

WWFジャパン

脱炭素社会へ向けたエネルギーシナリオ提案 自然エネルギー接続保留に関する定量的分析



WWFジャパンセミナー
航空会館 2014年11月11日

榎屋治紀
システム技術研究所

自然エネルギーの可能性と課題

可能性

- 安全性
- セキュリティ向上
- エネルギー自立
- CO2排出なし
- サステナブルである
- 核拡散の減少

課題

- 安定供給可能か？
(太陽や風力は変動する供給源である)
- エネルギー資源は国内に充分あるか？
- 大きなエネルギー貯蔵が必要か？
- コストは非常に大きい？

本報告の背景と目的

WWFジャパンでは、2011年～2013年に「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ」を作成した。これは2050年を目標年として、省エネルギーによりエネルギー需要を低減し、自然エネルギーが100%普及するシナリオを検討してきた。

2012年からのFIT(固定価格買取制度)の導入によって太陽光発電の設置申し込みが非常に大きくなり、9月には九州電力など電力会社は系統への「接続保留」を宣言した。

本報告は、九州電力の電力需要と太陽光発電などの電力供給について定量的な検討を行って、問題を理解することを目的にしている。

本報告の概要

- 1) 九州電力の2013年度の電力需要の検討
- 2) 九州地域に「設備認定」された太陽光と風力の合計が1260万kWになるときの発電量を計算
- 3) その他の供給源(地熱、自流式水力、調整用火力、原子力)を想定
- 4) 電力需要と蓄電用の揚水発電を需要側に設定
- 5) 1時間ごとの需要と供給から余剰の計算
- 6) さらに余剰があれば九州から外部への送電
- 7) このとき発生する「発電抑制」の時間数と日数、発電抑制量を計算し検討

接続保留問題

- ・2014年5月末までに「設備認定」された太陽光と風力は日本全国で6983万kWに達している。
- ・九州において2014年3月末に実際に運転しているのは太陽光272万kW、風力43万kWである。
- ・問題になっている接続契約申し込み量1260万kW（太陽光1180万kW、風力80万kW）に対して、軽負荷期の昼間の電力需要はおよそ800万kW。
- ・電力需要の小さいときに太陽光発電のピークが生じると、余剰が発生し系統を不安定にする可能性があるとしている。

発電抑制

- ・このとき発電抑制を行うと、買い上げできないことから、太陽光発電設置者の利益を阻害する。
- ・現状では、30日未満なら、電力会社は大規模太陽光発電(500kW以上)に対しては、出力抑制を無補償で求めることできるが、30日を超えると補償する必要があるため、電力会社が将来を見越して「接続保留」を宣言するという事態になっている。
- ・上記の「接続保留」は、設置認定された設備がすべて発電を開始した場合であり、現実にはこのような事態になり余剰が発生するのは、かなり先であり、それまでに建設的な方針が打ち出される必要がある。

WWFシナリオで使用したダイナミックシミュレータ 地域ごとのエネルギー需給を1時間ごとに1年間計算する

地域として、日本全体あるいは、沖縄以外の9電力地域を設定できる。9電力地域のうちのいくつかのグループを一つの地域として設定して計算できる。

入力:

地域の気象データ
(AMEDAS2000)
地域の電力需要
火力・水力など既存発電設備、蓄電容量
太陽光・風力発電設備



Dynamic
Simulator



出力:

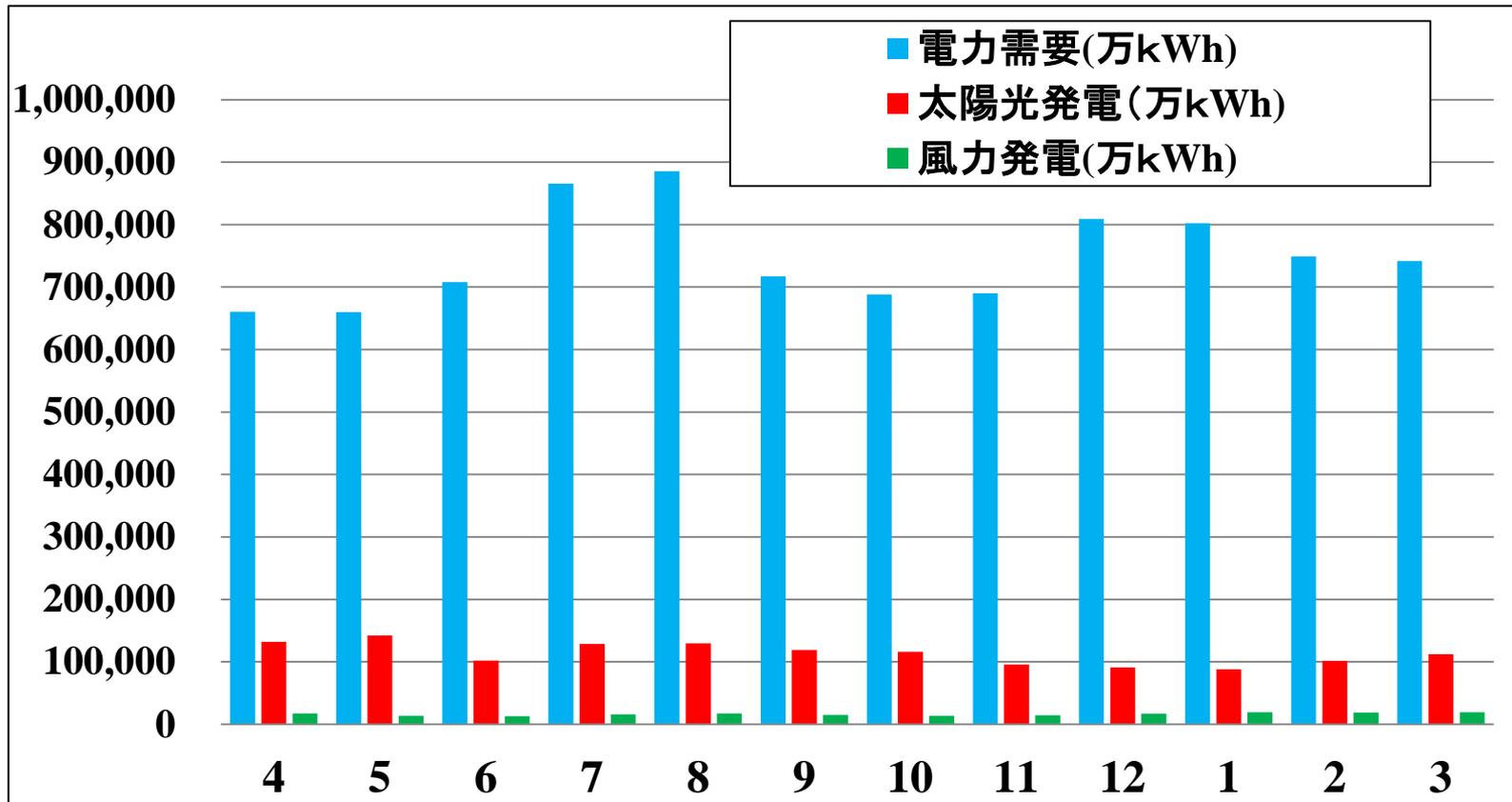
各発電設備の発電量
最大不足電力
余剰電力
揚水発電使用量
バッテリー使用量

日本全国を対象にした場合の自然エネルギーと蓄電の想定

水力3500万kW,地熱発電1420万kW,バイオマス発電800万kW,揚水発電2513万kW (蓄電容量113GWh)、バッテリー400GWh

発電の不足が生じないように電力需要の130~160%を供給可能な発電設備を想定し、太陽光と風力の変動から生じる発電余剰を自動車用の電力と水素の生産,民生・産業用の熱需要などにして供給する。

九州電力の電力需要と 太陽光(1180万kW)、風力(80万kW)



