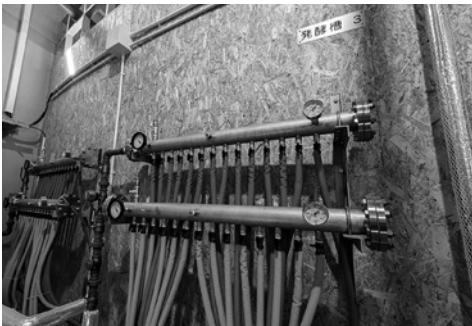
乳牛たちが帯広発のエネルギー革命の立役者に（サンエイ牧場の乳牛）



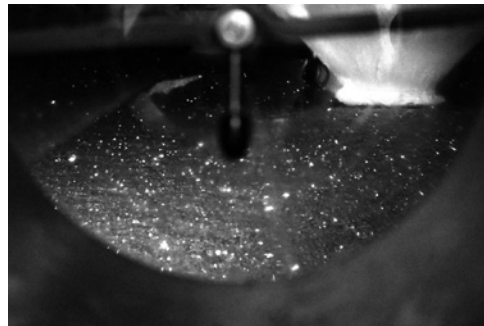
サンエイ牧場に設置されたバイオガス捕集システム



乳牛など約2600頭を飼養する
サンエイ牧場



ふん尿をメタン発酵させて
バイオガスを得る (サンエイ牧場の発酵槽)



ふん尿に生息するメタン菌の働きで発酵が進んでいる

ム約171個分の広さを誇る。牧草やトウモロコシ畑が広がる平野には、大きな牛舎が何棟も並び、飼育されているホルスタインも大きい。乳牛が出すふん尿は1日に約250トン。ふん尿はバイオガス処理設備の地下ピットで保管され順次、地上にある発酵槽2基に送られる。発酵槽の壁面は木製素材で覆われていて、「樽」のようでもある。触れると温かい。内部は40度Cに保たれており、ふん尿に生息するメ

タン菌の働きで発酵が進んでいる。

発酵で発生したバイオガスの成分はメタンと二酸化炭素(CO₂)。サンエイ牧場では硫化水素を取り除いて、一部を自社の発電やボイラーの燃料に使っている。発酵後のスラリーや消化液も牧草地や農地の肥料として利用する。

余剰バイオガス 活用策に新たな選択肢

牧場でCO₂を分離除去

もともと道内では、臭気対策で発酵プラントを導入する酪農家が多かった。しかも悪臭問題を解決するだけでなく、ふん尿をメタン発酵させて発電や燃焼エネルギーのバイオガスを得るとともに、発生した液肥で循環型酪農も実現する。再生可能エネルギーで発電した電気の固定価格買い取り制度(FIT)が始まると、売電を始める酪農家も増えた。だが、送電線コストの負担や電力系統に再エネ電力を受け入れる余力がなくなると、新設投資が難しくなった。



ふん尿が保管されるバイオガス処理設備の地下ピット。
順次、地上にある発酵槽2基に送られる

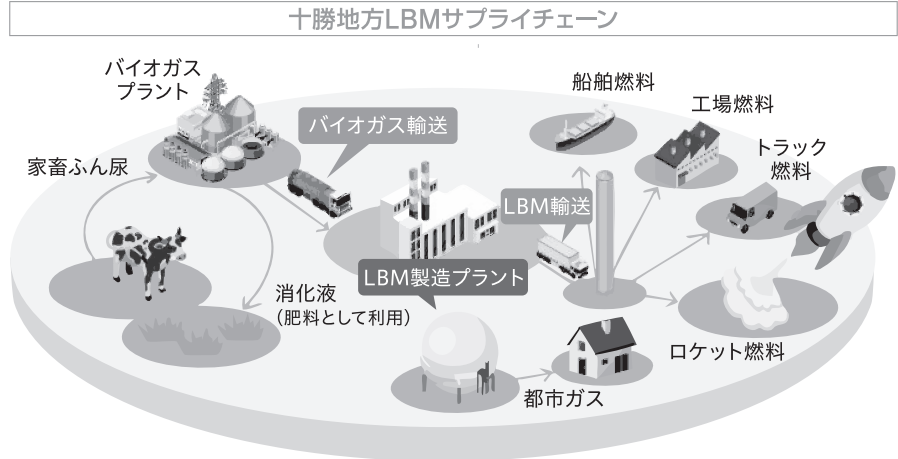
化天然ガス) 代替燃料として消費者へ供給し、エネルギーの地産地消を後押ししている。

LBMは100%バイオ由来のエネルギーであり、十勝地方の南部、大樹町内の2牧場から出る乳牛のふん尿によるバイオガスが原料。その一つであるサンエイ牧場は、大樹町の中心部から車で約10分ほどの場所に位置する。町内3戸の酪農家が集まり、1994年に設立された大規模酪農法人だ。従業員数は約60名。乳牛など約2600頭を飼養し、23年度の出荷乳量は約1万7000トン。

サンエイ牧場の敷地面積は約800ヘクタール。東京ドー



◀ エア・ウォーターバイオメタンチームの大坪雛子さん



サンエイ牧場では2基のプラントを有し、導入コストは約6億円。バイオガス発生量は1日当たり約6500立方メートル。2基目の設備を設置した際、使い道の決まっていなかったバイオガスの活用策を探っていた。行き場を失った余剰バイオガスの課題解決に乗り出したのがエア・ウォーターというわけだ。

同社バイオメタンチームの大坪雛子さんは「FITによる売電も20年で終わる。新たな選択肢として当社がバイオガスを買取る提案を始めた」と経緯を説明する。

買い取ったバイオガスは牧場でCO₂を分離除去して、メタン純度を高めたバイオメタン（気体）化する粗精製まで行い、輸送用タンクへ充填している。しかも、バイオメタン精製設備は酪農家が初期投資を抑えて販売を始められるように、同社が投資として牧場に設置する支援体制を用意している。

LBM 純度99.9%
1トンでCO₂排出量2.8トン削減

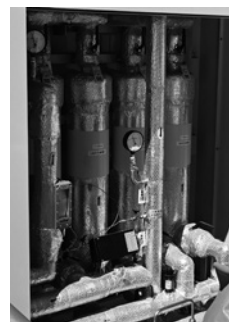
バイオメタンを吸着 効率輸送

牧場でバイオメタンが満載されたタンクは、約60キロメートル離れた帯広市内にあるエア・ウォーターのLBMセンター工場に輸送される。タンクはガス吸着剤が入った専用の吸蔵容器を開発した。吸蔵させることで圧力を高めることなく輸送効率を高められる。運搬・管理に関する保安係員を不要にしたことで酪農家の負担はほとんどない。

センター工場には、液化チッ素と書かれたタンクが建ち並び、地上に配管が縦横に走っている。小規模な化学プラントといった感じだ。ここでは超低温の液化チッ素によってバイオメタンをマイナス160度Cまで冷却し、気体から液体にする。気体の600分の1に圧縮でき、輸送効率が上がる。また、LNG（液化天然ガス）と同じメタンが成分であり、既存設備を活用できる。製造されるLBMの純度は99.9%以上。センター工場では年360トン製造可能だ。



牧場でバイオガスを捕集する段階でバイオメタン（気体）化する粗精製まで行う



バイオメタンの低圧輸送を実現した吸着剤を使った吸蔵容器（右）とCO₂分離膜フィルター



LBM製造プラントではバイオメタンをマイナス160°Cの極低温まで冷却して液化する。環境に優しいカーボンニュートラルなLNG代替燃料として利用可能だ

LBMはLNGと比べ熱量が10%ほど少ない。だが、海外からの輸入に頼るLNGと違い、国産エネルギーだ。CO₂排出量も、LBMで1トン当たり約2.8トン削減できる。乳牛1頭が1年にふん尿を30トン排出すると、年320キログラムのLBMを製造できる。北海道全体の乳牛82万頭のふん尿全量をLBMにすると、道内のLNG消費量の半分を代替できる計算だ。

商業利用 よつ葉乳業が十勝で“消費”

地産地消エネルギーに転換

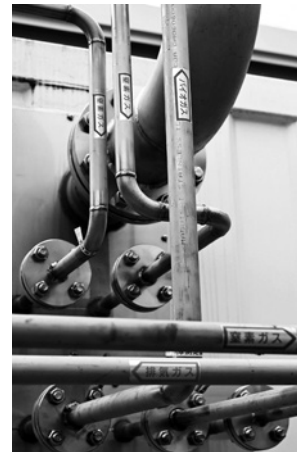
LNGの代替燃料となるLBMは、地産地消エネルギーであることが評価され、商業利用が始まった。5月から帯広市の隣、音更町にある「よつ葉乳業十勝主管工場」で牛乳の殺菌などに使うボイラー燃料として活用している。社会実装の第一号であり、サプライチェーンの「消費」の現場だ。

同工場の敷地は24万平方メートル。球場「エスコンフィールド北海道」の5個分の広さという。バターや脱脂粉乳、チーズ、ヨーグルトを製造する工場7棟が立ち並ぶ。LBMはタンクローリー車で運ばれてきて、十勝主管工場のLNG貯蔵タンク2本に注入している。同社総務部の船越英人部長は「LNGに対し、LBMは4—5%の比率で混合している」という。

