

脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム
エネルギーマネジメント研究会
成果報告書（詳細版）
（2018 年度報告）

（一財）エネルギー総合工学研究所

※本報告書は、SIP 課題「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」（現：IoE 社会のエネルギーシステム）のエネルギーマネジメント研究会において、国立研究開発法人科学技術振興機構との契約に基づき、一般財団法人エネルギー総合工学研究所が実施した調査報告の詳細版となります

目次

序章	1
第1章 研究のスコープ	3
1.1 対象とした System of Systems	3
1.1.1 全体像	3
1.1.2 今年度の検討範囲	6
(1) 系統電力の脱炭素化	6
(2) 地域エネルギーシステム	6
(3) 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム	6
1.2 評価指標	6
(1) 適用分野（適用目的）	6
(2) 問題解決（脱炭素）に寄与する規模／価値	6
(3) 適用に要するコスト	6
(4) 環境安全性	6
(5) 導入時期	6
第2章 系統電力の脱炭素化	7
2.1 再生可能エネルギー大量導入に向けた電力系統側の検討	7
(1) 背景	7
(2) 実現に必要な課題とその対策	22
2.2 海外の CO ₂ フリーエネルギーの導入	26
(1) 背景	26
(2) 実現に必要な課題	37
第3章 地域エネルギーシステム	41
3.1 全体像と対象領域	41
(1) 持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析	42
(2) 背景の整理	73
(3) クラスタ分析の手法	74
(4) 再エネ大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメントの検討	74
3.2 実現に必要な課題とその対策	77
(1) 今後の検討課題	77
(2) 地域エネルギーマネジメントシステムの検討事例	77
(3) 課題 B（ワイヤレス給電）、課題 D（ユニバーサルパワーモジュール）との関連	82

第4章 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム	83
4.1 背景	83
(1) 電気自動車と電力システム	83
(2) EV のエネルギー利用に関する課題	87
(3) 将来の電力分野と運輸分野の構造	103
4.2 実現に必要な課題とその対策	106
(1) 国内外における VGI の動向	106
(2) エネルギーマネジメントにおける EV の機能	118
(3) 課題 B (ワイヤレス給電)、課題 D (ユニバーサルパワーモジュール) との関連	119
 第5章 今後の課題と展望	 121
5.1 評価指標に関する課題	121
(1) モデルの想定	121
(2) シミュレーションツールの利用	121
(3) システム間のバウンダリー条件の明確化	121
5.2 各 System of Systems に関する課題	122
(1) 系統電力の脱炭素化	122
(2) 地域エネルギーシステム	122
(3) 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム	122
(4) 産業分野の低炭素化	123
(5) 運輸分野の低炭素化	123
5.3 エネルギーデータ関連の課題	123

序 章

1. 目的

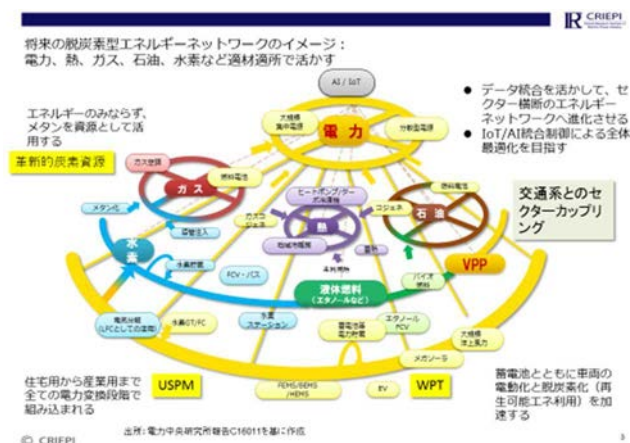
産官学の取り組みを通じて、温室効果ガスの抜本的排出削減に向けて早期に適用可能な基盤技術分野を特定し、社会実装を図る。このためエネルギーマネジメント研究会が設置され、研究開発項目(B)ワイヤレス電力伝送システム、(C)革新的炭素資源高度利用技術、(D)ユニバーサルスマートパワーモジュールと連携しつつ、2018年10月から2020年3月までの活動を行うこととなった。エネルギーマネジメント研究会は、個々の技術単体ではなくエネルギーマネジメントシステム構築に資する既往研究を調査し、2019年度以降、実施する技術の課題（ボトルネック課題）を特定することを目的とする。

2. 目標

脱炭素社会を支えるエネルギーシステムにおいて、System of Systems として、統合的なエネルギーマネジメントのグランドデザインを目指す。再生可能エネルギーを電力のみならず、産業部門、運輸部門で CO₂ 排出の大幅削減を可能とするため、熱、ガス、燃料、炭素資源として最大限活用する。

2050 年を視野に入れると再生可能エネルギー5割、再生可能エネルギー資源の貯蔵状況を踏まえると変動電源が主となるため、水素やガスなど他エネルギーへの転換、地域特性に沿ったマネジメントの姿から、貯蔵や水素、輸送を技術的、経済性、環境面を踏まえて現状の認識と 2050 年に向けての方向性を示す。

そのために System of Systems の構成要素と適用の核となるデータ活用についても、当研究会で検討していく。



3. 出口戦略

最終的な出口戦略は、事業終了後はエネルギーマネジメントのグランドデザインに基づきシステムを構築することにあるが、2018年度の研究会で取上げるのは、各種エネルギー変換・貯蔵・輸送技術を含むエネルギーネットワークと交通マネジメントの融合である。

4.研究会

2018年度は「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」エネルギーマネジメント研究会を3回実施した。研究会メンバーとスケジュールは以下の通りである。

・研究会メンバー

戦略コーディネーター	浅野 浩志	一般財団法人 電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究参事
戦略コーディネーター	塩沢 文朗	住友化学株式会社 主幹 レスポンシブルケア部 気候変動対応 兼 技術・研究企画部
戦略コーディネーター 補佐	國友 理	国立研究開発法人 科学技術振興機構 フェロー 兼 東京工業大学 科学技術創成研究院 特任助教
委 員	井村 順一	東京工業大学 副学長 兼 工学院システム制御系 教授
委 員	中田 俊彦	東北大学大学院 工学研究科技術社会システム専攻 教授
委 員	太田 豊	東京都市大学 工学部 電気電子工学科 准教授
委 員	太田 志津子	内閣府 政策統括官付 参事官
委 員	梅北 栄一	内閣府 政策統括官付 企画官

・スケジュール

第1回 2018.11.28

主要テーマ：再生可能エネルギー大量導入のための電力系統側の対応

第2回 2019.01.22

主要テーマ：地域エネルギーシステム

運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム

第3回 2019.03.28

主要テーマ：海外のCO₂フリーエネルギーの導入

運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム

研究会はテーマに沿い、System of Systems の観点による専門家のプレゼンテーション及び事前サーベイ報告を中心とし、事前打ち合せと研究会議論に基づくフォローアップを行うサイクルで進めた。今回は、2018年度内に研究会で発表された専門家プレゼンテーション内容を記し、課題と展望を中間報告の位置付けで取りまとめた。個々の技術や事例紹介などの情報は調査関連データ詳細資料として付録の形で付けてある。

2019年4月10日

第1章 研究のスコープ

1.1 対象とした System of Systems

1.1.1 全体像

中田委員による「持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析」（第2回研究会資料4）のカーボンフローを参考に作成したエネルギーマネジメント研究会（以下、エネマネ研究会）の全体像のイメージを図1-1に示す。

エネマネ研究会で検討するテーマを、日本全体のエネルギーに例えて、電力系統、産業部門、分散電源（業務+家庭）、運輸/交通部門）の4つに分けた。これらは、ただ単独にあるだけではなく、例えば緑と赤が融合しているように、セクターがカップリングしていくところもある。一方、この4つに分類されないが、熱/水素や液体燃料は、左側にある石炭、石油、天然ガスと同じような位置づけで、4つのセクターに共通で関係することを示している。図の出典は第3回研究会の資料2-1、資料2-2、資料2-3である。

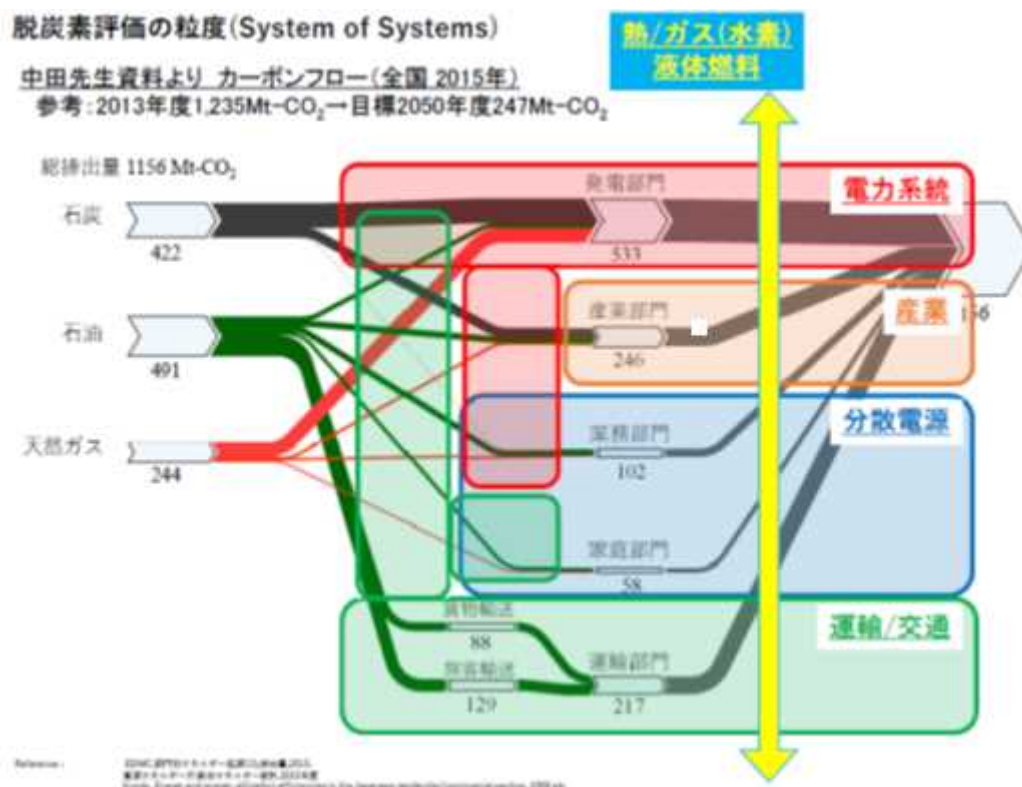


図 1-1 研究会全体像（イメージ）

セクターの中に入るものについて、具体例を記載したものを図 1-2 に示す。内閣府が検討を開始した統合イノベーション戦略におけるエネルギーの連携基盤にも関連付ける形で、右側に線をつけている。例えば、一番上の電力系統では、再エネが大量導入される場合の一例として、再エネと蓄電池が入っている。ガスの観点では、電力系統で水素火力を使って脱炭素を図るという一例が入っている。

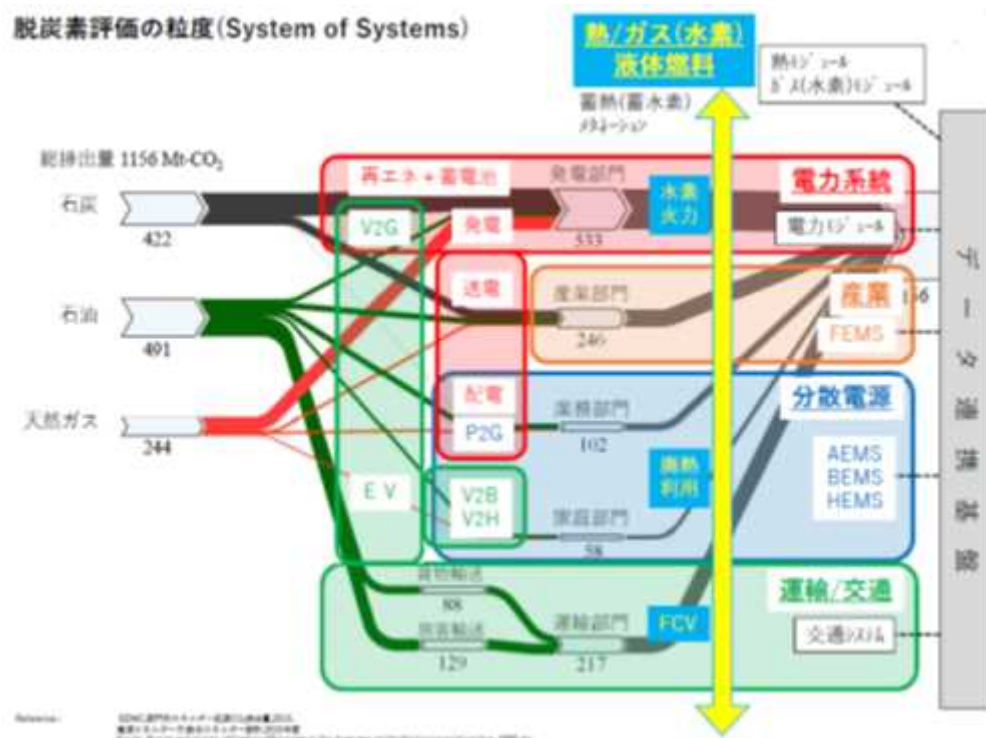


図 1-2 研究会全体像（具体例入り）

2018 年度に研究会で議論した内容を纏めたものについて、第 2 回研究会までの議論と第 3 回研究会の議論を反映したものを、それぞれ図 1-3、図 1-4 に示す。

第 1 回研究会では、井村委員から、如何にすれば再エネを大量導入できるか、そのための技術的解決策について、赤い部分、赤と緑が融合している部分赤と青が融合している部分を中心に説明があった。

第 2 回研究会では、中田委員から、そもそもエネルギーシステム全体をデザインするためには、どのような切り口があるか等、全体を俯瞰する形で様々な説明があり、全体に係ることで左上に記載した。また、太田（豊）委員からは V2G に関して、緑と赤が融合している部分と、V2G や V2B 等、電気自動車と電力システムの統合によって、どのようなイノベーションが起きるか（緑と青が融合している部分）を中心に説明があった。

國友戦略コーディネーター補佐から、分散電源（都市のエネマネ）を中心に、分散電源としての再エネはどのような姿であるべきかという点について、事例を踏まえた説明があった。

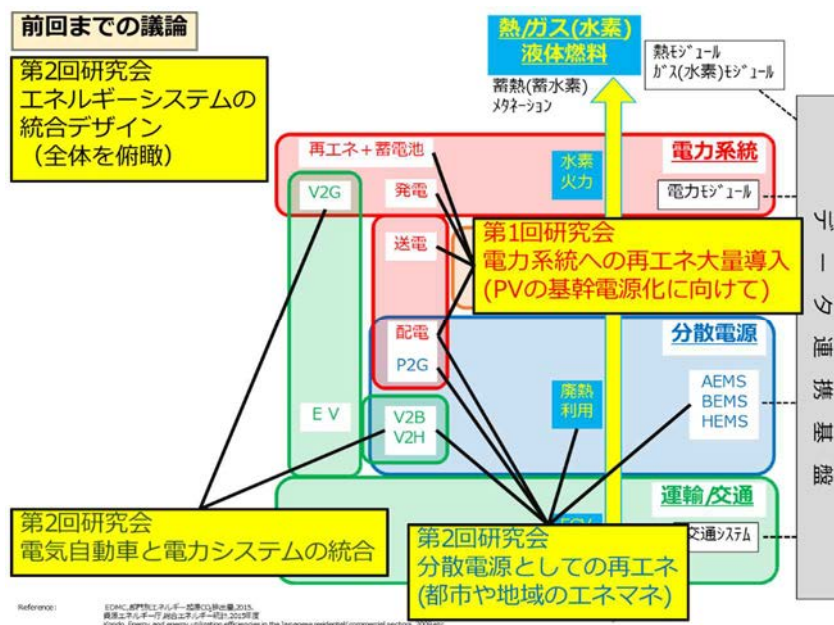


図 1-3 第 2 回研究会までの議論

第 3 回研究会では、現在基盤連携の検討が進められている中、省庁横断で様々なエネマネの事例調査が行われたことから、内閣府から、統合イノベーション戦略におけるエネマネ調査の内容が中間報告の位置付けで紹介された。塩沢戦略 C から、水素火力に線が引いてあるエネキャリによる水素導入と評価についての説明、また、三菱電機の鈴木氏からは、前回の太田（豊）委員と同じく V2G、V2B の切り口で、自動車業界からの目線での説明が行われた。

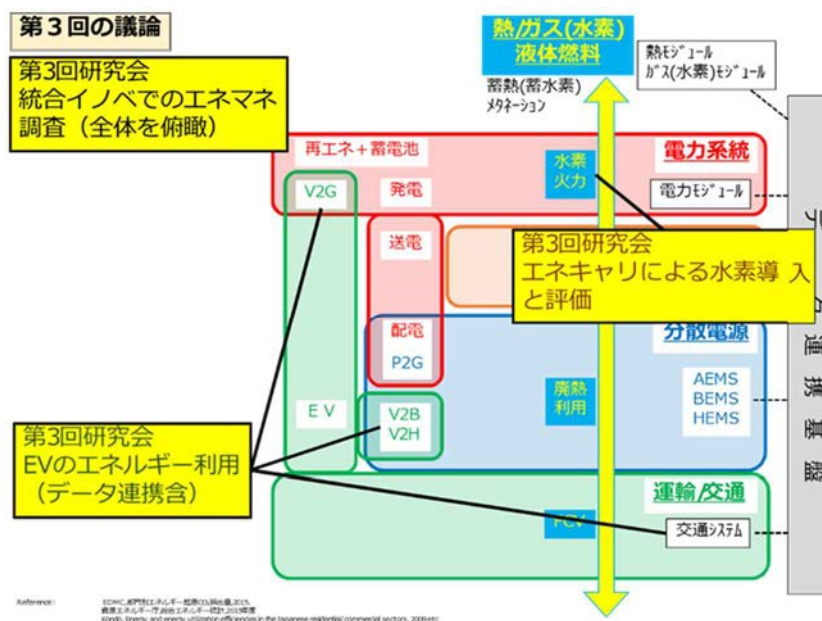


図 1-4 第 3 回研究会での議論

1.1.2 今年度の検討範囲

平成 30 年度は以下のシステムを取り上げた

(1) 系統電力の脱炭素化

- ① 再生可能エネルギー大量導入のための電力系統側の対応
- ② 海外の CO₂ フリーエネルギーの導入

(2) 地域エネルギーシステム

(3) 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム

1.2 評価指標

System of Systems を構成する技術の評価指標として以下の項目を設定した。

(1) 適用分野（適用目的）

エネルギーフローのどこに位置付けられるかを示す。

(2) 問題解決（脱炭素）に寄与する規模／価値

CO₂ 排出削減量を定量的に示す。技術の導入量は一定の仮定を置く。

(3) 適用に要するコスト

前項の CO₂ 排出削減を達成するためのコストを示す。

(4) 環境安全性

導入に伴って発生が予想または懸念される環境安全面の問題を示す。

(5) 導入時期

社会に導入される想定時期を示す。

第2章 系統電力の脱炭素化

2.1 再生可能エネルギー大量導入に向けた電力系統側の検討

(1) 背景

a. 再生可能エネルギーの導入見通し

再生可能エネルギーが大量導入された場合の電力系統側の対応は、“大量導入”の程度によって影響を受ける。そのため、まず2030年～2050年に向けての再生可能エネルギー（特に出力が気象によって変動する太陽光発電と風力発電）の導入見通しについてまとめる。

(a) 長期エネルギー需給見通し

直近の長期エネルギー需給見通し（経済産業省、2015年）において、2030年における太陽光発電と風力発電の設備容量と発電量は表2.1.1のように想定されている。

表 2.1.1 2030 年における太陽光発電の設備容量の想定

	既導入量	設備容量	発電量
住宅	約760万kW	約900万kW	約95億kWh
非住宅	約1,340万kW	約5,500万kW	約654億kWh
合計	約2,100万kW	約6,400万kW	約749億kWh

表 2.1.2 2030 年における風力発電の設備容量の想定

	設備容量	発電量
陸上風力	918万kW	161億kWh
洋上風力	82万kW	22億kWh
合計	1,000万kW	182 億kWh

(b) 太陽光発電協会

太陽光発電協会では、2050年までの太陽光発電の設備容量を図2.1.1.1のように想定している。2030年時点で1億kWとしており、これは長期エネルギー需給見通しの6400万kWの約1.5倍である。2050年の設備容量は2億kWとしている。

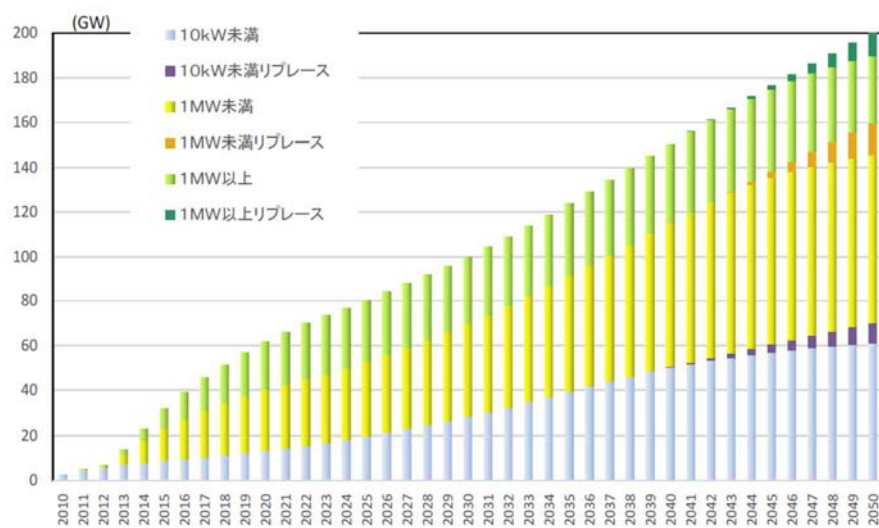


図 2.1.1.1 2050 年までの太陽光発電の導入見通し

出典：太陽光発電協会：JPEA PV OUTLOOK, 2017 年

(c) 日本風量発電協会

日本風力発電協会では、2050 年までの風力発電の設備容量を図 2.1.1.2 のように想定している。2030 年時点で 3600 万 kW としており、これは長期エネルギー需給見通しの 1000 万 kW の約 3.6 倍である。2050 年の設備容量は 7500 万 kW としている。

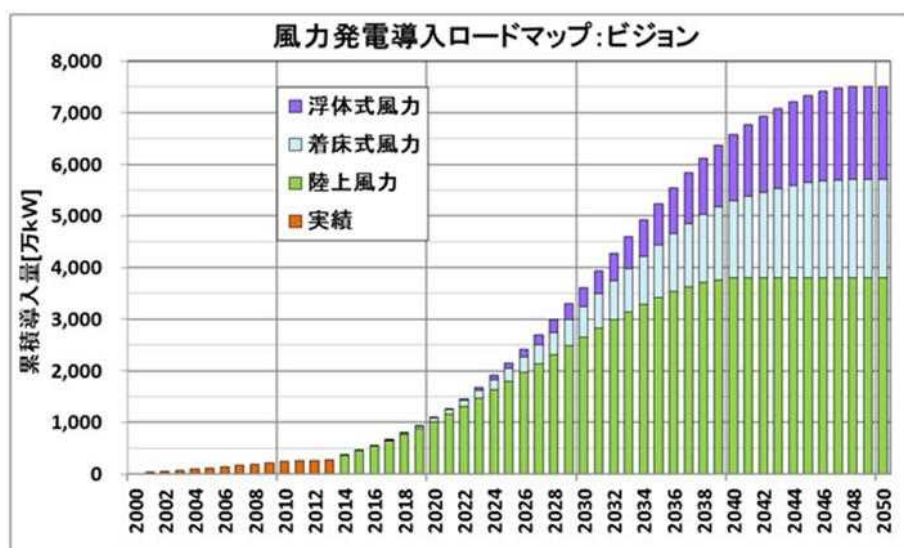


図 2.1.1.2 2050 年までの風力発電の導入見通し

出典：日本風力発電協会：JWPA Wind Vision, 2016 年

b. 電力需給のイメージ

太陽光発電と風力発電が前項に示した量だけ導入された場合の電力需給の姿を示す。

(a) 2018 年時点 (PV : 40GW、Wind : 3GW)

全国大で見ると需給バランスの問題は生じていない。ただし、後述するように電圧変動、送配電容量の問題は全国で顕在化している。

九州電力管内 (図 2.1.1.3) では、2018 年の後半に原子力発電が稼働し、需要が減少した 10 月の休日には需給バランスの問題が顕在化し、太陽光発電の出力制御が行われた。

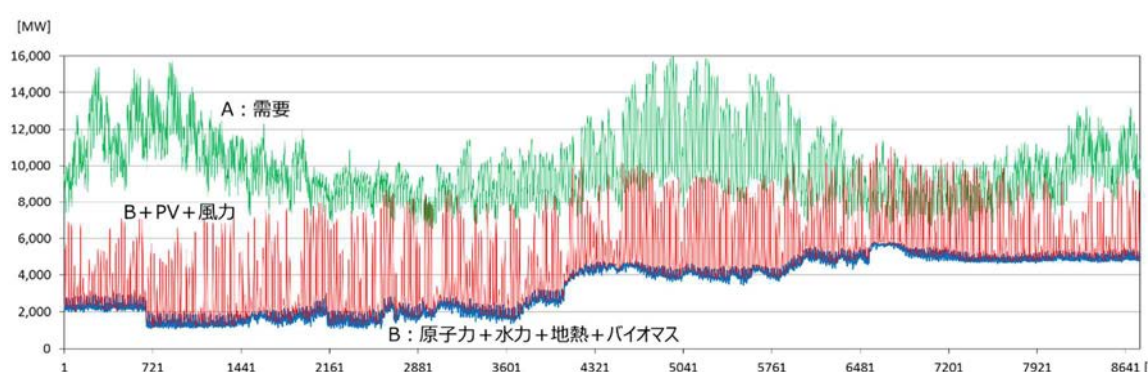


図 2.1.1.3 九州電力管内の電力需給 (2018 年)

出典：九州電力公表データを元に IAE 作成

(b) 2050 年時点のイメージ (PV : 200GW、Wind : 75GW)

電力各社の全国大でみて、太陽光+風力の出力が需要を上回る日が頻発する。

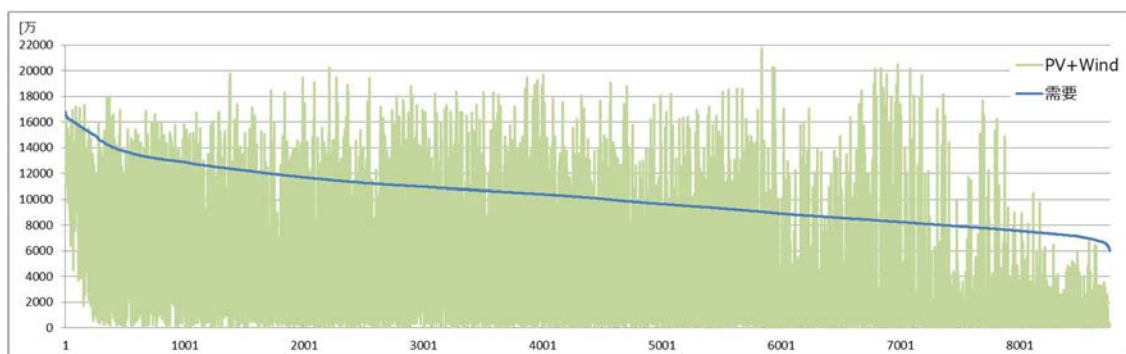


図 2.1.1.4 2050 年時点でのイメージ (全国大)

出典：電力各社公表データを元に IAE 作成

c. エネルギー需給モデルによる検討例

最近発表された検討例を2件紹介する。いずれも IEA の技術評価プログラム (ETSAP) のもとで開発された MARKAL/TIMES を原型とする線形計画モデルを使用している。

日本のエネルギーシステム全体を対象とし、対象期間は現在から 2050 年まで、目的関数はシステム総コストの最小化である点は共通である。

(a) 日本エネルギー経済研究所／東京大学における研究例¹⁾

モデルの機能としては、1 年間を 1 時間単位で 8760 分割することにより、太陽光発電や風力発電の出力変動の影響を直接扱っているところに特徴がある。また、日本を 4 地域に分け電力の地域間連系線の制約も考慮に入れている。

直近の研究¹⁾では、2050 年に CO₂ 排出量 50～60%削減、原子力最大 21GW、太陽光最大 332GW、風力最大 100GW、CCS 最大 100 万 t・CO₂/年、アンモニア輸入最大 1,000 万 t/年、輸入水素ゼロという制約条件を与えて計算を行っており、次の結果が得られている。

- ・ 2050 年の電力供給において、原子力は 1 割程度、LNG は 3～5 割程度のシェアである。
- ・ 石炭火力は 2030 年に 2 割程度のシェアがあるが、2050 年にはゼロとなる。
- ・ 残りの多くは太陽光、風力、水力、地熱といった再生可能エネルギーが占め、電力部門が低炭素化される。
- ・ 余剰電力は蓄電池、EV 充電、熱変換、出力抑制により対処される。
- ・ 国内での水電解水素製造やメタネーションは他の対策技術に比べ導入量は少ない。

(b) エネルギー総合工学研究所における研究例²⁾

電力需要に関しては、中間期、冬期、夏期のそれぞれについて昼・夜に計 6 分割するとともに、年間最大需要を考慮することによって負荷曲線を簡易表現している。

直近の報告書²⁾では、2050 年に CO₂ 排出量 80%削減、原子力最大 26GW、太陽光最大 244GW、風力最大 100GW、CCS 最大 5,000 万 t・CO₂/年、という制約条件を与えて計算を行っており、次の結果が得られている。輸入水素については量的制約を設けていない。

- ・ 2050 年の電力供給において、原子力は 1.5 割程度、LNG のシェアは僅かである。
- ・ 石炭火力は 2030 年に 1.5 割程度のシェアがあるが、2050 年にはゼロとなる
- ・ 残りの多くは太陽光、風力、水力、地熱といった再生可能エネルギーが占め、電力部門が低炭素化される。

¹⁾ 川上ほか：低炭素化に向けた再生可能エネルギー余剰電力対策技術の役割、第 35 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019 年 1 月。

²⁾ エネルギー総合工学研究所：中長期ビジョン～2050 年に向けたエネルギー需給展望～、2019 年 1 月。

- ・ 輸入水素発電は 2050 年に 5～13%のシェアを占め、水素量は 700～1,500 万 t に相当する。運輸部門では最終消費エネルギーの 41～71%が水素で供給される。

図 2.1.1.5 に再生可能エネルギーが大量に導入された電力系統の姿についてのイメージ図を示す。変電所、太陽・風力発電所に加えて、工場・ビル・住宅にも蓄電池が導入され、電力需給バランスの調整に使用される。また、国内外で製造された水素が火力発電所や水素専焼発電所に導入されるほか、需要地でも使われる。

図 2.1.1.5 に再生可能エネルギーが大量に導入された電力系統の姿についてのイメージ図を示す。変電所、太陽・風力発電所に加えて、工場・ビル・住宅にも蓄電池が導入され、電力需給バランスの調整に使用される。また、国内外で製造された水素が火力発電所や水素専焼発電所に導入されるほか、需要地でも使われる。

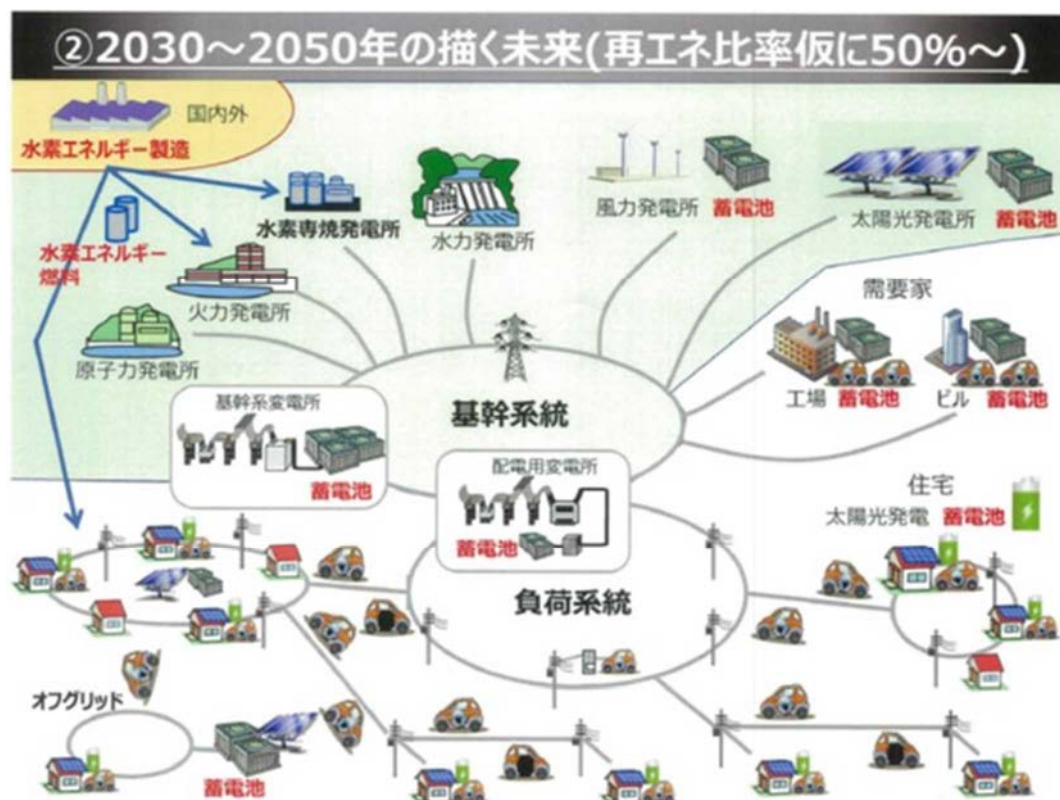


図 2.1.1.5 2030～2050 年の描く未来（イメージ）

出典：電気共同研究会 第 74 巻 第 3 号、2019 年

d. 太陽光発電のスマート基幹電源化に向けて

資料発表日：2018年11月28日 第1回エネルギーマネジメント研究会
発表者：井村委員
資料名：太陽光発電のスマート基幹電源化に向けて
本報告書、図の出典は第1回研究会資料8

(a) 太陽光発電の導入量

太陽光発電の設備容量は2017年で48GW（図2.1.1.6）。2030年の政府目標は64GWだが、それを越えるであろう。HARPS（太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築案研究チーム）では2030年に100GW、その先は究極かもしれないが300GWを想定している。電力量比は30%になる。九州電力は全国大に換算すると現在70～80GWの導入となっており、このレベルでは出力制御が発生すると考えられる。

各エリアの最大需要に対する太陽光発電の設備容量の割合を図2.1.1.7に示した。東京、中部、東北は0.2程度、九州は0.48であり、四国が0.42となっている。



図 2.1.1.6 太陽光発電の導入量（実績と想定）

（経済産業省資源エネルギー庁統計ポータルサイトの数字より作成）

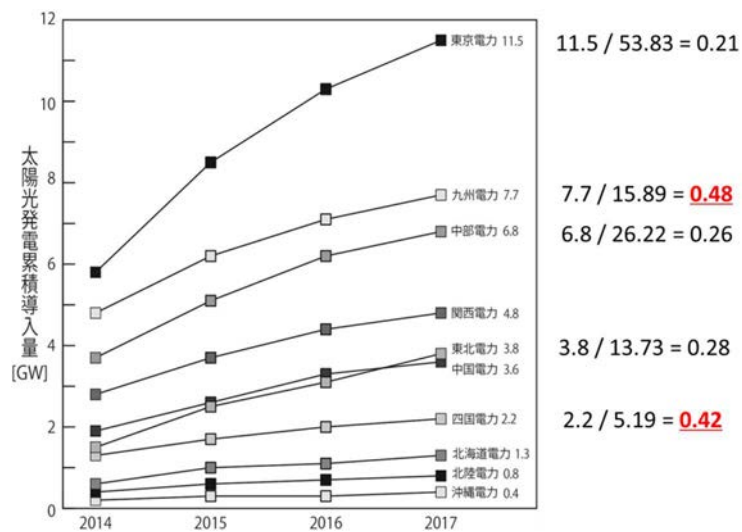


図 2.1.1.7 電力会社エリア毎の太陽光発電導入量（実績）
（経済産業省資源エネルギー庁統計ポータルサイトの数字より作成）

(b) 検討すべき課題

HARPS では、太陽光発電をスマート基幹電源とするために必要な要件を図 2.1.1.8 にまとめた。

1 番は需給バランスと安定供給であり、特に予測がキーワードになる。

2 番は系統全体の価値と個々のユーザの価値の共最適性であり、すなわち、個々の分散電源が持つ価値と系統全体の持つ価値を考えて両方が Win-Win の関係になることを目指す。

3 番目は発電予測のもとでの大外れなどのリスク管理や、太陽光発電は小規模分散電源になるので事故の数は多くなることへの対応、サイバーセキュリティの問題も出てくる。

4 番目は、太陽光発電の導入が進むと電力システム自体が変化していく中で、どの時代でもサステナブルに使えるようにしなければいけないことを示す。レトロフィッティングとは、既存のものに上手くフィットしていかなければいけないことを示す。

- 以下の要件を満たす電力系統の制御システムを実現すること。
1. 需給バランス維持と安定な電力供給 (需給バランス・安定性)
 2. 系統全体の価値と個々のユーザの価値の共最適性(多価値共最適性)
 3. 発電予測のもとでのリスク管理やセキュリティ・事故時対応(調和的ロバスト性)
 4. 外的要因によるシステムの変化・進化に対するフレキシビリティやレトロフィッティング(オープン適応性)

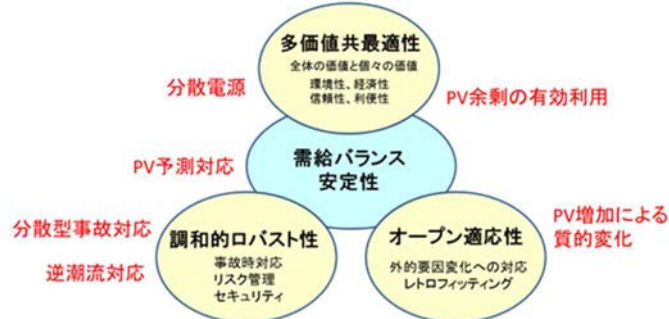


図 2.1.1.8 太陽光発電をスマート基幹電源とするために必要な事項(HARPS)

図 2.1.1.9 に、技術課題と実現できる価値を示した。自動車の自動運転がレベル 1～レベル 5 まであり、レベル 3 以上が本当の自動運転と言われている。それと同じようなイメージを目指したが、最終的にこのチャートに落ち着いている。

64GW から 100GW の段階で特徴的なのはアグリゲータが登場してくる点にある。

100GW から 200GW の間が研究ターゲットである。蓄電池が入らないと出力制御しなければいけない。出力制御しないレベルで太陽光発電と蓄電池が良いバランスで導入されていく。太陽光発電の導入に対応する形で蓄電池が普及し、逆に蓄電池の導入が遅れると太陽光発電の導入も伸びないことになるであろう。

また、アグリゲータ (AG) が登場して最終的にはバランシンググループ (BG) という大きな塊になる。

さらに、配電制御は、パワエレ機器の高活用化、スマートインバータ、同期化力インバータなどが重要である。風力発電の大量導入においても系統全体の安定性に対して悪影響があり、同様の課題が存在する。

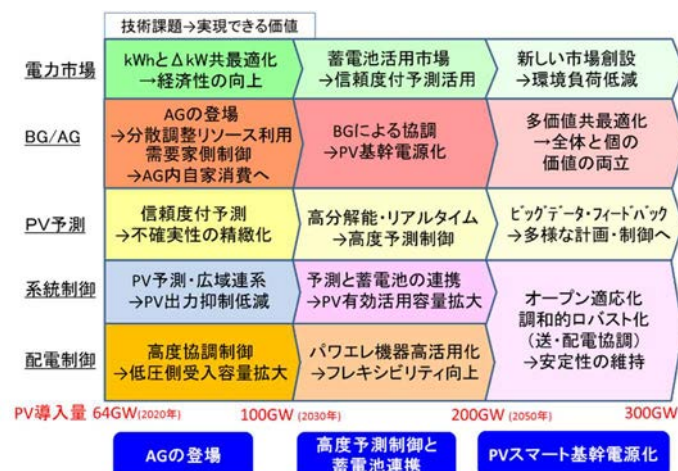


図 2.1.1.9 技術課題と実現できる価値(HARPS)

(c) 余剰電力

図 2.1.1.10 は余剰電力のシミュレーション例である。全国大 100GW の場合から赤い PV 余剰が少し出てくる。九州電力管内には、全国大で換算すると 70~80GW の太陽光発電が導入されているが、PV 出力制御は、現在週末だけである。しかし、これが 100GW 相当になると出力制御が日常的に生じる。300GW では大量の余剰が発生し、そのまま出力制御したら大きな損失である。余剰電力エネルギーのシフトをどのように考えるかが重要である。

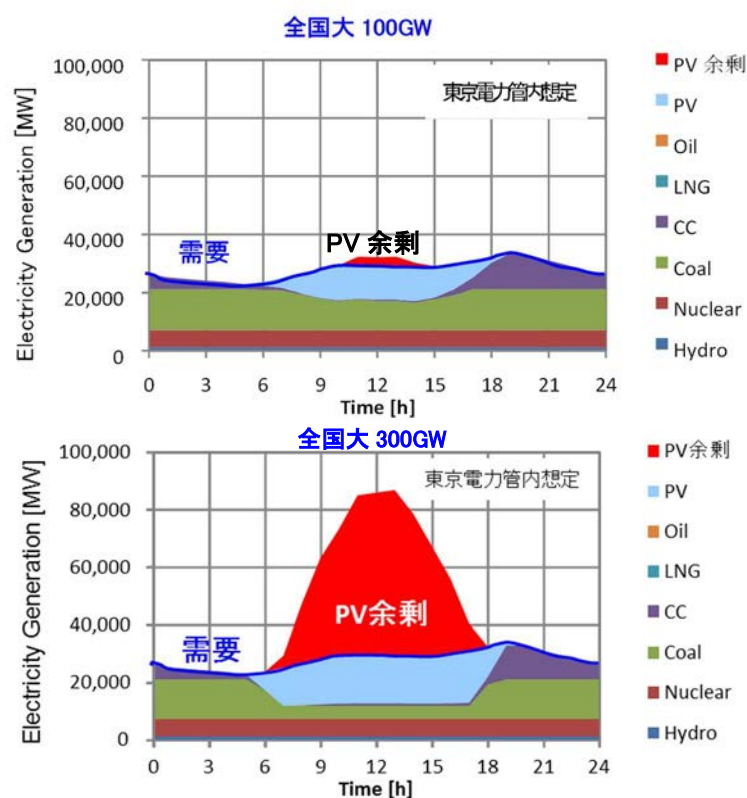


図 2.1.1.10 PV 余剰電力発生 (HARPS)

