

8. 電気自動車の普及が電力需要の負荷平準化に与える効果の分析

竹下 博之^{1*}・平尾 吉晃²・近本 智行³・佐和 隆光⁴

¹財団法人運輸政策研究機構（〒105-0001東京都港区虎ノ門3丁目18-19虎ノ門マリビル）

² 三菱冷熱工業株式会社（〒160-8510 東京都新宿区四谷 2-4）

³立命館大学理工学部建築都市デザイン学科（〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1）

⁴滋賀大学（〒522-8522 滋賀県彦根市馬場1-1-1）

* E-mail: takeshita@jterc.or.jp

本研究は、電気自動車の普及が電力需要の負荷に与える影響を明らかにしたうえで、電力需要の負荷平準化がもたらすCO₂排出削減効果について分析することを目的とする。まず、標準的な家庭モデルから、その居住者のライフスタイルによる時刻別消費電力を算出し、それに電気自動車の普及率に応じた電力負荷曲線を加えることで、電力負荷曲線を求める。また、このときに発電構成を変化させ、発電によるCO₂排出係数の低減効果を分析する。その結果、電気自動車の普及によって負荷平準化が進み、電力需要は増加するにも関わらず、発電によるCO₂排出係数を低減させることが可能となり、CO₂排出量は減少する。このことから電気自動車の普及は、発電によるCO₂削減にも効果を有する施策であると結論付けられる。

Key Words : Electric-load Leveling, Electric Vehicle, CO₂ Emission

1. はじめに

運輸部門における温室効果ガス排出量を大幅に削減するためには、その主たる排出源であり、排出量全体の約9割(2008年度)¹⁾を占める自動車に対する施策が必須である。その1つとして、電気自動車の普及および促進が考えられる。これにより、運輸部門における大幅な温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

一方、電気自動車の普及は、運輸部門における電力需要の増加をもたらすものの、その充電は移動需要の少なく、かつ電気料金の安い夜間に行われることが想定されている。すなわち、電力需要の負荷を平準化することで、発電による温室効果ガス排出量を削減する効果が期待できることを意味している。

そこで本研究は、電気自動車の普及が電力需要の負荷平準化に与える効果について分析を行うことを目的としている。また、電力の主要な需要元である家庭を考え、標準的な家庭モデルを設定し、そのライフスタイルから家庭における1日の時刻別の電力負荷曲線を導く。そして、その電力負荷曲線を、電気自動車の普及率に応じて変化させるとともに、それに基づき、時刻別の発電割合

を変化させることで、発電による温室効果ガス排出係数の低減効果について分析を行う。なお、本研究では温室効果ガスとして二酸化炭素(以下、CO₂)のみに着目する。

2. 電気自動車の充電による消費電力量

(1) 普及率の違いによる充電量の算出方法

電気自動車の普及により、充電による新しい電力需要が生じる。その影響を把握するため、まず普及率の違いによる充電量の試算を行う。電気自動車の燃費については、三菱自動車の i-MiEV のカタログ値(表-1)²⁾を参考とし、世帯あたりの1日に必要となる充電量を式(1)により算出することとする。なお、10.15 モードによる燃費に対して実燃費は下回ることが多い。しかしながら、電気自動車の実燃費データが入手できていないため、e 燃費アワード 2007-2008³⁾を参考に 10.15 モードから 30%低下すると仮定した。

$$E = \text{世帯数[世帯]} \times \text{世帯当たりの保有台数[台/世帯]} \\ \times \text{走行距離[km]} \times \text{実燃費[kWh/km]} \times \text{普及率} \quad (1)$$

式(I)で用いる値のうち、世帯当たりの保有台数および走行距離は自動車輸送統計調査⁴⁾の2005年値を用い、この値は変化しないものと仮定している。

(2) 電気自動車の充電と家電機器の消費電力の比較

電気自動車の充電による需要の増加が家庭においてどの程度の負担になるか、およびどの程度負荷の平準化に繋がるかを確認するために、電気自動車の充電による1時間あたりの消費電力と、その他の家電機器の1時間あたりの消費電力を比較したものが、表-2である。電気自動車の普及率については、「2050年脱温暖化プロジェクト」⁵⁾や「温室効果ガス2050年80%削減のためのビジョン」⁶⁾等で期待される普及率を参考とした10%、30%、50%のとき、およびすべての自家用車が置き換わった100%について示している。

