

## 地方都市における低エネルギー住生活実現のための調査研究

### —スマートグリッド構築のための基礎調査—

主査 竹林 芳久\*<sup>1</sup>

委員 岡 建雄\*<sup>2</sup>, 森野 仁夫\*<sup>3</sup>, 鈴木 道哉\*<sup>4</sup>

本研究は、地方都市の住生活の低エネルギー化に効果的な方法を明らかにすることを目的に、多賀城市の戸建住宅の交通エネルギーを含む消費エネルギーの実態を調査し、その結果に基づき、住宅断熱の強化、自家用車の電気自動車への変更、太陽光発電の採用による効果を定量的に算定したものである。それらの手法の採用によって、市内の戸建住宅のエネルギー消費を48%低減できることを明らかにした。また、この手法の中で最も効果的であった太陽光発電の課題である電力需要と発電量の時間的なギャップを解消するために電気自動車の蓄電池を利用する方法を検討し、年間で、時間的なギャップの74%を電気自動車の蓄電池で吸収できることを明らかにした。

**キーワード** : 1) 地方都市, 2) 住宅, 3) 省エネルギー, 4) 太陽光発電, 5) 電気自動車, 6) スマートグリッド

## RESEARCH PROJECT ON LOW ENERGY MEASURES FOR LIVING LIFE AND HOUSING DESIGN IN A LOCAL CITY

### —Basic Investigation for Design of Smart Grid System—

Ch. Yoshihisa Takebayashi

Mem. Tatsuo Oka, Kimio Morino, and Michiya Suzuki

This research project demonstrates the effective low energy measures for housing life in a local city in Tohoku district of Japan, Tagajyo. The more effective insulation measures, the shift to electric vehicles from conventional gasoline vehicles and installation of solar cells have been evaluated based on the survey of energy consumption of house operation as well as private cars. The result shows that it would be possible to reduce the energy consumption of detached houses in the city by 48% with these measures, in which the most effective measure was the installation of solar cells on the roof. Since there is the demand discordance between electricity generation by solar cells and electricity consumption by houses, the usage of electric vehicle batteries to store the excess electricity generated by solar cells has been evaluated. The result shows that 74% of the annual excess electricity can be utilized effectively by these electric vehicle batteries.

### 1. はじめに

#### 1.1 研究目的

住宅のエネルギー消費量は、生活の利便性や快適性を求めるライフスタイルへの変化、世帯数の増加に伴い増加を続けている。世帯当たりのエネルギー消費は、家電製品の大型化・多様化により増加傾向にある。さらにオール電化住宅の普及もあり住宅のエネルギー消費の50%以上を電気が占める<sup>文1)</sup>ようになった。2011年3月11日に東日本大震災が発生し、地震や津波による被害だけではなく、福島第一原子力発電所の事故に起因する原子力発電所の停止といった新たな問題を抱えることとなった。そのため東北地方の再生復興は、より安全な街づくりのみならず、省エネルギー化や再生可能エネルギーの利用など、低エネルギーで生活が成り立つ街づくりが求められており、住宅での省エネルギー、低エネルギー化が急務となっている。

本研究は、多賀城市の戸建住宅を対象に住宅及び交通エネルギーを含むエネルギー消費の実態調査を行った。

その結果に基づいた低エネルギー化策を立案し、その効果及び課題を明らかにするものである。

### 2. 調査の概要

#### 2.1 調査対象

一次調査の対象は、多賀城市の津波被害地域を除く7つの地区から無作為に抽出した戸建住宅である。二次調査は一次調査でアンケートの回答を得られた住宅を対象に行い、三次調査は、計測の了承を得られた住宅を対象とした。

#### 2.2 調査方法と内容

一次調査として、抽出した戸建住宅250件に対してアンケート調査を実施した。結果は有効回答数が109件、回答率が43.6%であった。住宅と交通の利用実態に重点を置いて調査を行った。一次調査の内容を表2-1に示す。二次調査は、一次調査においてアンケートの回答を得られた109件に追加のアンケート調査を行い、一次調査で

\*<sup>1</sup> 東北学院大学工学部環境建設科 教授

\*<sup>2</sup> 宇都宮大学 名誉教授

\*<sup>3</sup> 清水建設(株)技術研究所 主任研究員

\*<sup>4</sup> 清水建設(株)技術研究所 上席研究員

了承を得られた 14 件の住宅に対し訪問調査を行った。追加のアンケート調査の有効回答数は 36 件で、回答率は 33%であった。このアンケート調査では、住宅の熱的性能やエネルギー消費量及び自家用車の種類について調査を行った。さらに、三次調査の了承を得られた 4 件の住宅の時刻別電消費量を計測した。計測には中国計器工業株式会社の「省エネナビ ck-5」を使用した。二次調査の内容を表 2-2 に示す。

### 3. 一次調査結果

#### 3.1 住宅に関する調査結果

##### 1) 一戸当たりの居住人数

一戸当たりの居住人数は 4 人が最も多く、平均居住人数は 3.45 人であった。居住人数の分布を図 3-1 に示す。

##### 2) 住宅構造と階数

住宅構造と階数の割合を図 3-2 に示す。住宅の構造は、木造が最も多く 88%を占め、12%が鉄骨造という結果になった。鉄筋コンクリート造の住宅はなかった。階数は、二階建てが最も多く 92%、続いて平屋建てが 7%、三階建て以上の住宅が 1%という結果になった。

##### 3) 住宅の経年数

住宅の経年数は 10 年以下、10 年から 20 年の住宅が多く 27%、20 年から 30 年が 23%、31 年から 40 年が 17%、40 年以上の住宅が 6%という結果になった。平均経年数は 21.4 年であった。経年数の分布を図 3-3 に示す。

##### 4) 延床面積

住宅の延床面積は、150 m<sup>2</sup>を超える住宅が多く、次いで 111 m<sup>2</sup>から 120 m<sup>2</sup>、50 m<sup>2</sup>から 100 m<sup>2</sup>、131 m<sup>2</sup>から 140 m<sup>2</sup>となった。平均延床面積は 143.2 m<sup>2</sup>という結果となった。延床面積の分布を図 3-4 に示す。

#### 3.2 交通エネルギーに関する調査結果

##### 1) 自家用車の有無

自家用車は 94%の住宅で所有しているという結果になった。

##### 2) 所有台数

自家用車の所有台数は平均 1.73 台で、自家用車保有住宅のみでの平均は 1.85 台となり、一住宅に二台程度の自家用車を保有していることがわかった。

##### 3) 自家用車利用時間帯

自家用車の利用される時間帯は、平日は通勤通学の時間帯である朝 8 時、夜の 19 時にピークを迎える。土日は平日と比べ台数が少なく、朝夕のピークもないが、朝 6 時ころから増え始め 19 時以降減り始めるまで平均的に使用されているという結果になった。平日の時間帯使用台数を図 3-5 に示し、土日の時間帯使用台数を図 3-6 に示す。