十勝主管工場の広大な敷地には製品の加工に必要な熱を供給するボイラー棟もある。停電が起きて設備が停止すると製品が傷むため、自家発電機も欠かせない。



バイオガス圧縮機で吸蔵容器から降ろしたガスを0.85MPaまで昇圧させる



(上) メタンとCO₂の分離膜ユニット。高分子膜に対するメタンとCO₂の透過速度差を利用して分離する



冷却で配管が凍らないように水分とCO₂を除去するTSA吸収塔。
(右) はバイオメタン用の気化装置





よつば乳業十勝主管工場
総務部長の船越英人氏



製造したLBMはタンクローリーで輸送。メタンは液化することで容積を600分の1に圧縮でき、一度に大量輸送することができる



十勝主管工場のボイラ。LBMを燃料として活用

2018年の北海道胆振東部地震で広域停電が発生した時も、停電を免れた。

よつ葉乳業は酪農家が生産から流通まで手がける「農民資本の乳業会社」を掲げ、十勝管内の農協が設立した。原料は100%が道産だ。LBMの活用によって工場でするエネルギーの一部も地産地消にできた。

エア・ウォーター 来年から生産倍増

産業界からのニーズに手応え

ふん尿由来のLBMに注目する企業も増えてきた。大樹町のスタートアップ企業、インターステラテクノロジズは小型人工衛星搭載用ロケット「ZERO」の燃料として使う。帯広市内にあるパナソニックスイッチングテクノロジーは25年度から工場電力などに活用すると発表した。発電機の燃料としてだけでなく、バイオメタンから水素を製造し、CO₂フリー水素を電動車用リレー製品の材料としても活用する。これによりパナソニックは、27年度に帯広工場のCO₂排出量を半減する。

産業界からのニーズにエア・ウォーターも手応えを感じている。そこで「LBMプラントの稼働を最大能力まで引き上げる」（大坪氏）という。現在、2牧場から供給されるバイオメタンは1日当たり700—750立方メートル。液化メタンにすると約0.5トン。原料バイオメタンの調達先を拡大して、来年下半年から「LBMを日産1トン体制に倍増



地元の熱気球クラブ「十勝空旅団」などと共同でLBMを熱気球の燃料に活用する試みもスタート。従来のプロパンガスと併用し係留フライトを行った（9月5日、芽室町）

する」（同）方針だ。

現在、LNGの10—20倍という製造コストの引き下げにも着手する。「道内にLBMのセンター工場の新設を検討中」（同）とし、低コスト量産に向けて拠点輸送の仕組みを見直す。使用ニーズや牧場プラントからの距離によっては、液化せずに気体のバイオメタンを販売することも検討するという。

製造面では液体窒素の低量化技術にめどをつけた。同社は現在、約200キロメートル離れた苫小牧プラントから2—3日おきに液体窒素を輸送している。すでにセンター工場に新技術を適応済みであり、液化時の使用量を削減できることで液体窒素のコストも相対的に減らせる見込みだ。

フィールドワーク 中鹿追バイオガスプラント／しかおい水素ファーム

乳牛ふん尿由来のグリーン水素 ゼロカーボンの街づくり

グリーンフォーラム（藤井康正座長＝東京大学大学院工学系研究科教授）は、北海道・鹿追町がバイオマスの資源化を目的として整備したバイオガスプラントと、エア・ウォーターなどが設置した国内初となる乳牛ふん尿由来の水素製造拠点「しかおい水素ファーム」を視察するフィールドワークを実施した。酪農家の臭気対策に端を発したふん尿の発酵処理が地産地消型エネルギー、循環型農業、そして地域の脱炭素化へと拡大。日本有数の畑作・酪農地帯から、資源循環とともにゼロカーボンの街づくりが始まった。

"秘められたパワー"で資源循環

マンゴー栽培、チョウザメ養殖も

帯広市内から自動車ですら約1時間。大雪山国立公園の南麓に位置する鹿追町は、国内で初めて乳牛ふん尿由来水素の生産を始めた場所だ。鹿追町には、町が整備した「鹿追町環境保全センター 中鹿追バイオガスプラント」がある。発酵設備の設置が難しい酪農家において、町が臭気対策とバイオマス資源としての有効活用を目指して、家畜のふん尿を回収して集中処理することにした。現在、酪農家9軒からふん尿を集めている。

敷地内にトラックごと重量を計測できる設備がある。酪農家から運んできたふん尿の重さを測定する場所だ。ふん尿の発酵槽は箱型4基と円型2基。1日に乳牛1320頭分に相当する85.8トンのふん尿を発酵処理できる。処理過程で精製したバイオガスは100キロワットと190キロワットの2基のコージェネ発電機の燃料として利用し、600世帯分に当たる1日6000キロワット時を発電している。電気はプラント内で利用するほか、余った電力は売電している。

ボイラーの燃料としてもバイオガスを使っている。ボイラーがつくった温水は原料槽や発酵槽の保温、蒸気は発酵を終えた消化液の殺菌に活用している。

中鹿追バイオガスプラントは稼働直後から売電収入な



乳牛のふん尿からグリーン水素を作るしかおい水素ファーム

どで施設の維持費を賄っており、町からの予算支援はない。ふん尿の処理をバイオマスエネルギーで完結させているのが特徴だ。

敷地内に高い壁で囲まれた貯留設備がある。内側には、殺菌後の消化液が入っている。フタをしていないが、悪臭が消えていると分かる。

消化液は肥料として地域の農業に還元している。視察中、消化液を積んだタンクを大型トラクターがけん引して走行していた。

発電機の運転で生じる余剰熱も有効活用している。発酵槽の保温に使っても熱が余るため、サツマイモやマンゴーの栽培、チョウザメの養殖も始めた。チョウザメ飼



鹿追町が運営する環境保全センター中鹿追バイオガスプラント。
集中処理型としては国内最大規模



乳牛ふん尿を貯蔵する原料槽（中鹿追バイオガスプラント）



発酵槽は全部で6基。バイオガス生産量は
1日あたり約3000立法メートル以上



硫化水素や水分などが除去されたバイオガス
が貯留されたゴム製バルーン



コージエネ発電機で発電された電気
はプラント内で利用。余った電気は
電力会社へ売電する

育は行政として取り組むのは珍しい。食肉と高級食材であるキャビアの量産化とブランド化につなげる。また、北海道で南国産のフルーツを育てるにはハウスの暖房が必要だが、排熱のおかげで燃料費がかからない。それだけでなく、国産マンゴーが出回らなくなる12月に収穫し、付加価値も付けている。



メタン発酵後の消化液は液体有機肥料として活用（消化液貯留槽）

グリーン水素活用 新たな産業創出も視野

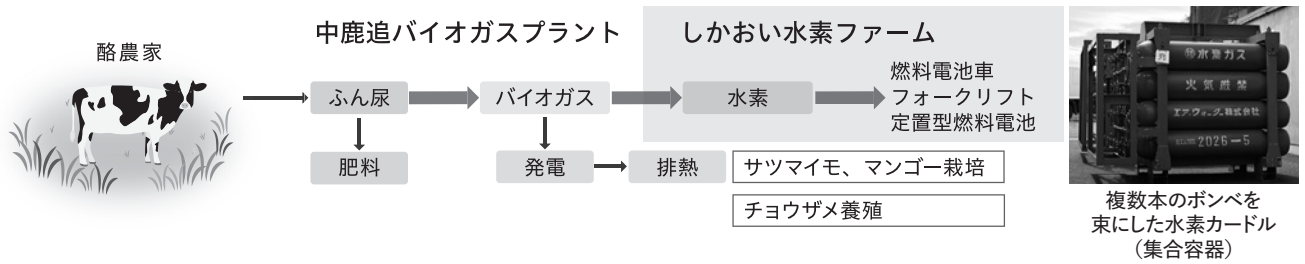
家畜ふん尿で「一石五鳥」

敷地の奥には、エア・ウォーターと鹿島が設置した「しかおい水素ファーム」がある。バイオガスプラントが供給したバイオガスから二酸化炭素（CO₂）を分離してメタンを生成。そのメタンと水蒸気から触媒反応によって水素を生産している。純度は99.97%以上。生産能力は年50万立方メートル。家畜ふん尿由来の水素製造は国内初だ。水素と一緒に生み出されるCO₂は、家畜のエサである牧草が光合成により大気から吸収しているためカーボンニュートラルだ。



バイオガスプラントの副産物である余剰熱エネルギーは
チョウザメ養殖（上）やマンゴー栽培に活用されている





バイオガス精製設備で抽出されたメタンガスは触媒環境下で水蒸気と反応させて水素を発生させる。(右は水素貯蔵設備、左は水素製造装置)



水素を高圧のまま貯蔵する蓄圧器ユニット



公用車や民間のFCV、FCフォークリフトなどに水素を供給している（水素ディスプレイセンサー）



しかおい水素ファームに併設された水素ステーション

ファーム内には水素を充填した赤いタンクが並ぶ。使用量が多い場所には、複数本のボンベを束にしてガス取り込み口が集約されたカードルと呼ばれる容器で提供される。

水素ステーションも併設している。町によると公用車10台、民間13台の燃料電池車（FCV）が利用している。乳牛1頭のふん尿23トンで、FCVが約1万キロメートル走行できる約80キログラムの水素を生み出せる。一般家庭における自家用車の平均的な年間走行距離に匹敵する量だ。

FCV以外にも、燃料電池フォークリフトや定置型燃料電池にも水素を供給している。今後、各地に水素ステーションができれば、しかおい水素ファームから水素を供給

できる。しかも、化石資源から製造した水素ではない「グリーン水素」だ。

燃料電池搭載トラクターも普及すれば、農業に関連したエネルギーも地産地消にできる。また、定置型燃料電池を設置する公共施設が増えればCO₂削減にとどまらず、停電時にも電気と熱を利用できる災害拠点となる。

ふん尿は発酵によって悪臭を抑え、肥料となって農業の生産性を高める。化学肥料も減らせる。液化バイオメタン（LBM）や水素として利用すれば化石燃料代替となって脱炭素に取り組める。防災拠点も整備できる。さらに熱の利用によるハウス栽培によって、地域に新たな産業を興せる。鹿追町は「一石五鳥」と数々のメリットを紹介している。

