

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

柴田 善朗

新エネルギーグループ

日本エネルギー経済研究所

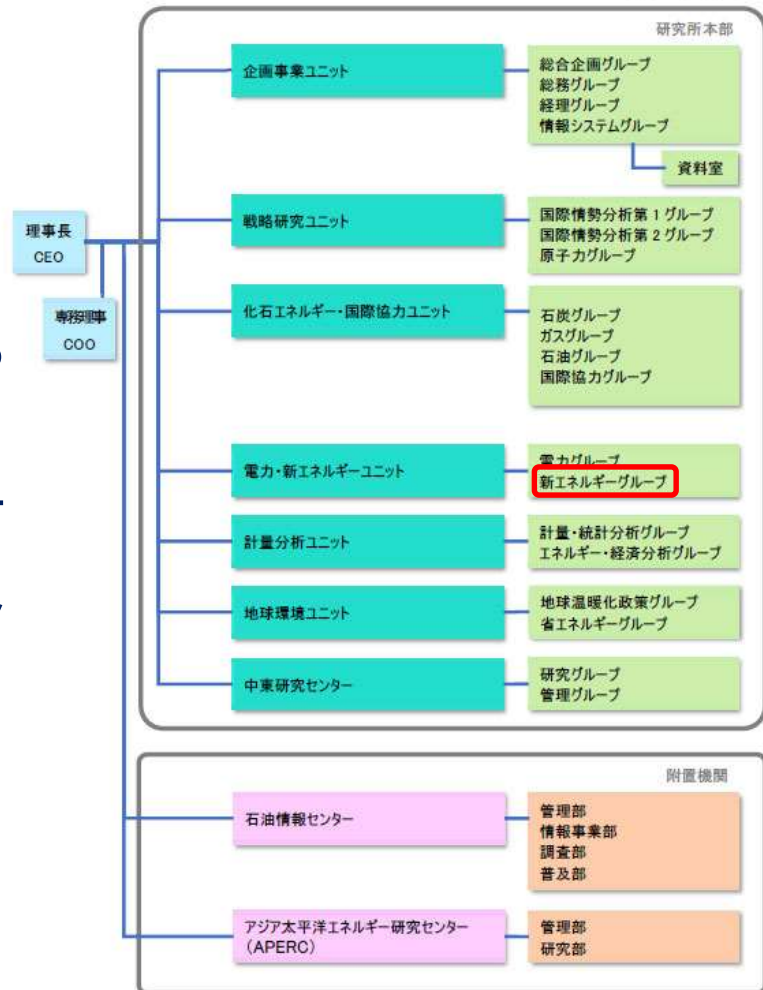
日本エネルギー経済研究所とは

- 一般財団法人
- 1966年設立
- 会員企業約100社
- METI、国際機関、民間企業等からの委託調査研究を実施
- 調査研究を通じて政策提言の発信
- 新エネルギーG: 再エネ、系統統合、スマートエネルギー、エネルギー貯蔵、水素、CCUS等



一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 組織図

平成 30 年 7 月 1 日



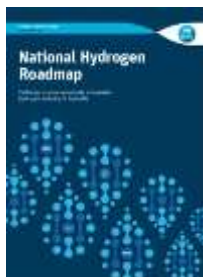
はじめに

- Power to Gas
- 水素需要家 - 水素を利用するのは誰か -
- カーボンニュートラルメタン
- PtGに係る制度的課題
- 電力システムを超えて

まとめ

水素：“Green”か“Blue”か？ 国内生産か輸入か？

- 欧州を中心に、Green水素の国内生産・消費がメインストリーム
- 大規模な輸入は日本のみ。Green水素は経済性、Blue水素はCCSの不確実性が課題
- Green, Blue, Greyの明確な定義 (Carbon footprint) はまだ (CertifHyで検討中)



		Green H ₂ (RE)	Blue H ₂ (FF+CCS)	Grey H ₂ (FF)
		コストは高いが、低下しつつある	大量製造できるがCCSの課題	水素初期需要創出には必要か
国内製造&国内消費	水素輸送の課題を踏まえると、合理的	欧州、日本	英国	多くの国の現状
輸入	輸入依存度の低減にはならないが、輸入先の分散化という観点からは、エネルギーセキュリティの改善効果あり	日本	日本	—
輸出	現在輸出化石燃料の代替商品	豪州 (日本へ)	豪州 (日本へ)、ノルウェー (大陸欧州へ)	—

より深い議論が必要なテーマは？

IEAの水素レポート(“The Future of Hydrogen”, IEA, June 2019)は水素を総括的に分析・取りまとめたものであるが、まだ深堀が必要なテーマもある。

■ Power to Gas

- ✓ 近年の再エネコストダウンや変動再エネと水素との親和性には言及しつつも、今後は、再エネ水素と電力系統との関係性、エネルギー貯蔵、Sector Integrationの議論が必要

■ 地産地消

- ✓ 水素の製造～利用の形態は国・地域によって異なる。国際的なサプライチェーンは一つのオプションであるが、地産地消も重要なはず

■ エネルギーセキュリティの改善

- ✓ 当たり前すぎるのか？
- ✓ 本来の水素の意義は、“遍在”にあるはず

Power to Gas

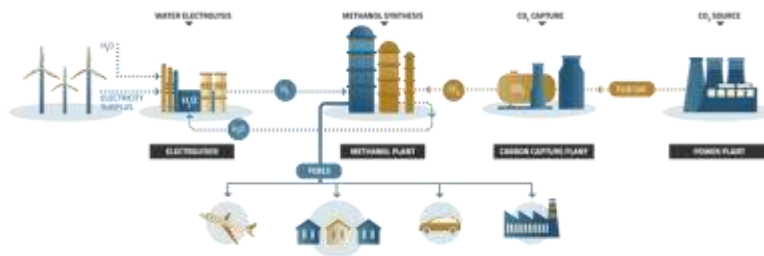
Power to Gas: 欧州と日本での実証事例

- 近年では国内勢の欧州進出も: 2015年東レのSolviCore買収、2016年Hitachi Zosen Inova によるドイツ・ETOGAS社の資産買収も

水素: ドイツ



合成メタノール



離島: フランス



合成メタン: ドイツ



Source: Audi e-gas project

Source: <http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/windgas-falkenhagen/>

Source: The MYRTE project: implementing hydrogen energy storage through the 'GreEnergy Box'

