



WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案」
〈電力系統編〉補論
検証：自然エネルギー接続保留に関する定量的分析

まとめと提言

2014年11月11日(火)

WWFジャパン

気候変動・エネルギー プロジェクトリーダー

小西雅子



WWF検証シミュレーションの前提

- ◆ 既存の蓄電システムである揚水発電を自然エネルギーのために活用する前提とし、太陽光・風力以外の電源に保守的な想定を置いたうえで、九州・中国間の地域間連系線の利用有無や原子力の再稼働についてケースを分けて試算

WWF検証シミュレーションでわかったこと

- ◆ 九州電力に、1260万kWの自然エネルギー（太陽光1180万kW、風力80万kW）が導入されると、九州電力における年間の全電力量に占める太陽光と風力の発電電力量は、**17.3%**となり、水力などのその他の自然エネルギーと合わせると**23%**となる（2013年実績での年間発電量に対するシミュレートされた自然エネルギー電力割合）

WWF検証シミュレーションでわかったこと

- 九州・中国間の地域間連系線を使わない前提でも、余剰が発生するのは、全発電電力量の3.24%にすぎないこと
- 自然エネルギーの発電量の抑制日数(時間数)と抑制量は、原発の有無で大きく変わること(今回のWWF検証では、川内原発がある場合とない場合を想定)

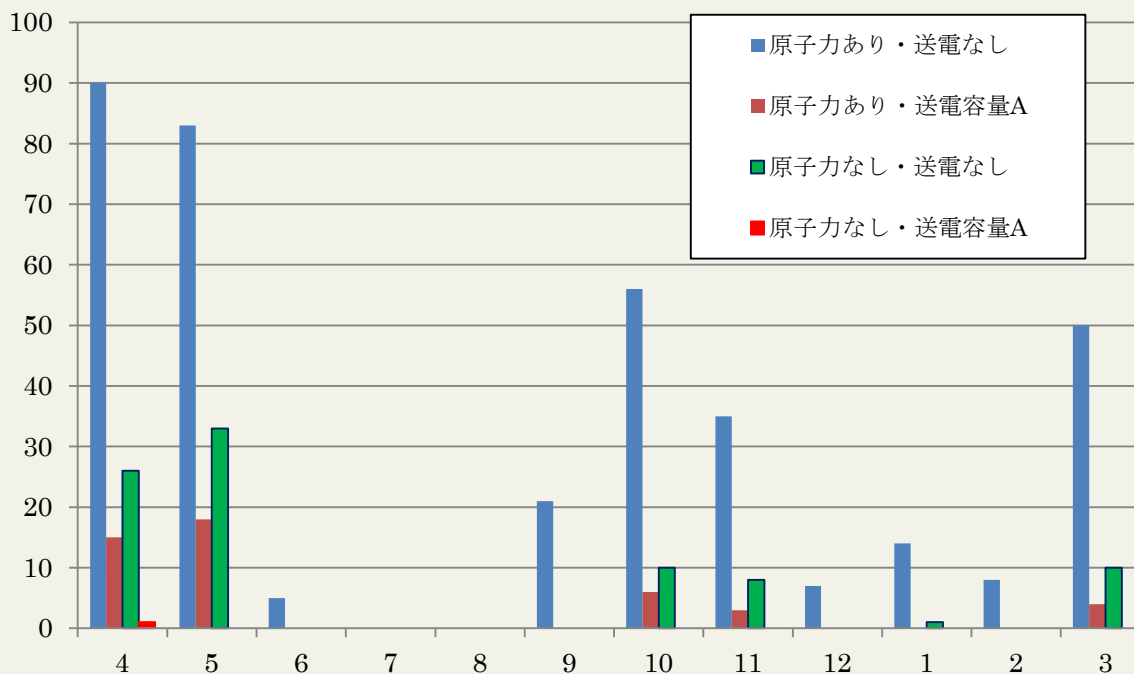
計算方式 ケース	シミュレーション				2シグマ方式(ケース1)			
	原子力あり		原子力なし		原子力あり		原子力なし	
	発電抑制量 (万kWh)	抑制量/発電量 (%)	発電抑制量 (万kWh)	抑制量/発電量 (%)	発電抑制量 (万kWh)	抑制量/発電量 (%)	発電抑制量 (万kWh)	抑制量/発電量 (%)
送電線なし	44,046	3.24	8,025	0.59	213,267	15.69	56,612	4.16
送電線A 259万kW	2,869	0.21	0	0.00	23,562	1.73	976	0.07
送電線B 556万kW	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00

出典: WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案〈電力系統編〉補論
 検証: 自然エネルギー接続保留に関する定量的分析
 (以降WWF検証シミュレーションと呼ぶ)

- 九州・中国間の地域間連系線を利用できるならば、自然エネルギーの余剰が発生する日数(抑制日数および時間数)はゼロか、現状の補償なしの30日以内に収まること
- 原発なしの場合には、抑制日数は、25日(88時間)、地域間連系線の運用容量259万kWが利用できるならば、抑制日数1日(1時間)のみとなる。熱容量の限度(556万kW)使えるならば、余剰が発生するのはゼロとなる。
- 原発ありの場合には、抑制日数は、94日(369時間)、地域間連系線の運用容量259万kWを利用できるならば、抑制日数16日(46時間)となって、現状の補償なしで抑制できる30日以内となる。熱容量の限度(556万kW)使えるならば、原発ありでも余剰が発生するのはゼロとなる。

計算方式	シミュレーション				2シグマ方式(ケース1)			
	原子力あり		原子力なし		原子力あり		原子力なし	
ケース	時間	日数	時間	日数	時間	日数	時間	日数
送電線なし	369	94	88	25	1,242	249	547	152
送電線A 259万kW	46	16	1	1	298	96	29	15
送電線B 556万kW	0	0	0	0	0	0	0	0

- 余剰が発生する期間は、いずれも主に4月、5月、10月、11月の電力需要が小さいときであり、特にゴールデンウィークに集中している。電力が余るときの予見性が高いため、対策が立てやすい。発電設備の近辺に、時間に縛られない電力需要の産業を興すなどが考えられる。



1260万kW導入時の月別の発電抑制時間

- いずれ、接続検討分の680万kWを加えた**1940万kW**(太陽光1840万kW,風力100万kW)がすべて導入されたとしても、熱容量の限度の連系線が使えるならば、抑制日数は、原発ありの場合で**29日(90時間)**、原発なしの場合で**10日(26時間)**となる
- 既存の連系線が日常的に活用されるならば、この規模の自然エネルギーが利用できることが確かめられたと言えるのではないか。この規模の自然エネルギーの導入で、**約32%**になる