年間電力需要は897億kWh、太陽光+風力はその17.3%である。
需要のピークは7~8月、太陽光のピークは4月~5月、8月である

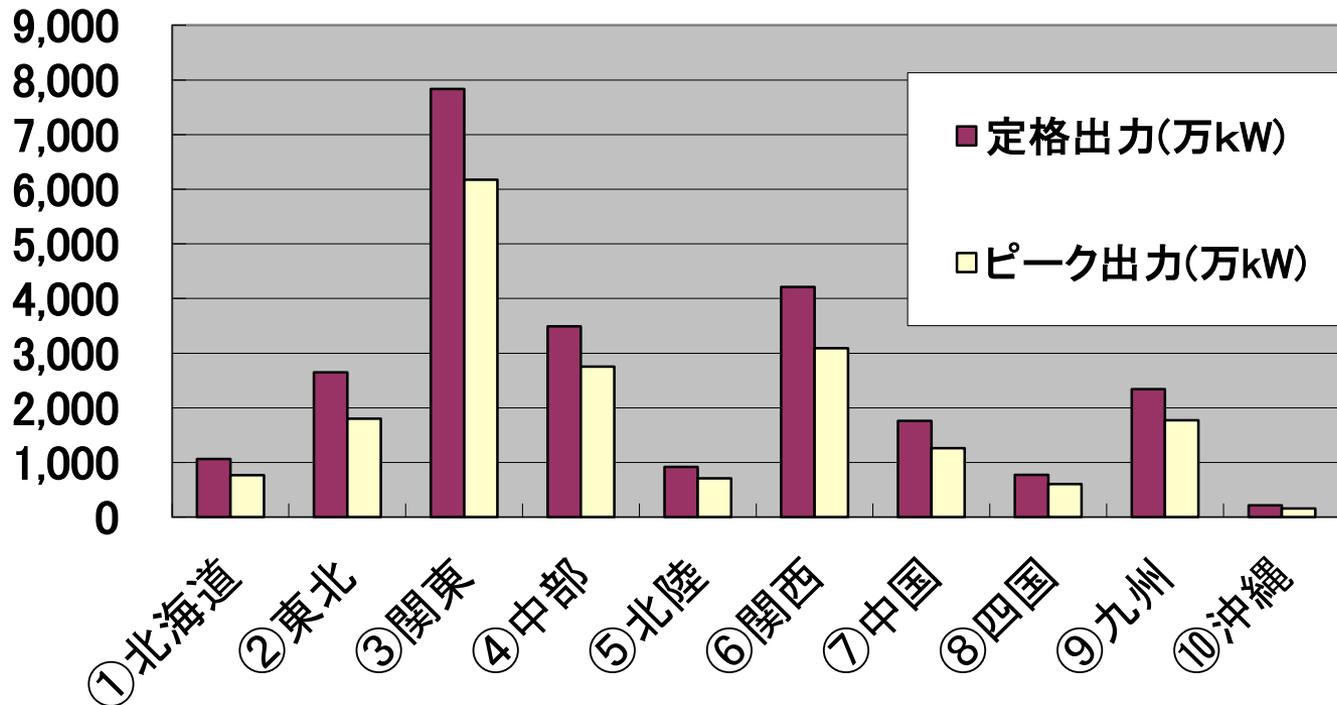
風力と太陽光発電のユニットと設置条件

自然エネルギー	地点数 設備利用率	ひとつのユニットの 設置条件
太陽光発電 (1180万kW)	104地点,設備 利用率13.15%	10kW,南向き,傾斜 角=緯度-5度
風力発電 (80万kW)	104地点から設 備利用率18% 以上の14地点 を抽出,平均利 用率27.9%	2MW,直径80m,ハブ 高さ56m,風速毎 秒3mで発電開始, 毎秒25m以上で停 止

拡張AMEDAS2000の時刻別気象データは全国842地点、そのうち九州地区の104地点を利用

ピーク出力と定格出力

太陽光発電(万kW) WWFシナリオ 2030年



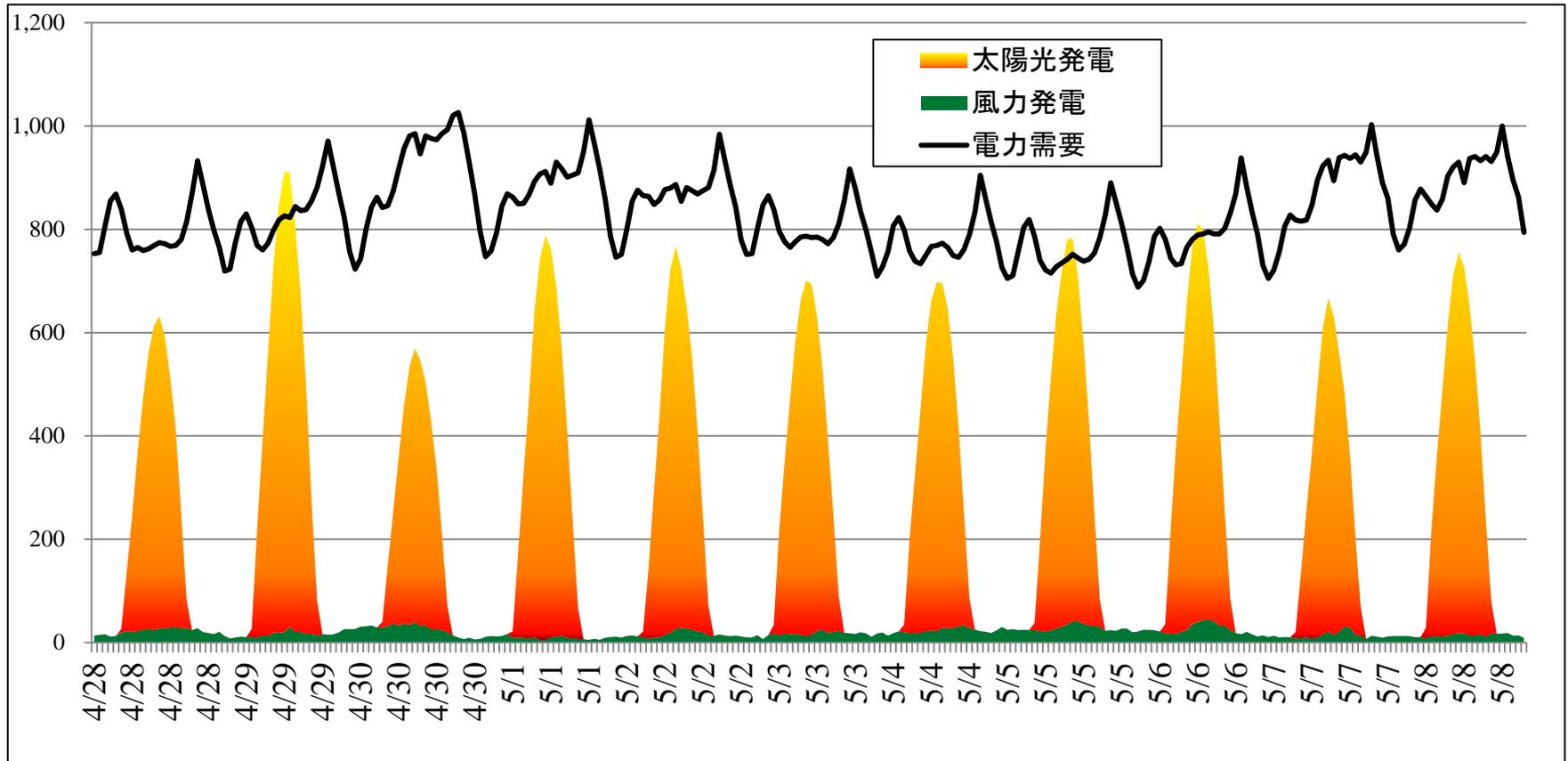
太陽光発電のピーク出力=定格出力の75~80%(定義から)

風力発電のピーク出力=定格出力のおよそ80%(分散地点の合成)

