

網干浜太陽光発電所の 発電実績の検証と今後の展望

高谷 拓伸¹

¹企業庁 利水事務所 施設第2課 (〒672-8586兵庫県姫路市飾磨区妻鹿394-13)

「網干浜太陽光発電所」において、これまでの実績をもとに発電量と日射量、太陽光パネルの劣化率等の関係について検証を行った。さらに検証結果から、今後の発電量予測を行い、事業の将来展望について考察を行った。

キーワード 太陽光発電, 再生可能エネルギー, FIT制度, メガソーラープロジェクト

1. はじめに

兵庫県企業庁では、再生可能エネルギー普及拡大への貢献、保有資産の有効活用等を目的に、2013年度より「メガソーラープロジェクト」¹⁾として、水道用水供給事業、工業用水道事業が保有する資産(ダム、土地)、地域整備事業が保有する用地の計12カ所において、総発電量約3万kWの太陽光発電所を整備し管理運営している。そのうち、「網干浜太陽光発電所」は、当プロジェクトにおいて、最初に発電を開始している。

表-1 企業庁が有する太陽光発電所

太陽光発電所名	所在	設置面積	発電出力	開始時期
網干浜	姫路市網干区網干浜	1.5ha	1,180kW	2013.11月
三田カルチャータウン	三田市学園	8.6ha	6,530kW	2014.3月
養老	加古川市平荘町養老	0.8ha	550kW	2014.6月
豊富	姫路市豊富町神谷	1.7ha	1,780kW	2014.11月
上西条・都染	加古川市八幡町上西条他	1.7ha	1,590kW	2014.11月
権現ダム	加古川市平荘町上原	1.9ha	1,760kW	2014.11月
播磨科学公園都市第1	たつの市新宮町光都	6.0ha	5,000kW	2014.12月
佐野	淡路市佐野新島	2.5ha	2,000kW	2015.1月
播磨科学公園都市第2	たつの市新宮町光都	2.2ha	2,000kW	2015.2月
播磨科学公園都市第3	赤穂郡上郡町光都	0.7ha	610kW	2015.2月
神谷ダム	姫路市豊富町神谷	3.2ha	4,990kW	2016.2月
平荘ダム	加古川市平荘町池尻	1.6ha	1,610kW	2016.2月
計(12カ所)		32.4ha	29,600kW	



a) ダムの活用



b) 用地の活用

図-1 土地資産の有効活用状況

2. 網干浜太陽光発電所の概要

(1) 事業概要

- ◆事業期間：2013d.11～2033d.11
- ◆事業方式：FIT制度(20年間,売電単価 40円/kWh)
- ◆建設方式：企画提案競技(プロポーザル)にて建設業者を選定

《主な採用提案》

- ・建設工事費：約4億2千万円
- ・維持管理費：約9千万円
- ・予想発電量：約2千5百万kWh[20年間]
- ・劣化率：0.50%[毎年]

(2) 施設概要

- ◆発電出力：1,180kW
- ◆発電パネル：5,360枚(220W/枚)
- ◆パネル形式：単結晶シリコン型
- ◆系統連携電圧：3φ60Hz 6,600V



図-2 網干浜太陽光発電所

3. 発電実績の検証

(1) 当初計画

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の年間月別日射量データベース「MONSOLA」²⁾によって設定された「日射量」及びプロポーザルにて採用されたパネルの「劣化率」を考慮し、20年間の「発電量」を見込んでいる(図-3)。年毎の日射量は一定とし、発電量は、パネルの劣化率(0.50%[年度])に応じて、劣化が進んでいくこととしている。

(2) 発電実績

これまでの「実績日射量」については、毎年、当初計画を上回り、平均で約 10%上回っている結果となっている(図-4)。また、天候等の影響で、各年度によって変動していることが分かる。「実績発電量」についても、実績日射量に応じて全ての年度において当初計画を上回っており、その推移は日射量に概ね比例していることが分かる。しかし、近年の傾向をみると、各年度における日射量の増加に対し、発電量の増加が鈍化していることが分かった。

そこで、式(3a)により、2014年度の実績を基準(n = 1)に、毎年劣化率(0.50%[毎年])を考慮して、当初計画において、各年度の実績日射量で本来発電可能である発電量(理論値)を試算した(表-2)。これを実績発電量と比較すると、全ての年度において実績発電量が下回る結果となり、その差は年々大きくなっている。この原因として、「劣化率」が、当初計画に比べ増加傾向になっていることが示唆される。

$$D = 1,534,088 * (B / 4.19) * (1 - 0.005)^{n-1} \quad (n = 1, 2, \dots, 7.8) \quad (3a)$$

$$E = C - D \quad (3b)$$

ここで、パネルの劣化率を明確にするため、式(3c)により、これまでの「実績発電量」を「実績日射量」から当初計画で用いた NEDO による「計画日射量」に換算し、発電量を試算した(表-3、図-5)。これにより、年変動が大きい日射量の影響を除去でき、純粋なパネルの劣化率の検証が可能となる。

その結果、実績発電量においては、年平均で約 14.0%当初計画を上回っているが、日射量補正した発電量を試

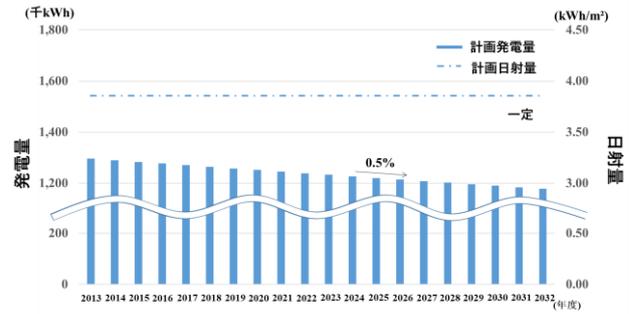


図-3 当初計画発電量と日射量



図-4 実績発電量と日射量

表-2 実績日射量における発電量の理論値

年度	計画日射量 (kWh/m²)	実績日射量 (kWh/m²)	実績発電量 (kWh)	発電量(理論値) (kWh)	差 (kWh)
	A	B	C	D	E
2014年度	3.86	4.19	1,534,088	1,534,088	基準
2015年度	3.86	4.17	1,507,723	1,518,841	▲ 11,118
2016年度	3.86	4.18	1,485,975	1,516,001	▲ 30,026
2017年度	3.86	4.30	1,507,312	1,550,062	▲ 42,750
2018年度	3.86	4.18	1,398,594	1,499,506	▲ 100,912
2019年度	3.86	4.27	1,388,738	1,523,112	▲ 134,374
2020年度	3.86	4.40	1,422,993	1,561,646	▲ 138,653
2021年度	3.86	4.12	1,311,979	1,455,726	▲ 143,747
平均	3.86	4.22 (約10%増)			

表-3 日射量補正後の発電量

年度	計画発電量 (kWh)	実績発電量 (kWh)	計画日射量 (kWh/m²)	実績日射量 (kWh/m²)	発電量(試算) (kWh)	日射量増加分 (%)
	a	b	c	d	e	f
2014年度	1,289,952	1,534,088	3.86	4.19	1,411,610	8.0
2015年度	1,283,502	1,507,723	3.86	4.17	1,394,271	7.5
2016年度	1,277,084	1,485,975	3.86	4.18	1,369,850	7.8
2017年度	1,270,699	1,507,312	3.86	4.30	1,352,191	10.3
2018年度	1,264,346	1,398,594	3.86	4.18	1,290,478	7.7
2019年度	1,258,024	1,388,738	3.86	4.27	1,255,216	9.6
2020年度	1,251,734	1,422,993	3.86	4.40	1,248,169	12.3
2021年度	1,245,475	1,311,979	3.86	4.12	1,228,354	6.4
計	10,140,816	11,557,402	30.85	33.80	10,550,140	69.62
年平均	1,267,602	1,444,675 (約14.0%増)	3.86	4.23	1,318,768	8.70