フィールドワーク ホンダ・モビリティリゾートもてぎ

『人』と『データ』で持続可能な森づくり よみがえる『里山』 生物5800種共生

グリーンフォーラム(藤井康正座長=東京大学大学院工学系研究科教授)は、ホンダが所有する「モビリティリゾートもてぎ」(栃木県茂木町)を視察するフィールドワークを実施した。同施設はモータースポーツだけでなく、大自然の中でアスレチックや多彩なアクティビティが楽しめる森の中のリゾート。モビリティと人と自然が共生するテーマパークとして1997年の開業以来、サーキットを取り囲む荒廃した里山を再生し、生物多様性を意識した森づくりが行われてきた。2023年には環境省の定める生物多様性の保全区域「自然共生サイト」として認定。東京ドーム137個分の広大な敷地は、希少種を含む約5800種類の生物種が息息する豊かな生態系が維持されている。

ホンダ、豊かな生態系維持 広大な敷地内に森再生

モビリティリゾートもてぎは、JR宇都宮駅からクルマで1時間の距離、茨城県との県境に位置する。車中、市街地を抜けると車窓が農村から溪谷へと変わった。この先にモーターレースが開催される世界規格のサーキット場があるとは思えない。

溪流沿いを走りゲートをくぐると、モビリティリゾートもてぎだ。敷地内にはサーキット場のほか、ホテルやキャンプ場、アスレチック施設、レストランなどが点在する。休日を家族連れで過ごせる空間であり、レース開催日以外も来場者が絶えない。モビリティリゾートもてぎはホンダのグループ会社「ホンダモビリティランド」が運営する。F1で有名な鈴鹿サーキットも同社の運営だ。

来場者が思い思いに楽しむ場所から坂道に入ると景色が一変し、すぐに山道になった。想像以上に急勾配だ。道は左右に折れながら続く。あいにくの雨だったが、木を砕いたチップが敷かれており、ぬかるんだ地面に足を取られることはなかった。道の両脇には背の高い木があり、低い位置にも葉を茂らせた木々がある。太陽光がしっかりと地面まで届いている証拠だ。

下り終え視界が開けると棚田が広がっていた。ちょうど



環境省の自然共生サイトに認定されたモビリティリゾートもてぎ

モビリティリゾートもてぎの自然共生サイト認定区域



敷地面積は約640ヘクタール。
確認されている生物種は5800種にのぼる(出典:ホンダ)



絶滅が危惧されているハッチョウトンボの
保護活動も進む(写真提供:ホンダ)



適度な間伐によって森に光を取り込むことで
草花の環境保全を図っている(秋咲きのノアザミ)



2000年に開業した
自然体験施設「ハローウッズ」



ハローウッズの森には遊歩道が敷かれているため、
森林浴と同時に自然散策を楽しめる



ハローウッズの森ではさまざまな表情のオリジナル
キャラクター「木人(こびと)」が出迎えてくれる

収穫が終わっており、稲わらが干されていた。斜面に挟まれた風景は日本の田舎であり、そこが企業の敷地であることを忘れさせる。しかし、この棚田は稲作のためのものではない。生きものを保全させることが目的だ。

ホンダがサーキット場開発のために森を取得した当時は休耕田だった。生え放題だった草木を間引いて光が差し込むようにし、水を張って水田を復元させると生物が戻ってきた。

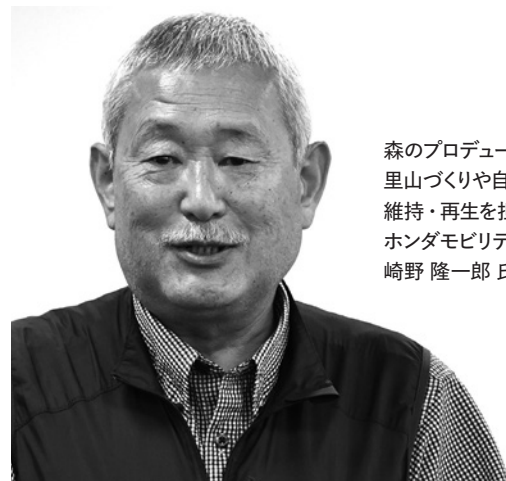
ハッチョウトンボ 貴重な生息地

小さな立て看板にカエル7種が生息していると紹介されている。日本一小さなトンボのハッチョウトンボも確認されている。他にも初夏はゲンジボタルやヘイケボタル、秋はオオカマキリ、冬にはトリのキセキレイがやって来る。農薬も化学肥料も使っていない証拠だ。

ホンダモビリティランドで“森のプロデューサー”として指揮を振るう崎野隆一郎さんによると、伐採した木を炭にする時に排出される木酢液を農薬代わりに使っているという。

また、水田のそばには先が「T字」になった木の棒が立っていた。古い電柱のようだが、これはオオタカを呼び込むために設置した止まり木だという。オオタカはコメを食べに来るスズメを撃退してくれる。「江戸時代の文献を見て再現した」(崎野さん)という。

前身のツインリンクもてぎが開業した1997年から「森の再生」が始まった。敷地は640ヘクタール。東京ドームの137個分に相当する。取得当初は暗い森だった。放置された木々が密集し、地面に光が届かなくなっていた



森のプロデューサーとして
里山づくりや自然環境の
維持・再生を担当する
ホンダモビリティランドの
崎野 隆一郎 氏



山道には草本類や低い位置にも葉を茂らせた木々があり、太陽光が地面まで届いている

ためだ。木を切って間引きし、明るい森に変えた。

2000年、自然体験施設「ハローウッズ」を開業した。屋根が左右に広がったたたずまいが印象的な「ハローウッズクラブハウス」は、建物も内装も木でできている。外で飲食ができる開放的な空間があり、自然との一体感があふれる。敷地内の森の保全を「ハローウッズ活動」と名付けた。ホンダでは、各地の工場や研究所でも、緑地保全活動を推進している。

棚田の見学を終え、来た道とは違う山道を上った。途中、板で囲った落ち葉のプールが設置されていた。微生物やカブトムシの幼虫のすみかになるという。

木で囲った大きな樽のようなものは「生命の塔^{いのち}」。アスレチックの遊具と思ったら、内部に落ち葉が積もっている。森の生物たちの命を育む隠れ家的な観察設備であり、集まった虫や微生物によって分解され、落ち葉が減っ



休耕田を復活させた「ハッチョウトンボの棚田」。稲作用ではなく、生きものを保全することが目的だ



自然水路が注ぐ溜池。絶滅危惧のゲンゴロウなど多様な水生生物が生息している

ていく様子が分かる。

「哺乳類研究室」と呼ばれる小さな建物もある。壁に小さな穴があり、アカネズミが室内と外を自由に行き来できるようにになっている。また室内には、ニホンウサギやホンダギツネの骨格標本も展示されている。どちらも森に生息していたという。

さらに山道を進み、開けた場所に出るとロープにつり下がって滑走できるジップラインが整備されており、高い視点から森を観察できる。向こうの山を見通せるデッキもあり、条件が整った早朝は、雲海を見渡せるという。

芽が出ている切り株をいくつか見せてもらった。伐採後、残した切り株や根元から出た芽を育て、新たな樹林にする「萌芽更新」を森の再生に採用しているという。

生物多様性データを提供 大学・自然保護協会と連携

生え放題だった木々を伐採して沢も整備されている。低い場所には池のように水がたまっており、さまざまな生物が生息するビオトープとなっている。近くには「水生生物研究室」が設置され、数の少なくなった水生昆虫を



広大な森がサーキット（モビリティリゾートもてぎ）を取り囲む。
コースの奥には日本の原風景と呼べる空間が広がっている



棚田（水田）の止まり木で撮影された鷹の仲間のサシバ。
絶滅危惧種の渡り鳥にとっても子育てできる環境が
保全されている（写真提供：ホンダ）



伐採で生じた丸太や枝を組み上げて作られた
「生命の塔」。中には落ち葉が入っていて
森の生物たちの命を育む隠れ家となっている



アカネズミ（写真右=ホンダ提供）が遊びにやってくる哺乳類研究室。
自由に行き来できるようにしている



増やす研究が行われている。建物内では希少な生物や水田生態系の食物連鎖を観察することも可能だ。

森の中には遊歩道が敷かれているため、森林浴と同時に自然散策を楽しめるハローウッズ。山を一周した感覚だが、実際は起伏に富む広大な森のごく一部に過ぎない。

健全で災害に強い森を維持

崎野さんの説明によると現在、モビリティリゾートもてぎで確認できる生物は約5800種。森の取得当初は4800種だった。モニタリング回数を重ねる中で生息が認知できた種もあるが、手入れのおかげで発芽した種もあるようだ。生物多様性に富んでおり、森が健全になった。

植物のうちクヌギやコナラなどの広葉樹が54%を占める。昔から薪や炭として使われた樹木だ。木材利用が多い針葉樹のスギやヒノキは30%。「里山林」であることに加え、草地や棚田、水辺があり、そこには多様な生

き物が生息しており、中には希少種も生息する。崎野さんは「わざとヤブを残した。生き物の隠れる場所にするためだ。生物にはストレスが一番、悪い」と生物と共生する工夫を明かす。

崎野さんは人の手が入ることの大切さを繰り返し強調する。人の生活が近くにあり、薪や木材などで適度に利用されてきた自然は「里山」と呼ばれる。日本の原風景と言える空間だ。

逆に放置すると植物が育って木々が密集して荒廃する。「3年放置すると元の荒れ果てた姿に戻る」（崎野氏）というように、草花が減り、鳥や虫がいなくなって生物多様性が失われていく。さらに木の幹は細くなり、根の張りも弱くなるので大雨で土壌が流されやすくなって災害リスクも高まる。

