

論文の内容の要旨

氏名：矢 田 麻 衣

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：都市部の住宅への分散型電源導入による電力自立型地域構築の可能性に関する研究

二酸化炭素の削減は現代社会における最も重要な課題の一つであり、平成 26 年に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、徹底した省エネルギー社会の実現が明記されている。一方、民生家庭部門のエネルギー消費は増加傾向にあり、2013 年では 1973 年の 2 倍となっており、全体に占める家庭部門の最終エネルギー消費の割合も 1973 年の 8.9%から 2013 年では 14.4%にまで増加している。また、2016 年 4 月からは電力が、2017 年 4 月からはガスが小売完全自由化となり、熾烈な価格競争が予想され、価格が安くなることによるエネルギー消費の増加が懸念されている。そのため、日本の温暖化ガス削減目標の達成には、民生家庭部門におけるエネルギー消費の削減が不可欠である。特に、東日本大震災以降火力発電が約 9 割を占める現状において、エネルギー源別消費割合の半分を電気が占める家庭部門における家庭用分散型電源の導入は温暖化対策の大きな柱といえる。

さらに、電力小売完全自由化後は電力会社に供給を任せきりではなく、需要家側において電力自立型住宅を目指し、停電時や災害時のバックアップ電源を備えることが重要になると考えられる。特に、都市部のように人口が多く住宅が密集した地域では、各家庭で発電した電力を非常時に地域内で融通し、災害に強い地域独立の可能性も考えられる。以上のことから、各家庭への家庭用分散型電源の導入は、二酸化炭素削減の観点のみならず、いざという時の安心を提供する役割も担う。

家庭用分散型電源の中でも太陽光発電については、固定価格買取制度（FIT）もあり着実に導入件数は増えているが、その数は住宅総数の 5.9%に留まっている。太陽光発電の大量導入は系統への負担・電圧の変動といったリスクを伴うが、蓄電池を併用した場合、系統負担を軽減させられると共に、住宅の電力自給率を著しく向上させることができるため、今後の普及拡大が期待される。しかしながら、家庭用燃料電池については 2015 年時点で 15 万台に留まっており、エネルギー基本計画の目標である 2020 年までに 140 万台、2030 年までに 530 万台導入するには、相当な普及努力が必要である。

そこで本研究では、電力自立型住宅の観点から、都市部の住宅における分散型電源の普及拡大を目指し、家庭用分散型電源の潜在導入可能性を明らかにすると共に、導入による電力削減効果を算定し、電力自立型地域構築の可能性を明らかにすることを目的とした。

第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的を述べ、既往研究における課題を抜き出し、本研究の位置づけを明らかにした。

第 2 章「実測データによる住宅用電力消費量の評価」では、電力消費量評価に影響を及ぼす要因と考えられる計測時間間隔に着目し、各時間間隔の特性と評価に対する影響を明らかにすることを目的とした。電力自立型住宅や地域を目指すためには、家庭用分散型電源の導入や需要側におけるデマンドコントロールが重要となり、住宅の電力消費量をより詳細に把握する必要があるため、実測調査を通して電力消費量評価を行った。

具体的には、関東地方の 5 世帯において 2013 年 9 月から 2014 年 8 月の 1 年間、1 分間隔で電力消費量を計測し、各世帯の電力消費特性を把握した。次に、1 分間隔のデータを 5 分、15 分、30 分、60 分間隔に換算し、各時間間隔の特性を明らかにした。その結果、5 分間隔では 1 分間隔に近い精度で電力消費量の変動を示せる結果となった。さらに、家庭用燃料電池をモデルに各時間間隔で導入効果を算定した結果、導入効果のシミュレーションで多用される 15 分間隔と 5 分間隔では、発電効率に最大 4%の差が開く結果となり、15 分間隔で導入効果を算定する際には留意する必要があることがわかった。これらの結果から、電力消費量を適切に把握するためには、時間間隔が重要なファクターであり、5 分間隔程度が住宅の電力消費量評価に適切であることを示した。

第 3 章「家庭用分散型電源の導入効果の検証」では、家庭用分散型電源の中でも特に導入に注意が必要である固体酸化物形燃料電池コージェネレーションシステム（SOFC）について、第 2 章の計測結果を用いて導入評価を行うと共に、太陽光発電について計測を行い、5 世帯が電力自立型住宅を目指した場合の適正導入容量を算出することを目的とした。

SOFCは機器特性上24時間運転を基本としており、電力負荷が小さく発電効率が低い状態でも稼働し続けるため、電力消費量が一日を通して比較的大きな住宅への導入が望ましい。そのため、第2章の5分間隔の電力消費量を用いてSOFCの導入効果について発電効率の観点から評価を行った。その結果、年間電力消費量が最も小さい世帯(232kWh/年)は発電効率が低い状態で稼働する時間が長く、導入に適さないが、その他の世帯については比較的高い発電効率で稼働し、特に年間電力消費量が最も多い世帯(8,132kWh/年)では1日を通して定格発電効率に近い状態で稼働し、SOFCの導入効果が高い結果となった。また、年間平均発電効率(μ)と年間電力消費量(x)の近似式を求めた結果、決定係数 $R^2=0.9$ の精度で直線近似できることが明らかとなった。

太陽光発電については1年間1分間隔で発電出力と発電量を計測し、計測結果を基に5世帯の適正容量を算出した。電力自立型住宅を目指すため、太陽光発電と共に蓄電池を導入し、発電した電気はなるべく自家消費することを前提とした。その結果、世帯Aは3kW、世帯Bは3kW、世帯Cは5kW、世帯Dは4kW、世帯Eは1kWとなった。

第4章「アンケート調査による住民の家庭用分散型電源導入意向と電力消費量の把握」では、省エネルギー意識や分散型電源の導入に対する住民の意向、将来の住み替え意向を調査し、分散型電源の普及可能性を明らかにすると共に、住宅の電力消費量の実態を地域レベルで把握することを目的とした。

具体的には、1都3県の住宅1,000件を対象に太陽光発電、家庭用燃料電池、および太陽熱温水器についてアンケート調査を実施し、各機器に対する認知度や関心度、導入意向等について分析を行った。さらに、各機器の普及可能性を探るべく、導入物件への住み替え意向について調査を行った。

アンケート調査への参加には、1年間の月別電力消費量を回答できることを条件としたため、比較的エネルギーや光熱費に関心がある層を前提としている。調査の結果、回答者属性は省エネルギーに対する関心が高く、世帯収入が平均以上であり、標準的な大きさの住宅に住んでいるため、比較的分散型電源が導入しやすい層であると考えられる。

これらの層では、80%以上が太陽光発電や家庭用燃料電池が導入された住宅に魅力があると感じており、理由として光熱費の削減による経済的メリットに加え、非常用電源としての防災メリットがあげられた。また、集合賃貸在住者の50%に住み替え意向があり、そのうち42%は住み替え先に集合賃貸を希望している。さらに、集合賃貸在住者の80%近くが分散型電源が導入された住宅に住み替えたいと考えているため、集合賃貸における分散型電源導入の需要がある可能性を示唆する結果となった。

さらに、都市における家庭用分散型電源の導入評価を行う際の基礎データとして、アンケート調査対象世帯の検針票により電力消費量を把握し、戸建てと集合住宅の月別パターンと年間電力消費量ヒストグラムを作成した。

第5章「家庭用分散型電源の導入による電力自立型地域構築の可能性」では、家庭用分散型電源の導入可能性と電力削減効果について地理情報(GIS)データを用いて可視化し、家庭用分散型電源導入による電力自立型地域構築の可能性について明らかにすることを目的とした。

具体的には、都市部における家庭用分散型電源導入のケーススタディとして、世田谷区を対象に戸建て住宅に太陽光発電とSOFCを導入した際の100メートルメッシュ単位の電力消費量削減効果の算定を行った。まず、第4章のアンケート調査で得られた1,000件分の年間電力消費量と延べ床面積から関係式を算出した。次に、世田谷区の建物を「戸建て住宅等」「集合住宅」及び「その他用途」に分類し、各用途別の延床面積をメッシュ毎に算出した後、関係式から各用途別の電力消費量をメッシュ毎に算出した。さらに、第3章の分散型電源導入評価結果と第4章の年間電力消費量ヒストグラムを用いて、SOFCと太陽光発電の導入による電力削減量を建物単位で算出した結果をメッシュ毎に合計し、電力削減効果を評価した。その結果、SOFCと太陽光発電の導入により、電力消費削減率が50%を超えるメッシュが全体の20%となった。それらは小中学校から200m以内の距離に点在しているため、小中学校を核とした電力自立型地域を構築し、非常時には電力消費を抑えることで地域への電力供給を行える可能性があることが明らかとなった。

第6章「結論」では、本研究の成果と社会的意義、および今後の課題について述べた。本研究の成果として、将来的に家庭用分散型電源が都市部の住宅に普及した場合、小中学校を核とした電力自立型地域構築の可能性があると明らかとなった。電力自立型地域構築において、時間間隔が電力消費評価に与える影響の検証、発電効率が出力により変動するSOFCの機器特性を考慮した導入指標の作成、将来の住み替え意向まで踏み込んだ分散型電源の導入に対する住民の意向調査、および家庭用分

分散型電源導入率について GIS データを活用した地域レベルでの分散型電源利用の可視化といった一連の評価と知見は、将来の分散型電源導入に関する検討手法を提示するものである。

今後の課題として、本研究では電力に着目した評価を行ったが、給湯等の熱需要を賄うガスの消費についても精査する必要がある。