表 2-1 一次調査の内容

<b>住宅</b>
居住人数, 住宅構造, 住宅規模, 築年数, 延床面積
<b>再生可能エネルギー</b>
太陽光発電設置の有無, 容量又は設置面積, 雨水利用の有無
<b>住宅設備</b>
エアコンの有無, 使用台数, 機器の種類, 設置場所, 機器容量, 設定温度, エアコン以外の使用機器, 給湯箇所, 給湯場所, 給湯方式, 給湯熱源
<b>交通</b>
自家用車所有の有無, 所有台数, 車種, 使用燃料, 主な使用者, 燃料消費量, 公共交通の利用実態

表 2-2 二次調査の内容

<b>断熱の仕様</b>
断熱材の種類・厚さ, 窓の種類
<b>再生可能エネルギー</b>
太陽光発電取り付けの意識
<b>屋根</b>
屋根の面積, 南面の面積
<b>エネルギー消費量</b>
電力, ガス, 水道, 灯油, ガソリン
<b>交通</b>
自家用車の種類

##### 4) 自家用車の燃料消費量

自家用車一台当たり一か月の燃料消費量は 110 から 200 が最も多く 23%を占めた。消費量が 1000 を超えたものが 8%あった。一台当たりの一か月の平均燃料消費量は 52.30 となり、一住宅当たりの一か月の平均燃料消費量は 94.80 となった。燃料消費量の分布を図 3-7 に示す。

##### 5) 公共交通機関の利用状況

電車、バスの利用状況を調査した。電車を利用する住宅は 42%となり、利用者で最も多いのは世帯主の子供であった。利用目的では通勤通学が 80%と最も多かった。バスを利用する住宅は 7%と電車に比べて低くなっている。電車と同じくバスも世帯主の子供が最も多く利用しており利用者の 67%を占めていた。また利用目的も電車と同じく通勤通学に使う場合が最も多く 67%をであった。各利用割合を図 3-8 に示す。

#### 3.3 住宅設備に関する調査結果

##### 1) ルームエアコンの利用状況

ルームエアコンの利用状況は、83%の住宅で使用しているが、17%は利用していないと回答した。利用している住宅の利用台数は一住戸当たり平均 2.17 台であった。使用しているエアコンは冷暖房兼用が 87%を占めてお

