

# 次世代熱エネルギーのカーボンニュートラル化に資する 高効率メタネーション技術への挑戦

## Challenge to realize High Efficiency Methanation Technology for Carbon Neutralization of Next Generation Thermal Energy Industry

大阪ガス株式会社 エネルギー技術研究所  
Energy Technology Laboratories, OSAKA GAS Co., Ltd.

大西 久男  
Hisao OHNISHI

キーワード： カーボンニュートラル (Carbon-neutral)、熱エネルギー (Thermal energy)、都市ガス (City gas)、メタネーション (Methanation)、合成メタン (Synthetic methane)、固体酸化物形電解セル (SOEC, Solid Oxide Electrolytic Cells)

### 1. はじめに

2020年10月26日、菅内閣総理大臣は所信表明演説において、我が国が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吸収源による除去・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>1</sup>。これを受け、先ず国内のCO<sub>2</sub>排出量の37%を占める電力部門のカーボンニュートラル化の議論が進められ、同年12月、2050年には再生可能エネルギー電源のみならず全電源の脱炭素化（非化石電源への転換などによるカーボンニュートラル化）を目指すことなどを盛り込んだ「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（以下「グリーン成長戦略」と略記）が策定された<sup>2</sup>。その後、我が国の最終エネルギー消費の約7割を占める燃料・熱分野<sup>3</sup>のカーボンニュートラル化に関する議論が進められ、これらを踏まえ、2021年6月に改訂されたグリーン成長戦略において、燃料・熱分野のカーボンニュートラル化方策などの戦略につき具体化が図られ、“2050年カーボンニュートラルへの挑戦に、成長戦略として取り組む観点から、今後の産業としての成長が期待される重要分野であって、温室効果ガスの排出削減の観点からも、2050年カーボンニュートラルを目指す上での取組が不可欠な分野”のひとつとして、メタネーション技術等による新しい熱エネルギー供給事業等を担う「③次世代熱エネルギー産業」が新設された<sup>4</sup>。

本稿では、都市ガスのお客さまが既存の都市ガス利用機器・設備をそのまま活用しながら円滑に脱炭素化を進めることができる合理的な手法であるメタネーションの概要および、水電解水素製造をも上回る高いエネルギー変換効率で非化石電力によりメタン等を合成可能な革新的技術として期待されているSOECメタネーション技術等の概要と当社の取組み、今後の展望などについて述べたい。

### 2. 燃料・熱分野のカーボンニュートラル化とメタネーション

#### 2.1 燃料のカーボンニュートラル化とカーボンニュートラルメタン

脱炭素社会（カーボンニュートラル社会）においても、燃料が重要な役割を担うと考えられ、燃料のカーボンニュートラル化（化石資源由来→非化石由来への転換）への挑戦は、我が国全体のカーボンニュートラルを実現するためには非常に重要と考えられる。

燃料のカーボンニュートラル化手段として、グリーン水素（電解水素）の製造・利用技術の検討が進められている。これは、再生可能エネルギー等の非化石電力を用いて水を電気分解することにより得られた水素

<sup>1</sup> 首相官邸、「第二百三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/2020/1026shoshinhvomei.html](https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhvomei.html)

