経済効率性を考慮した屋上設置型太陽光発電システムの導入推進方策に関する研究

RESEARCH ON THE MEASURES TO PROMOTE INTRODUCTION OF ROOFTOP TYPE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEM CONSIDERING ECONOMIC EFFICIENCY

鳴海大典 ——— *1   金 栄暁 ——— *2

キーワード：
太陽光発電, 建物屋上, 設置可能面積, 経済効率性

Keywords:
Photovoltaic power generation, Building rooftop, Installation potential, Economic efficiency

Daisuke NARUMI ——— *1   Younghyo KIM ——— *2

In this research, we suggested the measures to promote introduction of rooftop type photovoltaic power generation system considering economic efficiency. In achieving the installation goal for renewable energy of Yokohama City by 2030, by proceeding with introduction preferentially from buildings with large power generation per cost, it is possible to reduce the number of installed buildings by 93%, the introduction cost by 10%, and increase the annual power generation by 4%.

1. はじめに

東日本大震災以降, 再生可能エネルギーを活用した分散型エネルギーシステムの導入による災害に強い低炭素型の地域づくりが重要な課題になっているが, 一般に再生可能エネルギーによるエネルギー供給施設は資源の賦存量や設置適地の問題により, 消費地から離れた僻遠な場所に設置されることが多い。しかしながら, 送電ロスや送電網の脆弱性を勘案すると, エネルギーの大消費地である都市部においても同様に, エネルギー消費効率の向上による貢献だけでなく, 発電源としても一定の責任を有すると考えられるが, 都市部では一般に風力やバイオマスの資源量が乏しいことから, 必然的に太陽エネルギーに依存せざるを得ない。ここで, 太陽光発電システム(以降では PV システムと記す)の導入形態を大都市の一例として横浜市と日本全国を比較すると, 再生可能エネルギーの固定価格買取制度の導入以降, 全国では 500kW 以上の中・大規模システムの設置増加率が高まっているのに対して, 横浜市では 50kW 未満の小型システムの増加率が高く¹⁾, 全国では地上設置型, 横浜市では屋上設置型のシステム導入が進んでいると予想される。

大都市で PV システムを設置する場合, 近隣建物等の日射遮蔽が影響して想定通りの発電量が得られない場合がある。また, 建物屋上には機械設備の設置や駐車場利用等によって, 建築面積全体にシステムを設置できない場合がある。したがって, 地域総体としての発電ポテンシャルを推計するためには, このような発電効率に関する低下要因の影響程度を事前に把握するとともに, 可能な限り発電効率の高い建物や地域に導入を優先的に進めることが重要となる。この点に関して, 高田ら²⁾は 9 棟の建築街区モデルを対象とした TRNSYS による分析から, 周辺にある高い建物が空調負荷や発電量に影響を与える可能性があることを指摘している。福井ら³⁾はコンビニエンス

ストアを対象とした天空率の計測から, 天空率が高い建物より低い建物で発電量が約 30%低下することを明らかにしている。小林ら⁴⁾は都心商業と郊外住宅の 2 地区(各 500m 四方)を対象とした GIS による分析から, 周辺建物による日射遮蔽を考慮することで, 郊外住宅の発電量が都心商業よりも 17%大きくなることを明らかにしている。竹林ら⁵⁾は大阪市全域を対象とした 3 次元 CAD や GIS による分析から, 周辺建物による日射遮蔽の影響により太陽エネルギー賦存量が 13.7%低下するとともに, 設置可能面積を考慮すると更に 7.7%低下することを明らかにしている。牧野ら⁶⁾は 12 棟の実在マンションを対象とした 3 次元 CAD による屋上利用状況の把握結果から, 設置可能面積の推定式を作成するとともに, 平均日射率による日陰影響を考慮した発電量の計算を行っている。以上のように, 都市部の屋上における太陽エネルギーの利用ポテンシャルに関しては, 最小街区単位から都市域まで広範に検討が行われ, 特に小林ら⁴⁾や竹林ら⁵⁾は地域レベルの利用ポテンシャルについて, GIS を用いて周辺建物による日射遮蔽を考慮した評価を行っている。しかしながら, 都市部に屋上設置型 PV システムを積極的に導入していく上で, 経済効率性を考慮して優先的に導入すべき建物用途や地域を選定することが求められるが, この点に関しては十分な議論が進んでいない。