月	原子力あり						原子力なし					
	送電なし		送電容量A		送電容量B		送電なし		送電容量A		送電容量B	
	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間	発電抑制量 (万kWh)	発電抑制時間
4	60,331	180	23,307	105	3,930	29	32,802	130	8,854	55	787	11
5	58,623	201	21,874	98	3,626	31	30,820	124	8,462	54	434	8
6	11,250	65	1,304	13	0	0	2,987	30	127	2	0	0
7	3,174	37	0	0	0	0	104	3	0	0	0	0
8	5,519	47	359	4	0	0	795	9	0	0	0	0
9	26,467	123	5,418	46	0	0	10,097	67	678	13	0	0
10	42,011	155	11,860	70	1,358	10	18,799	99	3,332	28	248	3
11	27,357	123	6,788	43	598	8	10,828	58	1,948	16	0	0
12	11,946	67	1,627	15	0	0	3,435	29	128	4	0	0
1	12,957	65	2,133	22	0	0	4,437	34	178	2	0	0
2	15,728	88	2,325	22	0	0	4,638	39	240	5	0	0
3	36,014	128	12,456	64	1,673	12	18,064	75	4,144	32	302	4
合計	311,377	1,279	89,451	502	11,185	90	137,805	697	28,091	211	1,772	26
	合計日数	248	合計日数	125	合計日数	29	合計日数	164	合計日数	66	合計日数	10
抑制量/電力需要(%)												
	3.47		0.997		0.12		1.54		0.31		0.02	

WWF検証と、経産省系統WGにおける電力会社の検証の違い

ステップ4 検討断面における再エネ出力の想定（太陽光・風力）

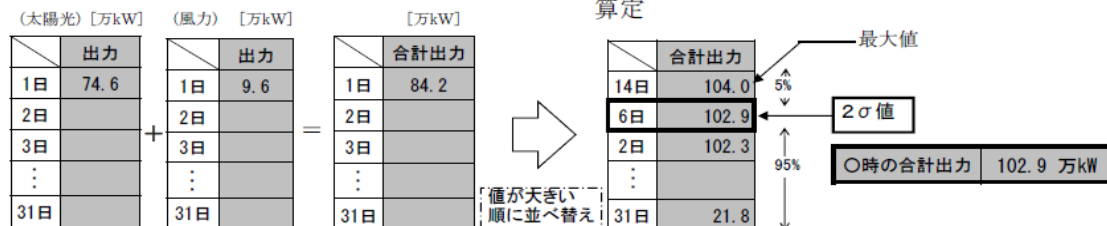
11

【太陽光・風力発電】

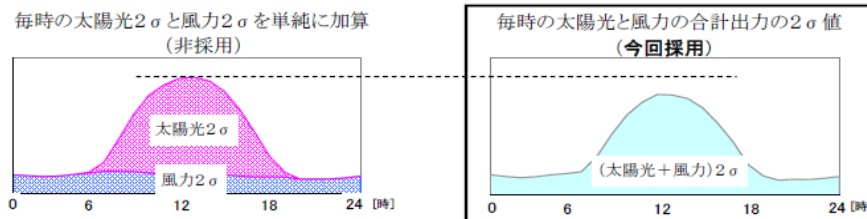
(ケース1) 検討断面における太陽光と風力の出力は、月単位で、毎時の太陽光と風力の合計出力の最大値(2σ値)を用いる。

[月単位の太陽光・風力の出力算定方法]

(1) ある月の○時の太陽光と風力の発電出力を合計 (2) 当該月における○時の合計出力最大値(2σ値)を算定



(3) (2)を毎時分(24点)算定し、当該月の太陽光・風力の合計出力カーブを作成



(ケース2) ケース1のうち、実績で曇天・雨天となった日の太陽光・風力の出力として、日射量の低い日の太陽光・風力の合計出力を用いる。

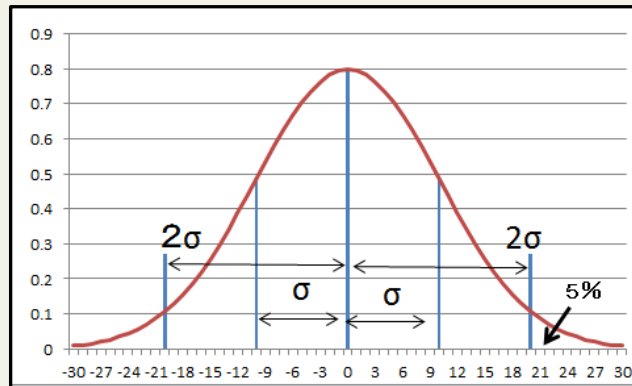
出典: 経産省系統WG H26/10/30

九州電力: 再生可能エネルギーの接続可能量の算定方法に関する考え方について

系統WGにおいて、電力会社が今回の接続可能量の算定について行う手法は、構造的に余剰の発生が大きくなることに注意が必要である。



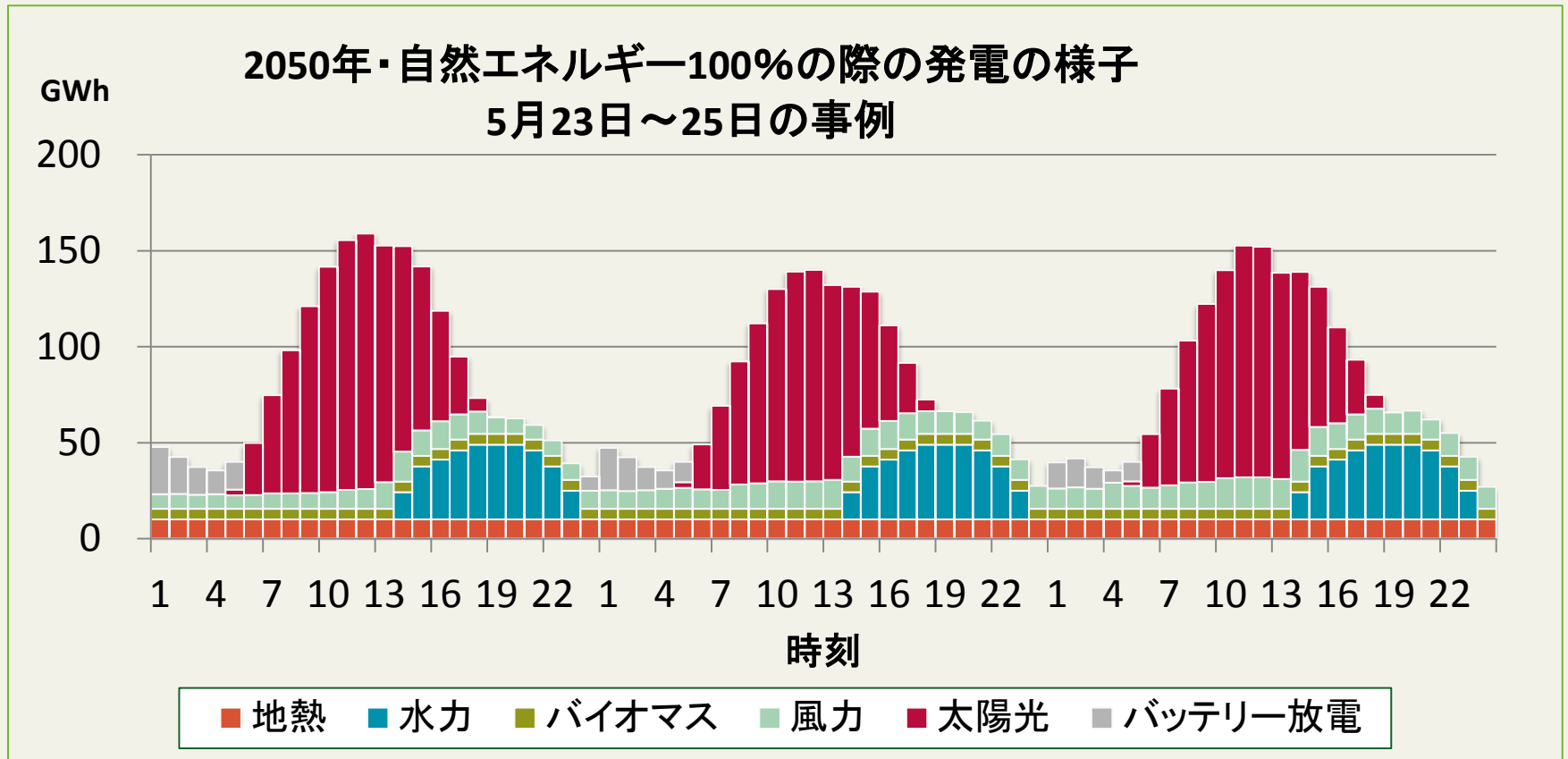
現在九州電力をはじめとする5電力会社によって行われている検証では、需要は2013年度の実電力需要を使う点ではWWFと同じだが、自然エネルギーの出力量は、各月ごとの24時間ごとに、最も発電出力量が大い値に近い値(上から5%の値)を採用して、電力需要と突き合わせることになっている。これはいわば受験において偏差値70以上の優等生がいつでもクラスを代表するようなもので、月ごとに最も自然エネルギーの出力がピークに近い値が、毎日発生すると仮定していることになる。雨や曇りの日は修正するという案もあるが、基本的には構造的に余剰の発生時間が大きくなる分析手法となっていることに注意が必要である。



