

# 水素キャリアとしてのカーボンニュートラルメタンの展望

## Perspectives for Carbon-neutral Methane as a Green Hydrogen Carrier

柴田善朗\*

### 1. はじめに

近年、エネルギーシステムの低・脱炭素化に向けて水素利用促進の動きが、我が国をはじめとして世界で拡大している。我が国は2017年に水素基本戦略を策定したが、その後、中国、韓国、オーストラリア、ニュージーランド、ドイツ、ノルウェー、EU等も水素の国家戦略を発表している。しかしながら、水素利用拡大の実現には乗り越えなければならない課題が多い。

まず、供給側である。水素は、大きく分けて、一般的呼称ではあるが、再エネから製造するGreen水素と化石燃料 + CCS (Carbon Capture and Sequestration) によって製造するBlue水素に分類される。両者ともに現状では既存の商用エネルギーと比べて経済性に劣っており、前者は再エネと水電解装置のコスト削減、後者はCCSの実施可能性とコスト削減が主な課題となる。

次に、需要側の課題である。水素の需要創出・拡大が不可欠であるが、水素は熱量当たりの体積が大きく、取り扱いが面倒で、既存のインフラ・機器では輸送・消費に大きな障壁がある。そこで、水素を液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、メタノール、メタン等に変換することで輸送や消費を容易にすることができる。液化水素や有機ハイドライドはNEDOによる実証が進められており、アンモニアもサプライチェーン構築に向けた民間企業の活動が活発化している。メタンに関しては、数年前から、メタネーションやカーボンリサイクルというキーワードによって、カーボンニュートラルメタンが注目を浴びるようになってきた。カーボンニュートラルメタンは水素とCO<sub>2</sub>から生成される合成メタンであるが、本稿では、その意義、メリット、課題を踏まえつつ、今後の可能性を展望する。

まずは、次章で、カーボンニュートラルメタンが注目される背景を水素需要拡大策の文脈で見つめる。

### 2. 水素需要拡大に向けた課題

水素は、再エネ、化石燃料、廃棄物等、偏在する多様な資源から製造できることから、供給源を分散化でき、エネルギーセキュリティー改善の効果も期待される。一方で、水素需要の創出が課題となる。現在の水素利用は、石油精製、化学、半導体、食品工業等での原料用途がほとんどで、燃料電池自動車が普及し始めているものの、エネルギー用途は非常に限定的である。さらに、これらの水素は化石燃料由来である。

欧州では、まずは既存の化石燃料由来水素需要(主に工業用原料用途)のGreen水素への変換を目指す動きがある。これらの需要は小規模・分散型であり高額な水素を調達していることから、現状では製造コストが高いと言われているGreen水素でも競合できる可能性がある。同時に、大規模産業等へのエネルギー用途へと徐々に水素市場を拡大していく。この戦略の中で、既存インフラ・機器を有効活用しようとする意図が窺える。一方、我が国では最初から、現在ほぼ存在しない発電や運輸部門等での大規模・新規需要の開拓及び新規インフラの構築を目指しており、水素需要創出には大きな障壁になると考えられる(図1)。

欧州<sup>(2, 3)</sup>のみならず豪州<sup>(4)</sup>でも、水素需要創出方策の一つとして、既存都市ガスインフラへの水素混合が挙げられている。2019年6月に発表されたIEAの“The Future of Hydrogen”でも、水素利用拡大のために今後10年で必要な具体的な取組みの

