

再生可能エネルギーの主力電源化 -解決すべき課題-

2021.1.4

横浜国立大学大学院工学研究院 教授
大山 力



再生可能エネルギー電源

自然エネルギーなので...

- : 環境にやさしい
- : 純国産エネルギー
- : 低密度
容量の小さい発電システムが多数導入
配電線、低電圧送電線への連系
(コストをかけずに対応可能か?)
- : 出力変動
供給力としてどれだけあてにできるか
大量導入時の需給バランス

配電線への大量連系

低圧多数導入への対応



電力の逆流

配電線電圧分布

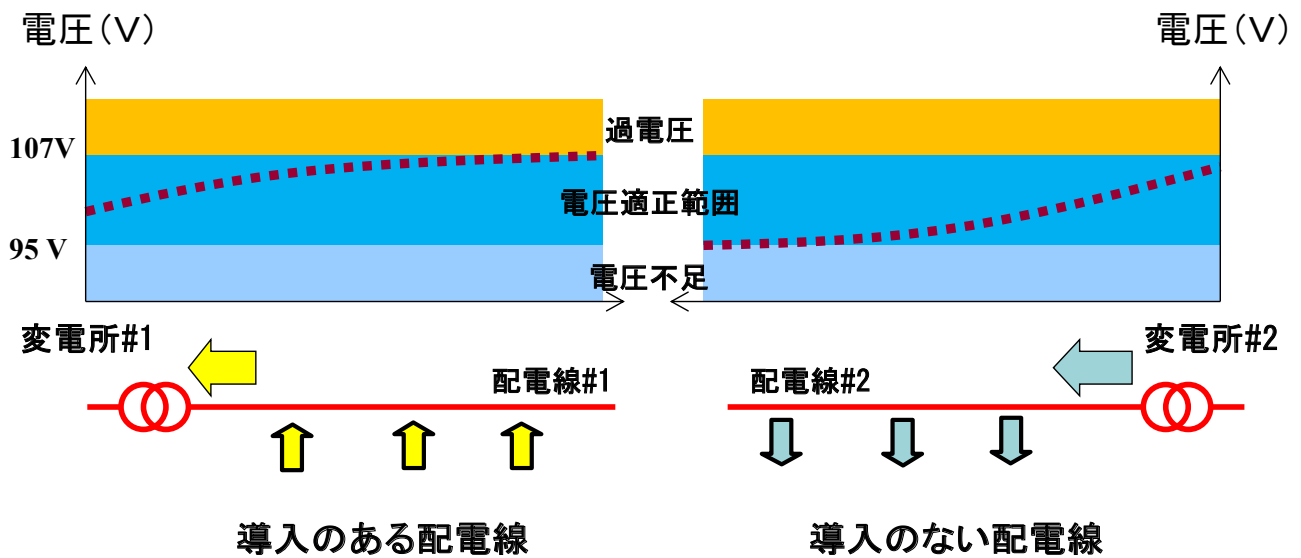
単独運転防止

FRT (Fault Ride Through)