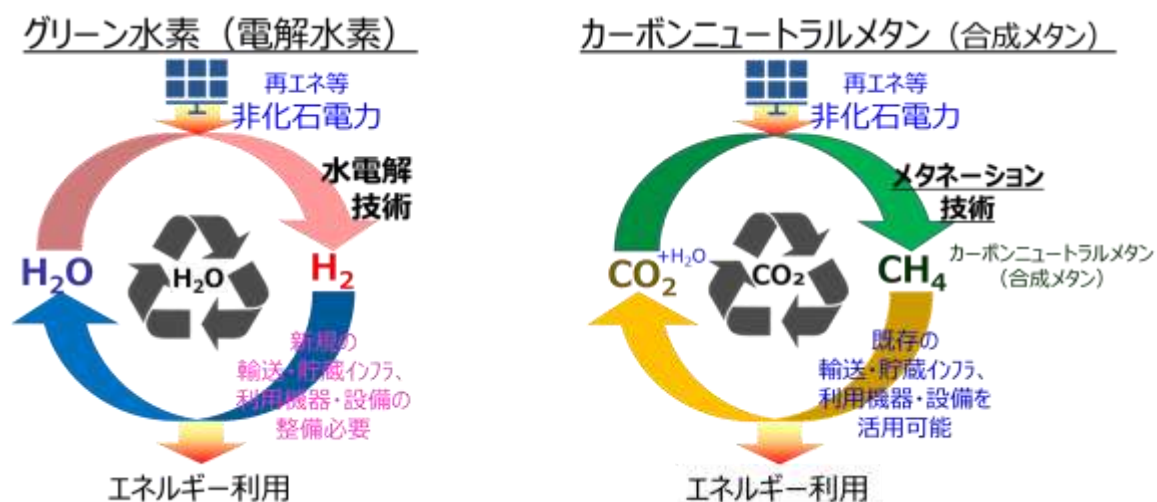
<sup>2</sup> 内閣官房、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、成長戦略会議（第6回）配付資料、2020年12月25日、成長戦略会議ホームページ <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/index.html>

<sup>3</sup> 経済産業省、「総合エネルギー統計2019年度」、2021年4月13日、経済産業省ホームページ [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)

<sup>4</sup> 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を策定しました」、2021年6月18日、経済産業省ホームページ <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

をエネルギー消費地に運搬し、熱需要や発電用途などに利用するものであり、その、製造・利用サイクルは、図1の左側のように表される。巨視的にみると、非化石電力を一次エネルギーとしたエネルギー利用システムであり、その中で水素はエネルギーキャリアの役割を担っている。この製造・利用サイクル自体には、CO<sub>2</sub>を直接削減する作用はないものの、大気中のCO<sub>2</sub>は増えも減りもせず、カーボンニュートラルと見なしうる系と言える。CO<sub>2</sub>の削減効果は、従来使用されていた化石資源由来燃料をこのサイクルで得られた水素により代替することにより、それまで使用されていた化石資源由来燃料により排出されていたCO<sub>2</sub>を削減する効果により得られることになる。

一方、本稿にて取り上げるメタネーションによるカーボンニュートラルメタンの製造・利用サイクルは、様々な手法により回収されたCO<sub>2</sub>を原料として活用し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（合成メタン）をエネルギー消費地点に供給し、熱需要や発電用途などに利用するものであり、図1の右側の様に表される。このサイクルにおいては、合成メタン製造時に原料とするCO<sub>2</sub>量と利用時のCO<sub>2</sub>排出量が均衡し、グリーン水素の場合と同様に大気中のCO<sub>2</sub>は増えも減りもせず、カーボンニュートラルと見なしうる系と言える。従来使用されていた化石資源由来燃料をカーボンニュートラルメタンにより代替することにより、化石資源由来燃料起因のCO<sub>2</sub>を削減することで、CO<sub>2</sub>削減効果が得られる。



**図1** グリーン水素（電解水素）とカーボンニュートラルメタンの製造・利用サイクル

## 2. 2 燃料のカーボンニュートラル化手段としての従来メタネーション技術と革新的な高効率技術

既にグリーン水素の直接利用に関しては様々な検討が進められており、今後、沿岸部等の適地や燃料電池自動車用途などにおける利用は進むものと考えられる。一方、今後のエネルギーシステムのカーボンニュートラル化の実現を目指して、多様なカーボンニュートラル化手法の検討が進められているが、多くの手法について様々な局面でのコストアップが懸念されており、これらがカーボンニュートラル化手段の社会実装の不確実性の大きな要因となると考えられている中、「既存の社会インフラの有効活用」は最も確実なコスト抑制策であると考えられる。そのような観点では、メタネーションは、エネルギーユーザーから見ると、既存の都市ガス利用機器・設備などをそのまま活用しながら脱炭素化を進めることができる合理的な手法であり、供給側から見ると既存の都市ガス供給インフラを活用できるため、効率的に多くのユーザーに脱炭素化効果をお届けできるものと期待されている。