シグマ(標準偏差)とは、それぞれのデータサンプルが平均値からどの程度離れて分布しているかを表す値。シグマ値が大きいほど、データサンプルが平均値から遠くに散らばっていることを示す。なお、平均値±1シグマの範囲に全体の2/3が分布しており、平均値±2シグマの範囲に95%が分布する。ということは、上記のケース1の「平均値+2シグマのデータ」というのは、全体のデータサンプルの中で大きい方から5%しか出現しない値をピークに近い値として採用している。



WWFの手法は、九州にある104地点の拡張アメダス気象データ(1990~2000年の20年間の代表的な気象を再現したデータ)による発電電力量を、1時間ごと365日計算し、2013年度の電力需要と合わせてシミュレーションしているため、より実際に近い結果を示していると言えよう。



出典: WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案
(自然エネルギー編)」



WWFからの提言

◆ 現状の地域間連系線を広域で活用する運用に速やかに移行すること

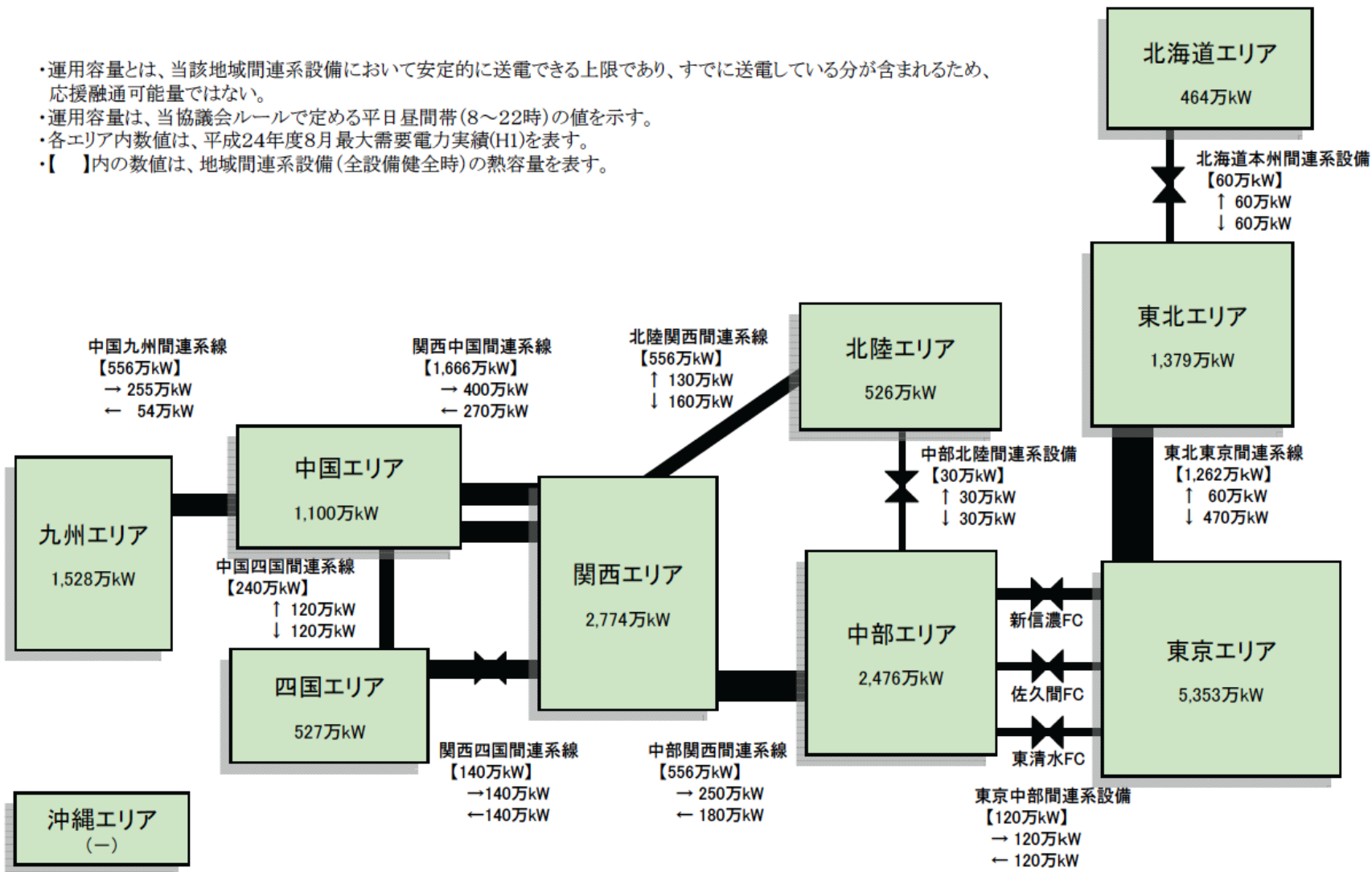
予測できる変動電源である自然エネルギーの変動は、広域で運用されるほど、変動を吸収することがより容易になる。特に電力需要の大きい系統であるほど、変動吸収が容易であるため、今回のような小さな系統である九州地域だけで変動する自然エネルギーを吸収することを考えるのではなく、隣接する系統と一体で考えることが重要である。

