

ガス事業の低・脱炭素化に向けて

2050年に向けたガス事業の在り方研究会 第2回

2020年10月6日

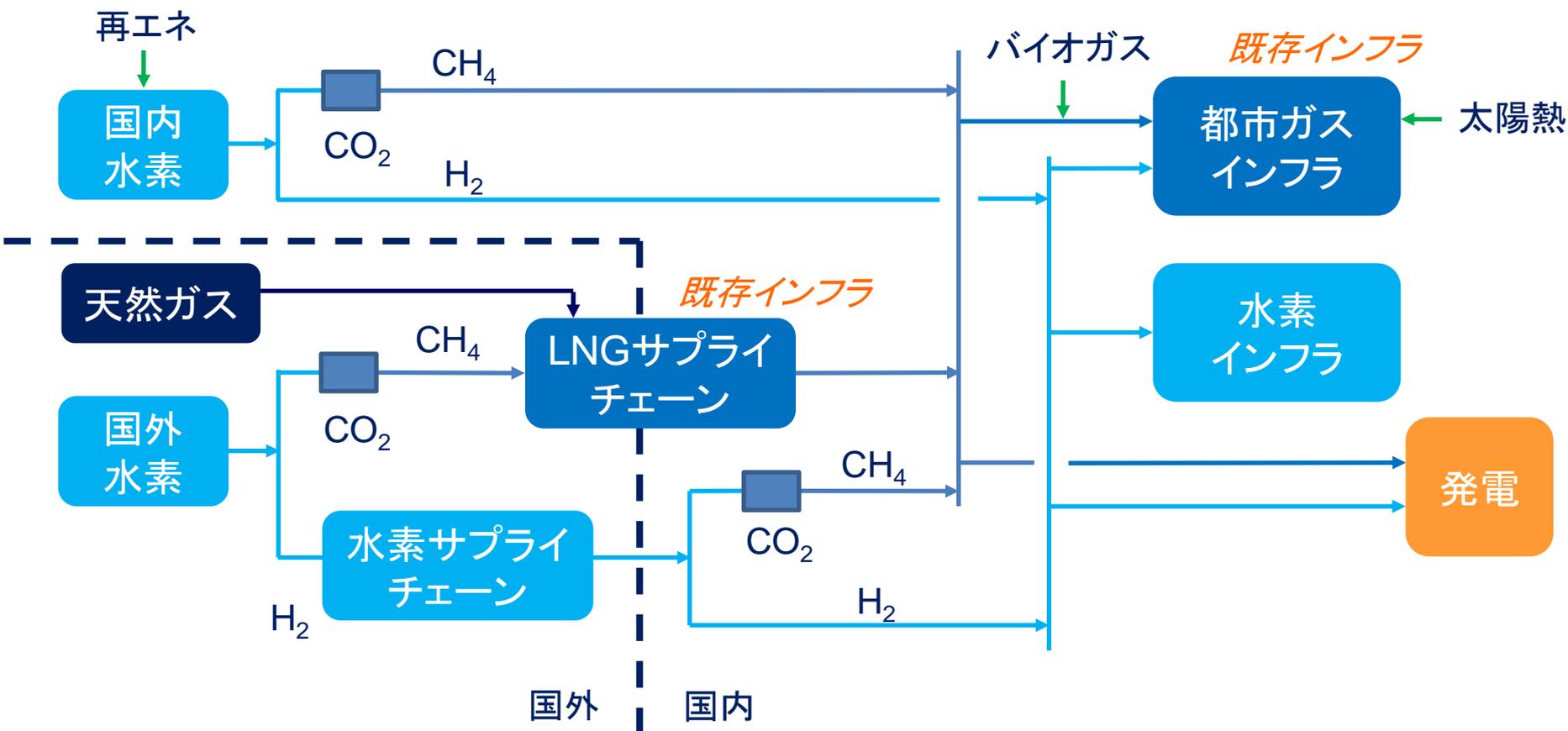
柴田 善朗

新エネルギーグループ

日本エネルギー経済研究所

はじめに

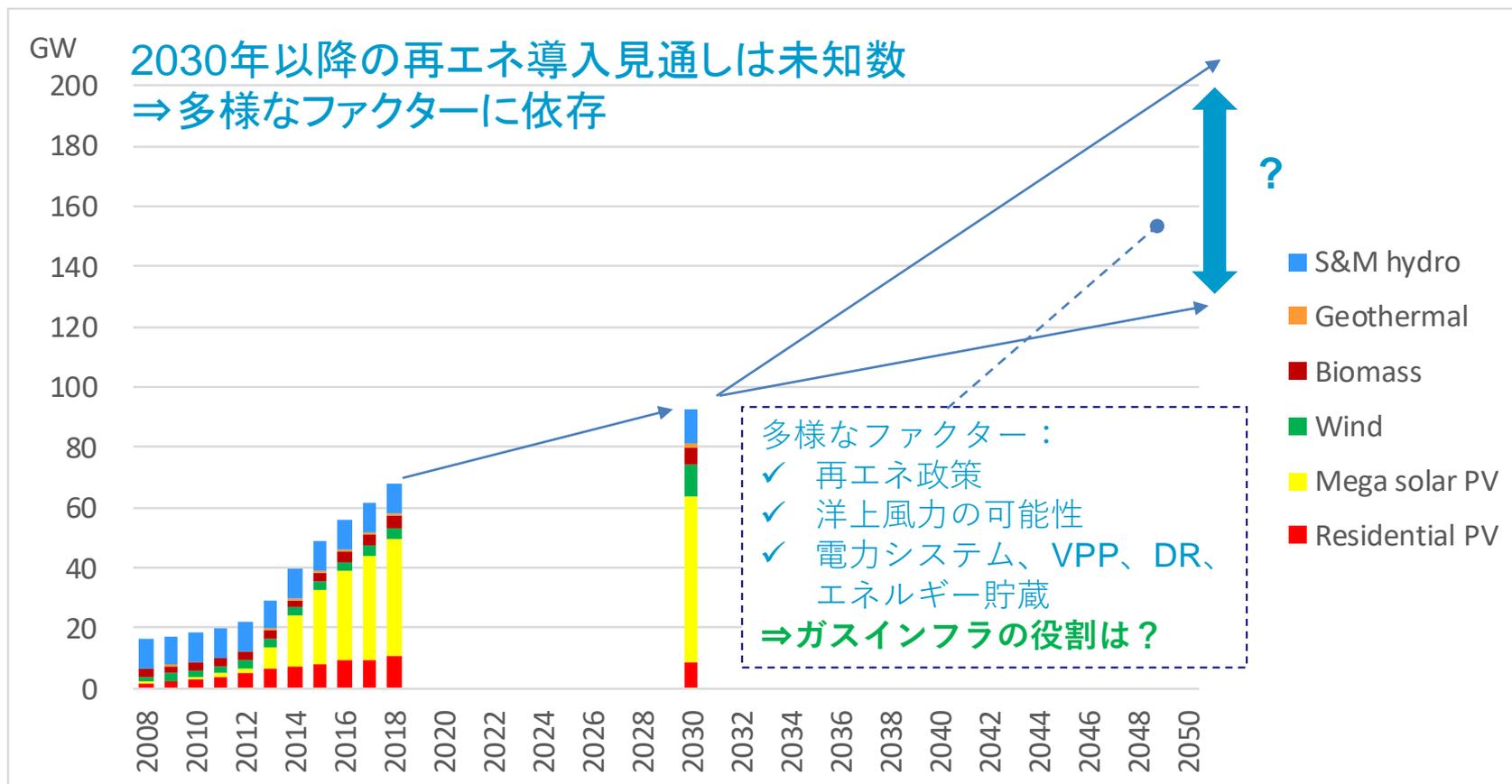
- 我が国のCO₂排出量：都市ガス0.8億t、天然ガス火力等1.5億t(全体：11億t)
- 低炭素化には、水素を起点にすると、上流から下流まで多様な組合せ



再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- まずは国内再エネとの関係性

- FIT賦課金の上昇、大規模PV以外の導入遅れ、系統制約などの課題を克服しつつ、再エネの主力電源化を目指すためには？
- **ガスインフラの役割**は？



再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- エネルギー貯蔵技術：蓄電池・蓄熱・水素等