\*日本エネルギー経済研究所 新エネルギーグループ マネージャー 研究主幹

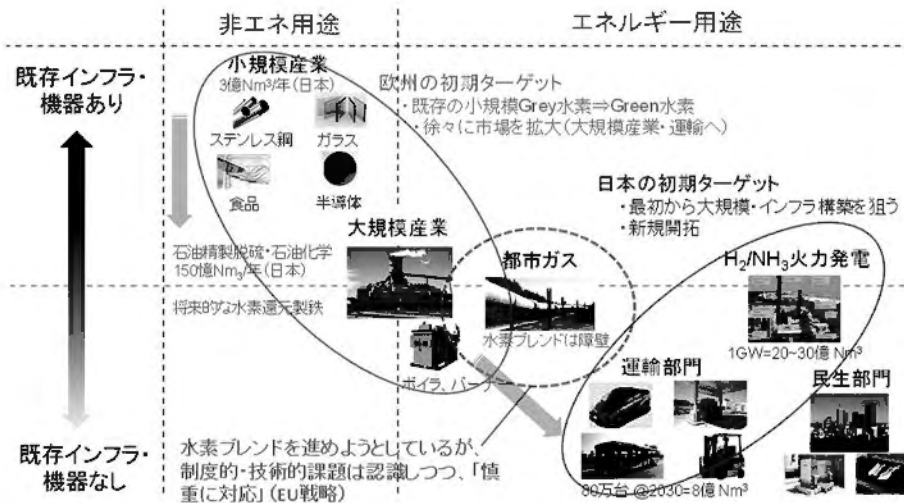


図1 水素需要拡大策における日本と欧州の差異<sup>(1)</sup>

一つとして、既存天然ガスネットワークの活用を挙げている。

しかしながら、都市ガスインフラへの水素混合には数多くの課題がある。現在の計量方法の体積から熱量への変更、需要家機器の熱量調整、水素の安全性への対応、プロセスで炭素が必要となる浸炭や超高温加熱炉等の産業特殊用途への対応など多くの障壁がある。欧州でもこれらの課題は認識されており、また、地域によって水素混合率が異なると都市ガスの流通に支障があるとの指摘もあり、将来的には水素専用インフラの構築も視野に入れている<sup>(2)</sup>。

それでも都市ガスへの水素混合を進める背景には、水素の初期需要の創出がある。例えば技術的な障壁がなく、都市ガスインフラで2 vol%の水素を受け入れることが可能とした場合、現在の我が国の都市ガス需要約380億 $m^3$  (45 MJ/ $m^3$  換算)に基づく8億 $Nm^3$ の水素を混合できることになる。これは、工業用途水素需要の約2億 $Nm^3$ を大きく上回る規模であり、それなりに水素の初期需要創出には貢献できる。一方で、水素を受入れる都市ガスの側から見ると水素混合による都市ガスの低炭素化効果を期待するものの、水素の体積当たりの熱量(高位12.8 MJ/ $Nm^3$ )が都市ガス(45 MJ/ $m^3$ )に比べて1/3未満と非常に小さいことから2 vol%の水素を混合しても都市ガスの低炭素効果は0.6%程度にしかない。実際には、上述の課題への対応も求められる。したがって、都市ガスへの水素ブレンドは水素の初期需要創出を早めたいという水素側に立った視点であり、受入れ側の都合を無視している点を認識しなければならない。

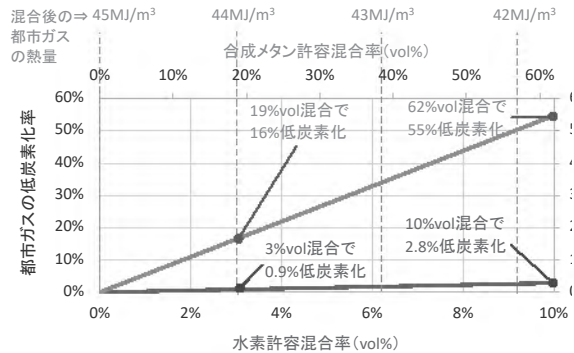


図2 都市ガスへの混合における水素と合成メタンの低炭素化効果の比較<sup>(5)</sup>

注：合成メタン=カーボンニュートラルメタン。CO<sub>2</sub>分離回収用投入熱量によるCO<sub>2</sub>排出は含んでいない。また、水素、合成メタンともに、熱量調整のために必要なLPGの添加も捨象している。

そこで、カーボンニュートラルメタンの混合が候補となる。メタンは都市ガスの主要原料であり、熱量が39.8 MJ/ $Nm^3$ (高位)と主要な地域の都市ガスの熱量45 MJ/ $m^3$ とかなり近いことから、既存都市ガスインフラをほぼそのまま利用できるというメリットがある。また、熱量を基準とした混合可能量も水素と比べて大きいことから、低炭素化効果は水素混合と比べて19倍程度になる(図2)。