太陽光発電の定格出力

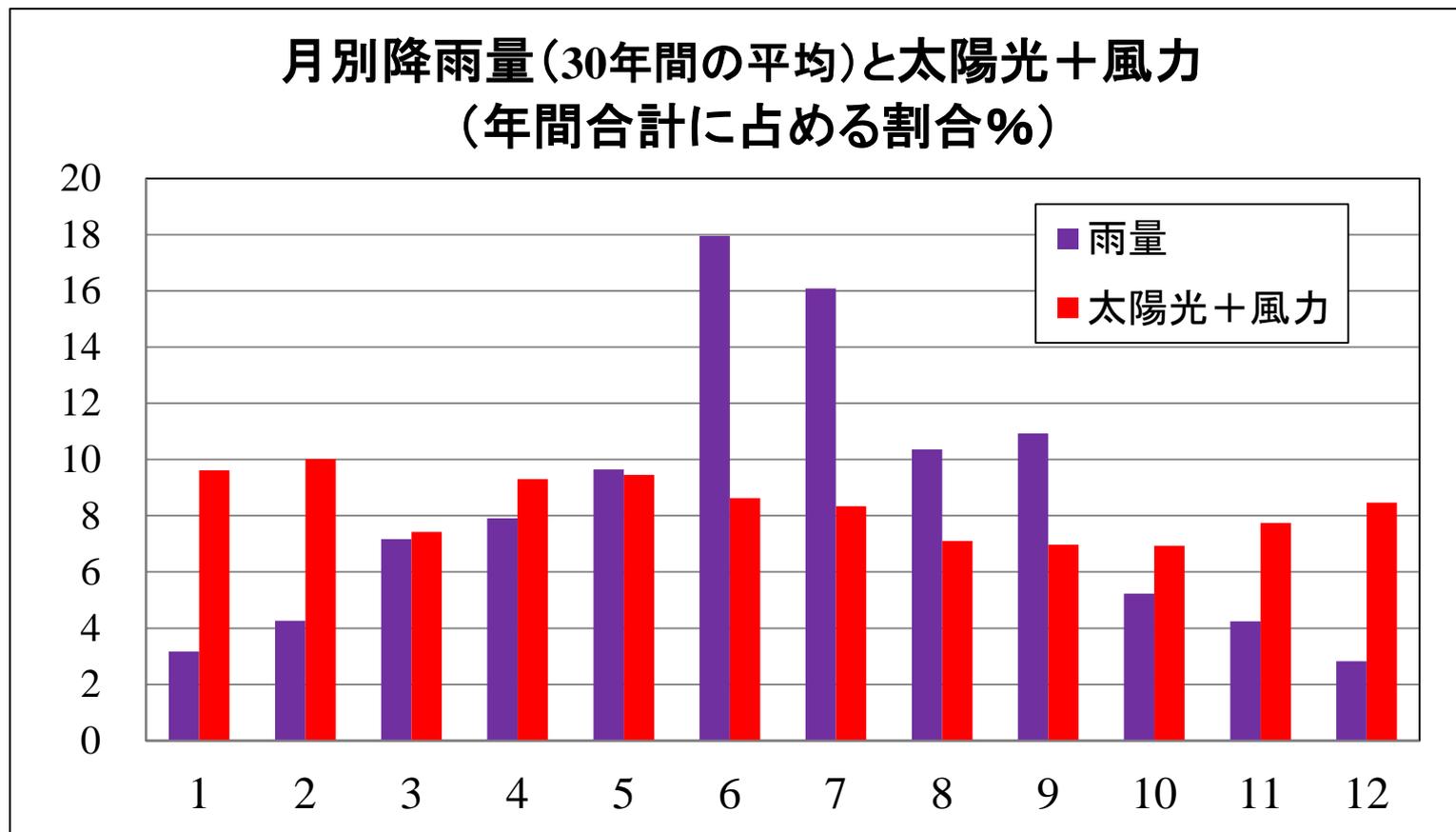
- 太陽光発電の定格出力は、実際のピーク出力を示すものではない。
- 定格出力の定義：エアマス1.5で太陽輻射 $1\text{kW}/\text{m}^2$ のときの発電出力。太陽光が地球に垂直に入射する場合をエアマス1.0として、その1.5倍の空気層を通過する場合（入射角42度）を想定。
- $1\text{kW}/\text{m}^2$ という条件は日本では実際に生じることは少ない。

シミュレーション(4月28日～5月8日)



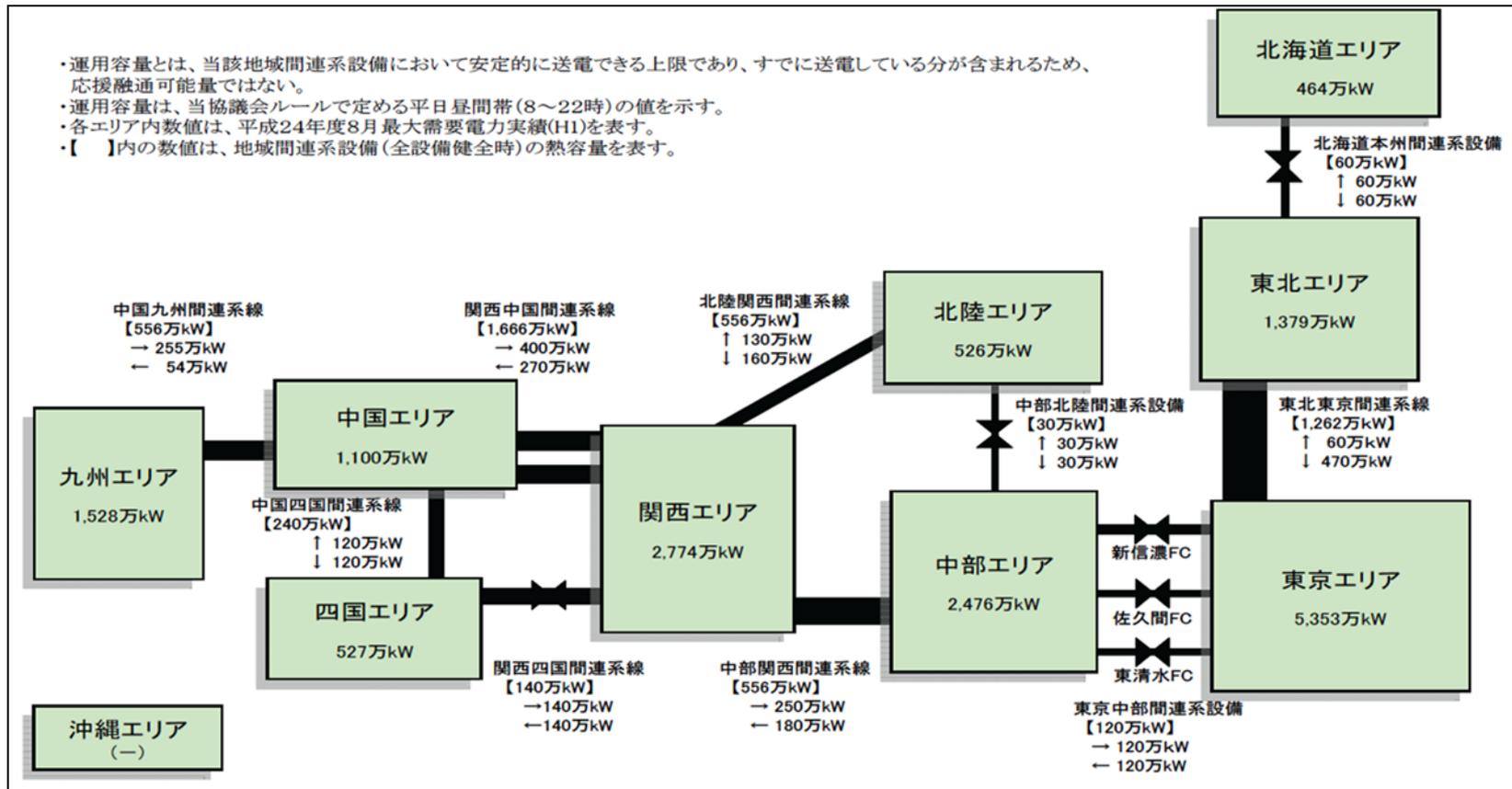
1年のうちで4月末～5月初旬には、電力需要が小さく、太陽光発電が大きい
ため余剰が生じる可能性がある。需要のピークは夕刻であるが、太陽光の
ピークは正午過ぎごろである。

九州の降雨量と太陽光＋風力



水力発電が降雨量と関係している。降雨量は6~7月が大きく、太陽光＋風力は2月、4~5月に大きい。

現状の地域連系線の容量



現状の地域連系線の規模は、北海道・東北60万kW、東北・関東470万kW、関東・中部120万kW、中部・関西250万kW、関西・中国400万kW、関西・北陸60万kW、中国・四国260万kWであり、九州→中国間の運用容量259万kW、熱容量556万kWになっている。現状では利用の程度は低い。

余剰が生じるときの供給側と需要側

供給側(万kW)		需要側(万kW)	
太陽光発電のピーク	893	軽負荷時の電力需要	およそ 800
風力発電のピーク	65	揚水発電への蓄電	219
自流式水力	210	送電容量ケースA または送電容量 ケースB	259~556
地熱発電	21		
調整用火力	160		
原子力	178		
合計	1527	合計	1278~1575

