

ESI社会連携研究部門
第1回シンポジウム

エネルギーシステムインテグレーションとは何か ～エネルギー・電力システムの視点～

2018年5月9日

荻本 和彦

東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター

本日の内容

1. これからの潮流

- 出力が変動する再生エネ (VRE) の導入の影響
- 分散型資源の導入
- 価値のシフト
- 新たな二次エネルギー

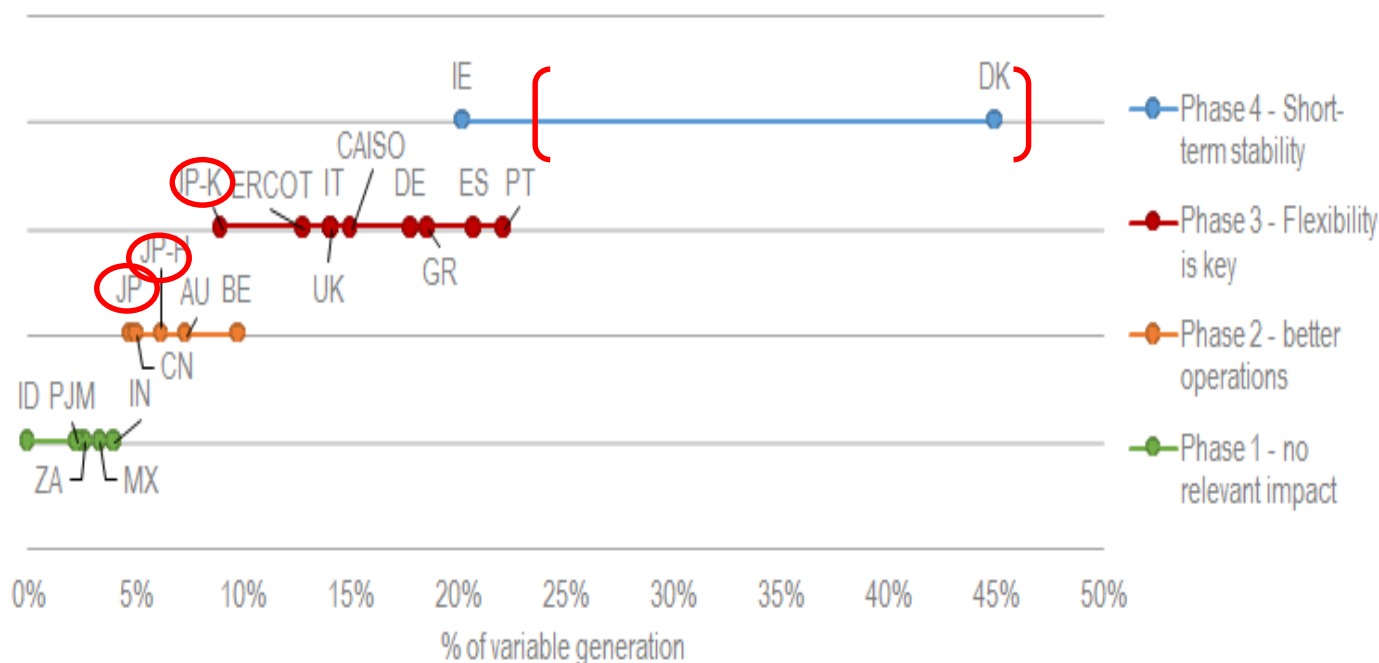
2. 需給調整力の確保

3. Integration Study

- システム価値
- 事例

RE導入の状況: IEAによる導入段階

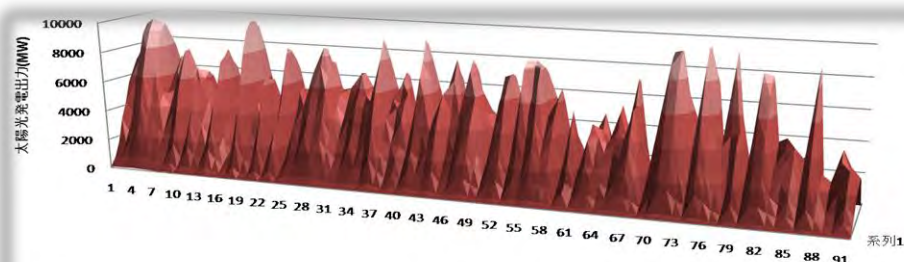
- 電力システムとして独立していないデンマークを除くと現在、一定規模以上の電力システムの出力が変動する再エネ(VRE: PV, 風力)の最大導入率は25%弱程度
- 日本は全体としてのVRE導入率は数%であるが、PVの導入の突出する九州の電力システムの運用の難しさは、IEAの提唱する導入段階のうち「Phase 3」とされている。
- 低炭素排出に有効な原子力の一定出力運転を加えると、九州(JP-K)、北海道(JP-H)の電力システム運用の難しさは、アイルランド(IE)にも再生可能エネルギーの大量導入で、デンマーク、ドイツなどが話題にな近づく状況。



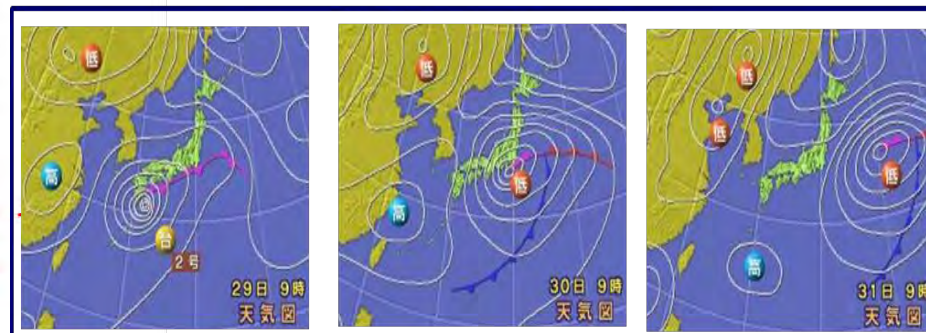
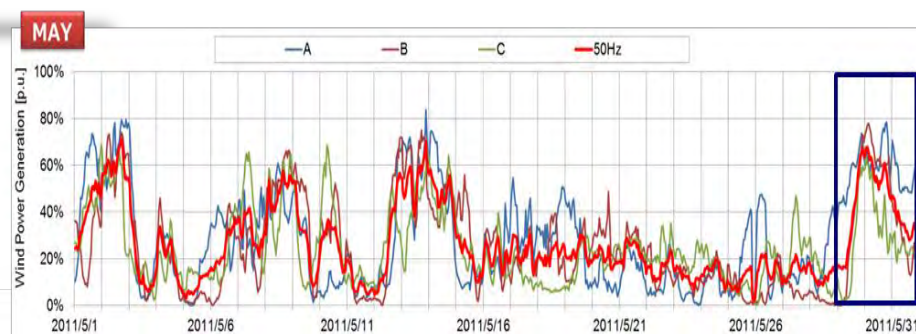
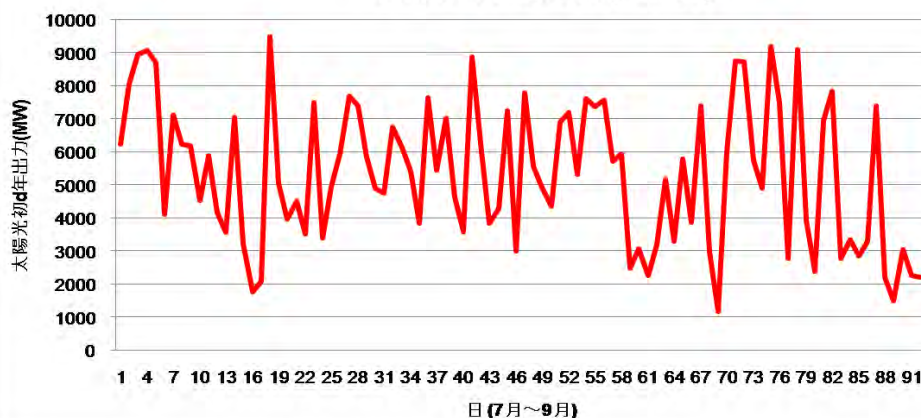
九州電力殿資料

VREの課題: 出力変動 (Variability)

- 再生可能エネルギーをエネルギー源として導入するためには、水力の場合と同様、出力変動特性を分析・把握し、きめ細かな運用と設備形成が必要。
- 太陽光発電、風力発電など、ならし効果による変動性の緩和は期待できるが、それでも残る出力変動は大きい。



太陽光発電出力(14時)

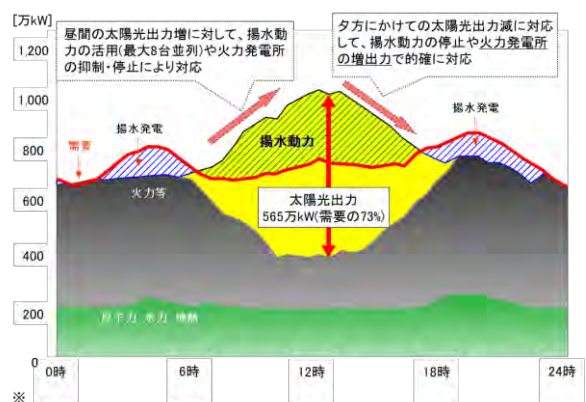


50Hzの電力会社管内別、合計の風力発電電力

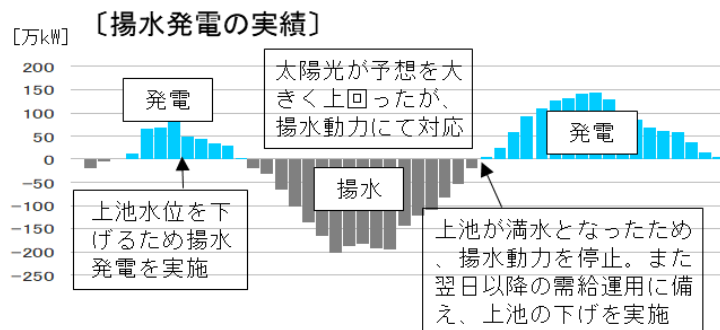
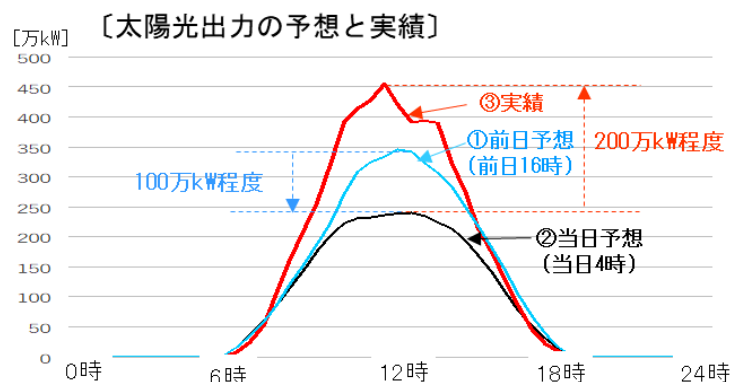
荻本和彦, 池上貴志, 片岡和人, 齊藤哲夫: 電力需給解析のための全国風力発電量データの収集と分析, 電気学会平成24年電気学会全国大会講演論文集, 6-003, 5-6 (2012)

VRE導入の課題: 不確実性(Uncertainty)

- ❑ VRE導入の課題は、変動性に加え不確実性があり、システム運用の経済性、安定供給の低下を引き起こす。
- ❑ 限れた連系線運用容量のもと、最大需要15GWに対し8GWのPVが導入された九州エリアは世界で最も需給運用の難しい電力システムの一つ。
- ❑ 避けがたい希頻度の発電出力予測の「大外れ」は、システム運用の大きな脅威となる。
- ❑ 変動性、不確実性に対するシステムの需給調整力(柔軟性)向上は喫緊の課題。。

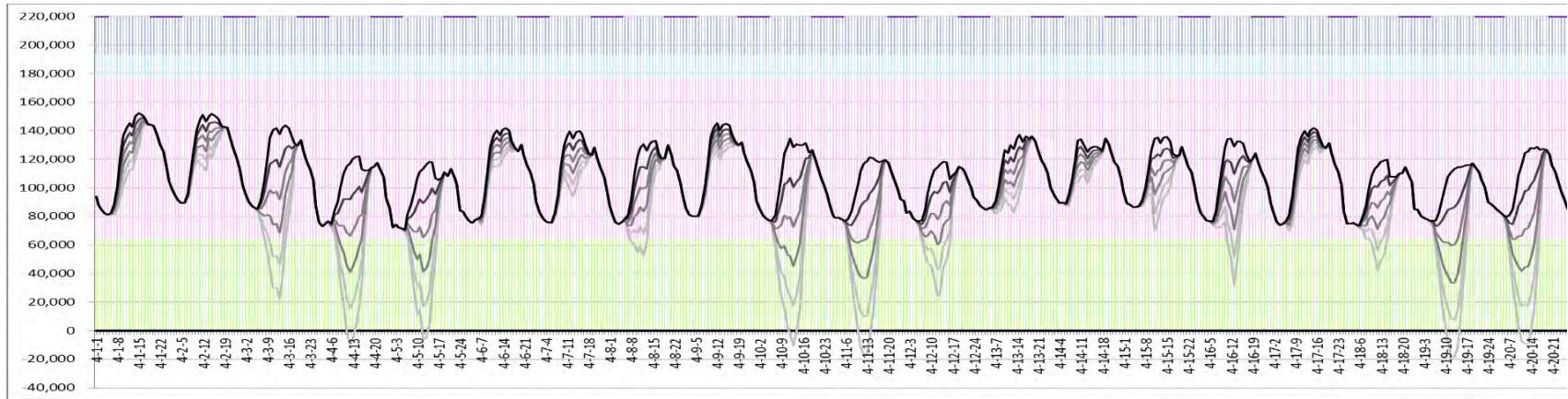


2017.4.28 九州電力殿資料



2017.5.5 九州電力殿資料

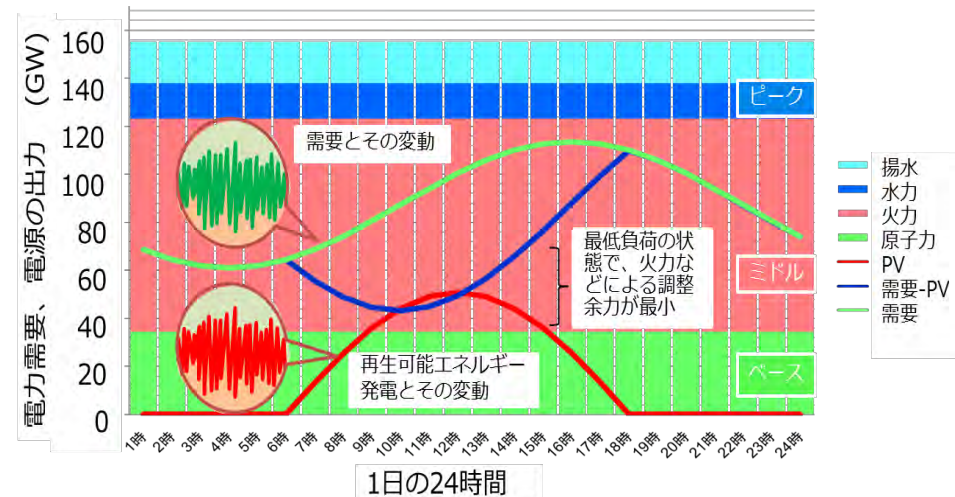
RE導入の課題: 変動に対する需給調整力不足



2030年において総発電量におけるPV発電の割合20%まで増加した場合の残余需要

再生可能エネルギーの導入量の増加により、電力システム全体の需給調整問題が発生する理由は、

- 再生可能エネルギーの発電量の変動による、変動要素の増加
- 火力など従来システムの需給調整を担う発電方式の運用量の減少



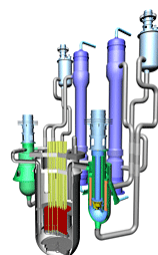
荻本和彦, 片岡和人, 池上貴志, 野中俊介, 東仁, 福留 潔: 将来の電力システムの需給調整力の解析手法, 電気学会論文誌C, Vol.132 No.8, pp1376-1383 (2012)

世界共通の課題：需給調整力の確保

- 原子力や、石炭火力などの大規模系統電源は、優れた経済性、環境性を有するが、その特性を最大限に発揮するためには、一定出力の運転を行うことが望ましい。
- 低炭素化は、出力調整の容易な火力発電の利用の低減を意味し、**電力システムの供給側の需給調整力の低下は世界共通の課題。**
- 電力システムにおけるニーズに応じて、**調整力の価値は、大きさ、速さ、継続時間、確実性で決まる。**



先進的原子力発電



IGCC, IGFC



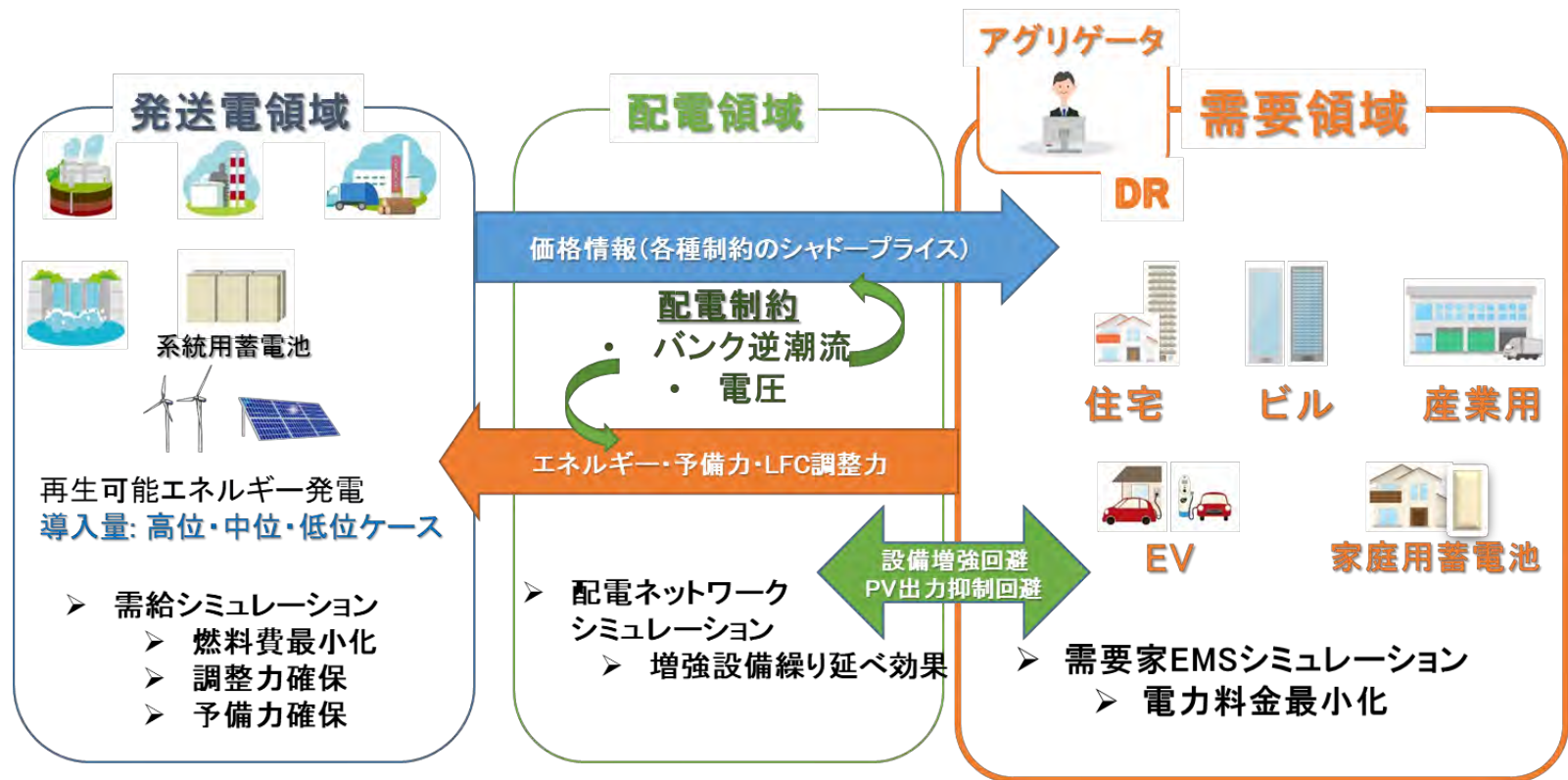
高効率天然ガス複合発電



図の出典：CoolEarthエネルギー革新技術計画報告書

世界共通の潮流: 分散型資源の導入

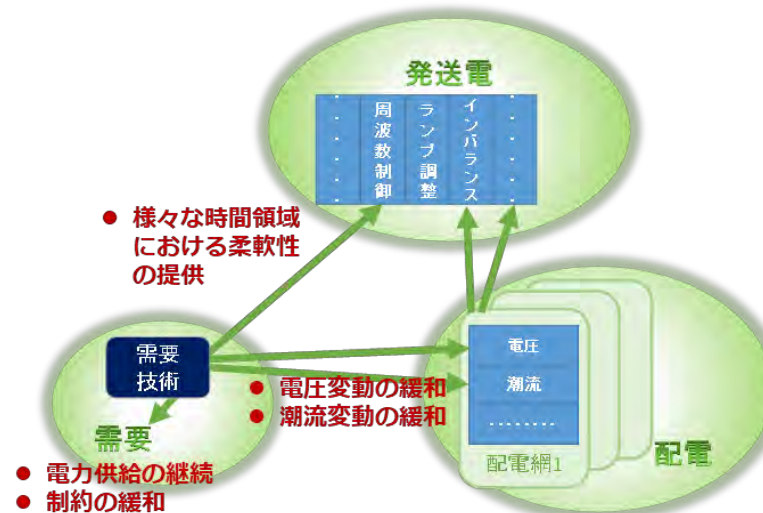
- ルーフトップPVやコージェネレーションなどの分散電源に始まり、電力・温冷熱貯蔵、需要など、分散型のエネルギー技術が需要側に導入され、エネルギー・電力の需給を大きく変える可能性がある。



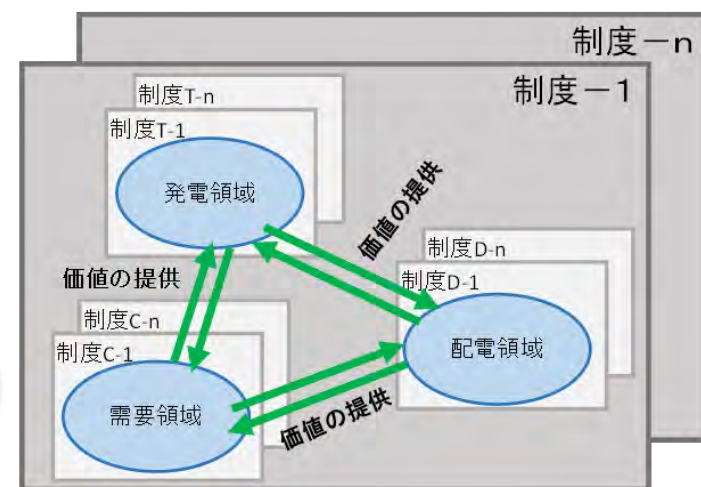
東京大学、ほか: 革新的エネルギー貯蔵システム等を活用した超分散エネルギーシステムの研究報告書(2018)

世界共通の潮流: 価値のシフトとマネタイズ

- PVや風力など可変費ゼロのVREの導入拡大により、電力需給において、出力が確定できない電力の価値は低下し、確定できる、さらには調整できる発電出力、需要の価値が上がる。
- 需要は、エネルギーあるいは電力自体が必要ではない。本来必要とするサービスに向かって最終的な価値はシフトする。
- この革新の実現には、投入される技術が報酬を得られること「マネタイズ」が鍵となる。



需要技術の領域を跨いだ価値の活用
(有効電力の場合)

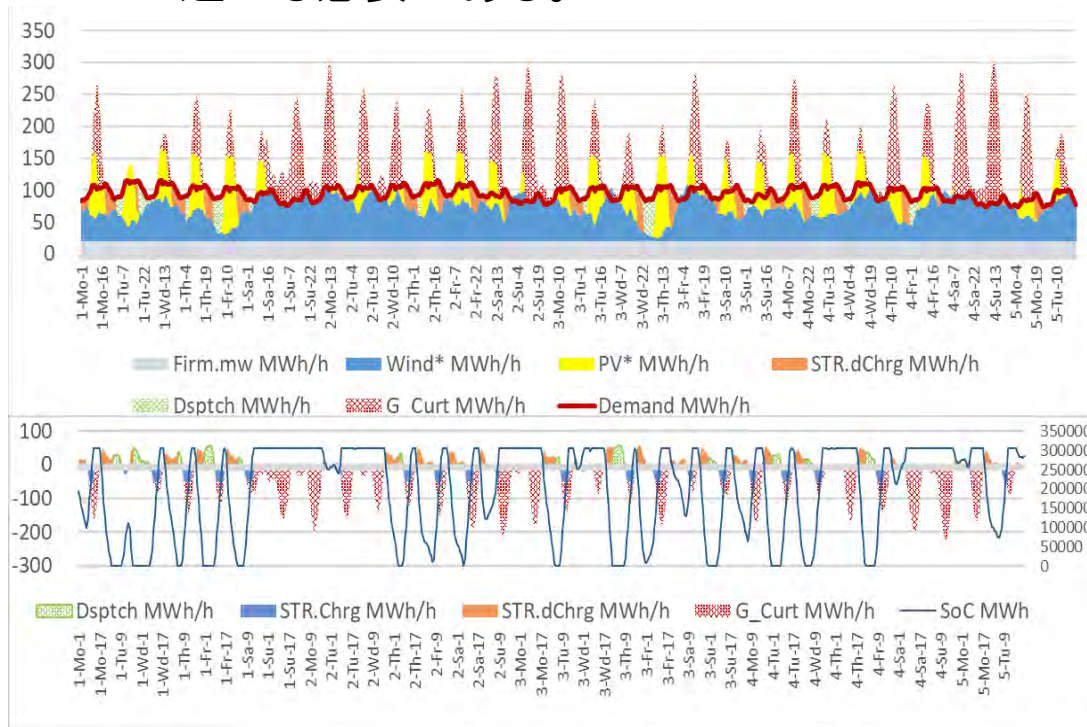


価値の提供と制度による実現(マネタイズ)

東京大学、ほか: 革新的エネルギー貯蔵システム等を活用した超分散エネルギーシステムの研究報告書(2018)

エネルギー需給の低炭素化：電化・新二次エネルギー

- ❑ 低炭素化の目標のもとでは、一次エネルギー供給は、出力が変動する再生可能エネルギーあるいは原子力、地熱、潮流など、出力の一定の発電技術にシフトする。
- ❑ 短・中期的には、電力を直接利用でき、かつ省エネルギーに効果的、運輸や比較的低温の温熱エネルギー需要などを中心に電化を進めることが必要。
- ❑ 低炭素排出の電源の導入量が増加した段階では、月間、季節間などの大規模エネルギー貯蔵が必要となり、新たな二次エネルギーの導入を製造・利用インフラとともに進める必要がある。



需要, PV, Windの2013年データにもとづく需給解析結果例(4月の第1~5週)

(Firm:114 GW, PV: 212GWp, Wind: 128 GWp, Storage: 20 GWx6.1 hours, Dspth:114GW)

上:需給状況,

下:荷配分可能電源, 電力貯蔵装置の入出力とSoC, 抑制出力)

凡例 Firm.mw: Firm電源出力, Wind*:風力出力, PV*:PV出力, STR.dChrg: 貯蔵設備発電/充電, Dspth:負荷配分可能電源出力, G_Curt: 出力抑制, Demand: 需要, SoC: 充電残量

荻本和彦, 占部千由, 斉藤哲夫, 2050の日本のエネ需給-将来の再生可能エネルギー100%の可能性と課題, エネ資コンファレンス講演論文集31-5 (2018)

本日の内容

1. これからの潮流

- 出力が変動する再生エネ (VRE) の導入の影響
- 分散型資源の導入
- 価値のシフト
- 新たな二次エネルギー

2. 需給調整力の確保

3. Integration Study

- システム価値
- 事例

柔軟性向上と変動性低減：

足元の現状から、将来のニーズと可能性を見通して、設備と運用の双方による5つの分野での対応が必要かつ有効

■新しいニーズの反映による、**従来電源の需給調整力の最大活用**：

- 火力発電の最低運転電力低減、負荷調整能力の向上、起動時間短縮
- 揚水の積極運用、可変速化による揚水運転時の調整力向上
- 水力の運用の高度化

■新たに導入される**RESの発電の調整力の積極的活用**

- 出力制御、出力変化率制御、その他の有効電力制御
- 無効電力制御と事故時運転継続機能

現在新たに検討が進められているスマートグリッド的対応策

■民生・業務の建物、PHEV/EVの充電需要に分散型の電力貯蔵を含む**需要の能動化(自動デマンドレスポンス)**

■**送電線、系統連系の拡充**によるならし効果と電力システムの柔軟性資源の最大活用の環境整備

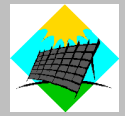
■PV、風力など出力の変動する**再生可能エネルギー発電の出力把握・予測**を含めた**システム運用と市場運営の高度化と電力システムの進化**

需給運用における柔軟性向上の体系

2. 再エネの最適構成・配置と調整力向上



風力



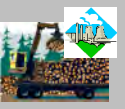
太陽光



小水力



地熱



バイオ



海洋

3.分散エネルギー・マネジメントと需要の能動化



産業



業務(大規模)



業務(小規模)



住宅



交通



蓄電池



燃料貯蔵



揚水



水力

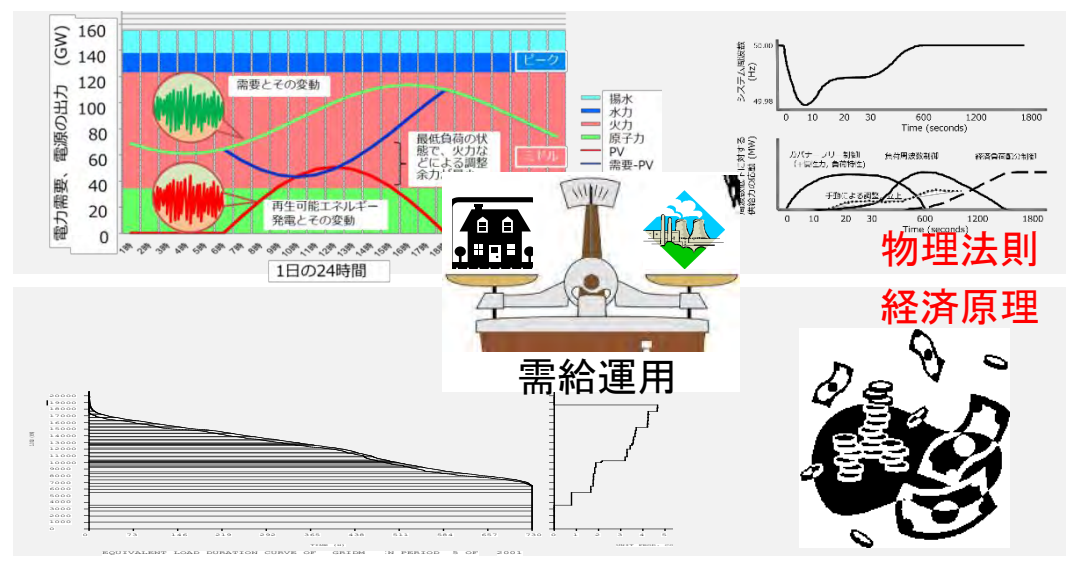


原子力



火力

エネルギー貯蔵技術活用



電力・情報ネットワーク



4.送配電網と系統連系



5.予測と運用高度化

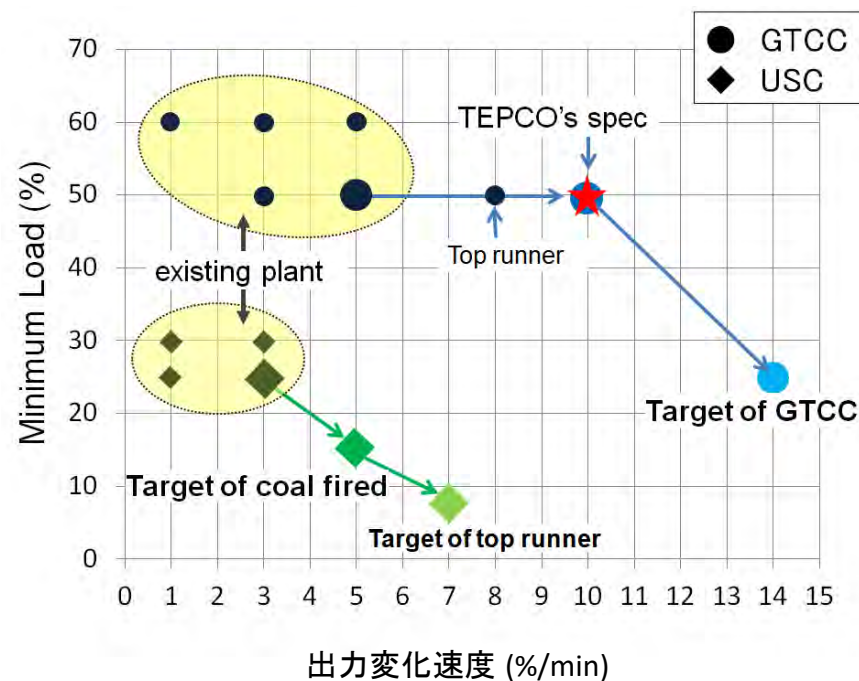


1.系統電源の調整力向上

火力発電の新たな役割：柔軟性向上

- 一般的な運用値と現存するプラントのトップレベルを比較しても、火力プラントの柔軟性向上には大きな改善余地がある。
- EUでは火力の柔軟性向上に対するニーズが高く、左表で目標とする性能のプラント開発がほぼ終了している。

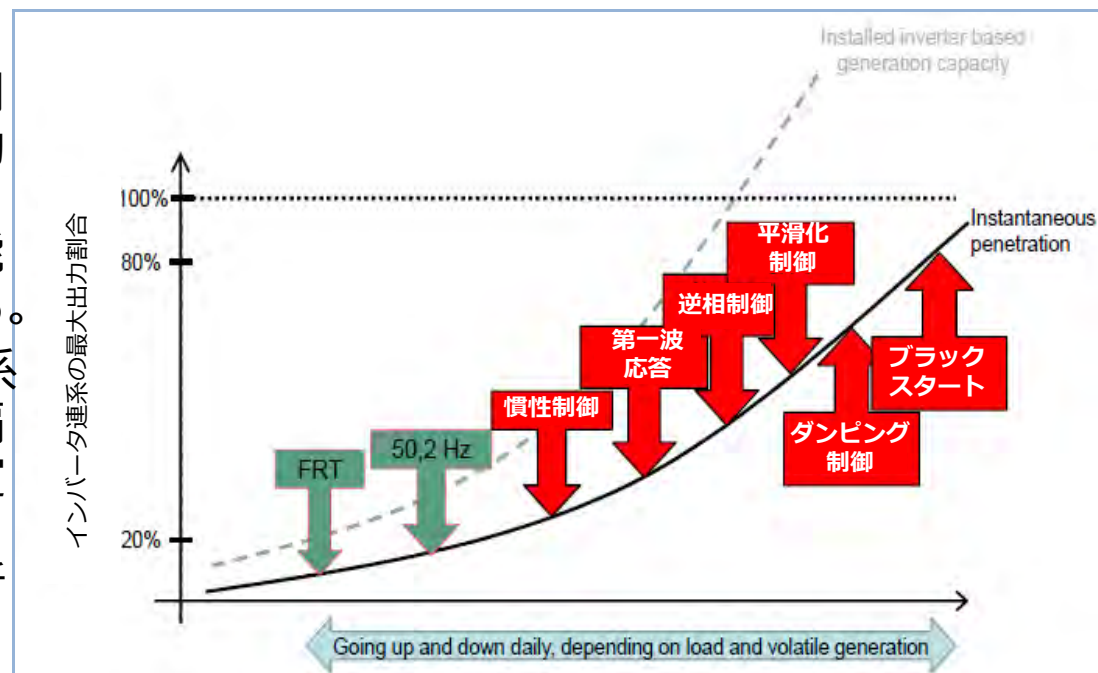
		貫流石炭ボイラ (1,000~600MW級)	GTCC(1軸、多軸) 1,100~1500℃級
変化速度	現 状	1~3%	1~5%
	潜在能力	3~5%	8%
	目 標	5%(低出力帯) 8%(高出力帯)	14%(中間負荷)
最低出力	現 状	30%程度	50~60%
	目 標	15%以下	25%
起動時間	現 状	4時間	60分
	目 標	より短く	30分



火原協「再生可能エネルギー導入拡大時の火力設備の対応検討会 第一次研究報告書 P61 (2014.7)
中澤,荻本,黒石,船橋,RES導入拡大のための火力発電の柔軟性向上_IEEJ全国大会No.6_154 (2015)

風力・太陽光発電の抑制と協調運転

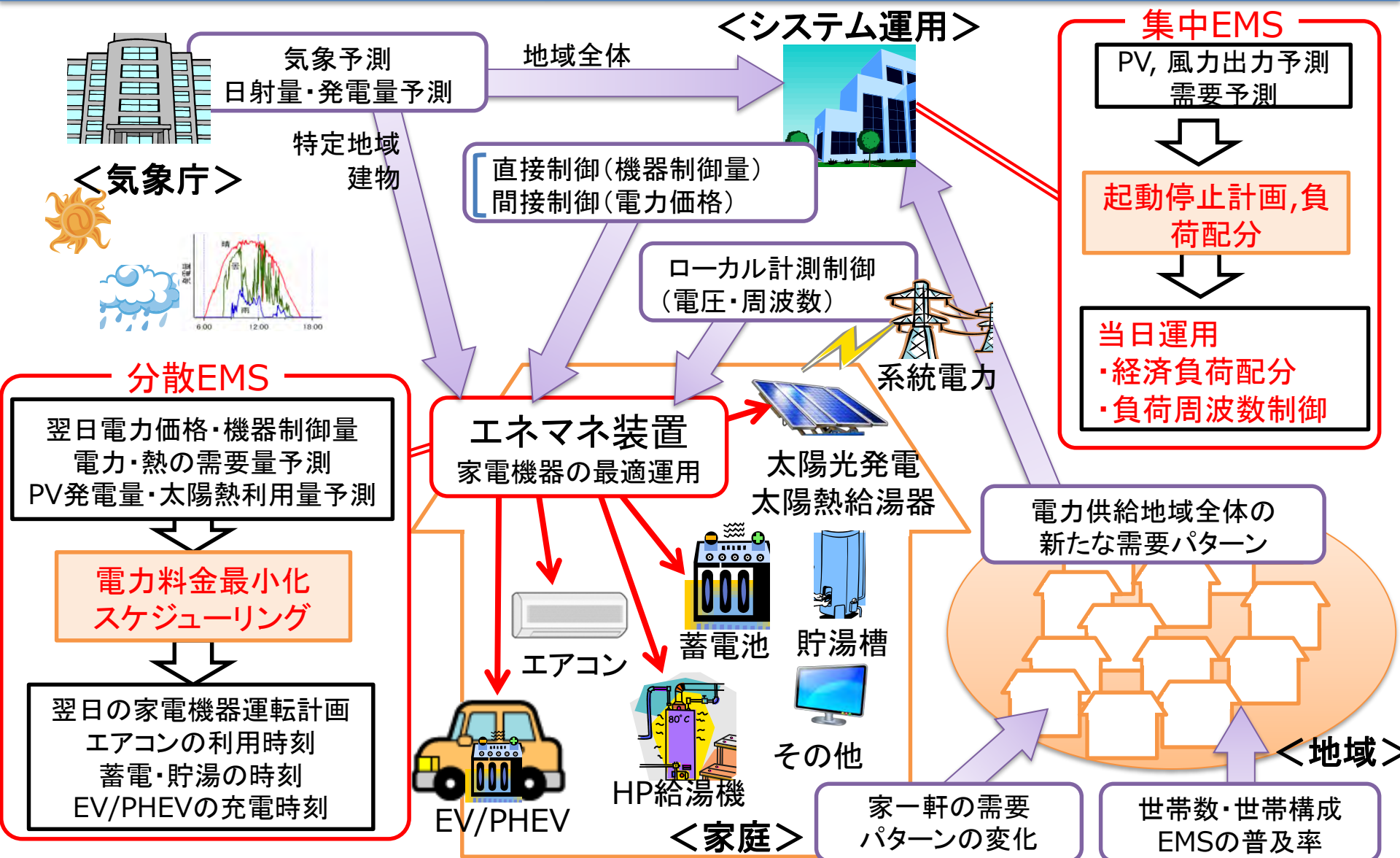
- 出力の変動する風力発電や太陽光発電においても、発電出力(有効電力)の抑制方向の制御、機器の電流定格の範囲での無効電力の制御ができる。
- ヨーロッパの風力発電では、系統連系要件の整備と並行して、優先給電ルールのもので風力発電の需給運用、電圧制御、周波数異常時の出力制御が行われている。
- 系統の電圧・周波数変動時には、機器の設計により運転継続の特性が決定されることから、系統連系要件、機器仕様、系統運用との組み合わせが重要になる。
- ヨーロッパにおいては、今後、同期化力を模した慣性制御、電力動揺制御、高調波電流吸収、ブラックスタート機能など、様々な機能が新たに求められる可能性がある。
- PVについても、ドイツの系統連系要件において、小規模を含め遠隔制御の要件が定められ、例外規定としてパネル出力の70%のインバータ容量が推奨されるなど、新しい動きが現れている。



E. Quitmann, ENERCON: Ancillary services from WT and related Grid Codes, IRED (2012)

3. Flexibility: 需給調整力向上への挑戦

需要の能動化: 集中/分散エネルギーマネジメントの協調



荻本和彦, 岩船由美子, 片岡和人, 池上貴志, 八木田克英: 電力需給調整力向上に向けた集中・分散エネマネの協調モデル, IEEJ電力・エネルギー部門大会講演論文集, 16, 08_7-12 (2011)

本日の内容

1. これからの潮流

- 出力が変動する再生エネ (VRE) の導入の影響
- 分散型資源の導入
- 価値のシフト
- 新たな二次エネルギー

2. 需給調整力の確保

3. Integration Study

- システム価値
- 事例

【事例】「柔軟性」のIntegration Study



- 「電力・エネルギーシステムの将来を分析する**Integration Study**」において経済性の指標としては、「生涯年での平均発電コストLCOE (Levelized Cost of Energy)」が広く用いられる。
- LCOEは、電源単体の費用と発電電力量から算出される原価であり、システムにおける本来の価値を表していない。

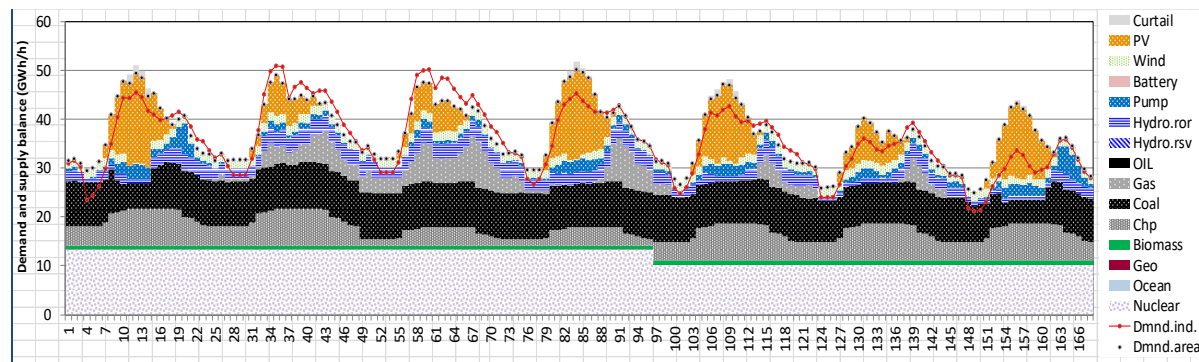


- 新しい技術・制度の価値を評価するためには、**System Value**という「ある技術や制度の追加・変更により期待される価値（費用の減少）をシステム全体で評価する」考え方が用いられる。
- 燃料費・起動停止費、運用損失や炭素価格等のパラメータを変化させ、再生可能エネルギーやデマンドレスポンスなどの多様な選択肢の組み合わせを含めた**System Value**に基づく分析・評価が必要となる。

【事例 1】 柔軟性のIntegration Study



- 再生可能エネルギーの大量導入下の技術評価（**Integration Study**）は、**四季の変動を反映するために8760時間、不確実性を反映するために予測誤差を含めた電力需給解析（需給シミュレーション）**が必要となる。
- 予測誤差の低減効果を含めるため、前日、当日、ゲートクローズ前（1時間前）などよりリアルタイムに近い時点で予測誤差の低減を評価することがより重要となる。（複数予測を含む多段階UC+シミュレーション）
- 再生可能エネルギーの変動性と不確実性への対応には、より広い地域を連系した需給運用が重要となり、連系線運用を含めた多地域連系システムの需給解析が必要となる。



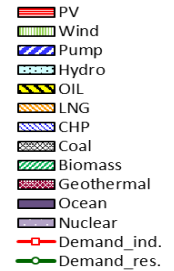
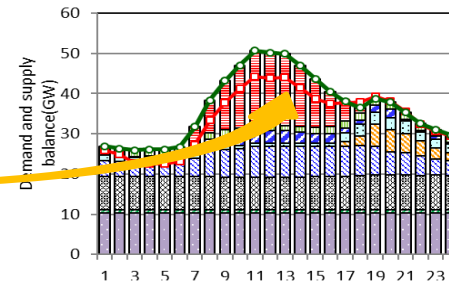
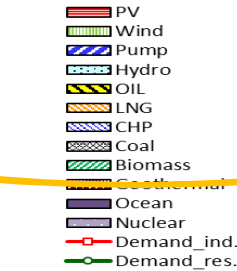
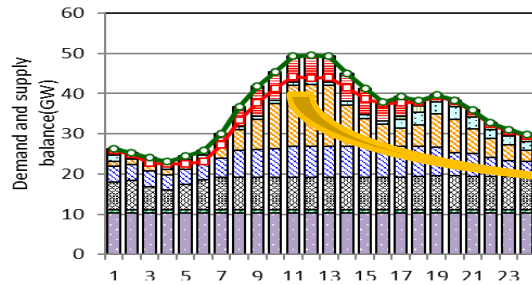
電力需給解析うち、需給シミュレーションのイメージ

【事例 1】 分散型資源のIntegration Study

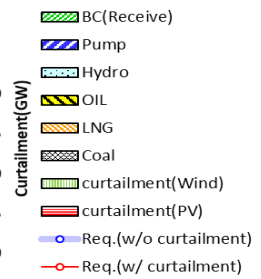
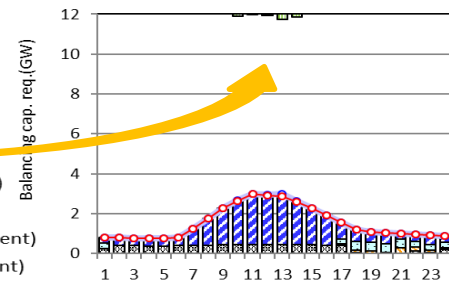
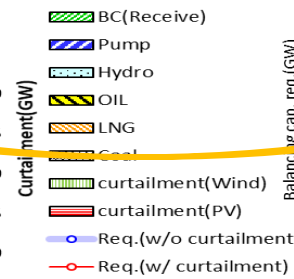
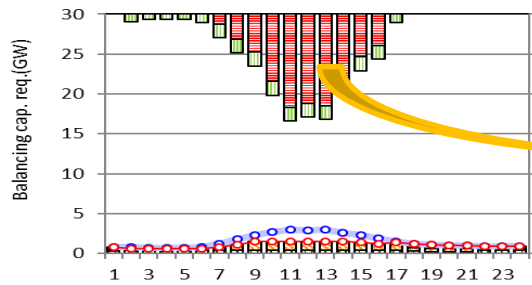


□ 揚水の無⇒有とすることで、PV+風力の電力量最大日(5月17日, グリッドC)に再エネの出力抑制がほぼ解消する。

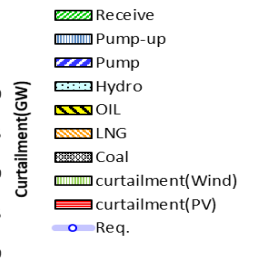
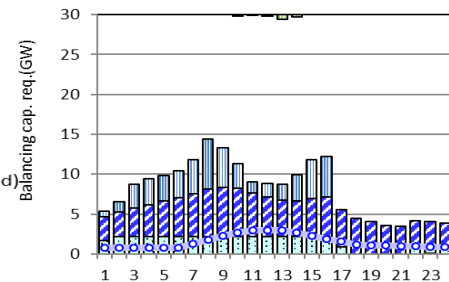
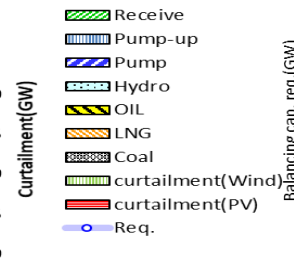
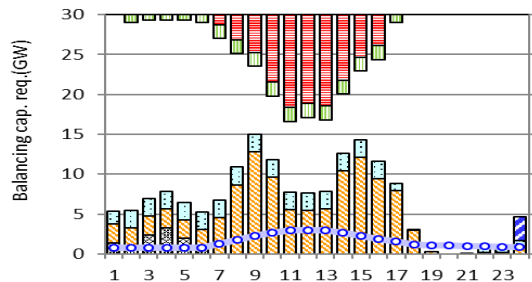
需給
バランス



LFC調整カバ
ランス



ランプ調整カ
バランス



荻本和彦, 片岡和人, 占部千由, 斉藤哲夫, 日本における揚水発電所のSystem Value (II), IEEJ B部門大会 講演論文集 No.149 (2017)の検討結果より作成

【事例 1】 分散型資源のIntegration Study

- PVと風力の導入シナリオは、現行の長期需給見通に対し、全国でPV103 GW、風力32 GW（エリア分布は資源量などによる想定）とした。

□ 解析ケース

T50Ee : ベース
 T53Ee : 石炭火力のLFC調整力±3%
 T50EeB : LFC調整用バッテリー3GW
 T50Eb : 連系線LFC調整量融通（容量の10%）
 TEeHP+EV : ヒートポンプ、EVのDRあり

ケース	LFC調整力			融通容量		DR		揚水
	LNG	石炭	（系統側）	Energy	LFC	HP	EV	
	± %	± %	GW	%	%	有/無	有/無	有/無
T50Ee	5	0	0	100	0	-	-	○
T53Ee	5	3	0	100	0	-	-	○
T50EeB	5	0	3	100	0	-	-	○
T50Eb	5	0	0	90	10	-	-	○
T50EeHP	5	0	0	100	0	○	-	○
T50EeHP+EV	5	0	0	100	0	○	○	○

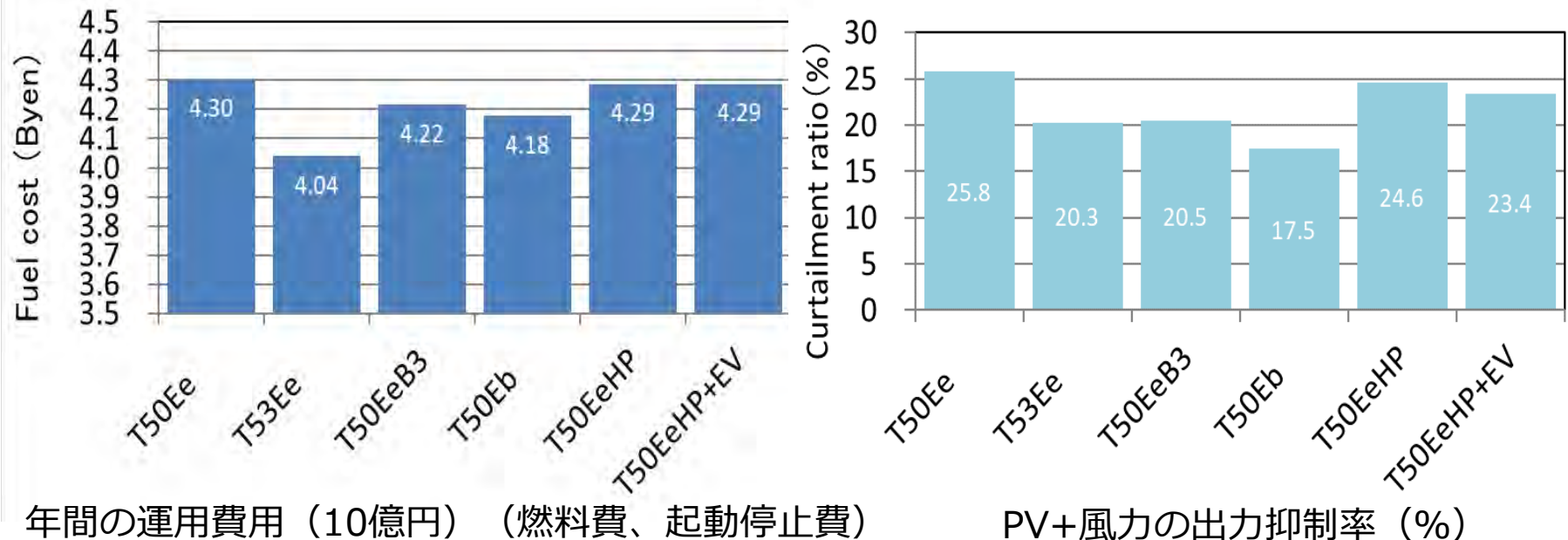
GRID		PV103	Wind32
A	Hokkaido	4.5	2.7
B	Tohoku	13.5	10.9
C	Tokyo	27.4	5.9
D	Chubu	12.9	3.7
E	Hokuriku	1.8	0.8
F	Kansai	14.2	2.1
G	Chugoku	7.5	2.1
H	Shikoku	3.6	1.1
I	Kyushu	17.3	2.4
J	Okinawa	0.6	0.4
Total		103.4	32.2

荻本和彦,片岡和人,占部千由,斉藤哲夫, 長期エネルギー需給見通しに基づく我が国の2030年の電力需給解析, エネルギー・資源学会,第32回コンファレンス講演論文集1-2(2016)より作成

【事例 1】 分散型資源のIntegration Study



- 諸対策により、社会全体の電力供給に係る費用は、年間数千億円の低減の可能性が示される。（今回の解析ではHPとEVは残余需要の底上げのみに適用）
- 消費者の利用を考慮した、ヒートポンプ給湯、EV充電などの最適な運用により、消費者の利用を反映した最適運用により、効果の拡大が期待される。



T50Ee : ベース
T53Ee : 石炭火力のLFC調整力±3%
T50EeB : LFC調整用バッテリー3GW

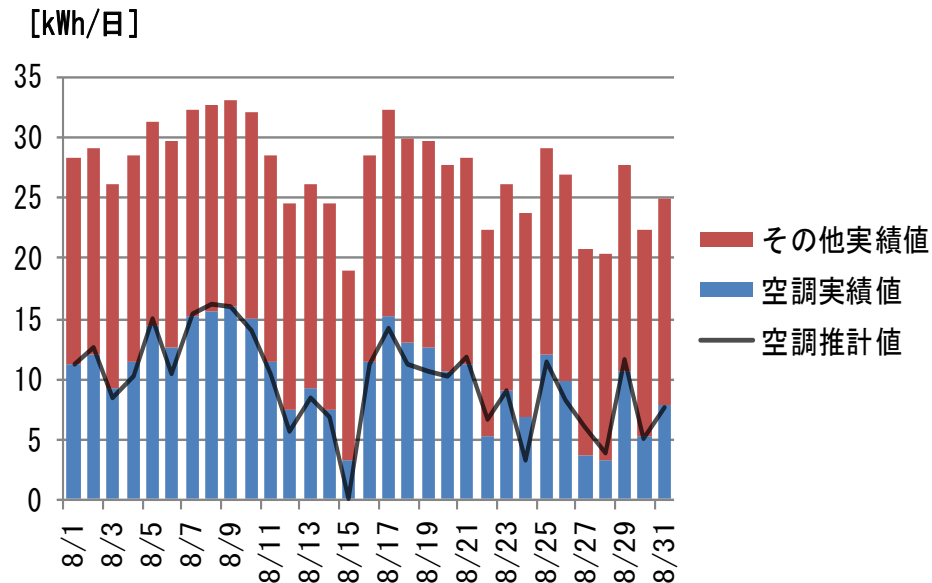
T50Eb : 連系線LFC調整量融通（容量の10%）
TEeHP : ヒートポンプ による残余需要底上げ
TEeHP+EV : ヒートポンプ+EVによるの残余需要底上げ

荻本和彦,片岡和人,占部千由,斉藤哲夫,長期エネルギー需給見通しに基づく我が国の2030年の電力需給解析,
エネルギー・資源学会,第32回コンファレンス講演論文集1-2(2016)より作成

【事例 1】 分散型資源のIntegration Study

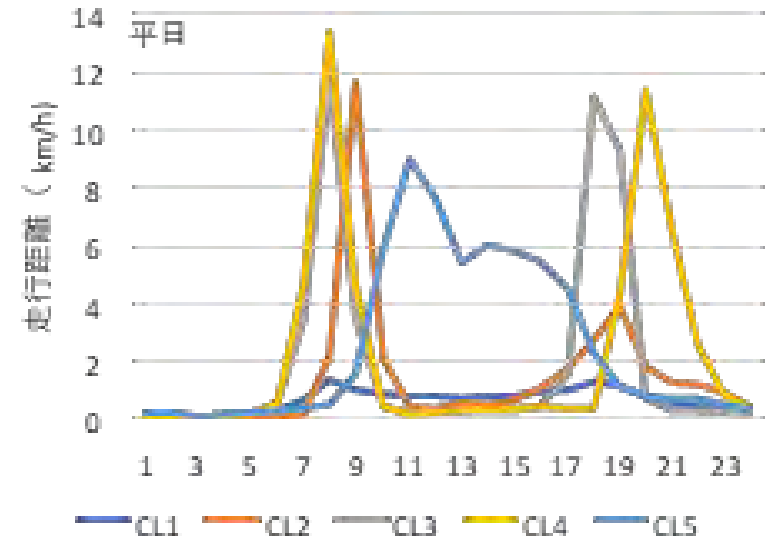


- 需要側の分散資源の電力需給への能動的な参加を分析・評価するためには、需要データを収集・蓄積・分析して、その動的な特性を反映したモデル化が必要。
- また、需要側の分散資源を含めた応答が、配電網の電流・電圧の変動の制約に違反しないか、またはそれらの変動の緩和に貢献できるかなど、需要、配電、送電、集中電源の各領域を跨いだ検討も必要。



スマートメータデータによるある家庭の
空調利用電力の解析結果(kWh/日)

岩船由美子, 河合俊明, 森裕子: スマメデータ・EMSデータの分析手法と省エネサービスへの活用: 住宅用スマートメータを活用した給湯及び空調消費量推計手法の検討, エネルギー資源学会研究会, 講演論文集4-2 (2018予定)



道路交通センサス調査結果に基づく自動車の走行
特性のクラスタリング結果(自家用個人, 平日)

岩船由美子, 荻本和彦, 宇田川佑介: 2050年の電気自動車走行需要に関する検討, エネルギー資源学会研究会講演論文集7-2 (2018予定)

海外が完璧なわけではない

- ❑ IEAでは、2014.1月の GIVAR IIIによる「The Power of Transformation」の2年後の、2016.1に「[Re-powering Markets](#)」を発刊した。
- ❑ 「Re-powering Markets」は、低炭素電力への移行にかかわる今世紀の諸課題に対応するための、新しい電力市場設計のベストプラクティスを紹介し、電力市場を再設計するための効果的かつ効率的な方法論を述べている。
- ❑ 「Re-powering Markets」は、[2017.3にNEDOによる邦訳が公開された](#)。
- ❑ 良いところも、悪いところも全体を、海外から学ぶことが重要



[IEA: Re-powering Markets](#)

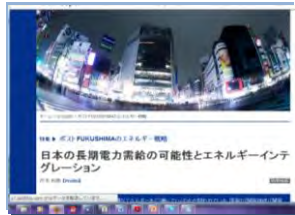


[NEDOによる邦訳](#)

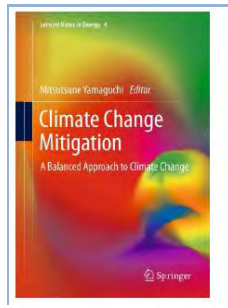
ご清聴ありがとうございました

東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター
荻本研究室ホームページ

<http://www.ogimotolab.iis.u-tokyo.ac.jp/>



Nipponn.comで「日本の長期電力需給の可能性とエネルギーインテグレーション」を日英で公開中です。
<http://nipponn.com/ja/in-depth/a00302/>



「シナリオ選択のインパクト」を、2012年 Springer 発刊の “Climate Change Mitigation” とその和訳である 2013.4 丸善発刊の「実現可能な気候変動対策」に掲載しました。
<http://www.springer.com/us/book/9781447142270>



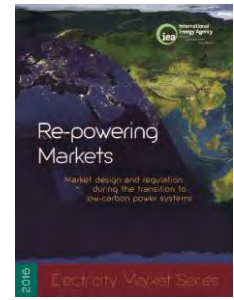
「出力が変動する再生可能エネルギー発電の大量導入と電力システムの進化(1)~(3)」を、原子力学会誌 ATOMOS 2014 年1,2,5月号に連載しました。
<http://www.aesj.or.jp/atomos/tachiyomi/mihon.html>



IEA “The Power of Transformation” を監訳し、NEDO より公開しました。
http://www.nedo.go.jp/library/denryoku_henkaku.html



IEA PVPS の報告書 “Power System Operation and Augmentation Planning with PV Integration” をまとめました
<http://www.iea-pvps.org/index.php?id=322>



IEA “Re-powering Markets” を翻訳し、NEDO より公開しました。
http://www.nedo.go.jp/library/re-powering_markets.html