

ソーラーパネルの雪国における効率と設置方法の調査研究 (5)

Study on the installation of solar panels in a snow country

後藤 哲男
GOTO Tetsuo

キーワード：ソーラーパネル、壁面設置、反射板
Keywords：solar panels, wall installation, reflective plate

It is fifth report on an installation of solar panels. I provided five panels vertically in each directions, north, south, east and west and one at an angle of 30°. The lower three panels have reflectors. The purpose of this study is to verify the effect of the reflectors.

研究概要

本研究はソーラーパネルに壁面設置（垂直設置）した場合の各方位における効率と、反射板を併設した場合の効率を検証するものである。これは積雪が太陽光利用促進に大きく影響している現状を鑑み、その影響のない垂直設置が雪国には有効であるとの仮説の検証である。また積雪時の雪面からの太陽光の反射が有効に作用するといった報告の検証でもある。さらに地面から離れ、雪面の反射が期待できない場合に、人為的に反射板を取り付けることも試みる。

前号の研究紀要集には平成 29(2017)年 11 月までの観測データを報告したため、本号ではそれに追加して平成 30(2018)年 6 月までの観測結果を報告する。なお、平成 30(2018)年 4 月から 6 月の観測は長岡造形大学の支援があったことをこの場をかりてお礼を申し述べたい。

太陽光パネルは写真 1 に示すように各 6 面の合計 24 面、各方位上段のパネル 4 枚を角度 30 度で設置し、垂直設置の 5 枚の下 3 枚には反射板を付け上下間隔を変えている。計測は平成 29(2017)年 4 月 6 日から開始し、平成 30(2018)年の 6 月 30 日までのものをグラフにしている。

本研究の最終的な狙いは将来超高層ビルの外壁面 4 面に太陽光パネルを設置し、メガソーラータワーとしてエネルギーの自律的ビルの実現可能性を念頭に、都市規模での太陽エネルギーの活用機会を建築壁面で増やすための基礎データの収集である。

パネルは Sun Cherry Solar SCS-M070AA (Pmpp:70W Voc/10.22V Isc:9.25A Vmpp:8.33V Imp:8.41A 実行変換効率 18.3%) 発電量の計測は回路上に置いたシャント抵抗 (YOKOGAWA 製 2215-08) の電圧を計ることにより行い、データは 20 秒間隔で収集している。平行してパネル面の温度も計測しているが、温度に関しては密着性が悪く正確

性に欠ける結果となった。

ソーラーパネルの計測方法については前号を参照するものとし、ミニソーラータワーの仕様をここで再度掲載する。

1 ミニソーラータワーの仕様

ミニソーラータワーの概要は研究紀要 14 で示した。今回のパネルは第一の実験のソーラーパネルよりは小さく（面積 0.49㎡で前回設置したパネルの 1/3.9 の面積）、前述の通り 6 枚を一組とし、24 枚のパネルを各方位に貼付けている。最上段に設置する東西南北方向に 30° 傾けた 4 枚のパネルの発電量を基準とした。これは今迄の実験結果から角度 30° 近辺で最大の最大発電量を記録したためである。その上で、垂直設置とした残りの 5 枚のパネルの発電量を比較している。5 枚のパネルのうち上から 3 枚目のパネル下にパネルの大きさと同じ面積 (0.368m × 1.338m=0.49㎡) の鏡面仕上げのステンレス板を水平に付け、基本的には 3 枚目のパネルに反射光があたる様になっているが、その上の 2 枚のパネルにも太陽の高度によって反射光は十分影響する。4 枚目のソーラーパネルにも同様の反射板を水平に設置し、上の反射板とはソーラーパネルの縦寸法の二倍の間隔、736mmとした。最後のパネルは上部の反射板との関係をパネル縦寸法の 1.5 倍の 550mmとしている。この 2 枚のソーラーパネルの設置の狙いは、壁面を全面パネルとした時、反射板は当然下のパネルに影響を及ぼすわけであり、その有効性と限界を確認する意味がある。

平成 29(2017)年 4 月 6 日から平成 30(2018)年 6 月 30 日までの発電量の計測結果を示す。東西南北の最上段 (no 1) は 30 度の傾斜のもの、それぞれの方位の 4, 5, 6 番目パネルにはステンレスの反射板がついている。

2 反射板の性能

前号の研究紀要に掲載した旧パネル（南向 30° 45° 60° 90° 105° 120°）の月平均電力量の比較表と東西向き 30° と 90° 設置の発電量の比較を表 1、表 2 の以下に再掲載する。

表 1 南向き各角度の発電割合

	南 30	南 45	南 60	南 90	南 105	南 120
平均電力 (MJ)	97.371	95.658	89.979	50.205	36.296	23.956
割合 (%)	100.0	98.2	92.4	51.6	37.3	24.6

※南 30 を 100 とした場合の割合

表 2 東向き・西向き各角度の発電割合

	東 30	東 90	西 30	西 90
平均電力 (MJ)	77.276	43.594	80.389	44.840
割合 (%)	100.0	56.4	100.0	58.0