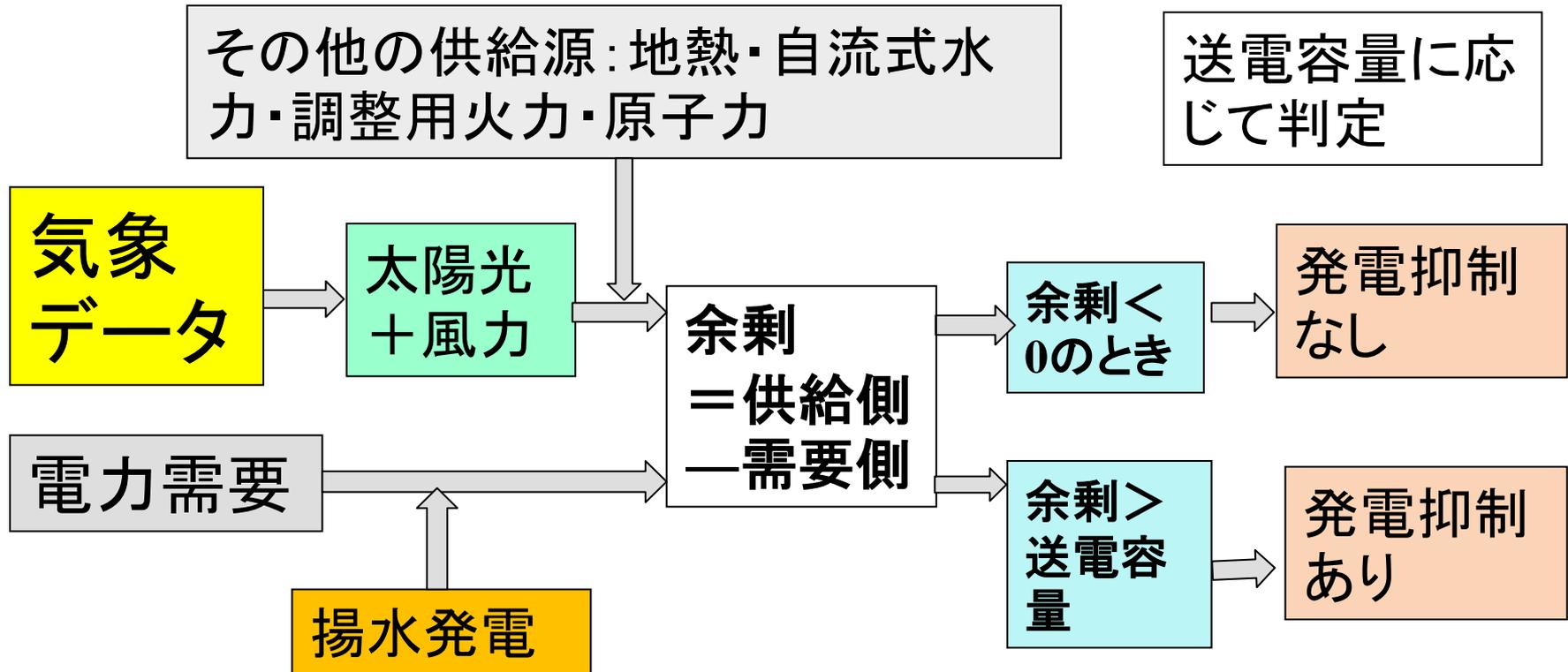
供給側 = 太陽光発電 + 風力 + その他の供給源

余剰 = 供給側 - 需要側

その他の供給源 = 自流式水力 + 地熱 + 原子力

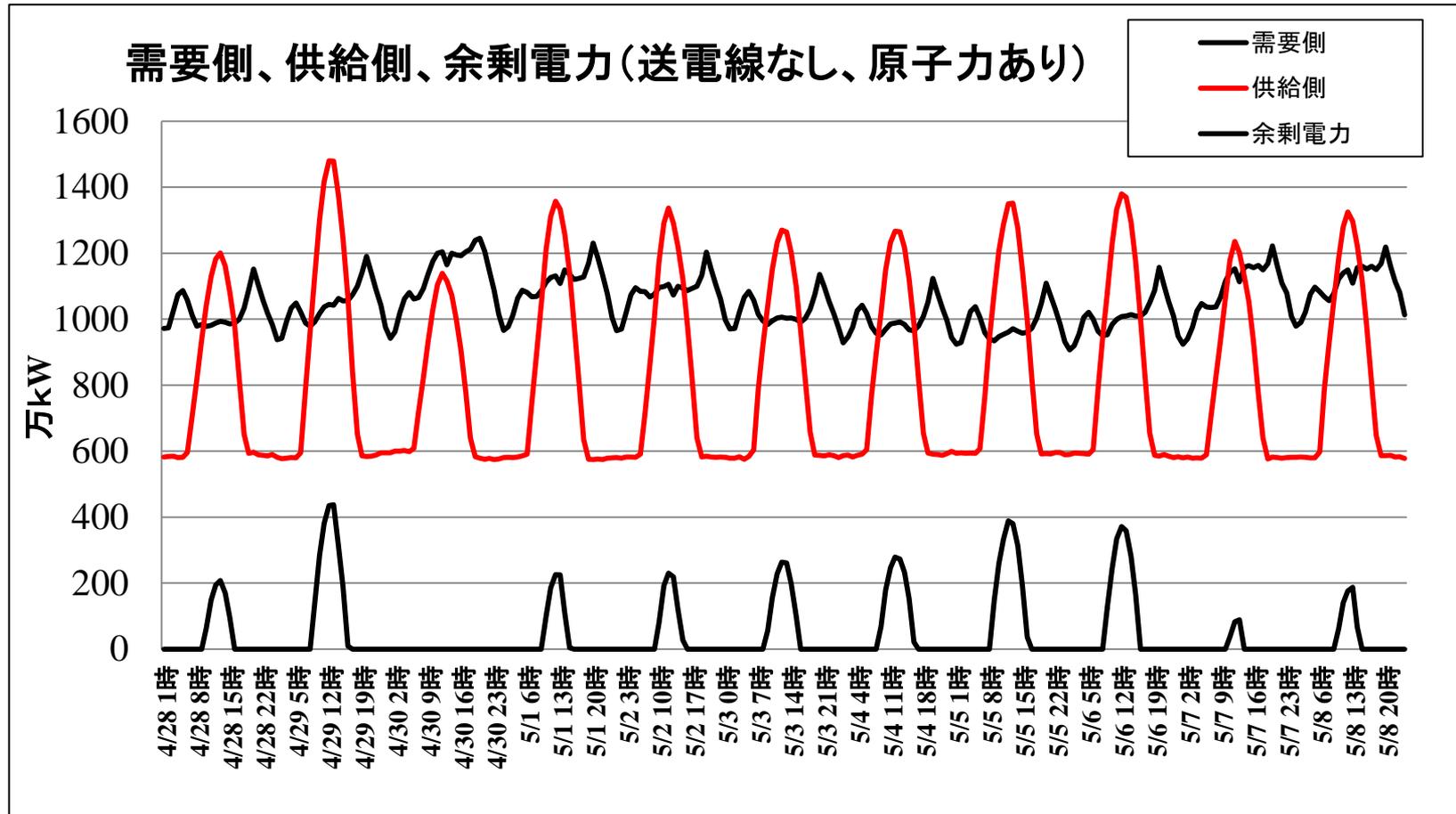
需要側 = 電力需要 + 揚水発電 + (連系線への送電)

余剰電力と発電抑制時間の計算



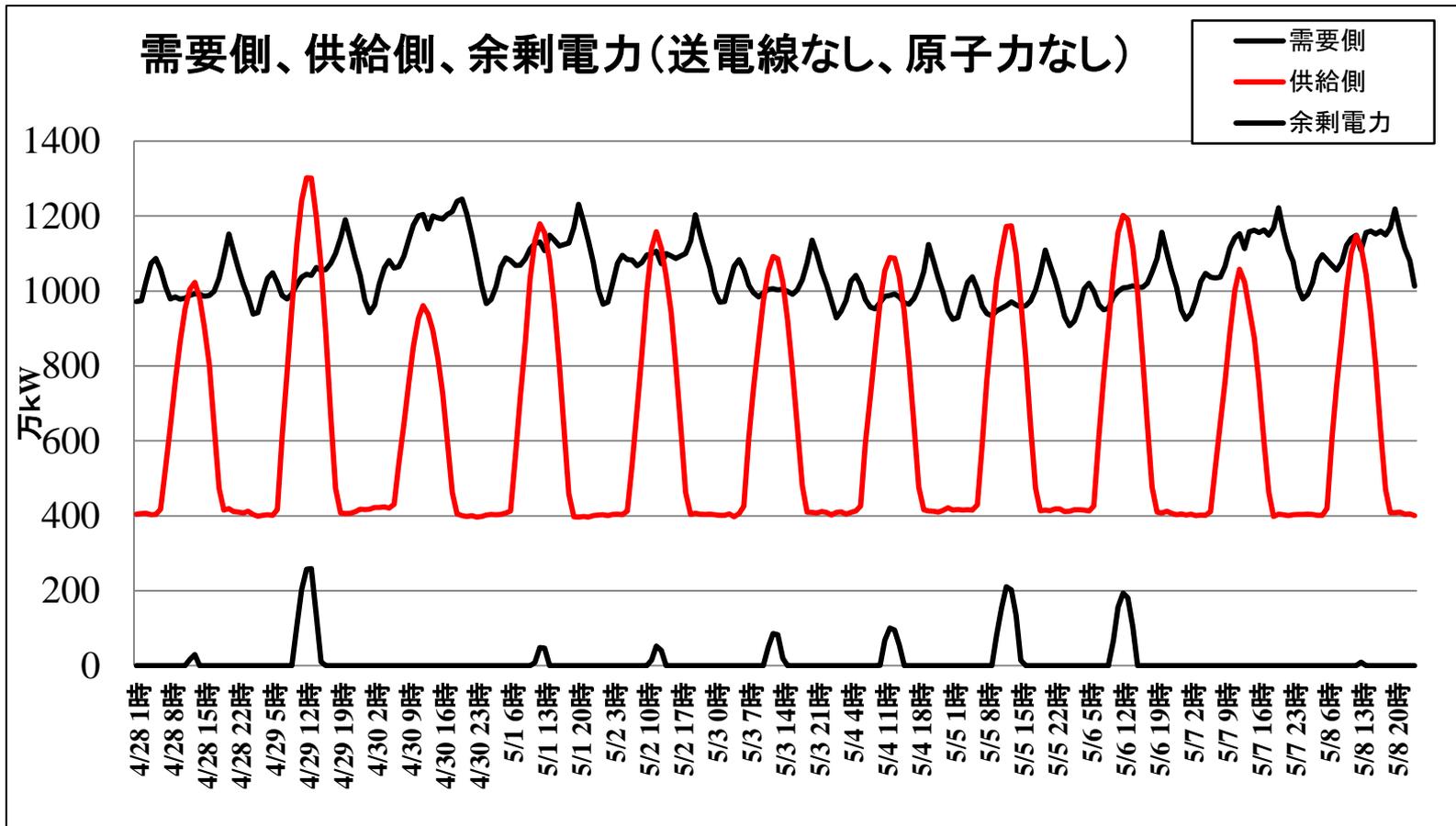
供給側 = 太陽光 + 風力 + その他の供給源、需要側 = 電力需要 + 揚水発電 との差を余剰電力として計算。余剰が発生するとき、送電容量に応じて発電抑制が必要か判定する。