日本には、地域間を結ぶ連系線の容量は決して欧州に比べても見劣りしない規模をすでに備えている。その地域間連系線を異なる一般電気事業者間では、非常時以外には使わないというこれまでの前提が、自然エネルギーの変動を吸収できない体制を作っている。

電力システム改革の一環で、広域で運用することを進める広域運用機関が2016年から運用されることになっているが、自然エネルギーの変動吸収を広域で日常的に行う体制に移れば、既存のインフラの活用で、もっと自然エネルギーの導入は進む。すみやかに現状の地域間連系を広域で平常時から運用する体制へ移行していくべきである。ちなみに、西日本には大規模電力需要のある関西エリアがあり、東日本には東京エリアがあるため、西日本一帯、東日本一帯で運用することによって、自然エネルギーの大幅導入を果たすことができることを、WWFエネルギーシナリオ電力系統編は示している。

日本の送電網の現状

- ・運用容量とは、当該地域間連系設備において安定的に送電できる上限であり、すでに送電している分が含まれるため、応援融通可能量ではない。
- ・運用容量は、当協議会ルールで定める平日昼間帯(8~22時)の値を示す。
- ・各エリア内数値は、平成24年度8月最大需要電力実績(H1)を表す。
- ・【 】内の数値は、地域間連系設備(全設備健全時)の熱容量を表す。



(出所) 電力系統利用協議会(2013)「各地域間連系設備の運用容量算定結果の公表」(2013年4月5日)



WWF「脱炭素社会に向けたエネルギー提案」

省エネ編

自然エネ編

費用算定編

電力系統編



脱炭素社会に向けた エネルギーシナリオ提案

〈中間報告 省エネルギー〉

WWFジャパン委託研究

2011年7月
株式会社 システム技術研究所

© 1986 Panda Symbol WWF - World Wide Fund for Nature (Formerly WWF/WWF Fund)
© WWF is a WWF Registered Trademark



脱炭素社会に向けた エネルギーシナリオ提案

〈最終報告 100% 自然エネルギー〉

WWFジャパン委託研究

2011年11月
株式会社 システム技術研究所

© 1986 Panda Symbol WWF - World Wide Fund for Nature (Formerly WWF/WWF Fund)
© WWF is a WWF Registered Trademark