※東 30 と西 30 を 100 とした場合の割合

2 つの表は、年間を通して平均された 30° 設置パネルと 90° 設置パネルの割合が分かり、南向きで 51.5%、東向きで 56.4%、西向きで 58.0%であることを示している。垂直



写真1 夏（7月）



写真2 冬（1月）

設置の東西方向は午前または午後のみしか直達日射がないこと、また経度の関係で南中する時刻が0時以前であることが日射的には西に有利に働き、西側の垂直面が東に比べると発電量が多いことは長岡では相対的に午後に太陽がでている割合が多い事を示している。垂直面南向きの場合は太陽高度が比較的高く、入射角度が小さいことなど不利な条件となっている。南側では30°設置のパネルが約2倍の性能を有していることが分かる。

またミニソーラータワーの計測結果において30度設置のパネルと最も発電量の多い垂直設置のパネルでの発電量を月毎に比較した表3を作成した。

表3：30°設置と垂直パネルの比較（電力量：MJ）

	東		西		南		北	
	30°	垂直	30°	垂直	30°	垂直	30°	垂直
2017年 4月	17.6	11.0	18.0	12.2	17.9	14.9	17.2	6.4
5月	26.8	17.5	26.6	18.1	23.8	19.8	25.7	9.7
6月	24.8	15.1	25.9	17.6	21.3	17.7	26.8	11.6
7月	22.8	13.7	24.4	17.0	20.6	17.2	24.9	10.3
8月	22.3	13.4	24.3	16.9	22.6	18.8	23.3	9.9
9月	20.5	12.4	20.7	13.4	24.0	20.0	17.5	6.4
10月	12.5	6.6	13.3	8.2	15.3	12.2	9.2	4.4
11月	9.6	5.5	9.9	6.6	12.5	11.7	4.0	2.7
12月	6.3	5.0	6.1	5.3	8.2	8.7	3.9	3.6
2018年 1月	4.4	7.2	3.9	6.4	4.7	9.7	3.4	5.9
2月	11.9	13.4	11.3	12.9	14.4	17.6	7.6	9.9
3月	21.5	15.4	21.8	15.9	24.5	20.7	16.2	8.4
4月	22.4	14.1	22.3	14.5	23.7	16.7	21.1	8.2
5月	23.6	14.8	23.8	15.8	24.0	13.5	24.5	10.1
6月	25.6	15.6	25.8	16.6	25.6	12.7	27.4	11.0
合計	272.8	180.8	278.1	197.5	283.1	231.9	252.6	118.5
割合(%)		66.3		71.0		81.9		46.9

まず合計欄の東西南北の30°傾斜の総発電量（表3赤の数字）を比較すると最も多いのは南向きではあるが、東西

のパネルもほとんど遜色がなく、北側ですら南側の89%の数字となっている。

次に各方位の垂直パネルの反射板の影響を受けた最も発電量の多いパネルと30°設置パネルの割合を見ると（表3の青字）南側で81.9%、西側で71.0%、東側で66.3%、北側で46.9%となる。この数字を前研究紀要の表5と比較してみると以下のような増加を示している。

南側：51.6% → 81.9%

西側：58.0% → 71.0%

東側：56.4% → 66.3%

以上から反射板の効果は南側では約30%、西側と東側では10%から13%増加したという結果となった。

先に述べたように反射板は直達日射と散乱日射の両方の影響が考えられるが、反射板の大きさが影響する。本研究の反射板はソーラーパネルと同様の形状をしているため、水平面から下方45°の間は反射のない地方面が見えることになり散乱日射の場合は全天空率が3/4程度にしか向上しない。また、直達日射の場合は東西向きの際は比較的太陽高度が低く影響する反射光の量が少ないためと考えられる。

しかしながら、東西と南の30°傾斜の総電力量に対する垂直パネルの総電力量の割合を計算すると73.2%は反射板がない場合の約20%増を確保していることが検証された。

3 反射板の影響

まず垂直設置の上から3枚のパネルについて考察する。最下段に反射板がありその影響を上3枚が受けている。表4において各方位のNO2から4まで（青色数字）の中で一番発電量の多いパネルを赤色の数字で示している。本来天空率が最も高い最上段が散乱日射を多く受けると考えられるから、反射板がない場合は最上段パネルの発電量が一番大きくなるはずである。それを顕著に現したのが北向きパネルであるが、それでも春分と秋分の間は太陽方位が東西軸よりも北側になるため、直達日射を受けることになり、その影響が現れ真ん中のパネルの発電量が多くなっていると考えられる。南向きのパネルに関しては夏至を中心として最上段のパネルの発電量が他の2枚を大きく引き離している。直射日光がパネルに垂直に近い角度で入射してくるため、パネルの設定角度が少し傾いただけでも影響が変化することが予測され、今回の設定は角度が90°よりは少し大きめに設定されていたのかもしれない。