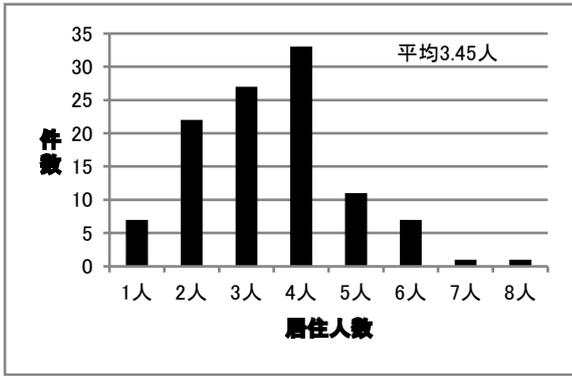


図3-1 一戸当たりの居住人数

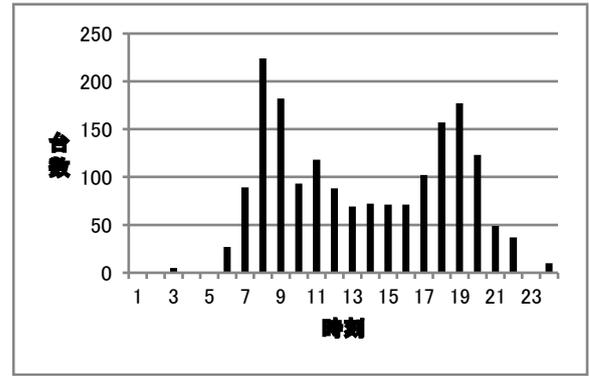


図3-5 平日の時間帯使用台数

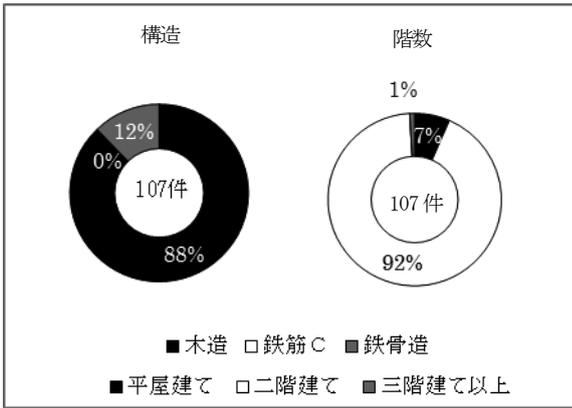


図3-2 住宅構造と階数

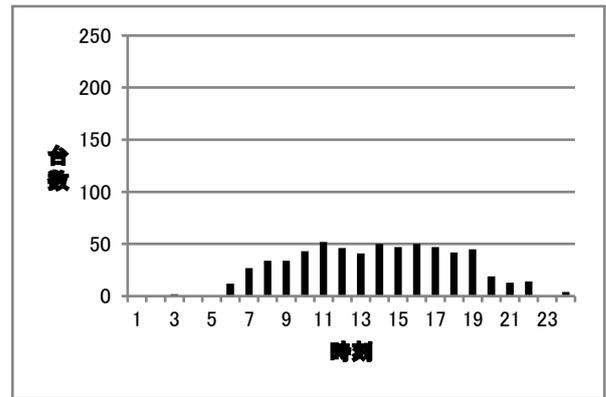


図3-6 土日の時間帯使用台数

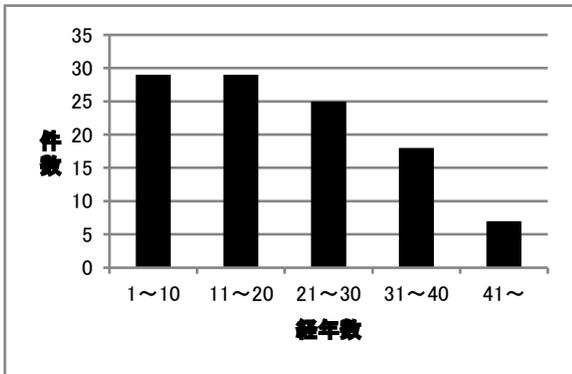


図3-3 住宅の経年数

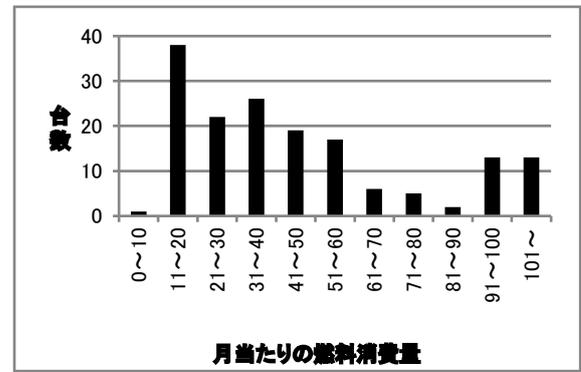


図3-7 燃料消費料の分布

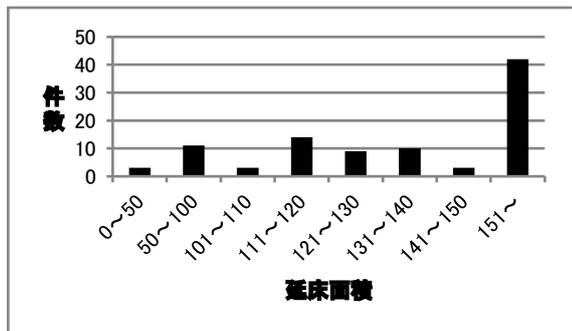


図3-4 住宅の延床面積

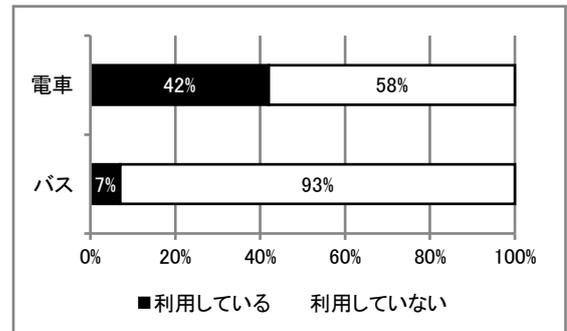


図3-8 電車とバスの各利用割合

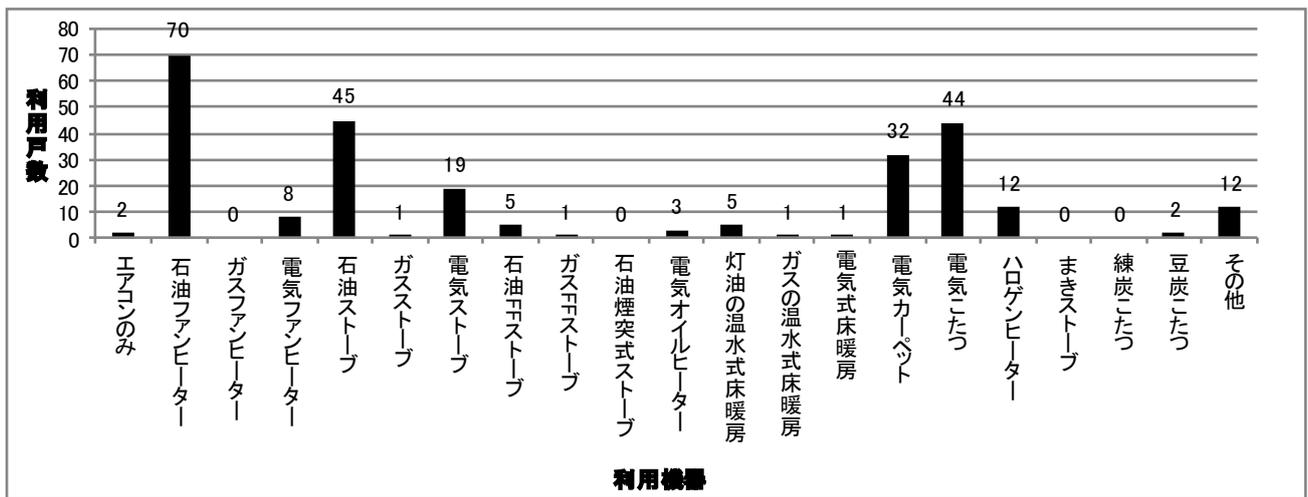


図3-9 エアコン以外の使用暖房機器

り、そのうち暖房にも使用している住宅は57%であった。

#### 2) 暖房機器の利用状況

エアコン以外に利用されている暖房機器の利用状況を図3-9に示す。エアコンを所有していても暖房に利用していない住宅が43%いることから、暖房はエアコンとの併用又はエアコン以外の機器を利用している住宅が多いことがわかる。

#### 3) 給湯方式

給湯方式は、集中方式が92%、個別方式が8%という結果になった。

#### 4) 給湯熱源

給湯熱源はガスが35%、灯油が31%、電気が32%と大きく三つに分けられた。太陽熱を併用している住宅が2%あった。結果を図3-10に示す。

#### 5) 給湯箇所

給湯箇所は、台所、洗面所、風呂の三か所が多かったが、台所などが二か所以上あり四か所以上給湯している住宅が20%あった。

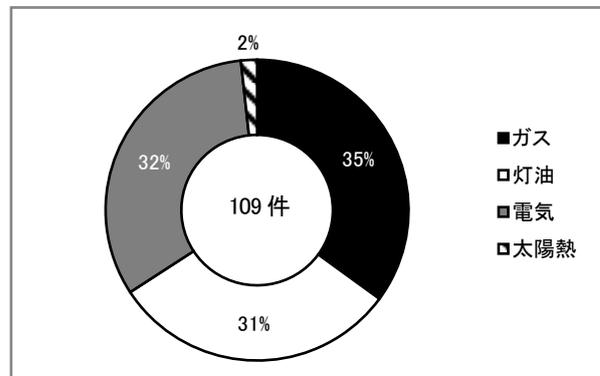


図3-10 給湯熱源別割合

### 3.4 再生可能エネルギーに関する調査結果

#### 1) 太陽光発電設置状況

太陽光発電を設置している住宅の割合は6%で、平成24年度末の宮城県の太陽光発電システム普及率の4.4%を上回った。設置住宅における太陽光発電の平均容量は3.57kWhであった。

#### 2) 雨水利用状況

雨水を貯留し、利用している住宅は10%という結果になった。いずれも雨どいから雨水を溜め、庭への散水、自家用車の洗車時に使用していた。

### 4. 二次調査結果

#### 4.1 住宅に関する調査結果

##### 1) 断熱の仕様

天井・屋根、外壁、床の三部位について断熱材の有無と断熱材の仕様について調査し、さらに窓の仕様についても調査を行った。天井・屋根は74%の住宅で断熱材が入っており、外壁では86%、床は64%の住宅で断熱材が入っている結果となった。使用されている断熱材は天井・屋根、外壁はグラスウールが最も多く、床は押出発泡ポリスチレンが多い結果となった。使用されている窓はシングルガラスが最も多く53%を占めており、続いてペアガラスが29%、二重サッシが18%という結果になった。各部位の熱貫流率の計算結果<sup>文2)</sup>と築年数との関係を図4-1、図4-2、図4-3に示す。省エネ法が施工された1979年以降に建てられた住宅は熱貫流率が低い結果になった。

##### 2) 屋根の面積

利用可能な雨水量や太陽光発電の設置可能面積を明らかにするため住宅の屋根の面積を図面等で調査した。屋根面積の平均は110㎡となり、南面の屋根面積の平均は49.5㎡であった。南面面積は延床面積の約32%に相当する。

##### 3) 太陽光発電取り付けの意識調査

訪問調査を実施した住宅において、太陽光発電の設置

を考えているのか調査したところ、考えていないと回答したのが半数の7件で、考えている、又は考えているがコストが問題であると回答したのが5件、以前設置していたが外したと回答した住宅が2件あった。取り外した理由としては、発電効率が悪かったとの回答を得た。太陽光発電が普及していくためには、性能の向上とコストの削減が必要と考えられる。

#### 4.2 消費エネルギーに関する調査結果

##### 1) 年間のエネルギー消費量

訪問調査によるヒアリング、追加アンケート調査によって調査を行った。交通エネルギーは自家用車のみとし一次調査も含めた結果とする。エネルギー消費量について回答を得られた全住宅とそれを給湯熱源種類別に分けた場合で表4-1に示すように、一住戸当たりの一次エネルギー消費量<sup>※3)</sup>を算出した。ガソリンは、どの場合も一次調査を含め算出した一住戸当たりのガソリンの一次エネルギー消費量としている。図4-4に給湯熱源種類別の一次エネルギー消費割合を示した。給湯熱源別に一次エネルギー消費量を見ると、熱源が電気の場合、オール電化住宅を含むので一次エネルギー消費量に占める電気の割合が60%を超えている。熱源がガス、灯油の場合も電気が最も大きい値となっていることから、住宅の低エネルギー化において電力消費量の削減が重要であることがわかる。また、交通による一次エネルギー消費量がどの熱源でも30%程度を占めていることから、交通エネルギーの削減も重要であると考えられる。

#### 4.3 自家用車に関する調査結果

##### 1) ハイブリット自動車の割合

自家用車の種類について調査したところ、ハイブリット車の割合は6%となり、電気自動車は0%であった。

#### 5. 三次調査

##### 5.1 時刻別電力量消費量に関する調査結果

##### 1) 給湯熱源が電気の住宅の時刻別電力消費量

給湯熱源が電気の住宅の時刻別電力量を図5-1に示す。図をから朝、夜の二回ピークを迎えているのが見て取れる。朝、夜に大きく電力を消費しているのはこの住宅は調理にも電気を使用しているからと考えられる。また冬季は、暖房に電力を使用していることから夏季に比べて大きな値になっていると考えられる。

##### 2) 給湯熱源がガス又は灯油の住宅の時刻別電力消費量

給湯熱源がガス又は灯油の住宅の時刻別電力消費量を図5-2に示す。給湯熱源が電気の住宅と比べ大きい変動は見られないが、夏季は起床時間帯から徐々に上がり始め、夜間にピークを迎えている。これは仕事から帰宅後各々の部屋で過ごすためと考えられる。冬季は起床時間帯に

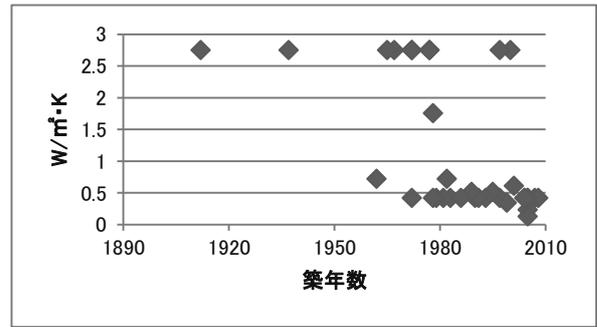


図4-1 天井の熱貫流率と築年数

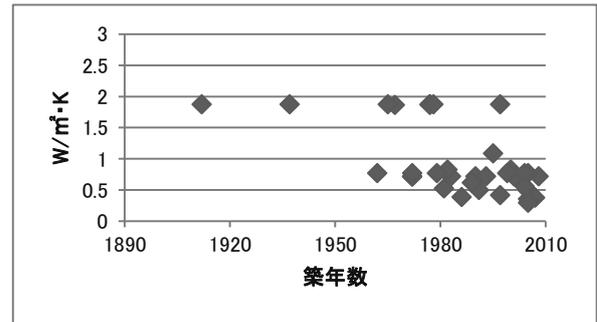


図4-2 外壁の熱貫流率と築年数

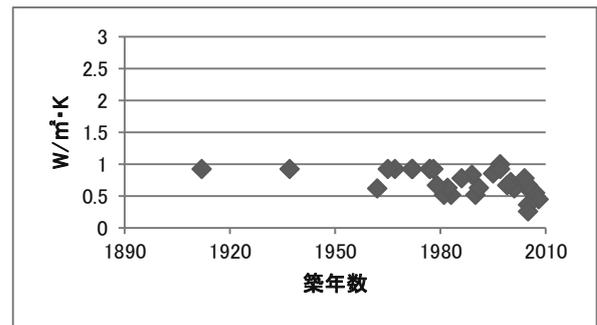


図4-3 床の熱貫流率と築年数

表4-1 調査結果に基づく一住戸当たりの一次エネルギー消費量(MJ)

項目	調査全体	給湯熱源種類		
		電気	ガス	灯油
電気	70,611	96,303	55,495	52,519
ガス	12,355	1,244	28,474	5,413
水道	3,429	5,045	2,486	2,083
灯油	25,462	9,527	28,869	47,542
ガソリン	46,819	46,819	46,819	46,819
合計	158,676	158,938	162,142	154,375

