Vol.2017-DPS-171 No.33
Vol.2017-MBL-83 No.33
Vol.2017-ITS-69 No.33
2017/6/2

メガソーラーの最適設計に関する検討

本田 尋識[†1]　橘 泰至[†2]　梅岡　仁[†3]　齋藤 正史[†1]　鈴木 康允[†1]

概要：経済産業省資源エネルギー庁の税制優遇措置が行われたことから，再生可能エネルギーが注目され普及が進みつつある．中でも太陽光発電は，風力や水力などと比べ設置制限が小さく，日常的な日中の光源で発電できることからも導入しやすく，すでにエネルギー資源の少ない我が国の電力供給の一翼を担おうとしている．太陽光発電では，季節や天候による発電量に変動があり，安定供給に向けた普及を進める上での課題の一つとなっている．そこで，実際のメガソーラー発電について，2012 年より各種データの収集及び解析を開始した．今回はこれまでに得られたデータから，日射量，外気温，季節，地域等による影響を解析し，発電に対し積算日射量が重要であり，平均気温の影響はほとんどないことを検証した．

キーワード：太陽光発電，発電量，日射量，気温

1. はじめに

東日本大震災を発端として，一時期我が国の原子力発電が全て停止した．それまでの約 3 割の電力を賄っていた原子力発電所が停止することによって，その不足する電力を火力発電の稼働増加によって賄う必要がでてきたことで発電コストの増加から電気料金の値上げへと繋がった[1]．エネルギー資源の少ない我が国にとって，エネルギー資源を海外からの輸入に頼っていることから，国外の情勢だけではなく，国内での利用のされ方によっても影響が出る[1]．１次エネルギーによって発電される電力もその一つである．

これらのことから，震災を受け，電力の確保に安全上問題視される原子力発電や化石燃料等を用い，CO□排出量増加による地球温暖化といった問題にもつながる火力発電に変わり，再生可能エネルギーが注目されるようになった．また，2012 年 7 月には再生可能エネルギーの普及を促進させるため，経済産業省が再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）を施行したことで，再生可能エネルギーによる発電ビジネスが着目され，2012 年度以降，確実にその普及が進んできた[1]．

太陽光発電は，季節や天候による発電量の変動が課題の一つとなっている。1 日を通し変動する電量需要の中で安定して電力を供給する上では，従来の発電は必要不可欠であり，日中に獲得できる電力の予測を行うことは変動する電力の需要に対し，エネルギーミックスの観点から太陽光発電だけではなく，他の電源の有効活用へと繋がる[5]．本研究では，石川県内に設置されているソーラー発電所 7 ヶ所の実際の発電データをもとに，メガソーラーの最適な設計について日射量と発電の関係性について報告する．

2. 発電所の仕様と設置場所

本研究は石川県金沢市大野町 4 丁目レ 40-170 に本社を構える，重光商事株式会社のソーラー発電所のデータによるものである．重光商事株式会社では，太陽光発電所を全 8 ヵ所で稼働させており，その詳細を表 1 に示す．また，各発電の日射計は，太陽光モジュールの取り付け面に合わせて設置されており，地面に対して水平に設置されているわけではない．第 1 発電所と第 3 発電所の取り付け状態を図 2 に参考として示す．

なお，発電データについては，平成 26 年 5 月 31 日までのものを解析に用いたことから，第 1 発電所から第 7 発電所のものとなっている．

図 1　日射計取り付け状態

†1 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology.
†1 石川県工業試験場
Industrial Research Institute of Ishikawa
†2 重光商事株式会社
Shigemitsu Shoji Co.,Ltd.

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-DPS-171 No.33
Vol.2017-MBL-83 No.33
Vol.2017-ITS-69 No.33
2017/6/2