配電線はもともと電源をつなぐことを想定していなかったので問題が起こる

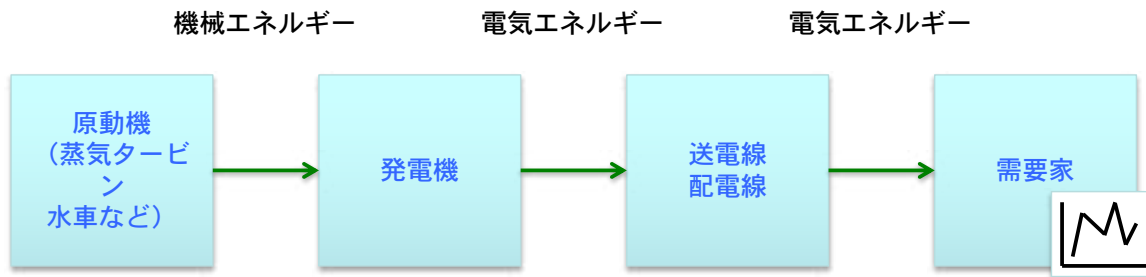
配電線電圧分布

分散電源の導入のある配電線と 導入のない配電線の電圧の比較



再生可能エネルギー発電大量導入時の周波数問題

電力システム内のエネルギーの流れ

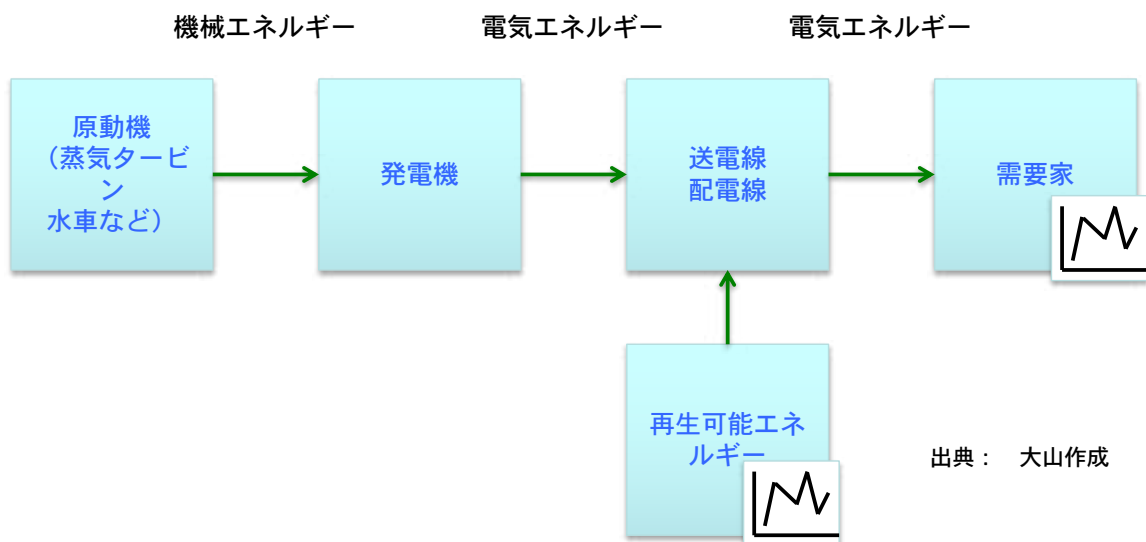


出典： 大山作成

電気エネルギーは貯められない（貯めるのが難しい）ので、需要家が使う量を常に作らなければならない
しかし、原動機出力を追従させることは難しい
原動機出力と需要家が消費する電力の差は発電機の回転エネルギーでまかなう（周波数変動）

需給のアンバランスは発電機の回転エネルギー（慣性力）で埋めている→慣性力の維持が重要

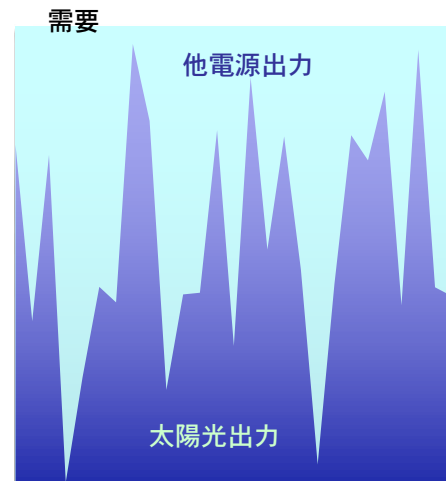
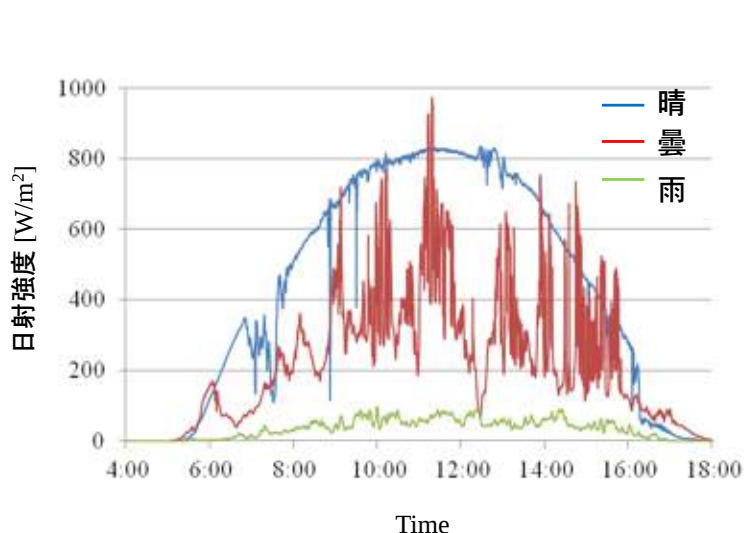
電力システム内のエネルギーの流れ



出典： 大山作成

太陽光や風力などの再生可能エネルギー電源が導入されると変動はより大きくなる

太陽光発電の出力変動



出典： 大山作成

Time

出典： 大山作成

米国では「ダンスパートナー」が必要という議論がなされていた
(CIGRE IEEE PES 2009 Calgaryにおける議論など)

9

再生可能エネルギー電源のダンスパートナーは誰か？

水力で調整可能なら良いが、火力に頼らざるを得ない？

火力の調整力を増加

火力の発電量を全体として増加

中間負荷運転→効率低下

→CO2排出

(原子力に頼らないとすればこれが現実的か)

蓄電池をパートナーに

蓄電池は高コスト

ならし効果 (広く分布した太陽電池の出力変動が互いに打ち消し合う効果) があればダンスパートナーは楽になる

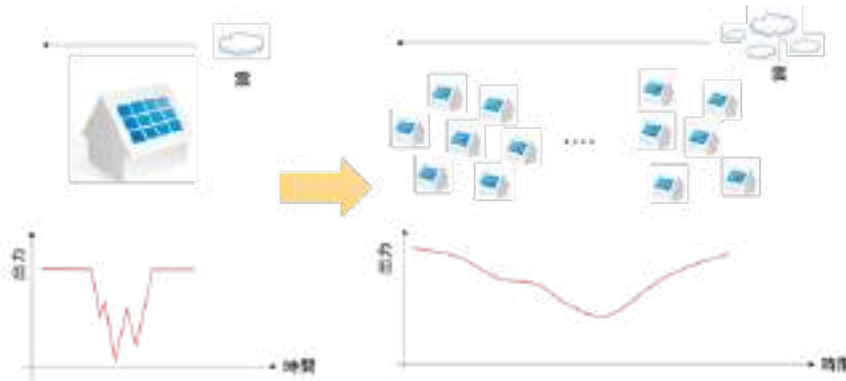
10

ならし効果について



ならし効果

PV（太陽光発電）出力の短周期変動は主に時間的に移動する雲によって引き起こされる
広い範囲で分散的に設置されることで、出力変動に時間的なずれが生じ出力を平均すると変動は抑制されると考えられる

