

筑波キャンパスの特徴を生かした電力利用の提案

10 班

201320616 稲留雅子 201320624 笹圭樹 201320643 黄寅亮

アドバイザー教員 岡島敬一

1.はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災後の電力不足により、日本では節電に取り組むようになってきている。また、震災後にはエネルギー政策も変更され、原発依存、化石エネルギーから自然エネルギーへの転換が目標となっている。Fig.1を見ると、震災後2010年以降の推移より日本人の電力消費量が減少していることがわかる。

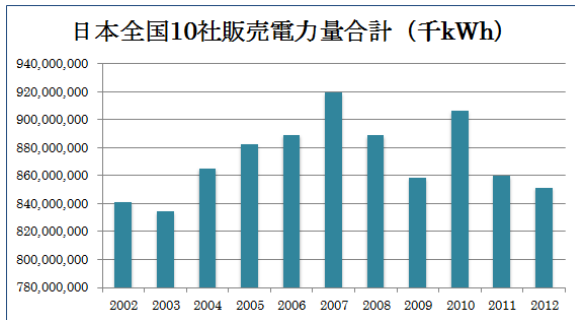


Fig.1 日本全国の電力消費量の推移[1]

一方、筑波大学でも2008年3月27日に「温室効果ガス排出抑制等のための実施計画」が提案された[2]。また、今年度には2012年度の電力消費量を10%削減することが節電目標であると定められた[3]。このように筑波大学でも省エネを試みているが、震災後はより一層電力消費量の削減に力を入れている。しかし、Fig.2をみると、昨年度より電力消費量の増加が見られるようになってきた。

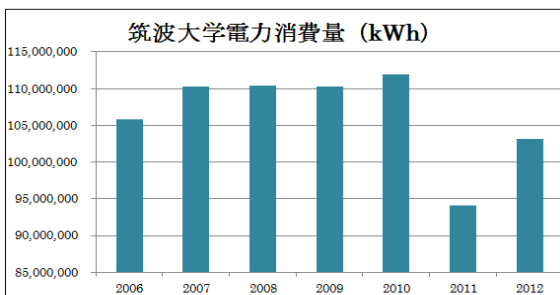


Fig.2 筑波大学の電力消費量の推移

以上のように、震災後の筑波大学の電力消費量は増加傾向にあり、ここでキャンパスの特徴を生かした効率の良い電力利用方法について考えた。筑波大学の電力消費を客観的に捉えるため他大学の電力消費と比べ、その結果より筑波キャンパスだからこそ可能である電力利用を提案する。2節では他大学の電力消費量と比較した予備調査の結果、3節では太陽光パネル（以下PVパネル）の設置仮定方法、4節ではPVパネル発電量推定方法、5節ではPVパネル発電量推定結果とそれに関する考察、6節にまとめと今後の見解を述べる。

2.予備調査

筑波大学の電力消費と他大学の電力消費の比較を行った。比較内容は、各大学の2011年度における電力消費量と学生数、延べ床面積、キャンパス面積の割合を算出した値である。これらのデータは、各大学の環境報告書、及び概要より得たものを用いた[4]。なお、比較対象大学は地方、都心、単科大学と隔たりのないよう選定し、グラフに示されていない大学のデータは調査によって得られなかったため考慮しないものとする。以下に予備調査の結果を示す。

①消費電力量と学生数の割合

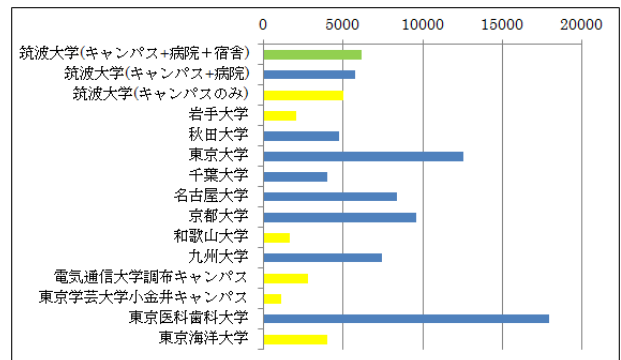


Fig.3 学生一人あたりの電力消費量 (kWh/人)

②消費電力量と延べ床面積の割合

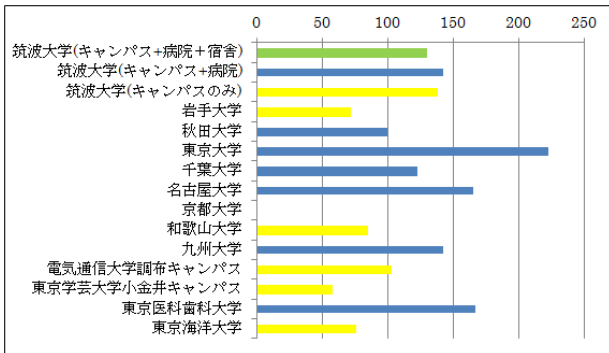


Fig.4 単位延べ床面積あたりの電力消費量 (kWh/m²)

③消費電力量とキャンパス面積の割合

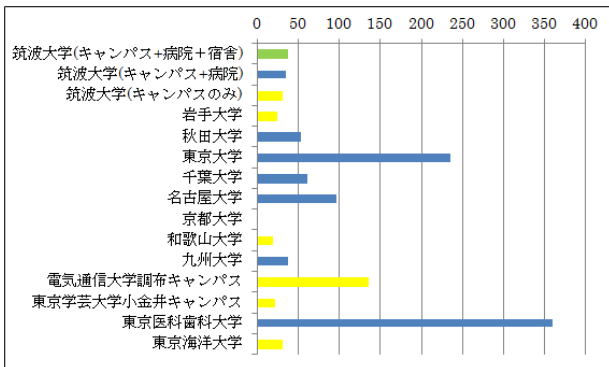


Fig.5 単位キャンパス面積あたりの電力消費量 (kWh/m²)

※緑：病院・学生寮有、青：病院有、黄：病院・学生寮無

①、②の結果 Fig.3、Fig.4 をみると、各大学と比較して筑波大学の値は平均的であるといえる。ところが Fig.5 に示す③の結果からは、筑波キャンパスの単位面積あたりの電力消費量が他大学と比較して明らかに小さいことがわかる。この結果から、筑波キャンパスの敷地面積の広さが特徴の一つであるといえる。つまり、建物や駐車場の数、面積が他大学と比べると大きいと考えられる。ここで、筑波キャンパスの広い敷地を生かした電力利用について PV パネルの設置を提案する。つまり広いキャンパスには建物も多く、駐車場も広いいため PV パネルの設置に適して

いると考えた。本研究では、筑波キャンパスの全建物と駐車場における PV パネルの設置を仮定し、発電量の推定とその結果から電力利用の可能性について考察した。

3.太陽光パネル設置仮定方法

本研究では、キャンパス内の全建物と駐車場において PV パネルの設置を仮定した。例として工学系学系 E 棟にパネルを設置する場合を Fig.6 および Fig.7 に示す。

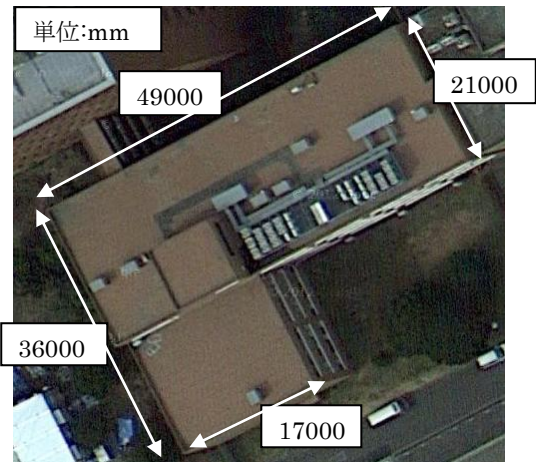


Fig.6 工学系学系 E 棟の航空写真 (Google Map より)

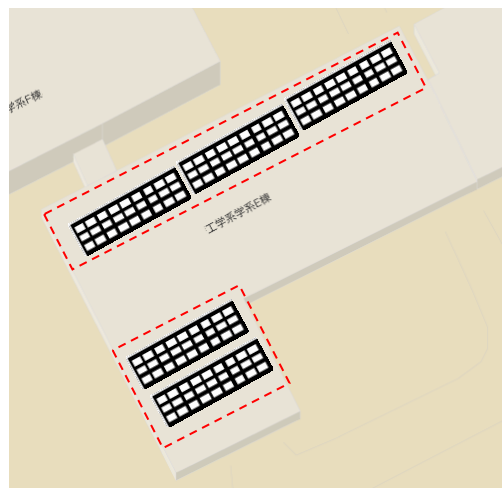


Fig.7 工学系学系 E 棟の PV パネル設置例

設置した PV パネルは以下のようなシステムとなった。また、この作業は全建物、全駐車場において行った。

太陽電池モジュール枚数：135枚（単結晶 Si）
 標準太陽電池アレイ出力：33.75kW
 太陽電池アレイの構成：3段9列×5基
 傾斜角度：10°
 方位角：0°

4.太陽光パネルの発電量推定

筑波キャンパスの全建物、全駐車場（日中日陰となっている駐車場は PV パネル設置に適切でないため除く）に PV パネルを設置した時の発電量を推定する。この時、PV パネルの発電量は以下の計算により求められる[5]。

$$E_{pm} = K \times P_{AS} \times H_{Am} / G_S$$

E_{pm} ：月間システム発電電力量(kWh-month⁻¹)

G_S ：標準試験条件における日射強度(kW・m⁻²)

月別総合設計係数 K の算出

$$K = K' \times K_{PT}$$

基本設計係数 K' の算出

$$K' = K_{HD} \times K_{PD} \times K_{PM} \times K_{PA} \times \eta_{INO}$$

温度補正係数の算出

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax} (T_{CR} - 25) / 100$$

α_{Pmax} ：最大出力温度係数(%/°C⁻¹)

月積算傾斜面日射量 H_{Am} の算出

$$H_{Am} = d \times H_S$$

H_S ：月平均日積算傾斜面日射量(kWh・m⁻²・d⁻¹)

d：その月の日数

加重平均太陽電池モジュール温度の算出

$$T_{CR} = T_{AV} + \Delta T$$

T_{CR} ：加重平均太陽電池モジュール温度

T_{AV} ：月平均温度

ΔT ：加重平均太陽電池モジュール温度上昇

これらの計算を経て月間システム発電電力量を求めることができる。Table1 にそれぞれの係数値を示す。

Table1 それぞれの係数値

補正係数名称	記号	補正係数値
日射量年変動補正係数	K_{HD}	0.97
経時変化補正係数	K_{PD}	0.95
アレイ回路補正係数	K_{PA}	0.97
アレイ負荷合補正係数	K_{PM}	0.94
連系形インバータエネルギー効率	η_{INO}	0.90
加重平均太陽電池モジュール温度上昇(°C)	ΔT	18.4
最大出力温度係数	α_{Pmax}	-0.40(%/°C)

前述した式より発電量を算出できるが、今回 PV パネルの発電量を求める際、NEDO による”大規模太陽光発電システム導入のための検討支援ツール”を用いた[6]。このツールを用いることで温度補正のみでなく風速データなどの基本情報や所内付加情報、配線条件情報を設定することができる。そのため計算式にて算出した場合よりも正確な結果が得られる。なお、支援ツール内のプログラムは上記の計算に基づいている。

5.太陽光パネルの発電量推定結果と考察

太陽光パネルによる節電目標達成可能性

筑波大学の 2013 年度の節電目標は昨年度の電力消費量を 10%削減することである。つまり 2012 年度の電力消費量約 81.7GWh (81,733,000kWh) の 10%である 8.17GWh 削減することになる。Fig.8 に、算出した筑波キャンパスにおける PV パネルの発電量推定月積算値を示す（医学エリアは除く）。PV パネルによって得られた発電量は約 18.8GWh (18,828,440.8kWh) であるため、これは 23%の削減となる。節電目標を大きく上回る結果となった。

電力料金について

本研究では、筑波キャンパスの全建物と駐車場における PV パネルの発電量を支援ツールにより推定をした。まず、筑波キャンパスにおける PV パネル発電量の月積算値を以下のグラフに示す。グラフはキャンパス内の全建物（医学エリアは除く）と全駐車場に PV パネルを設置した場合のものである。

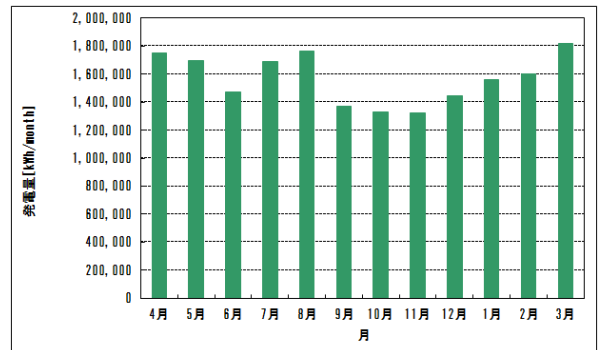


Fig.8 筑波キャンパスにおける PV パネルの発電量推定月積算値

Fig.8 の結果より、筑波キャンパスにおける年間発電量の積算値は約 18.8GWh (18,828,440.8kWh) となることがわかった。

ここで、筑波大学の 2012 年度の電気料金を調べたところ約 12 億 6700 万円、電力消費量は約 81.7GWh (81,733,000kWh) であった[7]。なお、この時の電力料金は 15.5 円/kWh で計算されている。よって筑波キャンパスの全建物、全駐車場に PV パネルを設置した場合、2012 年度の電力料金は約 2 億 9184 万円 (約 23%) ほど削減できる。

また、固定買取制度に関してふれると、10kW 以上の発電量を得られた場合、発電量の調達価格は 37.8 円/kWh と定められている (Fig.9)。仮に筑波大学で PV パネル発電量の固定買取制度を適用した場合、7 億 1171 万円と半分以上もの電力料金を削減することができる。



太陽光	10kW以上	10kW未満	10kW未満 (ダブル発電)
調達価格	37.8円(38円+税)	30円(税込)	31円(税込)
調達期間	20年間	10年間	10年間

Fig.9 買取価格と期間[8]

設置料金に関して

PV パネルの設置料金について考察した。ここで用いる PV パネルの単価を 31.5 万円/kW と想定すると、総設備費用は 53 億 8328 万円となる。この値は PV パネル導入による年間削減可能費用の約 18 年間分に相当する。設備費用回収の観点のみ考えると導入は難しいといえる。しかしながら、固定買取制度を採用した場合は 7 年 6 カ月分に相当し、このとき導入可能性は高まる。なお、これらの結果には維持管理費などを含まない。以上より、PV パネルを 7~18 年間利用し続けることで、設置費用を考慮した上での電力料金削減が期待できる。

1 日における電力利用について

次に、筑波大学の 1 日における電力消費量と、そのピーク値を PV パネルの発電量によってど

れほどカットできるか調査を行った。ピーク値カットの一例を示すため、2011 年度における最も気温の高い日、気温の低い日のデータを用いた。Fig.10 および Fig.11 に、夏期 7 月と冬期 1 月の電力消費量の 1 日における時間ごとの推移 (青)、発電量との差を取った値 (赤) を示す。なお、電力消費量の推移データは筑波大学の公式ホームページである TEMS より引用した[3]。

2012年7月27日(火) 気温35.6℃

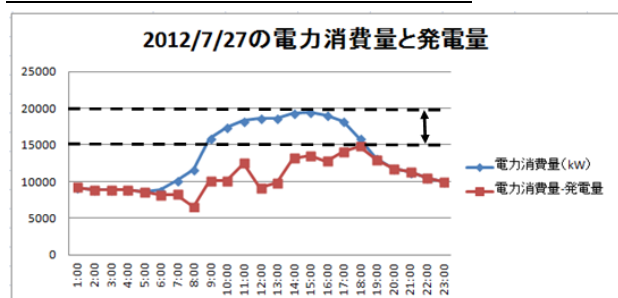


Fig.10 2012年7月27日における電力消費量と発電量

電力消費量ピーク値：19400kW (14:00~15:00)
(電量九消費量-発電量)ピーク値：14819kW(18:00~19:00)

2012年1月31日(火) 気温-8.1℃

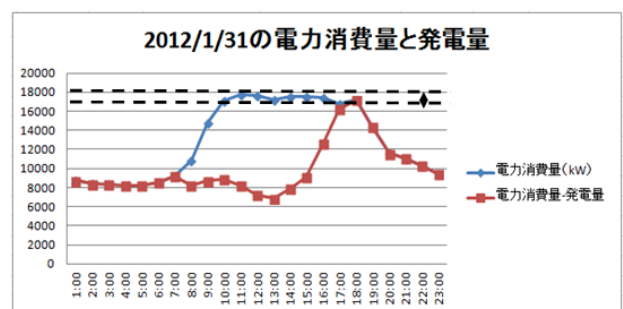


Fig.11 2012年1月31日における電力消費量と発電量

電力消費量ピーク値：17700kW (11:00~12:00)
(電量九消費量-発電量)ピーク値：17200kW(17:00~18:00)

赤のグラフは青のグラフと比べて値が大きく下回っていることがわかる。これは、パネルの

発電量により電力消費量がこれらの差分だけ削減できることを表している。また、ピーク値（図上の点線部）に注目すると7月27日の電力消費量ピーク値19400kWをPVパネルの発電量により4581kW（2点線間の差分）カットできる。これは電力使用量ピークの約24%に相当する。1月31日の電力消費量ピーク値17700kWも同様にすると500kW（約3%）カットできる。冬期は日没が早まるため夕方の削減効果が小さく、差分のピークが夕方に表れてしまう。ここから冬期よりも夏期におけるピークカット効果の方が大きいものだと考えられる。

筑波キャンパスにおける太陽光パネルの建物屋上設置可能面積

今回、筑波キャンパスの全建物にPVパネルを設置した場合について発電量の推定を行った。ここで、各エリアにある建物の屋上にどれほどの割合でPVパネルを設置する面積があるのか調査を行った。以下にその結果を示す。

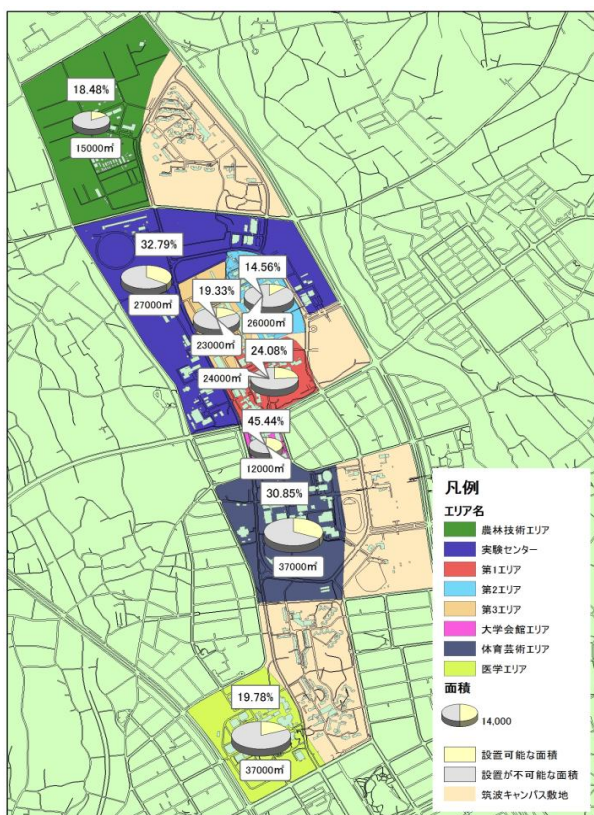


Fig.12 各エリアの建物屋上におけるPVパネルの設置可能面積

Fig.12を見ると、筑波キャンパスの建物の屋上にPVパネル設置可能な面積の割合は約20%~45%あることがわかる。なお、Table2に建物の屋上面積とPVパネル設置可能面積の表を示す。これより、キャンパスの全建物におけるPVパネル設置可能面積は約49386.48m²であることがわかった。

Table2 建物面積とPVパネル設置面積

地区	エリア	屋上面積(m ²)	PVパネル設置面積	PVパネル設置割合(%)
中地区	第一エリア	24000	5779.89	24.08
	第二エリア	26000	3758.54	14.46
	第三エリア	23000	4444.89	19.33
	実験センターエリア	27000	8753.50	32.42
南地区	大学会館エリア	12000	5390.69	44.92
	体育・芸術エリア	37000	11283.82	30.50
西地区	医学エリア	37000	7234.65	19.55
北地区	農林技術センター	15000	2740.50	18.27
合計		201000	49386.48	25.44

太陽光パネルの駐車場設置について

PVパネルを駐車場（全26カ所）に設置した時の年間発電量推定値はFig.13の結果より11.36GWh（11358636.5kWh）となった。また、筑波キャンパスの全建物の屋上にPVパネルを設置した時の年間発電量推定値はFig.13の結果より8.93GWh（8930936.9kWh）となった。よってPVパネルを駐車場に設置する方が多くの発電量を得られることがわかる。PVパネルを今まで通り建物の屋上に設置することに加えて、駐車場への設置は非常に有効である。

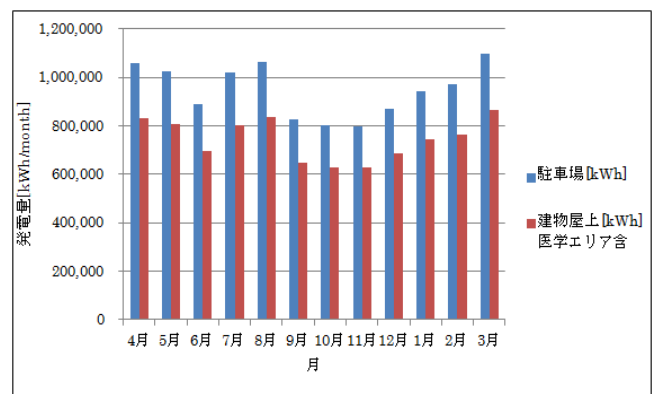


Fig.13 PVパネルの発電量推定月積算値
※赤：全建物、青：駐車場

また、太陽光発電システムの容量を標準太陽電池アレイ出力（太陽電池モジュールの最大出力の合計）で表し、以下の表に示す。これを見ると、PV パネルの全建物の屋上と全駐車場に設置した場合、7MW、9MW 以上と共に容量の大きなシステムとなる。

Table.3 キャンパス内標準太陽電池アレイ出力

	標準太陽電池アレイ出力 (kW)	年間発電量 (kWh)
全建物	7509.25	8930936.9
全駐車場	9580.54	11358636.5

6.まとめと今後の見解

本研究では筑波大学の特徴であるキャンパス面積の広さを生かした電力利用について、PV パネルの導入を提案した。PV パネルの発電量推定結果は 5 節の通りとなり、PV パネルの設置によって大学の節電目標を 2 倍上回る結果となった。さらに約 20% 以上の電気料金削減の可能性も期待できることがわかった。

今回発電量算出に用いた支援ツールは、平年データに基づいているが、指定した日時の気象データを直接用いて比較検討することが望ましい。このように、誤差を抑えた精度の高い結果を追求することが今後の課題といえる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ヒアリング調査にご協力して頂いた筑波大学施設環境課の方々に感謝致します。

参考文献

- [1] 電気事業連合会、“電力統計情報”：
<http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi>
- [2] 筑波大学、“筑波大学における温室効果ガス排出抑制のための実施計画”、平成 20 年 3 月 27 日(2008)、

- [3] 筑波大学、“筑波キャンパスの電力使用状況(TEMS)”：
<http://www.tsukuba.ac.jp/electricity/temsdigest.html>
- [4] 環境省、“もっと知りたい環境報告書”：
<http://www.env.go.jp/policy/envreport/>
- [5] 日本規格協会(2007)、“太陽光発電システムの発電電量推定方法”、JIS ハンドブック電子 II-2 オプトエレクトロニクス、pp.1144-1146(2007)
- [6] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、“大規模太陽光発電システム導入の手引書”：
<http://www.nedo.go.jp/library/mega-solar.html>
- [7] 筑波大学、“筑波大学施設管理 筑波大学施設管理の現状 -平成 24 年度版-”、p19(2013)
- [8] 経済産業省 資源エネルギー庁、“なっとく！再生可能エネルギー、買取価格・期間等”：
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kaku.html>