この結果と、家電機器と電気自動車の消費電力を比べると、普及率が10%程度では電気自動車の充電による電力需要の増加分は小さく、負荷平準化への期待は小さい。しかし、普及率が30%を越えると電気自動車の充電による消費電力は夜間に使われる機器と比べると大きなものとなり、その総量は2倍以上となる。このことから、電気自動車の普及率が30%を越えてくると、深夜電力の増加による負荷平準化の効果が期待できると考えられる。なお、普及が仮に100%に達したとしても、昼間時における冷房と照明の消費電力の合計値と同程度であることがわかる。このことから、電気自動車の普及は、深夜に充電を行った場合においては、現在家庭で使用されている機器に対して過大な負荷にはならないと考えられる。

3. 家庭部門の時刻別電力負荷曲線の推計

(1) 時刻別電力負荷曲線の推計手法

家庭内における負荷平準化効果を分析するために、まず家庭部門における時刻別電力負荷曲線を推計するため、吉野らの手法⁷⁾を参考として、標準世帯を設定し、その時刻別の居住者の行動に伴い使用する電化製品の消費エネルギーを求める。

時刻別の電力負荷曲線の算出にあたり、用いた設定の詳細を以下に示す。

a) 標準世帯

標準世帯における家族構成は、勤め人(男性)、専業主婦、高校生、中学生の4人家族と設定した

b) 生活行動

標準世帯を構成する家族のそれぞれの行動は、国民生活時間調査⁸⁾を参考とし、15分ごとの行動を設定した。例として、図-1に専業主婦の行動を示す

c) 所有機器

表-1 電気自動車および保有台数の設定

電気自動車の設定 ¹⁾	
一充電走行距離 (10.15モード)	160[km/充電]
総電力量	16[kWh/充電]
燃費(10.15モード)	10[km/kWh]
充電時間	0時～6時
自家用車保有台数の設定(2005年値) ⁴⁾	
保有台数	56.8[百万台]
年間走行距離	8.9[千km]
世帯当たりの保有台数	1.2[台]
1日の走行距離	24.3[km]

表-2 電気自動車の充電による消費電力量

[単位:Wh/世帯]		
電気自動車充電による消費電力	普及率 10%	68.5
	普及率 30%	206
	普及率 50%	342
	普及率 100%	685
昼間に使用される機器	冷房	434
	照明 (平均)	191
深夜に使用される機器	換気扇	20.0
	冷蔵庫	78.0
	温水洗浄便座	24.0
	テレビ等の待機電力	10.9

主婦	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
起床																								
朝食																								
通勤																								
入浴																								
食事																								
掃除																								
家事																								
テレビ																								
買い物																								
就寝																								

図-1 専業主婦の15分ごとの行動

表-3 所有機器の設定

分類	対象機器	条件設定		定格電力[W]
換気機器	台所換気扇	使用タイプ	調理時使用	20
	空調換気扇	使用タイプ	常時使用	50
厨房機器	冷蔵庫	機器タイプ	普及型	62/78/86(冬/中間期/夏)
		設定強度	中	
	電気ポット	使用タイプ	沸騰のみ使用	475
	炊飯器	使用タイプ	炊飯のみ使用	180
	食洗器	使用タイプ	1回/日使用	1318
	娯楽情報機器	テレビ	機器タイプ	標準21型
待機電力			あり	0.4
ビデオ		機器タイプ	普及型	12
		待機電力	あり	2
オーディオ		機器タイプ	普及型	74
		待機電力	あり	0.5
コンピューター		機器タイプ	デスクトップ型	86.6
		待機電力	あり	6.2
家庭衛生機器	温水洗浄便座	強度設定	季節毎設定	40/24/12(冬/中間期/夏)
	洗濯機	機器タイプ	インバータ式	86
	掃除機	機器タイプ	普及型	333
		使用タイプ	床種類毎に強度変更	
	ドライヤー	機器タイプ	普及型	450
アイロン	機器タイプ	普及型	500	
照明	室照明	設定方法	床面積当たりの値で定義	10
	スタンド	機器タイプ	普及型	30

所有機器は、表-3に示している一般家庭の所有率が高いもののうち、電力消費量が無視できないと判断されたものとした

d)建物条件

戸建て住宅については日本建築学会⁹⁾が、集合住宅に着いては建築環境・省エネルギー機構¹⁰⁾が示している住宅モデルを使用した

e) 冷暖房

冷暖房の使用による消費エネルギーは、吉野ら⁷⁾による値をもとに、1時間あたりの値を算出した

f) 給湯

消費エネルギーを、式(2)により算出した。なお、使用する水量については、団野ら¹¹⁾の研究を元に設定した

$$E=水量[L] \times (給湯温度 - 水道水温度) \times 給湯効率 \quad (2)$$

以上の設定のもとで、2005年時点での消費エネルギーの試算を行った。その結果を、表-4に示す。この結果と、2005年の統計値との間には大きな乖離は無く、上記の設定は妥当なものであるといえる。

(2) 家庭部門における時間別電力消費量

前節において算出した家庭における消費エネルギー量から算出した、電力需要の大きくなる夏期における家庭での時刻別消費電力を、図-5 に示す。図-5 より、家庭での電力需要は、勤め人および高校生、中学生の帰宅後から夕食以降にかけてピークを向かえることがわかる。また、その最大消費量と待機電力を比べると 20 倍以上の開きがあることがわかる。このことから、家庭部門における電力需要の負荷平準化を行うためには、居住者の行動が多い夕方から夜間にかけての使用電力を減らすことや、深夜の使用電力量を高めることが必要であることがわかる。

(3) 将来の省エネルギー型ライフスタイルの検討

(2)より、現状の家庭での時刻別消費電力量は、夕方から夜にかけて増加する傾向にあることが分かる。そのため、夜間の需要を増加させるだけではなく、この時間帯において消費電力量を抑えることも必要であるといえる。

また、電気自動車が大量に普及するまでにはまだ相当の時間がかかると考えられる。その間に、エコ意識がより高まることで、ライフスタイルも省エネ型のライフスタイルへと移行する可能性もある。そこで、省エネ型ライフスタイルとして考えられるものを以下に示す。

a) 行動による抑制

- 住宅の蓄熱性能による熱の反応遅れに対応した換

表-4 家庭の消費エネルギー試算結果[単位 GJ]

	2005 年実績値	戸建	集合	全体
照明・動力	15.5	14.0	14.0	14.0
給湯+厨房	15.8	13.7	13.7	13.7
冷房	1.10	1.40	1.1	1.30
暖房	10.8	16.5	13.3	15.2
計	43.3	45.7	42.2	44.2

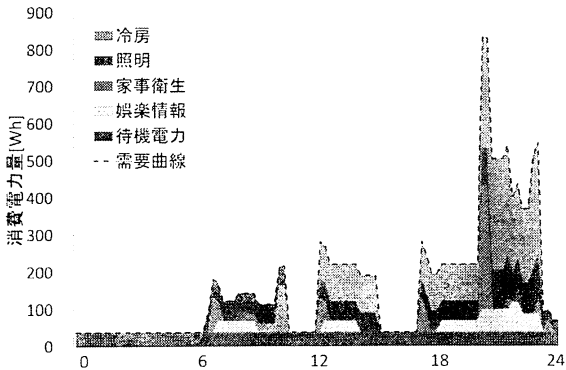


図-5 家庭における 1 世帯あたりの時刻別消費電力 (夏季)

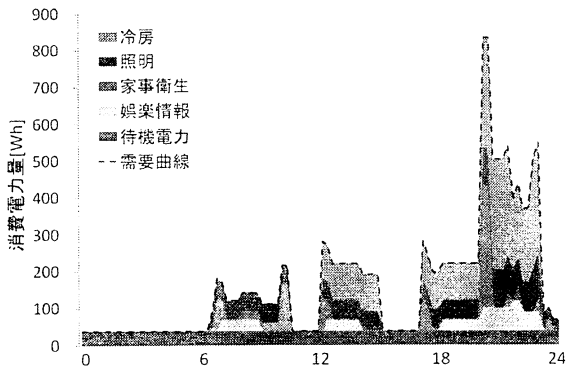


図-6 省エネ型ライフスタイルの実施による 1 世帯当たりの消費電力

気や打ち水の実施による夜間の冷負荷の低減

- 昼間に日射から受熱し壁に蓄熱され、日射の無い日没後にも室内温度を上昇させている熱量を換気や打ち水により除去し、冷房開始時の負荷を低減する。これにより、今回冷房負荷が 15%低減すると仮定した