WWFジャパン 脱炭素社会に向けた エネルギーシナリオ提案 〈費用算定編〉

WWFジャパン委託研究

2013年3月
㈱システム技術研究所



WWFジャパン 脱炭素社会に向けた エネルギーシナリオ提案 〈電力系統編〉

WWFジャパン委託研究

2013年9月
㈱システム技術研究所

2011年7月

2011年11月

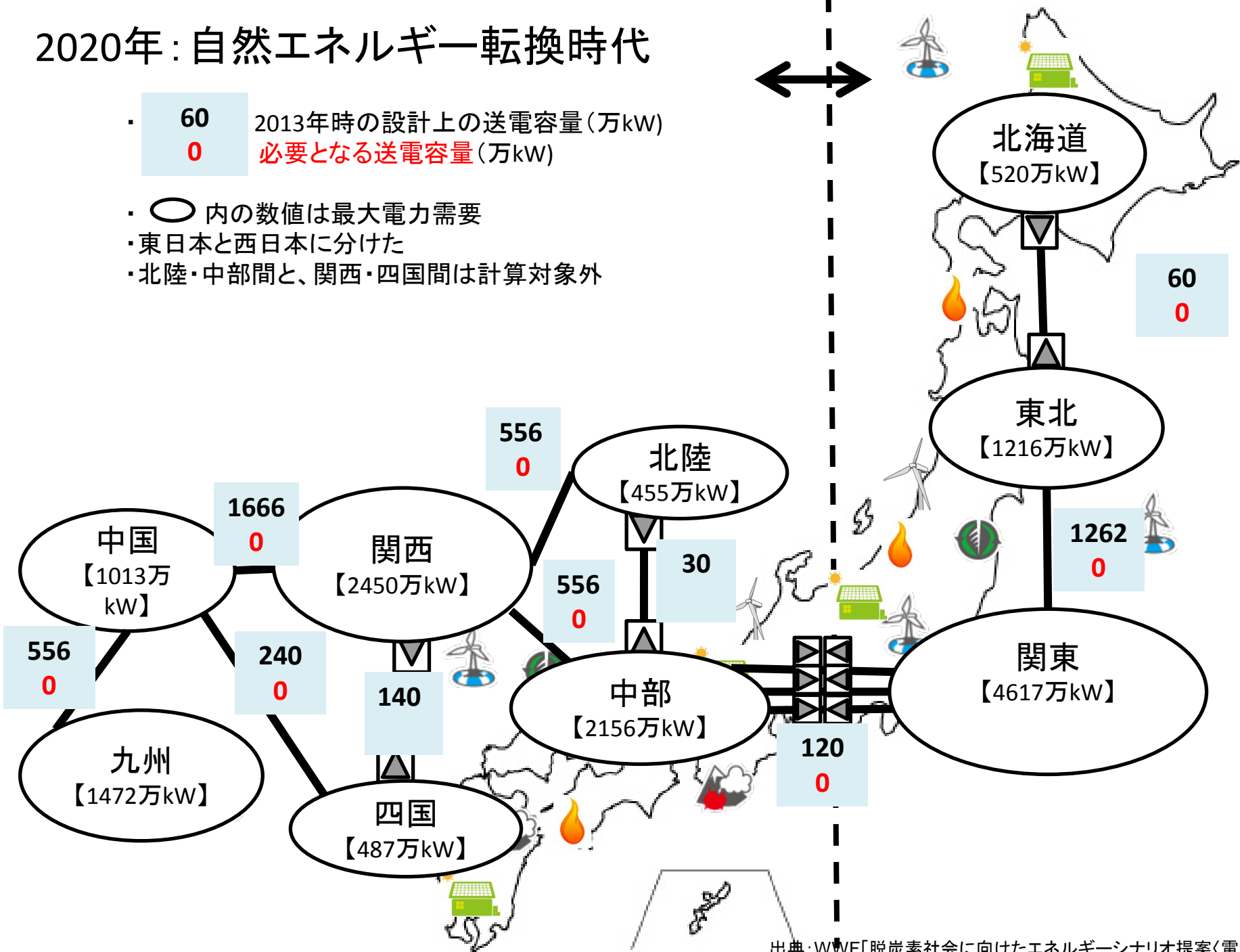
2013年3月

2013年9月

日本の電力システムに自然エネルギーを大量導入することは、
技術的にも経済的にも可能
問題はむしろ社会的・政治的なバリア

2020年：自然エネルギー転換時代

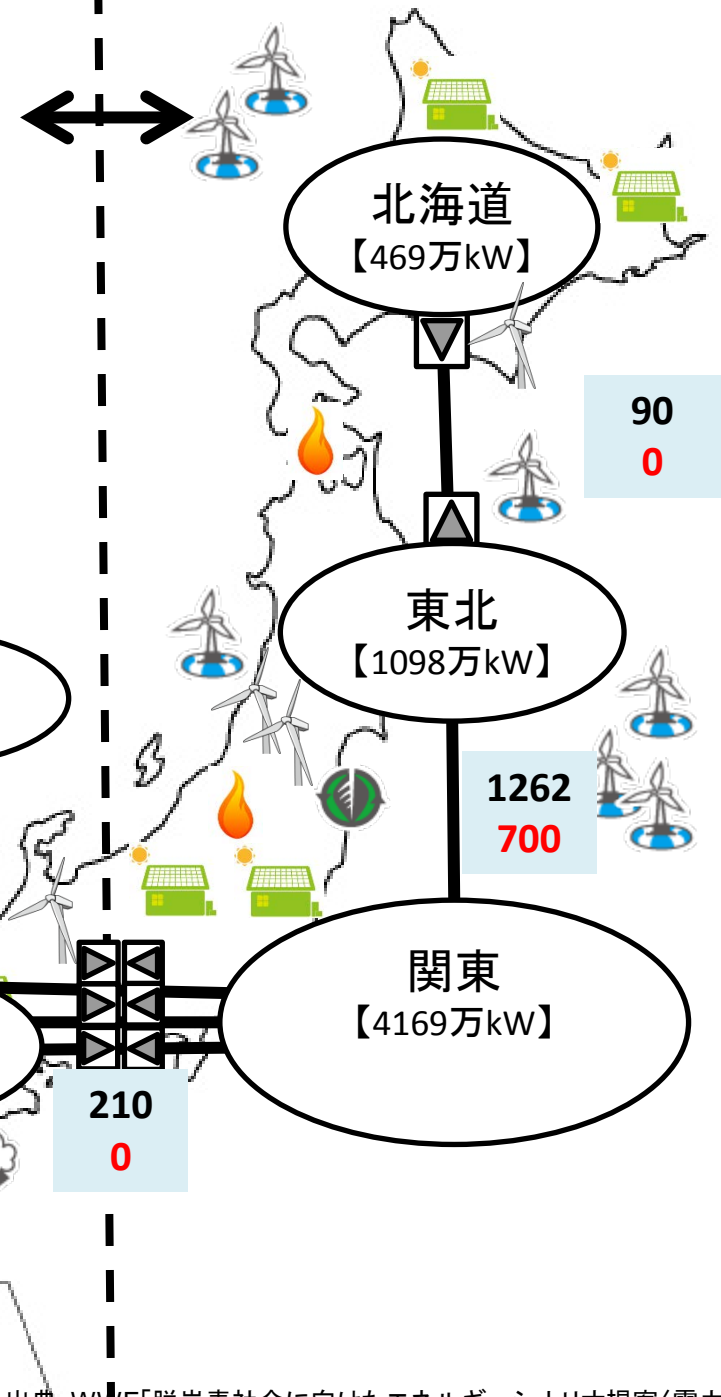
- 60 2013年時の設計上の送電容量(万kW)
0 必要となる送電容量(万kW)
- 内の数値は最大電力需要
- ・ 東日本と西日本に分けた
- ・ 北陸・中部間と、関西・四国間は計算対象外



2030年：自然エネルギー主役時代

- 60 2013年時の設計上の送電容量(万kW)
0 必要となる送電容量(万kW)

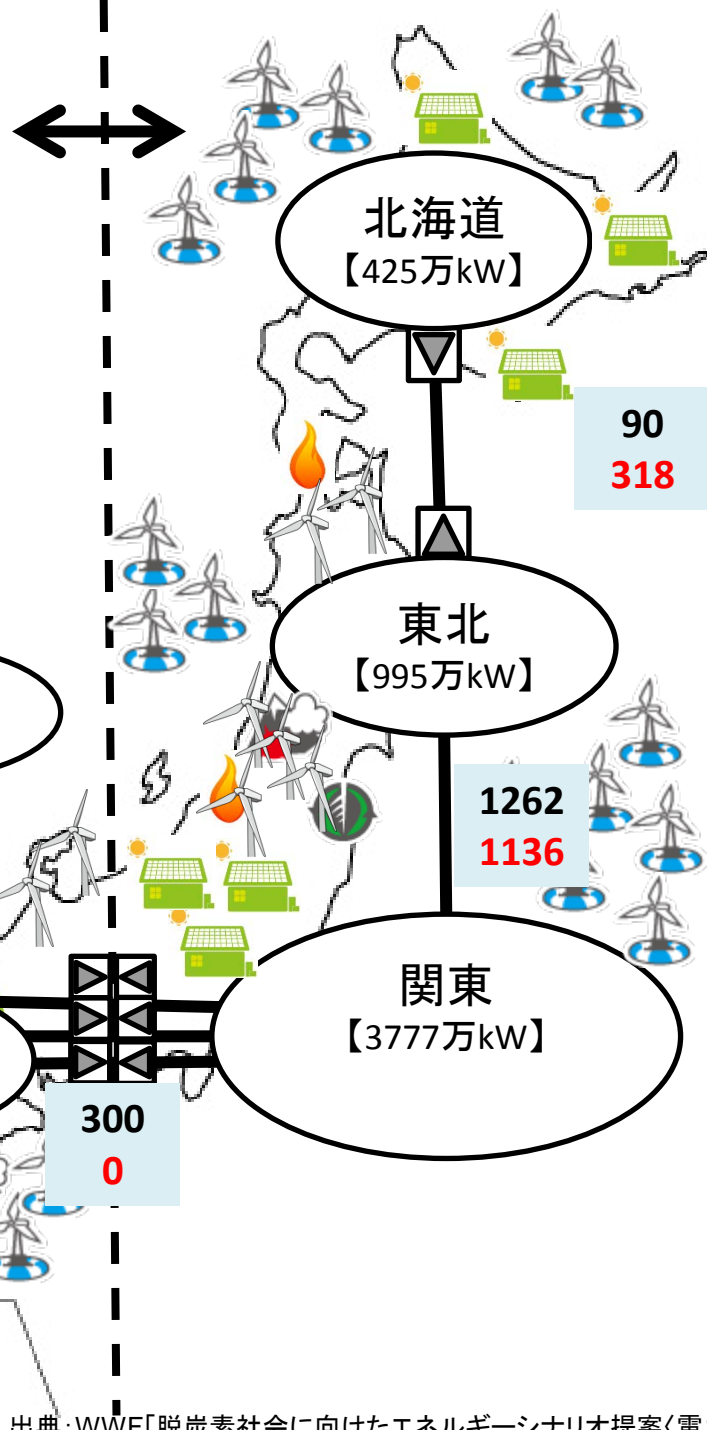
- 内の数値は最大電力需要
- ・ 東日本と西日本に分けた
- ・ 北陸・中部間と、関西・四国間は計算対象外
- * 北海道・東北間: 増強予定の90万kWとした
- * 関東・中部間: 増強予定の210万kWとした



2040年：脱原発時代

- ・ **60** 2013年時の設計上の送電容量(万kW)
0 必要となる送電容量(万kW)