健全で災害に強い森を維持するには、常に人の手が入る仕組みづくりが重要になる。ハローウッズの森は毎年、場所を変えながら伐採を続けている。ただし、敷地は広大であり、起伏もあって整備は大変だ。



そこで「持続可能な森づくり」のために「人」と「データ」を重視する方針を固めている。「人」は、森づくりに関わる人材育成だ。ハローウッズの森では、一般の人にも森づくりに参加してもらおうと2003年から「森づくりワークショップ」を開いている。参加者はチェーンソーによる伐採や枝打ち、草刈りなどを体験できる。参加は有料だが100人超が登録するほど人気だ。「作業がストレス発

散にもなっている」(同)と語るように、心身の癒やしも自然の恩恵の一つ。崎野さんたちにとって参加者は、森の手入れを手伝ってもらえる貴重な人材となっている。

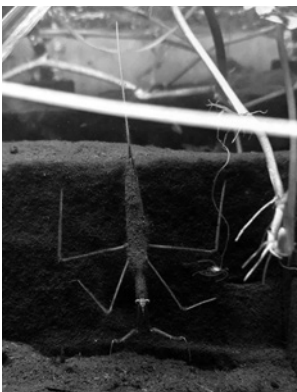
生態系観察・人材育成など 多面的に研究・活動

「データ」でいえば、木を伐採した記録を残している。また08年からは、日本自然保護協会による「モニタリングサイト1000里地調査」に協力して生物のデータを提供している。これらを継続することで長期的な変化をつかめ、全国のデータとの比較で自分たちの森を客観的に評価できるという。

加えて25年計画の「森林経営計画施業」を展開している。ハローウッズの森では萌芽更新を進めているが、全体として樹木の高齢化が進み、年齢や高さの似た単層林になっている。こうした状態は、健全性が失われるだけでなく、樹木が成長過程で吸収する二酸化炭素(CO₂)量が減少する。また、樹木の状態だと吸収し



ホンダの青木健康環境企画部長



水生生物研究室では個体数が減少した水生昆虫類の生態を観察できる
(右:アズマヒキガエル、左:ミズカマキリ)



生え放題だった木々を伐採して沢を整備。
個体数が減少した水生昆虫を増やす研究も行われている



たCO₂を「固定化」した状態だが、枯れると固定量も減ってしまう。

計画では樹種を増やすだけでなく、さまざまな樹齢や樹高の木が育つ針広混交林にしていく。低い位置にも低木やシダのように1年から数年で枯れる草本植物を育て、豊かな森にする。根が網のように張り巡らされ、雨で土壌が流されにくくなる。また、敷地内に多様な森が生まれるので、それぞれの環境を好む生き物が生息し、生物多様性の豊かさが増す。

ハローウッズの森は研究面でもさまざまな活用がなされ、多面的な価値を提供している。例えば、日本体育大学の野井真吾教授と連携し、自然体験が子どもたちの心身にもたらす効果を評価している。「30泊31日」の長期キャンプがあり、参加した子どもの睡眠や排便、唾液、血液などを07年から継続的に調査している。

また、宇都宮大学とも連携して敷地内で捕獲したイノシシにGPSを装着し、行動を追跡する調査も実施した。日本各地のイノシシ被害の対策になるデータを得られると期待する。

環境省「自然共生サイト」に認定

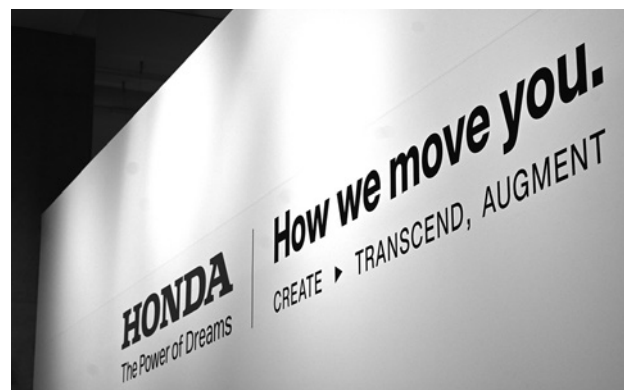
23年には環境省から、生物多様性が守られている緑地を認定する「自然共生サイト」に選ばれた。30年までに陸と海の30%を保護地域もしくはOECM（行政の保護地域以外で生物多様性に貢献する地域）とする世界目標があり、同省は民間の緑地も活用して目標を達成しようと自然共生サイトを制度化した。認定によってハローウッズの森は日本の目標達成に貢献できる。さらに、OECM



環境企画部の湧井正之氏

として国際データベースに登録された。24年には同社の埼玉製作所完成車工場（埼玉県寄居町）の緑地も自然共生サイトに認定された。

ハローウッズの森は、四半世紀にわたる活動が国内外で認められた。崎野さんは「今まで以上に注目されるようになった」と胸を張る。ただし、満足していない。持続可能な森づくりを目指し、次の四半世紀に目を向けて活動が続いている。





2024年度委員

座長

藤井 康正 東京大学 大学院工学系研究科 教授

学界委員

秋元 圭吾 地球環境産業技術研究機構(RITE) 主席研究員 東京科学大学 特任教授
竹内 純子 国際環境経済研究所(IEEI) 理事 東北大学 特任教授

名誉顧問

茅 陽一 地球環境産業技術研究機構(RITE) 顧問 東京大学 名誉教授

産業界委員

武内 幸祐 エア・ウォーター(株) カーボンニュートラル推進室 戦略企画部長
中戸 靖 大阪ガス(株) 企画部 サステナビリティ推進室長
山戸 昌子 トヨタ自動車(株) CN開発センター チーフプロフェッショナルエンジニア
稲垣 孝一 日本電気(株) サプライチェーンサステナビリティ経営統括部 上席プロフェッショナル
下野 隆二 パナソニックホールディングス(株) 渉外本部 環境部長
青木 健 本田技研工業(株) 経営企画統括部 環境企画部長

資源・循環技術委員会 委員長

水戸部 啓一 国際環境経済研究所(IEEI) 理事

本社委員

鈴木 真央 日刊工業新聞社 執行役員 編集局長

(敬称略、順不同)
(役職名は当時)

グリーンフォーラム関係諸機関

公益財団法人地球環境産業技術研究機構

東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-11-4 日土地西新橋ビル8F
TEL: 03-5510-2591 FAX: 03-5510-2592

本 部 〒619-0292 京都府木津川市木津川台9-2
TEL: 0774-75-2300 (代表) FAX: 0774-75-2314 (代表)
・企画調査グループ 0774-75-2301、0774-75-2302
・システム研究グループ 0774-75-2304 ・バイオ研究グループ 0774-75-2308
・化学研究グループ 0774-75-2305 ・CO2貯留研究グループ 0774-75-2309

東京大学 藤井研究室

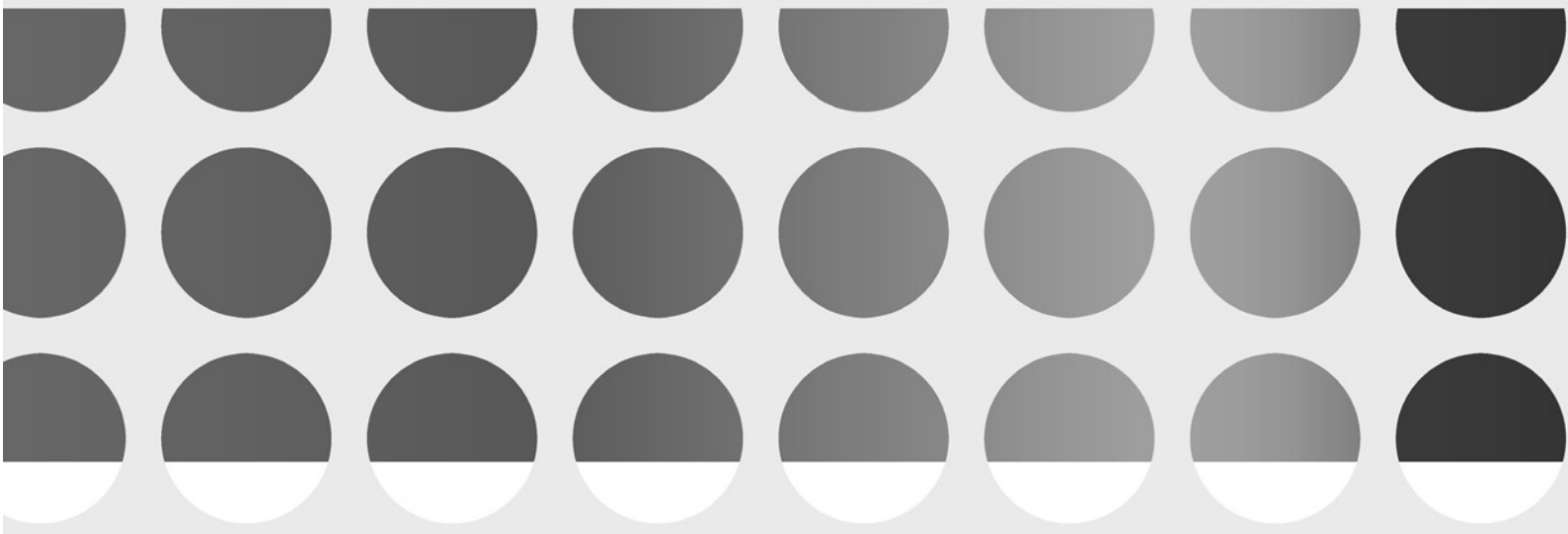
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学 工学部8号館