(d) 発電量予測

次に太陽光発電の予測の問題がある。

図 2.1.1.11 は 1 時間先予測の例であるが、前日予測すなわち 39 時間前予測もある。前日予測では、1 時間の分解能でほとんど 5 パーセント以内の誤差に収めることができ、非常に精度が良い。しかし、たまに外れるときがあり、1 時間前予測でも 50% 外れることがある。これが 39 時間前予測になると 80% 外れる場合があり、ほとんど当たっていないということになる。このために予備電源を常備するのは不経済であり、大きな課題であると認識している。

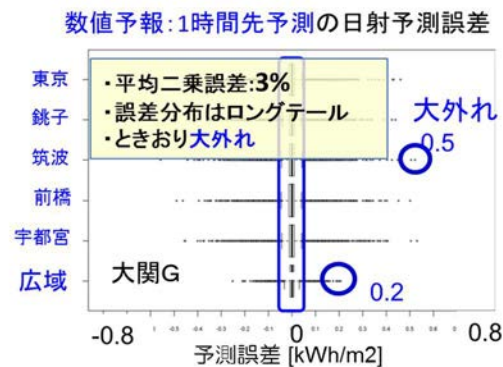


図 2.1.1.11 PV の発電量予測 (HARPS)

図 2.1.1.12 は需給制御のための予測技術について示す。重要なのは大外れの発生にどう解決するかである。ここでの方法はアンサンブル予測という手段であり、複数の予測手法を使って同じ答えなら当たる可能性が高く、違った答えを出していたら外れる可能性が高いとみなすものである。電力会社も 3 つの予測手法を使っているようだが、3 つのそれぞれ得られた結果をどう考え、どのようにマージしているのかが大切で、今後は AI による研究が有用であろう。

明日の太陽光発電量が 90%で当たる、ならいいだろうが、60%で当たると言われたら予備力をどうするかという問題がある。信頼度付きの予測をしたとして、それをどのように制御に使っていくか。少しずつ研究を始めてはいるが、検討すべき課題が多い。

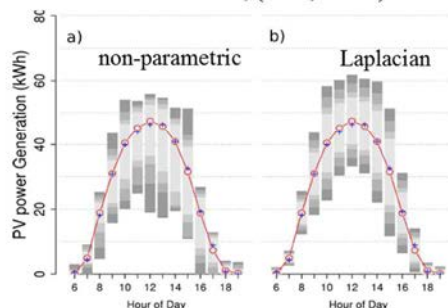
現在は 500 メートルメッシュの粗さで 2.5 分おきに日射量が把握できるようになってきている。短時間予測はこれで精度が上がるようになるが、前日予測には向いていない。

どの程度の細かな時空間分解能でどのように需給計画・運用に使っていくのかに課題がある。

【予測の不確実性、大外れの推定・予測】

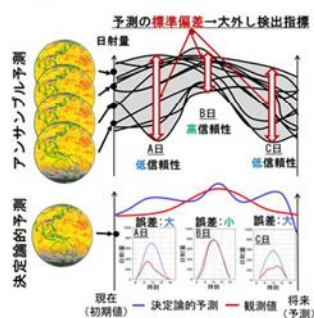
- PV出力の前日予測に4つの予測区間の検討
- non-parametric手法が最も区間が狭い

Fonseca Jr *et al.*, (2018, JEET)



- 日射量予測が大幅に外れる場合を検出する指標を考案
- 日・欧・英・米の気象予測情報を用いて、年5%のまれな事象を90%検出。

Uno *et al.*, 2018, Solar Energy

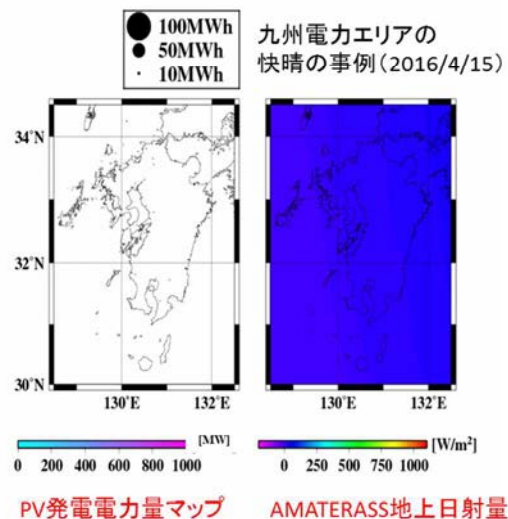


【中島Tとの連携研究の一環】

- 気象衛星ひまわり8号のPV出力推定への応用
- 2.5分毎に市町村毎のPV発電量を推定

Ohtake *et al.*, (2018, Energy Science & Engineering)

(日本時間) 2016 04 15 060000 hhmms



→ 区間予測に基づく需給制御への展開

→ きめこまかい需給計画への展開

図 2.1.1.12 需給制御のための予測(HARPS)

(e) 電圧制御

電圧制御や潮流の制御の問題（図 2.1.1.13）についても課題があるが、検討がかなり進んでいる状況である。

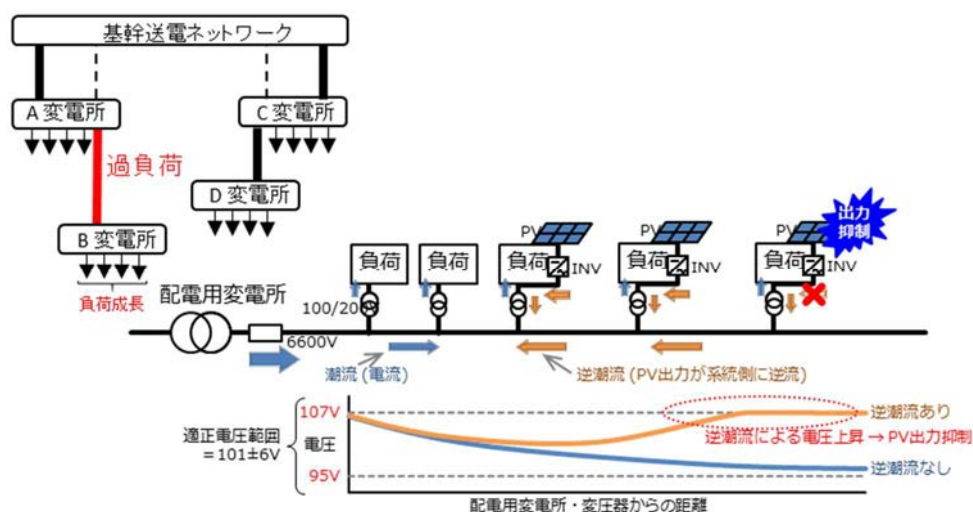


図 2.1.1.13 電圧制御や潮流のコントロールの問題(HARPS)

(f) 慣性力（同期化力）

次は慣性力の問題である。現在の電力系統は火力発電機の大きなロータが回っていて、その大きな慣性力で安定度が確保されている。太陽光発電が増えるとその分、火力発電機が停止するが、太陽光発電は慣性力を持っていないため、脆弱なシステムになる。

図 2.1.1.14 に示すように、太陽光発電導入比率が高い場合の方が、系統事故が起こった時の周波数の乱れが大きくなる。この問題にどのように対応するかが課題である。300GW 入る場合は深刻になるであろう。

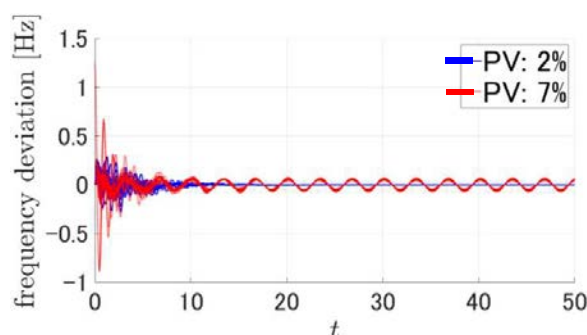


図 2.1.1.14 電気学会 EAST30 に PV を加えた系統事故シミュレーション例

同期化力が減少すると電力システムが脆弱になる。そこで、火力発電機にかわるインバータ、つまり同期化力インバータを開発しようという研究を行っている（図 2.1.1.15）。

まずはマイクログリッドレベルのものに適用するのが有用であろう。

- 同期化力インバータ(SI)の開発
 - 同期機の物理特性を再現
 - ⇒ 再エネ導入時の安定度向上
 - ⇒ PV大量導入が可能に
- 数値シミュレーションによる検証
 - ⇒ (済) 理論の妥当性を確認
- 実験による実証実験
 - ⇒ (済) デジタル制御系への実装
 - ⇒ Hardware-in-the-loop
- 社会実装へ
 - ⇒ 取り組みを加速させる予定

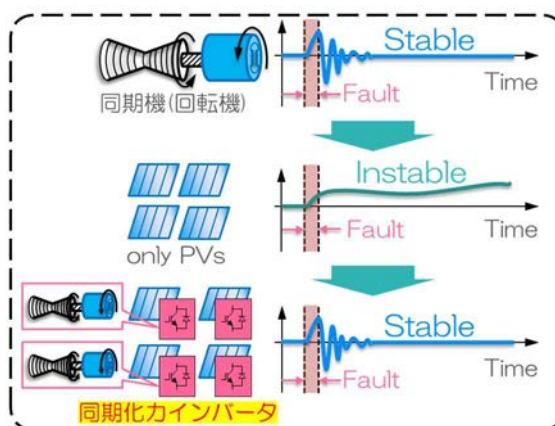


図 2.1.1.15 同期化力インバータの開発(HARPS)

図 2.1.1.16 は、レトロフィット制御を実現するためにどうするかという研究である。風力発電が増えた場合、慣性力の課題は太陽光ほどではないが、ダンピングが低下する。風力発電のインバータの中にある特殊なコントローラを組み込むと全体的な系に対

して悪さをしない。同期化カインバータも同じことが言える。特殊な機能を組み込むことが、太陽光を 300GW 入れるのに対しても有効と言えるのではないと思われる。

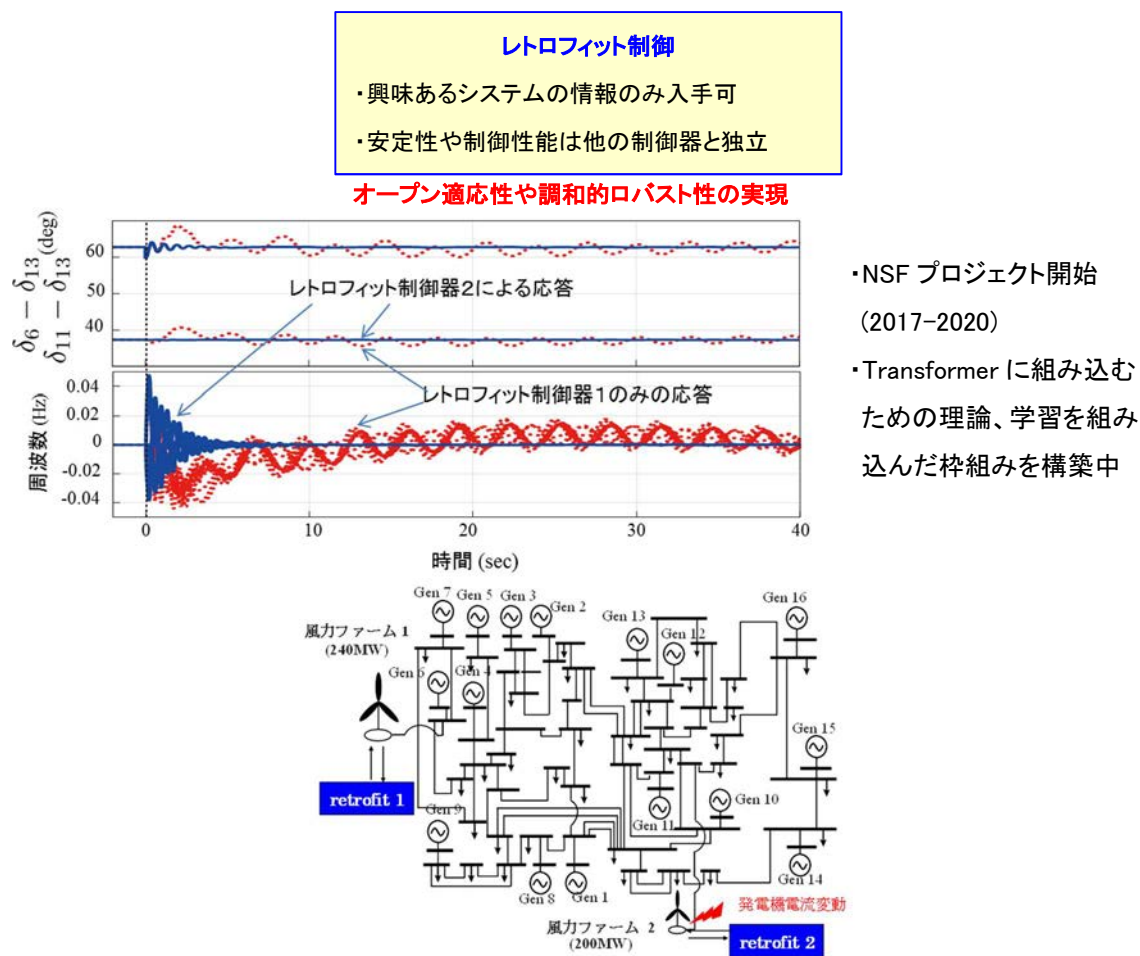


図 2.1.1.16 レトロフィット PSS

(g) シミュレーション

検討の過程でいろいろなシミュレーションを行う必要がある。実系統のデータは得にくいので、電気学会の東日本標準モデル (EAST30) を使い、いろいろな想定に基づいてシミュレーションを行っている (図 2.1.1.17)。

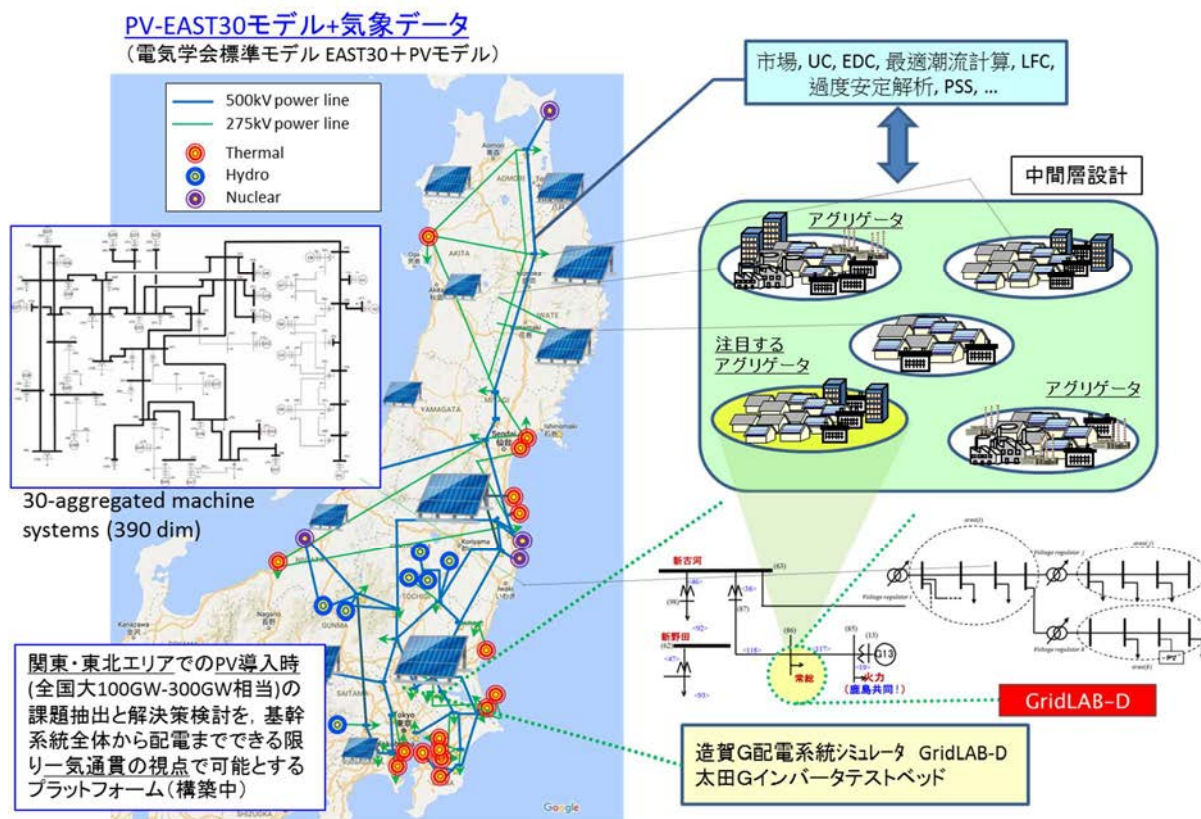


図 2.1.1.17 次世代電力系統研究用プラットフォームの構築(HARPS)

図 2.1.1.18 に課題をまとめた。

まず、太陽光発電予測については大外れが問題であり、信頼度付き予測という手法を使う必要がある。次に **System of Systems** として捉えた場合、図中の CPVN はネットワーク構造をシステムとして捉えるのではなく、機能を軸としたネットワークとして捉えるべき。横のネットワークと縦のネットワークの 2 つを考えなければいけない。中心が集配層である。これがどうあるべきか。予測制御層と市場層をどのように設計するかが重要である。

一方、多価値最適性に関しては、車での移動の場合、たとえば個々の価値は、それぞれの車のユーザの移動時間になる。システム全体の渋滞時間を減らすには、「あるユーザに我慢してもらおう」ということが生じ、全員が良くなるわけではない。そこをどうするかが大きな課題である。調和的ロバスト性に関しては、道路交通の場合でも、渋滞予測において予測が外れるリスクがあり、それへの対応が必要である。

需要と供給は道路交通システム者の場合も重要な概念である。オープン適性では、どのような車がシステムの要素になるかを考えねばならない。たとえば、現在は人が運転する車だが、いずれは自動運転車になる。その割合が五分五分になる場合などを考え、

渋滞が減るとかエネルギーが減るとか、常に変化・進化しつづけるシステムに対応する技術を System of Systems の中で考えなくてはならない。

・予測技術の高度化

- ・大外れ対応⇒信頼度付区間予測, 衛星データによる局所予測

・Cyber-Physical-Valuable-Network System (CPVN)

- ・運用者⇔**集配層**⇔ユーザー層
- ・物理層⇔**予測・制御層**⇔**市場層**⇔価値層

・システムが有すべき要件

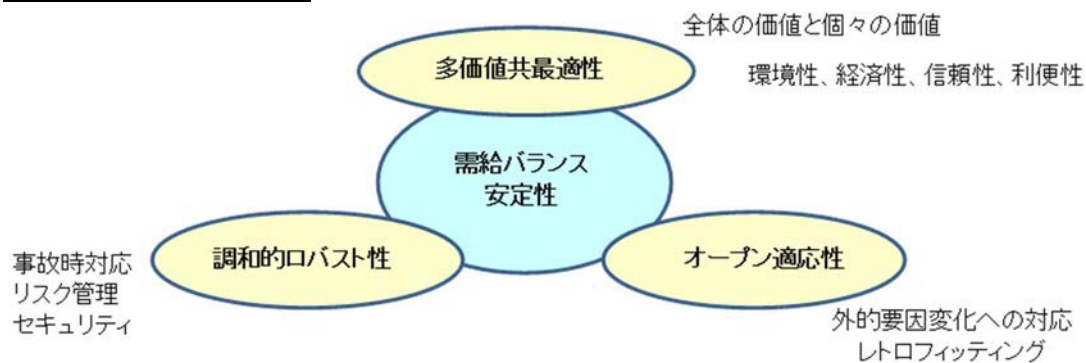


図 2.1.1.18 調和型エネルギー社会に向けた今後の課題

(2) 実現に必要な課題とその対策

a. 顕在化している問題点とその対策

再生可能エネルギーの導入拡大に伴って顕在化している、または顕在化しつつある課題を表 2.2.1 にまとめた。また、表 2.2.1 に示した課題に対する対応策を表 2.2.2 にまとめた。

表 2.2.1 再生可能エネルギーの導入拡大に伴う電力系統側の課題

	問題	現在	将来の姿の例
①	電圧変動	PV が原因の電圧変動が顕在化しており、PV 導入のネックの一つに。 配電線の太線化、SVR・SVC の設置等の対策が進められている。	対策（太線化、SVR・SVC の設置等）が継続される。 配電電圧の昇圧（6 千 V→2 万 V）が一部地域で実施される。
②	送電容量不足	送電容量不足が顕在化しており、再エネ導入のネックの一つに。 送電網の増強が進められている。	送電網の増強が継続される。 ネックとなる地点への電力貯蔵設置も実施される。
③	周波数変動	問題は顕在化していない（周波数維持は最優先されるため）	周波数調整電源が化石燃料火力から蓄電池や水素燃料火力へ代替される。 EV 等の需要機器も周波数調整の一翼を担う（VPP の一種）。
④	需給バランス	送配電会社 10 社のうち 7 社が、無対策の変動再エネの接続量を制限。 九州電力管内で再エネ出力制御。 火力の出力変化の頻度・幅が増大。	全国計で見て太陽光発電の潜在出力が需要を大きく上回る。 再エネ出力制御、需要のシフト・増加、電力貯蔵、水素・熱への変換等に対応。地域間連系線の増強により広域融通が増加。こうした対策とセットで再エネ接続可能量が増加する。

表 2.2.2 課題に対する対応策

	対 策	対策箇所	対応する課題		
			需給バランス	送配電容量	電圧変動
①	火力発電の柔軟性向上	火力発電	○		
②	変動再エネの出力制御	再エネ電源	○	○	○
③	変動再エネの発電量予測	再エネ電源	○		
④-1	送配電網の増強	送配電		○	○
④-2	地域間連系線の活用・増強	送配電	○		
⑤	デマンドレスポンス、VPP、V2G	主に需要	○	○	○
⑥	電力貯蔵（揚水発電含む）	発電～送配電～需要まで 全ての可能性	○	○	○
⑦	エネルギー変換（水素等への変換）	発電～送配電～需要まで 全ての可能性	○	○	○

(a) 電圧変動

配電系統における電圧変動に関しては、配電線の太線化（容量増）や SVR・SVC の設置がすでに実施されており、今後も継続される。また、一部地域では配電電圧の昇圧（6 千 V→2 万 V）が行われ、配電線への再エネ接続可能量の増加に寄与している。

一方、需要側の対策として、スマートインバータ適用や EV の充放電制御があり、現時点では実用設備としては実証のレベルであるが、今後の技術開発に伴って実施され、系統側対策とも併せた総合的な負担軽減に寄与する。

(b) 送配電容量

送配電容量の不足による太陽光発電や風力発電の接続待機は既に全国各所で発生している。例を図 2.1.2.7 に示す。送配電容量不足に関しては、送配電網の増強が第一義的な対策となり、技術的課題は少ない。

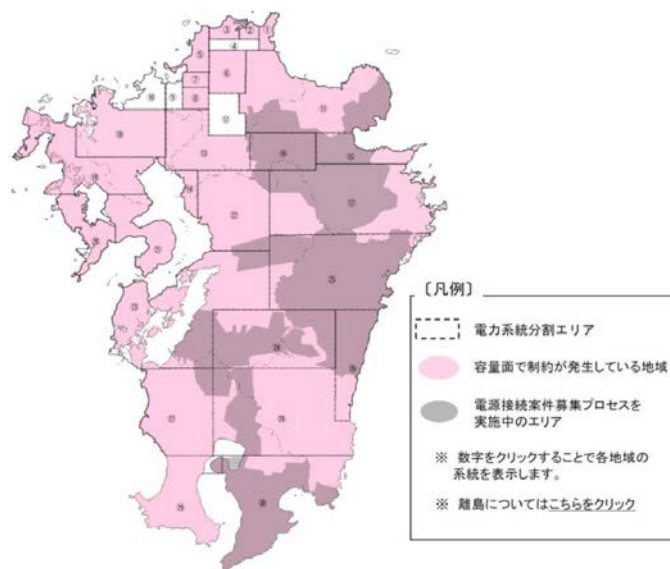


図 2.1.2.7 2018 年時点でのイメージ

出典：http://www.kyuden.co.jp/library/pdf/company/liberal/map/renkeimap_190322.pdf

新しい対策として、日本版コネクト&マネージという手法が取り入れられ、設備増強なしに太陽光発電や風力発電の連系可能量が増加した地域がある。

さらに新しい対策として、電力貯蔵設備の設置がある。北海道北部風力送電(株)では北海道北部において風力発電のための送電設備を新規建設する計画を進めており、その際、蓄電池設備を併設して、送電設備容量の節約を図っている。

項目	計画
送電網整備エリア	稚内恵北開閉所～北海道電力設備（中川町） （開源開閉所－北豊富変電所間含み 77.8km）
送電線仕様	187kV 2 回線 70.2km（予定） 66kV 2 回線 7.6km（予定）
変電所／開閉所 仕様	稚内恵北開閉所(新設): 66kV 開源開閉所 (新設): 66kV 北豊富変電所 (新設):187kV/66kV (465MVA)
蓄電池システム	240MW／720MWh（リチウムイオン電池）
総事業費	約 1,000 億円
風力発電所 総連系定格容量	約 600MW（予定） （出力抑制システム等の導入を前提）
系統連系可能容量	約 300MW



図 2.1.2.8 北海道北部風力送電(株)の事例

出典：公開シンポジウム「道北地区における風力発電のための送電網整備実証事業」

(c) 周波数変動

問題は顕在化していない

(d) 需給バランス

中長期的には、需給バランスの問題が最も重要になってくると考えられる。需給バランスの対策技術を表 2.2.3 のように整理した。また、各対策のコスト、効果、環境影響の観点からの評価を表 2.2.4 のように整理した。個々の対策詳細は付録で紹介する。

表 2.2.3 需給バランスの対策技術

	対 策	状 況	現状	将来*
①	火力発電の柔軟性向上	最低負荷運転、1 日 2 回の起動停止といった、従来備えている機能の範囲内での運用は既に実施。最低負荷レベルの更なる低減、負荷追従性の向上等、設備改造が必要な運用までは踏み込んでいない。ガスタービン発電の柔軟性向上に関する NEDO プロ 2018 年開始。	△	△
②	変動再エネの出力制御	国内本土系統では 2018 年秋に初めて実施。 欧米では頻繁に実施されている。	○	○
③	変動再エネの発電量予測	系統運用者は既に活用している。予測精度向上の研究も進行中。	◎	◎
④-2	地域間連系線の活用・増強	供給信頼性の維持を前提に、連系線活用の検討が進められている。北本連系線や周波数変換所の増強も検討課題として認識されている。	△	○
⑤	デマンドレスポンス、VPP、V2G	DR は一部実用化。VPP、V2G は実証試験中。	△	○
⑥	電力貯蔵(揚水発電含む)	揚水発電は実用設備多数。頻繁に使用されている。 再エネ併設蓄電池は数カ所で実用化。 系統用蓄電池は数万 kW 級設備で実証試験中。	◎(揚水) △	◎
⑦	エネルギー変換(水素等への変換)	構想もしくは小規模な運転試験の段階	×	◎

表 2.2.4 需給バランスの対策技術のコスト、効果、環境影響の観点からの整理

	対 策	再エネ導入拡大に対する「効果」	対策実施に伴う「費用」	対策実施に伴う「環境影響」
①	火力発電の柔軟性向上	同期化力の供給維持 効果は量的に限られる	火力発電を低効率で運用 設備改造が必要となる場合も	排気ガス (CO ₂ 含む) の排出
②	変動再エネの出力制御	余剰時のみ効果あり (再エネ出力不足には効果無し)	通信システムの整備と運用に係る 費用、逸失電力	なし
③	変動再エネの発電量予測	他の対策発動を最小限に 抑えるという間接的な効果	観測網の整備費用	なし
④-2	地域間連系線の活用・増強	連系が増強される双方の 状況に依存	連系線建設費用	運転時の影響は小さい 設備建設、廃棄に伴う影響
⑤	デマンドレスポンス、VPP、V2G	DR は量的に限られる V2G の潜在量大	通信システムの整備と運用に係る 費用、需要設備の運転費用	使用する需要設備に依存
⑥	電力貯蔵 (揚水発電含む)	潜在量大、立地場所があれば、 いくらでも増やせる	設備建設費用 充放電による損失	運転時の影響は小さい 設備建設、廃棄に伴う影響
⑦	エネルギー変換 (水素等への変換)	潜在量大 特に大量のエネルギーを扱う 場合に有利	設備建設費用 エネルギー変換による損失	運転時の影響は小さい 設備建設、廃棄に伴う影響

2.2 海外の CO₂ フリーエネルギーの導入

(1) 背景

資料発表日：2019 年 3 月 28 日 第 3 回エネルギーマネジメント研究会
発表者：塩沢 文朗戦略コーディネーター
資料名：エネルギーキャリアによる水素エネルギーの導入とその規模、コスト、タイミング等について
本報告書の図の出典は第 3 回研究会資料 4-1

【再エネの大量導入の必要性】

日本は現在、一次エネルギー供給の 90%を化石燃料に依存している。今後、省エネの進展、人口の減少などエネルギー需要が減少する要因はあるものの、電化の一層の進展によって一次エネルギー需要量は増大していくと予想されているので、2050 年の日本の一次エネルギーの需要量は現状レベルとあまり変わらないと考えられている。

従って化石燃料への依存を大幅に減らさない限り、2050 年に CO₂ 排出を 80%削減することはできない。一次エネルギーは化石燃料、原子力、そして再エネから成る。それ以外のエネルギーはないので、化石燃料依存を CO₂ 排出 80%減の規模で大幅に減らすためには原子力か再エネの導入を大幅に増やすことが必要となる。しかし原子力は、現在建設中または停止している原子力発電所（以下、原発）が稼働または再稼働したとしても、設備寿命により 2050 年には原発の設備能力は大きく減少する。原発をめぐる厳しい世論に大きな変化が起きて、その建て替えや新設が進むようにならない限り、2050 年に向けて原子力エネルギーが一次エネルギー供給で担う役割が減少することは避けられない。

可能性としては、CCS（二酸化炭素の貯留）によって化石燃料の使用から大気中に排出される CO₂ を削減するという方策があり得るが、日本国内で経済性が成り立つ形で CCS を建設、運営できる見通しは立っていない。こうしたことから、エネルギーを必要量確保しつつ化石燃料への依存を大幅に減らすためには、再エネの大量導入が不可欠となる。

【再エネの大量導入手段としての水素エネルギーの重要性】

再エネの導入には 2 つの方法がある。1 つは国内に貯存する再エネ資源の利用、もう 1 つは、再エネ資源に恵まれている海外から安価な再エネを水素エネルギーの形で日本に運び、利用する方法である。資源の貯存量だけで言えば、国内にも再エネ資源は相当量存在する。しかし、エネルギーはそのコストが重要である。コストを度外視したエネルギーに関する議論はあり得ない。経済や国民生活に大きな負担を強いることなく導入できる国内の再エネ量は限られている。

このような理由で、海外からの安価な再エネの大量導入手段としての水素エネルギーが重要となる。特に日本は、欧州諸国と異なり再エネ資源の豊富な国や地域との間には、

送電線やパイプラインが整備されていないので、再エネをそれらによって大量に輸送することはできない。そのため水素エネルギーを大量に運ぶ手段としてのエネルギーキャリアが重要となる。

【再エネの大量導入に係る選択肢】

日本の化石燃料消費構造を見ると、およそ半分が発電等のエネルギー・転換部門で消費されている。そこで、電力分野の脱炭素化を例にとって、それを進めるために今、日本が今後対応しなければならないことを考察する。



図 2.2.1.1 日本の化石燃料の消費構造

2030 年の電源構成目標は、第 5 次エネルギー基本計画のベースとなった平成 27 年の長期エネルギー需給見通しで示されている。それによると 2030 年の電源構成の再エネ比率 22～24%の内数として、太陽光は電源構成の 7%とされていて、このために必要となる太陽光発電の設備容量は 64GW となる。現時点では 40GW の設備が導入され、90GW 分の設備容量について FIT の認可が下りている。しかし、FIT のインセンティブが削減されていることなどから、2030 年までに 64GW の太陽光の導入目標が達成可能かどうかは必ずしも明らかではない。

一方、海外の安価な再エネを水素エネルギーに変換して導入するために、水素エネルギーの大量輸送、貯蔵手段としてのエネルギーキャリアの開発、導入、利用技術開発が内閣府の SIP「エネルギーキャリア」で進められている。

2030 年以降の電源構成の見通しについては、現在は確たるものがない。2050 年の CO₂ 排出 80%削減を達成するために、再エネを大量に導入していかなければならないことは上述のとおりだが、国内再エネの導入拡大、水素エネルギーによる海外からの再エネ導入をどのように進めていくのかは、それらのコストと導入可能量によるだろう。

【水素エネルギーの導入目標】

水素エネルギーについては、政府が策定した「水素基本戦略」（2017 年 12 月）でその目標値が示されている。2030 年には、水素コスト 30 円/Nm³-H₂で 30 万トン-H₂、「将来」は水素コスト 20 円/Nm³-H₂で 500～1,000 万トン-H₂とされていて、ここの「将来」は 2050 年と考えられる。（図 2.2.1.3 参照）

なお、この水素の目標コストは、水素で発電される電力コストの目標：2030 年で 17 円/kWh、2050 年頃で 12 円/kWh から計算されたものである。この水素量で発電可能な電力量は、それぞれ 2030 年に約 55 億 kWh（総発電量の約 0.5%）、2050 年頃には 900～1,800 億 kWh（総発電量の 10～20%）となる。

一方、国内再エネについては、太陽光、風力発電コストについて、それぞれ目標値はある（太陽光は 2020 年、14 円/kWh：2030 年、7 円/kWh、風力は 2030 年、8～9 円/kWh）ものの、国内再エネの導入にあたっては系統の調整力の強化／負担軽減を図るための対策を併せて講じる必要があり、蓄電池等の蓄電装置の導入が必要となるが、それを含めたコストは明らかになってはいない。蓄電池の価格については、現状の 36 万円/kWh に対して、2020 年度の目標価格 15 万円/kWh は掲げられているが、それ以降の価格見通しは現段階ではない。

水素エネルギーについては、火力発電の燃料となるので、国内再エネの利用拡大の際に課題となる調整力の不足の問題が生じることはない。

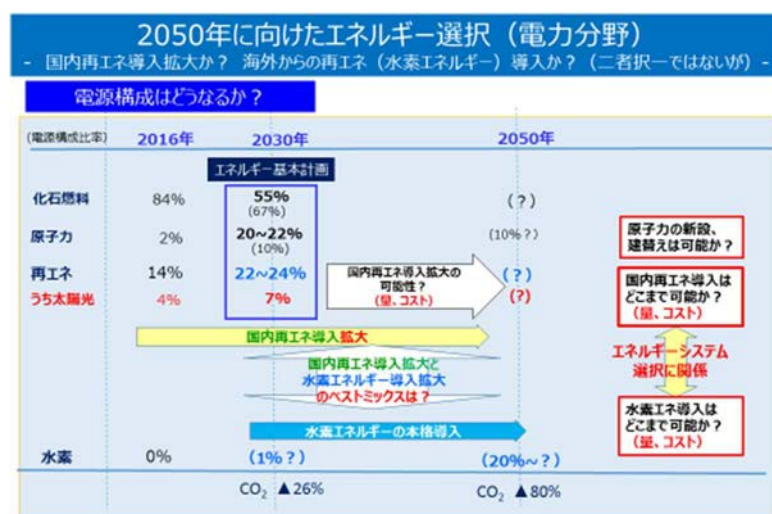


図 2.2.1.2 2050 年に向けたエネルギー選択（電力分野）
（評価指標：適用分野）



図 2.2.1.3 水素基本戦略

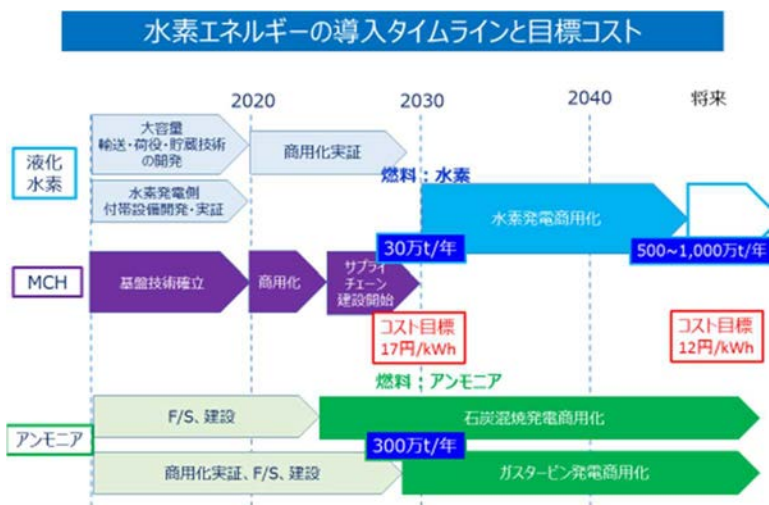


図 2.2.1.4 水素エネルギーの導入タイムラインと目標コスト
(評価指標：適用に要するコスト、導入時期)

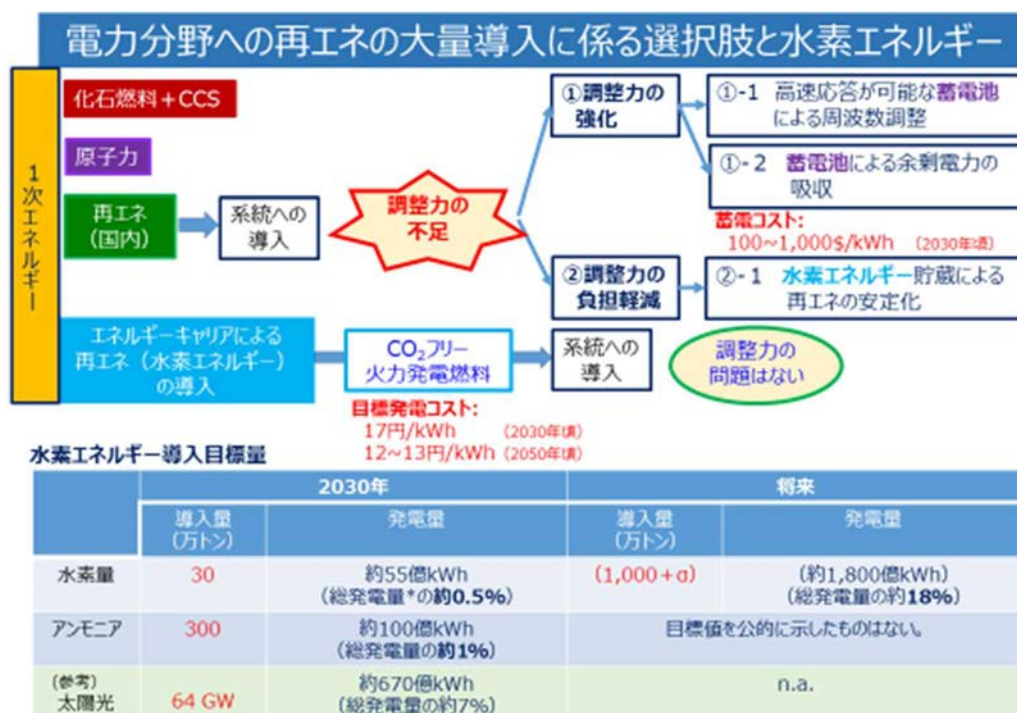


図 2.2.1.5 電力分野への再エネの大量導入に係る選択肢と水素エネルギー
(評価指標：問題解決に寄与する規模)

【再エネの大量導入に向けて明らかにすべきこと】

将来のエネルギーシステムにおける電力分野への再エネの大量導入方策について考える場合、このような方策ごとの導入可能量のスケール、技術可能性、コスト等に大きな不透明性があり、合理的な電力分野への再エネの大量導入に係る将来展望をしていくために、今後、このような点について可能な限り明らかにしていく必要がある。

【水素エネルギーの大量導入に向けた政府の取組み ―SIP「エネルギーキャリア」―】

次に、水素エネルギーの大量導入の方策とその経済性に関する検討状況を記す。

水素を海外から運ぶキャリアとして、SIP「エネルギーキャリア」では、液化水素 (LH₂)、有機ハイドライド (MCH)、アンモニア (NH₃) が取り上げられている。

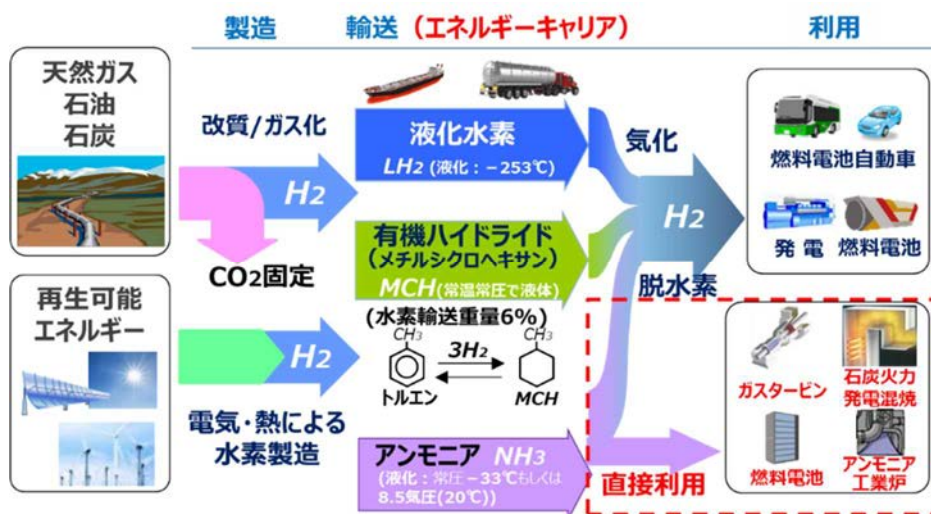
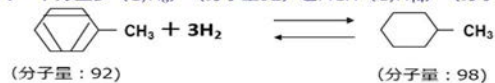


図 2.2.1.6 エネルギーキャリア

各エネルギーキャリアの物性値及び物性に起因する特性を図 2.2.1.7 と図 2.2.1.8 に紹介する。

エネルギーキャリアの種類と物性					
	水素含有率 (重量%)	水素密度 (kg-H ₂ /m ³)	沸点 (°C)	水素放出 エンタルピー 変化* (kJ/molH ₂)	その他の特性**
液化アンモニア	17.8	121	-33.4	30.6	急性毒性、腐食性
有機ハイドライド (MCH: メチル シクロヘキサン)	6.16	47.3	101	67.5	引火性、刺激性
液化水素	100	70.8	-253	0.899	強引火性、強可燃性、爆 発性

* : MCH : トルエン (C₇H₈) (分子量92) とMCH (C₇H₁₄) (分子量98) の水素分子の差により水素を運ぶ



* 水素放出エンタルピー変化: 水素を取り出す際に必要となるエネルギー。

** 「その他の特性」の記載事項は、MSDSの「危険有害性情報」のサマリーから引用。各物質の正確な特性については、それぞれの物質のMSDSを参照のこと。

図 2.2.1.7 エネルギーキャリアの種類と物性

物性に起因する各エネルギーキャリアの特徴

	水素密度	必要な インフラ	用途	利用技術開発の状況 特徴 課題	物性に起因する重要事項
液化水素	体積：70.8kg/m ³ 重量：100% ・-253℃まで冷却することにより 気体水素の1/800の容積で 同重量の水素の輸送・貯蔵が可能	液化水素用の インフラが必要	発電 水素ST	水素30vol% の混焼は実証 専焼は開発中 精製不要。 輸送量増で圧縮水素より経済性向上	・小規模では実用化済。 ・高圧化のエネルギー小。 ・液化の際、水素の有する約12%(理論値)のエネルギーが必要。(現状では30%以上必要) ・LNGよりも低い-253℃の極低温での取扱い必要。 ・ボイルオフによる損失対策が必要。 ・新規インフラが必要。
MCH	体積：47.3kg/m ³ 重量：6.2% ・常温で液体。 気体水素の1/500の容積で、 同重量の水素の輸送・貯蔵が可能	ガソリン用のインフラの利用が可能	発電 水素ST	水素30vol% の混焼は実証 液化水素と同じ 輸送距離増で圧縮水素より経済性向上	・常温で液体。 ・ガソリンのインフラが利用可能。 ・脱水素に比較的大きなエネルギー必要。 MCHが運べる水素エネルギーの約28%(理論値)のエネルギーが必要。 ・重量/体積水素密度が小さく、トルエンの貯蔵も必要となるので、貯蔵施設等のインフラが大きくなりがち。
アンモニア	体積：121kg/m ³ 重量：17.8% ・-33℃又は8.5atm (LPGとほぼ同じ) で 1/1,350(≈33℃) or 1/1,200(8.5atm) の容積のアンモニアで同重量の水素の輸送・貯蔵が可能	アンモニアの輸送・貯蔵インフラ存在 また、LPGと同様のインフラ技術の利用が可能	発電 水素ST	脱水素不要 石炭混焼が可能 20%ガスタービン混焼実証 石炭混焼技術にメド 脱水素により、対応は可能 脱水素+精製が必要	・輸送、貯蔵インフラが存在。 ・LPGと同様の取扱いが可能。 ・急性毒性、刺激臭がある。 ・脱水素する場合には、脱水素にエネルギーが必要。 アンモニアの運べる水素エネルギーの約13%(理論値)のエネルギーが必要。

図 2.2.1.8 エネルギーキャリアの特徴

3通りのキャリアについて、価格目標値とそれぞれのチェーンを下に示す。

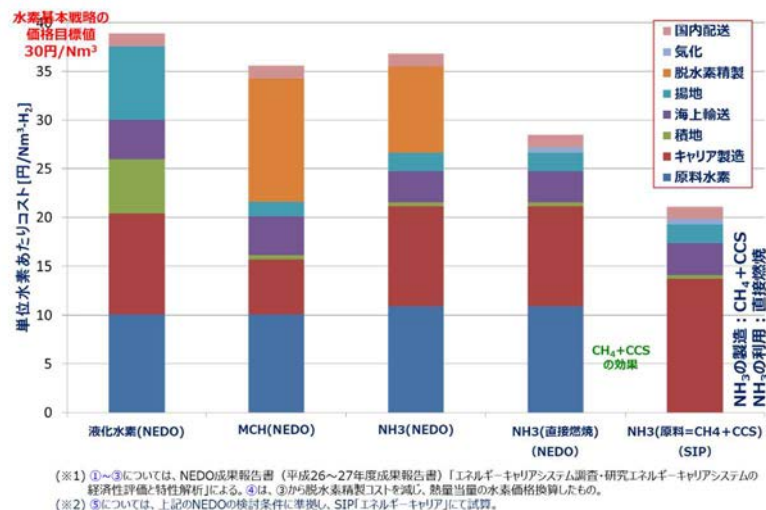


図 2.2.1.9 エネルギーキャリア別、水素コスト比較

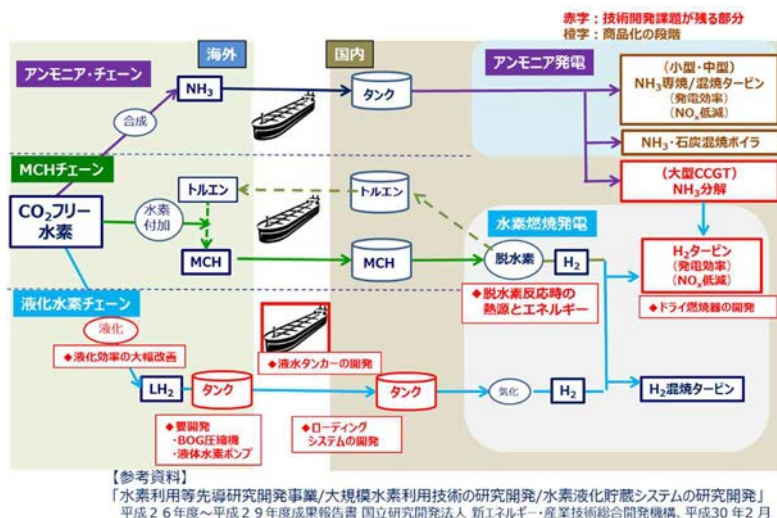


図 2.2.1.10 発電分野への供給チェーン

本報告書では、SIP「エネルギーキャリア」での研究開発において成果を挙げたアンモニア（以下、 NH_3 ）について成果と社会実装に向けた取り組みを記す。

NH_3 は体積当たりの水素密度が3つのエネルギーキャリアの中で最も大きく、輸送・貯蔵インフラが比較的小さな規模で済む。また液化条件（常圧下で -33°C 、常温なら8.5気圧）は比較的マイルドである。 NH_3 の大規模なサプライチェーンは国際的に既に確立・実用化に供されている。毎年、約1,800万トンが国際的に流通しており、大量輸送や貯蔵に係る技術的問題はない。

さらに NH_3 は水素エネルギーキャリアの基本的要件を具備しているだけでなく、 NH_3 自体がそのまま CO_2 フリー燃料として使えることが、SIP「エネルギーキャリア」の研究開発により明らかにされた。つまり NH_3 は水素エネルギーのキャリアであるとともに CO_2 フリー燃料として使えることが明らかにされたのである。 NH_3 はその分子式が示すように燃焼時に CO_2 を排出しないが、 NH_3 を燃料として使用することに課題があるとされていた。

これら懸念についてはSIP「エネルギーキャリア」によって、 NH_3 は安定燃焼が可能なこと、 NH_3 中のNに起因する NO_x の排出は NH_3 の燃焼場への供給方法によってコントロールが可能なこと等が確認され、 NH_3 を燃料とするガスタービン・エンジン、石炭混焼ボイラー、工業炉の開発に繋がった。

具体的には、 NH_3 の直接利用技術開発の成果として、発電用ガスタービンについては50kW、300kWのガスタービンが100% NH_3 燃料で、2MWガスタービンが（熱量ベースで） NH_3 の20%混焼で、安定に発電が可能であり、また、 NO_x の排出も通常の脱硝装置で規制値以下に抑えられることが確認された。現在、それらの成果をもとに、大型ガスタービンへの適用の研究が行われている。

微粉炭発電ボイラーについては、電中研での基礎的な研究成果をもとに、中国電力（株）水島火力発電所 2 号機での石炭との混焼発電実証が実施され、石炭火力発電において「脱硝装置等の改造を不要とし、既存設備を最大限利用のもと低コストで CO₂ 排出削減を可能とする技術」と評価されている。

工業炉では、NO_x 発生抑制、火炎輻射伝熱強化という課題を克服して工業炉実用規模である 100kW 燃焼炉の実証が進んでいる。それらの成果は、図 2.2.1.11～図 2.2.1.13 でまとめておく。



図 2.2.1.11 アンモニア直接利用技術開発の成果①

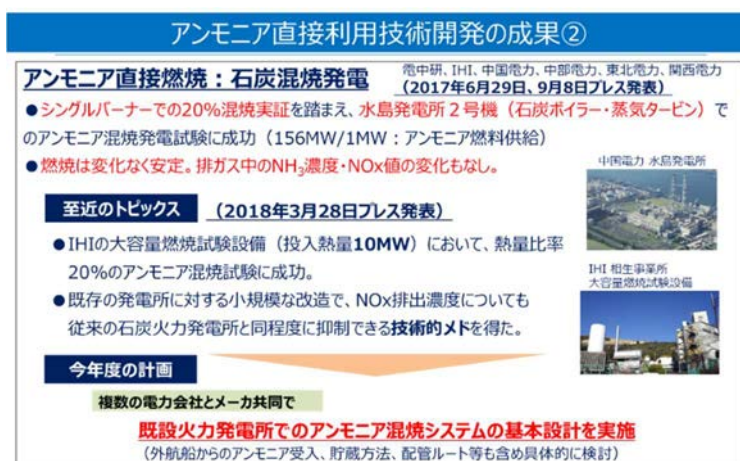


図 2.2.1.12 アンモニア直接利用技術開発の成果②

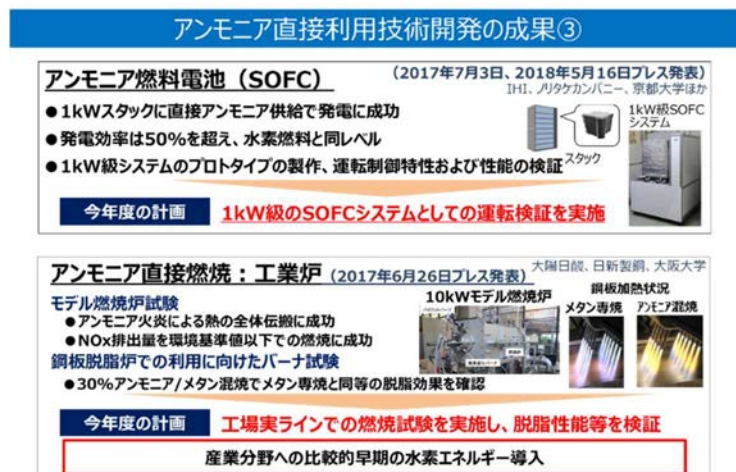


図 2.2.1.13 アンモニア直接利用技術開発の成果③

こうした NH₃ の直接利用技術の開発の成果により、NH₃ を直接燃料、または、水素キャリアとするエネルギーバリューチェーンの構築の可能性が大きく開けた。

【CO₂ フリーNH₃ のバリューチェーン構築の技術的可能性】

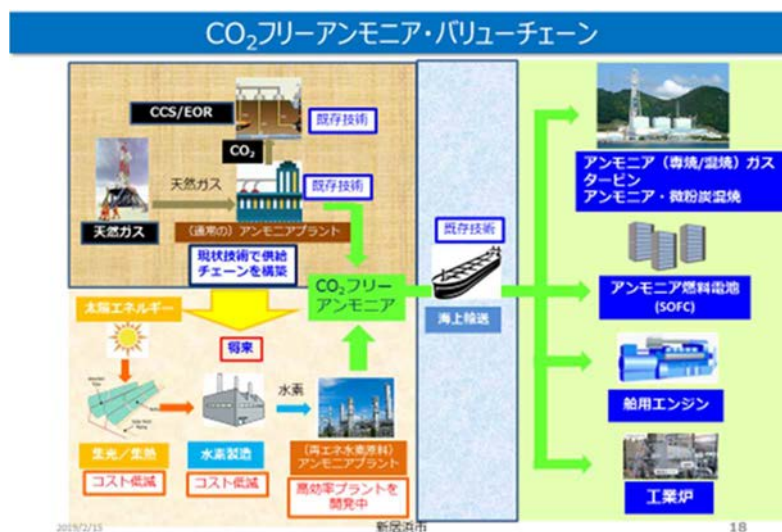


図 2.2.1.14 CO₂ フリーNH₃ のバリューチェーン

周知のとおり NH₃ の輸送、貯蔵技術は確立し、そのインフラも存在する。実際、NH₃ は世界で年間 1.8 億トンが製造され、1,800 万トンが国際間で流通している。

NH₃ の製造技術も上述のとおり工業的に確立している。現在、NH₃ の製造技術の主流となっているのは、天然ガスを原料とする製造プロセスで、そのプロセスでは天然ガスから NH₃ の原料の一つの水素を作る過程で CO₂ を排出する。(なお、もう一つの原料の窒素は空気から得る。) このため、CO₂ フリーNH₃ とするためには、天然ガスから

NH₃を製造する過程で排出されるCO₂をCCS/EORで貯留する必要があるが、海外ではこの技術も既に商用化されている。

現在では、まだ、再エネを用いて製造される水素の製造コストが高いため、当面はこの天然ガスからのCCS/EORを利用したCO₂フリーNH₃が安価であり、利用の主流となると考えられるが、再エネコストや、電解装置のコストが、近年急激に低下していることから、近い将来は、(図2.2.1.15)の左下からのCO₂フリーNH₃の供給も本格化すると考えられる。

こうしたことと、前述のNH₃の直接利用技術の進展を見るならば、エネルギーとしてのCO₂フリーNH₃のバリューチェーンの実現は、技術的には、もはや大きな課題がないことが分かる。

【CO₂フリーNH₃の経済性】

CO₂フリーNH₃は、コスト的にも優れていることが明らかにされている。

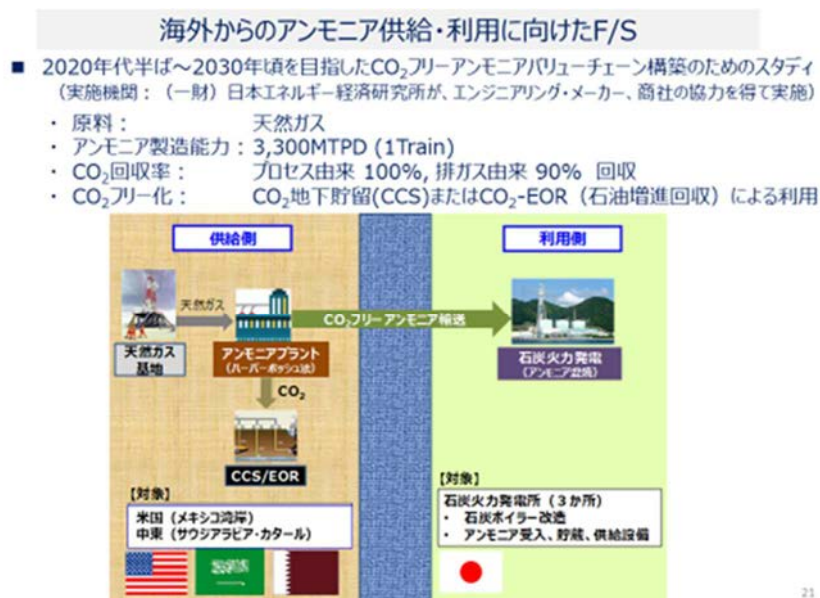


図 2.2.1.15 海外からのCO₂フリーNH₃供給に係るF/Sの概要

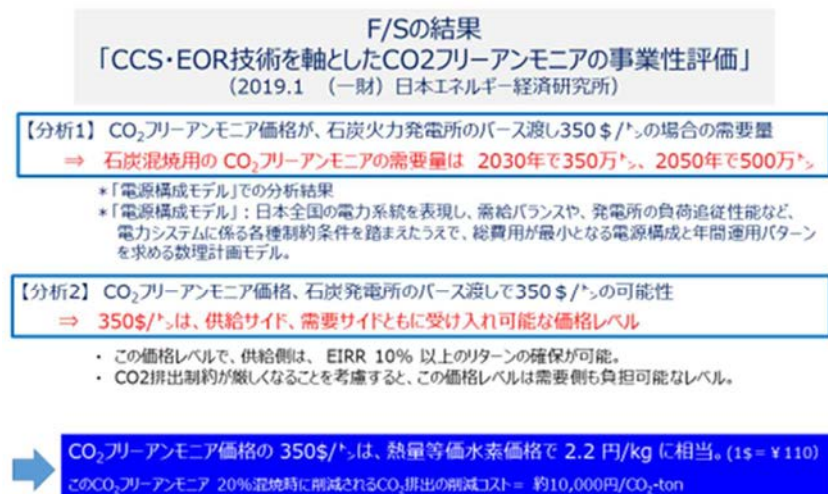


図 2.2.1.16 海外からの CO₂ フリーNH₃ 供給に係る F/S の結果概要

SIP「エネルギーキャリア」の一環で行われた天然ガスを原料とし、CCS/EOR を利用して海外で製造された CO₂ フリーNH₃ が、どれほどの価格で利用サイドの火力発電所で提供可能かという問題について調査分析を行った（財）日本エネルギー経済研究所の分析結果によると（この分析では製造場所として、米国、サウジアラビア、カタール、利用サイトとして、日本国内の 3 か所の石炭火力発電所を具体的に想定し、製造サイドで発生するコスト、利用サイドで発生するコスト（いずれも所要のインフラ、設備整備に要する費用を含む）、（図 2.2.1.16）に示すように、CO₂ フリーアンモニアは、現時点でも「水素基本戦略」に掲げられた将来の目標水素価格 20 円/Nm³-H₂ または 2 円/kg-H₂ をほぼ実現できる可能性が高いことが明らかにされている。

(2) 実現に必要な課題

【他のエネルギーキャリアによる水素エネルギーサプライチェーンとの比較】

こうした NH₃ をエネルギーキャリアとする水素エネルギーの導入は、そのサプライチェーンを構成する技術、設備等に係る技術課題の状況に関する分析（図 2.2.2.1）及び 各エネルギーキャリアのサプライチェーンに要するコストに関する分析（図 2.2.2.2）等からも、発電用途向けの水素エネルギーの導入方策として、他のキャリアによる場合に比して優位であると評価されている。

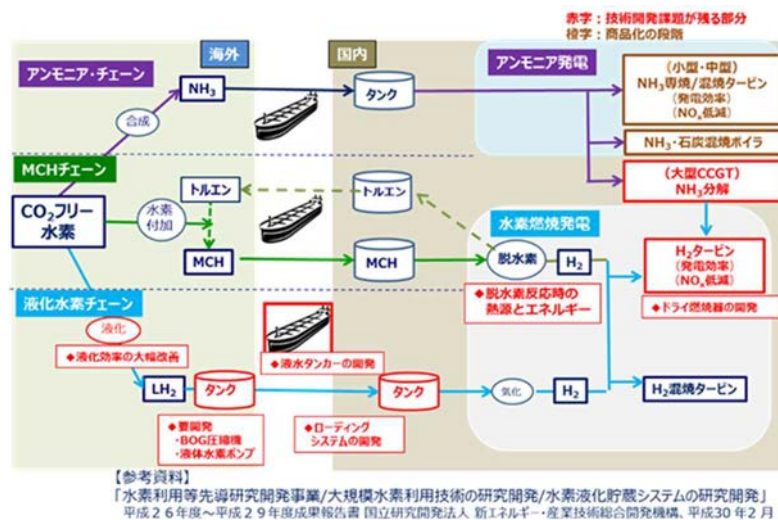


図 2.2.2.1 各水素キャリアのサプライチェーン構築のための技術課題

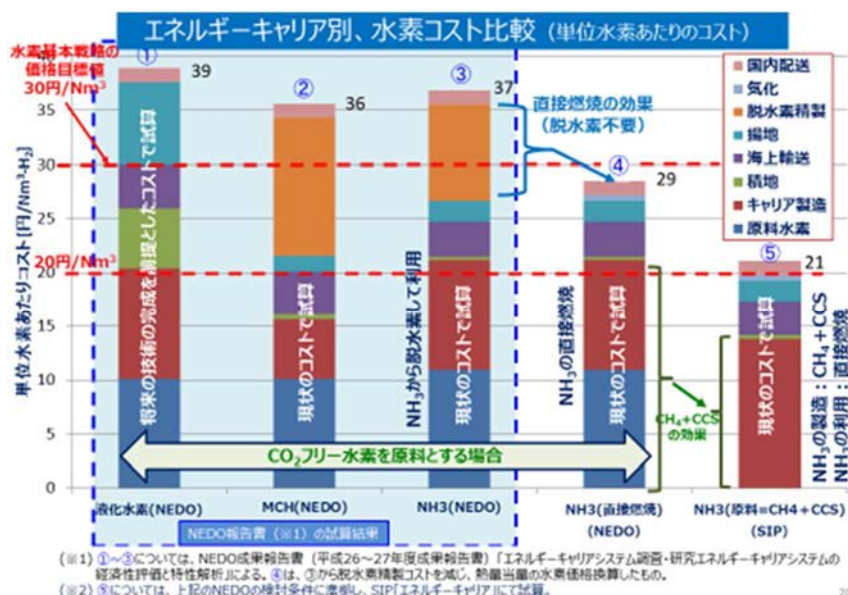


図 2.2.2.2 各水素キャリアのサプライチェーンに要するコスト

【CO₂フリーNH₃による水素エネルギー導入の実現に向けた取組み】

このように、CO₂フリーNH₃については利用技術の進展やコスト面の見通しも見えてきたことから SIP「エネルギーキャリア」に参加する企業や研究機関の中で CO₂フリーNH₃のバリューチェーン構築に関心を持つ機関によって、情報交換やサプライチェーン構築に向けた課題の特定と解決方策の検討の場が設けられ、その活動が始まっている。この取り組みは、SIP「エネルギーキャリア」終了後も、新たに一般社団法人「グリーンアンモニアコンソーシアム (GAC)」を創設し、継続されることとなっている。(GACは

2019年4月1日に設立登記され、内外企業を含む50機関程度が参加し、本格的な活動を開始しようとしている。）

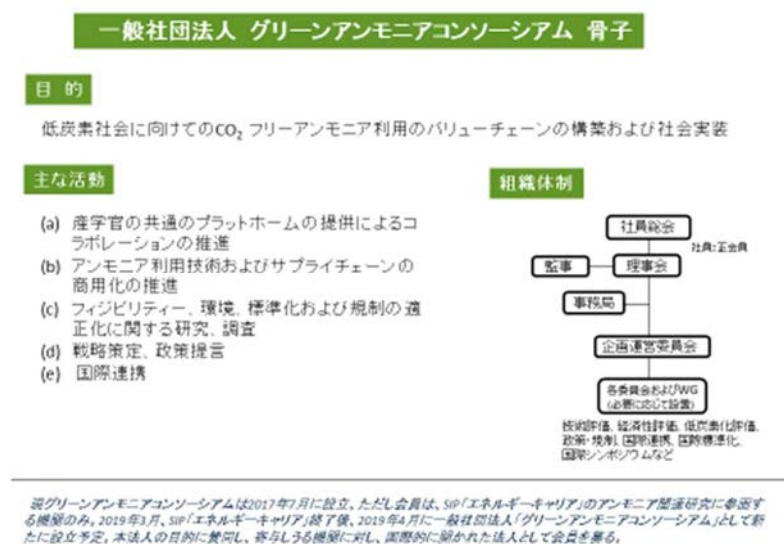


図 2.2.2.3 一般社団法人 グリーンアンモニアコンソーシアム

【CO₂フリーアンモニアの導入目標】

以上のような研究開発成果、調査分析結果から、政府はCO₂フリーNH₃による水素エネルギーの導入の社会実装は、きわめて実現性が高いものと評価し、2018年6月の閣議決定された「統合イノベーション戦略」において、水素エネルギー関連の目標として「2030年のアンモニアの導入量 300万トン」という目標を掲げている。

【今後のエネルギーシステムにおける水素エネルギーの位置づけ】

水素エネルギーに関しては、上述のように導入目標量、導入目標コストが掲げられ、その実現は手が届く可能性が大きく、かつ、その結果、水素エネルギーが日本の脱炭素化に向けて大きな役割を果たす可能性が大きいことが確認されている。

この水素エネルギーの例にみられる通り、今後のエネルギーシステムについて検討するためには、システムを構成する各技術について、以下の視点から評価分析を行い、それら技術の将来のエネルギーシステムにおける役割、位置づけ、あるいは、解決すべき技術課題、各技術の限界などを明らかにしていく必要があると考えられる。

- ① 当該エネルギー技術を構成する技術の成熟度（どのようなタイムラインで成熟し、実用化できるものか）、
- ② 当該エネルギー技術が課題解決に役立つスケール（それほどの規模のエネルギー利用の用途に適用可能な技術か）

- ③ 当該エネルギーの社会実装コスト（他のエネルギー供給手段とのコスト競争力を併せ検討することが重要である。また、これに加えて
- ④ 安全性及び環境安全性（ライフサイクル全体で評価した時、当該技術の適用は GHG 削減に寄与しているか）

という視点が重要である。

なお、ここでは言及しないが、SIP「エネルギーキャリア」では、この点についても LCA 分析（ライフサイクル分析）を行い、CO₂ フリー NH₃ のバリューチェーン構築の意義と構築の際の要留意点を明らかにしている。

第3章 地域エネルギーシステム

3.1 全体像と対象領域

地域エネルギーシステムでは、対象領域を全体像との関係から整理することから始める。

図 3.1 の全体像では全体を「電力系統」「分散電源」「運輸／交通」「産業」の4つに分類しているが、「分散電源」がこの章では対象であり、用途としては総合エネルギー統計における家庭部門と業務部門が主となる。

セクターカップリング（他の分類との融合する領域）として、以下の例がある。

- ・分散電源×電力系統 P2G（電気⇄ガス）
- ・分散電源×運輸／交通 V2B（車⇄ビル）、V2H（車⇄家）

4 つの分類に横串を刺す熱／ガス（水素）／液体燃料との接点として、メタネーションや廃熱の有効利用などがある。

内閣府が統合イノベーション戦略において、検討を開始したエネルギーに関するデータ連携基盤との接点として、AMES、BEMS、HEMS（エリア、ビル、家のエネマネ）などがある。

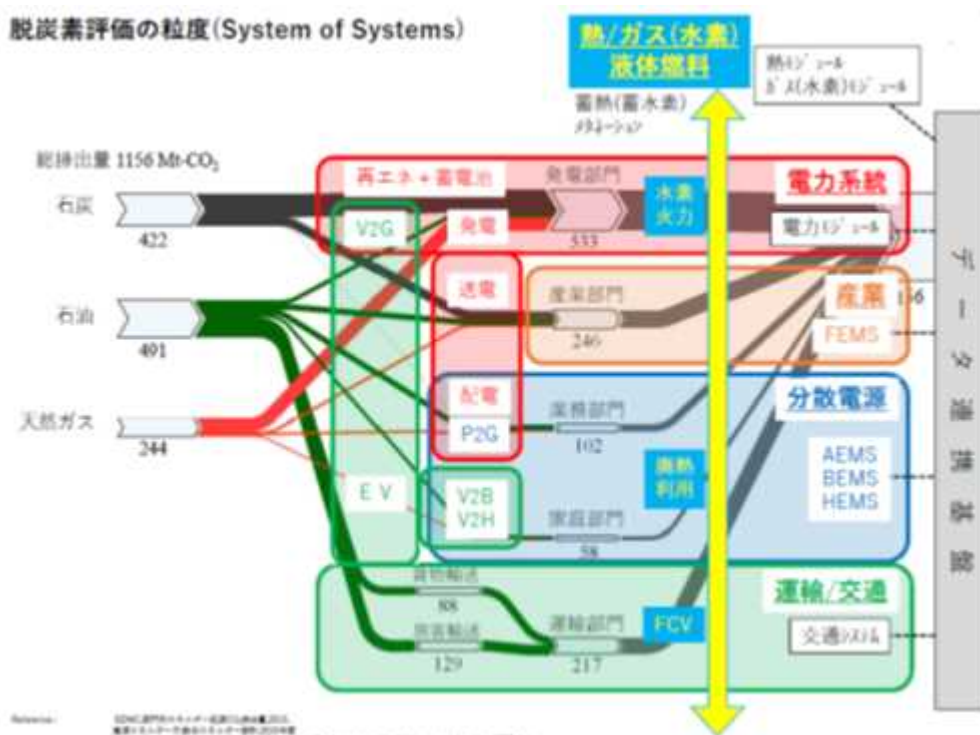


図 3.1 全体像

(1) 持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析

資料発表日：2019年1月22日 第2回エネルギーマネジメント研究会

発表者：中田委員

資料名：持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析

本報告書，図の出典は第2回研究会資料4

分散電源としての再生可能エネルギーの導入という主題に、地域エネルギー輸送、貯蔵、利用、システム（モデル分析）の観点から分析している事例として「持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析」が説明された。以下に概要を記す。

a. 対象領域

図 3.1.1 にグローバルなエネルギー社会を示す。一番大事なものは社会である。社会を中心に、ここで人が働き、生活をしている。この社会に、エネルギーで馴染みのキーワード（電力、熱、輸送用燃料）が入ってくる。システム論で言うと、資源、変換、需要家である。資源は、日本では多くのものが海外からの輸入になるが、この資源を変換する。発電所は変換になり、電力というエネルギーキャリアで需要家（社会）に入るの
で分かり易い。逆に分かりにくいものは、熱になる。

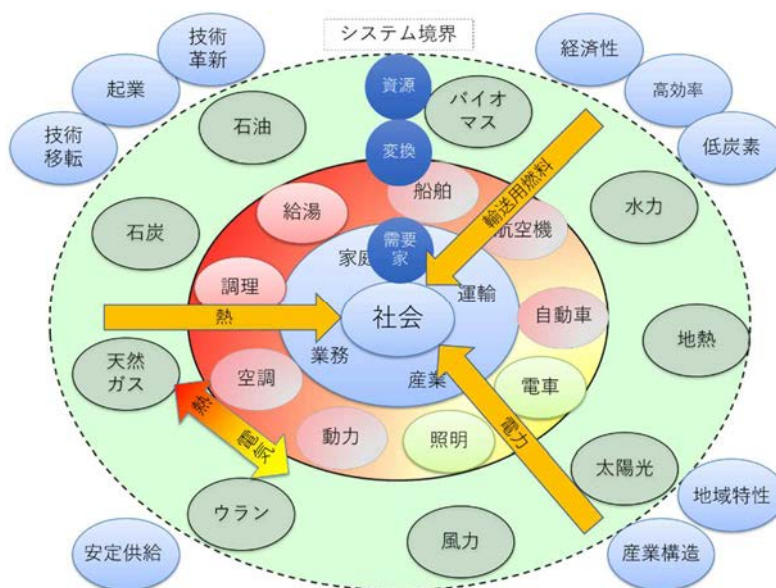


図 3.1.1 グローバルなエネルギー社会

b. エネルギーシステムの統合デザインと分析

エネルギーシステムの統合デザインと分析は5段階でみる。

(a) エネルギーシステムの俯瞰と分析：「全体を見る」

(b) 地域エネルギーシステムのデザイン：「地域を見る」

- (c) 地域システム統合のグランドデザイン：「地域をつなげて全体をつくる」
- (d) 脱炭素社会実現のための中長期デザイン：「時間軸を考える」
- (e) エビデンス等データの質と量の収集・解析：「精度を上げる」

図 3.1.2 に全体像を示す。これは一つの例である。今は「現状」しかない。本来は、一次的なエネルギーデータに基づく統計があって、これに対して様々な設計をして、最終的に国のシステムが出来ていくことになるが、実際はここしかない。下の4つのブロックはない。地方部で何かエネルギーの仕組みを変えていくことやスマートシティを考える場合、それが現状の仕組みに対してどれだけ良くなったということが全く分からないのが、現状である。今まで目を向けなかった4つの基盤を作り、その頂上に日本のエネルギーシステムが成り立つということを再認識し、この元となるエネルギーあるいはCO₂のデータ連携基盤をもう一度ゼロから作っていくことが重要である。

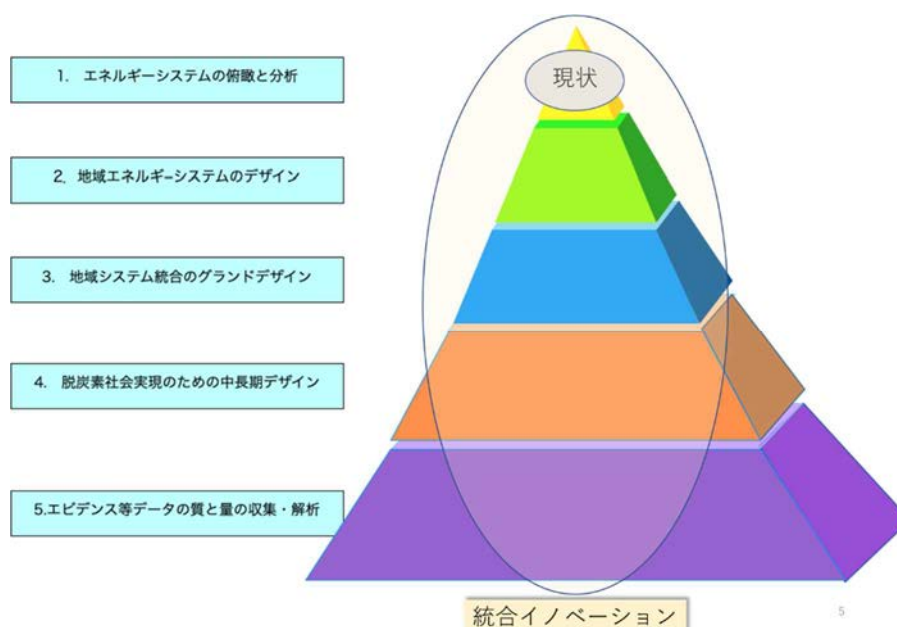


図 3.1.2 エネルギーシステムの統合デザインと分析（全体像）

(a) エネルギーシステムの俯瞰と分析

国のデータは、国をベースに作っているのので、日本全体を対象としたデータが一番容易に手に入る。以下に分析する際の構成要素と図 3.1.3 に概要を示す。

【構成要素】

- 資源・供給（サプライサイド）
- ◇エネルギー変換技術
- 需要家（デマンドサイド）
- ⇄エネルギーキャリア（電力・熱・輸送用燃料）

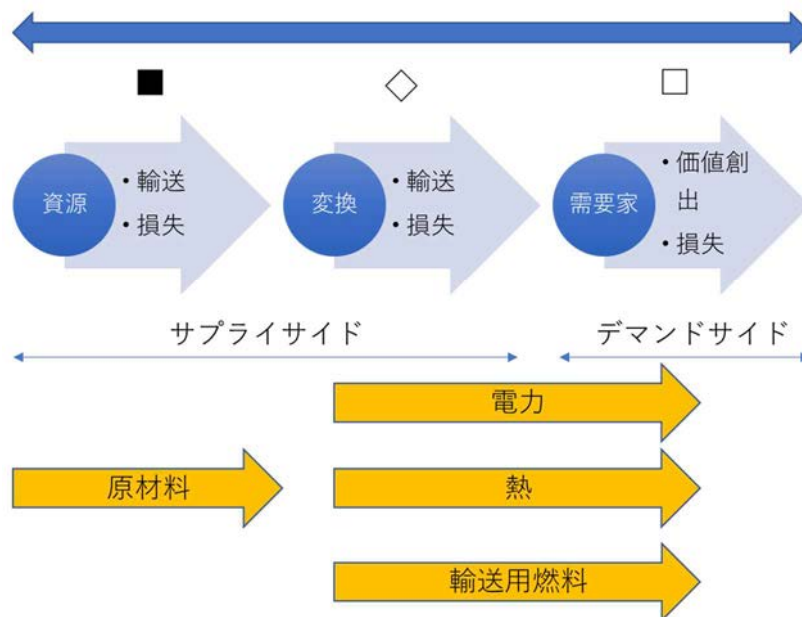


図 3.1.3 概要（エネルギーシステムの統合デザイン）

構成要素の 1 つ目が、資源・供給で、日本だと資源（原油）側になる。2 つ目がエネルギー変換技術で、資源を何に加工するかということである。そして、3 つ目はその加工した電気や熱を需要家が使う。4 つ目の矢印は、エネルギーキャリアである。

図 3.1.3 の左が供給側、右が需要側である。ここに、3 つのキャリア（電力・熱・輸送用燃料）がある。原材料は中東から来るのではなく、発電所や製油所、あるいは灯油は液体燃料の形で来て、自宅のストーブに入れて初めて熱になる。電力に比べると、キャリアと言う意識がつかみにくい。輸送原料・燃料は、特別扱いされており、自動車用の原料は、**transportation fuel** として扱っている。

図 3.1.4 にエネルギーシステムの分析例を示す。IPCC の 2014 年版の AR 5（気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 5 次評価報告書（AR5））のチャプター 7 が、エネルギーシステムというチャプターである。

左側が資源側、**Primacy Energy** が一次エネルギーで、真ん中の **Conversion Secondary Energy** が二次エネルギーである。3 つ目が、需要になる。当然エネルギーなので、最初は石炭やガスを運ぶ **transportation**、それから変換した電力やガスを、送電線やガス管あるいは石油のパイプラインで運び、需要家に行く。

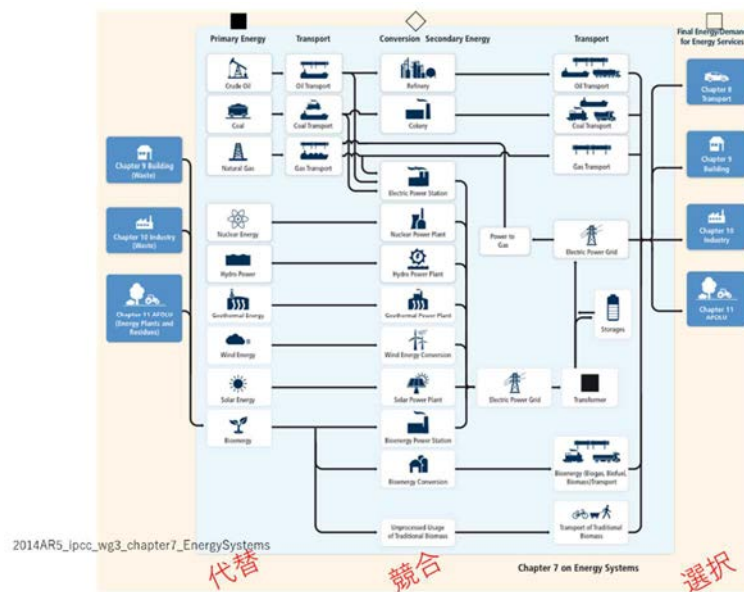


Figure 7.1 | Illustrative energy supply paths shown in order to illustrate the boundaries of the energy supply sector as defined in this report. The self-generation of heat and power in the end-use sectors (i.e., transport, buildings, industry, and Agriculture, Forestry, and Other Land Use (AFOLU)) is discussed in Chapters 8–11.

図 3.1.4 エネルギーシステムの分析例

図 3.1.5 はアメリカのエネルギーフロー図であり、アメリカの Lawrence Livermore 国立研究所が作成した図である。大事な点は、最後の需要家の所、日本の統計はここで終わっているが、このフロー図には Rejected Energy (排熱) がきちんと入っている。

人間に例えると、大体 1/3 しか栄養として使われていない。火力発電の 2/3 が排熱になり、日本は地域熱供給の普及度合いがほとんどゼロなので、排熱は海の水を温めるのに使われている。海外は、この一部がコンバインド・ヒート&パワーと言うことで、街中の空調需要を満たしているのも大きな違いである。

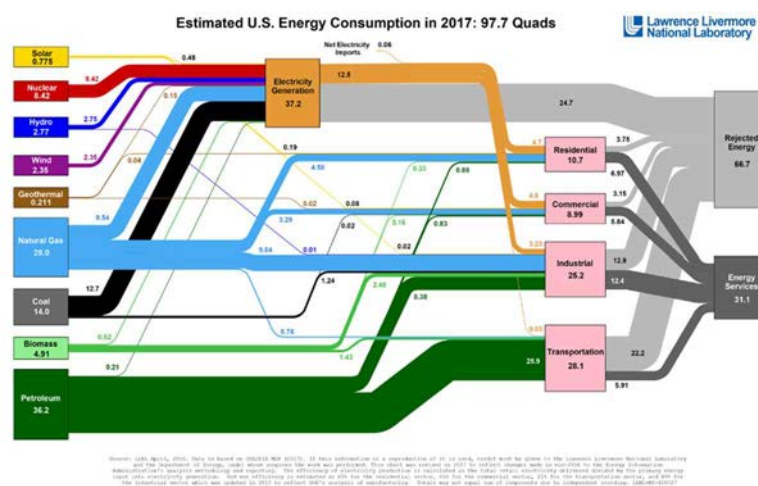


図 3.1.5 エネルギーフロー

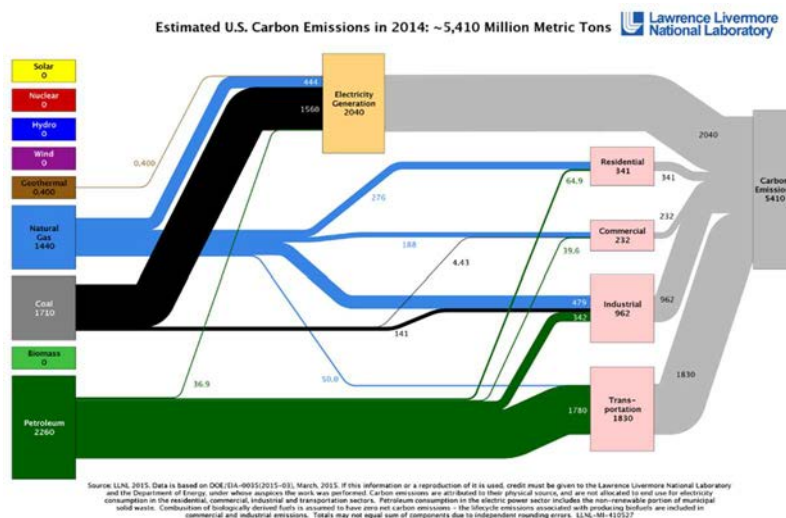


図 3.1.6 カーボンフロー

図 3.1.6 は、2014 年のカーボンフロー図である。アメリカの膨大な CO₂ のほとんどが、石炭火力と自動車から排出されている。日本も同じような傾向にある。

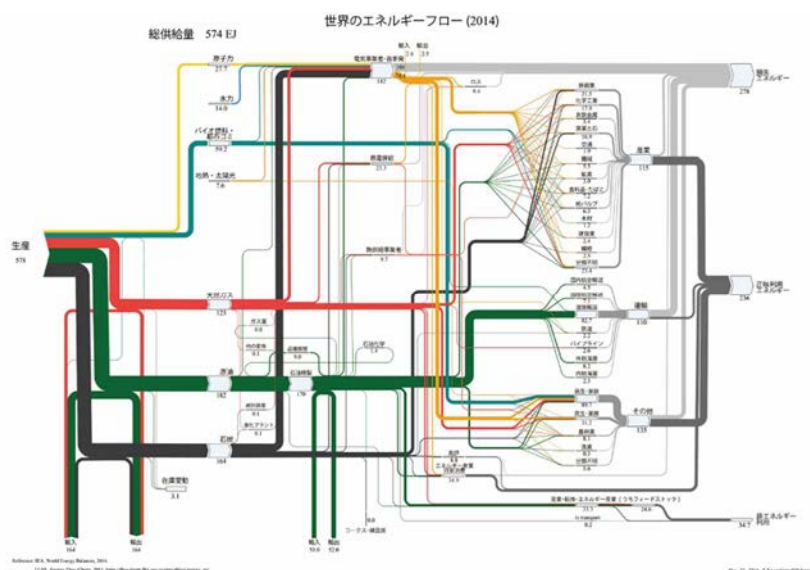


図 3.1.7 世界のエネルギーフロー (2014 年)

図 3.1.7 は、世界のエネルギーフロー図である。IEA（国際エネルギー機関）の統計集をもとに比較的、簡単に描くことができる。同じ考え方で描くと、世界も半分以上は無駄になっている。世界全体も、まだまだ化石燃料の依存率が高いということになる。

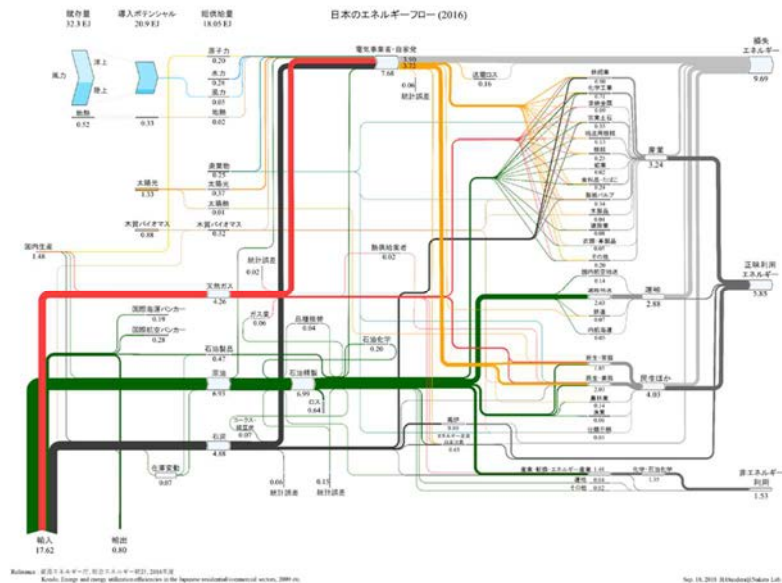


図 3.1.8 日本のエネルギーフロー (2016 年)

図 3.1.8 は、日本のエネルギーフロー図である。これは、一番新しいデータを使っている。総供給量は、18EJ まで下がった。現在の日本は、天然ガス、原油、石炭で成り立っている。再エネはまだまだ少ない。データは、産業部門は鉄鋼業界等の業界が出しているので信頼性が高い。自動車は、非常にラフであり、車の統計、車検の登録台数、特に貨物が非常に分かりにくい。家庭に至ってはさらにラフである。これは、総務省の家計調査から逆算しているので、電力は各電力の価格差が 10%程度位であるが、プロパンは凡そ 4 倍から 10 倍。都市ガスは、東京ガスが日本で一番安い、地方部の都市ガスが 3 倍。そこから、逆算してエネルギー量を出している、ラフな数値になっている。

業務部門は、エネルギー統計の全体から引いた数値であり実態は全くわからない。最近、電力自由化になったので、電事連のデータ精度が落ちている。

また、再エネ系はほとんど反映できていない。業界は業界で、データは出しているが、まだまだ統合という意味では非常に弱いので、今は良い転機である。

エネルギーフローを元にカーボンフローを描くと図 3.1.9 になる。化石燃料、特に石炭火力が、発電に大きく関わっていることがわかる。

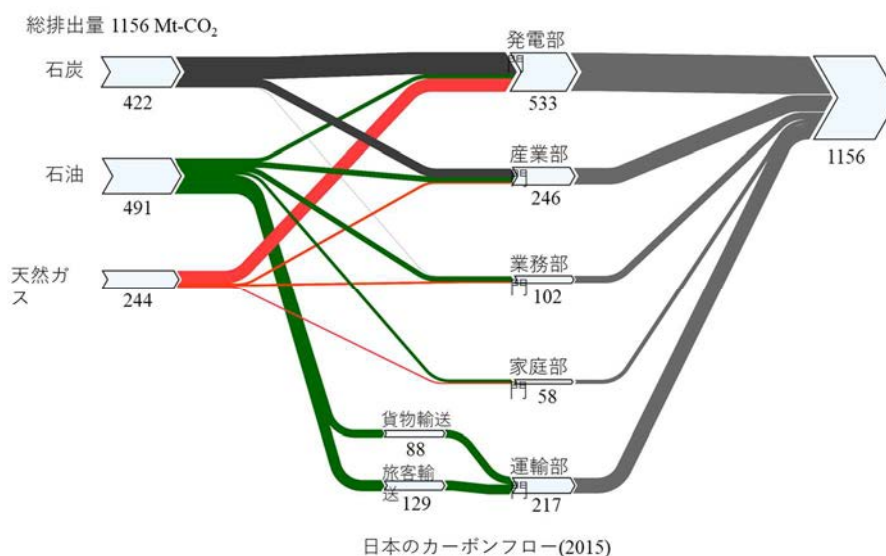


図 3.1.9 日本のカーボンフロー (2015 年)

キャッシュフローを、図 3.1.10 に示す。日本全体でエネルギーシステムを維持するために、約 42 兆円使われている。このうち約 20~24 兆円が産油国にそのまま流れる。残り 20 兆円が、国内のインフラで、主に事業供給会社の設備や人件費になっている。国の GDP は 500 兆円で、伸びないが、このうち約 42~44 兆円がエネルギーシステム維持に使われている。ここまでのエネルギーフローに関する説明となる。

Japan fossil fuel cash flow (2012)

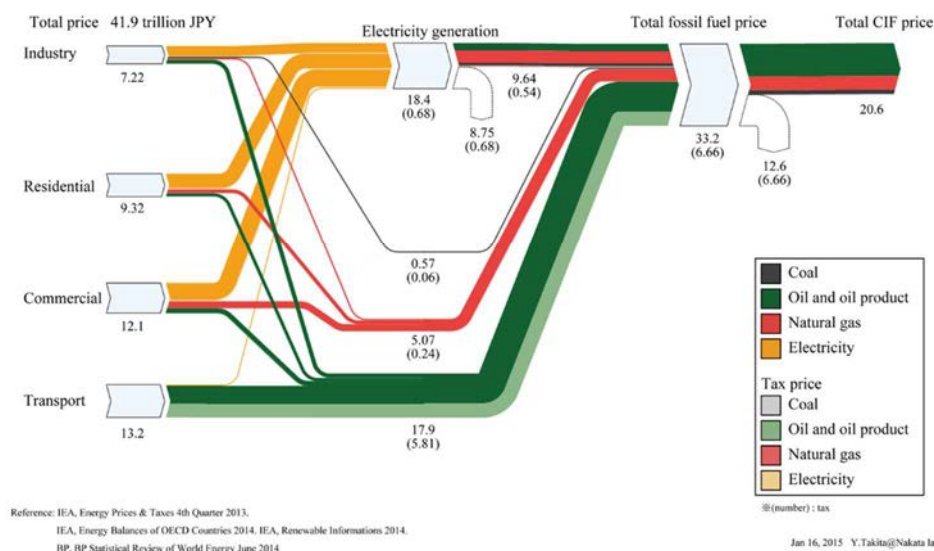


図 3.1.10 日本のキャッシュフロー (2012 年)

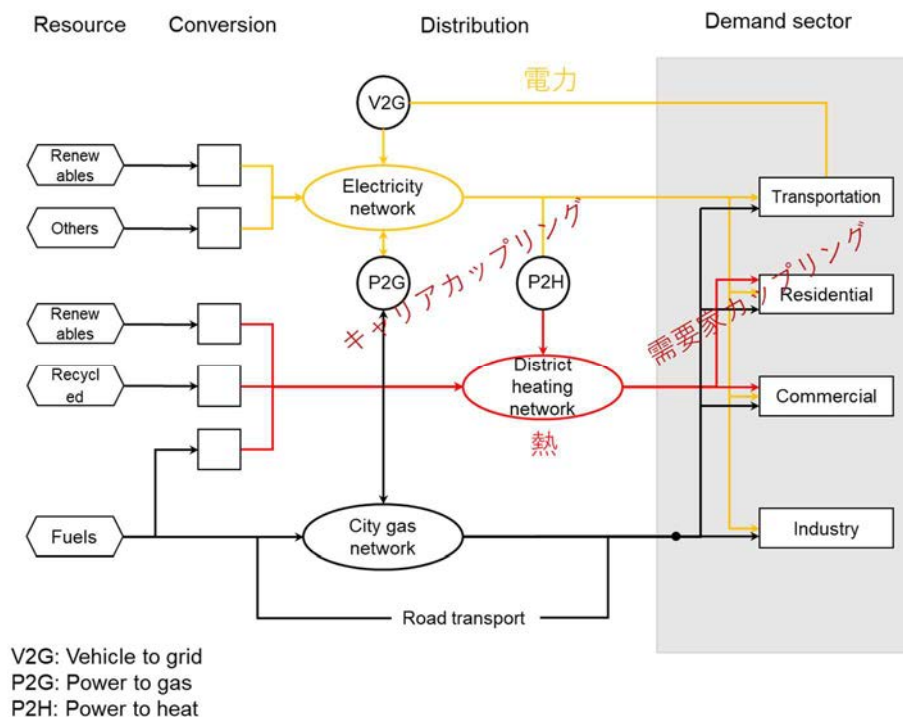


図 3.1.11 セクターカップリングの一例

以降はカップリングについて述べる。セクターカップリングという言葉については定義がなく、2種類ある。需要家のカップリングとエネルギーキャリアのカップリングである。

セクターカップリングの一例が図 3.1.11 である。図の右側が、需要家である。電気自動車であれば、キャリアのカップリングになっていて、昔自動車が燃料で走っていたものが電気で走るということで、カップリング、むしろ転換ととらえてもよいかもしれない。Power to heat や Power to Gas は、正に電力とガス、熱が一緒に表裏一体になっている。

需要家のカップリングは、従来バラバラだったもの、例えば、電気は自動車に來なかったが、色々なところに分けて入るようになった。家で充電する自動車がこれに該当する。ドイツでは、水素、ハイテク的なもの、化学工業も盛んであり、好んで使っている。日本も実施したいが、ガスのインフラ整備率がドイツは 95%であるのに対して、日本は 50%ということでなかなか実現しない。



セクターカップリング Ver.2

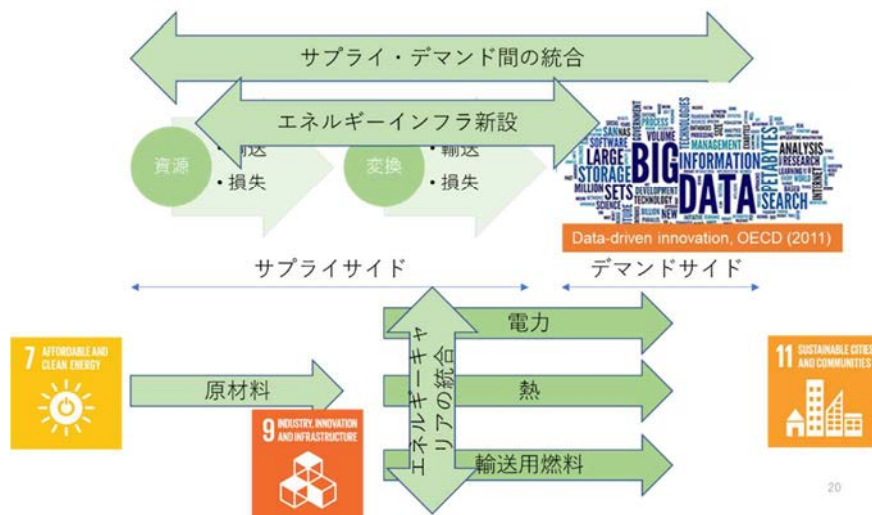


図 3.1.12 エネルギーシステムのセクターカップリング

図 3.1.12 はエネルギーシステムのセクターカップリングを示している。図 3.1.3 は普通のエネルギーフローで、単に左から右（サプライ側からデマンド側）に流れるだけであった。しかし、サプライ・デマンド間の統合により、情報はサプライ側が持つていく。ここに、例えばアマゾン系のグーグルが入ってきて、こちら側と様々な情報をやり取りする、即ち、物は左から右に移るが、お金と情報は右から左に流れ、これが大事な価値となる。また、エネルギーキャリア同士が供給会社だけで分岐するのではなく、日本では見かけ上一緒になって行っているところもあるが、事業として分けるのではなく、本質的に一緒にしていくものも今後あり得る。

グリーンの部分は、再エネベースのものが入ってくるとことを示している。ビッグデータであるが、Data-driven innovation であり、OECD のレポートが数年前に出ている。データを手にしたものが勝つとはっきり言っている。

SDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) が入ってくると、石炭カップリングは、単にドイツ人の化学のカップリングだけではなく、社会全体の大きな次の柱になり得る。

セクターカップリング Ver.3

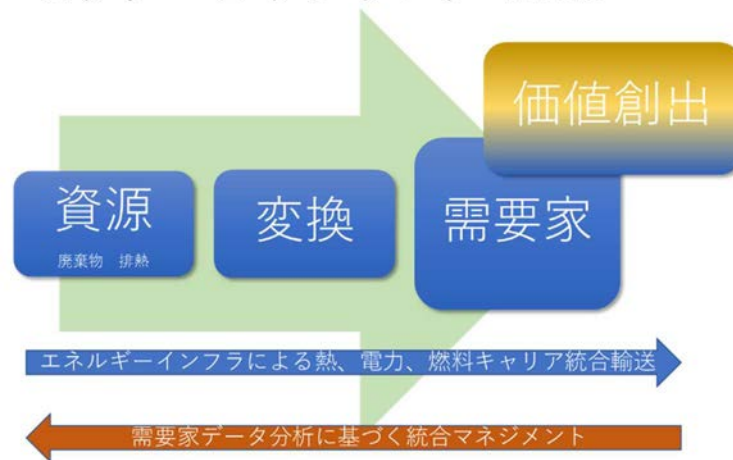


図 3.1.13 セクターカップリング

最後の需要家について、現在の日本は資源を有する中東が 1 番、それを輸入する供給会社が 2 番という位置づけだが、需要家側から新たな価値判断の下で新しい行動が想定され、供給側が需要家のデータ分析に基づいたマネジメントの必要が出てくる。灯油の一斗缶をもって並ぶ人たちが数十年後に消えて何に変わるのが分かりやすい指標例である。

<(a) エネルギーシステムの俯瞰と分析のまとめ>

キーワードを示す。バイオマス・ロジスティックスは重要であるが、日本は未だに山側の伐採がきちんと出来ていない。日本はもう少し国内のロジスティックスを考える必要がある。パイプラインも時代遅れかもしれないが、石油のパイプライン、ガスのパイプラインを必要な所には敷設しないといけない。それが水素やバイオマスに変わる土台になる。明治維新から実施しなかったことを、もう一度今できるかどうか、これが次の成長の核になる。

i .需要と供給情報の部門統合（カップリング）

- ・需給情報の一元管理 ICT based management
- ・需要家のインテリジェンス Carbon price sensitive

ii . エネルギーキャリアの統合（カップリング）

- ・自動車の CASE 社会、輸送用燃料→電力シフト
- ・熱電併給 CHP、Waste & biomass to energy

iii. エネルギーインフラの新設

- ・化石燃料パイプライン→熱配送 heat transport
- ・バイオマス・ロジスティックス biomass logistics

(b) 地域エネルギーシステムのデザイン

エネルギーシステム（国）と同じ考えであるが地域ベースで描くと違う姿になる。

i. 市レベルのエネルギーフロー

図 3.1.14 は、宮古市のエネルギーフロー図で、図 3.1.15 は、宮古市のスマートコミュニティのエネルギーフロー図である。市内にある発電所は、水力、バイオマス、太陽光であるが、当然市内すべての需給を賄える発電量ではない。量的には、天然ガス、石炭、重油が大部分を占め、実質は油、都市ガスがなく、宮古市は灯油とプロパンガスでの生活である。スマートコミュニティでは、規模は小さいが太陽光発電所を設置した。ここは、FIT でぎりぎり収益がある。宮古市内の公共の場所、体育館や学校などはこのスマコミの電気に一晩で切り替えた。

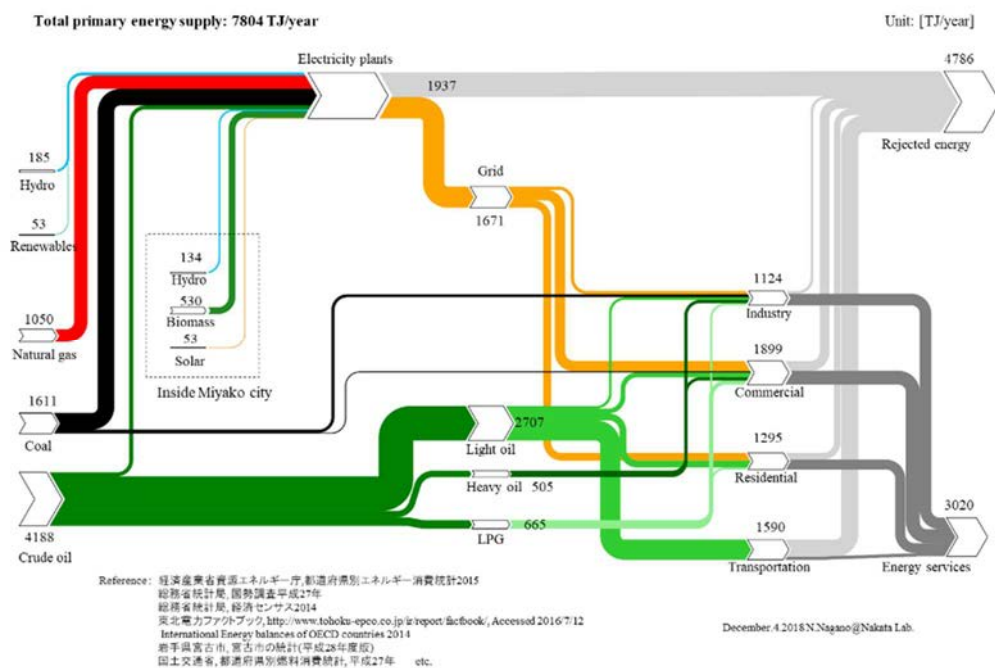


図 3.1.14 地域レベルのエネルギーフロー分析（宮古市）

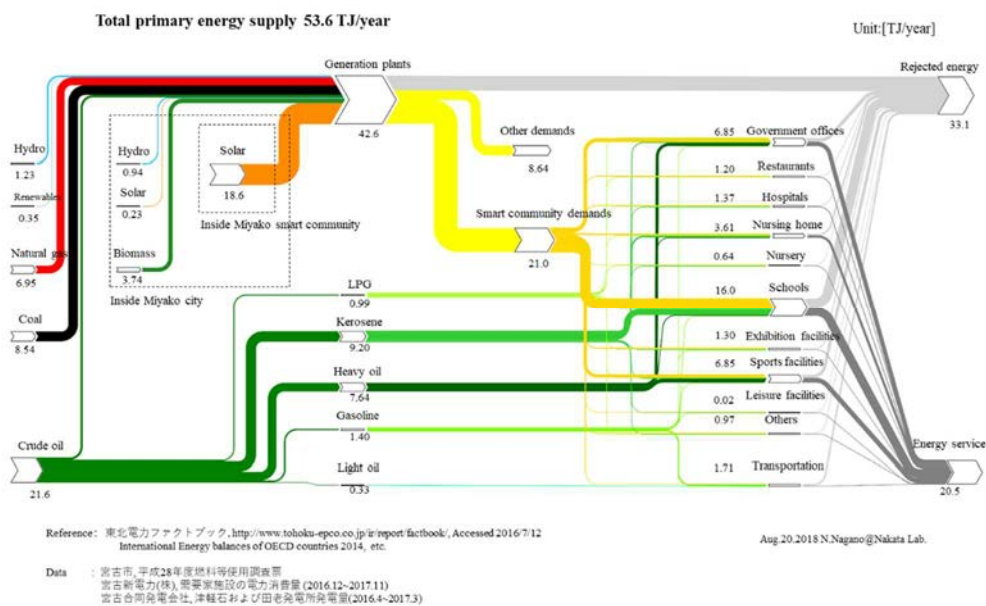


図 3.1.15 地域レベルのエネルギーフロー分析 (宮古市スマコミ)

ii. 県レベルのエネルギーフロー

図 3.1.16 が長野県、図 3.1.17 が福島県のエネルギーフロー図である。

長野県は中部電力管内となるが、火力発電所は名古屋側や上越のコンバインドなどで、同県には立地できない。結果として、電気は中部電力から供給されており、地元の梓川水系は東京電力が水利権を持っていて東京に供給している。長野は県営ガスが東京ガスに譲渡して、ガス導管は日本海側から太平洋側に通じており県内では、多数の町で都市ガスを展開している。ガス代も東京ガスと同程度である。寒冷地域であるがガスをベースにしたビジネスを比較的やり易い。これは、長野県民に知られていない。

福島県は、東北電力管内であるものの原子力と石炭火力は東京電力が所有し、地元で消費する電力の約 2 倍の電気が首都圏に送電されている。福島県は、震災後、地元で消費するエネルギーを全て再エネで賄うことを計画しているが、まだ割合は 20%程度である。

長野県の一次エネルギー供給量(2015) : 256.8 PJ

単位: [PJ/year]

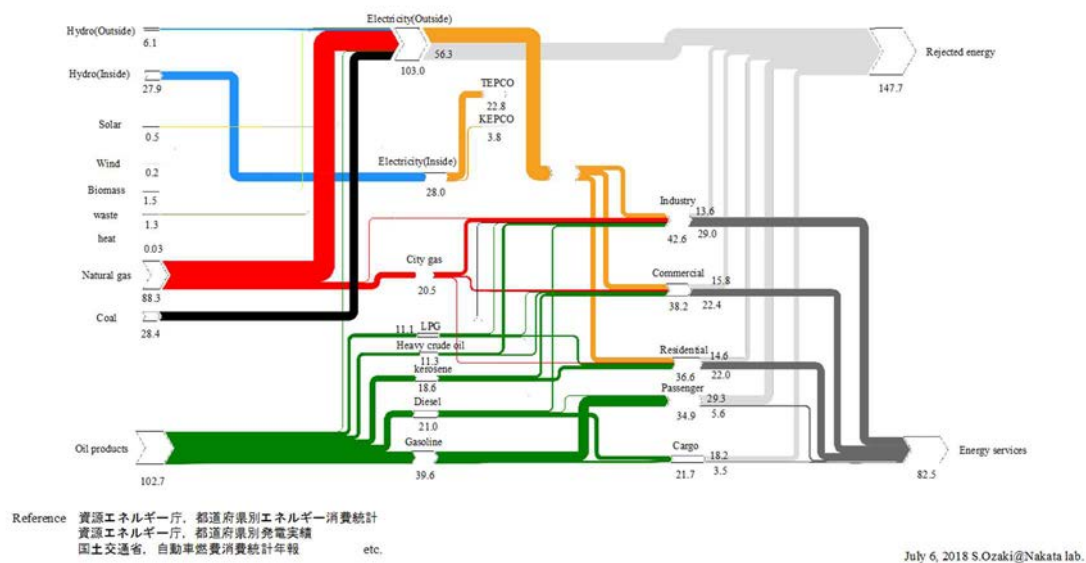
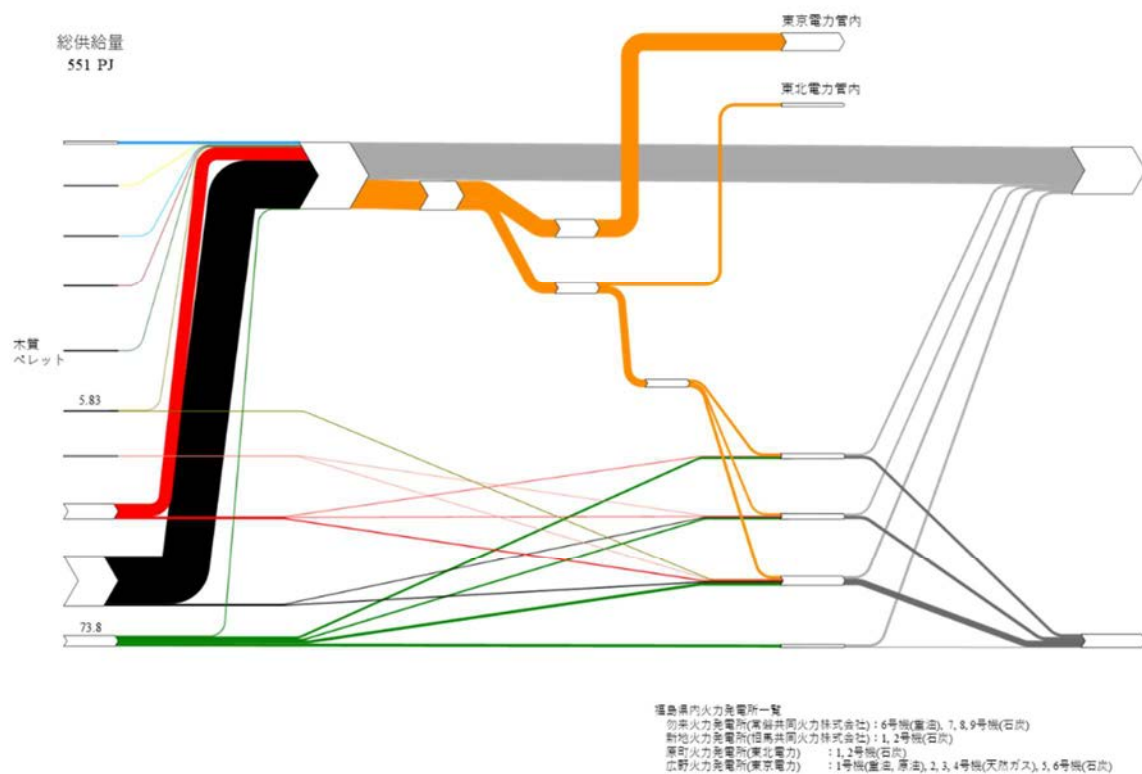


図 3.1.16 地域レベルのエネルギーフロー分析 (長野県)



福島県のエネルギーフロー(2014)

図 3.1.17 地域レベルのエネルギーフロー分析 (福島県)

iii. 市町村別最終エネルギー消費（全国）

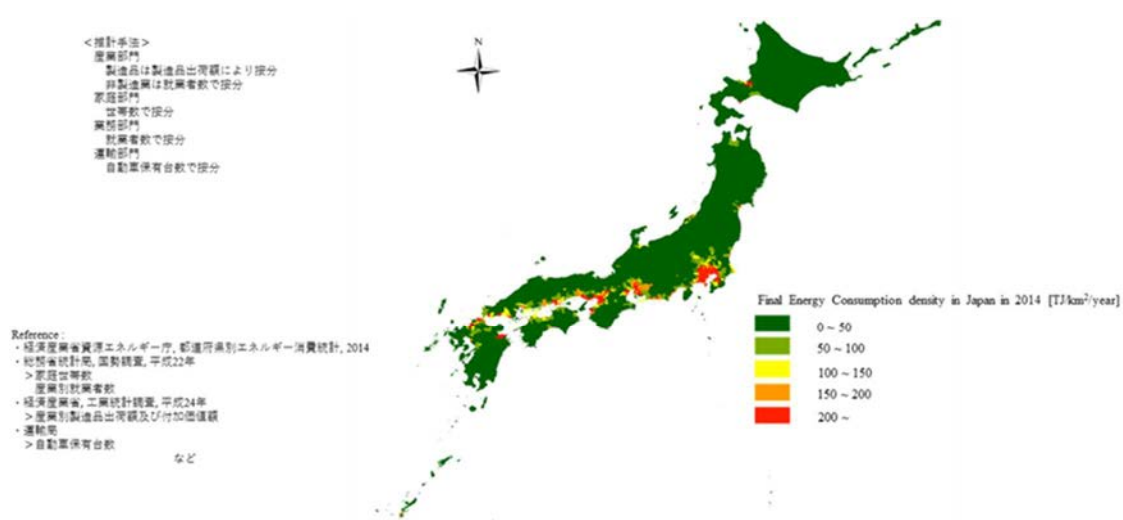
次に別のエネルギー分布を示したものとして、図 3.1.18 に全国のエネルギー消費量を示す。都道府県別ではなく市町村別であり、非常に粗いが、大まかな傾向が出ている。

エネルギー消費量を単位面積で割ると、エネルギー消費密度（TJ/k m²/年）となり図 3.1.19 のようになる。この図から東京が圧倒的に高いことが分かる。東日本では、仙台と札幌が、200TJ/k m²/年以上でかろうじて高い。歴史的な経緯で、西日本の方が高い。



日本の最終エネルギー消費量分布(2014)

図 3.1.18 市町村別最終エネルギー消費量（全国）



日本の最終エネルギー消費量密度分布(2014)

図 3.1.19 市町村別最終エネルギー消費密度（全国）

福島県の例を図 3.1.20 と図 3.1.21 示す。最終エネルギー消費量が多い市町村は、福島市、郡山市、いわき市である。

消費量密度で見ると、 $400\text{TJ}/\text{km}^2$ /年以上の市町村は郡山市と本宮市である。福島県内は郡山市と福島市が大都市とみられる、東北でみると仙台に次ぐ都市は郡山市であり、福島市ではない。

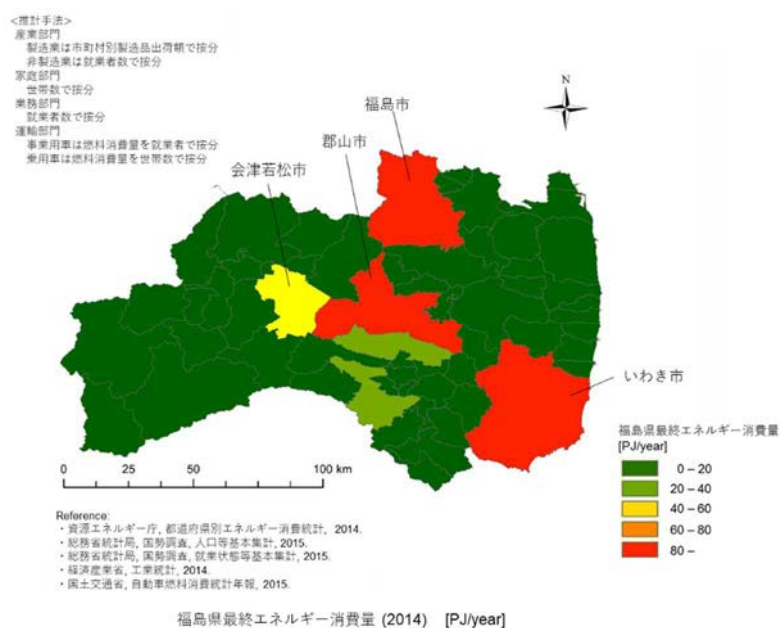


図 3.1.20 市町村別最終エネルギー消費量（福島県）

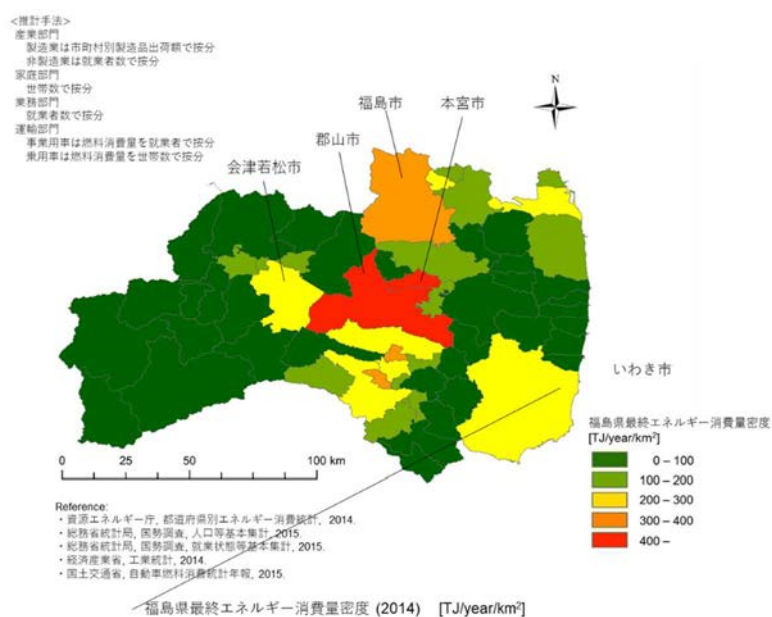


図 3.1.21 市町村別最終エネルギー消費密度（福島県）

福島県は、南北方向に延びる山脈・山地によって、3 地域（会津、中通り、浜通り）に分けられる。福島県浜通りの市町村別最終エネルギー消費量・消費密度を、それぞれ図 3.1.22 と図 3.1.23 に示す。

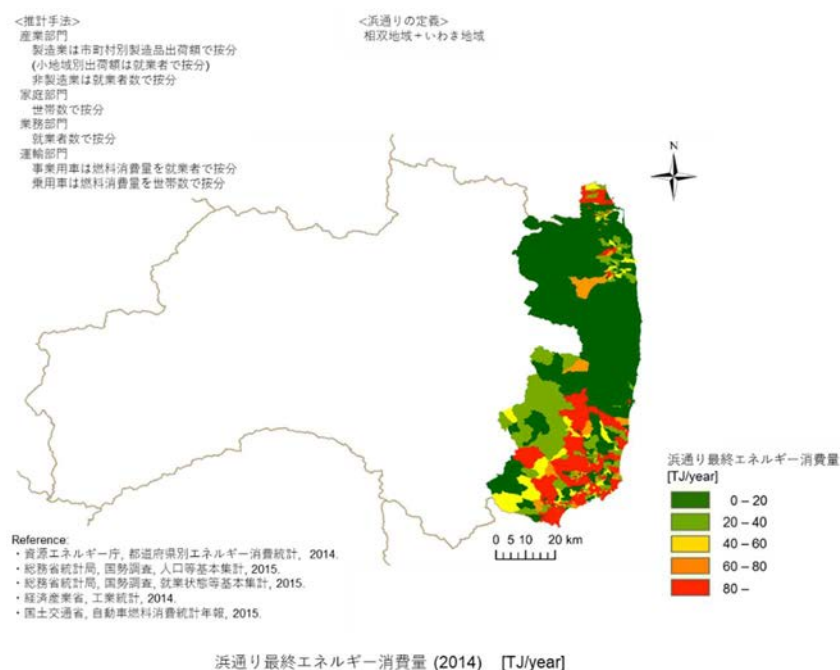


図 3.1.22 市町村別最終エネルギー消費量（福島県浜通り）

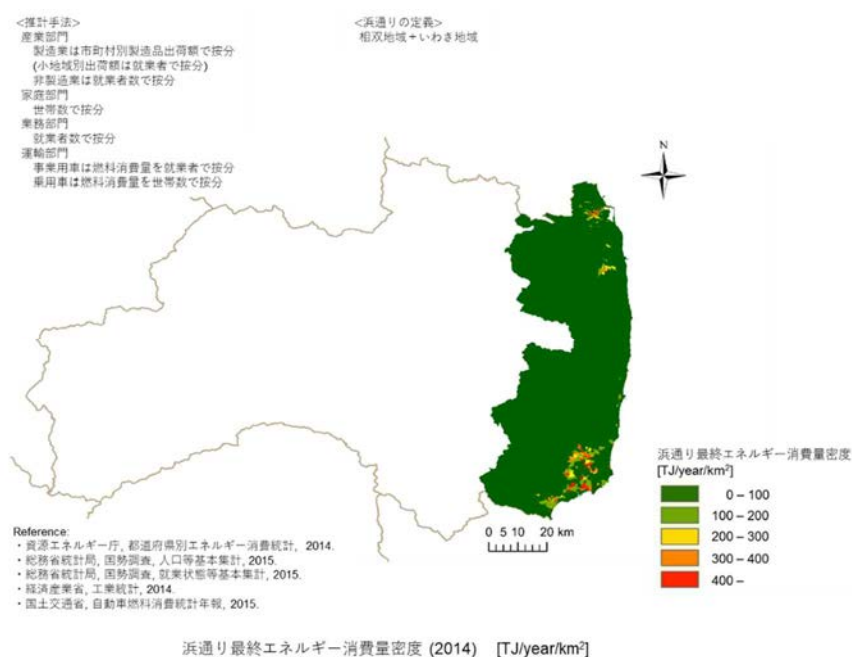


図 3.1.23 市町村別最終エネルギー消費密度（福島県浜通り）

次に、福岡県北九州の市町村別最終エネルギー消費量・消費密度を、それぞれ図 3.1.24 と図 3.1.25 に示す。北九州市は、北九州エコタウン等古くから地域エネマネに取り組んでいるようだが、北九州市の方ではこのような分析は全くしていないことが分かった。

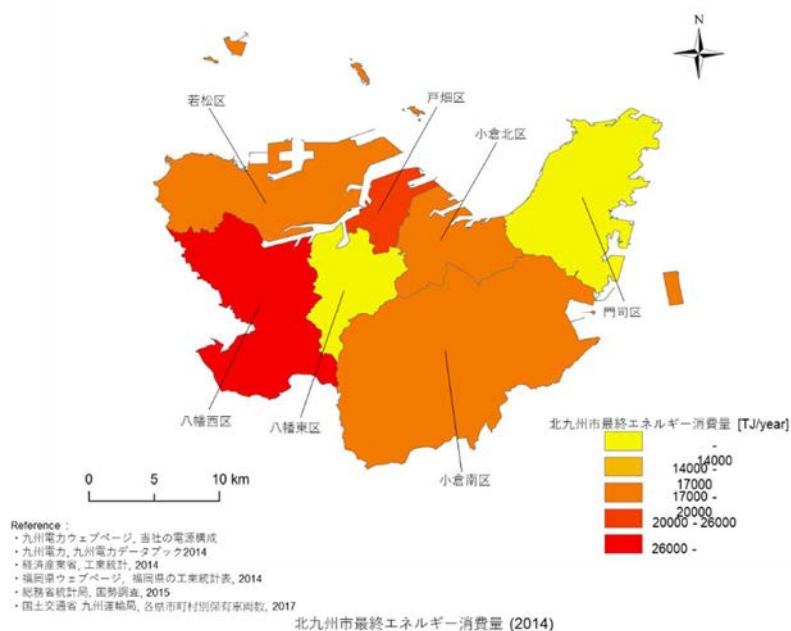


図 3.1.24 市町村別最終エネルギー消費量（北九州市）

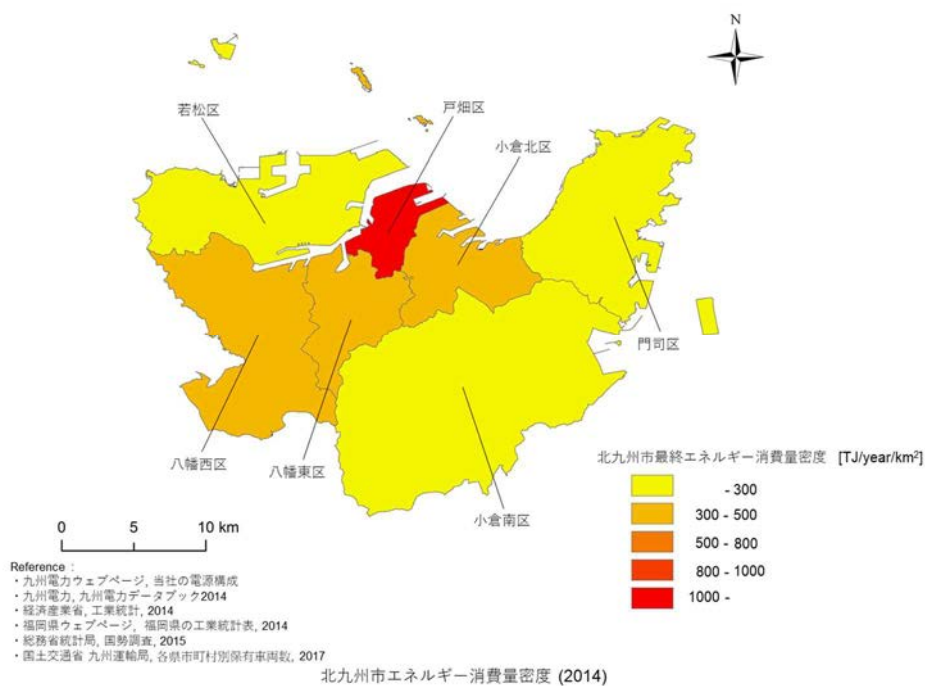


図 3.1.25 市町村別最終エネルギー消費密度（北九州市）

北九州市を細分化した戸畑区の最終エネルギー消費量を図 3.1.26 に、最終エネルギー消費密度を図 3.1.27 に示す。戸畑区は、新日鉄が明治時代からある。

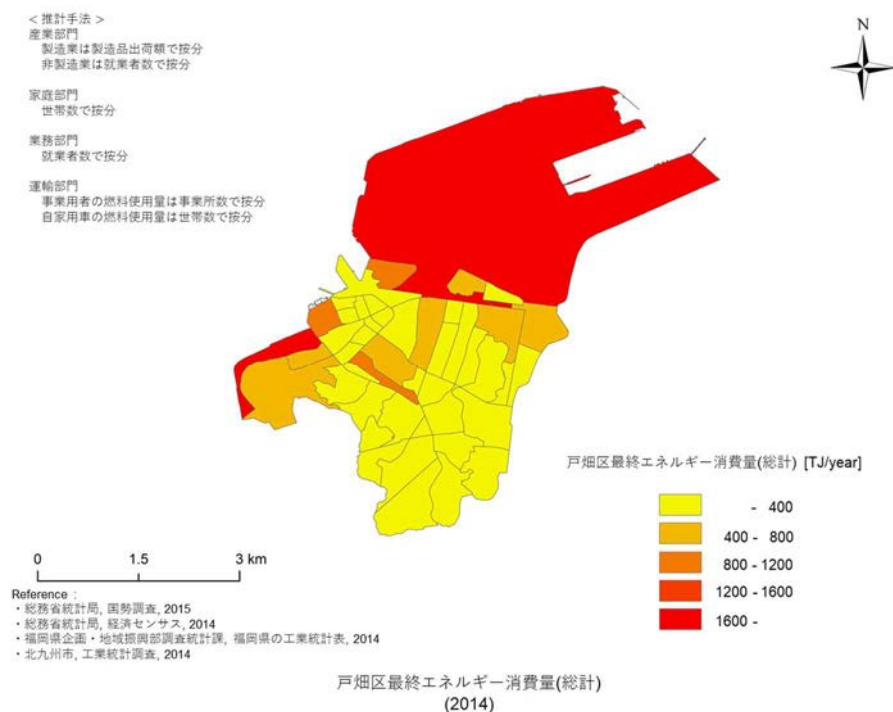


図 3.1.26 市町村別最終エネルギー消費量（北九州市戸畑区）

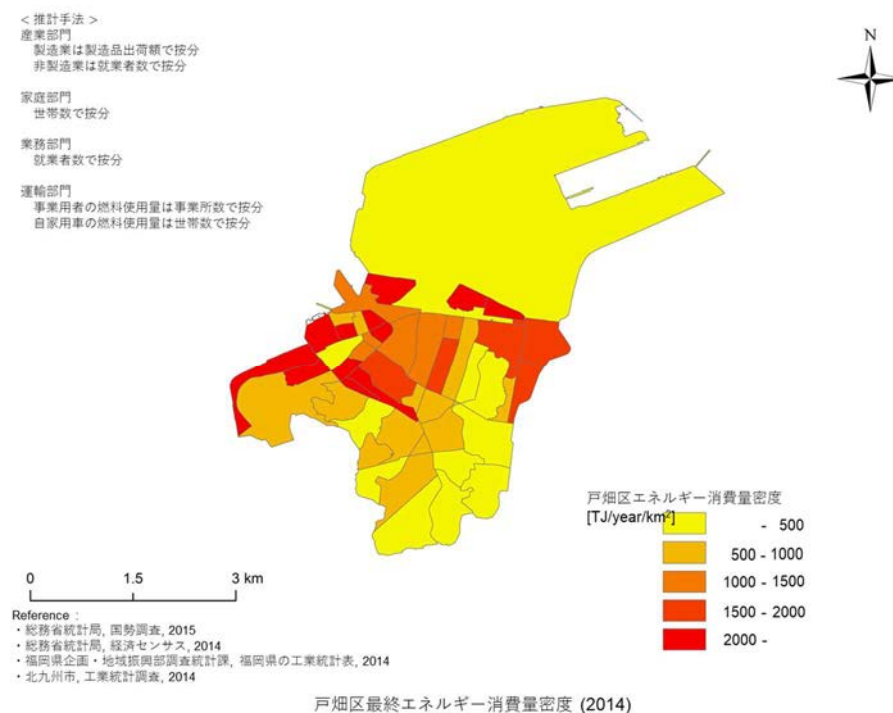


図 3.1.27 市町村別最終エネルギー消費密度（北九州市戸畑区）

＜(b) 地域エネルギーシステムのデザインのまとめ＞

エネルギーに関するプロジェクトは、全国標準の普遍性と共通の課題、および地域社会の独自の特徴（特異性）に基づく、システムの定義と性格付けが重要である。長野県と福島県では、状況が全然違う。その中の福島県でも、浜通り、中通りで違い、中通りでも、福島市と郡山市では全く違う。そこをどう意識するかが大事である。

(c) 地域システム統合のグランドデザイン

東京は栄えるだろうが、地方はその逆である。特に東北で言えば寒冷地のため、熱をどのようにするかという問題がある。

地域システムデザインの考え方として、日本全体の共通した課題を解決していくような普遍的なアプローチと、A から Z までの市町村独自の課題との二本立てしていくと、取り組みの事例の評価が分かり易い。

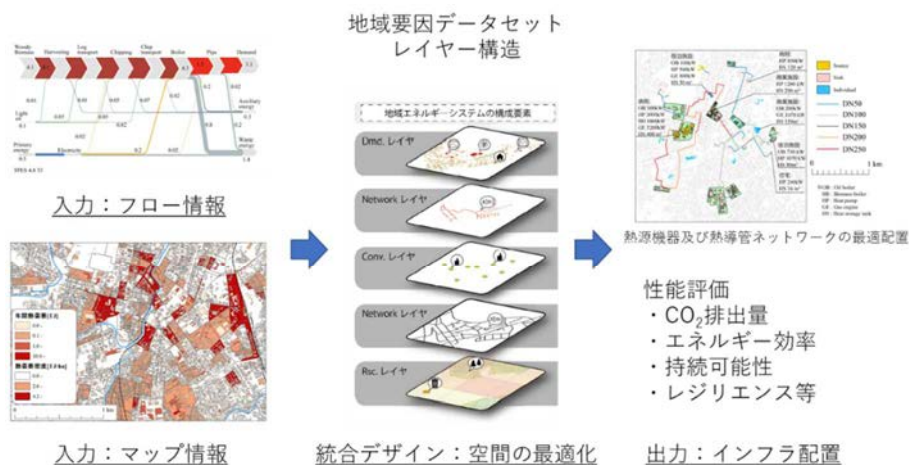


図 3.1.28 地域システムデザインの考え方

i. 地域システムデザインの手法例

図 3.1.29 は地域システムデザインの手法例である。弘前市を例にしている。

様々な情報を面的に整理して、それに立て櫛を刺すように統合していく。まだ具体的な統合、スキルが出来ていない段階であり、同市などを例にして統合するモデル（模範）を例示していく予定である。図 3.1.29 の右上は、弘前市は電気ではなく熱であろうということで、熱導管を適当に配管したレイアウトになる。



環境研究総合推進費(2017-) 地域拠点設計手法の開発と実証

図 3.1.29 地域システムデザインの手法例

ii. クラスター分析

地域エネルギーシステムを、あるカテゴリー別に分ける手法の一つにクラスター分析がある。クラスター分析は、異なる性質のものが混ざり合っている集団（対象）の中から、互いに似たものを集めて集落（クラスター）を作り、対象を分類しようという方法を総称したものである。概念図を図 3.1.30 に示す。

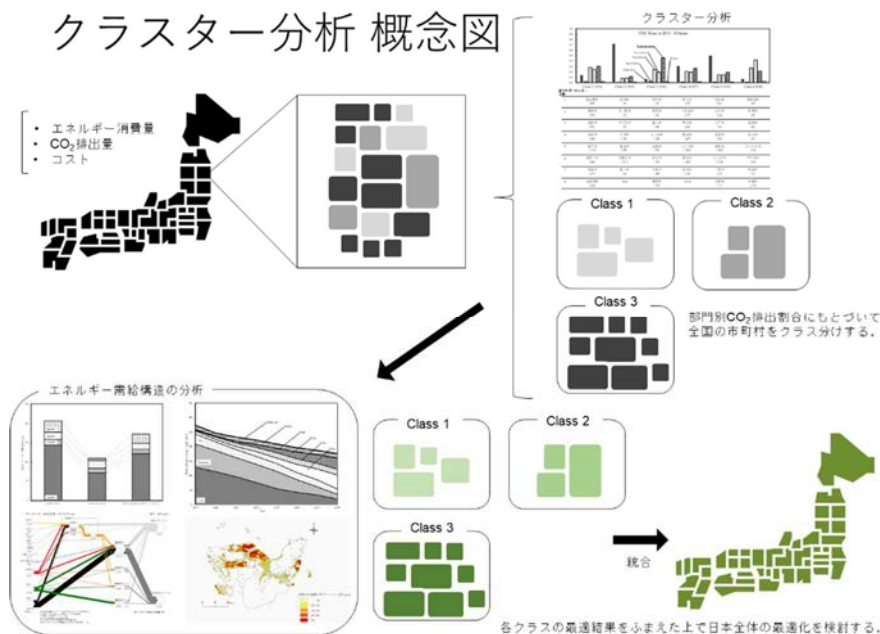


図 3.1.30 クラスター分析概念図

部門別 CO₂ 排出量割合に基づいて全国の市区町村をクラス分けした一例を図 3.1.31 に示す。

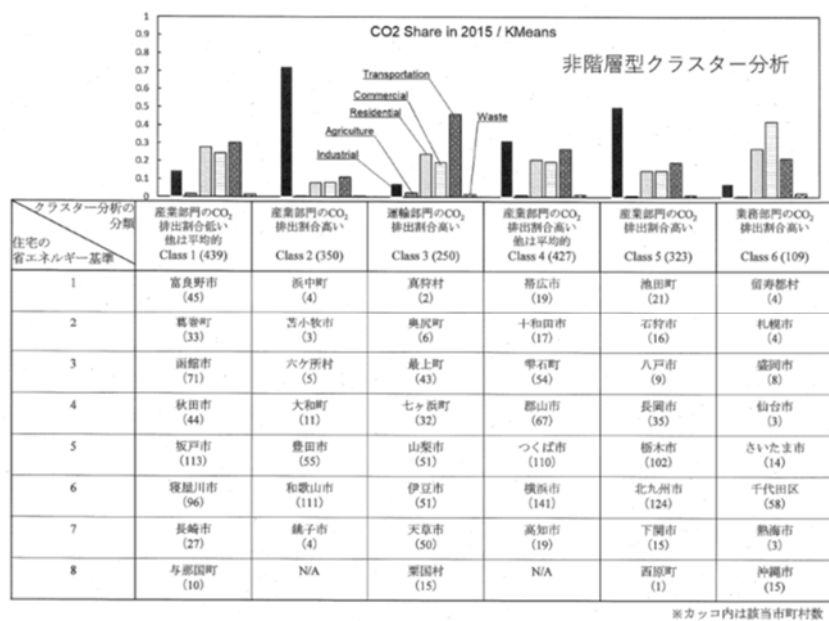


図 3.1.31 CO₂ 排出量の住宅の省エネ基準別によるクラスター分析

クラスターを産業部門、運輸部門、業務部門の 3 つに分け、割合に応じ以下のように 6 つに分けている。

- ・産業部門の CO₂ 排出割合が低い。他は平均的。
- ・産業部門の CO₂ 排出割合が特に高い。
- ・運輸部門の CO₂ 排出割合が高い。
- ・産業部門の CO₂ 排出割合が高い。他は平均的。
- ・産業部門の CO₂ 排出割合が高い。
- ・業務部門の CO₂ 排出割合が高い。

また、分析途中ではあるが、部門別最終エネルギー消費量の割合に基づいて全国の市区町村をクラスター分けした一例を図 3.1.32 に示す。このクラスターは、産業、民生、家庭をある割合で 6 つに分けたものである。

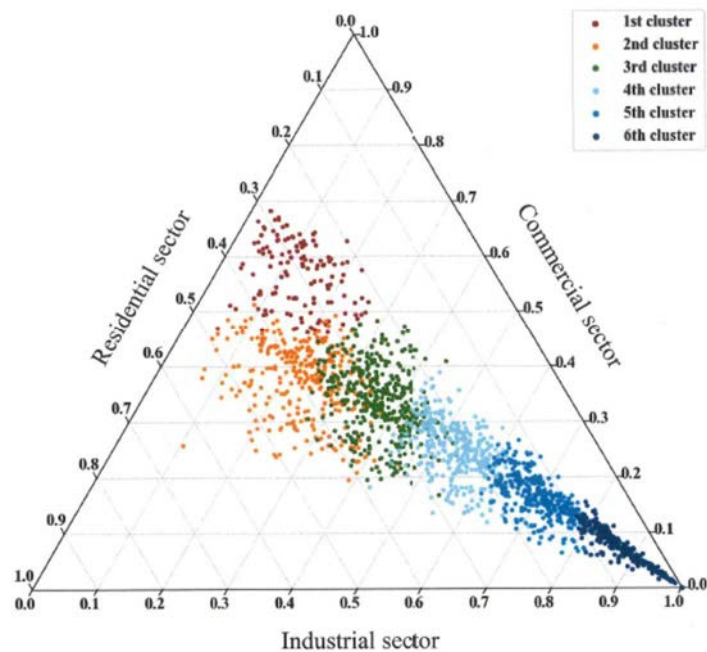


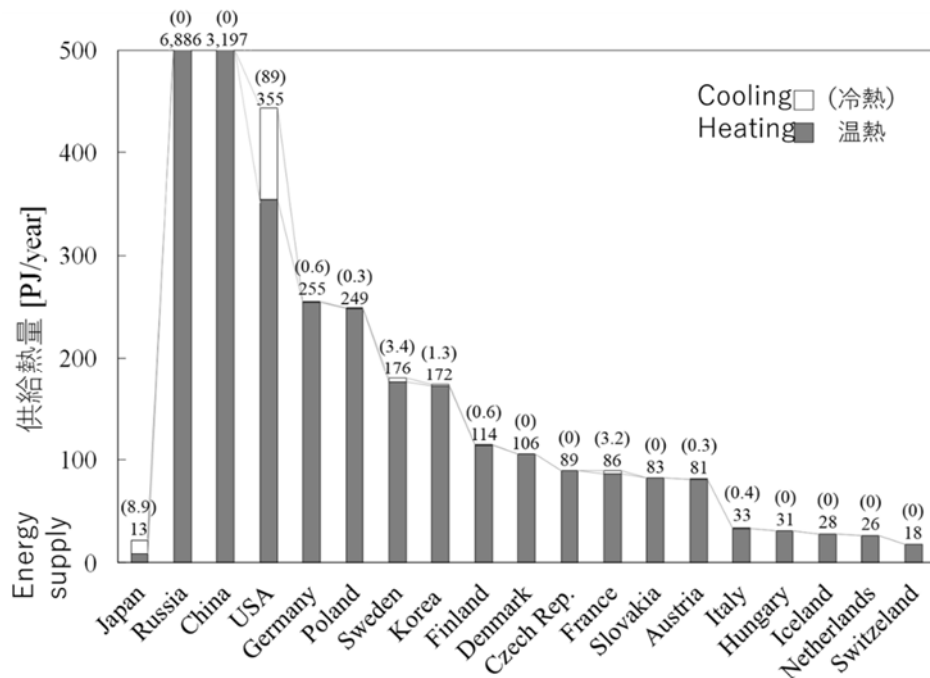
図 3.1.32 クラスタ分析例：最終エネルギー消費量の部門別シェア

部門別・市区町村別のデータは、上記の 2 つあり、地域エネマネを考えてクラスター分けする場合、どちらのデータが良いか、また、その地域の実態を表すのに、そのままの部門別（産業、運輸、業務）で良いのか、あるいは産業を除いた方が良いのか等、使用するデータと部門の範囲を決める必要がある。

iii. 地域熱供給システムの導入

日本には、地域熱供給システムの導入がほとんどない。東京では、地冷といって、実質冷熱・冷房を主体に六本木ヒルズや日本橋のコレド等に地域熱供給システムが導入されている。他にも、新宿や横浜みなとみらい等で導入されている。

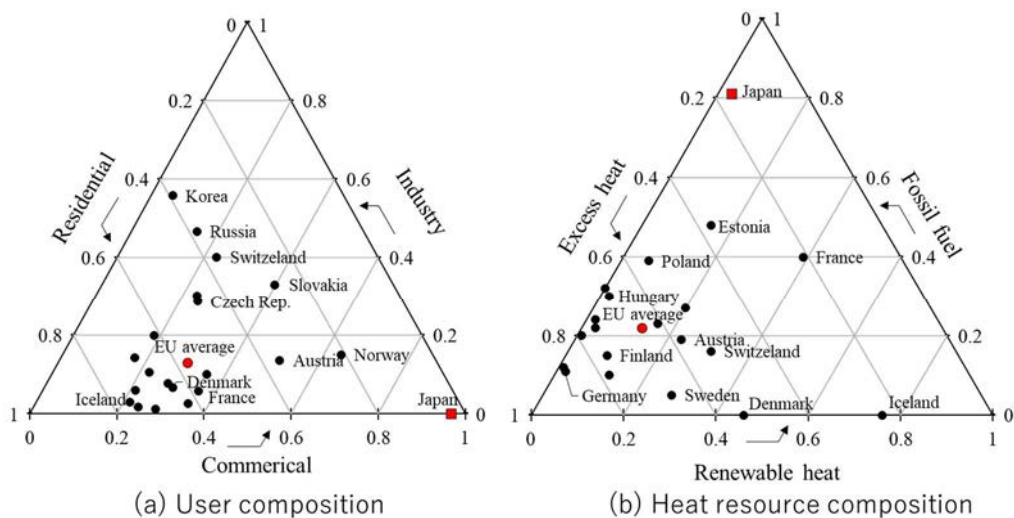
図 3.1.33 に海外と比較した地域熱供給システムの導入状況を示す。図 3.1.32 から、ヨーロッパは導入量が多く、内訳は冷房ではなく温熱が多いことが分かる。日本は、6 割以上が冷房であるが、世界の中では、熱供給は冷房も入れても少ない。



参考 EUROHEAT & POWER, 2015 Country by country – Statistics overview (2013 data)
 熱供給事業便覧 平成28年度版, (社) 日本熱供給事業協会, 2017 等

図 3.1.33 地域熱供給システムの導入状況（海外との比較）

海外と比較して違うことは、日本は商業用の割合が高いことである。図 3.1.34 に地域熱供給システムの需要家・資源別構成を示す。商業用は、日本橋のコレドや六本木ヒルズがこれに該当する。即ち、ディベロッパーが三井や森ビルであり、地域熱供給システムを導入し易い。海外は、そうではなく、住まいに多く入っているのが韓国やロシアである。特に共産圏のロシア等は寒いので、労働者住宅に温熱を供給しないと皆震えてしまい、これが用途になる。熱源も、日本は化石燃料が多く 80% である。ビルのコジェネを、油を焚いて行っているのが日本の発想である。海外は、油の量はどんどん減らして、ごみ焼却場や火力発電所等の排熱（excess heat）を利用している。ヨーロッパは、火力発電所を解体してリプレースする時代ではなく、熱出力を担保したものが作られている。renewable heat は地熱で、アイスランドが多く利用している。



Ref. EUROHEAT & POWER, 2015 Country by country – Statistics overview (2013 data), 2015.
Japanese district heating association, Handbook of district heating projects, 2017. et al.

図 3.1.34 地域熱供給システムの需要家・資源別構成（海外との比較）

<(c) 地域システム統合のグランドデザインのまとめ>

地域システムデザインを考える場合、以下が重要。

- ・地域社会システムの特異性と普遍性の要因抽出と分析
- ・データ要因分析に基づく統合デザイン手法のモデル開発

(d) 脱炭素社会実現のための中長期デザイン

将来は、需要家の役割が非常に大きくなると思われる。図 3.1.35 にイメージを示す。

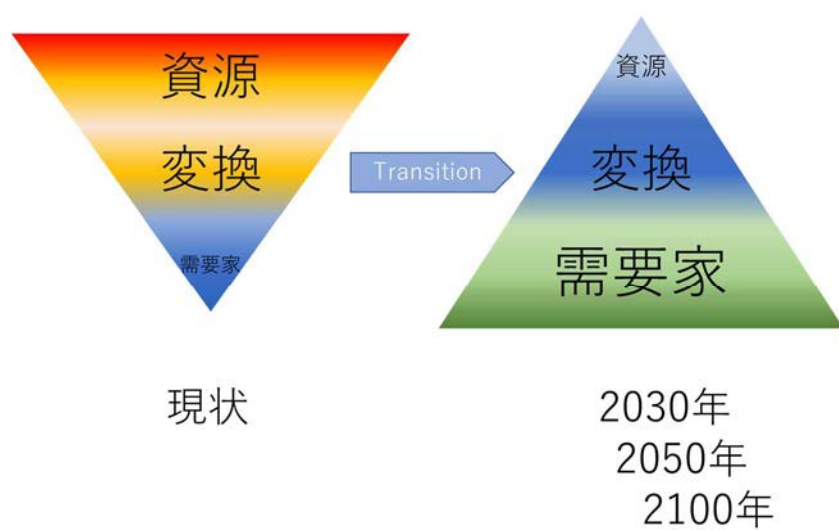
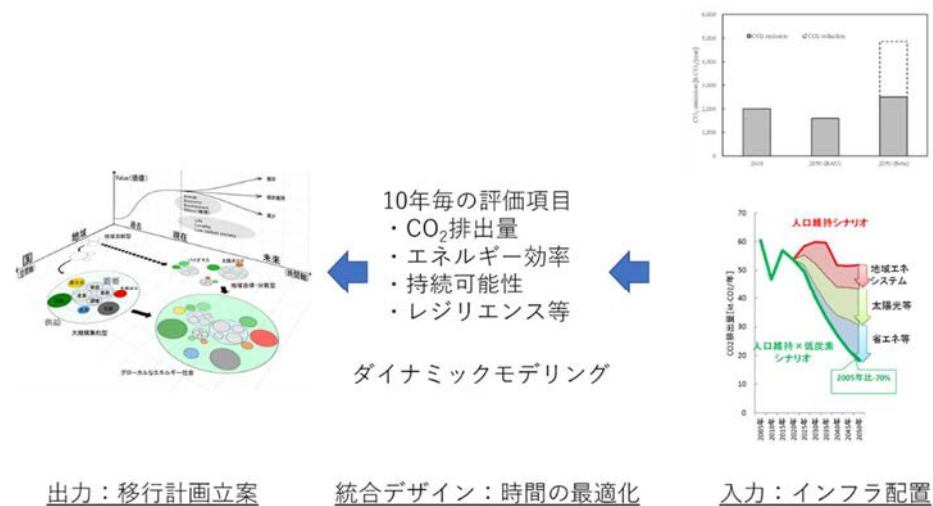


図 3.1.35 次世代型均衡システムへのパラダイム変換

i. システムの設計手法

図 3.1.36 にシステム設計の手法を示す。この分析モデルを、ダイナミックモデルと言うが、将来を見据えて設計していく様々なモデリングの手法を多くが作っている。シナリオなので、色々な前提条件を設定しなくてはならない。何か前提しないと、将来の数値は出てこない。



環境研究総合推進費(2017-) 地域拠点設計手法の開発と実証

図 3.1.36 システムの手法

ii. 部分均衡エネルギー・経済モデルによる分析

現状の地域エネルギー需給構造の分析を踏まえ、部分均衡エネルギー・経済モデル META-Net を用いて、将来にかけたエネルギー需給の変遷を明らかにする。

- ・資源、エネルギー変換技術、市場、最終需要家の 4 つのノードからエネルギーシステムを構築する。
- ・多期間のシミュレーションを通じて市場均衡にもとづくエネルギー供給量、供給価格を算出できる。

ノード	役割
End-Use	価格弾力性から模擬した需要曲線にもとづいて、エネルギー供給価格の変化に応じてエネルギー需要量を決定する。
Markets	市場占有関数を用いて各資源のエネルギー供給シェアと取引価格を算出する。
Conversions	エネルギー需要量を満たすために新設する必要がある設備容量、燃料量を算出する。燃料費、比建設費、運転維持費などを考慮した将来のキャッシュフローから市場へのエネルギー供給価格を算出する。
Resources	資源価格を算出する。

Nodes	Components	Unit
End-Use	Elasticity	[-]
	Starting Price	[USD/mmBtu]
	Quantity	[mmBtu/year]
Markets	Price Sensitivity	[-]
	Cutoff Rate	[-]
Conversions	Specific Capital Cost	[USD/(mmBtu/year)]
	Ancillary Operating Cost	[USD/mmBtu]
	Life	[year]
	Starting Capacity	[mmBtu/year]
	Input-Output Coefficient	[-]
Resources	Price	[USD/mmBtu]
	Growth Rate	[-]

図 3.1.39 ノードの役割と入力データ項目

iv. シナリオとエネルギーフロー作成例

図 3.1.40 に実際に設定した各シナリオの設定例を示す。

- ・ 分析期間は、1ピリオドを5年として2015年から2050年までとする。
- ・ ReferenceケースとCO₂-80%ケースの2ケースを設定する。
- ・ 再生可能エネルギーは、導入ポテンシャルを供給上限として制約を課す。

モデル	ケース	制約条件
基本モデル	Reference	・ 火力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 原子力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 貨物部門における電気自動車の導入は考えないものとする。 ・ 再生可能エネルギーは系統電力の供給区域内における導入ポテンシャルを供給上限とする。
	CO ₂ -80%	・ <u>Referenceケースを基準として2050年までにCO₂排出量を80%削減する。</u> ・ 火力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 原子力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 貨物部門における電気自動車の導入は考えないものとする。 ・ 再生可能エネルギーは、系統電力の供給区域内における導入ポテンシャルを供給上限とする。
地域エネルギーモデル	Reference	・ 火力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 原子力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 貨物部門における電気自動車の導入は考えないものとする。 ・ <u>再生可能エネルギーは系統電力については供給区域内における導入ポテンシャルを、地域内電力については本研究で推計した対象地域内の導入ポテンシャルを供給上限とする。</u>
	CO ₂ -80%	・ <u>Referenceケースを基準として2050年までにCO₂排出量を削減する。</u> ・ 火力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 原子力発電は現状の供給量から増加しないものとする。 ・ 貨物部門における電気自動車の導入は考えないものとする。 ・ <u>再生可能エネルギーは系統電力については供給区域内における導入ポテンシャルを、地域内電力については本研究で推計した対象地域内の導入ポテンシャルを供給上限とする。</u>

図 3.1-40 各シナリオの設定詳細

図 3.1.41 に北九州市のエネルギーフロー（2015 年）を示す。これは 2015 年であるが、2050 年を計算してみると、一次エネルギー総供給量は人口減少に伴い減ってくる。（図 3.1.42）

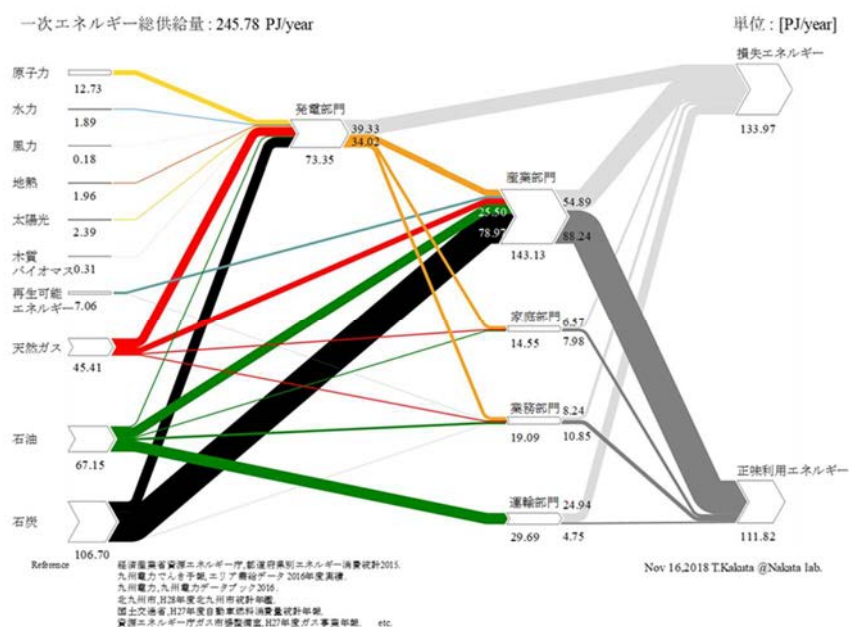


図 3.1.41 2015 年の北九州市のエネルギーフロー

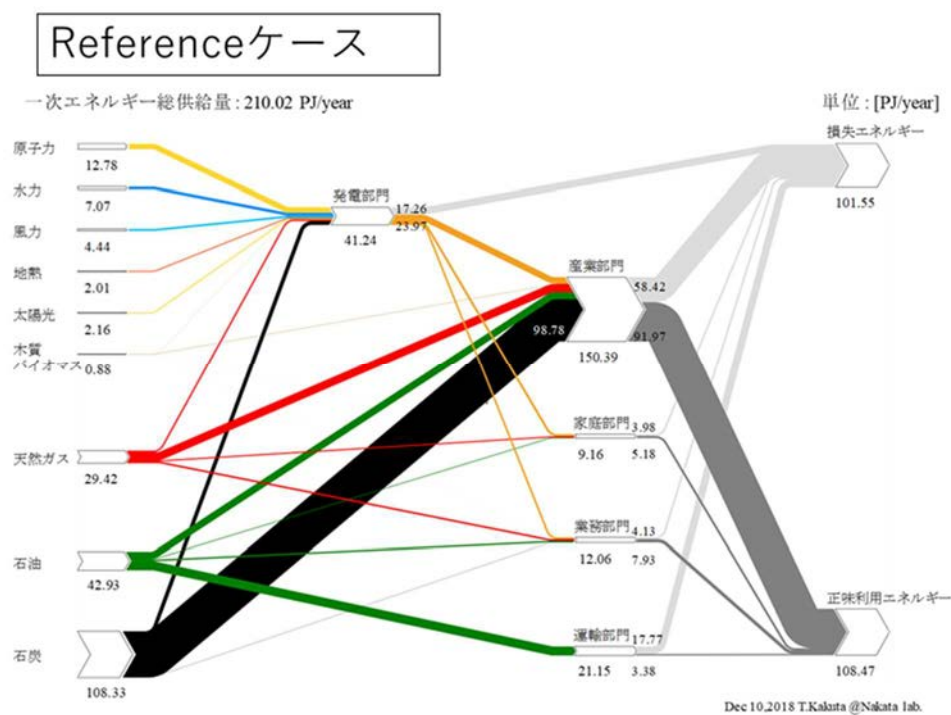


図 3.1.42 2050 年の北九州市のエネルギーフロー（Reference ケース）

CO₂-80%ケースでは、火力発電および原子力発電を現状（2015 年）から増加しない設定とし、貨物部門の電気自動車の導入は考えないものとした。このエネルギーフローを図 3.1.43 に示す

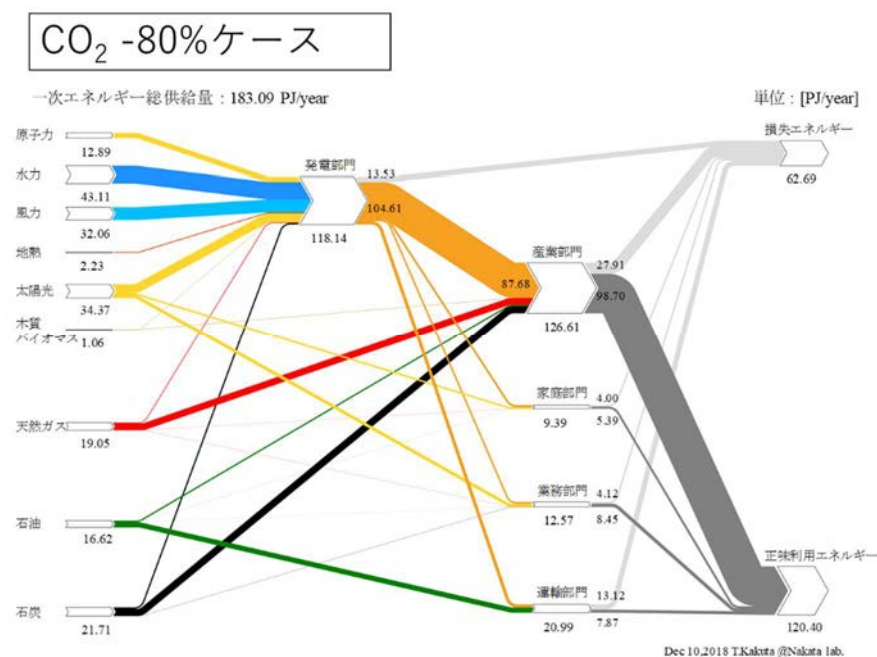


図 3.1.43 2050 年の北九州市のエネルギーフロー（CO₂-80%ケース）

v. イノベーションにおける技術習熟の概念

今後、将来の予測をする際に、技術のパラメータをどのように扱うのかと言うことが大事になる。図 3.1.44 にイノベーションにおける技術習熟の概念を示す。図 3.1.44 の上の方は **learning by doing** ということ、量産されて行く、あるいは社会の中で設備容量が増えていくということで、経験を積んでいけば、太陽電池のようにコストが下がる。図 3.1.44 の下は、様々な研究開発投資で、この分析手法もそれなりに出来てきた。全く新しいものが生まれるのは、まだ苦手である。

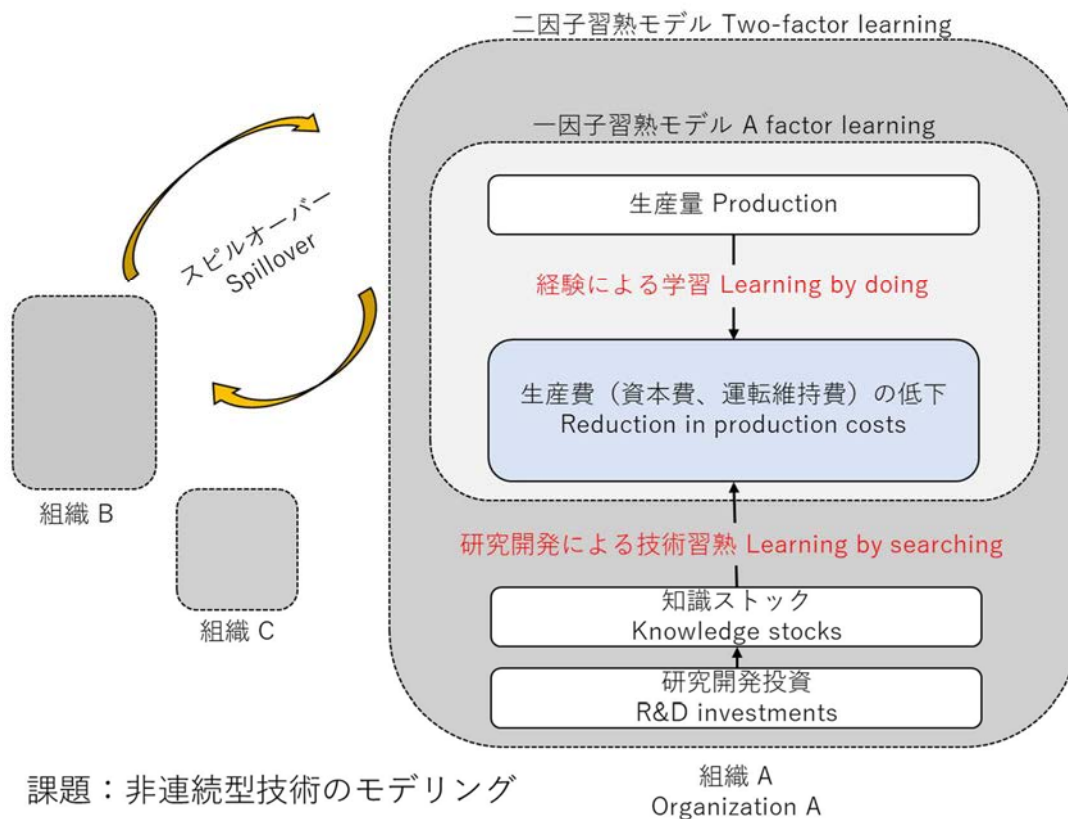


図 3.1.44 イノベーションにおける技術習熟の概念

技術習熟の導入として、投資の費用対効果、例えば風力発電に投資をして、その効果を、簡単な式で表したものが次ページの式になる。つまり、この式にを使って、この時期（第 t 期）の建設費用、運転維持費や知識ストックが計算でき、実際の建設費用等と比較することができる。

$$SCC_t = SCC_0 \cdot CumAdd_t^{\frac{\ln(pr_{SCC,LBD})}{\ln 2}} \cdot KS_t^{\frac{\ln(pr_{SCC,LBS})}{\ln 2}}$$

$$OMC_t = OMC_0 \cdot CumAdd_t^{\frac{\ln(pr_{OMC,LBD})}{\ln 2}} \cdot KS_t^{\frac{\ln(pr_{OMC,LBS})}{\ln 2}}$$

$$KS_t = (1 - \sigma) \cdot KS_{t-1} + RD_{t-x}$$

SCC_t	: 第 t 期における比建設費用 [USD/GJ]
OMC_t	: 第 t 期における運転維持費 [USD/GJ]
SCC_0	: 最初の設備導入に要した費用 [USD/GJ]
OMC_0	: 最初に導入した設備の運転維持費 [USD/GJ]
$CumAdd_t$	: 累積追加容量 [GJ/year]
$pr_{SCC,LBD}$	: 経験による学習に伴う比建設費の習熟率 [-]
$pr_{SCC,LBS}$	: 研究開発に伴う比建設費の習熟率 [-]
$pr_{OMC,LBD}$	: 経験による学習に伴う運転維持費の習熟率 [-]
$pr_{OMC,LBS}$	: 研究開発に伴う運転維持費の習熟率 [-]
KS_t	: 第 t 期における知識ストック [-]
σ	: 技術の陳腐化率 [-]
RD_{t-x}	: タイムラグ x を考慮した第 t 期における研究開発投資額 [USD/kWh]

<(d) .脱炭素社会実現のための中長期デザインのまとめ>

以下に脱炭素社会実現のための中長期デザインのまとめを示す。

- i. 2030 年、2050 年目標設定の具体化
 - ・ 低/ゼロ/脱/Negative 炭素社会
 - ・ RE100/We are still in/気候変動イニシアティブ
- ii. 現時点から将来への実行計画の時間軸、論理軸立案
 - ・ 供給・需要サイドの移行シナリオ開発
 - ・ 統合シナリオ開発
- iii. 技術イノベーションの影響・効果評価
 - ・ 技術習熟（ラーニング）効果の内生化
 - ・ 非連続型技術のモデリング
 - ・ 需要家の形態変化（シェアドサービス）の効果分析

(e) エビデンス等データの質と量の収集・解析

一番大事なことはエビデンスである。エネルギー統計は加工統計であるため、一次統計の影響を考慮しつつ、推定手法を適宜調整する必要がある。エネルギー統計は、10年程度前から、都道府県別に分配したものがようやく出てきた。また、市町村別にした統計も一部出ている。ただし、これだけ複雑なエネルギー消費の中で、加工統計として精度を上げるには限界にきている。

もう一度原点に戻って、必要なデータの収集を始めなければならない。それに則ったうえで、先ほどのスマートシティの仕組みの価値というものが、客観的に評価できる。

(2) 背景の整理

「持続可能なエネルギーシステムの統合デザインと分析」について、背景を整理すると以下ようになる。

a. 評価の各段階におけるデータ収集と整理

評価には5つの段階があるが、現在は段階1であり分析に適したデータ収集と整理が必要である。

- ・段階1 エネルギーシステムの俯瞰と分析 「全体を見る」
- ・段階2 地域エネルギーシステムのデザイン 「地域を見る」
- ・段階3 地域システム統合のグランドデザイン 「地域をつなげて全体をつくる」
- ・段階4 脱炭素社会実現のための中長期デザイン 「時間軸を考える」
- ・段階5 エビデンス等データの質と量の収集・解析 「精度を上げる」

b. 段階1のまとめ

- ・需要と供給情報の部門統合（カップリング）
 - 需給情報の一元管理 ICT based management
 - 需要家のインテリジェンス Carbon price sensitive
- ・エネルギーキャリアの統合（カップリング）
 - 自動車のCASE社会、輸送用燃料 → 電力シフト
 - 熱電併給 CHP、Waste&biomass to energy
- ・エネルギーインフラの新設
 - 化石燃料パイプライン → 熱配送 heat transport
 - バイオマス・ロジスティクス biomass logistics

c. 段階2の課題

- ・全国共通の「普遍性」と地域社会の「特異性」にもとづくシステム定義と性格付け
- ・分析データのエビデンス確保

d. 段階 3 の課題

- ・ 地域社会システムの特異性と普遍性の要因抽出と分析
部門別シェアを基軸としたクラスター分析等
- ・ データ要因分析に基づく統合デザイン手法のモデル開発

(3) クラスター分析の手法

自治体ベースで 1,200 超存在する地域のエネルギーシステムをもとに、特異性と普遍性の切り分け、普遍性から共通点を見つけ出す手法として中田委員のプレゼンではクラスター分析として、産業部門、運輸部門、業務部門の 3 つに分けている。

産業部門については、大きなエネルギーが消費されるため、偶然、その地域に巨大な産業が存在すると、それに左右されるという問題がある。

当研究会の主旨である「脱炭素に資する」観点で、最終エネルギー消費量と CO₂ 排出量が考えられる。

(4) 再エネ大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメントの検討

資料発表日 : 2019 年 1 月 22 日 第 2 回エネルギーマネジメント研究会
発表者 : 國友戦略コーディネーター補佐
資料名 : 都市のエネマネのイメージ、地域のエネマネのイメージ
本報告書、図の出典は第 2 回研究会資料 3-1

ここまでの知見と全国のスマートコミュニティ実証例などを鑑み、変動型再生エネルギーの大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメントに関して、「都市のエネマネのイメージ」「地方のエネマネのイメージ」を俎上にのせ、「再エネ大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメント」の検討を行った。

① 都市のエネマネ

【特徴】

再エネ単位でなく、小グリッド単位で制御

都市では再エネの余剰はなく、不足分を小グリッド単位で地方から調達

【小グリッドの例】

住宅・店舗を束ねる群（電力型地産地消など、EV の有効利用）

地域冷暖房（地冷）の活用

- ・ 次世代地冷（スマートエネルギーネットワーク）
- ・ 既存地冷と次世代ビルの連携
- ・ 清掃工場の近隣ビルへの熱供給

【都市全体（配電系統：スマートグリッド）にまたがる事業者の例】

気象プロバイダ、個人間取引仲介者、PV/EV サービス事業者、統合ビル管理者、電力アグリゲータ、EV ステーション/シェア事業者

【BCP 時の運用】

小グリッド毎に配電系統から分離し、配電系統のブラックアウトを回避

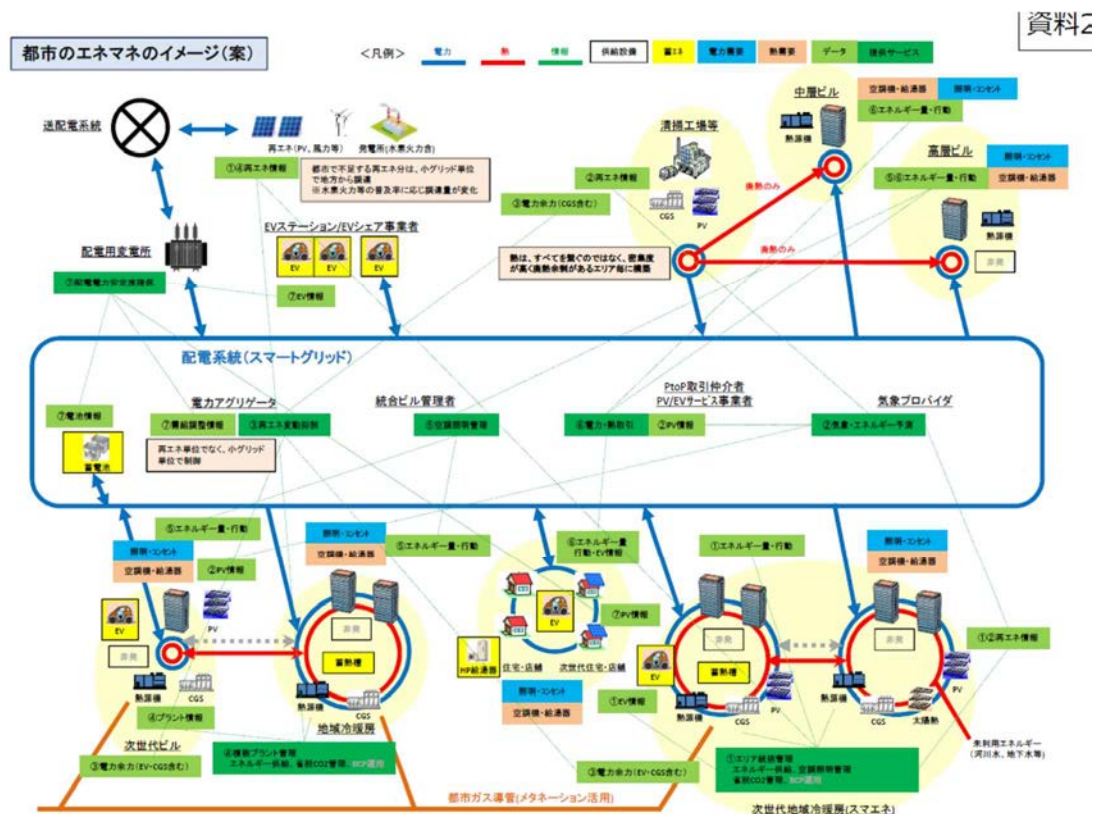


図 3.1.46 都市のエネマネ

② 地域のエネマネ

【特徴】

再エネ単位でなく、小グリッド(SoS の候補)単位で制御
送電線容量圧迫を回避するため、再エネは地産地消し余剰分のみ都市へ送電

【小グリッドの例】

発電専用（現状のメガソーラーなど）
電力型地産地消
水素型地産地消
次世代地域冷暖房
メタネーション活用
オフグリッド

【地方全体（配電系統：スマートグリッド）にまたがる事業者の例】

気象プロバイダ、個人間取引仲介者、PV/EV サービス事業者、電力アグリゲータ

【BCP 時の運用】

小グリッド毎に配電系統から分離し、配電系統のブラックアウトを回避

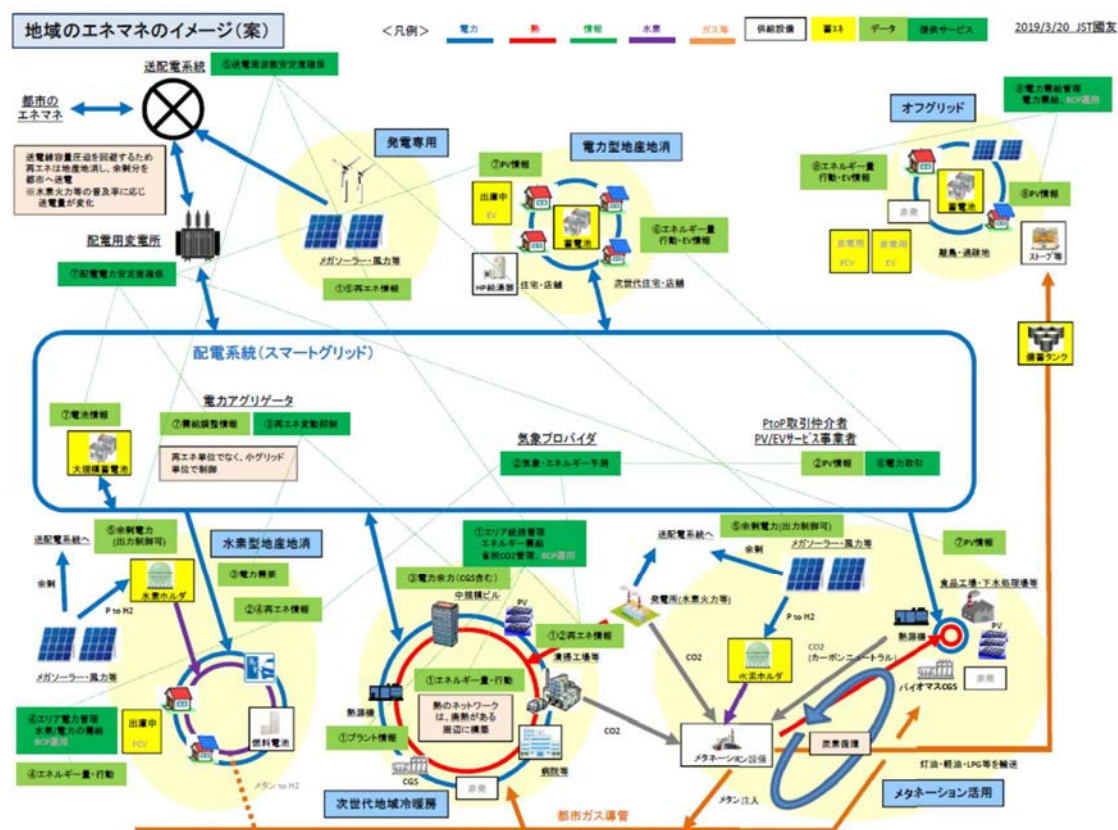


図 3.1.47 地域のエネマネ

③ SoS 類型の整理

既述「(2)状況の整理」の段階2の課題において、全国共通の「普遍性」と地域社会の「特異性」にもとづく、システム定義と性格づけがある。

脱炭素が進展する 2030～2050 年頃の都市と地方のエネルギーマネジメントは、「特異性」が多いと想定し、①都市のエネマネと②地方のエネマネに分けて検討したが、表 3.1.48 のように、都市と地方で共有できる、小グリッド（SoS の候補）や全体にまたがる事業者などが多く、かつ規模（省エネ/脱炭素ポテンシャル）が高いことがわかり、「普遍性」が高く「特異性」は小さい可能性が示唆された。

