

Back Number

本論文は

# 世界経済評論 2024年7/8月号

(2024年7月発行)

掲載の記事です



世界経済評論

## 定期購読のご案内

年間購読料

1,320円×6冊=7,920円

# 6,600円

税込

17%

送料無料

OFF

富士山マガジンサービス限定特典

※通巻682号以降

定期購読  
期間中

## デジタル版バックナンバー読み放題!!



世界経済評論 定期購読



☎0120-223-223

[24時間・年中無休]

お支払い方法

Webでお申込みの場合はクレジットカード・銀行振込・コンビニ払いからお選びいただけます。  
お電話でお申込みの場合は銀行振込・コンビニ払いのみとなります。

Fujisan.co.jp

雑誌のオンライン販売

## 革新的 SOEC メタネーション技術が切り拓く “e-methane 革命”への道 ：暮らしや産業を変えないカーボンニュートラル化を目指して



大西 久男

大阪ガス株式会社エグゼクティブフェロー・エネルギー技術研究所 SOEC メタネーション開発室統括室長

おにおし ひさお 1988年東京大学大学院工学系研究科修了。同年大阪ガス株式会社入社。2013年同社エグゼクティブリサーチャー。2022年より現職。1994年東京大学博士（理学）。電気化学会フェロー。

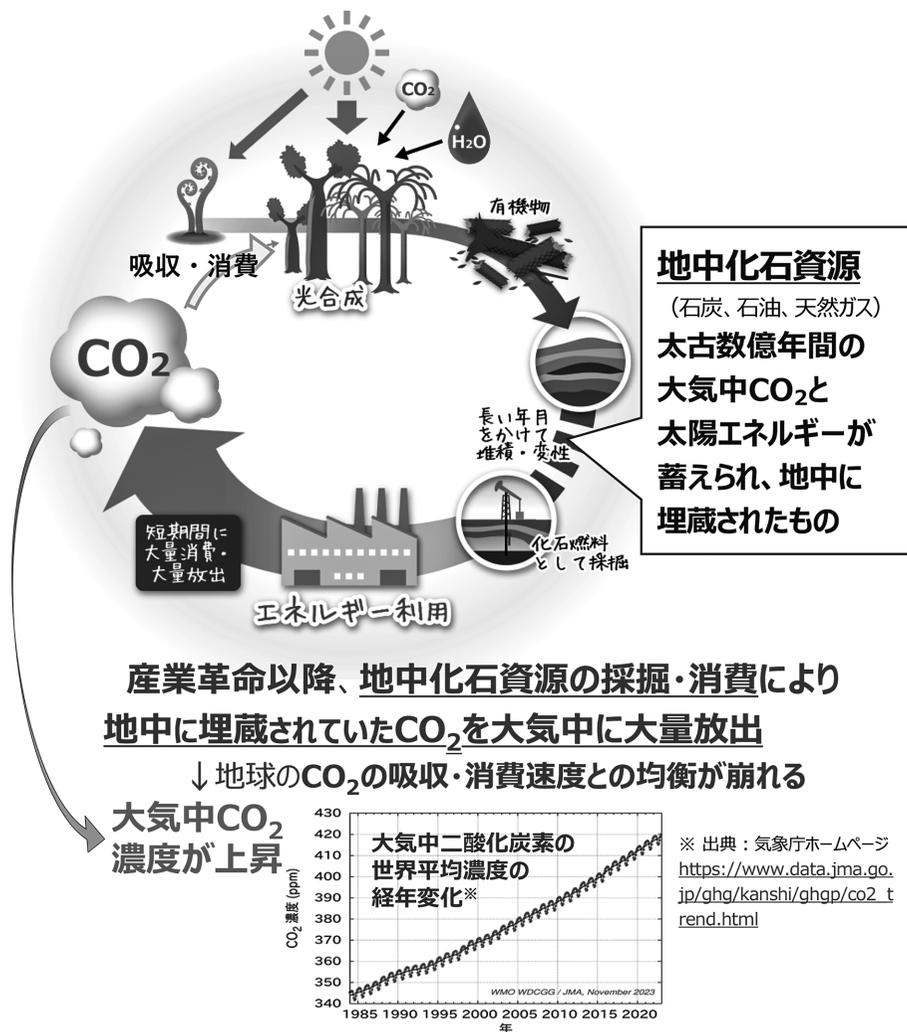
e-methane（e-メタン、合成メタン、e-NG）は、熱需要や電力需要の円滑なカーボンニュートラル化を進めることができる合理的な非化石燃料として近年注目されており、2023年6月に改訂された「水素基本戦略」にて、同戦略における“水素”の定義には「合成メタン（e-methane）」が含まれることが明記された。SOEC メタネーション技術は、水とCO<sub>2</sub>と非化石電力から非常に高いエネルギー変換効率で e-methane を製造可能であり、製造コストの大部分を占める電力必要量が水素を始めとする各種グリーン燃料の中でも最も少なく低コスト化ポテンシャルが高く、「メタネーション技術による e-methane は既存のインフラを活用できるもののエネルギー効率は水素に劣る」とのイメージを覆す革新的な技術として期待されている。本論では、SOEC メタネーション技術の概要と特長・当社の取組み、本技術による e-methane の海外再生可能エネルギー電力輸入キャリアおよびカーボンニュートラル燃料としての優位性、e-methane 発電の意義と可能性、暮らしや産業を変えないカーボンニュートラル化を目指した“e-methane 革命”の姿などについて述べる。

### I 「カーボンニュートラル」を目指す背景とその本質

地球は、太陽から輻射エネルギーを受け、それと同じエネルギー量の赤外線を宇宙に放出しており、太陽からの距離や地球の表面積などを考慮すると、本来、平均気温がおよそ-19～-18℃の“極寒の惑星”であったはずであるが、大気中に存在するCO<sub>2</sub>や水分による適度

な温室効果作用のおかげで、平均気温約14℃という環境が生み出されたことが知られており<sup>1)</sup>、大気中のCO<sub>2</sub>は、地球上の生物が息にに適した環境を維持するために必要不可欠な存在である。これまで、地球上の様々な現象によるCO<sub>2</sub>の発生・放出の速度と植物の光合成をはじめとするCO<sub>2</sub>の吸収・消費の速度が均衡し、この適度な温室効果が維持されてきたが、図1に示されるように、太古の数億年間の大気中CO<sub>2</sub>と太陽光エネルギーが光合成により

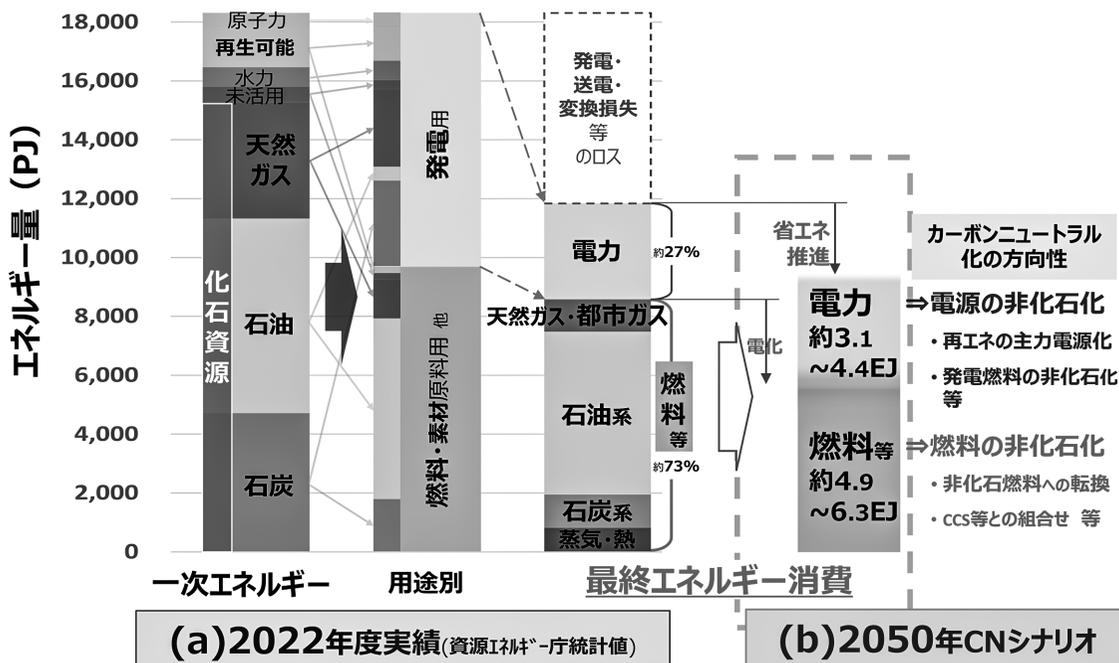
図1 地中埋蔵化石資源の大量消費による大気中CO<sub>2</sub>濃度の上昇