従来のメタネーションは、図2の中段に示されるように、一旦、水電解法等により製造した水素と様々な手法により回収したCO<sub>2</sub>を反応させメタンを合成するものである。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は70~80となり、更にメタンに変換する際のエネルギー損失により得られるメタンのエネルギー量（HHV）は55~60にとどまる。

一方、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、従来のメタネーションが非化石電力等から水素を経て二段階でメタンを合成するものであったのに対して、図2の下段に示されるように、非化石電力等をもとに、水と回収したCO<sub>2</sub>を原料として一気通貫システムにより、直接メタン等を合成するものであり、水素の供給が不要で、電力からメタンへのエネルギー変換効率が85～90%と、カーボンニュートラル燃料の製造技術の中でも他に類を見ない高い効率が期待される点が大きな特徴であり、電力100を活用して、水電解水素（70～80）よりも高い効率で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化石燃料由来CO<sub>2</sub>の削減効果が極めて大きい。

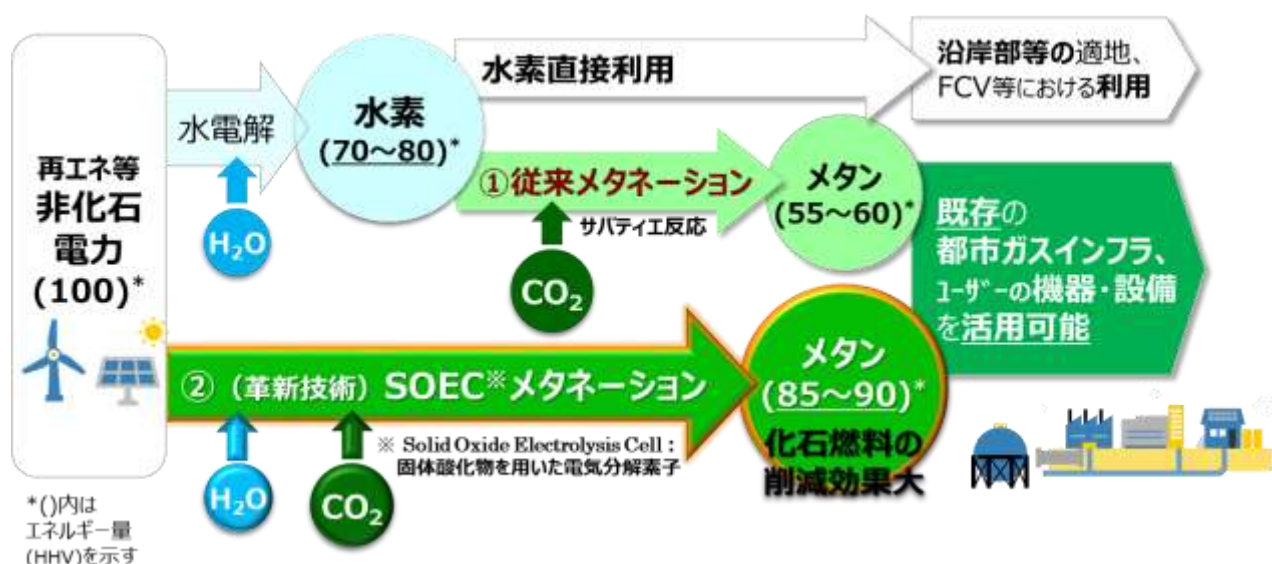


図2 非化石電力由来の水素直接利用・従来メタネーション・SOECメタネーションの比較

### 2.3 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では、図3の上段に示されるように、水の電気分解とサバティエ反応と呼ばれるメタン合成反応の両方の装置で発熱が起き、これを有効利用することが難しかったため、システム全体としてのエネルギー損失が大きく、電力からメタンへのエネルギー変換効率は55～60%程度にとどまる。

一方、図3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（Solid Oxide Electrolytic Cells：固体酸化物形電解素子）を内蔵したSOEC高温電解装置とメタン化反応装置、熱有効利用系より構成されている。電力をSOECに供給し、電気分解反応により水蒸気と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ため反応が進みやすく、他の方法に比べより少ない電力により水素とCOを生成することができる<sup>5</sup>のに加え、メタンを合成する際に生じた

（従来は棄てられていた）排熱を水蒸気生成に有効利用できるため、システム全体として無駄になるエネルギーが非常に少なく、結果的に、電力からメタンへのエネルギー変換効率が85～90%と非常に高くなると期待されている。また、電力以外のエネルギー供給は不要である。

従来のメタネーション技術は、水素を原料としてメタンを合成するものであり、電力からの変換効率は水電解水素製造を上回ることが出来なかったが、SOECメタネーション技術が実現すれば、上述のように水素より高い効率で化石燃料代替（削減）可能となり、製造に要する電力量当たりのCO<sub>2</sub>削減効果が最も大きい燃料のカーボンニュートラル化手段として、その実現が期待される。従来のメタネーションによるメタン製造のランニングコストの大部分を電力コストが占めているが、SOECメタネーションでは使用の使用量を約2/3に大幅削減することが出来るため、製造コストの抜本的削減が可能となると期待されている。

