

大阪市を対象とした太陽光発電設置による発電賦存量と室内熱負荷評価 Estimation of Solar Energy Potential and reduction of heat loss by PV for Osaka City

学生会員 ○村 下 雄 司 (大阪大学)

正 会 員 近 藤 明 (大阪大学)

正 会 員 井 上 義 雄 (大阪大学)

Yuji MURASHITA*¹ Akira KONDO*¹ Yoshio INOUE*¹

*¹ Osaka University

The availability of solar energy potential in Osaka city was estimated in this study. The potential was simulated by irradiation analysis based on CG model of each characteristic land use; high-rise resident, low-rise resident, industry, commercial and compounding. Also the other effect a heat loss into building by install PV is simulated by one-dimensional heat transfer model. In result, the potential of electricity was $1.9 \cdot 10^4$ [GWh/year] and the reduction of heat loss was 558 [W/m²*day]

1. はじめに

太陽光発電 (PV) は、温室効果ガスを排出せずに発電が可能な発電システムの1つであり、将来の持続可能なエネルギーシステム構築に向けて、有力なエネルギー源である。日本を含め多くの国において、主に地球温暖化、化石燃料の枯渇という問題に対する対策の1つとして、技術の開発、普及のための政策が施行されている。しかしながら、高コストや出力の不安定性のために大規模な導入はなかなか進んでいない。

太陽光発電は電力需要に対して場合によって供給が追いつかないことが予想される。主な対策として、蓄電池により余剰電力を貯めておくことや電力不足時のために一般電力系統と接続をしておくことが挙げられる。このPVの出力不安定性から発電量を正確に予測するための研究が多数行われている¹⁾⁶⁾。一般的な発電効率は標準試験状態における効率を示す。しかしながら、実際の設置環境は、試験環境とは異なるため太陽電池の温度依存性の影響により発電効率が変化する。従って温度影響等を考慮した太陽電池発電量を推定するために熱輸送モデルを構築し、太陽電池の面温度を推定することが求められる。また設置環境が異なることで、同じ太陽電池でも異なる挙動を示すことが研究されている。例えば代表的な設置環境とした都市気象と地方の気象がPVに与える影響を評価した論文によると地方の気象と都市気象は異なるため、PVの特性(温度感受性)を踏まえた上で、PVの選定を行う必要があることを示唆している⁷⁾。

またPVの導入を加速させるために、ただPVの効率を高めるだけでなく、PVと他の機器を組み合わせたハイブリッド技術が開発、研究されている⁸⁾¹²⁾。建材一体型太陽電池はその中でも中心的な技術である。透過型太陽電池建材では、窓として使用することで、自然照明

と発電両方を行うことができる。このように、建材一体型太陽電池について、発電だけでなく、建物需要に対する多種多様なエネルギーを供給する建材として使用するための研究が多数行われている。

太陽光発電設置による発電、自然採光をPV設置による1次影響とすると、PVを設置することによる建物のエネルギー収支へ与える影響、そしてその影響を踏まえた建物から室外への影響を調査している研究を2次影響と考えることができる。例えば東京都において、建物の屋根にPVを設置した場合の都市気象への影響を評価しており、PV設置による気温の上昇はわずかであるとしている¹³⁾。

東日本地震を踏まえ、今後エネルギーセキュリティを高めるために、大規模発電システムのみだけに頼らないエネルギーシステムを構築する必要がある。日本は、ドイツやイタリアが採用し、加速度的なPV導入を促した固定価格買取制度を2012年から施行している。従って今後加速度的にPV導入が増加されることが予想される。

(2012年11月末時点で約140万kWの導入設備容量)エネルギーセキュリティを高めるためには、需要と供給が近い都市域にPVを積極的に設置することが望まれる。NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)は気象データに基づいた日射量データベース(MONSOLA-11⁵⁾)を整備しており、JISC8907「太陽光発電システムの発電電力推定法」の推奨データとなっている。しかしながら、建物間における影の影響が考慮されていないことが問題として挙げられる⁹⁾。

以上より、本研究では建物間の影を考慮した日射解析を行うことで都市域の日射量ポテンシャルを明らかにする。そしてPVを設置した場合の1次影響を推定するこ

とで、将来的な都市における大規模 PV 設置による 2 次影響を評価するための議論の土台を提供することを目的とする。

2. シミュレーションモデル概要

本研究では、大阪市全域を対象とした太陽エネルギー賦存量を評価する。大阪市全域の地域モデルを作成する上で、大阪市が調査した大阪市土地利用現況調査と建物現況調査を使用し大阪市の街区形状を再現する。そして CG を用いて作成した街区形状を CG 法¹⁴⁾を用いて日射解析を行う。全面に PV を設置した場合の発電量に加えて、室内への熱貫通量を評価するために PV を設置した建物の熱伝導モデルを作成する。

2.1 大阪市代表モデルと日射解析

地域モデルを作成する上で、大阪市が調査した大阪市土地利用現況調査を使用する。土地利用現況調査には、メッシュごとに土地利用の統計情報がまとめられている。本研究では H17 年度の代表用途大分類 250m メッシュデータを用いる。Fig.1 にそのメッシュデータを示す。このメッシュデータを Table1 に示す基準に基づいて 5 つの分類（高層住宅系、低層住宅系、商業系、工業系、複合系）に分けた。そして、分類ごとの平均土地利用割合に当てはまるメッシュを選定し代表メッシュとした。この代表メッシュ内における建物を Fig.2 に示すように建物現況調査を用いて階高を計算し、街区を再現したものを Fig.3 に示す。それぞれの分類における建物の特徴としては、工業は低層の建物が多く、低密度である。商業、高層は高層の建物が多く、高密度である。低層は、中低層の建物が多く、高密度となっている。そして作成した 5 つの CG モデルを、CG 法を用いて日射解析する。日射解析条件を Table2 に示す。また大阪市の年間発電量は式(1),(2)を用いて推定する。

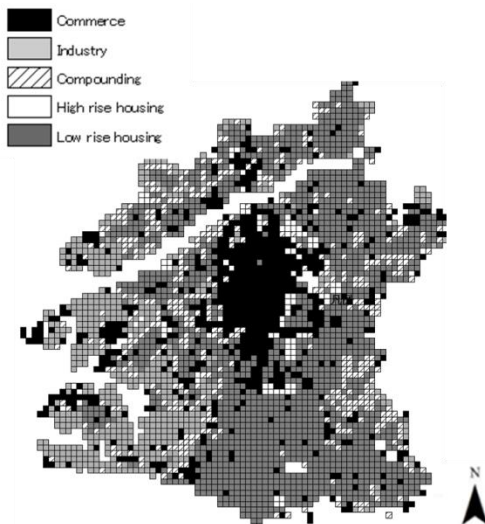


Fig.1 Mesh data of land use criteria (H17)

Table1 Criteria for categorization

Category	land use ratio	Plot ratio
Resident	High rise	<50% Resident structure
	Low rise	<300%
Commerce	<30% Commercial structure	
Industry	<80% Industrial structure	
Compounding	Other	

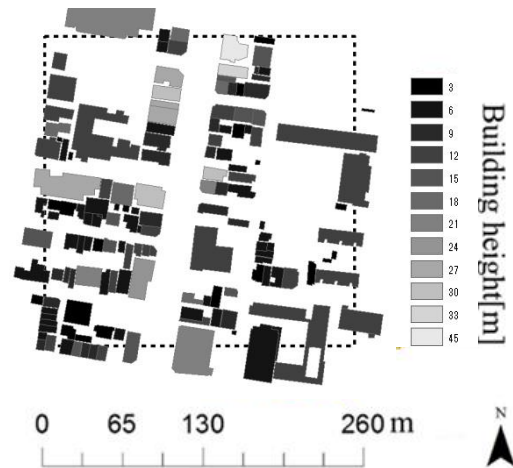


Fig.2 Land use mesh data(H17)

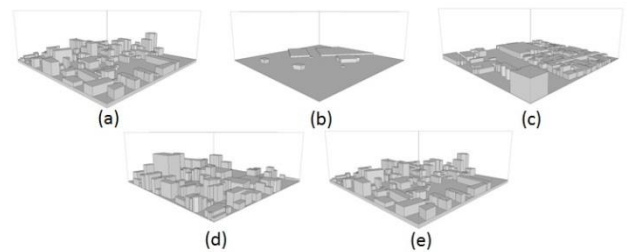


Fig.3 (a)Commercial, (b)Industry, (c)Compounding, (d)High-housing, (e)Low-housing

Table2 Irradiation method and parameters

Irradiation analysis	Ikejima et al.(2009) ¹⁵⁾
View factor	Kaga et al.(2008) ¹⁴⁾
Clearness index	0
Building albedo	0.1
Road albedo	0.1
Calculation cases	Spring Equinox, summer solstice, autumn equinox, winter solstice

$$I_{(n,m)} = i_n \times CC_m \times D_n \times M_m \quad (1)$$

$$P_{year} = \sum \sum I_{(n,m)} \times \eta \quad (2)$$

ここで、 m は分類、 n は代表日、 i_n は代表日ことの日射量、 CC_m は表に示した補正值、 M_m は分類ごとのメッシュ数、 $I_{(n,m)}$ は代表日における分類全体の日射量合計である。式(1)のように、大阪市の分類ごとの日射量は、代表メッシュ（住居系、商業系、工業系、複合系）の日射量に、補正係数、それぞれの分類ごとのメッシュ数、季節ごとの日数を積することで計算している。土地利用敷地面積割合による分類では、メッシュごとに異なる敷地面積の絶対値の変動を考慮できない。従って今回は分類ごとの平均敷地面積と代表メッシュの敷地面積の比を補正係数とし、日射量に積することで、絶対値の変動を考慮する。また式(2)では $I_{(n,m)}$ の合計、つまり大阪市全域の年間日射量に PV 変換効率 η (10%) を積し、年間大阪市の発電量を概算している。

2. 2 熱輸送モデル

都市街区における解析日射量を用いて、PV 設置有無における建物への熱流入を評価するために、有限要素法に基づいた熱輸送モデルを構築する。

式(3)に示す基礎式を用いて Fig.4 に示す PV 設置有無建物モデルにおける離散化方程式を構築した。式(4)に示すように、このモデルの特徴としては、発電により取得日射量から発電に相当する熱量 P_{out} が取り除かれる点である。

$$c\rho \frac{\delta T}{\delta t} = K \left(\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} \right) + S \quad (3)$$

ここで、 c は比熱、 ρ は密度、 K は熱伝導率、 S はヒートシンク/ソースを示す。

$$S = q_{lw} + q_{sw} + q_{conv} - P_{out} \quad (4)$$

ここで、 q_{lw} は長波放射、 q_{sw} は短波放射、 q_{conv} は対流熱交換そして P_{out} は発電による損失を示す。

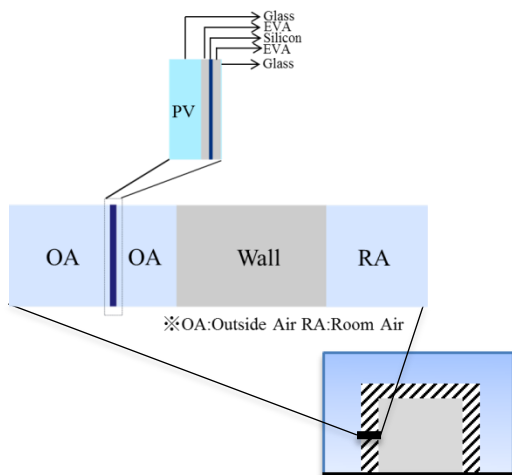


Fig.4 Cross-section of PV installed building

3 結果

3. 1 発電量

本研究では、選定した代表地域をモデル上で再現し、日射解析を行った。大阪市の年間総発電量は、Fig.5 に示すように約 1.9×10^4 GWh/year と推定された。モデルによる賦存量の違いは低層、商業、工業、高層、複合系の順となった。低層における発電量を 100% とすると、商業、工業、高層、複合は、それぞれ 42%、16%、9% と 4% となった。モデル間の総発電量の差異の理由としては、分類ごとのメッシュ数の違いによる。また個々の建物分類における取得日射量の差は、幾何形状による影面積の違いや太陽高度に起因する影面積の違いに依存すると考えられる。

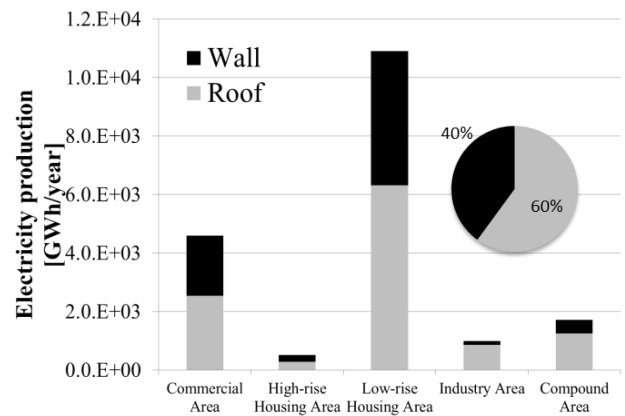


Fig.5 Electricity production of each category

3. 2 室内熱負荷

PV の設置有無による発電以外の影響である室内への顕熱流を評価した。Fig.6 に示される高層住宅建物の各面ごとの日射量を用いて、顕熱流を計算した。Fig.7 に計算結果を示す。PV 設置により約 $558 \text{ W/m}^2 \cdot \text{day}$ の室外から室内への顕熱量が減少することが明らかとなった。挙動に関しては、日射強度に従って顕熱量も変化していることがわかる。また日射強度のピークと顕熱量のピークがずれているが、これは壁による蓄熱の影響であると考えられる。この顕熱量減少により冷房時における外気負荷も減少することが考えられ、ヒートアイランド緩和策としての PV の有用性を示唆する結果となった。しかしながら、冬季においては室内への熱流入が減少することにより、暖房負荷が増加する可能性がある。これらの点については今後評価を行う予定である。

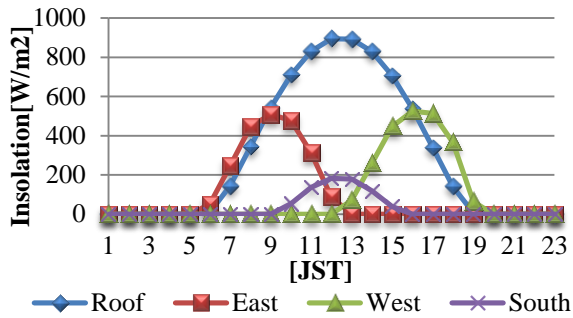


Fig.6 Irradiation (High-rise housing)

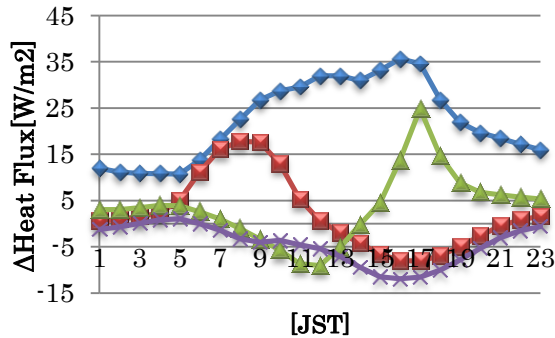


Fig.7 The reduction of heat loss (WithoutPV-WithPV)

4. 結論

本研究では、大阪市を対象とした自然エネルギー賦存量の評価とPV導入時の発電量と設置に付随する室内熱負荷への影響を評価した。結果、PV設置により大阪市には約 1.9×10^4 GWh/yearの発電賦存量が存在し、また室内流入熱量は $558 \text{ W/m}^2 \cdot \text{day}$ 減少することが明らかとなった。しかしながら、今回の計算においては理想的な条件(晴天、全面にPV設置)を設定したため、あくまで賦存量としての意味合いを持つ。年間の天候を再現し、PV設置可能面積も調査をし、より現実的な値に近づけていくことも課題の1つである。

将来的にガラス基板を持たず、容易かつ安全に屋根以外に設置することができる薄膜や有機PVが普及すること、またPVの効率上昇やコスト削減が予想される。従って、PVの面的導入はより現実的になることが想定され、今後さらに様々な視点からのPV面的設置影響評価が必要となってくる。

参考文献

- 1) A. D. Jones, C. P. Underwood, A thermal model for photovoltaic systems, *Solar Energy* 70 (2001) 349-359.
- 2) M. Mattei, G. Notton*, C. Cristofari, M. Muselli, P. Poggi, Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance, *Renewable Energy* 31 (2006) 553-567.
- 3) G. Notton *, C. Cristofari, M. Mattei, P. Poggi, Modelling of a

double-glass photovoltaic module using finite differences, *Applied Thermal Engineering* 25 (2005) 2854-2877.

4) 野中美緒,黄佩華,井上みを,下田吉之,水野稔,光透過型太陽電池の熱収支に関する研究, *空気調和・衛生工学会論文* 108 (2006), 29-38.

5) MONSOLA(MONthly mean SOLAr radiation data throughout Japan), New Energy and Industrial Technology Development Organization

6) METPV(MEteorological Test data for PhotoVoltaic system), New Energy and Industrial Technology Development Organization

7) Wei Tian, Yiping Wang, Jianbo Ren, Li Zhu, Effect of urban climate on building integrated photovoltaics performance, *Energy Conversion and Management* 48 (2007) 1-8.

8) Ursula Eicker, Antoine Dalibard Photovoltaic-thermal collectors for night radiative cooling of buildings, *Solar Energy* 85 (2011) 1322-1335.

9) C.S. Malvi, D.W. Dixon-Hardy, R. Crook, Energy balance model of combined photovoltaic solar-thermal system incorporating phase change material, *Solar Energy* 85 (2011) 1440-1446.

10) T. Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, Energy savings of office buildings by the use

of semi-transparent solar cells for windows, *Renewable Energy* 30 (2005) 281-304.

11) Kanchan Vats, G.N. Tiwari, Performance evaluation of a building integrated semitransparent photovoltaic thermal system for roof and facade, *Energy and Buildings* 45 (2012) 211-218.

12) J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos, Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation, *Solar Energy* 82 (2008) 1-12.

13) 環境省地球環境局研究調査室, 環境低負荷型オフィスビルにおける地球・地域環境負荷低減効果の検証(2004)

14) 加賀昭和,近藤明,井上義雄,池島薫,福田征克.CG 技術を用いた形態係数の高速計算法, *空気調和・衛生工学会論文集* 138 (2008),1-8.

15) 池島薫,加賀昭和,近藤明,井上義雄,福田征克.CG を用いた直達日射の高速計算法の開発, *空気調和・衛生工学会論文集* 150 (2009), 29-36.