

# 技術革新が街区ごとの スマートグリッド導入適性へ及ぼす影響

谷口 守<sup>1</sup>・落合 淳太<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 筑波大学大学院教授 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: s1120514@sk.tsukuba.ac.jp

街区スケールでの環境負荷低減の取り組みが重要視される中、エネルギーの地産地消の実現を可能とするスマートグリッドが注目を集めている。スマートグリッドを効率的に普及させていくためには、どのような特性を持つ場所でスマートグリッドを導入することが効果的かという議論が求められるが、そのような検討はまだ十分に行われているとは言えない。一方、スマートグリッドに関連した技術開発は国や企業等で積極的に行われるようになってきており、今後さらなる技術革新が期待できる。本研究では、そのような技術革新に着目し、技術革新がスマートグリッドの適性に与える影響度を分析し、街区特性とスマートグリッドの適性が将来的にどのような関係に可能性を明らかにした。

**Key Words :** smart grid, technological innovation, block scale, effect

## 1. はじめに

スマートグリッドとよばれる次世代送電網が低炭素社会実現の切り札として期待されている。低炭素化の取り組みは街区スケールで行うことが重要であるとされており<sup>1)</sup>、“エネルギーの地産地消”を可能とするスマートグリッドはそれに大きな役割を果たすことができる。さらに、今年3月に起きた東日本大震災に関連した原発などの問題により、今まで以上に再生エネルギーの安定供給が求められるようになってきている。

我が国では、経済産業省に次世代エネルギー・社会システム協議会<sup>2)</sup>が設置され、スマートグリッドに関連した技術開発の方針や制度についての議論などが行われている。その他にも、民間企業や大学などが連携してスマートグリッドに関連した実証実験<sup>3)</sup>を行うなど、様々なところで動きが活発化しており、今後もスマートグリッドに関する技術の開発は積極的に進められると考えられる。また、このような技術面の議論だけでなく、現在は特定の都市においてスマートグリッドを導入した場合のCO<sub>2</sub>削減効果を算出する研究<sup>4)</sup>が行われるなど、実際の都市の状況を考慮した検証も進められている。今後、我が国においてスマートグリッドを効率的に普及させていくためには、さらに実在する街区への導入を見据えた議

論が求められるようになるといえよう。

そのような議論を行う上で重要になってくるのが、スマートグリッドを既存の住宅地のどのような場所で導入していくことが効果的かということである。住宅地におけるスマートグリッドを構成する要素には太陽光パネルや電気自動車などが挙げられるが、太陽光パネルによって発電できる電力量や電気自動車の普及可能性、またその使い方が街区特性によって異なることが考えられる。このような状況を考慮した場合、スマートグリッドを導入する街区の特性によって導入した場合の効果が異なる可能性があるといえる。スマートグリッドを効率的に普及させるためには、どのような街区でスマートグリッドを導入すれば効果が最も得られるかということをも明らかにしておく必要がある<sup>5)</sup>。さらに、技術進歩が著しい現代において、そのようなスマートグリッド“導入適性”がどのように変化するかということも把握しておく必要があるが、まだそのような研究はなされていない。

過去から現在までどの程度技術革新が進んでいるかに着目してみると、例えば電気自動車については、先行研究において1993年に低公害車の適用可能性を分析した研究<sup>6)</sup>があり、そこで示されている電気自動車の価格は4人乗りで2000万となっている。現在、電気自動車の代表格である三菱i-MiEVが約450万<sup>7)</sup>であることから、約20年の

間に電気自動車の価格は約1/4にまでなっていることが分かる。技術革新は急速に進んで行くことを考えれば、技術の限界を考慮せず、将来の起こりうる状況を想定した分析が重要であるといえる。

このような背景のもと本研究では、全国のような様々な街区を対象に、個人レベルでの1日の電気自動車の利用状況や世帯での電力消費量、現在の技術レベルでの太陽光発電量を把握した上で、例えば太陽光発電の効率が上がり、各家庭での太陽光発電量が増えた場合やスマートグリッドの中で重要な役割を担うことになる蓄電池の容量が増えた場合など将来起こりうる技術革新を想定したシナリオ分析を行うことで、技術革新がスマートグリッド導入適性に与える影響度を分析し、どのような特性を持つ街区が将来的にスマートグリッドが適しているのかを明らかにする。

## 2. 使用データと分析対象街区

### (1) 使用データ

本研究では全国のような様々な都市の住民の暮らし方や交通行動にまで着目して分析を行うことから、平成17年全国都市交通特性調査を使用データとして選定した。この調査は都市の基礎的な交通特性を把握するとともに、全国の都市の交通特性を横断的、時系列的に比較分析し、今後の都市交通政策の展開方向を検討するための基礎資料を得る目的で行われている交通調査である。

また、本研究では全国の多種多様な街区を対象とし、その街区特性に着目して分析を行うことから、先行研究<sup>8)</sup>で提案されている住宅地タイプもデータとして使用する。住宅地タイプとはその住宅地の基礎的な情報から全国の住宅地を分類できるものであり、住宅地タイプの設定には全国PT調査に付随し調査されている住区特性データと、さらに独自に都市計画地図から読み取った土地利用規制の情報が使用され、約130分類されている。

### (2) 分析対象街区の概要

本研究では平成17年全国都市交通特性調査のデータの中から、住宅地タイプの設定に用いられている住区のデータのみを対象として使用する。

分析対象街区の選定には、分析を効率的に行うために、約130分類された住宅地タイプの中から実験計画法などを用いて23街区を選定した。選定には適性評価に影響を及ぼすと予測される圏域特性、用途規制、人口密度、駅からの距離を因子として街区を選択している。使った因子の中には間接的には交通行動や生活行動に関係する因子を含めており、街区特性から住民の暮らし方までを含めた議論が行えるようにした。分析対象街区の一覧を

表-1 分析対象街区一覧

圏域特性	番号	土地利用規制	人口密度	駅距離
I. 大都市圏中心都市 (政令指定都市あるいは人口100万人以上の都市)	I-a1	低層住宅専用地域90%~	~100人/ha	-
	I-a2	低層住宅専用地域60%~90%	~100人/ha	遠
	I-b1	中高層住宅専用地域90%~①	-	-
	I-b2	中高層住宅専用地域90%~②	-	-
	I-b3	中高層住宅専用地域90%~③	-	-
	I-c	住居地域60%~	150人/ha~	-
	I-e	市街化調整区域25%~50%	-	-
II. 大都市圏衛星都市 (三大都市圏属する都市で中心都市の条件を満たさない都市)	II-a1	低層住宅専用地域90%~	~100人/ha	遠
	II-a2	低層住宅専用地域90%~	100人/ha~	-
	II-b	中高層住宅専用地域90%~	-	近
	II-c	住居地域60%~	100人/ha~	-
III. 地方中心都市 (県庁所在地あるいは人口15万人以上の都市)	III-a	低層住宅専用地域60%~90%	50人/ha~	-
	III-b1	中高層住宅専用地域60%~90%	50人/ha~100人/ha	遠
	III-b2	中高層住宅専用地域60%~90%	~50人/ha	-
	III-c	住宅系混在	50人/ha~	-
	III-d	商業地域60%~	100人/ha~	-
	III-e	市街化調整区域50%~75%	~50人/ha	遠
IV. 地方都市 (三大都市圏以外の都市で中心都市の条件を満たさない都市)	IV-a	低層住宅専用地域60%~90%	50人/ha~	-
	IV-b	中高層住宅専用地域60%~90%	~50人/ha	-
	IV-c	住宅系混在	~50人/ha	近
	IV-d	商業地域60%~	50人/ha~	-
	IV-e	市街化調整区域75%~	-	遠

表-1 に示す。その都市が所属する圏域特性別に I ~ IV、用途規制別に低層住宅専用地域は a、中高層住宅専用地域は b、住居地域・混在地域は c、商業地域は d、市街化調整区域は e と表現している。なお、大都市圏中心都市における中高層住宅の用途地域指定が90%以上の街区だけは、街区によって実際に中高層住宅に住む世帯数比はかなりのばらつきがある事が既存研究<sup>9)</sup>より明らかにされている。このため、本研究では I - b に関してのみ、その中身をさらに3段階に分けて検討を加えた。

## 3. 電力需給状況の把握

本研究では、各家庭での太陽光発電量と家庭内消費電力量、電気自動車の利用量の3つによって電力需給状況を把握し、これをもとにスマートグリッドによる電力の有効活用に関する分析を行う。

まず、太陽光発電量に関しては全住宅に太陽光パネルがすでに普及しているという前提で発電量の算出を行う。発電量を算出するために必要な日射量は実際の日射量観測データである気象官署・アメダスにおけるデータベースを用いた。本研究は街区単位で分析を行うため、全国平均の値を使用している。また、居住している住宅が集合住宅の場合は戸建て住宅に比べて1世帯あたりの屋根面積が限られていることから、発電量を建物階数で除することとし、対象街区の現地調査を踏まえたデータベース<sup>8)</sup>を用いて建物階数を設定した。

家庭内消費電力量についても、算出には基本となる値として全国平均値を用いているが、居住者特性を反映するため、世帯人数別の電気代<sup>9)</sup>を利用して、家庭で使用する電力量を世帯人数に応じて調整を行っている。

スマートグリッドの中で蓄電池としての新たな役割が期待されている電気自動車については、平成17年全国都市交通特性調査における個人の平日運転データの1日合計走行距離やトリップ時間などのデータを用いて必要な電力量やそれを充電するために必要な時間、自宅で充電可能な時間帯などを把握した。しかし、電気自動車は走行可能距離が短いことや充電時間が必要であることから、自動車の使い方によっては電気自動車が適していない場合が考えられる。そこで、本研究では、本研究では1日の走行距離が100kmを超える車、1日のEV使用電力に対して充電時間が不足する車、の2つ判断基準を設け、これに該当すれば明らかに電気自動車が不適合であると判断し、それ以外の車はすべて電気自動車に置き換わったという前提のもとで分析を行う。電気自動車の現在の基本性能は環境省「低公害車ガイドマップ2009」<sup>7)</sup>を参考に設定を行った。

なお、今回設定した分前提条件のもとでの分析には限界があることに注意が必要である。特に今回は平均値を用いて分析を行うが、本来であれば長期データをもとに年間の変動も考慮した分析が望ましい。しかし、現在の我が国においてそのような長期データを全国的に得ることは困難であるといえる。したがって、本研究では全国かつ詳細な個人レベルでのデータを用いて分析を進めることとしたが、上記のような長期データによる検討は課題の一つである。

#### 4. 適性の評価方法と技術革新シナリオの設定

##### (1) 適性評価に用いる指標

適性を評価するためには、スマートグリッドの特長を踏まえる必要がある。その特長として挙げられるのが余

剰電力の活用である。ここでいう余剰電力とは太陽光発電量が家庭内消費量を上回り、家庭内で発電した電力を消費しきれない電力を指す。特に晴れの日の昼間などに太陽光パネルを設置した世帯では余剰電力を発生する場合がある。スマートグリッドを導入することで、この余剰電力を、例えば自宅にある電気自動車へ蓄電し、その電力を夜間使用する、といったように余剰電力を新たに活用することが可能となる。この特長を踏まえると、余剰電力をより活用できる街区の方が一般的にスマートグリッドに適しているといえる。このことから本研究では評価指標として「1世帯あたり余剰電力活用可能量（以下、活用可能量）」を使用する。

なお、活用可能量は3.で説明した前提をもとに1時間単位で各世帯の電力需給状況（太陽光発電量と家庭内消費電力量）と自動車の利用状況を1世帯一人ずつ把握し、余剰電力が発生する時間や電気自動車へ蓄電可能な時間、またその電力量などを分析し、算出を行った。各世帯で同じ計算を同時におこなうことを通じ、電力融通を通じた活用可能量を明らかにする。なお、今回の分析はあくまで潜在的な活用可能量を分析したものであり、実現可能性については検討の余地があることに注意が必要である。

##### (2) 技術革新シナリオの設定

ここでは、将来の技術革新シナリオを設定し、その概要を説明する。スマートグリッドを構成する要素としては太陽光パネル、電気自動車、蓄電池などが挙げられる。技術革新を想定する場合、それらの要素に関連する個々の技術に着目する必要がある。例えば、電気自動車の技術革新といっても、搭載された蓄電池の技術革新もあれば、効率化により使用する電力量が削減されることも技術革新である。このようなことを踏まえ、表-2に示すシナリオを設定した。選択したものはa)太陽光パネルの進化、b)EV走行効率化、c)充電速度高速化、d)EV蓄電池容量増加、e)家庭用蓄電池の普及<sup>10)</sup>の5つのシナリオで

表-2 技術革新シナリオの概要

シナリオ	概要
a) 太陽光パネルの進化	太陽光パネルが進化することで、発電効率が向上し、今までと同じ日射量で太陽光発電量が2倍になる。
b) EV走行効率化	走行効率(エネルギー効率)が上がることで、今までに必要としていた電力の1/2の量で同じ距離を走行可能になる。これによりEV走行可能距離も2倍になる。
c) 充電速度高速化	充電に使用する電圧が100Vから200Vに変化、蓄電池の進化による充電速度の上昇など今までと同じ充電時間で2倍の充電量を得ることが可能となる。
d) EV蓄電池容量増加	蓄電池のエネルギー密度向上により、今までと同じ大きさで容量が2倍の蓄電池がEVに搭載されることで、蓄電できる電力量や走行可能距離が2倍となる。
e) 家庭用蓄電池の普及	蓄電池の価格が下落することで、一家に1台家庭用の蓄電池を設置することが可能となる。設置される蓄電池は容量が6kWhのものとする。EVと違い蓄電できる時間の制約を受けない。

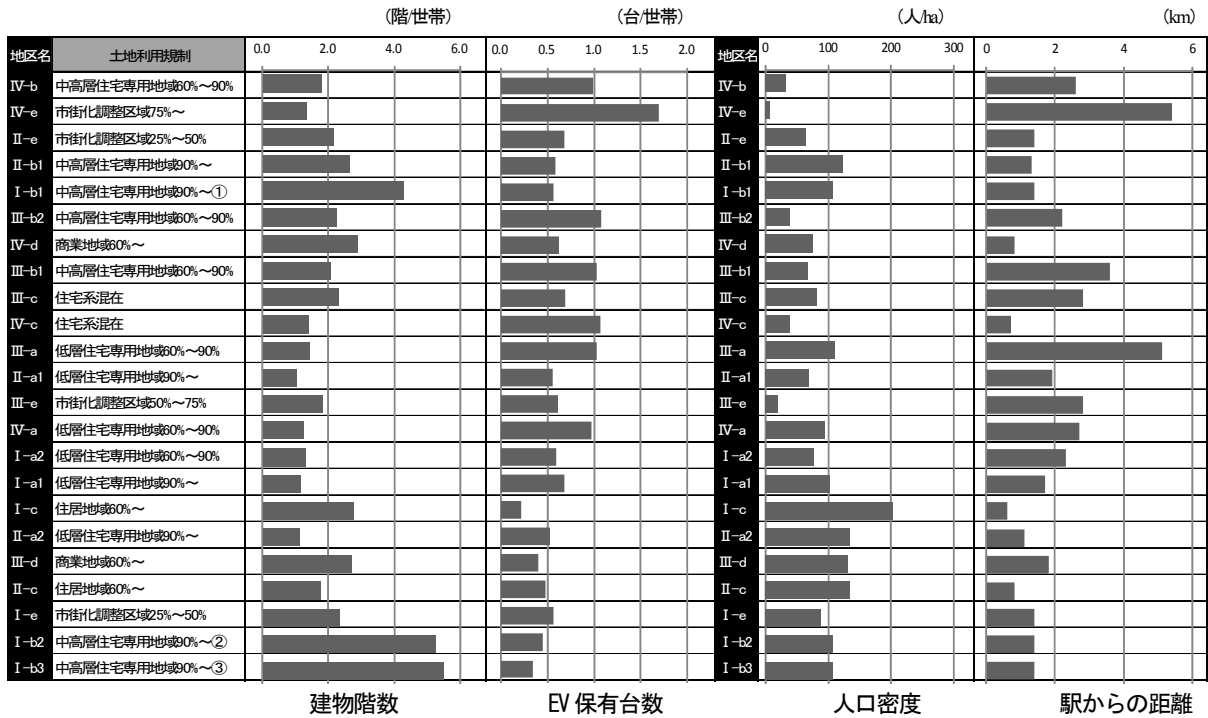


図-1 街区特性データ (平均)

ある。なお、今回行うシナリオ分析は、あくまで技術革新による感度を分析するものであるため、単純に各技術の性能が2倍向上した場合などを想定し、分析上用いている数値が変化すると仮定している。これら5つのシナリオをもとにスマートグリッドの導入適性への影響度を明らかにする。

## 5. 分析結果

まず、図-1に分析対象街区の街区特性一覧を示す。この図は技術革新前における活用可能量の算出結果をもとに、適性が高い順番に上から並べて表示している。平均建物階数など街区での実態データを示すことで、適性と実態の関連について詳細に検討を行うことが可能である。

### (1) 各シナリオにおける全街区平均の影響度

シナリオ別活用可能量の全街区平均増加率を図-2に示し、以下に考察を述べる。

- シナリオ別の増加率は各世帯に蓄電池が設置されるe)家庭用蓄電池の普及が最も大きく、次いでc)充電速度高速化、a)太陽光パネルの進化、b)EV走行効率化、d)EV蓄電池容量増加の順となっている。
- c)充電速度高速化に関しては、余剰電力が発生する限られた時間帯により多くの電力をEVに蓄電することが可能となり、e)家庭用蓄電池の普及を除く他のシナリオに比べて増加率が大きくなるという結果が出たと考えられる。

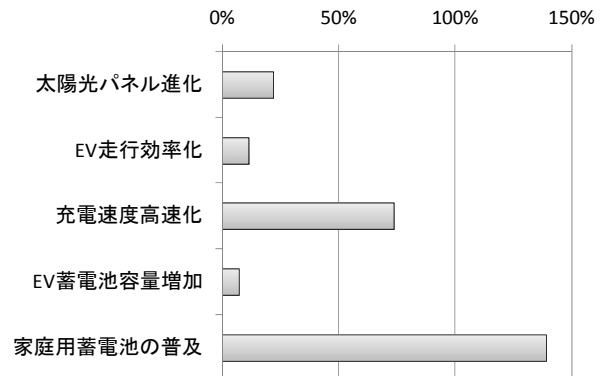


図-2 シナリオ別合計活用可能量の全街区平均増加率 (技術革新前比)

- 一方、d)EV蓄電池容量増加は増加率が小さく、このことから現在のEVの蓄電池容量(16kWh)でも余剰電力を蓄電するには十分な容量を有しているといえる。

### (2) シナリオの影響度と街区特性との関係

ここでは、活用可能量の増加率が高かったc)充電速度高速化とe)家庭用蓄電池の普及に着目し、考察を行う。それぞれの街區別活用可能量を図-3、図-4に示す。順番は先ほどと同じように、活用可能量が多かった街区を上から並べている。先ほど示した図-1とここで示す図-3、図-4をもとに、技術革新前と後での順位の変動や街区特性と増加量の関係を見ていく。

- 図-3では、上位を圏域特性が地方都市 (IV) であ

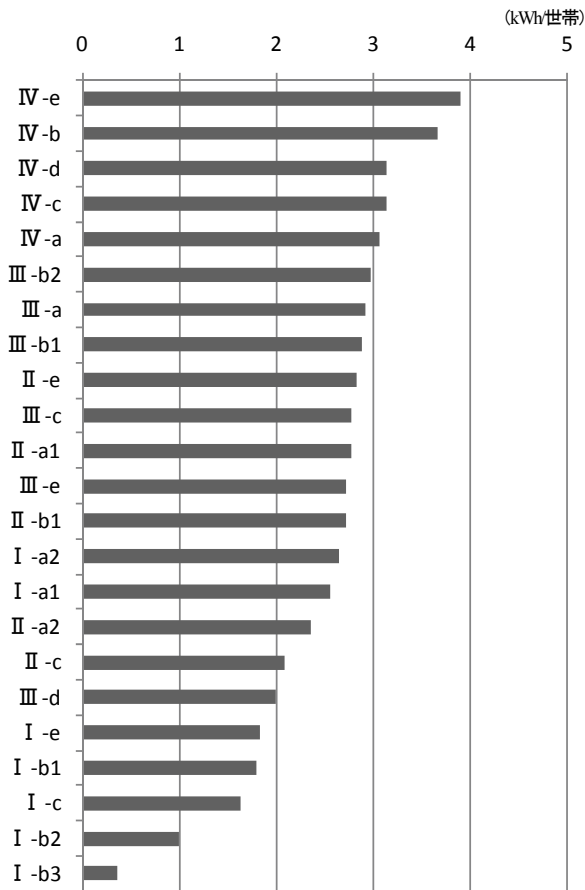


図3 充電速度高速化の場合の街区別活用可能量

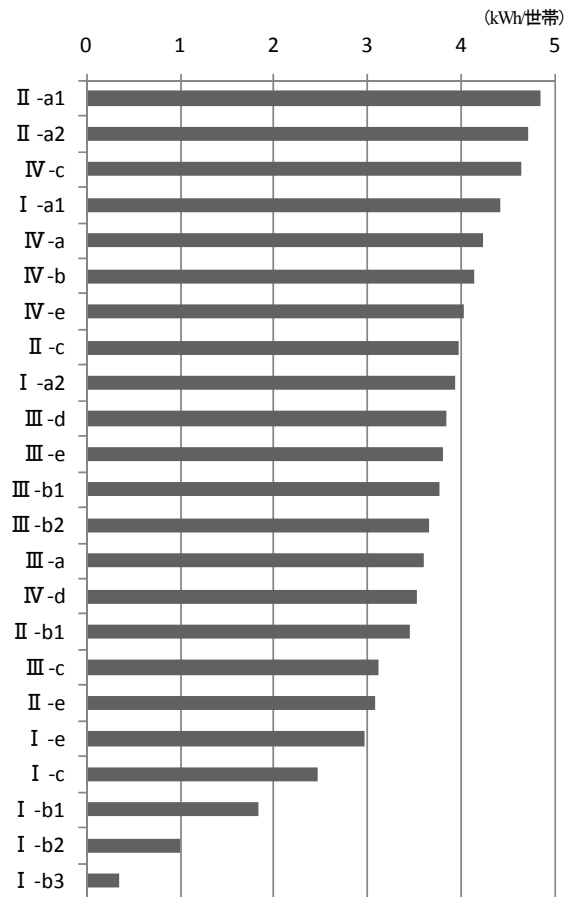


図4 家庭用蓄電池普及の場合の街区別活用可能量

る街区が、下位を圏域特性が大都市圏中心都市である街区が占めていることが分かる。地方の都市の方が大都市に比べ自動車保有率が高いことを考えると、その違いが結果に強く出ているといえる。

- 2) 図-1でも上記と同じように自動車保有率が高いほど適性が高いという傾向にあることが分かるが、図-3と比較するとc)充電速度高速化によってよりその傾向が強くなっていることが分かる。
- 3) 図-4では、用途規制が低層住宅専用地域 (a) である街区が大幅に順位を上げ、多くが上位に位置していることが分かる。特にII-a1やII-a2など低層住宅専用地域が90%以上の街区は大きく順位を上げている。このような街区は、1世帯当たりの太陽光発電量が多い分、余剰電力も多い。その余剰電力を自宅の家庭用蓄電池にためることが可能となったため、このような結果となったことが考えられる。
- 4) ただし、e)家庭用蓄電池の普及の場合は自宅で発電したものを自宅で蓄電するというように、エネルギーのやりとりが自己完結しているともいえ、街区スケールでスマート“グリッド”を形成する意

義が小さくなるとも言える。

- 5) この結果から、技術革新により今まで適性が低かった低層住宅が多い郊外の地域などの街区で適性が高くなることが明らかとなり、技術革新がもたらす効果が具体的に示された。

### (3) 用途規制別の平均活用可能量の変化

先ほどと同じように、活用可能量の増加率が高かったc)充電速度高速化とe)家庭用蓄電池の普及に着目し、技術革新前と後での用途規制別の平均活用可能量 (図-5) の変化をみることで、技術革新によるスマートグリッド導入適性変化を明確に把握する。以下に考察を述べる。

- 1) 技術革新前では、自動車保有率が高い市街化調整区域25%以上と戸建と住宅と集合住宅の間で電力をやり取りすることができる中高層住宅専用地域60%以上において活用可能量が多くなっていることが分かる。
- 2) c)充電速度高速化では、市街化調整区域25%以上が活用可能量が最も高いことには変わりはないが、中高層住宅専用地域60%以上の増加量が少なく、他の用途規制の方が活用可能量が高くなるという結

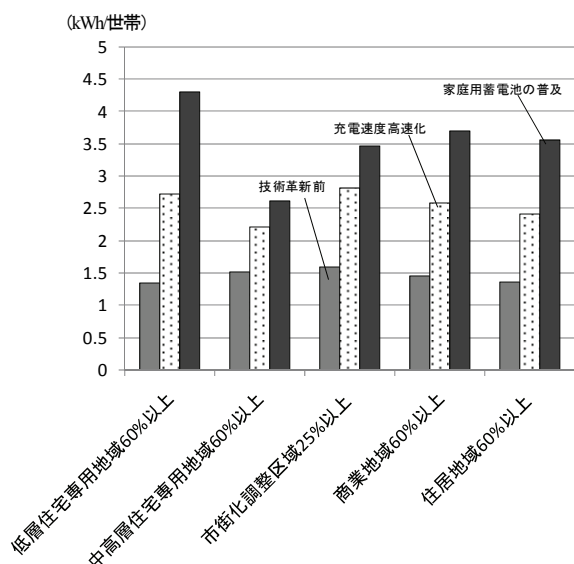


図5 用途規制別の平均活用可能量  
(技術革新前, 家庭用蓄電池の普及, 充電速度高速化)

果が出ている。

- 3) e)家庭用蓄電池の普及は、低層住宅専用地域60%以上が大幅に増加し、適性が最も高くなっていることが分かる。この結果はさきほど述べた通り、余剰電力量の多さが影響している。
- 4) c)充電速度高速化、e)家庭用蓄電池の普及とともに中高層住宅専用地域60%以上が最も適性が低くなっている。技術革新によって余剰電力を多く蓄電できるようになっても、中高層住宅専用地域は余剰電力量が少なく、活用できる電力量が最も限られていることが原因であると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、将来の技術革新を想定したシナリオを設け、それらがどのようにスマートグリッド導入適性に影響を与えるのかを街区特性などの観点から分析を行った。その結果、スマートグリッドをより有効に使うことを可能にするためには「EV充電速度高速化」と「家庭用蓄電池の普及」が効果的であることが示された。また、「EV充電速度高速化」は自動車保有率、「家庭用蓄電池の普及」は余剰電力量が関係し、それらの大小によって増加量が異なることが明らかとなった。さらに、技術革新前では多くの活用可能量が見込めず、スマートグリッドが適していなかった低層住宅が多い郊外の街区などでは、技術革新によって活用可能量が増加することで、

適性が高くなる可能性があることが示された。

今回の分析結果から、スマートグリッドによる環境負荷低減は、現在の都市計画において望ましいとされているコンパクトシティの考えとは真逆の都市構造を持つ場所で効果が高くなる可能性が示唆されたといえる。今後は、都市構造の集約化による環境負荷低減策とスマートグリッドによる環境負荷低減策の両者を組み合わせた議論が必要となってくるといえよう。

謝辞：最後になったが、本研究では国土交通省都市交通調査室が実施した全国都市交通特性調査のデータを活用する機会を得た。また、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤B, 課題番号22360202)の助成を得た。記して謝意を申す。

## 参考文献

- 1) 環境省 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会：中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿 地域GW, <http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-92/mat01-6.pdf>, 最終閲覧2011.05.
- 2) 経済産業省：次世代エネルギー・社会システム協議会, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/index.html>, 最終閲覧2011.05.
- 3) 東芝ホームページ：「次世代送配電系統最適制御技術実証事業」の実施について, [http://www.toshiba.co.jp/about/press/2010\\_05/pr\\_j2101.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2010_05/pr_j2101.htm), 最終閲覧2011.03.
- 4) 横井隆志・山本祐吾・東海明宏・盛岡通：低炭素都市の形成に向けた街区更新およびエネルギー計画の統合を支援するシステム開発, 土木学会論文集G, Vol.66, No.1, p.17-34, 2010.
- 5) 谷口守・落合淳太：住宅地からみたスマートグリッドの導入可能性, 「エネルギーの「やりくり」を考える」, 住宅, Vol.60, pp.43-48, 2011.
- 6) 石田東生・後藤正也・久保田雅人：自動車の運行状況からみた低公害車の適用可能性, 環境システム研究, Vol.21, pp.279-288, 1993.
- 7) 環境省：低公害車ガイドマップ2009, <http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2009/index.html>, 最終閲覧2011.5.
- 8) 谷口守・松中亮治・中道久美子：ありふれたまちかど図鑑—住宅地から考えるコンパクトなまちづくり—, 技報堂出版株式会社, 2007.
- 9) 統計局ホームページ：平成17年家計調査 世帯人員別電気代, <http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm> 最終閲覧 2011.5.
- 10) 資源エネルギー庁：蓄電池技術の現状と取り組みについて, 2009.

(?)