東と西向きに関しては太陽高度が低い時間帯の影響が多く、そのため反射板直上の4枚目とその上の3枚目のパネ

ルが反射光を拾う確立が高いため、下2枚の成績が良かったと推察できる。冬場では反射板に積雪があるため（冬1月の写真参照）雪の反射も期待できたが、それ以上にパネル面が雪で阻害されたことが強く影響しているものと思われる。

以上のことから、反射板を取り付ける際、南側に関してはその角度を正確にし、できれば内側に少し傾斜するぐらいのほうが効率的である。

4 反射板下のパネルの性能

表4 反射板に挟まれたパネルの性能（30°パネルの電力量を100とした時の割合：12、1、2月は30°積雪のため除外）

	東		西		南		北	
	5段	% 6段	5段	% 6段	5段	% 6段	5段	% 6段
2017年4月	53.7	44.0	56.8	48.5	47.4	35.9	29.2	25.0
5月	55.0	45.7	56.9	48.9	37.4	36.6	31.0	24.7
6月	51.7	41.3	57.6	48.7	45.0	37.2	36.6	30.4
7月	50.6	40.7	58.9	50.7	43.7	37.0	34.4	28.8
8月	51.1	40.3	59.3	50.3	49.4	38.4	35.0	29.4
9月	50.5	41.1	55.4	47.9	62.4	46.7	26.6	22.9
10月	44.2	32.9	52.0	42.6	71.8	54.4	36.3	28.8
11月	47.7	36.4	57.3	45.9	90.9	81.1	47.5	40.5
12月	64.4	51.4	67.6	57.6	98.2	87.7	67.7	59.6
2018年1月	110.8	98.0	115.0	109.8	162.0	163.3	103.3	105.5
2月	84.6	73.5	78.3	73.5	109.5	94.6	81.6	83.1
3月	57.6	49.8	60.2	53.8	74.0	62.5	35.4	32.8
4月	52.9	43.5	54.1	46.6	50.2	39.4	30.4	26.7
5月	53.1	43.1	55.6	48.0	37.0	31.9	33.8	28.8
6月	50.7	41.2	53.1	45.4	32.6	27.9	32.7	27.1
平均*	51.6	41.7	56.4	48.1	53.5	44.1	34.1	28.8

まず南側の5段目はパネルの縦寸法の2倍の高さのところ反射板がある。太陽高度の高い4月から8月にかけて上部の反射板の影の影響が強くてでている。そのため30°パネルとの比較割合では50%を切る値となっている。それ以外の12月から2月までの積雪期間を除く、8月から3月までは60%以上の割合となっている。これは太陽高度が比較的低く、上部の庇状の反射板の影の影響よりも下部の反射板の影響が強くてたものと考えられる。しかしながら全体の平均値は53.5%にとどまり、通常反射板が無い状態の51.6%とそれほど変わらない。このことは反射板を設置した場合、パネル縦寸法の2倍の距離が反射板の効果の分岐点とみることができることを示している。当然、距離が1.5倍の第6段目のパネルの割合は落ち平均でも44.1%である。

北側の反射板に関しては、春分から秋分にかけて北側に回り込んだ太陽の直達日射はそれほどの影響力はなく、散乱日射の全天空率が問題になる。従って5段目も6段目も上に庇状の障害物があるため天空率がそれで減少する。一

方下の反射板は奥行きがパネルの高さ寸法と同一のため、下側の天空率を完全にカバーできず、水平面に対して1/4は反射の少ない地面に影響されてしまう。そのため結果として34.1%と28.8%という結果になった。

東向きと西向きの5段目と6段目は以下に示す。

東5段 51.6% ← 56.4% 西5段 56.4% ← 58.0%

東6段 41.7% ← 56.4% 西6段 48.1% ← 58.0%

こちらも5段目がかろうじて評価できる数字である。

5 方位毎の月別の発電量の推移

以下にパネル毎の月別発電量と方位毎の発電量の推移を示す。南1から西1のグラフは2月が最も落ち込み、どれも同じ傾向である。一方南2と西2は、冬場の落ち込みが少ない。これは水平に近いパネルの場合厳冬の3ヶ月には積雪があり、ソーラーパネルにとっては過酷な条件となると同時に曇天の日が連続するためである。（グラフ1～6）

月別の各方位毎の発電量を比較すると、冬場の積雪がパネル上に無い時は30°傾斜のパネルの発電量が突出していることが見て取れる。そして南側が安定して発電量が多い事も理解できる。また太陽高度が高い時は北側に多少傾斜していても十分な発電量があることもわかる。従って、南北に傾斜した屋根の北側に設置するパネルの有効性も確認できた。しかし、10月から3月頃は北側はやはり不利であることも事実である。一方垂直設置のパネルは通年を通してみた時はかなり有効であることも実証された。特に反射板で補強された場合南側に関しては8割の性能を発揮し、東西と南で合わせても7割の性能があることが分かった。（グラフ7～21）

まとめ

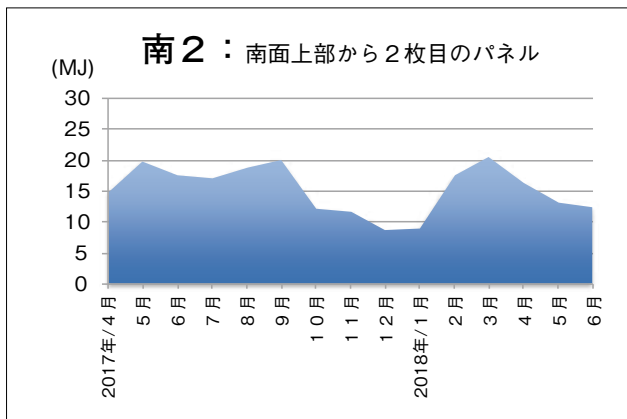
本研究は平成26(2014)年に長岡造形大学と長岡技術科学大学と長岡市と三条市の企業数社と共同研究としてスタートしたが、費用負担等の問題で最終的に長岡造形大学の単独研究となった。最初のソーラーパネルと設置費用は長岡造形大学が負担した。平成26(2014)年度から3年間は本学の特別研究費を、平成29(2017)年度はリクス財団からの助成を獲得し、さらに平成30(2018)年4月から6月までは本学の支援のもと計測を継続し、データの収集を行った。このデータは平成26(2014)年に開発したコンピュータによるシミュレーションプログラム（太陽光パネルに設置方位と角度による電力量）の検証の意味合いもある。そのシミュレーションで予測にほぼ即した結果を得ることができた。しかしながら、観測期間は最初の15枚のパネルは3年弱、次の新台の24枚は1年余のデータでしかない。実際に生活で使うエネルギーは毎年上昇傾向にあるものの、省エネの効果効き出して一定している。太陽発電のような再生エネルギーは気象条件に大きく作用するため、必要なエネルギーを満たすための計画は気象の平均的な能力を確定する必要がある。従ってデータ量は多ければ多いほどいいのである。今回の研究データはその意味で不十分であるが、定性的な分析はできた。