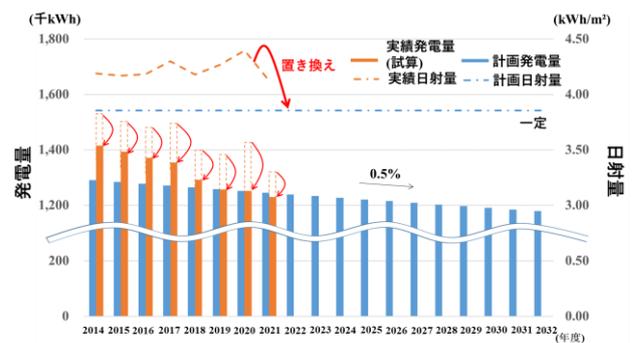


図-5 日射量補正後の発電量推移

算すると、発電開始当初は、当初計画を上回るものの、6年目の2019年度以降では、わずかであるが当初計画を下回る結果となった。これにより、実績におけるパネルの「劣化率」が、当初計画に比べ大きくなっていることが分かった。

また、これまでの実績発電量は、近年の実績日射量が良好なことから十分な発電量を得ているが、計画日射量では、当初計画の発電量を得られないことが分かった。さらに、式(3d)により計算すると、これまでの総発電量の約 8.7%が、実績日射量が良好であることによるものであると分かった。

$$e = b * c / d \quad (3c)$$

$$f = (1 - e / b) * 100 \quad (3d)$$

(3) 今後の発電量予測

現在、発電開始から8年目を迎えているが、直近の動向として、「日射量」については、当初計画時点に比べ、全国的に増加している傾向となっており、NEDOにおいても、「日射量」の見直しがなされ、現在、最新版として公表されている。また、「劣化率」については、前述の試算から、当初計画に比べ、実績における劣化が進んでいることが示唆される。

これらを踏まえたうえで、今後の発電量について2つのケースを試算した(表4、図6)。

a) CASE1(「日射量」最新 NEDO, 「劣化率」当初計画)

NEDOによる最新版の日射量と、当初計画の劣化率(0.5%[毎年])を適用し、将来の発電量を試算した。

その結果、20年間の総発電量は当初計画よりも約6%増加することとなり、十分な発電量が見込まれる結果となった。

b) CASE2(「日射量」最新 NEDO, 「劣化率」実績)

NEDOによる最新版の「日射量」で、「劣化率」は、3章2節で示した実績劣化率の傾向が今後も続くと仮定し、将来の発電量を試算した。

その結果、20年間の総発電量は、当初計画に対して、約2%減少する結果となった。実績劣化率は年々増加傾向にあり、2031年度頃からは総発電量が当初計画を下回る可能性があることが分かった。

表4 日射量補正後の発電量

	計画発電量 (kWh)	実績発電量 (kWh)	CASE1 (kWh)	CASE2 (kWh)
2013年度	1,296,434	504,093	504,093	504,093
2014年度	1,289,952	1,534,088	1,534,088	1,534,088
2015年度	1,283,502	1,507,723	1,507,723	1,507,723
2016年度	1,277,084	1,485,975	1,485,975	1,485,975
2017年度	1,270,699	1,507,312	1,507,312	1,507,312
2018年度	1,264,346	1,398,594	1,398,594	1,398,594
2019年度	1,258,024	1,388,738	1,388,738	1,388,738
2020年度	1,251,734	1,422,993	1,422,993	1,422,993
2021年度	1,245,475	1,311,979	1,311,979	1,311,979
2022年度	1,239,248		1,244,454	1,218,251
2023年度	1,233,052		1,238,231	1,184,715
2024年度	1,226,887		1,232,040	1,150,234
2025年度	1,220,753		1,225,880	1,114,942
2026年度	1,214,649		1,219,751	1,078,975
2027年度	1,208,576		1,213,652	1,042,465
2028年度	1,202,533		1,207,584	1,005,547
2029年度	1,196,520		1,201,546	968,351
2030年度	1,190,537		1,195,538	931,002
2031年度	1,184,584		1,189,560	893,626
2032年度	1,178,661		1,183,613	856,341
合計	24,733,250		25,413,343	23,505,945



図6 当初計画とCASE1とCASE2の総発電量比較

(4) 考察1

発電実績を検証することで、大きく三つのことが新しく分かった。

一つ目は、日射量の増加である。近年、日射量は増加傾向にあり、当初計画と比較しても、全ての年度において上回っており、良好な状態であることが分かった。

二つ目は、劣化率の増加である。当初計画においては、毎年0.50%を想定していたが、実績発電量は、それ以上の減少が見られ、実績日射量から計画日射量へ補正した場合、2019年度からは、わずかに当初計画を下回っていた。このことより、現在、実績発電量が当初計画を上回っているのは、日射量が良好であることによるものであり、パネルの劣化率は、当初計画よりも大きくなっているということが分かった。

三つ目は、今後の予測発電量である。「日射量」、「劣化率」の観点から2つのCASEで予測を行った結果、年度毎に総発電量を比較すると、当初計画に対し、CASE1では、約6%の増加が見込まれ、CASE2では約2%の減

少が見込まれる結果となった。これより、総発電量の増減に関する「日射量」と「劣化率」の増加は、後者の方が大きく影響しているといえる。

4. 太陽光パネル劣化率調査

(1) 調査概要

3章における検証により発電量の「劣化率」は想定よりも進んでいることが分かった。そこで、個々のパネルにおいて、実際の発電量を調べるため、太陽光パネル劣化率調査を行った。

調査方法としては、網干浜太陽光発電所に設置されている太陽光パネル 20 枚を取り外し、パネルメーカー所有の工場にて、太陽光パネル出力性能試験を行った。また、発電量低下の原因の一つとして想定されるパネル表面の汚れについても調査するため、同太陽光パネル 20 枚の表面を清掃し、再度出力性能試験を行った(図-7)。

(2) 調査結果

図-8、表-5に調査結果を示す。

清掃前の調査結果について、発電量は出荷時に比べ全体的に出力低下が大きく、8年間で約 16.78%の出力低下となった。年平均では、約 2.10%の低下率となり、当初計画における劣化率 (0.50%[毎年]) よりかなり大きくな

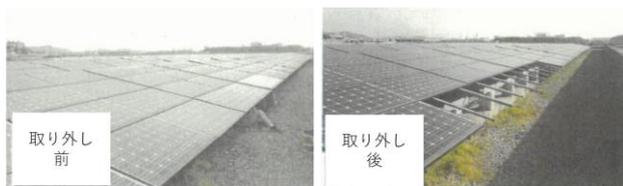


図-7 設置パネルの取り外しの様子

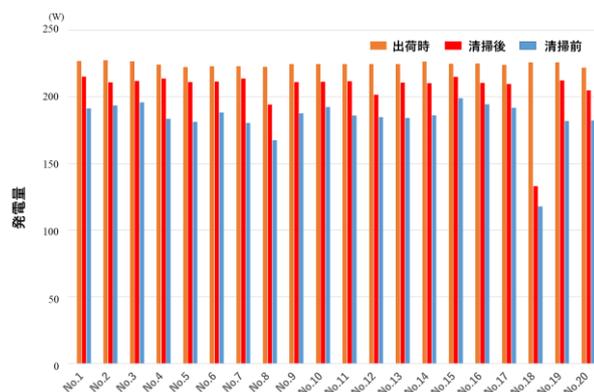


図-8 太陽光劣化率調査結果

っていることが分かった(①)。

清掃後の調査結果について、発電量は出荷時に比べ出力低下は少なく、8年間で約 6.50%の出力低下となった。年平均では、約 0.81%の低下率となり、当初計画における劣化率 (0.50%[毎年]) に比べ大きく分かったことが分かった(②)。

清掃前後の調査結果については、約 10.28%出力低下となった。年平均では、約 1.29%の低下率となり、発電量に大きな影響をもたらしていることが分かった(③)。

これより、統計データとして、年平均の発電量の低下率は約 2.10%であり、そのうちパネル本体が約 0.81%、パネルの汚れが約 1.29%の低下率となっていることが分かった。なお、当初計画における公称出力(220W)に対して、出荷時の単体パネル出力(224.52W)には約 2.05%の差異があることが分かっている。

(3) 考察2

調査結果より、網干浜太陽光発電所にて設置されている太陽光パネルの出力は、想定よりも劣化していることが分かった。また、その要因はパネル表面の汚れによる影響が大きいことが分かった。メーカーの見解では、パネル表面に付着している汚れにより、日射が遮られることで出力低下を起こしており、特にパネルの下側は汚れがたまりやすい為、出力低下に影響していると考えられている。

表-5 各要因における劣化率

パネル番号	出荷時 (W)	清掃後 (W)	清掃前 (W)	①発電量劣化率 (%)	②パネルの劣化率 (%)	③汚れによる劣化率 (%)
No. 1	226.79	214.99	191.19	84.30	94.80	88.93
No. 2	227.51	210.75	193.49	85.05	92.63	91.81
No. 3	226.67	211.73	195.77	86.37	93.41	92.46
No. 4	224.08	213.56	183.35	81.82	95.31	85.85
No. 5	222.25	210.90	181.09	81.48	94.89	85.87
No. 6	222.82	211.39	188.26	84.49	94.87	89.06
No. 7	222.98	213.64	180.30	80.86	95.81	84.39
No. 8	222.58	194.05	167.49	75.25	87.18	86.31
No. 9	224.56	210.98	187.45	83.47	93.95	88.85
No. 10	224.53	211.10	192.19	85.60	94.02	91.04
No. 11	224.52	211.59	185.98	82.83	94.24	87.90
No. 12	224.59	201.52	184.63	82.21	89.73	91.62
No. 13	224.54	210.49	184.11	82.00	93.74	87.47
No. 14	226.35	210.21	186.17	82.25	92.87	88.56
No. 15	224.65	214.89	198.89	88.53	95.66	92.55
No. 16	224.99	210.33	194.43	86.42	93.48	92.44
No. 17	223.93	209.54	191.73	85.62	93.57	91.50
No. 18	225.69	132.83	117.66	52.13	58.86	88.58
No. 19	225.69	212.24	181.72	80.52	94.04	85.62
No. 20	221.84	204.79	182.12	82.10	92.31	88.93
平均値	224.52 (約2.05%増)	209.93	186.86	83.22	93.50	89.72
平均劣化率				16.78	6.50	10.28
年平均劣化率				2.10	0.81	1.29

※ No. 18は不具合パネルであるため除外。

ここで、3章における発電実績の検証と、本章の太陽光パネル劣化率調査の結果に基づき、個々の要因における年平均の発電量の増減関係について考察する。発電量の増加要因としては、良好な実績日射量、出荷時単体パネル発電量であり、低下要因としては、パネルの劣化率、パネルの汚れである(図-9)。

まず、実績発電量の増減率について、発電開始から2021年度までの実績総発電量と当初計画における総発電量の年平均を比較すると、約14.0%(表-3)の増加となった。

次に、発電量の増加要因の内、良好な実績日射量について、計画日射量に対する実績日射量の比率は、年平均で約8.70%増(表-3)となった。また、出荷時単体パネル発電量について、計画と比べ、約2.05%増(表-5)が分かっている。

次に、発電量の低下要因の内、パネルの汚れについて、太陽光パネル劣化率調査により、年平均で約1.29%(表-5)の低下率となっていることが分かった。同様に、パネル自体の低下率について、年平均で約0.81%(表-5)の低下率となっていることが分かった。

これらの結果より、年平均の実績発電量の増減率に対し、各要因における増減率を足し引きすると、その他の要因による発電量の増加率が、約5.35%存在することが分かった。この増加率は、本調査結果の標準誤差による可能性もあるが、今回分かった要因以外に発電量へ影響する要因が存在している可能性を示している。また、実際には増加要因と低下要因の合計値である可能性も含め、さらなる調査を行う必要がある。想定される増加要因としては、設置箇所の環境状態やパネルの設置方法、気温、パネル更新による電力変換効率の向上などがあり、低下要因としては、電圧上昇抑制やパワコンの変換効率、パネル破損による出力低下などが考えられる。

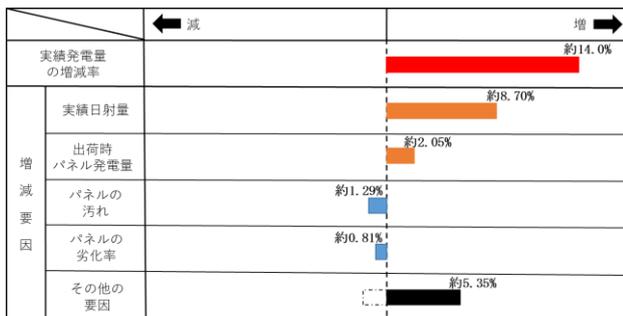


図-9 実績発電量の増減に対する各要因における増減の割合

5. 今後の展望

発電実績の検証から、当初計画で見込んでいた総発電量の確保については、今後の劣化率等の動向が大きく影響することが分かった。さらに、太陽光パネルの劣化率調査をすることで、不透明であった発電量の低下原因が分かった。よって今後は、定期的なメンテナンス及び遠隔監視システムを用いた状況把握を行うことに加え、引き続き発電状況の精査を行っていくことが必要であり、様々なリスクを想定し、早めに検証を行っていくことが重要である。

特に3章において、CASE2にて発電量が当初計画よりも減少すると予測される今年度(2022年度)からは、毎年、発電状況の精査を行う必要がある。また、FIT制度が終了する2033年度以降の発電所の存続の可否を判断するため、終了の5年前である2028年度頃からは、継続または廃止の検討を開始することが望ましい(図-10)。

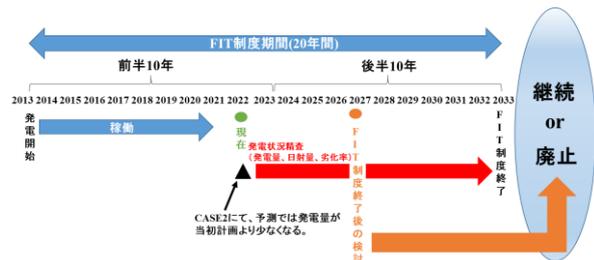


図-10 今後の展望

6. おわりに

今回行った発電実績の検証における今後の発電量予測については、あくまで現時点での実績から、リスクを最大限に見込んだ予測である。今後はこの厳しい検証結果を基に網干浜太陽光発電所運営の参考として役立てることとし、特に発電状況の精査においては、主に、発電電力量、日射量、劣化率などを定期的に把握することが重要である。また、今回実際に太陽光パネル劣化率調査を行い、発電量の劣化には、太陽光パネル自体の劣化に加え、パネル表面の汚れの影響が大きいことが分かった。この結果から、今後の対応策を費用対効果の観点から検討し、定期的なメンテナンスの強化や遠隔監視システムを用いた状況把握など発電状況の監視の重要性を警鐘として他の太陽光発電所に共有したい。

劣化率については、今回の調査にて、各要因における発電量への影響が明らかとなった。今後は、本検証にて、その他の要因となった約 5.35%の発電量の増減要因の調査を行う必要がある。

最後に、本論文を通じて、網干浜太陽光発電事業における発電量の中間的レビューを行ったが、本来の目的である再生可能エネルギーの普及拡大への貢献として、地球温暖化やカーボンニュートラルへの取組みに関して、国の具体的な施策を通じて、その一翼となれるように今後も事業に取り組んでいきたい。

謝辞：本論文作成にあたり、日頃より網干浜太陽光発電所の安全かつ安定した運営に携わっていただいている各関係機関、設備等保守管理業者様に対しまして、改めて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 兵庫県企業庁：兵庫県企業庁メガソーラープロジェクト
- 2) 新エネルギー産業技術総合開発機構：日射量に関するデータベース「MONSOLA-11」