Source: <https://www.spire2030.eu/mefco2>

水素: 福島



Source: NEDO

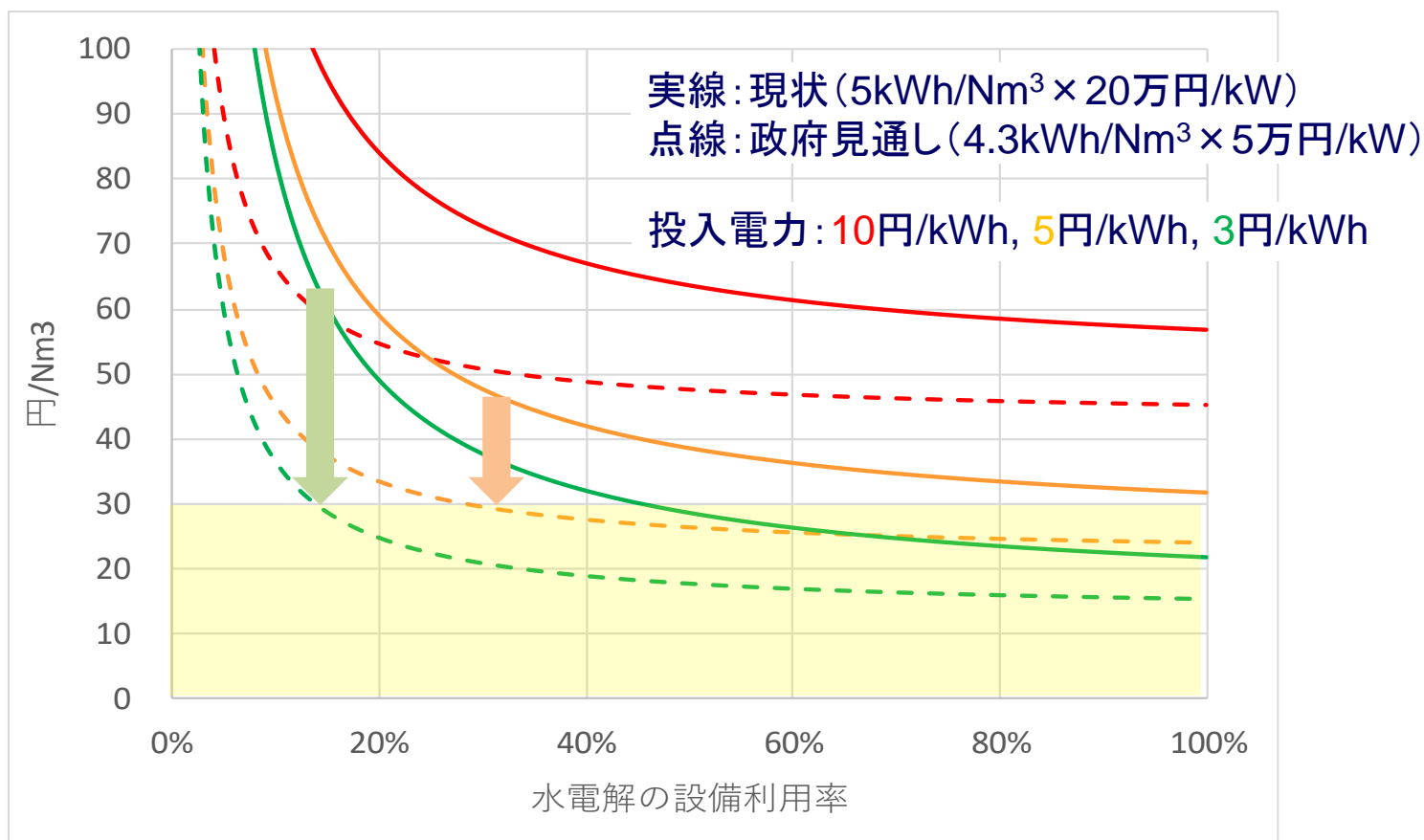
水素: 山梨



<http://whtc2019.jp/tours.html>

再エネ水素製造コストの見通し

- 水電解の性能と設備費に関する2030年の政府見通しが実現されれば、投入電力単価にもよるが、30円/Nm³は達成の可能性が出てくる
- ただし、水素の国内配送費用を抑制できれば、30円/Nm³よりも高くてもよい
- 設備利用率にも大きく依存



水素需要家

- 水素を利用するのは誰か -

需要創出・新規インフラ構築が課題：既存需要は？

工業用：既存需要

・欧州PtG水素の初期ターゲット

大規模需要家

150億 Nm³/年

石油精製, 石油化学、アンモニア等

小規模需要家

3億 Nm³/年



ステンレス鋼



ガラス



食品



半導体

エネルギー用：新規需要

FCV, 水素ステーション



80万台 @2030=8億 Nm³



H₂/NH₃火力発電



1GW=20~30億 Nm³

産業部門



- ・ボイラ、バーナー
- ・将来的な水素還元製鉄



新たな供給インフラ
や機器が必要

都市ガス

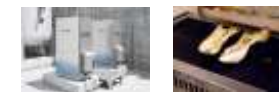


- ・水素ブレンドの場合は熱量調整等が必要
- ・合成メタンの場合は障壁小さい

民生部門



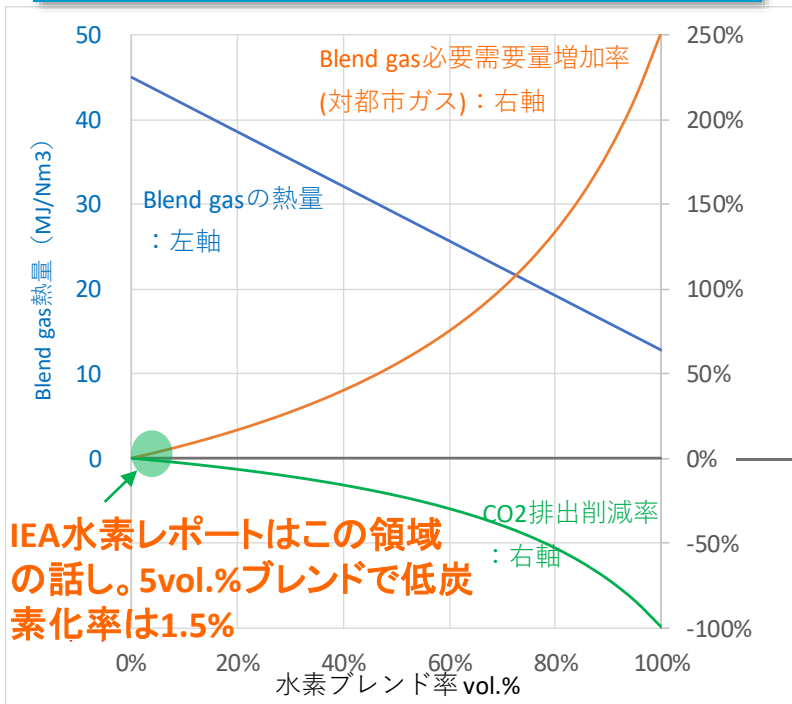
水素タウン？



都市ガスへの水素ブレンドは課題・障壁が多い

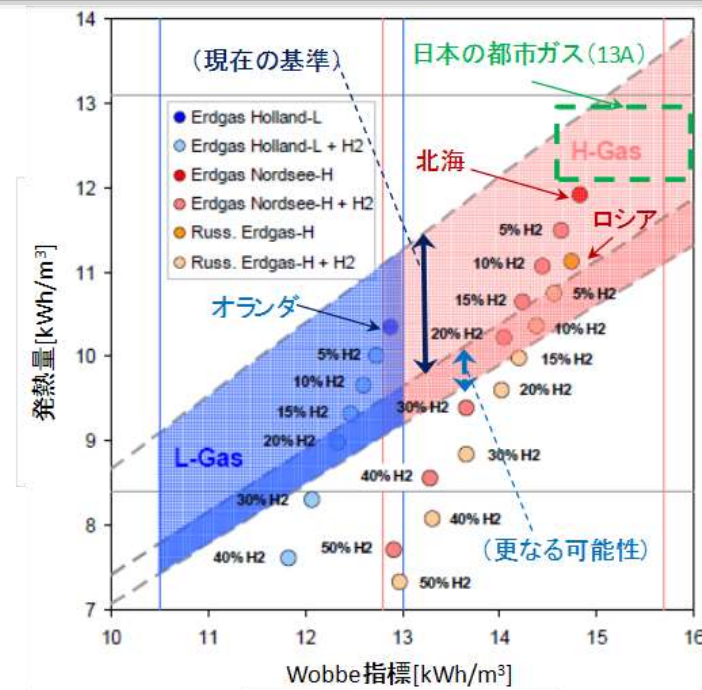
- 水素側から見るとガスネットワークは受入れ先として魅力的かもしれないが(IEA, "The Future of Hydrogen")、都市ガス側から見ると低炭素化効果は非常に限定的で、**手間がかかる割には便益は小さい**。
- また、日本は水素混合の許容度が小さい。**計量、機器の熱量調整、産業特殊用途(浸炭、超高温加熱炉等)への対応の課題も**