### 3. カーボンニュートラルメタンとは

次に、カーボンニュートラルメタンの正確な定義付けが必要となる。カーボンニュートラルメタンは水素とCO<sub>2</sub>から生成されるが、その名前が示す通り低・脱炭素化が目的である。以下では、水素の起源、CO<sub>2</sub>の起源、カーボンニュートラルメタン燃焼によるCO<sub>2</sub>排出の解釈について整理する。

### 3.1 水素起源

メタンを合成するプロセスの総称をメタネーション (Methanation), 生成物を合成メタン (Synthetic Natural Gas) と言う。従前は、メタネーションとは石炭からの合成メタンの製造を指しており、米国の Dakota Gasification Company が 1984 年に世界で初めて商用化を実現させ現在も操業を続けている。中国でも、数件の事例が見られる。ただし、これらの事例は、拡大する都市ガス需要に対応するために、豊富に賦存する安価な石炭から合成したメタンを都市ガスの原料として用いる取組みであり、低炭素化を目指したものではない。

近年注目されているメタネーションは、各々異なる起源から発生する水素と CO<sub>2</sub> からの合成メタンの生成である。水素は、製造プロセスでの CO<sub>2</sub> 排出量が非常に限定的な水素でなければならず、再エネ由来の Green 水素と化石燃料 + CCS (Carbon Capture and Sequestration) 由来の Blue 水素が候補になる。しかしながら、Blue 水素をメタネーションに使う場合は、化石燃料から一度 CO<sub>2</sub> を分離して水素を作り、CO<sub>2</sub> と水素を反応させてメタンを合成することから、化石燃料を再度人工的に製造することに等しく、エネルギー変換ロスが大きく非合理的なプロセスである。したがって、原則としてメタネーションに利用する水素を再エネ電力 + 水電解 (Power to Gas : PtG) によって製造される Green 水素に限定し、製造される合成メタンをカーボンニュートラルメタンと呼ぶ。

合成メタンの生成技術は、1911 年に発見された

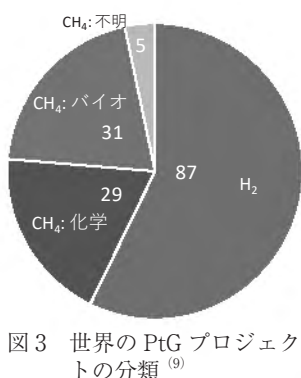


図 3 世界の PtG プロジェクトの分類<sup>(9)</sup>

化学反応であるサバティエ (Sabatier) 反応<sup>(6)</sup>が主流であるが、メタン菌によるバイオ反応<sup>(7)</sup>の取組みも見られる。また、研究開発段階ではあるが、水と CO<sub>2</sub> を同時に電解する SOEC 共電解 (Solid Oxide Electrolysis Cell Co-Electrolysis) とその下流の FT 合成 (Fischer-Tropsch Synthesis) によって製造する技術もある。“水電解 + Sabatier 反応”と比べて“SOEC 共電解 + FT 合成”の方が、システム効率が高いという分析例もある<sup>(8)</sup>。図 3 は、世界の PtG プロジェクトの製造ガス種別のシェアを示す。製造ガスの半分以上は水素であるが、合成メタンも 40% を占めている。

我が国でも、カーボンニュートラルメタンに関して、NEDO や環境省の実証や民間企業団体<sup>(10)</sup>による取組みが行われている。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 起源と CO<sub>2</sub> の再排出

次に、カーボンニュートラルメタンの製造に利用する CO<sub>2</sub> に関してだが、メタンは燃焼すると CO<sub>2</sub> が排出されることから、カーボンニュートラルメタンの製造に利用する CO<sub>2</sub> はバイオマス由来か DAC (Direct Air Capture) 由来でなければならない、という指摘がある。

この指摘が誤解であることは、図 4 を見れば明らかである。カーボンニュートラルメタンは使用時に CO<sub>2</sub> が排出されるが、製造時に分離回収される CO<sub>2</sub> とオフセットされる。つまり、元々の排出源からの時間差・地点差の排出 (DAC の場合は大気に戻す) に過ぎない。言い方を換えれば、カーボンニュートラルメタンは Green 水素のキャリアであり、分離回

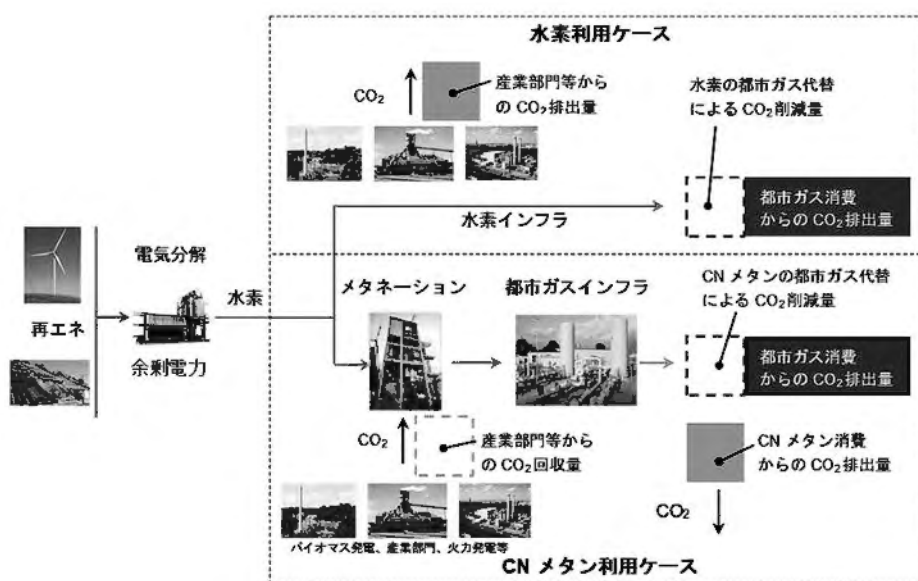


図 4 カーボンニュートラルメタン製造・利用フロー<sup>(11)</sup>



収されたCO<sub>2</sub>を利用・再排出しているだけであり、CO<sub>2</sub>排出削減はあくまで再エネ由来水素に起因する。したがって、どのようなCO<sub>2</sub>（化石燃料由来、バイオマス由来、DAC）を利用してもCO<sub>2</sub>排出削減効果は同じである。逆に、当然のことながら、バイオマス由来CO<sub>2</sub>やDAC由来CO<sub>2</sub>を利用しても、再排出されることから、ネガティブエミッションにはならない。

### 3.3 水素が主でCCUは副

上記のCO<sub>2</sub>起源に関するこのような誤解は、カーボンニュートラルメタンをCCU（Carbon Capture and Utilization）の領域で見ることによって生じている。一般に、CCUはCCUS（Carbon Capture Utilization and Sequestration）という領域でCCSと同分類されているが、CCSとCCUはCO<sub>2</sub>の分離回収より下流では、全く異なる技術・低炭素化ドライバーである点に留意が必要である。CCSは分離回収されたCO<sub>2</sub>を固定化するという機能を有することで化石燃料を利用し続けつつ低炭素化を図るが、CCUは化石燃料の代替によって低炭素化を図るものである。CCUにおいて製造される製品が非エネルギーの場合は、分離回収されたCO<sub>2</sub>自体に化石燃料代替効果がなければならぬ（例えば建材等）。一方、エネルギー（カーボンニュートラルメタンを含む合成燃料）が製品の場合は、分離回収されたCO<sub>2</sub>に結合させるGreen水素に化石燃料代替効果があるのであって、CCUを行うこと自体には低炭素化効果はない。

全く機能も低炭素化ドライバーも異なるCCUをCCSと同じ分類にすることで、CCSに固有のCO<sub>2</sub>固定化という機能をCCUにも要求してしまうことから、CO<sub>2</sub>はバイオマスやDAC由来でなければならないという誤解が生まれる。カーボンニュートラルメタン製造用のCO<sub>2</sub>は分離回収・利用・再排出されているだけであり、その過程でGreen水素が化石燃料を代替している。CCSとCCUは分離して議論すべきであり<sup>(12)</sup>、また、カーボンニュートラルメタンはGreen水素が主でCCUは副である。

