

## II-1 社会基盤施設への太陽光発電システムの設置促進に関する研究

STUDY ON PROMOTING THE INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC POWER  
GENERATION SYSTEM ON THE URBAN INFRASTRUCTURE

伊藤 義人\* 鈴木 信哉\*\* ハマード・アミン\*\*\*

Yoshito Itoh Shinya Suzuki Amin Hammad

【抄録】本研究では、都市防災の先行投資として社会的コストを導入し、社会基盤施設への太陽光発電システムの設置促進を図ることで、現在太陽光発電が抱えている問題を緩和することを考える。また、分散型太陽光発電システムの普及を促進することにより、(1)新規発電施設の稼働率の引き上げ、(2)夏季におけるピーク電力の削減、(3)災害時のエネルギー供給の停止を最小限に抑えること等が可能になると考えられる。そこで、地理情報システム (GIS) を利用した空間解析により、4E (Energy, Economy, Environment, Emergency) を考えた、太陽光発電システムのより有効な設置場所を明らかにする。

【Abstract】Expectations have been held on photo-voltaic energy as a clean and widely available source of energy. However, the high cost and low efficiency of present photo-voltaic systems are still a barrier for the wide use of this energy. This research aims to investigate the feasibility of wide scale promotion of photo-voltaic energy by establishing a photo-voltaic electric power system on urban infrastructures such as roads and bridges. The possible locations of setting photo-voltaic panels are found using a geographic information system. The additional benefits of such a distributed system as a reliable source of energy after disasters are also investigated.

【キーワード】太陽光発電システム、地理情報システム、社会基盤施設

【Keywords】Photovoltaic Power Generation System, Geographic Information System, Infrastructure

## 1. はじめに

太陽光発電は他の電力供給システムに比べ、小型化、分散化が容易である。この太陽光発電特有の性質は、通常時には一般家庭用の自立型電源としての役割を生み出し、災害時には、集中型発電システムの欠点を補い、エネルギー供給の停止を最小限に抑えるものと考えられる。

1995 年 1 月に発生した阪神・淡路大震災の時の電力供給は、約 1 週間で復旧しているが、それ以外のエネルギー供給システムは 2 週間以上に渡って分断されている<sup>1)</sup>。電力供給復旧前の約 1 週間は、エネルギーのない避難生活を余儀なくされた。このような災害時には、太陽光発電の電力は、唯一のエネルギー源として利用することが可能である。

現在までのところ、太陽光発電は、一般家庭用の発電システムなど、住宅に小規模に設置するのが普通で

ある。社会基盤施設への太陽光発電システムの設置については、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が、地方自治体や企業などとフィールドテストを行っている状況である。現在、こうした社会基盤施設への設置量は、中部圏で 21 箇所、全国では 112 箇所となっている。また、太陽光発電の現在の生産規模は、年間 40MW 前後であり、2000 年には、10 倍の約 400MW になるといわれている<sup>2)</sup>。

今後、比較的設置可能面積の大きいと考えられる社会基盤施設への太陽光発電システムの設置は、エネルギー供給を考える上で、重要な要素の一つになると考えられる。

そこで、本研究では、現段階で考えられるピーク電力の削減や、都市防災の先行投資として社会的コストを導入し、社会基盤施設への太陽光発電システムの設置促進を図ることで、現在、太陽光発電が抱えている

\*正会員 工博 名古屋大学教授

\*\*学生員 名古屋大学大学院

\*\*\*正会員 工博 名古屋産業科学研究所 主任研究員

(〒464-01 愛知県名古屋市不老町) 052-789-3732

問題を緩和することを考える。まず、各種社会基盤施設の形状、特徴を考察し、発電にかかるコストの比較をする。そして、GIS を利用し、(1)地震による地表最大加速度、(2)土地利用状況、(3)施設分布状況の条件を重ね合わせるにより、太陽光発電のより有効な設置場所を検索することを考える。

さらに、それを発展させることにより、社会基盤施設間での相互連携を図り、ネットワークシステムを形成することで、災害時の緊急エネルギー源としての機能を期待するだけでなく、通常時の利用方法にも幅を持たせることが可能になると考えられる。

## 2 太陽光発電システム設置概要

### 2.1 太陽光発電システム設置可能施設

本研究においては、太陽光発電システム設置により、本来社会基盤施設が持つ機能を損なわないと考えられる施設のみを設置対象とし、(a)建物、(b)公園、(c)中央分離帯、(d)橋梁、(e)高速道路防音壁を選択した。

### 2.2 太陽光発電システム設置概要

設置対象機関に対するシステム設置概要を、以下の表 2.1 に示す。なお、太陽光発電モジュールの発電効率は一律 12%と仮定し、設置角度については、本来の機能を損なわない程度になるように決定した。

表 2.1 システム設置概要

|     | 設置場所  | 設置可能率 | 設置諸元               | 設置角度 |
|-----|-------|-------|--------------------|------|
| (a) | 屋上    | 80%   | 1350m <sup>2</sup> | 30°  |
| (b) | 日除け屋根 | 2~20% | -                  | 30°  |
| (c) | 分離帯上  | 100%  | 1m×200m            | 15°  |
| (d) | 高欄上   | 100%  | 1.5m×平均橋長          | 75°  |
| (e) | 防音壁上  | 100%  | 1.5m×200m          | 75°  |

### 2.3 評価方法および評価結果

#### (a) 電力量 P(kWh)

電力量 P(kWh)は、年平均日射量を基準に、以下の(1)式より求めることができる。

$$P = H \times K \times A \times (1 - n) / 860 \quad (1)$$

但し、H：年平均日射量(kcal/m<sup>2</sup>日)

K：太陽電池の変換効率 n：損失係数(=0.3)

A：設置可能面積(m<sup>2</sup>)

#### (b) 建設コスト

太陽光発電システムの建設コストは、モジュール価格、周辺機器価格、架台・基礎価格、工事価格により決定され、その規模により変化する。また、架台・基

礎価格は、アレイ面傾斜角度、耐用最大風速に影響される。ここでは、一般的な多結晶モジュールの販売価格<sup>3)</sup>を用いることで、(2)式を得た。また、架台・基礎の傾斜角度、風速による建設コストによる影響を考慮し、文献[4]を参考に、風速 45(m/s)と仮定することで、(3)式を得た。

$$C' = 352000 A^{0.85} \times 3.92 / P \quad (2)$$

$$C = C' + A \times (41150 + 175\theta + 8\theta^2) \quad (3)$$

但し、C'：モジュールコスト(円/kW) A：設置面積(m<sup>2</sup>)

C：建設コスト(円/kW) θ：アレイ面傾斜角度(度)

なお、傾斜角度 45°～90°における建設コストに関しては、実際には建設コストが算出されていないため、図 2.1 のように、防音壁の直立面に架台を配置可能であると仮定し、(4)式のように変形したものをを用いた。

$$C = C' + A \times \{41150 + 175 \times (90^\circ - \theta) + 8 \times (90^\circ - \theta)^2\} \quad (4)$$

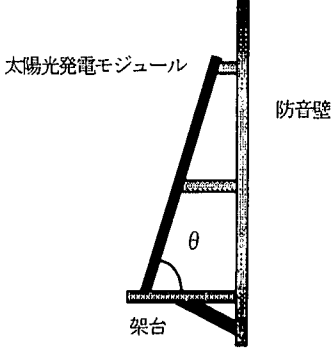


図 2.1 直立面設置方法

#### (c) 発電コスト

発電コストの算出方法は、NEDO システム開発部会で作成された方法を用いた。また、発電コストは、年間経費／年間総発電量により示されるため、年間経費を以下の(5)式より算出した。

$$C_k = 0.1084 \times C \quad (5)$$

但し、C<sub>k</sub>：年間経費(円/kW) C：建設コスト(円/kW)

また、発電コストは以下の(6)式となる。

$$C_m = C_k / (P \times 365) \quad (6)$$

但し、C<sub>m</sub>：発電コスト(円/kWh)

現段階で、社会基盤施設に太陽光発電システムを設置した場合の試算結果を、表 2.1 に示す。

平均的な社会基盤施設に太陽光発電システムを設置した場合、現在の電気料金の 24 円/kWh と比較すると、どれも 3 倍以上の発電コストとなることが表 2.1 より分かる。なお、建物について、他の社会基盤施設と比較して、発電コストが低くなるのは、(1)大規模な

表 2.1 発電コストの試算結果

|     | 傾斜角<br>(度) | 設置面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 電力量<br>(kWh/日) | 建設コスト<br>(円) | 発電コスト<br>(円/kWh) |
|-----|------------|---------------------------|----------------|--------------|------------------|
| 建物  | 30         | 13500                     | 4636           | 121,430,592  | 77.8             |
| 公園  | 30         | 462                       | 159            | 7,338,404    | 137.4            |
| 分離帯 | 15         | 2000                      | 67.7           | 22,381,251   | 98.2             |
| 橋梁  | 75         | 1706                      | 448            | 19,672,392   | 130.4            |
| 防音壁 | 75         | 3000                      | 39.4           | 31,185,910   | 117.5            |

設置面積、(2)設置面の平面形状、(3)施設の複合機能化等の太陽光発電設置の理想的な条件を備えているためである。

このように、現段階のままで、太陽光発電システムの社会基盤施設への設置は困難であると考えられる。

そこで、本研究では、社会基盤施設に大規模に太陽光発電システムを導入し、量産効果による建設コスト削減を図ることを考える。その第1段階として、災害時に避難所となる教育機関を対象とし、GISを用いて災害時における太陽光発電システムの最適配置を予測する。なお、対象地域は愛知県名古屋市とする。

3. GIS 解析によるシステム設置概要

3.1 災害時必要電力および必要電力量

災害時に、最も必要とされるものは主に、水・食料・ガス・医療・交通運輸・情報・通信等である。これらの供給を可能にする必要最低限のエネルギー（電力量）を最低基準とし、災害時に教育機関に避難した住民が最低限の生活を保障される発電システムを構築することを考える。これらの調査結果を表 3.1 に示す。

災害時においては、夜間における電力需要が大きく、また、その発電量のほとんどを照明に利用することになる。この結果、1日あたりおよそ 70kWh の電力が

表 3.1 避難所における最低必要電力量

|                 | 電力<br>(W) | 必要<br>台数 | 時間<br>(昼) | 昼間<br>電力量 | 時間<br>(夜) | 夜間<br>電力量 |
|-----------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 冷蔵庫(450 l)      | 82        | 2        | 7         | 1.1       | 17        | 2.8       |
| テレビ(25型)        | 140       | 2        | 7         | 2.0       | 9         | 2.5       |
| パソコン(本体)        | 250       | 1        | 7         | 1.8       | 9         | 2.3       |
| (プリンタ)          | 950       | 1        | 0.5       | 0.5       | 0.5       | 0.5       |
| ラジオ             | 29        | 1        | 7         | 0.2       | 9         | 0.3       |
| 照明(教室)          | 40        | 300      | 0         | 0.0       | 4         | 48.0      |
| その他 暖房<br>炊飯・加熱 |           |          |           |           |           |           |
| 計               |           |          |           | 5.5       |           | 56.3      |

供給されれば、避難生活が可能になると考えられる。

3.2 GIS 解析条件

(1)現在考えられる最大の地震時における地表面最大加速度分布（濃尾地震級）<sup>5)</sup>、(2)土地利用状況、(3)教育機関の条件を考慮して、阪神・淡路大震災の実例をもとに、損壊率が高い場合避難者が多くなると考え、密集住宅地および低層住宅地に関しては、最大加速度 350gal 以上（損壊率 10%以上）、また、中高層住宅地に関しては、最大加速度 400gal 以上（損壊率 5%以上）の場所に存在する教育機関を、GIS により検索し、太陽光発電システム設置有効場所とする。

4. ケーススタディー

現在、社会基盤施設の中で、名古屋市において災害時収容避難所として指定されている施設は 436 ある。中でも教育機関に限れば、総収容施設 447 のうち約 8 割の 361 が小中学校で占められていることになる<sup>6),7),8)</sup>。これらの施設を対象として、GIS による空間解析を行い、太陽光発電システムの有効設置施設の検索を行った。その結果を、図 4.1 に示す。

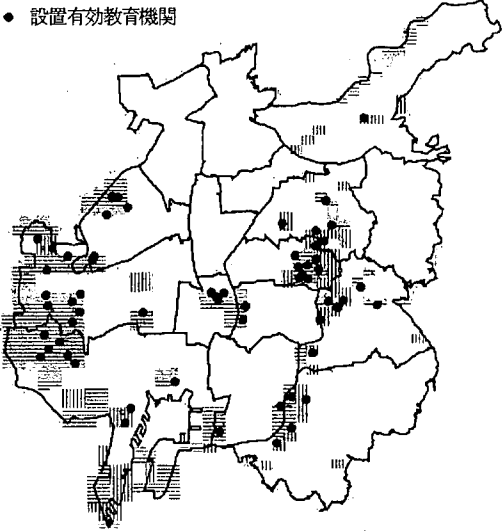


図 4.1 GIS 空間解析による設置有効場所

このように検索した結果、名古屋市における教育機関設置有効場所は 64 校であり、教育機関 369 校に対して、約 2 割程度になることが判明した。これらに対し、災害時必要電力量をまかなうだけの設置面積は 200m<sup>2</sup> となり、この面積に設置を考えた場合、建設コストは(3)式より、1 校あたり約 2400 万円、全体で約

9 億円となる。また、供給される電力をすべて利用すると仮定した場合、概算で、1 校あたり約 1200 万円、全体で約 7 億円の社会的コスト(防災コスト)の投資を必要とすることになると思われる。

これらと同規模の教育機関への太陽光発電の設置を、他の 7 大都市で行うと仮定した場合、およそ現在の太陽光発電モジュールの年間生産量 40MW の 20%程度を生産することになる。

また、太陽光モジュールコスト、発電効率ともに、過去の実績よりおよそその将来予測がなされている<sup>9,10)</sup>。これらより、モジュールコストはおよそ 180 円/W、また、実質発電効率は 18%程度になるものと予測される。

## 5. 地域型ネットワーク

今後、太陽光発電システムの積極的な設置を考えると、コスト的な面においても、社会基盤施設への設置を考慮しうるオーダーになる可能性があると考えられる。その場合における、最も有効な太陽光発電システムの仕様は、(1)分散型、(2)中・大規模型および(3)複合機能型であり、それらの条件を満足しうる社会基盤施設は、太陽光発電システムの設置において適切であると考えられる。

そこで、本論文で扱った教育機関への避難時用に設置した太陽光発電システムのみでなく、他の社会基盤施設への新規設置を行うことで、さらに災害時に有効に働く、「社会基盤施設を基本とする、太陽光発電システムによる相互連携可能な地域型ネットワークシステム」を構築する必要性を提示する。

設置対象となる都市の規模は様々であるが、比較的交通機関の発展が見られる名古屋市規模の都市の場合には、通常時から電力を必要とする地下空間も多いと考えられる。そのため、特に夏季においては、照明、冷房等による電力負荷のピークカット効果が見込める。また、災害による電力停止時には、(1)地下空間からの緊急避難、(2)避難所、病院等との相互連携、(3)交通信号等の無効化による交通網遮断の防止等に効果的であると考えられる。

通常時、災害時を問わず稼働する太陽光発電システムによる地域型ネットワークシステムは、現在のエネルギー問題および地球環境問題を解決するための、非常に価値あるシステムになると考える。

## 6. 結論

- 1) 太陽光モジュールを社会基盤施設に設置する場合の評価をするために必要な発電量、建設コスト、発電コスト等の試算方法を明らかにした。
- 2) GIS を用いた空間解析により、災害時に太陽光発電システムがより有効に機能する避難所を明らかにし、その避難所である教育機関に、200m<sup>2</sup>程度の太陽光発電システムを設置することにより、最低限必要な電力は、十分まかなえることを示した。
- 3) 各種の社会基盤施設に、太陽光発電システムを設置する際の、建設コストおよび発電コストを試算した。

## あとがき

本研究でも明らかにしたが、太陽光発電システムは、数年前に比べて格段に安価になったとはいえ、いまだ市場原理のみで、普及するには至っていない。今後とも長期的な視野での取り組みが必要であると考えられる。

## <参考文献>

- 1)兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報):神戸大学工学部建設学科土木系教室、兵庫県南部地震学術調査団、1995。
- 2)中日新聞朝刊、期待集める太陽光発電、7 面、1997 年 7 月 24 日。
- 3)住宅用ソーラー発電システムの概要、京セラ、1996。
- 4)西川省吾:地上設置形太陽電池アレイの最適設置角度、太陽/風力エネルギー講演論文集、pp.69-72、1994。
- 5)名古屋市地域防災計画 地震対策編、名古屋市防災会議、1996.6。
- 6)名古屋市地域防災計画 附属資料編、名古屋市防災会議、1995.7。
- 7)平成 6 年版名古屋市統計年鑑、名古屋市総務局企画部統計課。
- 8)平成 8 年版教育要覧、名古屋市教育委員会、pp.57-73。
- 9)藤中正治:地球にやさしい太陽電池入門、東京電機大学出版局、pp.57-59、1990。
- 10)堀米孝:地球環境問題と太陽光発電システム、第 8 回太陽光発電システムシンポジウム、p.45、1991。