

エリアの視点

2024年4月

エネルギーシステムインテグレーション連携研究部門

荻本和彦



2008年以来

- 2008年 オバマ政権、スマートグリッド
- 2009年 エネ基 PV 2,800万kW@2030 ←以前1000万kW
- 2011年 東日本大震災⇒FIT
- 2015年 エネ基 PV 6,400万kW@2030
- 2016年 熊本地震
- 2018年 北海道胆振東部地震・ブラックアウト
エネ基 変わらず。
- 2020年 菅首相 カーボンニュートラル宣言
- 2021年 エネ基 PV 11,400万kW@2030, 2億kW超@2050
- 2022年 ウクライナ侵略、エネルギー資源危機、電力不足・高騰
- 2023年 ガザ侵攻
- 2024年 R6能登半島地震⇒停電長期化、羽田事故



エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



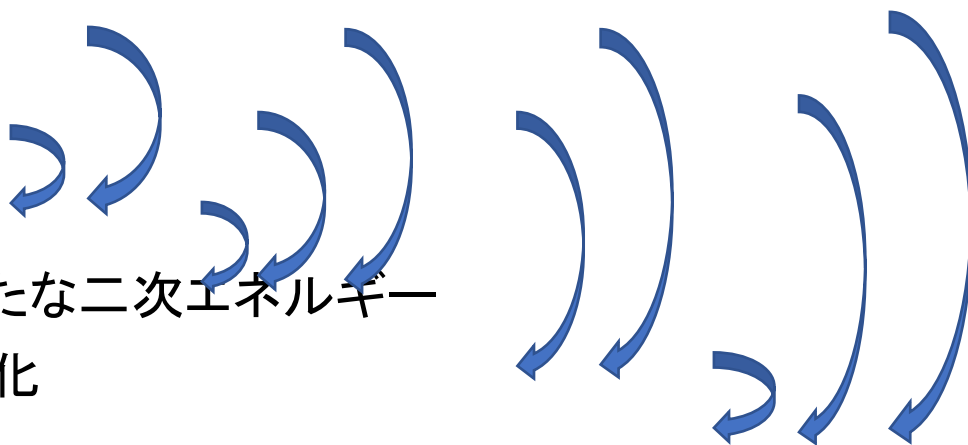
世界共通の潮流

人類共通の課題解決の必要性が認識され、取り組みが加速している。

- ✓ IPCC(国連気候変動に関する政府間パネル)とCOP(国連気候変動枠組条約締約国会議)での継続的議論、
- ✓ SDGs(2015年の国連サミットで採択された持続可能な開発目標)

電力・エネルギー部門では、**長期かつ大規模な変革**が始まっている:

- 電化とセクターカップリング
- 再生可能エネルギー導入
- 分散型システム
- 価値のシフトとマネタイズ
- 大規模エネルギー貯蔵と新たな二次エネルギー
- 交流電力システムの質的变化



変革は、供給側のみではなく、需要側、流通ネットワークと、全分野に及ぶ。
目指す姿である**3E+Sを再確認**しつつ、**戦略的取り組み**が必要である。



3E+Sにおける「世界共通の潮流：電化」

途絶時の影響の拡大

Energy Security
安定供給

電力需要増による安定運用

低炭素排出電源の最大活用

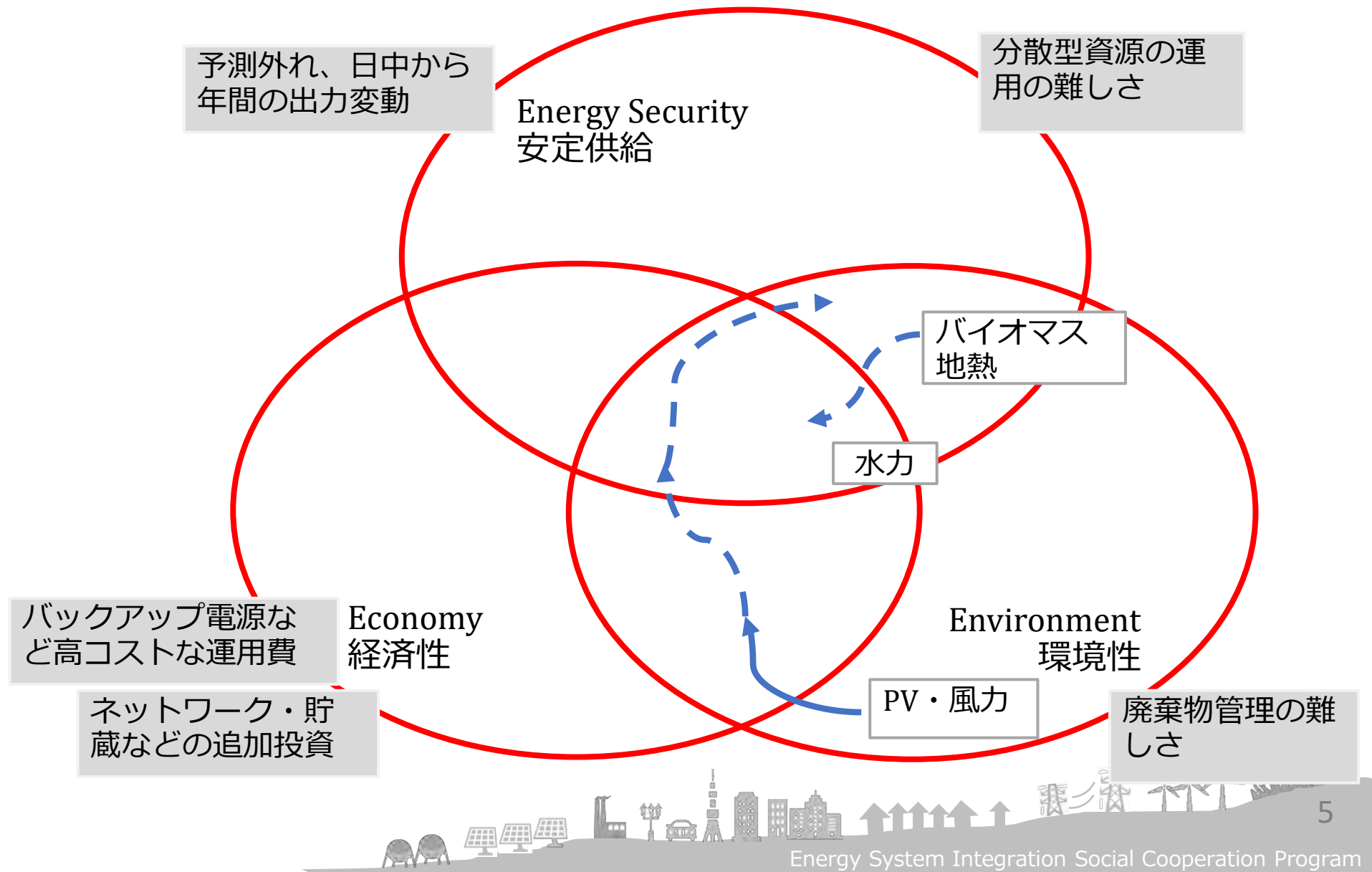
化石燃料の消費減

Economy
経済性

Environment
環境性

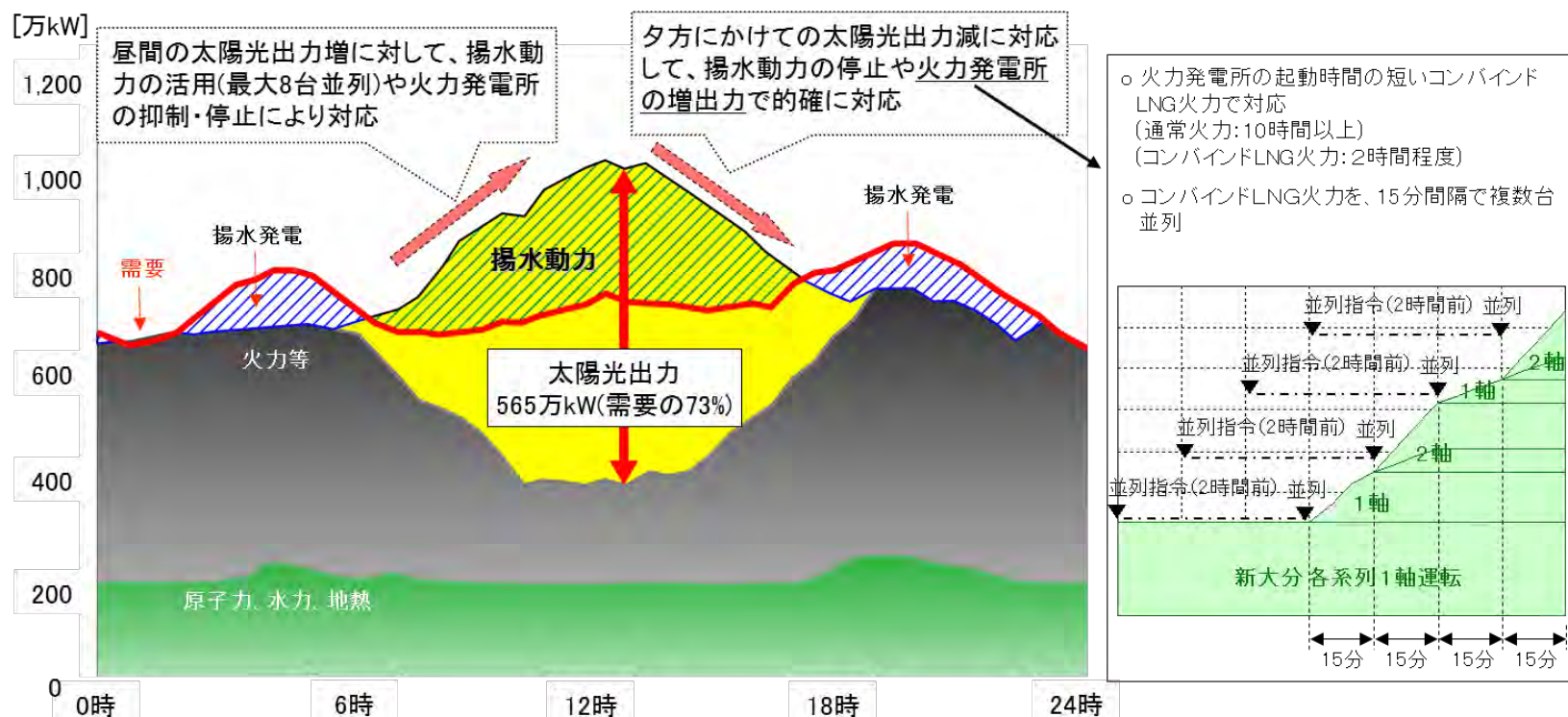


3E+Sにおける「世界共通の潮流：再生可能エネルギー」



システム運用の試み：運用の工夫（九州,2017.4.30）

- 需要に対するPV出力割合の最大日であり、昼間の太陽光発電の出力の増減に対しては、**火力発電所の出力調整や揚水発電所の活用（揚水動力）**により対応。
- 太陽光発電の出力が最大となった13時には、揚水発電所は全台揚水運転するとともに、火力発電所は出力を下げて運転した。

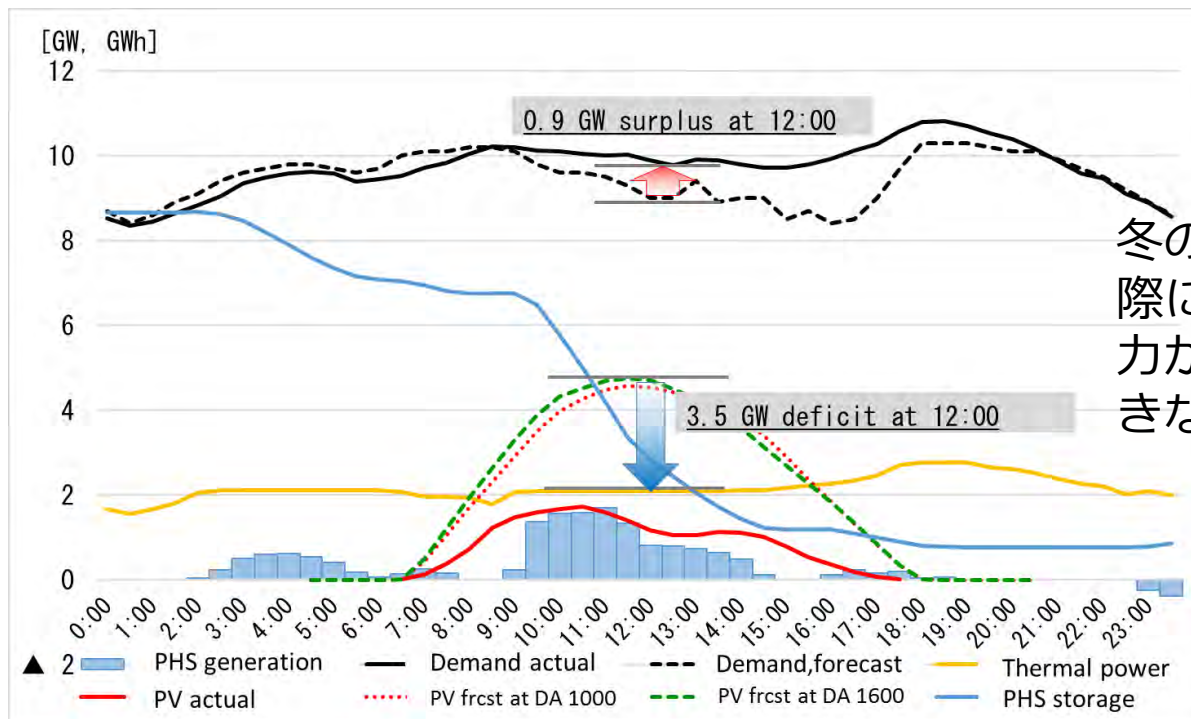


※ 太陽光発電出力の想定以上の発生(過去最大の太陽光出力となった場合+40万kW)、豊水となった場合の水力発電の出力増(+20万kW)及び揚水発電所のトラブル(120万kW)等があった場合は、火力発電所の抑制可能量(90万kW)を超過する可能性があった

(九州電力資料)

システム運用の試み：予測の大外れ（九州,2019.3.2）

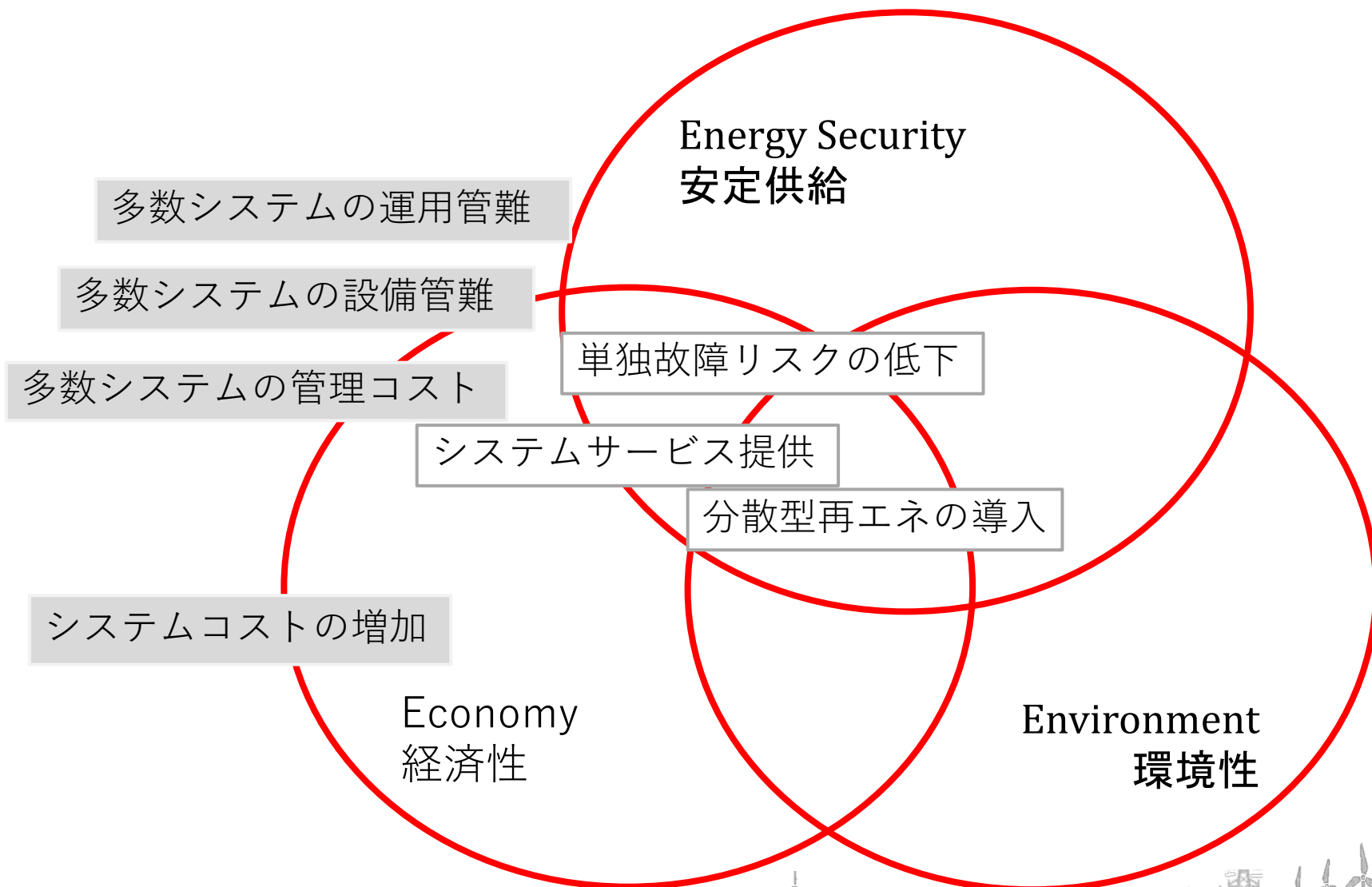
- ❑ 2019年3月2日、前日の晴れの予測が外れ曇りとな、太陽光発電の出力が3.5GW低下すると同時に、気温の低下で暖房需要が増え需要が0.9GW増加した。
- ❑ 合計4.4GWの正味需要の増加には、揚水発電所の揚水から発電への運用変更などが対応したが、夕方には揚水上池の貯水量は早朝の9GWhから1GWhに低下。
- ❑ 再エネの出力や需要には**予測は誤差が避けられないため、出力想定精度向上、需給運用のリアルタイム化、分散資源を含めた調整力導入は喫緊の課題。**



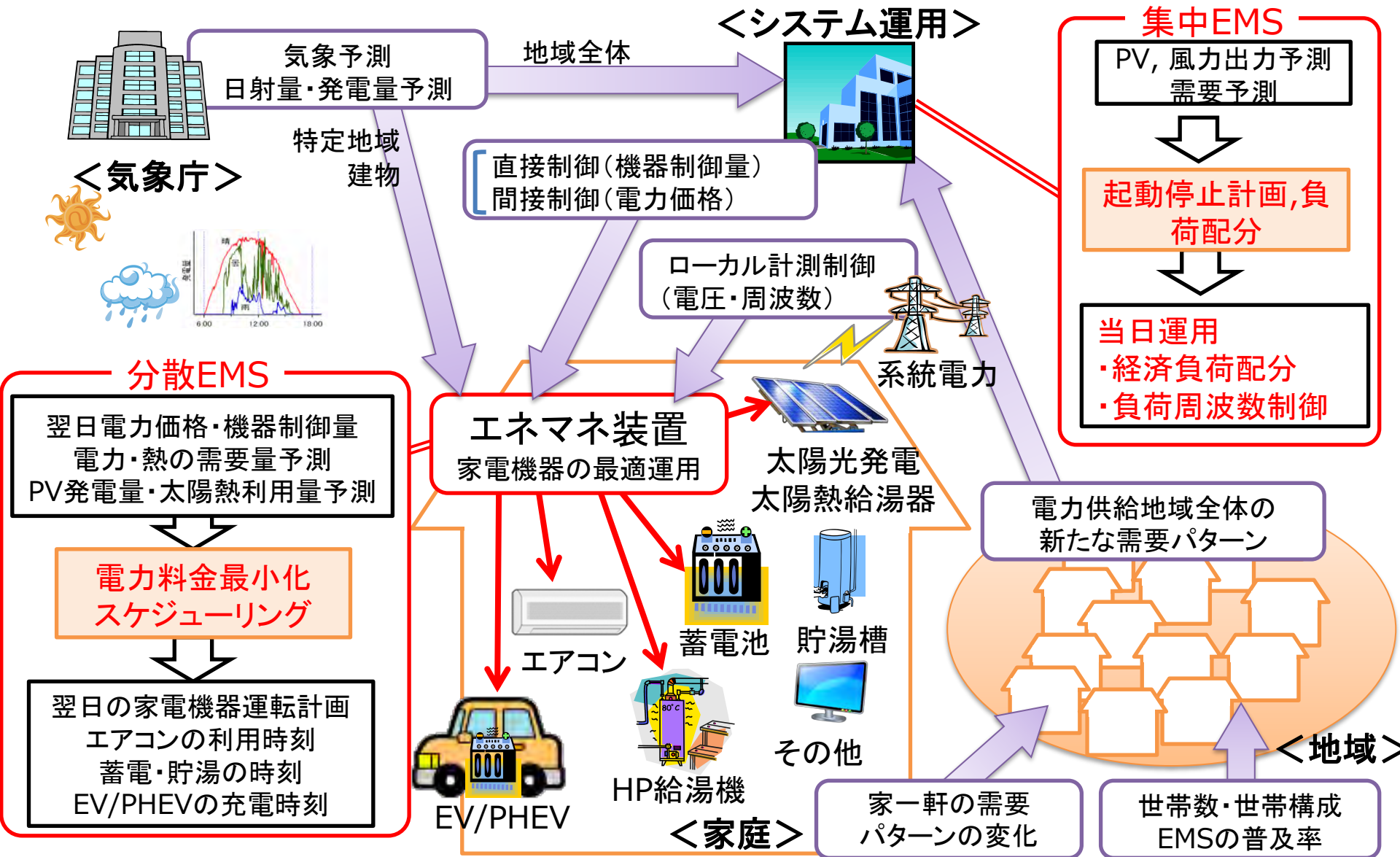
冬の前後で、晴れの予測が実際には曇りになると、PV出力が低下し需要が増加し、大きな供給力不足が発生する。

2019年3月2日の九州エリアの24時間の需給状況
(九州電力資料)

3E+Sにおける「世界共通の潮流：分散型資源」

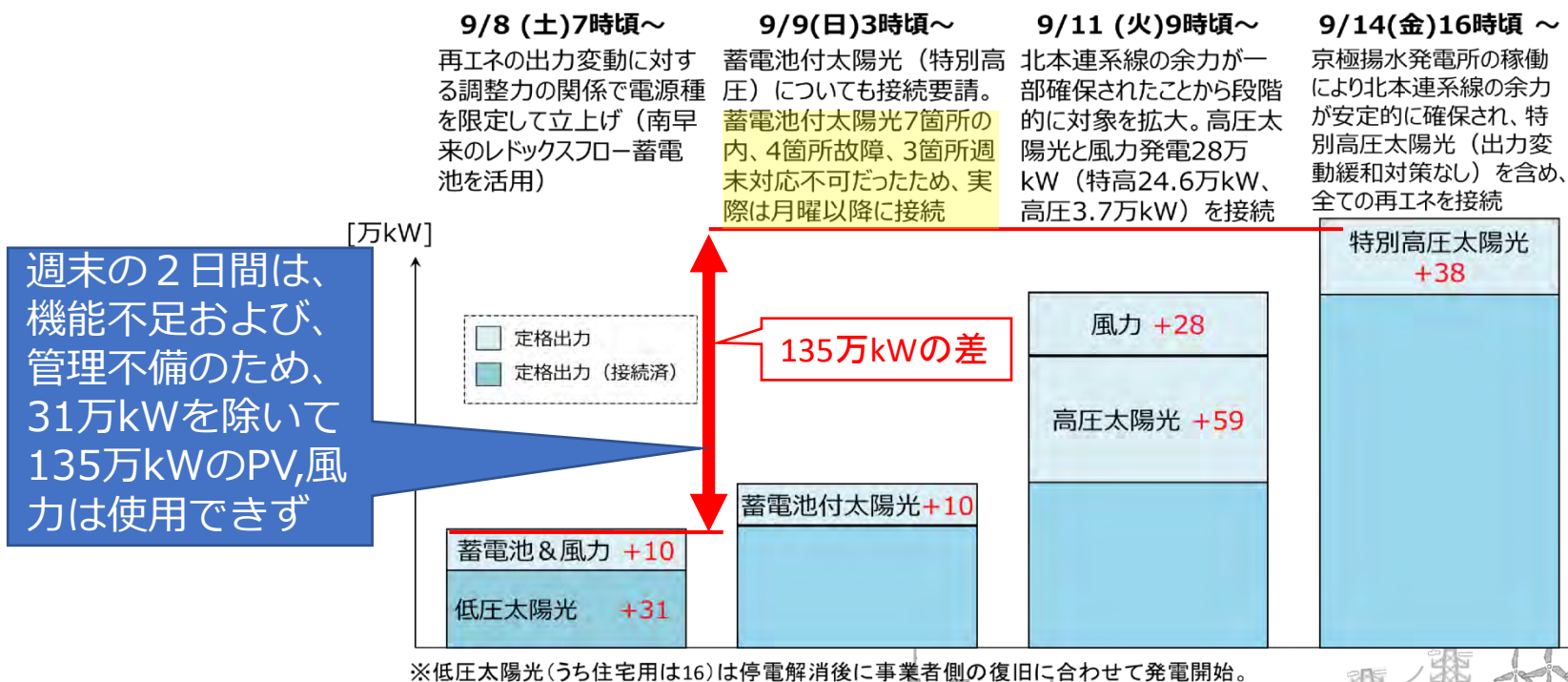


分散型システムの活用



北海道ブラックアウト：風力,PVの運用復帰状況

- ❑ 各地点の停電が解消すると、変動防止のために止めたくても止めることができない低圧太陽光は起動した。（需給不安定要因）
- ❑ PV, 風力を安定に運用するため、出力変動に対応する調整力の確保状況に応じて段階的にPV・風力の起動を試みた。
- ❑ 系統蓄電池で別途調整力を確保した10万kWの風力のみ土曜に起動したが、火曜までそれ以外の多くのPVと風力は使用できなかった。
- ❑ 遠隔での起動停止や出力制御など必要な機能があれば、使用できた可能性大。



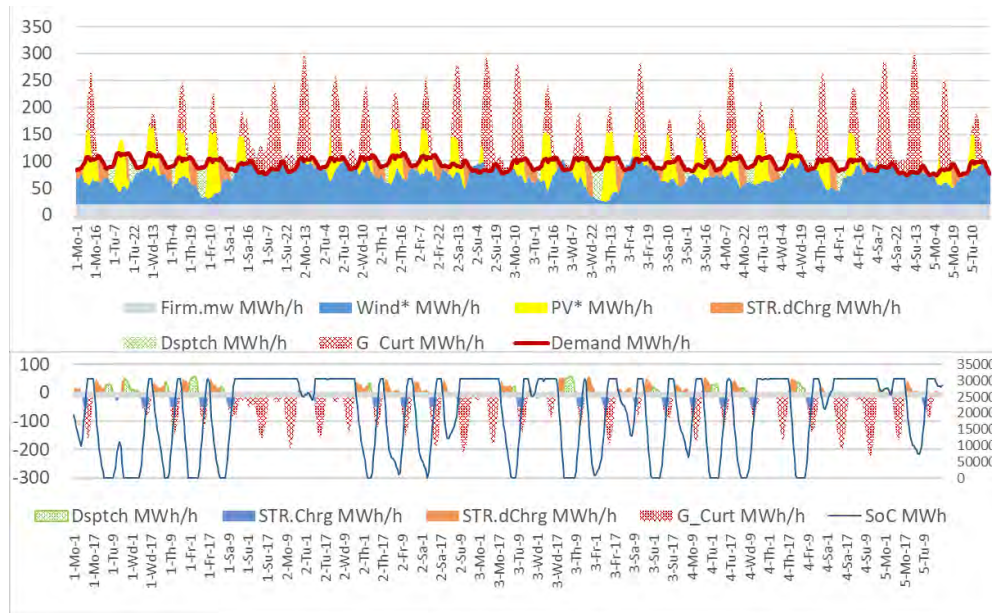
分散資源を含む全ての資源のintegrationが鍵

- ❑ 太陽光発電、風力発電、オンサイト型電源などは、従来の大規模の発電所とは異なる**分散型のエネルギー源**である。
- ❑ 需要側では、EV、HP給湯機、バッテリーなどは、**能動的な分散型システム**。
- ❑ 業務用建物、工場など様々な**需要、エネルギー源**は新たな分散型システムになる。
- ❑ 分散型のシステムを、従来型の電源、送配電網と組み合わせ、それぞれの特性を活かした運用の実現が3E+Sの電力・エネルギーシステムの構築の鍵となる。



世界共通の「新」潮流：大規模貯蔵と新二次エネルギー

- ❑ 脱炭素の実現のため一次エネルギー供給は、PV、風力、原子力、地熱、潮流など出力調整が経済的ではない低炭素排出電源にシフトすることが求められる。
- ❑ これに伴い、月間、季節間などの需給ギャップを埋める大規模エネルギー貯蔵のため、新たな二次エネルギー（貯蔵性から常温常圧で準液体が望ましい）が必要となる。
- ❑ 新二次エネルギーの導入には、製造・流通、利用のインフラ整備が必要であり、初期導入分野、各段階の導入時期と規模の見極めが必須。



赤網掛け：PV, 風力の出力制御
黄色：PV
青：風力
橙：貯蔵
黄緑：負荷配分可能電源
赤線：需要

赤網掛け：PV, 風力の出力制御
青線：貯蔵のSoC
橙：「貯蔵」の発電
青：「貯蔵」への充電
黄緑：負荷配分可能電源

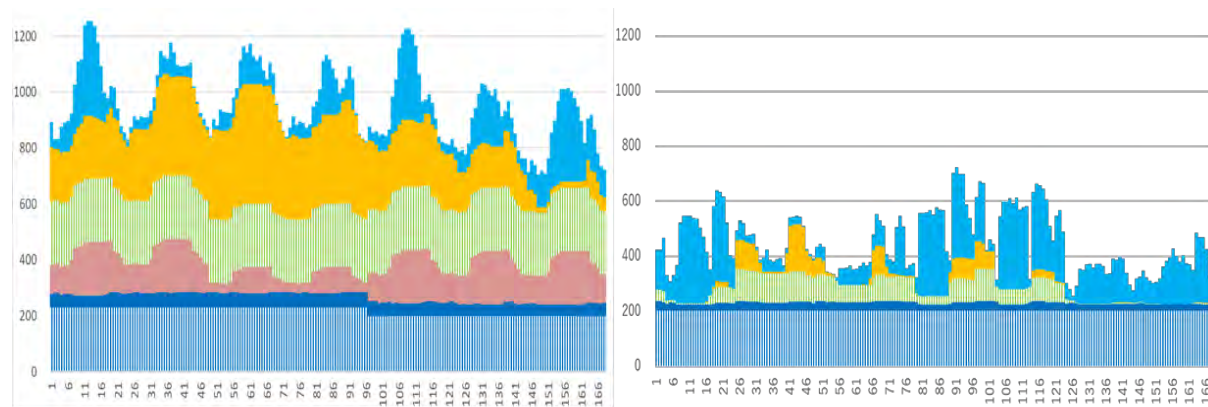
2050年の電力システム二酸化炭素排出ほぼゼロの段階の需給解析例（4月の第1～5週）
(C20.50.6B Firm:114 GW, PV: 212GWp, Wind: 128 GWp, Storage: 20 GWx6.1 hours, Dspth:114GW)

[荻本和彦, 宇田川佑介, 占部千由, 岩船由美子, 下田吉之, 山口容平: RE100%領域の新たな二次エネルギーの必要性について, エネルギー・資源学会 研究発表会講演論文集10-1\(2018\) pp.266-271](#)

世界共通の「新」潮流：交流電力システムの質的变化

- ❑ PV・風力・蓄電池などインバータ連系機器の増加に伴う、集中型電源すなわち「同期機の運転容量の低下」により、**交流システムの質的变化**が始まる。
- ❑ この変化に伴う諸課題は、広く**System Strengthの課題**と呼ばれ：
 - システム慣性の低下による周波数の変動の拡大
 - ネットワークの電圧変動の拡大
 - 送配電網の事故検知の難と保護システムの機能低下
 - 高調波の拡大による異常発熱、制御保護系の誤動作
- ❑ いつ、どこで、どの程度の問題が発生するかを把握することが効果的な対策を少ない費用で実施するカギ。**海外ではGrid-Formingインバータの開発競争激化。**

システム慣性の変動（GVA-sec）（4/1～7の1週間）



2030年長期需給見通し段階、PV250GW、風力70GW導入段階

荻本和彦:電力システム・再エネインテグレーションの将来, IEEJ 全国大会 講演論文集 シンポジウム2050年に向けた電力システムと情報通信とデータ科学の協奏H4-3, ppH4-1 (2019)

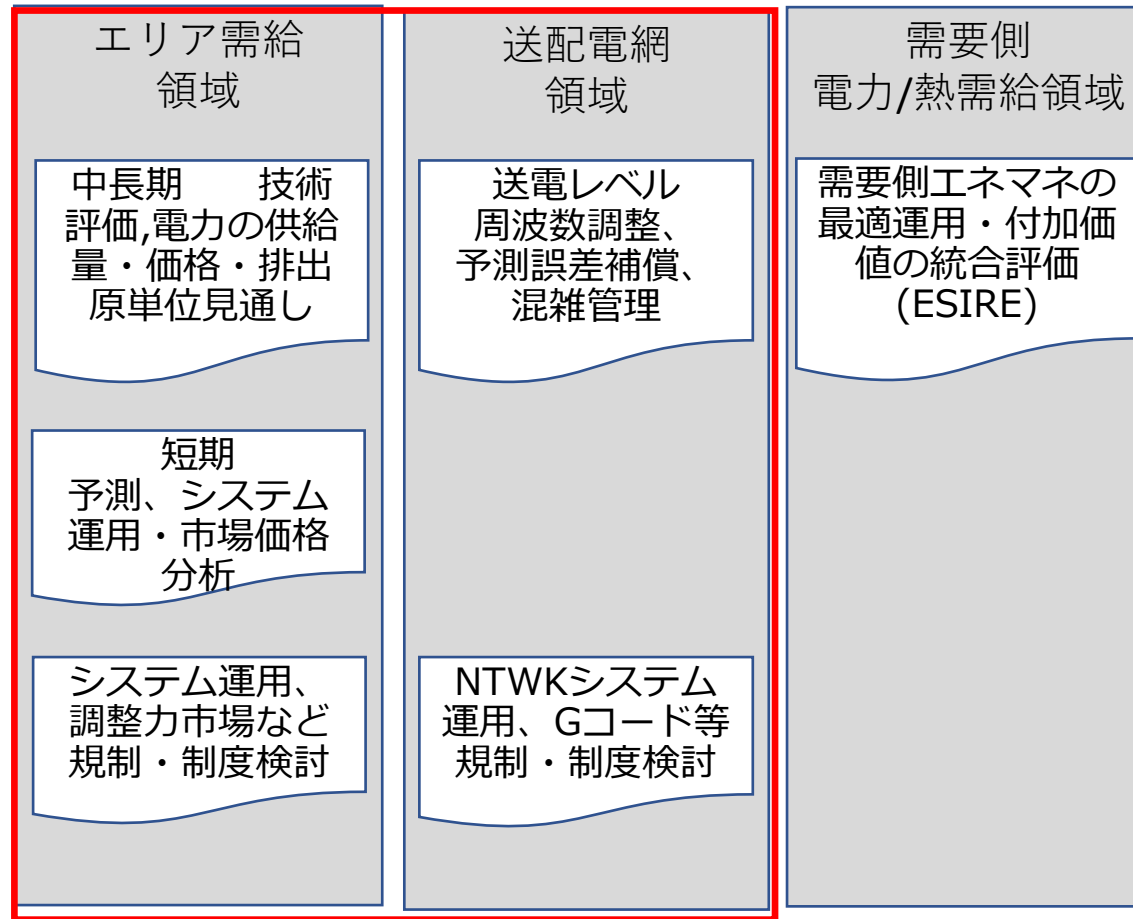
荻本和彦,岩船由美子,将来の電力システムにおけるSystem Strengthの課題と対応,JSER第40回コンファレンス講演論文集15-4(2024)

エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



ESI 第I期のエリア側の検討領域



制度設計・諸機関の活動への反映

システム運用改善

実証試験、製品開発
導入・普及、事業化・システム運用

ESIのエネルギー戦略：7つの戦略領域

ESIでは、電力・エネルギーシステムのこれからの方向性として、2020年9月にエネルギーシステムインテグレーションの視点によるエネルギー戦略を公表した。

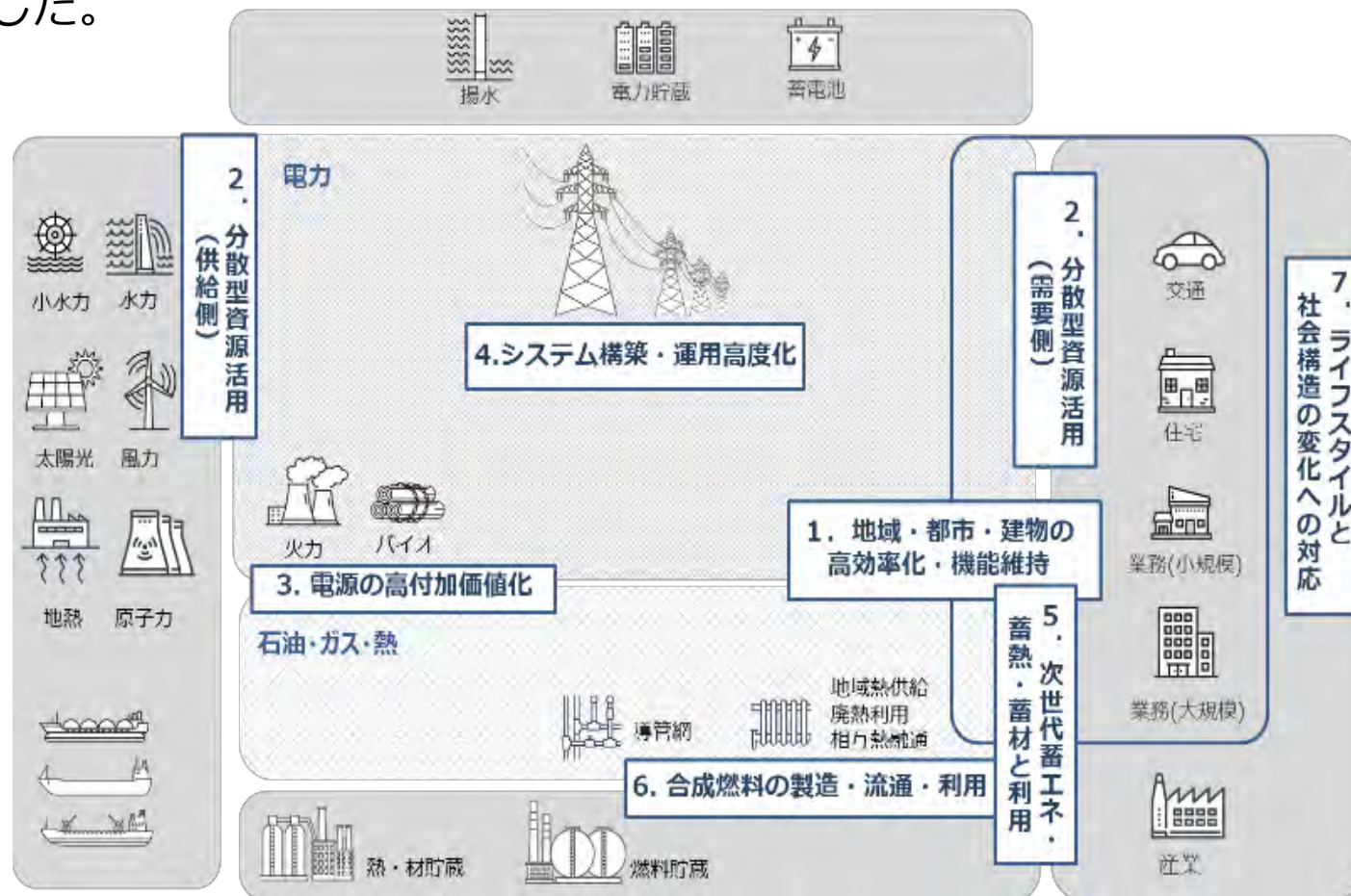


図2 インテグレーション戦略：分野の連携・統合に係る戦略領域

中間マイルストーンと取り組みの構造化

- ❑ 長期の不確実性の中で一気に長期目標を目指す取り組みを行うのではなく、足元からのフォアキャストにより到達可能で、長期目標達成の複数のケースからバックキャストできる中間マイルストーンを設定し、時間軸上の優先順位を反映することで取り組みを構造化することができる。（図5）
- ❑ 中間マイルストーンでは、その時点の再生可能エネルギーの導入容量などの外形的な目標達成に加え、インフラや各種制度、技術などその後の継続的な取り組みの基盤の目標を定め、これらを同時に達成することが重要である。

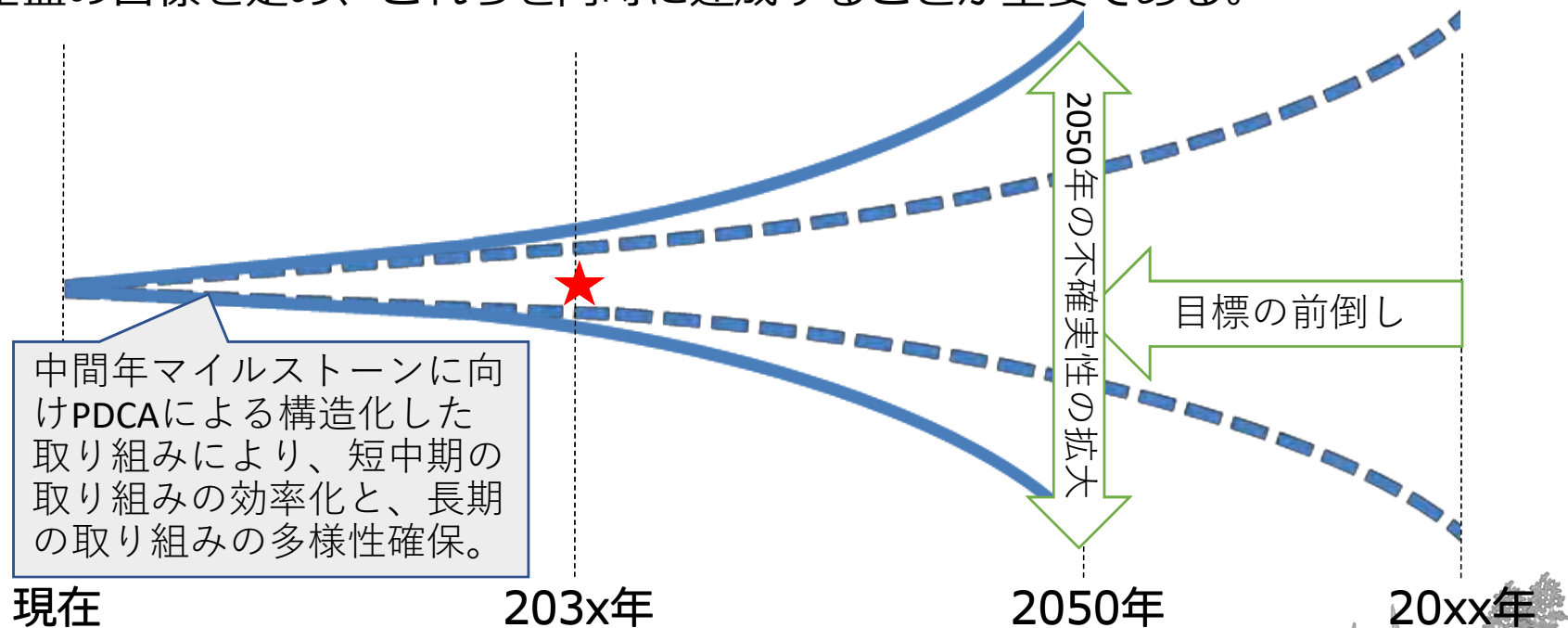


図5 長期の不確実性のもとでの中間マイルストーンの設定とPDCA

第Ⅱ期(2020.4-2024.3)の活動領域

エネルギー 領域

エネルギー全体
での排出削減、
電化/新燃料化
シナリオ

分野1

エリア需給 領域

中長期 技術
評価、電力の供給
量・価格・排出
原単位見通し

分野3

短期
予測、システム
運用・市場価格
分析

分野4

送配電網 (3E)領域

送電レベル
周波数調整、
予測誤差補償、
混雑管理

分野6

配電レベル
電圧・潮流管理
、レジリエンス

分野7

需要側 電力/熱需給領域

需要側エネマネの
最適運用・付加価
値の統合評価
(ESIRE)

分野9

DRアグリゲーシ
ョンの最適運用
(ESIA)

分野10

分散資源 管理・制御領域

IoT-HUBを活用し
た需要側電力シス
テムアーキテク
チャー検討

分野12

アーキテクチャー
要素開発
・ドライバライブ
ラリシステム
・オンライン相互
統試験技術等

分野13

新燃料 の 製造 ・ 流通 ・ 利用

分野2

システム運用、
調整力市場など
規制・制度検討

分野5

NTWKシステム
運用、Gコード等
規制・制度検討

分野8

アグリゲーション
ビジネス
ユースケース開発

分野11

ユースケース開発
・どこでもEV充電器
・俺のでんき
・TPOへの適用等

分野14

橙色はⅡ期から
の新規分野

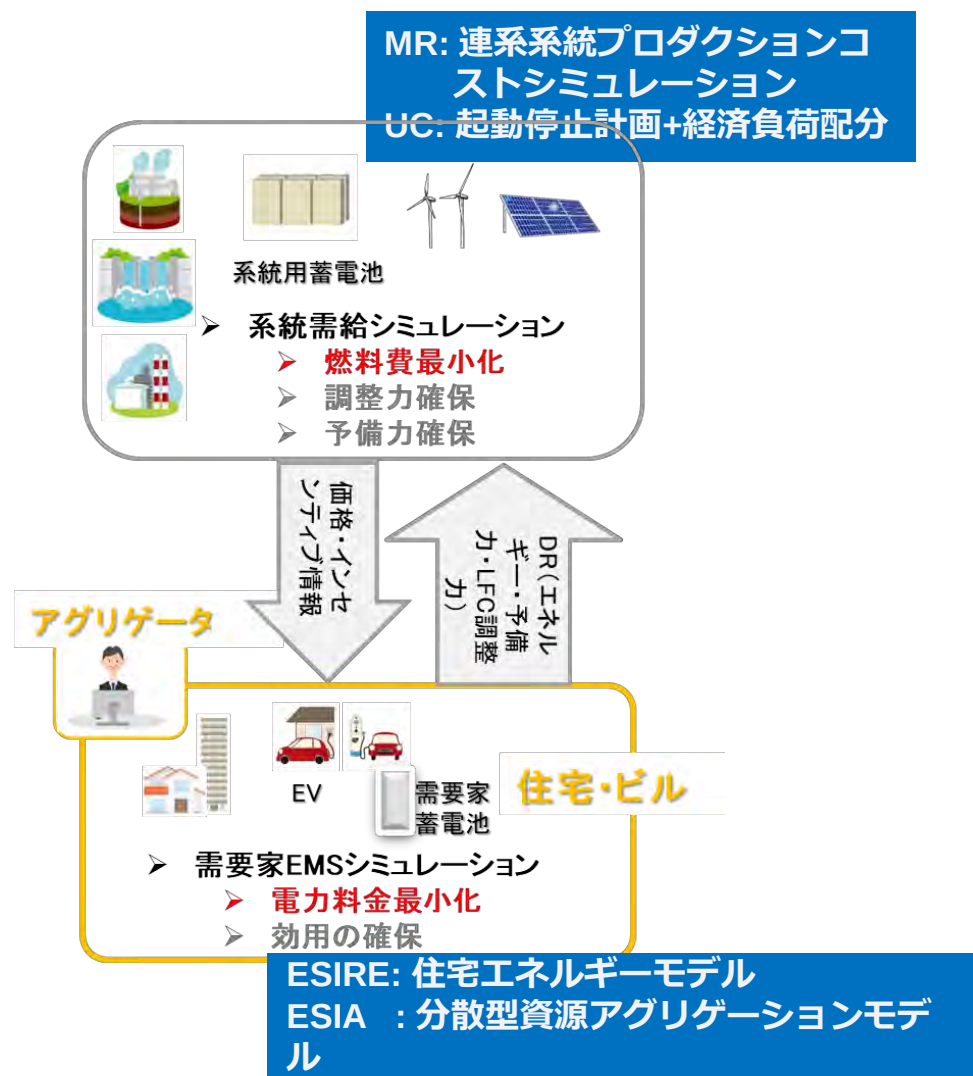
制度設計・諸機関の活動への反映

システム運用改善

実証試験、製品開発導入・普及、事業化



- ESIでは、**エリア大**と**需要側**の解析ツールとデータを共通に利用し、連携機関と大学が**それぞれの視点と役割**に基づき解析・評価を行う。
- 需給解析ツールとデータは、**ツール計算機**で運用され、連携機関および大学のユーザーは、大学内および大学外からこれらを使用する。
- エリア大の解析ツールと需要側の解析ツールは、エリア大でのマージナルコストに基づく**卸電力市場価格の想定値**や、**需要側の需要調整の結果**を介して**相互に連携**した解析を行う事が出来る。



1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



モデル開発とデータ整備

赤字：エリア側
緑字：エリア/需要
黒字：需要側

(FY2018)

- 2030年レンジの需給解析用データを整備した。
- MR : EV、ヒートポンプ給湯の最適運用解析モデルの追加。
- UC : 当日の1時間前まで運用計画を修正するモデル開発。

(FY2019)

- 2030年レンジの詳細解析のための単地域の需給解析用データを整備。
- MR : 地域モデル、単エリアモデル、一般化需給調整力モデル
- UC : 予測有り・信頼区間付DAUC+EDモデル
- 需要分野：ESIREを提供した。

(FY2020)

- 2030年レンジの需給解析用データを更新した（Ver. 2.1）
- MR : 慣性、市場価格などの機能追加、高速化を行った。
- UC : EVモデルを提供した。
- 需要分野：ESIAを新たに提供し、ESIREとESIAの運用を行った。



モデル開発とデータ整備

赤字：エリア側
緑字：エリア/需要
黒字：需要側

(FY2021)

- 2030年レンジの需給解析用データを更新した（第6次エネ基本）
- MR : LCOE*, 慣性対策PV
- UC : 慣性対策PV

(FY2022)

- ソフトリンク2050データ、2030年データを更新した（Ver. 2.1）
- MR : 年間/複数日運用、ソフトリンクモデル、DCOPF単独、三次②改訂
- UC : EVモデル提供
- 需要分野：ESIA, ESIREの機能向上

(FY2023)

- 北海道/東北送電網
- 気象再解析データによるPV・風力出力
- MR : DCOPF 1+8S, 2+8S（予定）, 短絡容量評価
- UC.ACOPF：単地域SCUC+SCED



ツール計算機 モデルの提供例

2030年10地域モデル (Ver.1, Ver. 2.1:石炭一部廃止)

2030年地域モデル (九州、60Hz、50Hz, ほか)

2050年10地域モデル (Ver1, 2021.4以降予定)

需要モデル

- ・ EV/HPWHクラスタリング (ODデータなど)
- ・ 家庭需要 (各種実績データなど)
- ・ 住宅・業務積み上げモデル (外部連携)



「2021エネ基」による2030年需給解析データセット

□データ作成にあたっては、発電・小売り・送配電事業者の供給計画やプレスリリース、環境省で公開している環境アセス計画手続書などを参考に想定した。

□新エネミックスに対し、構築モデルの総発電電力量は976TWhと4.5%程度大きい。この原因は、揚水運用の差異の他、送配電損失、所内率、家消費分などの想定の違い

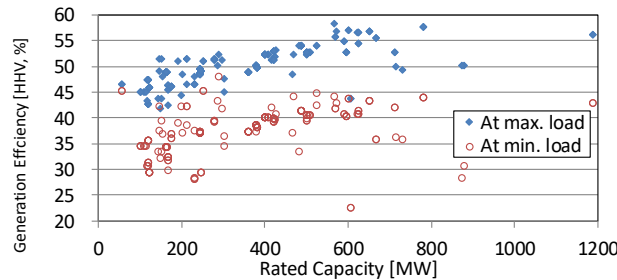


図2 定格負荷および最低負荷時の発電効率（ガス火力）

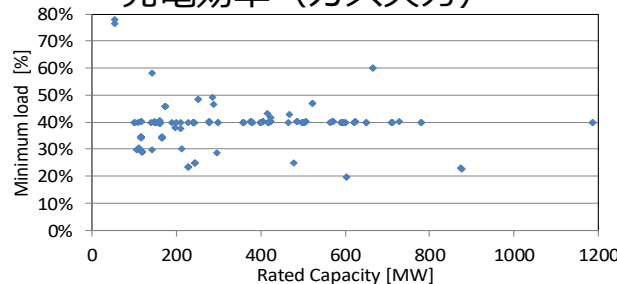


図3 発電機の最低出力（LNG火力）

表5 検討ケース

ケース	運用方法	HP給湯	EV運転
Base	経済負荷配分	深夜早期沸き上げ	帰宅後即充電
pd	再エネ優先給電	深夜早期沸き上げ	帰宅後即充電
Hpo	経済負荷配分	最適化	帰宅後即充電
EVCo	経済負荷配分	深夜早期沸き上げ	充電最適化
EVCD0	経済負荷配分	深夜早期沸き上げ	充放電最適化
HPo_EVCD0	経済負荷配分	最適化	充放電最適化

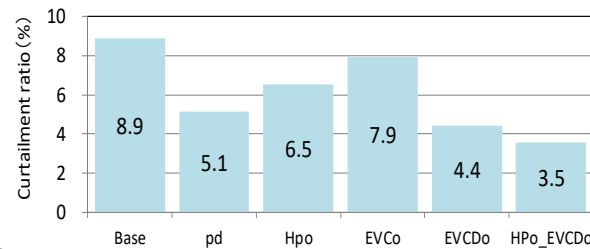


図7 PV・風力の年間の出力制御率

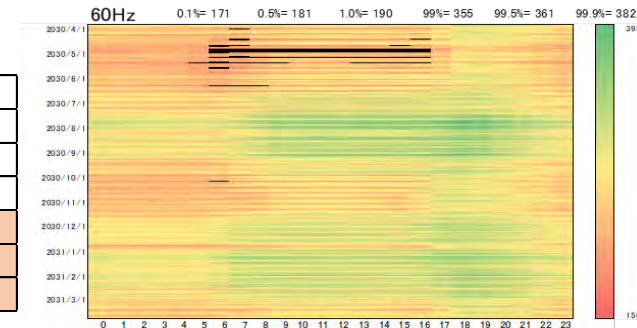


図11 60Hz系の系統慣性の24時間×365日マップ（Base）

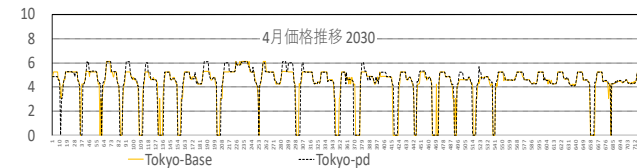


図13 東京の4月のスポット市場価格の時系列（Base/pd）

東仁, 荻本和彦, 岩船由美子ほか, 長期エネルギー需給見通しに基づく2030年の電力需給解析モデルの構築, エネルギー・資源学会コンファレンス講演論文集25-5 (2022).pp.758-763

気象再解析データの電力需給解析への適用

- ❑ DCOPFなど送電網を含む解析では、既設および将来の設備に関する地点別のPV出力、風力出力、需要などが必要である。
- ❑ 気象再解析データは、過去の気象を最新の解析手法で再現したもので、今回はEDMCHのERA-5を使用した。
- ❑ 再解析の気象データを使い、送電網の単一、複数年の再エネ出力や需要を推定することができる。

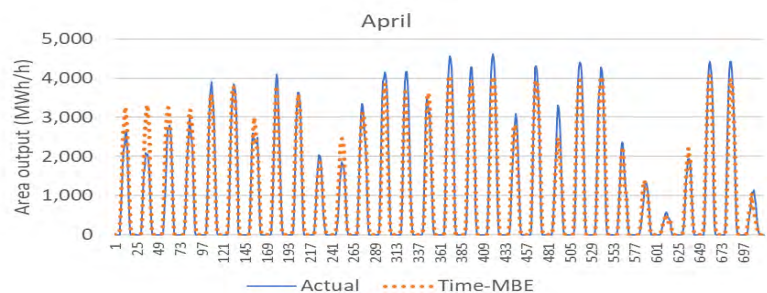


図12 PV毎時出力の実績と時間MBE補正の比較（4月）

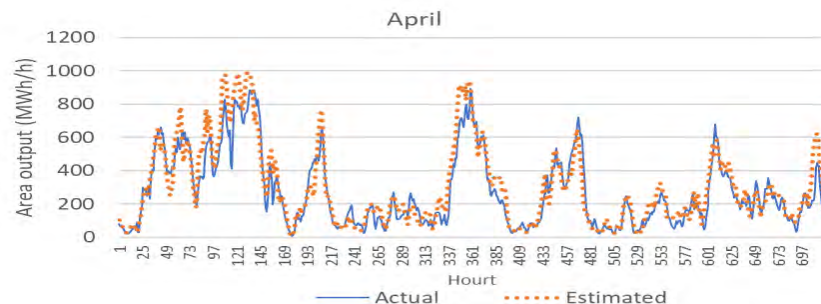


図15 風力の毎時出力の発電実績と計算の比較（4月）

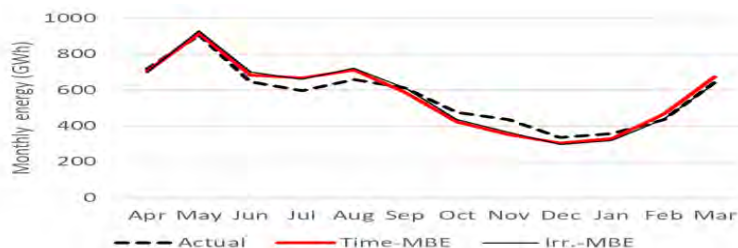


図11 PVの月別発電電力量の実績と補正2方式の比較



図17 風力の月別発電電力量の実績と計算の比較

[荻本和彦, ジョン フォンセカ, 瀬川周平, 礒永 彰, 福留 潔, 下尾高廣, 紺谷怜央, 気象再解析データの電力需給解析への適用, エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集4-1 \(2023\), pp.59-64](#)

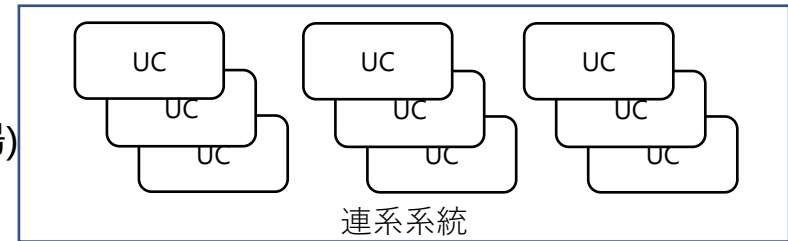
エリアレベルの解析手法

- 需給構造、PV・風力の出力の不確実性・変動性と、調整可能な需要（能動化需要）の条件のもとで、電力の卸電力市場、システム運用を最適化により模擬する。
- MR（Multiarea Regulation）：全国10エリア、**予測を扱わない**年間の需給解析
- UC（Unit Commitment）：単独あるいは2エリアを対象に、**予測を含めた**年間の計画、リアルタイムの需給運用を解析する。

MR：経済性中心

提供・サポート：J-POWERビジネスサービス

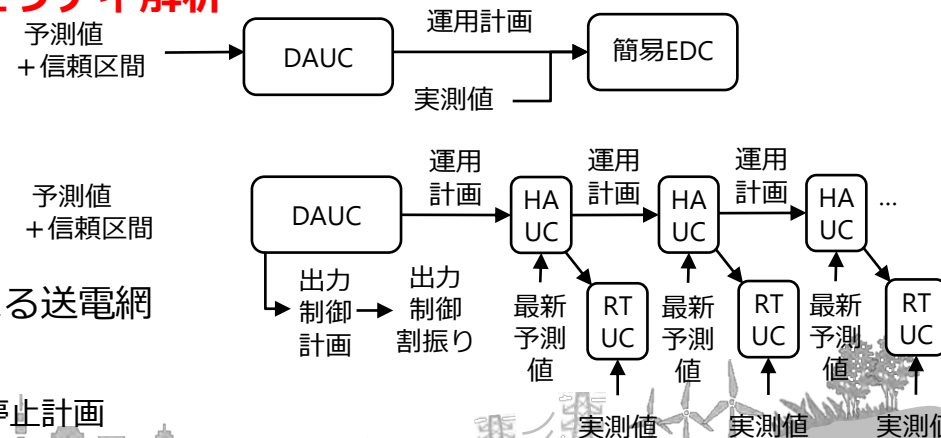
- nエリア連系
- デマンドレスポンス (EV充電, ヒートポンプ給湯)
- 一般調整力モデル
- DCOPFによる送電網模擬



KKEUC：予測誤差を含めた経済・セキュリティ解析

提供・サポート：構造計画研究所

- 提供中: DAUC+簡易EDC
 - DR (EV)
- 詳細モデル1: DAUC+HAUC+RTUC
 - 予測逐次更新
- 詳細モデル2: DAUC+RTUC w/ DCOPFによる送電網



ACOPFモデル：UCモデルと連携

注) DA/HA/RT UC: 前日/時間前/リアルタイム 起動停止計画

DCOPF/ACOPF: 直流法/交流法 最適潮流計算

MRの一般調整力モデルの開発

- **太陽光・風力の大量導入**のもとでは、出力変動、予測誤差などに対し、複数の時間領域のシステムサービス（調整力）の確保が必要。
 - ・ ガバナーフリー領域のPrimary (P) : 上げ/下げ
 - ・ 負荷周波数制御領域のSecondary (S) : 上げ/下げ、高速/低速,
 - ・ 従来の負荷追従制御領域のTertiary (T) : 上げ/下げ、高速/低速
- **同期機の運用容量の減少のもとでは**、「同期化力」、「高速周波数維持」、さらには「無効電力調整」などの新たな調整力についても拡張中。

表1. Types of flexibility reserve regarded

調整力の種類※	内容
P 領域 P1	ガバナーフリーなど自律制御による自動応答
S 領域高速 S1	専用線での高速な信号による LFC
S 領域低速 S2	インターネット回線での低速な信号による LFC
T 領域高速 T1	オンライン運用の電源による出力制御。揚水などは起動、停止、運転モード切替を含む
T 領域低速 T2	需要などより低速な技術による応答

6) [東 仁, 礪永彰, 荻本和彦, 岩船由美子, 片岡和人: 電力需給解析における一般調整力モデルの開発, IEEJ B部門大会 論文I \(2019\)](#)

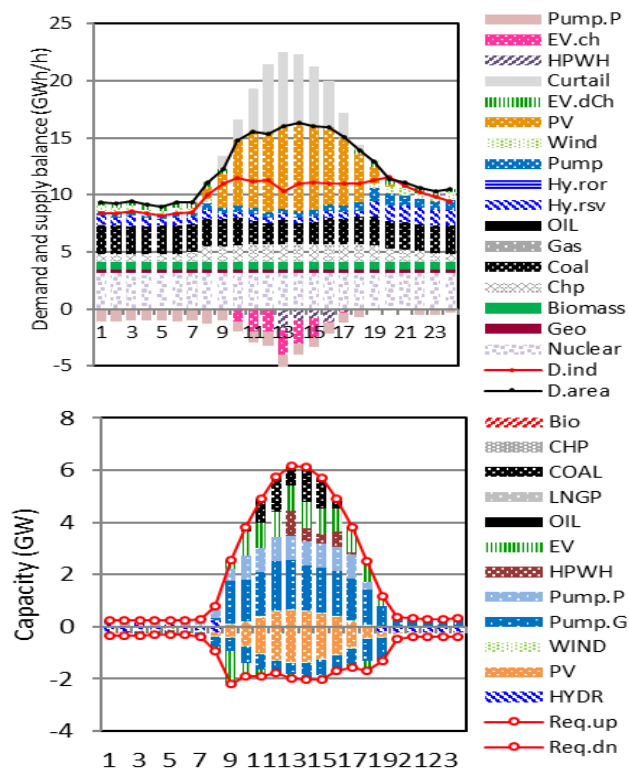
荻本和彦, 岩船由美子, 片岡和人, 本田敦夫, 手塚孔一郎, 出野賢一, 東 仁, 礪永 彰, 福留 潔 : 一般調整力モデルを用いた需給調整の試算 : 調整力の設定-, JSER コンファレンス 講演論文集 No. 26-2 (2020)

MRの一般調整力モデルの開発

- 火力・水力・揚水、太陽光・風力、需要・バッテリーなど、多様な資源をその特性に合わせて調整力の上げ/下げに活用する運用モデルを開発した。

Resource	Increase of supply	S	T1	T2	Decrease of supply	S	T1	T2	Remarks
		¥/kWh	¥/kWh	¥/kWh		¥/kWh	¥/kWh	¥/kWh	
PV		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
Wind	Small loss	0.01	0.01	0.01	Small loss	0.01	0.01	0.01	
Rsvr Hydro	Adjustment cost	0.30	0.30	0.30	Adjustment cost	0.30	0.30	0.30	
Biomass	Adjustment cost	0.60	0.60	0.60	Adjustment cost	0.60	0.60	0.60	
PSH, Battery	S,T1: storage recovery =M. fuel cost/0.7 T2: above x 0.005(prob.)	4.29	4.29	0.02	S,T1: -storage recovery T2: -above x 0.005(prob.)	-4.29	-4.29	-0.02	M. fuel: Coal
Fossil Coal	Fuel cost	3.00	3.00	3.00	-Fuel cost	-3.00	-3.00	-3.00	
Gas	Fuel cost	6.00	6.00	6.00	-Fuel cost	-6.00	-6.00	-6.00	
CHP	Fuel cost + heat loss =gas fuel*(1.2+0.1)	7.80	7.80	7.80	-Fuel cost+heat. penalty =-gas fuelx(1.2-0.35)	-5.10	-5.10	-5.10	
Oil	Fuel cost	20.00	20.00	20.00	-Fuel cost	-20.00	-20.00	-20.00	
EV	S:M.fuel*(1+penalty) T1:VoLL T2:T1*0.005 (prob)	6.30	500	2.50	S:-M.fuel*(1-penalty) T1:S T2:T1*0.005 (prob.)	-5.70	-5.70	-0.03	M.fuel: Gas penalty=0.05 VoLL=500
HPWH	S:M.fuel*(1+penalty) T1:VoLL T2:T1*0.005 (prob)			5.00	S:-M.fuel*(1-penalty) T1:S T2:T1*0.005 (prob.)				M.fuel: Gas penalty=0.35 VoLL=1000

調整力の運用費 (yen/kW-h)

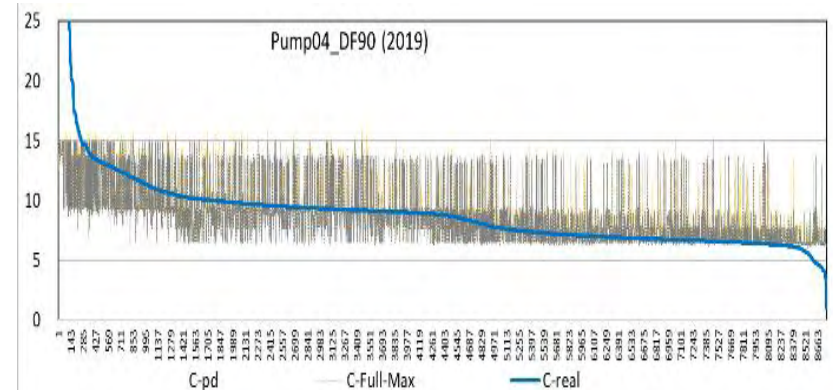
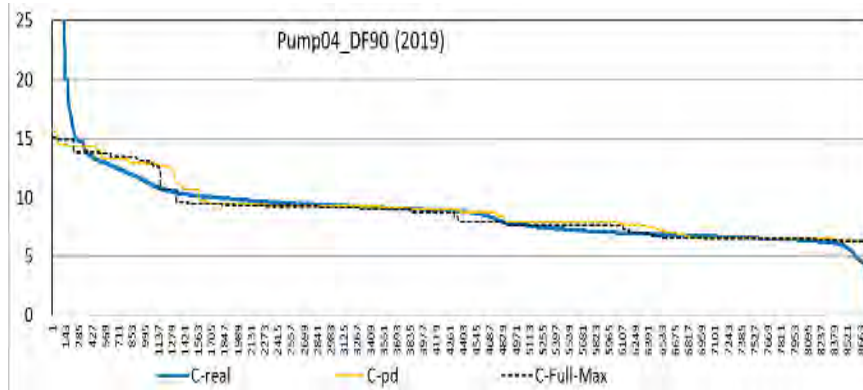


需給と調整力のバランス

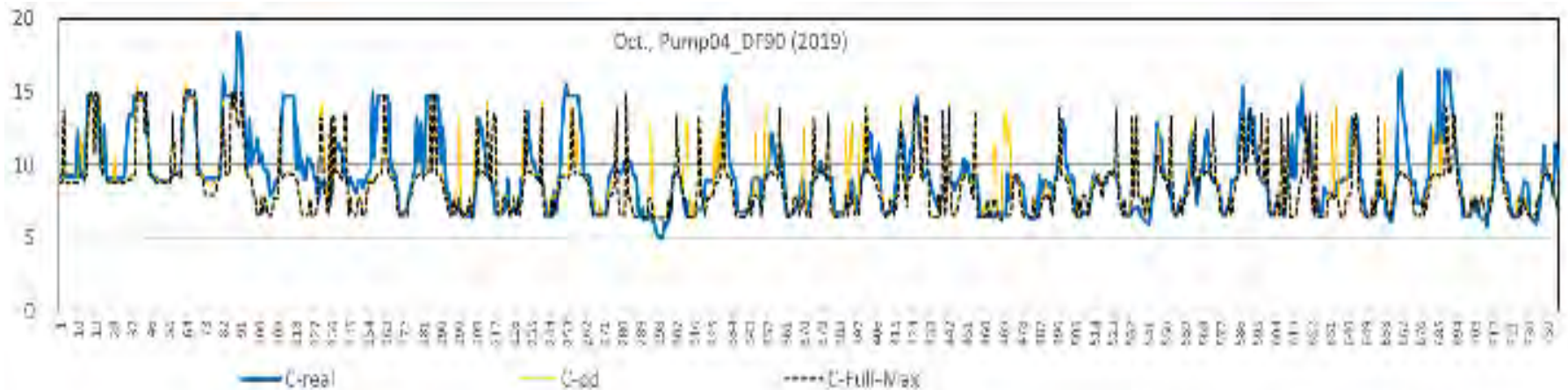
荻本和彦,岩船由美子,片岡和人,本田敦夫,手塚孔一郎,出野賢一,東 仁,磯永 彰,福留 潔,一般調整力モデルを用いた需給調整の試算: 調整力の設定,JSER コンファレンス講演論文集26-2,pp.641 (2020)

荻本和彦, 岩船由美子, 竹内知哉, 瀬川周平, 東仁, 磯永彰: 将来の電力システム運用における課題と対策, JSERコンファレンスNo.5-3 (2023)

MRの新機能：スポット市場価格分析機能



東京エリアの年間持続曲線、実績価格からの誤差



東京エリアの10月の実績（青）とMC（橙）、Full-max（黒点線）の比較

[荻本和彦,岩船由美子,占部千由,東仁,礪永彰,電力需給モデルの限界費用によるスポット市場価格分析,エネルギー・資源学会論文誌42\(3\) \(2021\),p.185-193](#)



MRの年間/複数日運用解析機能

- 「大規模貯蔵と新二次エネルギー」の適用評価などに必要となる年間～複数日の運用解析を行うために、年間、m日最適化/n日採用の機能を開発した。
- 今後、従来燃料の輸入・貯蔵、新燃料の製造・貯蔵のモデルに展開。

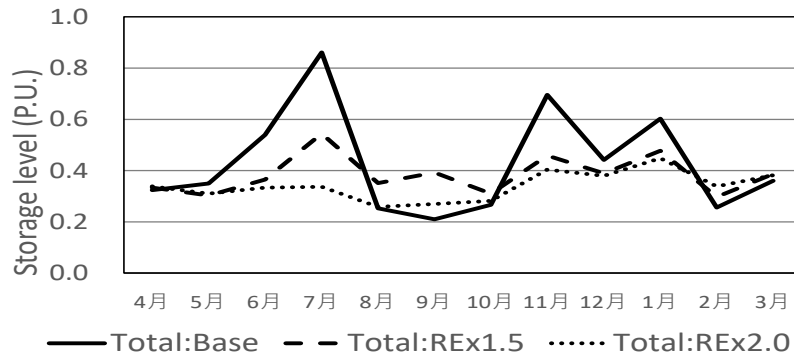


図3 24時の貯水位の月別平均値 (P.U.:貯水池容量に対する比率)

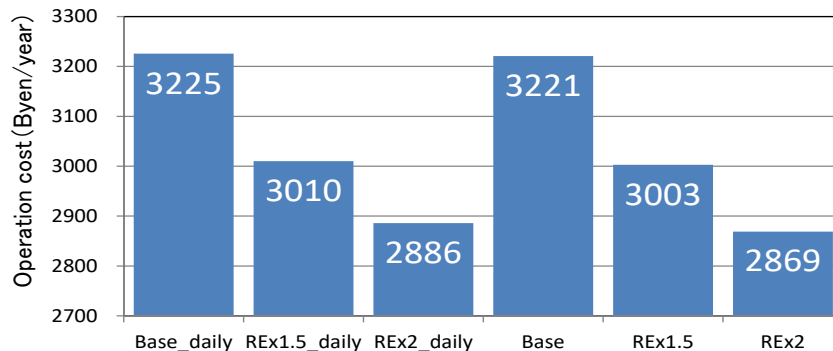


図8 各ケースの年間の全国の運用費 (左:日毎、右:年間)

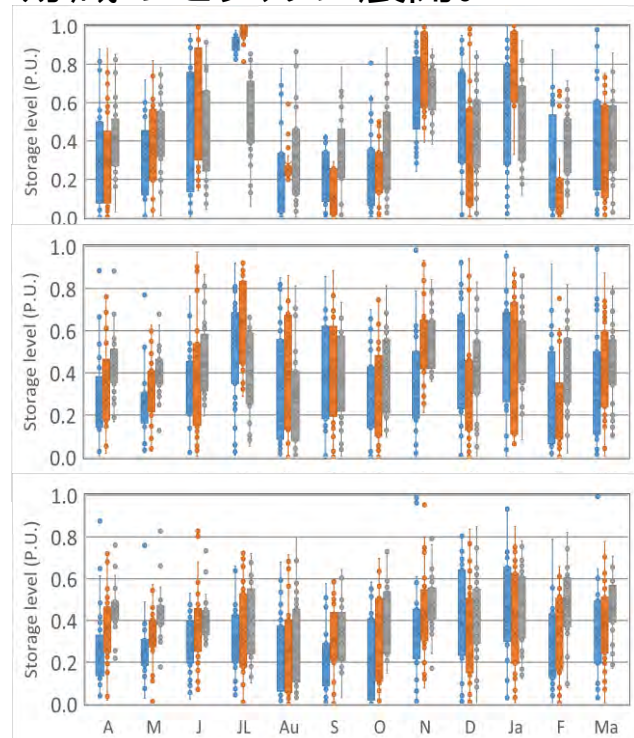


図4 東・中・西の24時の貯水位の月別の箱ひげ図 (P.U.:貯水池容量に対する比率)
(上: Base, 中: REx1.5, 下: REx2)

東仁, 磯永彰, 福留潔, 荻本和彦, Joao Gari da Silva Fonseca Junior, 瀬川周平: 電力貯蔵の複数日運用効果の解析・評価, JSER 第41回研究発表会講演論文集11-3 (2022)

MR/UCの系統慣性の解析機能

- 同期機の運用容量などに基づく、慣性低下による周波数変動、交流短絡容量の低下による電圧変動、高調波増加、事故検出の困難化課題の解決が必要。
- 対策技術を含め、系統慣性低下の特性分析機能を開発した。
- 現在、同期機の運転状況に基づく送電網における短絡容量機能を開発中。

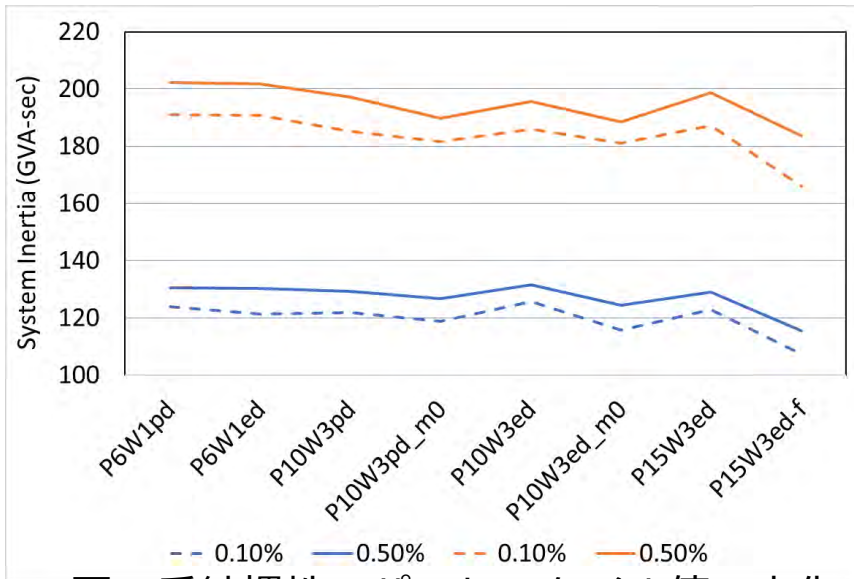


図9 系統慣性のパーセンタイル値の変化
(青: 50Hz系, 橙: 60Hz系)

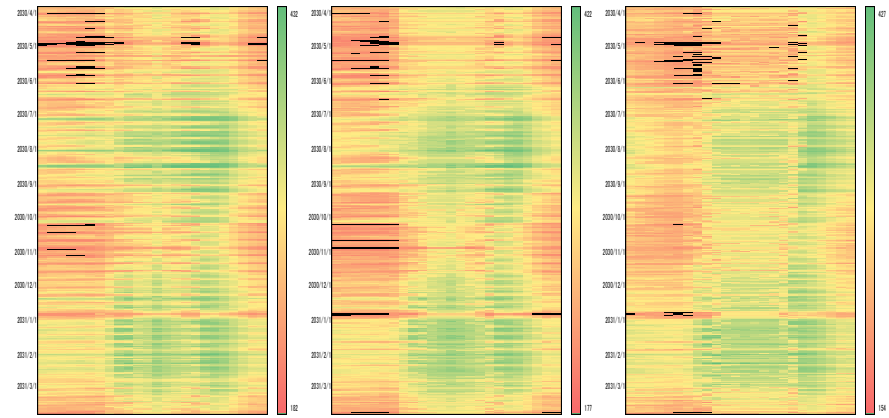


図11 60Hz系の系統慣性の365日×24時間の分布 (左: P6W1ed, 中: P10W3ed, 右: P15W3ed-f, 縦軸は上から4/1～翌年3/31の365日, 横軸は0～23時赤～緑: 系統慣性の小～大, 黒: 最小側1%のコマ)

荻本和彦, 岩船由美子, 占部千由, 東仁, 礪永彰 同期発電機の運用容量による系統慣性の特性分析, JSER, 論文誌No.42(1), pp30-37 (2021)

MR/UCの送電網を含む需給解析モデル

- ❑ MR/UCとも、単一エリアの送電網を直流法で模擬したSCUCを開発した。
- ❑ MRではこれに続き、全国の連系されたエリアについて、シングルバスモデルとDCOPFモデルを混在させて全国の年間の需給解析を行うモデルを開発し、
東北・東京をDCOPF、残りの全国の8エリアをシングルバスで模擬するモデルの報告を行った。(B+C+8S)
- ❑ 今後、データ整備と並行し、モデルの整備を継続する。

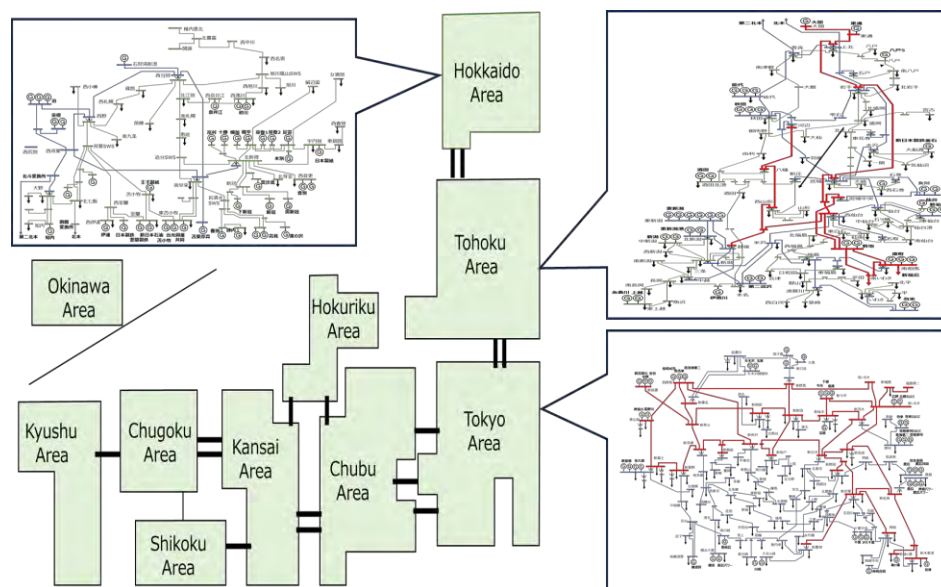


図 送電網データ整備（北海道・東北・東京）とDCOPF・シングルバスの混在モデルの開発

荻本和彦, 岩船由美子, 片岡和人, 瀬川周平, 東 仁, 礪永 彰, 福留 潔, DCOPF付電力需給解析による隣接エリアの送電網運用の分析, JSER第40回コンファレンス講演論文集15-3 (2024)

UC（予測あり）：当日、1時間前計画修正

- 再生可能エネルギー発電の大量導入など、電力システムの需給状況の変化にともなうシステムサービスに対応した調整力の需給を需給解析の中で制約として扱う。：

- ・ガバナーフリー領域のPrimary (P) : 上げ/下げ
- ・負荷周波数制御領域のSecondary (S) : 上げ/下げ、高速/低速,
- ・従来の負荷追従制御領域のTertiary (T) : 上げ/下げ、高速/低速

- より高速な「周波数維持」、「同期化力」などについても、拡張可能。

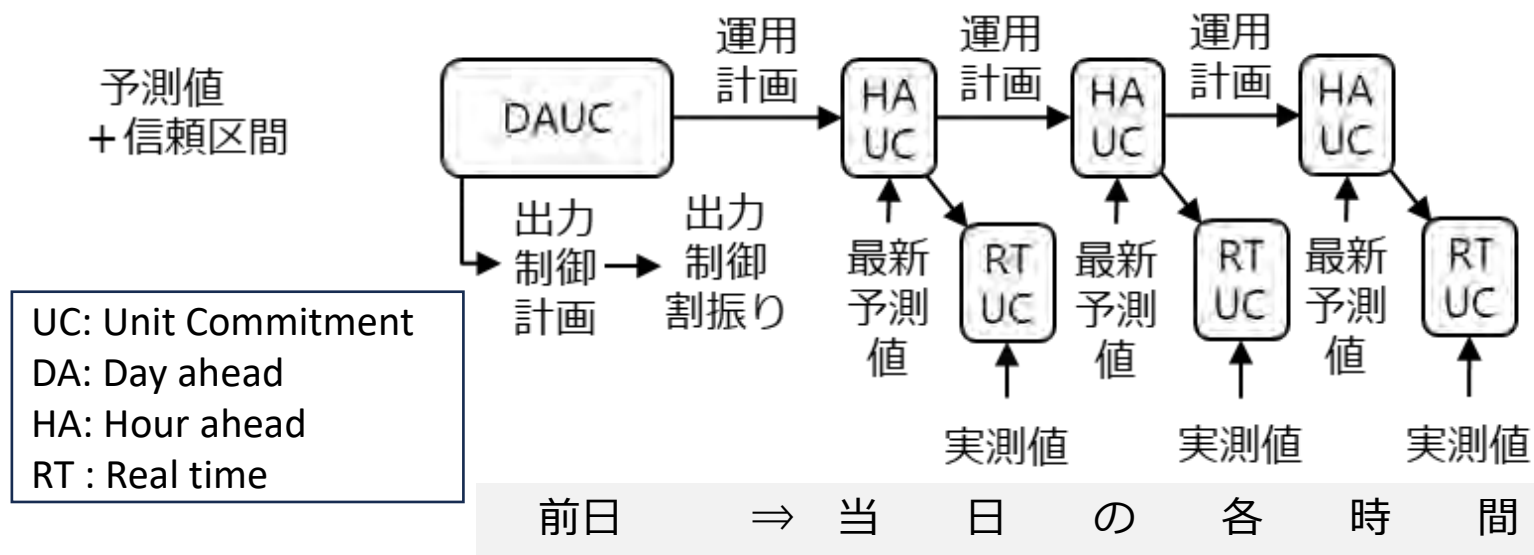


図 毎時の予測値と信頼区間の更新を反映するUCモデル

UC（予測あり）：ACOPFとの連携解析

- SCUCの結果に基づきACOPFを計算し、電圧・損失の影響をフィードバックしてSCUCを解析し安定な解が得られる機能を開発した。
これにより、SCUC側で間接的に損失を考慮したディスパッチを決定することができ、将来のノードルプライスの算出などにつながる。
- SCUCの結果に基づきACOPFを計算し、さらにN-1事故などを発生させ、結果を確認する機能を開発した。
SCUCにより年間の再生可能エネルギーの出力変動を模擬した需給条件に対しN-1事故などを適用することにより、システムの安定運用の課題について、検討することができる。

図 毎時の予測値と信頼区間の更新を反映するUCモデル



エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



エリアレベルの2030検討・技術評価

(2018)

MR : 2030年の電力需給における電気自動車 (EV) の評価

MR : 日本における揚水発電所のSystem Value (II)

UC : 需給運用シミュレーションによる風力発電出力ランプアラートの有効性に関する分析

調査 : 電力システム・再エネインテグレーションの将来

調査 : 柔軟性の導入効果評価

(2019)

MR : 一般化需給調整力モデルの提供による検討

UC : 1時間前 UCを用いた太陽光発電出力予測誤差への対応



エリアレベルの2030検討・技術評価

(FY2020)

- MR : 再生エネ大量導入時のスポット市場価格分析 (電全2021)
- UC : 電力システム運用の進化と予測を活用したUCモデル (2022.1)
- MR : システム統合による限界費用を含む発電コストの分析 (エネ資2022.1)
- 調査 : 脱炭素時代のエネルギーの安定供給を考える (エネ資2021.8)

(FY2021)

データ: 長期エネルギー需給見通しに基づく2030年の電力需給解析モデルの構築

(FY2022)

- MR : 電力需給解析による送電網潮流の再現検証 (エネ資発 2022.8)
- UC : PV出力予測誤差の影響解析-EAST10モデル (電学B 2022.9)

(FY2023)

- データ : 気象再解析データの電力需給解析への適用 (エネ資発2023.8)
- MR : 再生エネ大量導入下の東北エリア送電網の運用解析 (エネ資発2023.8)
- UC : PV出力予測誤差の影響解析-東京上位2電圧モデル (電学B 2023.9)

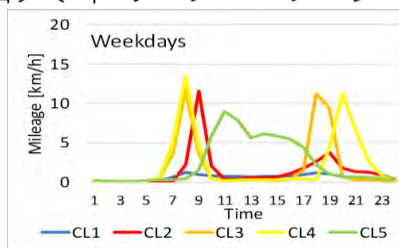


MRによる2030年の電力需給におけるEV充電管理の評価

- EV充電器は、その充電/放電を管理制御する機能により化石燃料消費減に加え、送配電網の経済運用、調整力供給、電圧、潮流管理、レジリエンス向上に貢献する。
- EV充電が新たな調整力を供給し柔軟性を高めることで、PVや風力をはじめとし、再生可能エネルギーなどの低炭素排出電源の経済的な設備形成と運用が実現する。
- 充電管理・制御の価値を定量評価結果に基づき、事業化等の検討が可能となる。

自家用個人車クラスタリング

EVクラスタ別
走行パターン
(平日)



EVクラスタ別
滞在場所
自宅/勤務先
(平日)

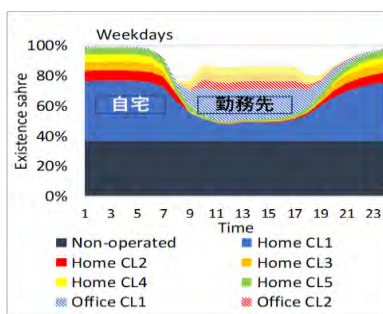
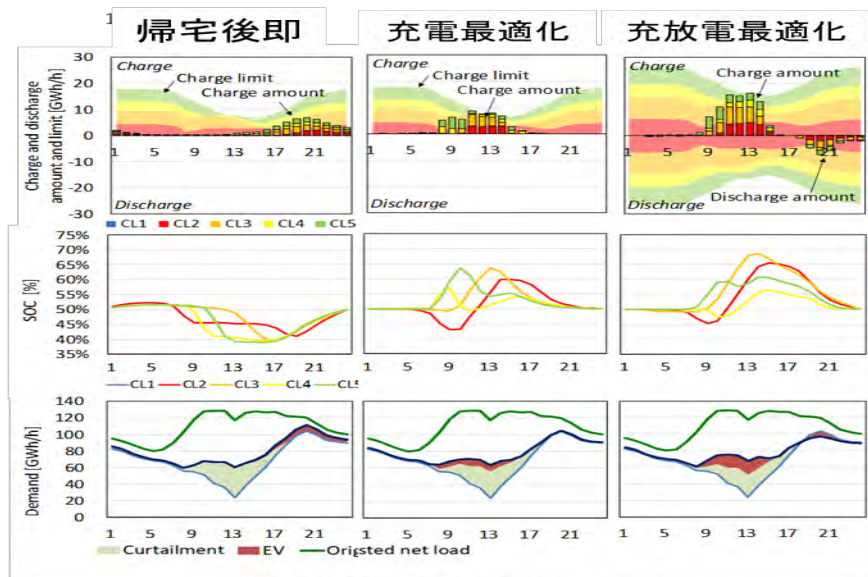


図 走行パターンとEVの滞在場所

日間運用結果 (全国、5/8)

需要、正味需要EV電池SOC
充電量 + 上下限



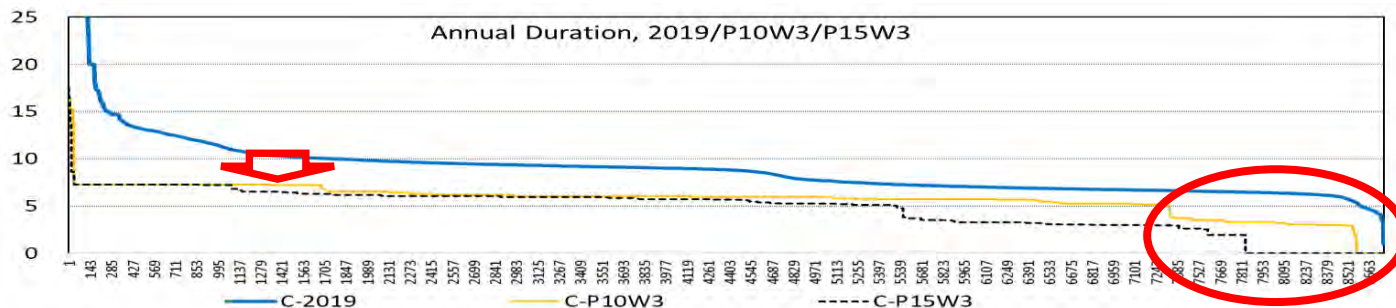
注) 本解析には、予測は使われていない。

図 帰宅後即充電、充電最適化、充放電最適化の効果

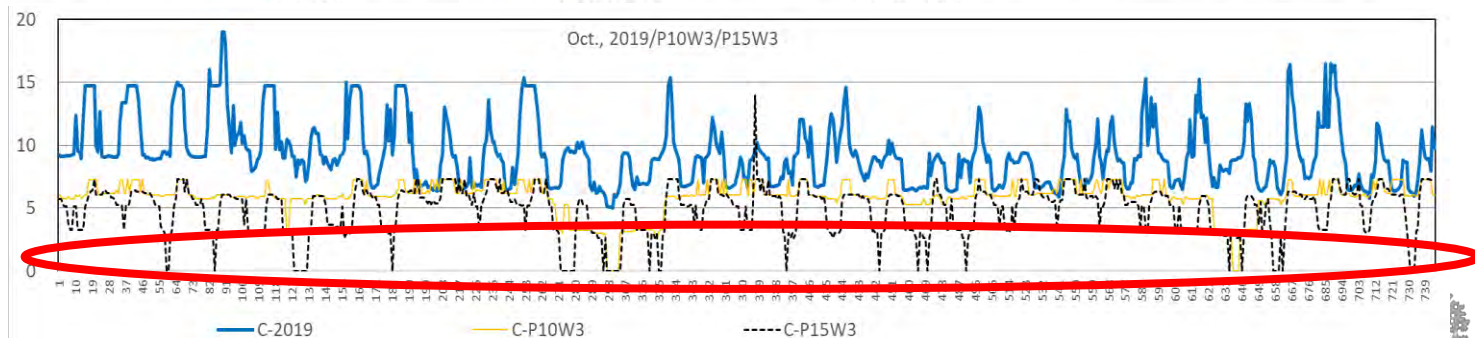
MRによる将来の卸市場価格の分析

- ❑ 再エネを含め、市場メカニズムによる設備形成には市場価格の想定が必要。
- ❑ 2030年の日本でPVが1億kW、風力が32GW導入された段階での東京のスポット市場価格の想定を示す。
 - 2019実績：青, PV103GW：橙, PV150GW：黒点線)
- ❑ PV・風力の導入増加に伴い、市場価格が低下し、ゼロ価格の頻度も増える。
- ❑ 予測誤差によるインバランス、リアルタイムの調整力を含めた価格形成が必要。

年間持続曲線



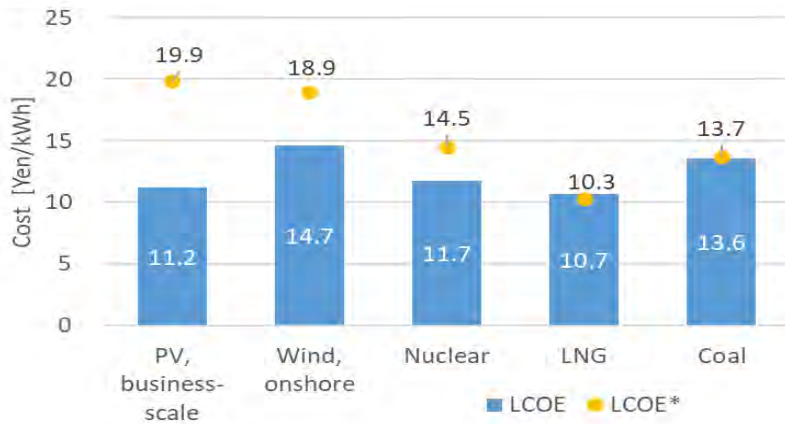
10月の時系列



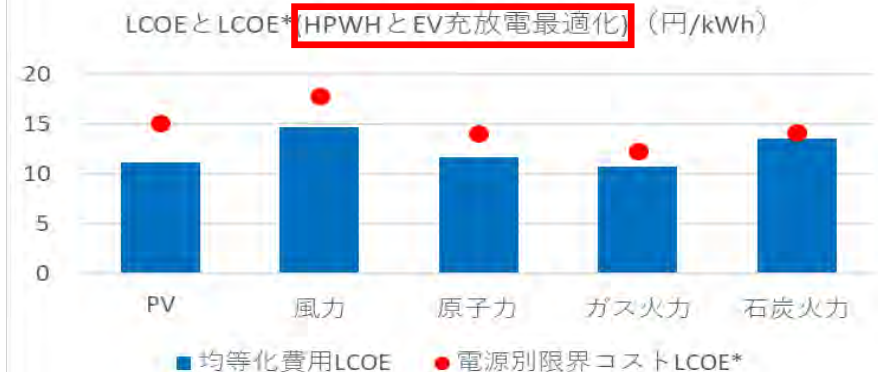
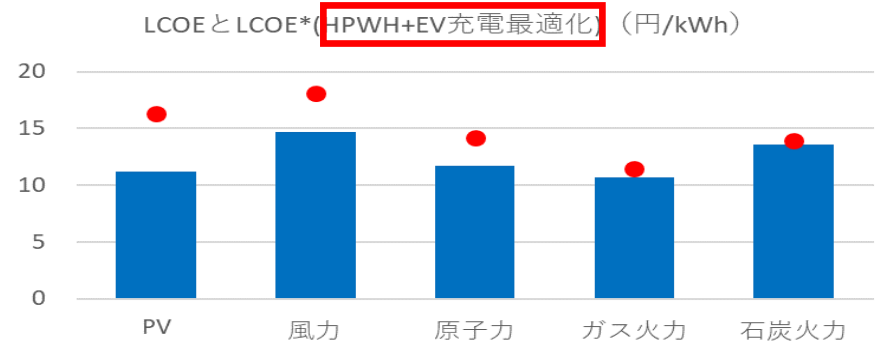
荻本和彦, 岩船由美子, 占部千由, 東 仁, 礪永 彰: 再生エネ大量導入時のスポット市場価格分析, 電気学会全国大会講演論文集6-131 (2021), pp212

MRによるLCOE*の解析

- 2030年に各種電源を限界的に増やした場合の運用費の変化から各電源の限界コストLCOE*を解析した。
- どの電源が安いかではなく、限りある電源の組み合わせで社会コストを低減しCO₂排出を削減できるシナリオを探索することができる。



乗用車 6200万台 PHEV+EV 1000万台
 家庭用給湯器計 5500万台 HP給湯器 1600万台

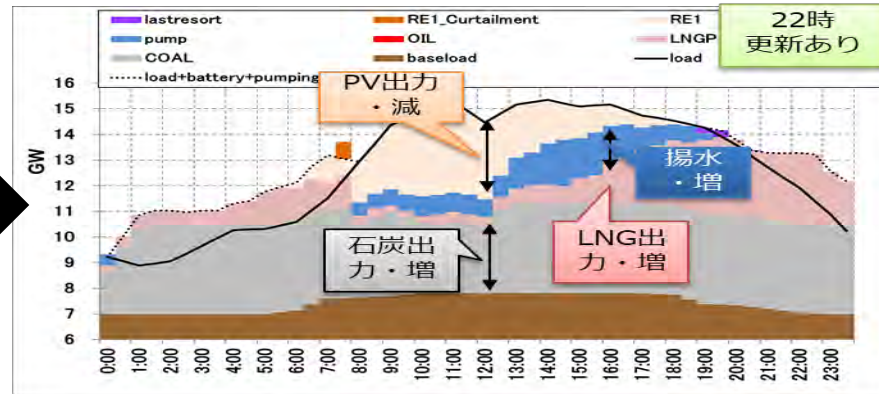
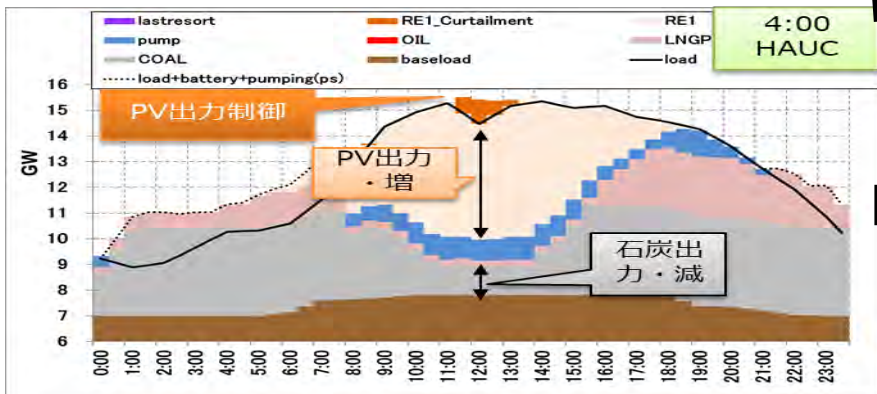
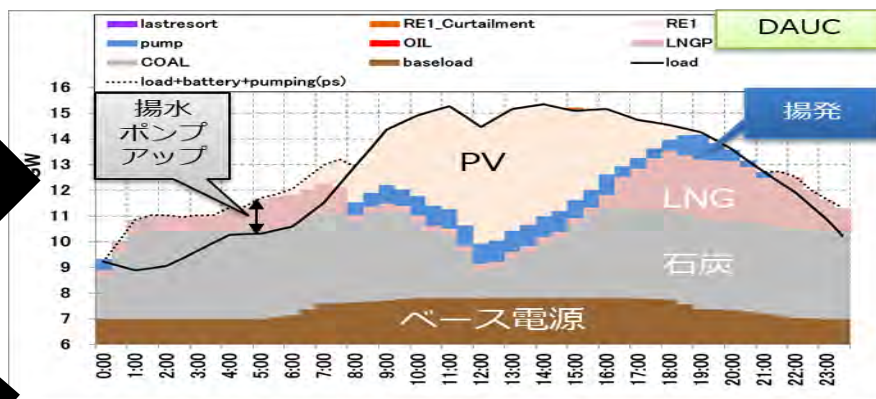
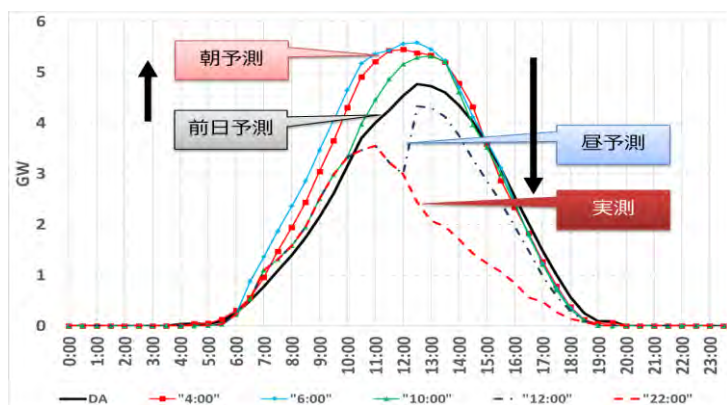


今回2030年エネルギーミックス上での試算結果

荻本和彦, 松尾雄司, 岩船由美子, 磯永彰, 東仁, 福留潔: システム統合による限界費用を含む発電コストの40, エネルギー・資源学会経済・社会・システムコンファレンス講演論文集0-3(2022)

UCによる1時間前予測を用いた再エネ出力予測誤差への対応

- 太陽光発電・風力発電の発電出力予測には、当日朝でも大外れの可能性あり。
- 調整力を確保し、リアルタイムまでの電力システム運用の計画変更の自動化要。
- 計算例では当日の太陽光発電の出力減少に対し火力・揚水の計画変更で供給不足を回避した



UCによるPV出力予測誤差の影響解析（東京上位2電圧モデル）

- 東京上位2電圧SCUCモデルによる、左京エリアのPV大量導入を想定した。
- SCUCとUCの比較から、系統制御の電力量が推定できる。
- 佐京フェンスの新京葉線の混雑予測の成功・見逃し・空振りを分析した。

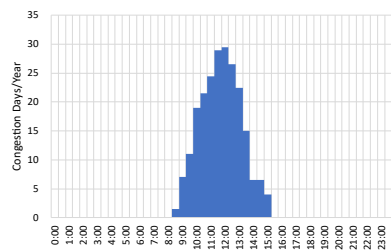


図2 新京葉線順方向の各日の混雑時間の分布

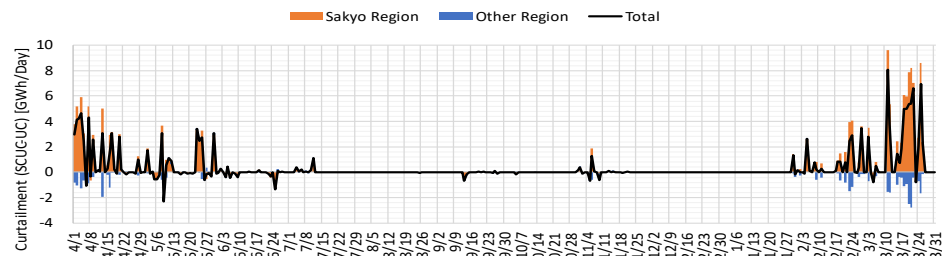


図4 系統制御量：PV出力制御量のSCUCとUCの差

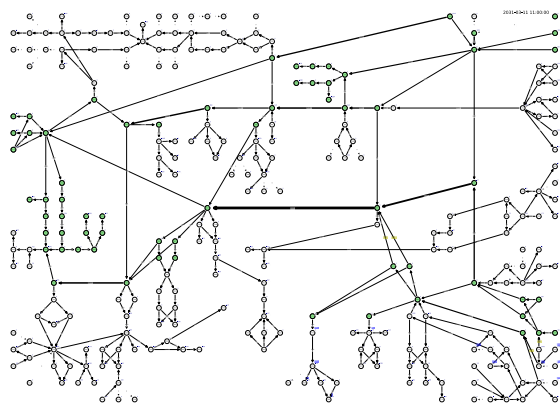


図3 2031年3月昼間想定SCUC結果の潮流図

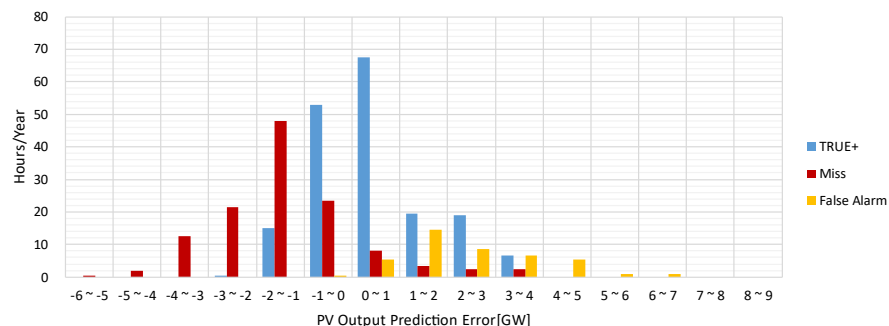
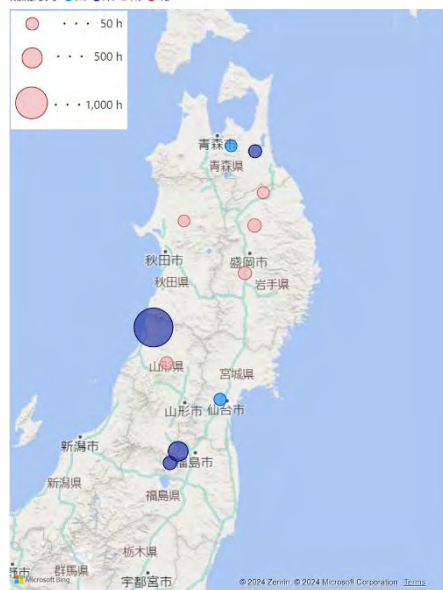


図6 佐京地域のPV出力予測誤差による新京葉線の混雑の検出精度（青：成功、赤：見逃し、黄：空振り）

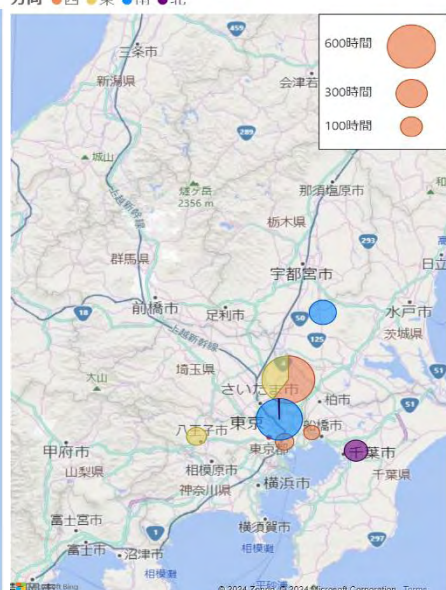
MRによる2030年初頭の東北エリア送電網の運用解析

- 東北・東京エリアについて、現在建設が進められている東京-東北連系増強、東北地内の500kV送電網整備を考慮して、2030年直後のPVと風力導入の条件を解析した。
- 送電網の整備により、それぞれのエリアの送電網には混雑は発生するが、PV、風力の出力制御が効果的に抑えられることが示された。

送電線の方向別の混雑時間[h]
潮流方向 ●西 ●東 ●南 ●北



送電線の方向別の混雑時間[h]
方向 ●西 ●東 ●南 ●北



変電所のWind制御量[GWh]の合計
カテゴリ ●風力出力制御量 ●風力発電量



各変電所におけるPV発電電力量
カテゴリ ●PV出力制御量 ●PV発電量



2030sの送電線の混雑時間
(BC+8S、左：東北、右：東京)

2030sの出力制御電力量
(BC+8S、左：東北風力、右：東京PV)

荻本和彦,岩船由美子,片岡和人,瀬川周平,東 仁,磯永 彰,福留 潔,DCOPF付電力需給解析による隣接エリアの送電網運用の分析,JSER第40回コンファレンス講演論文集15-3 (2024),pp.419-228 (再解析後)

エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



エリアレベルの2050検討・技術評価

(2018)

2050年に向けた日本のエネルギー需給検討：電力需給モデルによる分析（III）

将来の再生可能エネルギー100%の可能性と課題

RE100%領域の新たな二次エネルギーの必要性について

2050年の電気自動車走行需要に関する検討

(2019)

2050年長期エネルギー需給見通しにおける民生部門シナリオレビュー

エネルギーシステムインテグレーション- EVと電力システムの将来

同期機の運用容量減少の影響と対策

(FY2020)

2050年電力需給におけるHP給湯機及びEVのインパクト評価

2050年電力需給における低炭素化の可能性（エネ資論2021.1）

同期機の運用容量による系統慣性の特性分析（エネ資論2021.1, 論文誌）



エリアレベルの2050検討・技術評価

(FY2021)

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析（エネ資発表会2021.8）

(1)エネルギーモデル,(2)電力システムモデル

RE大量導入の下での系統慣性の低下と対策の解析・評価（エネ資コン2022.1, 論文誌）

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析その2（エネ資コン2022.1）

(1)民生部門エネルギー需要 (2)エネルギーシステムモデル(3)電力システムモデル

(FY2022)

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析その3（エネ資発2022.8）

(1)民生部門エネルギー需要の変化, (2) エネルギーシステムモデルを用いた需要変化の影響評価, (3)電力システムモデルによる複数シナリオ分析

(FY2023)

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析（エネ資コン2023.1,論文誌）

(1)民生需要変化を考慮したシナリオとその評価,
(2)民生需要変化の電力需給への影響評価



MRによる系統慣性の低下と対策の解析・評価

- 同期機の運用容量の低下に伴う慣性低下の課題への対策技術であるグリッドフォーミングインバータによるPVの評価を実施。
- PVが出力制御を行っている時間は、一定の慣性を供給できるモデルにより、2030～2040の系統慣性を制約とした運用費の低減効果により評価を行った。

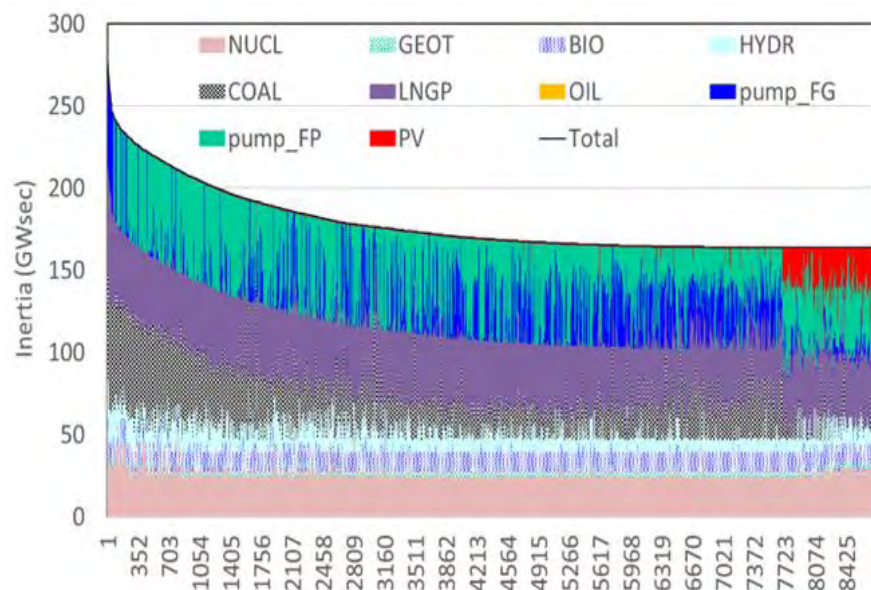


図4 東京エリアの系統慣性、年間の持続曲線の積み上げ（2040, シナリオI1+PCS）

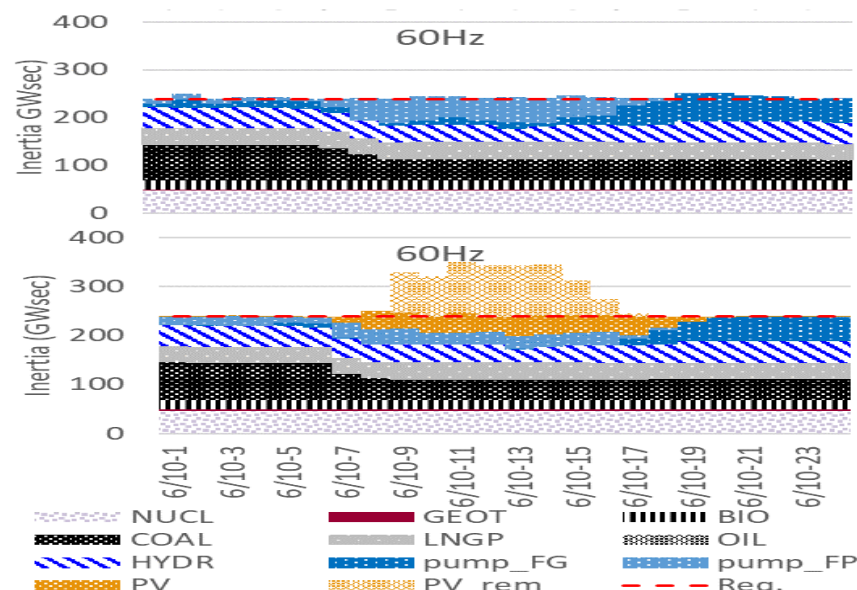
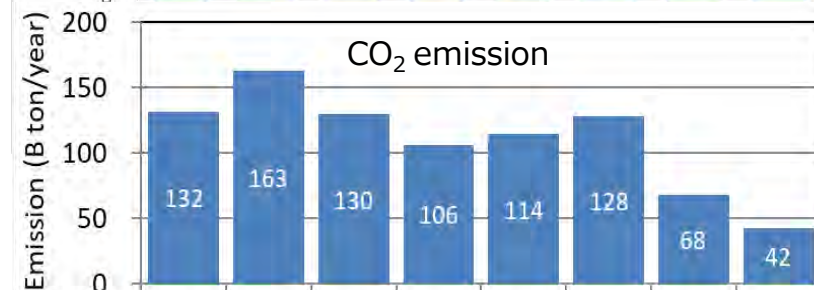
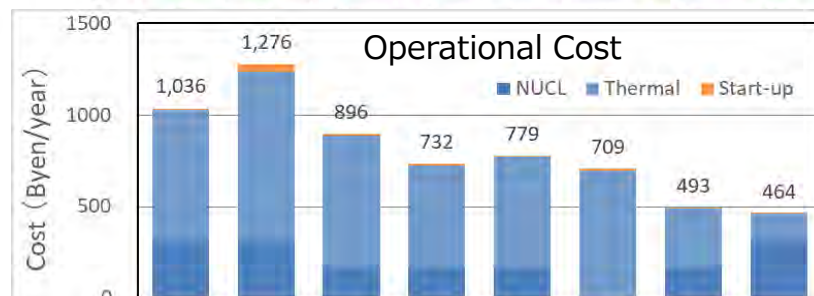
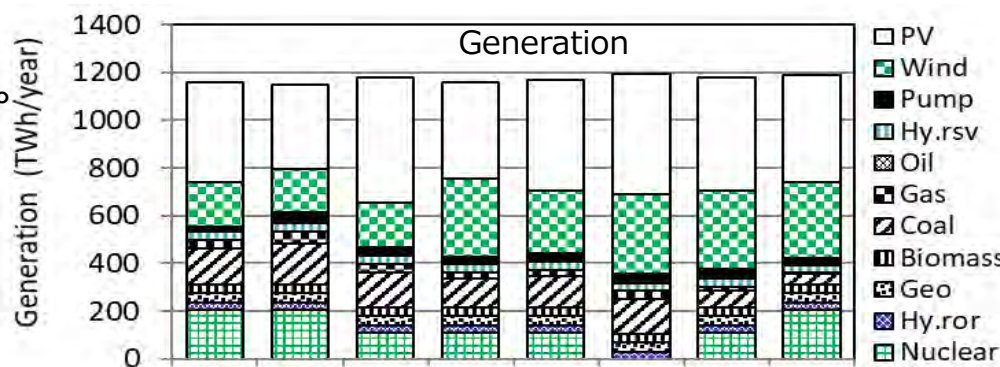


図10 60Hzエリアの6月10日の慣性のバランス（上: I1:制約あり, 下: I1+PCS対策あり）

MRによる2050年電力需給における低炭素化の可能性

- 技術の導入普及、経済・社会の姿、価値観、政策など全てに**大きな不確実性**。
- 排出ゼロの供給源は**再エネ、原子力**、CNには**電化、新燃料化、負の排出要**
- 短時間から季節間まで、**調整力は全員参加**（電源、需要、蓄電、蓄エネ、ネットワーク）
- 環境目標の達成には、種別・量・場所・設計の適化による**コスト削減**と、設備形成・運用・廃棄までの**制度改善**とが必用。
- 忘れてはならないのは、**安定需給と将来の経済・社会のあるべき姿の実現**。
- 多様な**価値観**による**多数の選択肢のもとで**、足元からの**好循環と長期の効率的・効果的取り組み**が必要。
- インフラの形成、経済・社会の変革のために、**2050年は遠い未来ではない**。

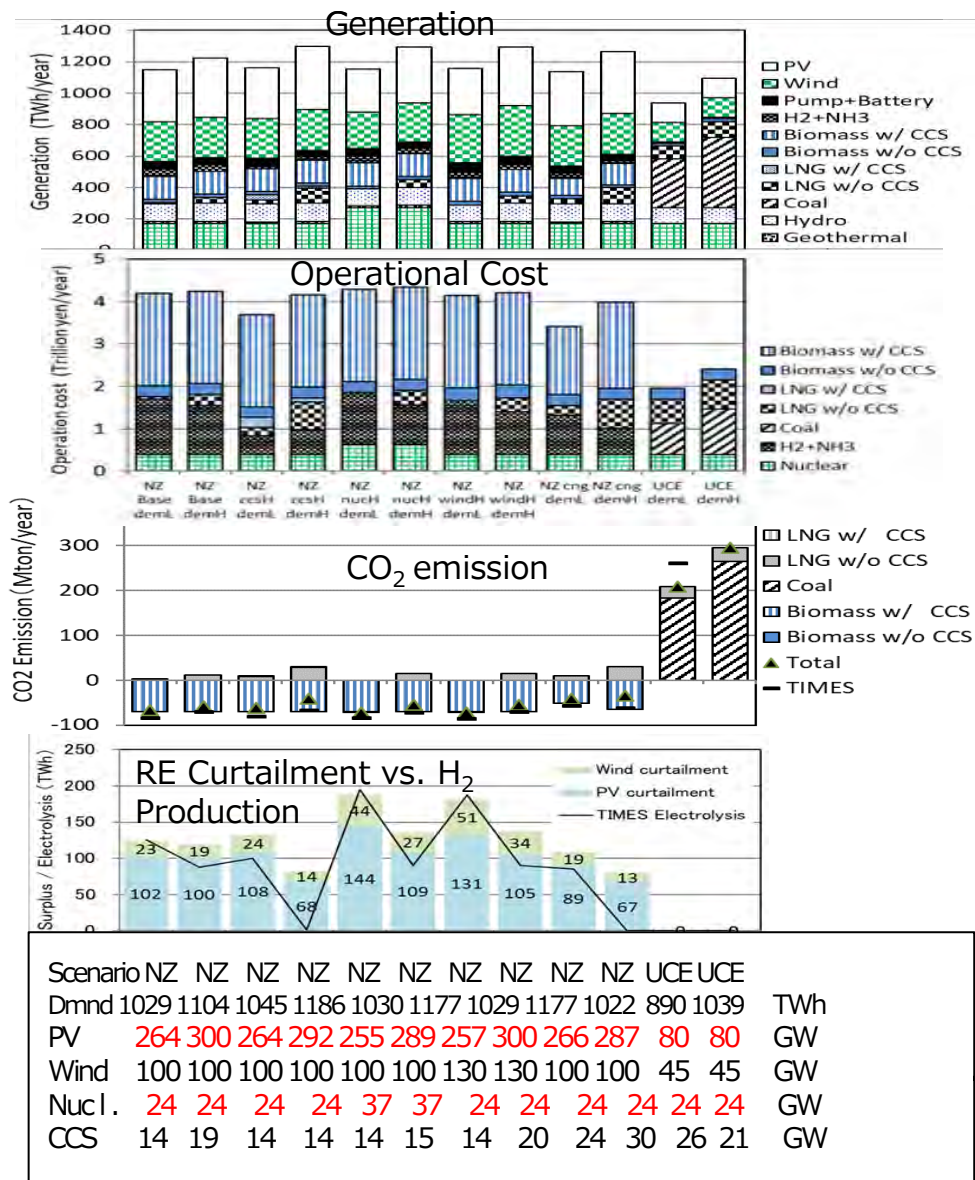
荻本和彦, 岩船由美子, 占部千由, 東仁, 黒沢厚志, 2050年の電力需給における低炭素化の可能性, エネルギー・資源学会論文誌 42(3)(2021), p.204-214



PV	300	300	400	300	350	400	400	400	GW
Wind	70	70	70	140	105	140	140	140	GW
Nuclear	34	34	17	17	17	0	17	34	GW

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析：(2)民生 需要変化の電力需給への影響評価

- 解析ケースは、ネットゼロ(NZ)で本来需要のL/Hに加えCCS, 水電解需要を考慮、パラメタとして、**CCS H/L**, **原子力 H/L**, **風力 H/L**, **CNG H/L**, そしてNZではない**UCE**を実施。
- 電力の運用費の大きな部分を**バイオマス**および**H2・アンモニアの燃料費**が占める。
- NZの実現には電力部門は**バイオマス****CCSによる負の排出**が必要。
- エネルギーモデル解析で必要とされる**水電解需要**を、PV・風力の出力制御分で供給できる可能性あり。
- 安定供給のためには、既設27 GWの揚水と今回仮定した10 GW程度の蓄電池に加え、**低利用率の60 GW程度の火力発電**が必要。
- 2050年の電力システムの需給には大きな**不確実性**がある。



荻本和彦, 菅原由美子, 竹内和哉, 瀬川周平, 東 仁, 井上智弘, 黒沢厚志, 加藤悦史, 山口容平, 内田英明, 太田 豊, 下田吉之
ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析：(2)
民生需要変化の電力需給への影響評価, JSER論文誌
44(5)(2023), p.245-254

エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



エネルギーシステムインテグレーションの 戦略と提言



東京大学生産技術研究所
エネルギーシステムインテグレーション 社会連携研究部門

Energy System Integration, Social Cooperation Program
Institute of Industrial Science
The University of Tokyo

活動状況

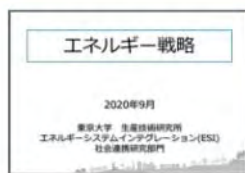


提言 (2021年3月)

カーボンニュートラルに向けた
システムインテグレーションの取り組み



活動状況と今後の計画 (2021年3月)



ESIのエネルギー戦略 (2020年9月)

ESIのこれからの活動の重点化領域としての
その中間とりまとめです。

ホーム

概要と目的

研究メンバー

活動状況

シンポジウム情報

関連行事

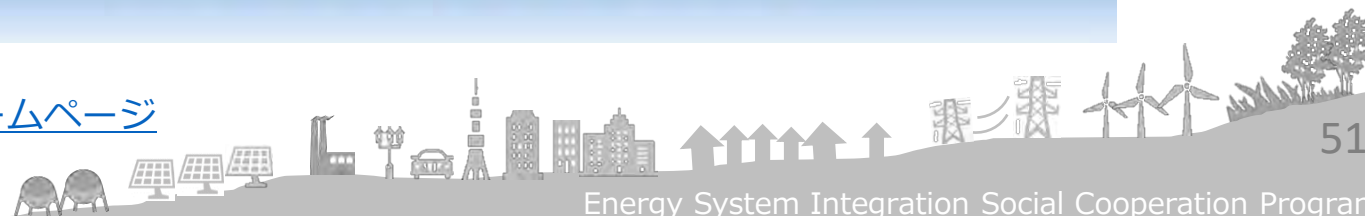
関連リンク

お問い合わせ



© 2018 Copyright | Energy System Integration, Social Cooperation Program | All Rights Reserved

[ESI ホームページ](#)



グリッドコード（分散資源の連系規定）

- グリッドコードは、分散型の電源・貯蔵・需要を統合するために**機器・設備の仕様を規定**する。分散資源の活用に向け、日本でも大幅な拡充の加速が必要。
- 現在、審議会などでの方針決定を受け、**電力広域的運営推進機関で検討中**。
- 審議会、検討会などでの問題提起と議論に参加するとともに、電気学会全国大会でのシンポジウムなどでの議論を実施した。
2021年電気学会全国大会シンポジウム「H4 再生エネ主力電源化に向けたグリッドコードの動向」

Connection

- Requirements for Generators
- High Voltage Direct Current Connections
- Demand Connection Code

Operations

- Emergency and Restoration
- Operations

Market

- Electricity Balancing
- Capacity Allocation & Congestion Management
- Forward Capacity Allocation

図1 European Network Code – the code families
(source: https://www.entsoe.eu/network_codes/)

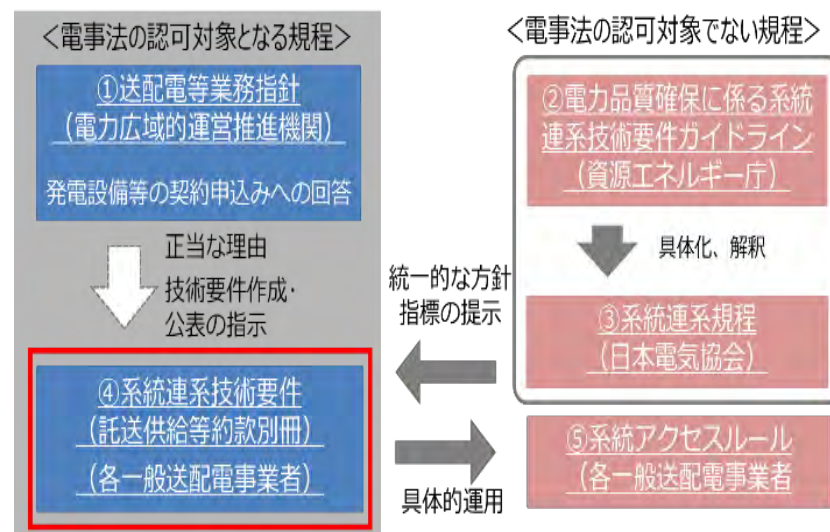


図2 日本のグリッドコードの既存の体系

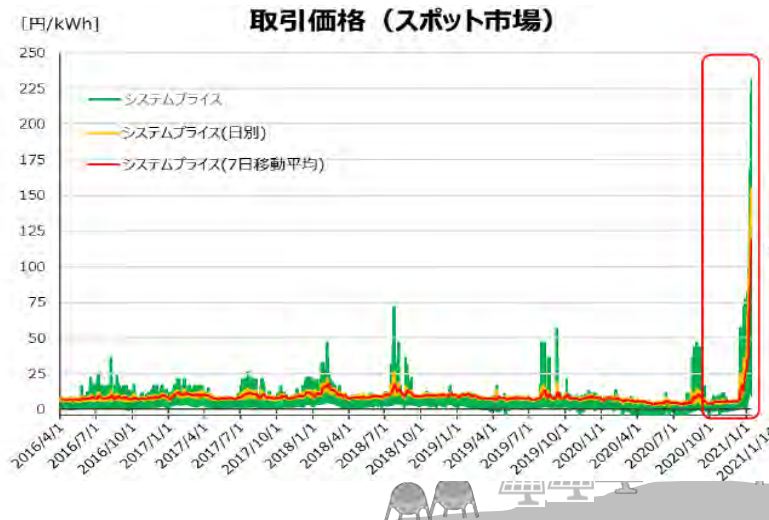
エリアレベルのモデル開発とデータ整備

1. 電力エネルギーシステムの変容
2. エリアレベルの検討領域
3. モデル開発とデータ整備
4. 2030検討と技術評価
5. 2050検討
6. 技術戦略と提言
7. 今後の課題



忘れてはいけない安定供給

- ❑ どんな悪いことがいつ起こるかわからない。
- ❑ 2030年は、電力・エネルギーインフラの構造の転換には、至近である。
- ❑ 2050年は、負の排出源まで必要となるカーボンニュートラルの実現の姿は、現段階では、経済・社会、技術等全ての分野で不確実性が大きい。
- ❑ 3E+Sの構成要素のうち、環境問題は10年単位、経済性は1年単位、安定供給は毎日・瞬時の対応が必要。
- ❑ 3E+Sを満たした電力・エネルギーシステムの変革を進めるためには、上への導入量ではなく、長期的に整合した中間/最終の目標設定のもと、各主体が戦略・計画とその継続的な見直し（PDCA）を進める必要がある。



2020.12-2021.1のスポット市場価格の高騰

METI:再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第23回）参考資料4

今後の課題

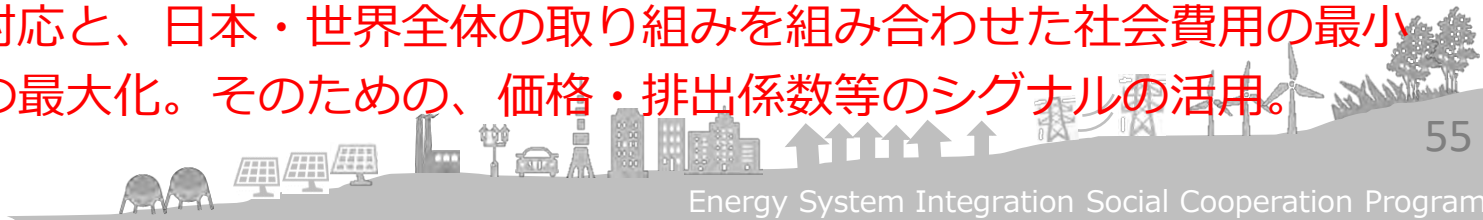
(電力・エネルギーシステム)

- ❑ 分散資源の活用（再エネ、EV、HP給湯機、新たな電化需要他）
- ❑ 集中型電源の確保による安定性、経済性の維持
- ❑ Non-wireの選択肢を含めた、送配電網の制約の克服
- ❑ 交流システムの質的变化（System Strengthの課題）への取り組み
- ❑ 運用、グリッドコードなどの規制・制度の段階的な高度化

(事業者、自治体のマネジメント)

カーボンプライシング・RE100・国境調整などの流れの中で、地球温暖化問題への対応が社会・ビジネスの競争力になる時代では、

- ❑ ゼロ排出電源の個別の確保と運用 vs. エネルギーの使い方
- ❑ 各主体の取り組みの再編
- ❑ 各主体の対応と、日本・世界全体の取り組みを組み合わせた社会費用の最小化、効果の最大化。そのための、価格・排出係数等のシグナルの活用。



ご清聴有り難うございました。