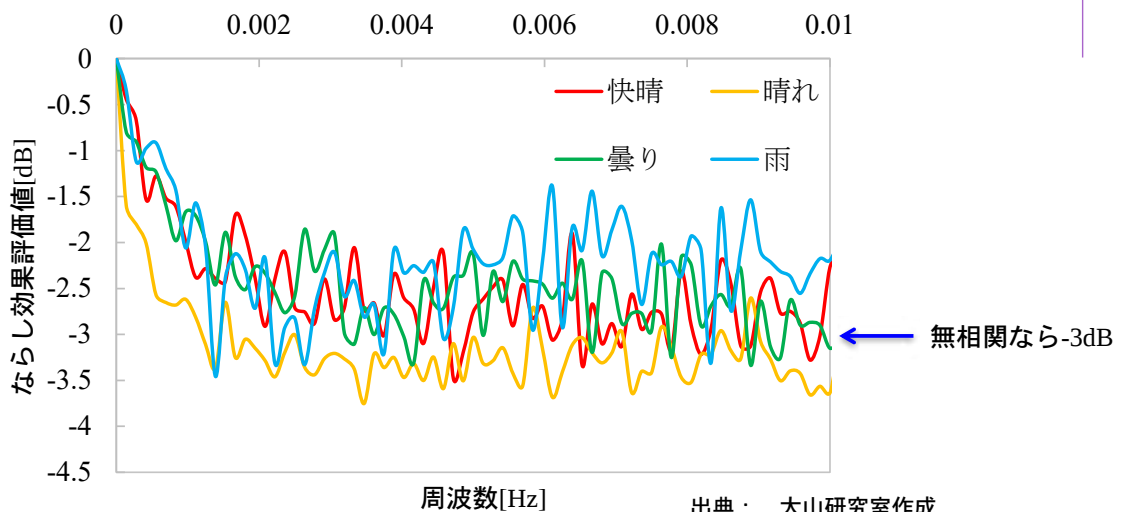


出典： 大山研究室作成

天候ごとのFFT（高速フーリエ変換）分析の評価



評価期間：2010年10月1日～2011年9月31日



出典： 大山研究室作成

晴れ（雲量2-8）のならし効果が強い

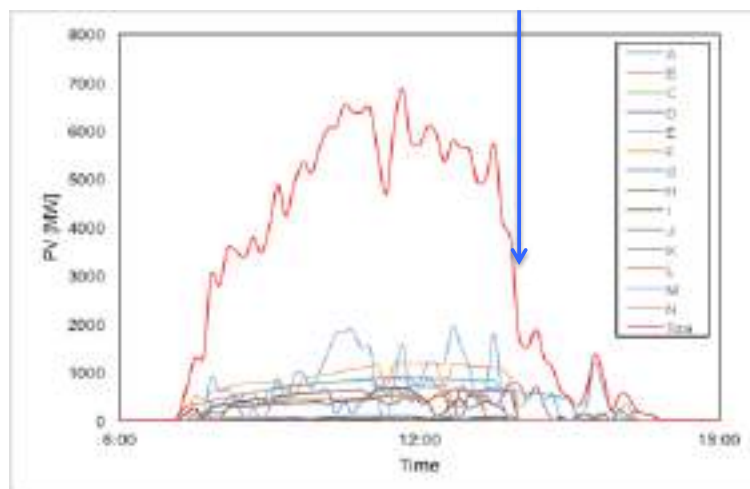
多数の太陽光発電設備が設置された場合は
「ならし効果」にかなり期待できる。

疑問は、「本当にいつでも期待して良いの
か？」

13

ある日の各地の日射と総量（60Hz地域）

全体として出力急変



注：10分毎の日照時間（AMeDASデータ）から日射量を推定したもの

出典： 大山研究室作成

→ このような状況のときに周波数がどうなるか

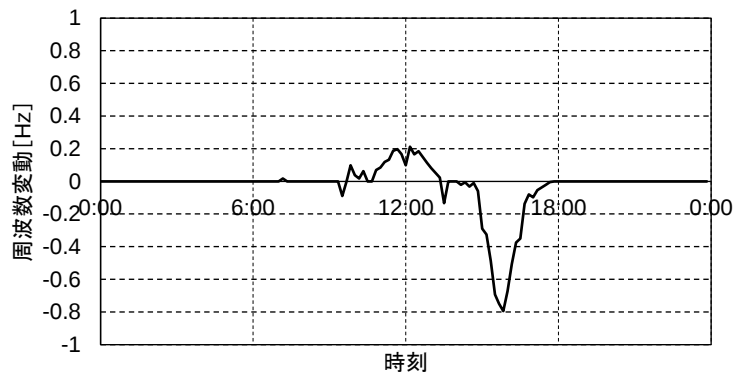
周波数解析の発表例

辻井佑樹、辻隆男、大山力、中地芳紀、Suresh Chand Verma、 “再生可能エネルギー増加時における需給制御の影響把握”、電学論B Vol.136 No.1 pp. 33-43、2016年1月

辻井佑樹、辻隆男、大山力、中地芳紀、Suresh Chand Verma、 “再生可能エネルギー増加時における需給制御の対策評価方法に関する一考察”、電学論B Vol.136 No.5 pp. 459-470、2016年5月

