

JSPMI-ERI 21-3-2

CASE 変革期に問われる
異能チーム・異分野技術へのアプローチ調査
2021 年度
(2)再エネを中心に

令和4年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

裏面(左頁):空白

CASE 変革期に問われる異能チーム・異分野技術へのアプローチ調査
2021 年度
(2)再エネを中心に

調査研究委員会・委員名簿(敬称略、順不同、委員会当時)

委員

柴田 政明 株式会社エイワット 代表取締役

蜂須賀 譲二 株式会社テクノバ 副社長 (※)

丸田 昭輝 株式会社テクノバ エネルギー研究部 統括主査 (※)

古田 昭宏 九州電力株式会社 テクニカルソリューション統括本部
総合研究所 系統高度化グループ 主幹研究員

藤井 学 公益財団法人 九州経済調査協会 調査研究部 次長

※：年度途中、蜂須賀委員→丸田委員へ交替(蜂須賀委員 異動により)

オブザーバー

師田 晃彦 経済産業省 地域経済産業グループ 地域経済産業政策統括調整官

経済研究所

太田 志乃 機械振興協会 経済研究所 特任研究員(名城大学)(PL*)

井上 弘基 機械振興協会 経済研究所 首席研究員

井高 章子 機械振興協会 経済研究所 リサーチアシスタント

*プロジェクトリーダー

調査研究委員会開催実績一覧

第1回 2021年11月26日(金)

第2回 2022年1月31日(月)

第3回 2022年2月28日(月)

第4回 2022年3月14日(月)

※コロナ禍が激しく、感染防止のため、全てウェブ開催

目次

はじめに.....	1
1. 再エネ大量導入を展望した地域アグリゲーション.....	3
2. 再エネ時代の電力需給調整への BEV-to-Grid (V2G) 貢献と限界.....	16
3. 水素活用のミックスについて.....	25
4. 太陽光発電の持続性担保と O & M (Operation & Maintenance).....	35
おわりに.....	45

裏面(左頁):空白

はじめに

本報告書は、機械振興協会経済研究所「CASE 変革期に問われる異能チーム・異分野技術へのアプローチ調査」(略称 CASE 調査。全体事業期間：2020 年度～2022 年度)の第2年度目にあたる2021年度分の一部である。

全体調査計画として、“CASE”(Connected, Autonomous, Sharing, Electric)を2系統、すなわちIT系とエネルギー系(電化)に区分し、初年度だった2020年度は、前者=IT系に絞って半導体からネットワークまで調査した。2021年度は、後者=エネルギー系(電化)を扱った。

そのエネルギー系について、2021年度は、調査を、パート(1)=EV車そのものについて、パート(2)=再エネなど車外電力環境、の2パートに分け、それぞれ有識者を集めた委員会を設置して調査・議論を行った。本報告書はそのうちパート(2)のみについてである(パート(1)は別途報告書JSPMI-ERI 21-3-1として刊行済)。

パート(2)車外電力環境の調査趣旨は、次のとおりである。クルマ～モビリティの電化度合が、EV(BEV、PHV、HV)や燃料電池車(FCV)などのように高まるにつれ、ガソリンなど化石燃料からの(燃焼)エネルギーからまさに電力へ、主たる利用エネルギーの種類が変わり、電力需要は増えることになる。クルマの電化(CASEの“E”)は元来、ニーズ側とサプライ側、つまりCO₂など温暖化ガス(CO₂で代表させる)排出抑制のために必要になった面と、リチウムなどの利用によって、従来ボトルネックだった蓄電池の性能が大きく改善されて実用化が見えてきた面の、両者があいまって、イシューとして想定より速いテンポで浮上した。繰返せばCO₂排出抑制というニーズ(必達)面が、促進要因=目標なわけで、その観点からすると、たとえばBEVが走行時にCO₂を排出しなくても、蓄電池に充電する際の電力が、たとえば石炭火力発電によるものなら、トータルで見ると、BEVといえどもCO₂を相当排出することにつながる。つまり元々の電力が、CO₂を排出しないかたちで、いわば“グリーン”に生成されたかが、問われる。CO₂抑制という大きな目標のためには、クルマにおけるCO₂抑制の点に限っても、クルマの電化を進めれば済むわけではなく、

「車外＝社会 電力環境」が、いかにグリーン度を高めているかが、問われる。

パート（2）はその点を取上げるが、これは系統電力を含めた社会・一国全体での電力体系の問題であり、一つの報告書で全体を論ずることは到底できないし、また一般の再生エネルギー（再エネ）関係調査は山積している。

そこで視野を 2050 年カーボン・ニュートラル頃まで長期にとりながら、電力を軸にしたエネルギーのサプライチェーンが、どう変容し得るかについて、次の点に関心を絞った。すなわち産業革命（含第 2 次）以来の集中・広域型系統電力の体系が、他方で家庭用太陽光発電（PV）等に極端に分散したあり方と、直結した現在というのは、むしろ変化の暫定型に過ぎず、今後はその中間に、中小地域単位の電力マネジメントとそこでの電源自立安定化が、展望できるのではなかろうか、という仮説的問題意識である＜＊＞。

＊資源エネルギー庁等は既にその意識を持っているようで、電力アグリゲータを支援したり、電力需給調整市場や容量市場の創設も検討しつつあり、本稿問題意識はそれと整合的である。

アプローチにあたり難しいのは、将来におけるあり様は、夢物語から暗澹たるものまで、誰でも任意に描くのは自由という点で、両極端を避けるべく、今現在、将来に向けた萌芽や課題を探ぐりつつある事例を吟味することとした。

そこで具体的には、委員として：

1. 地域アグリゲーションによる調整力分散化と地域エネルギー自立傾向について：
柴田委員
 2. 電力需給調整への BEV-to-Grid(V2G)貢献検討とその課題： 古田委員
 3. 水素活用のミックスについて： 丸田委員
 4. 太陽光発電の持続性担保と O&M(Operation & Management)： 藤井委員
- 以上、中小地域電力マネジメント中心； 以下、“潜”電力国際移動視点—
から知見を伺うこととした。

本報告書は、コロナ禍ゆえに実地調査ができない中で、各専門家の知見を集め、相互議論した「活動の報告」である。

1. 再エネ大量導入を展望した地域アグリゲーションについて

以下は主に柴田委員（エイワット社）発表を弊所にて編集したものである：

- ・まず、電力系統の構造と再エネ・EVの位置づけ：

①電力系統の構造は

- ・発電
 - ・送電
 - ・配電
 - ・需要家
 - ・負荷
- という流れになるが、

②再エネ、EVの観点で言えば

- ・送電、配電、需要家の部分に再エネがランダムに導入
- ・今後 負荷部分（一部 需要家）に、EVという増加要因が想定される

これが、現状。

発電	27.5~50万V
送電	15.4万V
配電	2.2~15.4万V 6600V
需要家	2.2~15.4万V 6600V
負荷	100~200V

- ・再エネ導入拡大の観点：

①今後、大幅に再エネを増やすには

・「ランダム」ではなく「整理した状態」で再エネを導入していく必要があると、導入側としても認識している。

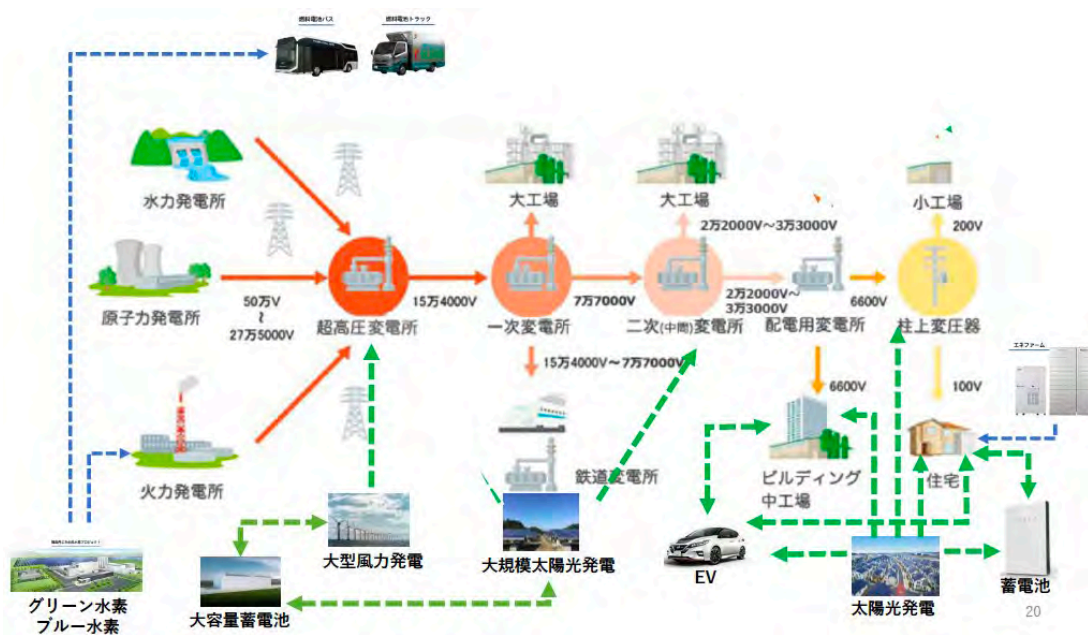
- ・電力会社とも協力しながら実現していく必要があると考えている。

②では、「整理した状態」での導入拡大とは何か？

- ・配電分野では地域マイクログリッド（地域内消費を制御？）
 - ・需要家では自家消費
- が、その形態であると考えている。

③低圧・高圧・特別高圧に限らず太陽光発電過積載率300~500%仕様で余剰はDCリンクで蓄電池に充電、夜間も含めて24時間給電する安定電源を地域に新設する。また、既存設備をパワーアップさせて安定電源化する

具体イメージとしては、たとえば次のようになる。当たり前だが上記で示した電圧区分のように、高圧ほど広域をカバーし、低圧ほど小域カバーであるから、階層構造＝包括地域の大小が、多少とも重層的にまとまり単位を成すことになろう。



・他方、再エネが普及するほど、電力網の管理が難しくなる：

基本として：

電気の特徴～需要と供給のバランス～

電気は「貯蔵できない」という性質を持つため、常に需要と供給をバランスさせなければなりません。このバランスが崩れると電気の品質のひとつである周波数が変動してしまい、停電などの事故につながる恐れもあります。そのため、需要に合わせて供給をすることや、瞬時瞬時の需給の変化に対応することが重要です。このような需給バランスを保つ役割は、これまで主に大型の発電機の稼働によって担われてきましたが、ここに、分散型エネルギーリソースを用いたVPP・DRを活用することが期待されています。



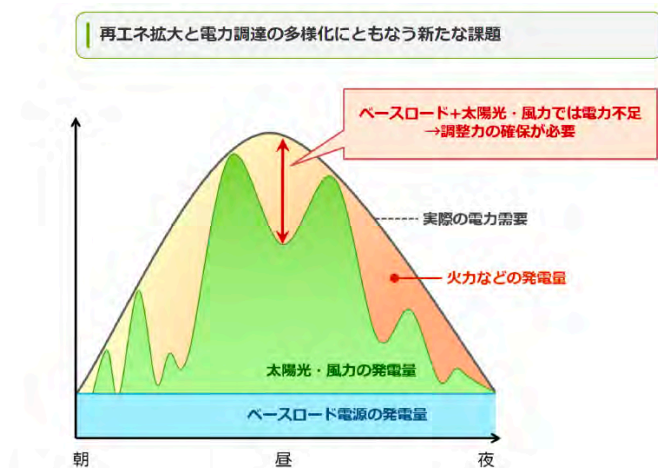
図:需要と供給のバランス

再エネのうち、中心を成す太陽光や風力による発電は“自然変動電源”であり、一日の中でも昼と夜で、あるいは季節により、あるいは晴雨により、出力が異なるのが普通。

それらが単に自家消費されるなら問題はないが、一般には「売電」のかたちで再エネ電源から系統に向けて「逆潮流」も進んでいる。

この状態で、電力需要も刻々変化しており、都度、需給をバランスしていかなければ、周波数の乱れなど、電力品質が劣化・不安定化することになる。

よって、次の絵のように、発電量と需要量をマッチさせることができる「調整力」が必要になる。



調整力は次のように売買対象になる：

需給調整市場で取引される商品区分は大きく5つあり、応動時間の最も遅い三次調整力②が2021年から取引が開始され、順次、より応動時間の速い調整力へ商品が拡大されていく予定です。

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
回線	専用線 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線	専用線	専用線または簡易指令システム	専用線または簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内	45分以内
継続時間	5分以上	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
指令間隔	— (自端制御)	0.5～数十秒	数秒～数分	専用線：数秒～分 簡易指令システム：5分	30分
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内出力変化可能な量 (「オンライン」(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW	5MW	5MW	専用線：5MW 簡易指令システム：3MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW

出所) 2020年8月7日 第18回 需給調整市場検討小委員会 資料4を基に作成

- ・多数分散した電源（逆潮流＝売電も）と消費端が分布した状態においては、面的～数的に“括った”単位ごとに、単位内の電力バラツキをならしつつ、そこでバランスしきれない分をさらに上位（広域）の電力マネジメント単位とのやり取りで、需給一致を図るような階層性が展望される：