表 1　重光商事株式会社の太陽光発電所

	発電規模		997.5kw ／431.8kw
	モジュール	枚数	3,990枚／1,222枚
		方向	北／一
		傾斜	３度／0度
	パワーコンディショナー出力		750kw ／350kw
	連結日		2012年9月14日／2015年8月6日
	発電規模		752.5kw
	モジュール	枚数	3,010枚
		方向	南
		傾斜	20度
	パワーコンディショナー出力		750kw
	連結日		2013年3月25日
	発電規模		1,998.5kw
	モジュール	枚数	7,994枚
		方向	南
		傾斜	20度
	パワーコンディショナー出力		2,000kw
	連結日		2013年3月22日
	発電規模		994.0kw
	モジュール	枚数	3,976枚
		方向	南
		傾斜	20度
	パワーコンディショナー出力		1,000kw
	連結日		2013年9月10日
	発電規模		979.3kw
	モジュール	枚数	3,752枚
		方向	南
		傾斜	20度
	パワーコンディショナー出力		750kw
	連結日		2012年9月14日
	発電規模		1,271.6kw
	モジュール	枚数	4,872枚
		方向	南
		傾斜	10度
	パワーコンディショナー出力		1,200kw
	連結日		2014年8月29日
	発電規模		796.6kw
	モジュール	枚数	3,052枚
		方向	南
		傾斜	10度
	パワーコンディショナー出力		750kw
	連結日		2015年2月18日
	発電規模		1,046.2kw
	モジュール	枚数	3,948枚
		方向	南
		傾斜	10度
	パワーコンディショナー出力		1,000kw
	連結日		2016年7月28日

3. 発電データ分析

第 1 発電所から第 7 発電所のデータを用いて，1 日の太陽光発電量に対して，1 日の積算日射量と 1 日の平均気温それぞれがどの様に関連しているか重回帰分析を行った．表 2 は第 1 発電所（PV1）の分析結果である．回帰統計の補正 R^2 は 0.9774 あり信頼度の高い結果が示された．このデータによると，PV1 の積算発電量に対して，「PV1 積算日射量」の係数が 803.057,「PV1 平均外気温」の係数が 6.523 となっており，1 日の発電量に対して，日射量の方が平均外気温より約 50 倍程度と大きく影響していることが確認できた．同様に第 2 発電所から第 7 発電所まで重回帰分析を行った. それぞれの発電所における補正 R^2 と係数について表 3 に示す. この中で, 第 4 発電所では補正 R^2 値が 0.6276 と値が低く出ておりデータの信頼性が低いが，どれも発電量に対し平均気温の影響は日射量に比べて低いことが分かった．

表 2　第 1 発電所（PV1）の発電電力量に対する，日射量，外気温の重回帰分析結果
（期間：2013/4/1~2016/5/31）

概要 (PV1)

回帰統計	
重相関 R	0.989
重決定 R^2	0.977
補正 R^2	0.977
標準誤差	306.836
観測数	858.000

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2.000	3.49E+09	1.7E+09	18558.157	0.000
残差	855.000	8E+07	94148.302		
合計	857.000	3.57E+09			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-40.181	22.645	-1.774	0.076	-84.628	4.266	-84.628	4.266
PV1 積算日射量 (kWh/m²)	803.057	5.040	159.332	0.000	793.165	812.950	793.165	812.950
PV1 平均外気温 (℃)	6.524	1.430	4.561	0.000	3.716	9.331	3.716	9.331

表 3　PV1~PV7 における重回帰分析結果

	補正 R2	積算日射量 (kWh/m2)	平均外気温 (℃)
PV1	0.977	803.057	6.524
PV2	0.921	661.618	3.872
PV3	0.950	1779.956	-3.419
PV4	0.628	780.529	-1.540
PV5	0.926	868.925	4.831
PV6	0.965	1141.410	-1.502
PV7	0.958	715.414	7.471

4. 発電量に対する相関分析

4.1 モジュール角度による発電量の違い

2 章に記載のように，発電所によってモジュールの角度が異なることから，角度が異なりかつ比較的発電所の地域が近い第 1，第 3，第 6 発電所のデータを用いて発電量と日射量，発電量と気温に対して相関分析を行った．
使用したデータは，第 1 発電所が 2013/4/1~2015/8/6，第 3 発電所が 2013/4/1~2016/5/31，第 6 発電所については 2014/9/1~2016/5/31 となっている. 第 1 発電所は傾斜角が北

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-DPS-171 No.33
Vol.2017-MBL-83 No.33
Vol.2017-ITS-69 No.33
2017/6/2

向き 3 度とほぼフラットな太陽光モジュール設置となっている．なお，2015 年 8 月 7 日より，太陽光モジュールが追加され発電量が変わってしまったことから，それ以前までのデータを用いた．

第 3 発電所は南向き 20 度，第 6 発電所は南向き 10 度となっており，発電所の連結日が 2014 年 8 月 29 日からであることから，それ以降のデータを用いている．これらのデータを基にした発電量と日射量および発電量と平均気温の相関を図 2~図 7 に示す．

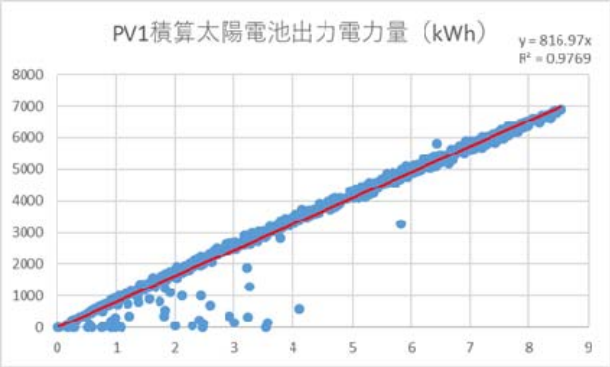

図 2　PV1 発電量と日射量の相関

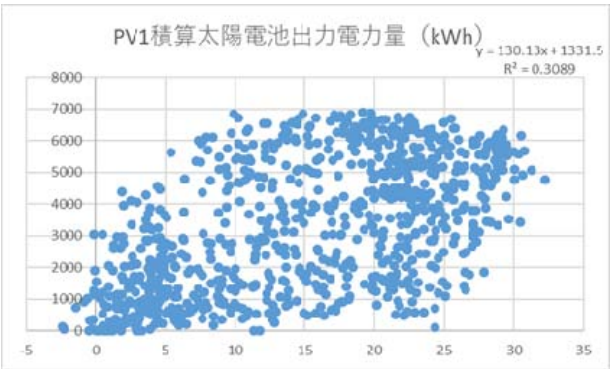

図 3　PV1 発電量と気温の相関

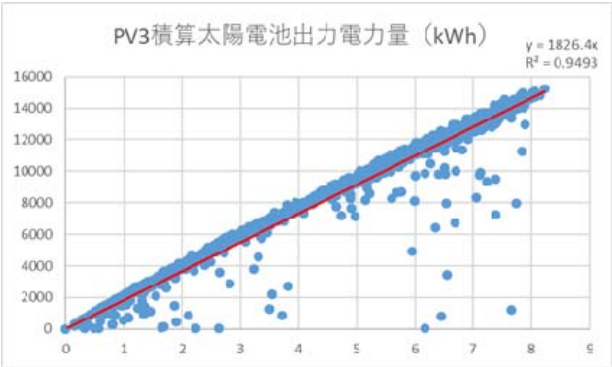

図 4　PV3 発電量と日射量の相関

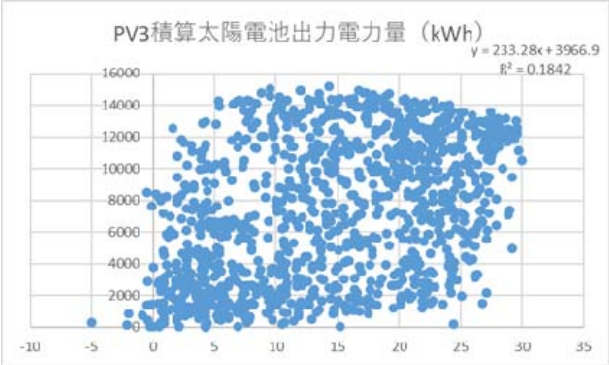

図 5　PV3 発電量と気温の相関

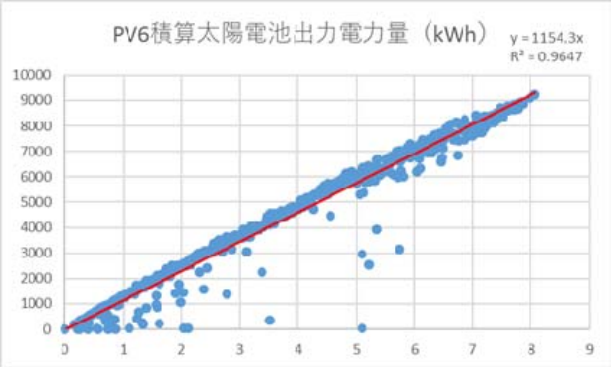

図 6　PV6 発電量と日射量の相関

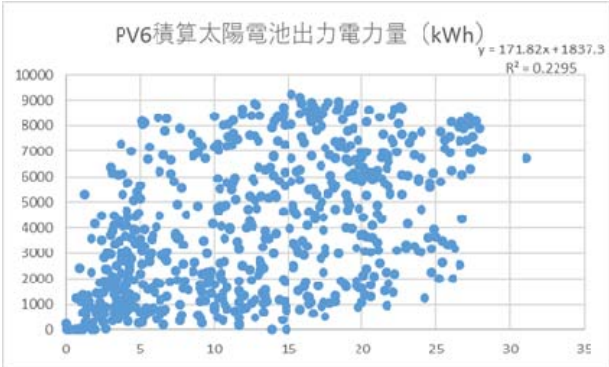

図 7　PV6 発電量と気温の相関

発電量と日射量の相関からは PV1，PV3，PV6 それぞれの R^2 値が 0.949 を上回っていることに対し，発電量と気温の相関は，PV1，PV3，PV6 それぞれの R^2 値が 0.31 より低く，発電量に対してほとんど相関が無いことがわかった．相関係数の高い, 発電量に対する日射量の値を比較すると，

PV3：y=1826.4x
PV6：y=1154.3x
PV1：y=816.97x

と値に差が見られるが，これは発電容量の大きな発電所が同じ日射量でも多く発電できることから，これではモジュールの角度による発電量に差がでているとは言えない．そこで，発電容量を揃えることで発電量にどの程度差がある

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-DPS-171 No.33
Vol.2017-MBL-83 No.33
Vol.2017-ITS-69 No.33
2017/6/2

かを比較してみる必要がある．

PV1：816.97/997.5kw=0.819

PV3：1826.4/1998.5kw=0.914

PV6：1154.3/1271.6kw=0.908

これによると，発電量の大きさは，

PV3（南 20 度）＞PV6（南 10 度）＞PV1（北３度）

となる．

5. 角度による日射量の違い

これまでの発電量に対する重回帰分析や，相関分析からは発電量は平均気温にはほぼ影響を受けず，日射量に強く影響していることが明らかになった．そこで，各発電所の日射データから，太陽光モジュール角度と日射量の関係を調査した．

まず，第 1 発電所から第 7 発電所全ての日射データを基に 2013 年 4 月 1 日から 2016 年 5 月 31 日の期間についてグラフで比較したものを図 8 に表す．ここでは，どの発電所データも各季節に合わせて日射量の増減が繰り返されており，赤色や灰色などの特定の色が見え隠れし，見えづらいことから，傾斜角が異なり，発電所の位置が近い PV1, PV3, PV6 に絞って図 9 に示す．

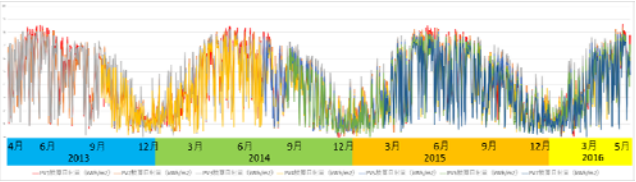

図 8　PV1~PV7 の日射量データ
（2013 年 4 月 1 日～2016 年 5 月 31 日）

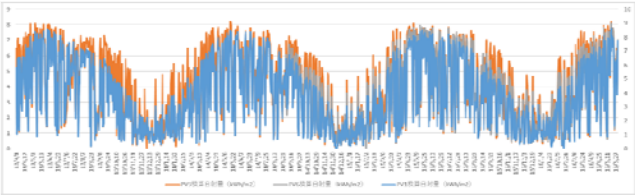

図 9　PV1，PV3，PV6 の日射量
（2013 年 4 月 1 日～2016 年 5 月 31 日）

このグラフからは，青色の PV1（北 3 度）が他の色より一回り小さい形で推移していることが分かる．また，PV3（南 20 度）が他の色より一回り大きく形成していることも見てとれる．また，夏は日射量の差が少なくなり，冬にその差が大きくなっていることも分かる．以上のことから夏季は太陽が真上に来るため，太陽光モジュールの角度の影響は出にくいものの，冬季には明らかに傾斜角度の影響の出ることが明らかになり，今回の比較の中では他に比べ 20 度が最も良い結果となった．

6. 発電データの異常値について

各発電所の日射量と発電量の関係分析データを調べると，異常値が目に付く．特に重回帰分析や相関分析を行った際，データの信頼度を示す R^2 値について PV4 が特に悪い．表 3 の重回帰分析結果では R2 値は 0.627 であり，図 10 の PV4 発電電力と日射量の相関分析結果を見ても R^2 値は 0.6123 となり，データの信頼性が低い．また，PV4 の近くにある PV2 においても同様に図 11 のように R^2 値が低いことが見てとれる．

