

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト 低減技術開発／ 共通基盤技術の開発（太陽光発電システム の信頼性評価技術等）／ 太陽光発電システムの高精度発電量評価 技術の開発

発表者名 （国研）産業技術総合研究所 増田 淳

団体名 （国研）産業技術総合研究所、（学）東京理科大学、
（一財）日本気象協会、（国）佐賀大学

日付 2019年10月18日

事業概要

1. 期間 開始:平成27年5月 終了(予定):令和2年2月

2. 最終目標

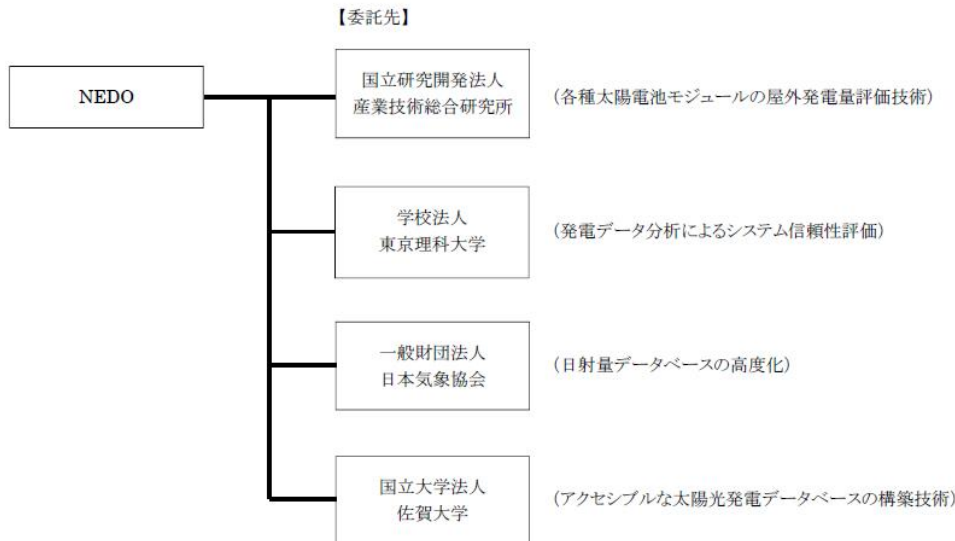
- ・実際に運用されている太陽光発電システムから劣化要因を抽出し、経年劣化を反映させた高精度な発電量推定技術を開発する。(産業技術総合研究所)
- ・北杜サイトの発電特性分析から得られた劣化率等の知見をツールにおいて利用可能とする。信頼性・劣化に関する知見を発電電力量の算出方法に取り込むことにより、北杜メガソーラーの設置後10年間の発電電力量の推定精度として±10%以内(平均)を実現する。(東京理科大学)
- ・日射気候区毎の日射量観測システムを利用して、日射スペクトルデータベースの充実を図るとともに、従来の日射量データベースの作成に用いた各種推定モデルの検証等を行う。(日本気象協会)
- ・様々な発電データをとりまとめ、アクセシブルな発電データベースを構築する技術を開発する。(佐賀大学)

3. 成果・進捗概要

- ・劣化特性を考慮した発電量推定技術を構築した。シリコンヘテロ接合太陽電池アレイにおいて、実発電量と推定発電量の差異は1%未満となった。
- ・多点基準型線形補間法を開発し、モジュールの電流－電圧特性計測データから、最大出力に加えて電圧や直列抵抗などの各種パラメータの劣化率を分析した。
- ・ひまわり8号の16バンドデータを活用したAIによる日射量推定モデルを開発した。従来手法と比較して推定精度が大幅に向上することを確認した。
- ・測定時間間隔に対する発電量の差異を検証し、高速測定の実証性を実証した。

研究開発の概要、目標、体制

- ・実際に運用されている太陽光発電システムから劣化要因を抽出し、**経年劣化を反映させた高精度な発電量推定技術を開発**する。(産業技術総合研究所)
- ・**北杜メガソーラーでの発電データの取得、分析、現地調査による不具合確認により得られた知見をツールで利用可能とする。**(東京理科大学)
- ・日射気候区毎の日射量観測システムを利用して、**日射スペクトルデータベースの充実**を図る。従来の日射量データベースの作成に用いた各種推定モデルの検証等を行う。(日本気象協会)
- ・様々な発電データをとりとまとめ、**アクセシブルな発電データベースを構築する技術を開発**する。(佐賀大学、平成30年度で終了)



気象データを用いて屋外での太陽光発電システムの**発電量**を長期にわたり正確に推定可能な技術を開発する。

成果事例

産業技術総合研究所(各種太陽電池の経年劣化調査と発電量推定技術の開発)

屋外での発電量測定データ蓄積と年1～2回の標準試験条件での室内測定

実施場所: 産業技術総合研究所九州センター(佐賀県鳥栖市)



	Kinds	Total Pmax [kW]	Array Configuration	Installed Mon/Year		Kinds	Total Pmax [kW]	Array Configuration	Installed Mon/Year
E-1A	p-mono-c-Si	5.04	7S × 1P × 4A	09/2010	M-3B	a-Si:H	1.35	3S × 6P × 1A	07/2011
E-1B	p-mono-c-Si	4.9	5S × 1P × 4A	12/2012	M-3C	SHJ n-mono-c-Si	1.55	5S × 1P × 1A	06/2016
E-2A	p-multi-c-Si	5.0	6S × 1P × 4A	09/2010	M-3D	n-mono-c-Si	1.89	7S × 1P × 1A	06/2016
E-2B	p-multi-c-Si	5.0	5S × 1P × 4A	12/2012	W-1A	SHJ n-mono-c-Si	1.25	5S × 1P × 1A	06/2016
E-3A	CdTe	1.35	4S × 3P × 1A	11/2016	W-1B	IBC n-mono-c-Si	1.05	5S × 1P × 1A	06/2016
M-1A	a-Si:H/ μ c-Si:H	5.12	5S × 2P × 4A	09/2010	W-1C	PERC p-mono-c-Si	1.48	5S × 1P × 1A	06/2016
M-1B	a-Si:H/ μ c-Si:H	1.76	4S × 4P × 1A	07/2011	W-1D	PERC p-mono-c-Si	1.45	5S × 1P × 1A	06/2016
M-1C	CIGS	1.65	3S × 2P × 1A	08/2014	W-1E	OPV	0.72	4S × 4P × 2A	12/2014
M-1D	SHJ n-mono-c-Si	1.3	5S × 1P × 1A	01/2019	W-2A	SHJ n-mono-c-Si	4.8	5S × 1P × 4A	12/2012
M-2A	CIGS	5.0	4S × 2P × 5A	09/2010	W-2B	IBC n-mono-c-Si	4.68	6S × 1P × 4A	12/2012
M-2B	CIGS	4.95	2S × 5P × 3A	03/2014	W-3A	CdTe	5.2	5S × 4P × 4A	12/2012
M-3A	a-Si:H	5.0	2S × 5P × 3A	09/2010	W-3B	a-Si:H/a-SiGe:H	2.5	3S × 6P × 2A	08/2014

モジュールの直流回路は非接地、各アレイは高周波絶縁方式採用のPCSに接続

産業技術総合研究所(各種太陽電池の経年劣化調査と発電量推定技術の開発)

屋外曝露モジュールの室内測定結果から得られた大まかな知見

- **従来型のp型結晶シリコン太陽電池**(2012年設置)の性能は、初期には光劣化も見られるものの、**曝露2年程度を経ると概ね安定**傾向にある。
- **PERC太陽電池**(2016年設置)の性能は**初期の劣化こそ大きいものの、**(一部ではいわゆるregenerationも観測された後に)**曝露2年程度を経ると概ね安定**傾向にある。
- **2012年に設置したシリコンヘテロ接合太陽電池、バックコンタクト太陽電池**の性能低下は、**曝露5年前後で概ね飽和**傾向にある。
- **2016年に設置したシリコンヘテロ接合太陽電池、バックコンタクト太陽電池**は、**曝露2年程度を経て若干の性能低下が続くものもあるが、**前者の性能低下の絶対値や後者でのPIDの発現は、2012年設置のモジュールよりも緩和される傾向にあり、**セル・モジュールの改良が窺える。**
- 薄膜系では、**曝露5年程度を経ると薄膜シリコン系の出力は概ね安定**するものの、**化合物系では未だに出力が多少変化**している。

成果事例

産業技術総合研究所(各種太陽電池の経年劣化調査と発電量推定技術の開発)

シリコンヘテロ接合単結晶シリコン太陽電池(4アレイ)での結果

2014年1月の屋内測定の実出力 $P_{MAX(STC)}$ を基準に、2014年1月～2015年12月の屋内測定から最小二乗近似で算出した劣化率を用いて推定発電量を算出し、それらの値と実発電量を比較した。

$$P_{MAX} = P_{MAX(STC)} \times \frac{G}{G_{STC}} \times \{1 + \gamma(T - T_{STC})\} \times f(t)$$

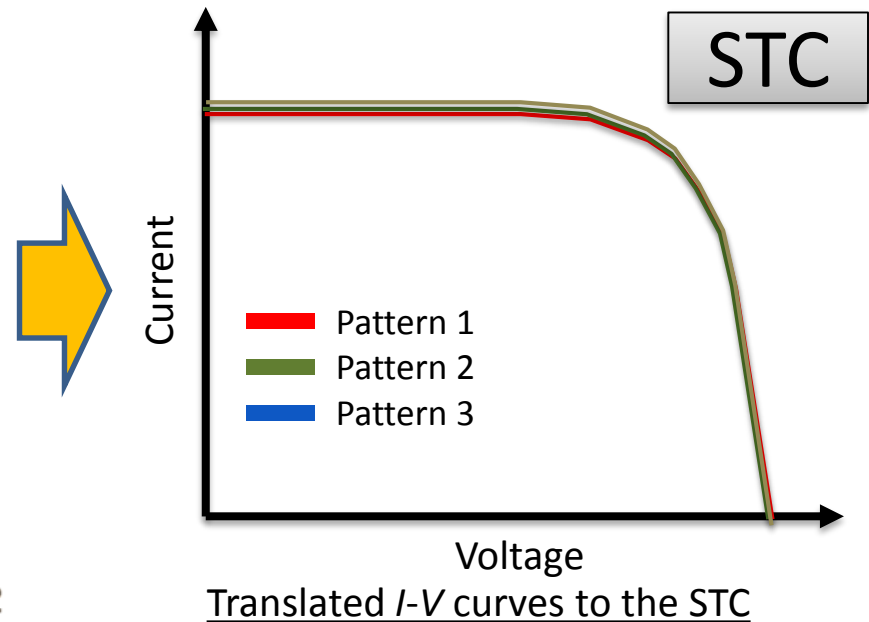
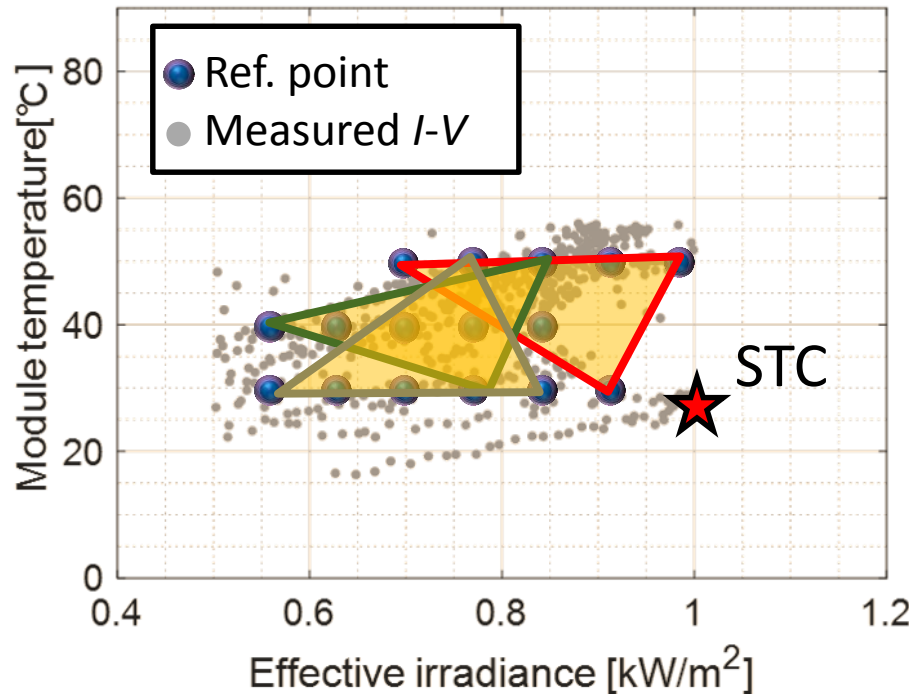
$P_{MAX(STC)}$: 2014年1月の屋内測定の実出力、
 G : 日射量、 T : モジュール温度、 $f(t)$: 劣化関数

屋外曝露期間	出力 P_{MAX} (W)	温度係数 γ (%/°C)	推定発電量 (kWh)	屋外実発電量 (kWh)	推定発電量と屋外実発電量の差(%)
2014年 1月～12月	4,648.2 (2014年1月測定)	-0.437(実発電量から算出)	4,938.8	4,983.9	-0.90
		(-0.3) (メーカー提示のカタログの概算)	5,018.3		0.69
2015年 1月～12月	4,614.3 (平均劣化率 0.73%/year)	同上	6,149.6	6,167.9	-0.30
			6,271.7		1.68
2016年 1月～12月	4,580.6 (平均劣化率 0.73%/year)	同上	5,776.0	5,791.6	-0.27
			5,900.3		1.88
2017年 1月～12月	4,547.1 (平均劣化率 0.73%/year)	同上	6,131.6	6,141.1	-0.16
			6,234.7		1.52
計(4年間)		同上	22,996.0	23,084.5	-0.38
			23,425.0		1.48

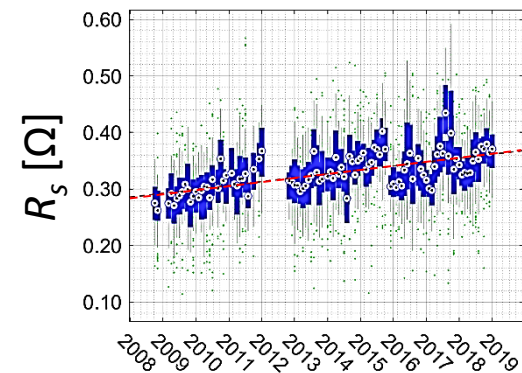
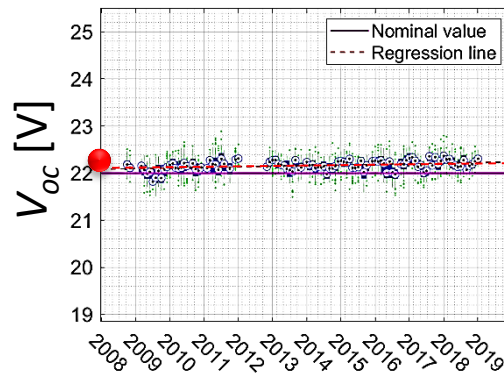
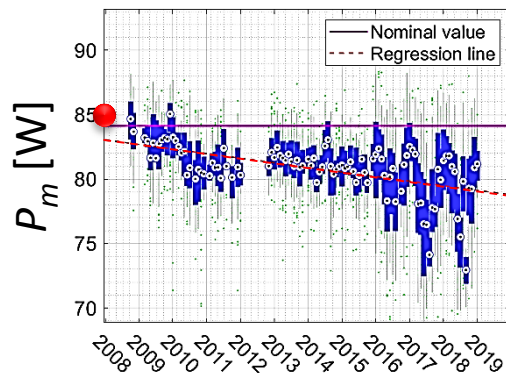
註: 実発電量欠測日は、推定発電量の算出から除外