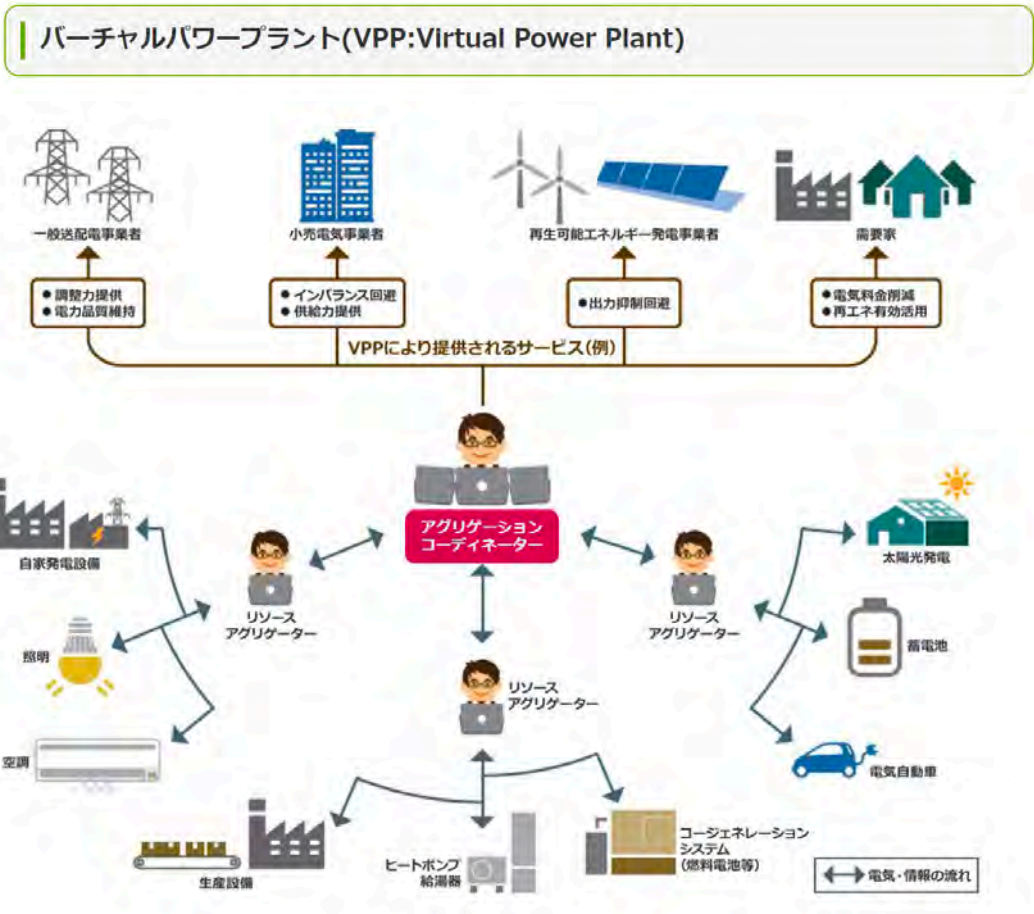


図:VPPのイメージ

「バーチャルパワープラント」(VPP)とは：

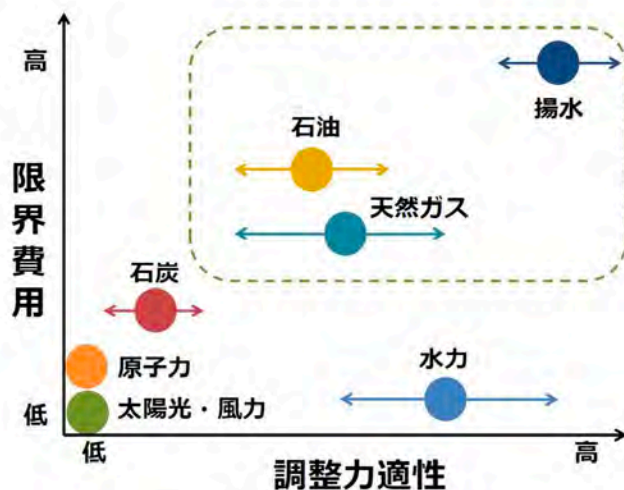
需要家側エネルギーリソース、電力系統に直接接続されている発電設備、蓄電設備の保有者もしくは第三者が、そのエネルギーリソースを制御することで、発電所と同等の「機能を提供」すること。家庭・事業所等の太陽光発電から系統への売電（逆潮流）の制御なども含む

→ここから商用サービスも展望できる（いわゆる電力アグリゲーションビジネス。含デマンドレスポンス DR 活用）

・もう一つの課題：「容量市場」

最広義には調整力の一環だが、一般の調整力と異なり、長期にわたって調整力を提供可能な「発電インフラ基盤」が“容量”の問題である。

下図のように、短時間（かつ電力量の振幅規模）で発電出力を上下調整しやすい発電方式と、原子力のようにそれが難しいもの（ベース電源には好適）がある。点線囲み部分は調整力活用のコストパフォーマンスに優れる方式である（揚水発電はしかし一般にキャパシティが小さくて限界がある）。石油、天然ガスなどによる「火力発電」は、電力需給の変動を吸収～調整して、周波数等の電力品質・安定供給のため、不可欠な発電インフラになっている。



それらの稼働率は平均して、ならしてしまおうと、必ずしも高いとは限らず、その視点からは、経済的に非効率なインフラとなる。稼働率を絶えず高めにもっていくように発電態勢を構築すると、コスト的に好ましいが、今度は「調整力」として電力を“追加”供給する能力幅が下がってしまうジレンマがある。非稼働時間における非稼働能力（W）を積分した部分にかかるコストは一般には「空費」であるが、系統電力網においては、安定供給が責務となっている電力供給業者として、「必須」コストでもある。ゆえに電気代金にのせることになるが、他方で電気代は下げたり、上昇抑制せねばならない。

→これが「容量市場」の基礎。市場と呼ぶのは将来構想であり、従来は系統電力会社ごとに容量（潜在能力）を確保するのが原則だったが、発電能力への投資・所有も

外部独立業者が担う例が出てきても良い。そこでは容量を売買する可能性が出てくる（狭義〔短時間での〕調整力の取引と似た発想）。

・容量市場での課題： 上掲のように容量確保に適する発電方式は「火力」が多い。それはCO2排出抑制と矛盾しがち。

→どうするか？： 石油、天然ガスではなく、「水素」「水素由来の合成メタン、その他合成燃料」による火力ならば、水素自体がグリーン生成されたもの、あるいはCO2地下貯留（CCS）と組み合わせる生成された水素（ブルー水素）ならば、問題解決になり得る。最後に残るのはコスト問題

以上、火力等による「容量」確保まで考えると、将来は水素等の活用が好ましいのではないか。

つまりは電力といっても、ガス（ガス由来液体含む）系も含めた、低炭素エネルギー・ミックスが問われることになろう。

仮説1： バーチャルパワープラント(VPP)は、広域よりも中小地域単位のほうが制御能力構築が容易であり、「地域ごとの電力アグリゲータサービス」事業に向く。その単位でマネージしきれない変動分等は、さらに上位の、系統電力（広域）において吸収・調整することになる。（クルマ、家庭、事業所、発電所等の各階層で蓄電池も活用）

しかし蓄電池容量に限界がある場合、

仮説2： 将来的には、場所によっては、ガス（水素その他）系も含めた「総合エネルギーアグリゲータサービス」が展望できるのではないか。

抽象論には限界があるので、以下、仮説1（地域単位電力アグリゲータサービス）部分に限定されるが（*）、離島での〈具体例〉を見たい：

*仮説2と関連する水素系については後述

宮古島における 島嶼型スマートコミュニティの取り組み

＜宮古島市 島嶼型スマートコミュニティ実証事業＞
～エリアアグリゲーションの実現～
～再エネサービスプロバイダ事業の推進～

2020年3月9日

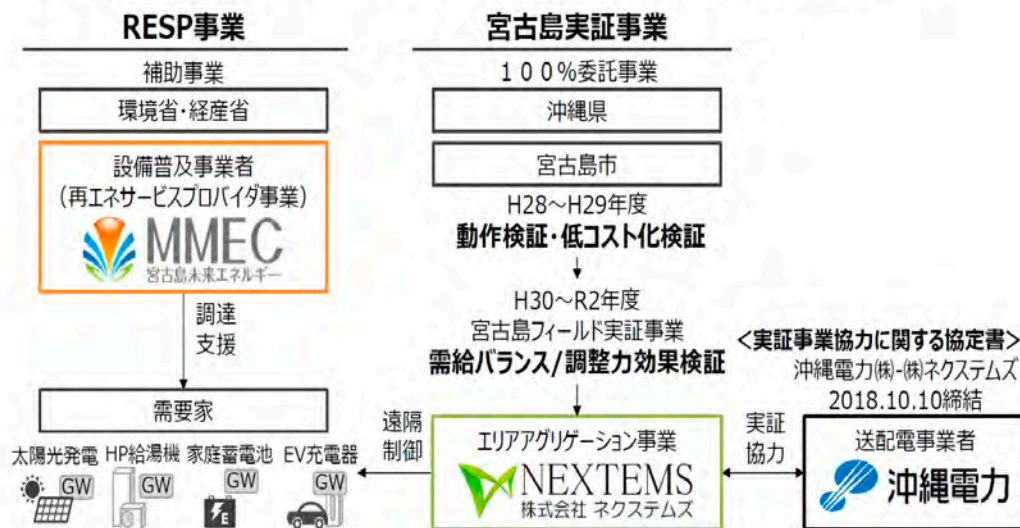


＜ビジネスの概要＞

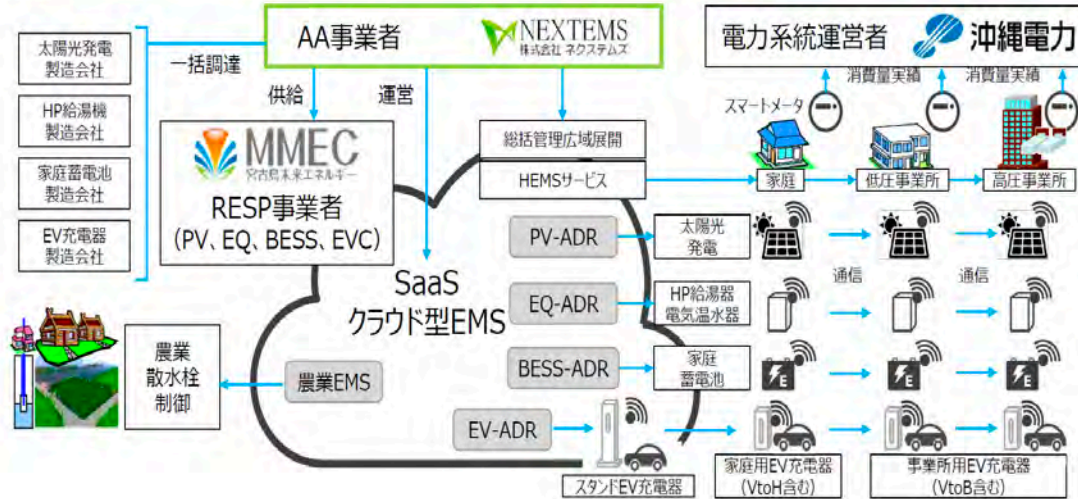
- ・自家消費売電、余剰電力売電、EV充電、温水熱販売などを行う『再エネサービスプロバイダ事業』(RESP事業)
- ・MMEC所有設備を遠隔監視制御してPV主力電源化を目指す『エリアアグリゲーション事業』(AA事業)

＜ビジネスの特長＞

- ・RESP事業者(MMEC)とAA事業者(NX)及び小売事業者(沖縄電力)とが、三位一体で実現する事業。
- ・三位一体で再エネ主力電源化を実現し、地域のエネルギー自給率向上を図り、電力供給コスト低減を目指す。
- ・FIT制度に依存せず、PV自家消費売電により需要家メリットを最大化する新たな形態の電力ビジネス。
- ・PV発電や蓄エネ家電を用いて、任意の需要形成を行う新たな形態の電力システムの確立に取り組む。



	2011 (H23)	2012 (H26)	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)	2020 (H32)
主要工程	実証事業の立ち上げ 各EMSシステム設計 各EMSシステム開発		家庭EMS：電力消費見える化 事業所EMS：見える化、ピークカット 農業EMS：見える化、ピークカット 来間EMS：再エネ100%化の検証			可制御負荷の検証 屋外コントローラ開発 クラウド制御システム開発 旧システムの廃止		フィールド実証・新システム改良 第三者所有設備普及 市営住宅 戸建住宅/事業所		



<市営住宅/集合住宅>

市営住宅/集合住宅向けRESP事業では、PVやEQなどの設備は事業側負担（MMEC）で所有し、保守点検も事業者側負担とする。PVが発電する昼間にPV電気でEQを稼働させるよう事業側設備として遠隔制御（NX）を行い、需要家には「温水熱供給サービス」を提供することでエネルギーコストを削減する。PV余剰電力は小売事業者（沖縄電力）へFIT売電ではなく相対契約で売電する。

住宅オーナーのメリット

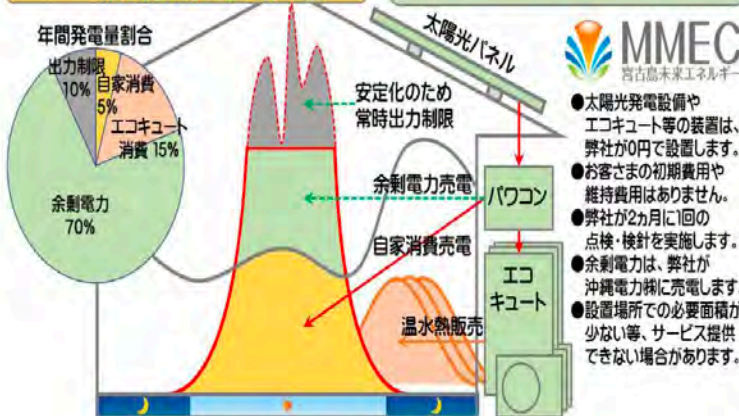
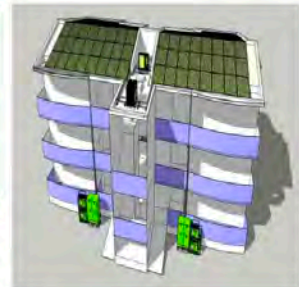
- ✓ 高額な初期費用/維持費用が**無料**！
[第三者所有設備]各装置は、弊社が0円で設置・維持管理します。
- ✓ 昼間の電気料金が**安価**！
[自家消費売電]昼間電力料金としては**案内量安 22円/kWh**。

入居者さまのメリット

- ✓ 給湯の光熱費が**安価**！
[温水熱販売]太陽光でエコキュート稼働、**0.45円/L**で給湯。
ガスや灯油での給湯に比べ、1割～3割安。

宮古島未来エネルギーのビジョン

- ✓ 余剰電力はMMECが電力会社に売電。
[余剰電力売電]余剰電力は、弊社が沖縄電力に販売します。
- ✓ 安定化のための常時出力制限。
[常時出力制限]太陽光発電の安定化を図り普及拡大に貢献。
- ✓ 効率的な電力需給バランスに貢献。
[VPP]太陽光の常時出力制限値やエコキュート凍上げ時刻を毎日制御して効率的な電力需給バランスに貢献。
※太陽光を主要電源化するエリアアグリゲーションの実現。



- 太陽光発電設備やエコキュート等の装置は、弊社が0円で設置します。
- お客さまの初期費用や維持費用はありません。
- 弊社が2か月に1回の点検・検針を実施します。
- 余剰電力は、弊社が沖縄電力株式会社に売電します。
- 設置場所での必要面積が少ない等、サービス提供できない場合があります。



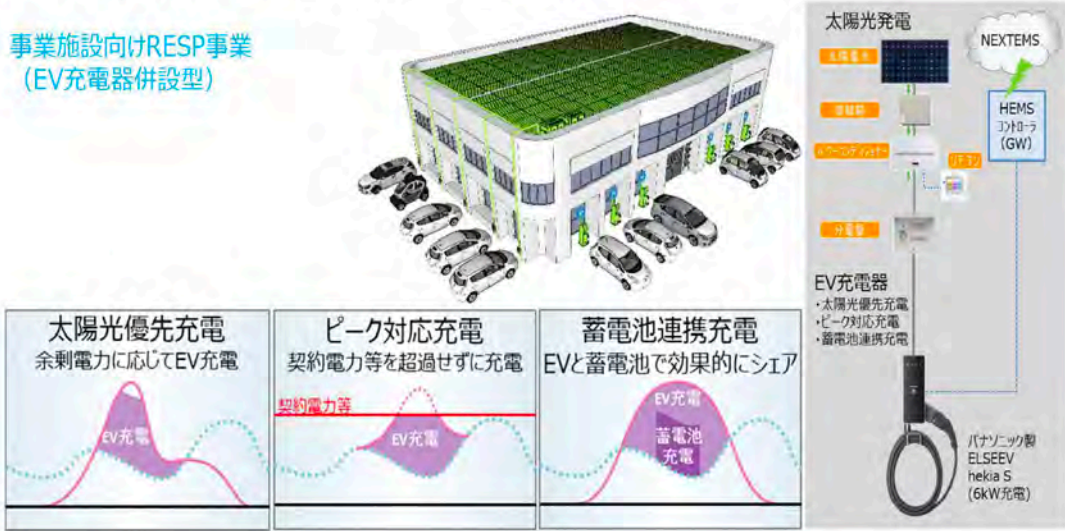
<事業施設>

事業施設については、給湯などの蓄エネ負荷や夜間電力負荷が少ないため、EV普及促進を主な目的とした無償EV充電器併設型のRESP事業を展開する。

PVやEV充電器の設備は事業側負担（MMEC）で所有し、保守点検も事業者側負担とする。

設置した事業施設等に対してPV電気で自家消費売電を実施する。PVが発電する昼間に、就業時間（8時間）の中でPV余剰電力が大きい時間帯（3時間）においてEV充電器でEV充電を実行させるよう事業側設備として遠隔制御（NX）を行い、このような通電制御を行うEV充電を無償提供することで、EV普及促進を図る。PV余剰電力は小売事業者（沖縄電力）へFITではなく相対契約で売電する。