日刊工業新聞社 産業研究所

〒103-8548 東京都中央区日本橋小網町14-1
TEL: 03-5644-71131 FAX: 03-5644-7294

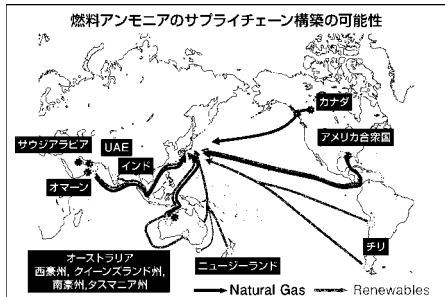


2023年度 活動報告紙面





水素・アンモニアの動向



2020年10月、トヨタと三菱重工が、水素・アンモニアを燃料とする燃料電池車（FCV）の開発に共同で取り組むことを発表。その後、トヨタと三菱重工は、水素・アンモニアを燃料とする燃料電池車（FCV）の開発に共同で取り組むことを発表。その後、トヨタと三菱重工は、水素・アンモニアを燃料とする燃料電池車（FCV）の開発に共同で取り組むことを発表。



クリーン燃料アンモニアのバリエーション構築に向けた取り組み
 クリーン燃料アンモニア
 協会会長 代表理事
村木 茂氏

日米パートナーシップで安定調達

日米パートナーシップで安定調達。水素・アンモニアの供給を確保するため、日米両国が協力して生産と輸送のネットワークを構築する。これは、エネルギー安全保障の観点から重要な取り組みと見られている。

村木氏は、水素・アンモニアの供給を確保するため、日米両国が協力して生産と輸送のネットワークを構築する。これは、エネルギー安全保障の観点から重要な取り組みと見られている。

燃料アンモニアのサプライチェーン構築の可能性。再生可能エネルギーを活用したアンモニアの生産は、持続可能なエネルギー源として期待されている。

意見交換

新たな低コスト化スキーム必要

水素・アンモニアの低コスト化スキームの構築が急務とされている。政府と産業界が協力して、新たなスキームを開発する必要がある。

水素・アンモニアの供給を確保するため、日米両国が協力して生産と輸送のネットワークを構築する。これは、エネルギー安全保障の観点から重要な取り組みと見られている。

産業貢献へ大規模サプライチェーン構築 必須

水素・アンモニアの供給を確保するため、日米両国が協力して生産と輸送のネットワークを構築する。これは、エネルギー安全保障の観点から重要な取り組みと見られている。

| 23年度委員 (敬称略) | |
|------------------|---|
| 座長 | 東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻教授 藤井 康正 |
| 産業界委員 | 野中 利幸 (理任 常任理事 経営企画担当 サステナビリティ/イノベーション戦略グループ) |
| 学界委員 | 山戸 昌子 (トヨタ自動車 CN先端開発センター 環境エンジニアリング部 部長) |
| 名譽顧問 | 秋元 圭吾 (地球環境産業技術研究機構 主要研究員) |
| 産業界委員 | 野下 隆二 (日本電気 環境・品質統括部 シニアプロフェッショナル) |
| 産業界委員 | 青木 健 (パナソニックホールディングス 海外事業 環境部 部長) |
| 産業界委員 | 武内 幸祐 (エア・ウォーター 経営企画室 SDGs推進 グループ長) |
| 産業界委員 | 林 由起子 (大阪ガス 企画部 ESG推進室長) |
| 資源循環技術委員長 | 水戸部 啓一 (国際環境経済研究所 理事) |
| 本社委員 | 井上 渉 (日刊工業新聞社 取締役 本社編集局長) |

“学生起業家の登竜門”

CVG -2023 キャンパスベンチャーグランプリ

キャンパスベンチャーグランプリ (CVG) は1999年に大阪で開催したのが始まりです。現在、全国8地域 (北海道、東北、東京、中部、大阪、中国、四国、九州) で展開する学生ビジネスプランコンテストです。

キャンパスベンチャーグランプリ出場をきっかけに起業して活躍している先輩も多く、“学生起業家の登竜門”として知られています。地域大会を勝ち上がった学生は「全国大会」で「経済産業大臣賞」「文部科学大臣賞」を目指します。次に栄冠を手にするのは、あなたかも知れません。

全国各地で開催！

はじめの一步は “変えたい” と感じる気持ち

思いつく事が起業への一歩です。キャンパスベンチャーグランプリは、皆さんの「はじめの一步」になりたいのです。

詳細・応募はこちら

東京大会

募集中！

北海道大会

9月1日より募集開始！

中国大会

9月1日より募集開始！

四国大会

9月1日より募集開始！

東北大会

9月1日より募集開始！

大阪大会

9月1日より募集開始！

今年度 第1回事例研究会

グリーンフォーラム(藤井康正座長=東京大学大学院工学系研究科教授)は、7月6日に2023年度第1回事例研究会を開催した。テーマは「水素・アンモニアの動向」。



規制・支援一体型推進策の政府支援イメージ

■各分野が得る事業・リスクや事業展開に応じて、適切な規制・支援を一体的に措置することで、民間企業の投資を引き出し、150兆円規模の官民投資を目指す。「脱炭素×成長の呼び水」「ただの補助金」

| 約6兆円 | 約12兆円 | 約30兆円 | 約80兆円 | 約150兆円 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 非化石エネルギーの推進 | 約6兆円 | 約12兆円 | 約30兆円 | 約150兆円 |
| 再生可能エネルギーの大規模導入 | 水素・アンモニアの需要拡大支援 | 製造業の省エネ・燃料転換 | 製造業の省エネ・燃料転換 | 製造業の省エネ・燃料転換 |
| 再生可能エネルギーの大規模導入 | 再生可能エネルギーの大規模導入 | 再生可能エネルギーの大規模導入 | 再生可能エネルギーの大規模導入 | 再生可能エネルギーの大規模導入 |

脱炭素の推進は、エネルギーの供給と需要の両面から進める必要がある。再生可能エネルギーの大規模導入は、電力供給の安定性を確保し、水素・アンモニアの需要拡大は、産業部門での脱炭素を促進する。政府は、規制と支援を一体的に実施し、民間企業の投資を引き出し、150兆円規模の官民投資を目指す。

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向

資源エネルギー庁 省エネ 水素・燃料電池戦略室長 安達知彦氏



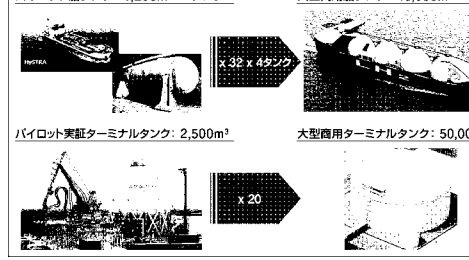
GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向について、資源エネルギー庁 省エネ 水素・燃料電池戦略室長 安達知彦氏が講演した。GXとは、気候変動対策とエネルギー安全保障を両立させることを目指す政策である。水素とアンモニアは、GX実現に向けた重要なエネルギー源として注目されている。

「脱炭素×成長」へ規制・支援一体的に措置

脱炭素と成長を両立させるためには、規制と支援を一体的に実施することが重要である。政府は、再生可能エネルギーの大規模導入を促進し、水素・アンモニアの需要拡大を支援する。また、製造業の省エネ・燃料転換を促進し、産業部門での脱炭素を推進する。

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向について、資源エネルギー庁 省エネ 水素・燃料電池戦略室長 安達知彦氏が講演した。GXとは、気候変動対策とエネルギー安全保障を両立させることを目指す政策である。水素とアンモニアは、GX実現に向けた重要なエネルギー源として注目されている。

機器の大型化



国際水素サプライチェーン実現に向けた川崎重工の取り組み

川崎重工は、国際水素サプライチェーンの実現に向けた取り組みを進めている。液化水素の海上輸送を完了し、世界初の液化水素海上輸送を実現した。これは、GX実現に向けた重要な一歩である。

世界初の液化水素海上輸送を完了

川崎重工は、世界初の液化水素海上輸送を完了した。これは、GX実現に向けた重要な一歩である。液化水素の海上輸送は、GX実現に向けた重要な課題であり、川崎重工は、この課題を克服するために取り組んでいる。

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向について、資源エネルギー庁 省エネ 水素・燃料電池戦略室長 安達知彦氏が講演した。GXとは、気候変動対策とエネルギー安全保障を両立させることを目指す政策である。水素とアンモニアは、GX実現に向けた重要なエネルギー源として注目されている。

環境が企業価値向上のカギ

環境が企業価値向上のカギとなる。企業は、環境対策を推進し、持続可能な成長を実現する必要がある。グリーンフォーラムは、企業価値向上のためのプラットフォームを提供している。

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向

GX実現に向けた水素アンモニア政策の動向について、資源エネルギー庁 省エネ 水素・燃料電池戦略室長 安達知彦氏が講演した。GXとは、気候変動対策とエネルギー安全保障を両立させることを目指す政策である。水素とアンモニアは、GX実現に向けた重要なエネルギー源として注目されている。



日刊工業新聞社 日刊工業産業研究所
〒103-8548 東京都中央区日本橋小町14-1 TEL: 03-5644-7113 FAX: 03-5644-7294

エア・ウォーター/NEC/大阪ガス/東レ/トヨタ自動車/
パナソニックホールディングス/ホンダ (2023年度会員)