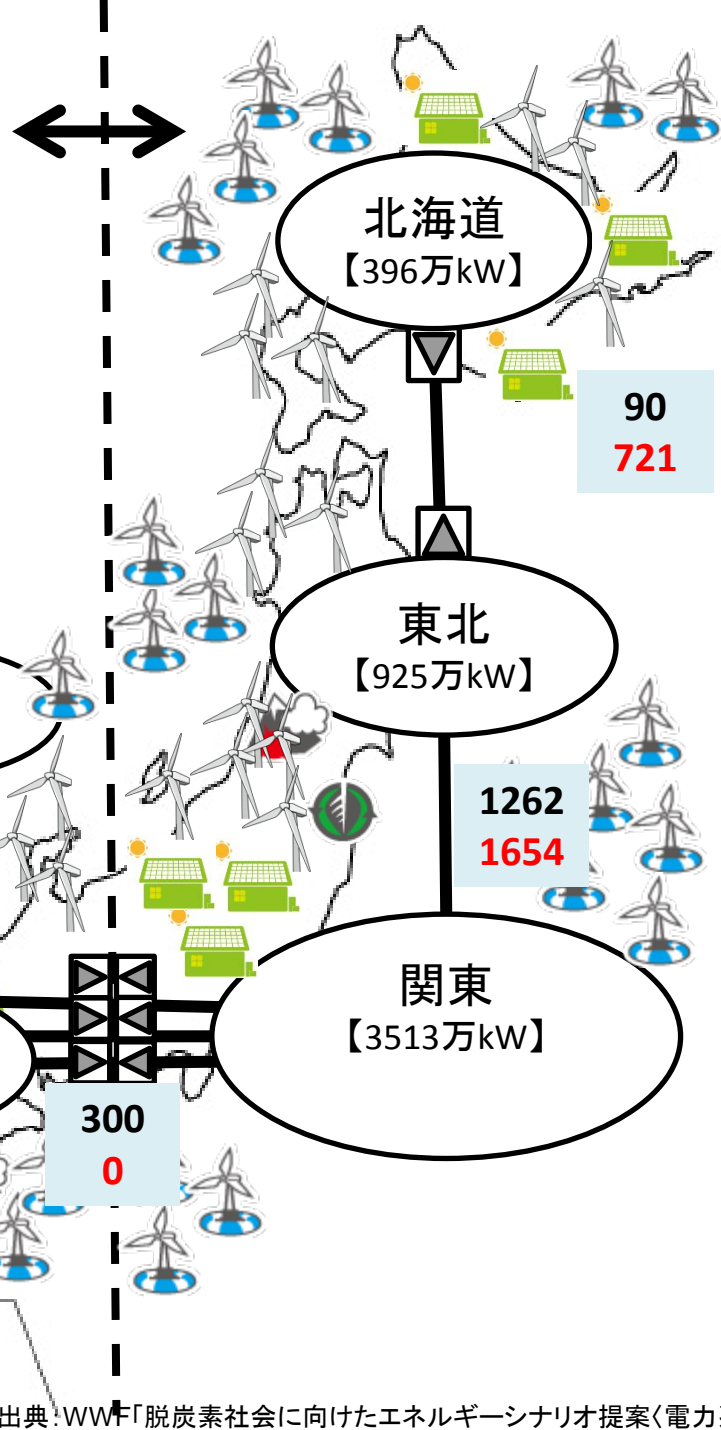
- ・ ○内の数値は最大電力需要
- ・ 東日本と西日本に分けた
- ・ 北陸・中部間と、関西・四国間は計算対象外
- * 北海道・東北間：増強予定の90万kWとした
- * 関東・中部間：増強予定の300万kWとした



2050年：自然エネルギー100%時代

・ **60** 2013年時の設計上の送電容量(万kW)
0 必要となる送電容量(万kW)

- 内の数値は最大電力需要
- ・ 東日本と西日本に分けた
- ・ 北陸・中部間と、関西・四国間は計算対象外
- * 北海道・東北間：増強予定の90万kWとした
- * 関東・中部間：増強予定の300万kWとした





◆ 揚水発電を自然エネルギーのために使用すること

これまで揚水発電は、事実上、原子力発電の蓄電システムとして機能してきた。この揚水発電という既存のインフラを、自然エネルギーのために使用することを前提にして、運用を検討する必要がある。

◆ 気象予測を使用した出力予測システムの実用化をすみやかに進めること

今や自然エネルギー先進国では、気象予測を用いた出力予測システムを活用することで、変動する需給バランスを保つことが当たり前に行なわれている。翌日の変動電源の出力分を予測することで、それを除いた残余需要分だけ、前日に化石燃料由来の電源を準備すればよいことになる。

日本ではまだ開発段階であっても、導入した国においてはほんの数年で実用化し、さらに予測の精度を上げている。たとえばスペインでは2006年に導入された気象予測の出力予測システムが、2010年にはその予測の精度を急速に上げている。日本においても早急に気象予測を使った出力予測システムを中心にした系統運用を行っていけば、自然エネルギー電源の急速な普及を支えることができる。

この出力予測システムの活用によって、システムの安定度を高めるだけでなく、予備のための化石燃料電源の必要容量を下げることによって経済性も高めていくことができる。今回のWWF検証シミュレーションでは、保守的な前提とするために、火力発電を電力需要の2割とおいたが、気象予測を使った出力予測システムを活用すれば、さらに火力発電所の必要容量を低く抑えることができるはずである。