事業施設向けRESP事業
(EV充電器併設型)

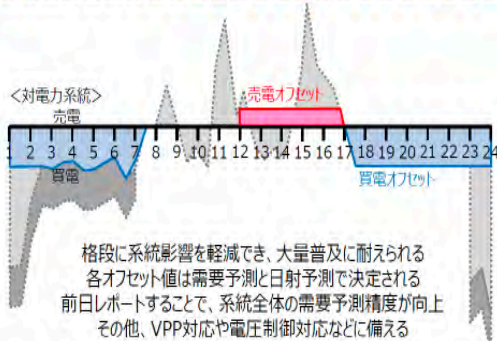
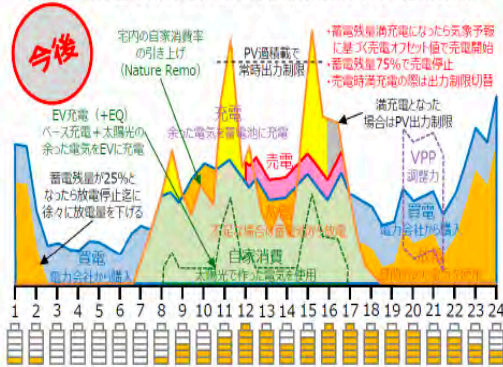


今後の普及モデルの説明（需給一体型モデル）



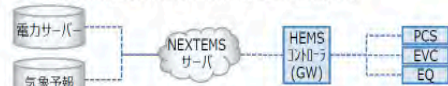
■ PV+BESS... +EVC+EQ+ 宅内制御(利便性向上)

自家消費型PVの大量普及を考慮した需給一体型モデル。
電力系統への変動要因を低減。系統制御も可能な機能を実装予定。
アグリゲータが日々のオプセット量×時間帯の制御やVPP制御を実行。



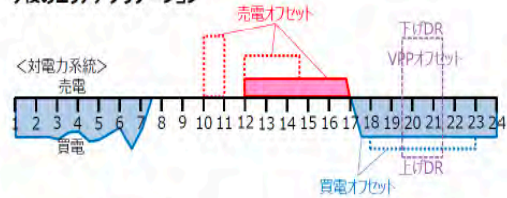
クラウド制御システム指令の概念図

電力系統制御：出力抑制、力率制御、整定値、周波数制御

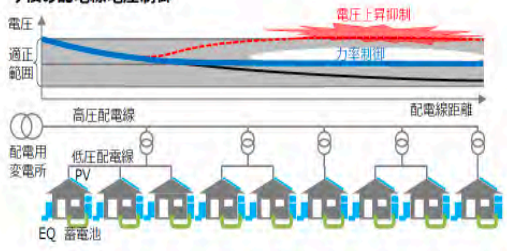


機器運転制御：運転計画、モード切替、オプセット量（売電、買電、VPP）

今後のエリアアグリゲーション



今後の配電線電圧制御



2. 再エネ時代の電力需給調整への BEV-to-Grid (V2G) 貢献と限界

「1」では地域アグリゲータ（地域電力網マネジメント）について見たが、マネジメント自体のほか、ここでは現実の調整力リソースそれ自体を観察したい。とくに、しばしば言及されるものの、クルマ蓄電池がクルマや家庭等自家消費を超えて系統電力の調整力たり得るかを観察しながら、そこに「限界」がありそうだという点を見たい。

以下、主に古田委員（九州電力）発表より。

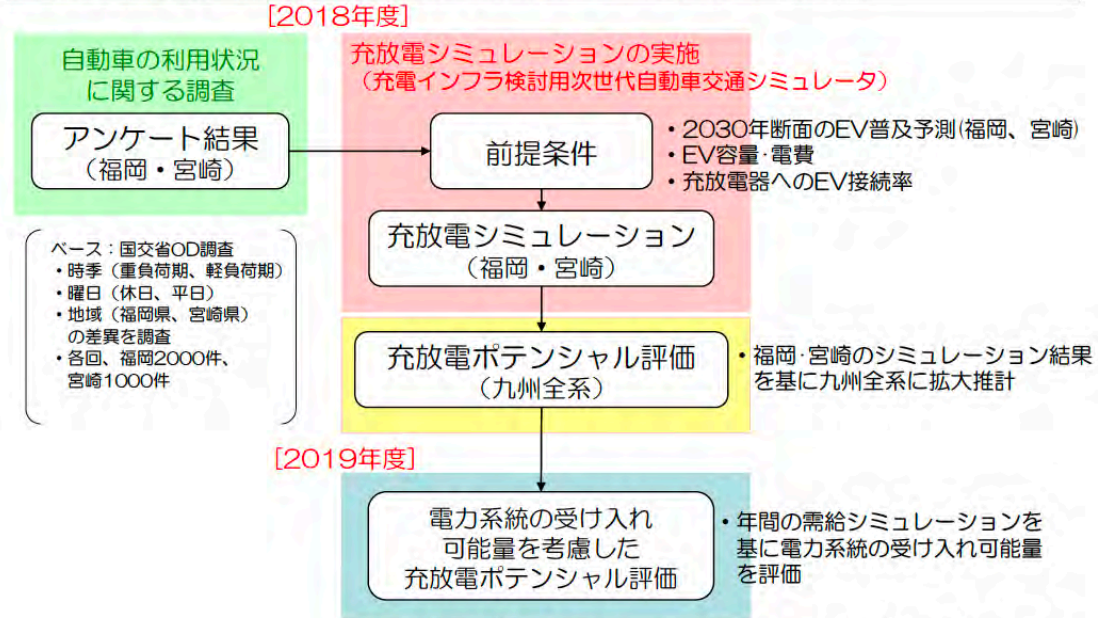
需給調整市場へのV2G適用について
 ～ 九州V2G実証の成果と課題 ～

V2G/VPP 実証事業の年度展開

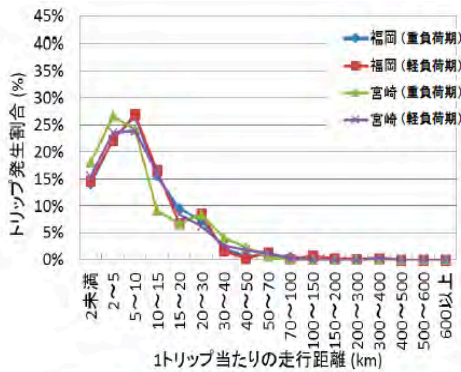
	2018年度	2019年度	2020年度
実証試験	EVステーション(1地点)の5台のEVを制御	複数地点のEVを統括制御するシステム	多様なリソースの統括制御、外部システムとの連携
事業性評価	EVによる充放電制御のポテンシャル評価 EVユーザーへのアンケート調査		V2G/VPPの事業性評価
実証協力	電力中央研究所 三菱電機 三菱自動車 日産自動車	電力中央研究所 三菱電機 (三菱自動車) (日産自動車)	電力中央研究所 三菱電機 (三菱自動車) (日産自動車)
リソースアグリゲーター	九州電力	九州電力	九州電力 エフィシエント 九電テクノシステムズ サニックス 自然電力 ニシム電子工業 日本電気 日本ユニシス

まず「ポテンシャル調査」

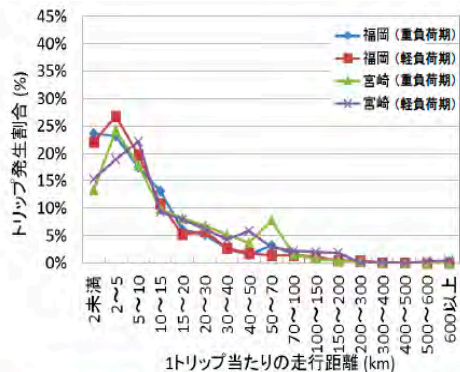
- 2018年度、自動車の利用状況に関する調査に基づき、充電パターン推定、充放電ポテンシャルを推計。
- 2019年度、電力系統の受け入れ可能量を考慮した評価を実施。



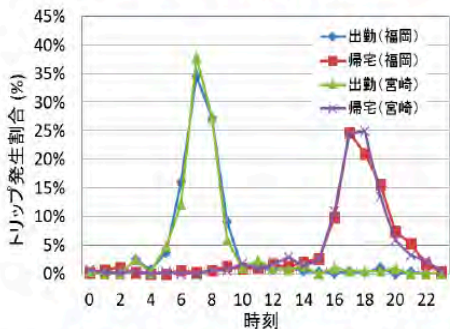
【出典】平成31年度 V2G実証事業 成果報告書[九州電力] (2020.3.9) を基に作成



通勤車・平日の移動距離

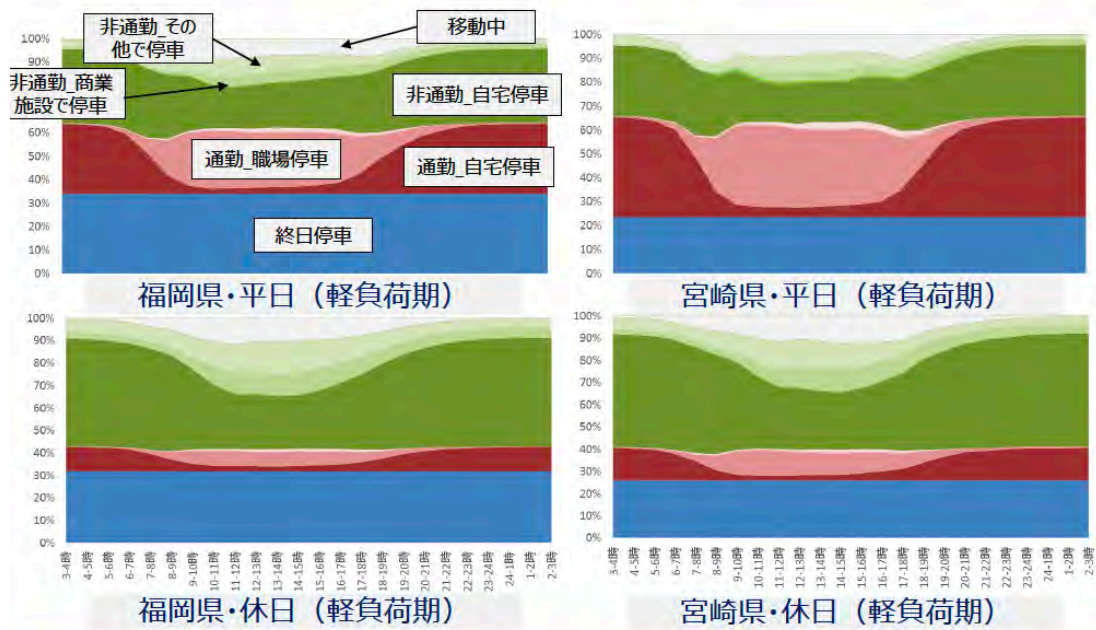


非通勤車 (娯楽)・休日の移動距離



通勤車・軽負荷期 平日の発着時刻

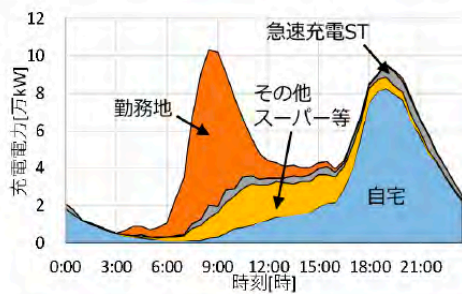
- 通勤車の移動距離に、地域間の違いはほぼ無く、平均10~12kmであった。
- 非通勤車 (娯楽・食事・行楽など)・休日の移動距離は、平日よりも長く、平均14~26kmであった。
- 通勤車の出勤・帰宅時刻に、地域間の違いは無く、出勤ピークが7時、帰宅ピークが17時~18時。



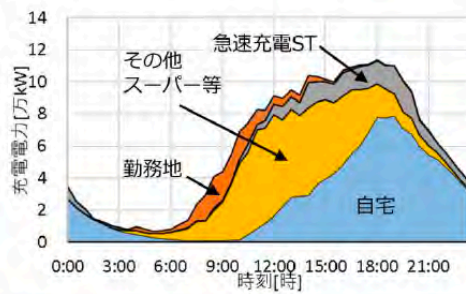
- 日中に全体の約9割の車両が停車しており、約2～3割は終日稼働せずに停車
- 平日昼に約2～3割の車両が職場に停車

【出典】平成30年度 V2G実証事業 成果報告書[九州電力] (2019.3.1)

- 2030年断面における九州エリアのEV普及台数を120万台と推定
 - 2030年のEVの動きや充電行動をシミュレーション※し、充電需要カーブを推定
- ※ 電中研開発の「充電インフラ検討用次世代自動車交通シミュレータ (EV-OLYENTOR)」を使用



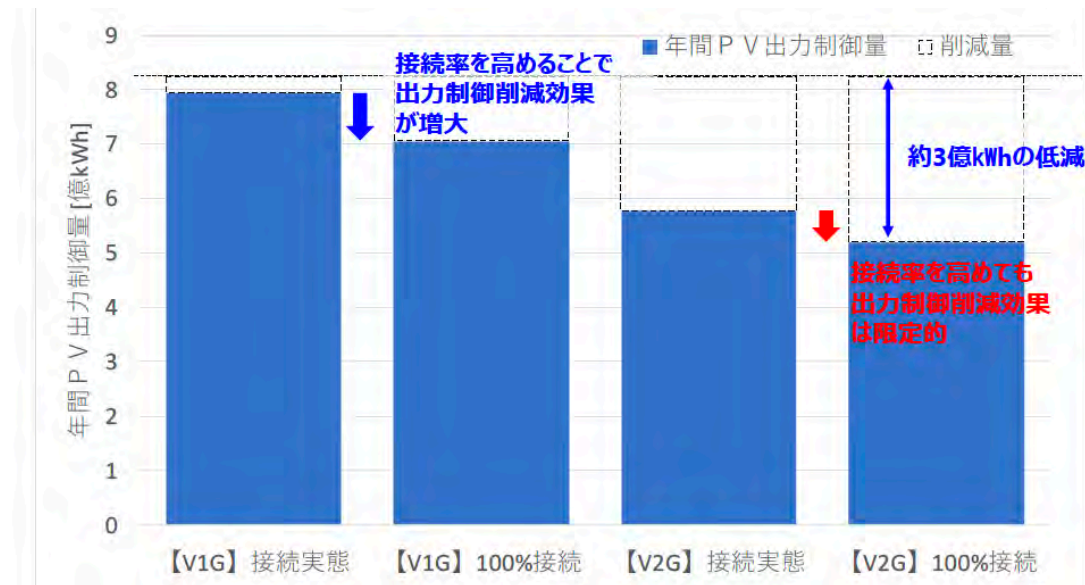
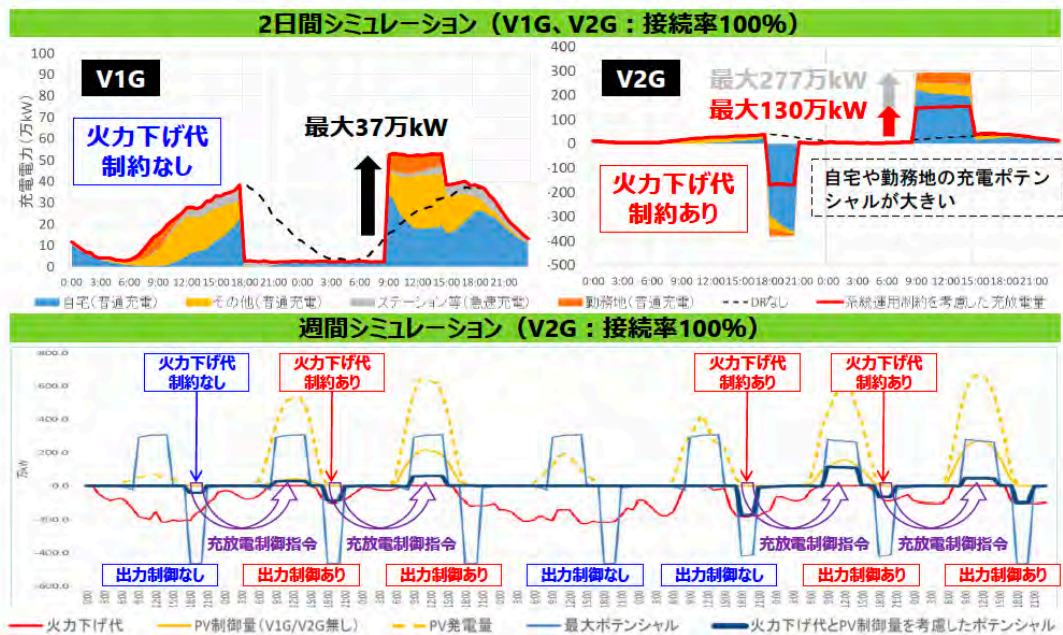
福岡県・軽負荷期 平日_接続確率100%



福岡県・軽負荷期 休日_接続確率100%

- 平日：勤務地到着後の充電により、9～10時に充電ピークが発生する。帰宅後の充電により18～21時に2回目の充電ピークが発生する。
- 休日：商業施設の充電量は平日よりも多い。帰宅後の充電により18時頃に充電ピークが発生する。勤務地充電によるピークは発生しない。

- EVポテンシャルと系統WGシミュレーションデータ(2017年度実績)を用いて、系統側の受入可能量を考慮した九州エリアのPV出力制御量の削減効果を試算

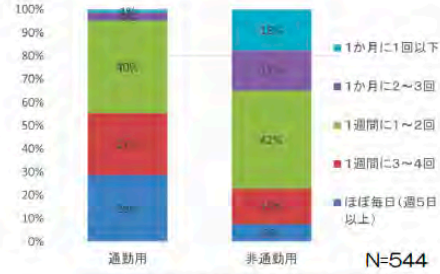
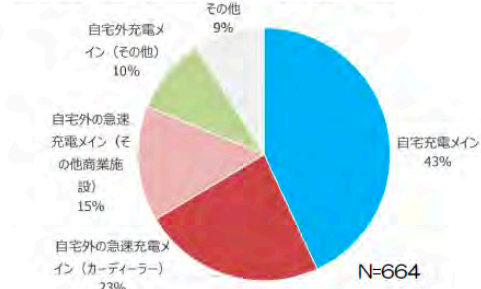


※ 2017年度のエリア需要実績を基に、太陽光817万kW、風力180万kWとした場合の需給シミュレーション結果から得られる年間のPV出力制御量の合計値
 【出典】再生可能エネルギーの接続可能量の算定に用いた2018年度シミュレーションデータ(九州エリア) / 九州電力HP

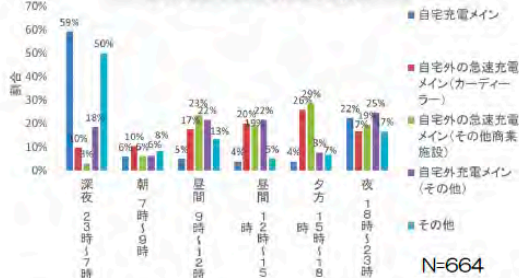
- V1Gに比べてV2Gの方が、PV出力制御量の削減効果が高い
- 系統側の受入可能量を考慮した場合、V2Gでは接続率を高めても火力の下げ代が点灯帯の放電制約となり、出力制御削減効果が限定的で、頭打ちとなる

参考：ユーザーアンケート調査より

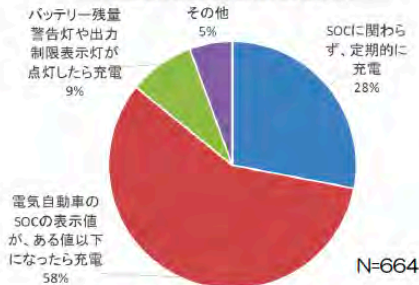
EVの用途、日常的な充電行動



普段の主たる充電場所



充電頻度(通勤非通勤別)

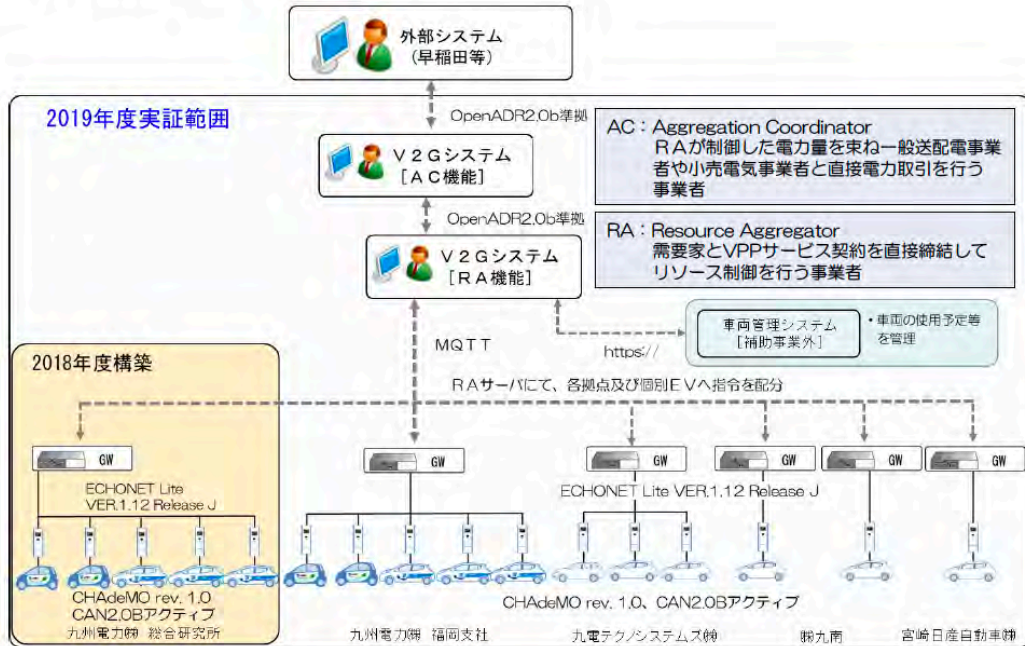


主たる充電時間帯(充電場所別)

EVを充電するタイミング

次いで、V2G 実証システムの機能検証

<V2G実証システムのイメージ図>

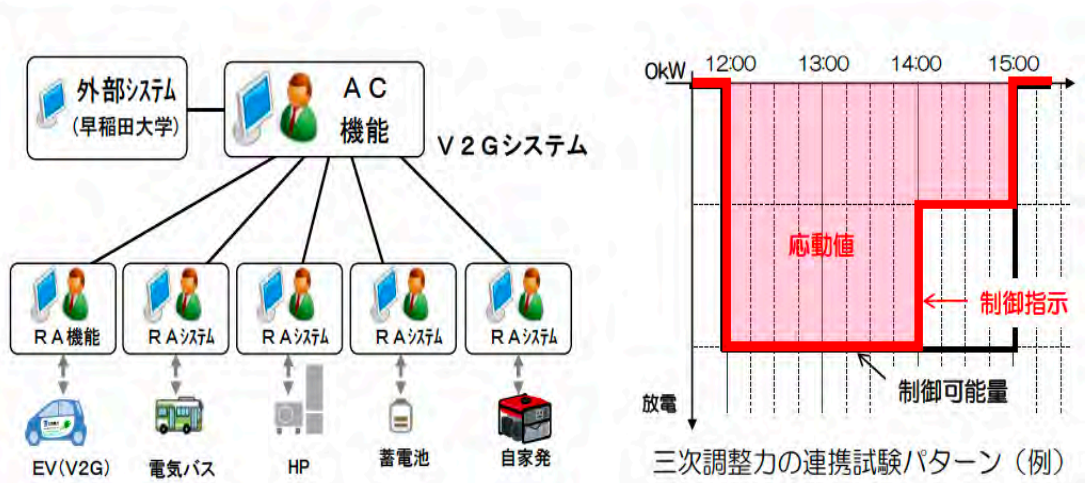


【出典】平成31年度 VPP実証事業 成果報告書[九州電力] (2020.3.9) を基に作成



【出典】平成31年度 VPP実証事業 成果報告書[九州電力] (2020.3.9)

- V2GシステムにV2Gリソースの他、VPPリソースの遠隔制御・統合管理を行う複数のRAシステムを連携させ、外部システムの指令の元、三次調整力市場の技術要件に即した、信号の授受、制御指令に従ったリソース応動を確認する。



調整力（狭義）にも各種ある：

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
対応する事象	GCから実需給までの平常時の時間内変動や、電源脱落の事象に対応。(発電機等のGF機能に該当)	GCから実需給までの平常時の時間内変動や、電源脱落の事象に対応。(発電機等のLFC機能に該当)	GCから実需給までの平常時の予測誤差に対応。(発電機等のEDC機能に該当)	GCから実需給までの平常時の予測誤差や、電源脱落の事象に対応。(発電機等のEDC機能に該当)	FIT特例制度①③を利用している再エネの、前日からGCまでの発電予測誤差に対応。
指令・制御	オフライン（自端制御）	オンライン（LFC信号）	オンライン（EDC信号）	オンライン（EDC信号）	オンライン
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内	45分以内
継続時間	5分以上	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内に出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW	5MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW

出所 第17回需給調整市場検討小委員会（2020.6.12）資料2-1をもとに事務局にて作成

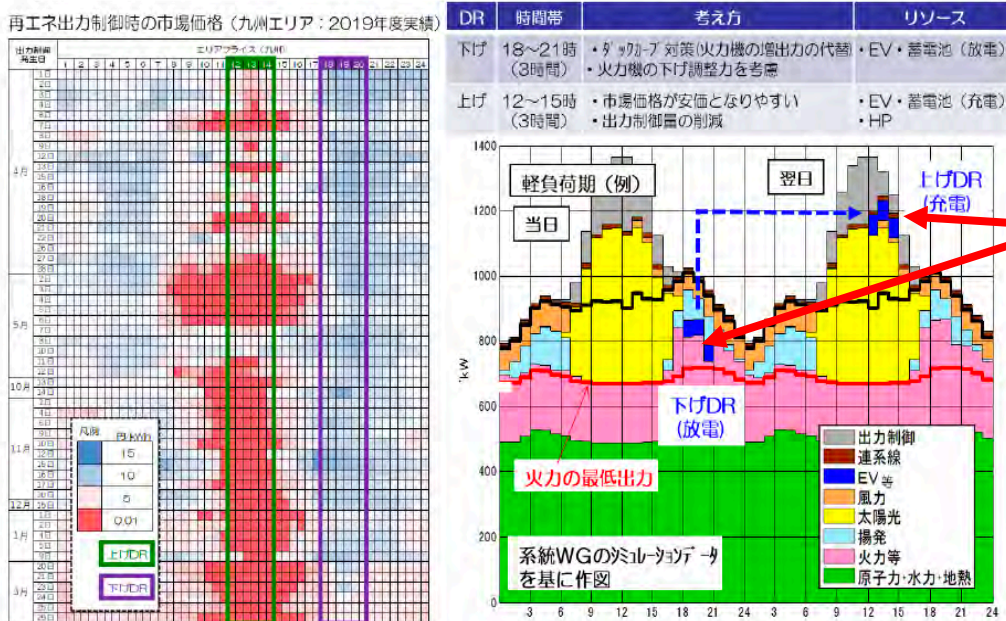
【出典】第43回 制度検討作業部会（2020.10.13）資料4-1

上げ下げデマンドレスポンス（DR）による調整検討：

九州エリアでは、再エネ出力制御時の昼間帯のエリアプライスが安価となる傾向

昼間帯と点灯帯の価格差を活用する市場価格連動上げ下げDRの実証試験を実施

EVを用いてPV出力制御量の低減や、ダックカーブ対策に活用できるかについて検証



検討の結果：

V2Gのポテンシャルについて、以下を確認。

- V2G制御にて、最大130万kW、年間約3億kWhの昼間帯での負荷造成が可能。
- ポテンシャルの拡大には、家庭用V2G充放電器の普及と接続率の向上が必要。
- 火力の下げ代が点灯帯の放電量制約となり出力制御削減効果が限定的となる。

V2G実証システムを構築し、基本性能を確認。

- 福岡地区と宮崎地区の距離的にも離れた複数のEVステーションに対して、時間遅れの無い制御が可能。三次調整力①、②の技術要件にも対応可能。

(参考)今般、簡易指令システムの適用範囲が二次調整力②まで拡張、V2Gシステムも性能十分に対応可能と考える。

なお、一次調整力に蓄電池枠が設定されるため、EVの適応も考えられる。

一方、V2G実証システムの課題も確認。

- DRの成功確率を上げるためには、車両の運行計画と充放電計画との整合が必要であり、モビリティの利便性を損なう恐れ。
(1コマが3時間から30分に見直される予定。拘束時間は緩和される方向。)
- 全ての車両から、蓄電池の残存容量(SOH)を取得できる状況ではなく、充放電可能量の算定に課題がある。
- 充放電スタンドを含むシステムコストが高く、調整力市場のみをターゲットとした場合、事業採算性が見込めていない。