- 多様なエネルギー貯蔵技術に期待。我が国の都市ガスインフラの貯蔵容量は、空洞岩塩や枯渇ガス田が豊富な欧州と比べて小さいが、揚水発電を上回る

Power to Power (LiBの価格推移)

- ✓ コスト低下に伴い、kW用途から kWh用途へ
- ✓ EVにも期待

Power to Heat (我が国の蓄熱容量規模)

- ✓ どのように活用するかが課題(アグリゲーションなど)
- ✓ 本来は太陽熱の方が高効率

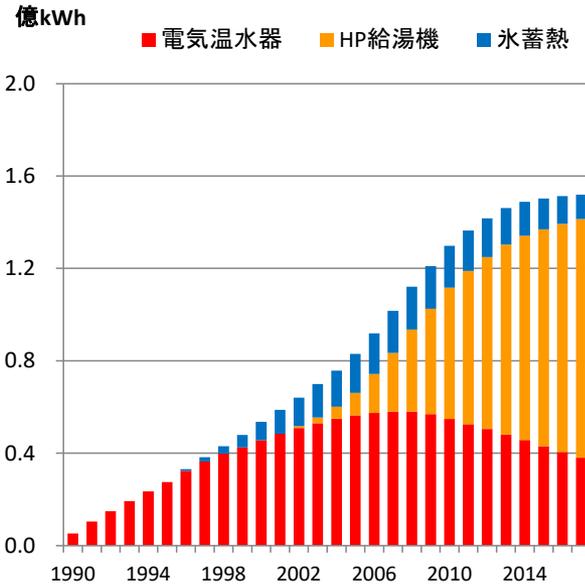
Power to Gas (PtG) (例：我が国都市ガスインフラのエネルギー貯蔵容量)

- ✓ 長期貯蔵が可能
- ✓ 経済性、制度設計が課題

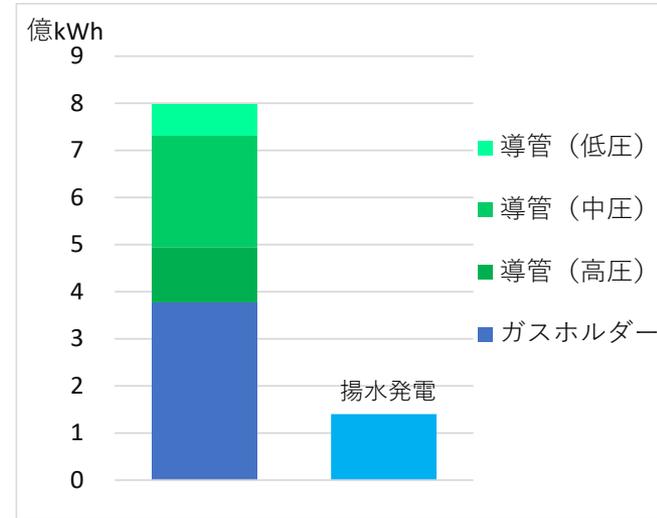
参考：地下空洞の貯蔵容量は140億kWh (幾何容積換算) ⇒ ただし、地域限定的