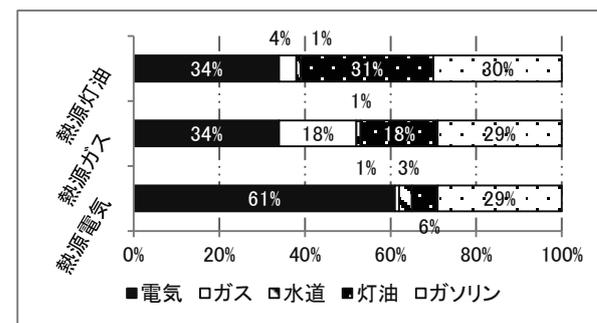


図4-4 給湯熱源種類別一住戸当たりのエネルギー消費割合

暖房による一度目のピークを迎え、夜間に各々の部屋で過ごすことと暖房によって二度目のピークを迎えていると考えられる。

## 6. 多賀城市戸建住宅の消費エネルギーの推定

### 6.1 推定条件

多賀城市の戸建住宅の総数は平成20年度住宅・土地統計調査結果に基づき11,560件とする。一次調査結果から多賀城市の戸建住宅は給湯熱源が電気、ガス、灯油に三分されることが明らかになっているため、全戸建住宅の35%がガス、33%が電気、32%が灯油であるとし、二次調査で給湯熱源別に求めたエネルギー消費量を基に多賀城市の全戸建住宅のエネルギー消費量を推定した。

### 6.2 推定結果

推定の結果、多賀城市全戸建住宅の年間の一次エネルギー消費量は、電気が786,183GJ、ガスが139,97GJ、水道が37,007GJ、灯油が329,014GJ、ガソリンが541,225GJ、総一次エネルギー消費量が1,833,406GJとなった。その割合を図6-1に示す。

## 7. 低エネルギー化の検討

### 7.1 低エネルギー化方法

低エネルギー化の方法として、断熱性能の強化、雨水の利用、太陽光発電の採用、電気自動車の採用について検討することとした。断熱性能を強化することで冬季の暖房負荷を低減させ、雨水は貯留・簡易濾過し、住宅で使う水の28%を占めるトイレの洗浄水<sup>文4)</sup>として利用する。太陽光発電で電力消費量を低減させ、自家用車のすべてを電気自動車に変更することで交通エネルギーの低減を図る。

### 7.2 住宅の断熱性能の強化

二次調査結果における各部位の熱貫流率のグラフから、1979年以降に建てられた戸建住宅は熱貫流率が低いことが分かる。そのため、断熱性能の強化は1979年以前に建てられた戸建住宅を対象に次世代省エネルギー基準の内容で行うこととした。一次調査の結果から1979年以前に建てられた戸建住宅の割合は21%である。シミュレーションの結果、暖房負荷削減率は24%という結果となった。宮城県の一世代当たりの暖房にかかるエネルギー<sup>文5)</sup>は17,779MJ/年を用いた。結果は、一住宅当たり4,267MJ/年の削減量となり、全ての1979年以前に建てられた戸建住宅での削減量は10,408GJ/年となった。

### 7.3 再生可能エネルギーの採用

#### 1) 雨水の利用

屋根に降った雨水を貯留・簡易濾過しトイレの洗浄水

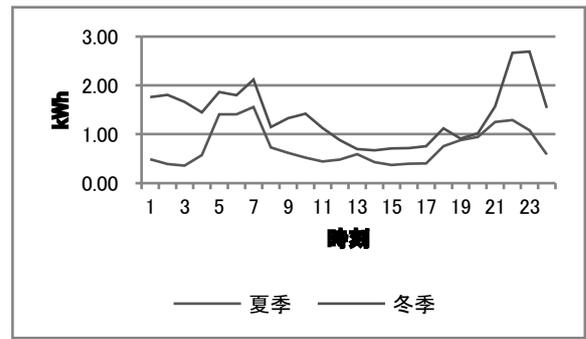


図5-1 熱源が電気の夏季、冬季の時刻別電力消費量

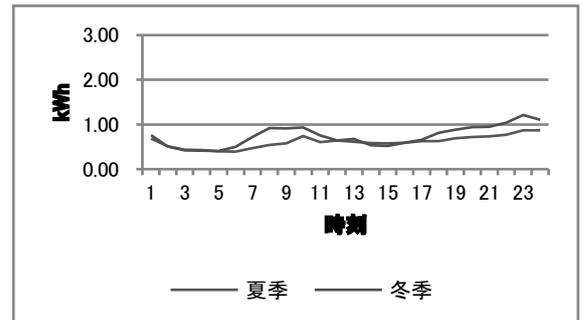


図5-2 熱源がガス又は灯油の夏季、冬季の時刻別電力消費量

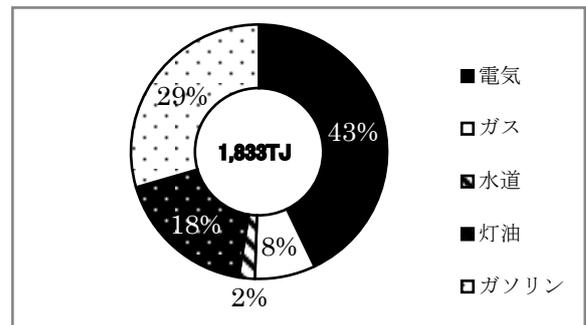


図6-1 多賀城市全戸建住宅の一次エネルギー消費割合

として利用するものとした。降水量は気象庁の気象統計情報より2012年宮城県塩釜市のデータ<sup>文6)</sup>を用い、屋根の面積は二次調査の結果を用いた。年間の降水量は1,049mmであり、その利用可能雨水量は、109.7m<sup>3</sup>となった。二次調査結果の多賀城市の一住宅当たりの水道使用量403.4m<sup>3</sup>の27%に当たり、トイレ洗浄水が水道使用量の28%の113m<sup>3</sup>とすれば、利用可能雨水量は97%に相当する。また、上水1m<sup>3</sup>当たりの一次エネルギー消費量<sup>文7)</sup>は4.5MJであるので一住宅当たり494MJ/年の削減量となり、多賀城市全戸建住宅では、5,706GJ/年の削減量となる。

#### 2) 太陽光発電の設置

一次調査結果から、すでに全戸建住宅の6%で太陽光発電が設置されているものとした。日射量のデータは宮城県塩釜市のもの<sup>文8)</sup>を使用した。結晶型140W/m<sup>2</sup>の電池モジュールを用いることとした。屋根の南面に設置した場

合の面積は、一次調査、二次調査の結果から45.8㎡となった。太陽光発電の発電量を推定した結果、多賀城市全戸建住宅では68,628,908kWh/年となり、一次エネルギー量にして684,230GJ/年となる。この一次エネルギー量は、推定した多賀城市全戸建住宅の電気の一次エネルギー消費量の87%に当たる量となる。

#### 7.4 電気自動車の利用

一次調査の結果から、多賀城市全戸建住宅での自家用車保有数は20,103台であり、一台当たりの燃料消費量は6840 /年である。そのため多賀城市全戸建住宅の燃料消費量は13,750,3430 /年となり、一次エネルギー消費量にして、475,762GJとなった。一次調査と国土交通省の自動車燃費一覧の燃費値<sup>9)</sup>に基づいて計算した自家用車の平均燃費18.40 /kmを用いて年間の走行距離を推定すると260,761,496kmであった。

自家用車がすべてガソリン車から電気自動車に変更された場合の一次エネルギー削減量を推定する。電気自動車は日産自動車のリーフ相当とする。年間走行距離を電気自動車「日産リーフ」で走行した場合の電力消費量を交流電力消費率114Wh/km<sup>10)</sup>を用いて計算すると29,726,811kWhである。一次エネルギー量にすると296,376GJである。そのため、一次エネルギー削減量は、179,386GJとなり、現状を100%とすると62%まで削減できる。

#### 7.5 検討のまとめ

二次調査結果を基に推定した現状の多賀城市全戸建住宅の一次エネルギー消費量と低エネルギー策を採用した

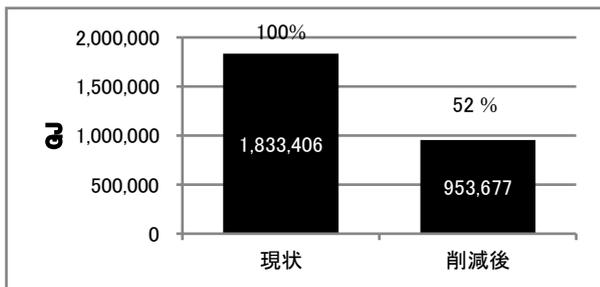


図7-1 多賀城市全戸建住宅の一次エネルギー消費量の比較

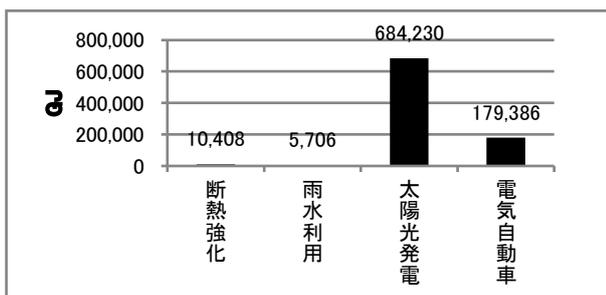


図7-2 各低エネルギー策の一次エネルギー削減量

場合の比較を図7-1に示し、各低エネルギー策の一次エネルギー削減量を図7-2に示す。現状の多賀城市全戸建住宅の一次エネルギー消費量を100%とした場合、低エネルギー策を採用した場合51%まで削減することが可能であった。また、各低エネルギー策別の削減量は、太陽光発電が最も削減に寄与し、次いで電気自動車への変更、断熱の強化、雨水の利用と続いている。雨水の利用は削減量こそ小さいが、トイレの洗浄水の97%に相当するため資源量としては大きい。

### 8. 低エネルギー化の課題と解決策の検討

#### 8.1 課題

太陽光発電は電力消費量を低減することができるが、時刻別電力消費量の調査結果から図8-1に示すように電力消費量と太陽光発電のピークには時間的ずれがあることが明らかになった。現在、太陽光発電で発電し余った電力は電力会社の系統に流し、吸収してもらっている。今後、太陽光発電の普及が進んだ場合、余った電力が系統に流されることになる。そのため、電力の需要と供給のバランスが崩れ系統で吸収しきれなくなると、電力需要の少ない時間は系統に流れる電力を減らすため発電を抑制する、電圧や周数が乱れるといった電力の質に係わる問題が発生する可能性が出てくる。そのためピークのずれを吸収する方策を考える必要がある。

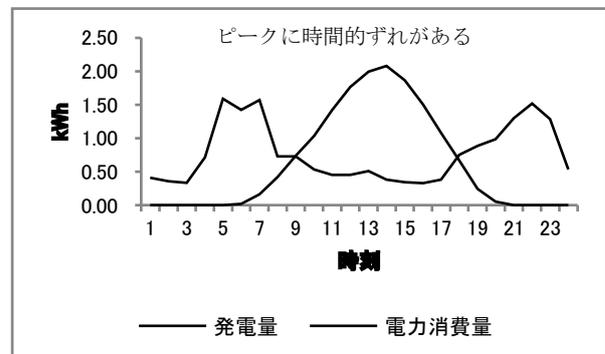


図8-1 太陽光発電の発電量と住宅の電力消費量のずれ

#### 8.2 解決策

ピークのずれを吸収するためには蓄電することが効果的である。昼間の発電量の多い時間帯に蓄電し、電力消費量の多い時間帯に放電させることでずれを吸収することが可能である。蓄電には蓄電池が必要であるが、大容量の蓄電池はコスト面が普及の妨げになると考えられる。そこで、電気自動車のバッテリーに注目した。地方都市では自動車による移動を前提とするような街づくりがされているため、一世帯に二台程度の自家用車を所有している。電気自動車が自家用車として普及した場合、そのバッテリーに電力を蓄電することが可能であると考え、その検討を行った。

## 9. ケーススタディ

### 9.1 検討条件

#### 1) 電力需要及び発電量

電力需要は三次調査で得られた時刻別電力消費量を基に、一次調査結果の平均居住人数に比例する者として補正した値を用いた。また、給湯熱源によって電力需要量総量及び変動も大きく異なるため、①給湯熱源が電気と②給湯熱源がガスあるいは灯油の二通りについて検討を行った。太陽光発電量は7.3で算出した発電量を用いた。

#### 2) 電気自動車及びバッテリー

電気自動車は日産自動車のリーフ相当とし、走行距離(消費電力)は一次調査の平均値を用いた。バッテリーは日産自動車のリーフ搭載のバッテリーとした。電池容量は24kWhである。

#### 3) 充放電の考え方

電力需要量と発電量の時刻的ずれを吸収するための制御の考え方は、以下の通りとした。

- ①図9-1に示すように、電力需要量データを基に、太陽光発電による発電量の余剰電力<sup>注1)</sup>を電気自動車のバッテリーに充電する。
- ②余剰電力を充電できるようにするため電力需要量の大きい時間帯等に放電しておく。
- ③放電可能量は、翌日の走行に必要な電力をバッテリーに確保した残りの電力量分とする。翌日の走行距離は前日に設定しておくものとする。
- ④放電する場所は自宅とするが充電は電力会社の系統を介して任意の場所(職場の駐車場等)で可能とする。

### 9.2 検討結果

給湯熱源が電気の場合とガス又は灯油の場合で電力需要量が異なるため、二通りに分けて検討した。給湯熱源が電気の住宅の夏期、冬期の代表的な月の電力需要と発電量の関係を図9-2、図9-3に示す。各月の一住戸当たりの日平均余剰電力量と日平均吸収可能量、吸収率は表9-1に示すように、13.95kWhと4月が最も余剰電力量が多くなった。吸収率が最も高かったのは1月、2月、11月、12月の100%となり、最も低かったのは8月の60%であった。年間の日平均吸収率は82%となった。給湯熱源がガス又は灯油の住宅の夏期、冬期の代表的な月の電力需要と発電量の関係を図9-4、図9-5に示す。各月の一住戸当たりの日平均余剰電力量と日平均吸収可能量、吸収率は表9-2に示すように、余剰電力量は給湯熱源が電気の住宅同様に4月が最も多く14.37kWhとなった。1月、12月の吸収率100%が最も高く、5月の吸収率50%が最も低い結果となった。年間の日平均吸収率は69%となった。また、多賀城市全戸建住宅の各月の日平均余剰電力量と日平均吸収可能量、吸収率は表9-3に示すようになり、余剰電力量は4月の168MWhが最も高く、12月の90MWhが最も

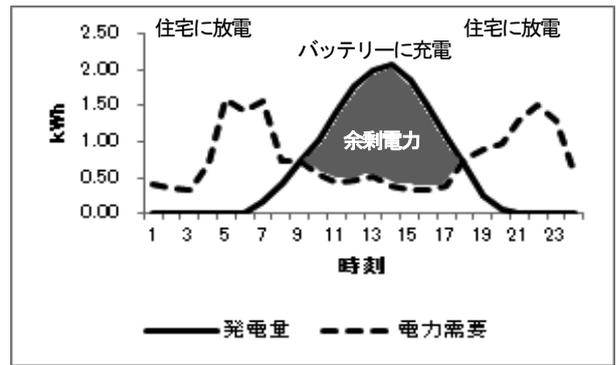


図9-1 検討システム図

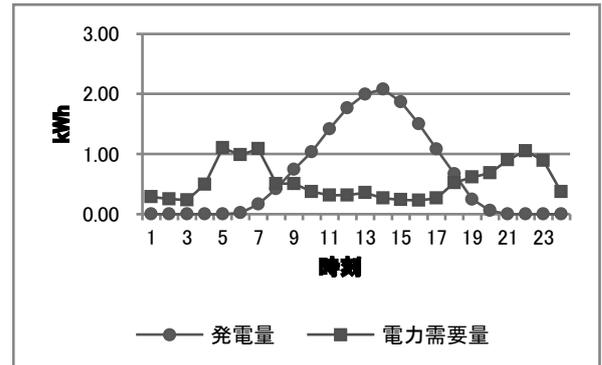


図9-2 熱源が電気の住宅の夏期の電力需要と発電量

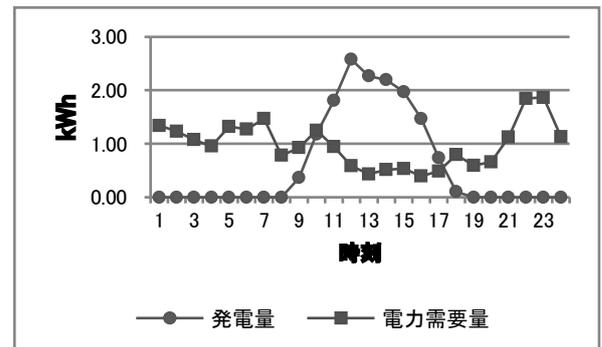


図9-3 熱源が電気の住宅の冬期の電力需要と発電量

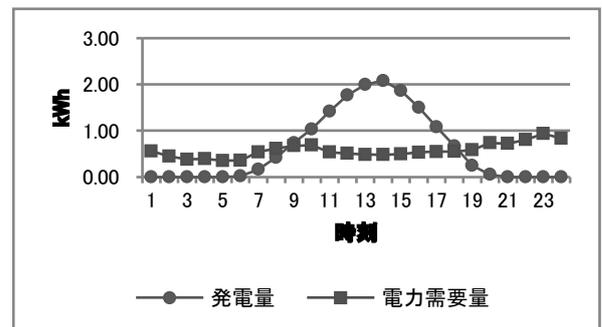


図9-4 熱源がガス又は灯油の住宅の夏期の電力需要と発電量

低くなった。吸収率は1月、12月が100%と最も高くなり、5月が57%と最も低くなった。給湯熱源が電気の住宅は給湯熱源がガス又は灯油の住宅に比べて電力の需要量が大きいので年間を通して吸収率が高い結果となった。

季節的にみると冬期は照明点灯時間が長く、夜間に暖房による電力需要が高まるため吸収率が高く、夏期は冬期に比べ発電量が大きいこともあるが、冷房による電力需要が高まる時間帯は職場や学校にいるため吸収率が比較的低下したと考えられる。中間期は発電量が大きく、暖房や冷房による電力需要が少ないため吸収率は低い結果となった。給湯熱源が電気の住宅では8月が最も吸収率が低く60%、給湯熱源がガス又は灯油の住宅では5月が最も低く吸収率50%である。多賀城市全戸建住宅では、5月が最も低く吸収率57%となる。

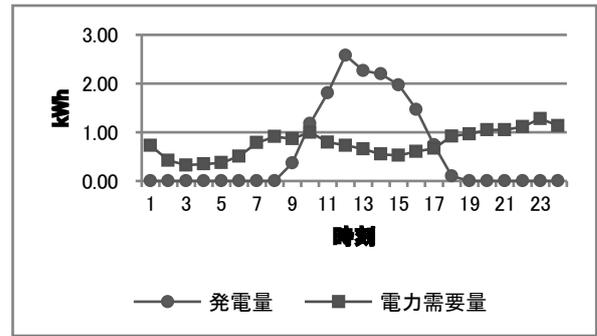


図9-5 熱源がガス又は灯油の住宅の冬期の電力需要と発電量

表9-1 熱源が電気の住宅の各月の日平均余剰電力量と日平均吸収可能量の比較(kWh)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
電力需要量	23.53	23.82	19.63	16.45	14.83	13.16	12.82	12.22	12.21	13.67	17.38	21.99	202
発電量	14.67	18.11	19.77	20.58	19.27	15.99	15.06	17.48	16.67	16.09	13.85	12.47	200
余剰電力量	9.12	12.02	13.95	15.01	14.12	11.33	10.78	13.22	12.72	12.19	9.35	7.81	142
吸収可能量	9.12	12.02	13.82	10.88	9.68	8.49	8.54	7.96	8.26	9.77	9.35	7.81	116
吸収率	100%	100%	99%	72%	69%	75%	79%	60%	65%	80%	100%	100%	82%

表9-2 熱源がガス又は灯油の住宅の各月の日平均充電可能量と日平均吸収可能量の比較(kWh)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
電力需要量	18.29	15.36	14.27	14.46	12.71	12.26	13.77	13.36	12.31	11.59	12.63	14.93	166
発電量	14.67	18.11	19.77	20.58	19.27	15.99	15.06	17.48	16.67	16.09	13.85	12.47	200
余剰電力量	8.67	12.39	13.78	14.37	13.16	10.02	8.65	10.65	11.08	11.56	9.1	7.82	131
吸収可能量	8.67	9.64	8.28	8.25	6.60	6.29	7.36	6.53	6.72	7.06	7.89	7.82	91
吸収率	100%	78%	60%	57%	50%	63%	85%	61%	61%	61%	87%	100%	69%

表9-3 多賀城市全戸建住宅の各月の日平均充電可能量と日平均吸収可能量の比較(kWh)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
電力需要量	231,384	209,852	185,394	174,741	155,045	145,153	155,565
発電量	169,538	209,378	228,493	237,883	222,809	184,884	174,107
余剰電力量	101,942	141,817	159,945	168,559	155,792	120,829	108,120
吸収可能量	101,942	120,518	116,852	105,403	88,046	81,105	89,583
吸収率	100%	85%	73%	63%	57%	67%	83%
月	8月	9月	10月	11月	12月	年間	
電力需要量	150,094	141,929	141,967	164,160	199,512	2,054,796	
発電量	202,051	192,667	186,056	160,075	144,188	2,312,129	
余剰電力量	132,919	134,341	136,037	106,150	90,361	1,556,812	
吸収可能量	80,942	83,558	91,952	96,778	90,361	1,147,042	
吸収率	61%	62%	68%	91%	100%	74%	

## 10. 結論

結論として本研究の成果を列記しておく。

- ①多賀城市の戸建住宅を対象にアンケート調査を実施し、規模、構造、使用設備、断熱仕様、自家用車の利用状況等を明らかにした。
- ②同住宅の交通エネルギー含む消費エネルギー量を明らかにした。結果として、多賀城市全戸建住宅の一次エ

エネルギー消費量は、1,833TJとなり、その内訳は電気43%、ガス8%、水道2%、灯油18%、ガソリン29%であった。また、4件の住宅の時刻別電力消費量を計測した。

- ③調査結果に基づき、エネルギー削減案を検討し、効果を試算した。結果は、太陽光発電が最も削減効果が大きく、次いで電気自動車への変更、断熱性能の強化、雨水の利用と続いた。多賀城市全戸建住宅に削減案を採用した場合、現状を100%すると、48%の削減が可能であった。
- ④削減案で最も効果の大きい太陽光発電について、発電量と電力需要量には時間的なずれがあることが明らかになった。時間的なずれである余剰電力を吸収するために電気自動車のバッテリーを活用することを検討した。結果は、多賀城市全戸建住宅で余剰電力を74%吸収することが可能であった。

## 11. 今後の課題

戸建て住宅に太陽光発電を設置することは、低エネルギー化に効果的であるが、電力需要と発電量の時間的なずれが大きいため、普及率が高まると電力会社の系統に悪影響を与えることが予想される。その解決策として、地方都市では不可欠になっている自家用車を将来、電気自動車に替え、そのバッテリーに余剰電力分を吸収する蓄電池として利用することが時間的なずれの解消に効果的であることが明らかになった。今後、この方法を普及、定着させていくためには多くの課題があるが、その代表的なものを以下に列記する。

- ①住宅用電力需要のさらなる実態の把握：多賀城市以外の実態調査
- ②自家用車の利用状況の詳細検討：自家用車の利用時間および駐車地の詳細調査
- ③充放電制御システムの開発：効果的な充放電を可能にするソフト及びハードの開発
- ④関連法規類の見直し及び整備：本システムの普及を前提とした法基準の見直し等
- ⑤太陽光パネルの適切な面積の検討

## <謝辞>

本調査研究を進めるにあたり多賀城市民および多賀城市建設部都市計画課の皆様にご多大なるご協力を頂きました。記して謝意を表します。

## <注>

- 1) 本研究では太陽光発電の発電量から発電している時間帯の電力需要量を差し引いたものとする。

## <参考文献>

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁：平成24年度エネルギーに関する年次報告、第2部・第2節・2.(2)家庭部門のエネルギー消費の動向、<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013energyhtml/2-1-2.html>
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説Ⅱ住宅、第二部、第三章、付録3.2A 住宅の平均熱貫流率計算に用いる材料種別の熱物性値等、pp.222~224、2013
- 3) 一般財団法人省エネルギーセンター：エネルギー使用の合理化に関する法律省エネ法の概要、4.5エネルギー使用量の原換算方法、<http://www.eccj.or.jp/law/pamph/outline/04-5.html>
- 4) 東京都水道局：水の上手な使い方、平成18年度一般家庭水使用目的別実態調査、[https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/customer/life/g\\_jouzu.html](https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/customer/life/g_jouzu.html)
- 5) 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報、pp.212、2009
- 6) 気象庁：気象統計情報、過去の気象データ、[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly\\_a1.php?prec\\_no=34&block\\_no=1030&year=2012&month=&day=&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=34&block_no=1030&year=2012&month=&day=&view=)
- 7) 一般財団法人省エネルギーセンター：地球と私たちのためのかしこい住まい方ガイド 住まいの省エネブックⅢ、2.スマートライフの第一歩—省エネルギーを進めるために、エネルギーのぜいたく、むだを知りましょう、[http://www.eccj.or.jp/pamphlet/living/06/02\\_1.html](http://www.eccj.or.jp/pamphlet/living/06/02_1.html)
- 8) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：日射量データベース、NEDO日射量データベース閲覧システム、<http://app7.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>
- 9) 国土交通省：自動車の燃費性能に関する公表、2013
- 10) 日産自動車：日産リーフWebカタログ、日産リーフ諸元表、[http://ev.nissan.co.jp/LEAF/PDF/leaf\\_specification.pdf](http://ev.nissan.co.jp/LEAF/PDF/leaf_specification.pdf)、2013

## <研究協力者>

西大條 利宜	東北学院大学大学院学生
成田 政杜	東北学院大学大学院学生
鈴木 慎治	当時東北学院大学学生