<sup>5</sup> 電気分解反応は、温度が高いほど、より少ない電力で反応を進められる。

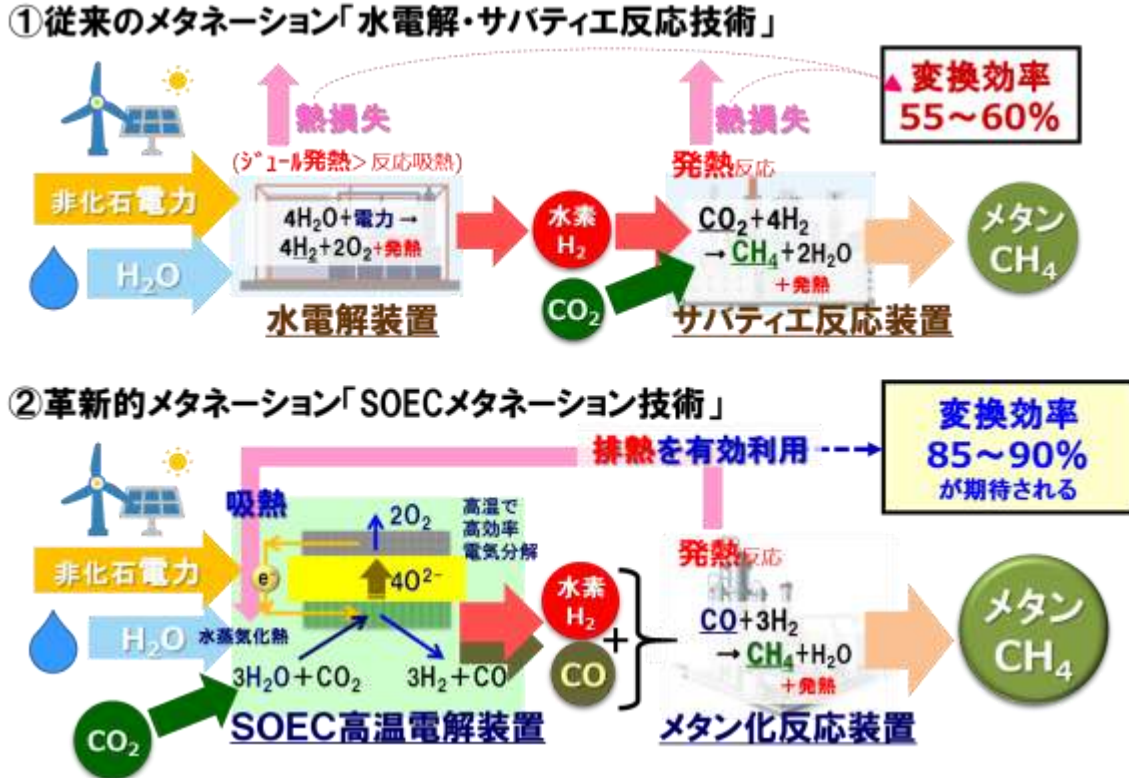


図3 従来のメタネーション技術と革新的メタネーション（SOECメタネーション）技術の比較

### 3. メタネーション技術開発に関する当社の取組み

当社では、カーボンニュートラル時代においてもカーボンニュートラルな都市ガスをお客さまにお届けし続けるための様々な方策の検討を進めてきた。

そのうち、従来メタネーション技術を活用した取り組みのひとつとして、2025年の大阪・関西万博に向けて、会場の生ごみから発生するバイオガスに低まれるCO<sub>2</sub>と再エネ由来水素からカーボンニュートラルメタンを合成し、より多くのメタンを得るメタネーション技術の実証を提案中である。

#### 3.1 SOECメタネーション技術開発に関する当社の取組み状況

当社は、SOECメタネーション技術の高いポテンシャルに着目し、このシステムの要素技術開発を進めてきた。

当社は、国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で、国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構の「CO<sub>2</sub>有効利用技術の先導研究（CO<sub>2</sub>直接分解）」事業（2019-2020年度）を受託し、SOECの電解性能の向上・燃料等生成反応の制御などの技術課題に関する基礎研究に取り組み、高性能化シーズ技術の可能性確認と課題抽出を進めてきた<sup>6</sup>。

図4にSOECメタネーションシステムに関連する当社の保有技術と取組状況をまとめた。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、SOFC（固体酸化物形燃料電池）コジェネレーションシステムとの相似点が多く、これまで当社が蓄積してきた燃料電池コジェネレーションシステム関連技術（SOFC技術、触媒技術、熱利用マネジメント技術）を活用しながら研究開発を進めている。

通常のメタネーション技術により得られるのはメタンのみであるが、当社は、COと水素からメタンだけでなくエタン、プロパン、ブタン等の増熱成分も併産する触媒の研究に取り組んできた<sup>7</sup>。この成果などを発展

<sup>6</sup> 「次世代火力発電等技術開発/次世代火力発電技術推進事業/CO<sub>2</sub>有効利用技術の先導研究（CO<sub>2</sub>直接分解）」に係る実施体制の決定について、2019年7月22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/koubo/EV3\\_100189.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100189.html)

<sup>7</sup> 大阪ガス株式会社・資源エネルギー庁、「低品位炭からのクリーンメタン製造技術研究」終了時評価説明資料、2015年

させ、現在の都市ガスの標準熱量（45MJ/Nm<sup>3</sup>）に近いガスを得る方法を開発していきたい。

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、システム全体のスケールアップを進めることが必要である。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・実操作を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側のメタン合成反応装置のスケールアップ開発については、その知見や別途進められようとしている従来メタネーションの大型化技術開発の成果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、大規模なガス製造設備の実用化に必要なスケールアップ開発例は世界的にも未だ見当たらない。今後、このシステムの大規模実用化を考える上では、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いる。