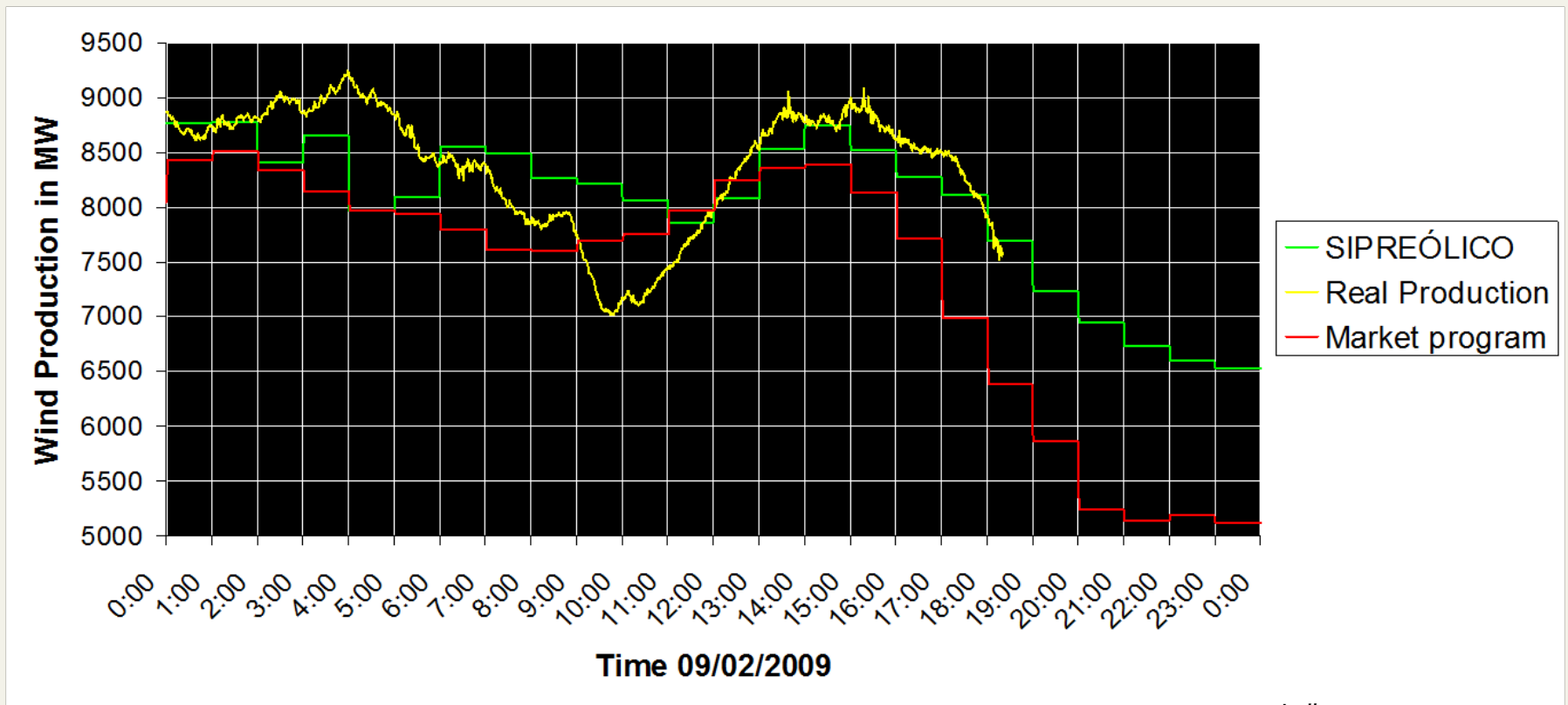


気象予測を使えば 変動電源は予測できる！

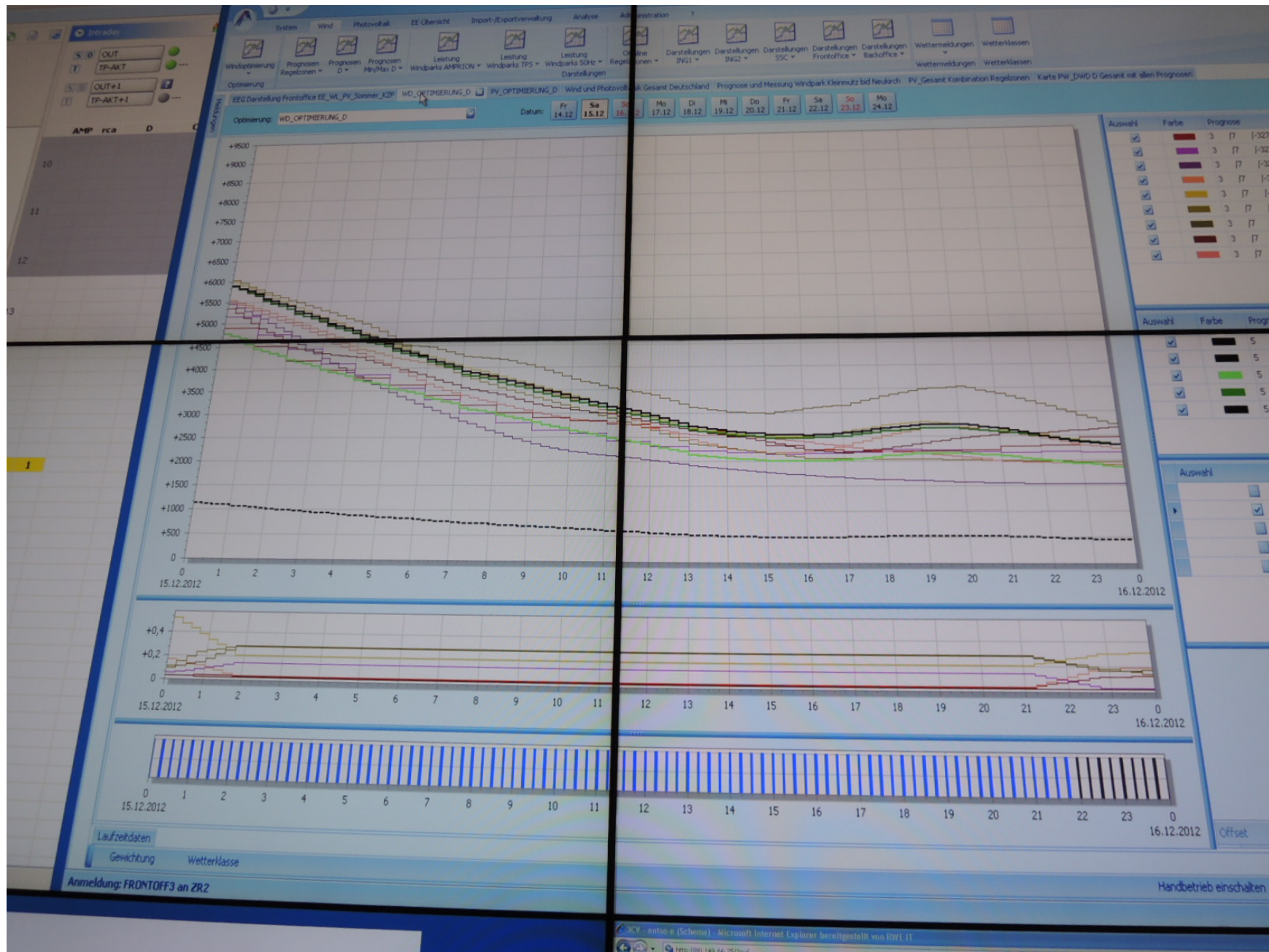


計画を立てられる

スペインREE(系統運用会社)の出力予測と実際の出力



ドイツAmprion(系統運用会社)の制御センターに映し出される11の出力予測システム

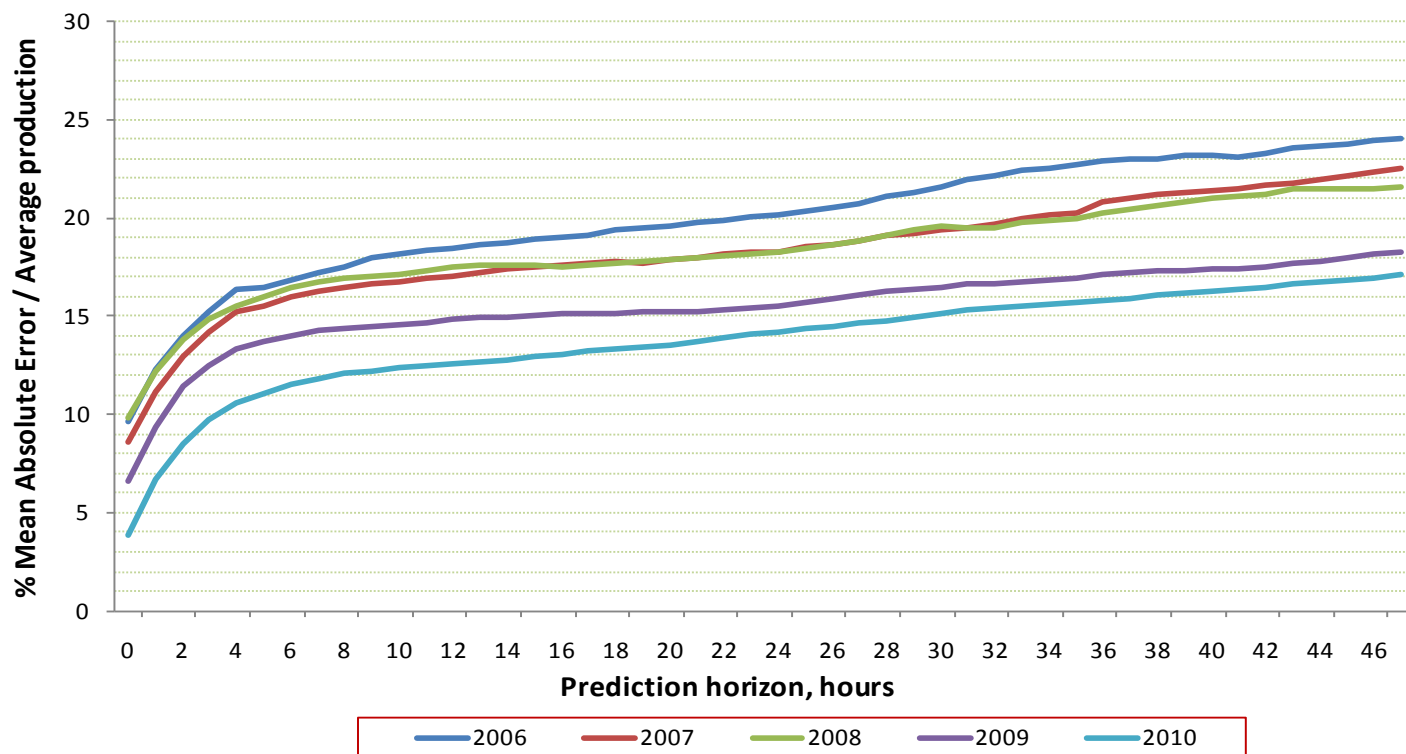




出力予測システムの活用の仕方

- 前日予測(24時間から32時間前):
電力取引所で、気象予測を使った出力予測システムで、
経済性から電源を選ぶ=前日市場
- 当日予測(5時間から8時間前):
電力取引所で、より精度の高い当日の気象予測を使った出力予測システム
で、調整する=当日市場
- 1時間前などの予測
- 直前調整

REE: SIPREOLICOの誤差(平均絶対誤差)





◆ リアルタイムの出力量の把握や出力抑制指令があったときにすぐに実行できる伝達システムの構築

変動する電源である自然エネルギーを大幅に系統に給電していくにあたって、いざとなれば出力抑制ができるという機能があることは重要である。スペインでは、10MW以上のすべての自然エネルギー電源は、中央給電指令所から直接制御できる設備を備えなければならないと決められている。中央給電指令所から、出力抑制指令があればすぐに実施できる体制があれば、日本においても自然エネルギーを大量に導入していく系統システムへ移行しやすくなる。今後の自然エネルギー電源の設置に、これらの伝達システムを整備することを義務化するなど、自然エネルギーを主要電源とする環境を整えていくことが重要である。

◆ 自然エネルギーに特化した制御センターを中央給電指令所に設置して運用すること

上記に述べたような気象予測を使った出力予測システムや直接制御の機能を持つ自然エネルギー専門の中央制御センターがあれば、リアルタイムで自然エネルギーの制御が可能となる。スペインのREE(系統運用会社)においては、日本と同じ孤島のような条件下で、発電量に占める自然エネルギー割合30%を実現しているが、そのカギが、中央給電指令所に自然エネルギーに特化した制御センターである。日本においても、広域運用機関の中央給電指令所には、このような自然エネルギーに特化した制御センターを設置していくことが望まれる。

スペインRED(系統運用会社)の自然エネルギー専門の制御センター



撮影: WWFジャパン(2012年3月)

- ◆ 余剰電力の発生を最初から見込んで、積極的に余剰電力の活用を考えていくこと。特に余剰電力による水素製造は、運輸用や産業用の燃料需要を自然エネルギーで満たすために重要である。

