

海外のPower to Gasをめぐる動向と将来展望 再エネ拡大のドイツが先行、数年以内に商業化の可能性も



日本総合研究所
リサーチ・コンサルティング部門
プリンシパル
三木 優

日本でも注目されているPower to Gas (P2G)は、ドイツがもっとも先行しており、すでに30程度のプロジェクトが進められている(図1)。日本でP2Gに注目が集まり始めたのは2014年前後だが、ドイツでは約10年前から再生可能エネルギー由来の電力を活用して水素を製造するシステムのコンセプトはさまざまな企業から示されており、それが大きく先行する背景となっている。ドイツにおけるP2Gの最新動向と将来展望を紹介する。

(執筆協力：日本総合研究所 リサーチ・コンサルティング部門 コンサルタント 山本 大)

先行するドイツ

例えば、2007年に設立された旧Solar Fuel社(現在は日立造船系のHZI Etogas)は、P2GプラントのEPC(設計・調達・建設)事業者となるべく立ち上げられた会社である。同社は、再生可能エネルギー(再エ

ネ)の余剰電力で水を電気分解して水素を生成し、その水素をCO₂と合成してメタンを生成し、燃料などに利用するコンセプトを示した。このコンセプトは2013年、ドイツの自動車メーカーAudiのe-gasプロジェクトとして実現した。

ドイツ風力発電会社Enertragは、再エネによる安

定的な発電システム構築を念頭に、風力・バイオガス・水素を組み合わせたハイブリッド型発電所のコンセプトを2007年に示した。風力発電で電力を供給しつつ、余剰電力で水素を生成し、その水素とバイオガスを混合して熱電併給

ドイツがPower to Gasに取り組む理由

ドイツでこうしたP2Gプロジェクトが10年ほど前から取り組まれてきた理由は、大きく2つある。

- ・(ドイツ政府の目標：2050年までに温室効果ガス排出量80%削減などをふまえ)再エネ大量導入に伴う余剰電力と系統制約への対策が求められていた
- ・(同上)、熱や自動車で使われる燃料の脱炭素化を進めるための手段が必要だった

図1 ドイツにおけるP2Gプロジェクト



- 稼働中
- 水素製造
 - メタン製造
 - ★ 水素/メタン製造
- 計画中
- 水素製造
 - メタン製造
 - ★ 水素/メタン製造
- 終了
- 水素製造
 - メタン製造
 - ★ 水素/メタン製造
- 詳細不明
- 水素製造

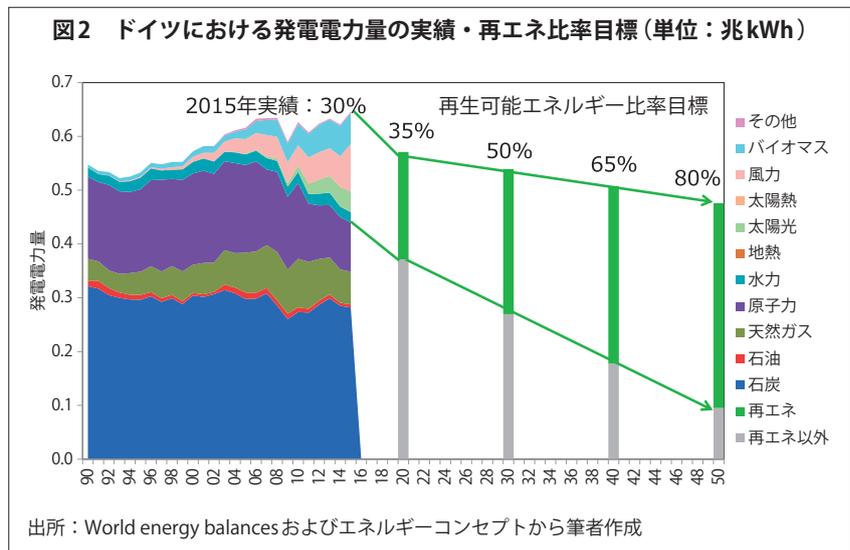
出所：The European Power to Gas Platform Web site掲載情報から筆者作成
地図データ：©2017 Geo Basis-DE/BKG (©2009)、Google画像©2017 Terra Metrics