最後に3年に渡ってデータ収集をしてくれた教務補助職員の広川氏とデータ整理をしてくれた学生の中村美雪さん、赤川汐織さん、山口杏奈さん、近藤沙里奈さんに感謝します。

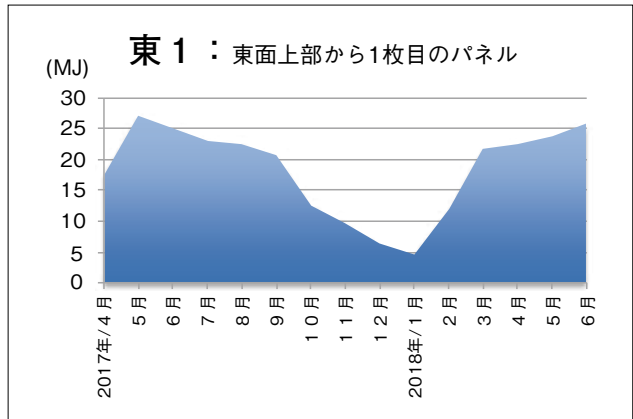
参考文献

後藤哲男：長岡造形大学研究紀要 第14号, pp68-74, 2016年

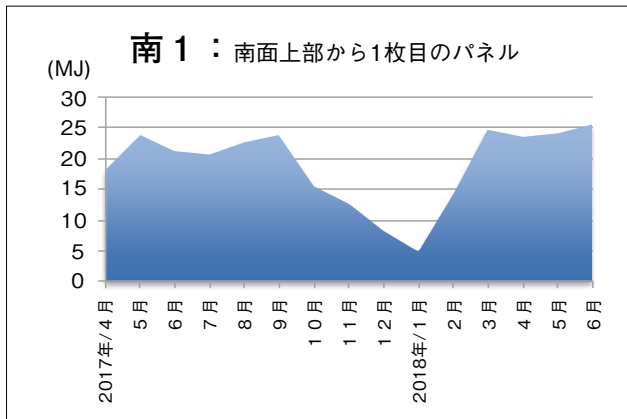
後藤哲男：長岡造形大学研究紀要 第15号, pp51-57, 2017年



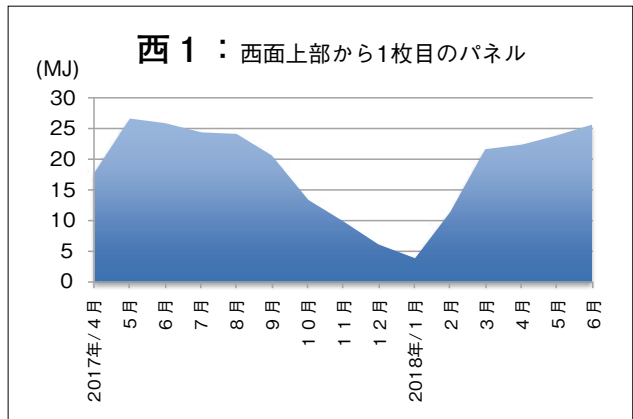
グラフ1



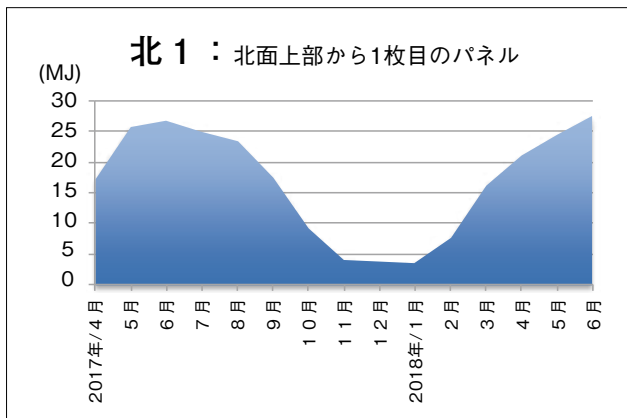
グラフ4



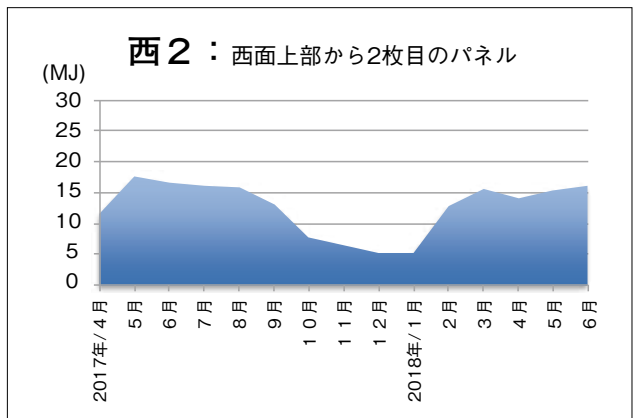
グラフ2



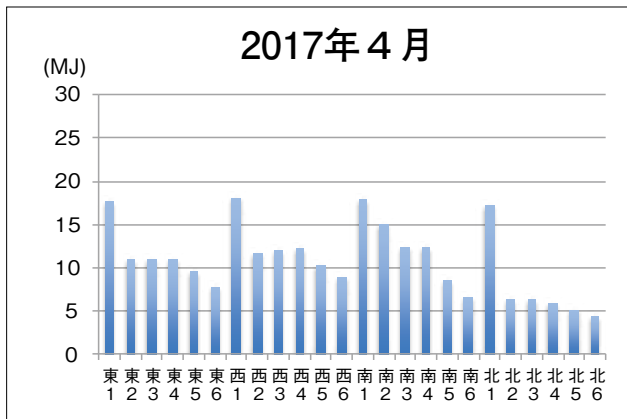
グラフ5



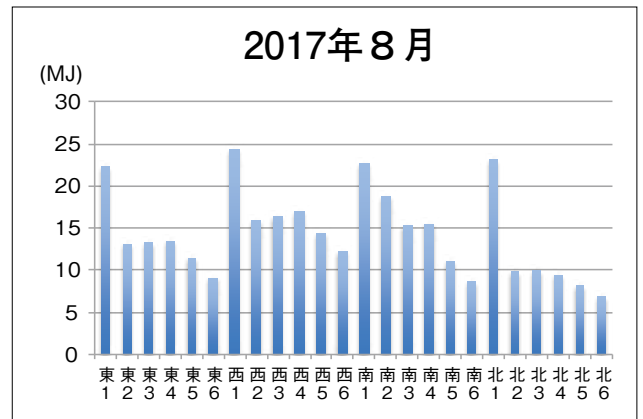
グラフ3



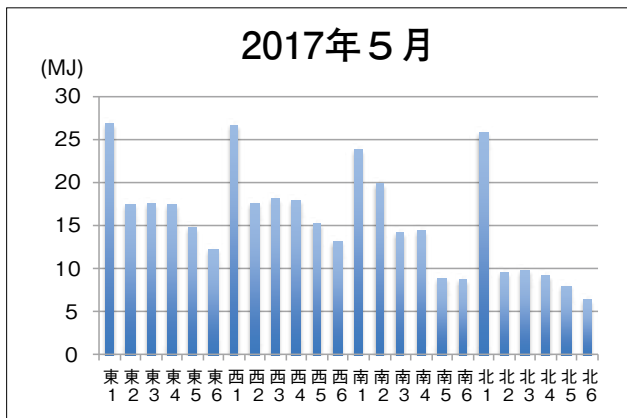
グラフ6



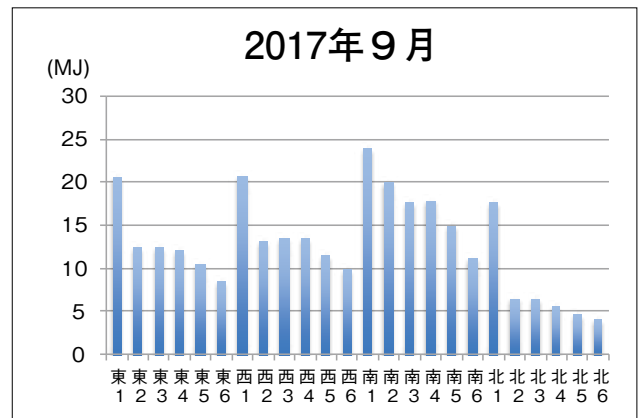
グラフ7



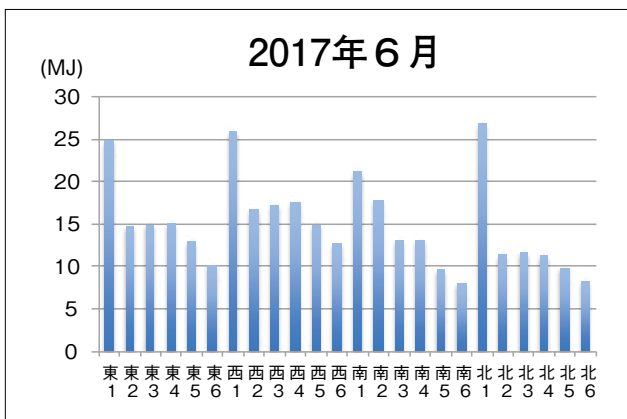
グラフ11



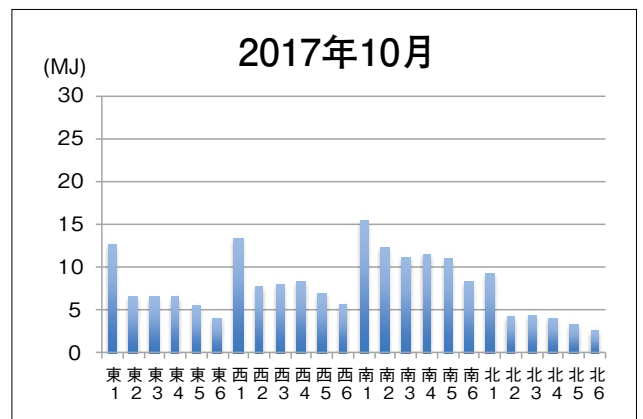
グラフ8



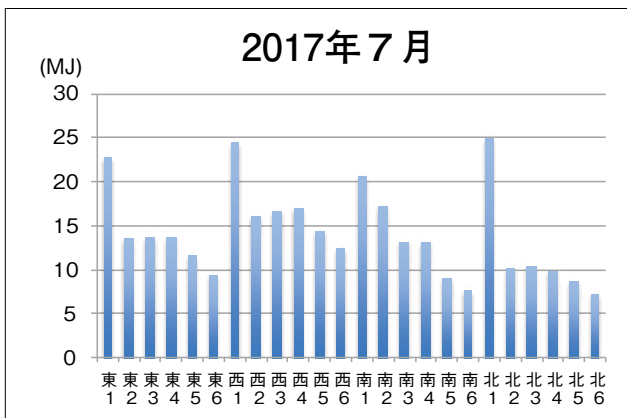
グラフ12



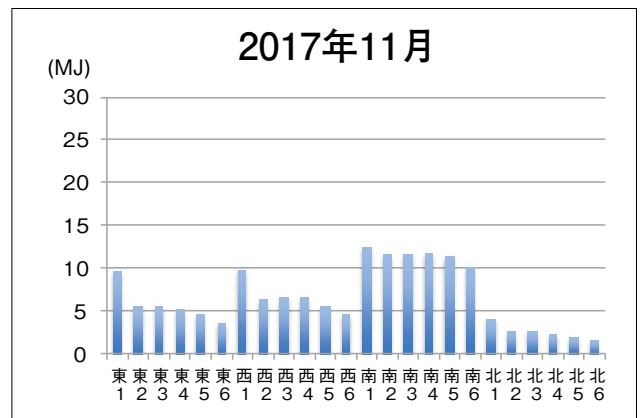
グラフ9



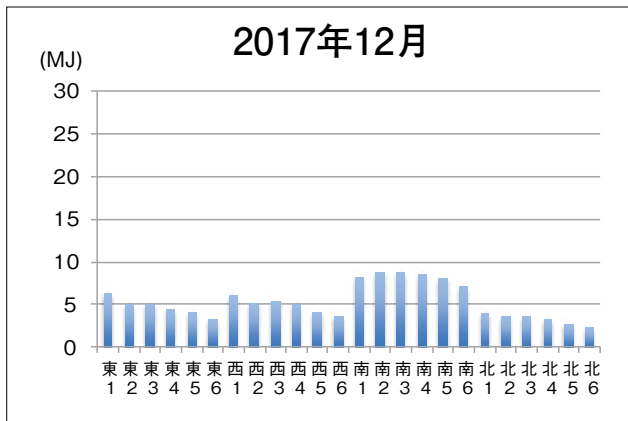
グラフ13