余剰電力の発生は、変動する電源である自然エネルギーを大量に導入した中で、その発電容量を需要電力容量に合わせていく方法として、むしろ必然である。余剰電力の発生を所与のものとして見込み、余剰電力の使い道を考えていくことが、安全な国産エネルギーである自然エネルギー中心のエネルギー供給社会に必要なのである。

WWFシナリオでは、余剰電力によって燃料電池車や産業用の用途として、水素を製造することを想定している。水素は、化石燃料に頼った輸送用の燃料を代替していくためにも、化石燃料から製造するのではなく、自然エネルギー由来で製造することが求められている。さらに水素は、季節変動のある自然エネルギーを、季節を越えて利用するためにも必要となる。余剰電力の発生は、むしろ自然エネルギーの活用の可能性を広げるために必要な事であると言える。

おしまいに

今回の接続保留問題に代表されるような「変動する自然エネルギーをいかにして無駄なく、需給のバランスの中で活用するか」という問題は、固定価格買取制度を導入して自然エネルギーの大幅導入を果たしてきた国々では多かれ少なかれ経験済みのことである。否定的にとらえるのではなく、むしろ制度のよりよい改善をはかっていくために必要な過程であると言えよう。

今回の接続保留問題においても顕わになったとおり、日本では、「自然エネルギーをフルに活用するための系統運用」という発想が十分ではない。系統運用に関する根本的な発想の転換が必要である。

固定価格買取制度の導入で、自然エネルギーの導入が進んだとはいえ、いまだ日本においては、大規模水力を除いた自然エネルギーの割合は、2.2%に過ぎない。日本においても自然エネルギーの運用データが蓄積されてくれば、様々な手法が適用できるはずであり、その際には、自然エネルギー先進国の成功や失敗例から学んだ知見を活かしていくこともできる。いたずらに接続可能量などを設定するのではなく、自然エネルギーの導入に合わせて、運用しながら学んでいくという姿勢が大切ではないか。“否定”から入るのではなく、“いかにして可能に”していくか、という姿勢が、今最も求められている。



参考文献

WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案」

<http://www.wwf.or.jp/re100>

【第1部】省エネルギー編（2011年7月発表）

【第2部】自然エネルギー100%編（2011年11月発表）

【第3部】費用算定編（2013年3月発表）

【第4部】電力系統編（2013年9月発表）

検証：自然エネルギー接続保留に関する定量的分析（2014年11月）

WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案」〈電力系統編〉補論

検証：自然エネルギー接続保留に関する定量的分析

<http://www.wwf.or.jp/activities/upfiles/20141111EnergyScenario04opt.pdf>