- 居住者の同空間での行動による冷暖房や照明時間の短縮

- 使用電力が最大となる夜間時において、同じ空間で過ごすことは、個室の冷房負荷や照明負荷の低減を図る。夜間のピーク電力を軽減するため、21時まで居間にいると仮定した

- b) 機器の直接抑制

- 冷暖房の設定温度の変更による冷暖房電力の低減
- 家電機器の使用を控えることや、設定の変更による待機電力、使用電力の低減
 - 空調換気扇、冷蔵庫、テレビ、ビデオ、オーディオ、コンピューター、温水洗浄便座の待機電力の低下に加え、食洗機等の生活に必需で無い機器に対しての使用を制限するものとした

上記の設定のもとで算出した、時刻別消費電力の変化を、図-6 に示す。ライフスタイルの変化による削減電力量を時刻別に比較すると、設定した省エネ型ライフスタイルは、夜間のピークに対して大きな効果があることが分かる。打ち水や換気によって全体の冷房負荷が減少したことや、家族が同じ部屋で過ごすことで、その他の部屋における冷房の使用の抑制につながり、特に夜間の冷房電力が大きく減少したためだと考えられる。一方で、夕食時や 21 時以降においては減少が少なく、追加的な平準化対策が必要であるといえる。

また、朝から昼にかけての使用電力の減少量は少ないものとなっている。その理由として、食事に係わる行動等の生活に必要な動きが多く、また居住者が自由に使用できる時間が少ないために、行動の抑制による効果が少ないためであると考えられる。

(4) 電気自動車の普及による家庭内の負荷平準化の効果検証

電気自動車を所有する家庭における、家庭内での負荷平準化効果について検証を試みる。図-5 および図-6 の時刻別の負荷曲線に、電気自動車の充電による効果を加えたものを、図-7 に示す。なお、電気自動車は、0 時から 6 時の間に充電されるものと仮定した。

図-7 より、現状では電気自動車の普及が加わったとしても、夕方から夜間にかけての需要が大きいため、負荷平準化には至っていないと言える。しかし、設定した省エネ型ライフスタイルを実施することで、電気自動車の充電による消費量に近づき、家庭内での負荷平準化に近づくことが分かる。

4. 電力需要の負荷平準化が発電によるCO₂排出係数の低減に与える効果

(1) 現状の電力需要と発電構成

電力需要の負荷を平準化させることで、ベースとなる供給力として、CO₂ 排出係数が小さい原子力発電や、高効率火力発電所の発電割合を増加させることが可能となり、これにより発電による CO₂ 排出係数を低減させることが期待できる。

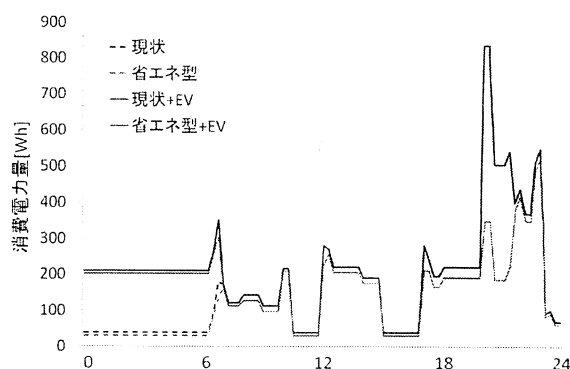


図-7 電気自動車の充電による家庭内負荷曲線の変化

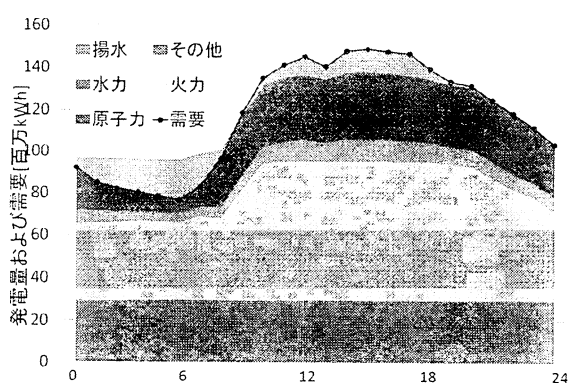


図-8 総電力需要と発電構成

入手したデータから作成した、総電力需要と発電構成の関係について、図-8 に示す。昼間時から夕方にかけての電力需要のピークが存在しており、これに対応するために、調整の行いやすい火力発電や、夜間の余剰電力を使った揚水発電により対応していることがわかる。しかしながら、このような火力発電所の運用は、低効率なものとなりがちとなり、そのために発電による CO₂ 排出係数を高めている。また、ピーク時と夜間の電力需要の差が、原子力発電や高効率火力発電といった、ベース発電であり、かつ CO₂ 排出係数の小さいものによる発電割合の増加を妨げている要因となっていることがわかる。