有機物として蓄えられて地中に埋蔵され生成した化石資源が、産業革命以降（地球の歴史から見ると極めて短期間に）大量採掘・消費されたことなどにより、地中に埋蔵されていたCO<sub>2</sub>の大気中への放出速度と地球上のCO<sub>2</sub>の吸収・消費速度の均衡が崩れ、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇することにより温室効果が増大することが懸念されている<sup>2)</sup>。これらを踏まえて、2020年10月、日本政府は、2050年にカーボンニュートラル（温室効果ガスの人為的な発生源

による排出量と除去・削減量等との間の均衡）の実現を目指すことを宣言した<sup>3)</sup>。カーボンニュートラルを目指す根本的な目的は、私たちが地球で生きていくのに欠かせない“適度な大気中CO<sub>2</sub>濃度を維持”することであり、これを達成するために、持続可能な（永続性が見込める、容量制限がない、ライフサイクルが完結している）手法により“化石資源により地中に埋蔵されてきたCO<sub>2</sub>の大気中への放出の削減／吸収”を講ずることが求められている。

図2 現在の日本のエネルギー需給構造と2050年カーボンニュートラル化時代の必要エネルギー量（最終エネルギー消費）のシナリオ分析例



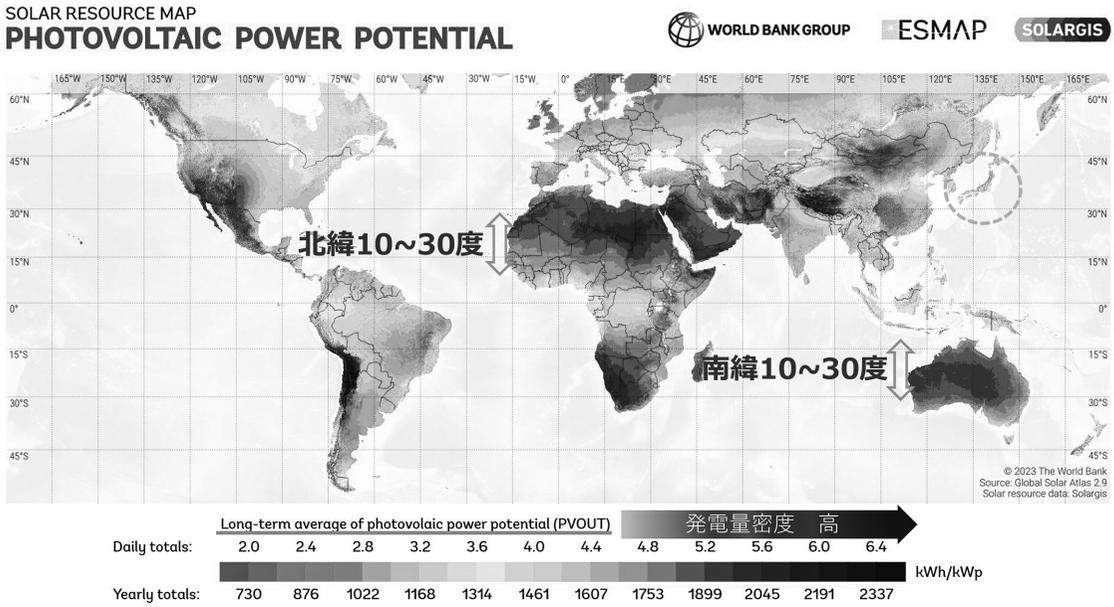
現在の日本のエネルギー需給構造を図2の左側(a)に示した。日本のエネルギーに関する議論においては先ず電力が目されがちであるが、実は、我が国の最終エネルギー消費のうち、電力利用の割合は全体の約27%にとどまり、燃料・熱利用の割合が約73%を占めている<sup>4)</sup>。一方、経済産業省総合エネルギー資源調査会による、様々なシナリオを想定した2050年カーボンニュートラル化時代の国内の最終エネルギー消費の分析結果<sup>5)</sup>においては、現在に比べ一層の省エネと電化が進行するとみられるものの、図2の右側(b)に示されるように、いずれのシナリオにおいても、依然、最終エネルギー消費の過半を燃料等が占めることになるものと想定されている。カーボンニュートラル化の達成に向け、化石資源により地中に埋蔵されてきたCO<sub>2</sub>の大気中への放出抑止を推進す

るには、これまで一次エネルギーの大部分を占めてきた化石資源をこれまで通りには使用できなくなるため、このような2050年のエネルギー需要に応えるために、電力源の非化石化(再生可能エネルギーの主力電源化、発電燃料の非化石化など)並びに燃料・熱源の非化石化(非化石燃料への転換など)の両方を着実に進めることが必要とされている<sup>6)</sup>。一方、これに伴い、暮らしや産業の仕組みを大きく変えることや経済的な負担を強いられるのではないかとの懸念も広がっている<sup>7)8)</sup>。

## II 国内再生可能エネルギー電力の課題と海外再生可能電力キャリアの必要性

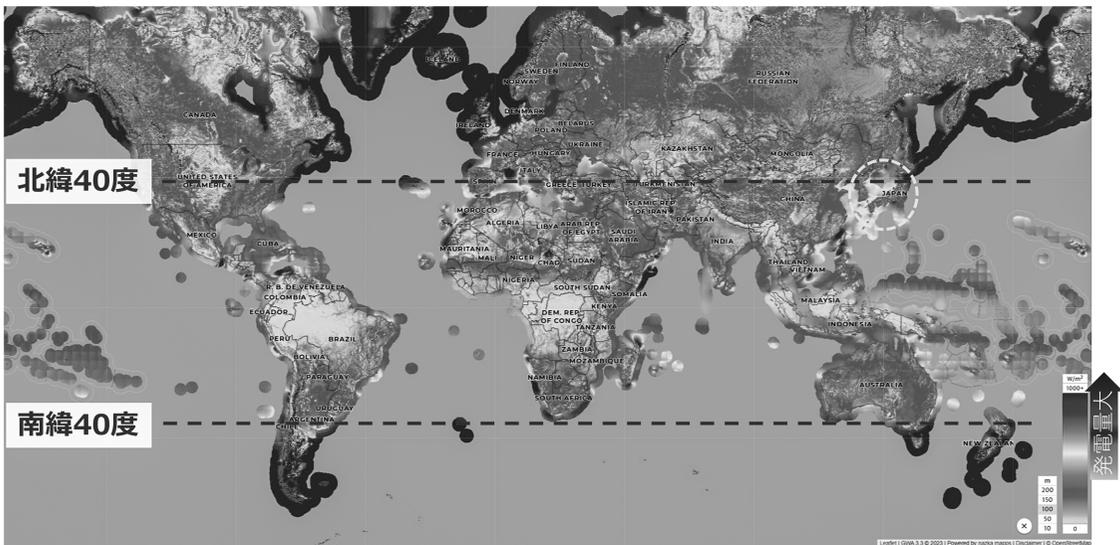
世界全体で見ると太陽光・風力等の再生可能

図3 世界の太陽光発電のポテンシャルマップ<sup>9)</sup>



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

図4 世界の風力発電のポテンシャルマップ<sup>10)</sup>



エネルギー（再エネ）は、持続可能な非化石エネルギー源として最も有望なものであり、再エネの主力電源化は、電力源の非化石化の有力な手段と考えられている。図3に示されるよう

に、世界的には、北緯・南緯 10~30 度近辺もしくは少雨地帯などに設置面積当たりの発電量ポテンシャルが大きな太陽光発電適地が分布しており、図4に示されるように、およそ北緯

