

日本における再生可能エネルギーによる 電力供給法

Dynamic Electricity Supply from Renewable Sources in Japan

樋屋 治紀*¹
Haruki TSUCHIYA

Abstract

The renewable electric supply requires electricity storage and backup power to control the fluctuating nature of solar and wind. This paper reports on a dynamic simulation of the national electric supply by photovoltaic, wind, hydro, biomass and geothermal power with electricity storage in Japan. The hourly meteorological data of solar radiation and wind speed in 150 sites nationwide are used to calculate electric power supply by photovoltaic and wind power to meet the hourly pattern of electricity demand around 2050. The analysis of annual simulation shows optimum share of solar and wind, and effect of battery capacity on backup power and excess electricity

キーワード：再生可能エネルギー，太陽光発電，風力発電，電力貯蔵，過剰電力

Key Words：Renewable energy, Photovoltaic, Wind power, Electricity storage, Excess electricity

1. はじめに

日本の電力の多くを再生可能エネルギー源（太陽，風力，水力，バイオマス，地熱）から供給する場合には，1年間の静的な概略エネルギー収支は，比較的簡単に計算することができる。しかし，太陽光発電や風力発電は時々刻々変動する供給源であり，需要との関係から，過不足や貯蔵の必要性の問題が生じると予想される。この問題を検討するには，ダイナミックな解析が必要であり，日本の国内電力を再生可能エネルギーで供給するときの，短い時間間隔ごとの需要と供給の変動から生じるバックアップ電力，電力貯蔵，過剰電力の関係を分析することが重要である。

2. シミュレータの概要

日本の全国各地の気象データ，電力需要データ，国内の再生可能エネルギー供給源に関する検討を行って，電力供給ダイナミック・シミュレータを開発した。以下にその概要を示す。

2.1 気象データ

日本全国の1時間ごとのデータとして，63地点の日射データ，150地点の風速データを使用した。

気象データとして，2001，2002，2003，2005年の4年分を準備した⁽¹⁾。

2.2 電力需要と時刻別パターン

再生可能エネルギーが大量に普及する2050年ごろを目標年として想定し，1年間の電力需給を計算する。まず表1に示すような現状の一般電気事業者10電力会社の1ヶ月ごとの電力需要（2008年）を基礎にして，将来の電力需要を検討した⁽²⁾。

10電力会社からの供給のほかに，その他電気事業者（卸電気事業者，特定電気事業者，特定規模電気事業者，自家発自家消費者）からの供給もあるが，

*¹ 株式会社システム技術研究所 所長
(〒103-0004 東京都中央区東日本橋 1-1-5 Hulic 東日本橋ビル 9F)
e-mail: tsuchiya@systemken.com
(原稿受付：2011年8月2日)

表1 日本の10地域の電力需要量 (GWh)

月	北海道	東北	関東	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄	合計
1	3,362	7,945	27,491	11,794	2,788	13,830	5,715	2,871	8,292	624	84,714
2	3,094	7,101	24,598	10,262	2,413	12,131	4,924	2,486	6,951	556	74,516
3	3,129	7,384	25,632	10,843	2,475	12,655	5,079	2,518	7,305	613	77,633
4	2,786	7,161	24,322	11,206	2,491	12,099	5,257	2,460	7,054	592	75,429
5	2,735	7,064	24,470	11,270	2,408	12,339	5,242	2,465	7,196	679	75,868
6	2,698	7,096	24,924	11,697	2,454	12,837	5,397	2,542	7,478	799	77,920
7	2,914	7,919	30,070	14,039	2,961	15,957	6,599	3,170	9,585	914	94,128
8	2,889	7,730	29,421	13,266	2,834	15,314	6,386	3,088	9,120	888	90,938
9	2,860	7,314	26,840	12,357	2,623	13,564	5,793	2,707	8,143	825	83,026
10	2,918	7,259	24,848	11,545	2,526	12,534	5,338	2,503	7,388	768	77,627
11	3,027	7,360	24,794	11,205	2,575	12,404	5,364	2,519	7,341	639	77,228
12	3,377	7,800	26,753	11,738	2,699	13,426	5,721	2,782	8,066	620	82,982
合計	35,790	89,133	314,164	141,222	31,248	159,090	66,816	32,111	93,918	8,515	972,008

この内容については、月別、地域別の詳細が不明であったので、計算に含めていない。10社からの供給電力は、日本の自家発電およびその他の電力事業者を含めた全電力供給量の84.8%を占めている⁽³⁾。

このうち、沖縄電力はほかの電力網と接続されていないので対象としなかった。残りの9電力会社は互いに電力融通可能な送電ルートを持っているが、現状ではその規模は小さい。ここでは9電力の送電網をひとつの送電網と考えて、電力の融通が可能になるものと想定した。沖縄電力を除く月別の電力需要量は、表2のようになっている。ここで、揚水発電の欄のマイナスの数値は揚水による電力損失を示し貯蔵電力の30%になっている。

1日24時間の1時間ごとの電力の需要変化として図1に示すようなパターンを推定した⁽⁴⁾。電力需要は深夜から早朝に低下し、その後、朝から午後

表2 9電力会社の月別電力供給 (GWh, 2008年)

月	水力発電	火力発電	原子力	新工ネ	他社受電	揚水用	受発電計
1	3,190	42,860	23,760	10	14,828	-558	84,090
2	4,110	36,656	20,442	18	13,124	-390	73,959
3	5,383	39,236	19,633	17	13,094	-344	77,020
4	5,740	41,449	17,223	3	11,008	-586	74,837
5	6,112	40,260	18,693	3	10,800	-679	75,189
6	6,478	38,893	18,778	7	13,702	-737	77,121
7	6,003	49,864	22,443	11	16,036	-1,142	93,215
8	4,992	45,191	24,474	10	16,584	-1,201	90,050
9	4,732	43,316	20,037	17	14,921	-822	82,201
10	3,635	40,185	19,771	8	13,798	-538	76,859
11	2,804	41,373	19,765	16	12,982	-350	76,589
12	3,273	42,269	22,078	10	15,111	-379	82,362
合計	56,451	501,554	247,097	129	165,986	-7,725	963,492

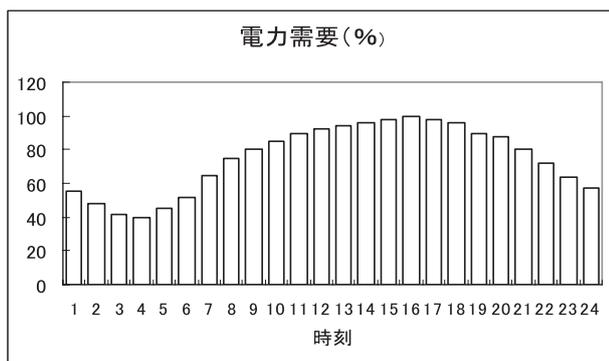


図1 1日の電力需要パターン

にかけて増大し、午後2時から4時ごろに最大になり、夜間に向けて減少してゆく。図1には電力需要について最大値を100%とする指数で表現し、毎月電力需要にもとづいて1時間ごとの需要を配分した。

2.3 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーとして、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスを取り上げる。それぞれの1年間のエネルギー供給可能性について、すでに日本における各種調査結果が発表されているので、計算に使用した目標年の2050年ごろの導入可能規模を表3に示した^{(5), (6), (7)}。バイオマス、地熱については、発表されている規模の数値のうち控えめな値にしている。太陽光と風力についてはこのシミュレータでは、パラメータとしてさまざまな値を設定できるようにした。

このほかにも集光型太陽熱発電、波力発電、温度差発電、潮力発電など将来有望な技術があるが、ここでは扱わなかった。

2.4 揚水発電、バッテリー、バックアップ電力

すでに国内には電力貯蔵装置として、揚水発電が2513万kWあり、原子力発電の出力一定運転に対応するために、夜間に電力を貯蔵して昼間に放出することが行われている。これを再生可能電力の変動を吸収する手段として利用する。揚水発電損失からその貯蔵能力を推定すると、2513万kW × 4.5時間 = 113GWhになった。

発電量が需要を上回るとき、揚水発電への充電だけでは不足ならバッテリーへの貯蔵を行う。バッテリーの効率は90%と想定し、10kWhの貯蔵量に対して2kWのインバータを装備する。バッテリーの容量はシミュレータによって変化させて検討する。

