

# 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(2)

## Study on the installation of solar panels in a snow country -2-

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 panel, Wall surface setting, Reflective plate

To confirm the efficiency of the solar panels installed in various angles in snowy Nagaoka, 15 panels in 2015 installed in university grounds and started collecting data. Interval of data is 20 seconds, data are the power generation amount of each panel, the panel surface temperature, the amount of solar radiation, and a temperature. We will focus on the effectiveness of the panel 90° with the reflector.

### 1. はじめに

昨年度に続く報告である。平成 26 年度はソーラーパネルの設置の設計と架台の制作取り付けを行った。ソーラーパネルの仕様と取り付け角度を以下に示す。15 枚のソーラーパネルの設置場所は長岡造形大学の校地内の築山の頂上である。

#### 1-1. パネルの仕様

- ・ maximum power (Pmpp) 290 W
- ・ open circuit voltage (Voc) 44.3 V
- ・ short circuit current (Isc) 8.75 A
- ・ maximum power voltage (Vmpp) 35.6 V
- ・ maximum power current (Impp) 8.15 A
- ・ series fuse rating 20 A
- ・ tolerance of pmpp 0~+3%
- ・ dimension 1956×990×50
- 1000W/m<sup>2</sup> 25℃ AM1.5
- ・ measuring uncertainty of power ±3%



写真 1：ソーラーパネルの設置状況

#### 1-2. 太陽電池のフィルファクター<sup>1</sup>

太陽電池のフィルファクターとは太陽電池の性能を表す指標として、よく用いられる。今回実験に使用する太陽電池のフィルファクターは以下の通りである。

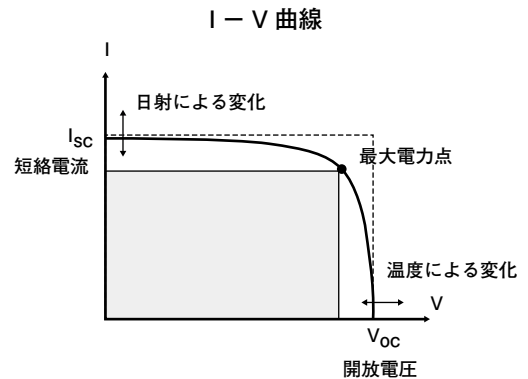


図 1：I-V 曲線  
長野県工業技術総合センター 環境・技術部門より引用  
(<http://www.gitc.pref.lg.jp/joho/solar/pvmonitor/kaisetsu.html>)

$$\begin{aligned} \text{フィルファクター(FF)} &= \text{最大出力} \div (\text{開放電圧} \times \text{短絡電流}) \\ &= V_{\text{mpp}} \cdot I_{\text{mpp}} / (V_{\text{oc}} \cdot I_{\text{sc}}) \\ \text{FF} &= 35.6 \cdot 8.15 / (44.3 \cdot 8.75) = 0.7485 \end{aligned}$$

以上より実験に利用している太陽電池のフィルファクターは 74.85% となる。(参考) 一般的に現時点での最高レベルの太陽電池の FF は 80% 超とされ、変換効率は 24% と言われている。最大出力発電をさせるために負荷を制御する装置をパワーコンディショナーと呼ぶ。

#### 1-3. ソーラーパネルの設置角度

15 枚のソーラーパネルの設置角度は、以下の通りである。  
南向き：0 度、30 度、45 度、60 度、90 度、105 度、120 度  
0 度反射板あり、0 度反射板なし合計 9 枚  
東西向き：30 度、90 度 4 枚  
北向き：90 度 2 枚

#### 1-4. 測定装置の仕組み

ソーラーパネルと測定装置の全体の構成は図 2 と図 3 に示す。また、機器については、表 1 にまとめた。

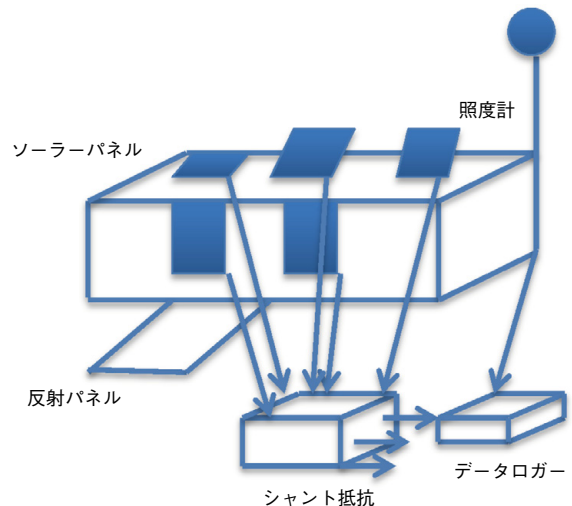


図 2：全体の構成図

表 1 : 計測装置の機器

反射パネル	: ステンレス鏡面仕上げ1800×1800
照度計 上向き	: EIKO MS-602 7.00 $\mu$ V/w $\cdot$ m <sup>2</sup> impedance 58ohm
照度計 下向き	: EIKO MS-602 6.97 $\mu$ V/w $\cdot$ m <sup>2</sup> impedance 60ohm
データロガー	: チノー-KE3200-E00
シャント抵抗	: YOKOGAWA 分流器2215-08 : 15A/50mV

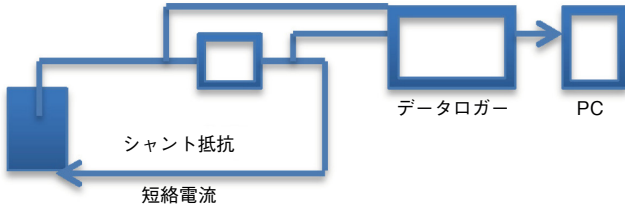


図 3 : ソーラーパネルとシャント抵抗による発電量の測定図

## 2. 短絡電流と開放電圧の性質

光強度（エネルギー）Pが増加すると開放電圧、短絡電流ともに増加するが、下図のように開放電圧は飽和的、短絡電流は直線増加となる。従って、曇天の日の弱い太陽光（拡散光）でも、短絡電流はわずかになるが開放電圧はかなりあることになる。

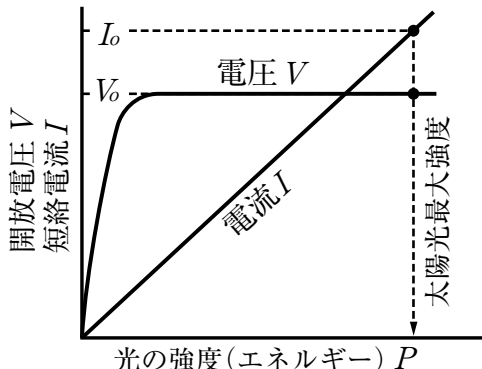


図 4 : 太陽電池セルの光強度に対する出力変化

特許庁 技術分野別特許マップ 9年度化学4 太陽電池より引用  
[https://www.jpo.go.jp/shiryous/s\\_sonota/map/kagadu04/1/1-2-1.htm](https://www.jpo.go.jp/shiryous/s_sonota/map/kagadu04/1/1-2-1.htm)

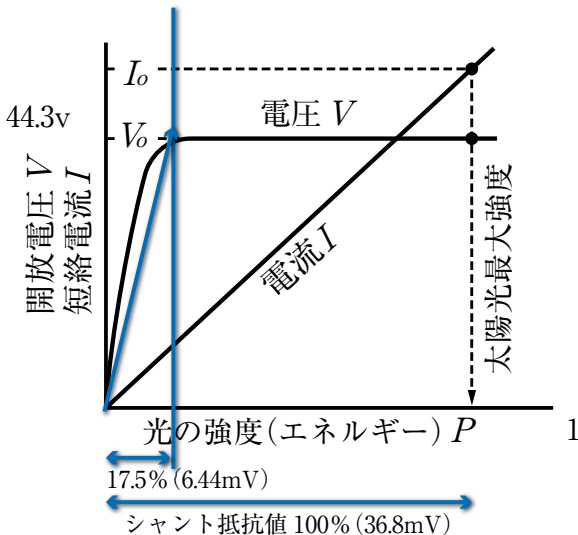


図 5 : 開放電圧の性質

上記グラフを単純化し、太陽光最大強度の17.5%までは光のエネルギーに比例して開放電圧は上昇するものとし、17.5%で開放電圧に達したのちに一定になるとグラフを読み替えるものとする。2015年5月1日から10日までのデータ収集において南向き30°に設置されたソーラーパネルの発電量が10日間の最大であり、かつ5月5日が最大値をとった。その中の最大計測電圧は午前11時25分に記録した36.8mVである。この時の17.5%は6.44mVとなる。

シャント抵抗はYOKOGAWA製の2215-08で15Aの時定格電圧降下50mVのものを使用する。即ち、短絡電流ISC = 15\*6.44/50 = 1.932Aの時、開放電圧は44.3Vに達したと仮定する。

従って計測結果に以下の計算をして太陽光発電量を計算する。

### 1) 計測値0～6.44mV（短絡電流0A～1.932A）の時

開放電圧 Voc = 44.3V/6.44 \* 計測値（シャント抵抗電圧）V

短絡電流 Isc = 15 \* 計測値（シャント抵抗電圧）/50A

この時太陽電池のフィルファクターを一定とすると、発電しているソーラーパネルの瞬間瞬間の開放電圧と短絡電流の値を知ることにより、その時の電力Pを計算できることになる。

ソーラーパネルのフィルファクター74.85%を採用し、電力Pは以下のように計算する。

$$P = (15 * \text{計測値}(\text{シャント抵抗電圧})/50) * (44.3V/6.44 * \text{計測値}) * 74.85/100$$

以上の計算式をエクセル上で行うと以下の式となる。

$$\text{If}(\text{ogIセル番号} < 6.44, 15 * \text{セル番号}/50 * 44.3/6.44 * \text{セル番号} * 0.7485, 44.3 * 15 * \text{セル番号} * 0.7485)$$

### 2) 計測値が6.44mVを超える時

開放電圧 Voc = 44.3V

短絡電流 Isc = 15 \* 計測値（シャント抵抗電圧）/50A

1日から10日までは10秒間隔でデータを収集した。

5月11日からは20秒間隔にした。上記数字をWHにするためP\*10/60/60 WHとする。

従ってIf(セル番号 < 6.44, 15 \* セル番号 / 50 \* 44.3 / 5.39 \* セル番号 \* 0.7485 \* 10 / 60 / 60, 44.3 \* 15 \* セル番号 \* 0.7485 \* 10 / 60 / 60) 2) となる。

### 3. 温度による補正

一般的に短絡電流は温度の増加に比例して微弱な増加があり、概ね0.07%/℃と言われている。一方開放電圧はそれに反比例して減少し、0.4%～0.5%/℃である。基準温度は25℃であるため、25℃以下で効率はアップ、以上はダウンとなる。

実際の計測値は温度によって既に影響を受けたものである。温度における影響を排除するためには補正を行う必要がある。1) で計算された電力Pを基準温度での値に補正すると計算式は以下の通りである。

$$P' = \text{Voc} * \text{Isc} * \text{FF} = \text{Voc} / (25 - \text{セル番号}) * 0.0045 + 1) * \text{Isc} / (\text{セル番号} - 25) * 0.0007 + 1) * \text{FF}$$

#### 4. 観測データの定性的分析

ソーラーパネルの設置場所は長岡造形大学の東側校地の築山の上、水平方向の全方位的に障害物はなく、理想的な状況である。設置架台については、この研究紀要の3230ページと3331ページの別図に示す。

データの観測間隔は2015年5月1日から10日間は10秒間隔とし、データの収録の試運転をした。

また、ソーラーパネルの状態を確認するため、サーモカメラを用いた(図6、7)。色の違いによって、温度の変化を表わしている。ちなみに、熱画像の撮影日は12月である。

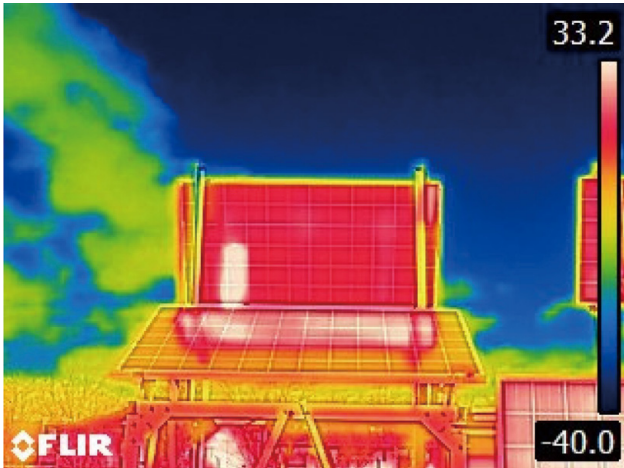


図6：ソーラーパネルの温度

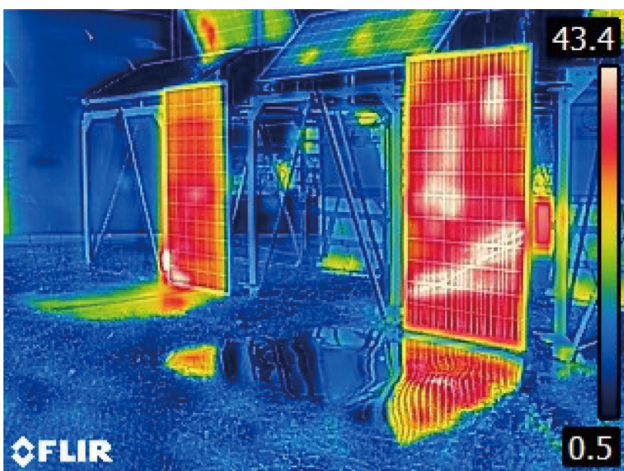


図7：無反射板と反射板をおいた縦置きソーラーパネルの温度



写真2：無反射板と反射板をおいた縦置きソーラーパネル

分析前のデータを以下に紹介する。

#### 4-1. 発電開始時間

5月1日から5月10日までの観察をする。

日出時刻	降水量 発電開始時刻 (mm)	日照時間 <sup>2</sup> 発電時間 (h)	発電終了時刻	日入時刻
1日：4:49:54	5:39:0 (0.0)	12:01:50 (12.0)	17:40:50	18:33:36
2日：4:48:45	4:49:0 (0.0)	13:56:50 (12.0)	18:45:50	18:34:29
3日：4:47:37	4:45:30 (0.0)	13:50:30 (9.5)	18:36:00	18:35:23
4日：4:46:31	5:02:20 (13.0)	13:18:50 (3.8)	18:21:10	18:36:17
5日：4:45:26	4:48:10 (0.0)	14:06:50 (9.0)	18:55:00	18:37:11
6日：4:44:22	4:40:10 (0.0)	14:03:50 (10.6)	18:44:00	18:38:05
7日：4:43:20	4:47:10 (0.0)	14:03:50 (9.9)	18:51:00	18:38:59
8日：4:42:18	4:53:30 (0.5)	13:54:30 (10.2)	18:48:00	18:39:53
9日：4:41:19	4:50:30 (2.0)	13:50:10 (0.4)	18:40:40	18:49:10
10日：4:40:20	4:51:10 (0.0)	14:05:00 (7.0)	18:56:10	18:41:39

図8：5月1日からの10日間の発電状況

図8は、正確な日の出と日の入り時刻と15枚のソーラーパネルの東向きか西向きのパネルが0.1mVの発電を開始し、終了した時刻を記している。また赤字でその日の気象庁データ<sup>2</sup>の降水量と日照時間、その間にその日のパネルの発電時間を記した。

発電開始時間は当然明るくなってからであるが、気象条件によって東雲の場合も日の出から1時間も経過した時間の場合までまちまちである。発電終了時間も日の入り前に終了する場合も薄暮の時間まで続く場合がある。雲量による全天候日射量が大きく影響していると見る。観測された発電時間と気象庁データ長岡日照時間を比較すると発電時間は日照時間と関係しないことがわかる。

#### 4-2. 様々な向きのパネルの発電開始と終了時刻

5月の10日の間で最も発電量の多い5月5日(日照時間9.0:時間)と雨が降った5月4日(日照時間3.8時間)両日の各パネルの発電開始、終了時間の比較し、さらに照度計との比較を図9に示す。

各パネル 日にちと天候 発電開始時刻 発電終了時刻

日照計	曇 4 日	5:12:30-----17:37:30
日照計	晴 5 日	5:14:50-----18:29:30
東 90°	曇 4 日	5:07:00-----18:15:10
	晴 5 日	4:51:40-----18:48:10
東 30°	4 日	5:02:20-----18:21:10
	5 日	4:48:10-----18:49:40
南 0°	4 日	5:03:50-----18:20:00
	5 日	4:51:30-----18:50:30
南 30°	4 日	5:03:20-----18:20:30
	5 日	4:51:10-----18:50:30
南 45°	4 日	5:03:20-----18:20:10
	5 日	4:52:00-----18:50:20
南 60°	4 日	5:04:30-----18:18:40
	5 日	4:54:20-----18:49:50
南 90°	4 日	5:08:00-----18:14:00
	5 日	5:00:40-----18:47:40
南 90(反有)	4 日	5:06:50-----18:16:30
	5 日	4:57:30-----18:48:40
南 105°	4 日	5:09:20-----18:12:20
	5 日	5:03:30-----18:47:30
南 120°	4 日	5:10:30-----18:10:40
	5 日	5:08:00-----18:46:40
西 30°	4 日	5:02:00-----18:21:10
	5 日	4:50:40-----18:54:20
西 90°	4 日	5:06:10-----18:13:30
	5 日	4:55:40-----18:54:20
北 90°	4 日	5:05:50-----18:13:40
	5 日	4:51:30-----18:53:20

図 9：各パネルの発電開始時間と発電終了時間

図 9 からはパネルの設置方位と角度によって発電開始の傾向が読み取れる。まず全天空照度が影響することから、天空に対して水平に置かれたパネルほど光を集めやすく、傾斜がきつくなるほど光は届きにくい。また朝は東方向からの光が多いことが反映し、夕方においては西向きが有利になる。90° 105°、120°の傾斜角度のものは不利であることに間違いない。

照度計 (eiko MS-602 7.00 $\mu$ V/w $\cdot$ m<sup>2</sup> impedance 58ohm) が反応する時刻は、曇天時も晴天時もソーラーパネルの反応後数分から十数分後のことになる。

#### 4-3. ソーラーパネルと表面温度

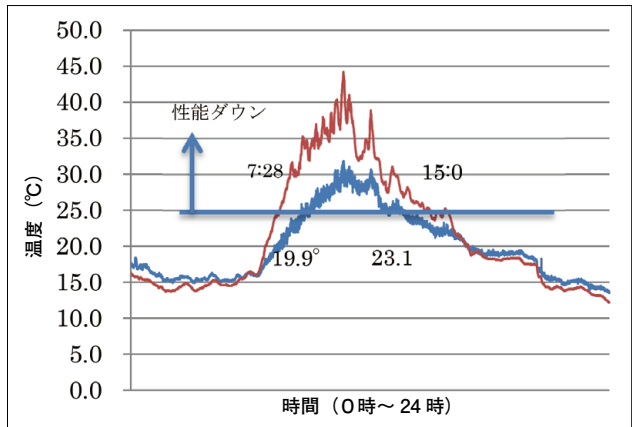


図 10：南 30° 5月4日 曇天 赤：パネル温度 青：気温

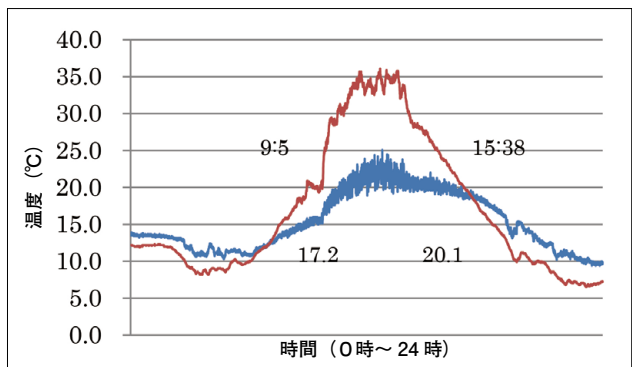


図 11：南 30° 5月5日 晴天 赤：パネル温度 青：気温

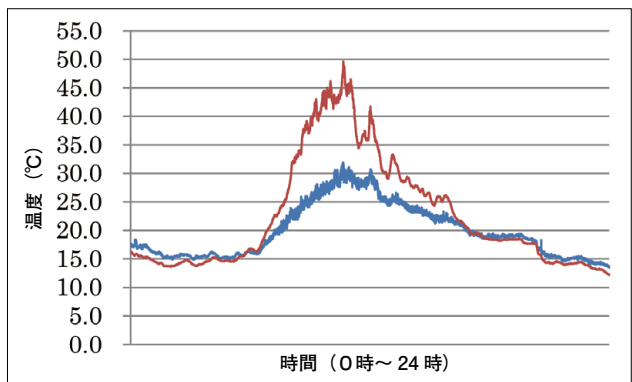


図 12：南 90° 反射板有 5月4日曇天 赤：パネル温度 青：気温

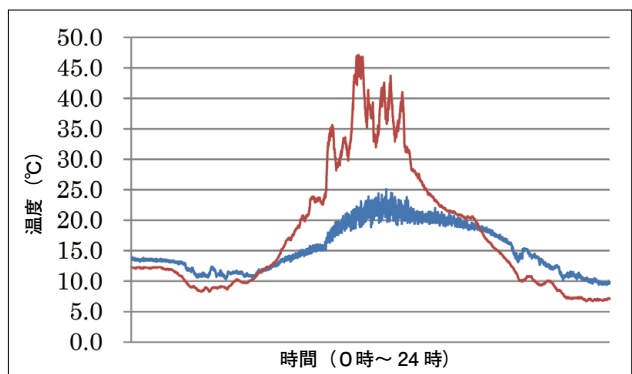


図 13：南 90° 反射板有 5月5日晴天 赤：パネル温度 青：気温

ソーラーパネルの温度は夜の間は気温より低温で推移している。南向き 30° の場合、発電が始まる時刻は 5 : 03、パネルの温度が気温を上回るのが 5 : 55 で 52 分後となる。さらに 25° を超えるのが 7 : 28 で 2 時間 25 分後となる。晴天の 5 月 5 日は 4 : 51 に発電が始まりパネル温度が気温を上回るのが 7 : 01 で、2 時間 10 分後、25° を超えるのが 9 : 51 で 5 時間後になった。

気象条件は 5 月 4 日曇天であったが気温は晴天の 5 日よりも高かった。一般的傾向としては、夜間冷え込んだソーラーパネル表面は光を受け発電しだすとパネル温度も上昇をする。その傾向はどの場合も同じである。ちなみに 5 月 4 日の最低気温は 4 時 31 分の 15.0° 5 日の最低気温は 4 時 16 分の 10.7° であった。

#### 4-4. 時刻による発電傾向—5月4日と5日を比較する

図 8 からは曇天の 4 日よりも晴天の 5 日は発電開始が約 14 分早く始まるが、夜の放射冷却もあり最低気温は 4.3° 低い。発電終了は 4 日が 18 時 21 分、5 日が 18 時 55 分となっている。

それぞれの角度のソーラーパネルの発電量を比較するために、8 時、10 時、12 時、14 時、16 時の短絡電流量を比較してみる。ここで短絡電流が 6.44mA までは開放電圧があがらないがそれを無視することとする。始めに述べたように各ソーラーパネルの発電量は開放電圧と短絡電流の積に比例しているため、この短絡電流の比較は各パネルの発電量の比較となっている。曇天と晴天の比較での意味は、散乱日射と直達日射の比較として考えることができる。曇天の場合は散乱日射のみ、晴天の時は散乱日射と直達日射の合計が反映されることになる。

図 14 から図 23 を観察すると、4 日の記録は雨模様の曇天であるが、朝方は曇ってはいたものの、8 時頃から 10 時はかなり直達日射を受けている。午後になり雨模様となり、その後晴れたり曇ったりを 5 日の朝まで繰り返していたことが以上の図から読み取れる。

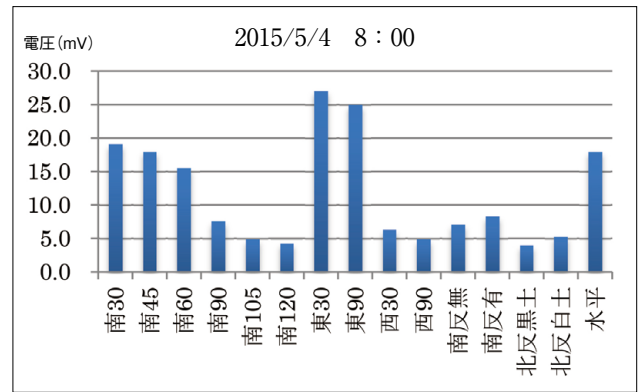


図 14 : 5 月 4 日午前 8 時のシャント抵抗の電圧 (mV)

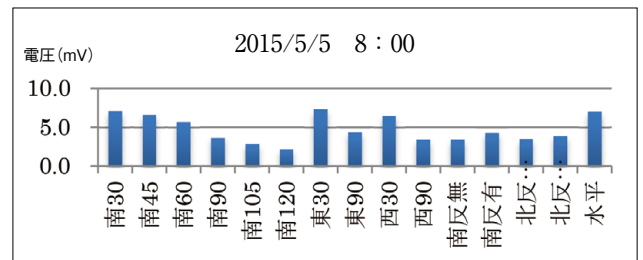


図 15 : 5 月 5 日午前 8 時のシャント抵抗の電圧 (mV)

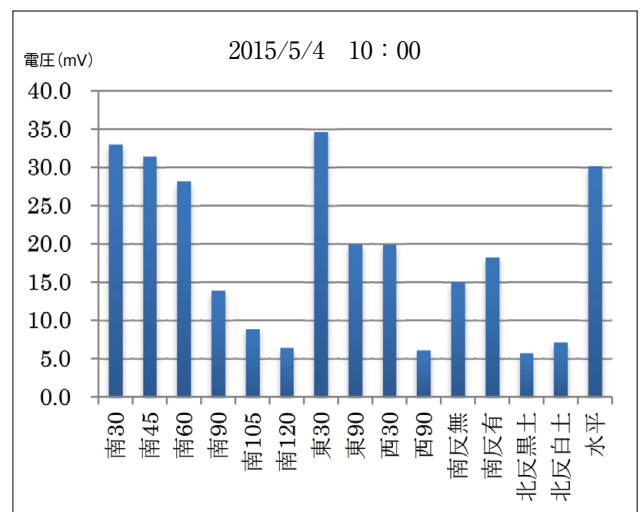


図 16 : 5 月 4 日午前 10 時のシャント抵抗の電圧 (mV)

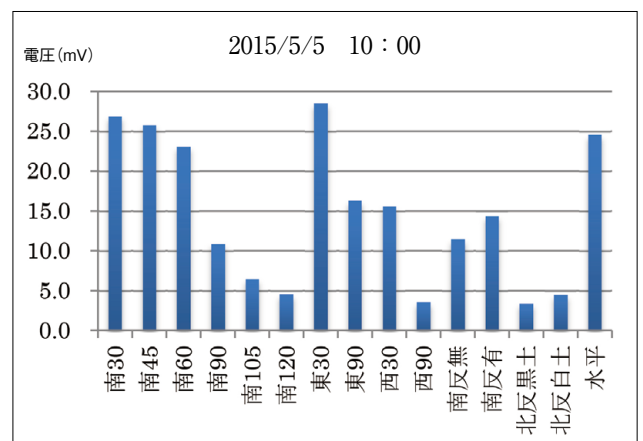


図 17 : 5 月 5 日午前 10 時のシャント抵抗の電圧 (mV)

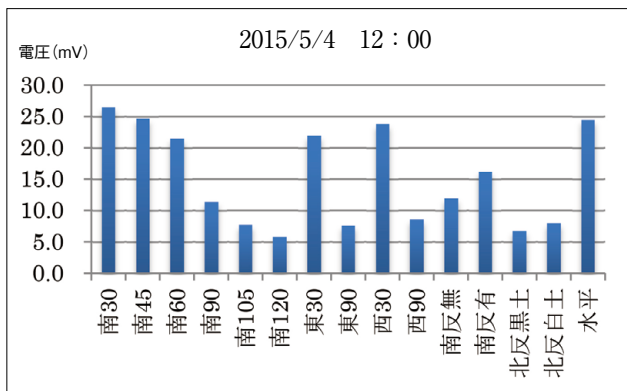


図 18 : 5月4日正午12時のシャント抵抗の電圧 (mV)

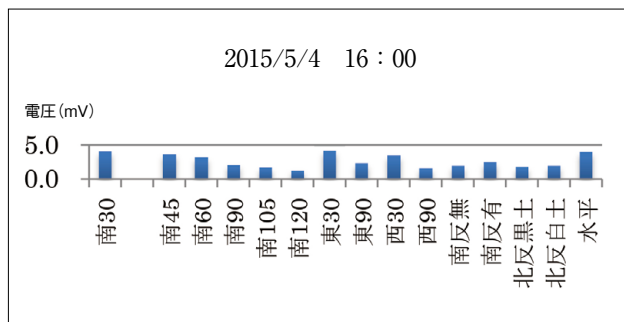


図 22 : 5月4日午後4時のシャント抵抗の電圧 (mV)

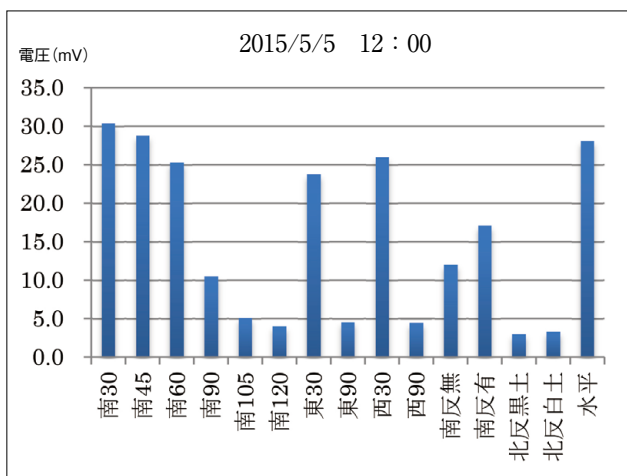


図 19 : 5月5日正午12時のシャント抵抗の電圧 (mV)

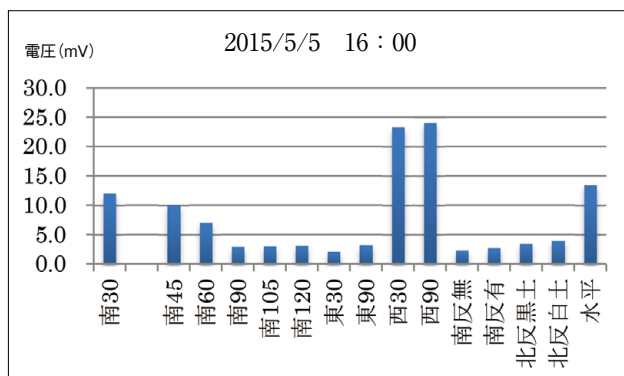


図 23 : 5月5日午後4時のシャント抵抗の電圧 (mV)

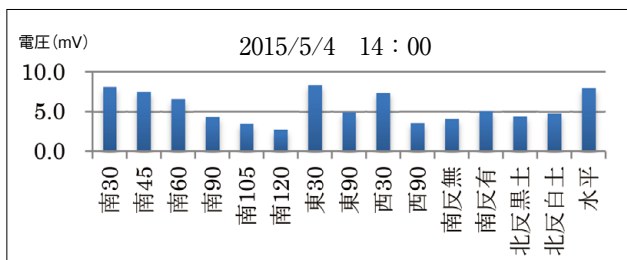


図 20 : 5月4日午後2時のシャント抵抗の電圧 (mV)

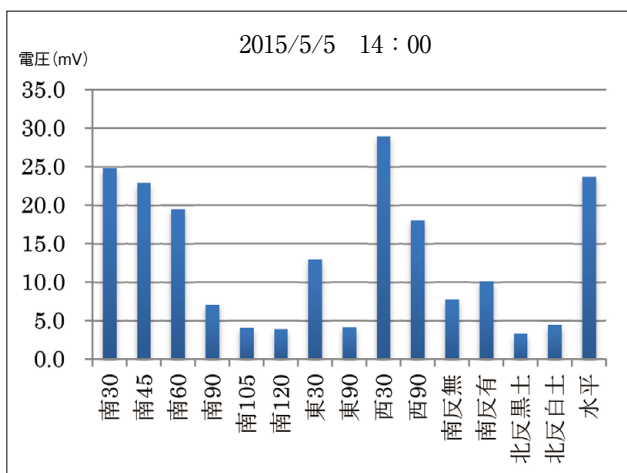


図 21 : 5月5日午後2時のシャント抵抗の電圧 (mV)

#### 4-4-1. 傾きによる発電量の違い

南面のソーラーパネルは水平も含めて0°から120°まで7枚、さらに地面近くに置き反射板（ステンレス鏡面仕上げ）のあるものと無反射板（黒いゴム製）のあるものを含めると9枚ある。散乱日射がドミナントである場合、傾斜せず全天空に向けた水平設置のパネルの性能がよい。（図15、図20、図22、図23）直達日射が多い場合はどの時間帯も30°の傾きが一番大きく、傾きが120°のものがもっとも小さく30°の場合の1/8～1/6の性能しか発揮していないことがわかる。水平設置の場合は45°の傾斜のものとはほぼ同じ水準で推移している。

研究の課題でもある90°設置の反射板付き、無反射板付きと通常の2メートルの高さに設置した3枚を比較してみる。いずれの場合も反射板付きのほうが、無反射板付きよりも発電量は多く、反射板の影響が認められる。無反射板付きと反射板がないものを比較すると、無反射とはいえその反射の影響が多少認められる。

東西方向を向くソーラーパネルは朝方と夕方は太陽光が真横からくる間は90°設置が多く発電しているが、概ね30°設置の方が発電量は多い。また5月は南中時刻が12時前のため、東側と西側は完全に対称とはなっていない。

#### 4-5. 観測データの定量的分析

以上がソーラーパネルの設置方法における定性的な性質であった。次に定量的な分析を5月1日から31日までの31日間について行う。データはそれぞれのソーラーパネルの10秒間隔の短絡電流の数値（途中から20秒間隔に変更した）、その時のソーラーパネルの表面温度、全天空日射量、下向きの反射量、気温である。

##### 4-5-1. 発電量

発電量は、10秒間隔で送られてくる短絡電流値から求める。先に述べたようにシャント抵抗の電圧が6.44mVに達するまでは開放電圧が比例的に増加するものとし、それ以後は定格開放電圧で一定のものとしている。発電量は短絡電流×開放電圧×0.7485（フィルファクター）(W)でもとめ、その値が観測時間10秒続くものと仮定して、電力量(J)を算出し、それを1日単位で積算している。（単位はJからMJに変換している）

さらに日射量からその時間の日射量を求め、同じように1日毎に積算をしている。（単位はMJ）概ね225MJとなる。

1ヶ月の積算で最も多く発電しているものが南向き30°の傾きのもので、概ね187MJ（約52.4WH）を発電している（図25）。

最も効率の良いソーラーパネルで全天空日射量の約25%を変換していることになる。

90°に設置したパネルは、東西各1枚、南向き3枚（2メートルの高さ、無反射板付き、反射板付き）、北向き2枚（反射面を黒土、白土）の合計7枚である。その中で成績のよかったものは東西の2枚と反射板付きの1枚で、概ね80～95MJであった。北向きの2枚と南面している傾斜105°と120°は成績が悪い結果となった（図25）。

##### 4-5-2. パネル表面温度と発電量

パネル表面温度による発電量の低下についてまとめた。

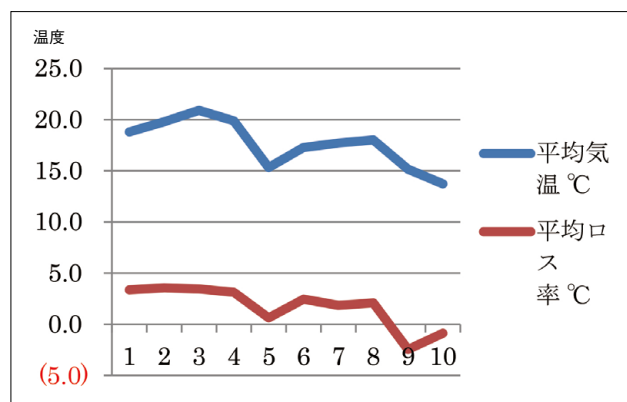


図24：平均ロス率とその日の平均気温

図24は平均気温とその日のロス率を並記したグラフである。これによると気温が15°付近に下がると概ね発電量は正規となり、ロスが無くなることわかる。このことは、ソーラーパネル表面温度が平均気温と概ね10°の差をもって推移している考えることができる。

平均ロス率は25°の時を標準とし、ソーラーパネル温度がそれ以上では1°について0.4%性能がダウンし、以下では向上する仮定の下に、各時刻における25°に補正した発電量との差をソーラーパネル毎に出し、平均したものである。

2015年 5月	水平 MJ	南 30 MJ	南 45 MJ	南 60 MJ	南 90 MJ	南 105 MJ	南 120 MJ	東 30 MJ	東 90 MJ	西 30 MJ	西 90 MJ	南反無 90 MJ	南反有 90 MJ	北反黒土 90 MJ	北反白土 90 MJ	日射量 上向 MJ	日射量 下向 MJ	平均 気温 ℃
1日	0.10	0.14	0.11	0.07	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.10	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	26.40	5.19	18.8
2日	7.04	7.44	6.94	6.00	2.64	1.37	0.90	6.45	3.67	6.55	3.51	2.79	3.65	0.82	1.31	26.49	5.05	19.79
3日	6.50	6.90	6.45	5.61	2.58	1.40	0.91	6.55	3.82	5.49	2.60	2.68	3.50	1.03	1.51	24.85	4.75	20.91
4日	4.24	4.48	4.62	3.64	1.86	1.18	0.75	5.09	3.42	3.00	1.21	1.80	2.35	1.06	1.40	16.61	3.22	19.87
5日	6.84	7.00	6.44	5.47	2.23	1.03	0.71	5.03	1.79	7.44	3.76	2.32	3.20	0.81	1.12	25.36	4.28	15.32
6日	6.89	7.19	6.72	5.81	2.65	1.43	0.96	7.11	4.46	5.61	2.65	2.64	3.52	1.04	1.42	25.88	4.82	17.28
7日	6.20	6.26	5.75	4.88	2.20	1.31	0.93	5.22	3.00	6.40	3.91	2.10	2.88	1.32	1.75	23.20	4.51	17.71
8日	7.19	7.45	6.9	5.88	2.46	1.25	0.91	6.48	3.56	6.62	3.53	2.47	3.33	0.96	1.39	26.94	5.16	18.02
9日	1.50	1.44	1.25	0.96	0.39	0.25	0.15	1.62	0.77	1.31	0.41	0.32	0.51	0.48	0.57	7.08	1.35	15.15
10日	5.95	6.08	5.57	4.70	1.99	0.32	0.86	4.61	2.16	6.51	3.87	1.94	2.69	1.11	1.47	21.81	4.25	13.72
11日	7.78	7.92	7.24	6.10	2.39	1.04	0.85	7.50	4.43	7.01	3.50	2.40	3.31	0.95	1.35	29.4	5.63	14.27
12日	3.06	3.16	2.91	2.50	1.37	0.86	0.53	3.27	1.74	2.75	1.12	1.26	1.72	1.12	1.31	12.39	2.24	16.44
13日	7.61	7.69	7.01	5.87	2.26	1.02	0.79	7.03	4.01	6.98	3.54	2.28	3.10	0.87	1.13	28.77	5.27	18.89
14日	7.10	7.19	6.59	5.56	2.27	1.12	0.86	6.65	3.80	6.54	3.33	2.25	3.07	1.08	1.42	26.82	5.21	20.28
15日	6.69	6.95	6.43	5.48	2.32	1.14	0.86	6.35	3.08	5.90	2.55	2.32	3.14	0.90	1.23	25.12	4.58	21.67
16日	0.96	0.92	0.79	0.61	0.25	0.16	0.10	0.77	0.24	1.10	0.60	0.22	0.34	0.30	0.34	5.41	0.94	19.83
17日	7.27	7.28	6.64	5.58	2.30	1.21	0.89	6.33	3.37	6.95	3.73	2.27	3.05	1.07	1.31	26.97	4.74	17.64
18日	5.20	5.33	4.94	4.24	2.04	1.20	0.81	5.81	3.43	3.86	1.40	1.96	2.59	1.18	1.34	19.74	3.46	18.81
19日	1.02	0.97	0.82	0.63	0.25	0.15	0.09	0.97	0.30	1.01	0.34	0.22	0.34	0.33	0.36	5.59	0.90	18.43
20日	6.27	6.34	5.82	4.91	1.88	0.75	0.59	6.64	3.57	4.63	1.36	1.91	2.62	0.60	0.73	23.43	3.57	17.79
21日	6.97	6.78	6.11	5.07	2.13	1.23	0.92	5.54	2.65	7.32	4.00	2.07	2.89	1.37	1.58	24.96	4.79	17.34
22日	8.01	7.76	6.96	5.73	2.08	1.00	0.88	7.00	3.77	7.58	3.97	2.04	2.84	1.14	1.34	29.74	5.65	17.84
23日	7.71	7.71	7.06	5.95	2.47	1.34	1.06	7.79	4.67	6.34	2.93	2.41	3.27	1.06	1.23	28.58	5.37	19.77
24日	8.00	7.79	7.02	5.80	2.15	1.05	0.93	7.19	3.90	7.30	3.74	2.09	2.93	1.02	1.19	29.21	5.47	20.70
25日	6.91	6.81	6.17	5.15	2.04	1.04	0.82	7.43	4.57	5.38	2.34	1.97	2.78	1.08	1.16	25.37	4.74	20.73
26日	7.81	7.59	6.81	5.61	2.12	1.11	0.94	6.99	3.81	7.31	3.88	2.05	2.86	1.19	1.33	28.80	5.48	20.21
27日	7.48	7.30	6.58	5.44	2.14	1.18	0.96	6.94	3.94	6.88	3.65	2.05	2.86	1.32	1.44	27.66	5.21	20.64
28日	6.65	6.72	6.18	5.25	2.36	1.43	1.04	6.68	3.62	5.72	2.53	2.26	3.10	1.35	1.39	24.84	4.53	21.83
29日	7.28	7.13	6.43	5.34	2.24	1.30	1.03	6.48	3.51	6.98	3.77	2.12	2.92	1.36	1.47	26.91	5.17	23.39
30日	7.52	7.35	6.61	5.42	1.89	0.89	0.79	7.43	4.24	6.38	2.87	1.84	2.65	1.03	1.12	27.94	5.32	23.70
31日	6.41	6.37	5.79	4.89	2.08	1.21	0.92	5.46	2.14	6.48	3.10	2.01	2.82	1.43	1.50	23.80	4.20	15.10
合計 (MJ)	186.15	187.44	171.68	144.16	60.03	30.98	23.74	174.47	95.49	169.41	83.73	59.05	80.86	30.38	37.19	726.07	135.07	18.77

図 25 : 2015 年 5 月 1 日から 31 日までの発電量



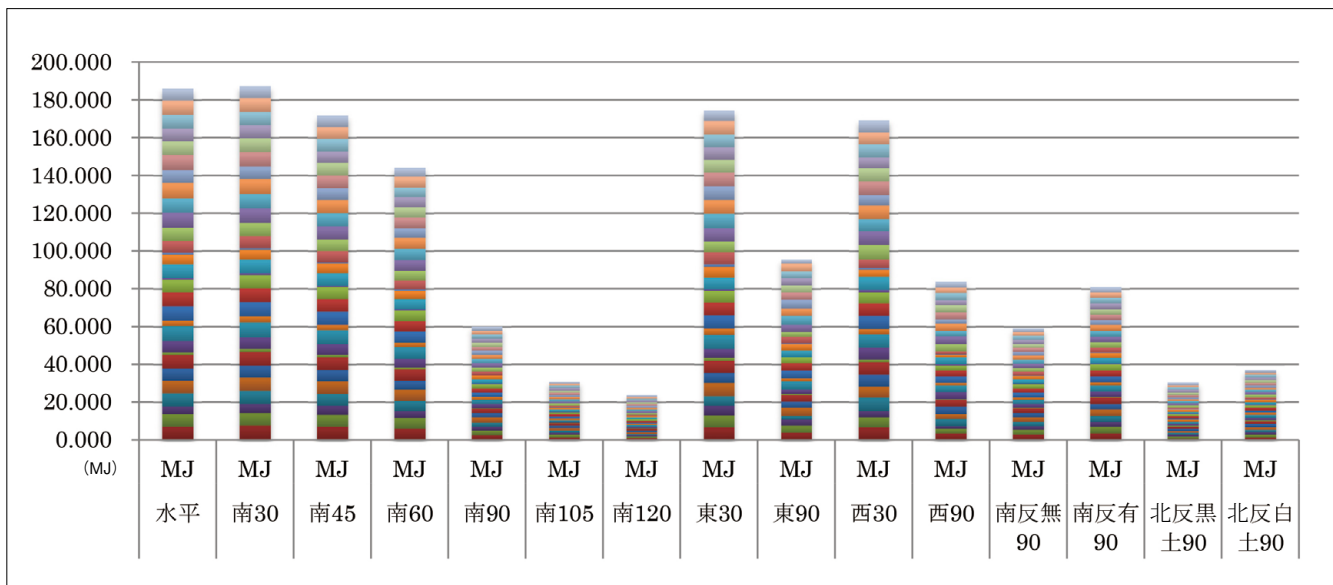


図 26：2015 年 5 月 1 日から 31 日までの発電量のグラフ

2015 年の各月の一日の最大太陽光度を以下に示す。

1 月 1 日：約 31°、2 月 1 日：約 37°、3 月 1 日：約 46°、4 月 1 日：約 58°、5 月 1 日：約 69°、6 月 1 日：約 76°、7 月 1 日：約 77°、8 月 1 日：約 72°、9 月 1 日：約 62°、10 月 1 日：約 51°、11 月 1 日：約 40°、12 月 1 日：約 32°である。

夏至の最大高度が約 77°、冬至の最大高度が約 30°である。

概ねの平均高度は月の 1 日と次月の 1 日の平均と見ることができ、6 月と 12 月は少し高めと低めとなる。

以上の観点から各月の平均太陽高度を予測すると、1 月 34°、2 月 41.5°、3 月 52°、4 月 63.5°、5 月 72.5°、6 月 76.5°、7 月 74.5°、8 月 67°、9 月 56.5°、10 月 45.5°、11 月 36°、12 月 31.5°となる。

図 26 は平均太陽高度 72.5° の 5 月の各ソーラーパネルの発電量の合計である。グラフを概観して、ソーラーパネルの設置角度が 60° 以下のものと 90° 以上のものに大きな差があることがわかる。この差はその月の太陽高度に関係すると予測される。この点が年間通してデータを収集する必要があることの意味でもある。90° 以上の角度を持つものは発電量が 60° 以内のものよりおよそ半分以下となっている。例えば傾斜が 90° の場合は南向きのものよりも東向きや西向きのソーラーパネルの方が発電量は多いことにも注目する必要がある。太陽高度が傾いた時の発電量がかなり期待できることがわかる。また南向き 90° の場合で、反射板がついているものとの比較では概ね 36% の性能がアップしていることがわかる。

## 5. まとめ

今回の報告はソーラーパネルを設定して、試運転期間の 5 月 1 日から 1 ヶ月の実測データを使った分析方法の検討から報告できた内容である。5 月は 6 月の夏至に近く太陽高度はかなり高い。そのため、ソーラーパネルの傾きは 30° 付近が最も効率がよい角度となっており、今回のような結論となった。今後 1 年を通じてデータを蓄積することにより、年間を通した傾向と、このデータを数年にわたって収

集することにより、年度の気象条件の違いによる発電量の違いなどのデータを収集できるはずである。

今後は継続することによる確実なデータを収集し、それに基づいたソーラーパネルの有効活用の方法が提案できることを確信している。

## 注釈

- 1 長野県工業技術総合センター、環境・情報技術部門：太陽電池のフィルファクター、<http://www.gitc.pref.nagano.lg.jp/joho/solar/pvmonitor/kaisetsu.html>、2016.2 閲覧
- 2 国土交通省 気象庁：各種データ資料、日ごとの値、長岡 2015 年 5 月（日ごとの値）主な要素、日照時間、[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_al.php?prec\\_no=54&block\\_no=0529&year=2015&month=5&day=&view=p1](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_al.php?prec_no=54&block_no=0529&year=2015&month=5&day=&view=p1)、2016.2 閲覧

※降雪位置注意

※強風が強い風向きに注意

※設置方法→単管を張って架台を抑えこむ、並行してコンクリート面に接する。

※

リップ溝形鋼 (総数94本・長さ112m)

架台 (大) 架台 (小)  
 0276kg (12kg)  
 2988-4本  
 2988-6本

1980-3本 1910-7本  
 1750-12本 1750-6本  
 1055-8本 4123-4本

アングル鋼 L 3x4x40 (総数28本・長さ274m)

架台 (大) 架台 (小)  
 53kg (6kg)  
 2768-4本 2768-4本  
 2390-11本

鉄板 2.3x200x200 (鋼金系分) (総数54枚)

架台 (大) 架台 (小)  
 53kg (3kg)  
 52枚 52枚

アングル鋼 L 4x4x40 (ハネ取付台分) (総数94本・長さ2062m)

架台 (大) 架台 (小)  
 12kg (4kg) 12kg (4kg)  
 2062-20本 (0.5倍以下すべて)  
 2062-2本 (0.5倍以下すべて)

511-4本 (1.5倍)  
 511-6本 (1.5倍)  
 589-6本 (1.5倍)

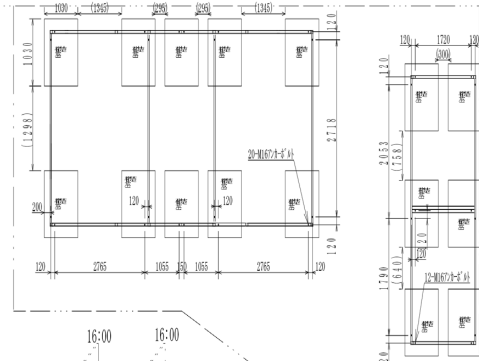
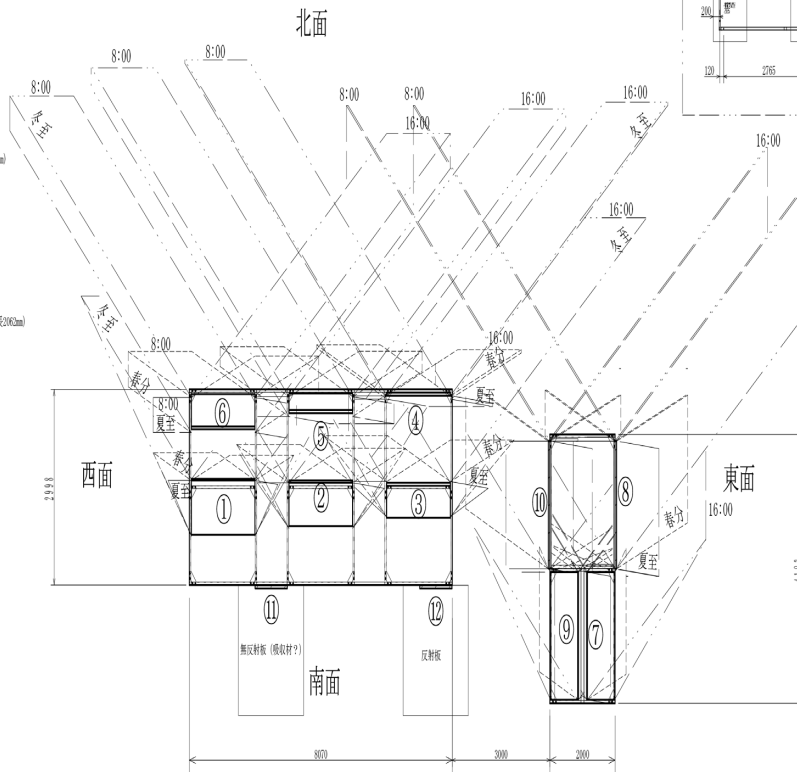
700-2本 (2) 1880-2本 (3)  
 236-2本 (2) 236-2本 (3)  
 647-2本 (3) 1420-2本 (3)

304-2本 (3) 820-2本 (5)  
 375-2本 (3) 725-2本 (5)  
 529-2本 (3) 1541-2本 (5)

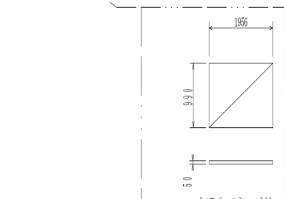
833-2本 (3)  
 1430-2本 (3)  
 820-4本 (3.5)  
 1160-4本 (3.5)

アルミ (パネル補強分) 重量 7.5kg \* 12基 = 90kg

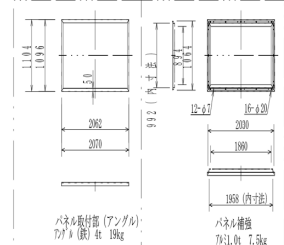
太陽光パネル 重量 24kg \* 12基 = 288kg



パネル位置寸法図



太陽光パネル寸法



パネルの取付部 (アングル) 7.5kg (鋼) 4 19kg

パネル補強 7.5kg (鋼) 4 30kg

※架台 (大) の整合 重量 390kg \* 10基 = 3900kg

※架台 (大) 重量 1基 430kg

※ハネ取付架台 重量 28kg \* 8基 = 224kg

※パネル補強 重量 7.5kg \* 8基 = 60kg

※太陽光パネル 重量 24kg \* 8基 = 192kg

(大) の重量 計 4806kg (481kg/1整合)

※架台 (小) の整合 重量 390kg \* 6基 = 2340kg

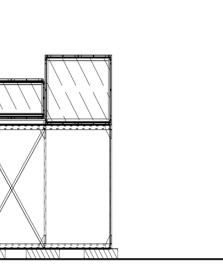
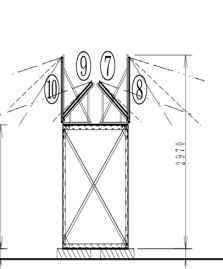
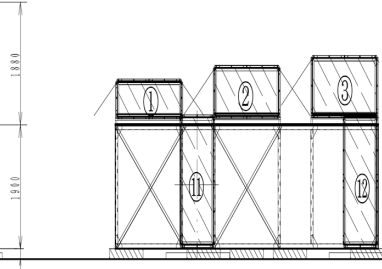
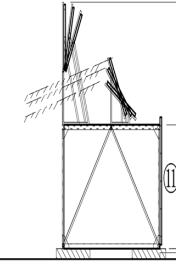
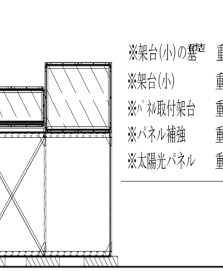
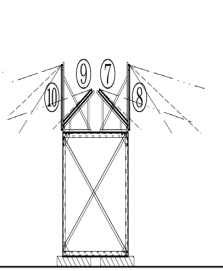
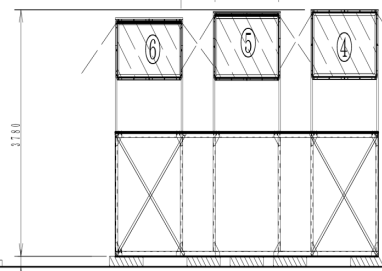
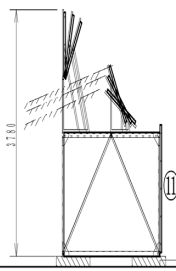
※架台 (小) 重量 1基 210kg

※ハネ取付架台 重量 28kg \* 4基 = 112kg

※パネル補強 重量 7.5kg \* 4基 = 30kg

※太陽光パネル 重量 24kg \* 4基 = 96kg

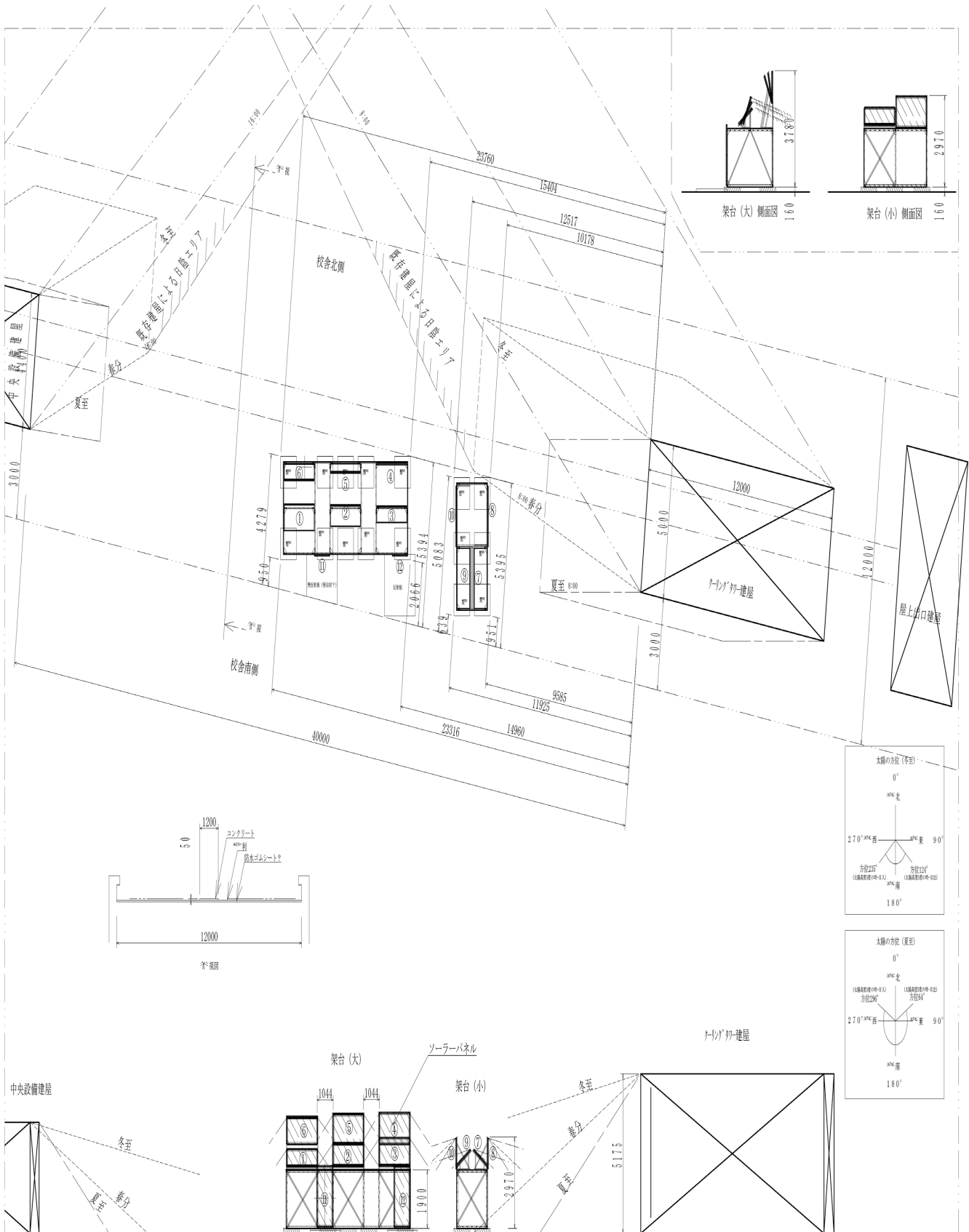
(小) の重量 計 2788kg (465kg/1整合)



【使用材料】

※リップ溝形鋼 C2.3x 75 * 45 * 15 (定尺6m) 面鉛メッキ処理 22本	※六角ボルト (三価クロメート) M16 * 50 624本	※六角ボルト (三価クロメート) M6 * 10 150本
※アングル鋼 L 3 * 40 * 40 (定尺5.5m) 面鉛メッキ処理 14本	※ナット (三価クロメート) M16 624個	※ナット (三価クロメート) M6 150個
※アングル鋼 L 4 * 50 * 50 (定尺5.5m) 面鉛メッキ処理 22本	※平ワッシャー (三価クロメート) M16 1248個	※平ワッシャー (三価クロメート) M6 300個
※SUS 304BA 0.8t * 1000 * 2000 2枚	※スプリングワッシャー (三価クロメート) M16 624個	※スプリングワッシャー (三価クロメート) M6 150個
※鉄板 3.2t * 200 * 200 さび止め塗装 88枚		
※A5052 1.0t * 1219 * 2438 18枚		

太陽光パネル取付架台 1/100図



【設置箇所の緯度・経度】 【南中高度】  
 北緯37° 28'      夏至75° 56'      夏至のときの太陽の南中高度 (度) = 90 - (その場所の緯度) + 23.4  
 東経138° 50'      冬至29° 13'      冬至のときの太陽の南中高度 (度) = 90 - (その場所の緯度) - 23.4

太陽光パネル取付架台 (配置図) 1/150図