
京都大学 再生可能エネルギー経済学講座 部門A研究会、2020年1月27日(月)

数理モデルによる電力需給シミュレーション

東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻

小宮山 涼一

内容

- 電力需給モデル
- エネルギー技術選択モデル

電力システムにおける課題

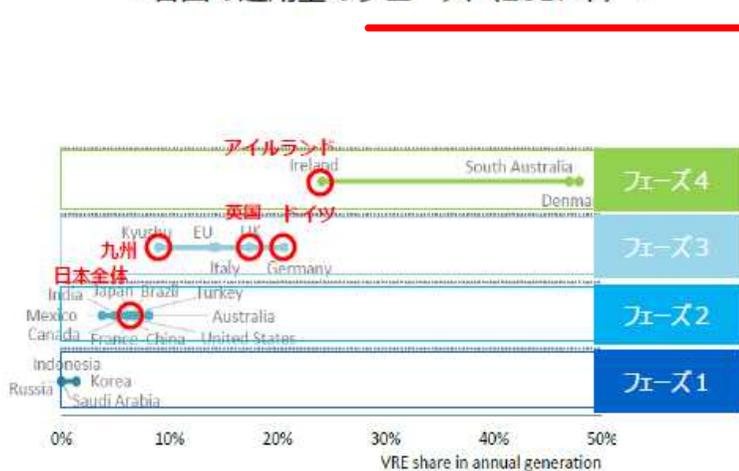
- 供給力の確保(kWの確保)
- 電力量の確保(kWhの確保)
- 調整力の確保(Δ kWの確保)
- 電力ネットワークの適切な維持・運用
- 低炭素化の促進

(参考) 自然変動再エネの導入拡大とそれに応じた運用上の課題

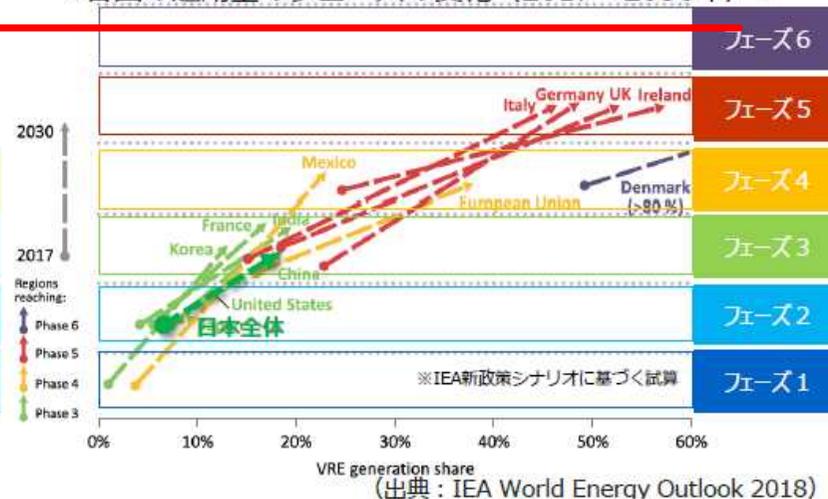
2

- 国際エネルギー機関（IEA）によれば、自然変動再エネ導入比率や電力システムの状況等に相関して6つの運用上のフェーズが存在する。
 - ・フェーズ1ではローカル系統での調整が必要となる。
 - ・フェーズ2では系統混雑が現れ始め、需要と変動再エネのバランスが必要となる。
 - ・フェーズ3では出力制御が起り、柔軟な調整力や大規模なシステム変更が必要となる。
 - ・フェーズ4では変動再エネを大前提とした系統と発電機能が必要となる。
 - ・フェーズ5では変動再エネの供給が頻繁に需要を上回り、交通や熱の電化による柔軟性確保が必要になる。
 - ・フェーズ6では変動再エネの余剰・不足がより長い時間軸で発生し、合成燃料や水素等による季節貯蔵が必要になる。
- フェーズ4にはアイルランドとデンマーク、フェーズ3には欧州各国（ドイツ、スペイン、英国等）、フェーズ2には北米・南米・アジア・オセアニアの各国が位置する。日本はフェーズ2、九州は再エネ導入が進む欧州各国と同じフェーズ3に位置する。
- IEAの試算によれば、**2030年時点で日本全体はフェーズ3に位置し、調整力の必要性が一層高まる見込み**。

<各国の運用上のフェーズ（2017年）>



<各国の運用上のフェーズの変化（2017→2030年）>

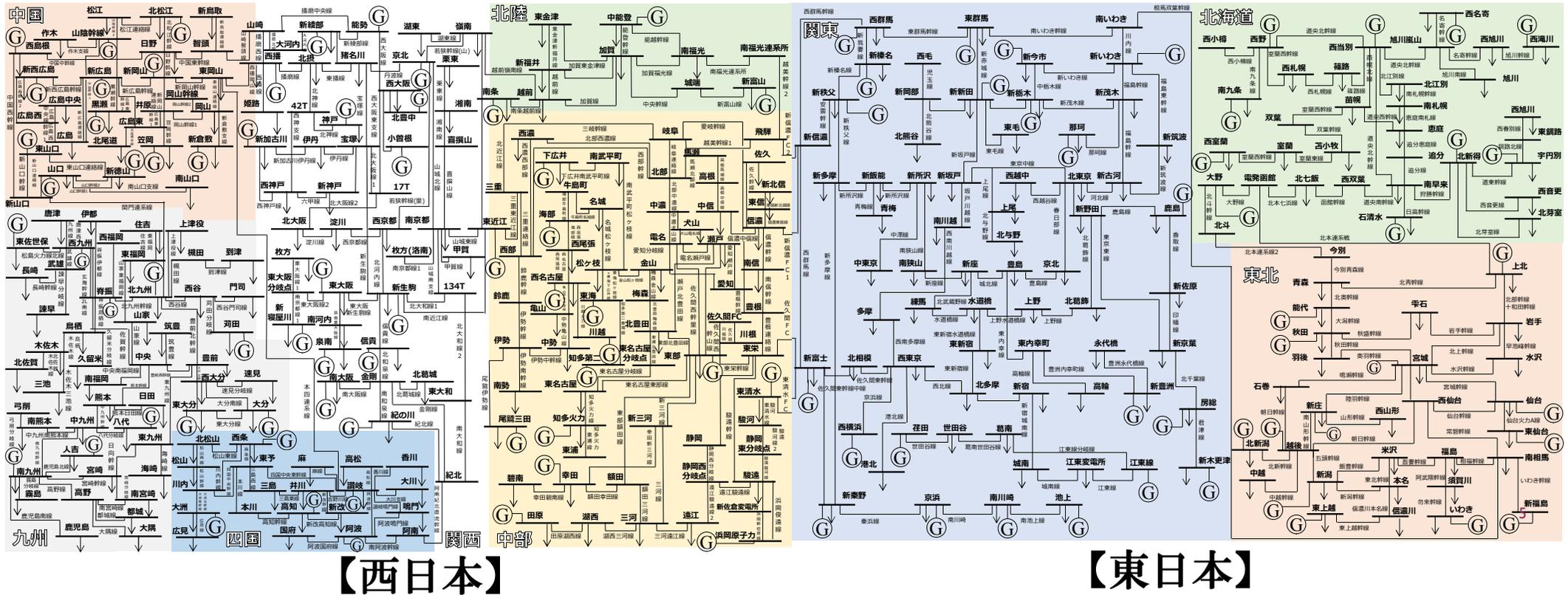


出所：経済産業省「再生可能エネルギー出力制御の高度化に向けた対応について」（2019年）

日本の電力系統の数値シミュレーション

電力基幹系統モデル

全国の基幹系統を考慮(352母線、441本の基幹送電線)

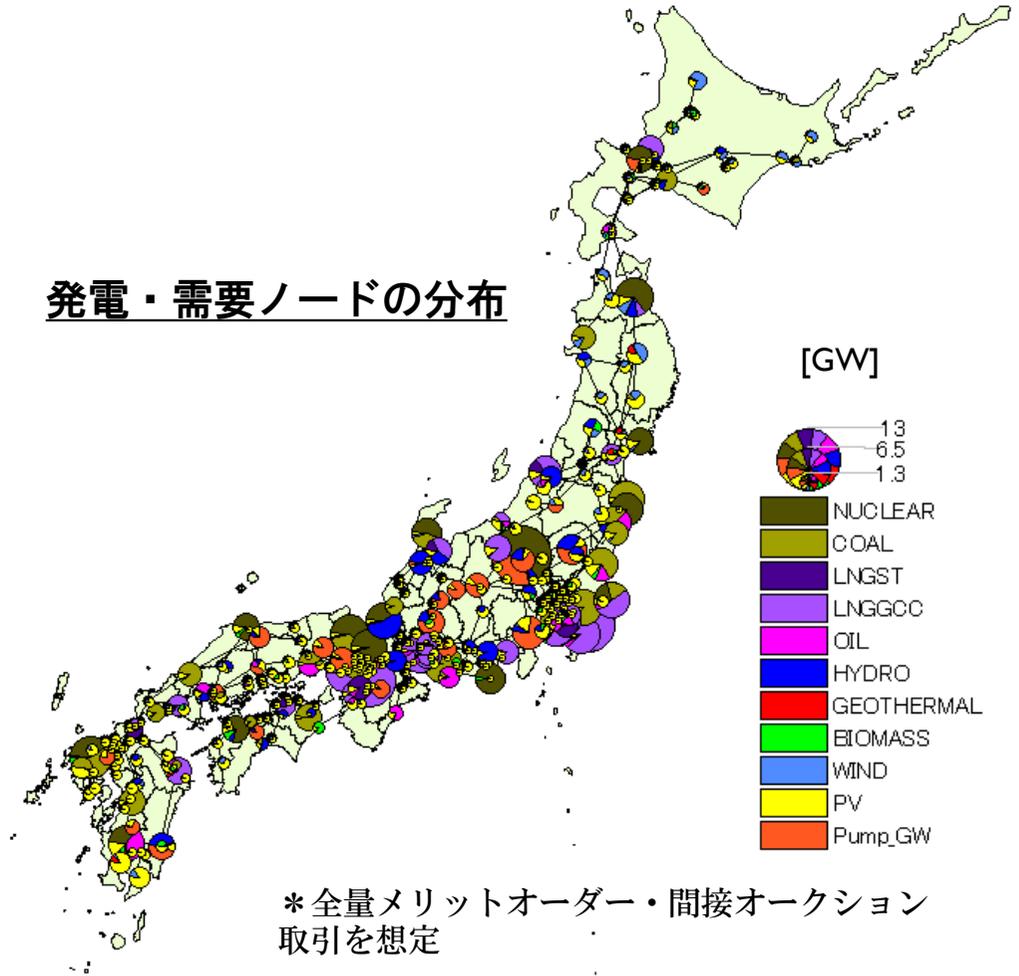


(参考) Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Renewable Energy*,139(8),1012-1028 (2019), Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Energy Policy*,101(2),594-611(2017),
平成28年度産業経済研究委託事業調査(電力需給モデルを活用したシミュレーション調査)調査報告書<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000488.pdf>等々.

日本の電力システムの数値シミュレーション

- **分析手法：電力需給モデル(線形計画法)**
 - 目的関数：固定費(発電・電力流通設備)+燃料費(火力・原子力)+電力貯蔵設備運用費
 - 制約条件：同時同量制約、発電出力制約(定検パターンを考慮→作業停止計画も最適化)、供給予備力制約、負荷追従制約、最低出力制約(火力・原子力)、送電容量制約、電力貯蔵設備制約、設置可能容量制約、SNSP制約など
- **地理的解像度：352母線、441本の基幹送電線(沖縄除く)**
→アメダスを基に、352地点別に日射量、風況を考慮
- **時間解像度：**
 - 10分値以上で任意選択可能(1時間値で分析)
 - 6時点/時間×24時間/日×365日=52,560時点/年
- **発電設備：石炭, ガス複合, ガス汽力, 石油, 原子力, 水力, 地熱, バイオマス, 海洋, 太陽光, 風力**
- **電力貯蔵設備：揚水, NAS電池(長周期変動用), Li-ion電池(短周期変動用)**
- **諸前提：経済産業省の長期エネルギー需給見通し(2030年)、広域機関の供給計画等を基に設定**
- **計算規模：(10分値) 制約条件数：3.7億本、内生変数2.6億個**

発電・需要ノードの分布



(参考) Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Renewable Energy*,139(8),1012-1028 (2019), Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Energy Policy*,101(2),594-611(2017),

平成28年度産業経済研究委託事業調査(電力需給モデルを活用したシミュレーション調査)調査報告書<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000488.pdf>等々.