水素混合率と低炭素化率



出所: 日本エネルギー経済研究所 作成

天然ガス熱量規格と水素混合による影響



出所: 柴田, "我が国におけるPower to Gasの可能性", 日本エネルギー経済研究所, 2015年12月

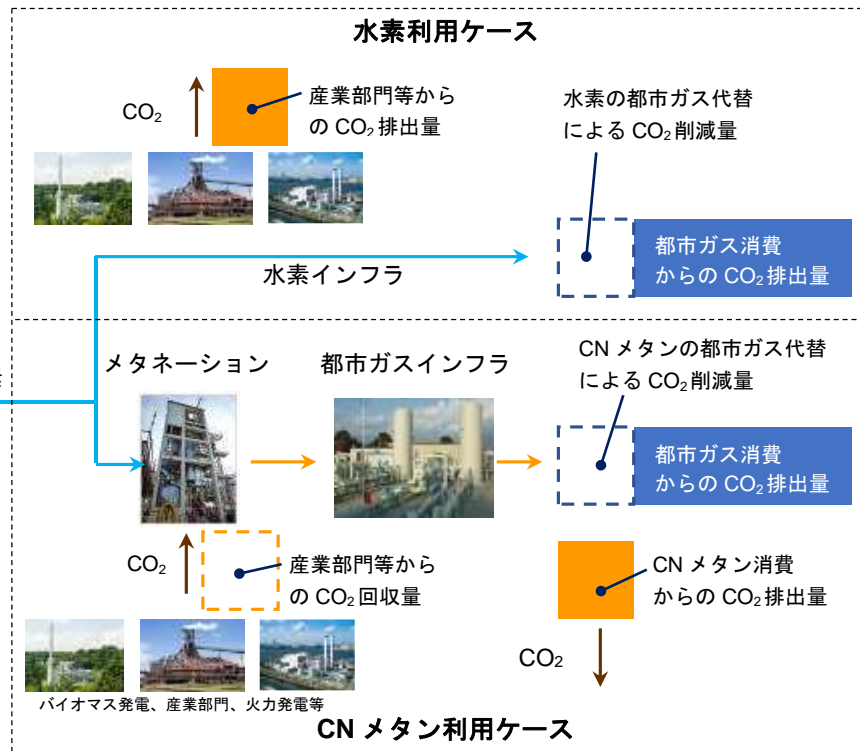
カーボンニュートラルメタン

カーボンニュートラルメタンは障壁を回避できる

カーボンニュートラルメタン(CNメタン)は、PtGとCCU(Carbon Capture & Utilization)の融合

- 既存の施設からの大気放出前のCO₂に、水素と一緒にあって“もう一仕事”させる。その仕事によって他のエネルギー(例えば天然ガス)の消費が減る。
- 都市ガスネットワークという既存インフラを活用⇒水素配送コストの削減

- ✓ CNメタンは使用時に当然CO₂が排出されるが、製造時に吸収されるCO₂とオフセット。つまり、元々の排出源からの時間差&地点差の排出に過ぎない。
- ✓ あくまで再エネ水素利用による天然ガスの代替効果
- ✓ したがって、CNメタンは再エネ水素のキャリアであり、どのCO₂を利用しても同じ効果(化石由来、バイオマス由来、DAC)
- ✓ CO₂削減の帰属:CCUはCCだけでは意味がない。Uがあって初めて意味をなす。つまりUであるメタン製造・利用、それによる天然ガスの代替に意味がある。

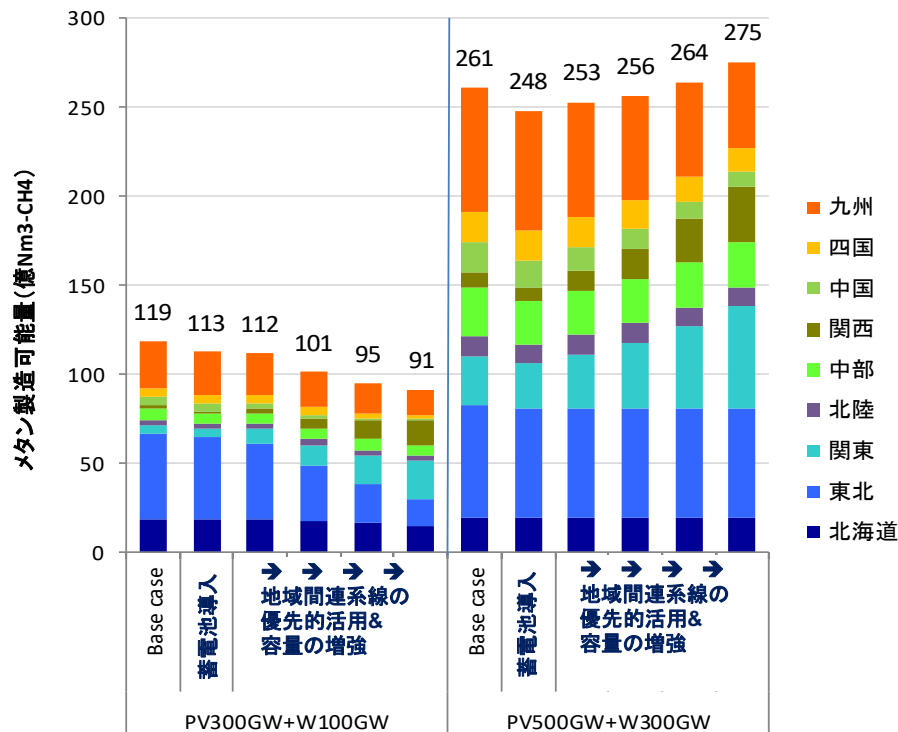


出所:柴田,“カーボンニュートラルメタンのポテンシャルと経済性ーPtGとCCUの活用ー”,第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集,2019年1月

CNメタンポテンシャルと供給コスト

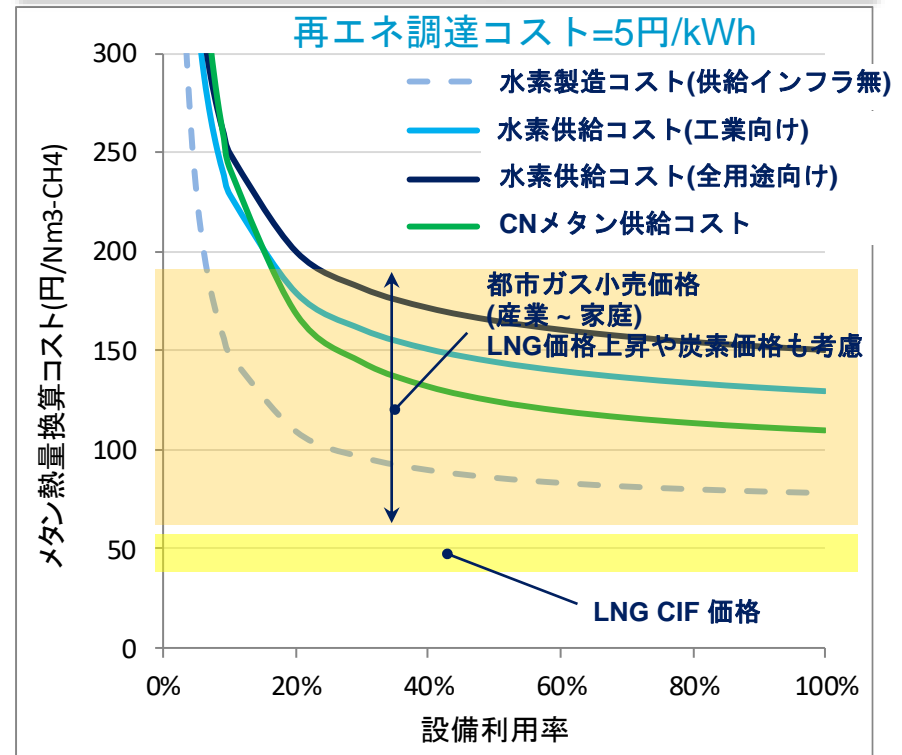
- 現在の都市ガス需要380億Nm³-CH₄と比べて大きなポテンシャル
- CNメタンは既存の都市ガスインフラを利用できることから、水素と比べて供給コストを削減できる(水素には専用パイプライン、タンクが必要)。