40 度以北とおよそ南緯 40 度以南の地域に発電量ポテンシャルが非常に大きな風力発電適地が分布している。これを見ると、北米・南米・欧州・南北アフリカ・中東・豪州・中国など多くの地域に再生可能エネルギー適地すなわち再エネ資源が豊富な地域が、化石資源が豊富な地域に比べて広く遍在していることがわかる。

日本においても、再エネ発電設備の導入は既に相当な水準に達しており、2021 年度の再エネ発電設備容量は世界第 6 位、太陽光発電設備容量は世界第 3 位であり、国土面積当りの太陽光設備導入容量自体は主要国の中で最大級とされている<sup>11)</sup>。しかしながら、海外の再エネ適地に比べ、日本においては、発電設備設置コスト等が高めである上に、図 3, 4 にも示されるように日射強度や風況面でも非常に不利であり、同じ発電容量の設備から得られる実電力量が少ないことなどにより、発電電力量当たりのコストが海外の再エネ適地に比べ非常に高い<sup>12)</sup>ことが懸念されている。また、平地面積率が低いことや設置面積当たりの発電量密度が低いことなどにより、経済性を確保可能な発電量の拡大には大きな制約があるものと懸念されていることなどにより、国内の再エネのみにより国内のエネルギー需要の全てを賄うことは難しいと考えられている<sup>13)</sup>。加えて、太陽光・風力電力量は、電力需要が大きい夕方～夜には、日射量減少と夕風により低下するため、毎日この時間帯に不足することは避けられず、更に曇天・無風時期には、長期間に渡って不足することも懸念されるため、国内再エネ電力の出力変動と電力需要変動のミスマッチを埋めるための膨大な“調整力電源（オンデマンド電源）”を別途備えておくことが必要となる<sup>6)</sup>。

一方、海外の再エネ適地では、今後再エネ電

源の超大規模開発と大幅なコスト低減が進行すると想定されている。例えば、IEA による 2050 年予測<sup>14)</sup>では、米国における太陽電池発電量は 2,648 TWh、コストは 2.9 円/kWh、インドにおいては 1,560 TWh、1.7 円/kWh との見通しが示されており、豪州においても 2050 年には 2.3 円/kWh との予測もなされていることなどから、地政学的な側面も踏まえて、海外再エネ適地各地の安価・潤沢な再エネを日本の一次エネルギーとして戦略的に活用することが必要であると考えられる。しかしながら、電力を電力のまま島国である日本に長距離輸送することは様々な観点から難しく、特定の固定した経路のみによるエネルギー輸入に依存することに伴うリスクを回避するためにも、多様な海外再エネを日本のエネルギー源としてフレキシブルに調達するために非化石燃料（エネルギーキャリア）に変換して国内まで長距離海上輸送することが合理的であると考えられている<sup>13)15)</sup>。

### Ⅲ 海外低コスト再エネの各種輸入 キャリアと e-methane の特徴

図 5 のように、海外の再エネ電力の輸入キャリアとして様々なものが検討されているが、近年有力視され始めているのが、本論にて取り上げる e-methane (e-メタン、合成メタン、e-NG とも呼ばれる)である。e-methane は、体積当たりのエネルギー密度が高く、天然ガスの長距離国際輸送インフラやサプライチェーン・保安技術をそのまま活用可能であり、国内配送コストも最も低く、経済性が高いことに加えて、ガス火力発電・多様な熱需要・熱電併給（コジェネレーション）等の非常に幅広い用途に既存の消費設備・機器等もそのまま活用しながら

利用可能であることから、暮らしや産業を変えずに電力需要や要熱需要の円滑なカーボンニュートラル化を進めることができる合理的な非化石燃料として近年注目されており、2023年6月に改訂された「水素基本戦略」において、同戦略における“水素”の定義には「合成メタン (e-methane)」が含まれることが明記

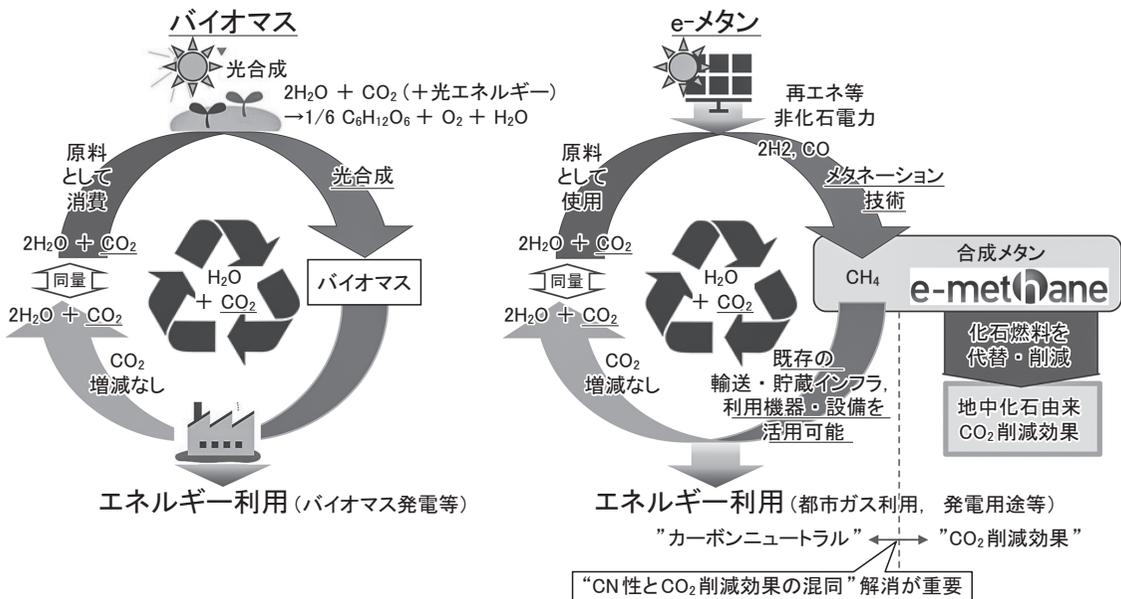
された<sup>16)</sup>。また、e-methane に対する世界的な期待の高まりを背景に、2024年3月、欧米日の大手エネルギー事業者による e-methane の世界的な普及拡大を目指す国際的アライアンス「e-NG Coalition」の設立が発表された<sup>17)</sup>。

次に、バイオマスとの比較を通して、e-メタン (合成メタン) の本質について紹介したい。

図5 各種エネルギーキャリア (非化石燃料) と e-methane の特色

エネルギーキャリア		各種エネルギーキャリアの特色				用途
(非化石燃料)	エネルギー密度	製造	輸送		消費	
		課題	強み	強み	強み	
<b>e-メタン</b>	<b>40</b> MJ/Nm <sup>3</sup>	従来製法ではLNGよりは高コスト 技術革新等によるコスト低減が必要	確立済み (既存のLNG船活用可)	確立済み (既存の都市ガスパイプライン、保安技術等活用可)	お客さま先の既存設備活用可、LNG燃焼ノウハウ活用可	<ul style="list-style-type: none"> <li>天然ガス火力発電</li> <li>多様な高温熱需要</li> <li>熱電併給 (コジェネレーション) 等</li> </ul> <b>幅広い用途にそのまま使える</b>
<b>グリーン水素</b>	<b>12.8</b> MJ/Nm <sup>3</sup>	各種水電解技術により簡単に製造可能 (エネルギー変換効率が課題)	実証段階 (液化水素、MCH等による輸送)	流通網・インフラの新規構築が必要	火力発電での混・専焼の実証段階、用途開拓が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料電池車</li> <li>発電等</li> </ul> <b>用途開拓が必要</b>
<b>グリーンアンモニア</b>	<b>17</b> MJ/Nm <sup>3</sup>	現状は高価、コスト低減研究開発推進中	圧力をかければ常温でも液体を保持できるため輸送自体は容易 (有毒性対策が必要)		火力発電の混・専焼の局所大規模需要、産業分野などは特殊用途に限定	<ul style="list-style-type: none"> <li>石炭火力への混焼~専焼</li> <li>特定地点の熱需要</li> </ul> <b>用途は限られる</b>