成果事例

東京理科大学(発電データ分析によるシステム信頼性および劣化率評価)

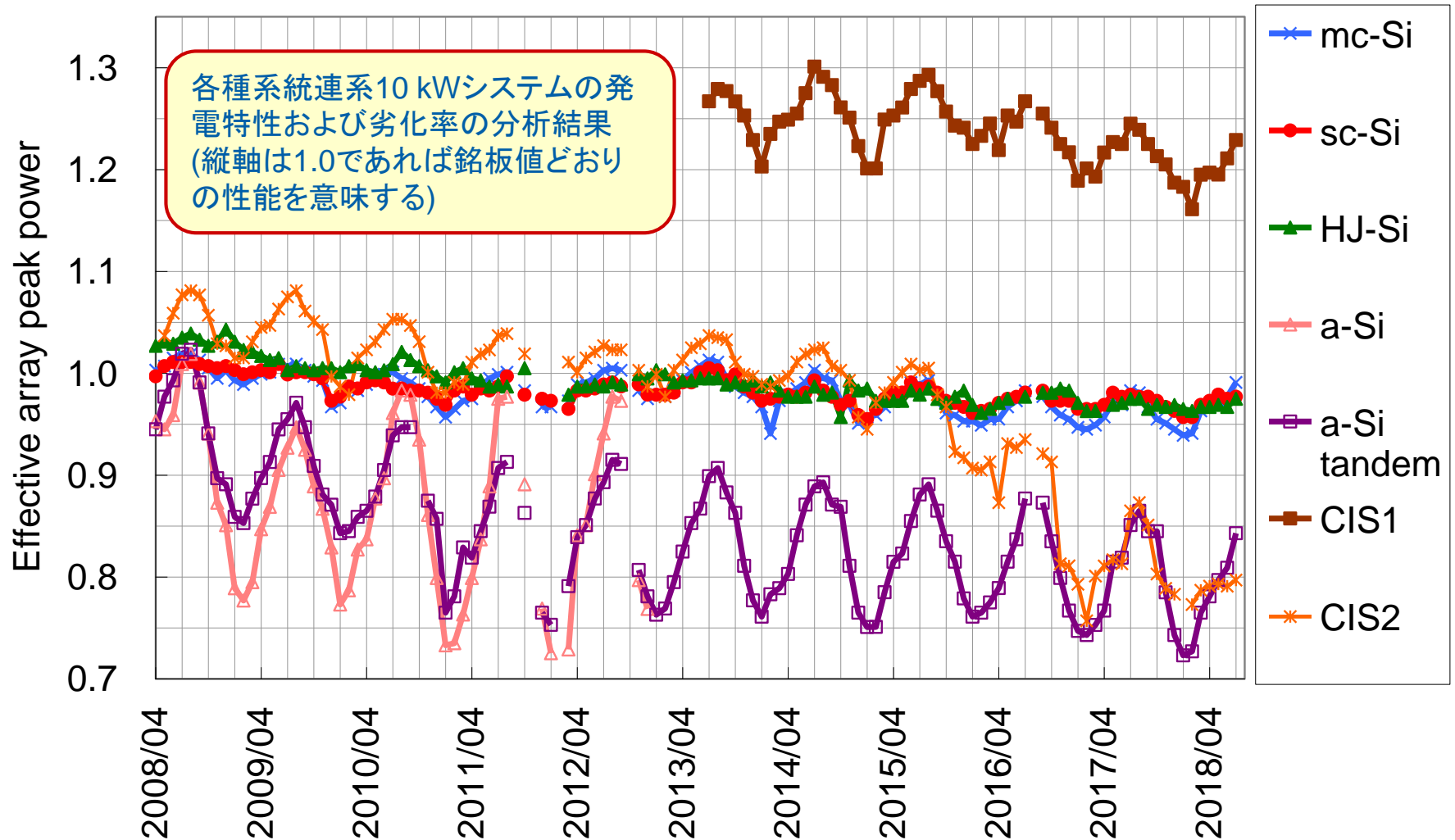


多点基準型線形補間法を開発し、モジュールのI-V特性計測データから、最大出力に加えて電圧や直列抵抗などの各種パラメータの劣化率を分析



成果事例

東京理科大学(発電データ分析によるシステム信頼性および劣化率評価)



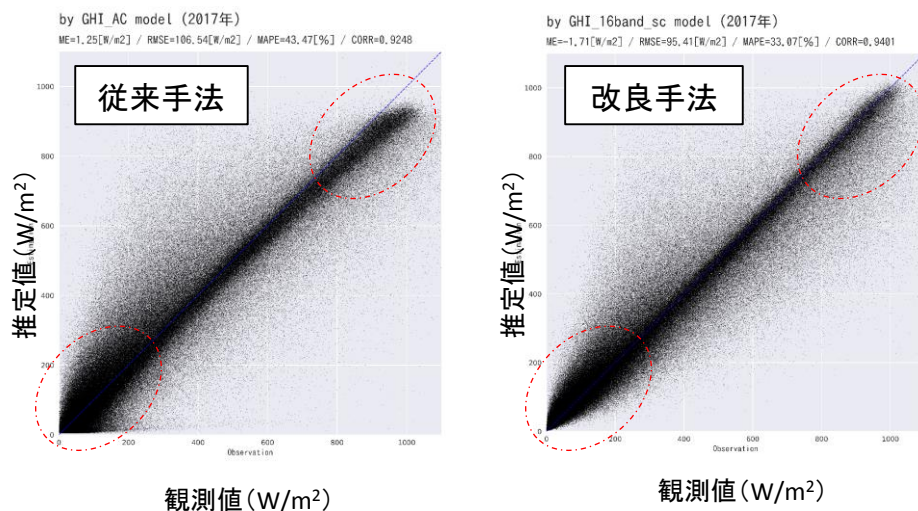
発電性能の分析結果:

多結晶Si、単結晶Si、ヘテロ接合型Si等の結晶シリコン系では、システム設置から4年程度までは比較的劣化率が大きく、その後、出力が安定している

CIS2の出力が2015年末頃から低下している原因は24枚中2枚の不具合である

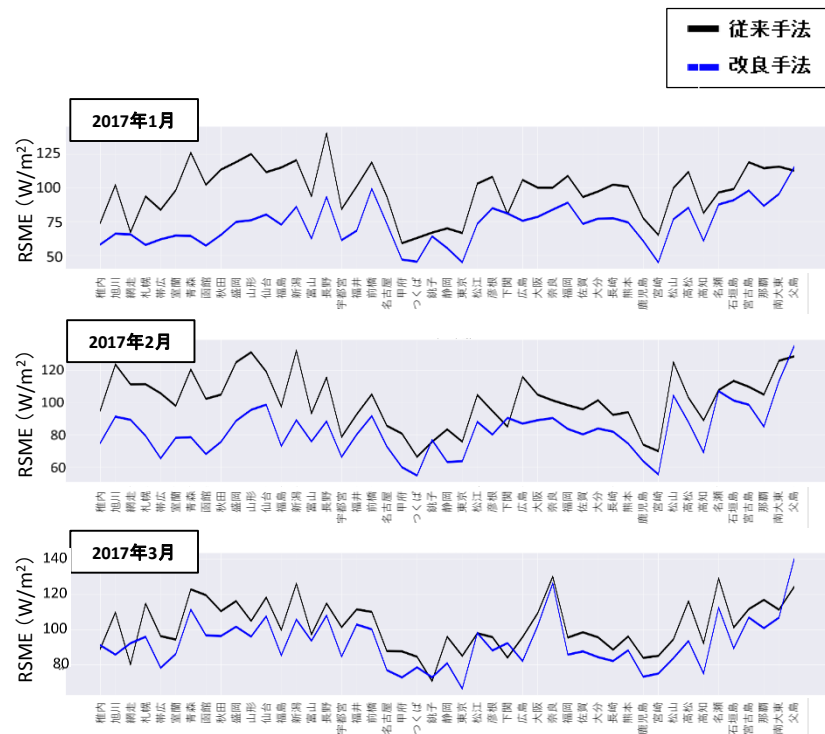
日本気象協会（日射量データベースの高密度化）

- 観測値と推定値の散布図



高日射時、低日射時のバイアスや全体的なバラつきが改善

- 地点別の推定精度の比較



冬季は北日本(積雪地域)を中心に推定精度が大きく改善

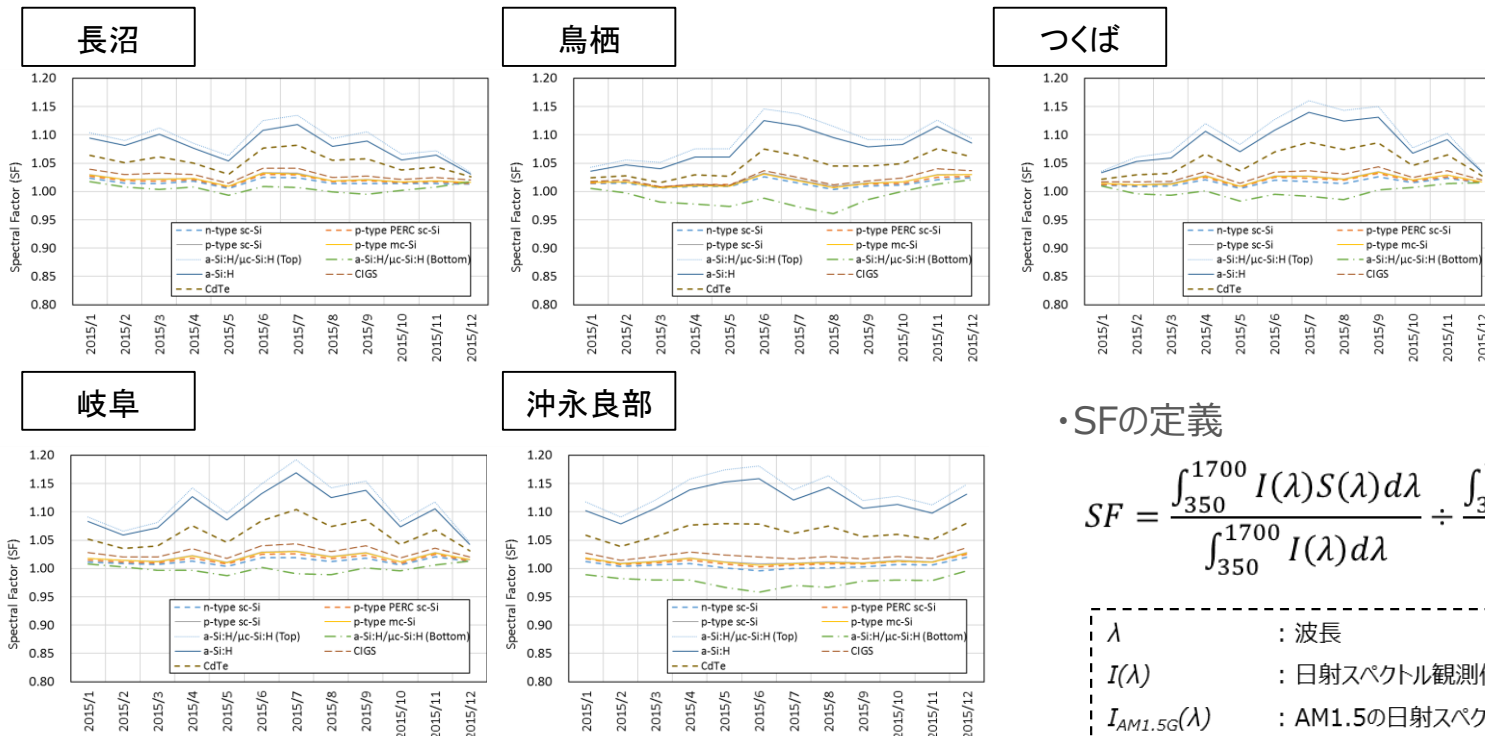
成果事例

日本気象協会(日射スペクトルデータベースの更新と全国整備)

- 2018年6月に日射スペクトルデータベースVer3を公開した。
(http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100960.html)
- 日射スペクトルデータベースVer3を用いて、スペクトルミスマッチ(スペクトルファクター)の特徴を解析した。

地点別のスペクトルファクター(SF)

*水平面、2015年、12時の値を月平均



SFの定義

$$SF = \frac{\int_{350}^{1700} I(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{350}^{1700} I(\lambda) d\lambda} \div \frac{\int_{350}^{1700} I_{AM1.5G}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{350}^{1700} I_{AM1.5G}(\lambda) d\lambda}$$

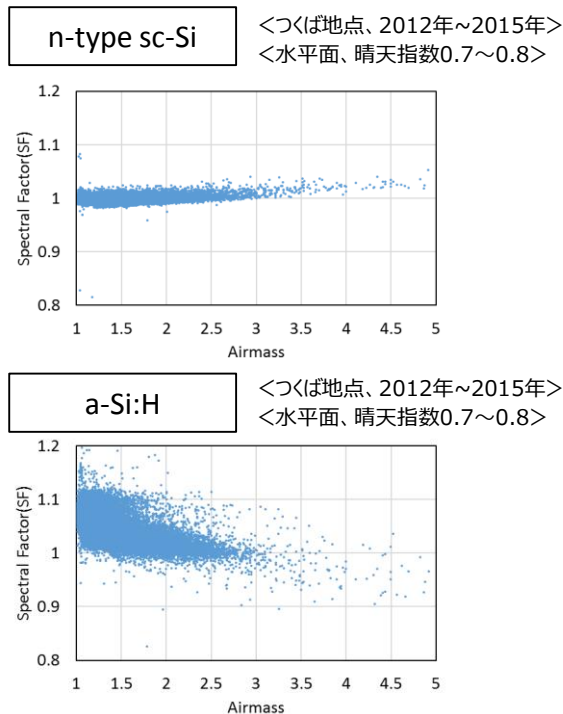
λ	: 波長
$I(\lambda)$: 日射スペクトル観測値
$I_{AM1.5G}(\lambda)$: AM1.5の日射スペクトル (SMART2による計算値)
$S(\lambda)$: 太陽電池の相対分光感度

地点や季節によって、SFの値が大きく異なる。
⇒正確な発電量評価のために、SFを適切に考慮する必要がある。

日本気象協会(日射スペクトルデータベースの更新と全国整備)

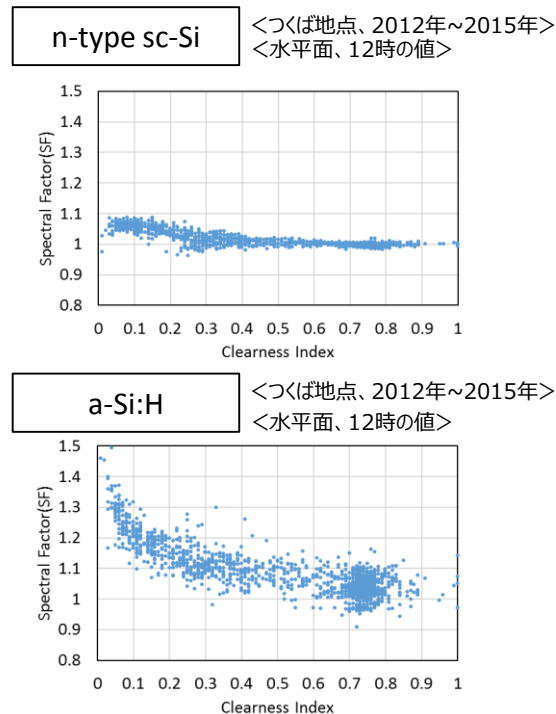
- SFとエアマス、SFと晴天指数(天気)との関係を調べるとともに、スペクトルミスマッチの影響度合いを定量的に評価した。

エアマスとSFの関係



- 結晶シリコン: 晴天時エアマスが大きいほどSFが大きい傾向。
- アモルファスシリコン: 晴天時エアマスが大きいほどSFが小さい傾向。

晴天指数とSFの関係



- 晴天指数が大きい(天気がよい)ほど、SFが小さい傾向。
- アモルファスシリコンの発電量の方が天気によるスペクトル変化の影響を大きく受ける。

スペクトルミスマッチの発電量評価への影響

「標準スペクトルで計算した発電量」に対する
「実際のスペクトルで計算した発電量」

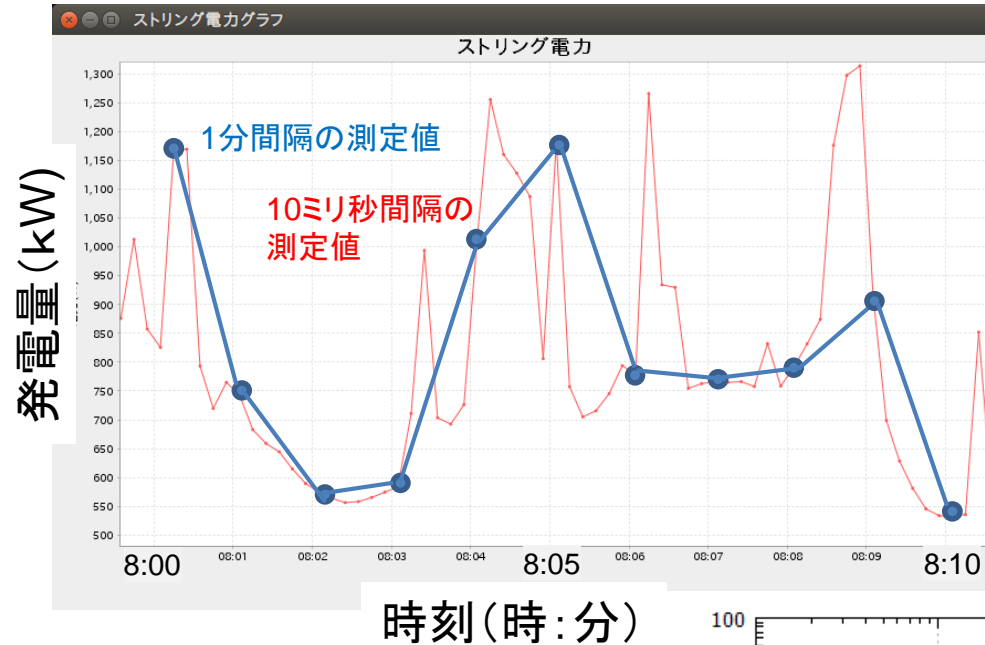
<つくば地点、2015年、全時間帯>

n-type sc-Si	1.004	0.4 %
p-type PERC sc-Si	1.007	0.7 %
p-type sc-Si	1.009	0.9 %
p-type mc-Si	1.008	0.8 %
a-Si:H/ μ c-Si:H (Top)	1.081	8.1 %
a-Si:H/ μ c-Si:H (Bottom)	0.986	1.4 %
a-Si:H	1.070	7.0 %
CIGS	1.014	1.4 %
CdTe	1.037	3.7 %

- 年間で見ると、結晶シリコンの発電量評価にスペクトルミスマッチが与える影響は1%以下。
- 一方、アモルファスシリコンへの影響は7%程度。
- 年間データと比較すると、スペクトルミスマッチの影響の大きい月がある。

成果事例

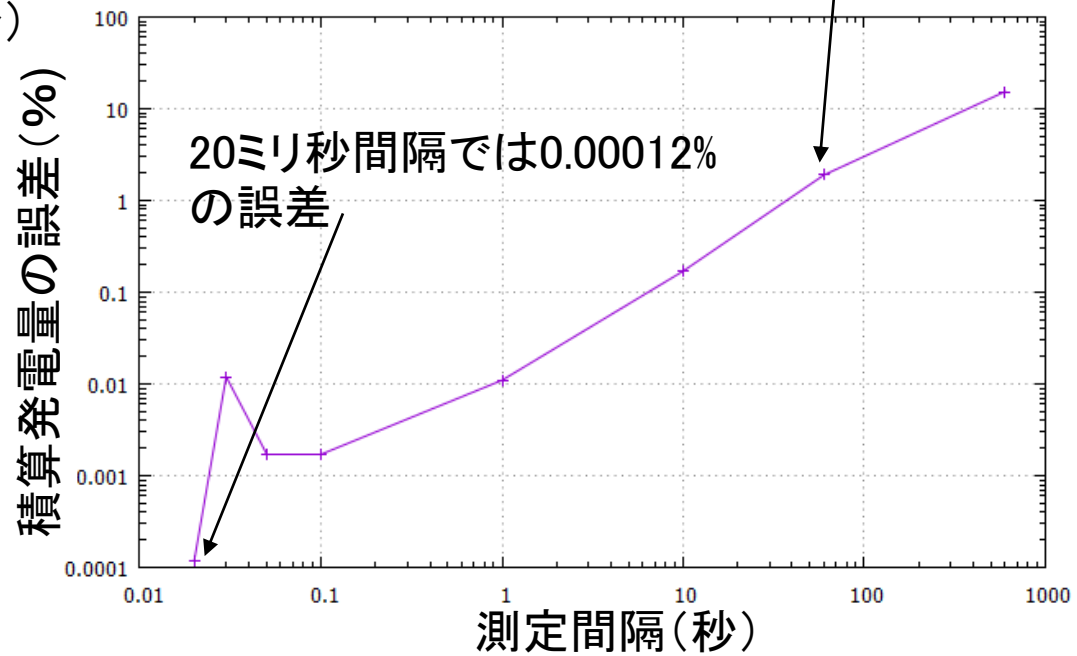
佐賀大学(発電量、日射量データの補完アルゴリズムソフトウェアの開発)



1分と10ミリ秒の測定時間間隔
に対する発電量の測定値

高速測定でないと発電量の
時間変化に追従できず、
積算発電量に誤差が生じる

1分間隔では2%の誤差



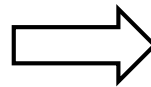
高速測定システムの測定結
果を元に、時間間隔に対する
誤差を解析したところ、
右のような結果を得た。

発電量推定技術の実用化

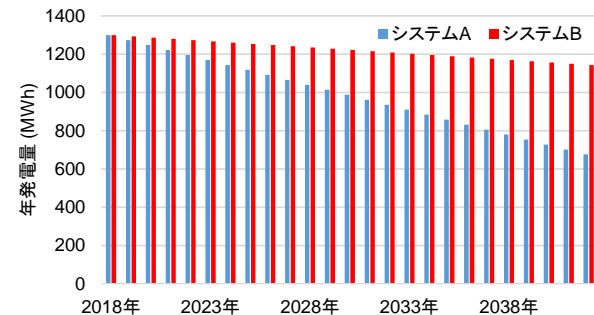
各種太陽電池モジュールの屋外曝露による劣化を考慮したアレイ単位での発電量推定技術は、太陽光発電所建設に際し、**気候条件に適したモジュールの選択を可能**として**発電コスト7円/kWhの実現に貢献**するとともに、**精緻な生涯発電量を算出**することで、**太陽光発電所のバンカビリティ**(投資回収性・融資可能性)**を高精度に判断**することを可能にする。これによって、バンカブルな事業は積極的に展開され、太陽光発電市場が活性化されることが期待される。



システムA (1 MW) システムB (1 MW)
標準試験条件による出力定格評価



生涯発電量推定
技術の高精度化



経年劣化を考慮した
25年間の生涯発電量評価
システムA (24.7 GWh)
システムB (30.5 GWh)

- ・屋外でのモジュール劣化特性を標準試験条件での測定により明確化するとともに、劣化特性を考慮した発電量推定技術を構築した。シリコンヘテロ接合太陽電池アレイにおいて、実発電量から算出した温度係数を用いたところ、実発電量と推定発電量の差異は1%未満となり、正確な発電量推定が可能であることが示された。
- ・多点基準型線形補間法を開発し、モジュールの電流－電圧特性計測データから、最大出力に加えて電圧や直列抵抗などの各種パラメータの劣化率を分析した。
- ・ひまわり8号の16バンドデータを活用したAIによる日射量推定モデルを開発した。従来手法と比較して推定精度が大幅に向上することを確認した。
- ・日射スペクトルデータベースVer3を用いて、スペクトルミスマッチ(スペクトルファクター: SF)の特徴を解析した。SFとエアマス、SFと晴天指数(天気)との関係を調べるとともに、スペクトルミスマッチの影響度合いを定量的に評価した。
- ・測定時間間隔に対する発電量の差異を検証し、高速測定の優位性を実証した。