## 4. カーボンニュートラルメタンのポテンシャルと経済性

### 4.1 ポテンシャル

カーボンニュートラルメタンの製造ポテンシャルは、Green水素とCO<sub>2</sub>の量によって決定される。Green水素は、国外で検討されているように、広大な土地に水素製造専用の太陽光発電や風力発電を大

規模に建設すれば、かなり膨大な量を製造できるが、我が国のように利用可能な土地に制約がある場合は、まずは再エネ余剰電力量の利用が現実的である（ただし、将来的には大規模洋上風力発電の可能性はある）。CO<sub>2</sub>に関しては、大気中CO<sub>2</sub>の利用の場合には量的制約はないが、CO<sub>2</sub>濃度が低く、CO<sub>2</sub>分離回収効率や経済性の観点から、当面は火力発電、大規模産業、バイオマス発電等からの排出が候補になる。

図5及び図6は、それぞれ、我が国におけるカーボンニュートラルメタン製造ポテンシャル、現在の都市ガス需要量を上限とした有効利用可能ポテンシャルの分析事例である。一般的に、小規模分散的に排出されるCO<sub>2</sub>の分離回収は非効率的であることから、この例では、工業地帯における火力発電、バイオマス発電、大規模産業からの大規模かつ集約的なCO<sub>2</sub>排出のみに限定している。また、再エネ系統統合対策の進展を踏まえ、蓄電池導入や地域間連系線増強による再エネ余剰電力の系統吸収効果も踏まえている。

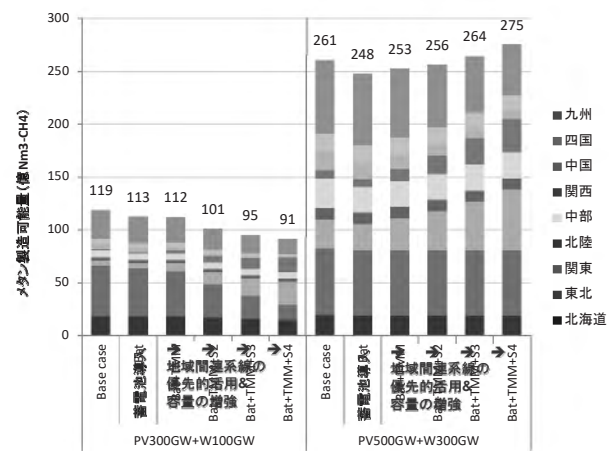


図5 カーボンニュートラルメタンの製造ポテンシャル<sup>(11)</sup>

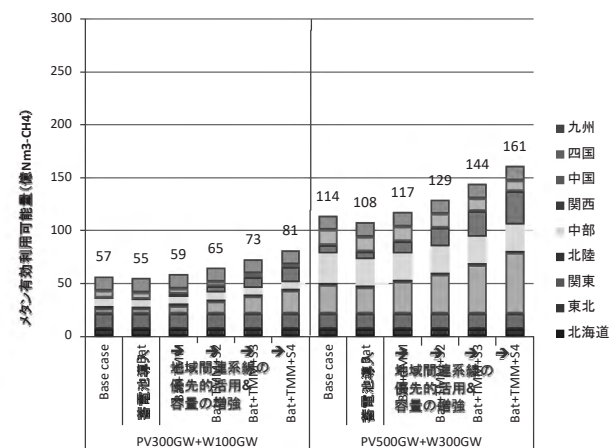


図6 カーボンニュートラルメタンの有効利用可能量<sup>(11)</sup>

“太陽光 300GW + 風力 100GW” ケースでは、地域間連系線増強による再エネ余剰電力の地方から電力多消費地域への融通の促進によって、東北や九州でのカーボンニュートラルメタン製造可能量の減少、関東や関西における増加、並びに関東や関西の大規模電力需要による余剰電力の吸収効果によって、全国のカーボンニュートラルメタン製造可能量が減少することがわかる。“太陽光 500GW + 風力 300GW” まで拡大すると、再エネ余剰電力が増大し、北海道や東北では利用できる集約的 CO<sub>2</sub> 排出量の全てを利用することになり、カーボンニュートラルメタンの製造可能量が上限に達している。このため、カーボンニュートラルメタンの製造に利用できない再エネ余剰電力が地域間連系線を通じて関東などの大規模電力需要地域に融通され、全国のカーボンニュートラルメタンの製造量が増加する。

“太陽光 300GW + 風力 100GW” ケースで製造可能なカーボンニュートラルメタンは概ね 100 億 Nm<sup>3</sup> であり、現在の都市ガス需要のメタン熱量換算値 383 億 Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub> の約 30% に相当する。“太陽光 500GW + 風力 300GW” ケースでは、都市ガスの約 70% を低炭素化できることになるが、逆の見方をすれば、かなり大規模の自然変動型再エネの導入が必要になることを示している。

ただし、これらの製造可能なカーボンニュートラルメタンを全て利用できるのではなく、現在の都市ガス需要量を上限とした有効利用可能量は、“PV300GW + 風力 100GW” ケースで 60 億~80 億 Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub>、“PV500GW + 風力 300GW” のケースで 100 億~160 億 Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub> となる。それでも都市ガスの低炭素化効果は大きいと言える。

#### 4.2 経済性

カーボンニュートラルメタンの経済性を水素と比較した分析事例を図 7 (メタン熱量換算表示のコスト) に示す。製造コストのみを比較すると、水素の方が大幅に安い。これは、カーボンニュートラルメタンの熱量は水素の約 3 倍であるが、カーボンニュートラルメタン製造には水素製造の 4 倍の規模の水電解、メタネーション設備、CO<sub>2</sub> 分離回収設備が必要となり、総設備費は水素製造の場合の 6 倍程度になるからである。しかしながら、製造のみならず需要家への配送まで含めた供給コストを見ると、ほとんどの領域でカーボンニュートラルメタンの供給コストの方が水素供給コストより低くなる。再エネ余剰電力量が限定的で水電解やメタネーション設備の設備利用率が低い状況で、かつコンビナート等

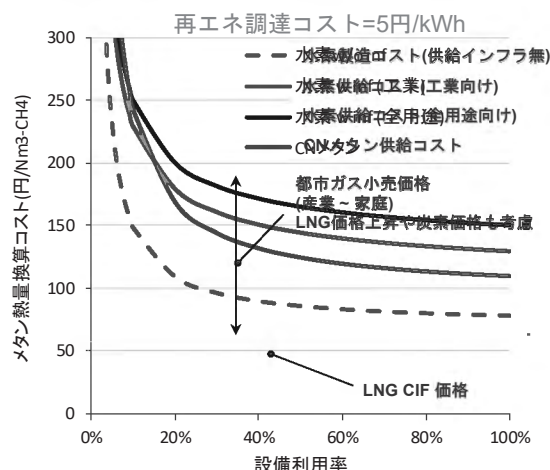


図7 水素とカーボンニュートラルメタンの供給コスト<sup>(13)</sup>

水素導管敷設を局所的に抑えられる地域限定的な場合(工業用途向け)においては水素の供給コストの方が低いが、それ以外の場合はカーボンニュートラルメタンの供給コストの方が低くなっている。これは、水素の場合はパイプラインなど新たな供給インフラが必要になるが、カーボンニュートラルメタンの場合は既存のインフラを利用できるメリットに起因しており、より地理的に広範囲に大量の再エネ水素を利用しようとするならば、既存インフラを活用できるカーボンニュートラルメタンの方が経済的であることを示している。

### 5. カーボンニュートラルメタンの意義

#### 5.1 水素混合かカーボンニュートラルメタン混合か

都市ガスの低炭素化には、水素やカーボンニュートラルメタンが候補となるが、上述の通り、水素混合には多くの課題がある。仮に、何の障壁もなく数%の水素を混合できるとしても、その場合は、都市ガスインフラが、非常に限定的な低炭素化効果を得ることができないにも関わらず、再エネ余剰電力を受け入れるという意味合いが強い。つまり、都市ガスインフラのエネルギー貯蔵機能や水電解による電力需給調整力等、再エネの系統統合に向けて必要な柔軟性というサービスの提供という側面がある。したがって、再エネ導入拡大に対する貢献度に応じた、都市ガスインフラや水電解へのインセンティブの付与等の制度設計が必要となる。