GREEN FORUM

クライメート・ファイナンス

トランジション・ファイナンスの国内動向

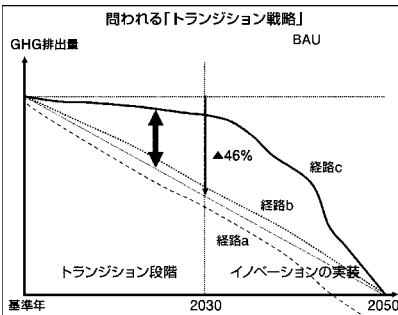
日本政策投資銀行
設備投資研究所長

竹ヶ原啓介氏



「トランジション・ファイナンス」の定義は、気候変動対策の観点から、化石燃料由来の排出削減と再生可能エネルギーの導入を促進する金融手段を指す。日本政策投資銀行（JICA）は、この分野での国内動向について、設備投資研究所長の竹ヶ原啓介氏に話を聞いた。

竹ヶ原氏は、トランジション・ファイナンスの定義を「気候変動対策の観点から、化石燃料由来の排出削減と再生可能エネルギーの導入を促進する金融手段」と説明し、その重要性を強調した。また、日本政府が「2050年カーボンニュートラル」を掲げ、再生可能エネルギーの導入を促進していること、そして、民間企業への投資を促進していることについても触れた。



脱炭素移行 地域への投資波及カギ

脱炭素移行は、単に気候変動対策のために行われるのではなく、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。竹ヶ原氏は、脱炭素移行が地域経済に与える影響について、以下のように述べた。

「脱炭素移行は、単に気候変動対策のために行われるのではなく、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。また、再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。また、再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。」

脱炭素移行は、単に気候変動対策のために行われるのではなく、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。竹ヶ原氏は、脱炭素移行が地域経済に与える影響について、以下のように述べた。

「脱炭素移行は、単に気候変動対策のために行われるのではなく、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。また、再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。また、再生可能エネルギーの導入は、地域経済の活性化や雇用の創出にもつながる。」

意見交換

産業競争力拡大・排出削減の両立重要

秋元重貴氏は、日本の産業競争力を拡大しながら、同時に排出削減を実現することが重要であると述べた。彼は、再生可能エネルギーの導入を促進し、産業競争力を高める必要があると述べた。

「日本の産業競争力を拡大しながら、同時に排出削減を実現することが重要である。再生可能エネルギーの導入を促進し、産業競争力を高める必要がある。」

気候変動対策、「適応」ファイナンス 今後の課題

気候変動対策として、排出削減だけでなく「適応」ファイナンスも重要な役割を果たす。竹ヶ原氏は、適応ファイナンスの重要性について、以下のように述べた。

「気候変動対策として、排出削減だけでなく「適応」ファイナンスも重要な役割を果たす。適応ファイナンスは、気候変動による被害を軽減し、社会のレジリエンスを高めるために必要である。」



この会議では、気候変動対策に関する課題や、適応ファイナンスの重要性について話し合われた。参加者は、再生可能エネルギーの導入を促進し、産業競争力を高める必要があると述べた。

「この会議では、気候変動対策に関する課題や、適応ファイナンスの重要性について話し合われた。参加者は、再生可能エネルギーの導入を促進し、産業競争力を高める必要があると述べた。」

ウェブでニュースは
いかがですか？



ニュースイッチ
NEWSWITCH
http://newswitch.jp/

■ ニューススイッチとは？
日刊工業新聞社のニュースをはじめとするコンテンツを、もっと新鮮に、楽しみやすくお届けするサイトです。少し深い、面白いニュースをわかりやすく、または詳しく、話題のニュースから、小さいけれどちょっと面白いニュースを幅広く読者へ。そしてニュースを起点に、コミュニティを少しずつ作っていただけたらと考えています。

■ 独自のテーマ
ニュースイッチ編集部が独自に企画・取材した特設記事をはじめ、新聞とは一味違う切り方でニュースをお伝えします。

■ 記者が記事添字・コメントをプラス
日刊工業新聞の記者がテーマごとに気になる記事を紹介し、コメント、記事や取材背景を解説します。

第2回事例研究会

グリーンフォーラム(藤井康正所長=東京大学大学院工学系研究科教授)は、1月26日に第2回事例研究会を東京都中央区の日刊工業新聞本社社内で開催した。テーマは「クライメイト・ファイナンス」で、活発な議論が展開された。



クライメイト・トランジション・ファイナンスの最近の動向

経済産業省
産業技術革新推進官 G-X推進課長
石川 なな子氏



脱炭素投資 G-X移行債呼び水に拡大

脱炭素投資の移行債は、日本政府の脱炭素目標達成に向けた重要な役割を果たしている。G-X移行債は、気候変動対策と経済成長を両立させるための重要な金融手段として注目を集めている。石川氏は、G-X移行債の発行が、脱炭素投資の呼び水となり、気候変動対策の加速に貢献していることを強調した。

「クライメイト・トランジション・バンド・フレームワーク」の概要
＜調達資金使途の分類について＞

| 大分類 | 適格クライテリア | 代表的な資金使途(連結集約) |
|--------------------------|---|---|
| 1 エネルギー効率 | 省エネ設備の導入、省エネ設備の更新、省エネ設備の保守・点検 | 省エネ設備の導入、省エネ設備の更新、省エネ設備の保守・点検 |
| 2 再生可能エネルギー | 再生可能エネルギーの導入、再生可能エネルギーの設備の保守・点検 | 再生可能エネルギーの導入、再生可能エネルギーの設備の保守・点検 |
| 3 低炭素・脱炭素エネルギー | 低炭素・脱炭素エネルギーの導入、低炭素・脱炭素エネルギーの設備の保守・点検 | 低炭素・脱炭素エネルギーの導入、低炭素・脱炭素エネルギーの設備の保守・点検 |
| 4 クリーンな運輸 | クリーンな運輸の導入、クリーンな運輸の設備の保守・点検 | クリーンな運輸の導入、クリーンな運輸の設備の保守・点検 |
| 5 環境適応・環境に配慮した生産技術及びプロセス | 環境適応・環境に配慮した生産技術及びプロセスの導入、環境適応・環境に配慮した生産技術及びプロセスの設備の保守・点検 | 環境適応・環境に配慮した生産技術及びプロセスの導入、環境適応・環境に配慮した生産技術及びプロセスの設備の保守・点検 |
| 6 生物多様性及び土地利用 | 生物多様性及び土地利用の導入、生物多様性及び土地利用の設備の保守・点検 | 生物多様性及び土地利用の導入、生物多様性及び土地利用の設備の保守・点検 |

脱炭素投資の移行債は、日本政府の脱炭素目標達成に向けた重要な役割を果たしている。G-X移行債は、気候変動対策と経済成長を両立させるための重要な金融手段として注目を集めている。石川氏は、G-X移行債の発行が、脱炭素投資の呼び水となり、気候変動対策の加速に貢献していることを強調した。

クライメイト・ファイナンスの国際動向

三菱UFJリサーチ&コンサルティング
サステナブルフェロー
吉高まり氏



イスラム金融 確実に環境投資に浸透

イスラム金融は、環境投資に積極的に取り組んでいる。環境に優しいプロジェクトへの資金提供を通じて、気候変動対策に貢献している。吉高氏は、イスラム金融の成長が、環境投資の拡大に大きく貢献していることを指摘した。

国内外の民間金融機関の動き-ファイナンスの定量的目標を設定

| 金融機関名 | サステナブルファイナンス目標の概要 |
|------------------|---|
| バンク・オブ・アメリカ | 2030年までに1.4兆ドルのサステナブルファイナンス目標を設定。うち1兆ドルは気候変動対策とサーキュラーエコノミーに投資 |
| パークレイズ | 2018～2025年の間に合計1,500億ドルを社会・環境・サステナビリティ関連分野に投資 |
| シティバンク | 2030年までに5,000億ドルを環境分野、5,000億ドルを環境分野以外のSDGsに投資 |
| ゴールドマン・サックス | 2030年までに7,500億ドルを投じるサステナブルファイナンス目標を設定 |
| HSBC | 2020～2030年の間に7,500億～1兆ドルのファイナンスを提供し、気候変動対策の低炭素移行に貢献 |
| みずほフィナンシャルグループ | 2019～2030年度までのサステナブルファイナンス目標を累計100兆円(うち気候変動対策対応ファイナンス50兆円)に設定 |
| 三井住友フィナンシャルグループ | 2020～2029年度までのサステナブルファイナンス目標を累計50兆円(うちグリーンファイナンス20兆円)に設定 |
| 三菱UFJフィナンシャルグループ | 2019～2030年度までのサステナブルファイナンス目標を累計100兆円(うち気候変動対策50兆円)に設定 |

イスラム金融は、環境投資に積極的に取り組んでいる。環境に優しいプロジェクトへの資金提供を通じて、気候変動対策に貢献している。吉高氏は、イスラム金融の成長が、環境投資の拡大に大きく貢献していることを指摘した。

環境が企業価値向上のカギ

日刊工業新聞社が主宰する「グリーンフォーラム」は、産業界として地球環境保全に取り組むことを目的として1991年に設立された研究会です。有識者や行政関係者らの協力を得て、環境情報の収集・調査・研究、新聞やインターネットによる情報発信、環境事業の広報のサポートなどを展開しています。「環境が企業価値向上のカギ」を掲げて活動し、低炭素・循環型の経済社会システム構築の推進を目指しています。



日刊工業新聞社 日刊工業産業研究所
〒103-8548 東京都中央区日本橋小町14-1 TEL: 03-5644-7113 FAX: 03-5644-7294

エア・ウォーター/NEC/大阪ガス/東レ/トヨタ自動車/パナソニックホールディングス/ホンダ (2023年度会員)