シミュレーション(需要:供給)



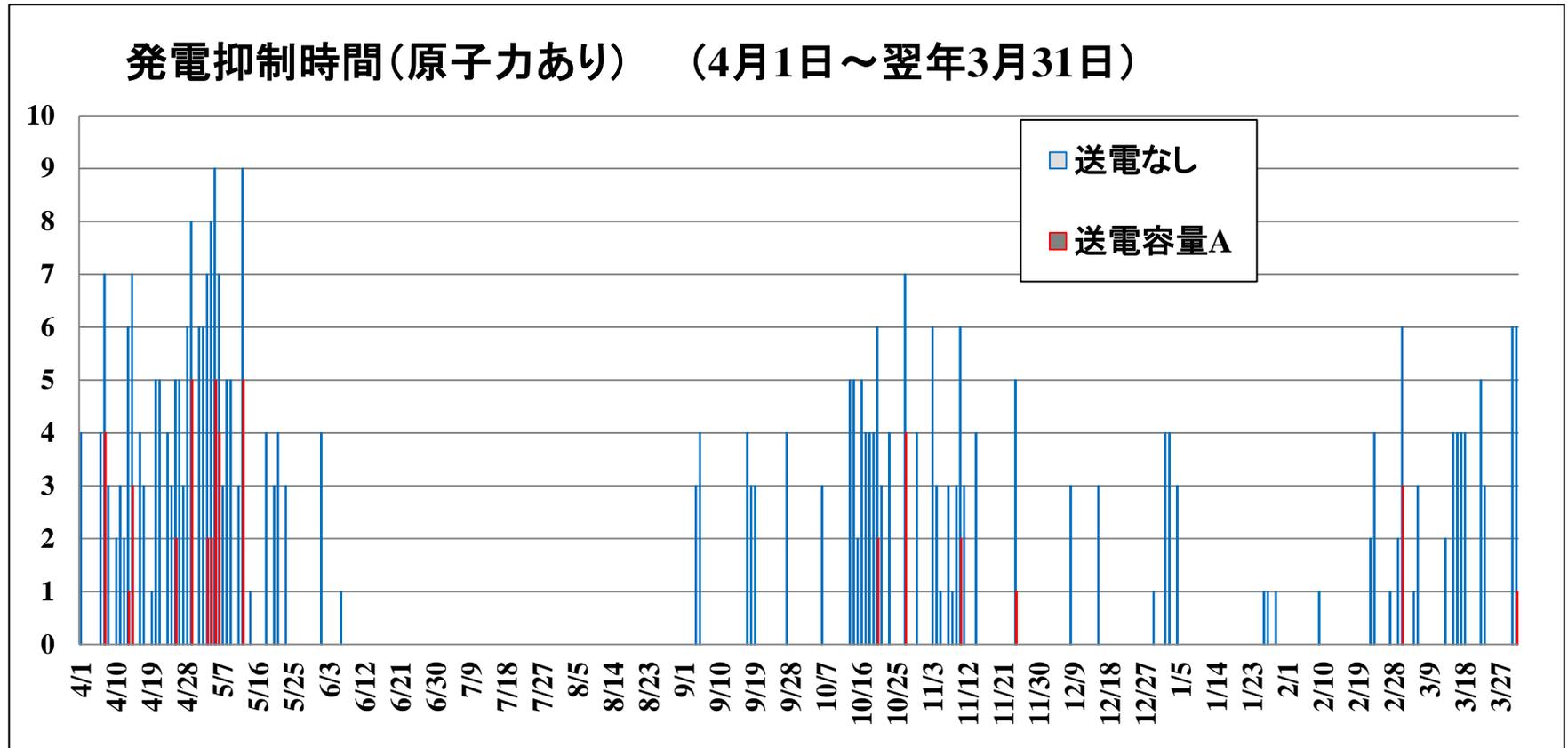
余剰 = 供給側 - 需要側 (4月28日 ~ 5月8日) 供給側では、「その他の供給源」が一定値で太陽光 + 風力の変動部分をかさ上げしている。

シミュレーション(需要:供給)



余剰 = 供給側 - 需要側 (4月28日 ~ 5月8日) 供給側が需要側を上回れば余剰。
原子力ありの場合に比較すると余剰の発生が小さくなっている。

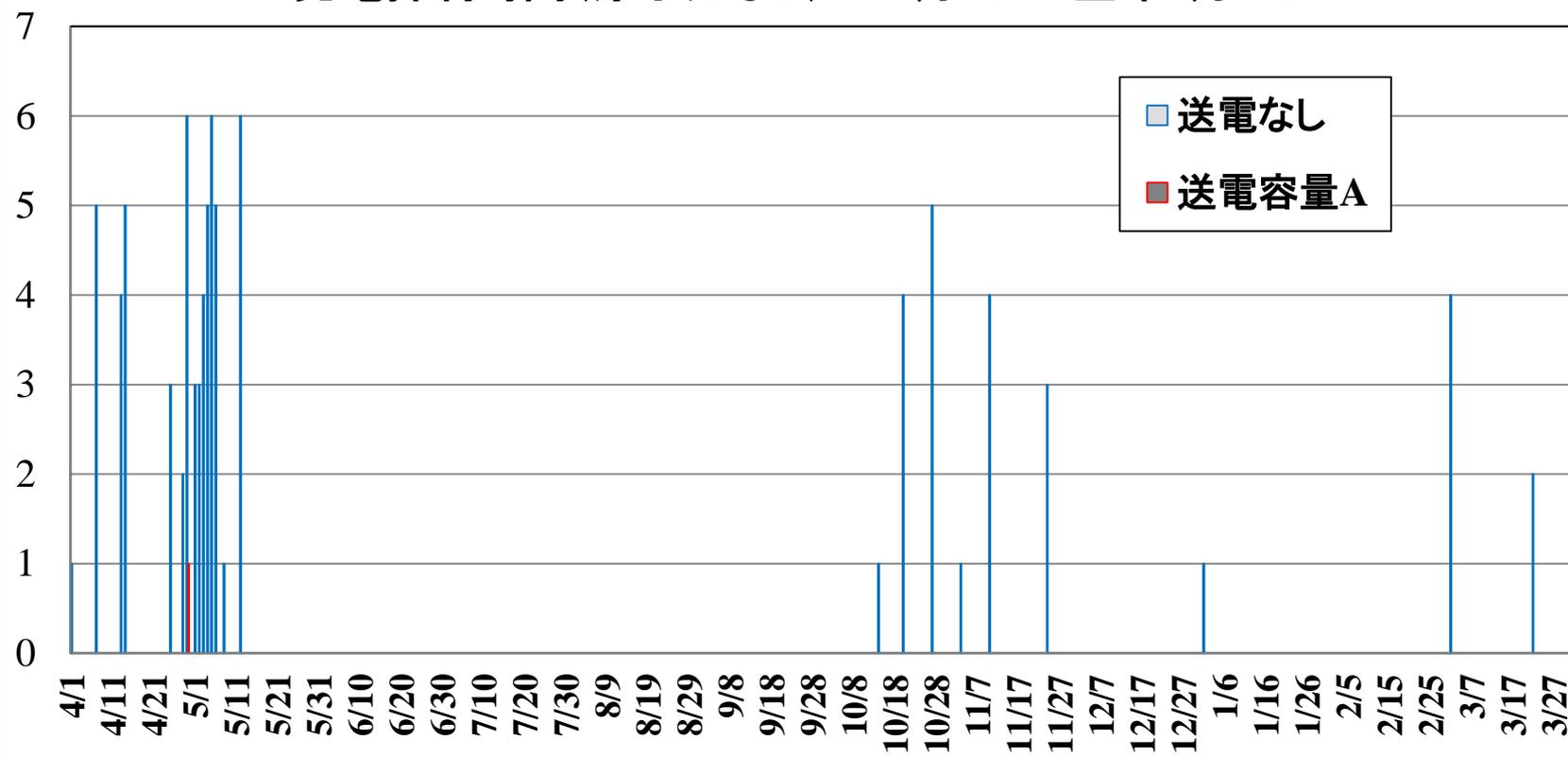
1年間の発電抑制時間



1年間の発電抑制の発生をみると、原子力ありの場合には4月末～5月初旬、10月、2月、3月に多く生じている。送電なしの時に比較して、送電容量Aのときには、発電抑制時間は小さくなっている。