製造可能なCNメタン



出所: 柴田, 木村, “カーボンニュートラルメタンの将来ポテンシャル”, 日本エネルギー経済研究所, 2018年2月

供給コスト比較: H₂ v.s. CNメタン



H2: Electrolyzer is JPY 0.25 mil./((Nm³-H₂)/h), supply infrastructure is ~ JPY1.85 mil./((Nm³-H₂)/h) for industry and ~2.61 mil./((Nm³-H₂)/h) for the whole consumers.
CNM: CNM plant is JPY1.5 mil./((Nm³-CH₄)/h) =electrolyzer X 4 + methanation (JPY0.5 mil./((Nm³-CH₄)/h))

CHPのCNメタン利用による再エネ出力変動緩和

- CHPは再エネの出力変動緩和策(VPP)として期待されている
- 再エネ余剰電力から製造するCNメタンは都市ガスを低炭素化できる
- 蓄電池利用による出力変動緩和と同等レベルの経済性

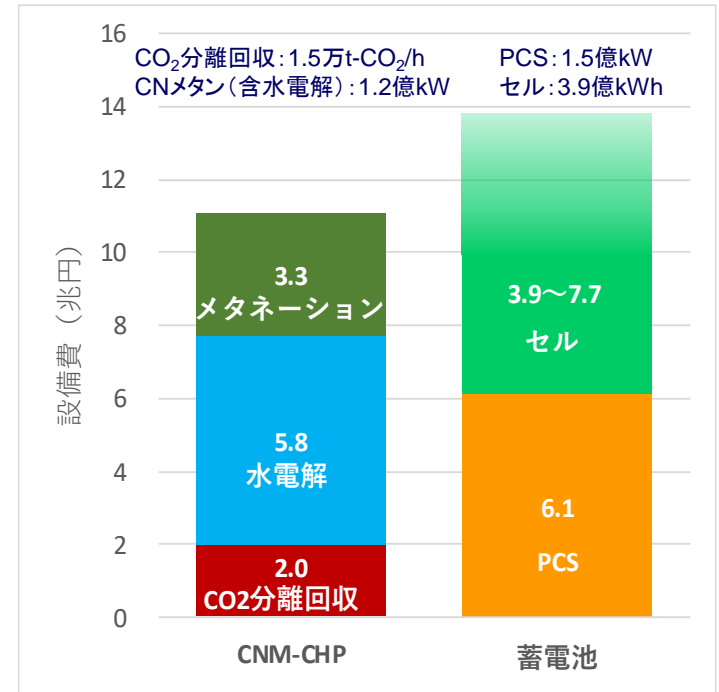
CHPのCNメタン利用による再エネ出力変動緩和(CNM-CHP)のイメージ

CHPを含む既存都市ガスインフラは
巨大なエネルギー貯蔵システム



蓄電池とCNM-CHPの設備費比較

PV3億kW+風力1億kW+CHP0.34億kWのケース



出所: 柴田, “分散型コジェネのカーボンニュートラルメタン利用による再エネ出力変動緩和, - Power to Gas, カーボンリサイクル, 既存都市ガスインフラの活用 -”, 日本エネルギー経済研究所, 2019年5月

CNM-CHPケースと蓄電池ケースで同等のCO₂排出量(電力+都市ガス)となる設備規模を特定し比較

CNメタンの取組み

- 欧州を中心に、水素配送における**既存インフラ活用のメリット**を主眼に取組みが加速

STORE&GO Falkenhagen (水素、メタン)



出所: <https://www.storeandgo.info/demonstration-sites/germany/>

<日本での取組み>

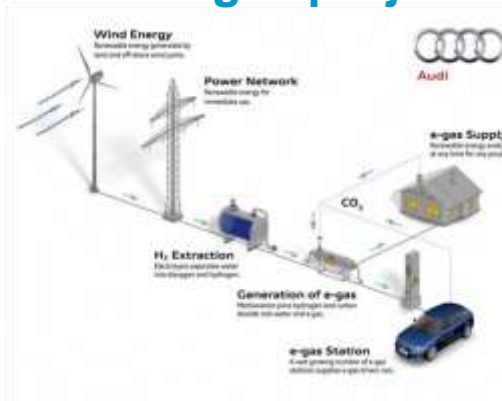
- NEDO実証・FS
- CCR (Carbon Capture & Reuse) 研究会、**日本海事協会が合成メタンへの取組みを表明(2019/8)**
- ACC技術研究会 (Society of Anthropogenic Carbon Cycle Technology)
- 環境省実証
- METIカーボンリサイクル室、ロードマップ

SoCal Gas & NREL (メタン) (バイオメタネーション)



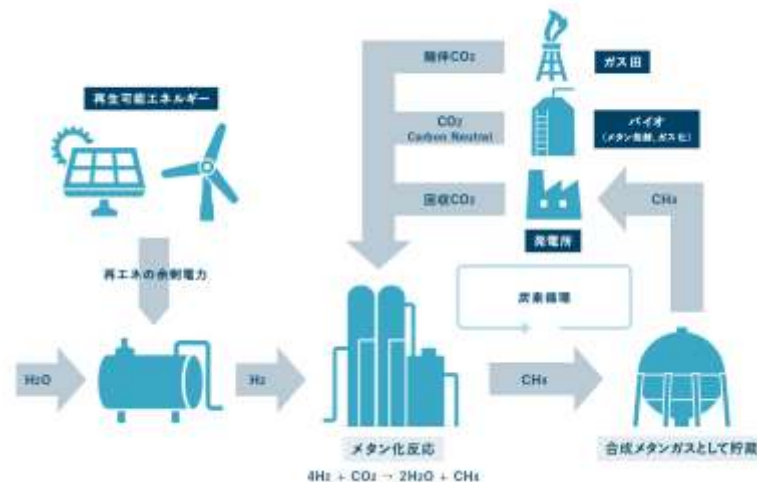
出所: SoCal Gas & NREL

Audi e-gas project



出所: Audi e-gas project

CCR研究会

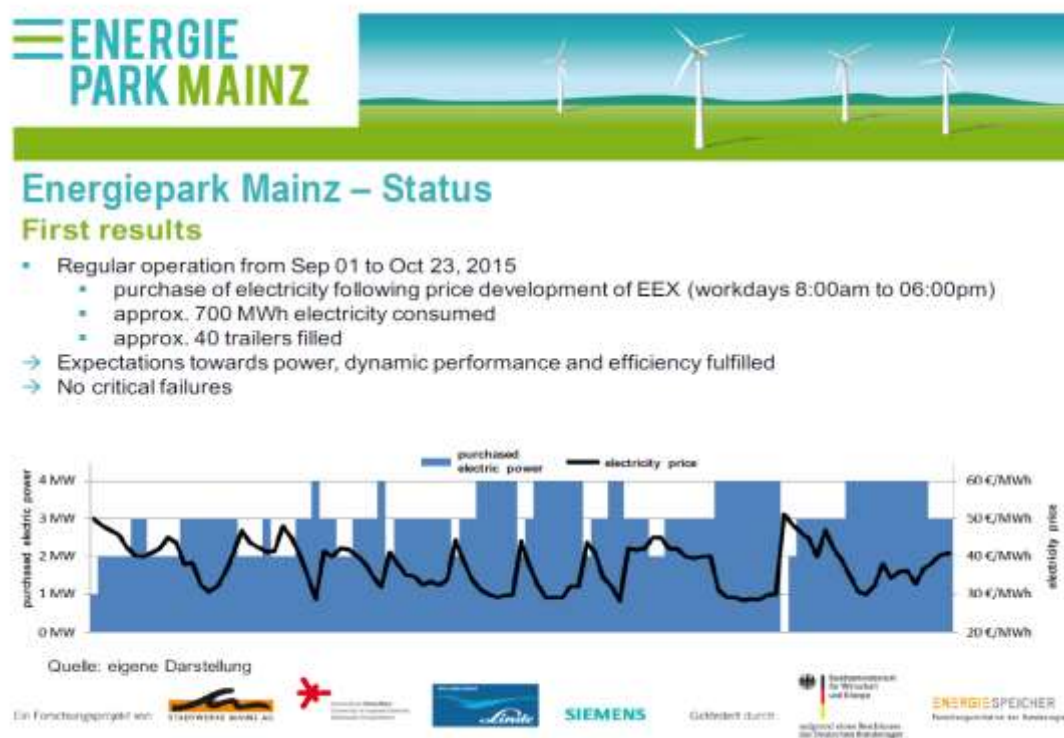


出所: CCR研究会

PtGに係る制度的課題

安価な電力の調達・水電解設備利用率の向上の方策

- 卸売電力が安い時間帯（一般に再エネの割合が高い）に水電解を高稼働。その他の時間帯は低稼働。必ずしも100% Green水素ではないが、水電解・水素の初期需要・市場創出の方策⇒IEAレポートでも再エネ電力+系統電力で最適化
- 系統電力の利用で高設備利用率を実現しグリーン証書を購入という方策も（フランスのように電源の低炭素化が進んでいれば問題ない）



出所: Electrolyzer technology –the Siemens view Manfred Waidhas, Siemens AG, 91058 Erlangen, Germany

エネルギー貯蔵技術のビジネスチャンスと課題

- エネルギー貯蔵技術には**多様な機能**。したがって、**多様なサービスの提供が可能**
- ただし、エネルギー貯蔵技術が市場性を持つためには、**制度・市場設計が重要**
- 単一の機能・サービス提供だけでは競争力不足の場合も。**複数機能・サービス提供の組合せも検討課題**
- **託送料金は免除されるか？**(日本では、揚水発電のロスのみ託送料金が課せられる。一般的にアンシラリーサービスには課金されない)

機能	概要
周波数調整	系統周波数調整としての予備力
インバランス調整	再エネ発電予測との乖離の解消等
再エネ短周期対応	再エネ発電出力短周期変動対策
再エネ長周期対応	下げ代不足対策、出力抑制対応
電源追加投資の繰延・回避	負荷平準化
送配電網追加投資の繰延・回避	再エネ系統接続制約の回避
他部門の低炭素化	BEV, FCEVによる余剰電力の活用

水電解の優れた負荷応答性

	アルカリ型	PEM 型
容量	~数 MW	~数 MW
作動圧力	数気圧	数十気圧
負荷変動幅	定格の 15%~100%	定格の 0%~160%,200%
起動時間	1~10 分	1 秒~5 分
停止時間	1~10 分	数秒
負荷変動速度 (上げ)	0,2%~20%/秒	100%/秒
負荷変動速度 (下げ)	0,2%~20%/秒	100%/秒



図 1.1 欧州における調整力の分類

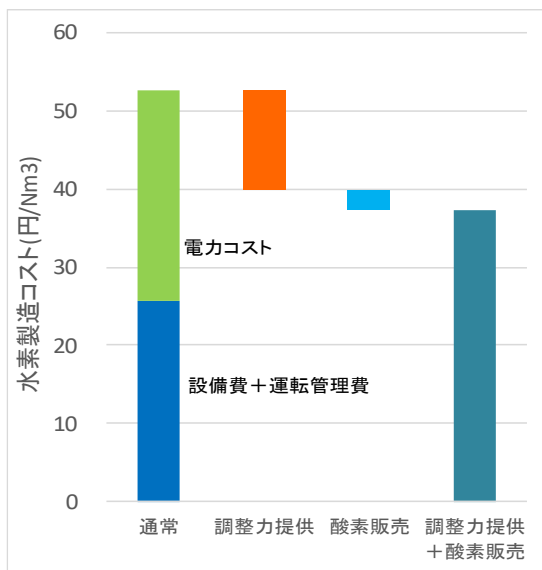
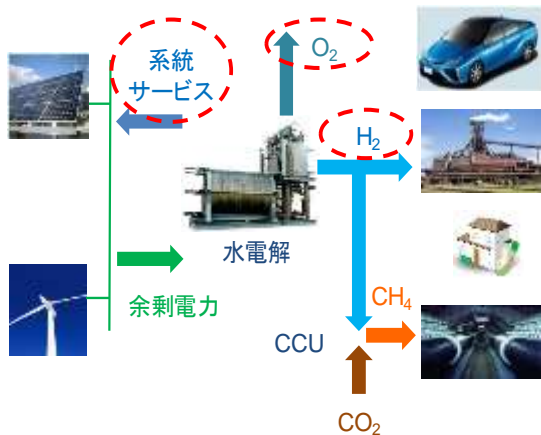
出所： Supporting Document for the Network Code on Load-Frequency Control and Reserves, entsoe に筆者加筆

出所：柴田，“時間軸を踏まえたPower to Gasのビジネスモデルー 調整力の提供, 複数用途への活用, 再エネ主力電源化への貢献ー”, 日本エネルギー経済研究所, 2018年8月

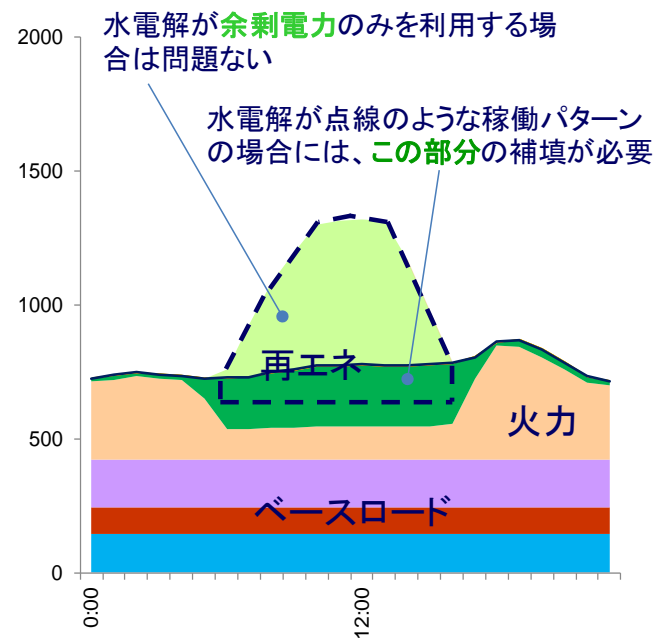
求められる制度設計

- 水電解の需給調整力の活用(マルチユースによる経済性の向上)
- 再エネ電源のAdditionality(再エネは電力用途優先に)
- 出力抑制補償制度はPtGにとっては障壁
- 託送料金: PtGはエネルギー貯蔵技術(どこまで優遇されるか?)

水電解のマルチユースによる経済性の向上



再エネのAdditionality

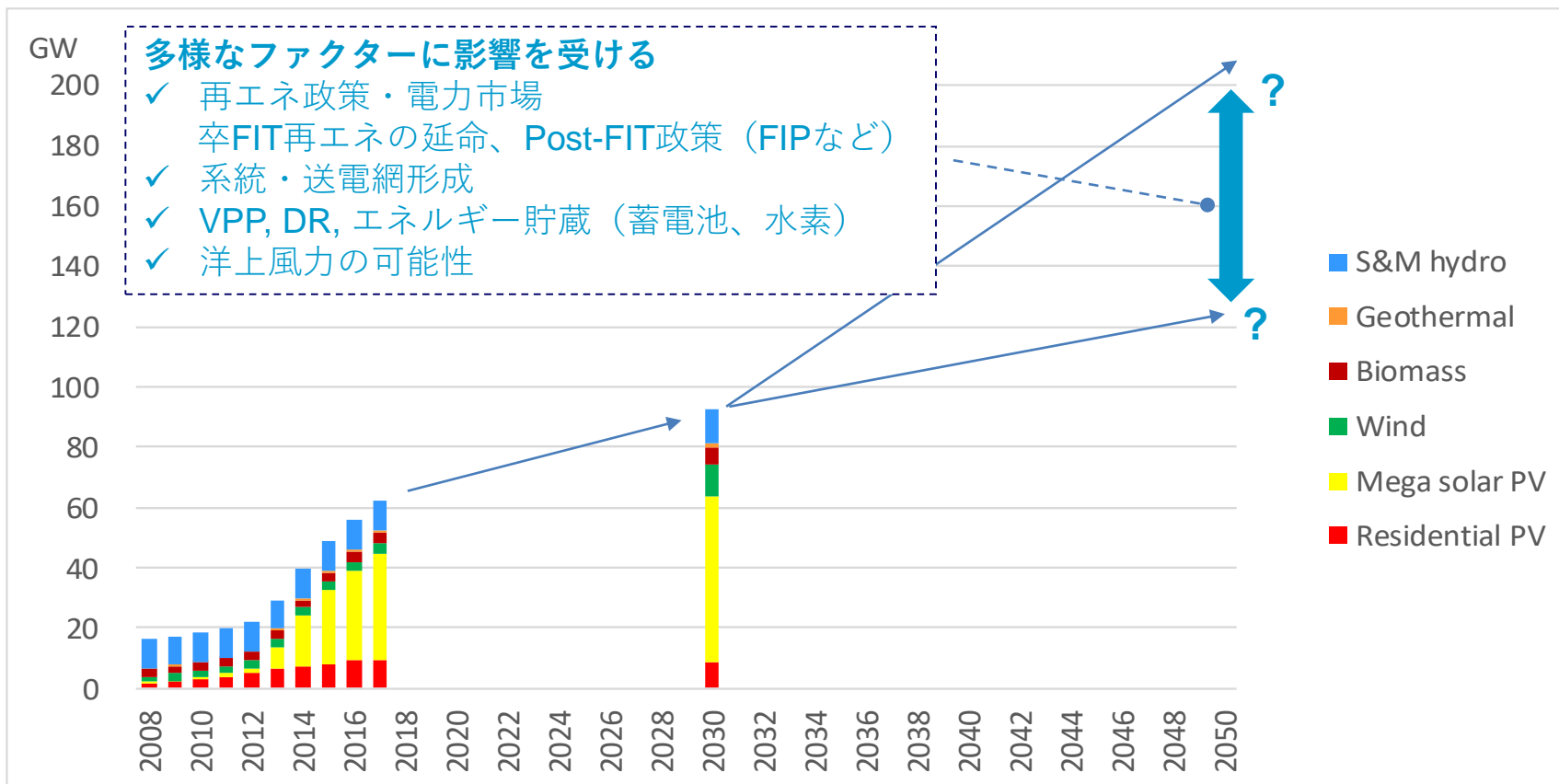


出所: 柴田, “時間軸を踏まえたPower to Gasのビジネスモデルー 調整力の提供, 複数用途への活用, 再エネ主力電源化への貢献ー”, 日本エネルギー経済研究所, 2018年8月

電力システムを超えて

日本の再エネ導入見通し

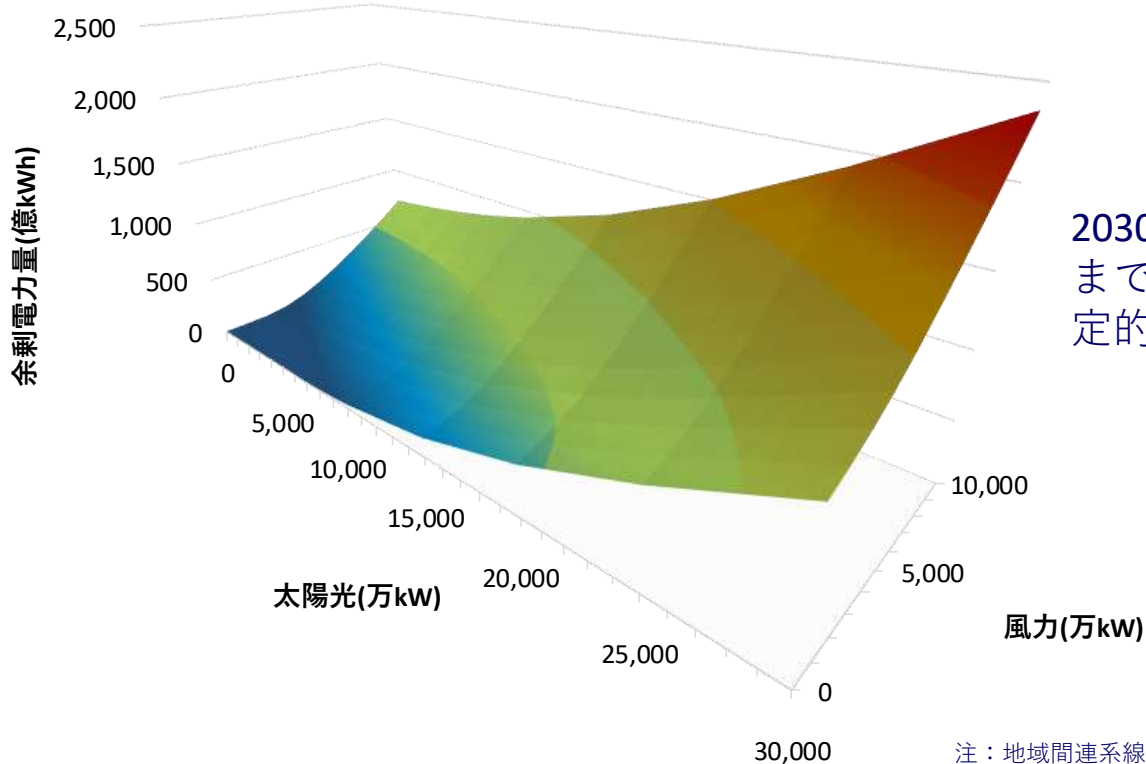
- 再エネ全体では、2030年目標はおそらく達成可能
- しかしながら、FIT賦課金の上昇、大規模PV以外の導入遅れ、系統制約などが課題
- このような状況において、第5次エネルギー基本計画では、再エネの主力電源化を目指すことになっている



我が国の余剰電力規模

- 我が国において、PV6,400万kW＋風力1,000万kW導入の場合の余剰電力量は5億kWh(→1億Nm³の水素)。PV3億kW＋風力1億kWで、2,400億kWh
- 系統対策の動向によって余剰電力量は大きく異なる。

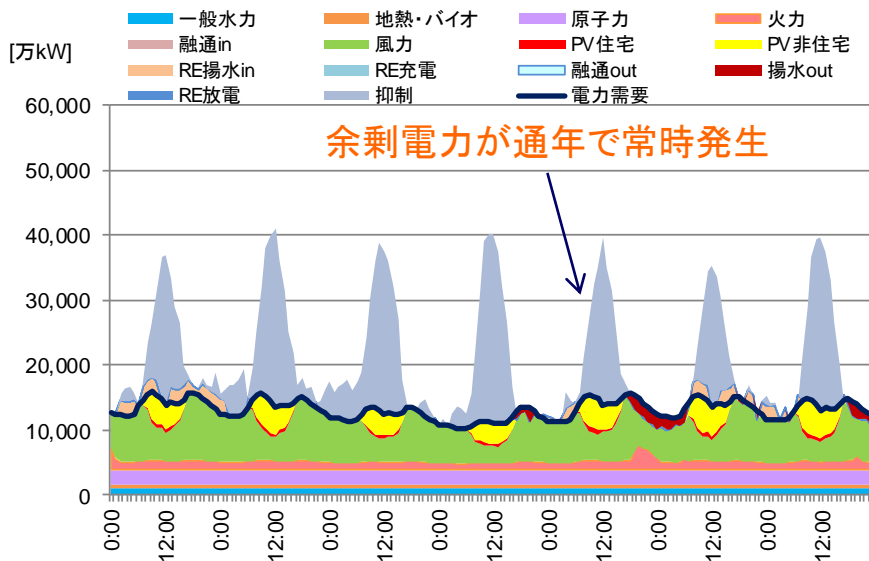
再生可能エネルギーからの余剰電力量



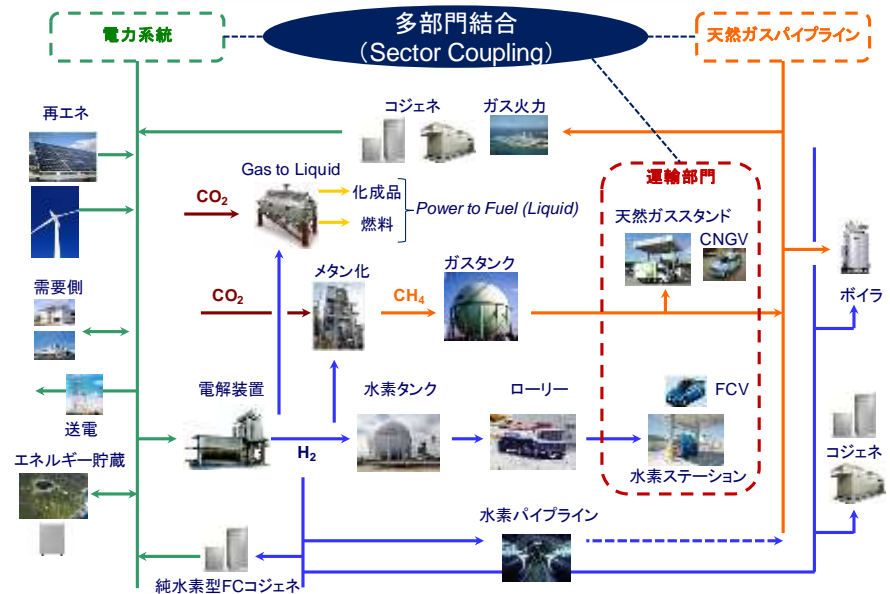
GHG大幅削減と Sector Integration

- 2050年GHG80%削減⇒PVや風力の大規模導入が求められるが、“Power to Power”(揚水発電や蓄電池)の場合は限界がある。充電できても放電機会が限定的
- PtGのような**一方通行**が有利。PtGを通じて“Sector Integration”が実現される
- ドイツではPtG(特にCNメタン)が低炭素に向けて重要な位置づけ
- 余剰電力が“余剰”でなくなる

蓄電池運用の限界



Sector Integration



出所: 柴田, “我が国におけるPower to Gasの可能性”, エネルギー経済, 2016年3月

欧州PtGプロジェクトの特徴

- 再エネ(特に風力発電)からの水素製造により系統柔軟性の向上を目指す
- 水電解の大型化: MWから将来的にはGW級も視野へ
- エネルギー会社(Utility等)の関与
- 水素の供給先は産業部門と運輸部門、ガスグリッドの活用も(合成メタン)



- ✓ 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。
- ✓ 電源の96%がカーボンフリーであるフランスの強み



- ✓ デンマークで、風力からの水素製造、産業・運輸用へ水素を供給
- ✓ Air Liquide, Hydrogenics, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, Centrica and Hydrogen Valleyが実施主体
- ✓ EU/Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertakingが支援



- ✓ 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)
- ✓ STOR&GO (European Union's Horizon 2020 research and innovation programme)が支援



- ✓ 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)
- ✓ 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選定

欧州ネットワーク組織がPtGに対する声明を発表

“Power to Gas – A Sector Coupling Perspective”, October 2018,
ENTSO-E and ENTSO-G

- 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

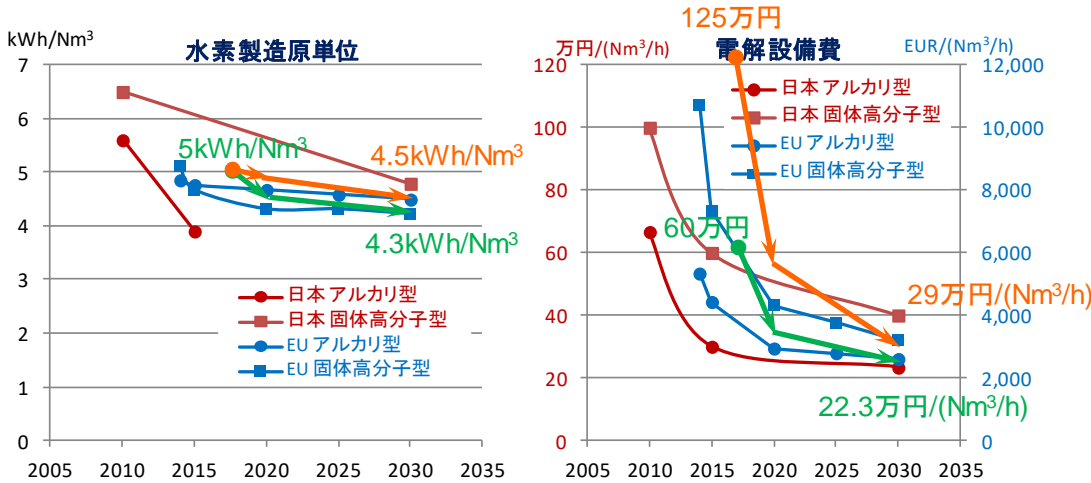
- ✓ これまでは、電力系統でのVRE系統統合はうまくいってきたが、これからは違う。
- ✓ PtG (PtLiquidやHeatも) は、エネルギーシステムの低炭素化を経済的に進めることができる可能性がある (特に、最終需要が電化できない部門では)
- ✓ PtG技術の産業化のためにはスケールアップがすぐにでも必要
- ✓ ENTSOsは、PtGがネットワーク開発計画に及ぼす影響の分析を積極的に行っていく
- PtGが商用ベースに乗るためには、GWクラスの設備が2030年代前半までに必要。すぐにでも大規模化方策を実施し、また、PtGによる系統運用支援の可能性について調査・分析を行うことが重要。

The logo for entsoe, featuring the lowercase letters 'entsoe' in a dark blue font, with a stylized yellow and blue circular graphic element to the right.The logo for entsog, featuring the lowercase letters 'entsog' in a green font, with a stylized blue and green circular graphic element to the left.

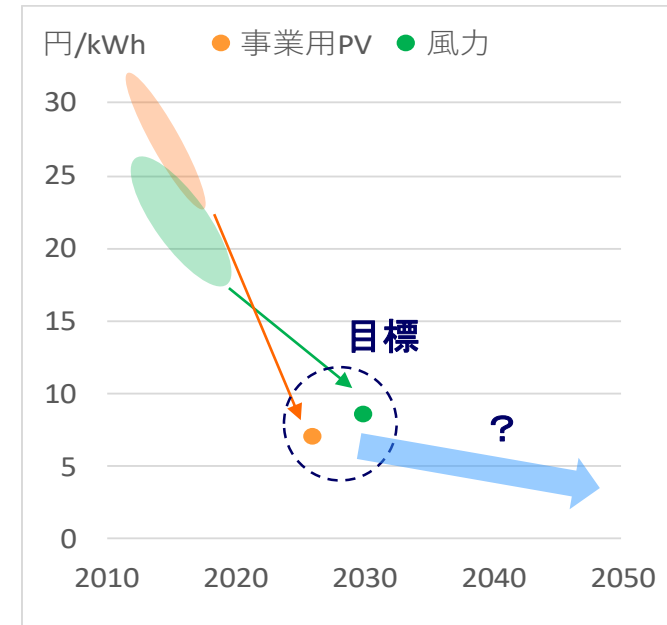
経済性の確保は最重要課題

- 水電解のコスト削減、CNメタンの場合はメタネーションとCO₂分離回収のコスト削減
- ただし、再エネ発電コストの削減は必須（余剰電力が安価という考えは、余剰電力が小規模な状況でのみ成立）

水電解設備費の削減目標



再エネコストはどこまで低下？



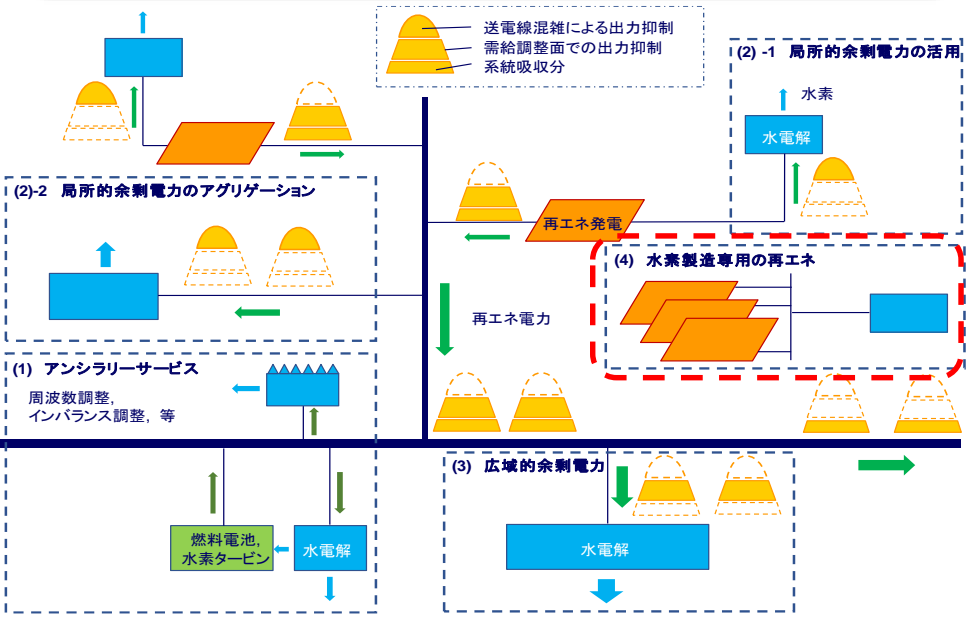
緑: アルカリ形、オレンジ: PEM形 (水素・燃料電池戦略ロードマップ改定版(2019/3)での目標)

出所: 日本は”NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010”, EUは”Development of Water Electrolysis in the European Union”, EU Joint Undertaking, 2014

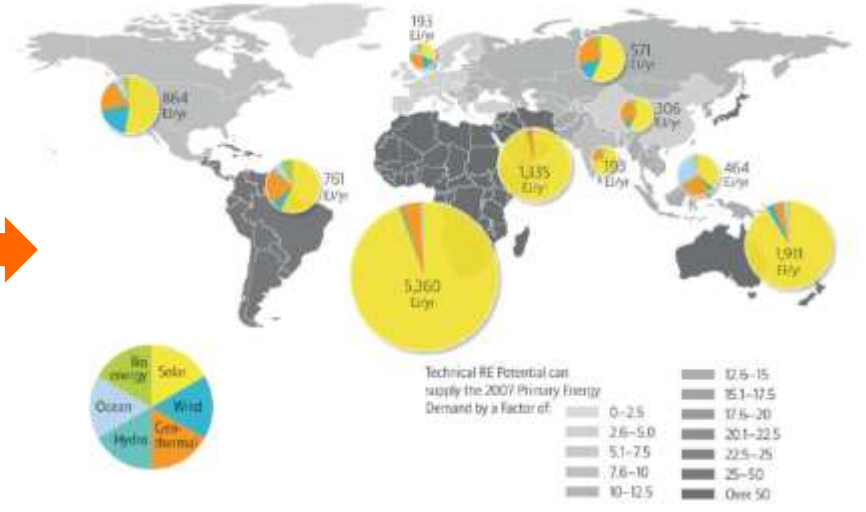
水素大規模製造の可能性

- 国内洋上風力や再エネコストが安価でポテンシャルの大きな国で水素等を製造（**専用**に**再エネ**を利用することで託送等の課題を回避でき、大量製造も可能となる）
- 1980～1990年代に世界的に既に検討
- 概ね**再エネ発電コスト** ϕ 3/kWhが条件（IEA:2017年）
- 豪州は日本への再エネ水素輸出を目指す。ただし、日本までの輸送コストがかかる

大量に製造するためには？



Renewable Fuelの世界規模での生産



出所: "Renewable Energy for Industry, From green energy to green materials and fuels", Insights Series, IEA 2017

出所: 柴田, "時間軸を踏まえたPower to Gasのビジネスモデルー 調整力の提供, 複数用途への活用, 再エネ主力電源化への貢献ー", 日本エネルギー経済研究所, 2018年8月

脱炭素化・エネ安全保障改善に向けてPtGは核に



まとめ

- 短期的には、早期のビジネスを促進するためには、電力市場での制度設計が必要。水電解のGrid Service Providerとしての価値にインセンティブを
- 同時に、水素需要の創出も大事。水素長距離輸送を回避するためには地産地消型か。まずは、産業部門での原料用水素をターゲット
- 再エネコストが大幅に削減できれば、制度設計に依らず、Green水素専用の再エネ投資の可能性も
- エネルギー長期計画、特に再エネ導入計画にPtGを入れ込んだグランドデザインが必要。再エネの主力電源化にはSector Integrationは必須
- そもそも、なぜ水素？：偏在から遍在へ。エネルギー自活、分散型、地域経済活性化
- 産業育成(英国の”Sector Deal”)も必要

ありがとうございました。
yoshiaki.shibata@edmc.ieej.or.jp