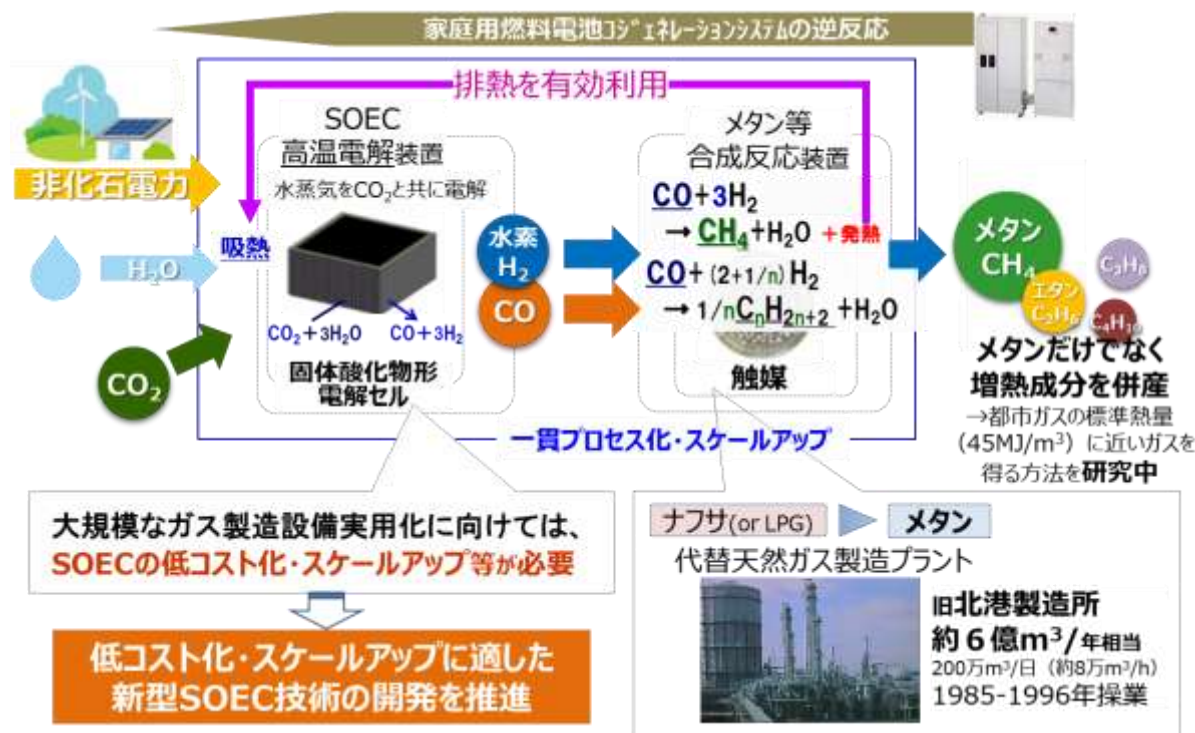


図4 当社の本技術開発関連保有技術と取り組み状況

### 3. 2 革新的金属支持型SOECの開発<sup>8</sup>

これまで開発されてきたSOECは、全体が特殊なセラミックス材料で構成され構造を支持する「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、ホーロー食器のように、丈夫な金属板の表面を薄いセラミックス層で覆った、金属支持型のSOECを独自に開発・試作し、スケールアップするに当たっての基本単位となる単セルの実用サイズ品の試作にも成功した。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
- ・従来のセラミックス支持型に比べ、衝撃にも強く、強靱であること
- ・溶接などにより多数の素子を接続しやすく、スケールアップが容易であること

12月21日、経済産業省ホームページ

[https://www.meti.go.jp/policy/tech\\_evaluation/c00/C0000000H27/151221\\_clean/clean\\_siryou5.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H27/151221_clean/clean_siryou5.pdf)

<sup>8</sup> 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)