モデルで考慮する再エネ出力変動への対策

揚水式水力, バッテリー (NAS, Li-ion), 地域間連系線, 再エネ出力抑制, 火力・原子力の出力調整, **補修計画・定期点検の最適化 (原子力, 火力)***

*例) 太陽光発電主力時の原子力の補修・定検実施、夏冬の火力の補修・定検実施

$$AvK_{i,d} + \sum_{m=1}^4 (ur_{m,d} \times MtK_{i,m}) = K_i \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^4 (urs_m \times MtK_{i,m}) = (1 - upa_i) \times K_i \quad (i = 1, 2, \dots, 5), \quad urs_m = \frac{1}{D} \times \sum_{d=1}^D ur_{m,d} \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^4 (ur_{m,d} \times MtK_{i,m}) \geq (1 - upp_i) \times K_i \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (7)$$

Endogenous Variables:

$AvK_{i,d}$: available capacity of i -th power plant in day d (GW)

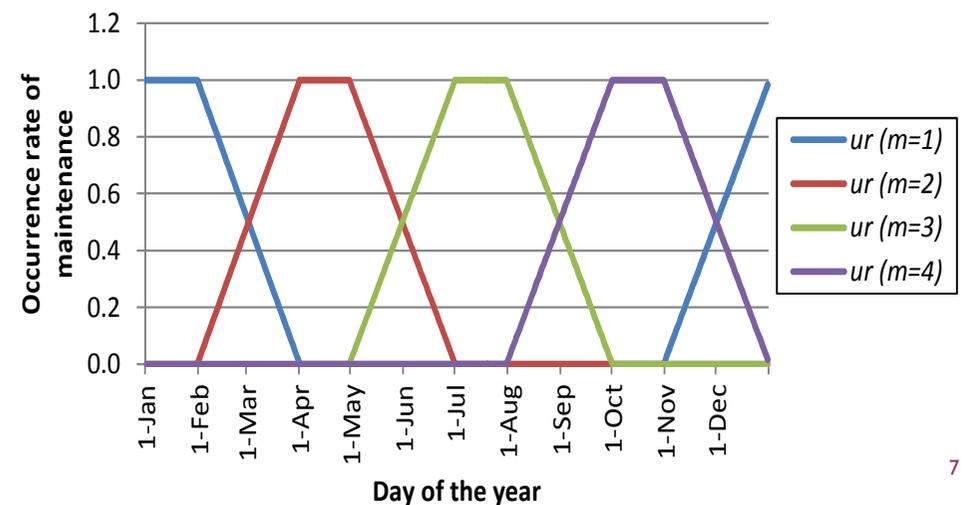
$MtK_{i,m}$: unavailable capacity of i -th power plant in m -th maintenance schedule (GW)

Exogenous Variables:

$ur_{m,d}$: occurrence rate of plant shutdown in day d due to maintenance of m -th schedule,

upa_i : annual average availability of i -th type of power plant, upp_i : seasonal peak availability of i -th power plant

Probability of Plant Shutdown for Maintenance



(参考) Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Renewable Energy*,139(8),1012-1028 (2019), Komiyama,R.,Fujii,Y.,*Energy Policy*,101(2),594-611(2017),

平成28年度産業経済研究委託事業調査(電力需給モデルを活用したシミュレーション調査)調査報告書<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000488.pdf>等々.

電力潮流のモデル化：直流法

- 電力潮流計算
 - 第 k 節点の電圧
 - 第 k 節点に接続された電流源（電源あるいは負荷）が供給あるいは消費する電力（ P :有効電力、 Q :無効電力）

$$\dot{V}_k = V_k e^{j\theta_k} \quad \theta_k : \text{位相角}$$

$$P_k + jQ_k = \dot{V}_k \bar{I}_k = \dot{V}_k \left(\bar{Y}_{k1} \bar{V}_1 + \bar{Y}_{k2} \bar{V}_2 + \dots + \bar{Y}_{kn} \bar{V}_n \right) = V_k e^{j\theta_k} \sum_{m=1}^n (G_{km} - jB_{km}) V_m e^{-j\theta_m}$$

$$= V_k \sum_{m=1}^n V_m [\cos(\theta_k - \theta_m) + j\sin(\theta_k - \theta_m)] (G_{km} - jB_{km}) \quad \dot{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km} : \text{アドミタンス}$$

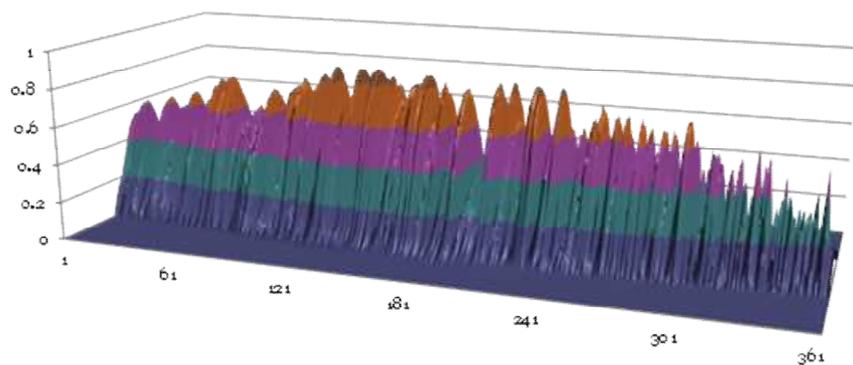
- 直流法による近似（有効電力のみを考慮）

$$P_k(V, \theta) = V_k \sum_{m=1}^n V_m [G_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + B_{ij} \sin(\theta_k - \theta_m)]$$

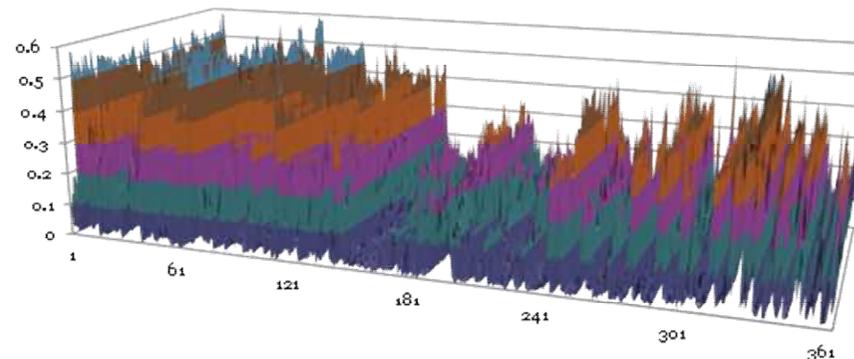
$$\approx V_k \sum_{m=1}^n V_m B_{km} (\theta_k - \theta_m) = V_k \sum_{m=1}^n V_m \operatorname{Im} \left[-\frac{1}{jX_{km}} \right] (\theta_k - \theta_m) = \sum_{m=1}^n \frac{(\theta_k - \theta_m)}{X_{km}} \quad X_{km} : \text{リアクタンス}$$

AMEDASデータによるPV、風力出力の推計

全国約1,300箇所
(赤で囲ったものは
風力発電出力の推計
に用いた観測所)

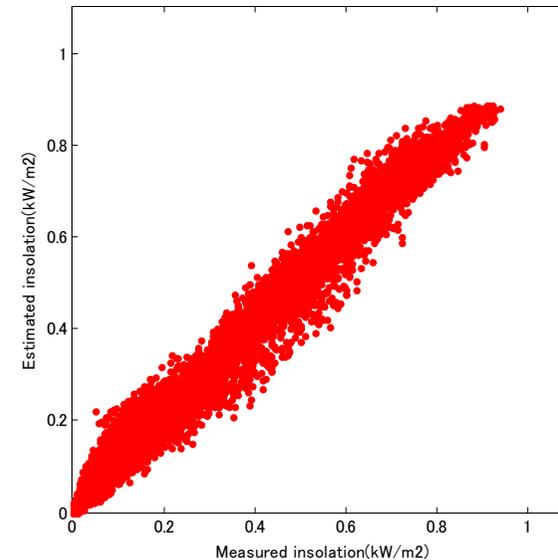
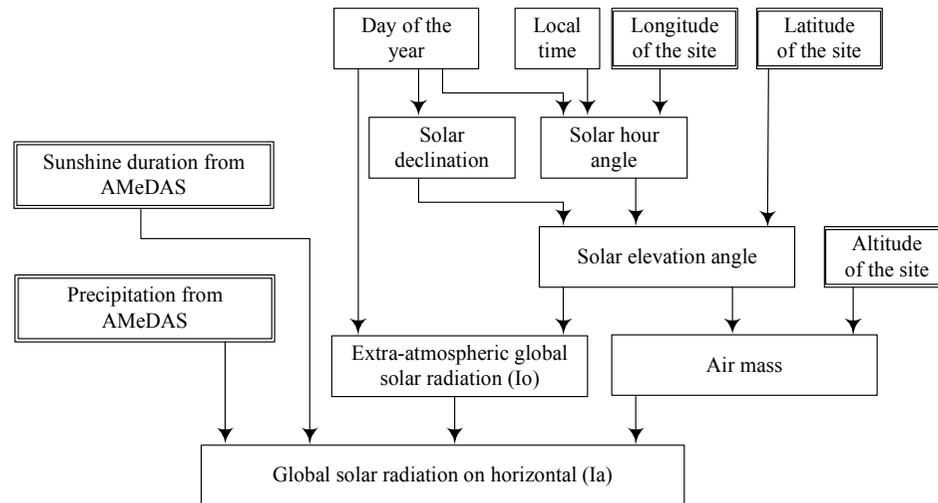


PV出力の例



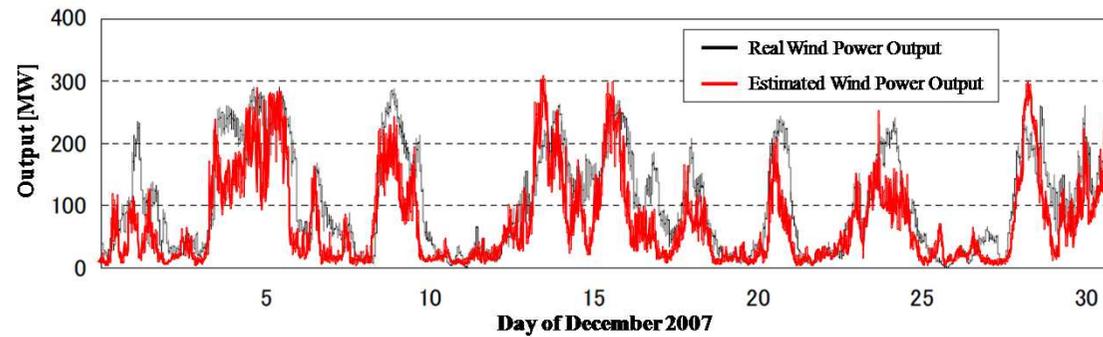
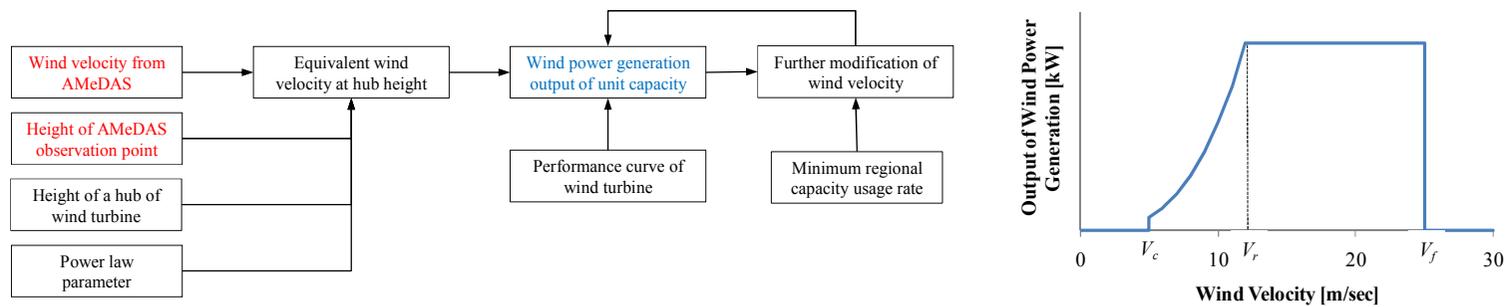
風力出力の例

AMEDASデータによるPV出力推計



地域平均の太陽光発電の出力の実測値と推計値（北陸）
（山岸良雄 博士論文 図3-3.6）

AMEDASデータによる風力出力推計



再エネ導入量の感度分析

■ 基準ケース (再エネ2割)

長期エネルギー需給見通しに準拠(再エネ比率23%) (風力1,000万kW,太陽光6,400万kW)

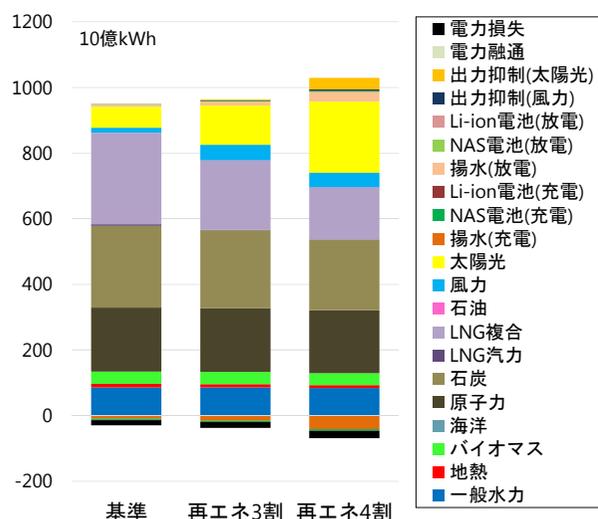
■ 再エネ3割ケース

再エネ電力比率を約3割に設定 (風力3,000万kW,太陽光1億2,800万kW)

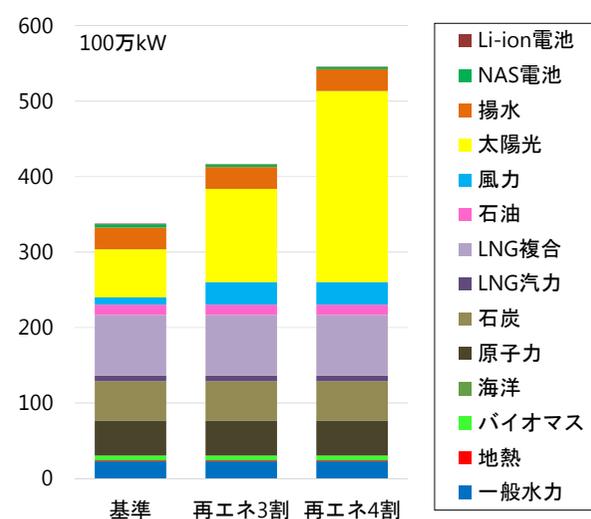
■ 再エネ4割ケース

再エネ電力比率を約4割に設定 (風力3,000万kW,太陽光2億5,600万kW)

発電量(日本全体)



設備容量(日本全体)

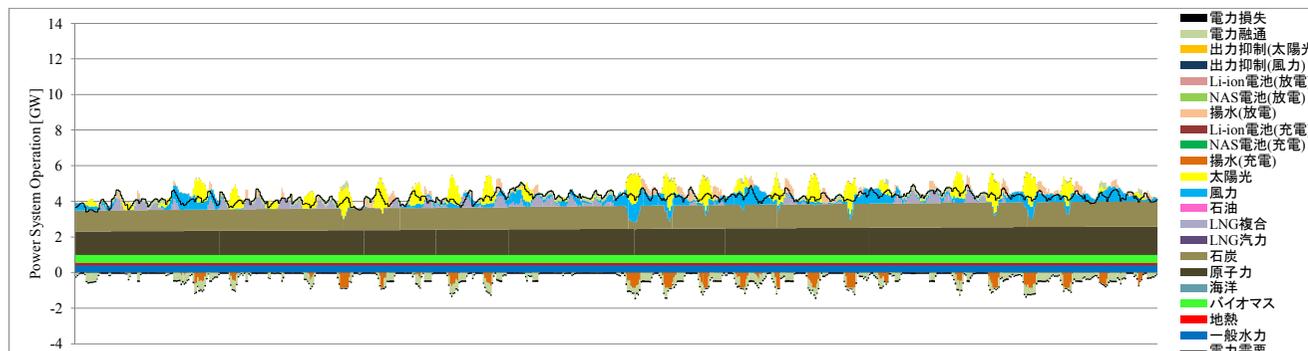


- 再エネ増加に伴い、LNG複合発電量低下、出力制御増加、揚水充放電が増加
- 稼働率の低い太陽光の増加に伴い、発電設備容量が大きく拡大

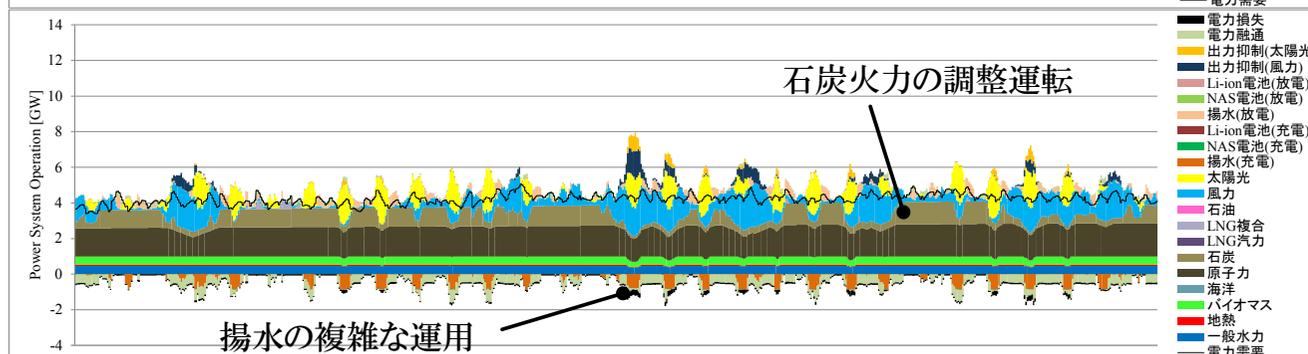
需給運用(12月、北海道)

再エネ大量導入下では、電力貯蔵(揚水)の容量制約、連系線(北本連系線)の容量制約、火力の最大限の最低出力運転により、太陽光・風力の大規模な出力制御が行われる。

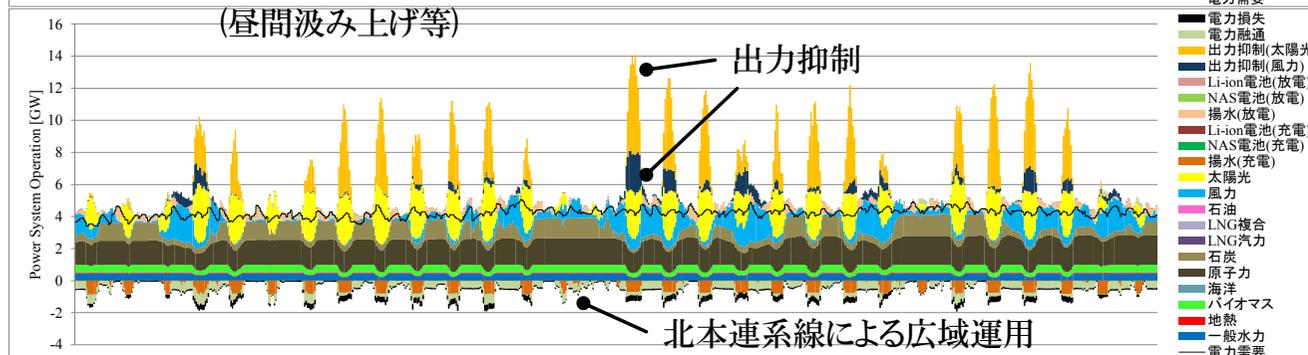
基準



再エネ3割



再エネ4割

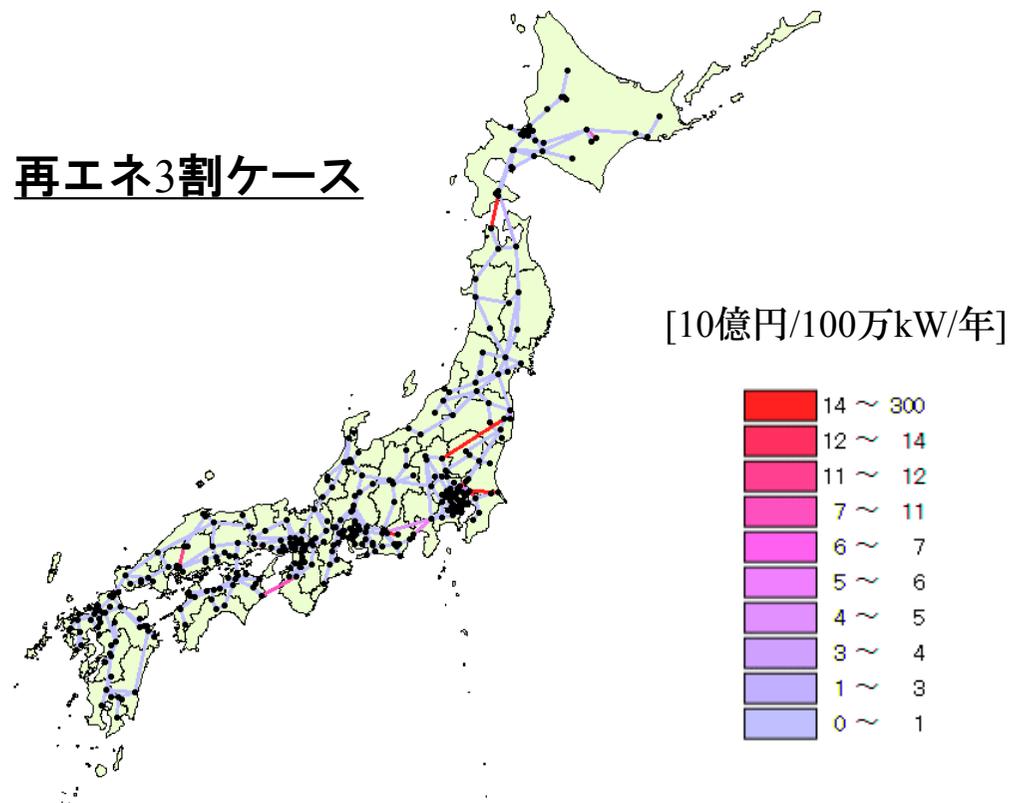


送電線増強の費用対効果(シャドープライス)*

* 送電線単位容量増強による電力システム総コスト限界削減額

■ 441本の送電線増強のシャドープライスを分析

- 北海道、東北等の連系線、地内線増強の費用対効果が相対的に高い傾向
- 適切な送電線容量増強が日本の電力システムコストの削減に貢献



電力地点別限界価格(ノーダルプライス)

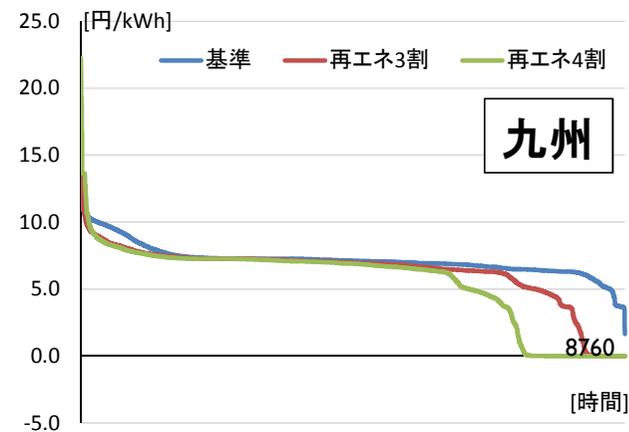
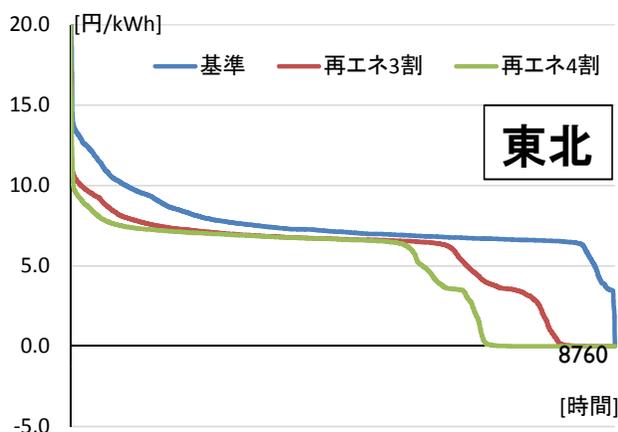
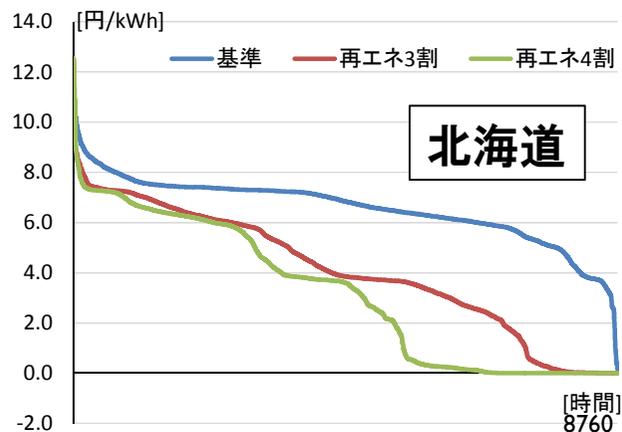
- 352地点の年平均電力価格の分析: 長期需給見通し想定(基準ケース)でも、再エネ電力の影響により、北海道や東北、九州では電力価格は相対的に低い。
- 再エネ3割、4割ケースでは、再エネ余剰電力の影響により、北海道や東北、九州など全国的に電力価格が低下。
- 再エネ大量導入下でのスポット価格、間接送電権の価格(母線間の値差に相当)等への示唆を与えていると考えられる。



電力価格(エリア価格)

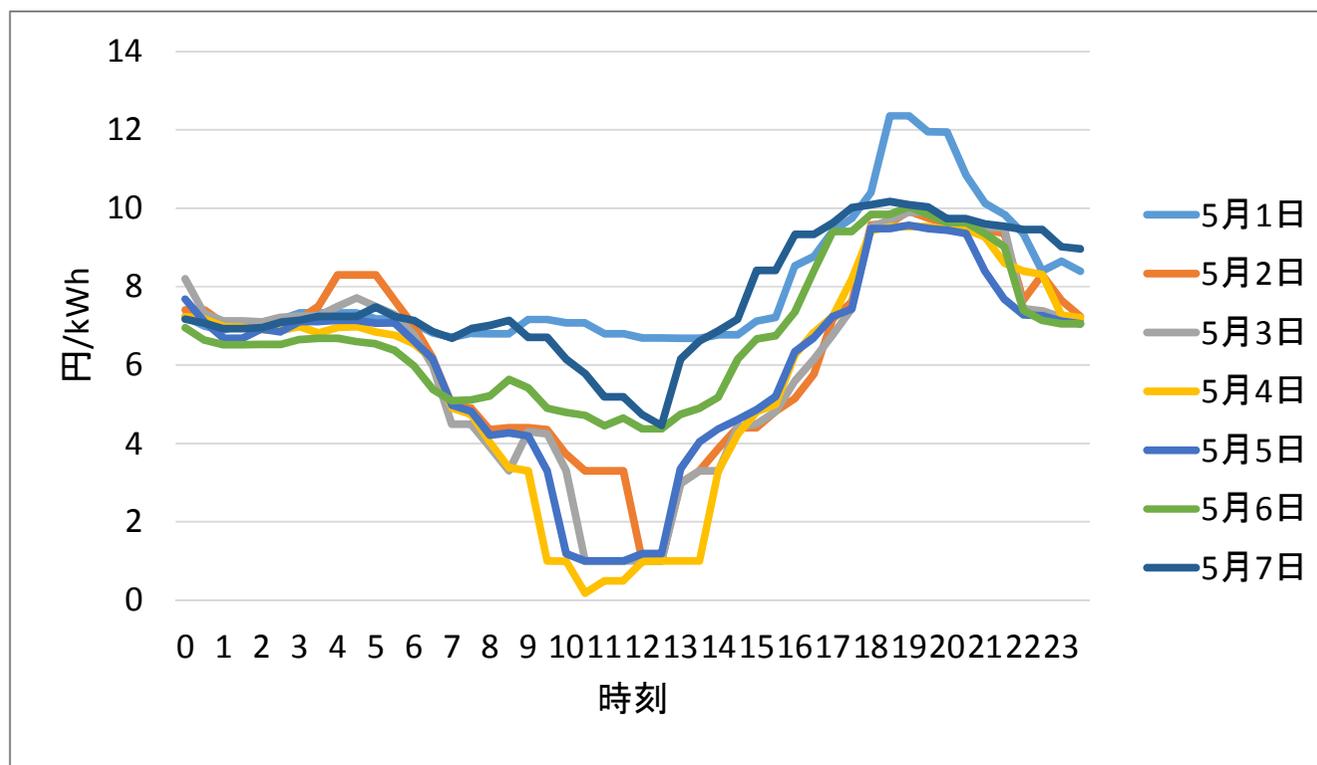
再エネ比率拡大につれ、北海道、東北等で電力価格が低下する時間帯が増加

- 再エネ4割ケース：北海道で年間3000時間、九州で年間1500時間で価格がゼロ



卸電力価格*の動向 (5月1日～5月7日, 2019年)

卸価格が昼間に安く、夜間に高くなることも

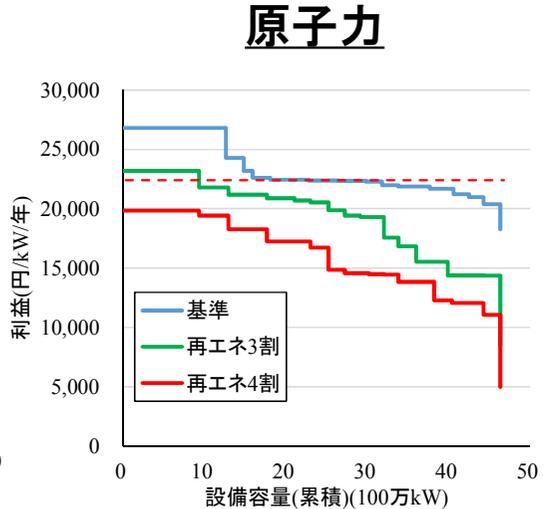
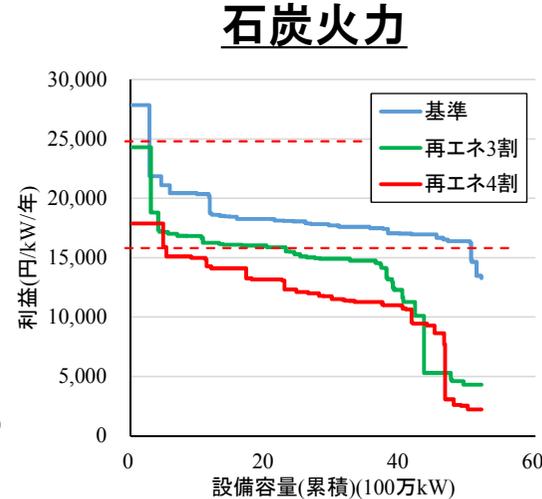
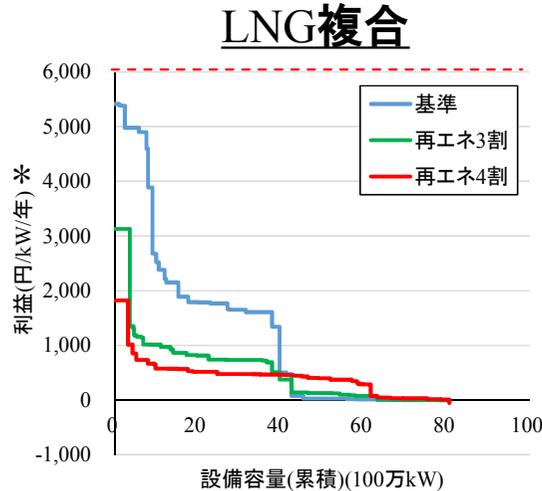


*システムプライス(日本全体の需給の約定価格)
(出所) 日本卸電力取引所 (JEPX)公開データを基に作成

電源の収益性分析

再エネ拡大による電力価格・稼働率低下→スポット市場からの収入の低下→スポット市場収入のみによる投資回収が困難化

- 【LNG複合】 スポット市場のみでの投資回収は困難 (固定費:年間6千~1万2千円)
- 【石炭火力・原子力】 再エネ3割ケースで、大半の容量がスポット市場のみでの投資回収が困難化 (石炭固定費:年間1万5千~2万5千円、原子力固定費:年間2万2千~3万7千円)



* 電力価格(ノーダルプライス)×発電量－燃料費

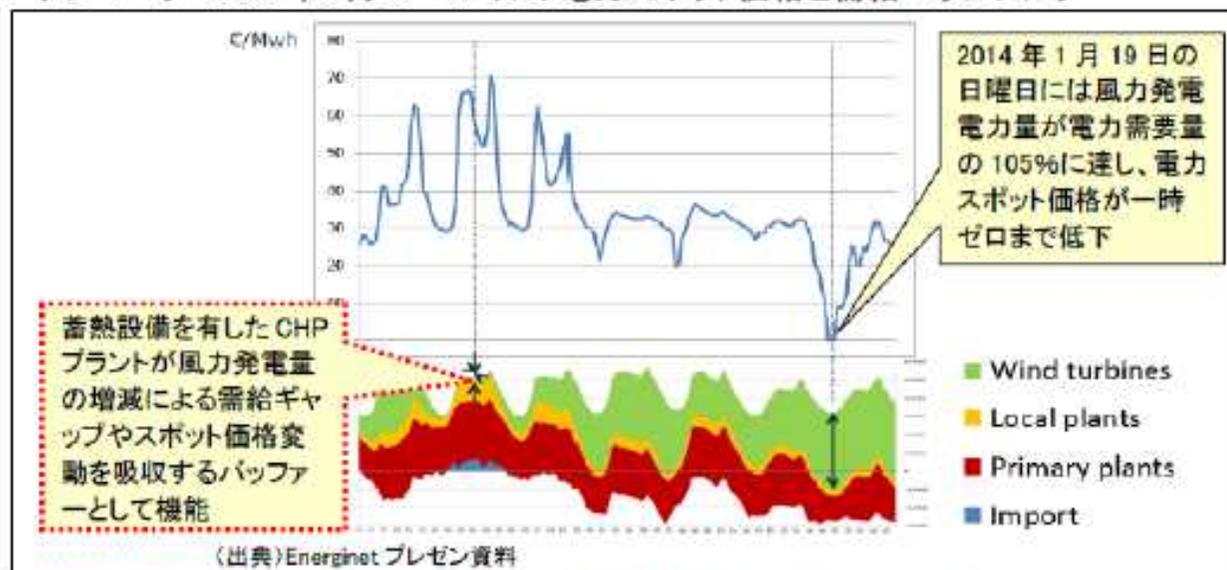
コージェネレーションシステム(CGS) によるデマンドレスポンス(DR)

【CGSの特徴】

- 省エネ
- 省CO₂
- BCP対策
- 優れた出力調整機能

デンマーク(風力が主力電源)では、CGSが出力調整することで需給の安定化に貢献 ⇒ 日本での可能性は？

デンマーク 2014年1月13～19日の電カスポット価格と需給バランス



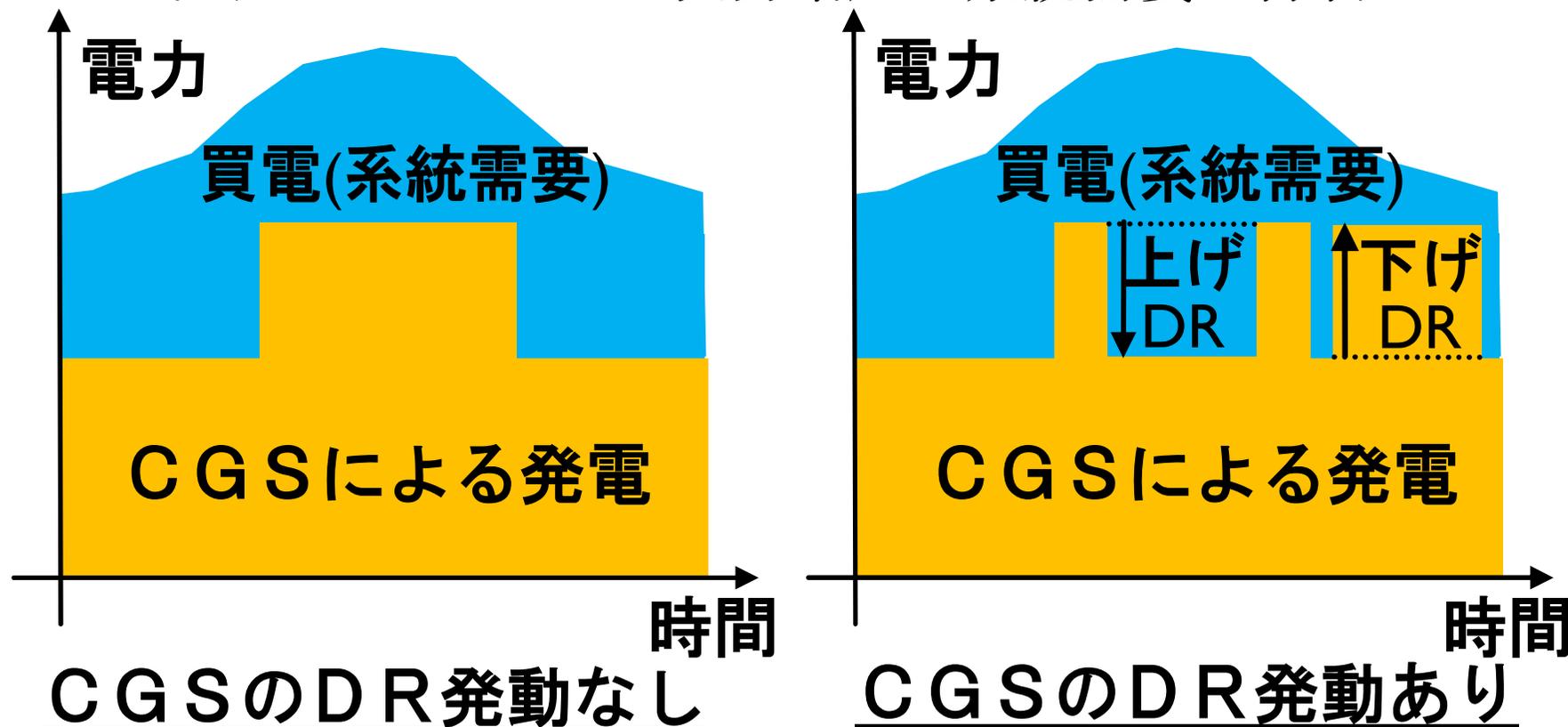
出典: コージェネ財団「2014年度欧州コージェネ(CHP)市場に関する調査」(概要)より

(出所) コージェネ財団; エネルギー政策に貢献するコージェネレーション, (2018), <https://www.ace.or.jp/web/info/pdf/CGS-Contributing-to-EnergyPolicy201807.pdf> (アクセス日 2019.6.10)

CGSによるデマンドレスポンス(DR)

CGSの運用余力、電力市場環境を踏まえ、DR発動も一つのオプション

- CGS上げDR： CGS出力抑制＝系統需要の創出
- CGS下げDR： CGS出力増加＝系統需要の抑制

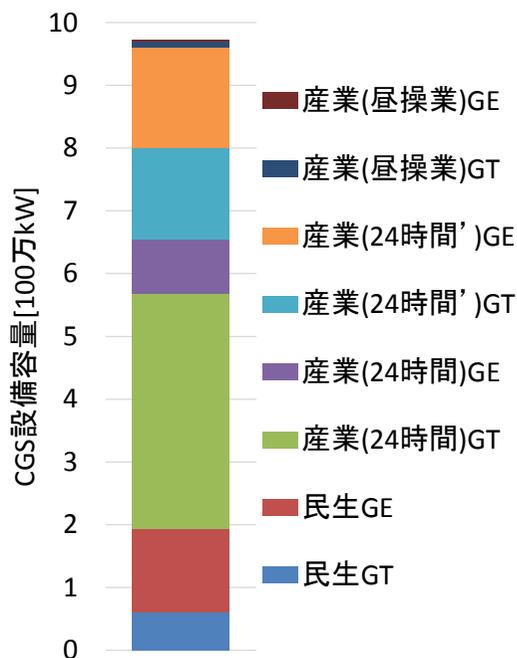


(出所) 小宮山, 藤井: 再エネ大量導入下でのコージェネレーションシステム(CGS)による上げDR・下げDR導入可能性分析, エネルギー・資源学会論文誌, 40(6), 232-241 (2019)

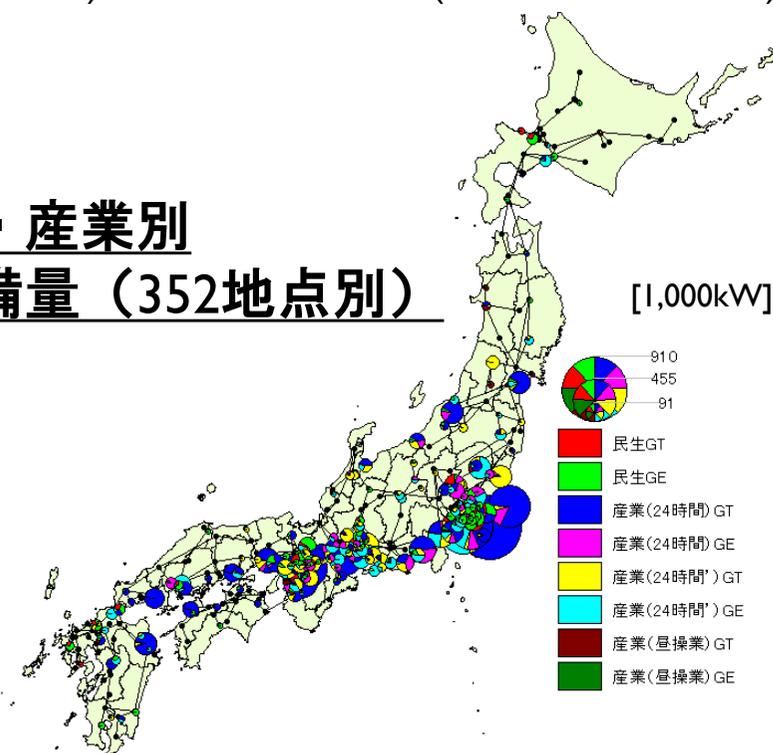
CGS設備量の想定

- 352地点別*にCGS設備量を調査・設定 (*最適電源構成モデルの地理的解像度)
- 日本全体でのDR発動対象のCGS設備量を計970万kWと想定 (2030年を想定)
- 原動機別: GE (ガスエンジン)、GT (ガスタービン)
- 部門別・CGS稼働パターン別: 「民生(ホテル・病院他)」、「産業(24時間)」:24時間操業・高負荷率、「産業(24時間)′」:24時間操業・低負荷率、「産業(昼操業)」:昼間操業等(DSS/WSS稼働等)

原動機別・部門別CGS設備量 (日本)



原動機別・産業別CGS設備量 (352地点別)



(出所) 小宮山, 藤井: 再エネ大量導入下でのコージェネレーションシステム(CGES)による上げDR・下げDR導入可能性分析, エネルギー・資源学会論文誌, 40(6), 232-241 (2019)

CGSによるDRポテンシャル推計(上げDR・下げDR)

- 需要家のCGS設備量に対し、どの程度の割合で、上げ・下げDRが可能か？
- 各部門の電力・熱負荷パターン、CGS稼働パターンを踏まえ想定

下げDR可能量(CGS設備量に対する比率)

	ガスエンジン(GE)	ガスタービン(GT)
民生(ホテル・病院等,その他)	昼間:10%、夜間:100%	昼間:10%、夜間:50%
産業(24時間) (24時間操業:負荷率高)	昼間:10%、夜間:20%	昼間:10%、夜間:20%
産業(24時間') (24時間操業:負荷率低)	昼間:10%、夜間:100%	昼間:10%、夜間:50%
産業(昼操業) (昼間操業等)	昼間:10%、夜間:0%	昼間:10%、夜間:0%

上げDR可能量(CGS設備量に対する比率)

	ガスエンジン(GE)	ガスタービン(GT)
民生(ホテル・病院等,その他)	昼間:25%、夜間:0%	昼間:25%、夜間:0%
産業(24時間) (24時間操業:負荷率高)	昼間:25%、夜間:5%	昼間:25%、夜間:5%
産業(24時間') (24時間操業:負荷率低)	昼間:25%、夜間:0%	昼間:25%、夜間:0%
産業(昼操業) (昼間操業等)	昼間:25%、夜間:0%	昼間:25%、夜間:0%

- 下げDR (昼間) : 民生・産業共に、発動要請時、施設内DRにより調整力として10%抛出可能と想定
- 下げDR (夜間) : 各部門の電力・熱負荷パターンに応じて設定
 「産業(24時間)」高負荷を踏まえ20%を想定、「産業(24時間')」低負荷(余力高)を踏まえ50%~100%を想定、
 「産業(昼操業等)」夜間は熱負荷なし⇒下げDR発動もなし(0%)
- 上げDR (昼間) : 民生・産業共に、CGS稼働時は最低稼働負荷を75%、上げDR可能量を25%と想定
- 上げDR (夜間) : 「産業(24時間)」高負荷を踏まえ5%を想定、その他部門は0%と想定

(出所) 小宮山, 藤井: 再エネ大量導入下でのコージェネレーションシステム(CGS)による上げDR・下げDR導入可能性分析, エネルギー・資源学会論文誌, 40(6), 232-241 (2019)

CGS 上げDR、下げDR

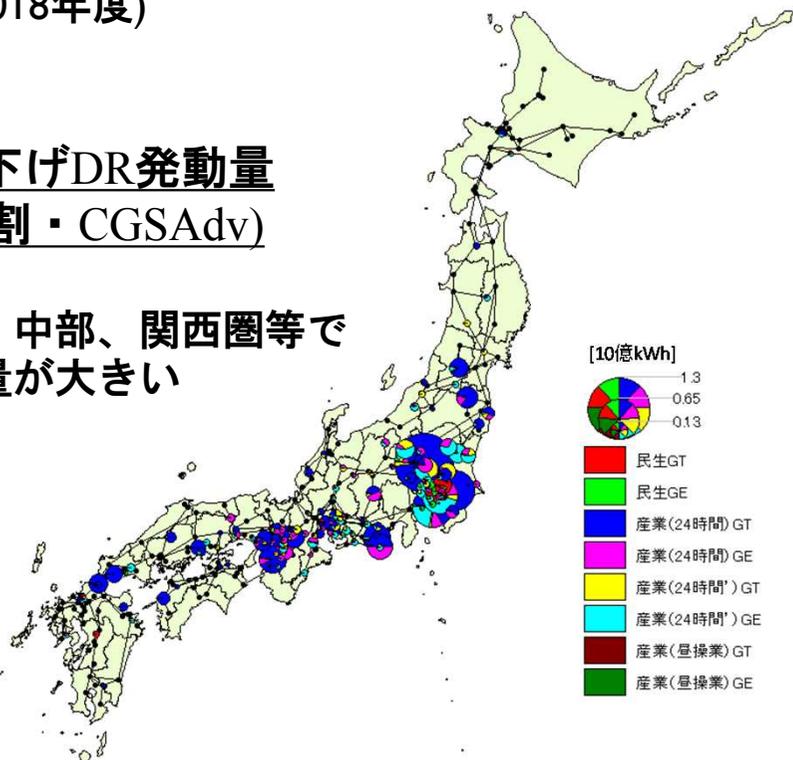
CGSのDR発動量(再エネ比率, CGS調整コスト別)

- 下げDR: 最大180~370万kW, 40~100億kWh
- 上げDR: 最大0~150万kW, 0~8億kWh

*参考: 電源 I'(DR分)調達量(調整力公募実績): 96万kW(2018年度)

CGS下げDR発動量 (RE2割・CGSAdv)

関東、中部、関西圏等で発動量が大きい

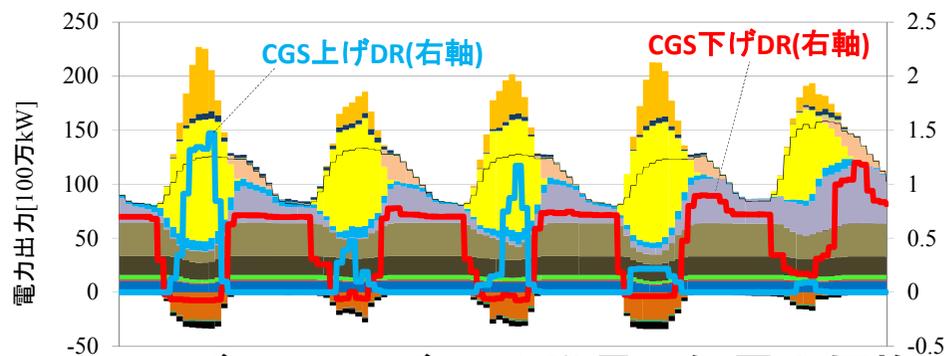


(出所) 小宮山, 藤井: 再エネ大量導入下でのコージェネレーションシステム(CGSS)による上げDR・下げDR導入可能性分析, エネルギー・資源学会論文誌, 40(6), 232-241 (2019)

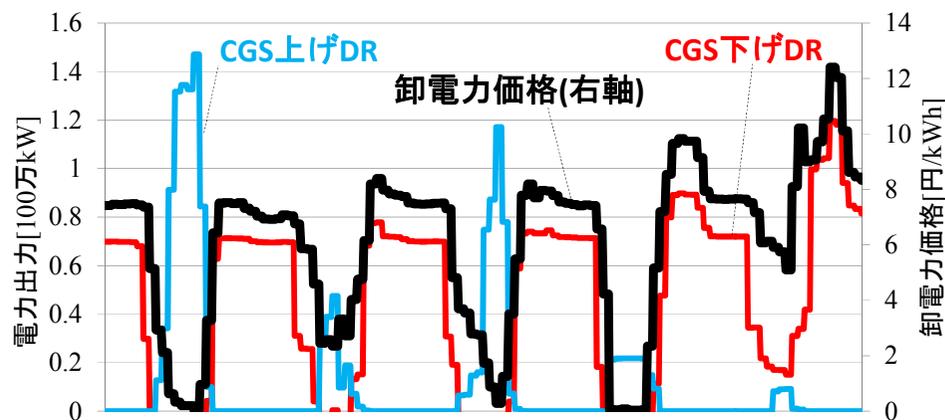
日本全体の電力需給運用(5月、5日間)



CGSコスト基準・再エネ比率4割(CGSS・RE4割)



CGS上げDR・下げDR発動量と卸電力価格



洋上風力のポテンシャル(環境省、2015年)

Assessment of Preferable Power Substations, Accessible to Offshore Wind Resource

Developable Condition

■ Wind Velocity

Fixed-bottom(着床式): > 7.0m/s

Floating(浮体式): > 7.5m/s

■ Sea Depth:

Fixed-bottom: less than 50m

Floating: > 7.5m/s

■ Distance from Coastline:

Fixed-bottom: from 10km to 40km

Floating: from 40km to 80km

■ Distance from Onshore Substation:

less than 100km

■ Developable Site:

other than National Park

Electricity Supply Area	Supposed Capacity (GW)		Promising area			
			Firstly extracted (GW)		Secondly selected (GW)	
	bottom-mounted	floating	bottom-mounted	floating	bottom-mounted	floating
Hokkaido	0.50	0.00	0.68 (10 km)	0.00 -	0.60 (10 km)	0.00 -
Tohoku	7.00	5.50	9.91 (30 km)	9.02 (40 km)	7.47 (30 km)	8.96 (80 km)
Tokyo	7.10	6.50	7.52 (30 km)	15.26 (50 km)	7.60 (40 km)	7.83 (70 km)
Hokuriku	0.00	0.00	-	-	-	-
Chubu	3.60	3.80	5.88 (20 km)	5.58 (20 km)	4.37 (20 km)	4.75 (40 km)
Kansai	0.00	0.30	0.00 -	1.01 (30 km)	0.00 -	1.01 (30 km)
Chugoku	0.00	0.00	-	-	-	-
Shikoku	3.00	0.60	0.48 (30 km)	3.04 (60 km)	0.48 (30 km)	2.69 (60 km)
Kyushu	4.00	0.90	0.44 (30 km)	1.68 (60 km)	0.44 (30 km)	1.68 (60 km)
Okinawa	0.00	0.00	-	-	-	-
Sum	18.90	17.60	24.91 -	35.59 -	20.96 -	26.92 -

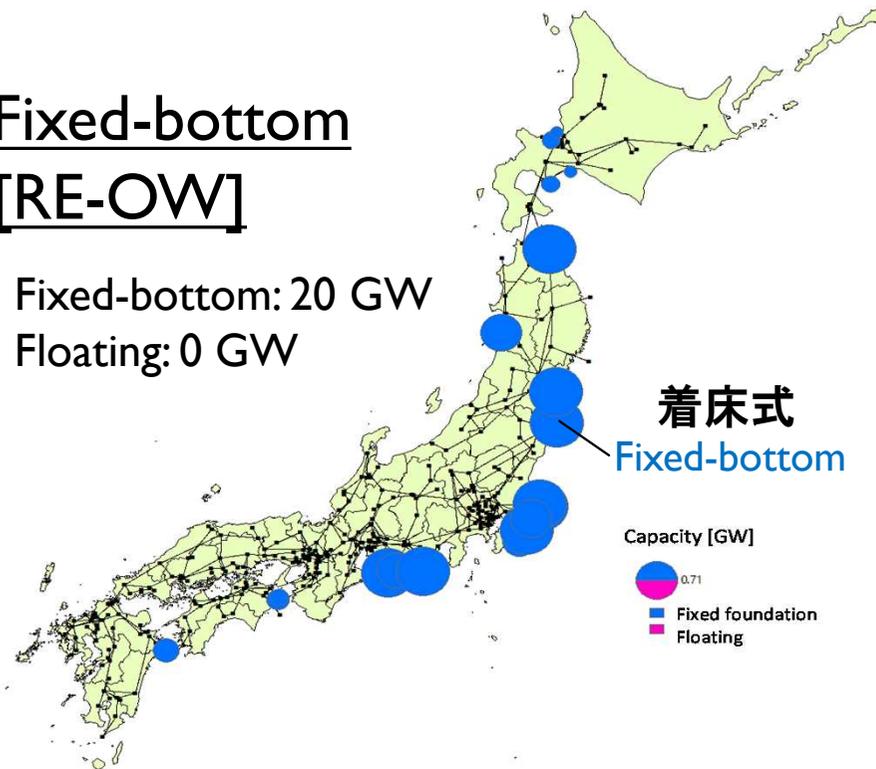
MOE study: Fixed-bottom: 21 GW, Floating: 27 GW

This study: Fixed-bottom: 20 GW, Floating: 13 GW (half of MOE)

洋上風力発電の導入可能性分析

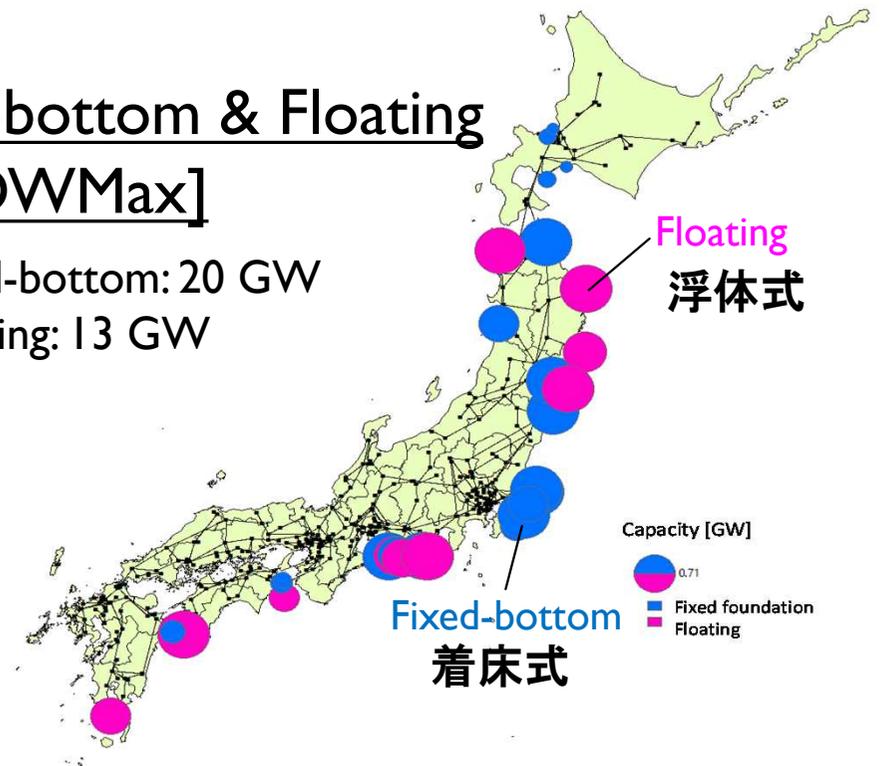
Fixed-bottom [RE-OW]

Fixed-bottom: 20 GW
Floating: 0 GW



Fixed-bottom & Floating [RE-OWMax]

Fixed-bottom: 20 GW
Floating: 13 GW

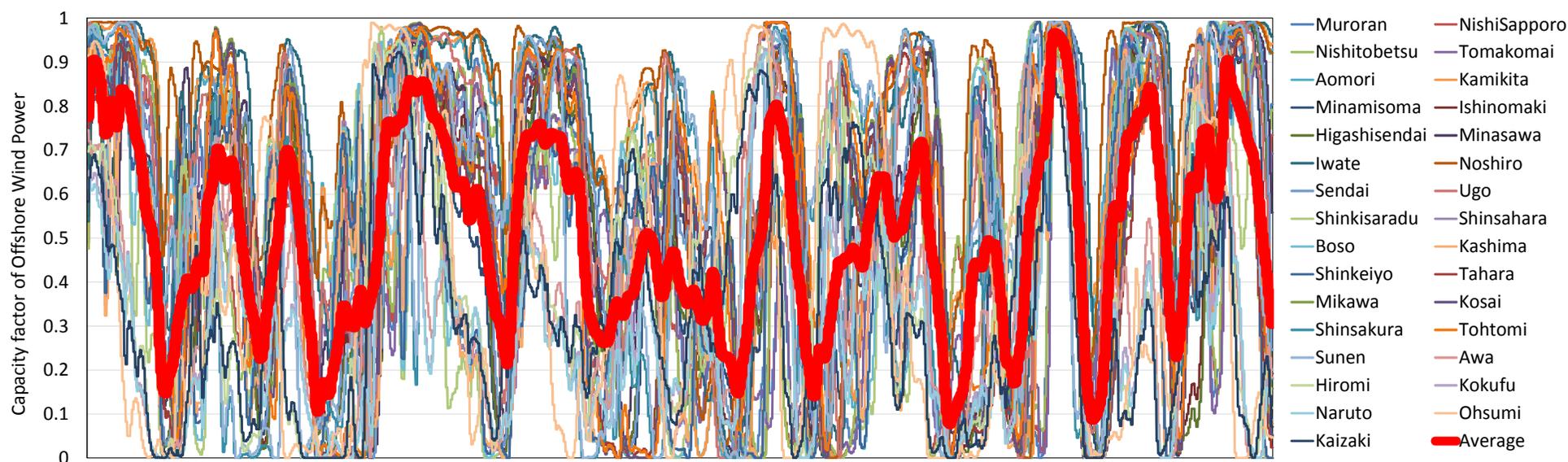


Fixed-foundation offshore is mainly available in Eastern Japan

(出所) Komiyama,R., Fujii,Y.; IEW2019 (The 38th Edition of International Energy Workshop), Paris, France, June 3, 2019

洋上風力発電の出力パターン

Monthly Profile in January of 31 offshore nodes



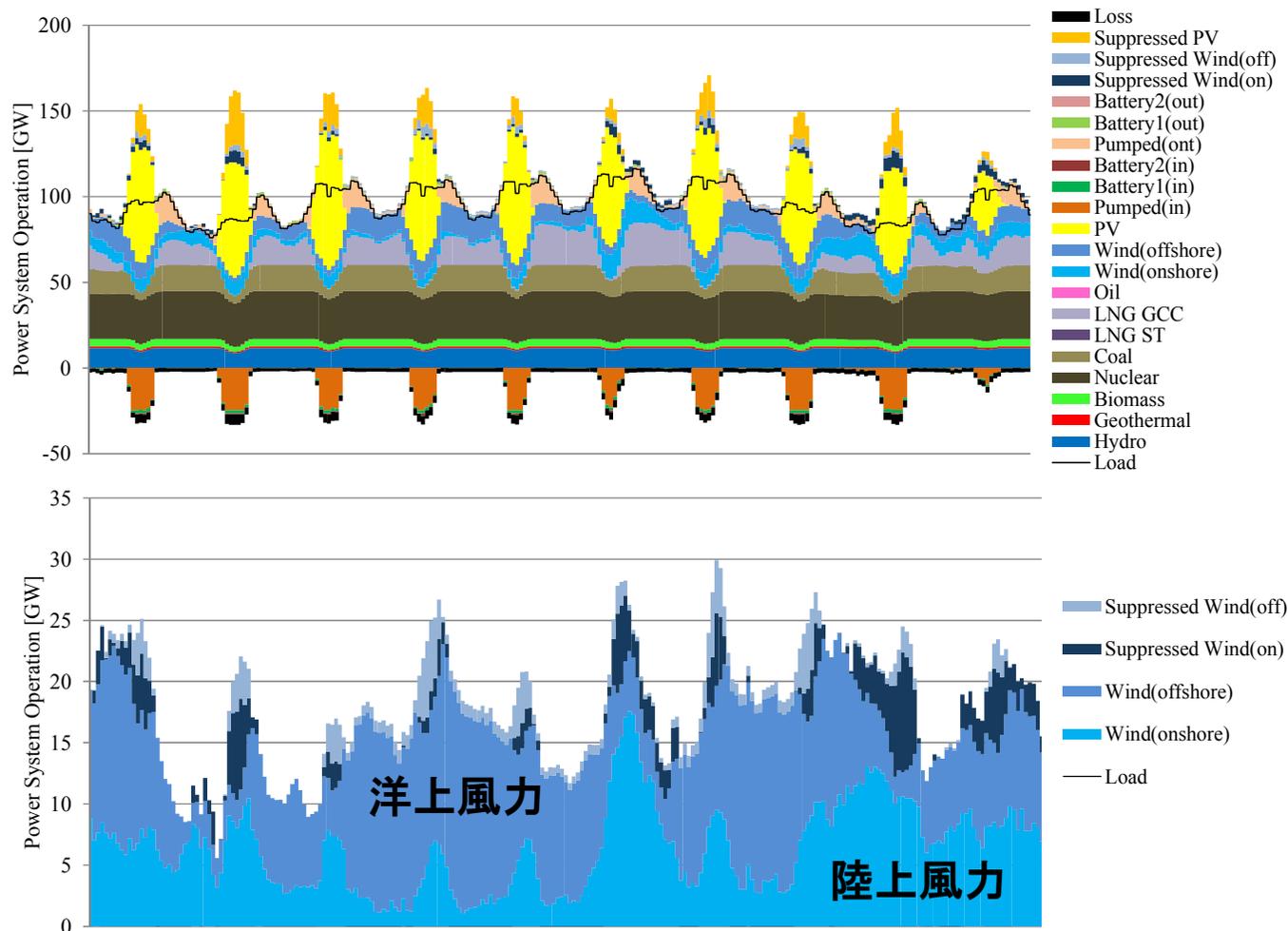
- Capacity Factor (Annual Average): **37%**, higher in coast facing Pacific Ocean
- A trend of countrywide synchronization in a daily or weekly cycle
- If large-scale integration, solving daily or weekly imbalance is required.

(出所) Komiyama,R., Fujii,Y.; IEW2019 (The 38th Edition of International Energy Workshop), Paris, France, June 3, 2019

電力需給運用(1月、日本全体)

RE-OWMax cases (Full Integration of Offshore Wind)

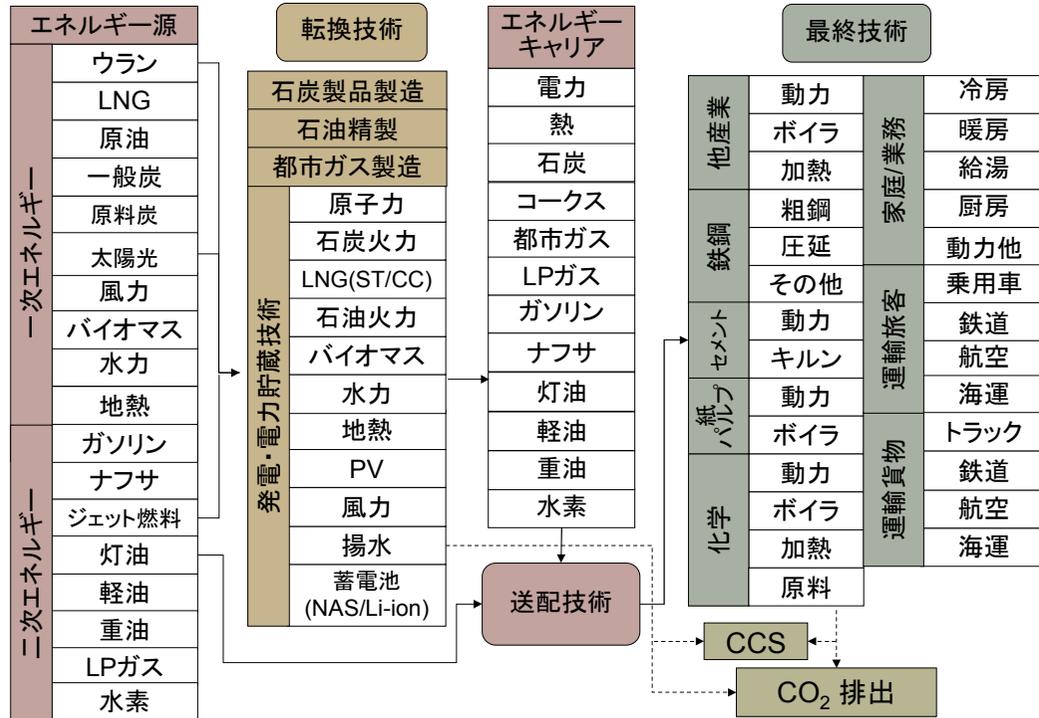
- Offshore wind largely replaces the role of thermal power generation (LNGCC, Coal-fired)
- Less variability of offshore wind than onshore wind



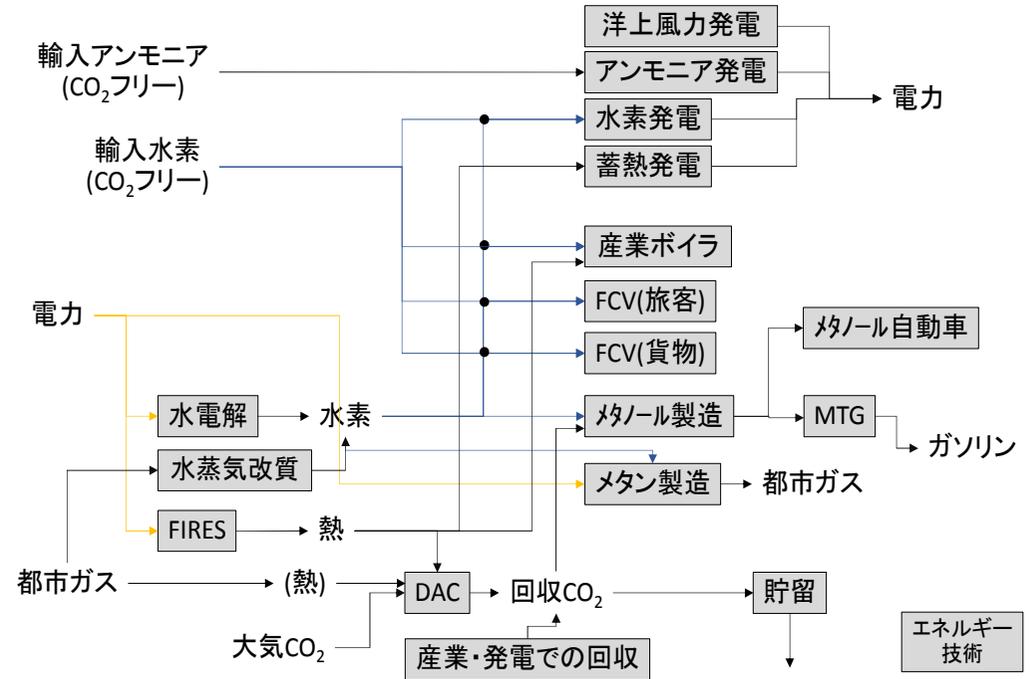
(出所) Komiyama,R., Fujii,Y.; IEW2019 (The 38th Edition of International Energy Workshop), Paris, France, June 3, 2019

エネルギー技術選択モデル

エネルギー技術選択モデル
(システム総コスト最小化型モデル)*



新技術のモデル化* (水素、燃料電池自動車、蓄熱発電、大気中CO₂直接回収、メタネーション、アンモニア等)

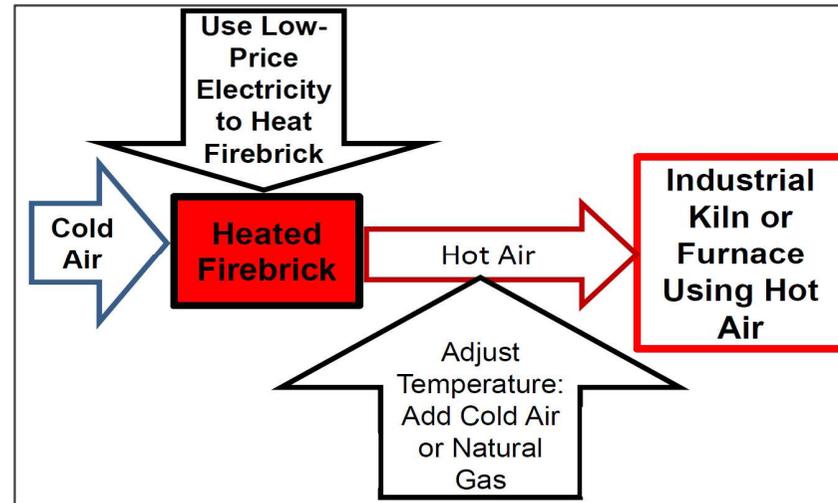


* 川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

蓄熱装置 (Firebrick Resistance Heated Energy Storage, FIRES)



(Source) Forsberg, C. "Variable Electricity From Base-Load High-Temperature Reactors Using Brayton Power Cycles and Heat Storage" The University of Tokyo, January 19, 2017



FIRESの特徴

- 耐火レンガによる蓄熱
- 抵抗器を利用して1100°C程度まで耐火レンガを加熱

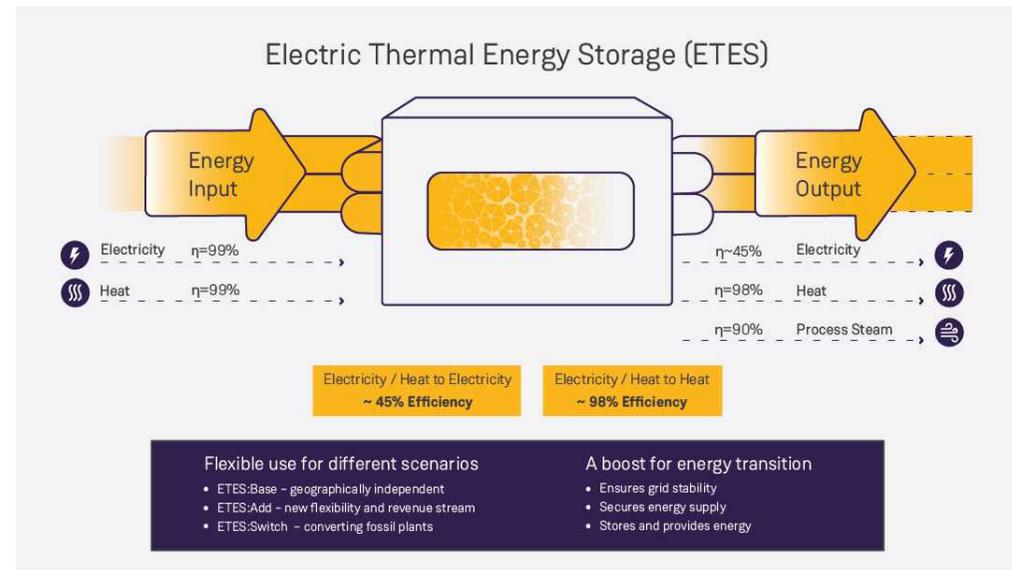
卸電力価格低下→電力をFIRESへ供給→耐火レンガを加熱、熱貯蔵→産業用熱利用、卸電力価格上昇時に発電利用

(Reference)

[1] Joint MIT-Japan White Paper: Compatibility of Nuclear And Renewables with Grid Stability, Economics and Deregulation<<https://ipc.mit.edu/sites/default/files/documents/MIT-Japan%20White%20Paper%20Combined%20Final.pdf>>

[2] Haratyk,G., Komiyama,R., Forsberg,R., Lester,R., Fujii,Y., Omoto,A., Taniguchi,T., Curtis,D. and Sepulveda,N., Integrating Nuclear and Renewable Electricity in a Low-Carbon World: MIT-Japan Future of Nuclear Power Studies, Proceedings of ICAPP 2017; Paper 17758, Fukui and Kyoto, Japan, April 24-28, 2017

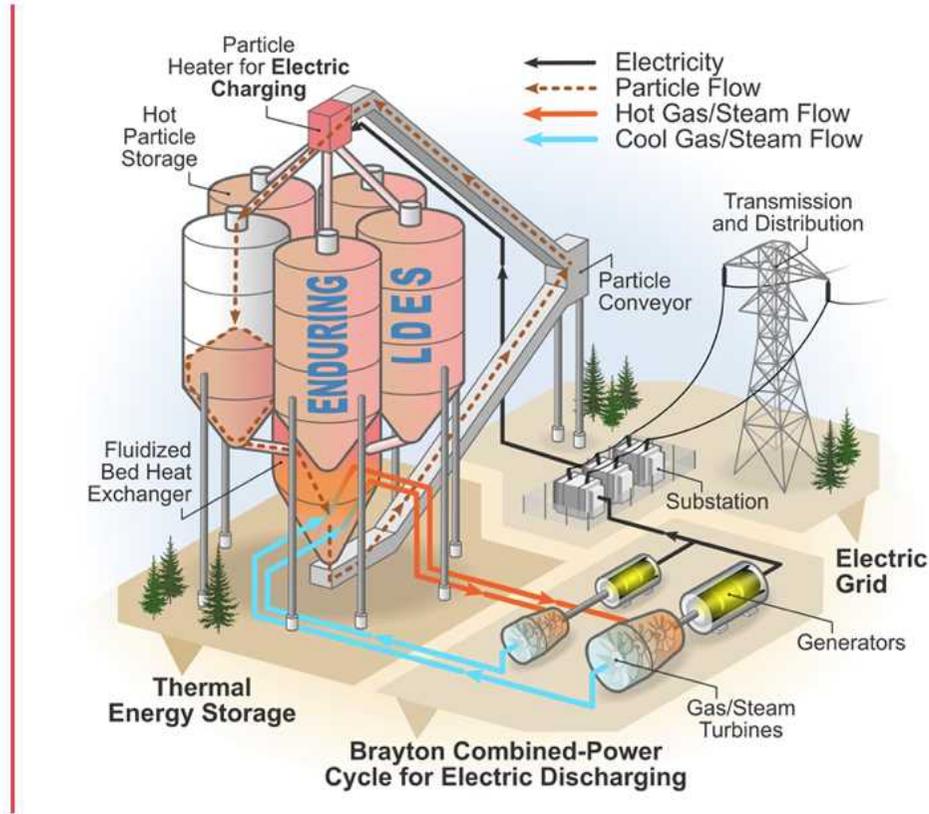
蓄熱発電(Siemens)



火山岩(1000トン)、750°C、
容量：130MWh

(出所)<https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/hybrid-and-storage/thermal-energy-storage-with-etes>

蓄熱発電(NREL)



(出所) <https://www.solarpaces.org/nrel-awarded-2-8-million-to-develop-a-long-duration-thermal-energy-storage-technology/>

大氣中CO₂直接回收技術 (DIRECT AIR CAPTURE: DAC)