地上の太陽 フュージョンエネルギー

「核融合」開発の最前線と課題 〈実用化への道のり〉

東京大学大学院 新領域創成科学研究科教授

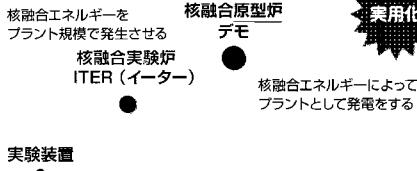
山田弘司氏



「核融合はいつ実現するのですか？」
 「核融合はいつ実現するのですか？」という問いは、核融合エネルギーの最大の課題である。核融合エネルギーは、地球上に豊富に存在する水素を原料として、太陽の中心部で行われているような核融合反応を利用してエネルギーを生み出す。その利点は、燃料が豊富で、放射性廃棄物の発生が少なく、CO2の排出がゼロであることである。しかし、核融合反応を地球上で実現するには、数億度の高温と高い圧力が必要であり、その実現には多くの技術的課題がある。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

「核融合はいつ実現するのですか？」

「核融合プロジェクト」という批判



あちら側 — 彼我の距離 — こちら側

超高温・連続反応…未到5課題に挑む

核融合エネルギーの実用化には、超高温・連続反応の達成が最大の課題である。核融合反応は、数億度の高温と高い圧力が必要であり、その実現には多くの技術的課題がある。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

核融合エネルギーの実用化には、超高温・連続反応の達成が最大の課題である。核融合反応は、数億度の高温と高い圧力が必要であり、その実現には多くの技術的課題がある。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

意見交換

専門人材の戦略的育成 国際連携重要

秋元重典氏は、世界中のSTI計画を進めている動きが、非営利組織の育成に必要である。核融合エネルギーの実用化には、専門人材の育成が不可欠である。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

秋元重典氏は、世界中のSTI計画を進めている動きが、非営利組織の育成に必要である。核融合エネルギーの実用化には、専門人材の育成が不可欠である。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

技術的な克服 コスト・時間とのせめぎ合い

核融合エネルギーの実用化には、技術的な克服とコスト・時間とのせめぎ合いが不可欠である。核融合反応は、数億度の高温と高い圧力が必要であり、その実現には多くの技術的課題がある。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。

核融合エネルギーの実用化には、技術的な克服とコスト・時間とのせめぎ合いが不可欠である。核融合反応は、数億度の高温と高い圧力が必要であり、その実現には多くの技術的課題がある。山田氏は、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて、その現状と課題を詳しく説明する。



山田弘司氏（左）と秋元重典氏（右）が、核融合エネルギーの実用化に向けた取り組みについて話し合っている様子。

ウェブでニュースは
いかがですか？



ニューススイッチ
NEWSWITCH
http://newsswitch.jp/

■ ニューススイッチとは？

日刊工業新聞社のニュースをはじめとするコンテンツを、もっと新鮮に、親しみやすくお届けするサイトです。少し深い、面白いニュースをわかりやすく、または詳しく、話題のニュースから、小さいけれどちょっと面白いニュースを幅広く読者へ。

そしてニュースを起点に、コメンテーターを少しずつつけていけたらと考えています。

■ 独自のテーマ

ニューススイッチ編集部が独自に企画・取材した特製記事をはじめ、新聞とは一味違う切り目でニュースをお伝えします。

■ 記者が記事選定・コメントをプラス

日刊工業新聞の記者がテーマごとに気になる記事を紹介し、コメント、記事や取材背景を解説します。

第3回事例研究会

グリーンフォーラム(藤井康正座長=東京大学大学院工学系研究科教授)は、4月15日に第3回事例研究会を東京都中央区の日刊工業新聞本社で開催した。テーマは「地上の太陽 フュージョン(核融合)エネルギー」で、活発な議論が展開された。



フュージョンエネルギー研究開発の全体像

| 科学的実現性 | 技術的課題、経済的実現性 | 実用段階 |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 磁場プラズマ条件の達成 JT-60 (ITER) JT-60SA (ITER) ITER (実験炉) JA-DEMO (原型炉) 21世紀中葉までに実用化の日途 2030年代に移行判断 風力発電に比べて 風力発電に比べて 風力発電に比べて | <ul style="list-style-type: none"> 核融合炉の超伝導磁場 燃料の供給 炉内加熱 中性子放射線 放射性廃棄物の処理 燃料の供給 炉内加熱 中性子放射線 放射性廃棄物の処理 | <ul style="list-style-type: none"> ITER (実験炉) JA-DEMO (原型炉) 21世紀中葉までに実用化の日途 2030年代に移行判断 風力発電に比べて 風力発電に比べて 風力発電に比べて |

核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会
 核融合型研究開発制度を活用し、未来社会像からのバックキャストによる挑戦的な研究開発を推進



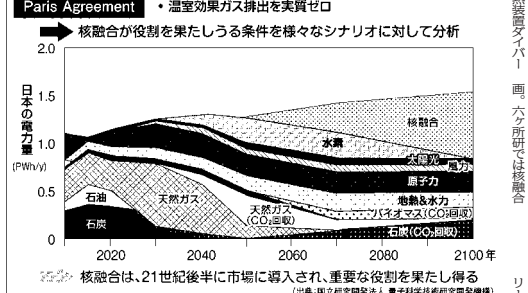
内閣府 科学技術イノベーション推進事務局 参事官 文部科学省 研究開発戦略センター 馬場 大輔氏

実用化へ多国間・二国間連携を強化

「フュージョンエネルギー」は、重水素・三重水素を燃料とする核融合反応によって、従来技術に比べて、燃料の供給が容易で、放射性廃棄物の発生が少なく、原子炉の稼働が安定であることが期待されている。日本は、ITER(国際熱核融合炉実験炉)に積極的に参加し、2030年代に移行判断を促すことが、エネルギー安全保障の観点から重要である。馬場氏は、ITERの進捗状況を踏まえ、国内の研究開発体制を強化し、実用化に向けた取り組みを進める必要があると述べた。

「フュージョンエネルギー」は、重水素・三重水素を燃料とする核融合反応によって、従来技術に比べて、燃料の供給が容易で、放射性廃棄物の発生が少なく、原子炉の稼働が安定であることが期待されている。日本は、ITER(国際熱核融合炉実験炉)に積極的に参加し、2030年代に移行判断を促すことが、エネルギー安全保障の観点から重要である。馬場氏は、ITERの進捗状況を踏まえ、国内の研究開発体制を強化し、実用化に向けた取り組みを進める必要があると述べた。

低炭素社会の実現に向けた核融合の役割



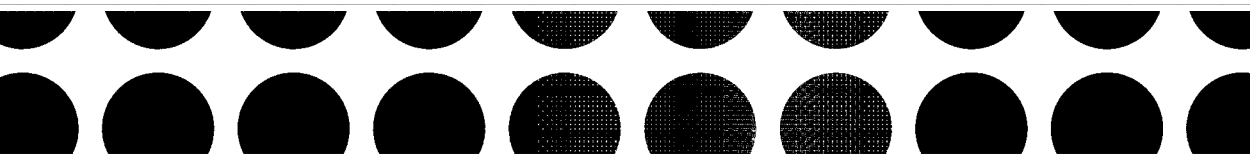
核融合は、21世紀後半後に市場に導入され、重要な役割を果たし得る。特に、原子力発電の安全性向上と、CO2排出量の削減に大きく貢献する見込みがある。政府は、核融合の研究開発を積極的に支援し、実用化に向けた取り組みを進める必要があると述べた。

ITER目標達成へ先導支援

ITER(国際熱核融合炉実験炉)の目標達成に向けて、日本政府は先導的な支援を行っている。特に、ITERの建設と稼働に必要な技術開発と人材育成に力を入れている。また、ITERの研究成果を国内の研究開発に還元し、実用化に向けた取り組みを進める必要があると述べた。



量子科学技術研究開発機構 理事 石田 真一氏



環境が企業価値向上のカギ

日刊工業新聞社が主催する「グリーンフォーラム」は、業界界と地球環境保全に取り組むことを目的として1991年に設立された研究会です。有識者や行政関係者らの協力を得て、環境情報の収集・調査・研究、新聞やインターネットによる情報発信、環境事業の広報のサポートなどを展開しています。「環境が企業価値向上のカギ」を掲げて活動し、低炭素・循環型経済社会システムの構築を目指しています。

エア・ウォーター/NEC/大阪ガス/東レ/トヨタ自動車/ パナソニックホールディングス/ホンダ (2023年度会員)

日刊工業新聞社 日刊工業産業研究所
 〒103-8548 東京都中央区日本橋小町1-1 TEL: 03-5644-7113 FAX: 03-5644-7294



資源・循環技術委員会

ホンダにおけるリユース燃料電池を活用したデータセンター向け定置用燃料電池電源の取り組み

ホンダ 経営企画統括部 環境企画部長



青木 健氏

ホンダは、ガソリンエンジンとハイブリッドシステム（HEV）を併用した「マイルドハイブリッド」エンジンを搭載した「e-HEV」を、データセンター向け定置用燃料電池電源として活用する取り組みを推進している。

この取り組みは、データセンターの電力消費量の削減と、CO2排出量の削減に貢献する。また、燃料電池の寿命を延ばすことで、コスト削減にもつながる。



データセンター向け定置用燃料電池電源（左）と、e-HEV（右）

クリーン電源、技術・運用面や経済性など検証

ホンダは、データセンター向け定置用燃料電池電源の活用を推進している。この取り組みは、データセンターの電力消費量の削減と、CO2排出量の削減に貢献する。また、燃料電池の寿命を延ばすことで、コスト削減にもつながる。

データセンター向け定置用燃料電池電源の活用は、電力消費量の削減と、CO2排出量の削減に貢献する。また、燃料電池の寿命を延ばすことで、コスト削減にもつながる。

ホンダは、データセンター向け定置用燃料電池電源の活用を推進している。この取り組みは、データセンターの電力消費量の削減と、CO2排出量の削減に貢献する。また、燃料電池の寿命を延ばすことで、コスト削減にもつながる。