出所：<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>



注：日本冷凍空調工業会、ヒートポンプ蓄熱センターから推計



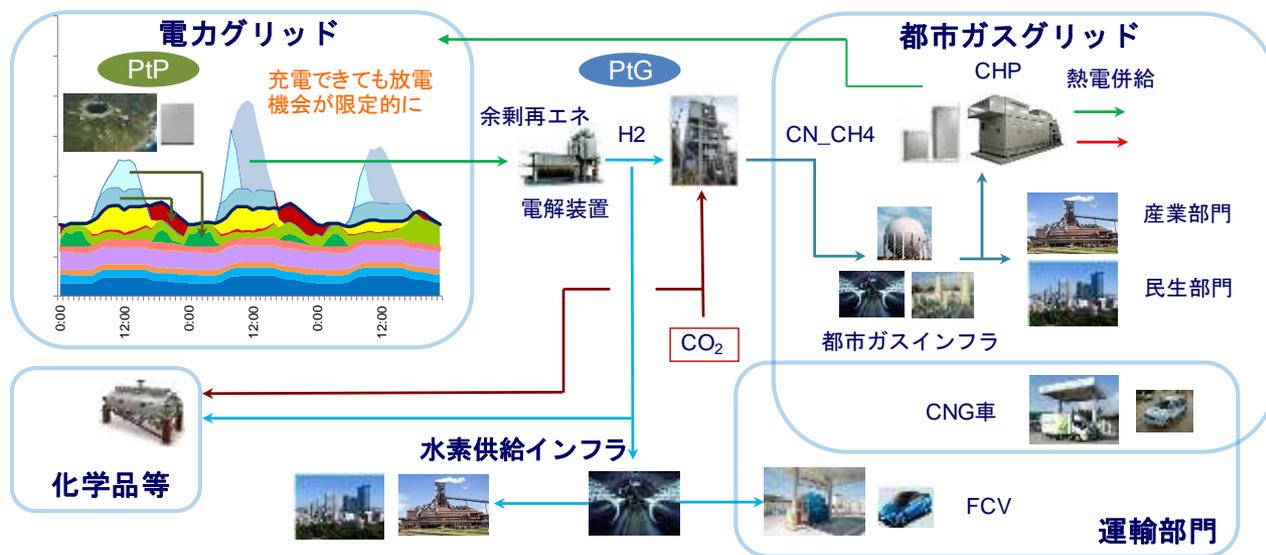
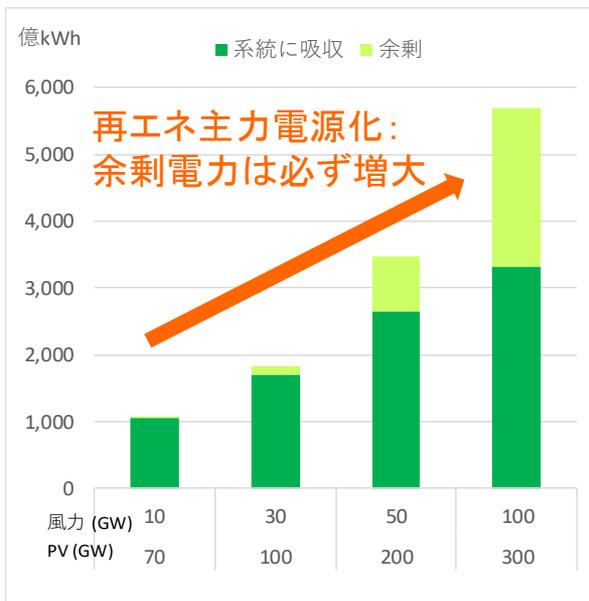
注：ガス事業便覧等から推計。揚水発電はGWデータに、各種資料から想定したhを乗じて推計

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- Energy System Integration

- PVや風力の大規模導入に系統増強が追い付かない。“Power to Power”型エネ貯蔵(揚水発電や蓄電池)だけでは限界。PtGのような一方通行型も必要。PtGを通じて電力系統と都市ガスや運輸部門を連結することで、電化が厳しい部門での低炭素化にも期待

Energy System Integrationのイメージ



- ✓ 大量の余剰電力をどうするか
- ✓ 余剰電力が“余剰”でなくなる仕組みが必要
- ✓ “Well-established gas grids” (IEA “World Energy Outlook” 2019)
- ✓ ⇒ 柔軟性とエネルギー貯蔵の役割⇒再エネとの親和性

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

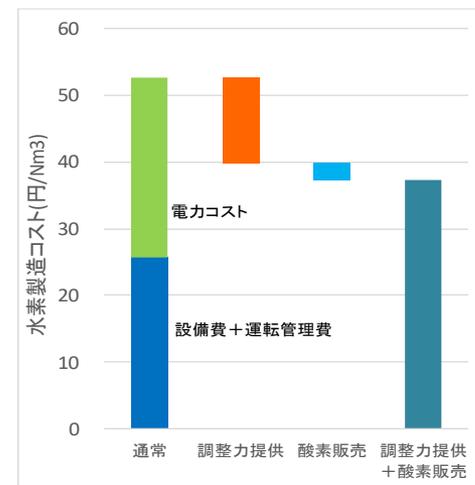
- 都市ガスインフラによる再エネ出力変動緩和への貢献

- CHPは熱電併給と併せて、再エネの出力変動緩和策(VPP)としても期待
- 合成メタンが混合された都市ガスを利用できれば、より低炭素なVPPが可能
- 水電解からの電力需給調整力の提供による水素製造コスト削減の可能性も