地球温暖化対策に熱心な欧州の中でも、ドイツは意欲的な取り組みをしている国の1つである。欧州連合(EU)全体の温室効果ガス排出削減目標は、2030年に1990年比40%削減が正式な目標(パリ協定の約束草案)だが、ドイツは2010年に策定したエネルギーコンセプトの中で、2050年までの10年ごとの温室効果ガス排出削減目標を設定している。

エネルギーコンセプトには、2030年に55%削減、2040年に70%削減、2050年に80~90%削減(いずれも1990年比)の目標が定められている。これを実現するには、エネルギーを含めた社会経済システムの大幅な転換が必要である。さらに発電全体に占める再エネの割合も目標として盛り込まれており、2030年に50%、2040年に65%、2050年に80%となっている。

目標達成のため、風力や太陽光などの変動性電源が大量導入されると、余剰電力と系統制約への対策が必須になってくる。ドイツは近隣にフランス、オーストリア、オランダなど電力輸出が可能な国と国際連系線で接続されていることから、余剰電力を他国に輸出することも可能である。ただ、他国でも再エネが増加しており、他国の電力需要や国際連系線の送電容量次第では、輸出ができなくなる事態も想定される。

実際、再エネの割合が30%に達した2015年には、ドイツの商取引ベースでの電力輸出は過去最大の978億kWhとなり、発電電力量の約15%に相当する規模となっている。この全てが余剰電力の調整用の輸出ではないが、再エネの増加と電



力輸出量の増加はリンクしており、調整目的での輸出が増えつつあると推測できる。

このままでは、余剰電力を他国に輸出しても発電能力が需要を超えてしまう事態も想定され、その結果、ドイツ国内で周波数調整が困難となり、大規模な停電を招く恐れもある。余剰電力対策としては電力貯蔵が有効な手段となる。電力貯蔵には蓄電池などすでに実用化されている技術があるが、P2Gは電力を水素やメタンに変換して貯蔵できることから、比較的長期間の貯蔵に適しており、蓄電池などと組み合わせることにより、総合的な余剰電力対策になるとみられる。

系統制約については、ドイツの場合、北部に風力発電が集中している一方、南部に需要地があるため、北部で発電した再エネ由来の電力を南部に送電する必要がある。しかし、その送電網が整備されていないため、ポーランドやチェコなど他国を迂回して送電されていることが問題になっている。対策として「電力アウ

トバーン」と呼ばれる超高压送電線の建設が進められているが、建設地域の住民による反対運動で計画を変更し地中送電線としたことから、完成は2025年と見込まれている。

一方、天然ガス導管はドイツ中に張り巡らされており、その総延長は約40万kmに達している。余剰電力をガスに変換し、天然ガス導管で輸送すれば、電力網を補完することが可能である。また、天然ガス導管は巨大なガスタンクでもあることから、電力貯蔵の効果も期待できる。

ドイツは、最終エネルギー消費に占める再エネの割合を2050年に60%以上にする目標も立てている。最終エネルギー消費に占める電力の割合は約25%であるため、75%を占める熱や輸送の脱炭素化が目標達成への重要ポイントになる。熱や輸送(自動車)を脱炭素化する手法としては電化が挙げられ、ヒートポンプや電気自動車が具体的な技術となっている。しかし、これらの技術も適用できる範囲が限定されており、高温が必要となる工業炉や一部の大型

トラックには適していない。

また、こうした設備の導入で国全体の熱・輸送部門を脱炭素化するには、社会インフラの大改造が必要となり、追加コストが莫大になる可能性がある。そのため、ガソリン、ディーゼルといった既存燃料を脱炭素化させることが重要になる。

例えば、アイスランドの企業のCarbon Recycling Internationalは、ドイツLunen火力発電所でP2G水素と石炭火力発電所から排出されるCO₂を原料にメタノールを合成している。欧州では燃料品質を規定するFQD (Fuel Quality Directive: 燃料品質指令) に基づき、ガソリンへのメタノール混合(3%)が認められており、P2Gによる水素を原料として製造されたグリーンなメタノールをガソリンに混合することにより、燃料の脱炭素化を狙っている。

2016年10月には、UniperとBPが、ドイツLingen製油所での水電解水素の使用について共同で検討すると発表した。これは石油精製時に使用する水素を水電解水素で代替することにより、石油系燃料のライフサイクルでの排出量を削減する取り組みである。

余剰電力を活用した燃料製造は、電力分野で大きく進んだ脱炭素化の流れを燃料に結びつけるもので、競合する燃料と同等の経済性があれば、早期に商業化段階に達することができる。

表1 ドイツ・エネルギーコンセプトの各種目標

		2014年	2020年	2030年	2040年	2050年
地球温暖化ガス削減目標(1990年比)		-27%	-40%	-55%	-70%	-80~95%
再エネ割合の目標	最終エネルギー消費に占める割合	13.5%	18%	30%	45%	60%
	電力消費に占める割合	27.4%	35%	50%	65%	80%
	熱消費に占める割合	12.0%	14%			
	輸送部門に占める割合	5.6%				
変換効率および消費量の目標	一次エネルギー削減割合(2008年比)	-8.7%	-20%	→ -50%		
	最終エネルギー効率(2008-50年)	1.6%/年(2008-14)	2.1%/年(2008-50)			
	電力消費削減割合(2008年比)	-4.6%	-10%	→ -25%		
	建物の一次エネルギー削減割合(2008年比)	-14.8%	→ -80%			
	建物の熱消費削減割合(2008年比)	-12.4%	-20%			
	輸送部門エネルギー削減割合(2005年比)	1.7%	-10%	→ -40%		

出所：ドイツ連邦経済エネルギー省(BMWi)「第4次エネルギー転換モニタリング報告書」から筆者作成

ドイツ政府が示したエネルギーコンセプトの目標が、再エネの大量導入と燃料も含めた脱炭素化を進める長期的な「約束」として機能しており、目標を達成するための技術であるP2Gに多くの企業が参入し、多様なプロジェクトが実施されている。

多様な検討が進む Power to Gas実証 プロジェクト

P2Gにより生成される水素は、混焼を含む水素発電、産業用水素需要(化学や石油精製、製鉄など)の代替、10%程度の混入あるいはメタネーション(CO₂と反応させてメタンガスを生成)による天然ガスの代替、自動車燃料(燃料電池自動車、天然ガス自動車など)としての利用が主な用途として想定されている。

ドイツでは、これらの用途をほぼ全てカバーする多様なP2G実証プロジェクトが実施されている(表2)。

混焼を含む水素発電の事例としては、冒頭で紹介したEnertragが取り組むHybridkraftwerk Prenzlauプロジェクトが先進的である。風力発電は変動電源であるため、周波数調整に火力発電が必要になるが、その調整用電源にバイオガス(30%)と風力発電由来の電気で生成した水素(70%)で発電するコージェネレーションを用いるもので、調整用電源までを含めて完全に脱炭素化するものである。将来、再エネの発電コストが大幅に低下し、余剰電力で安価かつ大量に水素が製造できれば、このハイブリッド型発電所は1つのモデルになると考えられる。

産業用水素需要の代替としては、化学・製薬大手のBayerが取り組むCO₂RRECTプロジェクトが先行。本プロジェクトでは、再エネ由来の水素とCO₂を反応させ、CO(一酸化炭素)を効率良く生成する検討を行った。COは水素と混合すること



表2 ドイツにおける主なP2Gプロジェクト

プロジェクト名	実施者	電解方式	入力電力	水素発生量	水素の製造、利用方法
			(kW)	(m ³ /h-H ₂)	
Audi e-gas projekt	Etogas、EWE、Energie ほか	アルカリ	6,000	1,300	風力を用いて製造した水素と、バイオガスプラントから排出されるCO ₂ を活用してメタン化、CNG車へ供給
Hybridkraftwerk Prenzlau	Enertrag ほか	アルカリ	600	120	6MWの風力を用いて水素を製造し、風力発電の出力低下時にバイオガス・水素混焼コージェネレーションにて発電し、出力を安定化
Windpark RH2-WKA	NOW、HasseEng. ほか	アルカリ	1,000	210	風力を用いて水素を製造し、コージェネレーションで地域へ熱電を供給
Pilotanlage Falkenhagen	E.ON	アルカリ	2,000	360	風力を用いて水素を製造し、天然ガス網へ水素を注入（最大10%まで）。Wind Gasとしてマーケティングに活用
Energie Park Mainz	Linde、Siemens ほか	PEM	6,000	1,000	風力を用いて水素を製造し、天然ガス網、水素ステーションなどへ供給。IoT活用の運転負荷率の自動調整など、先進的取り組みも実施
Wind Gas Hamburg	E.ON、Hydrogenics ほか	PEM	1,000	265	風力を用いて水素を製造し、天然ガス網へ水素を注入（最大10%まで）。Wind Gasとしてマーケティングに活用
CO2RECT	Bayer、Siemens ほか	PEM	300	50	再エネを使用し、水素とメタンを精製し、CO ₂ と反応させることで化学原料を製造

出所：資源エネルギー庁およびNEDO資料に一部加筆し筆者作成

で基礎的な化学合成原料の1つである合成ガスになる。CO₂は化学的に安定的な分子であるため、再エネを使いつつ効率良くCOを生成する方法が検討された。

天然ガスの代替としては、大手エネルギー会社E.ONが取り組むPilotanlage FalkenhagenやWind Gas Hamburgプロジェクトが特徴的である。本プロジェクトでは、風力発電由来の電気で生成した水素を天然ガス導管に注入し、その水素を含んだ天然ガスを「E.ON Wind Gas」として販売している。水素を混合することで環境負荷が低いことをアピールしており、ガス販売のマーケティングに実証プロジェクトを活用している。

自動車燃料への利用では、Audiのe-gasプロジェクトが有名である。同社が天然ガス自動車だけでなく、P2Gおよびメタネーションプラントまで建設し、燃料供給インフラにまで関わっている。これにより車両と

燃料供給インフラという「鶏と卵」の関係になりがちな普及上の課題を自動車メーカー主導で解決を図ろうとしている。メタネーションにより燃料製造費用は上昇するものの、既存の天然ガスネットワークが活用できることから、自動車燃料として水素供給インフラを新規に整備するよりは全体の費用を抑制できる可能性がある。

Power to Gasの未来

ドイツは、エネルギーコンセプトで政府目標を明確に定め、2050年に向かって再エネの導入量を順調に増加させていくことから、P2Gの将来は明るいと考えられる。現状では水素製造費用が割高、水素需要が少ないなど、P2Gの商業化には多くの課題がある。

一方、再エネは普及に伴う発電費用の低下により自律的な増加段階に入ったことから、余剰電力や系統制約の問題が深刻化することになる。

再エネの大量導入を目指すドイツでは、その対策としてP2Gが果たす役割は大きく、これが推進力となって経済性などの課題に対策が講じられ、P2Gが数年以内に商業化する可能性も十分にある。

また、水電解装置も技術面で改良の余地がある。負荷変動が容易で、変動性電源の太陽光や風力発電との相性が良いPEM(固体高分子膜)型水電解はコストダウン、水電解槽の大型化、変換に際してのエネルギーロスの減少などの技術開発が必要である。ドイツ重電大手Siemens社などは、2010年ごろからPEM型の開発を進め、大型化やコストダウンがもっとも進んでいる企業の1つである。

各メーカー間の開発競争は今後も継続していく。国内に多くの実証フィールドがあるドイツや、市場アクセスが容易な欧州企業に地の利はあるものの、優れた技術を持つ日系企業の活躍にも大いに期待したい。

E