最新の環境技術 討論

情報流通「つながる」システムへ協調が重要



最新の環境技術に関する討論会が開催された。参加者は、最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。

討論会のテーマは「最新の環境技術」として、参加者は最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。

情報流通「つながる」システムへ協調が重要。最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。

最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。



水戸部 啓一 委員長
（国際環境経済研究所理事）

水戸部 啓一 委員長は、最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。

最新の環境技術に関する議論を行い、情報流通の重要性について話し合った。

ウェブでニュースは
いかがですか？



ニュースイッチ
NEWSWITCH
http://news witch.jp/

■ ニュースイッチとは？
日刊工業新聞社のニュースをはじめとするコンテンツを、もっと新鮮に、楽しみやすくお届けするサイトです。少し深い、面白いニュースをわかりやすく、または詳しく、話題のニュースから、小さいけれどちょっと面白いニュースを幅広くお届けへ。そしてニュースを起点に、コミュニティを少しづつ作っていただけたらと考えています。

■ 独自のテーマ
ニュースイッチ編集部が独自に企画・取材した特設記事をはじめ、新聞とは一味違う切り口でニュースをお届けします。

■ 記者が記事選定・コメントをプラス
日刊工業新聞の記者がテーマごとに気になる記事を紹介、コメント、記事や取材背景を解説します。

最新の環境技術



グリーンフォーラムは、5月23日に資源・循環技術委員会(水戸部第一委員長=国際環境経済研究所理事)を東京都中央区の日刊工業新聞社本社で開催した。テーマは「最新の環境技術」で、活発な議論が展開された。

プラスチック情報流通プラットフォームの プロトタイプ開発

NECプラットフォームテクノロジーズ サービス事業部門 テクノロジーサービス ソフトウェア統括部 上席技術者 山本 英郎氏



グローバル経済社会の急激な変化は、環境問題の深刻化を招き、資源・循環技術の重要性がますます高まっている。中でも廃プラスチック問題は、資源循環の観点から、大きな課題となっている。NECプラットフォームテクノロジーズは、2023年5月に資源・循環技術委員会(水戸部第一委員長=国際環境経済研究所理事)を東京都中央区の日刊工業新聞社本社で開催した。テーマは「最新の環境技術」で、活発な議論が展開された。

阿部 晋樹氏

循環「見える化」、内外データスペースと連携
NECでは、内外データの連携を促進するために、プラットフォームを開発している。これは、製造業と流通業の間で、データのやり取りを容易にし、サプライチェーン全体の可視性を高めることを目指している。また、AIやIoTを活用したデータ分析も、重要な役割を果たしている。

PLA-NETJの概要
Car-to-Carリサイクルにおけるシステム例
PLA-NETJ (プラスチック情報流通プラットフォーム)
このプラットフォームは、製造業と流通業の間で、データのやり取りを容易にし、サプライチェーン全体の可視性を高めることを目指している。また、AIやIoTを活用したデータ分析も、重要な役割を果たしている。



高濃度セルロースファイバー成形材料 「kinari」の開発

パナソニックホールディングス/パナソニック アークチャレンジイノベーション本部 成形技術開発センター 研究管理部長 山本 英郎氏

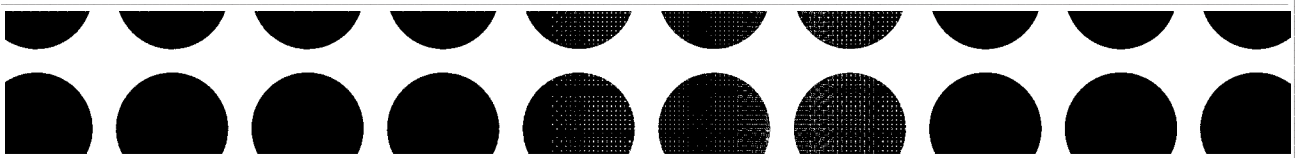


パナソニックは、高濃度セルロースファイバー成形材料「kinari」を開発した。これは、従来のプラスチック成形材料に比べて、強度が高く、軽量化が可能で、環境にも優しい。また、再生可能な原料を使用しているため、持続可能な開発に貢献している。

山本 英郎氏

kinariの成分比率
植物繊維(セルロース) 85%*
*重量比/実験値
*70%添加を技術リリース済み
2021年5月現在
kinari成形品
軽くて強い高機能素材 用途拡大目指す

kinariの成分比率
植物繊維(セルロース) 85%*
*重量比/実験値
*70%添加を技術リリース済み
2021年5月現在
kinari成形品
軽くて強い高機能素材 用途拡大目指す



環境が企業価値向上のカギ

日刊工業新聞社が主宰する「グリーンフォーラム」は、産業界として地球環境保全に取り組むことを目的として1991年に設立された研究会です。有識者や行政関係者らの協力を得て、環境情報の収集・調査・研究、新聞やインターネットによる情報発信、環境事業の広報のサポートなどを展開しています。「環境が企業価値向上のカギ」を掲げて活動し、低炭素・循環型の経済社会システムの構築を目指しています。

日刊工業新聞社 日刊工業産業研究所
〒103-8548 東京都中央区日本橋小町1-1 TEL:03-5644-7113 FAX:03-5644-7294

エア・ウォーター/NEC/大阪ガス/東レ/トヨタ自動車/
パナソニックホールディングス/ホンダ (2023年度会員)



気候変動で増大・複雑化する事業リスク

削減貢献量の国際標準化注視 下野氏 データ連携基盤の構築に貢献 稲垣氏



下野 隆二氏

下野 削減貢献量の国際標準化注視が重要だ。データ連携基盤の構築は、気候変動対策の重要な要素だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。

環境課題解決コスト 社会全体で負担を

環境課題解決には、社会全体で負担を担う必要がある。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。



野中 利幸氏

グリーン価値「見える化」必要 青木氏 削減貢献量の世界認知が有効 野中氏

削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。



削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。

削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。削減貢献量の国際標準化は、企業間の競争力を高めるための鍵だ。



ウェブでニュースは
いかがですか？

ニューススイッチ
NEWSWITCH
http://newsswitch.jp/

■ ニューススイッチとは？
日刊工業新聞社のニュースをはじめとするコンテンツを、もっと新鮮に、親しみやすくお届けするサイトです。少し深い、面白いニュースをわかりやすく、または詳しく、話題のニュースから、小さいけれどちょっと面白いニュースを幅広く読者へ。そしてニュースを起点に、コネニターを少しずつ作っていったらと考えています。

■ 独自のテーマ
ニューススイッチ編集部が独自に企画・取材した特設記事をはじめ、新聞とは一味違う切り口でニュースをお伝えします。

■ 記者が記事速読・コメントをプラス
日刊工業新聞の記者がテーマごとに気になる記事を紹介、コメント、記事や取材背景を解説します。

グリーンフォーラム特別シンポジウム

変わるサステナ情報開示 SSBJ基準 企業への影響と対応

モノづくり日本会議は5月31日、グリーンフォーラム特別シンポジウム「変わるサステナ情報開示 SSBJ基準」を開催し、SSBJ基準への影響と対応について、公開討論を行いました。2024年4月15日、公開討論会では、SSBJ基準への影響と対応について、公開討論を行いました。2024年4月15日、公開討論会では、SSBJ基準への影響と対応について、公開討論を行いました。



関西学院大学 商学部教授
財務会計基準機構サステナビリティ
基準委員会委員長
阪智香氏

経営システムには、環境情報が含まれており、それが競争優位の源泉となる。外部ステークホルダーからの要求も、この流れの中で高まっている。SSBJ基準への対応は、単なるコスト削減ではなく、経営戦略の転換を促す必要がある。

「SSBJ基準」公開草案の内容と解説

経営の財務軸とESG軸を近づける

足踏としてのサステナビリティに関する議論であり、具体的な内容については、SSBJ基準の公開草案を参照してください。SSBJ基準は、財務情報とESG情報を統合し、企業の価値をより正確に評価するための枠組みを提供します。



モノづくり日本会議

モノづくりへの挑戦

企業事例 戦略的情報開示に取り組む日本企業



積水ハウス
ESG経営推進本部
環境推進部長 井阪由紀氏

積水ハウスは、2023年以降、ESG経営を推進し、環境負荷の削減と社会貢献を重視しています。SSBJ基準への対応は、企業の持続可能性を高める重要な要素です。



クボタ
環境推進部長
外山幸子氏

クボタは、環境負荷の削減と社会貢献を重視し、SSBJ基準への対応を進めています。環境情報の透明な開示は、企業の信頼性を高める重要な手段です。

社内コミュニケーションと知見共有が重要

SSBJ基準への対応は、社内コミュニケーションと知見共有が重要です。従業員一人ひとりがESG経営の重要性を理解し、自発的に取り組むことが、企業の持続可能性を高める鍵となります。

「攻めの開示」でビジネス転換

「攻めの開示」を通じて、SSBJ基準への対応をビジネス転換の機会と捉え、企業の競争力を高めることが重要です。環境情報の透明な開示は、投資家からの信頼を得るための重要な手段です。

超モノづくりへの挑戦

モノづくり日本会議は、2007年9月に設立した「モノづくり推進会議」での活動を軸に、広域企業ネットワークや他機関との連携を活用し、日本のモノづくり産業の強化に役立つ実践的な活動を行っています。



お問い合わせ先 **モノづくり日本会議** モノづくり日本会議事務局 千103-8548 東京都中央区日本橋小網町14番1号(日刊工業新聞社内) Tel. 03-5644-7608 Fax. 03-5644-7209





Green Journal 2025

日刊工業新聞社 日刊工業産業研究所
〒103-8548 東京都中央区日本橋小網町14-1
TEL:03-5644-7113 FAX:03-5644-7294