以上、蓄電池電気自動車を活用したV2G(Vehicle-to-Grid)において、再エネ比率が日本最高に達している九州電力管内のケースで、調整力がどれほど得られそうかのシミュレーション検討の結果、上記のような諸課題(簡単に解決されない)が明示される中で、現実を考えれば、系統電力全体からみて、必ずしも大きいインパクトを持つとは見られそうにない(経済研究所見解)。

こうした限界は「広域」系統電力にあって顕著だが、前項にも出たような「中小地域」アグリゲータ単位では、災害等への耐性～復帰力(レジリエンス)を含め、有効な地域もあるはずである(地域により適否は異なる)。

* * * * *

蓄電池は、上述の車載電池に限らず、大型のものを含め、広域における電力調整力としては一定の役割にとどまるのではないか。電池自体のコストパフォーマンスもさることながら、それがどれほど多数、あまねく設けられるか、資源制約からリサイクル～リユースまで、問題山積である。

この状態で、蓄電池以外の、電力調整力にも期待したい(→次項)。

3. 水素活用のミックスについて

再エネ大量導入時代に必須となる調整力について、電気系の中だけで解決するのではなく、さまざまな方法が考えられており、水素は大きな可能性を秘めている。また、水素を中心にみた場合は、単に電力需給の調整力としてでなく、再エネのかなり中心部分を占めていく可能性も秘めている（電力経由でない場合含む）。

以下、主に丸田委員（テクノバ）発表による：

・ 世界の主要国は水素戦略を発表している

製造方法	欧州・米国等の定義	日本の定義
化石燃料由来で、製造時にCO2を排出している水素	グレー水素	(特に名称なし)
再エネ由来電力による水電解で製造した水素 (太陽光由来電力による水電解)	グリーン水素 (イエロー水素)	CO2フリー水素 化石燃料由来+CCS 再エネ水素も含む
化石燃料由来+CCSでCO2フリー化	ブルー水素	
メタン由来だが、熱分解で水素と固体炭素を製造	ターコイズ水素 (独) 注：トルコ石 = 青緑	(特に名称なし)
原発電力による水電解で製造した水素	<合意なし> グリーン水素 (露) ブルー水素 (欧州) ピンク水素 (英)	(特に名称なし)

世界の水素戦略—日本は早かったが・・・

2017年12月	日本「水素基本戦略」
2018年6月	フランス「水素展開計画」
2018年8月	米国(カリフォルニア州)「カリフォルニア州FC革命」
2019年1月	韓国「水素経済活性化ロードマップ」 欧州連合「欧州水素ロードマップ」
2019年9月	ニュージーランド「水素ビジョン」
2019年10月	韓国「水素R&Dロードマップ」
2019年11月	オーストラリア「豪州水素戦略」 米国(民間)「水素経済ロードマップ」
2020年4月	オランダ「国家水素戦略」 欧州(民間)「2x40GWグリーン水素イニシアティブ」
2020年5月	ノルウェー「低炭素社会を目指した国家水素戦略」
2020年6月	ドイツ「国家水素戦略」
2020年7月	欧州連合「気候中立のための水素戦略」 ポルトガル「国家水素戦略」
2020年9月	フランス「カーボンフリー水素開発のための国家戦略」
2020年10月	スペイン「水素ロードマップ；再エネ水素へのコミットメント」 ロシア「2024年までの水素エネルギー開発行動計画」
2020年11月	チリ「グリーン水素国家戦略」 フィンランド「水素ロードマップ」
2020年12月	カナダ「水素戦略」
2021年6月	パラグアイ「グリーン水素ロードマップ」 ウルグアイ「グリーン水素戦略」
2021年8月	英国「水素戦略」 ハンガリー「水素戦略」
2021年9月	コロンビア「水素ロードマップ」 南アフリカ「水素社会ロードマップ」

・ COP26でBreakthrough Agendaが決定

- 11月1～2日に英国主催で、各国首脳による「ワールド・リーダーズ・サミット」を開催
- 4つのBreakthrough Agenda（2030年までのクリーン技術普及の国際協力）を決定
 - 電力：
 - 2030年までにクリーン電力をすべての国において最も安価で信頼できる選択肢にする
 - 道路輸送：
 - 2030年までに、ゼロエミッション車をすべての地域にとって安価で、持続可能なニューノーマルとする
 - 鉄鋼：
 - 2030年までに、すべての地域で効率的でゼロエミッションに近い鉄鋼生産を確立し、それがグローバル市場で好ましい選択肢とする
 - 水素：
 - 2030年までに、再エネ・低炭素で安価な水素を広く入手可能にする



< 欧州 >

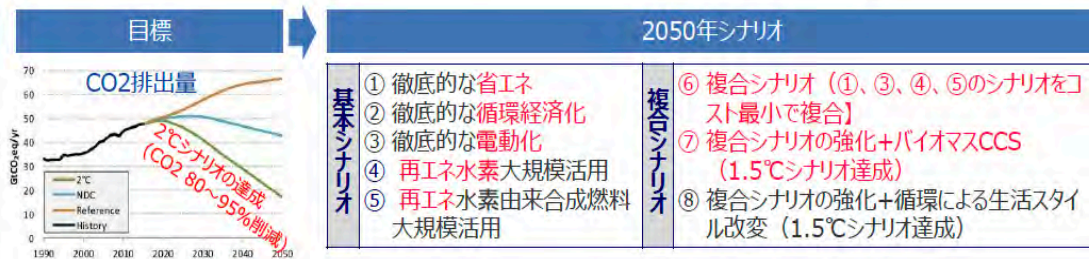
なぜ水素か：EUの2050年ビジョン（2018年11月）

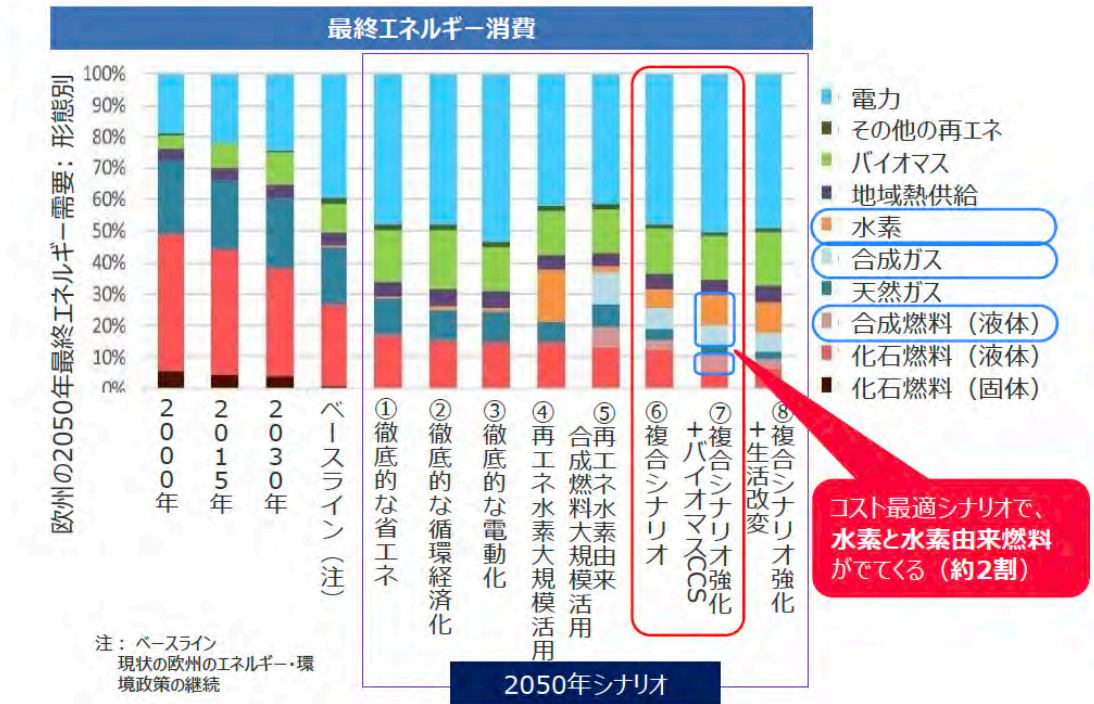
TECHNOVA

・ 2018年11月の「Clean Planet for all」が欧州の認識を変えた

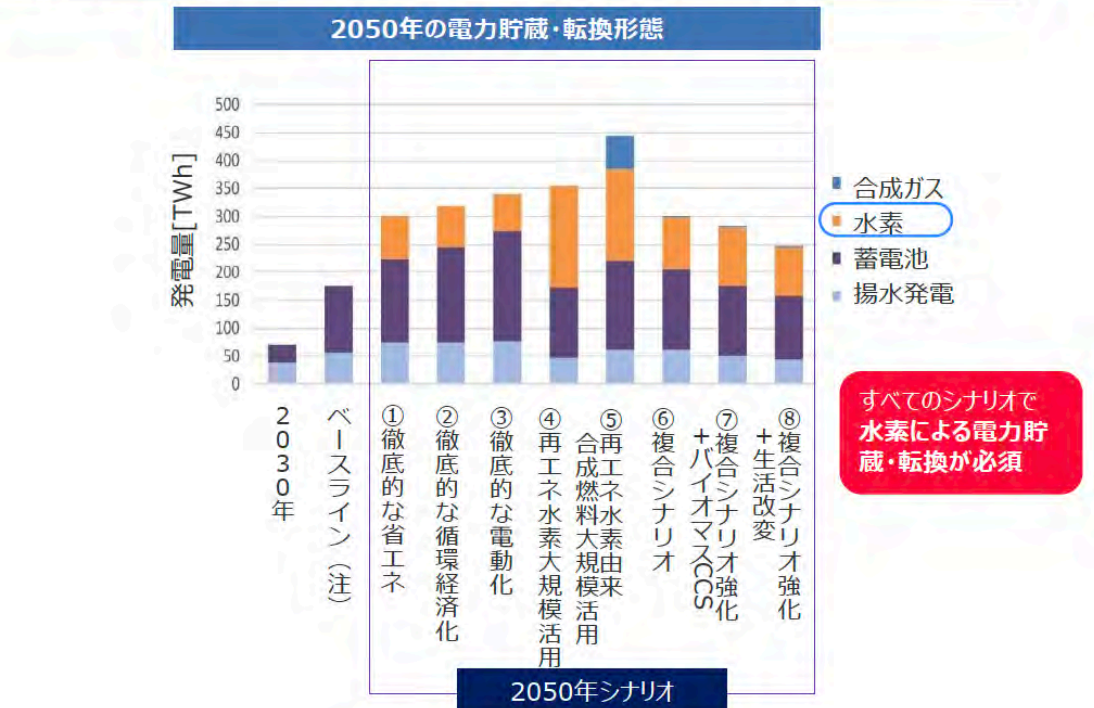
欧州連合は、2050年の気候中立経済実現を目指す長期ビジョン「A Clean Planet for all（万人のためのクリーンな地球）」を2018年11月に採択

- 2050年のGHG 80～95%削減のため、「気候変動中立経済」（climate-neutral economy）の実現をめざす（注：水素に特化した検討ではなく、エネルギーシステムの検討）
- 8つのシナリオを分析し、移行戦略や戦略プライオリティを提示

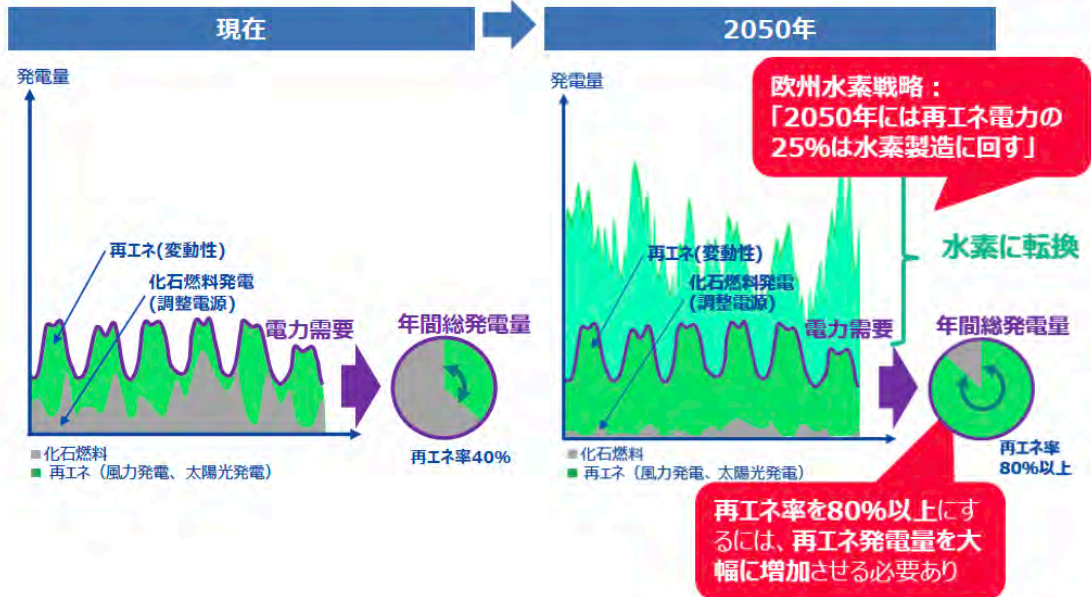




なぜ水素か：EUの2050年ビジョン (2018年11月) TECHNOVA



・ 再エネ割合を2050年に80%に増大するには、再エネ発電容量の大幅拡大が必要



ドイツ「水電解の産業化」(2018年10月)

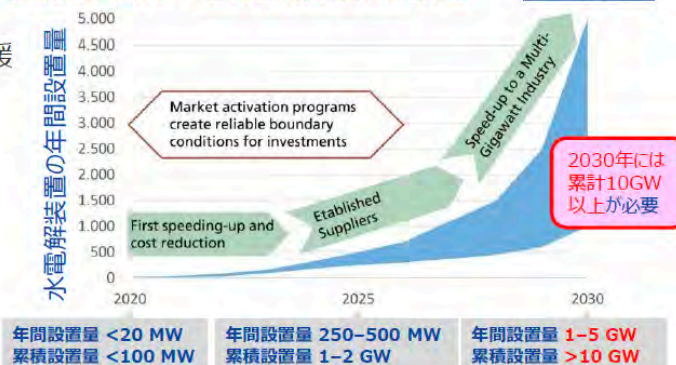
TECHNOVA

・ 再エネを水素が不可分と気づいたドイツは早々に水電解産業の育成をめざす

連邦交通デジタルインフラ省「ドイツの水電解産業化：輸送、電気、熱のための持続可能な水素の見込みと課題」(2018年10月)