そこで本論文では, 都市部に再生可能エネルギーを活用した分散型エネルギーシステムを積極的に導入する上で屋上設置型 PV システムに着目し, 経済効率性を考慮したシステムの導入推進方策を提案することを目的とする。本研究の流れを図 1 に示す。第一段階として, 横浜市を対象として建物属性別(建物用途および建物規模)に屋上利用可能面積のサンプリング調査を行う。次いで, 地域特性別(用途地域および建物用途)に隣接建物による日射遮蔽影響についてサンプリング調査を行う。さらには, 建物属性別発電効率を求め,

¹⁾ 横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授
(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7)

²⁾ 横浜国立大学大学院環境情報学府 大学院生(研究当時)

¹⁾ Assoc. Prof., Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National Univ.

²⁾ Graduate Student, Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National Univ.

図1 本研究の研究フロー

容量別導入費用を考慮した導入優先度を評価し、横浜市における太陽光発電の導入推進方策について検討する。

2. 建物属性別の設置可能面積率

本研究の対象地域は横浜市とした。横浜市では積極的な再生可能エネルギーの導入を目標として掲げており、研究対象として適切な地域と考えられる。横浜市は440km²の面積で、370万人162万世帯が暮らす大都市であり、戸建住宅から運輸・工場施設まであらゆる建物用途がある。湾岸の鶴見区や中区、金沢区を中心に産業施設が、西区や南区には業務・商業集積地区が、それらを取り囲むように港北区や青葉区、旭区などには住宅地が広範に広がっている。

建物屋上におけるPVシステムの設置可能面積を調査するために、第一段階として建物用途・面積に関する区分方法の検討を行った。建物用途区分は横浜市より提供を受けた建築物GISデータ（全建物の合計面積7400万m²、合計棟数約68万）の建物用途68項目から面積割合が0.1%以下の項目を除外し、項目間を統合して9用途に大別した。次いで、面積区分は各建物用途別の面積上位5%、下位5%に相当する建物を除外し、戸建住宅、集合住宅、業務施設、商業施設は3区分、宿泊・娯楽施設、学校施設、文教施設（民営）、文教施設（公営）、運輸・工場施設は2区分にした。なお、面積区分の閾値については、各区分の合計建築面積が均等になるように設定した。結果として、建物用途と面積によって全体では22区分に分類した。表1に22区分の建築面積及び棟数を示す。

設置可能面積の測定にはGoogle Maps API V3を利用し、建築面積から設置不可部を除いた面積を設置可能面積として計測する。ここで、Google Mapsによる建築面積の測定値と先述の建築物GISデータのポリゴン面積の差は10%以内であり、測定精度が十分に確保できることを確認した（表2）。なお、傾斜屋根を有する建物に関しては、北向き斜面は日射量が低下することから設置不可とし、陸屋根では後ほど詳述するように設備機器やテラス等を設置不可とした。

調査サンプル数に関して、戸建住宅と業務施設を対象として事前に十分なサンプル数を用いて試行的に設置可能面積調査を行うことで、各区分別で必要となる調査サンプル数の検討を試みた。戸建住宅について163棟、業務施設について113棟の設置可能面積率を調査した上で、得られた結果を用いて、5棟から最大棟数まで各棟数にお

表1 建物用途・面積別の建築面積及び棟数

用途		面積区分	区分1	区分2	区分3
戸建	面積(m ²)		11,364,958	10,823,894	11,183,462
	棟数(棟)		247,393	165,415	121,683
集合	面積(m ²)		5,116,004	5,494,411	5,592,246
	棟数(棟)		55,681	20,642	7,095
業務	面積(m ²)		1,216,777	1,251,089	1,264,288
	棟数(棟)		10,444	2,499	566
商業	面積(m ²)		1,252,841	1,361,223	1,425,714
	棟数(棟)		10,435	2,307	364
宿泊・娯楽	面積(m ²)		244,960	273,196	
	棟数(棟)		945	169	
学校	面積(m ²)		1,300,610	1,328,034	
	棟数(棟)		3,663	778	
文教(民)	面積(m ²)		855,478	880,549	
	棟数(棟)		5,072	694	
文教(公)	面積(m ²)		314,605	342,949	
	棟数(棟)		1,506	182	
運輸・工場	面積(m ²)		5,607,429	5,511,719	
	棟数(棟)		24,639	1,751	
			全建物 面積 74百万m ² 棟数 683,923棟		

表2 GISデータ上のポリゴン面積と測定建築面積との誤差

建物用途	測定誤差			
	平均	面積区分1	面積区分2	面積区分3
戸建	5.6%	6.0%	8.8%	4.0%
集合	8.7%	9.8%	6.0%	9.5%
業務	2.8%	7.6%	5.7%	1.9%
商業	2.6%	3.7%	2.4%	2.6%
宿泊・娯楽	1.4%	0.1%	1.8%	—
学校	6.6%	7.6%	6.4%	—
文教(民)	4.8%	3.9%	5.0%	—
文教(公)	2.5%	0.6%	2.9%	—
運輸・工場	6.8%	9.5%	5.8%	—

図2 変動係数とサンプリング数との関係

表3 面積区分の閾値とサンプリング数

用途		面積区分1	面積区分2	面積区分3
戸建	面積範囲(m ²)	33~57	57~75	75~140
	サンプル数	40	39	59
集合	面積範囲(m ²)	50~160	160~460	460~2000
	サンプル数	41	38	40
業務	面積範囲(m ²)	50~280	280~1050	1050~24000
	サンプル数	67	48	48
商業	面積範囲(m ²)	55~290	290~1580	1580~14400
	サンプル数	58	46	39
宿泊・娯楽	面積範囲(m ²)	70~810	810~4500	
	サンプル数	55	39	
学校	面積範囲(m ²)	65~1000	1000~4000	
	サンプル数	42	40	
文教(民)	面積範囲(m ²)	55~580	580~6000	
	サンプル数	48	40	
文教(公)	面積範囲(m ²)	35~980	980~8200	
	サンプル数	40	40	
運輸・工場	面積範囲(m ²)	55~1100	1100~40000	
	サンプル数	73	37	
				総サンプル数 1,016棟

表 4 建物属性別の太陽光発電設置可能面積率

建物用途	太陽光発電設置可能面積率				
	平均	面積区分1	面積区分2	面積区分3	竹林ら
戸建	53%	51%	51%	55%	99%
集合	73%	63%	77%	73%	98%
業務	64%	79%	68%	62%	62%
商業	32%	61%	58%	24%	80%
宿泊・娯楽	47%	63%	43%	—	59%
学校	66%	70%	65%	—	85%
文教(民)	60%	58%	60%	—	82%
文教(公)	62%	70%	60%	—	—
運輸・工場	75%	70%	76%	—	94%

表 5 建物属性別の設備用途面積率

建物用途	設備用途面積率			
	平均	面積区分1	面積区分2	面積区分3
集合	4.0%	1.1%	1.9%	5.0%
業務	15.9%	1.1%	14.3%	17.4%
商業	12.1%	10.9%	15.2%	11.4%
宿泊・娯楽	14.3%	16.1%	13.8%	—
学校	5.0%	3.4%	5.4%	—
文教(民)	12.5%	5.8%	13.8%	—
文教(公)	11.2%	7.2%	11.9%	—
運輸・工場	4.7%	1.6%	5.8%	—

表 6 建物属性別のその他用途面積率

建物用途	その他用途面積率			
	平均	面積区分1	面積区分2	面積区分3
集合	22.6%	35.5%	21.4%	21.6%
業務	19.7%	19.4%	17.8%	20.2%
商業	56.4%	28.3%	26.8%	64.8%
宿泊・娯楽	38.6%	20.4%	43.7%	—
学校	28.5%	26.1%	29.2%	—
文教(民)	28.0%	36.7%	26.3%	—
文教(公)	27.0%	23.2%	27.8%	—
運輸・工場	20.6%	28.5%	18.0%	—

図 3 設置可能面積調査結果の一例（上：戸建住宅，下：業務）

いて乱数を用いてランダムに 200 回のサンプリングを行った場合の変動係数の変化を図 2 に示す。変動係数とサンプリング数との関係は戸建住宅と業務施設のいずれも同様の傾向を示し、変動係数が 5% 以下になるサンプリング数が 40 棟程度であることを確認した。以上の結果から、建物用途と面積区分の各カテゴリで 40 棟を目安にサンプリング数を確保することとした。表 3 に面積区分の閾値とサンプリング数を示す。対象建物は横浜市建築物 GIS データから乱数を用いてランダムで抽出した。

建物属性別の設置可能面積率の調査結果を表 4 に示す。建物用途別に設置可能面積率が異なり、さらには同じ建物用途であっても面積区分によって設置可能面積率が異なることがわかる。各建物用途別の全体平均としては、運輸・工場施設と集合住宅が 70% を超え、戸建住宅は 53% となった。商業施設や宿泊・娯楽施設は 50% に到達しなかった。面積区分でみると、全ての建物用途ではないが、建築面積が大きくなるほど設置可能面積率が下がる傾向が認められた。これは建築面積が大きくなるほど屋上設置設備等の占める割合が大きくなることによる。最も低い値となったのは商業施設の面積区分 3 であるが、規模の大きな商業施設では屋上駐車場の占める割合が高くなったことによる。表 4 に竹林ら⁹⁾による結果を併せて示すと、全体的に本研究で推計した設置可能面積率が低い結果となった。これは本研究ではベランダやフェンス外、さらには戸建住宅や集合住宅で

は北向き傾斜面を設置不可としたために、特に大きな差を生じたと考えられる。

調査結果の一例として、図 3 に建築面積と設置可能面積率との関係を戸建住宅と業務施設について示す。図に示すように設置可能面積率にはばらつきがあり、明確な建築面積との相関性は認められなかった。したがって、当初は建築面積と設置可能面積率との回帰式から各建物の設置可能面積率を推定する想定であったが、回帰精度が劣ることから、本研究では各面積区分で得られた平均値を用いて 4 章以降の発電量評価を行う。

ここで 4 章以降の発電量評価には無関係であるが、設置不可部と評価された屋上部分の特性について考察しておく。建物には屋上に PV システムを設置できない部分があり、このような設置不可部を「設備」と「その他」用途に分けて面積を測定している。「設備」は空調・電気や給排水機器など、「その他」はテラス、フェンス、緑化、傾斜面などが占める面積である。表 5 に建築面積に対する設備用途面積率を、表 6 にはその他用途面積率を示す。

設置不可部の調査結果から、設備用途面積率は 1% から概ね 20% 以内で、建築面積が大きくなるほど割合が大きくなる傾向があった。特に業務施設と商業施設、宿泊・娯楽施設で設備が占める面積割合が大きい。このような施設は狭い土地に建てられることが多く、面積効率を優先する建物用途では屋上に設備を設置する傾向があるためだと考えられる。

その他用途面積率は約 18% から 65% まで占める割合が大きく、建築面積との関係については明確な傾向が見られなかった。面積区分 1 においては傾斜による設置不可部が多く、面積区分 2、3 においてはフェンスやテラス、緑化による設置不可部が多い結果となった。特に商業施設の面積区分 3 では駐車場として利用する建物が多く、建築面積の約 65% がその他用途として使われている。

3. 用途地域・建物用途別の日射減衰率

屋上設置型システムの場合、隣接建物が障害物となることによっ

表 7 用途地域の特性に基づく地域区分

地域区分	用途地域	主な施設
地域区分1	第1、2種低層・中高層住居専用地域	戸建住宅、集合住宅、学校、文教施設
地域区分2	第1、2種住居地域、準住居地域	戸建住宅、集合住宅、商業施設、業務施設、学校、文教施設
地域区分3	近隣商業地域、商業地域	戸建住宅、集合住宅、商業施設、業務施設、宿泊施設、学校、文教
地域区分4	準工業地域、工業地域、工業専用地域	商業施設、業務施設、運輸・工場

図 4 日射減衰調査の対象区域例（左上：地域区分1，右上：地域区分2，左下：地域区分3，右下：地域区分4）

て、屋上面が受ける日射量が減衰する可能性がある。本研究では、横浜市内の用途地域区分（12 区分）を高さや規模、用途などの建物特性から表 7 に示すように 4 区分に統合し、各区分の代表地域を対象として ArcGIS Spatial Analyst による日射減衰評価を試みた。地域区分 3 は主に業務や商業など繁華街・都心地域として建物高さのばらつきが大きいことから隣接建物の影響を最も受けやすい地域である。地域区分 4 は主に商業、業務、運輸・工場が含まれる地域で海岸沿いに位置しており、比較的隣接建物の影響が小さい地域である。

評価対象は図 4 に例を示すように約 500m 四方の範囲とし、各地域区分に対して 3 エリアずつ、代表的な場所を横浜市内から任意に選定して検討を行った。評価を行った建物用途と用途地域別の建物数は 10,579 棟であり、各カテゴリの横浜市全体建物数の 1%以上（運輸・工場の地域区分 1 を除く）を満たしており、十分なサンプル数を確保したと考えられる。ArcGIS Spatial Analyst では Fu ら⁹⁾による全天可視領域アルゴリズムに基づいて、周辺建物からの日射遮蔽効果を反映した計算が可能である。なお、本研究ではサンプル建物から半径 100m 内にある建物の日射遮蔽影響を考慮した水平面全天日射量の計算を行った。パラメータは全天日射量の拡散比率を 0.3、大気透過率を 0.5 に設定し、一般的な晴れの天気を選定した。計算インターバルは 1 時間間隔で 24 時間を、14 日間隔の 1 年間に對して実施した。また、天頂分割を 8、方位分割を 8 とし計算負荷が過大になら

表 8 建物用途別・地域区分別の日射減衰率

建物用途	日射減衰率			
	地域区分1	地域区分2	地域区分3	地域区分4
戸建	0%	3%	12%	5%
集合	0%	1%	3%	2%
業務	0%	1%	7%	2%
商業	0%	2%	7%	4%
宿泊・娯楽	0%	0%	6%	4%
学校	1%	0%	6%	3%
文教(民)	0%	1%	7%	0%
文教(公)	0%	2%	4%	11%
運輸・工場	2%	3%	14%	0%

図 5 建物用途別の平均建物高さの比較

ないように設定した。建物屋上に複数の計算メッシュが存在する場合には、それらの平均値を当該建物の日射量とした。

地域区分別の日射減衰率の算出結果に関して、地域区分 1 の平均日射量は 3.56[kWh/m²・日]で最も大きく、地域区分 2 と 4 でそれぞれ約 2%、3%の減衰となり、これらの地域では平均的に日射遮蔽の影響は少ないことがわかる。一方で、地域区分 3 では約 9%の減衰がみられた。ただし、地域区分 3 は横浜市全体の約 8%を占めるにとどまることから、横浜市全体からみると影響は小さいと予想される。建物用途別の日射減衰率に関しては、集合住宅の平均日射量が 3.51[kWh/m²・日]で最も大きい、最も低い商業施設でも 5%の違いであり大きな差は見られなかった。

地域区分と建物用途の総合的な影響を表 8 に示すと、全体的に地域区分 3 で隣接建物による日射遮蔽の影響が大きくなる傾向があり、戸建住宅においては 12%、運輸・工場施設においては 14%の減衰が確認された。地域区分 1 では、全用途において日射量の低下が 2%以下であった。地域区分 3 では図 5 に示すように、他地域に比べて建物高さのばらつきが大きいことから日射遮蔽の影響が大きくなったと考えられる。この点に関して、竹林ら⁹⁾は前述のように周辺建物による日射遮蔽の影響を考慮することで、大阪市全域で 13.7%の減衰があると指摘し、小林ら¹⁰⁾は日射遮蔽の影響による発電量の地域間の差異が想像以上に大きいと指摘している。しかしながら、本研究の分析では商業集積地域で若干影響が大きくなる傾向が見られるものの、住居地域や工業地域などでは影響が小さく、例えば横浜市全域で評価を行った場合にはその影響は軽微になる可能性が高い。

4. 横浜地域の太陽光発電ポテンシャル

本章では建物属性別に日射遮蔽や設置可能面積を考慮した単位建築面積あたりの発電可能量に関する原単位データを作成するとともに、得られた結果から横浜市全域の発電ポテンシャルを推計する。まずは、2 章で用いた 1,016 棟のサンプル建物を対象とし、ArcGIS

表9 建物属性別の単位建築面積当たりの発電量

建物用途	単位建築面積当たりの発電量(kWh/m ² ・日)			
	面積区分1			
	用途地域1	用途地域2	用途地域3	用途地域4
戸建	45.0	43.8	39.4	42.8
集合	57.1	56.7	55.5	56.0
業務	70.9	70.1	66.0	69.2
商業	56.5	55.3	52.3	54.3
宿泊・娯楽	57.8	58.1	54.4	55.5
学校	62.1	62.5	59.0	60.6
文教(民)	52.3	52.0	48.7	52.2
文教(公)	62.1	60.9	59.9	55.1
運輸・工場	63.3	63.0	55.9	64.9

建物用途	面積区分2			
	用途地域1	用途地域2	用途地域3	用途地域4
	用途地域1	用途地域2	用途地域3	用途地域4
戸建	45.7	44.5	40.0	43.4
集合	70.4	69.8	68.4	68.9
業務	64.1	63.4	59.7	62.5
商業	53.8	52.7	49.9	51.8
宿泊・娯楽	40.3	40.5	37.9	38.6
学校	60.7	61.0	57.7	59.2
文教(民)	55.1	54.8	51.3	55.0
文教(公)	56.1	55.0	54.1	49.8
運輸・工場	69.6	69.3	61.4	71.3

建物用途	面積区分3			
	用途地域1	用途地域2	用途地域3	用途地域4
	用途地域1	用途地域2	用途地域3	用途地域4
戸建	47.9	46.6	41.9	45.5
集合	68.0	67.4	66.1	66.6
業務	59.4	58.8	55.3	58.0
商業	22.9	22.4	21.2	22.0

表10 設定条件による太陽光発電利用可能量の比較

検討条件	年間ポテンシャル [GWh/year]	比率 [%]
設置可能面積率と日射減衰率を考慮せず	7,740	-
設置可能面積率のみ考慮	4,744	-39%
設置可能面積率と日射減衰率を考慮	4,605	-41%

Spatial Analyst の日射解析ツールを用いて、屋上面が受ける水平面全天日射量を計算する。次いで、水平面全天日射量の計算結果から傾斜による太陽光発電設置面積の補正や方位による日射効率の補正を行った上で、単位建築面積当たりの年間発電量を求める。なお、斜面日射量の補正に関して、戸建住宅は5寸勾配を、その他建物では30°での設置を想定した。

建物用途、面積区分に用途地域を加えて分類し、斜面日射量に第2章で求めた設置可能面積率、第3章で求めた日射減衰率を合わせ、建物属性別に単位建築面積あたりの発電量を求めた結果を表9に示す。建物用途・面積区分では運輸・工場施設(面積区分2)、集合住宅(面積区分2, 3)、業務施設(面積区分1)で高い発電量を得られる結果になり、戸建住宅と商業施設(面積区分3)で低い結果となった。また、用途地域を入れて比較すると運輸・工場施設(面積区分2、地域区分4)、業務施設(面積区分1、地域区分1)、集合住宅(面積区分2、地域区分1)、業務施設(面積区分1、地域区分2)の順で大きく、建物用途・面積・地域によって得られる発電量が異なり、単位建築面積あたりの発電効率が良い建物・地域特性を確認できた。

建物属性別の単位建築面積当たりの発電量から横浜市内の全建物に展開し、横浜市全域の年間太陽光発電利用可能量の計算を行った結果、約4,600[GWh/year]であり、戸建住宅が全体の37%、集合住宅が26%、運輸・工場施設が19%を占め、これらで8割を超えた。戸建住宅は単位建築面積当たりの発電量が小さいものの、ストック

図6 設置容量区間別の導入費用

が最も多いため、全体では最も大きな値を示した。集合住宅のストックは戸建住宅に比べて約50%少ないが、単位建築面積当たりの発電量が大きく、結果的には発電量の差が約30%までに縮小した。

表10に設定条件による太陽光発電利用可能量の評価結果の違いを示す。設置可能面積率、さらには日射減衰率を考慮した場合は、いずれも考慮しない場合より41%の減少となることが示された。この結果から、日射減衰率の影響は設置可能面積率と比較して相対的にかなり小さいことがわかる。これは地域区分3のストックが横浜市全体のストックに対して占める割合が小さいためである。

5. 建物属性別経済性検討とシナリオ提案

本章では経済産業省の太陽光発電導入費用に関する情報¹⁹⁾¹⁰⁾から設置容量区間別の導入費用(円/kW)を求め、単位建築面積当たりの導入費用(円/m²)を算出し、横浜市建築物GISデータから各建物のPVシステム導入に関する経済性評価を行った。そして横浜市建物の導入優先順位付けを行い、横浜市地球温暖化対策実行計画⁷⁾に相当する導入目標と比較した。

図6に設置容量区間別の導入費用を示すと²¹⁾、全体的に設置容量が大きくなるにつれ導入費用が抑えられる傾向があり、特に住宅向けである10kW未満のシステムとそれ以外の差が顕著である。

横浜市の実行計画⁷⁾によると、2030年の長期目標として「戸建住宅、集合住宅、事業所、工場のそれぞれに15%導入」を掲げているが、本研究の設置可能面積率と日射減衰率に関するデータベースを用いることで、目標達成には102,590棟(戸建住宅:80,147棟、集合住宅:12,513棟、事業所:5,944棟、工場:3,959棟)が必要であり、総導入容量は528[MW]、年間発電量は546.8[GWh/year]と推計された。なお、横浜市に導入された発電容量は2014年10月時点で61[MW]であり⁷⁾、導入目標は現在の約9倍になる。目標達成に必要な導入費用については、導入費用当たりの発電量が大きい順ではなく、各建物用途の平均値を用いることを想定した場合、合計で1,905億円と推計された。

ここで、本研究で求めた単位導入費用当たり発電量(kWh/円・年)の大きな建物から、528[MW]を優先順位に沿って導入することを想定した場合(提案シナリオ)の導入容量や費用について、上述の実行計画と比較した結果を表11に示す。その結果、同じ導入容量であるにも関わらず、年間発電量は約4%増加するとともに、建物数は7,379棟で実行計画と比べ93%の減少、導入費用は198億円(10%)の減少となり、効率的な導入となることが示された。建物属性別にみると、運輸・工場施設の面積区分2・用途地域4ではすべて設置を優先的に行うことになり、運輸・工場施設の面積区分2・用途地域1では78%、

表 1-1 横浜市対策実行計画と提案シナリオの比較

横浜市地球温暖化対策実行計画 (2014.03)						本研究の提案シナリオ			
用途	導入目標	棟数	年間発電量 [GWh/年]	コスト [億]	容量 [MW]	棟数割合 [%]	年間発電量 [GWh/年]	コスト [億]	容量 [MW]
戸建	15%	80,174	222.0	824	219	0.0%	0.0	0	0
集合	15%	12,513	87.0	307	83	5.871%	171.0	543	162
業務	15%	5,944	198.0	637	188	7.0%	2.0	6	2
工場	15%	3,959	40.0	137	38	82.0%	393.0	1,159	365
合計		102,590	547.0	1,905	528	1.426%	566.0	1,707	528

表 1-2 提案シナリオの区別導入容量・比率

区	容量 [MW]	比率 [%]	区	容量 [MW]	比率 [%]	区	容量 [MW]	比率 [%]
鶴見区	99	18.8	青葉区	27.0	5.1	栄区	18	3.4
金沢区	75	14.2	磯子区	34.0	6.4	瀬谷区	15	2.8
中区	51	9.7	都筑区	28.0	5.3	保土ヶ谷区	12	2.3
神奈川区	42	8.0	緑区	17.0	3.2	泉区	9	1.7
戸塚区	40	7.6	旭区	14.0	2.7	南区	5	0.9
港北区	26	4.9	港南区	14.0	2.7	西区	3	0.6

集合住宅の面積区分 2・用途地域 1 では 41%を導入することになった。運輸・工場施設の設置容量は全体の 69%、集合住宅は 30%を占め、この 2 用途でほぼ全てを占める結果となった。つまり、周辺影響がほとんどなく、建築面積が大きな建物に優先導入された結果である。表 12 に提案シナリオにおける区別の導入容量および比率を示す。産業施設の多い鶴見区に 19%、金沢区に 14%が導入されることになる一方で、住宅地は概ね 2 から 5%程度、業務集積地区である西区や南区は 1%未満となり、提案シナリオでは地域的な偏在が顕著である。

6. まとめ

本論文では用途と面積に関する建築属性、用途地域指定に関する地域属性を考慮して屋上設置型 PV システムの発電効率評価を行うとともに、横浜市内の太陽光発電利用ポテンシャルを評価した。また、設置容量別の導入費用に関する情報を用いて、横浜市内全建物の導入費用を推計し、経済効率性を考慮した導入推進方策に関する検討を行った。以下に得られた知見を記す。

- 1) 建物屋上の設置可能面積率の変動係数が 5%以下になるサンプリング数は 40 棟程度であり、これを属性別のサンプリング必要数と定義した。
- 2) 建物用途により設置可能面積率が異なり、運輸・工場施設と集合住宅が平均で 70%を超える一方で、商業施設や宿泊・娯楽施設は 50%を下回った。建築面積との関係については明確な相関性は認められなかった。
- 3) 地域区分別の日射減衰率に関して、業務集積地区では 10%程度の減衰がある一方で、住居地域や工業地域などでは影響が 2 から 3%程度と小さいことが示された。
- 4) 建物用途・面積に加えて用途地域の影響を考慮した単位建築面積あたりの発電量を建物属性別に求めた結果、発電効率の良い建物特性を抽出することができた。
- 5) 横浜市全域の年間太陽光発電利用可能量は約 4,600[GWh/year]と推計された。これは設置可能面積率と日射減衰率を考慮しない場合に比べて 41%低い値であった。
- 6) 横浜市の設置目標を達成する上で単位導入費用当たり発電量の大きな建物から優先導入した場合、設置建物数を 93%、導入費用を 10%抑えけるとともに、年間発電量を 4%増加させることが可能であることを示した。

きな建物から優先導入した場合、設置建物数を 93%、導入費用を 10%抑えけるとともに、年間発電量を 4%増加させることが可能であることを示した。

以上で述べたように、建物用途・面積に加えて地域に配慮することで経済効率性を考慮した屋上設置型 PV システムの導入方策を提案することが可能となった。小規模かつ発電効率の低い建物への導入を避けて効率性を高めることは、大規模な再生可能エネルギーの導入に向けた政策を将来的に展開する上で非常に重要な視点である。一方で、2030 年を目途に経済産業省が標準導入を推進している ZEH や ZEB を実現する上で小規模建物への PV システム導入は不可欠であり、BCP の実現や居住者の環境意識向上など多面的な効果も期待できることから、本研究で対象とした再生可能エネルギーの大規模導入とは別の観点で検討を進める必要がある。また、本研究の提案シナリオでは表 12 に示すように地域的な偏在が起こる結果となった。今後は配電系統の設置可能容量や逆潮流の最小化などに配慮した、電源配置計画の在り方について検討することが課題として位置づけられる。

注記

- 1) 参考文献 1 では PV システムの導入容量を 10kW 未満、50kW 未満、500kW 未満、1MW 未満、1MW 以上の 5 段階で区分しており、参考文献 1・9・10 から得た区間別導入コストについて、各区間の平均容量を基準に線形補間することで図 7 を作成した。

参考文献

- 1) 経済産業省：固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト、2015 年
- 2) 高田幸枝、他 2 名：周辺建物日影影響による太陽エネルギー利用効率の低下に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1395-1398、2009 年 9 月
- 3) 福井智浩、他 1 名：小型物販施設における周辺建物の影響を考慮した太陽光発電可能量の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1315-1316、2010 年 7 月
- 4) 小林祐二、他 4 名：GIS 空間データを活用する広域エリア内建築物の太陽光発電の推計手法に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集 II、pp.233-236、2013 年 3 月
- 5) 竹林英樹、他 5 名：屋上太陽エネルギー有効利用に関する研究 その 4 屋上利用の実態調査に基づく大阪市での試算結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.715-716、2013 年 8 月
- 6) 牧野公彦、他 2 名：中古分譲マンションへの太陽光発電の普及に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.705-706、2013 年 8 月
- 7) 横浜市：横浜市地球温暖化対策実行計画、2014 年
- 8) Fu, P., and P. M. Rich.: A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry, Computers and Electronics in Agriculture, 37, pp.25-35, 2002 年
- 9) 経済産業省：調達価格等算定委員会 第 16 回配布資料 資料 1 最新の再生可能エネルギー市場の動向について、2015 年 1 月
- 10) 経済産業省：平成 26 年度 調達価格及び調達機関に関する意見、2014 年 3 月

[2017 年 1 月 28 日原稿受理 2017 年 3 月 22 日採用決定]