1年間の発電抑制時間

発電抑制時間(原子力なし) 4月1日～翌年3月31日



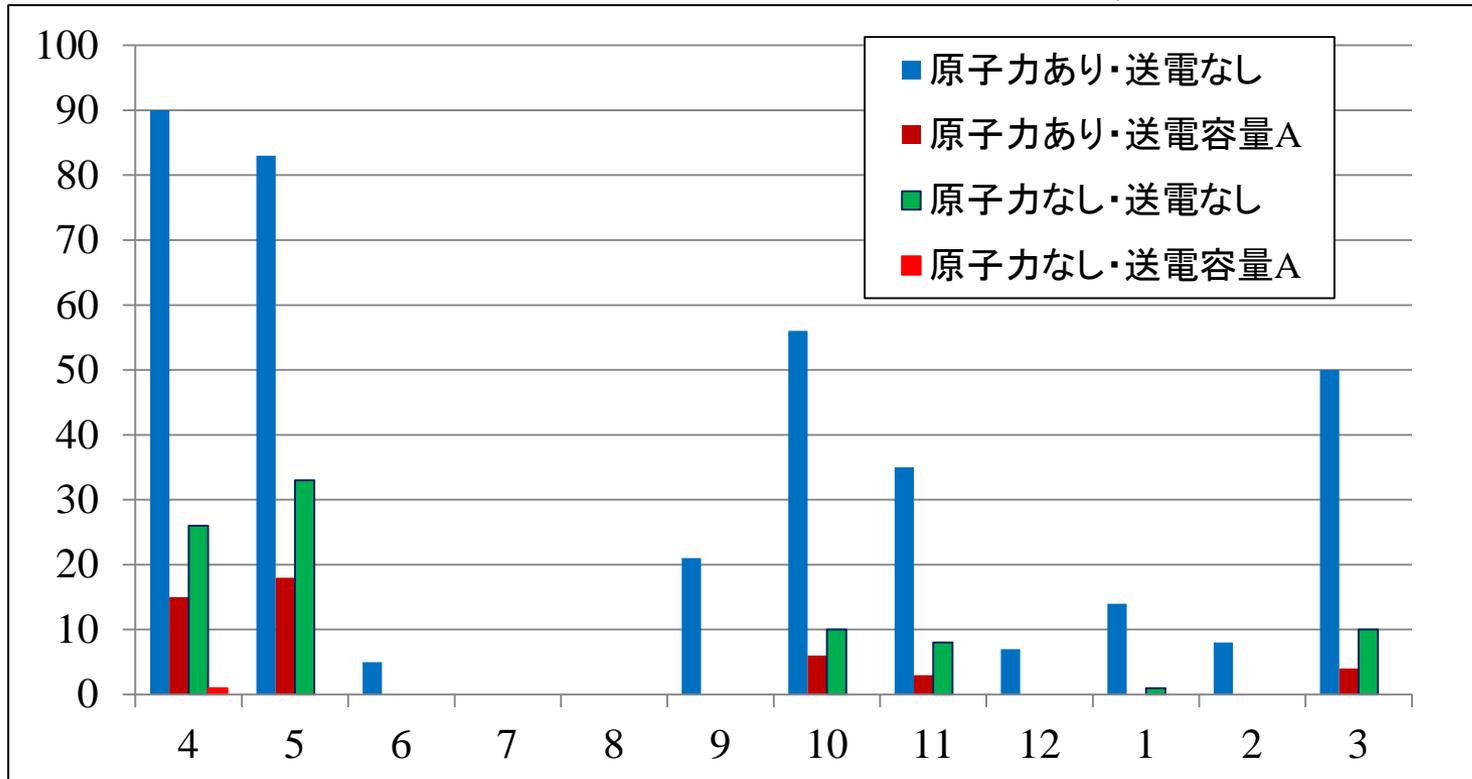
原子力なしの場合には、発電抑制量は小さくなる。発生する時期は、同様に、4月末～5月初旬に集中している。送電容量Bのとき発電抑制はゼロ。

発電抑制時間数

月	日	原子力あり			原子力なし			月	日	原子力あり			原子力なし		
		送電なしのとき	送電容量Aのとき	送電容量Bのとき	送電なしのとき	送電容量Aのとき	送電容量Bのとき			送電なしのとき	送電容量Aのとき	送電容量Bのとき	送電なしのとき	送電容量Aのとき	送電容量Bのとき
4	1	4	0	0	1	0	0	10	6	3	0	0	0	0	0
4	6	4	0	0	0	0	0	10	13	5	0	0	0	0	0
4	7	7	4	0	5	0	0	10	14	5	0	0	1	0	0
4	8	3	0	0	0	0	0	10	15	2	0	0	0	0	0
4	10	2	0	0	0	0	0	10	16	5	0	0	0	0	0
4	11	3	0	0	0	0	0	10	17	4	0	0	0	0	0
4	12	2	0	0	0	0	0	10	18	4	0	0	0	0	0
4	13	6	1	0	4	0	0	10	19	4	0	0	0	0	0
4	14	7	3	0	5	0	0	10	20	6	2	0	4	0	0
4	16	4	0	0	0	0	0	10	21	3	0	0	0	0	0
4	17	3	0	0	0	0	0	10	23	4	0	0	0	0	0
4	19	1	0	0	0	0	0	10	27	7	4	0	5	0	0
4	20	5	0	0	0	0	0	10	30	4	0	0	0	0	0
4	21	5	0	0	0	0	0	11	3	6	0	0	1	0	0
4	23	4	0	0	0	0	0	11	4	3	0	0	0	0	0
4	24	3	0	0	0	0	0	11	5	1	0	0	0	0	0
4	25	5	2	0	3	0	0	11	7	3	0	0	0	0	0
4	26	5	0	0	0	0	0	11	8	1	0	0	0	0	0
4	27	3	0	0	0	0	0	11	9	3	0	0	0	0	0
4	28	6	0	0	2	0	0	11	10	6	2	0	4	0	0
4	29	8	5	0	6	1	0	11	11	3	0	0	0	0	0
5	1	6	0	0	3	0	0	11	14	4	0	0	0	0	0
5	2	6	0	0	3	0	0	11	24	5	1	0	3	0	0

発電抑制の生じる日をピックアップしたもの。全体の一部(4月、5月、10月、11月)を示している。抑制時間は原子力あり・送電なしのときがもっとも大きく、原子力なし・送電容量Aでは小さくなっている。送電容量Bが使用できれば、発電抑制は生じない。