などの特長を有しており、低コスト化やスケールアップの実現に適していると期待される。

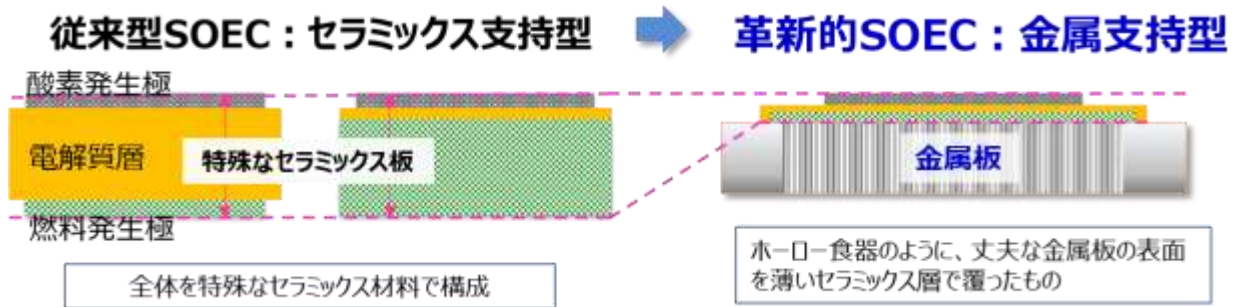


図5 革新的SOEC（金属支持型）の断面構造イメージと特徴

#### 4. 今後の展望

##### 4.1 都市ガス業界が目指すカーボンニュートラル化の姿

2021年6月に公表された一般社団法人日本ガス協会の「カーボンニュートラルチャレンジ2050アクションプラン」<sup>9</sup>において、都市ガス業界として、2050年には複数の手段を活用しガスのカーボンニュートラル化の実現を目指し、メタネーション技術によるカーボンニュートラルメタン（合成メタン）のガス全体に占める比率を90%とする姿が示されている。

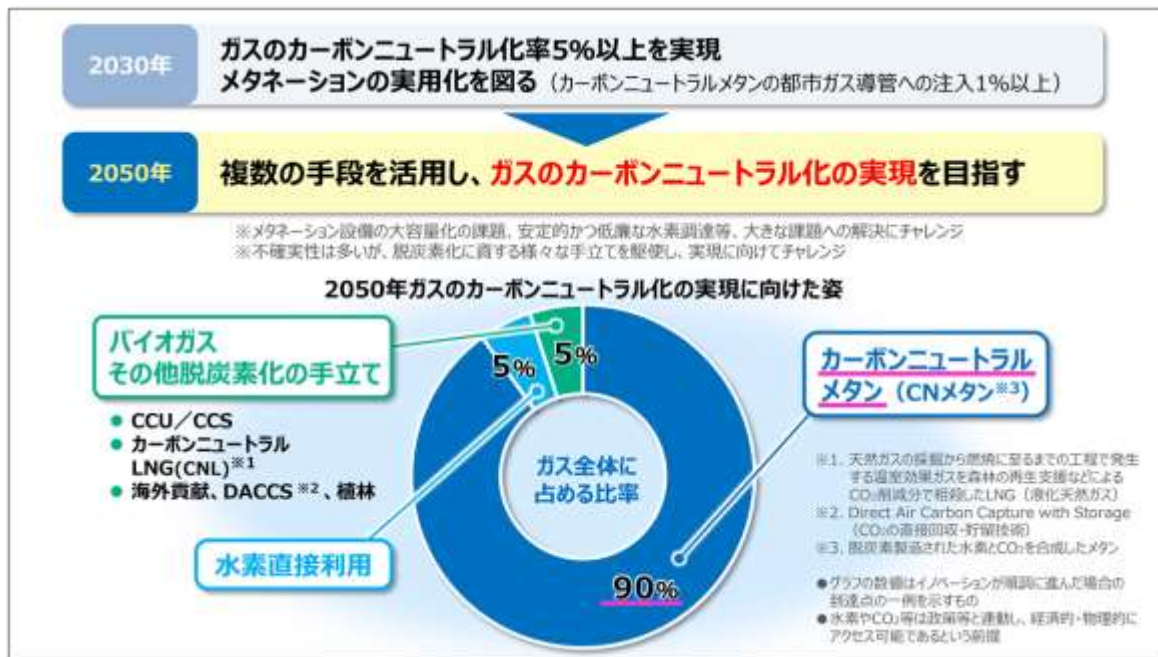


図6 都市ガス業界が目指すカーボンニュートラル化の姿

##### 4.2 2050年に向けた次世代熱エネルギー需要のカーボンニュートラル化の実現に向けたメタネーション技術開発の重要性

現在策定が進められている「第6次エネルギー基本計画（案）」<sup>10</sup>においても、「天然ガスは化石燃料の中でCO<sub>2</sub>排出量が最も少ないため、天然ガスへの燃料転換等によって熱需要の低炭素化に貢献できるとともに、供

