

## 市街地における太陽光発電システム導入に関する研究

Research about the solar optical generating electricity system introduction in the city area

多賀 智之 \* 笹谷 康之\*\*

Tomoyuki TAGA Yasuyuki SASATANI

**ABSTRACT** : Asiya city is an object area was asked there was electric power of how many PV power generation system occurrences which it could be self-sufficient in the city area.

A maximum establishment area by the building use was looked for from the first floor floorage of each building. And I principal component analysis distinction of a unit area. Then I classified them by types using cluster analysis. Based on this data, I got the effective area of installation.

I found effect of selfsupported electric power by using PV power generation system.

I proved that developing PV power generation system can be continued.

**KEYWORDS** : PV power generation system, Urban Area, Effective generating electricity quantity

### 1. 研究の視点・目的と構成

今日の電源開発は多様化と分散立地型の時代を迎えており、次世代の新エネルギーとして太陽光発電システムが有望である。しかしながら、1市域全体で地区特性と建築物種類に基づいて太陽光発電システムの設置シミュレーションをした研究はまだない。そこで本研究では以下の三点に着目して、市街地(市街化区域)における発電量を推計しその効果をまとめることを目的とする。

- 1) 市街地においてどれだけの太陽光エネルギー発生の自給可能電力があるかを建築物群の地区単位の特性に基づいて推計して、太陽光発電システムによる電力の自給効果を解明する。
- 2) 月別使用電力の現況と太陽光発電システム導入の推計値を比較して、ピークカットの効果を評価する。
- 3) 太陽光発電システムを、採算性とCO<sub>2</sub>削減効果の両面から評価する。

研究の方向性としては、公共施設(特に指定避難所)は、ライフラインが切断された場合、防災拠点の効果を確保できる様に分散型で独立運行できるシステムを前提として、重点配備する方向で研究を行った。

### 2. 研究の手順

3章で芦屋市の現況で自然条件と電力消費を把握した後、4章では建築用途別(住居系・商業系・公共系)の各建築物の1階床面積に種類などの要素を考慮して、各建築物ごとの太陽光発電システムの最大設置面積を設定し、街区単位で集計をした。街区単位集計値に太陽光発電試算式を適用し、建築用途別の多結晶形とアモルファス形のシステム導入割合を決定して、その最適割合を決定し街区ごとの最大発電量を推計した。その後、5章では地区特性を街区別と町別で、定量的解析である主成分分析で特徴を抽出した後に、その特徴ごとにクラスター分析で地区特性の類型化を行った。6章で町単位と街区単位における類型結果を比較・考慮したシステム導入率を決定して、有効発電量の推計を行った。

この結果をもとに、7章で月別ピークカット効果・設置コスト比較・CO<sub>2</sub>削減量を検討した。

\*立命館大学大学院理工学研究科 Ritsumeikan Univ.

\*\*立命館大学理工学部土木工学科 Ritsumeikan Univ.

3. 芦屋市の現況

芦屋市は、市域が狭いため地区別に電力量が推計しやすく、導入効果が把握しやすい。世帯別平均年間収入は、兵庫県が663万円に対して、芦屋市が797万円と高く家計に余裕があると思われる。

「芦屋市環境計画策定に関する意識調査報告書（平成5年）」によれば、“一人でもできる場合”が51.0%、“効果がわかりやすい場合”が45.0%が環境に対して取り組むとしており、芦屋市民の環境意識は高い。また被災地であるためエネルギーの自立に対する感心が高いため芦屋市を対象地区とした。

芦屋市の電力需要については、関西電力神戸支店管内契約種別月別使用電力・契約口数(平成7年度実績)を増減パターンとして、芦屋市使用電力・契約口数(平成7年度9月・3月・上半期・下半期)集計データより、芦屋市契約種別月別使用電力・契約口数を内挿法により推計をした。

4. 1階床面積からみた太陽光発電システムの発電量の試算

4.1 太陽光発電システムの試算式

系統連結形システム計算式

$$K_{PT} = 1 + aP_{MAX} \times (T_{CM} - T_s)$$

$K_{PT}$ : 温度補正係数 (注1)

$aP_{MAX}$ : 太陽電池の最適動作補正係数 ⇒ 多結晶形 = -0.0044  
アモルファス形 = -0.0020

$T_{CM}$ : 平均気温 + 15℃

$T_s$ : 標準状態のセル温度 25℃

$$K_p = K_{PDS} \times K_{PA} \times K_{PM}$$

$K_p$ : 太陽電池交換効率補正係数

$K_{PDS}$ : 汚れ補正係数 → 埃の少ない清純な住宅街 = 0.99

一般住宅街 = 0.97

幹線道路路際の街区 = 0.95 (注2)

$K_{PA}$ : アレイ回路補正係数 = 0.98

$K_{PM}$ : 負荷整合補正係数 = 0.9

$$K = K_H \times K_p \times K_C \times K_{PT}$$

$K$ : 総合設計係数

$K_H$ : 入射補正係数 → 階層の標準偏差より決定 (注3)

$K_C$ : パワーコンディショナ回路補正係数 = 0.9

$$E_p = P_{AS} \times \left( \frac{H_A}{G_s} \right) \times K$$

$P_{AS}$ : システムの最大出力 ⇒ 多結晶系: (単位: kW) (注4)

太陽光システム最大設置面積  $\times 10^{-1}$

アモルファス系: (単位: kW)

太陽光システム最大設置面積  $\times 0.8 \times 10^{-1}$  (注4)

$E_p$ : 1日当たりの発電電力量

$H_A$ : 芦屋市傾斜天日射量 (単位: W/m<sup>2</sup>・日)

4.2 建物種別による最大設置面積の設定

太陽光発電システムを建物に取り付けて十分な発電能力を発揮できると考えられているのは、モジュール設置面積が最低30m<sup>2</sup>前後でなければ効果が発揮できないと考えられているので、各建築物の1階床面積が40m<sup>2</sup>以上のものを抽出した。

各建築物の種類等を住居系・商業系・公共系に大別し、設置可能係数を設定した。

設置可能係数 = 屋根材質 × 建築物構造 × 種類係数

これに1階床面積を乗じて最大設置面積を算出した。

以上より、多結晶形太陽電池 (M) とアモルファス形

太陽光システム設計ハンドブック<sup>1)</sup> から立命館大学光工学科浜川教授<sup>2)</sup> の意見を参考にしつつ簡易な計算式を以下のように求めた。

(注1)  $T_{CM}$ : 芦屋市の傾斜天日射量は、神戸のデータを持ちいた。<sup>注1)</sup>

(注2)  $K_{PDS}$ : 汚れ補正係数は、埃の少ない清純な住宅街の範囲は市街化調整区域で設定し、幹線道路路際の街区は幹線道路路付近の用途規制区域の指定境界線と近隣商業区域及び商業区域とした。それ以外の区域を一般住宅街とした。

(注3)  $K_H$ : 入射補正係数は、建物の階層の標準偏差より決定した。

| 建物の階層の標準偏差 | 入射補正係数 |
|------------|--------|
| 0～1未満      | 0.99   |
| 1～3未満      | 0.98   |
| 3以上        | 0.97   |

$P_{AS}$ : 太陽光システムの最大設置面積の設定については、次の項で詳しく述べる。

表1 設置可能係数の設定

|      | 屋根材質 | 建築物構造                                                              |
|------|------|--------------------------------------------------------------------|
| 陸屋根  | 1.0  | 木造                                                                 |
| それ以外 | 0.8  | 非木造                                                                |
| 区分系統 | 種類係数 | 建築物種類                                                              |
| 住居系  | 1.0  | 住専普通建・併用住宅・専用長屋建・農家住宅・共同住宅                                         |
|      | 0.9  | 付属屋・簡易付属屋・倉庫(農家)                                                   |
| 商業系  | 1.1  | 工場・ホテル・銀行・百貨店・店舗・映画館                                               |
|      | 0.9  | 旅館・料亭・事務所・浴場・倉庫(その他)                                               |
| 公共系  | 1.1  | 集会所・学校・幼稚園・保育所・変電所・市役所・警察署・税務署・消防署・図書館・美術館・体育館・下水処理場・浄水処理場・プラットホーム |

太陽電池（A）の最大設置時の発電量とコスト比較をした結果、住居系には、費用負担が少ないアモルファス形太陽電池を積極導入（M：A）＝（2：8）し、商工業系には、多結晶とアモルファス形太陽電池比率を半々（5：5）とし、公共系には、敷地を有効利用でき年間を通して発電量の多い多結晶形太陽電池を積極導入（8：2）する形態が有効と判断した。

4. 3 街区別最大発電量の集計

シュミレーションによる最大設置面積にすべて太陽光発電システムを設置した年間総発電量は、設置可能面積に多結晶形太陽光発電システムをすべて設置する場合では141GWh、設置可能面積にアモルファス形太陽光発電システムをすべて設置する場合では114GWhとなり、その差は27GWである。（芦屋市の年間電灯・電力総使用量の約10％）現在芦屋市の年間電灯・電力総使用量が288GWhであるので、単純に考えると使用電力の約40～50％が供給できる。

芦屋市において5段階分布年間最大発電量の分布は山手町・浜町・西蔵町・翠ヶ丘町・朝日ヶ丘町と国道2号線付近といった、住居系要素が大きい街区に高い発電量の分布が広がっており（図1）、1㎡あたりの街区別年間最大発電量多い分布は、阪急電鉄神戸線以南の地域に集中している。（図2）これより、導入可能性が高い地域は、阪急電鉄神戸線以南地域ではないかと考える。

5. 地区特性の類型

5. 1 主成分分析に用いた説明要因

太陽光発電システムの導入にあたり、建築物の分布形状と特性、その地区におけるように規制が、その地区における特徴を表わす要因と考える。よって、要因相互の相関関係を考慮し、街区別においては変数を住戸数、建築物数、建築物構造（木造・非木造）、街区面積、街区別合計1階床面積、階層平均、低層系（第1・2種低層住居専用地域）、中高層系（第1・2種中高層住居専用地域）、第1種住居地域、住居系太陽光発電年間発電量、1㎡あたりの住居系太陽光発電年間発電量、商業系太陽光発電年間発電量、1㎡あたりの商業系太陽光発電年間発電量、公共系太陽光発電年間発電量、1㎡あたりの公共系太陽光発電年間発電量とし、町別では上記の要素に人口と人口密度を加えたもので解析をした。

5. 2 主成分分析の結果

（1）街区別主成分分析の結果  
累積寄与率が70％以上となり、固有値が1以上の主成分を抽出した。この結果、第1～5主成分を抽出し、採用した。

表2 主成分特性の説明

| 街区別主成分軸 | 軸説明                           |
|---------|-------------------------------|
| 第1主成分   | 発電潜在体力                        |
| 第2主成分   | 住居系に占める木造建築物の多さ               |
| 第3主成分   | 商業系における1㎡あたりの商業系太陽光発電年間発電量の多さ |
| 第4主成分   | 住戸数から見た開発可能性                  |
| 第5主成分   | 低層地域における開発可能性                 |

サンプル数は810街区である。

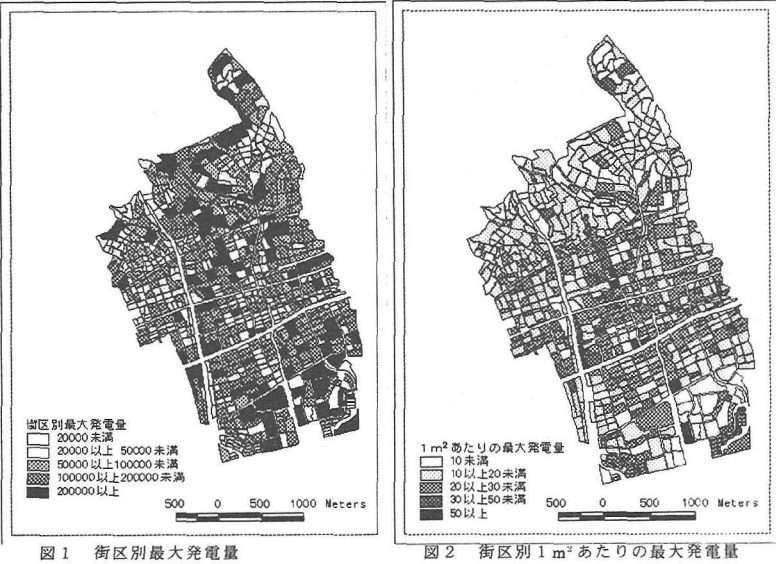


図1 街区別最大発電量

図2 街区別1㎡あたりの最大発電量

## (2) 町別主成分分析の結果

第5主成分までで、累積寄与率が80%を越えたため、固有値が1以上の主成分はあったが、今回は第5主成分まで採用する。サンプル数は50町である。

| 町別主成分軸 | 軸説明                                         |
|--------|---------------------------------------------|
| 第1主成分  | 最大設置面積軸                                     |
| 第2主成分  | 木造建築物における1階床面積の多さ                           |
| 第3主成分  | 発電年間発電量と1m <sup>2</sup> あたりの住居系太陽光発電年間発電量多さ |
| 第4主成分  | 公共系における開発可能性                                |
| 第5主成分  | 商業系における開発可能性                                |

## 5. 3主成分得点から見た街区別、町別の分類結果

表3 クラスタ分類表

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| 街区クラスター1 | 芦屋市の一般的な地区。                             |
| 街区クラスター2 | 住居系地区。                                  |
| 街区クラスター3 | 商業系を中心として導入すれば、最もシステム導入のコストパフォーマンスの良い地区 |
| 街区クラスター4 | 公共系地区。公共系年間発電量がほかの街区に比べ5倍近い発電量がある地区である。 |
| 町クラスター1  | 商工業系地区                                  |
| 町クラスター2  | 芦屋市の公共中心機能含んでいる地区。また、各区分のバランスのとれた地区     |
| 町クラスター3  | 住居系地区。この地区は六麓荘を初め、高級住宅街を含む地区である。        |
| 町クラスター4  | 公共系と高層住宅地区。共同化による太陽光システム設置が有望と考えられる地区。  |

### (1) 街区クラスター分類について。

導入可能性の高い地区は、街区クラスター2, 3, 4と考えられる。

街区クラスター2, 3, 4を合わせた構成比は、街区数は全体の43%、面積は76%であるが、1階床面積は67%、年間発電量は最大発電量の71%となっている。

### (2) 町クラスター分類について。

導入可能性が最もあると思われる街区は町クラスター2と3である。

なぜならば、町クラスター2では、全般的なポテンシャル高く、効果が目に見えて発揮できていると考えられるからである。町クラスター3では、住居系に関して最もポテンシャルが高い地区であるからである。芦屋市は住宅地であるという地域特性を考えた場合この住居系のポテンシャルの高い地区は、住宅地におけるモデル地区となり得るのではないかと考えられるからである。

図3 発電量における街区別クラスター傾向

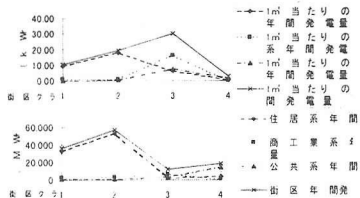


図4 発電量における町別クラスター傾向

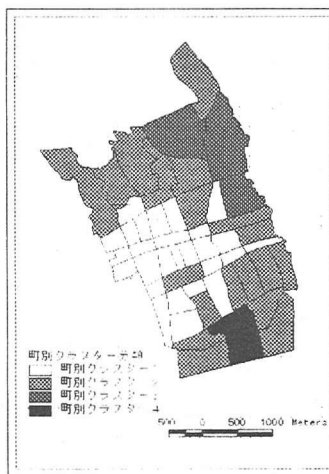
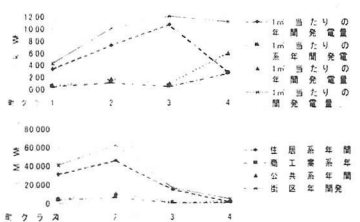


図5 町別クラスター分布図



図6 街区別クラスター分布図

## 6. 太陽光発電システムの有効設置可能率の設定

以上結果より、街区と町クラスターの発電量における特徴を分類し、モデル地域の設定をおこなた。

モデル1 太陽光発電システムを補助的に使い、既存電力に頼る地区

モデル2 太陽光発電システムを公共系には積極的に導入し、商工業系にはシステム配備を促し、住居系は既存電源に頼る地区

モデル3 太陽光発電システムを積極的に導入し、既存電力は補助的な役割を持たせる地区

このようなモデルを考慮して、町・街区クラスター分類による有効設置可能率を決定した（表4）。

表4 町・街区クラスター分類による有効設置可能率

| 町クラスター | 街区クラスター1 | 街区クラスター2 | 街区クラスター3 | 街区クラスター4 |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| 1:住居系  | 20%      | 20%      | 60%      | 40%      |
| 1:商工業系 | 20%      | 50%      | 80%      | 50%      |
| 1:公共系  | 30%      | 30%      | 80%      | 80%      |
| 2:住居系  | 50%      | 80%      | 80%      | 80%      |
| 2:商工業系 | 30%      | 80%      | 80%      | 80%      |
| 2:公共系  | 30%      | 80%      | 80%      | 80%      |
| 3:住居系  | 50%      | 60%      | 60%      | 50%      |
| 3:商工業系 | 20%      | 20%      | 80%      | 20%      |
| 3:公共系  | 30%      | 30%      | 80%      | 50%      |
| 4:住居系  | 30%      | 30%      | 80%      | 80%      |
| 4:商工業系 | 30%      | 30%      | 80%      | 80%      |
| 4:公共系  | 70%      | 70%      | 80%      | 80%      |

モデル1の考え方を適用した地区  
モデル2の考え方を適用した地区  
モデル3の考え方を適用した地区

最大設置面積に表の有効設置可能率をかけて、有効設置面積を各区分に分けて求めた。

100%の導入は現実的ではないので、この有効設置可能率によって、削減した導入可能性を、クラスター分類の結果を考慮し、地区別に作成した。

この有効設置可能率を最大設置面積に掛けた結果を有効設置面積とし、これより求めた、有効発電量は以下のような分布となった。



図7 街区別有効発電量



図8 1m²あたりの街区別有効発電量

7. 太陽光発電システムの効果

7. 1 建築用途別の面積・発電量・アレイ容量・コストの推計

芦屋市において太陽光発電システムの有効設置アレイ容量（最大出力）は71MW（最大設置時ならば110MW）であり、その場合の有効設置面積は芦屋市全域面積の4.41%である。また、年間有効発電量は78,880MWhである。年間有効発電量ならば、芦屋市の総電力使用量の28%を自給できる。（最大年間発電量ならば49%）

表5 建築用途別面積・発電量・アレイ容量の推計結果

| 建築用途 | 最大設置<br>可能面積<br>(㎡) | 最大年間<br>発電量<br>(MWh) | 最大設置<br>アレイ容量<br>(MW) | 最大設置<br>コスト<br>(億円) | 有効設置<br>可能面積<br>(㎡) | 有効年間<br>発電量<br>(MWh) | 有効設置<br>アレイ容量<br>(MW) | 有効設置<br>コスト<br>(億円) |
|------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 住居系  | 972,470             | 91,624               | 82                    | 224                 | 609,445             | 57,373               | 58                    | 158                 |
| 商工業系 | 124,007             | 12,241               | 11                    | 32                  | 78,747              | 7,897                | 8                     | 25                  |
| 公共系  | 173,227             | 19,199               | 17                    | 52                  | 131,554             | 14,610               | 13                    | 42                  |
| 合計   | 1,269,704           | 123,064              | 110                   | 308                 | 819,746             | 79,880               | 79                    | 225                 |

7. 2 月別年間ピークカットの効果と総電力使用量に対する太陽光発電の割合

ピークカットの効果は8月では68%に達し、この時の太陽光発電量は7,822MWhあり総電力使用量に対する割合は26%に達した。この結果より、太陽光発電による自給効果は十分にあると考えられる。

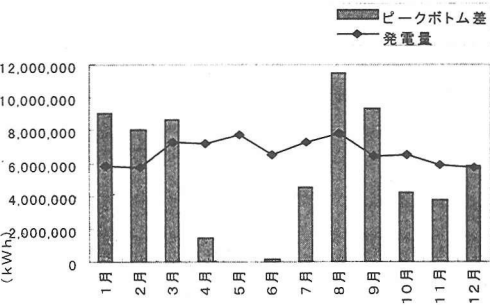


図9 ピークカット効果

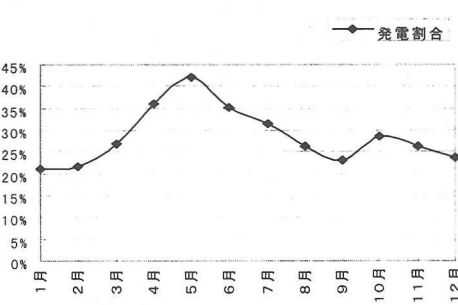


図10総電力需要に対する太陽光発電の割合

7. 3 太陽光発電システムのコストとCO<sub>2</sub>排出量

芦屋市における有効設置コストは225億円、建設単価は285千円/kW（最大設置時のコストは308億円）、有効設置時に補助率を50%、住居系における買い取り価格を1kWhあたり23円<sup>4)</sup>、商工業系と公共系における買い取り価格を1kWhあたり11円<sup>4)</sup>と設定して試算するとペイバックタイムは約7～8年と試算された。

この場合の太陽光発電システム年間CO<sub>2</sub>排出量は約98tとなった。同じ年間発電量では、火力発電施設のうち最もクリーンな燃料を使っているLNGの年間CO<sub>2</sub>排出量が約1290tとなっており、年間CO<sub>2</sub>排出削減量は約1192tとなる。

表6 太陽光システムコストとCO<sub>2</sub>排出量の試算に用いた単価

| 太陽電池種類              | 薄型多結晶     | アモルファス   |
|---------------------|-----------|----------|
| システムタイプ             | 架台設置型     | 建材一体型    |
| 全システムコスト            | 320円/W程度  | 260円/W程度 |
| CO <sub>2</sub> 排出量 | 13g-C/kWh | 8g-C/kWh |

8. 結論

本論文では、各建築物の1階床面積からの積み上げにより有効設置面積を求め、有効発電量を求めた。また、これを都市全域に拡大することによって、発電量・コスト・ピークカット・CO<sub>2</sub>排出量の点において太陽光発電システムは、持続的開発が可能であることが証明された。

積極的な助成策を活用して行くことによって、発電効果においては従来の発電施設並の効果は得られるので、太陽光発電システムは市街地において、積極的に導入して行くべきである。

参考文献

1) 黒川浩介・若松清司「太陽光発電システム設計ガイドブック」H6.8.25 オーム社  
2) 浜川 圭弘, JAPAN21st, 1996.9, Nihon Kogyo Shimbun, 10～13  
3) 資源エネルギー庁編「平成8年度版 新エネルギー便覧」  
4) 関西電力「太陽光・風力発電からの余剰電力購入について」平成8年