#### 5.2 Energy System Integration

そこで、重要となるのは Energy System Integration (または、Sector Coupling)<sup>(2)</sup> という概念である(図8)。再エネを電力系統のみならずガ

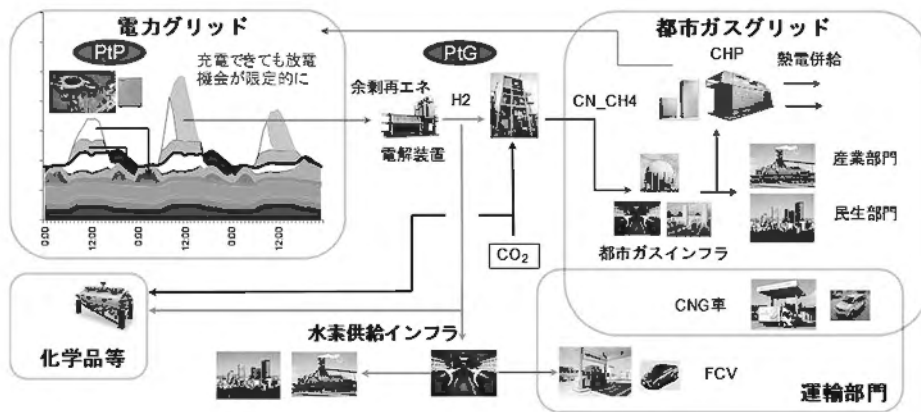


図8 Energy System Integration <sup>(13)</sup>

表1 欧州の Energy System Integration に向けた動き <sup>(14)</sup>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ エネルギー変革 (Energy Transition)・大規模な低炭素化の実現のために、電力とガスのネットワーク事業者が共同で、PtGによる Sector Coupling の推進に取り組むことを発表 “Power to Gas – A Sector Coupling Perspective”, October 2018, ENTSO-E and ENTSO-G</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ EDF が子会社 Hynamics を設立 (2019/4)、産業用・輸送用に低炭素水素の供給を行う。</li> <li>✓ 電源の96%がカーボンフリーであるフランスの強み</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ デンマークで、風力からの水素製造、産業・輸送用へ水素を供給</li> <li>✓ Air Liquide, Hydrogenics, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, Centrica and Hydrogen Valley が実施主体</li> <li>✓ EU/Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking が支援</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドイツ Falkenhagen で、再エネ由来合成メタンの天然ガス配管への供給開始 (2019/3)</li> <li>✓ STOR&amp;GO (European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme) が支援</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドイツ Emsland で、100MW級の再エネ由来水素・合成メタン製造設備建設計画を発表 (2019/2)</li> <li>✓ Power to Gas 実施場所として電力基幹系統とガス基幹パイプラインの交差点を運営</li> </ul>

ス部門や運輸部門でも受け入れつつ、エネルギーシステム全体の低炭素化を図る概念である。再エネは、まず電力部門の低炭素化に利用されるが、揚水発電、蓄電池、ダイヤモンドレスポンス、送電網拡充等の系統統合対策を実施しても吸収し切れない余剰電力を、Green な燃料に変換してガス部門や運輸部門等の他部門で受け入れる。そうすることで、電化による低炭素化が技術的に困難な (Hard-to-Decarbonize) 用途においても低炭素化が可能となる。また、余剰電力から水素を製造する水電解は負荷応答性が速く、電力の需給調整力としての役割を果たすこともできる。欧州では、エネルギー事業者が協力して Energy System Integration を進める動きが加速している (表1)。

現在の都市ガスインフラが受入れ可能な水素の量は限定的である。大規模な再エネ導入によって Energy System Integration の実現を目指すならば、都市ガスインフラが大量に受け入れることが可能なカーボンニュートラルメタンを検討する意義は大きい。

