

太陽光発電出力把握技術の開発

電力中央研究所 材料科学研究所

川崎 憲広

日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第5回セミナー
「太陽光発電システムの発電出力把握・予測技術」

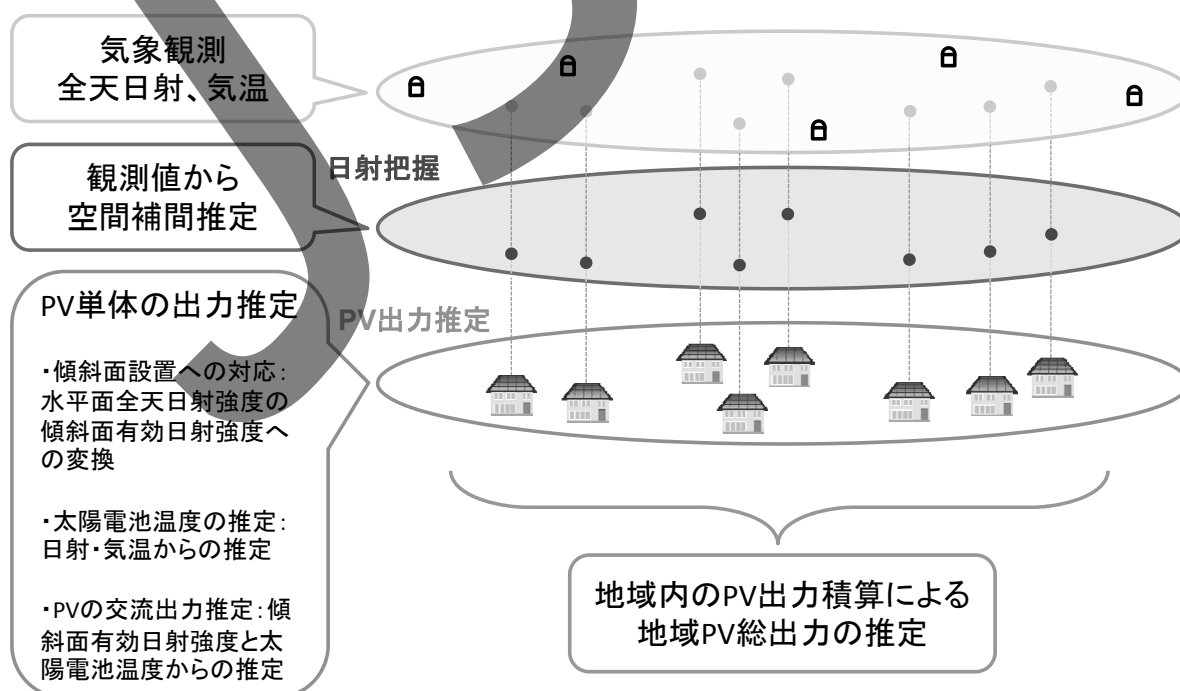
2013年8月5日

© CRIEPI 2013

1

電力中央研究所

太陽光発電出力把握技術のスキーム



© CRIEPI 2013

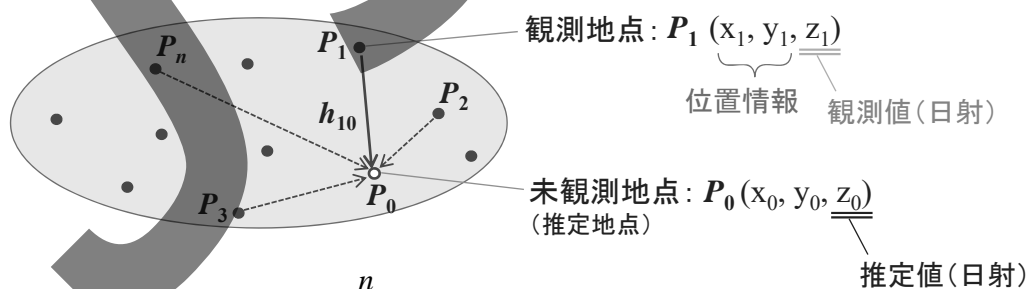
2

電力中央研究所

太陽光発電出力把握技術の 要素モデルの開発と検証

日射把握(空間補間法)

未観測地点 P_0 の日射強度 z_0 を, その周囲の全観測地点 $P_i (i=1\sim n)$ の日射強度観測値 z_i から推定する



未観測地点の推定値: $z_0 = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot z_i$
(クリギング法)

w_i : 重み係数(地点間距離の関数)
 z_i : 観測値(日射)

前提条件: 未観測地点でのデータが観測地点のデータとある確率的相互関係(例えば, 推定地点に近い観測地点の日射強度ほど, 推定地点の日射強度値に近いなど)を持っていること⁽¹⁾

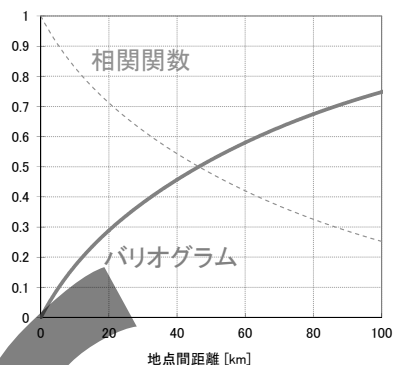
(1) 間瀬:「地球統計学とクリギング法」, オーム社(2010)

重み係数の決定方法

①地点データ間の相互関係を数学的に表現

地点間の関連の強さを、その離隔距離 h の関数で表したものを **バリオグラム $\gamma(h)$** という

$$\underbrace{\gamma(h)}_{\text{バリオグラム}} = 1 - \underbrace{\rho(h)}_{\text{相関関数}}$$



②それぞれの観測地点 P_i の未観測地点 P_0 の日射強度への影響をバリオグラムを元に割り当て

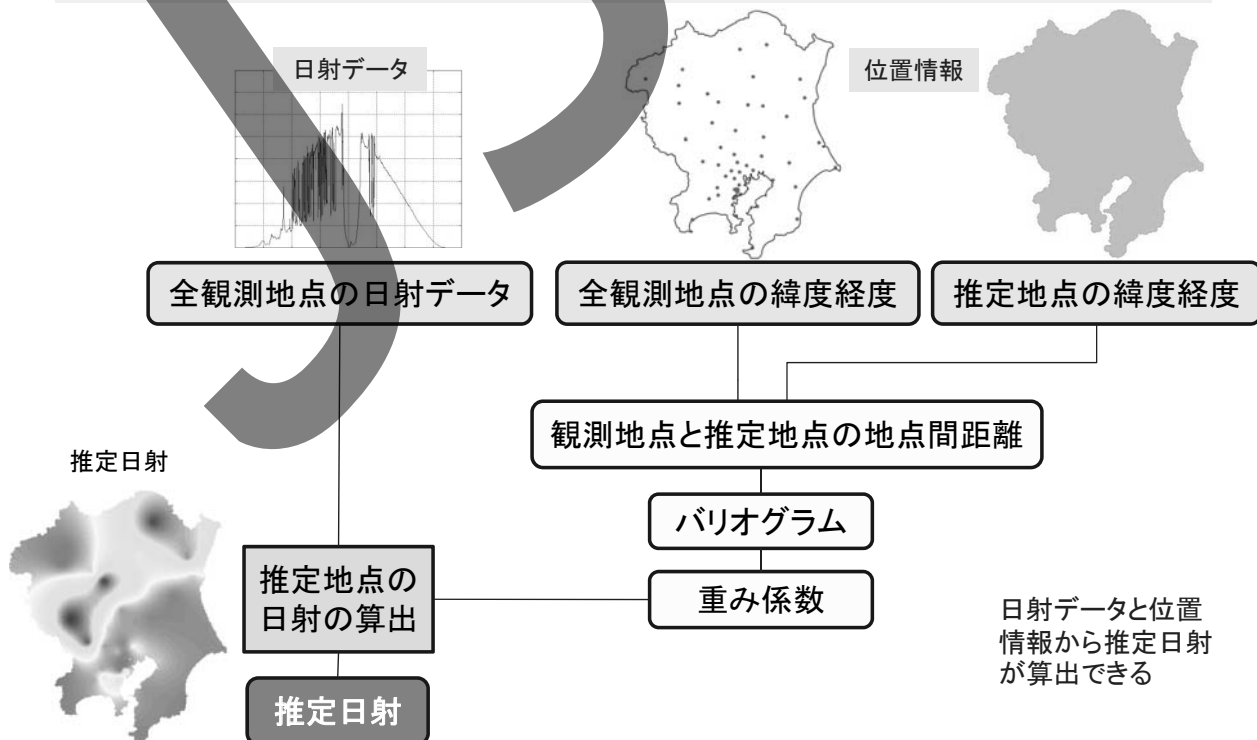
$$\underbrace{\begin{pmatrix} \gamma(h_{11}) & \cdots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(h_{n1}) & \cdots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}}_A \underbrace{\begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{pmatrix}}_W = \underbrace{\begin{pmatrix} \gamma(h_{10}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{n0}) \\ 0 \end{pmatrix}}_B \quad \leftarrow \sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ とするため}$$

推定誤差の分散を最小にするような重みを求める⁽²⁾

$$A \cdot W = B \longrightarrow W = A^{-1} \cdot B$$

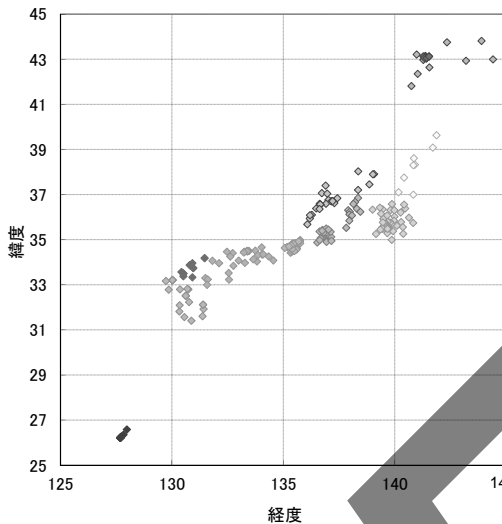
(2) 高阪:「クリギングとその応用」、日大文理学部自然科学研究所研究紀要、No.34、pp.27-35(1999)

空間補間法による日射把握の流れ



バリオグラムの分析

- ◆ エリア内の観測データから2地点間の相関特性を分析する(全組合せ)
- ◆ 相関特性をモデル化し、バリオグラムを決定する
- ◆ 分析エリアは、日射気候区⁽³⁾を参照して日本全国の気候および地形を考慮して選定した

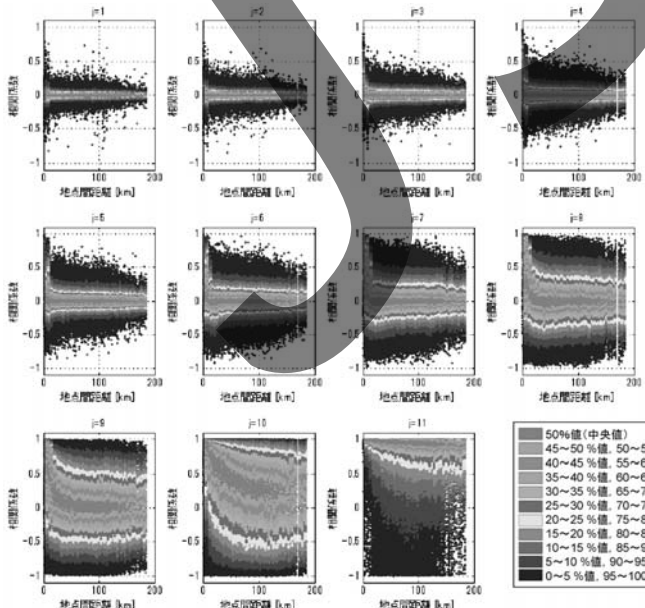


エリア番号	分析エリア	PV300観測地点数	2地点の組合せ数
1	北海道:全体	10	45
2	北海道:平野	10	45
3	東北:太平洋側	8	28
4	東北:北陸:日本海側	25	300
5	東京:平野	46	1035
6	中部:平野	26	325
7	中部:内陸山地	11	55
8	関西:平野	29	406
9	中国・四国・九州:瀬戸内沿岸	31	465
10	九州:準日本海型	11	55
11	九州:太平洋型	19	171
12	沖縄:西南諸島型	8	28

(3) 吉田, 菊地原: 日射量の全国マップーその10 日射気候区分図, 太陽エネルギー, Vol.15, No. 2, p.p.15-22, 1989

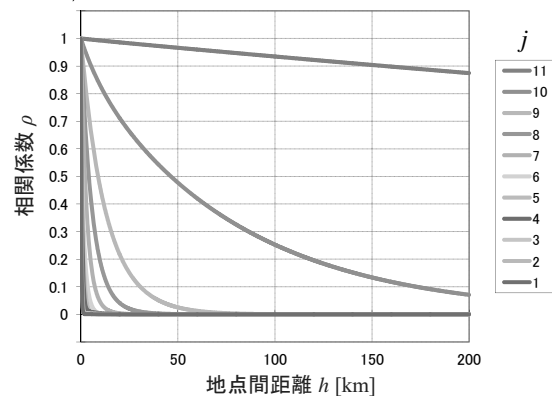
バリオグラムの分析(相関特性)

(例) 地点間の日射の相関特性(東京:平野)



j	変動周期範囲の最小値 [sec]	変動周期範囲
1	20	20秒 ~ 40秒
2	40	40秒 ~ 1分20秒
3	80	1分20秒 ~ 2分40秒
4	160	2分40秒 ~ 5分20秒
5	320	5分20秒 ~ 10分40秒
6	640	10分40秒 ~ 21分20秒
7	1280	21分20秒 ~ 42分40秒
8	2560	42分40秒 ~ 1時間25分20秒
9	5120	1時間25分20秒 ~ 2時間50分40秒
10	10240	2時間50分40秒 ~ 5時間41分20秒
11	20480	5時間41分20秒 以上

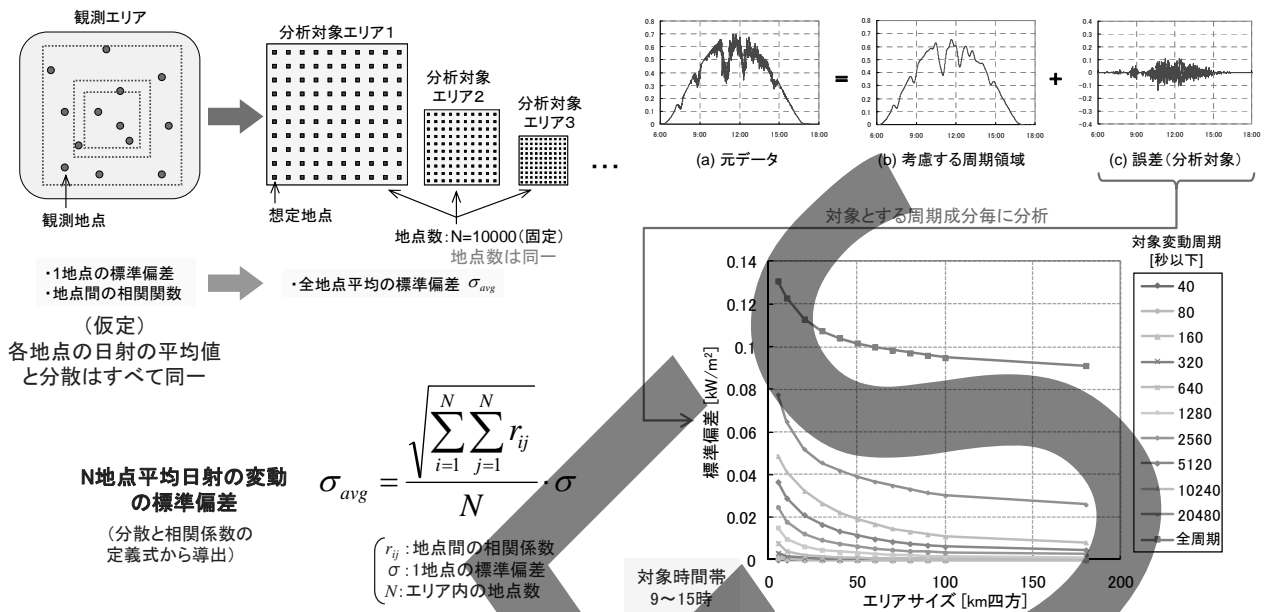
モデル化 $\rho(h) = A \cdot e^{-B \cdot h} + e^{-C \cdot h} - A \cdot e^{-C \cdot h}$



期間: 2010/11/1 ~ 2011/10/31, 対象時間帯: 9 ~ 15時

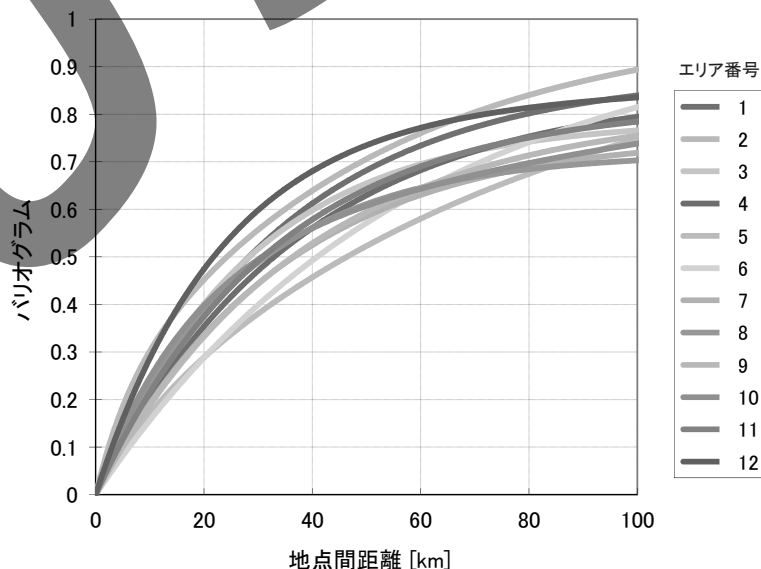
空間補間で考慮する周期の検討

- ◆ 対象とするエリアの大きさの日射変動特性を分析する
- ◆ 提案手法により、地点数を固定、エリアサイズを変化させて分析する



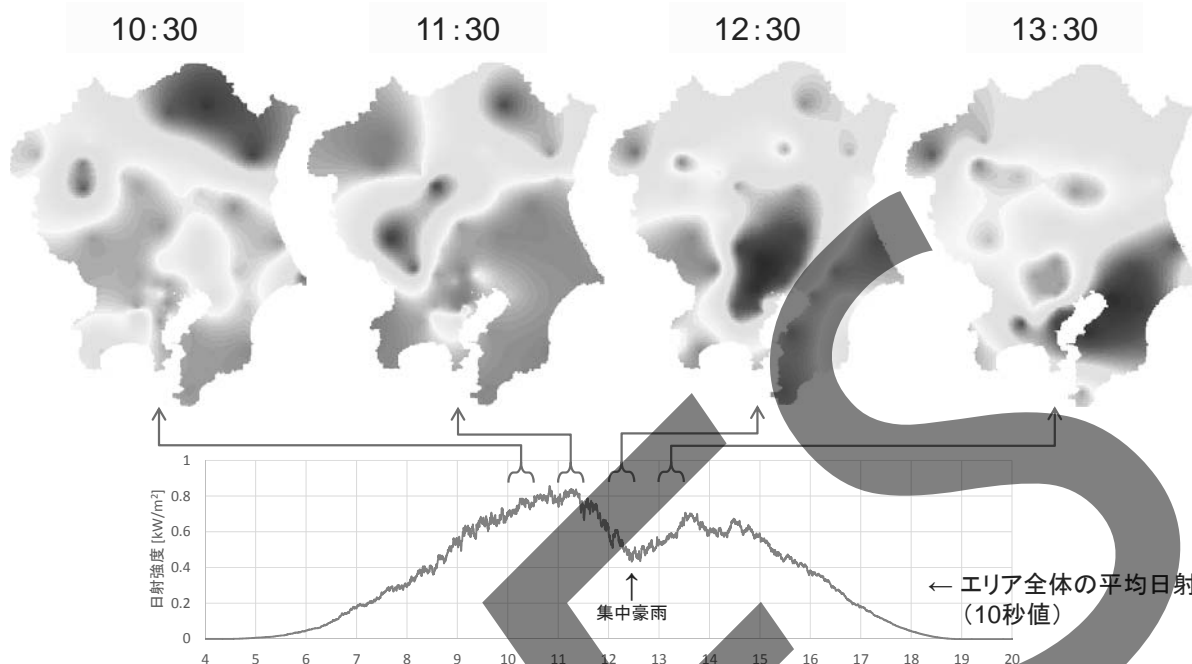
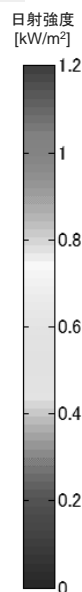
各エリアのバリオグラム

- ◆ 誤差を0.02kW/m²以下(基準日射の2%)にする場合、カットオフ周期は10240秒(約3時間)
- ◆ 最長周期は、距離によらず相関が強い
- ◆ 変動周期範囲 $j=10$ のバリオグラム



日射把握の計算例

2012年5月18日



© CRIEPI 2013

11

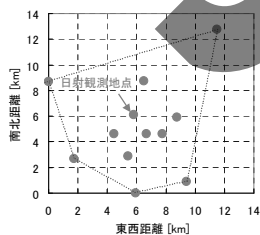
電力中央研究所

精度検証(交差検証)

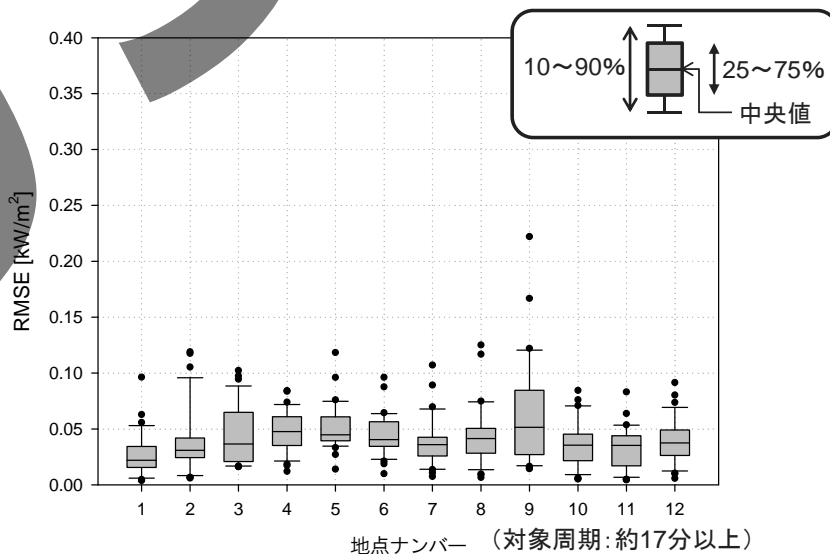
それぞれの測定地点に対して、それ以外の地点からの空間補間による推定結果と実測結果を比較(交差検証)

山梨県北杜市

分析対象:
冬季38日間
9:00~15:00



※ NTTファシリティーズとの共同研究



各地点のRMSEの中央値は、基準照度(1kW/m²)に対して5%以下

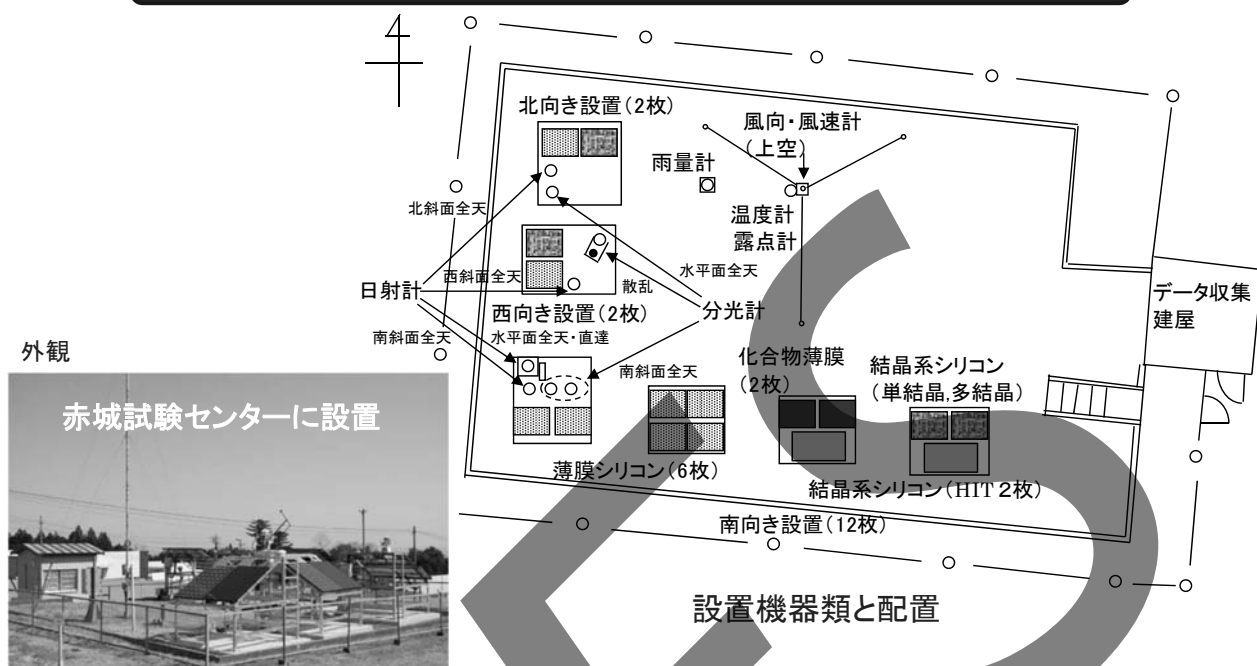
© CRIEPI 2013

12

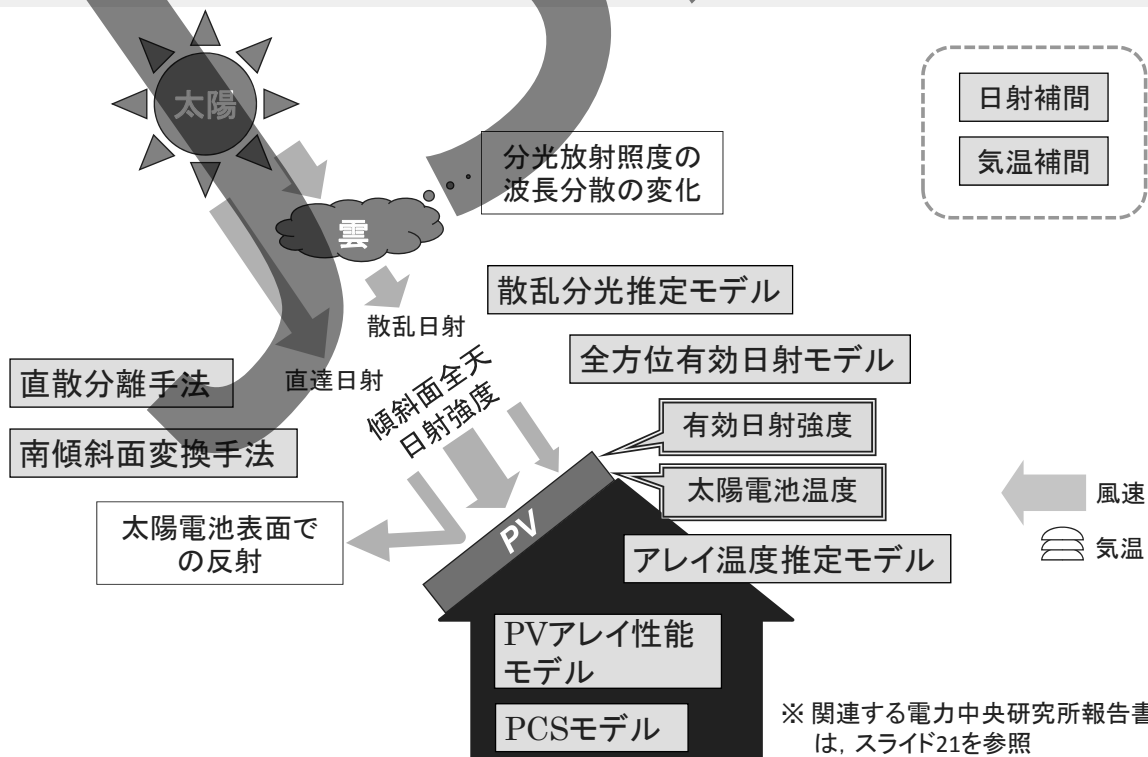
電力中央研究所

PV出力推定

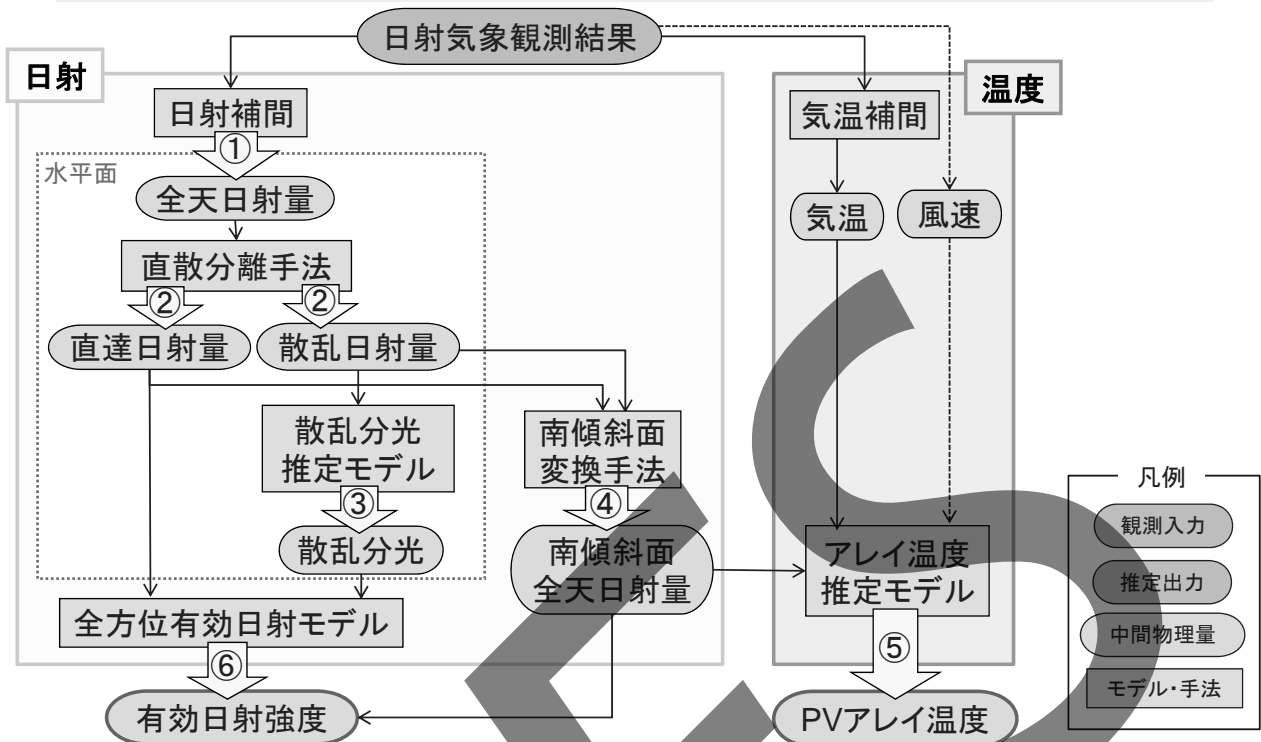
屋外実測サイトのデータを用いて、出力詳細推定モデルの開発と検証



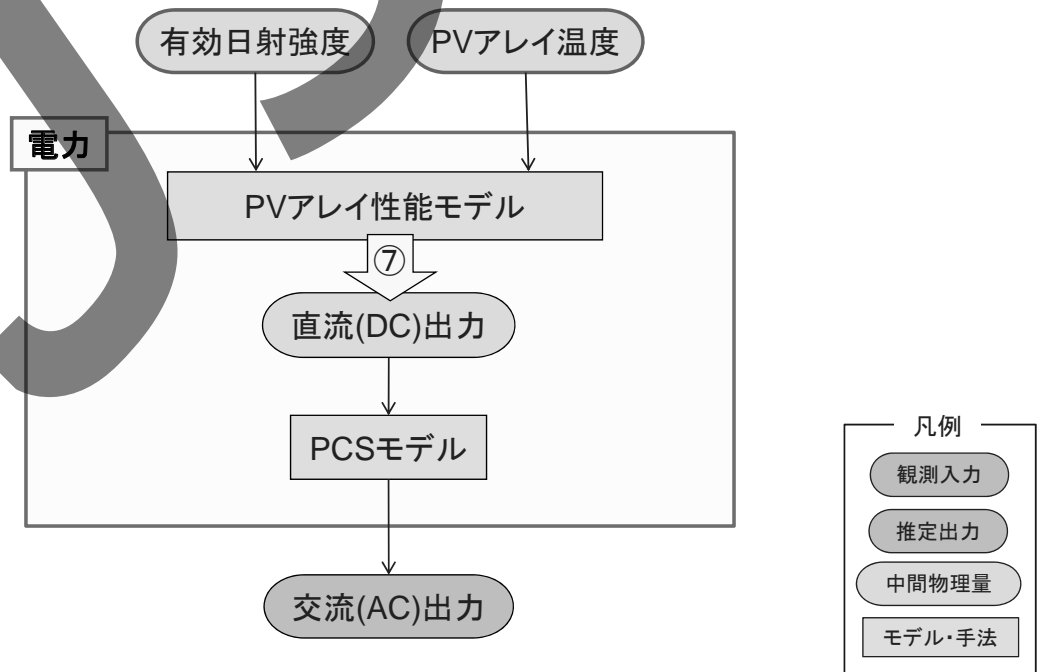
PV出力推定のための要素モデル



PV出力推定のための要素モデルの構成1



PV出力推定のための要素モデルの構成2



PV出力推定のための要素モデルの 検証評価結果

モデル・手法		誤差検証結果		検証方法等の注釈
要素 ¹	参照技術	平均平方誤差(上段) 百分率の基準(下段)		
①	日射補間	自主開発 (クリギングに基づく)	5%以下(中央値) 基準照度	交差検証の結果(範囲約10km四方に12地点) ² 冬季38日間の9:00~15:00の時刻のみを対象
②	日射直散分離	比較検証をもとに既 存手法から選定	4~10% 基準照度	1年間の検証結果; Reindlの手法が若干優れていた
③	散乱分光推定	自主開発	最頻値10% 観測値	1年半の検証結果; 平均平方誤差は3~30%程度に広く分 布していた
④	水平面全天日射の 傾斜面変換	比較検証をもとに既 存手法から選定	1~4% 基準照度	1年間の検証結果; 南斜面のみを対象, 検証結果は Hay,Reindlの手法の値, 等方モデルはやや劣っていた 12月の検証結果; 北斜面, PVの直流出力に換算した 定格電力×傾斜面日射の基準照度比に対する百分率
		Hayモデル	30%以上 注釈欄参照	
⑤	PVアレイ温度推定	比較検証をもとに既 存手法から選定	2~4°C (絶対値)	1年間の検証結果; 検証結果はJISの手法などの値, SNL ³ の手法はこれよりやや悪い
⑦	PVアレイ出力推定	スタンダードな多項式	2%程度 直流通格電力	1年間の検証結果; 南斜面のみを対象
②④⑤⑦	PV出力推定	既存要素技術の組合 わせがベース	3~4% 直流通格電力	1年間の検証結果; 南斜面のみを対象
⑥⑦	PV出力推定	自主開発要素技術が ベース	1. 5~2. 5% 直流通格電力	1年半の検証結果; 全方位
			8~12% 注釈欄参照	1年半の検証結果; 全方位, 定格電力×傾斜面日射の基 準照度比に対する百分率

1. まる囲み数字はスライド15, 16の数字に対応
2. NTTファシリティーズとの共同研究
3. SNL: Sandia National Laboratories

まとめ

- ◆ PV大量連系時に電力システムを安定に運用するためには、実需要に含まれるPV出力の把握が必要
- ◆ PV出力把握のため、日射把握とPV出力推定の技術を開発
- ◆ 日射把握では、開発した日射特性を考慮した空間補間法を用いて対象エリアの日射の推定が可能
- ◆ PV出力推定では、開発した各種要素モデルを組合せ、様々な設置条件のPV出力の推定が可能

謝辞

本発表の一部は、経済産業省の補助事業「太陽光発電出力予測技術開発実証事業」の一環で実施した成果である。関係各位に感謝致します。

(参考)関連する電力中央研究所報告書

- ◆ 川崎, 宇佐美, 西岡, 山根:「十数km四方での日射変動平滑化効果の分析」, 報告書番号:Q10036, 2011年6月
- ◆ 川崎, 宇佐美:「太陽光発電のリアルタイム発電出力把握技術の開発ー有効日射強度の推定手法ー」, 報告書番号:Q10004, 2011年5月
- ◆ 宇佐美, 川崎:「太陽光発電のリアルタイム発電出力把握技術の開発(II)ー太陽電池モジュールの温度特性分析と出力推定ー」, 報告書番号:Q10033, 2011年6月
- ◆ 宇佐美, 川崎:「太陽光発電のリアルタイム発電出力把握技術の開発(III)ー要素技術の整備と統合による地域出力把握方法の提案ー」, 報告書番号:Q11013, 2012年5月
- ◆ 宇佐美, 川崎:「太陽光発電のリアルタイム発電出力把握技術の開発(IV)ー多様な設置方位に対応可能なモデルの構築ー」, 報告書番号:Q12002, 2013年4月

※ 上記の報告書は, <http://criepi.denken.or.jp/> よりダウンロード可能です