CHPの合成メタン利用による再エネ出力変動緩和のイメージ



複数用途への活用による水素製造コスト削減効果



想定：設備利用率=10%，投入電力単価：再エネ余剰6円/kWh，系統10円/kWh

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
 出所：柴田，“分散型コー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

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

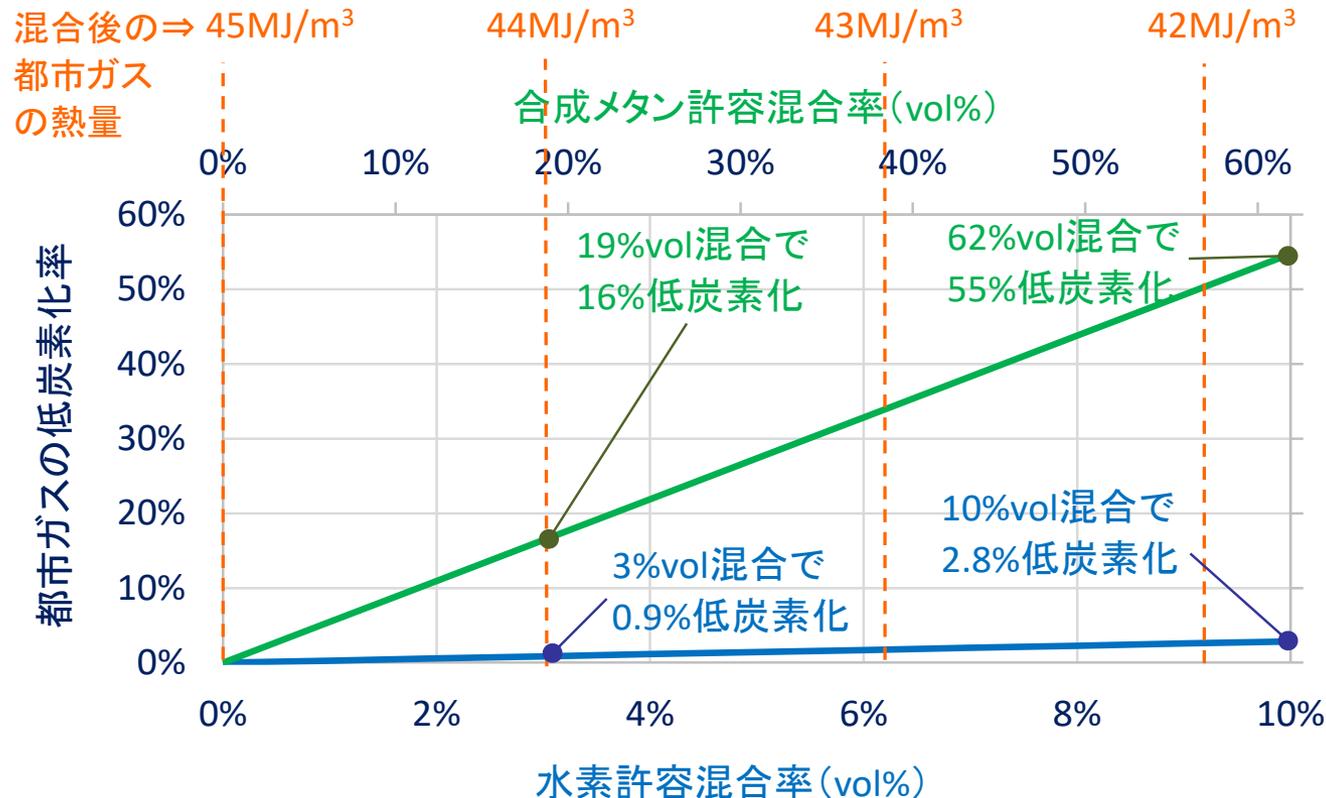
- 都市ガスへの水素・合成メタン混合のメリット・課題

	メリット	課題
水素混合 (ハイタン)	<ul style="list-style-type: none">✓ 水素の初期需要創出効果✓ CO₂分離回収やメタネーションのプロセスが不要なため、製造コストは合成メタンより安価	<ul style="list-style-type: none">✓ 需要家機器の熱量調整✓ 特殊需要(浸炭、超高温加熱炉、燃料電池、ガスエンジン等)への対応✓ 計量方法変更(体積から熱量へ)✓ 混合許容範囲が限定的で低炭素化効果が小さい
合成メタン混合	<ul style="list-style-type: none">✓ 水素混合の課題の多くを回避可能✓ 既存都市ガスインフラがほぼそのまま活用できる✓ 混合許容範囲が大きく、低炭素化効果も大きい	<ul style="list-style-type: none">✓ CO₂分離回収やメタネーションのプロセスが必要で製造コストは水素より高い✓ 安価で効率的なCO₂分離回収が必要

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 都市ガスへの水素・合成メタン混合の低炭素化効果

- 都市ガス熱量を基準とした許容混合率 (vol%) は合成メタンは水素の6倍程度。
例えば、3vol%-H₂=19vol%-CH₄、10vol%-H₂=62vol%-CH₄ (許容混合率は仮の値)
- 低炭素化効果: 合成メタンは水素の19倍*程度 (許容混合率と熱量の両方の影響)
* CO₂分離回収用投入熱量によるCO₂排出は含まず。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。