14

過酷日の周波数変動解析結果



出典： 大山研究室作成

再生可能エネルギー電源の供給力



設備容量は大きくても発生できるエネルギーは少ない

出典： 経済産業省第2回総合資源エネルギー調査会総合部会 資料3 2010年7月

17

電力システムの負荷率（平均電力/ピーク電力）≒ 60%

太陽光発電の設備利用率（平均発電量/発電設備容量）≒ 14%

したがって、太陽光発電だけで必要なエネルギーを発生しようとする

$$\begin{aligned} \text{必要な太陽光発電設備容量} &\equiv (60/14) \times \text{ピーク需要} \\ &\equiv 4.3 \times \text{ピーク需要} \end{aligned}$$

の設備が必要になる。

余る時は余りまくるが、足りない時は足りない。

→ どうしてもダンスパートナーが必要

余る時の対策：再生可能エネルギーの出力抑制

（世界の主流であり、**主力電源化には必須**）

足りない時の対策：電力貯蔵？（非常に高価）

太陽光発電が少量導入されると

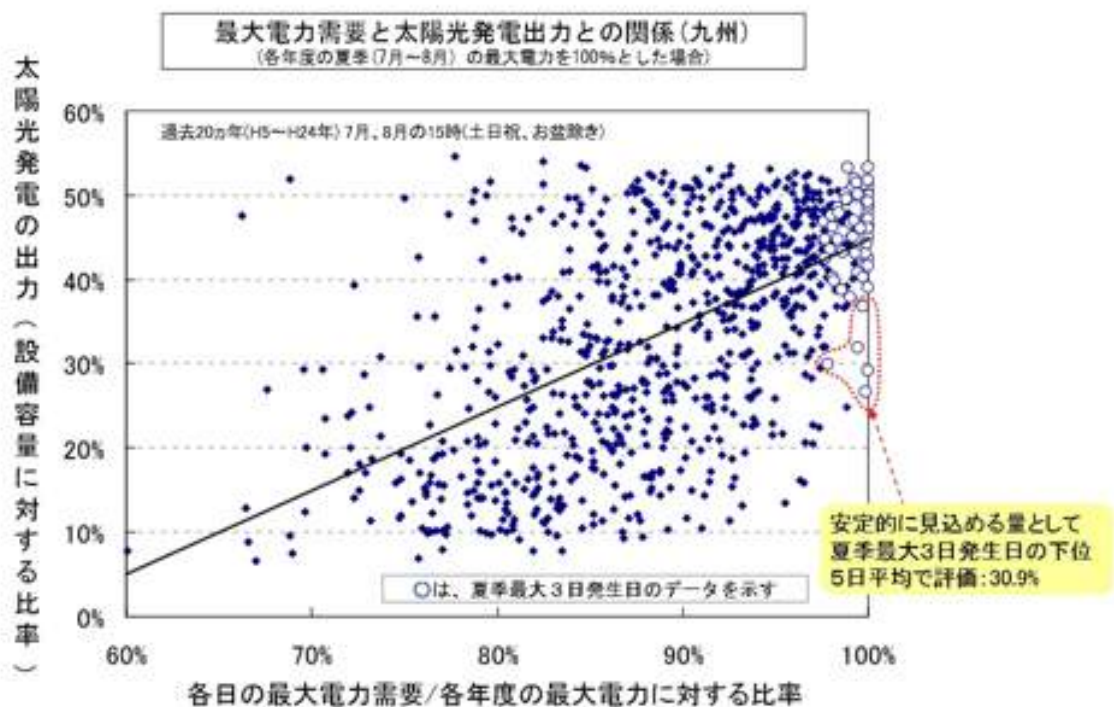
→ 昼間のピーク電力が削減されるので従来型の発電所を削減できる

ただし曇る時もあるので削減量は少ない

→ 削減量を増やすためには天候の異なる地域を連系させる必要がある
(ならし効果の活用)