今後は、小グリッドの種類の過不足（特に影響の大きい種類の抜けがないか）、小グリッド毎の標準モデルの検討、具体的な対策や課題を整理などが必要である。

表 3.1.48 上記①都市のエネマネと②地方のエネマネの整理

項目	都市と地方の共通点	都市と地方の相違点
特徴	・ 小グリッド単位の制御	・ 再エネ余剰は地方のみ
小グリッドの例	・ 電力型地産地消 ・ 地域冷暖房の活用 ・ 清掃工場など共通の活用施設	・ 地方は再エネを電気以外に活用 例：水素、メタネーション ・ 地方は地域特性を活かしたバイオマス CGS 等
全体にまたがる事業者の例	・ 気象プロバイダ ・ 個人間取引仲介者 ・ PV/EV サービス事業者 ・ 電力アグリゲータ	・ 都市でメリットが大きい事業有例：統合ビル管理者
BCP 時の運用	・ 小グリッド毎に配電系統から分離し、配電系統のブラックアウトを回避	—

3.2 実現に必要な課題とその対策

(1) 今後の検討課題

地域エネマネは、「(2)背景の整理」でもあったとおり、日本全体でのデータの収集と整理が不十分な段階にあるため、今年度は、まず SoS のタイプの整理を行なった。SoS のタイプの例として、「(3)クラスター分析の手法」ではクラスター分析の提案があった。また、「(4) 再エネ大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメントの検討」では、小グリッドの提案があった。今後、2つの提案を融合させ、SoS のタイプを決定し、実現に必要な対策（タイプ毎の脱炭素の手段など）を整理していく。

また、検討において得られた知見から、これまで供給側のみの目線であったエネルギーデータにおいて、需要側やタイプ目線でどのようにデータを収集・整理していくことが望ましいかを提言することができると考える。

(2) 地域エネルギーマネジメントシステムの検討事例

a. 統合イノベーション戦略「環境エネルギー」エネルギーマネジメントシステムサブタスクフォースにおける調査結果について

関係府省庁にて行われているエネルギーマネジメントシステムに係る技術開発・実証事業や審議会・研究会等を調査（調査①）^(注)し、本研究会（第1回）で提示された「次々世代電力システム構造」の物理層に当てはめたのが図 3.2.1 である。

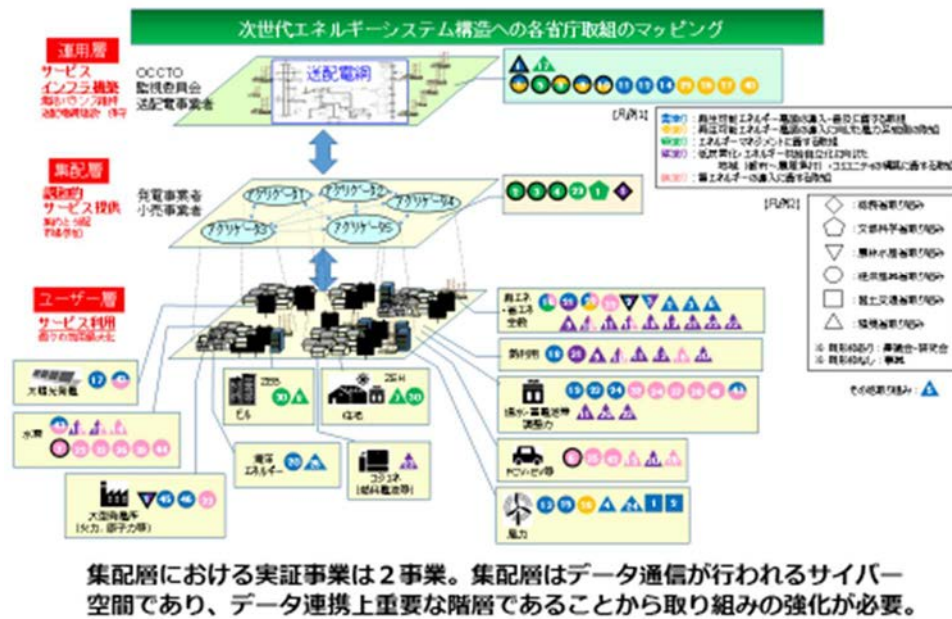


図 3.2.1 エネルギーマネジメントシステムに係る技術開発・実証事業・審議会・研究会等

次に各地域で行われているエネルギーマネジメントに関する取り組み（実証事業等）を調査（調査②）^{（注）}した結果、以下が判明した（図 3.2.2）

- ・北海道から沖縄まで日本全国で各地域の特性を生かした再エネも活用したエネルギーマネジメントに関わる取り組みが実証事業中心に行われている。
- ・四国地方ではエネルギーマネジメントに関する実証事業は、検討のみでまだ行われていない。
- ・エネルギーマネジメントに関する実証事業は、事業を展開する土地が有する特徴を活かしたシステムを構築している。

（注）公開情報を元に調査。調査①と調査②で一部重複がある。

【凡例】(事業における構成アイテム)

- ：電気設備（再生エネ等）
- ：E-2/E-4—管理(EHS等)
- ：風上・下（新電力、EV、水素等）
- ：様社会の関わり

【凡例】(関係者)

- ◇：総務省取組のみ
- ◆：経済産業省取組のみ
- ：国土交通省取組のみ
- △：環境省取組のみ
- ◯：関連府県不明

【北海道】

青森県	秋田県	山形県	福島県
-----	-----	-----	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（注・+）

【東北地方】

青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県
-----	-----	-----	-----	-----	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（東北・+）

【関東地方】

茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（東・+）

【中部地方】

石川県	山梨県	長野県	岐阜県	静岡県	愛知県
-----	-----	-----	-----	-----	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（中・+）

【中国地方】

鳥取県	岡山県	広島県	山口県
-----	-----	-----	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（中国・+）

【近畿地方】

三重県	滋賀県	京都府	大阪府	兵庫県
-----	-----	-----	-----	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（西・+）

【四国地方】

徳島県

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（四・+）

【九州・沖縄地方】

福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

※ 配管内の番号は表中の番号に対応。（九・+）

図 3.2.2 各地域で行われているエネルギーマネジメントに関する取り組み（実証事業等）

今後はシステム間のデータ連携によるエネルギーマネジメントを通じた脱炭素化のポテンシャルを有する事例の洗い出しを行うと共に、異なるセクターの情報を活用するためのデータ連携について検討を進める必要がある。

太陽光発電余剰電力を熱及び水素製造によって有効活用する事例として、相馬スマートコミュニティ現地調査を行ったので、現状と課題を述べる。

- ・2017年に、地域振興に関して相馬市から相談を受け、事業化に向けた検討が始まる。2015～2016年度に掛けて詳細計画を検討、2017年度に建設工事完了。

- 79



図 3.2.3 そうま IHI グリーンエネルギーセンター

出典：福島イノベーション・コースト構想シンポジウム

「相馬市で展開するスマートコミュニティ事業、福島復興実用化開発等促進事業における取組み」

- ・2017年3月に、相馬市・パシフィックパワー株式会社・株式会社IHIの3者が出資した、特定送配電・小売電気事業会社「そうまIグリッド合同会社」を設立。自営線(図 3.2.4 の赤線)による電力供給(特定送配電事業)と一般送配電系統(図 3.2.4 の黄線)を使った小売電気事業の2つの役割を担う。

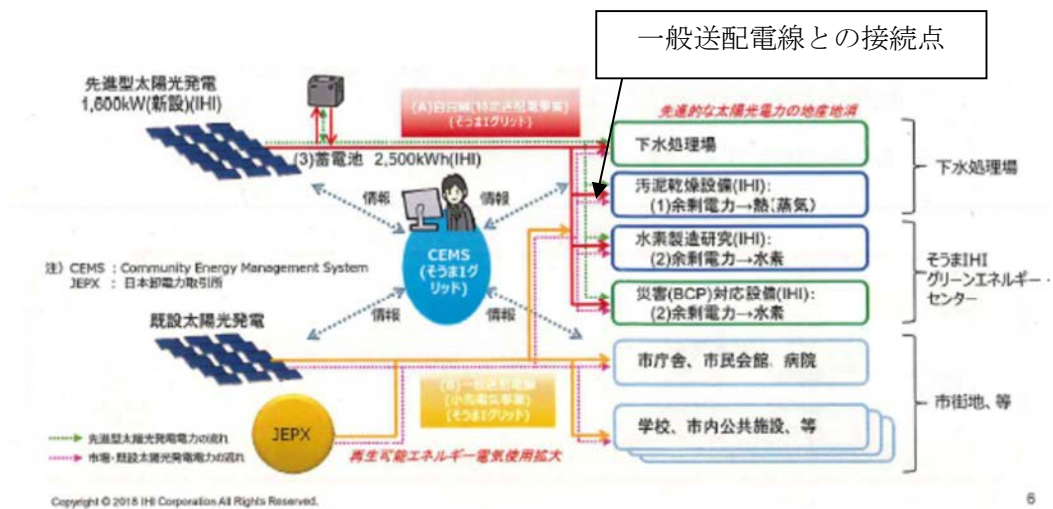


図 3.2.4 相馬スマートコミュニティ電力供給概要図

「相馬市で展開するスマートコミュニティ事業、福島復興実用化開発等促進事業における取組み」

(b) 課題

- ・ P2G（水素製造装置）としてアルカリ型と PEM 型があり、その出力バランスの最適化
- ・ 電池充放電の最適化（パワコンは台数多いので制御性はよい）

- ・ PV 逆潮流防止用 UPR を極力動作させないための最適化（今後気象情報を利用）
- ・ 電力 DR の子アグリゲータとしてのノウハウ搭載

(3) 課題 B（ワイヤレス給電）、課題 D（ユニバーサルパワーモジュール）との関連

課題 B との関連は、今まで EV の電力ポテンシャルの検討前提が有線接続であったところを、ワイヤレス給電を想定した検討を行うことである。ワイヤレスになると EV と、充（放）電システムとのコンタクト機会が増える。太陽光余剰電力の発生時期や場所と合わせて、現在よりどれだけ太陽光や風力が導入でき、その結果どれほど脱炭素化に結びつくかの計算が求められる。

次に、ワイヤレス給電が入った場合の情報連系モデルに配電側の話を組合せ、ワイヤレス給電が配電系に影響を与えないで車の走行の利便性を高められるか確認する。

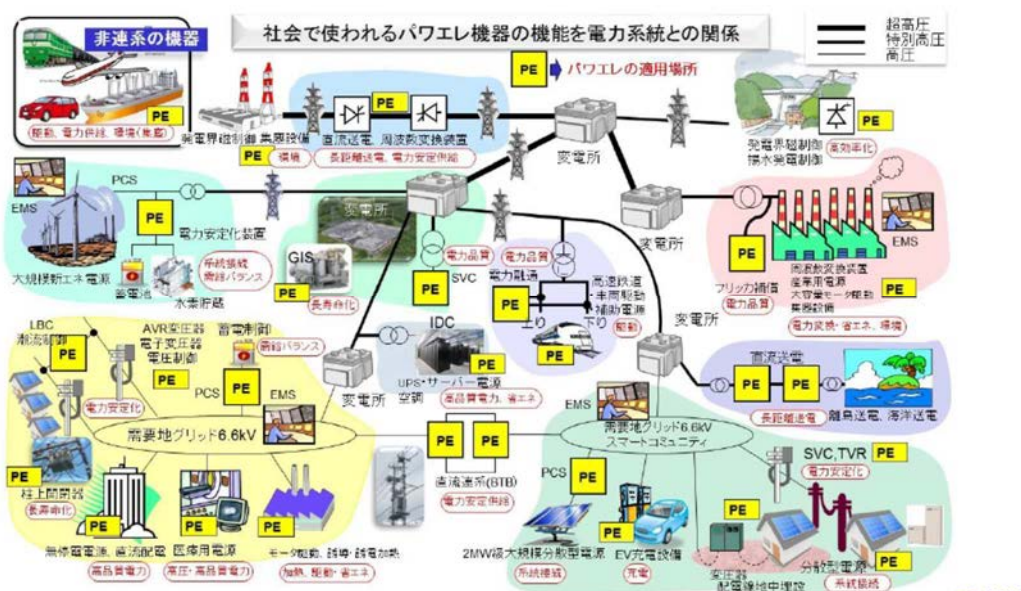


図 3.2.5 社会で使われるパワエレ機器の機能と電力系統との関連

出典：第 3 回エネマネ研究会資料 6-2

課題 D が扱うユニバーサルパワーモジュールはパワーエレクトロニクス主要素となるため、上図のように、あらゆる分野での利用が考えられる。

特に本章は、分散電源×電力系統 P2G（電気⇄ガス）や 分散電源×運輸／交通 V2B（車⇄ビル）、V2H（車⇄家）をみているため、その全てに関係がある。

第4章 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム

4.1 背景

(1) 電気自動車と電力システム

資料発表日：2019年1月22日 第2回エネルギーマネジメント研究会

発表者：太田（豊）委員

資料名：電気自動車と電力システム

本報告書、図の出典は第2回研究会資料7

電気自動車（以下、EV）と電力システムの統合はセクターカップリングを背景とするが、そこに需要家の観点を入れ三つ巴で見なければいけない。

自動車業界の転換点はCASE（Connected Autonomous Shared Electric）であり、情報端末でありエネルギー端末にもなる。これらを「つなぐ」ことが新たな価値を創造する。

電力業界の転換点は3D+D（Decarbonized Decentralized Digitalization Deregulation）で再エネを統合しなければならないが、余剰電力を効果的に使用してくれる負荷としてEVが考えられている。さらに太陽光や風力等の変動電源には調整能力が要求されるが、ここに電池が望まれる。これらを踏まえると自動車と電力の業界はうまくマッチングすると言える。2つのシステム統合から需要家に魅力あるコンテンツを提供することを考えなければいけない。



図 4.1.1.1 電気自動車・電力システム・統合の背景

先行事例として海外の電力会社とEV会社の戦略をまとめたのが図4.1.1.2である。

英国の National Grid は EV 統合を意識している。2040 年に 3600 万台の EV が入ることを想定しており、ほぼ 100% が EV 化するため、再エネを EV に誘導する。イタリアの enel やドイツの Innogy は EV と電力の間の SW や HW の充実を指向する。

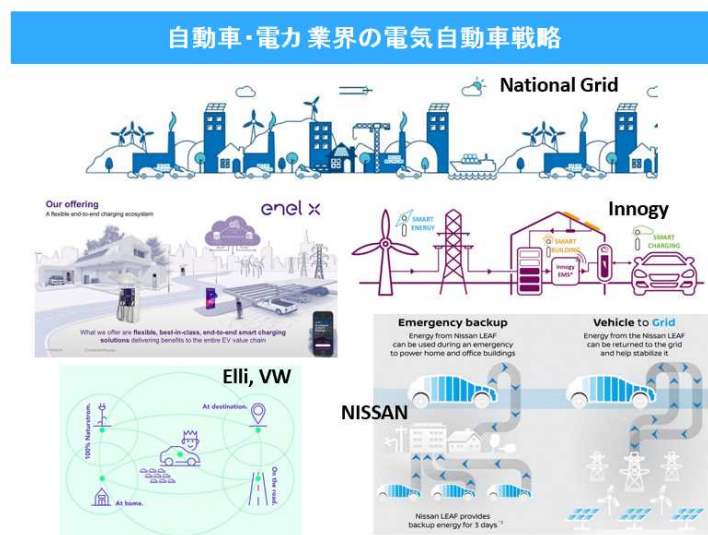


図 4.1.1.2 自動車・電力業界の電気自動車戦略

統合のモチベーションは 2 段階が考えられる。電力は余剰電力の吸収に期待があり、技術的にはスマートチャージングがある。図の例は 40kWh バッテリーを搭載した EV の毎日の行動から、移動で消費する 6kWh の充電と常時残る 34kWh の行使の仕方を表している。

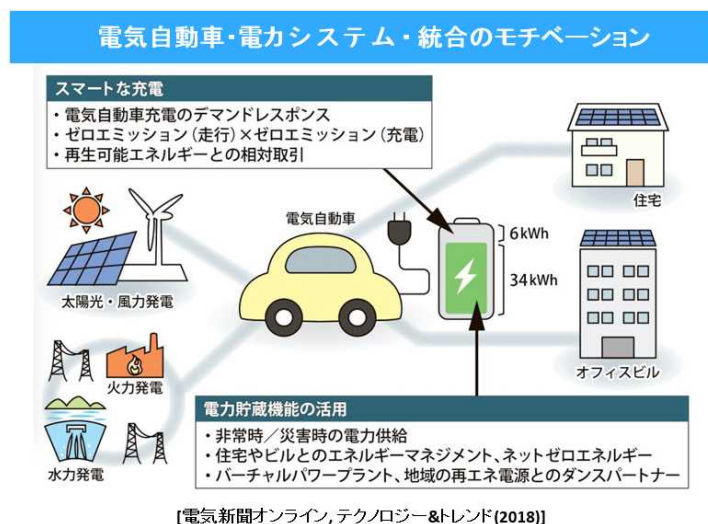


図 4.1.1.3 電気自動車・電力システム・統合のモチベーション

EV を分散型電力貯蔵システムとしてみた場合にその価値化は V2H、V2B によって得られる。特に職場レベルの規模になると、再エネを入れることによる職場の環境向上になる。通勤者が EV を利用すればビルのエネマネと BCP にも寄与できる。



図 4.1.1.4 分散型電力貯蔵機能の価値化

V1G については世界レベルで実ビジネスが進んでいるが、V2G は数としては多くない。

その中で Vehicle to Grid Britain は最初から 2700 台というスケラブルを意識したプロジェクトである。EV を購入するとき最初から双方向の充電器を付ける。EV は夕方、帰宅時にバッテリーを使い切った状態にして、風力余剰分で夜中に、太陽光余剰分で昼間に充電する。

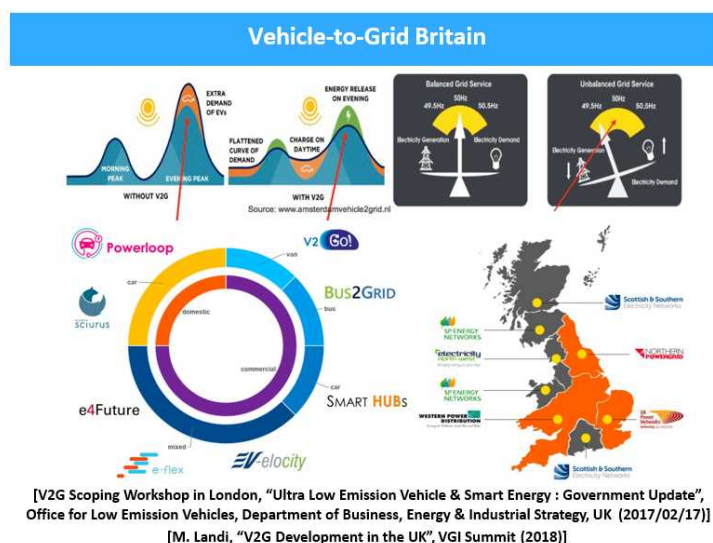


図 4.1.1.5 Vehicle-to-Grid Britain

図 4.1.1.6 は、配電系統と EV を統合したイメージである。日本の住宅地の配電系統をモデルとしている。PV が 4 台、EV が 4 台入っており過不足が生じる。過不足についてブロックチェーンを使って捌く構想である。この場合、スマートメーターを経由して配電系統の混雑監視・混雑解消が課題となる。

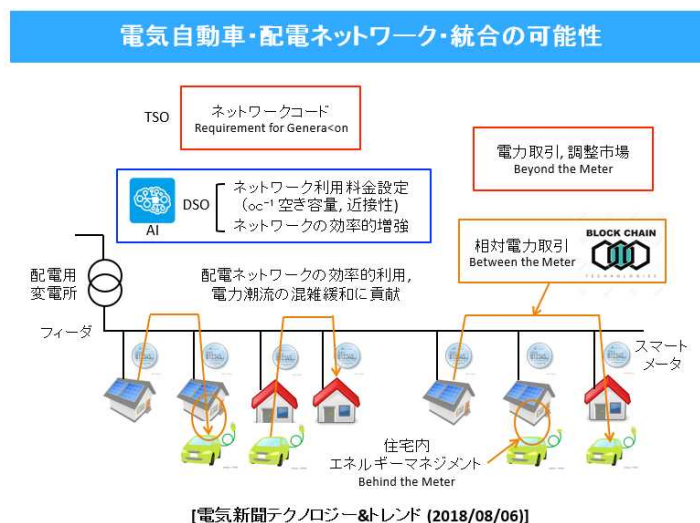


図 4.1.1.6 電気自動車・配電ネットワーク・統合の可能性

統合した場合に考えられるサービスを網羅的に1次元に整理したのが図 4.1.1.7 である。

EV を持つのが家庭でも事業者でも、サービスに参加し自分のエナジーストレージを行使し、インセンティブを多く得ることが、最大の目的である。

左側が系統レベル、右側が利用者レベル（主として家庭）、中間が利用者と系統間のサービスである。

利用者は再エネで EV 充電、次に蓄電をビルのエネマネに提供することで電気に関するコストを下げる、系統側は基本的に速いサービスを求める。周波数調整のために充放電能力を提供してインセンティブを得る。同じ系統でも配電レベルになれば電圧制御と無効電力制御が要求されるが、インバータ機能の高度化で可能である。

中間の領域では、仮想同期発電機などのグリッドフォーミング機能を EV に持たせる必要がある。

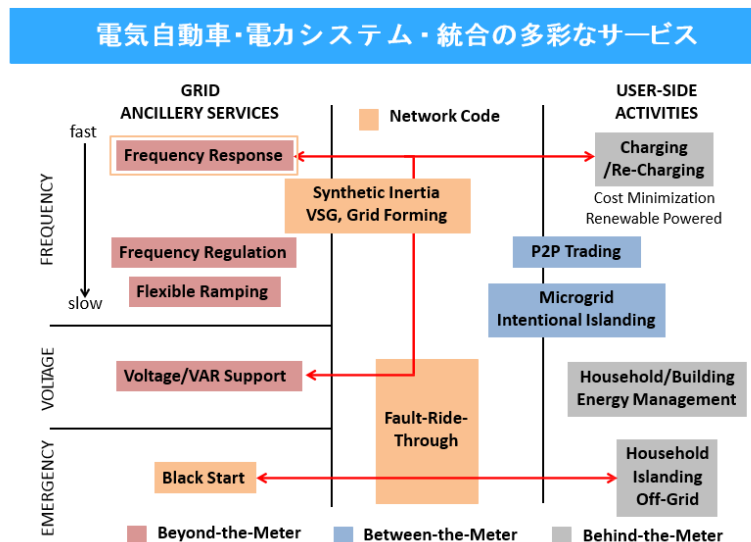


図 4.1.1.7 電気自動車・電力システム・統合の多彩なサービス

これらの機能を全部持たせて 40 万円で仕上げるのが技術目標である。

以上は EV と系統とは有線接続を前提とした議論である。

ワイヤレス給電が実現すると EV の立場ではコンタクトの機会が増えることを意味し、サービス内容が変わることが想定される。

(2) EV のエネルギー利用に関する課題

資料発表日：2019 年 3 月 28 日 第 3 回エネルギーマネジメント研究会

発表者：三菱電機(株) 鈴木主管技師長

資料名：EV のエネルギー利用に関する課題

本報告書、図の出典は特に記載がない場合は第 3 回研究会資料 5

a. 電気自動車 (EV) の歴史と今後のトレンド

EV の歴史は古く、実はガソリン自動車よりも前にこの世に誕生した。しかし、当時は実用に至る電気自動車を作る技術はなく、普及には至らなかった。

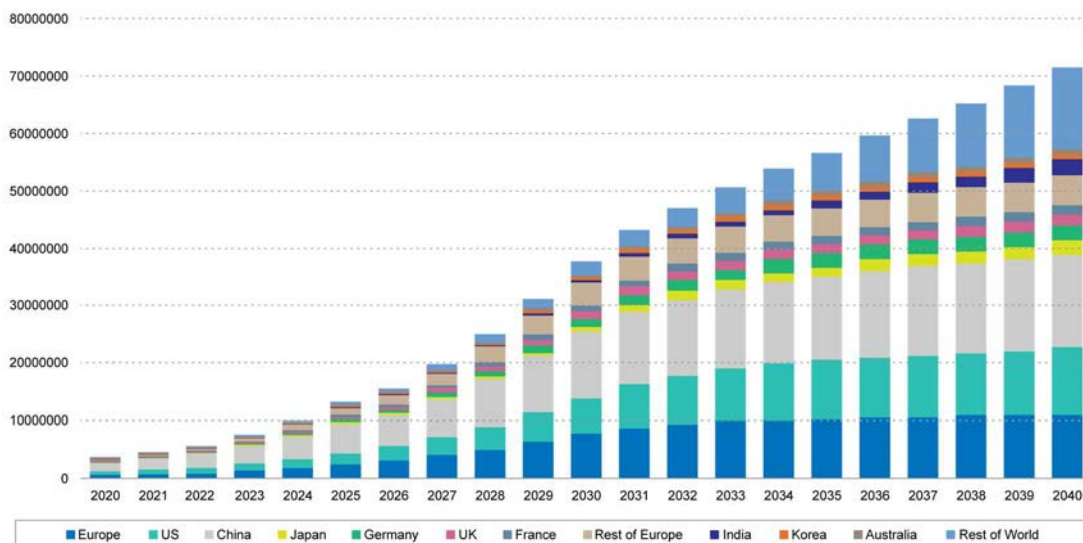


図 4.1.2.3 EVの新車販売台数の見通し

2018 年 EV 充電のため消費された電力量は全世界で 63TWh にのぼり、これは、日本の全電力消費量の 1/15 に相当する。さらに EV 拡大に伴い、2040 年時点での EV 充電で消費される電力量は、2,000TWh 以上になると見込まれている。(日本の年間電力消費量の 2 倍)

このように EV 台数自体は順調に伸びているものの、EV・PHV の累計普及台数と、AC 普通充電装置の累計普及台数の伸びを比較してみると、EV・PHV の普及の伸びに対して充電器の普及が追いついていないことが分かる。

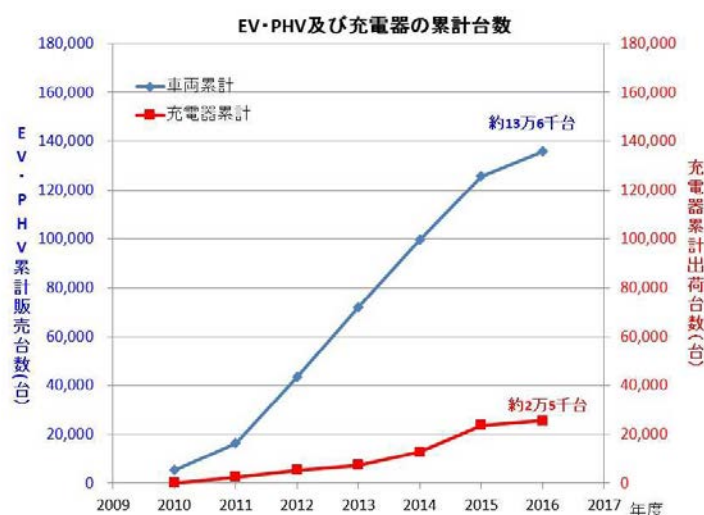


図 4.1.2.4 EV・PHV 及び充電器の累計台数

出典：一般社団法人 次世代自動車振興センター、
一般社団法人 電動車両電力供給システム協議会 Web より

家庭用の蓄電池は2014年から2016年にかけて価格が1/2となっており、さらに2016年～2030年にかけて価格は1/2になると予想されている。

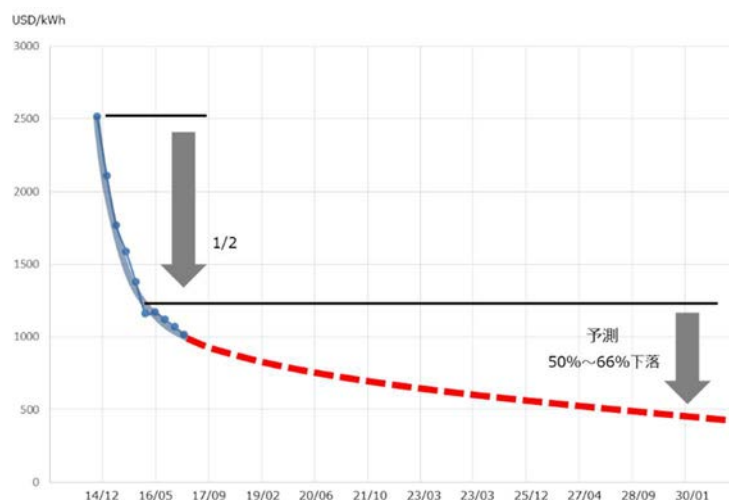


図 4.1.2.5 家庭向け LiB の価格トレンド

出典：ICEF2017 Michael Taylor 国際再生可能エネルギー機関

「電力貯蔵：2030年までのコストと市場」から作成

また、上表は現状、各社 EV 車両の蓄電池容量と価格、航続距離、電力量消費率を比較したものであるが、家庭向けリチウム電池の価格動向は、今後 EV/PHV 価格にも影響するものと思われる。

ところで、これまで①経産省の自動車産業戦略 2014 では、2030 年の EV/PHV の新車販売に占める割合（目標）を 20~30%としてきたが、②「日本再興戦略改訂 2015」では 2030 年の EV・PHV 保有台数を全体の 16%と見込んでいる。

次図は、2020 年の EV・PHV の新車販売割合をベースに①②それぞれの 2030 年の目標を必達するための推移をグラフ化したものである。

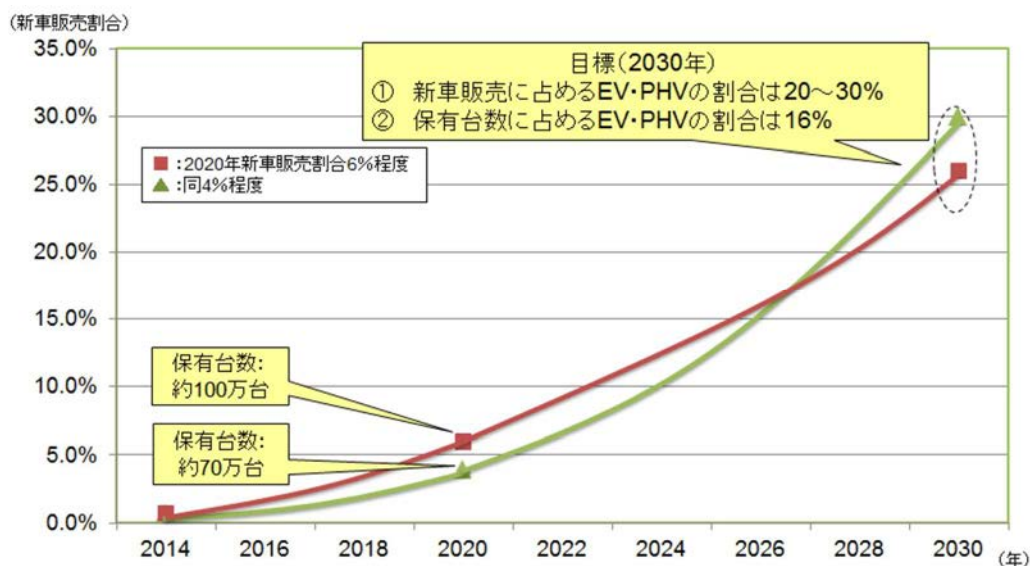


図 4.1.2.6 新车販売に占める EV/PHV の割合目標

出典：EV・PHV ロードマップ検討会 報告書

最後に、現在の国内乗用車保有台数：6,200 万台（2018 年 10 月、普通・小型・軽の合計）が 2030 年の国内乗用車台数と変わらないものとして、②の考え方で 2030 年の EV・PHV 台数を予測すると、 $6,200 \text{ 万台} \times 16\% \div 990 \text{ 万台}$ となる。

b. モビリティの将来像：CASE について

2016 年パリで開催されたモーターショーで独ダイムラー社は、自動車の枠組みを大きく変えるようなコンセプト「CASE」を発表した。

これは、4 つのキーワードの頭文字からなるコンセプトで、それぞれ外部・相互接続性を高める「**C**onected」、自律走行の実現を目指す「**A**utonomous」、カーシェアリングなど多様なニーズに対応するための「**S**hared & Services」、そして電気自動車 (EV) の「**E**lectric」を意味する。

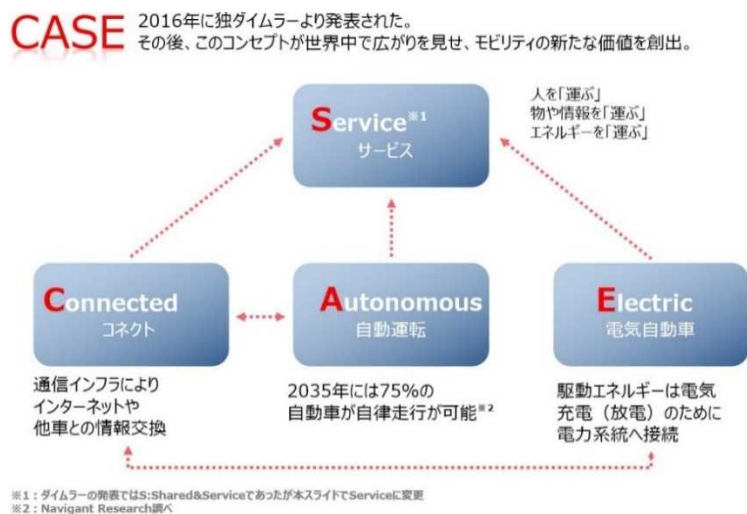


図 4.1.2.7 モビリティの将来像

以下、4つのキーワードそれぞれについての概要を示す。

■ Connected : コネクト

自動運転技術とEVが普及するためには「コネクト」が重要。
自動車が「コネクト」されることにより、多種多様なサービスを受けることが可能になる。

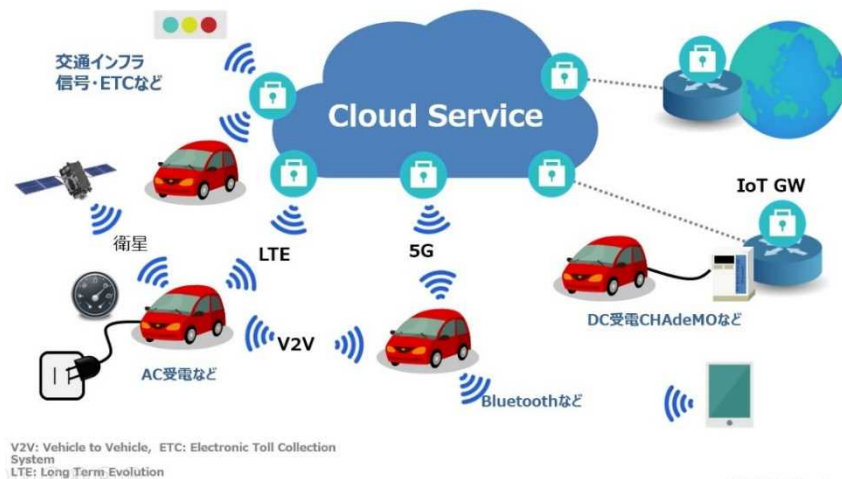


図 4.1.2.8 コネクト

■ Autonomous : 自動運転

自車のセンサー等で周辺状況を認識すると共に、インフラや他車と接続して収集した情報も活用することで、自車の状況を判断して行動を決定。

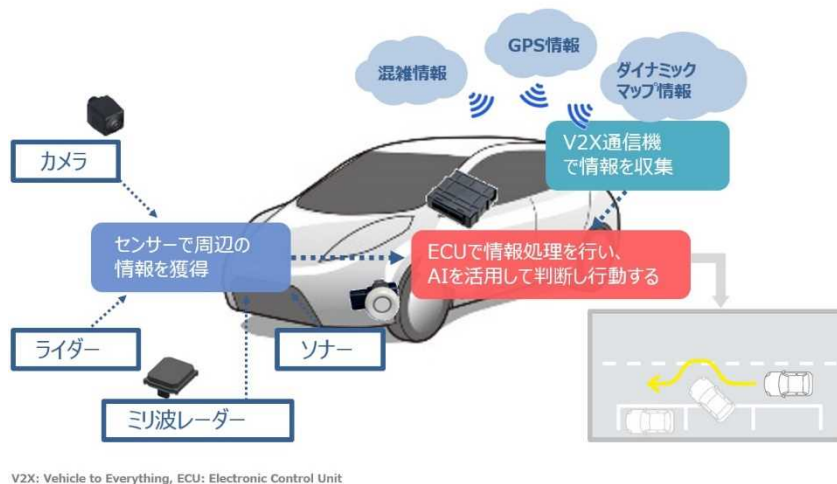


図 4.1.2.9 センサーによる自動運転

■ Autonomous：自動運転

自動運転を実現するため、準天頂衛星データを活用して現在位置を高い精度で判別可能としたセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）。

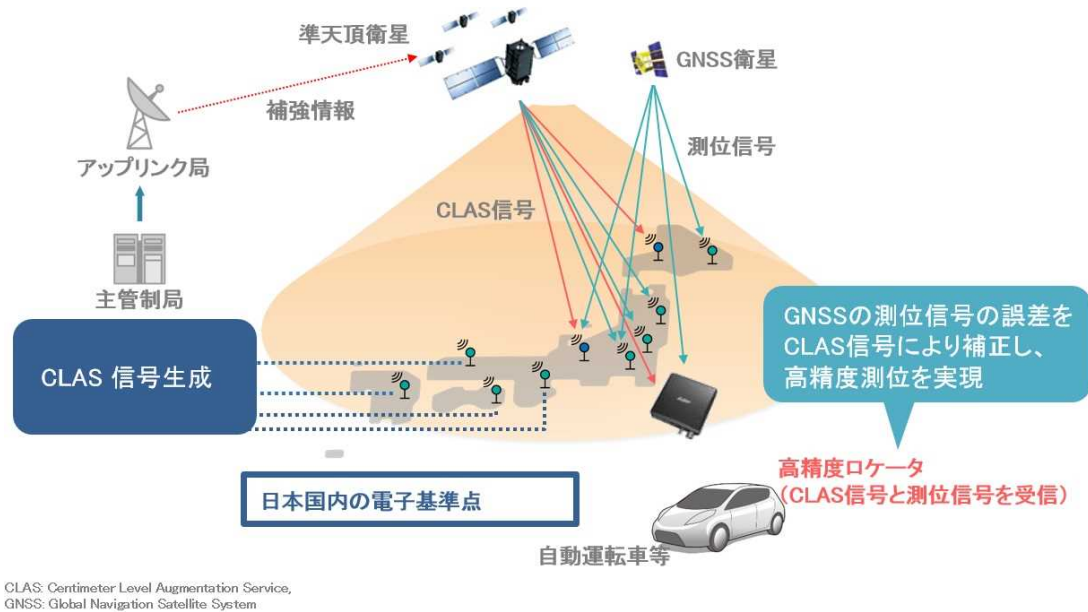


図 4.1.2.10 準天頂衛星データによる自動運転

■ Service：サービス

地図データの活用



SIP「自動走行の実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討におけるダイナミックマップ構築に向けた試作・評価に係る調査検討」



図 4.1.2.11 地図データの活用

■ Electric : 電気自動車

電気自動車(EV)は電気の力で電気モータを駆動することで走行する車。駆動するための電力は走行中には外部からの供給が受けられないため、車体内部に大容量バッテリーを搭載。バッテリーへの充電は、家庭用電力（交流）もしくは、急速充電器（直流）から。家庭用電力は交流のため、車内で直流に変換した後にバッテリーに蓄積。