再生可能エネルギーの供給が不足した場合には、バックアップ電力が必要になる。候補になるのは、応答性が高い天然ガス火力発電である。バックアップ電力は、稼働率が低いと相対的に設備コストが

表3 日本の再生可能エネルギーによる発電容量

エネルギー源	2008年の規模	2008年の電力量	目標年の規模
単位	万kW	億kWh	万kW
水力発電	2,061	576	2,760
バイオマス発電	10	11	564
地熱発電	52	33	482
太陽光発電	280	28	設定値
風力発電	216	47	設定値

高くなるので、その容量を減少させる工夫が必要である。

3. ダイナミック・シミュレーション

ここで作成したダイナミック・シミュレータへの入力には以下の各項である。

- 1) 気象データ年の選択 2001, 2002, 2003, 2005 各年のうちから選択する
- 2) 目標年の電力需要の 2008 年に対する割合%
- 3) 太陽光と風力の発電量の年間需要に対する割合 (%)
- 4) バッテリー容量 (GWh)

3.1 電力需要

電力需要は各種の効率の高い技術により、削減可能である。いくつかの日本の社会の将来予測を見ると、2050 年ごろには、GDP は増大するが、人口が減少し、効率の高い技術が導入されることにより、エネルギー消費は現状の 60～80% になっている⁽⁸⁾。ここでは目標年の電力需要を、現状の電力需要(2008 年)の 60% に設定した。

3.2 太陽光発電と風力発電の規模

太陽光発電は、各サイトで年間最大発電量になるように、ユニットとして定格出力 100kW の太陽電池パネルを南向き、傾斜角を「緯度 - 5」度に設定し、1 時間ごとの水平面日射データを直達光と散乱光に分離し、設定した傾斜面に対する日射量をもとめ、1 年間の発電量を計算して保存した⁽⁹⁾。

風力発電は、ユニットとして出力 2MW、直径 80m、ハブ高さ 56m、カットイン風速 3m/s、カットアウト風速 25m/s の風車を各サイトに設置するものとし、150 サイトの風速データを用いて、1/6 乗法則によりハブ高さの風速を計算し、効率 40% で 1 時間ごとの発電量を計算して保存した⁽¹⁰⁾。

太陽光と風力について、9 地域のそれぞれの年間電力需要に比例した電力を供給するように地域ごとにユニット数を計算した。

風力については、年間設備利用率が 18% 以下の地点は除外して、42 サイトを有効とした。風力のサイトには離島が含まれているが、洋上風力の開発が進展しているので、そのまま使用している。表 4 には、電力需要に対して太陽光の導入率 50%、風力の導入率 20% の場合の供給容量の計算結果の例を示す。図 2 には月別発電量を示す。

風力発電は 1 日 24 時間の時間別にはほとんど違

いがないが、図 2 に示すように月別をみると夏季と冬季の差が大きい。

3.3 ダイナミック・シミュレーションの方法

シミュレーションはバックアップ電源を除き、他はすべて再生可能エネルギーで賄うことを前提とした。エネルギー需要と再生可能エネルギーの規模を設定したら、1 年間のシミュレーションを実行する。その計算は、1 時間ごとのエネルギー需要に対して以下の順序で供給を計算する。各変数は、1 時間ごとの電力量 (MWh) で表す。

D: 電力需要, P: 太陽光発電量, W: 風力発電量, H: 水力発電量, G: 地熱発電量, BM: バイオマス発電量, Bi: 揚水発電またはバッテリーの充電量, Bo: 揚水発電またはバッテリーの放電量, BL: 揚水発電損失またはバッテリー充放電損失, BP: バックアップ電力量, EX: 余剰電力量

1 時間ごとの電力需要 (D) は、毎月の電力需要を 1 日の 1 時間ごとの需要パターンに配分して作成した。なお電力貯蔵には、放電時・充電時ともに既存の揚水発電を優先して使用し、次に付加してゆくバッテリーを利用するものとした。

- 1) 電力需要が与えられると、まず一定出力の安定

表 4 太陽光と風力の発電容量と設備利用率

地域	太陽光		風力	
	容量 MW	設備利用率 %	容量 MW	設備利用率 %
北海道	9,685	12.66	1,385	35.40
東北	24,242	12.59	3,591	34.00
関東	78,765	13.66	10,568	40.72
中部	33,453	14.46	3,392	57.03
北陸	9,123	11.73	1,902	22.51
関西	38,721	14.07	7,300	29.85
中国	15,849	14.44	4,606	19.87
四国	8,179	13.45	669	65.73
九州	21,544	14.93	4,979	25.84
9電力計	239,561	13.77	38,391	34.38