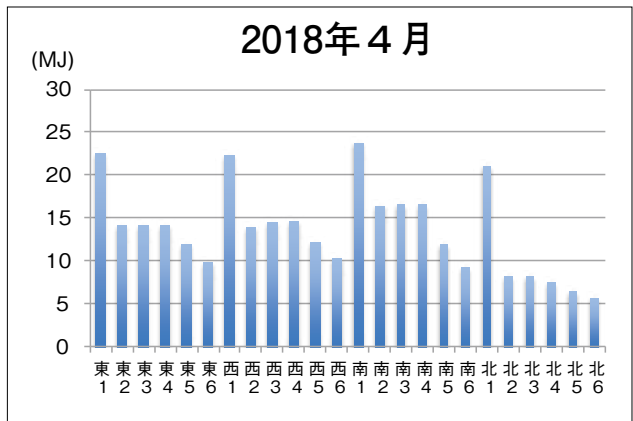
グラフ10



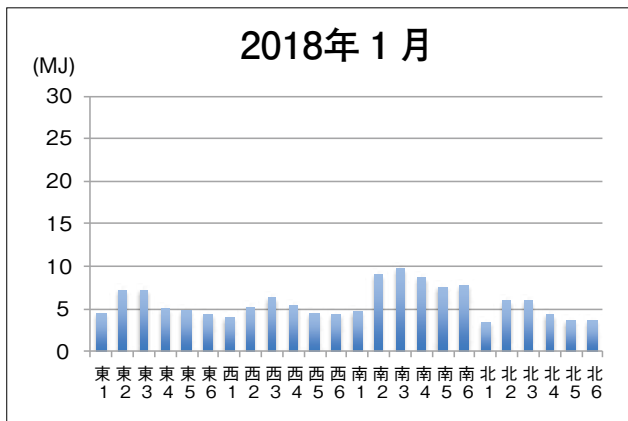
グラフ14



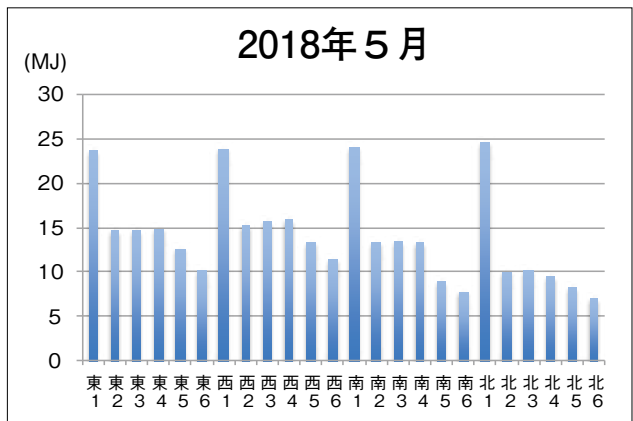
グラフ 15



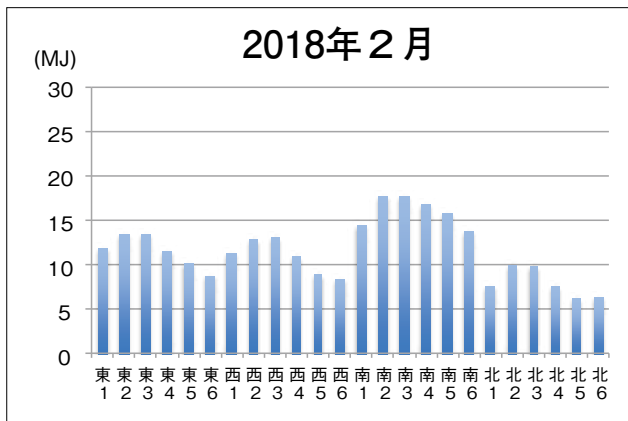
グラフ 19



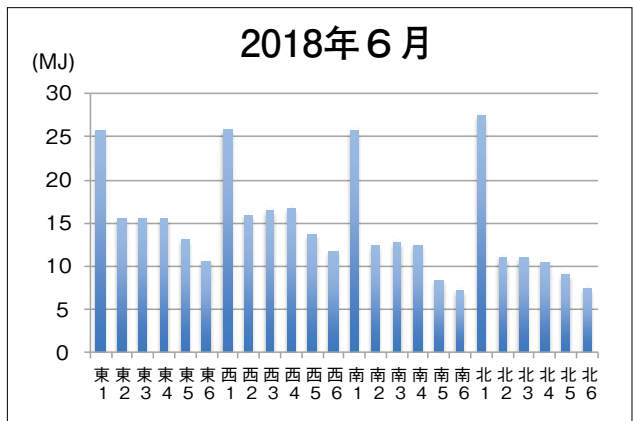
グラフ 16



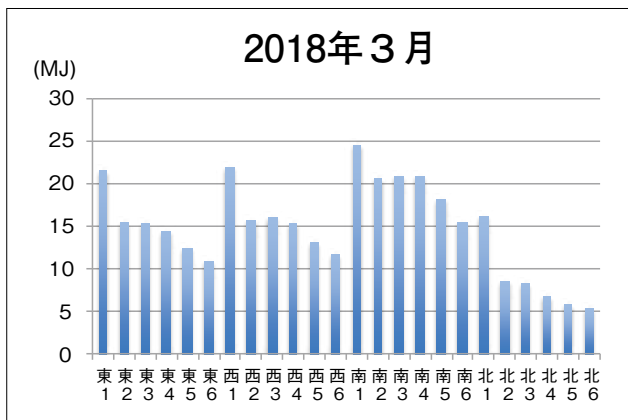
グラフ 20



グラフ 17



グラフ 21



グラフ 18

表5 月別の発電量（単位：MJ、2017年4月は6日から観測、2018年4月はデータの一部計測不能のため補正）

	東1	東2	東3	東4	東5	東6	西1	西2	西3	西4	西5	西6
2017年4月	17.62	10.95	11.01	11.00	9.45	7.76	18.04	11.68	12.05	12.18	10.26	8.75
5月	26.83	17.42	17.54	17.35	14.74	12.27	26.63	17.60	18.08	17.98	15.15	13.02
6月	24.81	14.78	14.96	15.14	12.82	10.25	25.89	16.60	17.16	17.63	14.90	12.62
7月	22.78	13.56	13.70	13.68	11.52	9.27	24.45	16.13	16.63	16.96	14.40	12.40
8月	22.26	13.16	13.27	13.39	11.38	8.97	24.25	15.91	16.41	16.88	14.37	12.21
9月	20.53	12.37	12.38	12.10	10.36	8.43	20.68	13.07	13.43	13.45	11.45	9.90