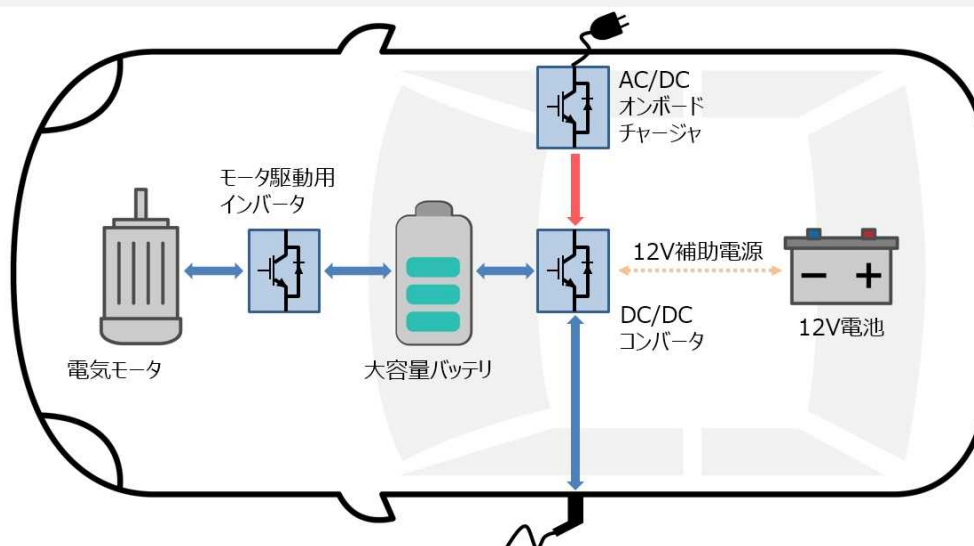


図 4.1.2.12 電気自動車と電気モータ

c. EV の電力ポテンシャルと電力系統に及ぼす影響

(a) EV の電力ポテンシャル

2030 年時点の EV 車載電池の量的ポテンシャルを予測する。

EV へ搭載されている蓄電池容量を 50kWh とすると、

- ・ 2030 年時点の全 EV の蓄電池容量： $990 \text{ 万台} \times 50 \text{ kWh} = 495 \text{ GWh}$ 。

EV の平均走行距離：7073km/年、電力量消費率を 148Wh/km とすると、

- ・ 平均年間車両消費電力： $148 \text{ Wh/km} \times 7073 \text{ km/年} \div 1000 = 1 \text{ MWh/年}$ となるので、
- ・ 2030 年時点で全 EV の走行に必要な電力量： $990 \text{ 万台} \times 1 \text{ MWh} = 9.9 \text{ TWh/年}$ となる。

ここで、EV のパワコンへの接続率：60%、接続時の利用可能 SOC：50%とすると、
最大蓄電容量＝ $495 \text{ GWh} \times 0.6 \times 0.5 = 148.5 \text{ GWh}$ である。

これに対して、2017 年実績のピーク電力量：160GW、総電力量 958.8TWh/年と、エネルギー基本計画より 2030 年時点の年間総電力量 1065TWh/年から、2030 年時点のピーク電力は $160 \text{ GW} \times 1065 / 958.8 \div 1000 = 178 \text{ GW}$ となり、

- ・ 2030 年時点の PV 発電抑制電力（ピーク電力の 10%とする）：17.8GW となる。

2030 年時点で PV 発電抑制がピーク吸収時間：9:00～15:00 の 6h あるとすると

- ・ PV 発電抑制を全て吸収するために必要蓄電量： $17.8 \text{ GW} \times 6 \text{ h} = 106.8 \text{ GWh}$

この値は 2030 年時点の EV 最大蓄電容量 148.5GWh より小さいので、想定どおりであれば、充電中の EV の車載蓄電池のみで PV 発電抑制分を吸収でき、PV 発電抑制が回避できるとともに、本来なら余剰の PV 電力であるので、EV 側も安価に充電できる（あるいは逆に報酬をもらえる）ことが期待できる。

また、EV のパワコンの充放電容量が 6kW の場合、EV のパワコンへの接続率が 60% なら、EV 最大吸収電力： $990 \text{ 万台} \times 6 \text{ kW} \times 0.6 = 35.64 \text{ GW}$ となる。

次に、EV への充電の仕方により、電力系統にどのような影響を及ぼすかを考える。

次図は、3 種類の EV への充電形態と、その電力系統への影響をまとめたものである。

(b) EV の充電形態と、電力系統に及ぼす影響

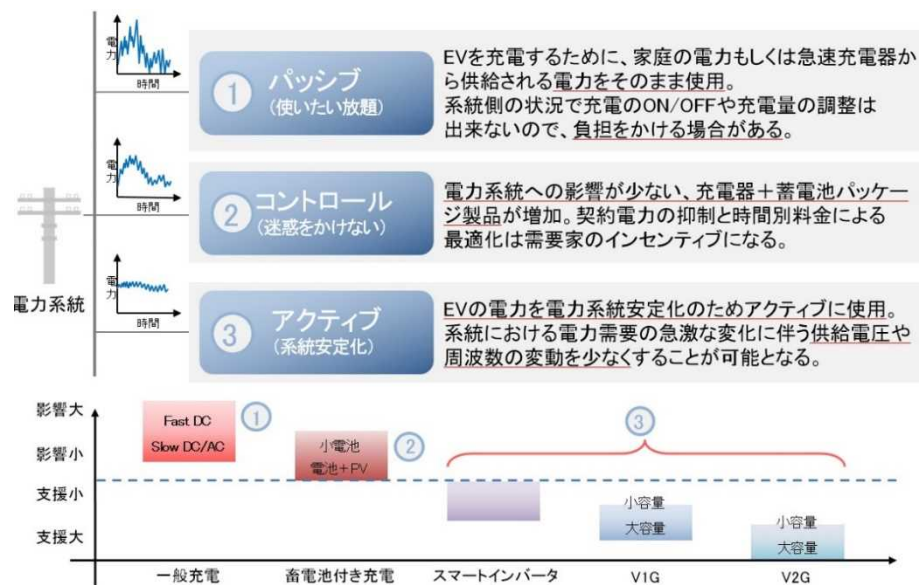


図 4.1.2.13 EV の充電形態と電力系統に及ぼす影響

次に、これら 3 種類の EV 充電形態それぞれについて、もう少し詳しく電力系統に及ぼす影響について考えてみる。

① パッシブ：使いたい放題

- 家庭用ACもしくは、急速充電器(DC)でEV充電が可能。
- 充電時の定格電力は数kWから100kW程度が多い。
- 充電時の出力電力はEVが決めるため、充電器側での出力調整は不可。
- 電力出力が高い充電は配電系統の状況により電圧変動や過負荷などの危険性。

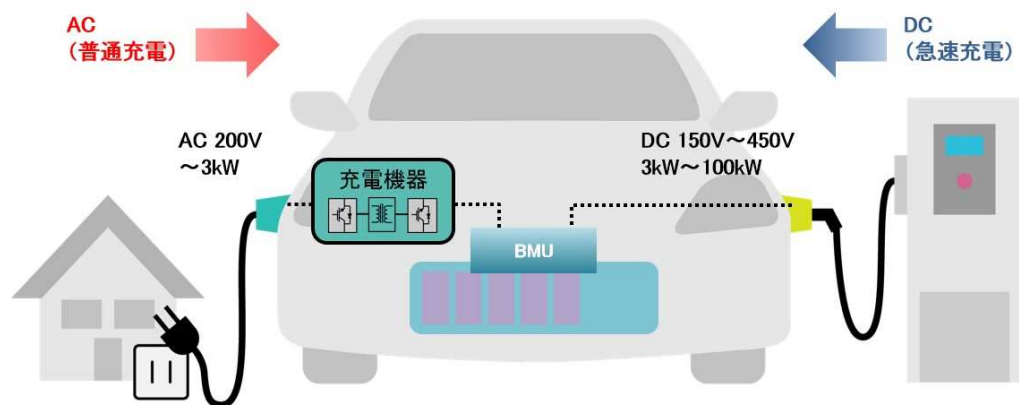


図 4.1.2.14 需要ニーズに基づく充電

② コントロール：迷惑をかけない

- 充電器(AC/DC)に加えて蓄電池を併設。蓄電池からの放電によりピーク抑制が可能。
- ピークを抑えられれば契約電力を低く設定でき、電力料金の恩恵あり。
- 蓄電池を運搬することができれば、系統レスでもEVへ自立充電が可能。

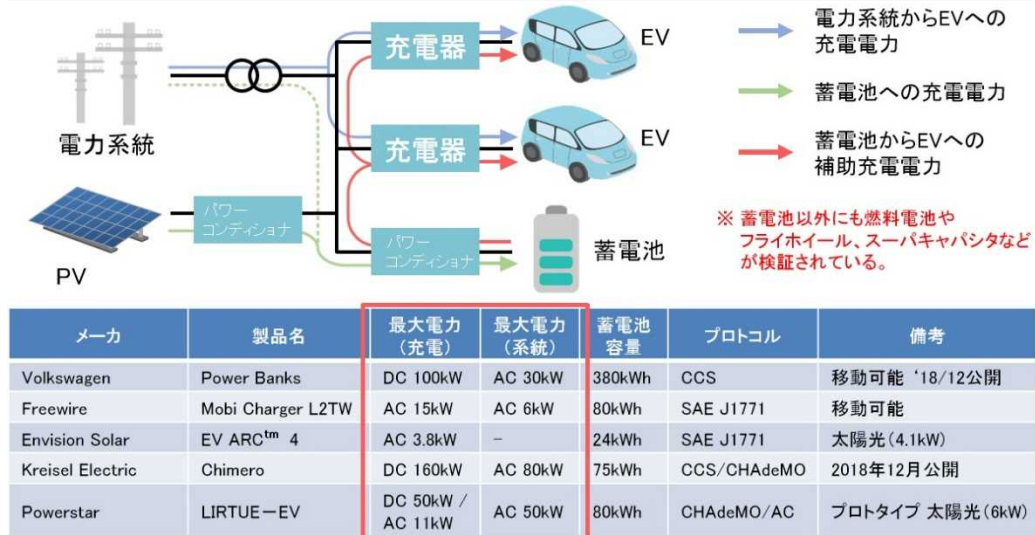


図 4.1.2.15 コントロール充電

②では、EV への充電で電力系統に迷惑をかけないように考慮されており、下段の表の通り、このような EV 充電サービスがすでに提供されている。

③ アクティブ：スマートコネクション

- EVの電力を電力系統安定化のためアクティブに使用。電力系統状況を見た充電量制御 (V1G)とEV放電による電力逆潮流制御 (V2G)の2種類。
- EVは可動電源である特性を活かし、停電時の非常用電源の供給や電力網の垣根を超えたアクティブリソースとして電力供給が可能。
- EMS/DERMSなどの配電管理システムからVolt/VAR制御をすることが可能。
- 将来的には、配電網の電圧や周波数を計測したスマートインバータ機能 (PCS機能)による出力自律制御も可能と出来る見込み。

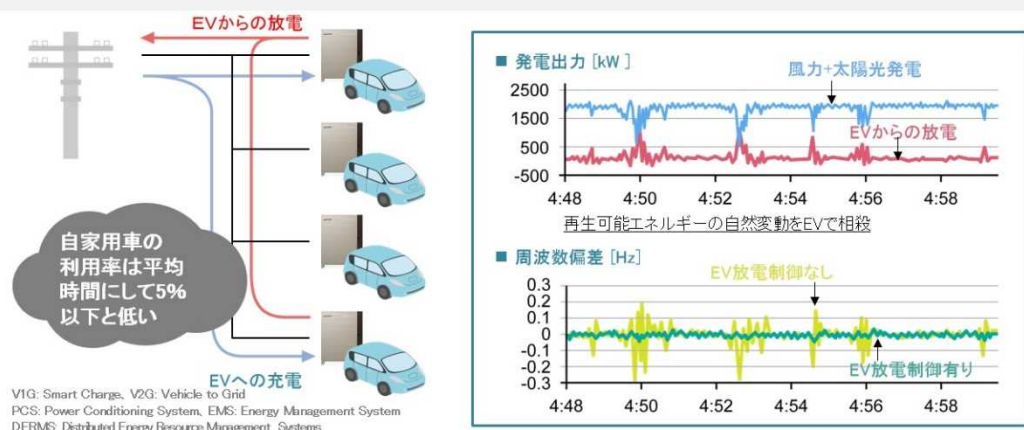


図 4.1.2.16 系統安定化に資する充電

③では、EV 充電制御だけではなく、EV 放電も制御することによって、更に電力系統の状況に応じた形で EV 充放電を実施する。上図下部のグラフは、再生可能エネルギーの自然変動を EV 充放電で相殺する様子と EV 充放電制御で周波数偏差を解消する様子を示している。

(c) 電力系統自体の変化

電力系統の形態は、現在移行期にあり、従来の少数大規模集中電源を需要地に運ぶ一方通行の形態から、無数の分散型電源と、太陽光発電などを持つ需要家（プロシューマ）の間で双方向に流れる形態への移行途上にある。



図 4.1.2.17 電力送配電網の変化

出典：資源エネルギー庁

次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会 資料より

「EV」の普及、「蓄電池」技術向上、「DR/VPP」の導入により、インタラクティブな電力フローが促進され、電力プラットフォームのあり方が、更に変わっていくものと考えられている。

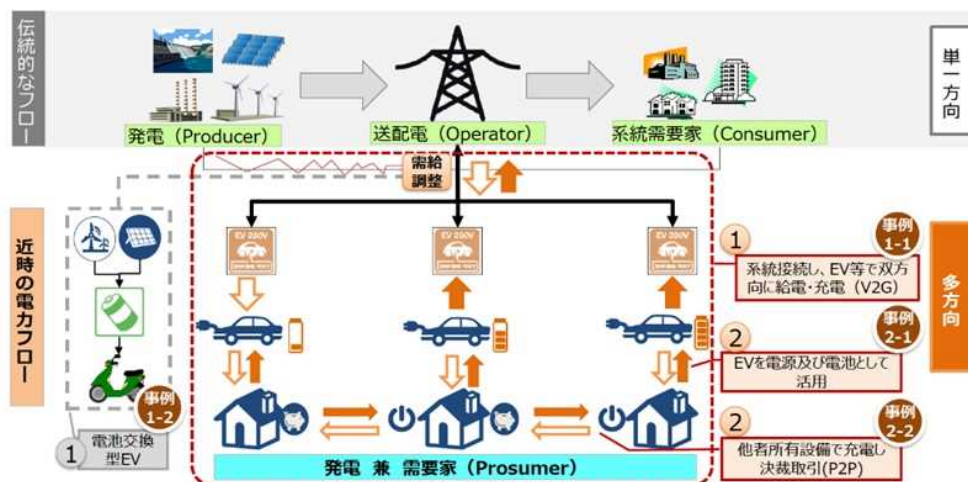


図 4.1.2.18 EV を中心とした電力プラットフォーム

出典：資源エネルギー庁

次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会 資料より

加えて、「ブロックチェーン」×「EV」の複数技術の組み合わせによる P2P 取引が成立する等、エネルギー業界全体の事業環境変化が顕在化していくものと思われる。

送電系統だけでなく、配電系統においても、需要家側での分散電源（太陽光発電、蓄電池、EV 等）のリソースが配電系統の安定化に活用されるものと思われる。

配電事業者が有する配電制御システムは、VPP のアグリゲータシステムと連携して、V2G システムから提供されるリソースを使って配電系統の電圧・周波数を安定化させることが考えられている。

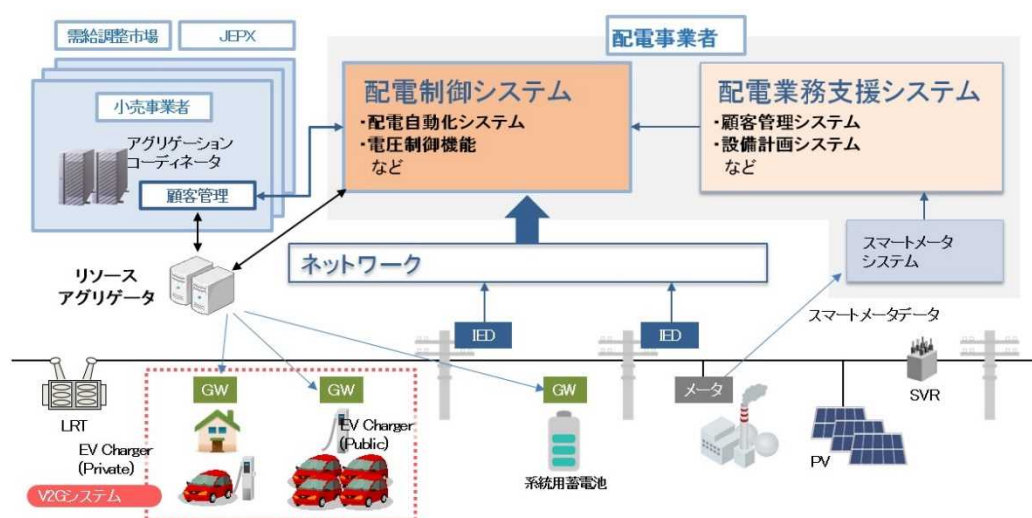


図 4.1.2.19 配電系統安定化システム

d. EV を中心とした情報連携

下図は EV を中心として、今後想定される電力取引のユースケースを概観したものである。

実際に EV リソースを用いた電力取引を行うために、どのような EV 情報のやり取りが行なわれるかの例を次ページに示す。

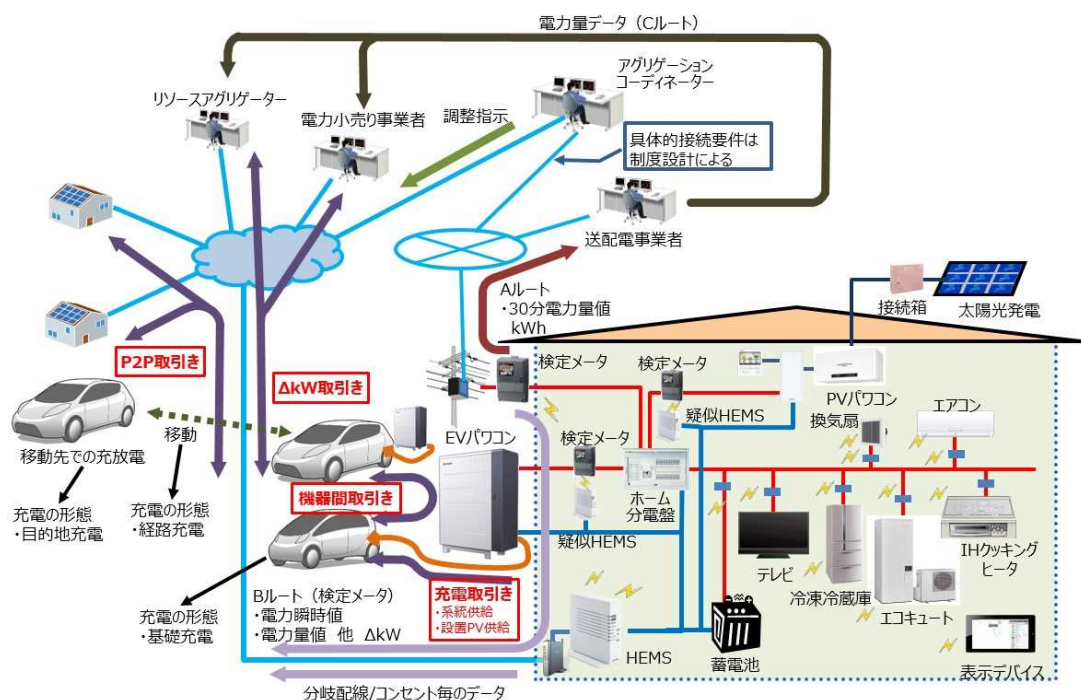


図 4.1.2.20 電力取引のユースケース

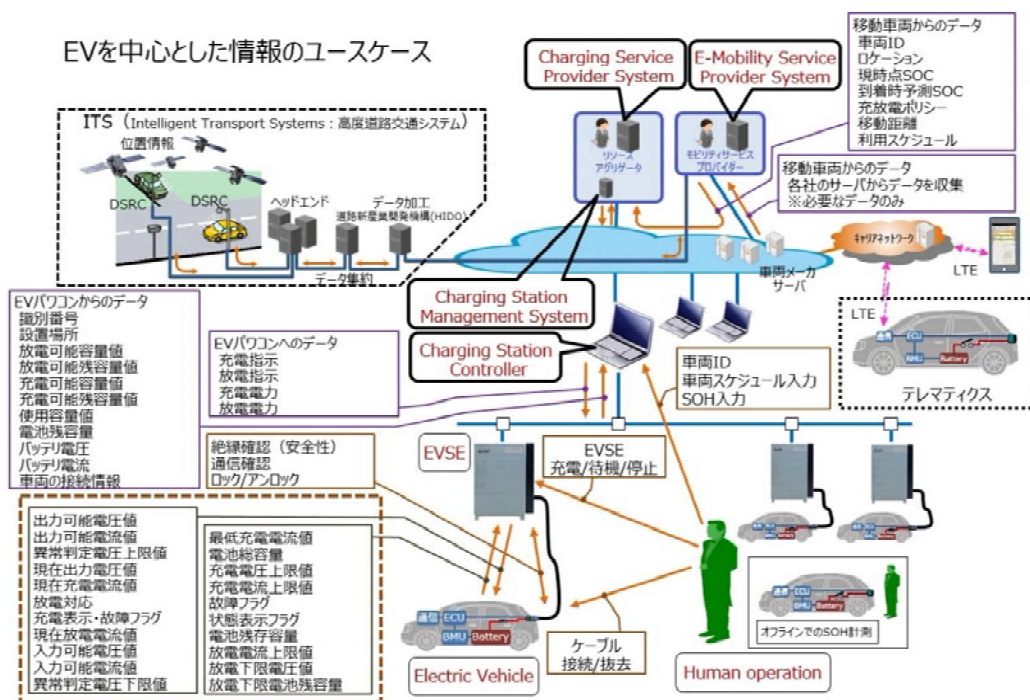


図 4.1.2.21 EV を中心とした情報のユースケース

このような EV に関連するデータは、「エネルギー」のドメインだけでなく、「生活支援」、「安心・安全」、「医療・健康」といった各種サービスドメインとも API によって情報連携がおこなわれるものと考えられる。

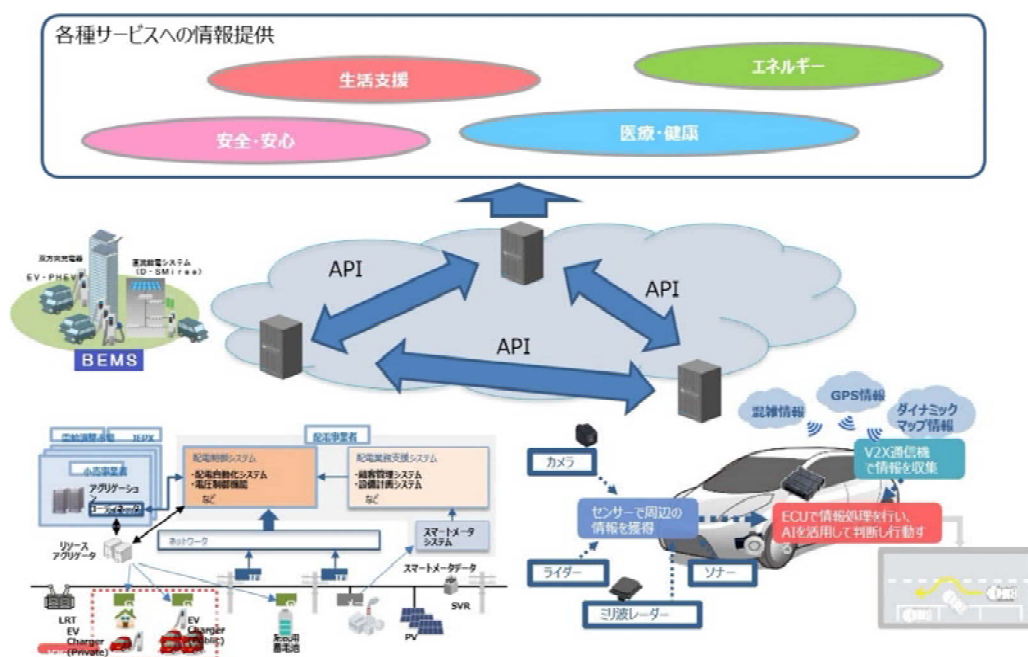


図 4.1.2.22 API による情報連携イメージ

e. EV 利用に関する課題とまとめ

(a) V2G 実現に向けての課題

V2G は電力サービスとして多くのメリットがあることは認識されているが、現時点では幾つかの障害が立ちはだかり、未だ実現できていない。

日本も含んだ世界中で大規模な実証実験が展開されており、そのポテンシャル並びに事業価値の評価と基盤技術を開発中である。

とりわけ、EV の普及に伴い、『より安全に』『より効果的に』『より快適に』するために関連する多数の技術の確立が望まれている。

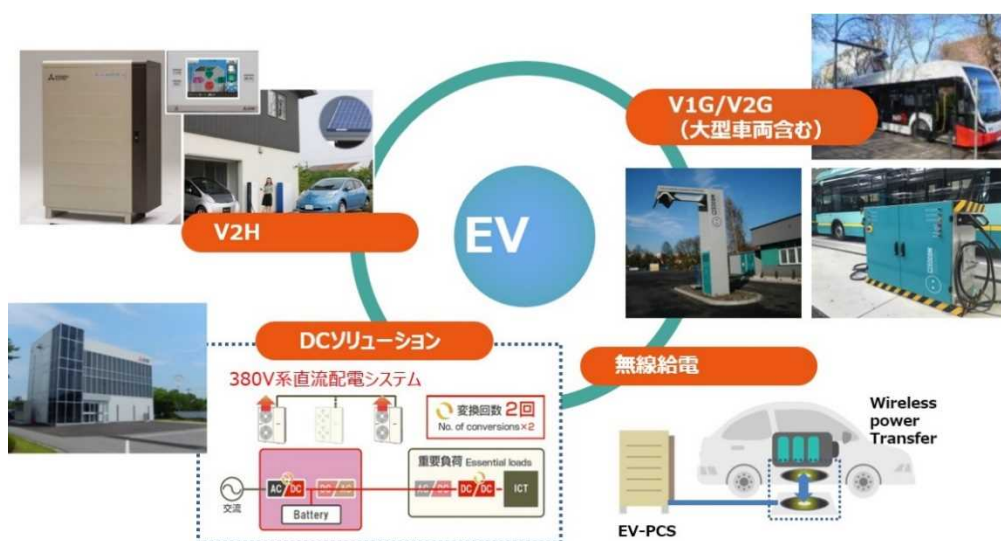


図 4.1.2.23 EV に関する新技術

(b) EV のエネルギー利用に関する課題のまとめ

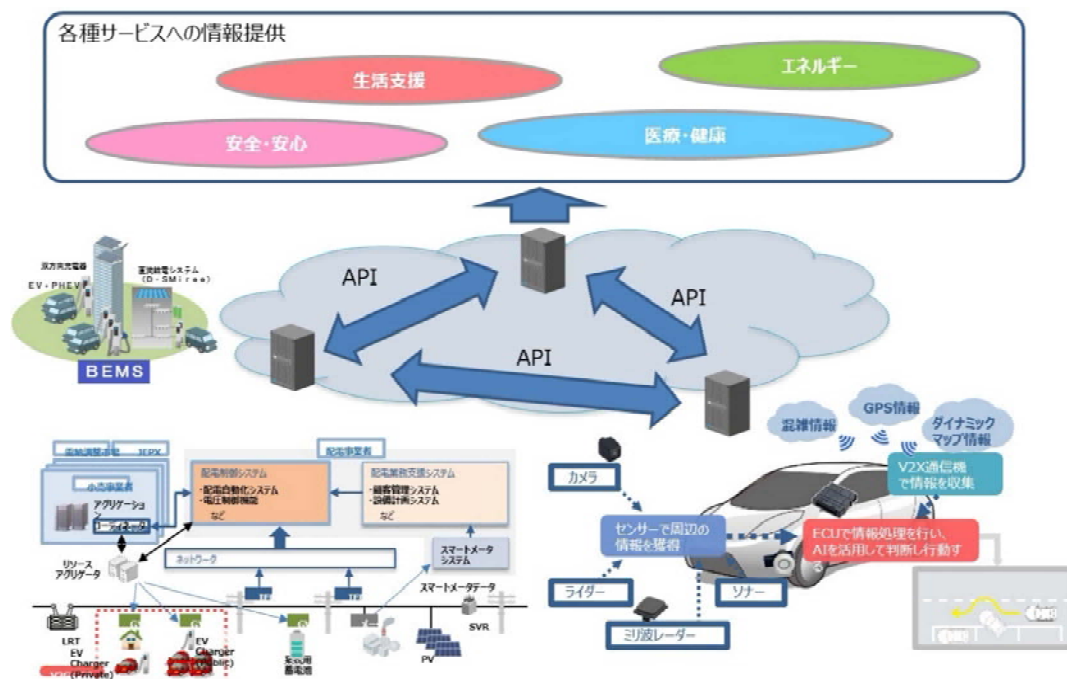


図 4.1.2.24

1. 電力系統網における EV のインパクトが大きいのは、電力量（エネルギー）より電力（パワー）である。
2. 一般家庭における自動車の利用率は平均時間にして 5%以下と低いため、移動手段以外のサービスも考えて活用度合を上げることが必要である。
3. EV は電力を消費する‘需要家’だけではなく、電力を提供する‘リソース’として運用が可能になれば、EV のオーナー、コミュニティ、系統運営者などにベネフィットが広がり、豊かな低炭素社会に近づく。
4. EV を活用する上でパワーエレクトロニクスや通信の技術は重要である。
5. EV は電力系統向け‘アクティブリソース’になるため、技術だけではなく制度及びルールを整備が必要である。
6. 将来的には、EV のみではなくドローンなど、モビリティに関するデバイスは全てグリッドのアクティブノードとして運用が可能となる。

(3) 将来の電力分野と運輸分野の構造

資料発表日：2019年1月22日 第2回エネルギーマネジメント研究会

発表者：井村委員

資料名：将来の電力分野と運輸分野の構造

本報告書、図の出典は第2回研究会資料5

再生可能エネルギーの中でも特にPVについては、今後も増加が続き、基幹電源に位置付けられる。そのため、以下の要件を満たす電力システムの制御システムに関する研究内容が紹介された。

エネルギーマネジメントシステムは、道路交通システム、輸送システム、水循環システムなどとともに「社会システム」と称される。

これらのシステムは超大規模で複雑すぎて、ある側面に着目した要素理論的研究が大半を占め、結果的には、部分的に最適化されたシステムの寄せ集めのシステムになってしまう点が大きな課題である。

再生可能エネルギー大量導入に対する電力システムのあり方においては、下表の観点が重要である。

1. 需給バランス維持と安定な電力供給【需給バランス・安定性】
2. システム全体の価値と個々のユーザの価値の共最適性【多価値共最適性】
3. 発電予測のもとでのリスク管理やセキュリティ・事故時対応【調和的ロバスト性】
4. 外的要因によるシステムの変化・進化に対するフレキシビリティやレトロフィッティング【オープン適応性】

これらの要件を有するシステムを設計するためには、システム論的アプローチで捉えた体系だった設計理論が必要であり、HARPSではCPVNシステム（Cyber-Physical-Valuable-Network System）という捉え方をしている。これは、社会システムを膨大でかつ多様なプレイヤーと多様な制御入力が存在し、情報、物流、経済（効用）の超大規模ネットワーク構造のもとでサービスを提供するサイバーフィジカルシステムと捉えるものである。

2050年頃を想定し、PVが200GW～300GW導入された電力システムをCPVNシステムとして捉える場合の考え方を示す。縦に3階層、横に4階層のマトリックスを設定する。縦は、上から運用層、集配層、ユーザー層がある。一方、横は、物理層、予測・制御層、市場層、価値層と並び、中央の層がサイバー、左側がフィジカル、右側が価値という形でシステムを概観し、各層間でどのような相互作用があるかを考えていくものである。

電力システム構造においては、縦方向の中央にある集配層が軸になっている。

次々世代電力システム構造（2050年頃を想定）

		物理層	予測・制御層	市場層	価値層
運用層	機能	送電・配電（託送サービス）	需給バランス、アンシラリーサービス、安定性、託送サービス	需給に応じた価格形成とリソース配分	社会的価値（環境性） インフラ価値（信頼性） システム価値（経済性）
	担う物	送配電網	潮流、電圧、周波数	電力量kWh 調整力ΔkW、容量kW 電力価格	
	技術		PV・需要予測 需給制御（EDC, LFC, GF, 出力抑制） 電圧制御、潮流制御	電力市場（前日、数時間前、需給調整力） 相対取引	
集配層	機能	アグリゲーション	計画値同時同量、調整力	調達、配分、ビッド、融通	調和的サービス提供 （リスク低減、経済性）
	担う物	連結点群（契約）	電力量kWh 調整力ΔkW 容量kW	電力量kWh 調整力ΔkW、容量kW 電力価格	
	技術		エリアPV・需要予測 PV予測付きUC	エリアPV・需要予測 需給計画・運用 DR	
ユーザー層	機能	個別の発電・消費・蓄電	個別電力・電圧の制御	発電・消費・蓄電の個別計画・運用	サービス利用 （経済性、快適性、信頼性）
	担う物	発電機（PV等含む） 電化機器 蓄エネ機器（蓄電池、EV等）	電圧、電力量kWh、調整力ΔkW、SOC	電力量kWh 調整力ΔkW 容量kW 電力価格	
	技術		コンバータ パワーエレクトロニクス機器協調制御	局所PV・需要予測 XEMS	

図 4.1.3.1 次々世代電力システム構造（2050年頃を想定）

この図を EV と道路交通システムに当てはめたものが下図である。

道路交通システム（2050年頃を想定）

		物理層	予測・制御層	市場層	価値層
運用層	機能	移動サービス	交通量分布	需給に応じた価格形成とリソース配分	社会的価値（環境性） インフラ価値（信頼性） システム価値（経済性）
	担う物	道路網、交差点、信号機、速度標識	交通量、移動時間、消費エネ、速度	交通量、移動時間、消費エネ、価格	
	技術		交通量分布予測 制限速度、信号機制御	インセンティブ付きナビ レーン課金制御	
集配層	機能	アグリゲーション	移動・駐車リソース配分 計画値同時同量・調整力	調達、配分、ビッド、融通	調和的サービス提供 （リスク低減、経済性）
	担う物	連結点群（契約）	利用可能車両台数 駐車スペース 電力量、調整力	交通量、移動時間、利用価格 電力量・調整力、電力価格	
	技術		道路交通量予測 配車制御 マッチング 充放電制御	充放電インセンティブ インセンティブ付きナビ カーシェア、配車サービス 駐車市場	
ユーザー層	機能	移動・駐車 消費・充放電	速度制御、位置制御 充放電	移動/駐車計画/運用 消費/充放電計画/運用	サービス利用 （経済性、快適性、信頼性）
	担う物	駐車エリア、EVスタンド、EV	位置、速度 電圧、電力量kWh、調整力ΔkW、SOC	移動時間、消費エネ、利用価格 電力量、調整力、電力価格	
	技術		自動運転、V2V 車両速度制御 V2G	局所交通需要予測 自動経路探索	

図 4.1.3.2 次々世代道路交通システム（2050年頃を想定）

EV には移動と蓄電の 2 種の役割がある。この場合も特徴は、集配層にある。電力の
balancing group やアグリゲータに相当する機能が中央の層にあり、EV アグリゲ
ータのほか、カーシェア、配車や駐車スペース運用等のアグリゲート機能が中核となる。

これらの図から電力システムと道路交通システムの類似性を見出し、電気エネルギー
と移動という 2 つの違ったものをシステム融合させることが重要であり、この 2 つの物
理量に注目したシナリオが必要である。

この統合されたシステム設計上で着目すべき点は次の 4 つである。

1. EV の効用	移動手段としての効用と V2G の効用のバランス
2. 道路運用者役割	現在は移動しか考えていないため、エネルギーの出し入れも対象
3. 集配層-1	車両や道路シェアの差配
4. 集配層-2	駐車のアグリゲーションと電力（特に調整力）のアグリゲーション

特に EV がいつ、どこで電力システムに繋がり、応答するかを見極め、適切に制御するこ
とが大切である。

電力システムと道路交通システムをシステム統合させるためには、多くの研究要素が
あり、本研究会では、CPVN システムの特長を認識しつつ、EV を系統へ接続させたビ
ジネスケース、そのためのシステム間連携やデータ交換・データ共有化の考え方へ軸足
を置く。

4.2 実現に必要な課題とその対策

(1) 国内外における VGI の動向

a. VGI について

将来の電気自動車（EV）普及を想定し、EV の車載バッテリーを資源として系統利用するアイデアは、古く 1990 年代、ロッキーマウンテン研究所（RMI）の所長だったエイモリー・ロビンス博士が発表している。

当時の系統技術、通信技術、IT 技術ではこのアイデアを実現することは難しかったが、近年、EV のエネルギー貯蔵能力をスマートグリッドの 1 要素として、系統安定化や送配電線の混雑緩和に利用することが検討されだしている。

その中で、EV リソースの制御の仕方に基づいて、以下のように呼ばれることが多い：
V1G：1 方向（EV への充電）のみを制御

V2G：双方向（EV への充電および EV からの放電）を制御

これは、電気の流れる方向の種類 x が 1 種類か、2 種類かを VxG の省略形で表現したものだが、これ以外に、V-to-X（あるいは V2X）の X として以下の省略形がよく用いられている。

表 4.2.1

V2X	内容	V2Xとしての意義	通信の有無	電力との関係
V2B	Vehicle-to-Building	自動車とビル 非常電源、ピークシフトなど	○	○
V2D	Vehicle-to-Device	自動車とデバイス デバイスとの接続（通信データ交換）	○	
V2G	Vehicle-to-Grid	自動車とインフラ EV充放電（放電／売電を意識）	○	○
V2H	Vehicle-to-Home	自動車と家 非常電源、ピークシフトなど	○	○
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	自動車とインフラ EV充放電（給電が主）	○	○
V2L	Vehicle-to-Load	自動車と負荷 緊急時／災害時の電源対応	○	○
V2P	Vehicle-to-Pedestrian	自動車と歩行者 安全検知（自動運転を視野に）	○	
V2V	Vehicle-to-Vehicle	自動車と自動車 給電、牽引（バッテリー上がり）	○	○

出典：テュフラインランド

「国際標準化と欧州の電気自動車の適合規格（V2H/V2G）」を参考に IAE にて作成

ここでは、系統運用に関して以下の4つの目的でEVを利用することを、米国ローレンスバークレイ国立研究所の用例に倣い、VGI (Vehicle-Grid Integration) と呼ぶこととする。

- a) 系統のピーク負荷時に DR (デマンドレスポンス) 資源として EV のエネルギー貯蔵能力を利用し、充電時間や充電レートを調整する (スマートチャージ)
- b) EV のエネルギー貯蔵能力を利用して、より多くの再生可能エネルギーの系統への導入を支援する
- c) 周波数調整のようなアンシラリーサービスに EV のエネルギー貯蔵能力を利用する
- d) EV のエネルギー貯蔵能力を利用して送電線・配電線の混雑を軽減する

このうち、a) に関してはすでに国内外で多くの実証実験が行なわれており、商用化されている例も見受けられるが、b) ～d) に関しては、まだ実証実験の域を出ていないのが現状である。

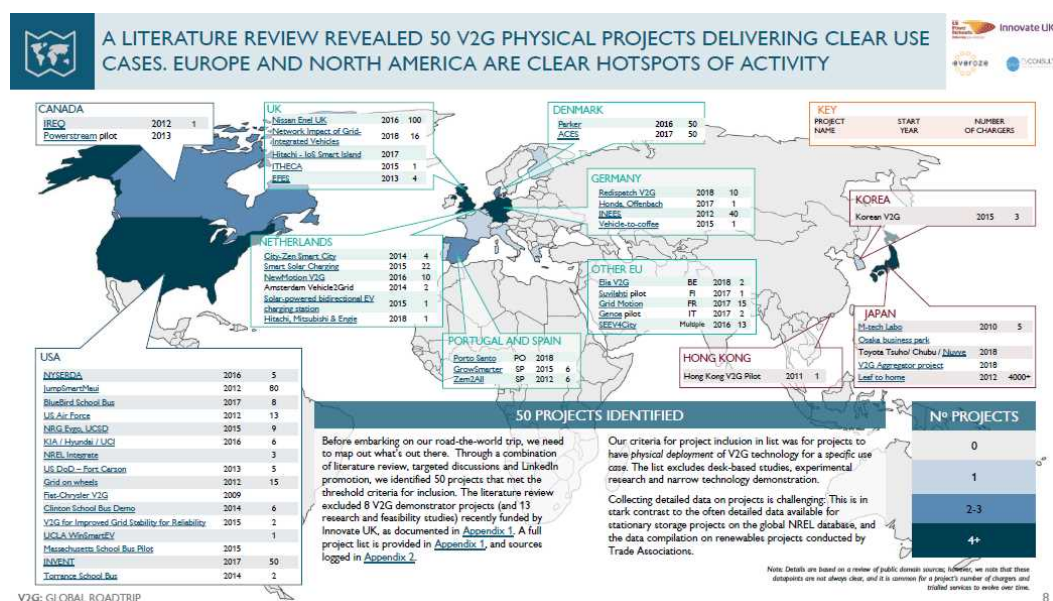


図 4.2.1.1 世界で行われている V2G プロジェクト

出典：(<http://everoze.com/app/uploads/2019/02/UKPN001-S-01-J-V2G-global-review.pdf>)

b. 欧州の VGI 事例

「V2G」のキーワードで Web 情報を検索したところ、2018 年 10 月時点で 50 もの実証事業が紹介されている。(上図)

ただし、よく内容を調べてみると、V2G として系統側に貢献している実績のあるプロジェクトは、デンマークの Parker プロジェクトだけであるため、同プロジェクトのビジネスモデルについて調査した。

Parker プロジェクトの概要は、以下の通りである。

- 商業用車両（EV）を営業外時間（夜間・休日）にて電力系統に接続し、需給調整市場に参加
- 商業用車両からはアグリゲータからの指令により充放電を実施
- 需給調整市場より対価を得る

 **Frederiksberg Forsyning - Worlds First Fully Commercial V2G Hub**



- Utility company – domestic gas, tap water, district heating and sewage
- Approximately 100,000 Residents
- Part of greater Copenhagen

- 10x Nissan eNV200 electric Vans
- 10x ENEL V2G units (bidirectional 10 kW)
- Used mainly for maintenance and service tasks.
- Driving usage hours = Work day 07:00 – 16:00
- Frequency Regulation 16:00 – 06:00 weekdays; 2X 24 hours weekends

Participants:

Customer	Aggregator Project Leader	Cars	Charging Stations	BRP	TSO
					

November 27, 2018 Parker End Seminar - Grid Applications 25

• 図 4.2.1.2 パーカープロジェクト

出典:

(<http://parker-project.com/parkers-vehicle-grid-integration-summit-was-sold-out-when-v2g-results-were-presented/>)

上図にあるフレデリクスバーグフォーシニング社はガス・水道等を扱うエネルギー会社で、自社業務車両（日産 eNV200, 容量 24kWh）を 10 台保有（充放電スタンドは 10kW）、使用していない時間（平日夜間＋休日）に Parker プロジェクトに EV リソースを提供している。

同社の業務車両の平日の運行パターンは基本的に 7 時～16 時と定まっているため、V2G として利用できる時間帯が明確（平日：16 時～翌日 6 時の 14 時間、休日は 24 時間 V2G に参加可能）なこともあり、Parker プロジェクトでは、この EV リソースを制御して、地域の BRP（需給管理責任者、日本のバランシンググループ相当）経由で、デンマークの系統運用管理者 Eberginet.dk が運用する周波数調整市場（FCR-N（Frequency Containment Reserve for Normal Operation：通常動作用の周波数抑制リザーブ））に入札した結果、年平均すると 1,860ERO/台/年（約 24 万円）の利益があったと報告している。

ただし、Parker プロジェクトには Energinet.dk が当初 DKK (デンマーククローネ) で 14,731,471 (日本円で約 2 億 4,742 万円) を投資しており、その投資額の回収は含まれていない模様である。

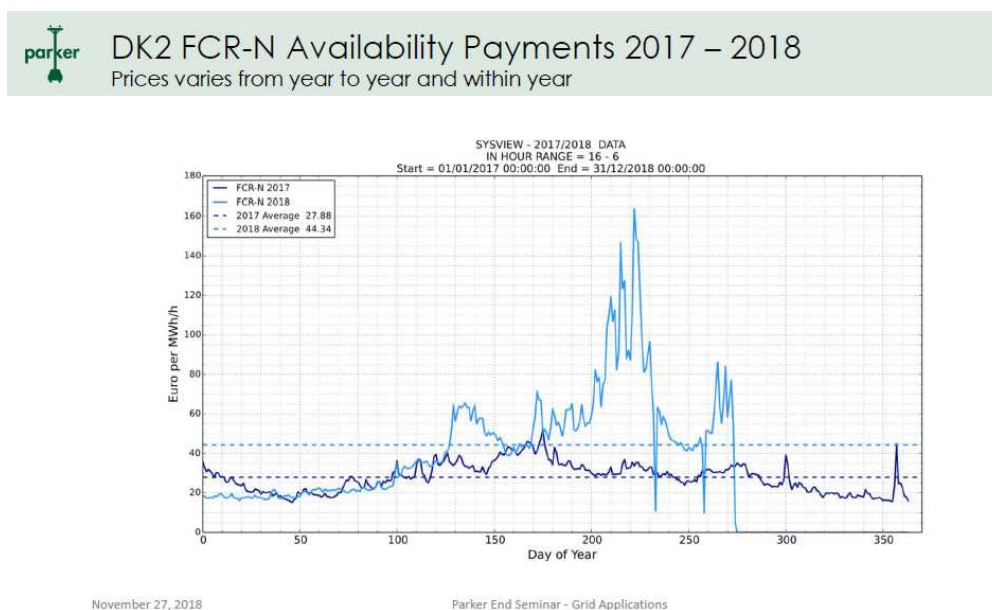


図 4.2.1.3 市場における価格

出典:

(<http://parker-project.com/parkers-vehicle-grid-integration-summit-was-sold-out-when-v2g-results-were-presented/>)



Frederiksberg Forsyning - FCR-N Revenues Per Car Bid

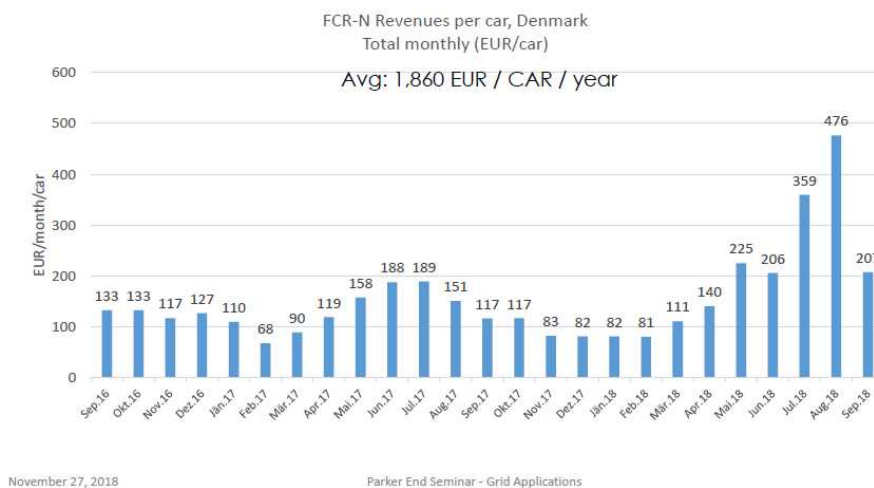


図 4.2.1.4 自動車・入図 4.2.1.4 自動車・入札当り収入

出典：

(<http://parker-project.com/parkers-vehicle-grid-integration-summit-was-sold-out-when-v2g-results-were-presented/>)

c. 米国の VGI 事例

環境問題に非常に敏感な米国カリフォルニア州では、これまでも米国内で最も厳しい排出ガス基準が適用されてきたが、2012 年、一定規模以上の自動車生産・輸入を行うメーカーに対して 2025 年までに、EV や燃料電池車といった ZEV（ゼロエミッション車）と PHV（プラグインハイブリッド車）の販売比率を 15.4%まで引き上げるよう環境対応車の販売増を求める ZEV（Zero Emission Vehicle）規制が発表された^(注1)。また、それを受けて、2012 年 10 月、2013 年 2 月、2013 年 10 月の 3 回にわたって、「Vehicle-Grid Integration Roadmap Stakeholder Workshop」が開催され、その成果を引き継ぐ形で、カリフォルニア州公共事業委員会：CPUC) 内に VGI プロジェクト（正式名称は VGI Communication Protocol Working Group：VGICPWG）が立ち上げられた。

VGI プロジェクトの特徴は、プロジェクトに参加する電力会社や自動車会社（したがって、いろいろな EV/ EV 充電器の種類）が多く、しかも、プロジェクト構成メンバーが独自のシステム仕様を固めるのではなく、EPRI（米国電力中央研究所）が入って、オープンな V1G/V2G プラットフォーム（Open VGI Platform：OVGIP）の仕様を定めようとした点にある。

また、下図の通り、最初から V2G までをフルカバーするプラットフォームの開発を目指すのではなく、VGI に関連するユースケース整理して優先順位をつけ、無理なく、着実に概念実証→更に詳細な機能実証→商用化の手順を踏んでいる点が上げられる。

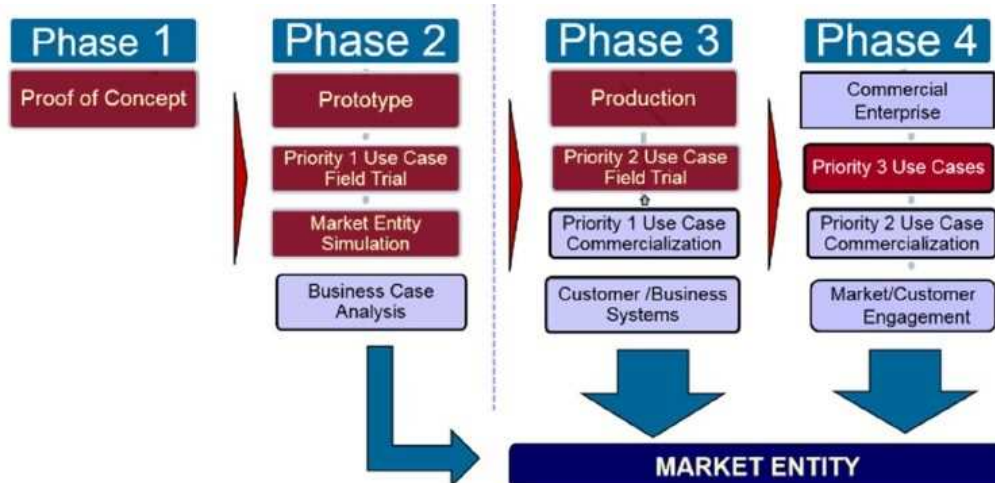


図 4.2.1.5 OVGIP の開発・実証・ビジネス化スケジュール

出典：EPRI、Open Vehicle-Grid Integration Platform General Overview

(注1) ZEB 規制は、その後、カリフォルニア州以外にも 9 つの州（コネチカット、メイン、メリーランド、マサチューセッツ、ニュージャージー、ニューヨーク、オレゴン、ロードアイランド、バーモント州）でも施行されている。

この VGI プロジェクトにおいて、EPRI はこの開発スケジュールに従って 2013 年にフェーズ 1 開発に着手、2014 年にフェーズ 1 概念実証を実施している。

Phase 1: Proof Of Concept “The Big Demo”, Sacramento – Basis for OEM / Utilities Collaboration Led by EPRI

- Development Phase: 08/2013-10/2014
- **Completed** 10/16/2014 at SMUD
- Live Event - Executed OpenADR2.0b DR Event signal through OVGIP to manage 7 OEM PEV's
- Demonstrated Interoperability with multiple protocols
 - SEP2.0, ISO/IEC 15118, OpenADR2.0b, Telematics

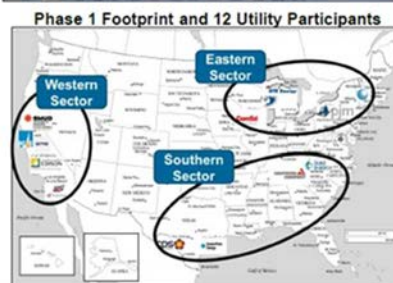


図 4.2.1.6 サクラメントにおける実証例

出典：EPRI、2017 年 3 月、

「Open Vehicle Grid Integration Platform Phase 2 Development and Demonstration Program」

上図は、サクラメント市で行なわれたフェーズ 1 実証実験の様で、全米の 3 つの地域に跨り、7 車種の EV を対象とした V1G の検証が行なわれている。

なお、OVGIP の開発に当たっては、住友電工の米国支社（Sumitomo Electric : SEI）がフェーズ 1 から関わっており、フェーズ 2 開発も以下の陣容で行なわれている。

OVGIP Phase 2 Team Organization

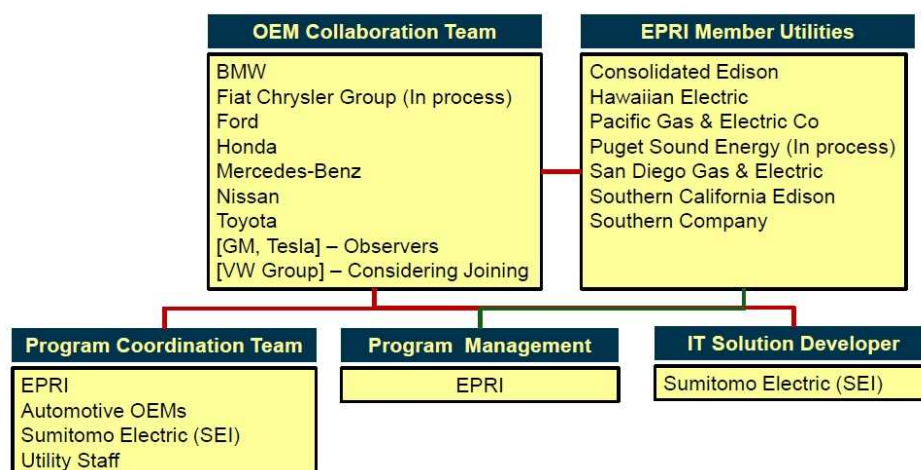
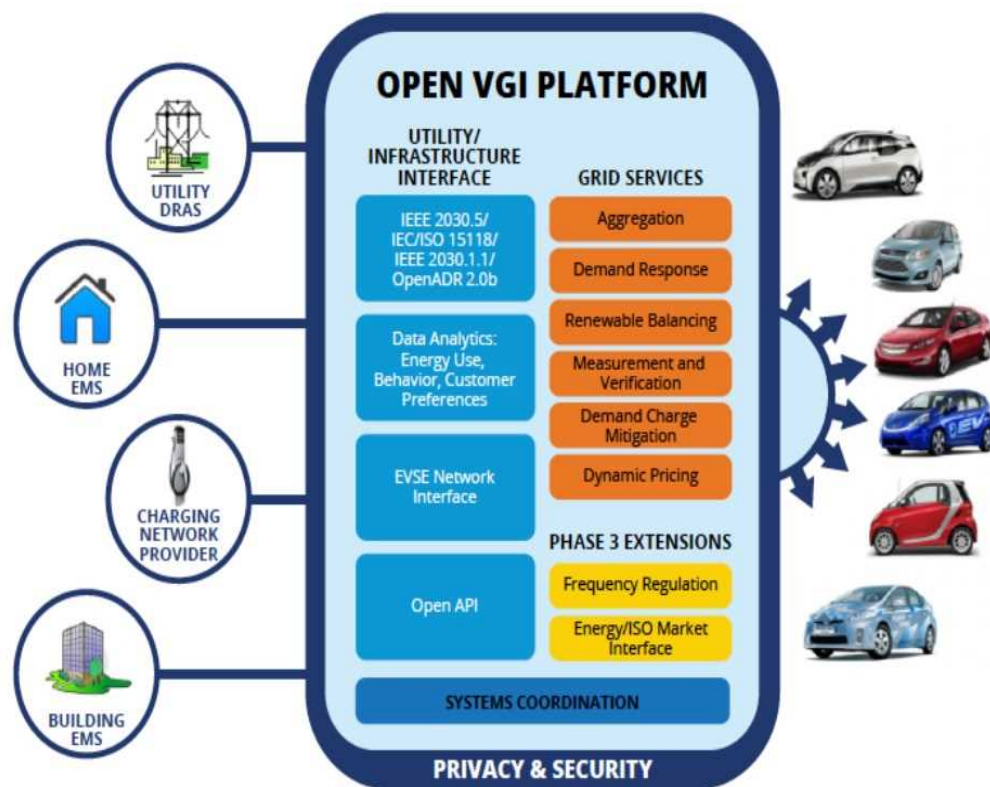


図 4.2.1.7 フェーズ 2 のメンバー構成

出典：EPRI、2017 年 Infrastructure Working Council (IWC) Meeting Day One Presentation

EPRI では以下の方針に基づいて OVGIP のインタフェース／サービスを設計した：

- 複数の自動車メーカーの EV／複数の EV 充放電器を監視、同期、および制御するためのプラットフォームを提供する
- 全ての電力会社と自動車メーカーが使える、インタフェースを提供する
- 既存の、自動車メーカーのテレマティクス、コネクテッド・カー技術を活用するが、自動車メーカーにも、ある程度の自由度を持たせるようにする
- 集約された EV 充電行動のデータを交換できるようにする
- 電力会社向けインタフェースと通信には標準プロトコルを採用する
- 種々の BEMS、HEMS、充電インフラとのインタフェース／サポートが可能なアーキテクチャ設計とする



Source: Electric Power Research Institute, 2016

図 4.2.1.8 オープン VGI プラットフォーム

出典：EPRI、

「Advanced Energy Communities: Grid Integration of Zero Net Energy communities」

上図は、フェーズ 3 への機能拡張を含んだ OVGIP のインタフェース／サービスを示したものであるが、EPRI のホームページ上、フェーズ 3 に関する情報は現時点で公開されていない。

ここまで EPRI は、競合関係にあるプロジェクトメンバーの要件を取りまとめ、インタフェースを定めるため、中立的な立場でプロジェクトマネジメントとともに、VGI のアーキテクチャ構築に貢献してきたが、本開発プロジェクトに参加した住友電工にヒアリングしたところ、自動車会社が保有する EV 関連情報のデータ連携／データ共有に及ぶにつれ、当初協力的だった自動車メーカーの足並みがそろわなくなり、フェーズ 3 の開発は、少なくとも 2019 年 3 月時点で開始していない模様である。

d. 日本の VGI 事例

日本においても、電気自動車の系統利用の実証実験が古くから行なわれてきた。

図 4.2.1.9 は、経産省の「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の概要図であるが、すでに次世代自動車を含め電気自動車の利用が念頭に置かれている。

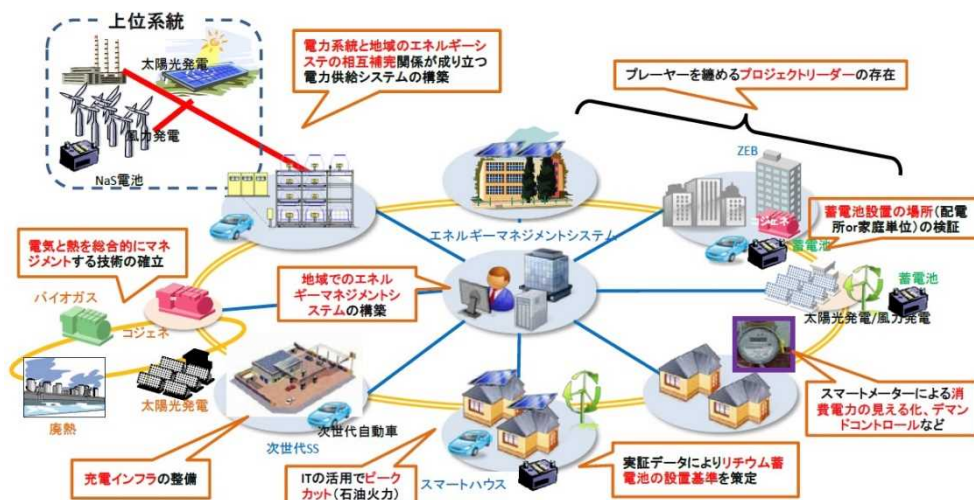


図 4.2.1.9

出典：経産省、「次世代エネルギー・社会システム実証地域」選定結果について

また、NEDO も、海外でのスマートコミュニティ実証において、更に先進的な VGI 実証を実施してきた。

EVおよびEVインフラに関する実証事業

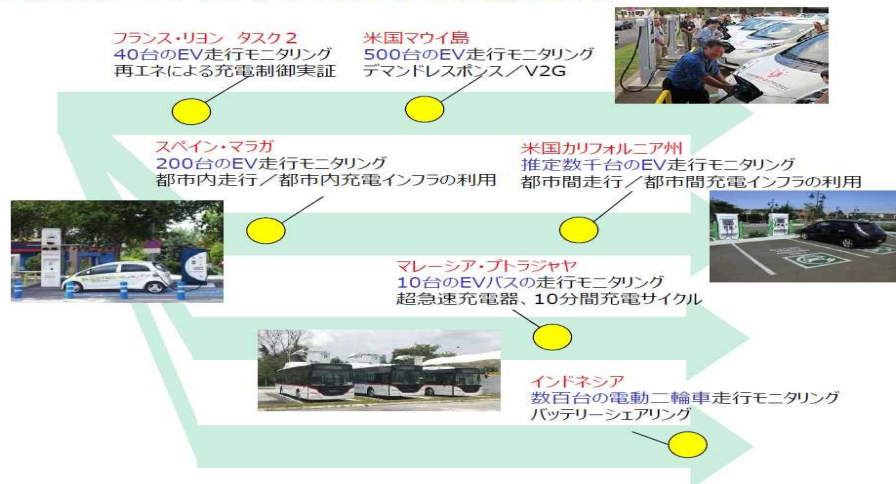


図 4.2.1.10

出典：NEDO、「NEDO 実証の成果と今後の取組」

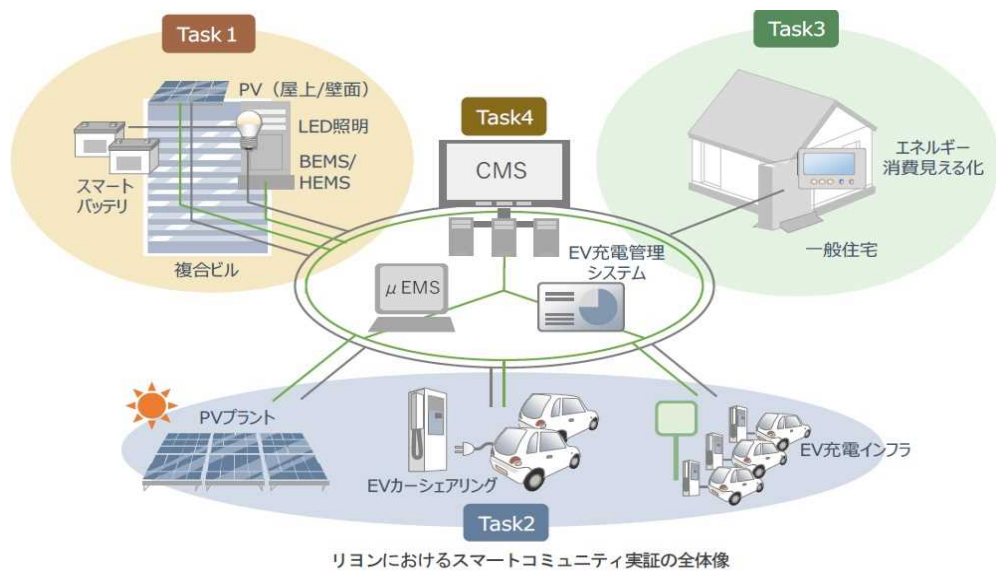


図 4.2.1.10

出典：NEDO、「NEDO Smart Community Case Study」

以下では、2018 年度に経産省が開始した V2G 実証事業についての概要を紹介する。

本 V2G 実証（V2G アグリゲータ事業）は、2016 年度から開始された VPP 実証の一環として行われたものであり、下図のような位置づけとなっている。

事業スキーム全体図

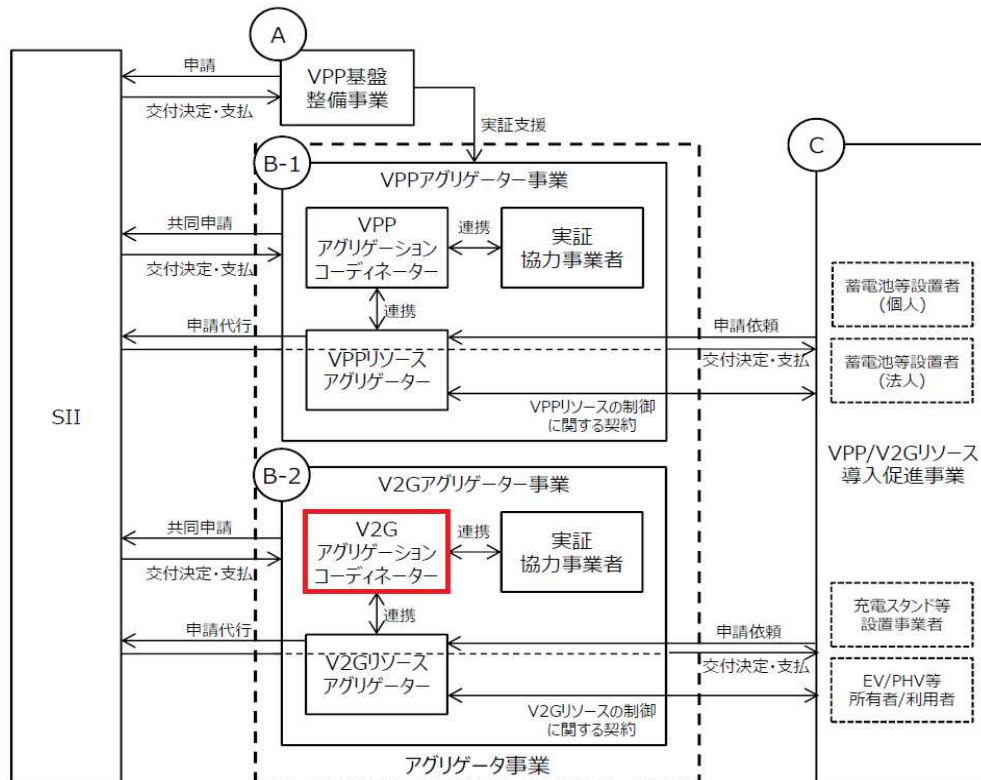


図 4.2.1.11

出典：経産省、平成 30 年度 VPP 構築実証公募要領

2018 年度は、下表で示す 4 つのプロジェクトが採択され V2G 実証を実施している。

表 4.2.2

事業者	実施内容
九州電力	2030年断面でのEV普及予測（九州地域120万台）に基づき、時間帯別の充放電ポテンシャルを評価。V1GにおけるPV出力抑制回避ポテンシャルがV2G制御にすることで、拡大できる可能性を確認した。通勤用及び業務用を模擬した充放電試験により、指令通りに充放電量が確保できることが確認できた。ただし、電池の劣化やSOC使用範囲の制限の影響により、調達可能な容量が制限されることを確認した。
東電PG	業務車両と通勤車両の利用分析により両者組み合わせると24時間V2Gリソースとして活用できる可能性を見いだした。実証はローカル系統安定化ニーズで行い、PV出力に合わせた余剰吸収のため、117台EVで対応できる可能性を示した。
豊田通商	V2Gサーバー～リソース間の監視速度、応動時間、継続時間、応動総合特性の試験を実施し、V2Gがピークシフトや出力抑制回避（kWh価値）の提供および一次調整力・二次調整力①のような調整力（ΔkW価値）の提供が可能であることを確認できた。
東北電力	ピークシフト（kWh価値）、出力抑制回避の対策（kWh価値）、調整力提供（ΔkW価値）に関しては、①周波数対応（動的調整力）②周波数対応（静的調整力）③長時間制御（下げDR）の各①～③指令値と制御量に対する「追従性、応答性、継続性」を把握した。

ただ、V2G 実証といっても、2018 年度は V2G 実証としては初年度であり、V2G 実証に向けてのデータ収集等が中心となり、実際に EV リソースを系統に逆潮流させる本来の V2G 実証に至っていないプロジェクトもあった。

4 つのプロジェクトが 2018 年度開発したシステムを比較すると、下図の通りである。

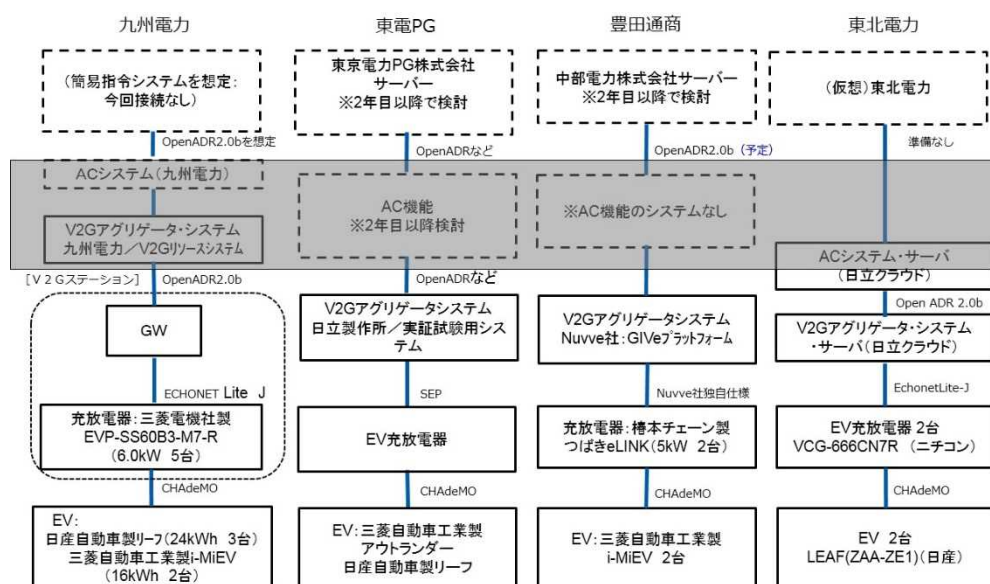


図 4.2.1.12 V2G 事業における制御システム比較

これを、米国 OVGIP のシステムと比較すると、以下ようになった。

ここから、2018 年度の V2G アグリゲータ事業で構築されたシステムは、正に V2G アグリゲータシステムであり、VPP 構築実証でのアグリゲーション・コーディネータあるいは、米国の OVGIP に相当するシステムまでは開発されていないことが分かる。

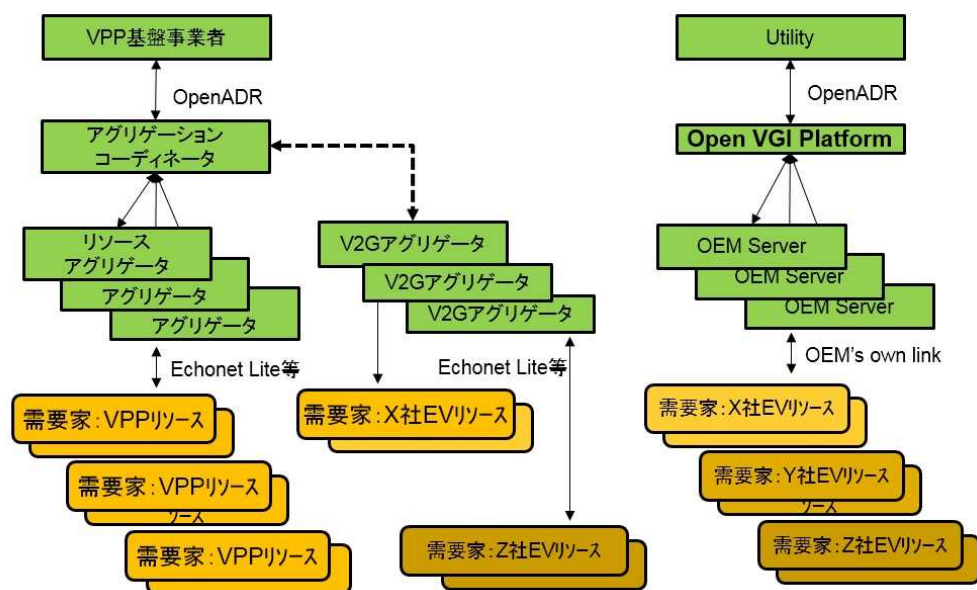


図 4.2.1.13 OVGIP と V2G 実証との対比

表 4.2.3 は、2018 年度の V2G アグリゲータ 4 事業者とカリフォルニア州の VGI プロジェクトを比較したものである。

表 4.2.3

	加州VGIプロジェクト	日本のV2G実証
プロジェクト数	全体で1つ	4つの個別プロジェクト
実施期間	2013年～2017年	2018年～
監督官庁	加州公益事業委員会 (CPUC) 加州エネルギー委員会 (CEC) 加州大気資源委員会 (CARB) 加州経済促進知事室 (GO-Biz)	経済産業省資源エネルギー庁
プロジェクト参加者		
電力会社／系統運用者	加州独立系統運用機関 (CAISO) パシフィック・ガス&エレクトリック (PG&E) サザンカリフォルニア Edison (SCE) サンディエゴ・ガス&エレクトリック (SDG&E) ロサンゼルス水道電力局 (LADWP) サクラメント電力公社 (SMUD)	東京電力 (HD、PG、EP) 東北電力 中部電力 九州電力
自動車会社	BMW Fiat Chrysler Ford GM Honda Lucid Mercedes Benz Nissan Porsche/Audi/Volkswagen	三菱自動車 日産自動車
検討した通信プロトコル	IEEE 2030.1.1 (CHAdeMO) IEEE2030.5 (SEP2.0) ISE/IEC 15118 OCPP OpenADR2.0b SAE Suite (J1772, J2293等) Telematics	CHAdeMO Echonet Lite OpenADR2.0b SEP2.0

(2) エネルギーマネジメントにおける EV の機能

本来、EV は、自動車の一形態で、原動力として電気を使うので、典型的な使われ方をする（系統電力を車載バッテリーに充電し走行する）場合を、エネルギーマネジメントの観点からすると、EV 普及に伴い大量の電力消費が予想されるので、その電力消費が系統運用に影響をもたらさないようなマネジメントが必要となる。

ところが、デマンドレスポンス (DR)、すなわち、電力消費のリソース化が進む中で、EV 充電自体も DR の一形態との捉え方がされるようになり、スマートチャージングと呼ばれるような、EV 充電量／充電時間帯を管理することで、より電力系統への EV 充電の影響を少なくし、場合によっては再エネ電源の系統への大量逆潮流の悪影響を回避する手段としても脚光を浴びるようになってきている。

更に、将来は、EV 充電器の代わりに EV 充放電器経由で系統接続することにより、バーチャルパワープラント (VPP) のリソースとして、アクティブにエネルギーマネジメントに関与することが期待されている。

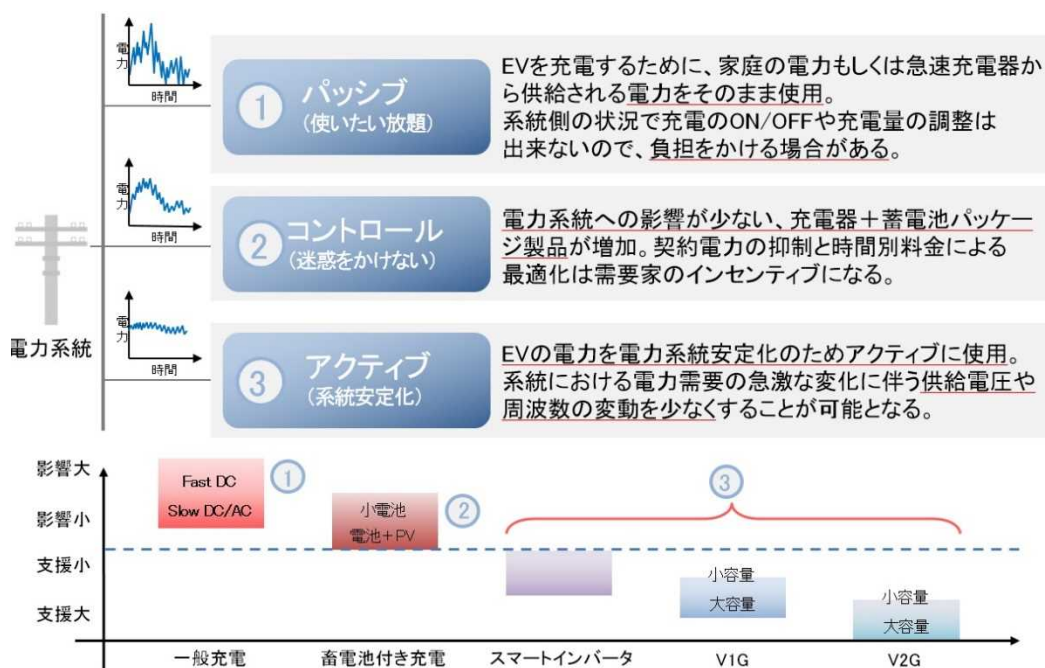


図 4.2.2.1 EV の充電形態と電力系統に及ぼす影響

(3) 課題 B (ワイヤレス給電)、課題 D (ユニバーサルパワーモジュール) との関連

課題 B はワイヤレス給電 (WPT) の研究開発をしている。第 4 章は EV と電力系統の接続を有線前提で述べており、EV の電力ポテンシャルもその前提の下での試算であった。ワイヤレス給電ができるようになると EV の普及が進むと考えられる。そのため、ワイヤレス給電が実現できた場合のバッテリー容量と接続率とを計算し直し、エネマネ研究会事務局が以前示した、太陽光余剰電力の発生時期や場所と合わせて、現在よりどれだけ太陽光や風力が導入でき、その結果どれほど脱炭素化に結びつくかの計算が求められる。

次に、ワイヤレス給電が入った場合の情報連系モデルに配電側の話の組合せ、ワイヤレス給電が配電系に影響を与えないで車の走行の利便性を高められるか確認する。

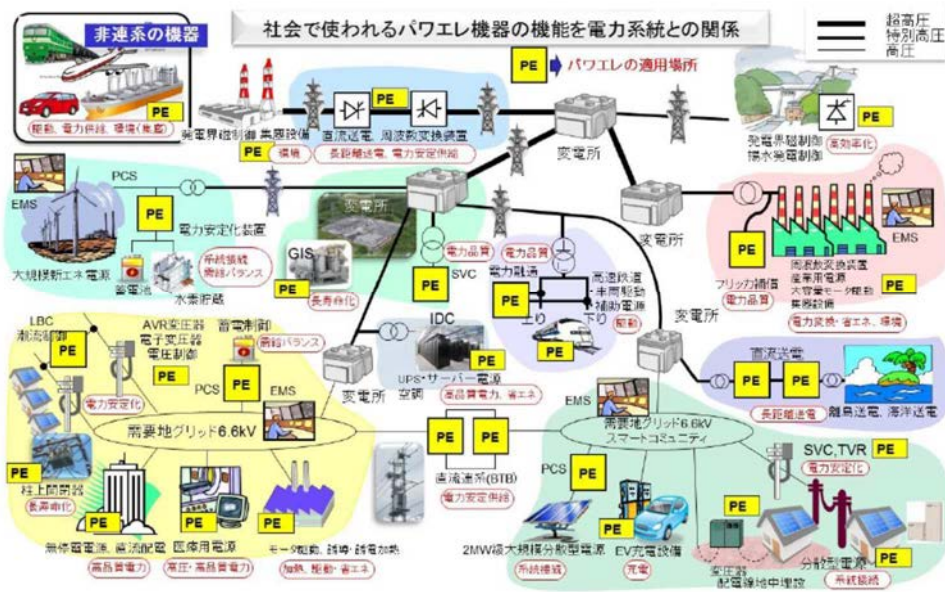


図 4.1.3.1 社会で使われるパワエレ機器の機能と電力系統との関係

出典：第3回研究会資料 6-2

課題 D は図 4.1.3.1 のように、パワエレの主要要素となるユニバーサルパワーモジュールが、あるゆる分野で利用されることが考えられる。

V2G など運輸と電力の統合エネルギーマネジメントでは、適用場所は車か充放電システムであり、変換効率の向上及び充放電システムのコストダウンにつながるものが求められる。

第5章 今後の課題と展望

5.1 評価指標に関する課題

(定量評価の課題)

(1) モデルの想定

再生可能エネルギー（以下、再エネ）導入のための電力系統対策のコストに関しては、まず導入される再エネの量を想定する必要がある。トップダウン方式とボトムアップ方式が考えられる。ボトムアップだと再エネ導入にかかる各種条件や制約をクリアしながら積上げるため精度は高くなるが、条件や制約への対応が大変難しい。そのため、研究会では最初に導入目標数値を決めるトップダウン方式とする。

(2) シミュレーションツールの利用

定量評価を行うためにはシミュレーションが必要である。日本全国規模におけるエネルギー関連分析のシミュレーションツールは複数存在する。目的関数の設定やアプローチはそれぞれ異なるため、トップダウンのルールを決めて、それに適合するツールを決めることが大事である。

(3) システム間のバウンダリー条件の明確化

コスト評価においては、業界や分野によってコストの定義が異なる問題がある。効果とその効果を得るための手段に投資されたコストを業界や分野によらず極力同条件にする必要がある。

評価範囲であれば、採掘・製造（輸送含）・利用・ランニング・処理などがあるが、どの項目を評価で適用すべきか検討する必要がある。

通貨単位であれば、円・ドル・ユーロ等の為替条件の統一検討が必要である。

評価条件であれば、他の目的にも適用される場合、費用の案分の考え方を合わせる検討が必要である。例えば、EV車なら「移動の手段」という主目的があり、「再生エネの変動の吸収」の副目的として、EV車のコストの何%を副目的として案分すべきか検討する。

その他、VPP、V2G、電力貯蔵は多様な使い方が提案されており、使い方によって再エネ導入可能量へのインパクトが異なる。また、再エネ導入量のレベルによっても効果の大きさは異なる。

以上から、当該の目的にあったコスト項目の抽出、またコストのうち目的にあった費用の按分を固めるなどの工程のもとでの検討が求められる。

5.2 各 System of Systems に関する課題

(1) 系統電力の脱炭素化

① 再生可能エネルギー導入のための電力系統対策

国内再生可能エネルギーを導入するための電力系統側の対応策は、具体的課題である「需給バランス」、「送配電容量」、「電圧変動」ごとに示されている。コスト対効果については概論レベルで留まっており、定量評価のためのコスト情報収集が十分でない。

② 海外の CO₂ フリーエネルギーの導入

水素基本戦略で、導入規模目標が 2050 年、1,000 万トン、コスト目標が発電燃料としての燃料コストが \$ 2/kg、技術成熟度が水素又はアンモニアを燃料とする発電技術の場合、ロードマップが示されており、安全性の評価も含め定量評価に必要な適用分野・規模/価値・コスト・環境安全性・導入時期の情報は揃っている。一方、産業分野における水素活用など、発電以外の適用分野における規模/価値・コスト・導入時期については今後の検討課題である。

(2) 地域エネルギーシステム

地域エネマネは、第 3 章の「(2)背景の整理」でみた通り、日本全体でのデータの収集と整理が不十分な段階にあるため、2018 年度はまず SoS のタイプの整理を行なった。SoS のタイプの例として、「(3)クラスター分析の手法」ではクラスター分析の提案があり、また、「(4)再エネ大量導入を考慮した地域エネルギーマネジメントの検討」では、小グリッドの提案があった。今後、2つの提案を融合させ SoS のタイプを決定し、タイプ毎の脱炭素化の手段など、実現に必要な対策を整理していく。

また、検討において得られた知見から、これまで供給側のみの目線であったエネルギーデータにおいて、需要側やタイプ目線でどのようにデータを収集・整理していくことが望ましいか、提言することができると考える。

(3) 運輸と電力の統合エネルギーマネジメントシステム

EV の電力ポテンシャルについては、ワイヤレス給電が実現できた場合、普及率が高まることが想定される。有線接続前提のバッテリー容量と接続率とを見直し、太陽光余剰電力の発生時期や場所と合わせ、今よりさらに導入できる太陽光や風力の見通しと、脱炭素化に結びつくかの計算が求められる。

また、EV と電力統合のため共通基盤（以下、プラットフォーム）が必要と考えられ、米国の検討事例なども紹介されている。プラットフォーム構築費や充放電スタンド構築費など EV 活用のためのインフラ、ソフト等のコスト配分が求められるとともに、EV オーナーの観点を考慮した EV 普及の検討が望まれる。

(4) 産業分野の低炭素化

CO₂インパクトが大きい主要 4 分野について調査する。

鉄鋼、化学、セメント、紙パルプが対象であり、低炭素化のための技術として CCS および CCU の有望な適用分野と考えられるため、技術の成熟度、コスト、対応規模、安全性の観点から調査を行う。

(5) 運輸分野の低炭素化

旅客用自動車以外の輸送系として、貨物用自動車（トラック等）、鉄道、航空機、船舶まで取り込み調査を行う。

大量物流に電動トラックや付帯的なドローン利用と鉄道利用との比較が特に過疎地において重要と考えられる。

また航空機や船舶は国内と国際があるが、国際の場合は脱炭素が出発国、到着国のどちらに寄与するか整理されていないので、国内線を対象とする。

5.3 エネルギーデータ関連の課題

新たなエネルギー供給形態やスマート化が進展する電力系統（特に地域エネマネや運輸/交通と接点が多い配電系統）及び運用をみると新たな事業の登場が考えられ、すでに実証が始まっているものもある。

具体的には、気象プロバイダ、個人間取引仲介者、PV/EV サービス事業者、電力アグリゲータが考えられるし、都市部ではビル統合管理者なども俎上に乗せられる。

研究の目的や SoS 検討内容で必要となるエネルギー関連のデータは所管がまたがること、公開に当たってのハードルが高いことが挙げられるが、上記事業の中で PV/EV サービス事業は、運輸と電力の統合エネルギーマネジメントの一形態であり、2019 年度は調査の中心と考えられる。一部は我国の補助事業でマネジメントが判明していること、アメリカではカリフォルニア州 OVGIP 活動として成果に記されていること、から、ステークホルダー全体として個別データ項目、収集、保存、更新が可能となるよう当初から活動することが必要であるとともに、ビジネスの観点ではデータアクセス権限、利用料金などとも歩調を合わせなければならない。

以 上