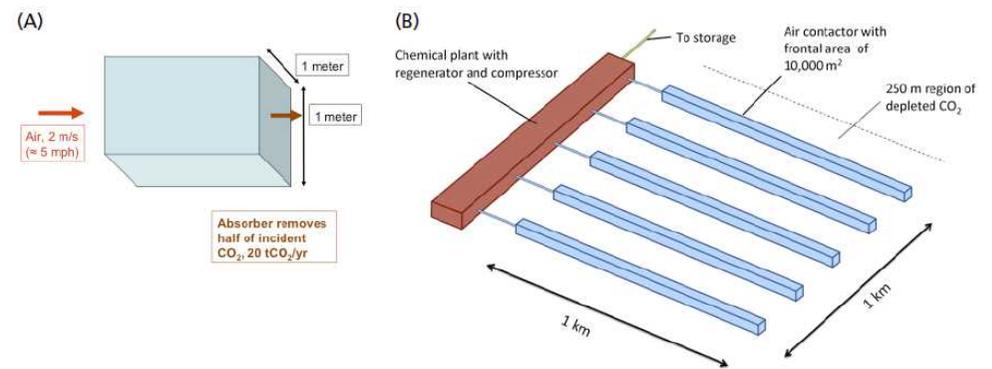
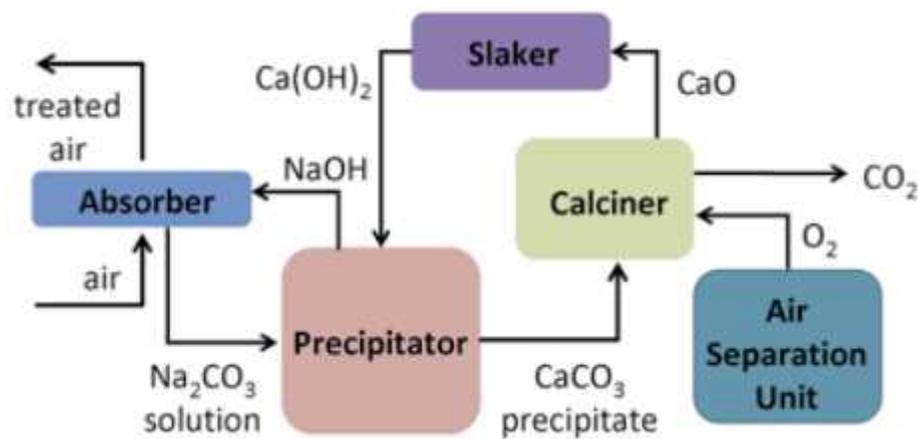


Figure 1.2. Schematic representations of A) a 1 m² intake area contactor capturing 20 tCO₂/yr, and B) a facility for capturing 1 MtCO₂/yr. The facility in B consists of five structures, each 10 meters high and 1 km long, and could collect 1 MtCO₂/yr if air passed through at 2 m/s and 50% of the CO₂ were collected. The structures are spaced 250 meters apart, and the footprint of the system is roughly 1.5 km². Approximately six of these systems would be required to compensate for the emissions of a 1 GW coal plant. Buildings not to scale.

(出典) Robert Socolow et al., Direct Air Capture of CO₂ with Chemicals, The American Physical Society, 2011

タイトル / Title

太陽光と空気からカーボンニュートラル燃料を製造

Carbon-neutral fuels made from sunlight and air

機関 / Organization

ETH Zurich

期間 / Period

2019年6月
June/2019

ETHチューリッヒの屋上にあるソーラー製油所は、熱化学生産技術によりカーボンニュートラルである炭化水素燃料を生産している。高温の太陽光反応器は、集結した太陽光エネルギーにより、周囲の空気から二酸化炭素と水を直接抽出、分解し、灯油やメタノールなどの炭化水素となる合成ガスを生成する。抽出された燃料は、燃焼過程において抽出時に分解されたのと同量のCO₂しか排出しないため、持続可能な航空や持続可能な海運に貢献する。



Solar mini-refinery for sustainable fuels at ETH Zurich
写真提供 / Source Aldo Steinfeld et al.
<https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/06/pr-solar-mini-refinery.html>

The solar mini-refinery on the roof of ETH Zurich demonstrates the technology for the thermochemical production of carbon-neutral liquid hydrocarbon fuels. Using concentrated solar energy, a high-temperature solar reactor splits CO₂ and water extracted directly from ambient air and produces syngas, which is processed into hydrocarbons such as kerosene or methanol. These drop-in fuels are carbon neutral because they release only as much CO₂ during combustion as was previously extracted from the air, and can therefore contribute particularly to sustainable aviation and shipping.

ICEF 2019

タイトル / Title

CO₂と水素からメタノールを製造する新たな酸化インジウム触媒A new chemical catalyst based on indium oxide that converts CO₂ and hydrogen into methanol

機関 / Organization

ETH Zurich

期間 / Period

2019年7月
July/2019

ETHチューリッヒは、酸化インジウムを少量のパラジウムで処理することで、CO₂水素化によるメタノール製造用触媒の活性を選択性や安定性を損なうことなく高めることに成功した。ETHチューリッヒはトタルと共同で特許を申請。トタルは、製造規模も拡大することを計画し、今後数年以内での実証プラントへの実装を目指している。

ETH Zurich succeeded in boosting the activity of the catalyst for methanol production via CO₂ hydrogenation, without affecting its selectivity or stability. They achieved this by treating the indium oxide with a small quantity of palladium. ETH Zurich and Total have jointly filed a patent for the technology. Total now plans to scale up the approach and potentially implement the technology in a demonstration unit over the next few years.



写真提供 / Source ETH Zurich

ICEF 2019

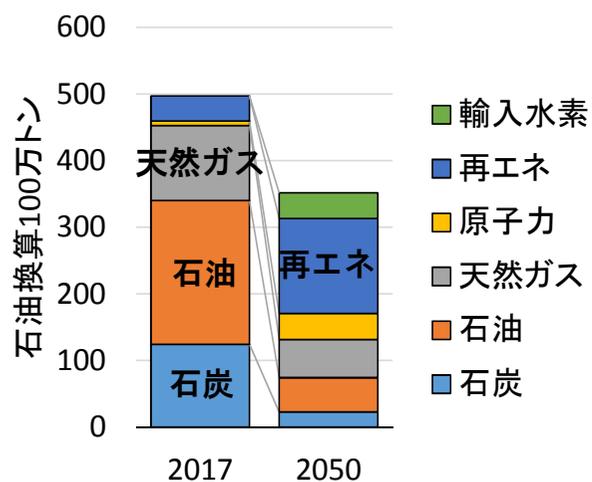
(出所)https://www.icef-forum.org/pdf2018/top10/Top10_ICEF2019.pdf

2050年長期エネルギー需給見通し(日本全体)

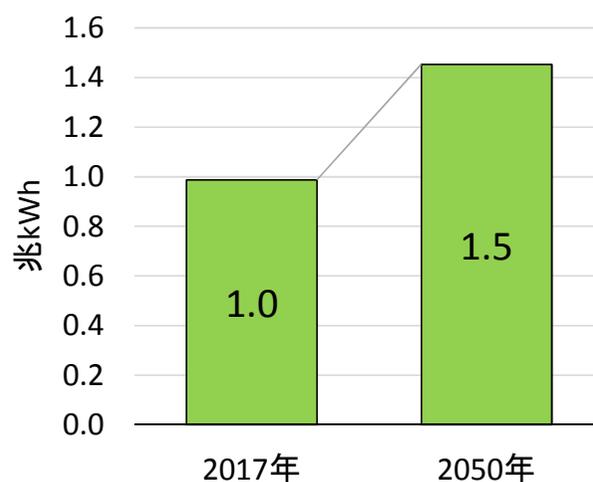
- CO₂80%削減(2017年12億トン→2050年2億トン)：省エネ進展、電化、再エネ拡大
- 原子力の想定：40年運転+20年運転延長、新增設無(2017：約40GW→2050：約20GW)

- 省エネ(一次ベース)：約3割(現状比)の省エネ進展 ;エネルギー利用高効率化
- 電力需要：1兆kWh(2017)→1.5兆kWh(2050) ;EVやヒートポンプ技術拡大
- 再エネ電源比率：2割(2017)→8割(2050) ;自然変動電源比率：1割→6割
- CO₂限界削減費用(シャドープライス)：2050年 30万円/トン-CO₂

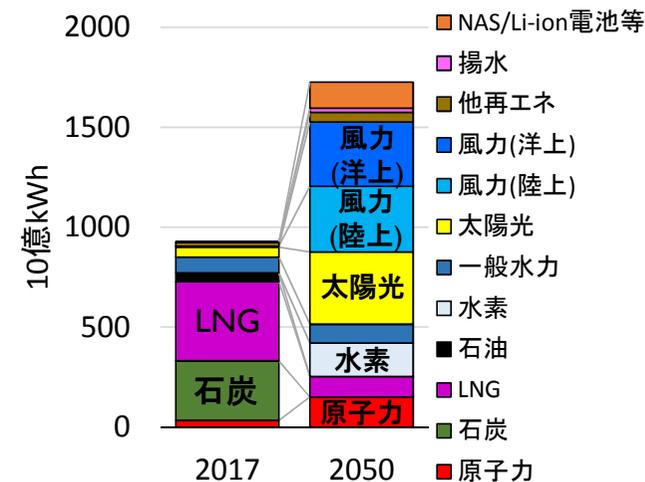
一次エネルギー供給



電力需要



電源構成(発電量)

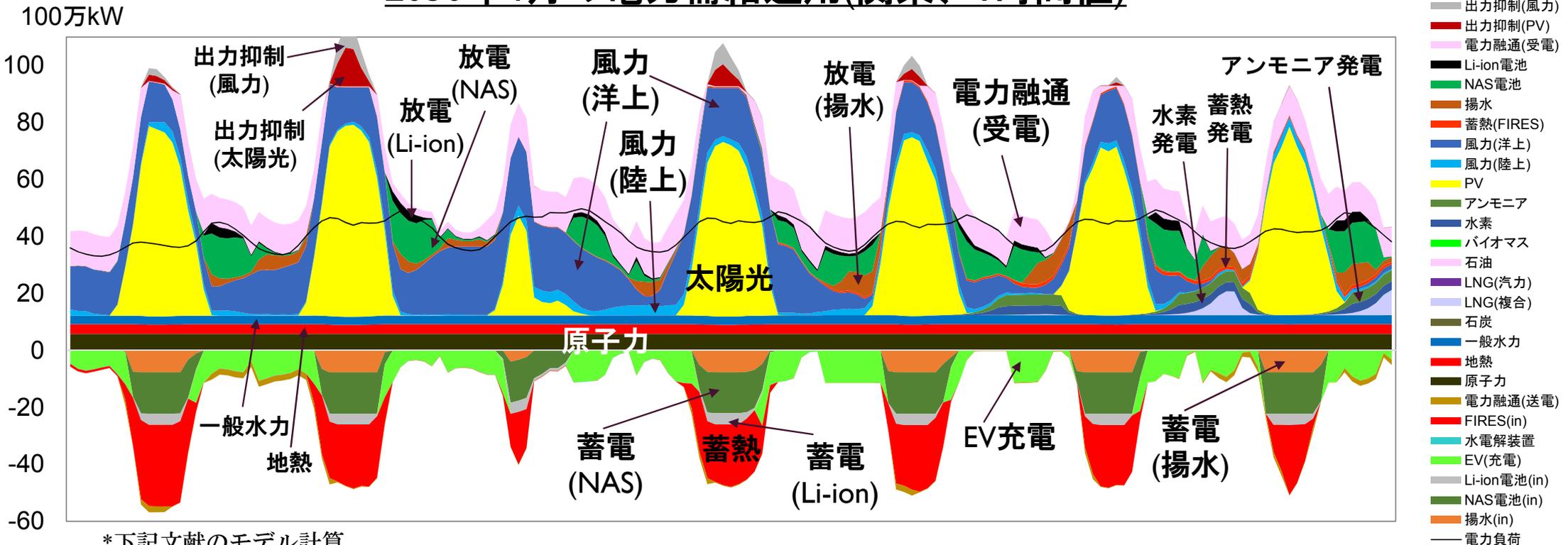


(文献)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

電力需給運用(2050年)

- 再エネ大量導入→需給バランス維持の困難化、余剰電力時の対応強化が必要
- 限界費用の安い電力を活用する産業創出を示唆
(電力貯蔵、水素、合成燃料製造、メタネーション、DAC(Direct Air Capture)等)

2050年4月の電力需給運用(関東、1時間値)



*下記文献のモデル計算

(文献)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

今後の展開

- ◆ 日本の全ての(大型)発電機を考慮した起動停止計画モデル構築
- ◆ 再エネ出力変動の不確実性を考慮した電力需給シミュレーション
- ◆ 技術のライフサイクルを考慮したエネルギー技術評価モデル構築
- ◆ 新技術の評価
電力貯蔵(石、(溶融)塩(solar salt, 260°C)、化学蓄熱、潜熱(蒸気・氷))、CCUS技術等