図6 バイオマスと e-methane の製造・利用サイクルの比較<sup>19)</sup>



バイオマスの製造・利用サイクルは、図 6 の左図のように表される。バイオマスは燃焼利用時に CO<sub>2</sub> を排出するものの、それと同量の CO<sub>2</sub> を成長過程で光合成により消費するため、大気中の CO<sub>2</sub> の実質的な増加を引き起こさないことからカーボンニュートラルなものと扱われており、IPCC イベントリ（国毎の温室効果ガス量集計に相当）においても、バイオマスについては利用段階では排出ゼロとカウントすることとされている<sup>18)</sup>。一方、e-methane（合成メタン）は、非化石電力等を用いてメタネーション（メタン合成）技術により得られたメタン等を既存インフラにより供給し既存機器・設備等を活用してエネルギー利用するもので、図 6 の右図のように表される<sup>19)</sup>。このサイクルにおいて、e-methane 製造時に原料として消費する CO<sub>2</sub> 量とエネルギー利用時の CO<sub>2</sub> 排出量は等しいため、バイオマスと同様に、大気中の CO<sub>2</sub> は実質的に増えず、カーボンニュートラルなものと思なされる。

バイオマス・e-methane あるいはグリーン水素も、単にそれを製造するだけでは CO<sub>2</sub> 削減効果は生じず、従来使用されていた化石燃料を代替し、化石燃料起因の CO<sub>2</sub> を削減することによってはじめて CO<sub>2</sub> 削減効果が得られる。e-methane による化石燃料の代替・削減によって得られる CO<sub>2</sub> 削減効果の大きさは、製造時に使用する CO<sub>2</sub> の起源や種類によって変わらない。例えば、e-methane 製造のためにわざわざ新たに化石燃料を燃焼するような場合でない限り、e-methane 製造時に使用する CO<sub>2</sub> が、別用途にて化石燃料を燃焼して大気中に放出される前に回収されたものであっても、大気中に放出されて極低濃度に希釈されてしまった後に回収されたものであっても、化石燃料の代替に

よって得られる e-methane による CO<sub>2</sub> 削減効果の大きさが変わることはない。また、海外において製造された e-methane を国内で燃焼した場合に生じる CO<sub>2</sub> の帰属が議論の対象となる場合があるが、ここまで述べたように e-methane のカーボンニュートラル性や CO<sub>2</sub> 削減効果の本質はバイオマスと同一のものであり、海外にて CO<sub>2</sub> を固定して成長した植物由来のバイオマスを国内で燃焼して生じる CO<sub>2</sub> の排出を計上しないのと同様に、e-methane の燃焼段階での CO<sub>2</sub> 排出をゼロとカウントすることが合理的であると指摘されており<sup>18)</sup>、このような観点での国際ルール整備の早期進展が期待されている。

## IV SOEC メタネーション技術の概要と特長

従来のメタネーションは、図 7 の中段に示されるように、水電解等により一旦製造したグリーン水素と CO<sub>2</sub> を反応させメタンを合成するものであり、先ず水電解工程のエネルギー損失により非化石電力 100 から得られる水素のエネルギー量が 70~80 となり、更にメタンに変換する際にもエネルギー損失が生じるため、得られるメタンのエネルギー量（HHV）は 55~60 にとどまるため、水素の直接利用よりもエネルギー効率の低いものと考えられてきた。一方、本論で取り上げる革新的な高効率メタネーション技術である「SOEC メタネーション技術」は、図 7 の下段に示されるように、非化石電力等をエネルギー源、水と CO<sub>2</sub> を原料として一貫通システムによりメタン等を合成するものである。SOEC とは、Solid Oxide Electrolysis Cells（固体酸化物形電解セルあるいは固

図7 非化石電力由来の水素直接利用・従来メタネーション・SOEC メタネーションの比較<sup>20)</sup>

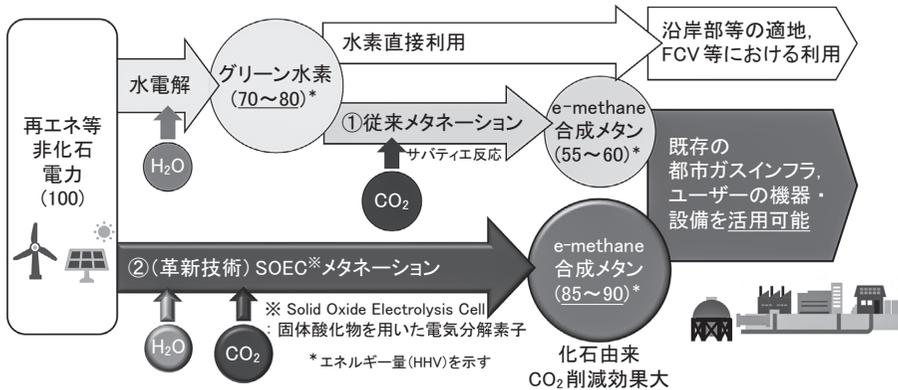
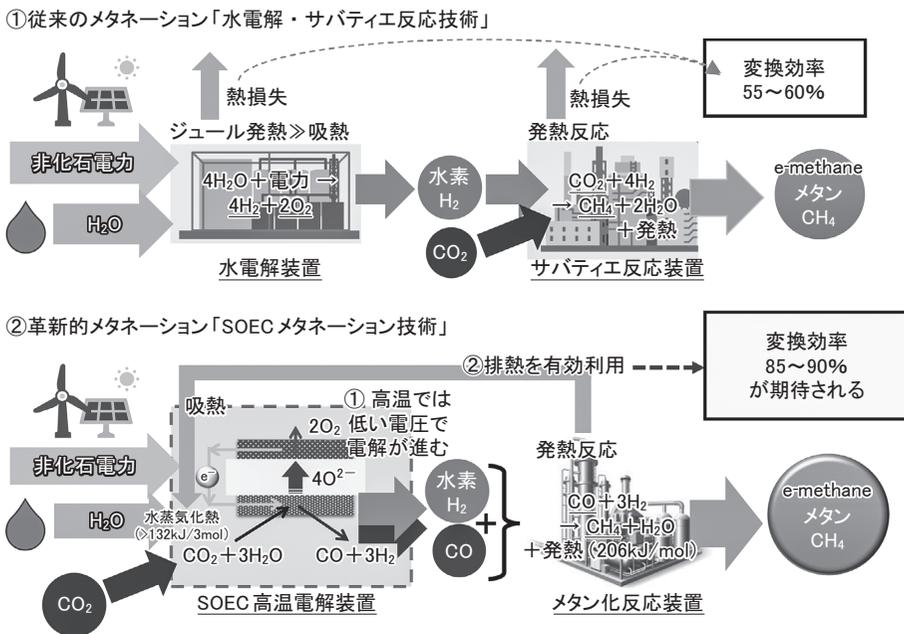


図8 従来のメタネーション技術と SOEC メタネーション技術の比較<sup>22)</sup>



体酸化物形電解素子)の略称で、SOFC (Solid Oxide Fuel Cells: 固体酸化物燃料電池)の逆機能デバイスである。本技術は、水素の調達が必要で、電力から e-methane へのエネルギー変換効率が 85~90%と、水電解技術によるグリーン水素製造のエネルギー変換効率 70~80%を上回り、「メタネーション技術による e-methane は既存のインフラを活用できるメ

リットがあるもののエネルギー効率は水素に劣る」とのイメージを覆す革新的なものと言える。非化石電力 100 を用いて、水電解水素 (70~80) よりも多く (85~90) の化石燃料を代替・削減可能と期待され、製造に要する電力量当たりの CO<sub>2</sub> 削減効果ポテンシャルはグリーン水素よりも大きいと言える。

図 8 の下段に示されるように、SOEC メタ

ネーションシステムは、SOEC を内蔵した SOEC 高温電解装置とメタン化反応装置、熱有効利用装置等により構成されている。電力を SOEC に供給し、電気分解反応等により水蒸気と CO<sub>2</sub> 分子から酸素原子を奪って、水素と CO に変換し、この水素と CO をメタン化反応装置（メタン合成装置）に導き、触媒を用いてメタンに変換するものである。まず、700℃ 程度の高温で電気分解することにより他の低温電解方式に比べ低い電圧で電気分解反応を進めることが可能なため、より少ない電力により水素や CO を生成することができるのに加え、メタンを合成する際に生じる排熱を水蒸気生成等に効率良く有効利用できる。図 8 の上段に示される従来のメタネーションでは、水の電気分解やメタン合成反応で発生する熱を有効利用できず、電力から e-methane へのエネルギー変換効率は 55~60% 程度にとどまっていたのに対し、SOEC メタネーションでは、システム全体としてエネルギー損失が非常に少ないため、エネルギー変換効率が 85~90% と非常に高くなり、電力使用量を従来法の約 2/3 に大幅削減することが出来ると期待されている<sup>20)</sup>。