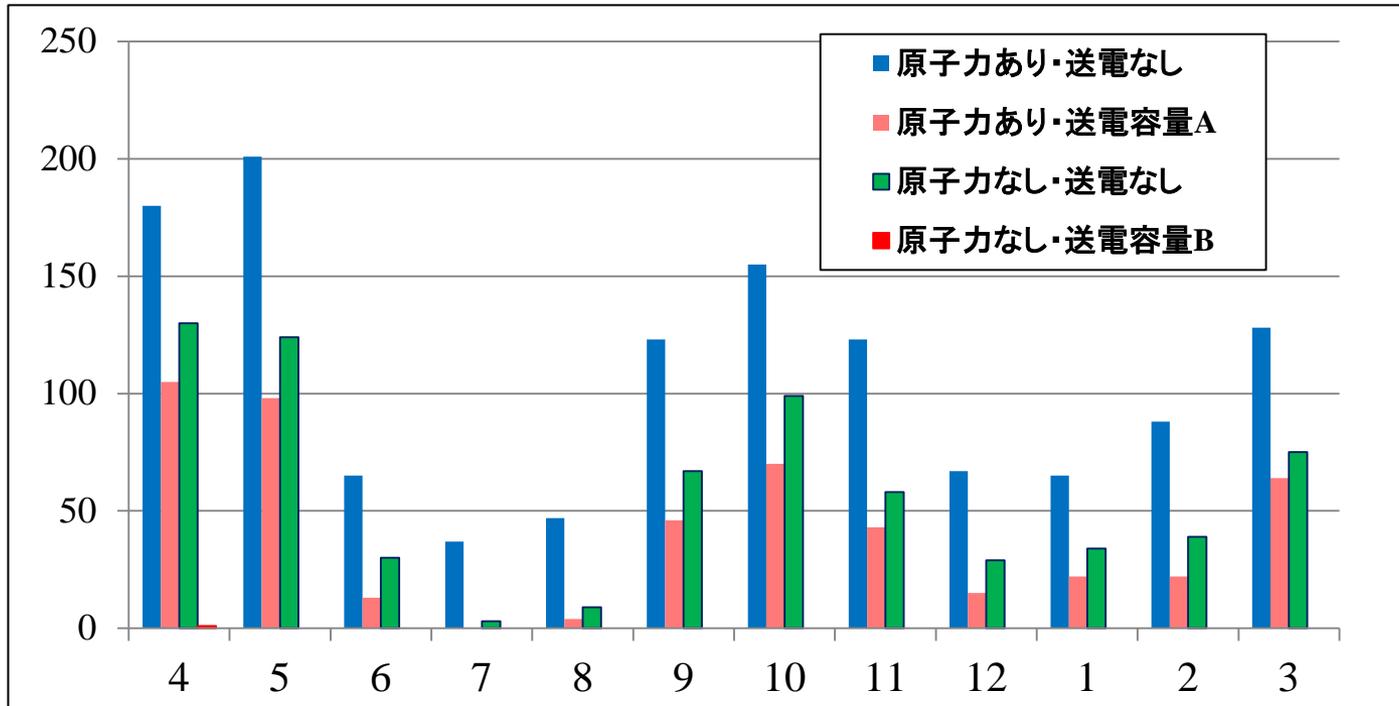
発電抑制時間数



原子力あり・送電なしのときには、発電抑制の発生が大きい。いずれの場合でも発電抑制は4～5月、10月に多くなっている

接続検討の1940万kWのケース

太陽光1840万kW＋風力100万kW



1940万kWのケースでは、発電抑制の発生が多くなり、送電容量Bのときには26時間(10日)になる

2シグマ方式

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】

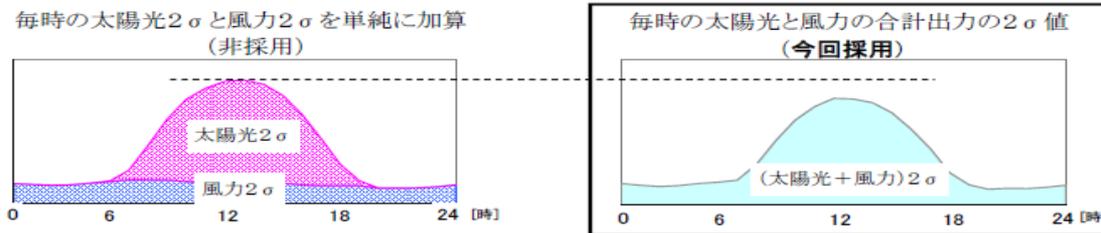
(ケース1) 検討断面における太陽光と風力の出力は、月単位で、毎時の太陽光と風力の合計出力の最大値(2σ値)を用いる。

[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



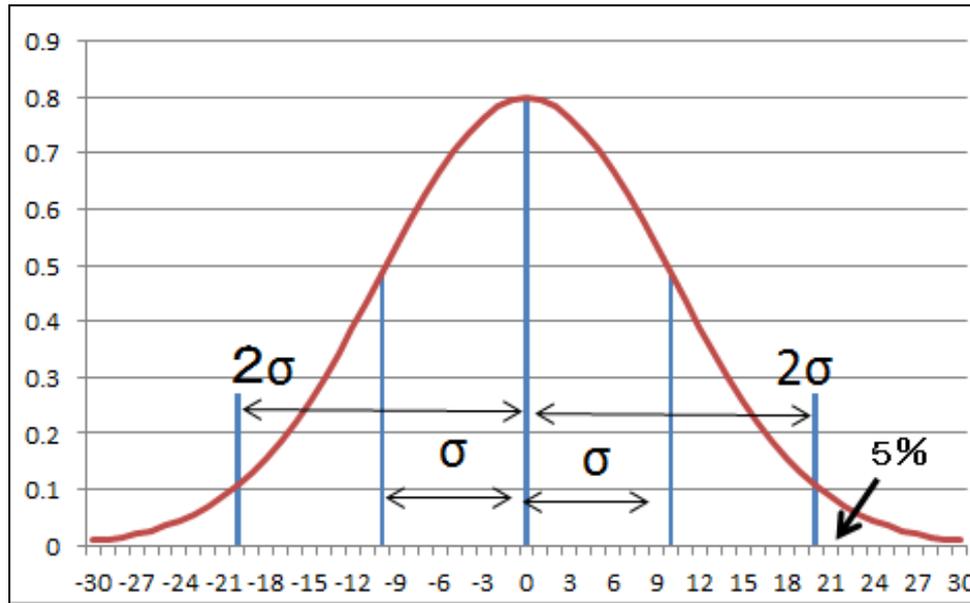
- (3) (2)を毎時分(24点)算定し、当該月の太陽光・風力の合計出力カーブを作成



- (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:九州電力、自然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、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(WG)」、第1回会合、2014年10月16日

シグマ(標準偏差、 σ)とは



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。

上図は正規分布で、多くの統計的現象の説明に使用されている。横軸はサンプルデータの値、縦軸はその出現確率を示す。

中央の平均値から±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。

ケース1の「平均値+2シグマ」の方式では、太陽光+風力の全体のデータサンプルの中から+2シグマのところに出現する値を、ピーク値として採用するとしている。

2シグマ方式の計算方法

1時間ごとの太陽光+風力の発電データ

月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	1	24	23	26	24	21	17	78	242	420	554
4	2	11	10	15	12	13	15	43	122	202	264
4	3	32	30	24	16	15	14	64	191	336	458
4	4	36	31	33	27	23	23	48	83	145	203
4	5	18	17	23	24	26	23	64	146	252	339
4	6	13	11	13	15	14	19	80	218	398	531
4	7	23	29	36	29	31	26	128	303	532	708
4	8	21	26	26	24	22	20	106	273	464	583
4	9	24	22	24	21	23	22	62	140	230	342

時間ごとに集計して σ を計算

4	26	6	5	10	7	8	13	164	297	461	591
4	27	12	11	4	10	5	12	140	250	372	472
4	28	13	15	16	12	13	27	138	247	369	472
4	29	13	8	10	12	10	26	219	392	561	732
4	30	26	31	32	33	29	40	149	253	360	460
平均(X)		22	22	23	22	21	24	114	240	389	513
σ		11	12	12	12	11	11	43	72	109	138
$X+2\sigma$		43	45	47	46	42	45	201	385	608	790