太陽光発電が大量に導入されると

→ ピーク需要は夜間に移行するのでそれ以上発電設備を削減できない
→ 削減するためには電力貯蔵が必要



kW価値による評価

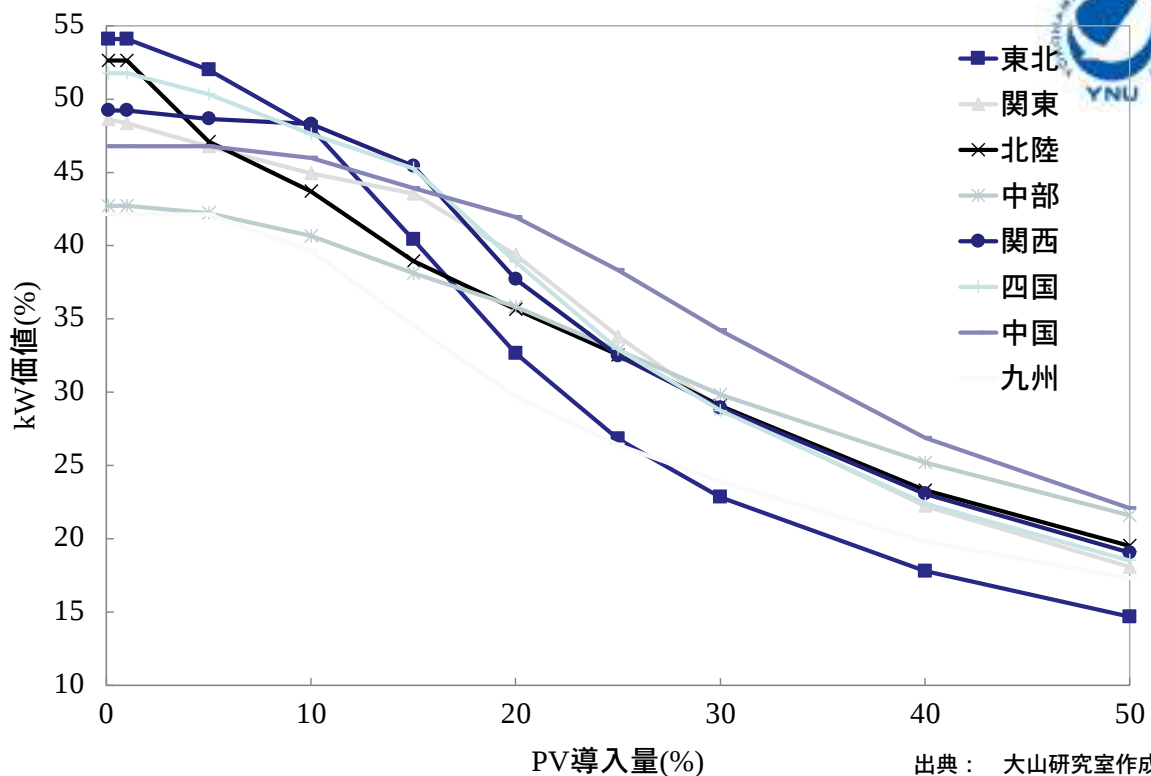


(⇒OCCTOの調整係数による評価)

kW価値とは既存の火力発電などの系統電源の代替としてどれほど機能できるかを評価する基準である

kW価値：ある電源を1kW導入した時、信頼度を同じレベルに保つとすると既存の電源を何kW減らすことができるか

21



※横軸は、 PV導入量 (kW) / 最大需要 (kW)

22

早い変動（GF（ガバナフリー）領域）まで考慮した周波数解析の例

解析ケース（系統規模18GW）

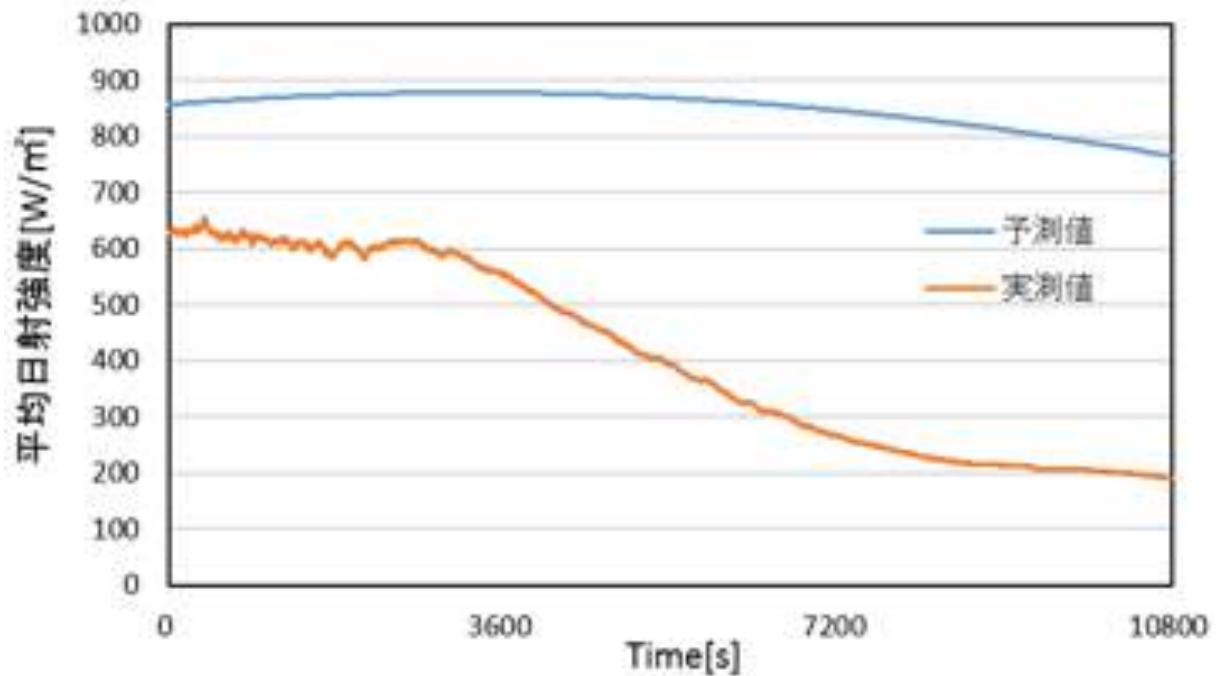
	case 1	case 2	case 3
PV（太陽光発電） 導入量	-	2.1GW	6.5GW
WT（風力発電） 導入量	-	0.28GW	0.28GW