・ メッセージ

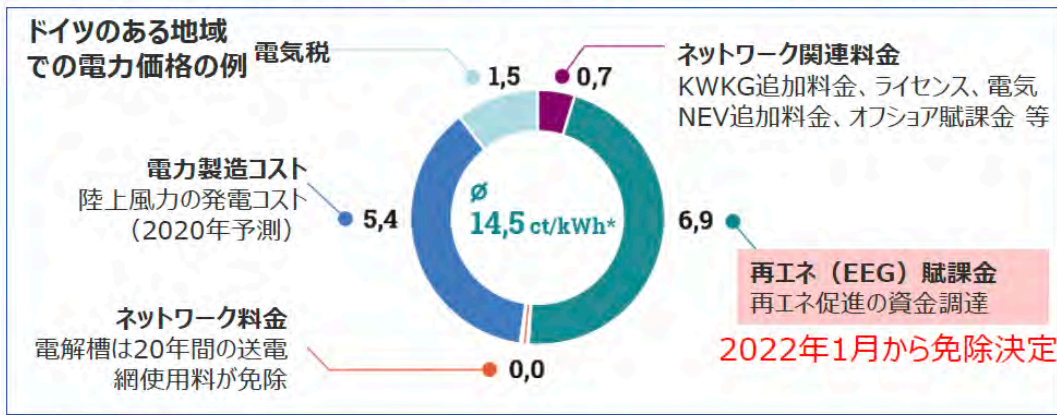
- ・ 水電解は2030年に10GW以上、2050年に200GW程度が必要
- ・ 当面は期待される規模の供給ができない→GW級の産業化が必要
(規模の経済が必要、研究支援より市場化支援が重要)
- ・ 水素製造のための電気コスト調達の規制枠組みが必要



ドイツにおける水素向けの電力コスト

・ 水電解での水素コストはほぼ電気代→ドイツは再エネ賦課金を免除

- 水電解での水素コストはほぼ電気代
 (例) 水素製造効率を50kWh/kg-H₂、電気コストを20円/kWhとすると、
変動費だけで1000円/kg-H₂ (=現在の水素ステーションでの販売価格)
- ドイツは、2022年1月より水電解向け電力から**再エネ賦課金 (EEG) を免除**

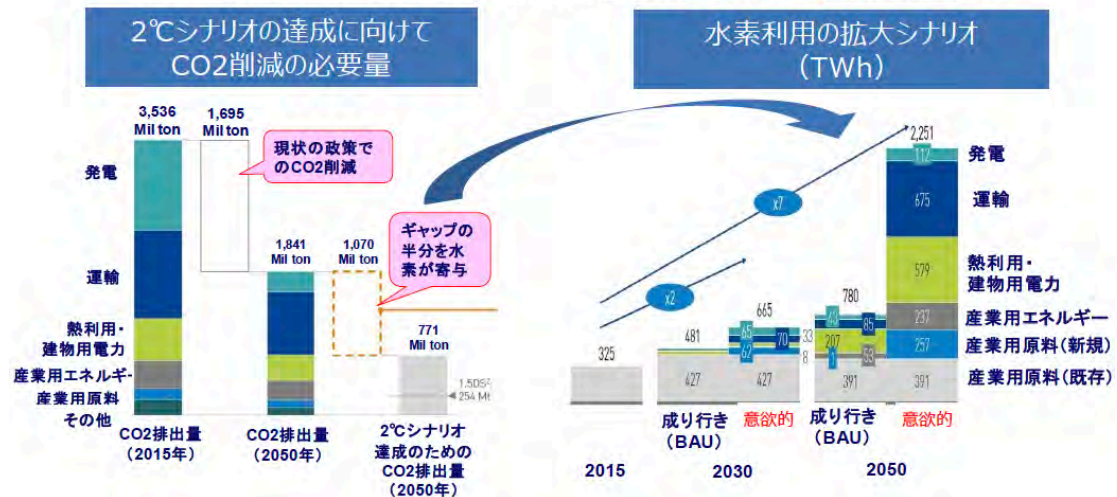


EU としての動き :

・ ロードマップで、2℃シナリオ達成のために、水素を積極活用することが示された

概要 :

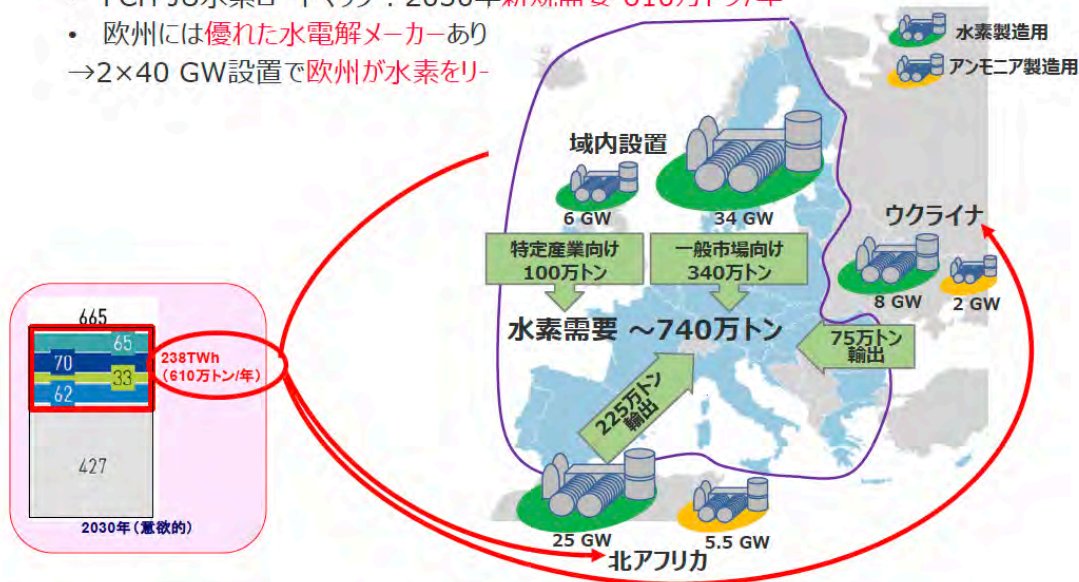
欧州委員会と欧州燃料電池・水素共同実施機構 (FCH JU) が作成 IPCCの2℃シナリオ (2050年) のための必要なCO₂削減に水素が大きく貢献



- EU はアフリカを見据えている

• 2030年の水素の新規需要610万トンの調達をどうするか？ →2×40GW

- FCH JU水素ロードマップ：2030年新規需要 610万トン/年
- 欧州には優れた水電解メーカーあり
→2×40 GW設置で欧州が水素をリ-



- ガスパイプライン再活用、ガス産業界、熱利用、産業用などを巻込む

EC「気候中立のための水素戦略」（2020年7月）

TECHNOVA

- 欧州の水素戦略は欧州の脱炭素化と産業競争力強化のため

欧州委員会「気候中立のための水素戦略」（2020年7月）

- 2050年の炭素中立には再エネ水素が必須
- クリーン水素は、2050年のエネルギー需要の24%（6300億ユーロ）になる可能性あり
- 汎欧州的な水素ガスネットワークを構築
- 欧州域内で水素を製造するほか、東欧（ウクライナ）や東アフリカからの水素輸入を狙う
- 水素は製鉄・運輸・鉄道・船舶・航空等に幅広く活用
- 2030年までに以下を投資
 - 水電解に240～420億ユーロ
 - 水素製造用再エネに2200～3400億ユーロ
 - 水素輸送に650億ユーロ



	第1フェーズ (2020~2024年)	第2フェーズ (2025~2030年)	第3フェーズ (2030~2050年)
水素製造	<ul style="list-style-type: none"> 水電解：>6GW 水素：100万トン/年 水電解装置製造スケールアップ (最大100MW) 	<ul style="list-style-type: none"> 水電解：>40GW 水素1000万トン/年(輸入含む) 既存水素製造設備へのCCS設置 	<ul style="list-style-type: none"> 再エネ電力の1/4を水素製造に利用
	水電解：240~420億€ 水電解向け太陽光・風力発電(80~120GW)：2200~3400億€ 既存水素製造設備へのCCS設置：110億€		水素製造拡大：1800~4700億€
インフラ	<ul style="list-style-type: none"> 水素基幹パイプラインの計画開始 	<ul style="list-style-type: none"> 既存ガス網の水素転換 EU規模の水素輸送網の構築 水素ステーション網構築 	—
	水素サプライチェーン構築：650億€ 水素ステーション400箇所の設置：8.5~10億€		
水素利用	—	<ul style="list-style-type: none"> 再エネ水素のコスト低減と新用途展開(製鉄、トラック、鉄道、船舶、電力システム) 	<ul style="list-style-type: none"> CO2中立な合成燃料の利用(航空、船舶、ビル等)
	水素製鉄への改修：1.6~2億€		
その他	<ul style="list-style-type: none"> 市場活性化のための支援 欧州クリーン水素アライアンス(European Clean Hydrogen Alliance)設立 	<ul style="list-style-type: none"> 水素地域実証(水素バレー)展開 水素の域外諸国の国際取引 	—

ドイツが持つイメージ

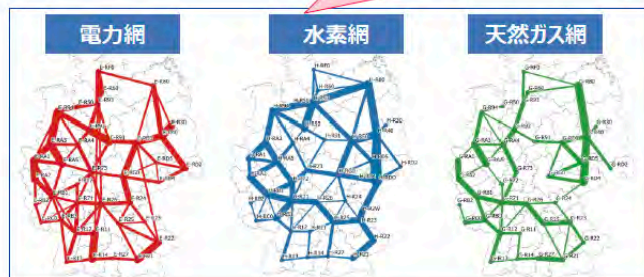
・ 独・蘭の電力とガスTSOが将来の電力・ガスインフラの在り方を検討

TenneT (独・蘭の電力網運営会社)
 Gasunie (独・蘭の天然ガス網運営会社)

- ・ ドイツとオランダにおける送電線・ガス網の将来像検討
- ・ 仮定
 - ・ 2050年のCO₂ 95%削減のためのシナリオシミュレーションは1時間毎に実施



現在のガス網を前提に、その一部を純水素化(水素網は将来の水素需要を満たすように設計)



- ・ 主要ガス企業のイメージ

・ 欧州の主要ガスTSOが、脱炭素ガス網シナリオを発表

欧州ガス網運営会社11社※

(欧州委員会向け提言書)

※ Enagás (西)、Energinet (デンマーク)、Fluxys Belgium (ベルギー)、Gasunie (蘭)、GRTgaz (仏)、Teréga (仏)、NET4GAS (チェコ)、OGE (独)、ONTRAS (独)、Snam (伊)、Swedegas (スウェーデン)

- ・ ガスの脱炭素化のために水素バックボーンが必要
- ・ 欧州水素バックボーンは2020年代半ばより構築
- ・ 2040年までに270～640億ユーロの投資が必要 (水素網の総延長の75%が天然ガス配管の改修、25%が新設の場合)



- ・ 欧州は日本よりガス依存度が高いこともあり：

- ・ 欧州委員会は2021年初頭より、欧州域内の天然ガス網の改変と水素網の構築のために、既存の天然ガス網に関する法規制の修正を検討
- ・ 背景
 - ・ 将来の天然ガス網は、ロシアや北海からの天然ガスが主たる供給源で「一方通行」的だが、今後はバイオメタンや合成ガスが欧州各地で出し入れされる「双方向フロー」的になると考えられる。
 - ・ 天然ガス網への水素混入や、純水素網の新設が見込まれる。
 - ・ 水素輸入が本格化した場合、輸入拠点であるターミナル施設と水素網の接続や、欧州の近隣との水素網の接続の必要性がある。
- ・ 欧州委員会は2021年12月15日に以下の2つの指令案と規制案を発表
 - ・ 再エネ由来ガス/天然ガス・水素の域内市場共通ルールに関する規制 (案)
 - ・ 再エネ由来ガス/天然ガス・水素の域内市場共通ルールに関する指令 (案)

・ポイント：基本は「純水素網」

- ・天然ガス網への水素混入は純水素に比べて効率が低く、水素価値が低下し、インフラ運用面にも影響するが、その決定は各国に任される。
- ・水素網運営者
 - ・水素網運営者はすべての水素供給者・ユーザーにオープンアクセスを保証し、その条件と料金を公開する。再エネ由来・低炭素水素については75%の割引を適用する。
- ・天然ガス・メタンガス網
 - ・バイオガス製造者は、自家消費に加え、天然ガス網に供給可能とする。
 - ・化石燃料由来ガスは2049年を超えた長期契約は締結できない。
- ・水素網：
 - ・水素パイプライン、水素地下貯蔵施設、湾岸ターミナル施設はオープンアクセスが重要。
 - ・水素網運営者が水素品質管理を自主運営する必要あり。
 - ・域外との水素パイプライン接続のために、運用規則や低炭素水素認証規則を政府間協定に盛り込むべき。
 - ・水素網運営者は十分な輸送容量を持ち、その状況を規制当局に報告。
 - ・加盟国は天然ガス網の建設・運営の法律の水素網への適用を確約。

・アフリカ：

・欧州の目標は、アフリカの水素製造拠点化（市場化）と水素接続



「アフリカは太陽光、風力、水力などが豊富である。それを基盤に、例えばグローバルゲートウェイ投資で、ともにグリーン水素製造能力を拡大しよう。いかにしてそれに到達できるかを議論しよう」
(フォン・デア・ライエン欧州委員長開会スピーチ)

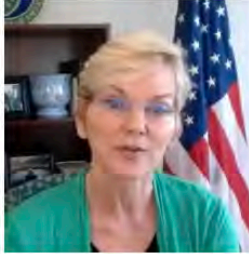
・第6回EU・AU首脳会議

- ・アフリカ連合（AU）の約40か国をEU本部に招聘
- ・グローバルゲートウェイ投資の半分（1,500億ユーロ）をアフリカに向ける
注：グローバルゲートウェイ：2021年12月にEUが打ち出した総額3000億ユーロの途上国投資計画（一帯一路への対抗）
- ・分野：エネルギー、デジタル、輸送等
グリーン水素製造にも投資（水電解を40GW設置）



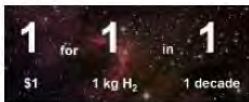
DOEの「Hydrogen Shot」(2021年6月)

TECHNOVA



ジェニファー・グランホルム DOE長官


- DOEグランホルム長官は、脱炭素化で米国が世界をリードすることを目指す
 - 2030年までにGHG排出量を50~52%削減(2005年比)
 - 2035年までに**クリーン電力100%**にシフト
注: クリーン電力=再エネ、原子力、火力+CCS
 - 2050年までに**GHG排出量ネットゼロ**



Hydrogen Shot

- 現在、再エネ由来の水素製造コストは**約5ドル/kg**。
- 「Hydrogen Shot」イニシアティブを通じて、80%コスト削減を達成することで、再エネ、原子力、熱分解などによるクリーン水素製造を増加させ、需要を5倍増とする。
(10年以内に水素製造コスト **1ドル/kg**達成)
- これにより多くのクリーンエネルギー雇用が創出され、GHG排出量が削減され、米国が世界規模でクリーンエネルギー市場で競争力を有する。

- 「インフラ投資法」予算の中で:

- テキストには「hydrogen」が190か所あり 
 - Regional Clean Hydrogen Hubs(80億ドル)
 - クリーン水素電解プログラム (10 億ドル)
 - クリーン水素の製造・リサイクルRD&D (5億ドル)
 - 「National Strategy and Roadmap」の策定(2022年5月まで)

- エネルギー省によるパブコメ (RFI) の一例:

水素関連機器の製造(とリサイクル)を加速

Part I: Clean Hydrogen Manufacturing and Recycling

- 背景
 - 水素製造・変換・貯蔵・輸送、利用のための材料の革新とリサイクル
 - **水素製造コスト2ドル/kg(2026年)**、FCコスト80ドル/kW(2030年)、車載水素貯蔵コスト9ドル/kg(2030年)の達成に寄与
- 「Clean Hydrogen Equipment Manufacturing」に関するRFI
 - 水素関連機器の製造プロセス・能力に関する意見募集
 - 水素関連機器の材料に関する意見募集
 - 危険性のある代替製品・材料に関する意見募集
 - クリーン水素製造装置の米国少数民族コミュニティへの貢献に関する意見募集
 - クリーン水素関連機器製造の、Justice40(経済的に不利なコミュニティへの再投イニシアティブ)への貢献に関する意見募集
- 「Approaches to Increase the Reuse and Recycling of Clean Hydrogen Technologies」へのRFI
 - 水素関連機器(FCや電解を含む)の再利用・リサイクル向上に関する意見
 - 解体・リサイクルに関する課題への意見募集
 - FCのリサイクルに対する社会受容性に関する意見募集

・なお、水素製造は複数経路（技術）があるが：

以下、塩路昌宏氏（京都大学名誉）発表資料より

水素の製造方法評価（イメージ）

	実用化段階	安定性	環境性 (CO ₂ 排出)	経済性
副生水素	種類によるが既に導入されているものが多い。	本来の目的となる製品の生産量に左右される。	CO ₂ は排出されるが追加的な環境負荷は無い。	副次的に生産されるものを活用するため経済的。
化石燃料改質	既に導入されており実用化段階	安定的かつ大規模に生産が可能。	CCS等を用いない限り、CO ₂ が排出される。	技術的に確立しており、比較的安全に製造が可能。
水電解 (火力)	既に導入されており実用化段階	安定的かつ大規模に生産が可能。	CCS等を用いない限り、発電時にCO ₂ が排出される。	改質に比べると高コストだが比較的安価。
水電解 (再エネ)	技術的には確立。再エネ発電の低コスト化が課題。	再エネの種類によっては出力変動が存在。	CO ₂ は排出されない。	再エネ電力を活用するため一般的にコストは高い。
バイオマス	技術的には確立しているが低コスト化が課題。	供給地が分散している。	CO ₂ 排出量はゼロとみなすことができる。	現段階ではコストは高い。
熱分解	研究開発段階(一部実証研究も実施)	安定的な供給が可能。	利用する熱を何から取るかによって異なる。	N. A.
光触媒	基礎研究段階(現在の交換効率率は0.5%程度)	気象条件に左右される。	CO ₂ は排出されない。	N. A.

・水素エネルギーの評価(水素供給量、製造コスト、環境負荷低減の度合い等)は、水素製造方法により大きく異なる。

・各製造方法の定量的な比較は現時点では困難(有識者ヒヤリング、等による)

・たほう、貯蔵・輸送は：

水素の貯蔵・輸送方法

高圧ガス	液体水素	パイプライン	有機ハイドライド	水素吸蔵合金
水素を高圧に圧縮しボンベ等で貯蔵・輸送	水素を-253℃の極低温で液化させ、液体の状態での貯蔵・輸送	水素を気体のままガス配管に流すことで輸送	水素をトルエンと反応させ、メチルシクロヘキサノールとすることで貯蔵・輸送	合金に水素原子を吸蔵させることで水素を貯蔵・輸送
				
<ul style="list-style-type: none"> 既に実用化されており、国内での水素流通でも活用されている。 ただし、圧縮機や、高圧で貯蔵するタンクなどについて低コスト化に向けた技術開発が必要。 また、大規模な貯蔵・輸送には適さない。 	<ul style="list-style-type: none"> 既に実用化されており、ロケット燃料や国内の水素流通でも活用。 液化工程に多くのエネルギーを必要とするが、貯蔵密度が高く体積比でより多くの水素を貯蔵・輸送することが可能。 船舶等による、より大規模な貯蔵・輸送については技術開発段階。 	<ul style="list-style-type: none"> 大規模なインフラ投資が必要となるが、安定的に大量の水素を輸送することが可能。 日本国内では一定範囲での限定的な活用にとどまるが、欧米では古くから長距離パイプラインも実用化。 大量の水素供給が見込める場合には有効か。 	<ul style="list-style-type: none"> 常温・常圧の液体での貯蔵・輸送が可能。 既に確立されているガソリン等の化学品と同様に取り扱うことが可能。 既存の化学品用タンクや輸送船を用いることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 体積当たりではより多くの水素を貯蔵・輸送することが可能。 ただし、合金自体が重量が重いため、現段階での用途は重量が重い方がよい潜水艦や潜水艇など限定的。 このため、より広く活用するためには、重量当たりの水素貯蔵量をより多くする技術開発が必要。

・水素の製造・利用方法、供給地と需要地の距離などにより、様々な方法を検討

・需要規模や、需要の方法等に合わせた技術開発が必要

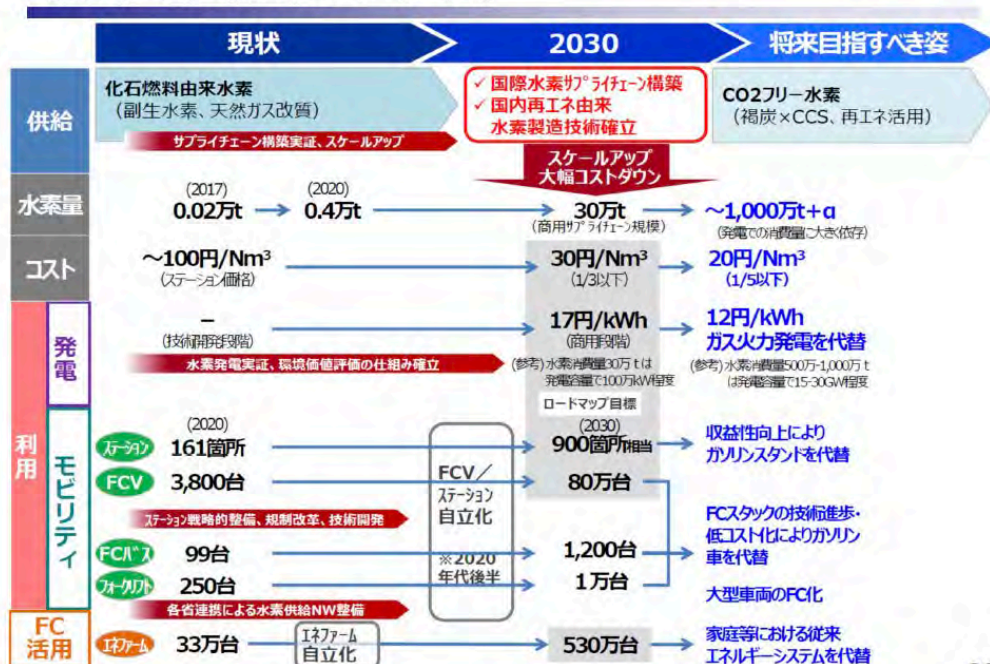
水素キャリアの特徴

- ・水素キャリアの選定は、水素社会の在り方を決める重要な論点であるが、それぞれ異なる課題を抱えており、長期的にどれが総じて優位となるか現時点で見極めることは不可能。
- ・加えて、化学的な特性や既存インフラ等の活用可否により、用途等の棲み分けも長期的に行われると考えられるため、現時点でキャリアを絞り込まず、競争を促しつつも各々の技術的課題克服等を支援。
- ・また、キャリアの評価に当たっては、水素化、脱水素かのコストに加えて、輸送(国際輸送)、配送(国内配送)のコストなども加味し、総合的に評価することが重要。

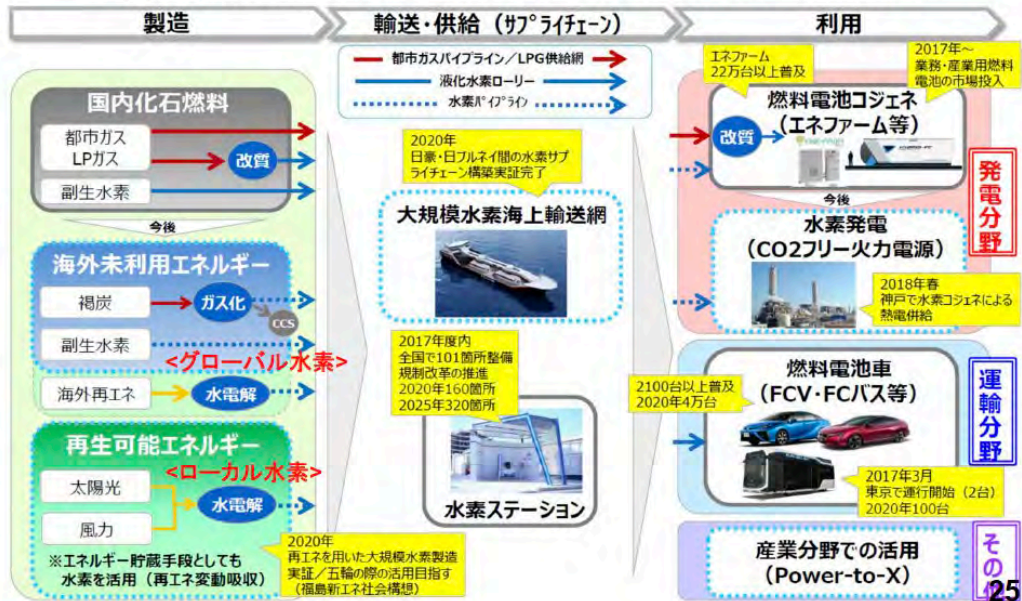
キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性無
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可(石炭火力混焼等)	可(都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要	必要(脱水素時)		
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在:-32%
既存インフラ活用、活用可否	国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可	可(ケミカルタンカー等)	可(ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	原則、グリーン水素を利用、CO2供給が不可欠

・我が国の水素戦略でのシナリオ：

水素基本戦略のシナリオ



- ・FCV, エネファーム等燃料電池を通じた水素利活用を拡大
- ・中長期的には、水素発電や国際的なサプライチェーンの構築



以上、「水素」の可能性等を、各極の動きとも対比しながら見たが、上掲のように課題も多く、前述「仮説2」のように、この点は「長期」の可能性と捉えるべきであろう（準備は進めねばならない）。

そのあかつきには、仮説2で示唆したように、単なる電力マネジメントを超えた地域総合エネルギーアグリゲーションサービス等の可能性もある。

4. 太陽光発電の持続性担保と O & M (Operation & Maintenance)

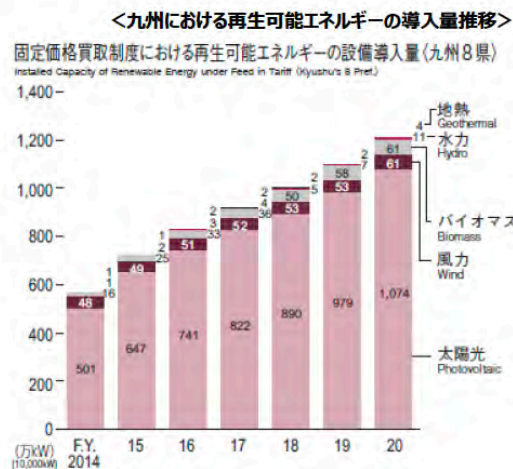
視点を変えて、再エネは単に導入・普及だけが問題ではない。国内外で最も普及している再エネは太陽光発電であるが、比較的導入が早い時期から始ったこともあり、今やそのリユース～スクラップからのリサイクル、あるいは運転中のシステムの維持・補修等も、現場実態としては問題が山積している。

以下、主に藤井委員（九州経済調査協会）発表より：

1. 太陽光発電普及の歴史と九州

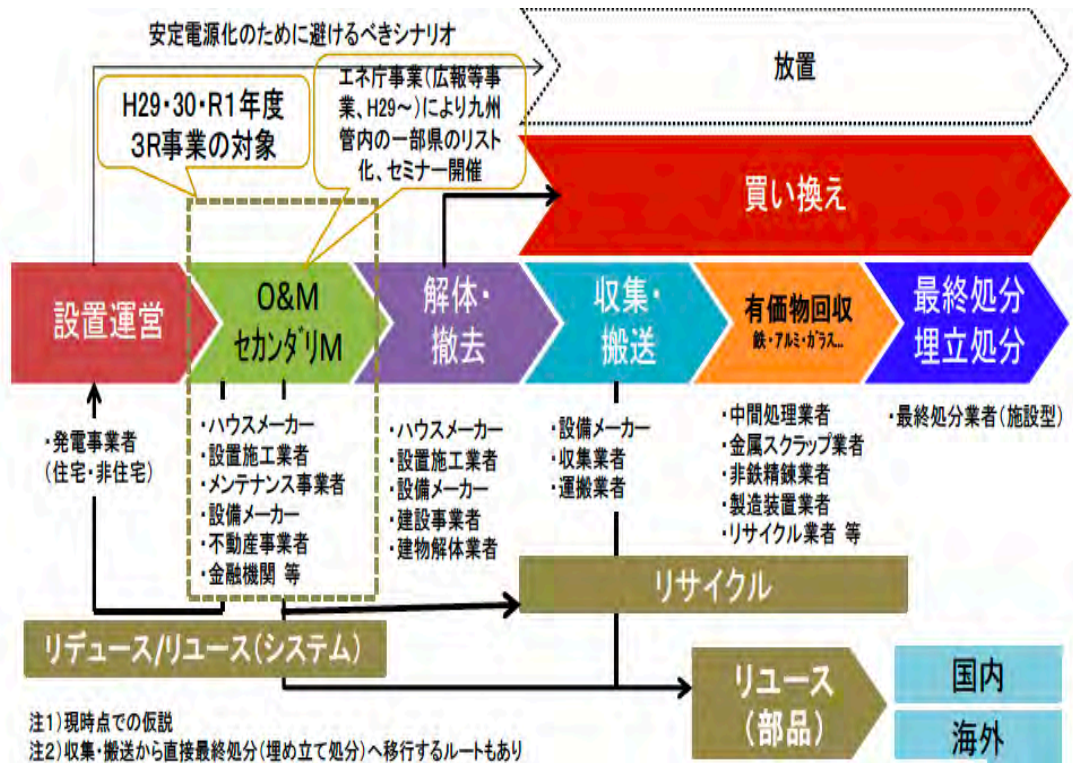
1.1 導入量の推移

- ・ 九州電力（≡九州）での太陽光の導入量は、FITが始まった翌年の2013年度から急上昇
- ・ 2020年度は1,074万kWの導入



- ・ 2000年代の主な制度、運用等：
 - ・ 2006年 : 設置補助金制度（住宅用）を打ち切り
 - ・ 2008年12月 : PVシステム住宅用補助金復活（7万円/1kw）
 - ・ 2009年11月 : PVシステム（住宅用）余剰電力買取制度
→所謂「2019年問題」へ続く
 - ・ 2012年07月 : 固定価格買取制度スタート
非住宅用（事業所用）も対象となり、普及急拡大
 - ・ 2014年09月 : 九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答保留（九州電力）
 - ・ 2015年01月 : 接続申込みの回答再開（九州電力）
→普及拡大の時代から維持管理の時代へ
 - ・ 2016年05月 : 改正FIT法の成立
 - ・ 2017年04月 : 改正FIT法の施行
→事業計画認定と(実質的な)メンテナンス義務化
 - ・ 2020年06月 : 廃棄費用の積立、原則的に義務化