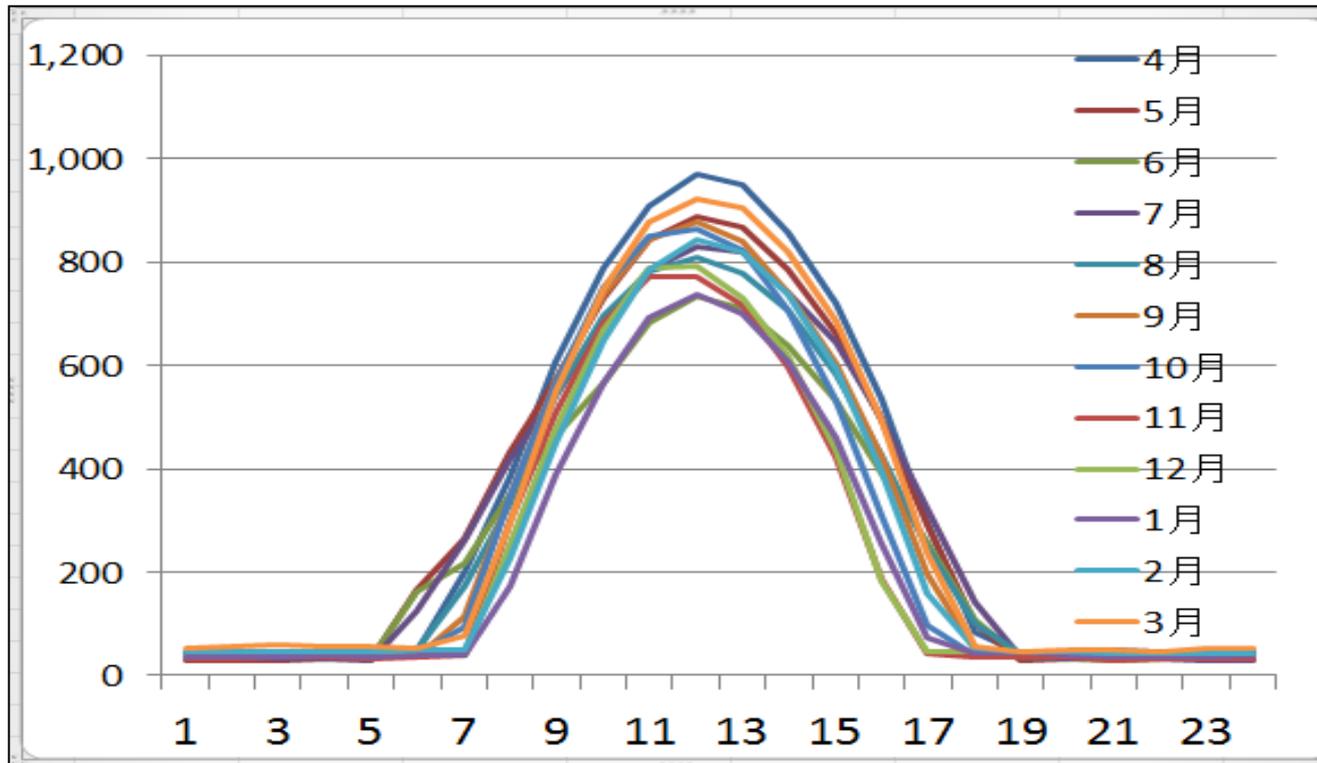
この最下段に平均+ 2σ をまとめる

毎月の平均+ 2σ を1年分まとめる

月/時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4月	43	45	47	46	42	45	201	385	608	790
5月	29	30	30	31	33	166	265	433	574	729
6月	35	34	33	34	33	163	219	350	463	566
7月	32	32	33	34	30	125	261	418	543	679
8月	47	47	48	45	46	51	174	334	542	696
9月	38	37	36	38	38	36	114	346	569	739
10月	36	37	35	38	39	43	95	348	565	749
11月	34	34	35	35	34	36	40	300	507	682
12月	37	36	41	43	41	41	40	255	478	668
1月	37	37	37	38	37	40	39	172	387	568
2月	45	45	46	46	45	49	49	226	450	648
3月	53	55	58	57	55	51	75	295	551	746

毎月の平均+ 2σ を集計

2シグマ方式の太陽光＋風力のピーク電力



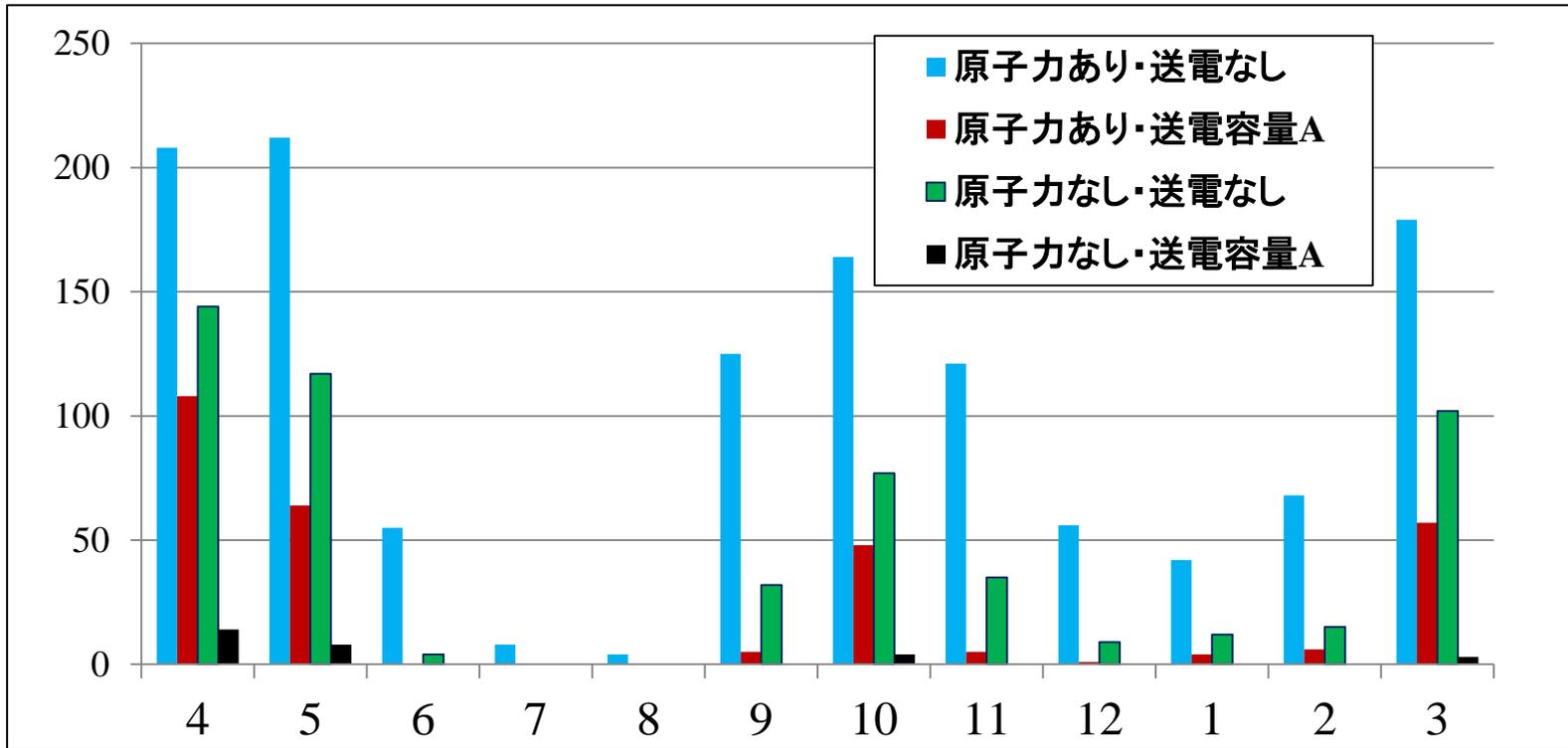
毎月のデータから、1日24時間の太陽光＋風力のピーク電力を作り出すと上の図のようになる。これを各月の電力需要と突き合わせる。

2シグマ方式で発電抑制の発生する時間

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										
4	52,739	208	10,704	108	0	0	20,881	144	643	14	0	0
5	42,313	212	5,272	64	0	0	12,520	117	187	8	0	0
6	3,737	55	0	0	0	0	76	4	0	0	0	0
7	334	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	117	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	14,190	125	88	5	0	0	1,234	32	0	0	0	0
10	29,561	164	2,890	48	0	0	7,824	77	84	4	0	0
11	15,609	121	104	5	0	0	1,386	35	0	0	0	0
12	5,369	56	16	1	0	0	405	9	0	0	0	0
1	5,267	42	136	4	0	0	691	12	0	0	0	0
2	7,892	68	228	6	0	0	977	15	0	0	0	0
3	36,139	179	4,123	57	0	0	10,619	102	63	3	0	0
合計	213,267	1,242	23,562	298	0	0	56,612	547	976	29	0	0
	合計日数	249	合計日数	96	合計日数	0	合計日数	152	合計日数	15	合計日数	0

2シグマ方式では、発電抑制の生じる時間は大きくなり、原子力なしの場合、送電なしで547時間(152日)、送電Aで29時間(15日)になる。しかし、原子力の有無にかかわらず送電Bが利用できれば、発電抑制はゼロになっている

2シグマ方式で発電抑制の発生する時間



2シグマ方式では、発電抑制の生じる可能性が大きくなる
ことがわかる。特に4～5月、10月に大きくなっている。

結論

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
発電抑制時間・日数								
送電線なし	369	94	88	25	1,242	249	547	152
送電容量A 259万kW	46	16	1	1	298	96	29	15
送電容量B 556万kW	0	0	0	0	0	0	0	0

太陽光＋風力が1260万kWのケースでは、発電抑制の発生は、送電容量Aを利用すれば原子力ありのとき16日であり、原子力なしのとき1日である。これに比較して、2シグマ方式(ケース1)はかなり大きくなっている。しかし、いずれでも送電容量Bが利用できれば発電抑制はゼロになる。

余剰電力を利用するニュービジネスの可能性

- 電力自由化に合わせて余剰電力の活用方法が重要
- 余剰電力を周囲に供給する新しいビジネスが出現す。
- 例として、冷房用氷蓄熱、食品産業の冷凍冷蔵庫、ヒートポンプ利用など熱需要への利用、休日操業の工場、電気自動車の充電、燃料電池車用の水素の生産と貯蔵
- 太陽光発電の余剰をまとめて扱う「PVアグリゲータ」が生じる、あるいは気象予測とデマンドレスポンスと余剰電力を組み合わせたニュービジネスが進展する可能性がある。
- 今回生じた問題は、新しい未来を構想する機会と考えて、柔軟に建設的に対応することが望ましい。