10月	12.51	6.49	6.53	6.59	5.53	4.12	13.32	7.71	8.03	8.24	6.92	5.67
11月	9.59	5.47	5.42	5.20	4.58	3.49	9.86	6.44	6.64	6.56	5.65	4.52
12月	6.32	5.04	5.02	4.43	4.07	3.25	6.10	5.18	5.32	4.90	4.12	3.51
2018年1月	4.42	7.20	7.20	5.04	4.90	4.33	3.88	5.20	6.37	5.42	4.47	4.26
2月	11.86	13.35	13.40	11.45	10.03	8.72	11.33	12.83	12.90	11.00	8.87	8.33
3月	21.55	15.36	15.29	14.28	12.41	10.73	21.78	15.59	15.86	15.25	13.12	11.73
4月	22.43	14.13	14.13	14.00	11.86	9.75	22.31	13.99	14.43	14.54	12.08	10.40
5月	23.61	14.66	14.73	14.83	12.54	10.18	23.81	15.26	15.72	15.82	13.24	11.43
6月	25.64	15.54	15.62	15.64	13.00	10.58	25.77	15.98	16.44	16.63	13.67	11.71
	南1	南2	南3	南4	南5	南6	北1	北2	北3	北4	北5	北6
2017年4月	17.93	14.95	12.35	12.43	8.50	6.44	17.22	6.38	6.41	5.74	5.02	4.30
5月	23.78	19.78	14.16	14.37	8.91	8.70	25.68	9.54	9.71	9.14	7.95	6.34
6月	21.25	17.71	13.14	13.14	9.56	7.90	26.76	11.44	11.57	11.24	9.80	8.15