## 6. まとめ

水素には輸送や利用のための新規インフラ構築の必要性という課題がある。欧州を中心に、水素の初期需要創出策として既存都市ガスインフラへの水素混合が挙げられているが、大量の水素混合には障壁が多い。一方、都市ガスの主原料となるカーボンニュートラルメタンの場合は大量の混合が可能である。つまり、カーボンニュートラルメタンには、既存都市ガスインフラを最大限に有効活用した再エネ水素の利用という側面がある。

再エネ大規模導入のためには、電力系統以外の受け皿も必要となり、都市ガス部門や運輸部門が候補となる。再エネ由来であるカーボンニュートラルメタンを都市ガスに混合することで本格的な Energy System Integration が実現でき、国内再エネを起点としたエネルギーシステム全体の低炭素化に大きく貢献するとともに、エネルギーセキュリティーも改善される。

ただし、CO<sub>2</sub> 排出量が極めて限定的になる将来的



な脱炭素化社会においては、カーボンニュートラルメタン製造用に必要なCO<sub>2</sub>の集約的・効率的な調達が困難になると考えられることから、水素の直接利用を軸としたインフラの再構築も検討課題になる。

Power to Gas を通じた Energy System Integration の実現のためには、電力部門と都市ガス部門を包括的に取り扱う制度の構築が必要になることは言うまでもないが、それ以上に、国内再エネ、水電解、メタネーション等に関連する技術の大幅なコストダウンが必須である。そのためには、これらに関連する産業を国内で育成し振興することが大事である。

## 参考文献

- 1) 柴田, “カーボンニュートラルメタンの意義の再考 -海外での議論を踏まえて-”, 2020年8月, CCR研究会
- 2) An EU Strategy for Energy System Integration, European Commission, 7/2020
- 3) A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, European Commission, 7/2020
- 4) Australia’s National Hydrogen Strategy, 11/2019
- 5) 第2回 2050年に向けたガス事業の在り方研究会, 資料5, 経済産業省, 2020年10月6日
- 6) 日立造船, “Methanation: Carbon Recycling Technology”, 第1回カーボンリサイクル産学官国際会議, 2019年9月
- 7) “Biomethanation: A Unique and Sustainable Approach to Renewable Natural Gas and other products”, NREL, September 2019
- 8) 前田ら, “共電解を利用したSOEC型メタン混合ガス製造システム及び製造ガスの都市ガスパイプラインへの供給検討”, 燃料電池 Vol.17 No.1, 2017
- 9) “石炭火力発電所等から発生するCO<sub>2</sub>の分離回収・貯蔵・利用等の技術開発動向調査”, JOGMEC, 令和2年8月25日
- 10) CCR研究会 (<https://ccr-tech.org/>)
- 11) 柴田, “カーボンニュートラルメタンのポテンシャルと経済性 -PtGとCCUの活用-”, (2019.1), 24-1, 第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス.
- 12) 柴田, “CCU・カーボンリサイクルに必要な低炭素化以外の視点 -CCUSという分類学により生じる誤解-”, 日本エネルギー経済研究所, 2020年2月
- 13) 柴田, “低炭素社会に向けたPower to Gas・メタネーションの役割”, 未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム, 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE), 2019年11月7日
- 14) 柴田, “再エネからの水素製造 -Power to Gasのあるべき姿-”, 愛知県『水素エネルギー社会形成研究会 2019年度第2回セミナー』, 2019年11月28日

## 著者略歴



柴田 善朗 (しばた よしあき)  
 一般財団法人 日本エネルギー経済研究所  
 電力・新エネルギーユニット 新エネルギーグループマネージャー 研究主幹

専門分野：エネルギー工学, 再エネ, 水素, CCUS, エネルギー貯蔵等に関する政策・技術分析

1992年：東京大学工学部航空学科卒業  
 1994年：東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 修士課程修了  
 1994年：(株)東芝 入社 エネルギー事業本部  
 1997年：フランス国立パリ鉱業大学 修士課程修了  
 1999年：(株)住環境計画研究所 入所  
 2010年：日本エネルギー経済研究所 入所 計量分析ユニット  
 2013年：同 新エネルギーグループ