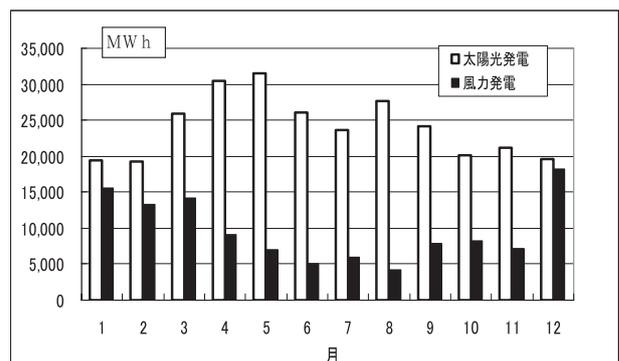


図 2 太陽光 (50%) と風力 (20%) の月別発電量 (MWh)

電源である地熱を供給する。

$$D = D - G \dots\dots\dots (1)$$

この新しいDに対して次の計算を行う(以下同様)

2) 次に水力発電を供給する。

$$D = D - H \dots\dots\dots (2)$$

水力発電は出力調整が比較的容易なため、時刻ごとにあらかじめ定められたパターンで供給するものとした。ここでは、太陽光からの供給の減少による不足分に対応するため、午後4時にピークがあるパターンを与えている。

3) 次のステップは太陽光 (P) と風力 (W) の発電量と電力需要の大きさにより分岐する。

(1) $D > (P + W)$ (電力需要が発電量より大きいとき)

$$D = D - (P + W) \dots\dots\dots (3)$$

さらにバイオマスで供給する。

$$D = D - BM \dots\dots\dots (4)$$

もしこれでまだ電力需要があるときは、揚水発電またはバッテリー放電により供給する。

$$D = D - Bo \dots\dots\dots (5)$$

まだ電力需要があるときには、バックアップ電力から供給する。

$$BP = D \dots\dots\dots (6)$$

(2) $D < (P + W)$ のときには、まず揚水発電またはバッテリーに充電する。

$$Bi = P + W - D \dots\dots\dots (7)$$

もしバッテリーがフル充電になったら、残りの電力はEXとする。

$$EX = (P + W) - D - Bi \dots\dots\dots (8)$$

4) もし、バッテリーの充電レベルが低く、バイオマスに余裕があるときには、バイオマスでバッテリーを充電する。この動作は、バッテリーの充電レベルをできる限り高めておき、太陽光と風力の出力が小さいときに備えるためである。

5) 以下の式で需要と供給のバランスをチェックする。

$$EX = P + W + H + G + BM + BP + Bo - D - Bi - BL \dots\dots\dots (9)$$

以上の操作を1時間ごとに繰り返す。

1年間のシミュレーションは、気象データの4月1日にスタートして、翌年の3月末日に終了する。ただし、気象データは同じ年のデータを使用している。

図3に示すのは、1時間ごとのシミュレーションの詳細である。地熱が一定の電力を供給し、水力は太陽光が減少する夕方にピークが来るように供給す

る。太陽光と風力はできる限り需要に対応し、過剰の時には揚水発電またはバッテリーに充電し、不足のときはそこから放電する。バイオマスは、バッテリー充電レベルが低いときには充電を行う。供給が不足するときにはバックアップを使用する。ただし図中にはバッテリーへの充電量は示していない。

3.4 シミュレーションのまとめ

電力需要に対して太陽光の導入率50%、風力の導入率20%とした場合のシミュレーション結果は、表5のようになった。

4. シミュレーション結果の分析

結果をみると、年間電力需要578TWh、平均電力6600万kW、太陽光発電2億4000万kW、風力発電3840万kW、揚水発電に加えてバッテリー

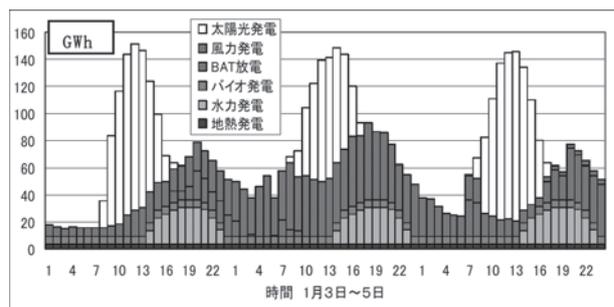


図3 供給エネルギー構成の例 (GWh)