出典： 大山研究室作成

現状程度の比率を想定

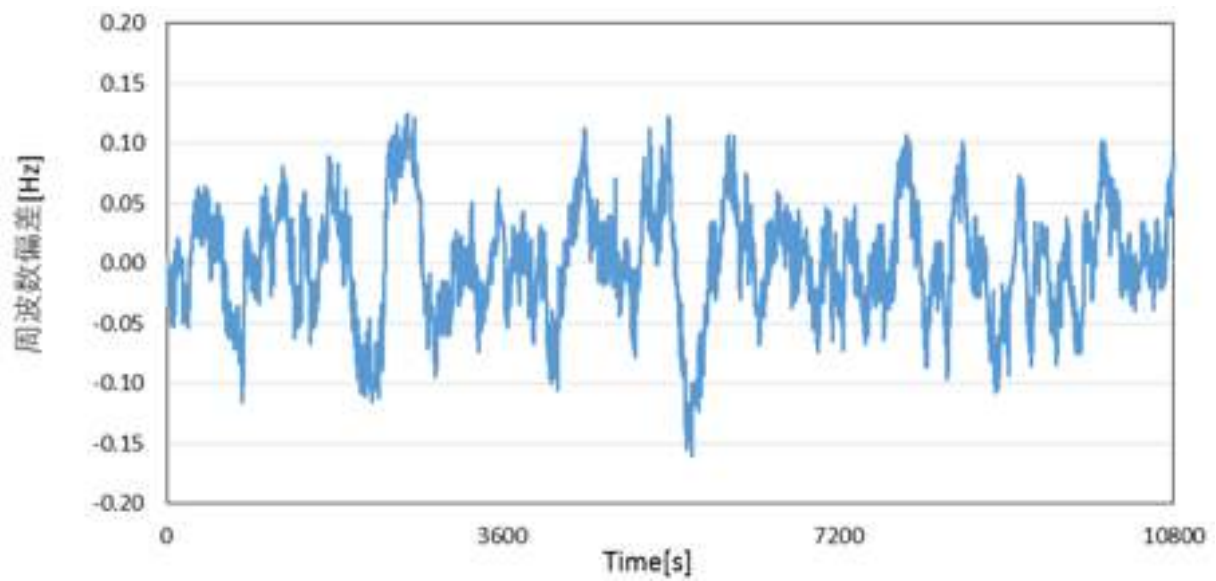
2030年予測程度の比率を想定

日射強度の変動（ランプダウン（日射が急激に減少する）ケース）



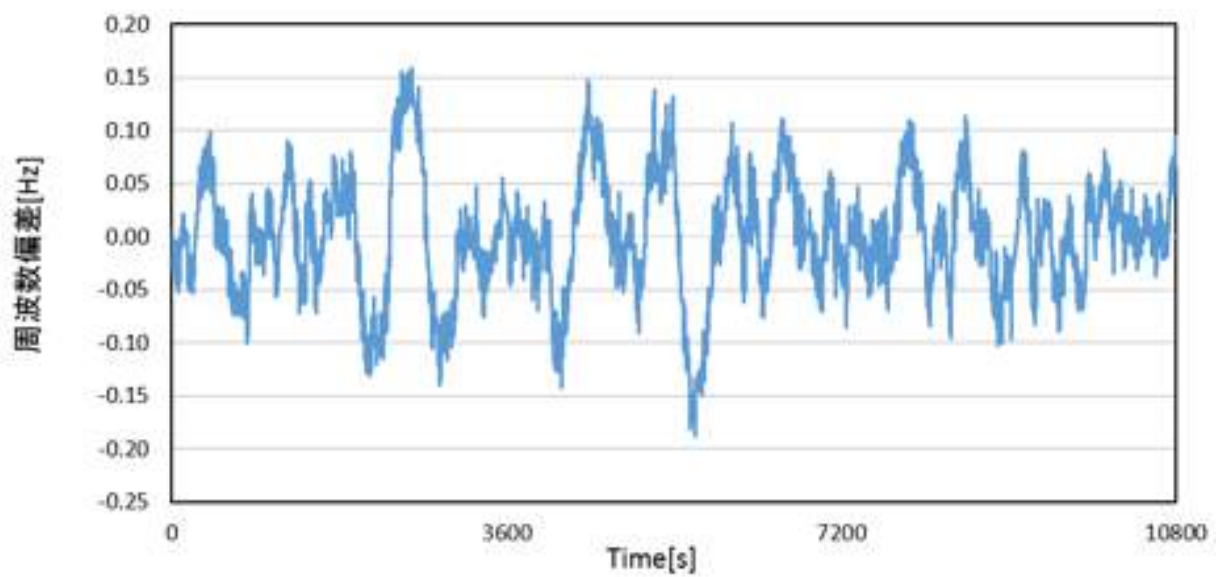
出典： 大山研究室作成

case 1の周波数変動



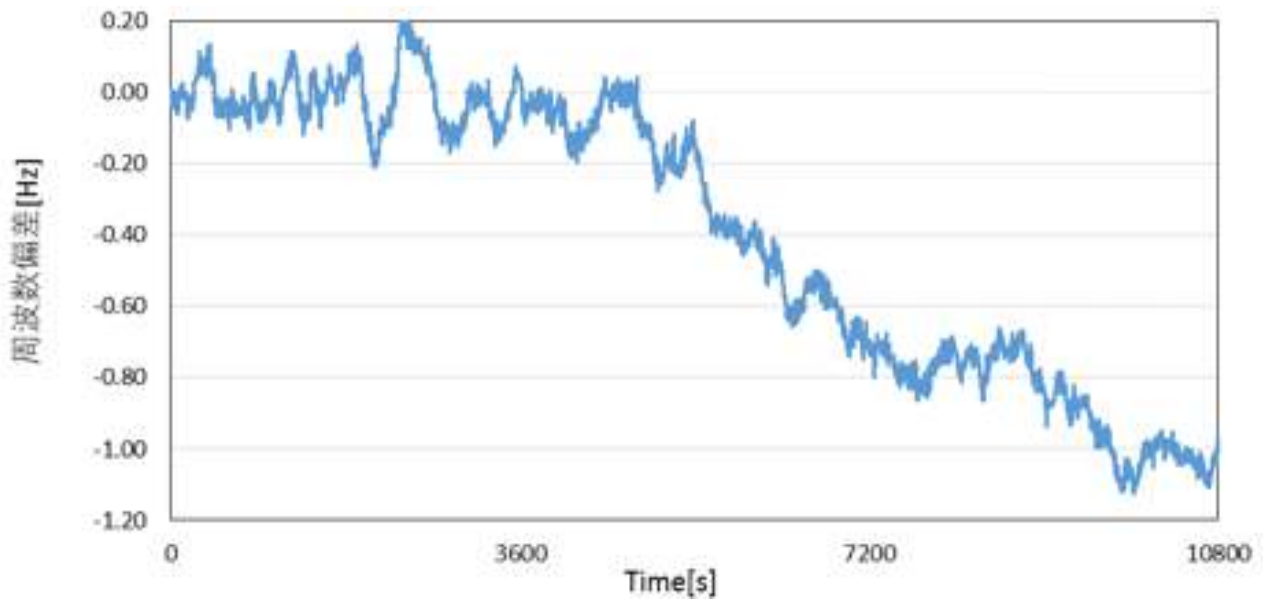
出典： 大山研究室作成

case 2の周波数変動



出典： 大山研究室作成

case 3の周波数変動



出典： 大山研究室作成

27

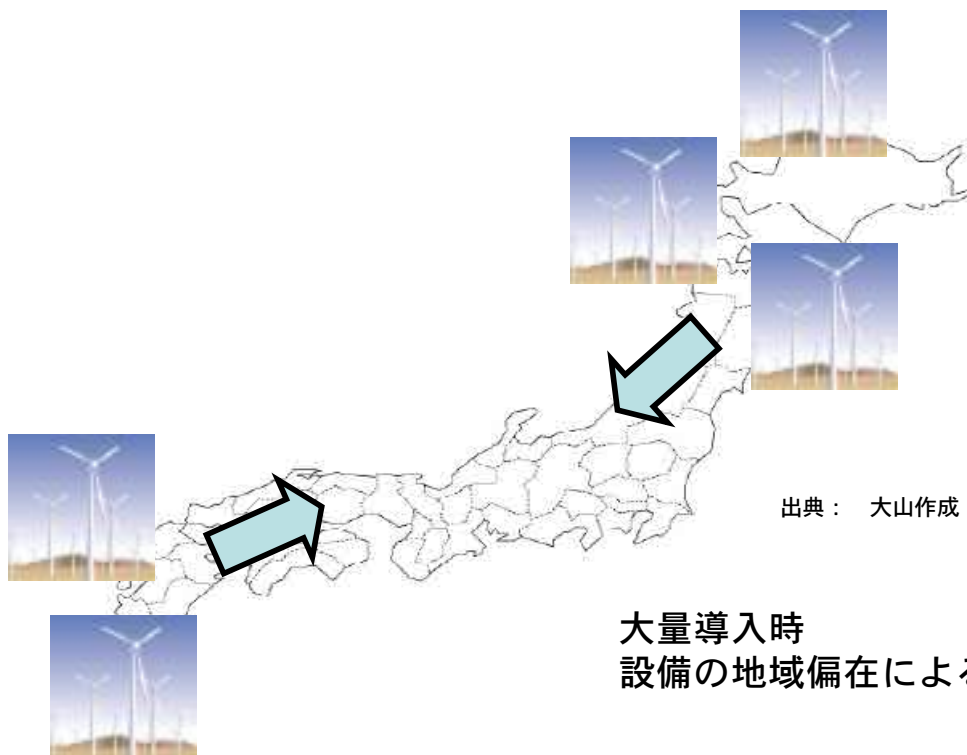
今後のさらなる接続可能量増加のために

- ・ 必要な**調整力**の量とその確保
- ・ 天候の**予測精度向上**と予測の活用方法の高度化
- ・ 通信を利用した**スマートなPV出力抑制**のさらなる活用
- ・ デマンドレスポンスなどの**確実な活用方法**の開発

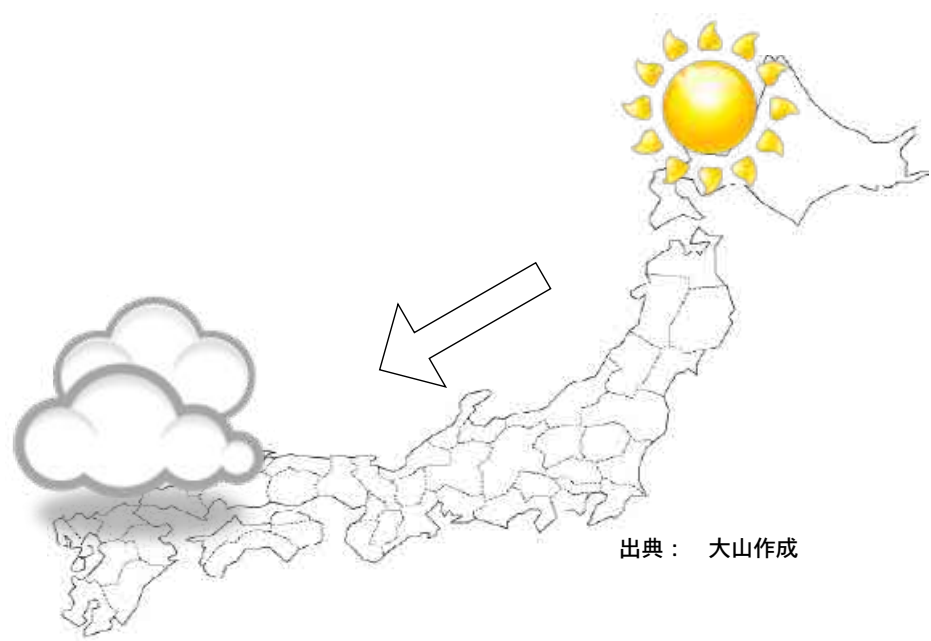
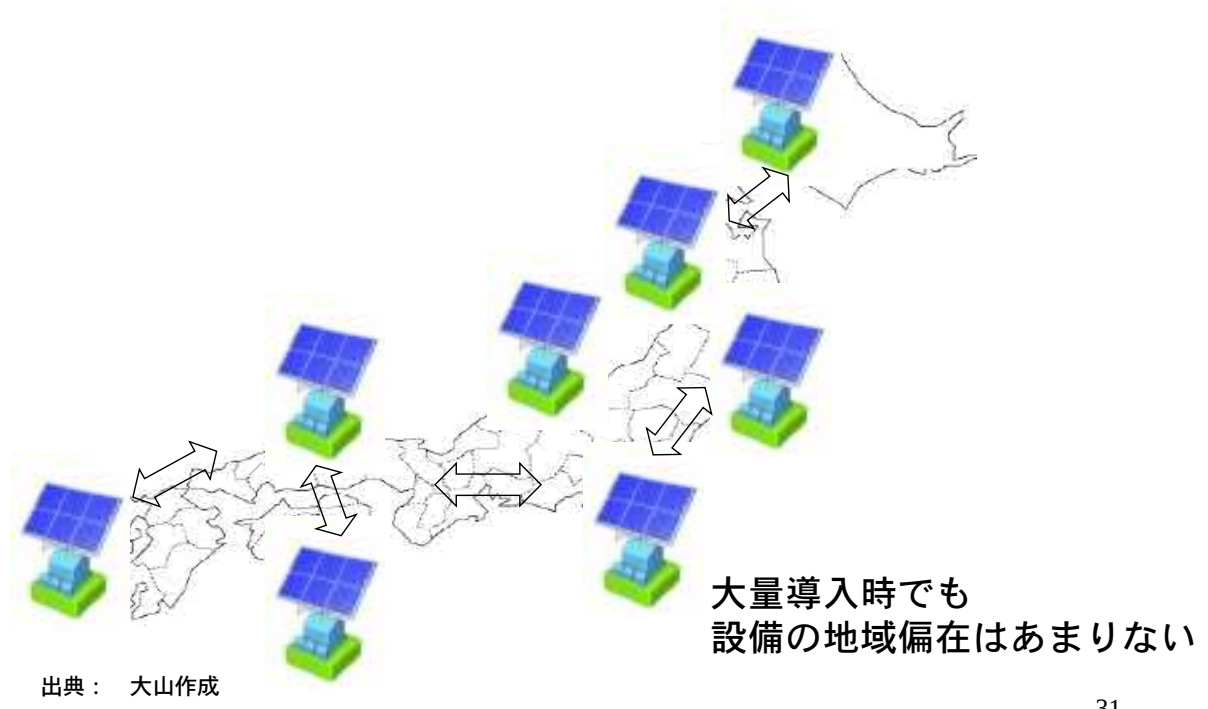
28

新エネ発電の地域偏在と連系線

風力



太陽光



晴れの地域から曇り・雨の地域への潮流？

電力ネットワークが非常に強靱であれば地域間のならし効果が期待できるが...

デンマークの例



2015年の潮流量GWh



出典：自然エネルギー財団 アジア国際送電網研究会中間報告書(2017.4)

デンマークは自国の需要に比べて大きな国際連系線で他国とつながっている。ただし、その連系線はデンマークのために建設されたわけではなく、北欧とドイツなどをつなぐために建設されている。

北欧の安い電気を大陸へ
(値差があるために建設しても利益がある)

渇水期には安定した電力を北欧へ

デンマークはハブとなっているので建設された国際連系線をうまく利用して再生可能エネルギーを大量に導入している。

日本で同じことができるか

33

連系線建設費負担の仕組み



風力による連系線潮流：特定電源？

太陽光による連系線潮流：不特定電源？



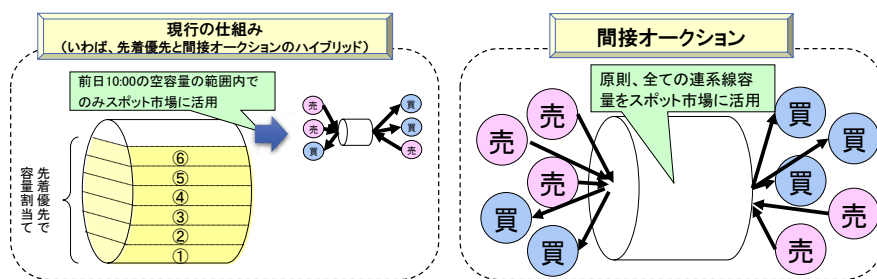
特定電源：参入意欲を阻害
不特定電源：誰が負担するか

34

日本で連系線を建設するための 費用負担の仕組みをどうするか **政治的課題**

託送料金から？
賦課金から？
地域間値差から？

地域間値差：これまでは地域間値差は小さかったが、これからは再生可能エネルギーによって広がる可能性



地域間連系線：間接オークションへ

出典：電力広域的運営推進機関：「地域間連系線利用ルールに関する検討会 平成28年度中間とりまとめ」, 2017年3月

電力系統利用協議会 (ESCJ) : 地域間連系線等
電力広域的運営推進機関 (OCCTO) : 地域間連系線及び地内送電系統