7月	20.61	17.16	13.15	13.19	8.99	7.61	24.90	10.20	10.28	9.80	8.57	7.17
8月	22.56	18.83	15.29	15.46	11.15	8.65	23.26	9.86	9.94	9.35	8.13	6.85
9月	23.96	20.01	17.56	17.80	14.95	11.19	17.53	6.36	6.35	5.46	4.66	4.01
10月	15.33	12.20	11.22	11.50	11.00	8.34	9.25	4.27	4.35	4.10	3.36	2.67
11月	12.54	11.58	11.60	11.69	11.40	10.17	3.97	2.67	2.67	2.28	1.89	1.61
12月	8.23	8.66	8.74	8.49	8.08	7.21	3.86	3.62	3.61	3.09	2.61	2.30
2018年1月	4.71	8.91	9.72	8.63	7.63	7.69	3.45	5.93	5.85	4.28	3.56	3.63
2月	14.37	17.57	17.56	16.84	15.74	13.59	7.55	9.88	9.70	7.55	6.17	6.28
3月	24.54	20.60	20.71	20.73	18.16	15.34	16.21	8.44	8.32	6.64	5.74	5.32
4月	23.67	16.35	16.60	16.66	11.89	9.32	21.11	8.16	8.15	7.44	6.42	5.64
5月	24.01	13.21	13.49	13.22	8.88	7.65	24.48	10.04	10.09	9.52	8.28	7.04
6月	25.59	12.39	12.67	12.31	8.35	7.14	27.38	10.96	11.04	10.47	8.95	7.41