- ・ O&M、さらにリユース、リサイクルの全体で考えねばならない



なかでも：

低圧発電所（産業）を何故問題視するのか

- ・ 発電所の規模は小さいが...
- ・ 導入量に対する低圧発電所（対産業用）の割合
 - 導入量ベース
 - 全国：34.4% 九州：35.8%
 - 導入件数ベース
 - 全国：94.9% 九州：95.4%
- ・ 既に無視できない導入量と件数
- ・ 一方で、投機目的での個人所有者の多さ、電気主任技術者の専任が義務ではないなど、長期安定電源化におけるリスクが比較的高い

そこで：

- 平成28年度と平成30年度に、九州管内の発電事業者に対してアンケート調査を実施

H28年度九経局調査

- 平成28年度：「平成28年度太陽光発電の長期安定電源化に向けたサポート体制構築に関する調査」（九州経済産業局）

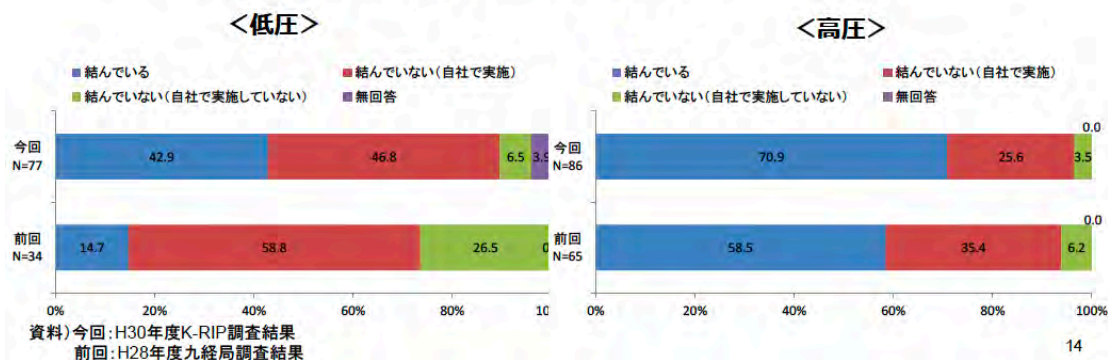
H30年度K-RIP調査

- 平成30年度：「自然エネルギーの普及と促進に係る事業（グリーン電力基金事業）における太陽光発電所の中古査定・評価等に関する調査」における「太陽光発電所のメンテナンスと中古売買に関する発電事業者向けアンケート」（実施主体：九州環境エネルギー産業推進機構（K-RIP）、協力：九州経済産業局）

以下、調査結果より抜粋：

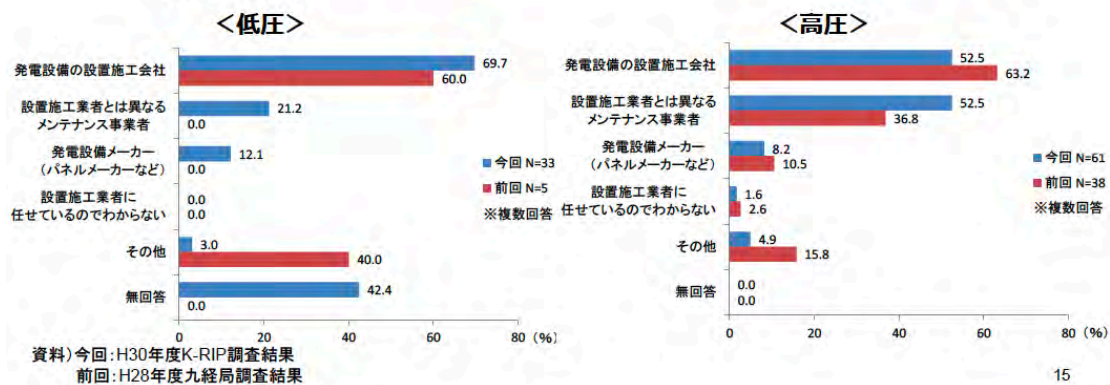
外部企業とのメンテナンス契約の有無

- ・ 低圧発電所・高圧発電所共通
 - － 外部企業との契約締結の割合は増加
 - － メンテナンスを実施しない事業者は減少（改正FIT法の影響か）
- ・ 低圧発電所
 - － 外部企業との契約は全体の4割強にとどまる
- ・ 高圧発電所
 - － 外部企業との契約は全体の約7割（規模の大きさも影響）
 - ・ 電気主任技術者による電気点検込みと思われる



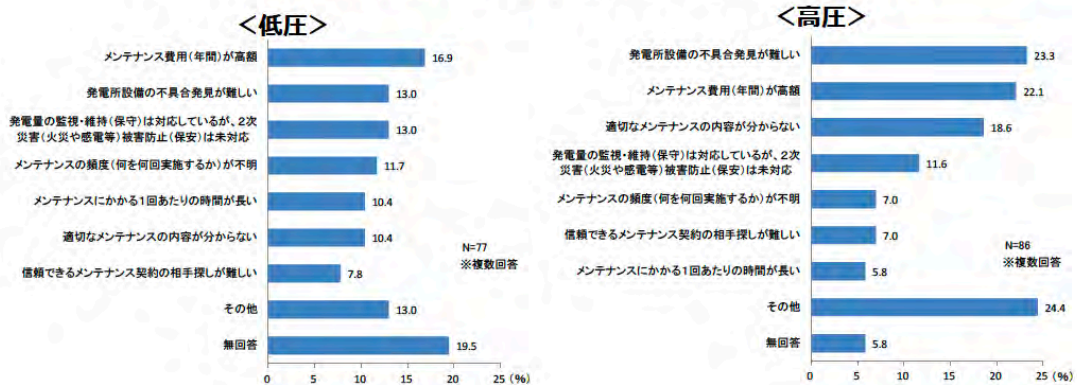
メンテナンス契約を結ぶ相手

- 低圧発電所・高圧発電所共通
 - 2年前に比べ、メンテナンス事業者に依頼する割合が増加
- 低圧発電所
 - 契約相手の大多数が発電設備の設置施工会社
- 高圧発電所
 - 設置施工会社と（設置施工業者とは異なる）メンテナンス事業者で二分



現在のメンテナンスの課題

- 低圧発電所
 - 課題を認識しない（出来ない）事業者が最多（無回答：19.5%）
 - 認識する中では費用、不具合発見、2次災害防止の順番
- 高圧発電所
 - 課題を認識する中では不具合発見、費用、適切なメンテナンス内容の順
 - 「その他」はFIT法（改正）に伴うメンテナンスの難しさ（パネル交換の条件等）、除草費用増加、メンテ事業者の選択肢の少なさ等



発電所で発生した事故やトラブル

・ 低圧発電所・高圧発電所共通

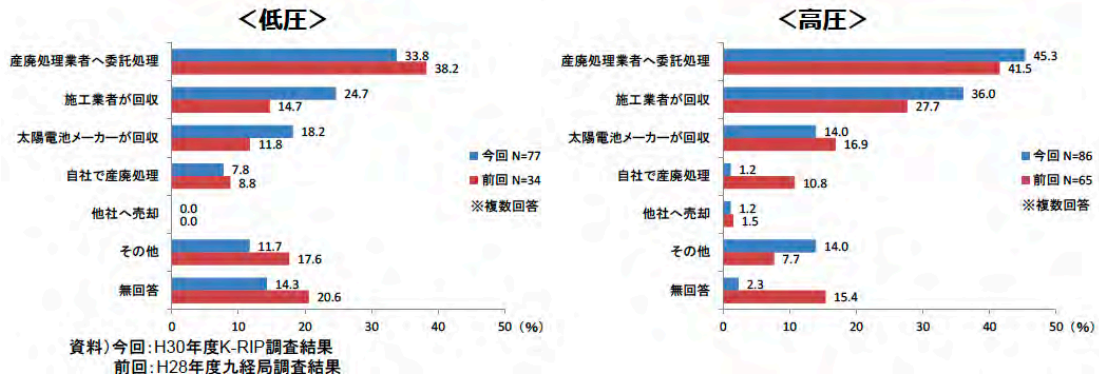
- **2年前に比べると、事故・トラブルの割合が増加（顕在化）**
- パネルのガラス割れ、落雷によるシステム強制停止、PCS故障（変換効率低下）などが中心
- 電気点検での対応が必要な事故やトラブル、部材の盗難が急増



廃棄パネル等部材の処理

・ 低圧発電所・高圧発電所共通

- 「**産廃処理業者へ委託処理**」が最多（低圧：33.8%、高圧：45.3%）
- 2年前に比べると、低圧・高圧共に「**施工業者が回収**」の割合が上昇し、無回答の割合が低下
 - ・ 廃棄パネル処理が課題として可視化？
- 「**その他**」には、廃棄パネルは自社で保管中（まだ廃棄していない）など



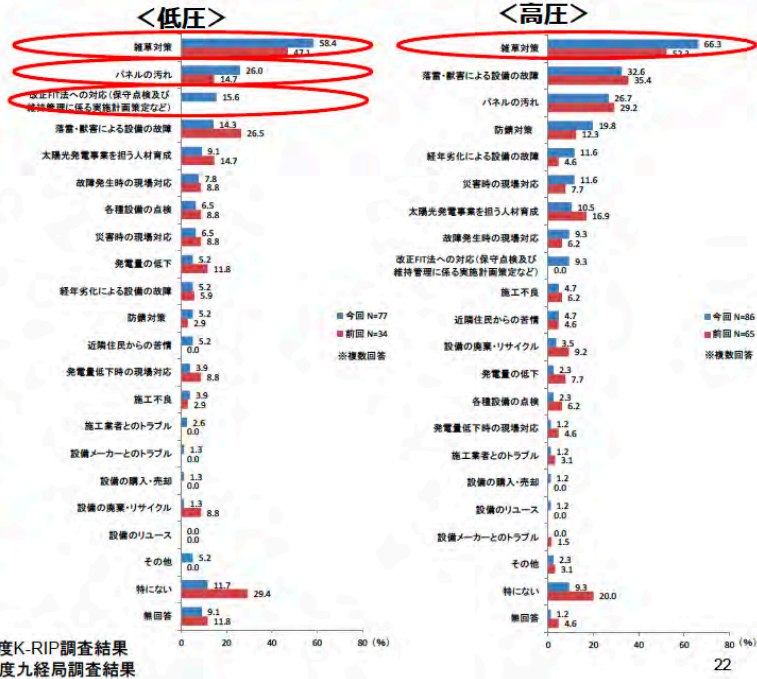
発電事業で困っていること

・ 低圧発電所・ 高圧発電所共通

- **問題が深刻化する
雑草対策**
- 稼働年数の経過と共に「特にない」が減少

・ 低圧発電所

- 雑草対策に加え、以下の2つが増加
- パネルの汚れへの対応
- **改正FIT法への対応**



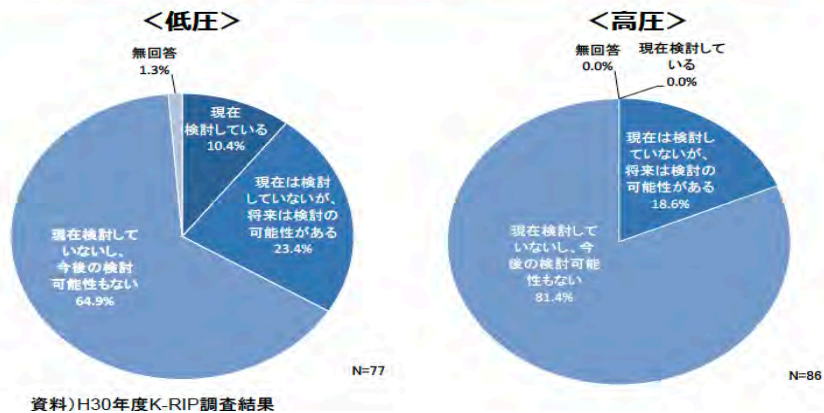
太陽光発電所の売却検討の有無

・ 低圧発電所

- 高圧よりも売却を検討する事業者が多い
- **将来の可能性を含めると、全体の3割強**

・ 高圧発電所

- **将来の可能性を含めると、全体の2割程度が売却を検討**



まとめると：

- 低圧発電所の保守・管理に関する抜本的な省力化・低コスト化技術やシステムは、開発途上
 - 低圧発電所の「長期安定電源化」リスクは残存
- 低コスト化→きちんとした保守・管理の導入→セカンダリマーケットの発展→「健全な」オーナーへの集約が進めば、長期安定電源化が加速。部材入れ替えによるリファービッシュも
- リファービッシュに合わせて蓄電池の導入が進めば、安定的かつ多様な利活用が加速

以上、導入が早期に始った太陽光発電では、すでに廃棄、買替えなどが始っており、その途上でも維持・補修など、単に導入して放置では済まされない問題が噴出しつつある九州の実態をみた。

おわりに

今回調査の「活動報告」は以上であるが、論点や現実課題が未解決のまま山積している。「はじめに」で述べたとおり、今回調査のパート（2）は、クルマ～モビリティが画期的に電化されていく原動力として、温暖化ガス対策があり（目標面）、同時に蓄電池その他各種テクノロジーがそれを何とか実現できそうになっている事情（サプライサイド面）がある中で、目標達成のためには単にクルマの電化だけを考えるのではなく、蓄電池に充電される電力自体がどれほどグリーンになっているか、トータルで捉えねばならないという問題意識からであった。

一国全体の電力問題を一気に捉えるのは難しいので、とりわけ再エネ電源が一層増えて、系統電力網が不安定化しがちになる問題に重点を置いて、それに対して電力需給調整の中間段階という意味でも、また地域のエネルギー・レジリエンスのためにも、「地域電力アグリゲータ」に注目した。

しかしそれはマネジメント系の可能性であり、そもそも再エネが増えたときの調整力そのものは別問題である。そこで世上、かまびすしいところの、V2G、すなわちEV車が増える将来において、クルマの蓄電池が、どれほど調整直足り得るかの検討をみた。結果は、力不足ではないかという示唆が得られた。

そこでさらに、その他のエネルギー貯蔵をみることにし、代表例として「水素」をみた。結果は、水素の可能性は単に電力需給調整力にとどまらず、2次エネルギーの生成～貯蔵～輸送～消費というサイクル全体の中で、電力に限らず、広汎に、従来エネルギー体系を変えていく可能性を秘めることがみられた。ただし変革度合が高いほど、現実のありようから、大きな抵抗を受けるのであって、電力グリーン化+水素（ガス）という総合的変革には長期を要するとみられた。

最後に再エネの深まりは、机上のCO₂計算で済むものではなく、現実には再エネ関連システムの維持・補修、さらにリユース、リサイクルまで、適切な循環系を実現していかなければならない点を見た。

弊所独自の現地調査等が難しかった環境の中で、調査そのものとしても、課題が残るところである。

JSPMI-ERI 21-3-2
CASE 変革期に問われる異能チーム・異分野技術へのアプローチ調査
2021 年度
(2)再エネを中心に

令和4年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

(禁無断転載)