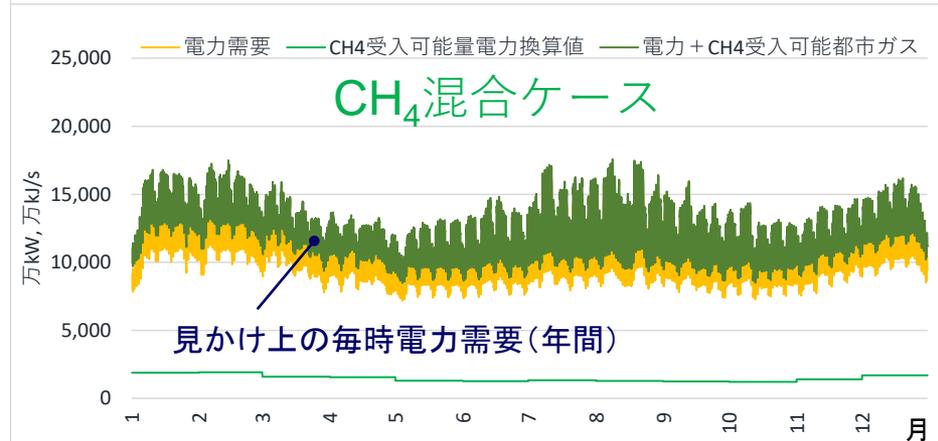
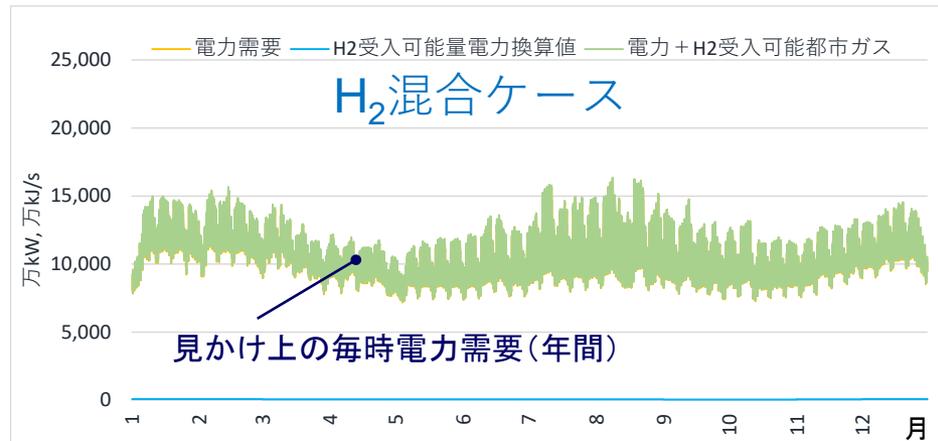
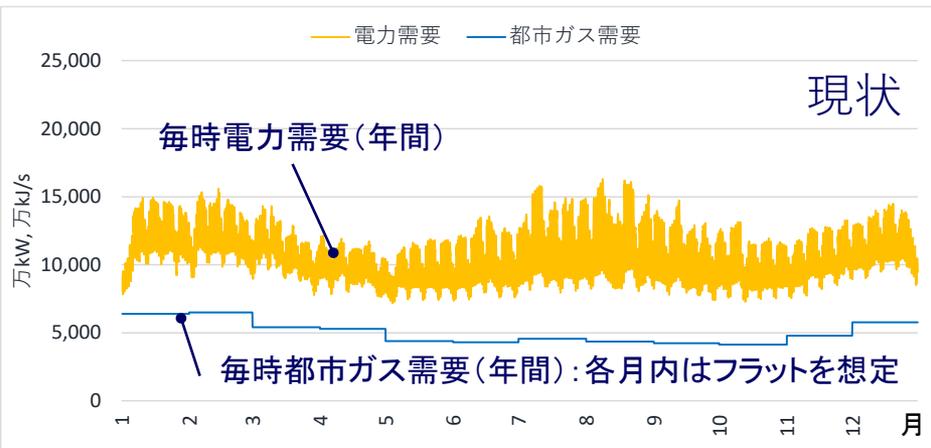


注: 許容混合率・熱量はあくまで想定値であり、実際の可能性を踏まえたものではない。

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 都市ガスによる再エネ受入可能規模を電力換算すると

- 再エネ受入許容規模: 3vol%-H₂=19vol%-CH₄ ケース
- 年平均約1億kWの電力需要に対して、H₂混合の場合は60万kW、CH₄混合の場合は1,500万kWの電力需要創出に相当