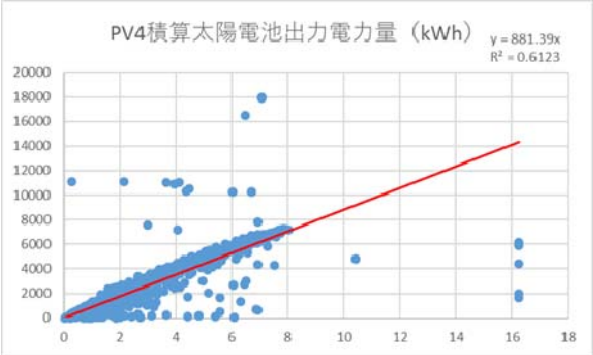

図 10　PV4 発電量と日射量の相関分析結果

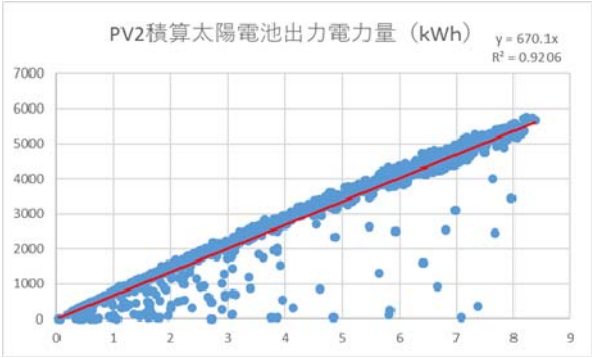

図 11　PV2 発電量と日射量の相関分析結果

これらは値の分布にバラツキがあることからそのようになるものであり，日射量があるにも関わらず発電量が無かったり，少なかったりするものとなっている．この原因の仮説としては，冬季の雪の影響以外に系統電圧の問題があげられる．電力供給対象地域の電力需要が無い時，電圧が上昇し発電システム保護の為にパワーコンディショナーが太陽光発電側の電圧を低下させる制御によるもので，電力需要の少ない時期での電力供給時にも発生する．これは人口密度が少なく，利用される電力の少ない系統の地域への電力供給時でも該当するものであり，PV2 や PV4 などはまさにその該当エリアとなっている．PV2 及び PV4 の異常値は冬季の雪の影響に加え，系統電圧の問題も含んでいるものと推察される．このことは，太陽光発電システムを設置する場合，設置場所周辺の電力需要状況も把握する必要性のあることを示していると言える．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-DPS-171 No.33
Vol.2017-MBL-83 No.33
Vol.2017-ITS-69 No.33
2017/6/2

7. まとめ

本論文は，長期間蓄積されたメガソーラー発電データを利用し，実運用データとして有効に発電できる最適設計を検討することを目的として行った．一般的に言われている南向きでの設置は有効であり，ほぼフラットな北向き３度，南向き 10 度，南向き 20 度では，南向き 20 度が年間を通して日射量が多く発電量の多いことが確認できた．また，発電に対し積算日射量が重要であり，一日の平均気温の影響は殆どないことが明らかになった．

しかし，現段階では，全てのデータの解析が行えたわけではなく，異常値を除いた発電解析や一分毎の発電データも十分に解析できていない．今後は発電所地点での最適傾斜角異常値を除いた正常値データを基にした一分単位の細かなデータを基に，日射量に対する発電量を解析していく計画である．

参考文献

[1] 経済産業省資源エネルギー庁. 平成27年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2016).
[2] 細川和彦,苫米地司. 降雪を考慮した太陽電池の設置技術に関する研究,日本建築学会技術報告集,Vol16,No. 32,197-200,2010.
[3] 黒木壮一郎,曽我和弘,赤坂裕. 太陽電池の方位別・傾斜角度別発電特性に関する研究,日本建築学会九州支部研究報告,Vol. 40,353-356,2001.
[4] 山下栄一,矢野利明,鳥居修一,赤坂　裕,曽我和弘. 太陽電池の方位・傾斜角度の違いによる出力の推定,日本機械学会講演論文集,九州支部第 55 期総会講演会,No.028-1,2002-03-18.
[5] 環境ビジネス ポストＦＩＴ 特別号,日本ビジネス出版, 2017, p.16-20.
[6] “重光商事株式会社　太陽光発電システム”, http://www.shigemitsu-shoji.co.jp/PV/TOP.html, (参照 2017-04-15).
[7] 経済産業省　資源エネルギー庁. 再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック 2017,2017 年 3 月.
[8] “NEDO　日射データベース閲覧システム”, app0.infoc.nedo.go.jp/, (参照 2017-04-15).
[9] “一般社団法人日本原子力技術協会 施設稼働状況 原子力発電所”,http:// www.gengikyo.jp/facility/powerplant.html,(参照 2017-04-13).
[10] “ECO ライフ.com 太陽光発電総合情報　太陽光発電の設置角度と発電効率”, standard-project.net/solar/angle.html, (参照 2017-04-13).

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan