

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	風力・太陽光・燃料電池トリプル発電を積極活用する次世代型スマートシティモデルの構築とその最適化
研究者名※	西村 顕
所属組織※	三重大学大学院 工学研究科機械工学専攻 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2019 年度研究助成実施報告書

所属機関名

三重大学大学院

申請者氏名

西村 顕

研究課題	風力・太陽光・燃料電池トリプル発電を積極活用する次世代型スマートシティモデルの構築とその最適化
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本申請研究では、風力発電と太陽光発電の複合発電により電力供給すると共に、その余剰電力を利用して水電解水素製造して燃料電池発電することで風力発電と太陽光発電の複合発電で賄えない時間帯の電力需要に対応するエネルギーネットワークシステムの最適運転方法の確立を研究目的とする。電力供給先としてビルを想定し、そのビルの屋上や壁面もしくはその周囲にソーラーパネルと風車を設置して、電力供給する方法を提案する。本研究では、次の 2 つの課題に取り組んだ。【1.ビル風利用風力発電評価】ビルをノズル形状に配置すると風力発電量増加に資することが明らかになった。提案ビルモデルを福島市と津市に設置想定した場合、冬の方が夏よりも発電電力量は大きくなった。年間平均風速の主流向にビルモデルの開口部を向けてビル設計することが重要である。【2.ビル設置太陽光発電評価】提案する太陽光発電+燃料電池発電ビルモデルの最適世帯数は 16 であることが示された。世帯数 (x) とソーラーパネル設置面積当たりの自給率 (y) との間には $y = ax^b$ の関係式が成り立つ。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>本申請研究では、風力発電と太陽光発電の複合発電により電力供給すると共に、その余剰電力を利用して水電解水素製造して燃料電池発電することで風力発電と太陽光発電の複合発電で賄えない時間帯の電力需要に対応するエネルギーネットワークシステムの最適運転方法の確立を研究目的とする。電力供給先としてビルを想定し、そのビルの屋上や壁面もしくはその周囲にソーラーパネルと風車を設置して、電力供給する方法を提案する。ビル周囲では気流分布が生じるが、特に複数のビル群では強いビル風が吹く。そこで、ビルの寸法や配置を変化させ、ビル風を意図的に生じさせて、風力発電に利用する。また、ソーラーパネルは一般に 25℃以上の高温になると発電性能が低下するため、ビル風をソーラーパネルの冷却にも利用して、太陽光発電の発電特性を向上させる。風力発電と太陽光発電の発電特性とビルの電力需要特性とを比較することで、余剰電力を算出する。その余剰電力で水電解水素製造を行い、燃料電池発電するトリプル発電を提案し、評価する。</p> <p>ビルにソーラーパネルを設置したスマートビルに関する研究は主に海外で行われており、投資回収 (Ruhang, 2016) やライフサイクルコスト、エネルギーペイバックタイム (Tripathy <i>et al.</i>, 2016; Davi <i>et al.</i>, 2016) といったシステム評価から、モジュールの熱管理が太陽光発電特性に与える影響 (Rajoria <i>et al.</i>, 2016; Elsayed, 2016) を調査した熱的評価が報告されている。一方、ビル周囲の風速分布について乱流モデルなどを使用して数値解析で求めた研究も国内外でいくつか (Kose <i>et al.</i>, 2011; Yoshie, <i>et al.</i>, 2005; Nozu and Tamura, 1998) 報告例がある。それに対して、本申請研究のようなビルに直接もしくはビル周囲にソーラーパネルと風車を設置し、気象条件を考慮して風力発電と太陽光発電の発電量が最大になるように運転する方法や、さらにはビ</p>	

ルの電力需要に対応できない場合に水電解による水素変換・燃料電池発電で対応するシステムの有効性を評価した研究事例は国内外を通して未だなく、極めて独創的かつ先進的である。さらには、複数のビルを考慮した市街地レベルで気象条件を考慮した風力・太陽光発電の発電特性を数値解析的に求めることは、これまでに研究事例がなく、将来的なスマートシティ開発に資する先進的な取り組みである。本申請研究で得られた成果は、社会に適合した再生可能エネルギーサプライチェーンの構築につながり、増加するエネルギー需要に対応可能な低炭素化社会を実現する。また、来るべき化石燃料がひっ迫する時代に備えたスマートビルやスマートシティの構築が可能になることで次世代型社会インフラが整備され、エネルギー資源の乏しい我が国のセーフティーネットになると考える。

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

【1.ビル風利用風力発電評価】

ビル間を通過する風を積極的に活用してビル後流に設置した風車で発電するモデルを構築し、CFD (Computer Fluid Dynamics) で流体解析を行った。2つのビルをノズル状に配置し、そのビル間隔やビルの配置の仕方を工夫した。また、ビルへの流入風条件については、実際の気象データを利用し、福島市と津市に提案ビルモデルを設置した場合の風力発電量を、市販の風車のパワーカーブ (風速-発電量特性) を用いて算出した。その結果、以下の結論を得た。

(i) 提案ビルモデルのノズル角度を90度、135度、180度と変化させたところ、流入風角度が0度 (ノズル中心に正対した向き) の場合に、ビル後流の風車設置想定位置 $x/L = 1.25, 1.875, 2.50$ ($L = 16\text{m}$; ビル代表長さ) における加速風 (流入風速を上回る風速) が得られた。これにより、ビルをノズル形状に配置すると風力発電量増加に資することが明らかになった。

(ii) ノズルへの流入風角度を0度より大きくとると加速風は十分に得られなかった。

(iii) 提案ビルモデルを福島市と津市に設置想定した場合、冬の方が夏よりも発電電力量は大きくなった。風向は季節によって変動するため、年間平均風速の主方向にビルモデルの開口部を向けてビル設計することが重要であることが明らかになった。

【2.ビル設置太陽光発電評価】

ビル屋上にソーラーパネルを設置して太陽光発電にてビルの電力需要を賄うとともに、ビルの電力需要を上回る発電電力量が得られる季節や時間には水電解装置を利用して水素として貯蔵し、太陽光発電できない時間に燃料電池発電して電力供給するモデルを構築した。そして、東海地区の複数の都市 (名古屋市、豊田市、多治見市、高山市、大垣市、浜松市、静岡市) にこの提案ビルモデルを設置することを想定し、実際の気象データおよび電力需要データを利用して、太陽光発電+燃料電池発電の発電電力量と自給率を評価した。またその際にビルの高さ (世帯数) を変化させ、最適世帯数を調査した。その結果、以下の結論を得た。

(i) 検討した7都市いずれにおいてもビルの世帯数を16ないしは12とすると、年間の自給率が100%を上回ることが分かった。賄える世帯数は多い方が良いことから、提案する太陽光発電+燃料電池発電ビルモデルの最適世帯数は16であることが示された。

(ii) 年間自給率の観点から、検討7都市の中では浜松市が最も提案ビルモデル設置に好ましいことが明らかになった。

(iii) 世帯数 (x) とソーラーパネル設置面積当たりの自給率 (y) との間には $y = ax^b$ の関係式が成り立つことを導いた。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

1. Akira Nishimura, “Design of Smart Energy Supply to Utilize Renewable Energy Source Effectively”, Integrating Domain Knowledge for Managing Sustainable Energy, Nagpur (India), On-line, September 7-12, 2020.

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

今後の課題として、以下の3点が挙げられる。

- (i) 都市間で水素を融通して電力需要をカバーするスマートコミュニティの検討
- (ii) 評価都市を増やして異なる気象条件での評価を行い、提案モデルの一般化を図る
- (iii) 電力需要データの拡張（事務所，病院，スーパー， etc.）