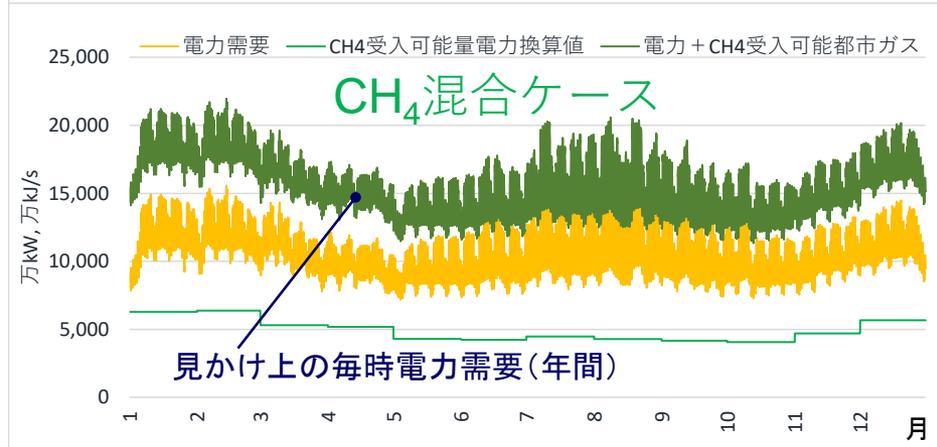
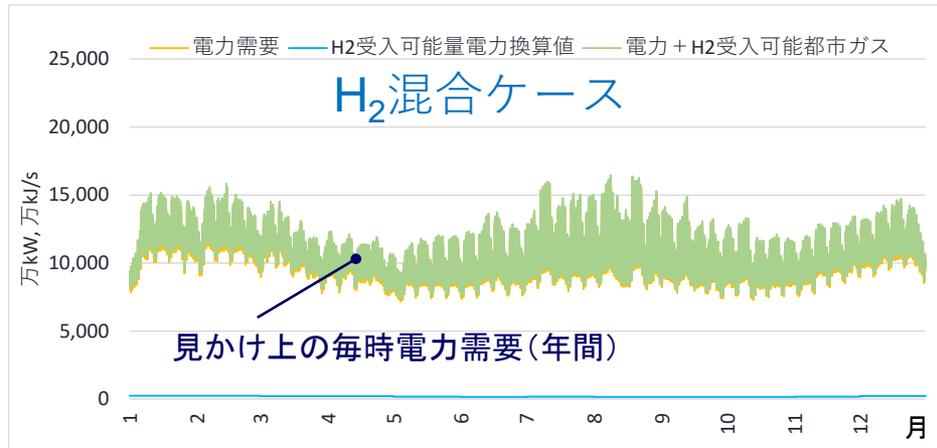
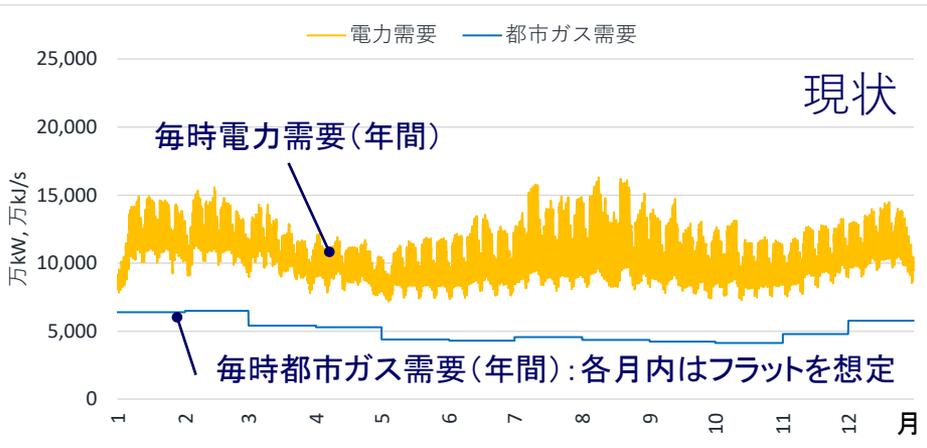
注:

- ✓ 受入可能電力換算値 = 都市ガスのH₂(CH₄)受入可能量 × H₂(CH₄)製造原単位
- ✓ CH₄はCO₂の利用可能性を捨象
- ✓ H₂製造原単位は4.5kWh/Nm³-H₂、合成CH₄の製造原単位は18.3kWh/Nm³-CH₄を想定

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 都市ガスによる再エネ受入可能規模を電力換算すると

- 再エネ受入許容規模: 10vol%-H₂=62vol%-CH₄ ケース
- 年平均約1億kWの電力需要に対して、H₂混合の場合は200万kW、CH₄混合の場合は4,900万kWの電力需要創出に相当



- 注:
- ✓ 受入可能電力換算値 = 都市ガスのH₂(CH₄)受入可能量 × H₂(CH₄)製造原単位
 - ✓ CH₄はCO₂の利用可能性を捨象
 - ✓ H₂製造原単位は4.5kWh/Nm³-H₂、合成CH₄の製造原単位は18.3kWh/Nm³-CH₄を想定

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 最終形態とパスは？

- 水素が如何なる障壁もなくそのまま利用できるならそのほうが効率的。ただし、許容量の制約
- 合成メタンの場合は、**既存インフラの活用というメリットを最大化**する必要がある

短期⇒長期	メリット・課題
$H_2 \Rightarrow H_2$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ メタン合成やCO₂分離回収を回避できるメリット ✓ 現状で、技術的・経済的に問題なく混合できる水準は？ ✓ 水素混合量を増加させていくと、技術的・経済的課題が顕著に。熱量あたり体積がメタンの3倍以上の水素を取り扱うためにはインフラの大規模再構築が求められる ✓ 熱量・組成に制約のある需要家に対してはオンサイト調整で個別対応 ✓ 地域限定的な水素インフラの可能性(都市ガス普及地域外:導管延伸不要)
$H_2 \Rightarrow CH_4$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 現状で、技術的・経済的に問題なく混合できる水準は？ ✓ 水素からメタンへの転換点をどこに置くか ✓ 将来的にCO₂排出が限定的になれば、DACも検討しなければならない
$CH_4 \Rightarrow CH_4$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存インフラの継続的活用 ✓ 概ね、合成メタン製造コストの削減(安価な水素調達、水電解・メタネーション・CO₂分離回収コストの削減等)に注力すればいい ✓ ただし、将来的にCO₂排出が限定的になれば、DACも検討しなければならない
$CH_4 \Rightarrow H_2$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素混合量を増加させていくと、技術的・経済的課題が顕著に。熱量あたり体積がメタンの3倍以上の水素を取り扱うためにはインフラの大規模再構築が求められる ✓ 熱量・組成に制約のある需要家に対してはオンサイト調整で個別対応 ✓ メタンから水素への転換点をどこに置くか

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- どの程度の水素供給が見込まれるのか

- 2030年までは再エネ余剰電力はごく僅か。北海道、東北、九州の合計で最大でも5.5億kWh*程度(≒1億Nm³-H₂)
* : 「広域系統長期方針」、電力広域的運営推進機関、平成29年3月
- また、再エネ余剰電力量の規模は、電力系統側での系統統合対策の進捗状況にも依存
- 仮に、現在の年間消費量約380億m³(45MJ/m³換算)の都市ガスを全て脱炭素化するためには、
 - ✓ 水素 : 1,340億Nm³-H₂ ≒ 6,000億kWh
 - ✓ 合成メタン: 430億Nm³-CH₄ ≒ 7,900億kWh (+0.85億t-CO₂)

が必要

⇒水素・合成メタンの輸入

- 輸入の場合は、都市ガスの2倍規模の発電用天然ガスも併せて考える必要がある

ガス火力発電の低炭素化

- 一般的に再エネ等の導入拡大によりガス火力も縮小していくが、調整力の提供として、ある程度は必要
- ガス火力と同等の機能を持たせつつ低炭素化を図るためには、技術的にはCCSか水素(合成メタン)がオプション

オプション	メリット・課題
LNG火力+CCS	<ul style="list-style-type: none">✓ 既存LNGサプライチェーンの活用✓ 国内CCSの可能性
水素火力発電	<ul style="list-style-type: none">✓ 国内水素は分散型利用向け✓ 国外からの安価・大量の水素供給が必要
合成メタン火力発電	<ul style="list-style-type: none">✓ 都市ガスのような国内既存インフラ活用のメリットが得られないことから、国内合成メタンの大規模発電利用はあまり意味がない✓ 一方、合成メタン輸入の場合は、既存LNGサプライチェーンを活用できるメリット
LNG火力発電+CO ₂ 分離回収+CO ₂ 国外輸送+貯留	<ul style="list-style-type: none">✓ 既存LNGサプライチェーンの活用✓ CO₂輸送のコスト、国外CCSの可能性

輸入水素・メタンと国産水素・メタンの整合性

- 水素輸入の場合：発電利用に関しては水素直接利用（水素火力発電）が望ましい。都市ガスへの水素混合に障壁がある場合は、国内で合成メタンか
- 合成メタン輸入の場合：LNG火力も都市ガスインフラもほぼそのまま活用できる。ただし、この場合、国外での合成メタン製造になるが、例えば天然ガス＋CCSから水素を製造し、その水素とCO₂から合成メタンを製造することは回避すべき
 - 直接LNGで輸入し、別途CCSを行う方が合理的である（水素製造・合成メタン製造プロセスを回避できる）点に留意が必要
 - CO₂クレジットを活用したカーボンニュートラルLNG（東京ガス）と同様
- 水素輸入と合成メタン輸入の2トラック併存はあり得るのか
- 過渡期にはLNG輸入とも共存することも踏まえなければならない
- IMOのCO₂排出量規制

水素をどう長距離輸送するか

- 液化合成メタンの輸入は、既存のLNGサプライチェーンを利用できるメリットがあり、かつ国内の都市ガスインフラへの適用性もある。

	水素密度	メリット・課題
液化水素	体積:71kg-H ₂ /m ³ 重量:100%	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 新規インフラが必要 ✓ 国内インフラ整備の必要性を踏まえると、沿岸部での利用が主 ✓ 高純度水素。多様な用途に利用可能 ✓ 液化電力消費の削減、輸送コスト削減が課題
MCH	体積:47kg-H ₂ /m ³ 重量:6%	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存インフラの活用 ✓ 水素化時の発熱利用、脱水素時に必要な熱供給が課題
液化アンモニア	体積:121kg-H ₂ /m ³ 重量:18%	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存インフラの活用 ✓ 毒性による集中管理の必要性を踏まえると、石炭火力への混焼など沿岸部での発電利用が主 ✓ 燃焼時のFuel NO_x・N₂Oの発生や未燃NH₃への対応
液化合成メタン	体積:107kg-H ₂ /m ³ 重量:25%	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存インフラの活用:都市ガスネットワーク利用による地理的広範囲での利用 ✓ CO₂分離回収が必要 ✓ 他国のCO₂を日本で排出することになるので、ルール作りが必要

まとめ

■ 既存インフラ活用という観点からは

- ✓ 都市ガスインフラが再エネ統合にどこまで貢献できるか(少量水素の受入)、都市ガス自体の低・脱炭素化に向けてEnergy System Integrationをどの程度まで可能か(合成メタンによる積極的な都市ガスの低炭素化)の検討が必要。ただし、再エネとインフラ整備状況の地域偏在性は課題
- ✓ 輸入水素は発電用途は水素発電。都市ガス向けは水素受入許容範囲や上記の再エネ統合の進捗状況に応じて水素か合成メタンかの検討(国内再エネ由来水素・合成メタンの“しわ取り”の機能も)
- ✓ ただし、輸入水素は経済性次第(足元では、電力がアンモニアの石炭火力への混焼を目指している事実)。既存LNGサプライチェーンを活用した合成メタンの輸入もオプション

■ 既存インフラ活用というメリットを生かせる範囲において合成メタンが水素より優位

■ 将来的には、インフラ更新も視野に

- ✓ 地域別エネルギー需要の動向(電化、少子高齢化、空洞化等)
- ✓ 合成メタン製造に必要なCO₂の排出が減少し(バイオマスやDACの可能性はあるが)、水素インフラ構築という選択肢も視野に

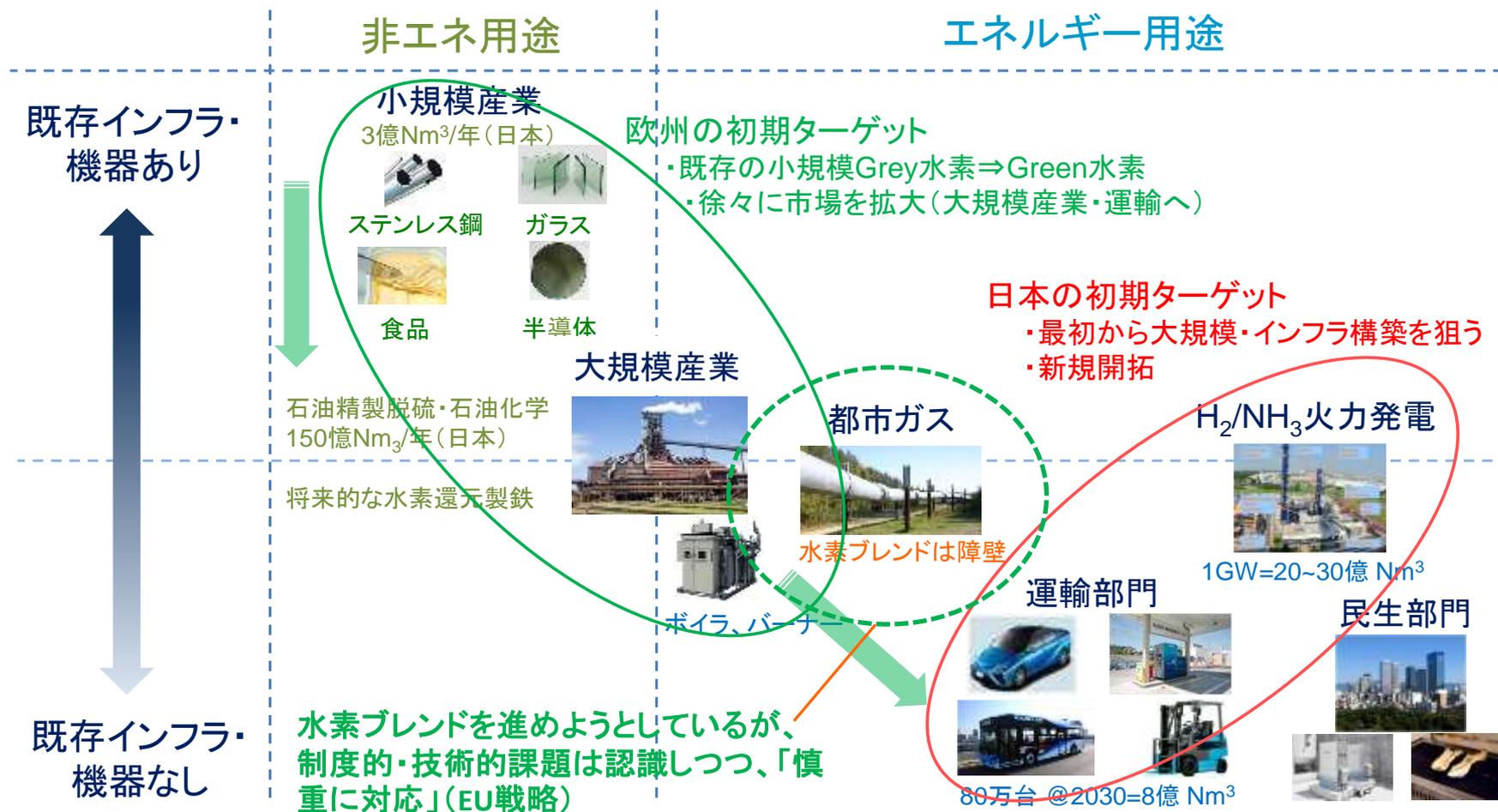
■ 足元での留意点

- ✓ 合成メタンは、水素に、排出されたまたは既に存在するCO₂を結合し、利用し、再排出するサイクルとなる。CO₂源は問わない。⇒欧州での議論には注意(バイオマスとDACのみを許容という流れ)

水素需要スケールアップ - 日本と欧州の比較

<参考資料>

- 日本は新規需要開拓。欧州は既存水素インフラ・既存用途から始め、徐々に拡大



再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 欧州のEnergy System Integration

<参考資料>

- 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、エネルギーネットワークの統合**
- 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



- ✓ 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、PtGIによるSector Couplingの推進**に取組むことを発表“Power to Gas – A Sector Coupling Perspective”, October 2018, ENTSO-E and ENTSO-G



- ✓ 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

再エネ統合と都市ガスの低炭素化

- 都市ガスと電力の比較

<参考資料>

- 電力と都市ガスでアナロジーできる点とそうでない点を明確に

	電力	都市ガス
低炭素化オプション	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 再エネ、原子力、CCS 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 太陽熱(熱需要の低炭素化)、バイオガス、水素・合成メタン
再エネ統合時の課題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 出力・周波数変動性 ✓ 1kWh=1kWh 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 出力変動性+ガス組成変動 ✓ 1kJ(組成A)≠1kJ(組成B) ✓ ガス組成の変動(日・季節・年) ✓ 特殊需要(浸炭、超高温加熱炉、燃料電池、ガスエンジン)への対応 ✓ 計量方法変更の課題
エネルギー貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 困難 ✓ 短期 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 比較的容易 ✓ 長期
ネットワーク整備状況	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ △