

JSER-ESIシンポ

エネルギーシステムインテグレーション

～電力システムの潮流～

2019年8月21日

荻本 和彦

東京大学 生産技術研究所 ESI社会連携研究部門

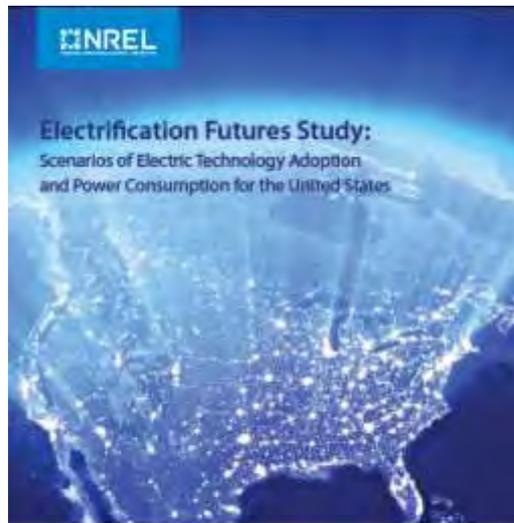
本日の内容

1. これからの電力システム潮流

「これからの電力システムの潮流」は、平成31年電気学会全国大会シンポジウム「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」の講演内容から作成。

世界共通の潮流: 電化

- 省エネルギーおよび経済性の観点から、化石エネルギーからの燃料転換や新たなエネルギー需要の獲得により、エネルギー需要の電化の進展が再認識されている。
- 低炭素排出エネルギー源である再生可能エネルギー、原子力の出力が一義的に電気であることも電化促進の理由である。
- 運輸、温冷熱供給を中心に世界で新たな取り組みが行われている。



Steve Mai, Poige Jackson, Jeffrey Logan, Colin McMillan, Matteo Muraletto, Daniel Steinberg, Laura Virevenstlatt, Ryan Jones, Benjamin Haley, and Brent Nelson



IEA2018, The Year of Electricity

5月の既設電源の柔軟性の向上に関する Power System Transformationの Status Reportの発刊。

6月の東京でのESAPのワークショップでの Electricity Security Action Plan 2.0が発表と、安定供給に関する議論。

電力システム連系の安定供給の問題に関する Electricity Security Across Borders reportの発刊

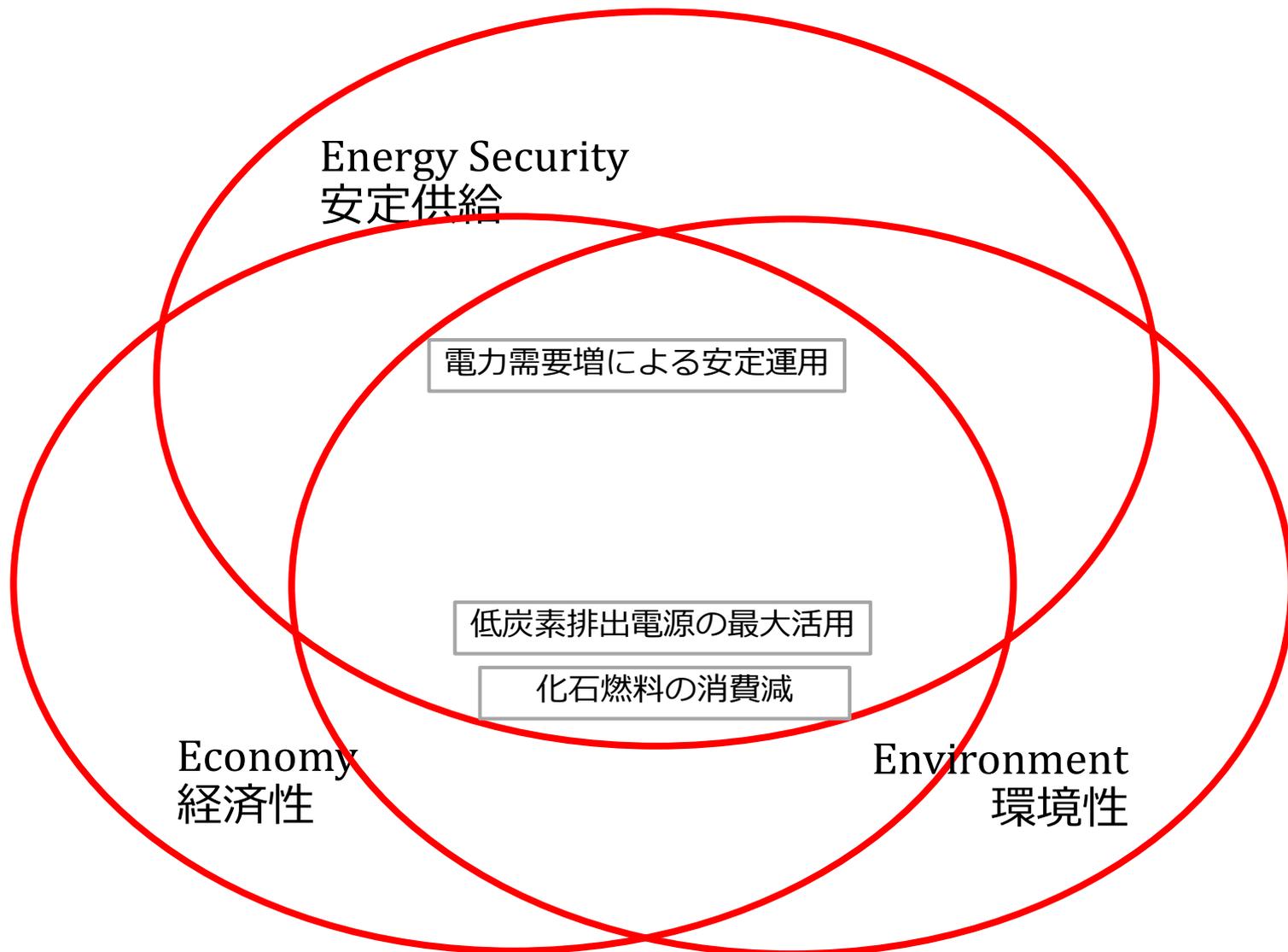
スマートエネルギーシステムに関する "Technology Roadmap" の発刊

年次の再エネ、ガス、石炭、省エネの市場報告書での、再エネが各市場に与える影響分析。

The World Energy Outlook 2018では、初めて電力に焦点を当てる。

[NREL: Electrification Future Study](#) [EPRI: US Nat'l Electrification Assessment](#)

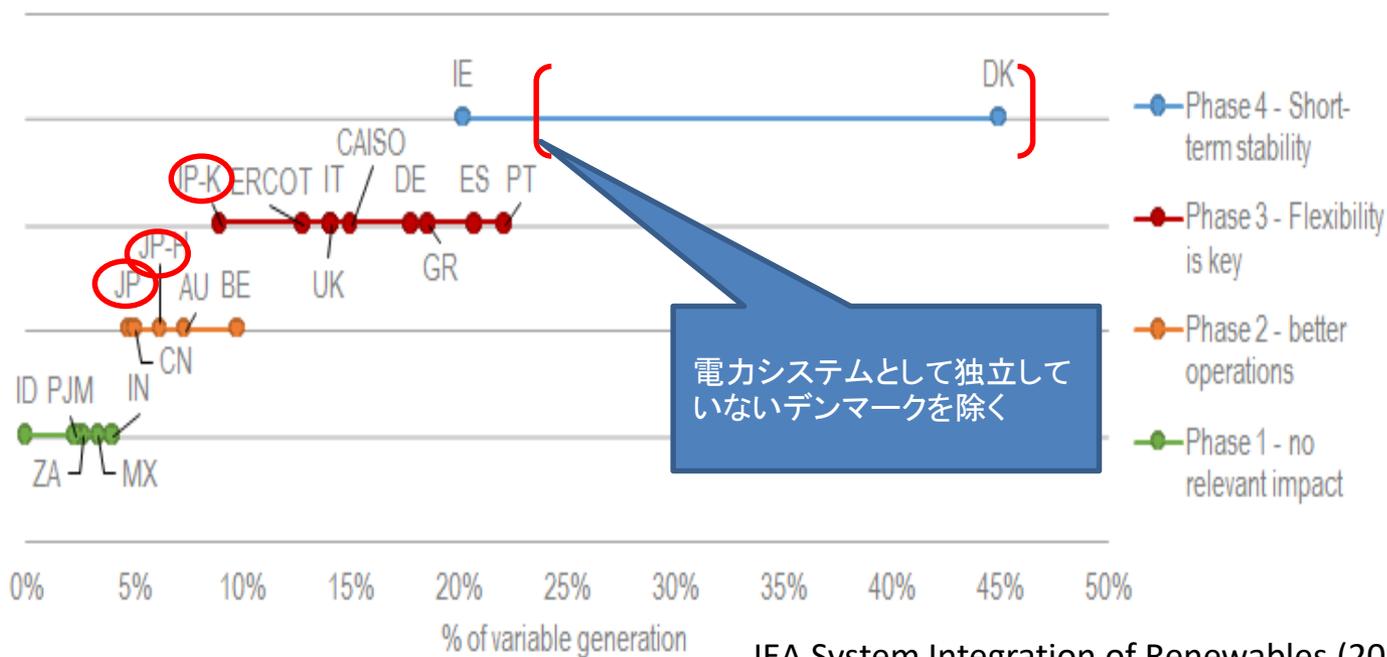
3E+Sにおける「電化」



経済産業省 第19回総合資源エネルギー調査会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ 資料5 (2018.12)

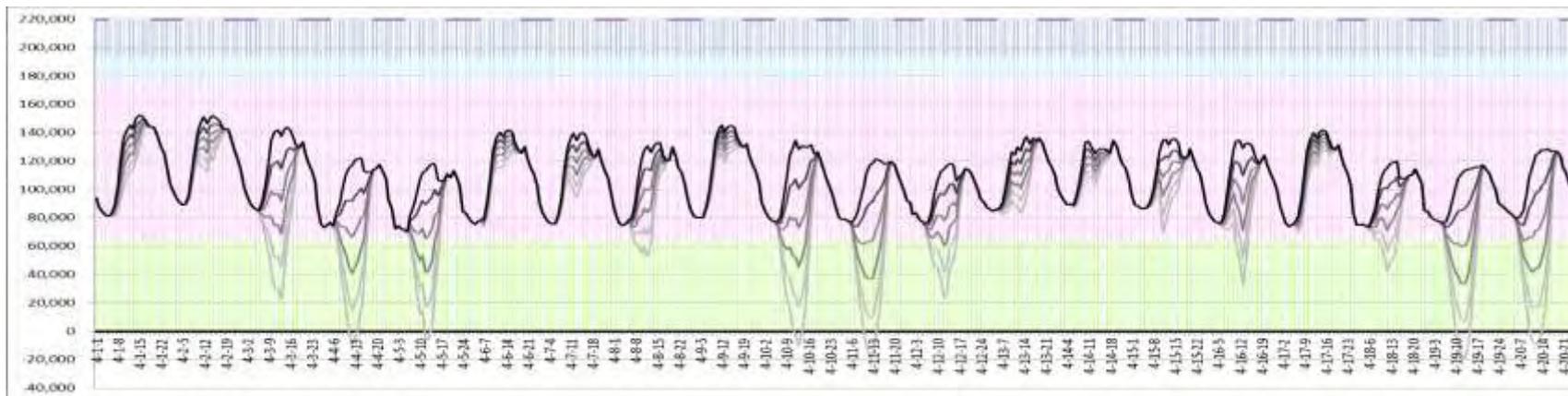
RE導入の状況: IEAによる導入段階

- 一定規模以上の電力システムにおいて、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近づく状況。



IEA System Integration of Renewables (2018, 邦訳)

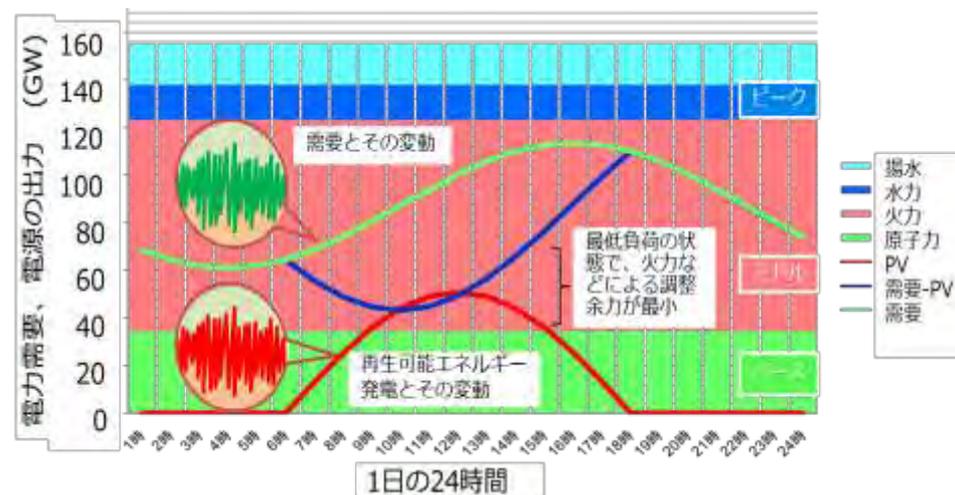
世界共通の潮流: 再エネ導入拡大の課題



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、

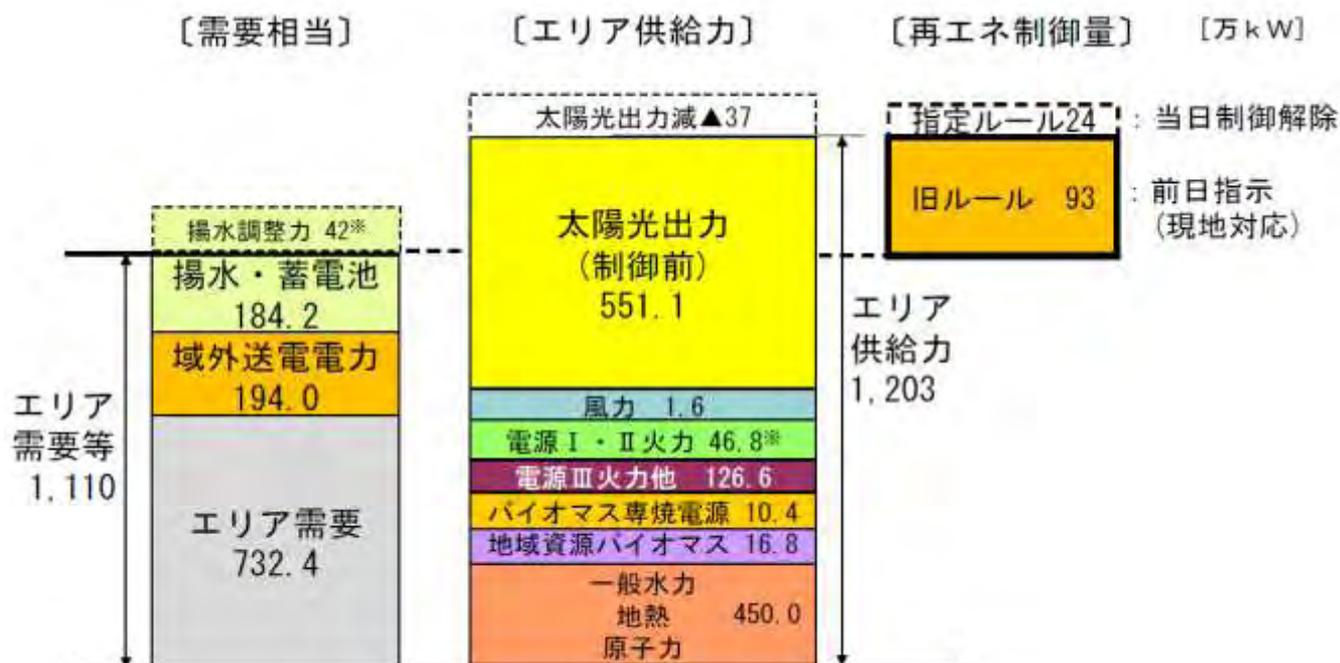
- 再生可能エネルギーの発電量の変動による、変動要素の増加
- 火力など従来システムの需給調整を担う発電方式の運用量の減少



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)

2018年10月九州本島での再生可能エネルギー電源の出力制御

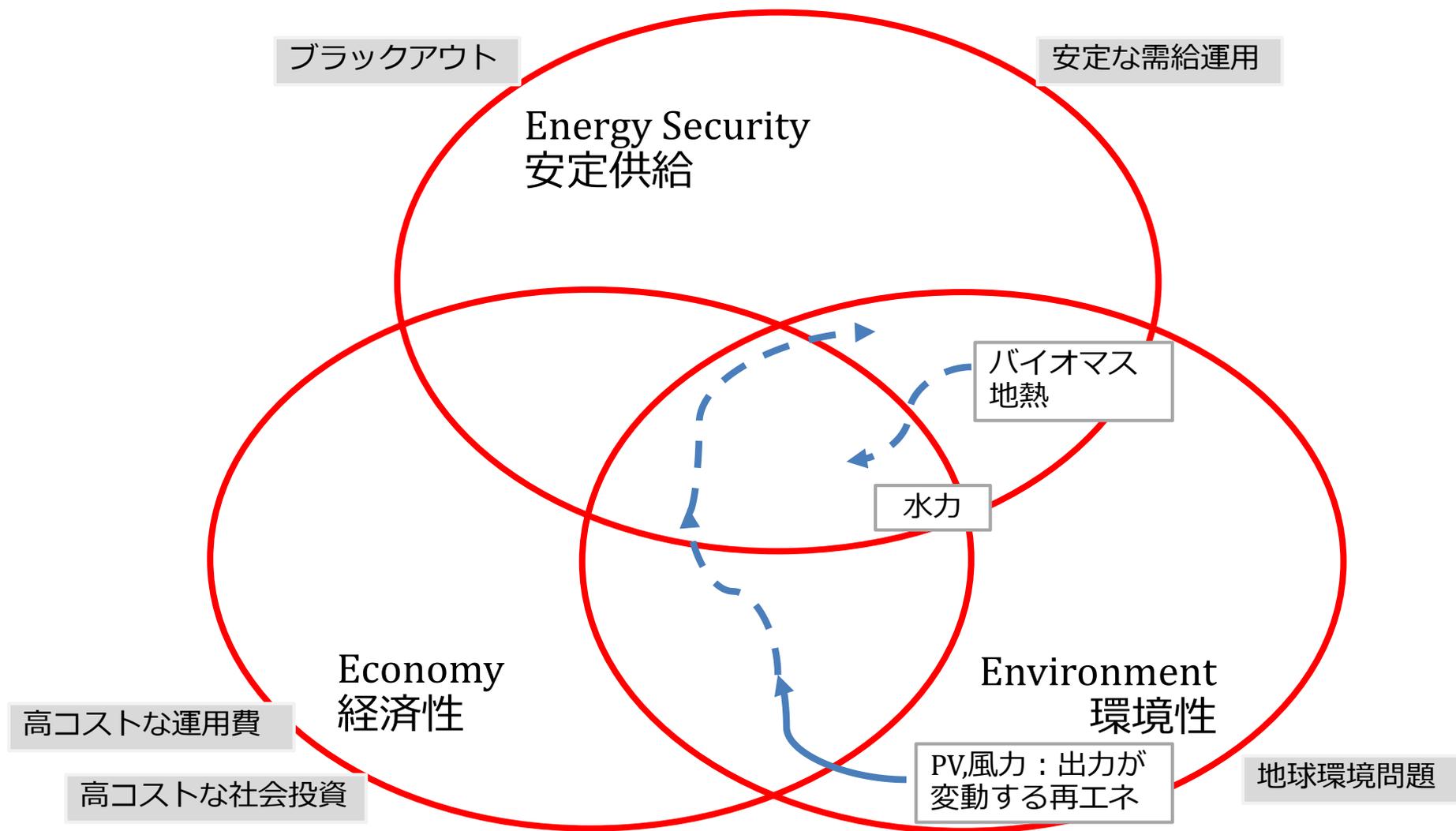
- 初めての10月～11月の出力制御のうち、最大の制御量となった10月21日は、118万kWが前日指令され、当日24万kWの解除を経て、93万kWが実施された。
- 大部分の設備が遠隔で制御できず、ファックスやメールによる連絡と現地制御で行われている状況は、安定運用と運用コスト低減への大きな課題。
- 既設のルーフトップPVについては、遠隔指令・制御機能がなく、出力制御難。



※太陽光出力の上振れ対応とLFC調整力を火力・揚水で調整力を確保

九州電力出力制御時 [下げ調整力最小時刻: 10月21日 12:00～12:30]
 経産省 第18回系統ワーキンググループ 資料2-1 (2018.11)

3E+Sにおける「再生可能エネルギー」



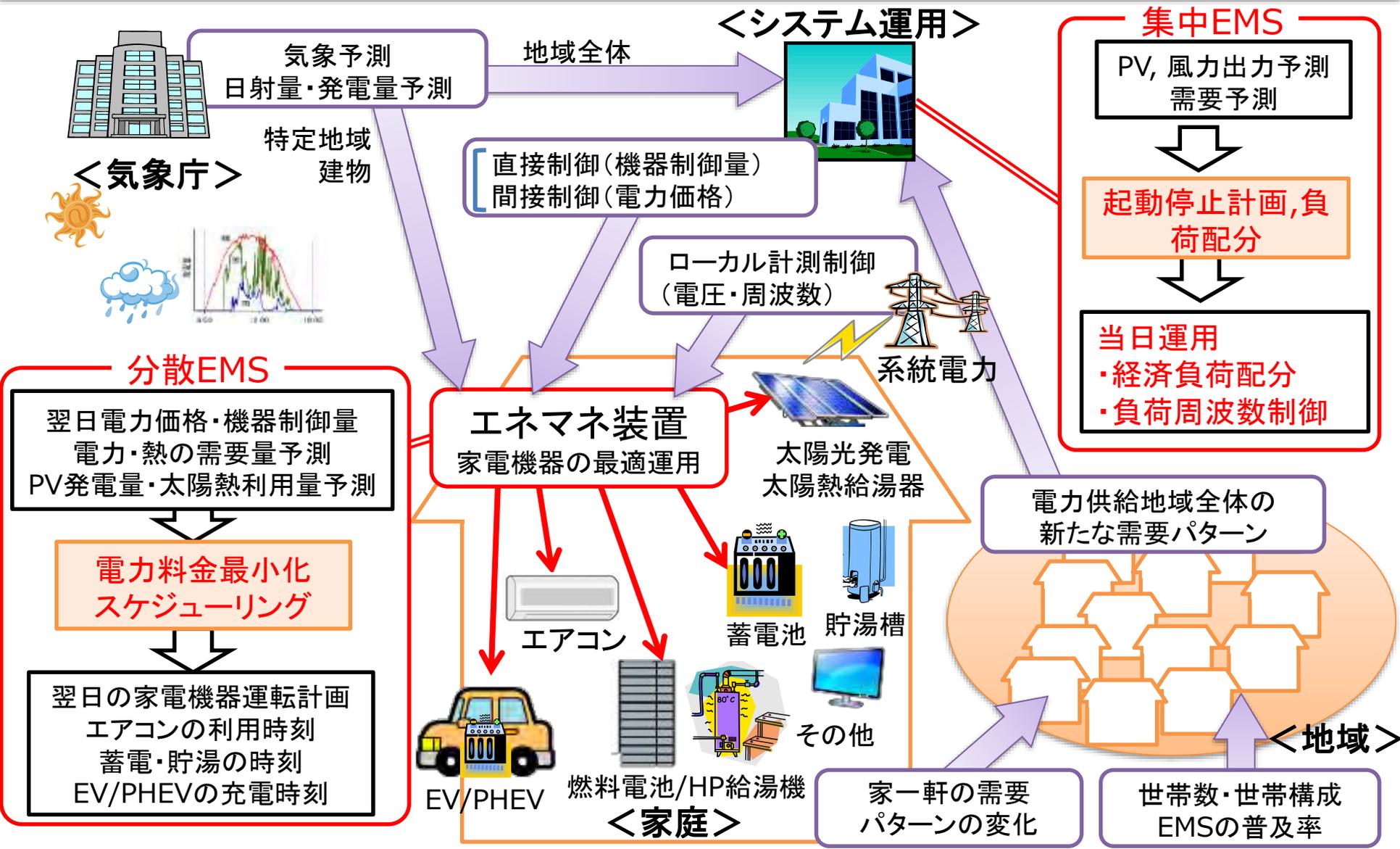
経済産業省 第19回総合資源エネルギー調査会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ 資料5 (2018.12)

世界共通の潮流: 分散型システム

- 再生可能エネルギーのうち、太陽光発電、風力発電、オンサイト型電源などの普及により、電源の分散化が進み、大規模電源に対し単独事故の影響が低減する。
- EV、貯湯槽、バッテリーなどが、分散システムとして能動的になる。
- 電化による新たな需要は、分散型の調整可能な技術となる。



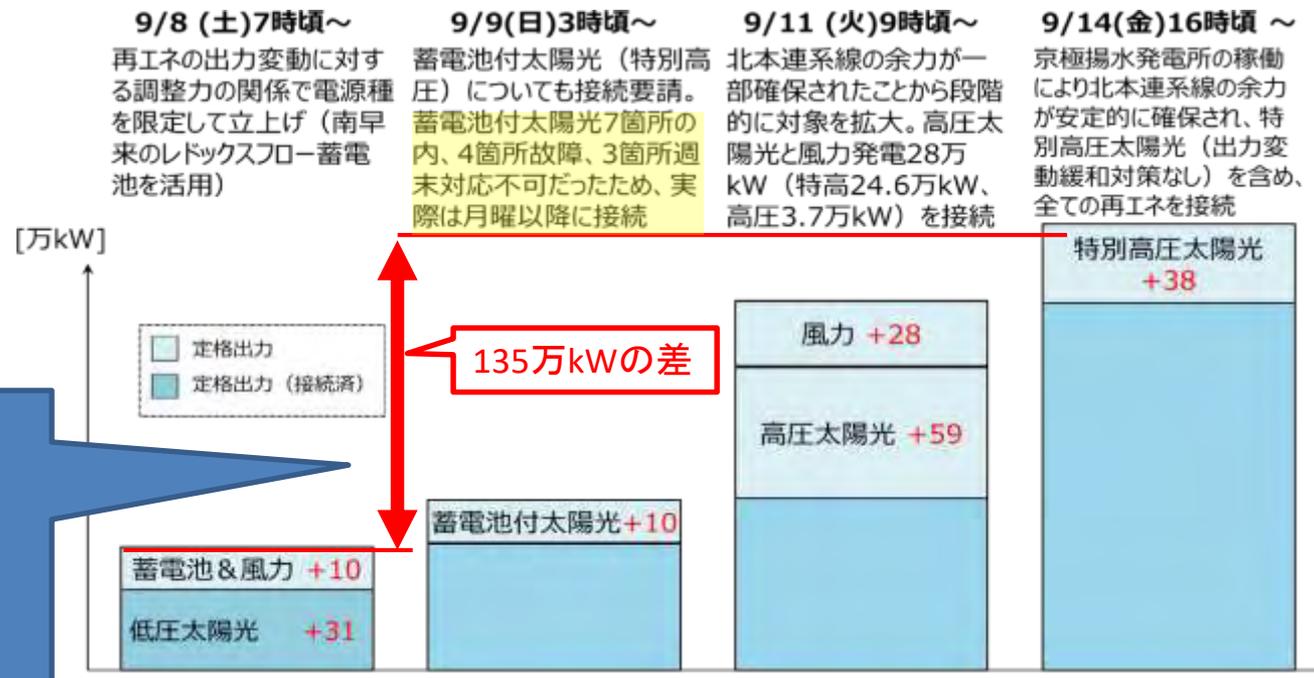
集中/分散エネルギーマネジメントの協調



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 B部門大会講演論文集, 16, 08_7-12 (2011)

北海道ブラックアウト: 風力, PVの運用復帰状況

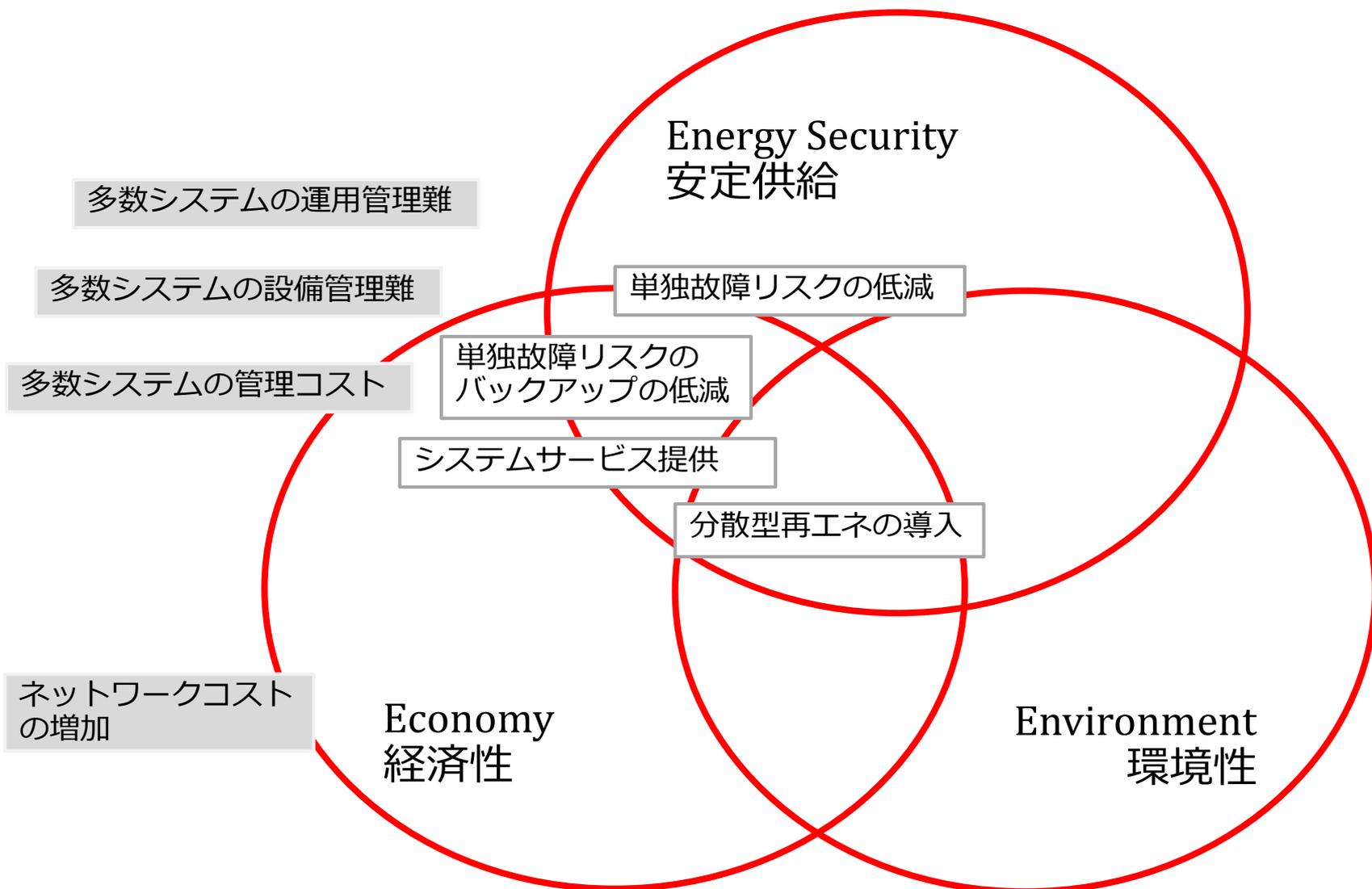
- 停電が解消すると、変動防止のために止めたくても止めることができない低圧太陽光は起動した。(需給不安定要因)
- PV, 風力を安定に運用するには、出力変動に対応する調整力が必要なため、調整力の確保状況に応じて段階的に起動を試みた。
- 系統蓄電池で別途調整力を確保した10万kWの風力のみ土曜に起動したが、それ以外の135万kWのPVと風力は機能不足、管理不備により使用できなかった。
- 遠隔での起動停止および出力制御など必要な機能があれば、使用できた可能性大。



週末の2日間は、機能不足および、管理不備のため、31万kWを除いて135万kWのPV, 風力は使用できず

※低圧太陽光(うち住宅用は16)は停電解消後に事業者側の復旧に合わせて発電開始。

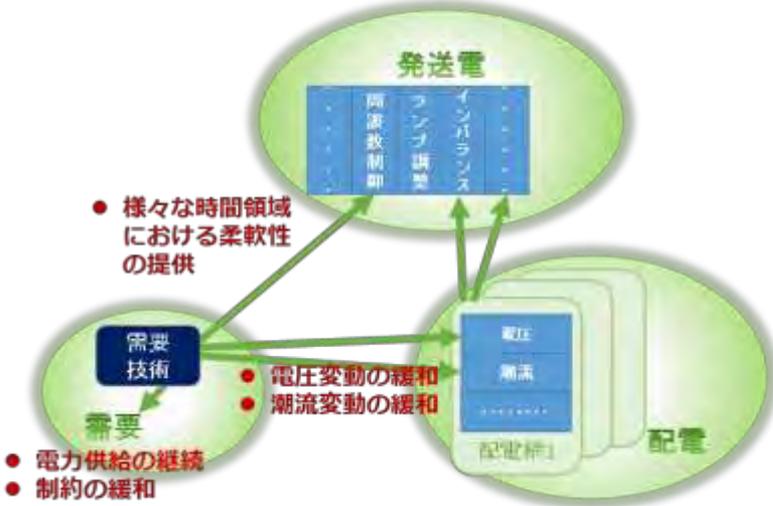
3E+Sにおける「分散型資源」



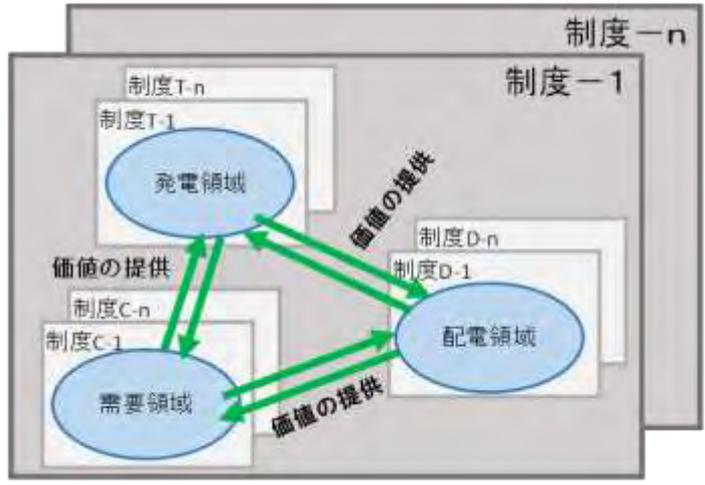
経済産業省 第19回総合資源エネルギー調査会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ 資料5 (2018.12)

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、値を確定できない電力量(kWh)の価値は低下し、**確定でき、随時調整できる発電出力と需要(kW)の価値が上がる。**
- 最終消費が必要とするものは、電力などエネルギー自体ではない。**最終的に必要なサービスに向かって価値はシフトする。**
- 革新の実現には、技術に報酬を与える「**マネタイズ**」が必須であり、**市場の変革**が必要。
- 革新の先取りと効率的実施に向け、海外では送配電を始め**多数のプレイヤーを包含し、技術ニュートラルな制度設計**が進行中。



需要技術の領域を跨いだ価値の活用 (有効電力の場合)



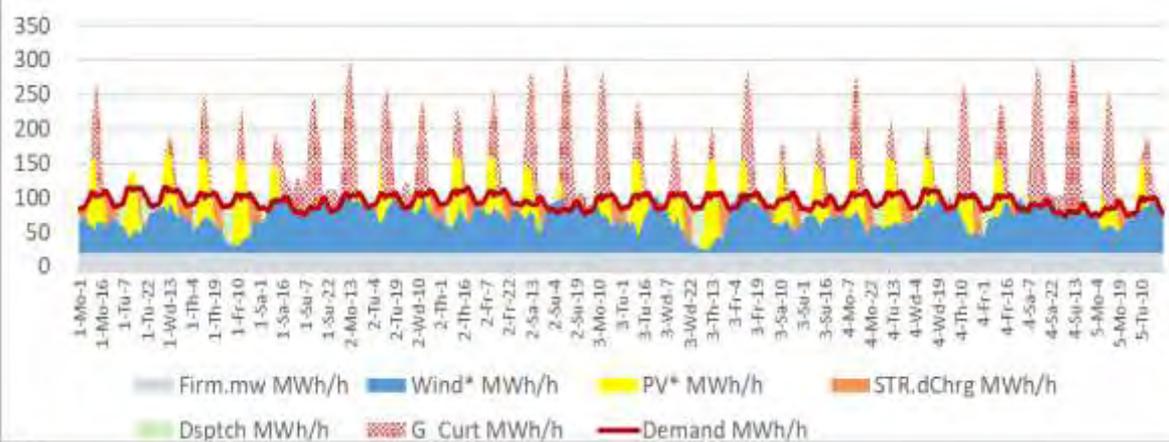
価値の提供と制度による実現(マネタイズ)

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)

3. 大規模エネルギー貯蔵と新たな二次エネルギー

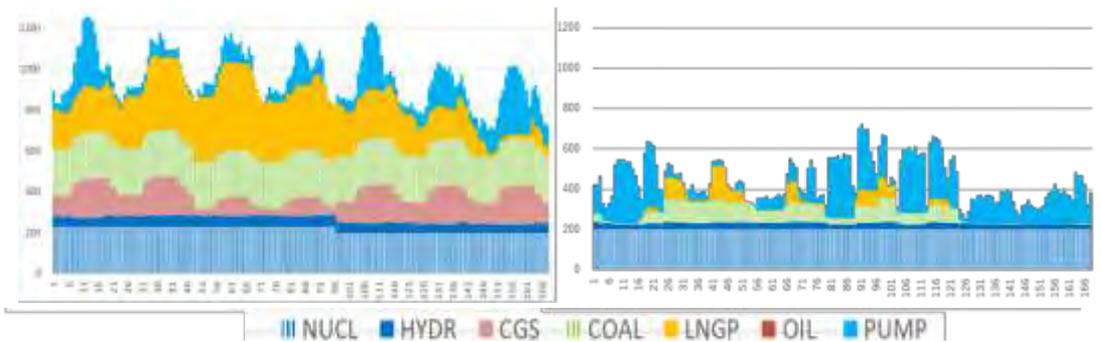
世界共通の「新」潮流

- 一次エネルギー供給は、出力調整が難しいPV、風力、原子力、地熱、潮流などの低炭素排出電源にシフトすることが求められる。
- 低炭素排出電源のシェアの増加に伴い、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(常温常圧で、ほぼ液体)**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、**導入時期と規模の見極めが必須**。



需給解析例(4月の第1~5週)
 (Firm: 114 GW, PV: 212GWp, Wind: 128 GWp, Storage: 20 GWx6.1 hours, Dsptch:114GW)

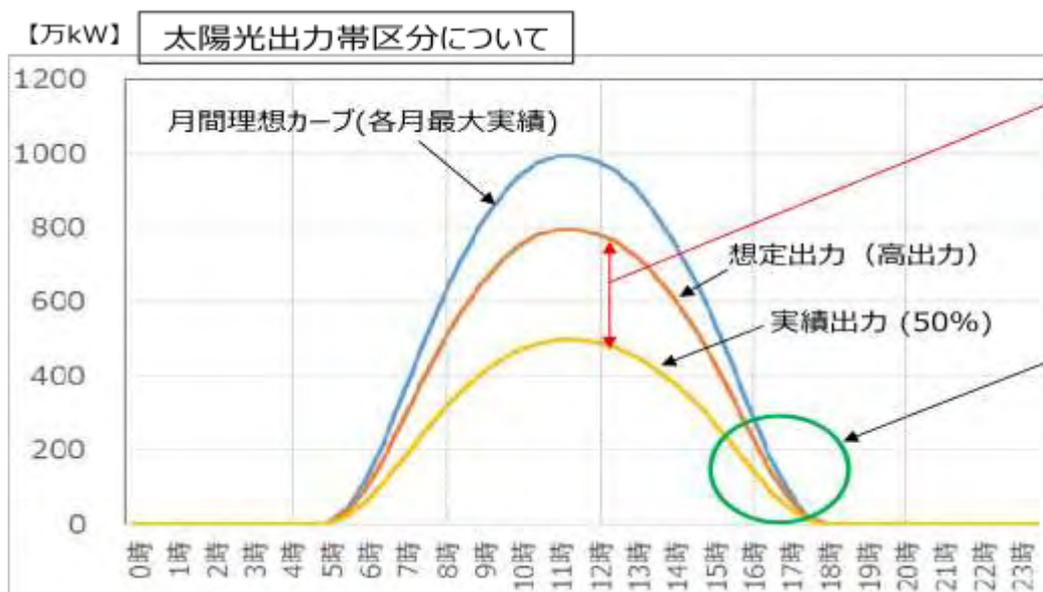
凡例 Firm.mw: Firm電源出力, Wind*:風力出力, PV*:PV出力, STR.dChrg: 貯蔵設備発電/充電, Dsptch:負荷配分可能電源出力, G_Curt: 出力抑制, Demand: 需要, SoC: 充電残量
 荻本和彦,宇田川佑介,占部千由,岩船由美子,下田吉之,山口容平,RE100%領域の新たな二次エネルギーの必要性について,JSER 研究会講演論文集10-1(2018)



システム慣性の週間の変化例(4/1~7)
 左: 2030年長期需給見通しシナリオ、
 右: 2050年のPV250GW, 風力70GWシナリオ)
 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)

6. 新たな価値の実現に向けて 新たな価値：予測誤差（日本からの発信）

- 今後大きな市場が必要となる需給調整は、再エネの出力予測誤差に対応する需給調整力（日本では三次②（低速））である。
- 現在800万kWのPVが導入された九州の最大の予測誤差は容量の1/3程度、冬の需要変動と重畳した場合は、1/2に及ぶ可能性もある。
- PV1億kWの導入の元では、単純計算で、三次調整力②の必要量は、5000万kWに上る可能性がある。
- 揚水発電など、その他の対応技術と合わせた価値評価が求められる。



想定出力帯が高区分の下振れ予測誤差 (12時～16時ブロック)
仮に実績が1日を通して月間最大出力カーブの50%出力だった場合、この下振れ予測誤差に相当する量が当該日・当該コマの必要量となる

月間の各コマ毎の最大値を100%とした場合、低出力帯の時間も天候による区分が可能。時間帯を区切らずに出力区分をすると、緑丸部分のような恒常的に出力の低い時間帯については、天候によらず低出力区分での誤差に分類されてしまう。

出典：OCCTO

6. 新たな価値の実現に向けて 新たな価値：欧・米の検討

- 米国では、2012年2月、FERCは、ISO市場での容量、エネルギー、アンシラリーサービスについて、分散型の貯蔵技術を他の技術と差別なく受け入れ、取引の最低単位を100kWとすることなどを決定した。**
- 欧州では、Network Codeのうち“Demand Connection (DCC, 2013発効)”と“Electricity Balancing (2017発効)”により、分散型資源を含めた需給調整のための制度が整備され、現在、順次各国間の需給調整の連動が進められている。**
- 米国、欧州DCCとも、グリッドコードにより分散型設備を含め技術ニュートラルに、電圧、無効電力、ブラックスタートを含めたアンシラリー価値を求める方向が確立されており、市場ベースの新技术を牽引する条件が整いつつある。**



出典：ENTSO-e



6. 新たな価値の実現に向けて 新たな価値：OCCTOの検討

- 我が国では、2021年の開始を目指し、OCCTO 需給調整市場検討小委員会などで、アンシラリーサービス（需給調整力 一次、二次、三次）の検討が進められている。
- 従来型発電機以外の、分散型電源、需要などの参加は不透明である。

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserves (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserves (S-FRR)	Frequency Restoration Reserves (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (LFC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※2)	オンライン	オンライン	オンライン	専用線：オンライン 簡易指令システム：オフライン※2,5
回線	専用線※1 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※1	専用線※1	専用線※1	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内※3	45分以内
継続時間	5分以上※3	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	- (自端制御)	0.5~数十秒※4	1~数分※4	1~数分※4	30分
監視間隔	1~数秒※2	1~5秒程度※4	1~5秒程度※4	1~5秒程度※4	未定※2,5
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内に出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※1,4	5MW※1,4	5MW※1,4	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
上げ下げ区分	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

※1 簡易指令システムと中給システムの接続可否について、サイバーセキュリティの観点から国で検討中のため、これを踏まえて改めて検討。
 ※2 事後に数値データを提供する必要有り (データの取得方法、提供方法等については今後検討)。
 ※3 沖縄エリアはエリア固有事情を踏まえて個別に設定。
 ※4 中給システムと簡易指令システムの接続が可能となった場合においても、監視の通信プロトコルや監視間隔等については、別途検討が必要。
 ※5 簡易指令システムには上り情報を受受信する機能は実装されていない。現時点ではDRの参入がその大宗を占めることが想定され、エリア需要値の算定に影響は生じないが、今後、VPP等の発電系が接続することでエリア需要の算定精度が低下することが考えられるため、上り情報が不要な接続容量の上限を設ける等の対応策を検討。

出典：OCCTO

新たな価値：一般調整力モデル

- 一般調整力モデルとは、調整力の上げ方向/下げ方向を分離し、太陽光発電（以下、PV）、風力発電について、出力低減および出力制御中の出力増・減、電気自動車（以下、EV）充放電やヒートポンプ（以下、HP）沸き上げなどの需要の調整を含めた、プロダクションシミュレーション手法に導入したモデル。

		一次			二次①			二次②			三次①			三次②				
		設備	上げ	下げ	設備	上げ	下げ	設備	上げ	下げ	設備	上げ	下げ	設備	上げ	下げ		
必要量	需要				±2%	66.7%	66.7%				33.3%	33.3%			3%	3%		
	PV対応				出力の±5%	66.7%	66.7%				33.3%	33.3%					予測誤差	
	風力対応				設備容量の±5%	66.7%	66.7%				33.3%	33.3%					予測誤差	
供給可能量																		
火力	石炭	0	0	0	100	5	5	—			100	運転点	max.	運転点	min.	—		
	ガス	0	0	0	100	5	5	—			100	運転点	max.	運転点	min.	—		
	石油	0	0	0	100	5	5	—			100	運転点	max.	運転点	min.	—		
	CHP	0	0	0	0	0	0	—			10	—	—	運転点	50%	—		
	バイオ	0	0	0	0	0	0	—			10	運転点	max.	運転点	50%	—		
水力	揚水	0	0	0	100	15	15	—			100	運転点	max.	運転点	min.	—		
	調整池式	0	0	0	100	5	5	—			100	運転点	Firm	運転点	min.	—		
	流込式	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—		
再エネ	PV	0	0	0	20	5	5	—			20	抑制量	50%	運転点	50%	—		
	風力	0	0	0	30	5	5	—			30	抑制量	50%	運転点	50%	—		
	地熱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
需要	EV	—						10 ±5%			20	運転点	20%	運転点	20%	70	50	100
	HPWH	—														50	100	—

東 仁, 磯永 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部門大会講演論文集 (2019予定)

新たな価値：一般調整力モデル

- 再エネの導入拡大による需給変動の深刻化に伴い、様々な時間領域の調整力ニーズが顕在化する。
- 従来の負荷周波数制御(S領域)、負荷追従領域(T1)に加え、予測誤差領域(T2)、俊道領域(F)など、新たなニーズに、エネルギー貯蔵や分散資源が対応できることが、将来の電力システムに必須である。

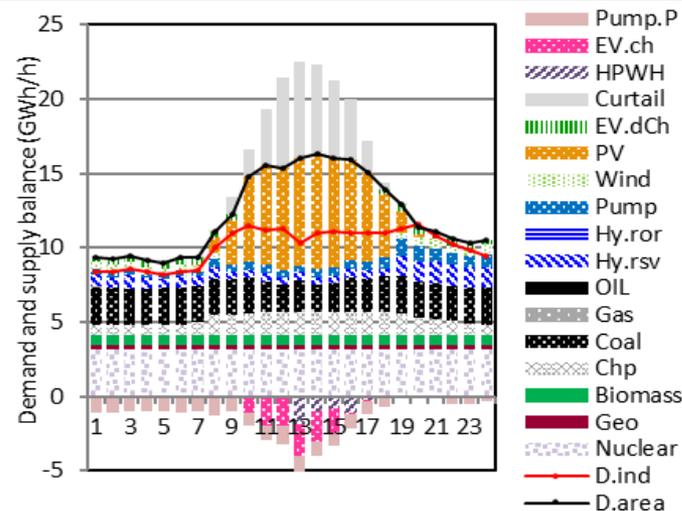


図1 需給バランス(九州, 4/1)

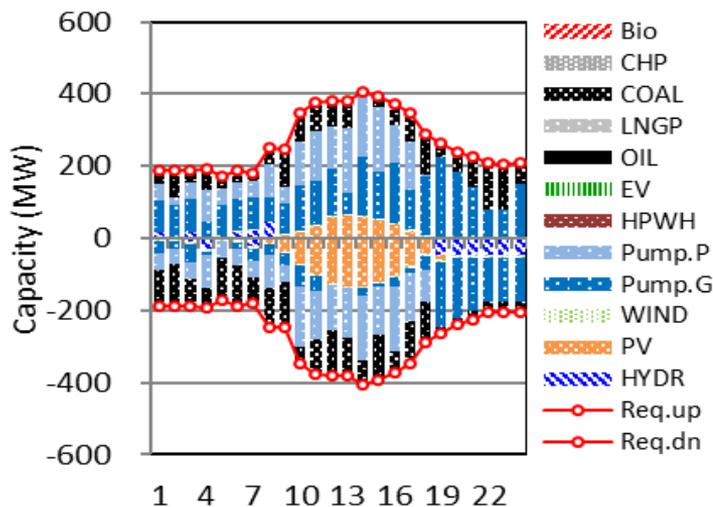


図2 S1調整力バランス(九州, 4/1)

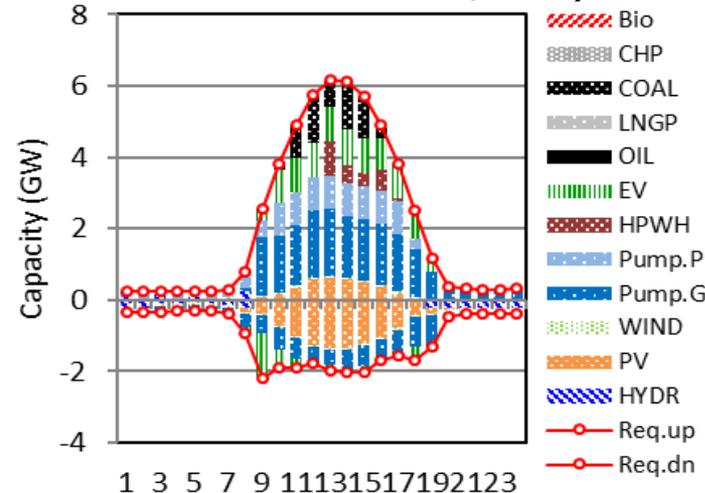
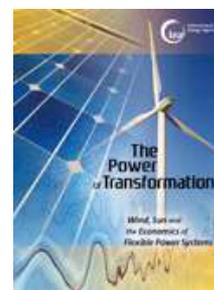
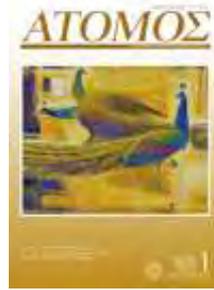
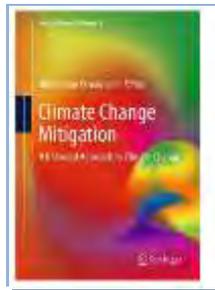


図3 T2調整力バランス(九州, 4/1)

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://nippon.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/repowering_markets.html

IEA “System Integration of Renewables” を翻訳し、NEDO より公開しました。
http://www.nedo.go.jp/library/repowering_markets.html