表5 シミュレーションのまとめ

項目	単位	9電力計
太陽光発電容量	MW	239,561
風力発電容量	MW	38,391
揚水発電/バッテリー容量	GWh	113/ 400
年間電力需要	GWh/年	578,095
年間平均電力	MW	65,993
ピーク電力需要	MW	101,300
発電量合計	GWh/年	617,802
太陽光発電量	GWh/年	289,048
風力発電量	GWh/年	115,619
水力発電量	GWh/年	78,869
地熱発電量	GWh/年	29,556
バイオマス発電量	GWh/年	41,742
バックアップ発電量	GWh/年	62,968
発電シェア合計	%	106.87
太陽光発電シェア	%	50
風力発電シェア	%	20
水力発電シェア	%	13.64
地熱発電シェア	%	5.11
バイオマス発電シェア	%	7.22
バックアップ発電シェア	%	10.89
バックアップ発電最大出力	MW	49,052
BAT充電量	GWh/年	54,666
BAT放電量	GWh/年	51,935
BAT損失	GWh/年	5,454
BAT損失/電力需要	%	0.94
最大BAT充電レベル	%	100
平均BAT充電レベル	%	35.51
揚水発電充電量	GWh/年	33,502
揚水発電放電量	GWh/年	25,814
揚水発電損失	GWh/年	7,744
揚水発電損失/電力需要	%	1.34
最大揚水充電レベル	%	100
平均揚水充電レベル	%	29.39
余剰電力量	GWh/年	26,413
余剰電力量/電力需要	%	4.57

400GWhを使用している。発電量合計は106.87%あり、バックアップ電力が10.89%を供給しているが、余剰電力が4.57%発生している。(%)は年間電力需要に対する割合を示す)

最大バックアップ電力は4905万kWになっている。バックアップの稼働率は低いが、その容量はかなり大きい。このシミュレーションでは、需要と供給の予測や学習制御は行っていないが、バックアップを小さくする制御方法が重要であることがわかる。

4.1 バッテリー容量

揚水発電113GWhを固定しておき、これにバッテリー容量を追加した場合の、電力需要に対するバックアップ電力の割合(%)と余剰電力の割合(%)の変化を検討した。

以下の図4、図5に示す電力貯蔵容量は、揚水発電容量が113GWhであり、これに加えてバッテリー容量が200GWhずつ増大してゆく場合の計算結果を示している。

図4に示すように、太陽と風力の合計が50%以下のとき電力貯蔵容量増加による効果はない。太陽と風力の合計が50%を超えると、バッテリー容量が、400GWh付近までは、バックアップ電力量と余剰電力量を減少させる効果があるが、バッテリー容量がこれ以上大きくなるとしだいに効果は飽和してゆくことがわかる。

図中でパラメータとして、Pは電力需要に対する太陽光発電の割合(%)、Wは風力発電の割合(%)を示している。

また、図5に示すように、太陽と風力の合計が50%を超えると、バッテリー容量を増加すると、余剰電力が低下してゆく。図4と同様に、バッテリー容量が400GWhを越えると効果は飽和してゆく。

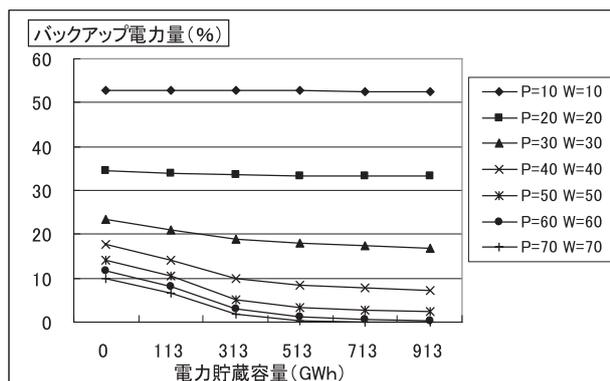


図4 電力貯蔵容量とバックアップ電力量 (%)

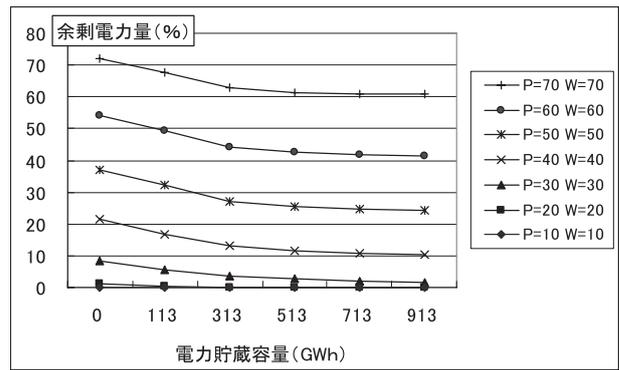


図5 電力貯蔵容量と余剰電力量 (%)

バッテリー容量には、適当な大きさがあることがわかる。ここでは400GWh程度が適切であり、これは揚水発電容量の4倍、年間平均電力の7時間分に相当し、太陽光と風力の合計発電容量1kWに対して1.9kWhに相当する。

4.2 バックアップ電力

太陽光と風力の割合を増大すれば、バックアップ電力量の割合を小さくできる。しかし、両者を増大したとき、表6に示すようにバックアップ電力量はゼロに接近するが、この導入範囲では完全にはゼロにならない。

バックアップ電力量を小さくするには、バッテリー容量を増やすほかに、電力需要の削減やシフトが有効であり、風力の気象予測も有効な手段である⁽¹⁾。スマートメータやスマートグリッドによる需要調整は重要な対策になることが予想される。

あるいは、ここに示したような太陽光と風力の合計が100%を超えるような組合せで、余剰を大きく産出して、これを電気自動車の充電や水素に変換して産業用高温製造プロセスに利用するなど、電力以外の用途に利用することが考えられる。

4.3 評価基準

バックアップ電力量と余剰電力量は小さいほどよ

表6 太陽光と風力の割合を変化させた場合のバックアップ電力量の割合(%) (バッテリー容量 = 400GWh)

太陽(%)	風力(%)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
10	52.66	47.72	42.84	38.31	34.32	30.83	27.84	25.15	22.78	20.75	18.91
15	47.67	42.76	37.95	33.59	29.79	26.51	23.75	21.28	19.20	17.32	15.65
20	42.82	38.01	33.30	29.13	25.51	22.55	20.01	17.84	15.91	14.21	12.72
25	38.23	33.45	28.86	24.88	21.55	18.86	16.60	14.62	12.89	11.44	10.17
30	33.72	29.97	24.58	20.85	17.91	15.53	13.48	11.75	10.34	9.12	8.07
35	29.30	24.62	20.52	17.19	14.59	12.51	10.79	9.37	8.18	7.18	6.32
40	24.92	20.48	16.78	13.93	11.74	9.99	8.53	7.35	6.36	5.51	4.78
45	20.87	16.80	13.62	11.18	9.32	7.80	6.60	5.60	4.76	4.04	3.42
50	17.28	13.63	10.89	8.74	7.19	5.95	4.93	4.08	3.37	2.80	2.33
55	14.12	10.91	8.54	6.76	5.45	4.44	3.58	2.90	2.35	1.94	1.60
60	11.48	8.66	6.67	5.21	4.13	3.25	2.57	2.06	1.66	1.34	1.07
65	9.37	6.99	5.26	4.01	3.11	2.40	1.87	1.49	1.20	0.95	0.72
70	7.67	5.64	4.14	3.12	2.40	1.83	1.44	1.13	0.87	0.66	0.48

表7 評価基準 (I%) (バッテリー容量 = 400GWh)

太陽(%)	風力(%)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
10	52.66	47.75	42.95	38.70	35.49	33.21	31.85	31.18	31.15	
15	47.67	42.80	38.09	34.14	31.25	29.33	28.45	28.17	28.71	
20	42.85	38.11	33.57	29.99	27.42	26.10	25.64	25.98	26.84	
25	38.41	33.77	29.46	26.23	24.21	23.46	23.60	24.30	25.58	
30	34.23	29.66	25.69	22.95	21.70	21.57	22.15	23.38	25.28	
35	30.25	25.81	22.40	20.45	19.88	20.38	21.60	23.46	25.81	
40	26.38	22.39	19.78	18.78	19.01	20.19	21.94	24.28	27.02	
45	23.19	19.93	18.33	18.13	19.04	20.67	22.93	25.63	28.68	
50	20.92	18.47	17.74	18.09	19.64	21.83	24.45	27.45	30.73	
55	19.51	17.91	17.90	18.99	21.02	23.66	26.60	29.90	33.54	
60	19.09	18.25	19.01	20.74	23.22	26.15	29.42	33.06	36.98	
65	19.73	19.76	21.05	23.22	26.05	29.28	32.83	36.76	40.93	
70	21.22	21.93	23.66	26.27	29.45	32.95	36.82	40.91	45.14	

くまた両者は相反する関係にあることから、バックアップ電力量と余剰電力量の和、さらに電力貯蔵損失量を加えた量をシステムの評価基準として検討した。

この評価基準はコストではないが、この値が小さければ評価がよいことになる。

$$I = (BP + EX + BL) / D \times 100(\%) \dots\dots\dots (10)$$

を計算すると、バッテリー容量 = 400GWhの場合に、表7のようになった。Iを最小にするのは、P = 50%, W = 20%付近である。これが、この評価法での太陽光と風力の最適な組合せといえる。

4.4 気象データの影響

準備した4つの年の気象データについて同様のシミュレーションを実施した。その結果は、電力需要に対してバックアップ電力量が10.57 ~ 11.81%, 余剰電力が4.27 ~ 5.49%となっており、今回の分析結果に関してはデータ年による大きな違いはないと考えられる。

5. 結論

全国各地の1時間ごとの気象データを用いて、太陽光と風力の発電量を計算し、水力、地熱、バイオマスなどほかの再生可能エネルギーを組み合わせることで供給する方法により、将来の日本の1年間の電力供給シミュレーションを行った。その結果の分析により以下のような結論を得た。

1) 再生可能なエネルギー源により、2050年ごろを想定した現状の60%程度の電力需要に供給することが可能である。このとき太陽光、風力、地熱、水力、バイオマスの各資源の供給量は、それぞれの専門分野で調査された供給容量の範囲内にある。

2) バッテリーは、バックアップ電力と余剰電力を減少させるのに有効である。しかし、バッテリー容量が大きくなるにつれてその効果は飽和してくる。既存の揚水発電を利用し、これに付加する適切なバッテリー容量は400GWh程度であり、電力貯蔵容量は目標年の年間平均電力の7時間相当になる。

3) バックアップ電力量 + 余剰電力量 + 電力貯蔵損失を評価基準とするとき、これを最小にするには、バッテリー容量400GWhのとき、年間電力需要に対して太陽光発電を50%, 風力発電を20%にすることが適当である。

4) バックアップ電源をさらに減少させるには、スマートメータやスマートグリッドなどによる需要の動的な抑制、気象予測の精度向上などの方法が有効である。しかし、そのほかの方法として、太陽光と風力の容量を更に大きくして、バックアップ電力をゼロに近づけることが考えられる。余剰分は、時間に依存しない電力以外のエネルギー最終用途、たとえば電気自動車のバッテリーを充電し、また水素に転換して低コストの貯蔵方法を利用して高温工業プロセスなどの産業用に利用することが考えられる。

参考文献

- 1) 日時別気象データ, (財)気象業務支援センター
- 2) 「平成21年度電力需給の概要」経済産業省
- 3) エネルギー経済統計要覧, 省エネルギーセンター, 日本エネルギー経済研究所, 2010
- 4) 東京電力 HP <http://www.tepco.co.jp>
- 5) PVロードマップPV2030+, NEDO
- 6) H22再生可能エネルギーポテンシャル調査, 環境省, 2011
- 7) わが国における再生可能/分散型エネルギー導入戦略への提言, 地球環境センター, 国立環境研究所, 2008
- 8) 西岡秀三編著, 日本低炭素社会のシナリオ, 日刊工業新聞社, 2008
- 9) 太陽エネルギーハンドブック, 日本太陽エネルギー学会, 1985
- 10) 風力発電導入ハンドブック, NEDO, 2005
- 11) Wind Energy-The Facts, European Wind Energy Association, London, UK, 2009