<sup>9</sup> 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」アクションプランの策定および「カーボンニュートラル委員会」の設置について、2021年6月10日、日本ガス協会ホームページ <https://www.gas.or.jp/newsrelease/0610CNAP.pdf> に筆者加筆

<sup>10</sup> 経済産業省資源エネルギー庁、「第6次エネルギー基本計画（案）」、2021年9月3日、経済産業省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/opinion/data/01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/opinion/data/01.pdf)

供給サイドにおいてメタネーション等の技術が確立すれば、既存インフラや設備を利用可能な合成メタン等が天然ガスを代替できるようになるため、燃料転換等を行った需要サイドは将来的に合成メタン等の供給を受けることにより、2050年に向けてコストを抑えつつより円滑な脱炭素化への移行が期待できる。」と記されており、低炭素社会から脱炭素社会への移行期においては、メタネーション技術の開発と需要サイドにおける天然ガスへの燃料転換を進めておき、メタネーション技術の確立と導入拡大に伴い供給サイドが天然ガスの合成ガスへの転換を進めれば、需要サイドはそのまま円滑にカーボンニュートラル化を進めることができると期待され、「メタネーション技術開発」と「天然ガスへの燃料転換」が、2050年に向けた次世代熱エネルギー需要のカーボンニュートラル化を推進する両輪となることが記載されている。

### 4.3 SOECメタネーション技術の社会実装に向けたロードマップ

2021年6月に改訂されたグリーン成長戦略において、重要分野のひとつとして新設された、「③次世代熱エネルギー産業」の成長戦略の工程表（ロードマップ）のうちメタネーションに関する部分を抜粋したものを図7に示した。従来メタネーション技術については、大型化技術開発を進め、2030年度までに大規模実証とコスト低減を進め、2030年代には導入拡大、2040年代に商用的拡大・海外への展開を進めるものと記されている。また、SOECメタネーション等の革新技术については、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進展させるものと記されている。

産学官の多大なご支援を得ながら、当社もSOECメタネーションの技術開発を強力に推進し、この工程表（下段）を踏まえ、2030年度までに技術確立を進め、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、2050年カーボンニュートラルメタン導入率90%の達成に貢献していきたいと考えている。

#### ③次世代熱エネルギー産業の成長戦略「工程表」



図7 グリーン成長戦略“重点分野③次世代熱エネルギー産業”の成長戦略工程表（一部）<sup>11</sup>

### 4.4 革新的SOEC技術の広い分野への展開

革新的SOEC技術は、各種合成反応と組み合わせることにより、メタン製造用途だけでなく、水素・液体燃料・アンモニア・化学品原料などの高効率製造のキー技術となりえるものと考えられる。特に、水素とCOを原料として各種燃料や化学原料を合成する反応は総じて発熱反応であり、SOECメタネーションと同様に反応排熱をSOEC高温電解装置にて有効利用することにより高効率（省電力）合成が可能となるものと期待される。今後、世界的に「非化石電力から非化石燃料・化学原料・種々の素材を合成する」産業構造

<sup>11</sup> 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」、2021年6月18日、経済産業省ホームページ <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-4.pdf> に筆者加筆

へのパラダイム転換が進むものと考えられることから、低コスト化・スケールアップに適した世界初の独自技術である革新的SOEC技術を確立・実用化することにより、我が国の産業の国際競争力の源泉獲得にも貢献するものと期待され、他業界との連携も進めていきたいと考えている。



図8 本技術開発成果の広い分野への展開の可能性

## 5. 最後に

我々の目指すところは、従前より都市ガスをお使い頂いていたお客さまや都市ガスに燃料転換して頂いたお客様に「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。」と将来言って頂ける事である。

エネルギーのカーボンニュートラル化に関する取り組みは非常に長期に渡るものと考えられるが、空調・衛生設備などを始めとする都市エネルギーシステムのカーボンニュートラル化に我々の取り組みが貢献できることを目指して、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り組みを、皆様のお力をお借りしながら推進して行きたい。