従来メタネーション技術やアンモニア、e-fuel などのグリーン燃料合成技術は、水素を原料として用いる謂わば“水素キャリア”の合成技術であり、電力から各種燃料へのエネルギー変換効率は水電解水素製造を上回ることは出来なかったが、水素を原料としない SOEC メタネーション技術が実現すれば、e-methane はグリーン水素より高効率な非化石電力キャリアとして位置づけられることが期待される。また、各種グリーン燃料製造のランニングコストの大部分を電力コストが占めるが、製造される燃料熱量当たりの必要電力量については、

SOEC メタネーションによる e-methane 製造が最も少ないと見積もられ<sup>21)</sup>、水素も含む各種グリーン燃料の中でも製造コスト低減ポテンシャルが最も高いものと期待されている。

植物の光合成は、太陽光のエネルギーを利用して水と CO<sub>2</sub> から有機化合物を合成するものであるが、太陽光等による非化石電力を利用して水と CO<sub>2</sub> からメタン等を合成する SOEC メタネーション技術は、光合成と同様な機能を非常に効率よく人工的に実現できる革新的技術であると考えられる。

## V SOEC メタネーション技術革新に関する大阪ガスの取組み

我々は、SOEC メタネーション技術の高いポテンシャルに着目し、このシステムの技術開発を進めている。図 9 上段の SOEC メタネーションシステムの構成を下流から上流に眺めてみると、都市ガス成分を触媒により水素と CO に分解し SOFC における電気化学反応により電力と熱を得る SOFC コージェネレーションシステムの逆反応システムであることから相似点が多く、これまで当社が蓄積してきた SOFC システム関連技術（SOFC 技術、触媒技術、熱利用マネジメント技術等）を活用しながら技術開発を進めている。

将来的に、大規模なガス製造設備として実用化するためには、システム全体の大規模化を進めることが必要であるが、当社は、1980~90 年代に、ナフサや LPG を原料として天然ガス代替ガスを製造可能な代替天然ガス製造プラントにつき触媒開発・プラント開発・設計・建造・実操業を自社で進めた実績と経験を保有しており、SOEC メタネーションシステムの後段

図9 当社の本技術関連保有技術と取り組み状況<sup>23)</sup>

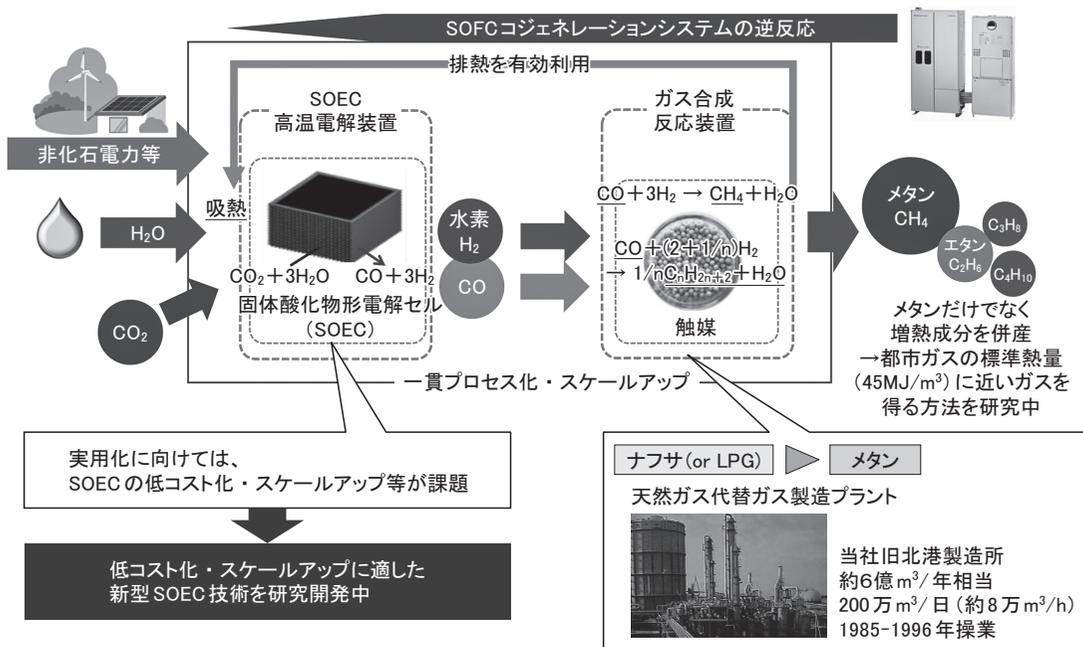
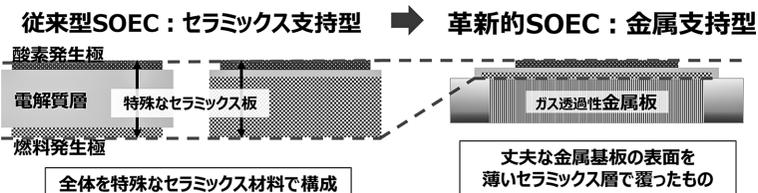


図10 金属支持型SOECの断面構造イメージ<sup>22)</sup>



側のガス合成反応装置の大規模化開発においては、その知見の活用も期待される。一方、システム前段側のSOECを内蔵した高温電解装置については、大規模設備の本格商用化例は未だ見当たらない。今後、このシステムの大規模実用化を進める上では、特にSOECを低コストでスケールアップすることが課題となると考えられることから、当社では、低コスト化とスケールアップに適した新型SOEC技術の開発を推進してきた。

これまで開発されてきたSOECは、図10左のように全体が特殊なセラミックス材料により

構成される“セラミックス支持型”と呼ばれるもので、今後、低コスト化とスケールアップの実現が課題となる事が懸念されていた。この課題を解決するため、当社は、図10右のように、丈夫な金属板の表面を薄いセラミックス層で覆った“金属支持型”SOECを独自に開発・試作し、スケールアップの基本単位となる実用サイズセルの開発に成功した<sup>22)</sup>。この革新的なSOECは、高価なセラミックス材料の使用量が従来の1割程度と非常に少ないこと、衝撃にも強く強靱であること、スケールアップが容易であることなどの特長を有しており、低コスト化

図 11 「SOEC メタネーション技術革新事業」事業概要<sup>27)</sup>

## SOECメタネーション技術革新事業

## 事業の目的・概要

SOEC（固体酸化化物形電解セル）メタネーション技術は、高温電解方式による必要電力削減効果と排熱の有効活用により、従来メタネーションプロセスの総合エネルギー効率を大幅に上回る超高効率（85%~90%）を実現し、合成メタン製造コストの大部分を占める電力コストを大幅に削減し得ると期待されている。本事業では、SOECメタネーション技術の実現に必要な三つの革新的要素技術開発と小規模試験を実施し、次期実証事業への移行が可能な水準の技術確立を目指す。

## 実施体制

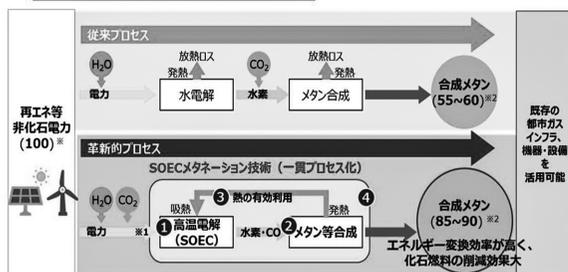
※太字：幹事企業

大阪ガス株式会社  
国立研究開発法人産業技術総合研究所

## 事業期間

2022年度~2030年度（9年間）

## 事業イメージ



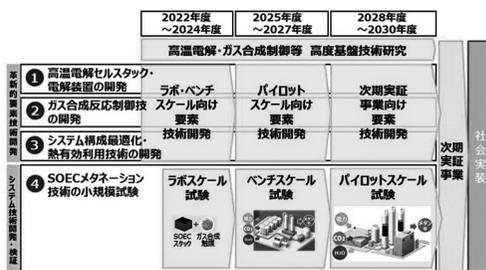
出典：大阪ガス株式会社 ※1 電気分解は、温度が高いほど少ない電力で反応を進められる。SOECは、約700℃~800℃の高温で働くため、必要な電力を他方式に比べ削減可能。 ※2 製造ガス熱量（HHV）

## 事業規模など

- 事業規模：約254億円
- 支援規模\*：約204億円

\*インセンティブ額を含む。採択テーマの提案総額であり、今後の手続きにより変更の可能性あり。

- 補助率など：9/10→2/3（インセンティブ率10%）



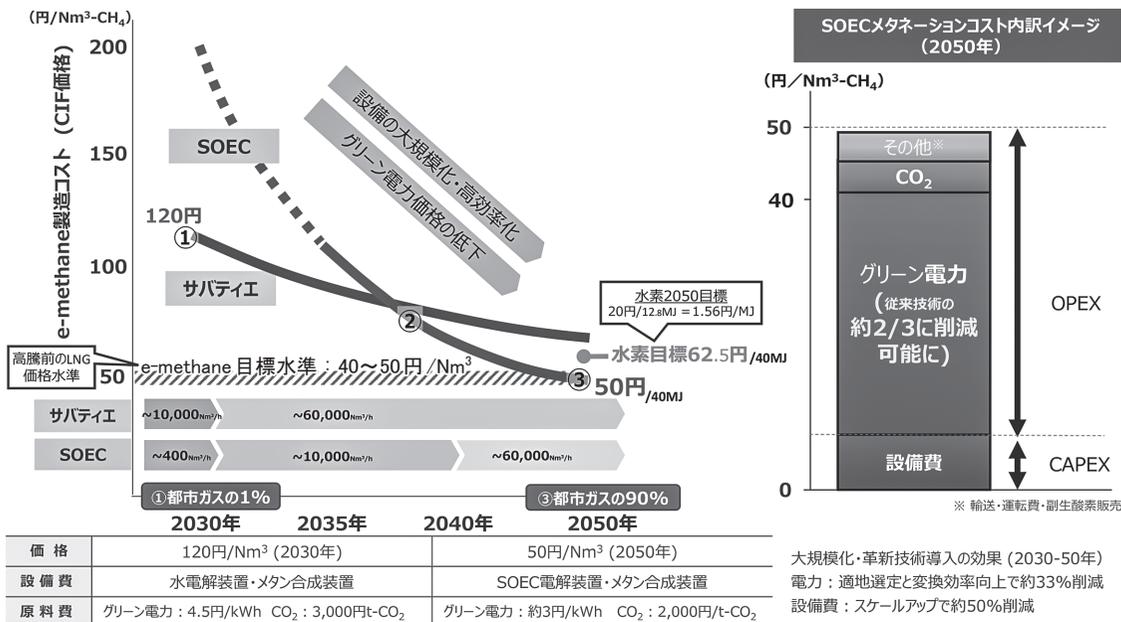
やスケールアップの実現に適しているものと期待される。

2021年6月に改訂されたグリーン成長戦略における重要分野として新設された「③次世代熱エネルギー産業」の成長戦略の工程表<sup>24)</sup>において、SOECメタネーション等のメタネーション革新技術について、2030年度までに新たな基礎技術の開発を進め、2030年代には実証フェーズ、2040年代に導入拡大・コスト低減フェーズへと進展させることが記されている。大阪ガスと産業技術総合研究所は、「グリーンイノベーション基金事業/CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト」の研究開発項目のひとつである「合成メタン製造に係る革新的技術開発」において「SOECメタネーション技術革新事業」（図11）を実施中である<sup>25)</sup>。本事業により、2030年度までに世界最高レベ

ルのエネルギー変換効率を実現する e-methane 製造技術を確認し、2031年度以降の実証による大規模化・低コスト化、2040年代に導入拡大を進め、都市ガス業界が目指す2050年 e-methane 導入率90%<sup>26)</sup>の達成に貢献していきたい。

図12に示されるように、まず、2030年に e-methane1%導入を開始する時点では、従来（サバティエ）メタネーション技術実用化により、約120円/Nm<sup>3</sup>（CIF価格）レベルの製造コストを目指したい。その後SOECメタネーションの技術開発・実用化より、サバティエ反応を下回る製造コスト実現を見通し、SOECメタネーション設備の大規模化、高効率化、適地選定などにより、2050年時点には50円/Nm<sup>3</sup>（高騰前のLNG価格水準）を目指している。

図 12 e-methane (合成メタン) 製造コストの将来見通しの試算例<sup>28)</sup>



## VI SOECメタネーションによる e-methane の再エネ輸入キャリアとしての優位性、e-methane 発電の意義と可能性

大概らは、海外再エネ電力の各種輸入キャリア候補（液化 e-methane, 液化水素, MCH, アンモニア）について、海外における再エネ電力による製造から輸出港貯蔵、長距離海上輸送、輸入後貯蔵、国内送配形態への変換まで（国内配送前）の費用を積み上げ試算した結果を報告している<sup>29)</sup>。各種キャリア製造設備の技術開発や大規模化などに伴う設備コストダウンが進行した場合の各種キャリアのエネルギー量（HHV 基準）当りのコストを比較すると、図 13 に示されるように、SOECメタネーション技術により製造された液化 e-methane（合成メタン）のコストが最も低くなり、海外再エネ電力の輸入コストを最も抑制出来るキャリア

となり得ることが示されている。これは、IV節にて述べたように、SOECメタネーションによる e-methane 製造のエネルギー変換効率が各種キャリア製造技術の中で最も高いため、製造に必要な再エネ電力量を最も低減できることに加え、国際輸送インフラ等を新設した場合であっても、e-methane の輸出入・国際輸送・貯蔵などのコストを他のキャリアに比べて極めて低く抑えられることによるものである。この試算は、海外再エネ電力単価を 2.5 cent/kWh、設備稼働率を 29%と仮定してなされたものであるが、仮に電力単価や稼働率の前提が少しばかり変動したとしても、各キャリアコストの序列には大きな影響は及ぼさないと考えられる。更に、国内配送～消費段階の費用も考慮すると、e-methane の配送インフラ構築コストは他より低く、また既存のインフラ・機器も活用出来ることなどから、その優位性は更に高まることになることが明らかにされている<sup>30)</sup>。

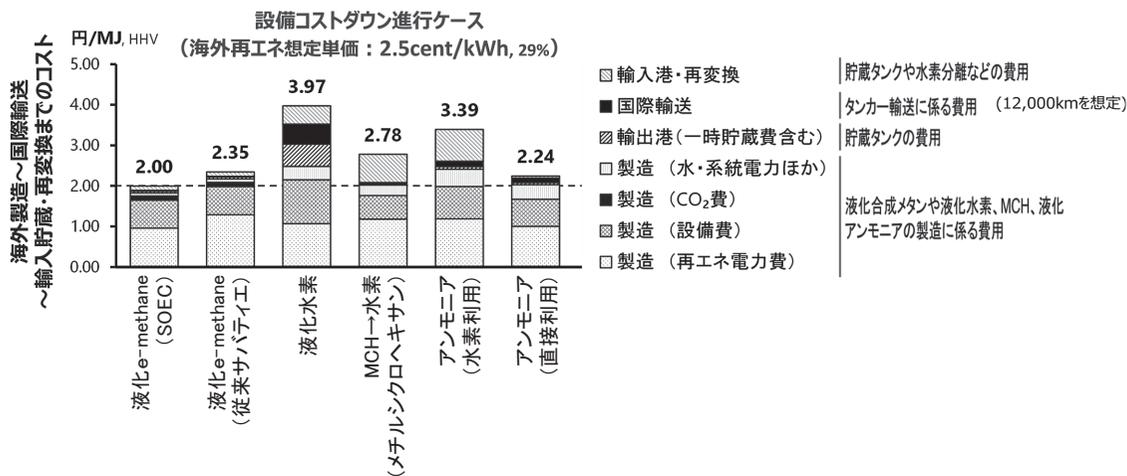
図 13 海外再エネ電力輸入キャリアのコスト比較例<sup>31)</sup>

図 12 に示したように 2050 年時点の e-methane のコスト目標は、50 円/Nm<sup>3</sup>であり、これは 1.25 円/MJ<sub>HHV</sub> に相当する。水素やアンモニアを発電燃料として用いるためには、発電設備の改修や新たな安全装置・排ガス処理装置の整備のための投資、発電効率向上のための新規技術開発が必要であるのに対して、e-methane は、極めて高効率な火力発電システムとして実用化済みのガスタービンコンバインドサイクル発電設備（例えば、1650℃級技術では発電効率 64%、LHV に達している）の燃料としてそのまま使用可能であり、2050 年の e-methane のコスト目標が達成されれば、発電燃料費を従来の LNG 火力発電並みの 8 円/kWh 未満に抑制することも可能となると期待されるため、国内再エネ電力の不足・巨大な変動を、現在の LNG 火力発電並みコストの “e-methane 発電” が補完することが可能となり、カーボンニュートラル時代における調整力電源の主力も担いけると期待される<sup>32)</sup>。

## Ⅶ SOECメタネーション技術が切り拓く“e-methane 革命”の姿

以上のことを踏まえ、図 2(b) に示した 2050 年の国内エネルギー需要（電力需要・熱需要）を賄うことのできる 2050 年カーボンニュートラル化時代の日本のエネルギー需給構造の想定を進めてみたい。SOEC メタネーション技術による e-methane の役割に着目し、日本の暮らしや産業を変えずにカーボンニュートラル化を達成する “e-methane 革命” の姿を、図 14 のように描いてみた。

- ・ 先ず、①国内の再生可能エネルギー等の非化石エネルギーの主力化を目指すと共に、（それのみにより国内の全一次エネルギーを賄うことは、量的にも安定性の面でも困難であると考えられ）、
- ・ ②海外各地の再エネ適地の安価・潤沢な再エネを日本の一次エネルギーとして戦略的に活用するため、海外再エネから③ SOEC メタネーション技術により e-methane 等を高効率製造して天然ガス液化インフラなどを活用

図 14 2050年カーボンニュートラル化時代の日本のエネルギー需給構造の想定イメージ

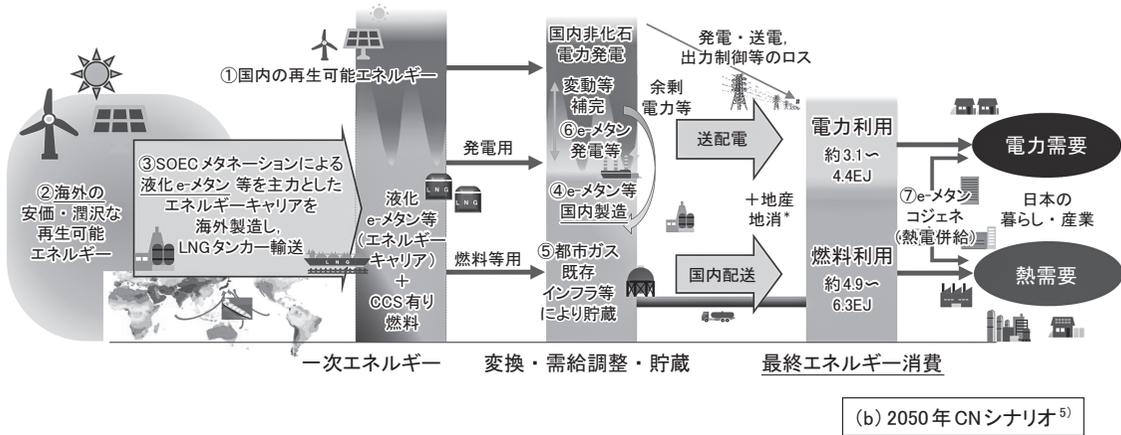
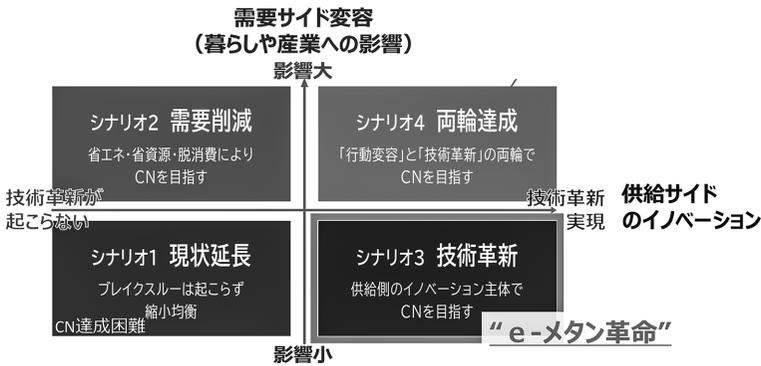


図 15 2050年に向けた日本の将来シナリオの想定類型から見た“e-メタン革命”の位置付け<sup>34)</sup>



し液化 e-methane 等に変換し、LNG タンカー等の既存サプライチェーンにより長距離海上輸送して低コストで輸入し、日本国内で必要とされるエネルギー源を確保する。

- ・海外 e-methane 等を④国内余剰電力等により国内で高効率製造した e-methane 等と合わせて、
- ・⑤都市ガスインフラ等をそのまま活用して貯蔵・配送し、既存の機器・設備を活用して他の非化石燃料と共に国内の熱需要にこれまで通りに十分応え、
- ・⑥ e-methane 発電 (LNG 発電設備活用) により、国内非化石電力の変動と需要のミス

マッチや量的不足等を補完し、

- ・⑦ e-methane コジェネレーション (熱電併給) 等と共に国内の電力需要にこれまで通りにオンデマンドで応え、日本の暮らしと産業を支える。

三菱総合研究所は、各国研究機関・エネルギー企業による様々な将来シナリオの分析を踏まえて、2050年に向けた日本の将来シナリオにつき、“需要サイド(暮らしや産業)の変容”と“供給サイドのイノベーション”の軸で図15のような類型整理を進めた<sup>33)</sup>。シナリオ1では、縮小均衡でカーボンニュートラルは達成されず、シナリオ2では、需要サイドに省エネ

ルギー・省資源・省消費に資する行動変容を強いてカーボンニュートラルを目指すのが、エネルギーコスト負担増や経済の衰退が想定される。これらに対して、SOEC メタネーション技術による “e-methane 革命” は、エネルギー需要サイド（暮らしや産業）の仕組みの刷新など大きな変容や負担を強いることなく、e-methane 技術革新によるエネルギー供給サイドのイノベーション主体でカーボンニュートラル化を目指すシナリオ 3 に当たるもので、日本の経済成長とカーボンニュートラル化の両立に貢献するものと期待される。

## おわりに

SOEC メタネーション技術による “e-メタン革命” の提供価値は、暮らしや産業を変えずに “熱需要” と “電力需要” の両方のカーボンニュートラル化を実現することである。

熱需要においては、都市ガス（天然ガス）のお客さまや、石炭・石油から天然ガスへの燃料転換（「天然ガスシフト」<sup>6)</sup>。転換により約 3～4 割の CO<sub>2</sub> 削減効果が得られ、天然ガスの省エネ・高度利用技術により、更なる CO<sub>2</sub> 削減と経済性向上が可能）を進めるお客さまに、「都市ガスをそのまま使い続けていたら、いつの間にかカーボンニュートラルが達成できていた」と喜んでいただくことを目指したい。

また、電力需要においては、“再エネ大量導入に伴う電力供給不安定化やコストアップ” を従来 LNG 火力発電並みコストのオンデマンド発電 “e-メタン発電” により解消し、カーボンニュートラル時代にあっても、これまで通りに安心して電力をお使い頂ける社会の実現に貢献したい。

カーボンニュートラル化の取組みは、一業界・一企業のみでは到底進められないものである。今後も、革新的技術の開発を着実に進めると共に、将来の社会実装に向けた取組みを、多くの皆様のお力をお借りしながら推進して行きたい。

### 【謝辞】

本論の一部には、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「グリーンイノベーション基金事業／CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト／【研究開発項目 3】合成メタン製造に係る革新的技術開発／SOEC メタネーション技術革新事業」の実施計画内容を含む。関係各位に深く感謝いたします。

### 【References】

- 1) 日本天文学会, 「天文学辞書」, 日本天文学会ホームページ, <https://astro-dic.jp/radiative-equilibrium-temperature/>
- 2) 江守正多, 「二酸化炭素の増加が温暖化をまわく証拠」, 2010 年 12 月 16 日, 国立環境研究所地球環境研究センターホームページ, [https://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/4/4-1/qa\\_4-1-j.html](https://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/4/4-1/qa_4-1-j.html)
- 3) 首相官邸, 「第二十三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説」, 2020 年 10 月 26 日, 首相官邸ホームページ, [https://www.kantei.go.jp/jp/99\\_suga/statement/2020/1026shoshinhyoumei.html](https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyoumei.html)
- 4) 資源エネルギー庁, 「令和 4 年度 (2022 年度) エネルギー需給実績 (確報)」, 2024 年 4 月 12 日, 資源エネルギー庁ホームページ, <https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total-energy/index.html>
- 5) 経済産業省総合エネルギー資源調査会基本政策分科会, 「2050 年カーボンニュートラルのシナリオ分析 (中間報告)」, 2021 年 5 月 13 日, 資源エネルギー庁ホームページ, [https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2021/043/043\\_005.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf)
- 6) 経済産業省, 「第 6 次エネルギー基本計画」, 2021 年 10 月 22 日, <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf>
- 7) 国土交通省, 令和 4 年版国土交通白書「第 1 部 気候変動時代とわたしたちの暮らし」, 2022 年 6 月 21 日, 国土交通省ホームページ, <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/pdf/np103200.pdf>
- 8) 博報堂, 「生活者の脱炭素意識&アクション調査」【①意識篇】, 2021 年 9 月調査結果, 博報堂ホームページ, <https://www.hakuhodo.co.jp/news/newsrelease/93767/>
- 9) Global Solar Atlas, <https://globalsolaratlas.info/download/world> を基に筆者加筆
- 10) Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info/en> を基に筆者加筆
- 11) 資源エネルギー庁, 「日本のエネルギー 2023 年度版『エネルギーの今を知る 10 の質問』」, 2024 年 2 月 28 日, 資源エネルギー庁ホームページ, <https://www.enecho.meti.go.jp/>

- about/pamphlet/energy2023/07.html#section2
- 12) International Renewable Energy Agency, "Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping progress in costs, patents and standards", [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA\\_Tech\\_Innovation\\_Indicators\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Tech_Innovation_Indicators_2022.pdf)
  - 13) Tim Grejtak et al., "Evolution of Energy Networks: Decarbonizing the Global Energy Trade", 2020年5月21日, Lux Research, Inc. ホームページ, <https://luxresearchinc.com/wp-content/uploads/2022/07/lux-research-evolution-of-energy-networks-decarbonizing-the-global-energy-trade-executive-summary.pdf>
  - 14) International Energy Agency, "World Energy Outlook 2021", <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
  - 15) 産業技術総合研究所, 「エネルギーキャリアとは?」, 産総研マガジン, 2024年1月24日, [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/magazine/20240124.html#tid-1](https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20240124.html#tid-1)
  - 16) 再生可能エネルギー・水素等関係関係会議, 「水素基本戦略」, 2023年6月6日改訂, [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf)
  - 17) Tree Energy Solutions Belgium B.V. プレスリリース, <https://cdn.sanity.io/files/lzkfj8c9/production/b68b93c9b106f961ed646a791822def1c3e9aabe.pdf>
  - 18) 秋元圭吾, 「E-methane と E-fuel の CO<sub>2</sub> 帰属問題の考察」, 第43回エネルギー・資源学会研究発表会 講演論文集, pp. 170-175 (2023)
  - 19) 大西久男, 「SOEC メタネーション技術革新による都市ガスのグリーントランスフォーメーションへの挑戦」, 水素エネルギーシステム, Vol.47, 34 (2022), を基に作成
  - 20) 大西久男, 「SOEC 高温電解による高効率メタネーション技術革新への挑戦」, 火力原子力発電, Vol.72, 808 (2021).
  - 21) 経済産業省資源エネルギー庁, 第8回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ「資料5 [CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発] プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」, 2021年12月23日, 経済産業省ホームページ, [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/008\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/008_05_00.pdf)
  - 22) 大阪ガス株式会社プレスリリース, 「都市ガスの脱炭素化に貢献『革新的メタネーション』実現のキーとなる新型 SOEC の試作に成功～水素・液体燃料などの高効率製造にも活用可能な技術の開発～」, 2021年1月25日, 大阪ガス株式会社ホームページ, [https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2021/1291456\\_46443.html](https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2021/1291456_46443.html) を基に加筆
  - 23) 大西久男, 「革新的 SOEC メタネーション技術が切り拓く e-methane によるゲームチェンジャーへの挑戦」, 省エネルギー, Vol.75, 42 (2023), を基に加筆
  - 24) 経済産業省, 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(本文), 2021年6月18日, 経済産業省ホームページ, <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/2021061805/20210618005-3.pdf>
  - 25) 大阪ガス株式会社プレスリリース, 「SOEC メタネーションに関するグリーンイノベーション基金事業の採択について～世界最高効率の合成メタン製造技術の開発に挑戦～」, 2022年4月19日, 大阪ガス株式会社ホームページ, [https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2022/1305922\\_49634.html](https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2022/1305922_49634.html)
  - 26) 一般社団法人日本ガス協会, 「カーボンニュートラルチャレンジ2050アクションプラン」, 2021年6月10日, 日本ガス協会ホームページ, <https://www.gas.or.jp/gastainable/CNAP/CNAP.pdf>
  - 27) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構プレスリリース, 「グリーンイノベーション基金事業で, CO<sub>2</sub>などの燃料化と利用を推進」, 2022年4月19日, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ, [https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101536.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101536.html)
  - 28) 大阪ガス株式会社, 第3回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 グリーントランスフォーメーション推進小委員会/総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 2050年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合「資料1-3 [合成メタンの社会実装によるカーボンニュートラル実現への挑戦]」, 2022年2月14日, 経済産業省ホームページ, [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo\\_gijutsu/green\\_transformation/pdf/003\\_01\\_03.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/green_transformation/pdf/003_01_03.pdf) に加筆
  - 29) 大槻貴司, 柴田善朗, 「合成メタン等の製造・供給費用試算」, 経済産業省資源エネルギー庁 第9回メタネーション推進官民協議会 資料3-4, 2022年11月22日, [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/methanation\\_suishin/pdf/009\\_03\\_04.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methanation_suishin/pdf/009_03_04.pdf)
  - 30) 關思超, 「国外製造から国内最終需要までの水素キャリアの経済性・環境性評価」, IEEJ: 2023年11月, <https://enken.ieej.or.jp/data/11407.pdf>
  - 31) 29) を基に筆者作成
  - 32) 大西久男, 「SOEC メタネーション技術による e-methane 低コスト製造への挑戦と e-methane 発電の可能性」, 日本エネルギー学会機関誌 えねるみくす, Vol.103, 65 (2024).
  - 33) 三菱総合研究所, 「2050年カーボンニュートラルの社会・経済への影響」, 2022年7月4日, <https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/policy/dia60u000004dvjf-att/er20220704pec.pdf>
  - 34) 33) を基に筆者加筆

## 一般財団法人 国際貿易投資研究所の調査研究報告書「調査研究シリーズ」のご案内

一般財団法人 国際貿易投資研究所の報告書の全文をダウンロードすることができます。(https://www.iti.or.jp/)

**日本経済産業連動学モデルの構築とその応用研究** (ITI 調査研究シリーズ157号, 2024年3月刊, 2023年度公益財団法人 JKA 補助事業)

JIDEA モデル開発グループ 今川 健 (中央大学名誉教授) 小野充人 (国際貿易投資研究所 (ITI) 研究主幹)

一般財団法人 国際貿易投資研究所 (ITI)

TEL: 03(5148)2601 / FAX: 03(5148)2677

〒104-0045 東京都中央区築地1丁目4番5号 第37興和ビル3階

E-Mail: jimukyoku@iti.or.jp URL: https://iti.or.jp/