(2) 負荷平準化による CO₂ 排出係数低減効果

2.および 3.で述べた、電気自動車の普及と、家庭における電力需要の負荷平準化が、発電による CO₂ 排出係数を低減させる効果について分析を行う。

まず、電気自動車の普及率を 30%、50%、100%と変化させたときの電力需要の変化を図-9 に示す。なお、このとき電気自動車の充電は夜に行われることが想定されているため、0 時から 6 時にかけて充電が行われるものと仮定している。図-9 より、電気自動車の普及により、夜間の電力需要が底上げされていることが分かる。しかし、その増加は昼間時のピークと比べると、全ての自家

用車が電気自動車に置き換わったとしても小さいものとなっている。

また、これに加えて省エネ型ライフスタイルの浸透による電力需要の変化を、図-10 に示す。電気自動車の普及率は 50%で固定し、ライフスタイルの浸透率は、50%と 100%の時について示している。また、全家庭による消費電力は、標準世帯の時刻別消費エネルギーに、世帯数を乗じることで、全体の家庭部門の消費エネルギーとした。

なお、世帯数については国立社会保障・人口問題研究所の将来人口および将来世帯数から、2050 年における世帯数を設定して用いている。設定方法は、国立社会保障・人口問題研究所の将来世帯数予測は 2030 年まで行われているため、2030 年時点での 1 世帯あたりの人口で以降変化しないと仮定し、2050 年時点での世帯数を算出した。その結果、夕方から夜にかけて大きな減少が生じており、この分 CO₂ の削減も期待できると言える。しかしながら、浸透率 100%の時は、現状の電力需要最低値を下回ってしまうことから、ベース発電の割合を増加させることは期待できない。

以上の結果から、発電による CO₂ 排出係数の低減効果を検討する。電気自動車の普及や省エネ型ライフスタイルの普及による電力需要の変化によって、時刻別電力需要の最低電力量が、現在の最低電力量より上回った分が、原子力発電によりまかなわれるとともに、削減された分については、火力発電が減少するものと設定した。このときの全消費電力量と、CO₂ 排出係数を、表-5 に示す。なお、各発電による CO₂ 排出係数については表-6¹²⁾に示したものをを用いた。

まず、電気自動車の普及により、消費電力量は増加しているものの、排出係数の減少により、排出量が減少していることがわかる。これに加え、ガソリン等の石油燃料の消費量が減ることから、全体での CO₂ 削減効果はかなり高いものになるといえる。このことから、電気自動車の普及は、運輸部門のみならず、発電による二酸化炭素削減にも効果を有することがわかる。しかしながら、普及率の上昇に従い排出係数が増加していることが分かる。これは、図-8 に示したように、充電が終了する 7 時において電力需要が大きく落ち込むことにより、ベース発電の割合増加による排出係数の低減効果が低くなったものと言える。そのため、充電時間を 7～8 時ごろまで伸ばし、落ち込みを回避することで、よりベース発電の割合を大きくすることが可能になると言える。

一方、省エネ型ライフスタイルが浸透することにより、電気自動車が普及し、電力需要が増加しているにもかかわらず、消費電力量は 50%では微増、100%では減少となっていることが分かる。しかしながら、図-9 で示したように、浸透率 100%では需要が最低になる時間が朝か

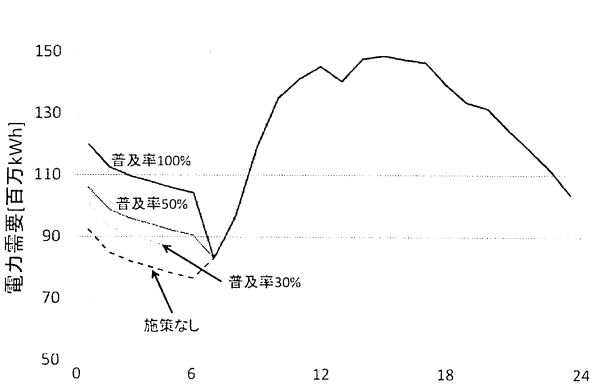


図-9 電気自動車の普及による総電力需要の変化

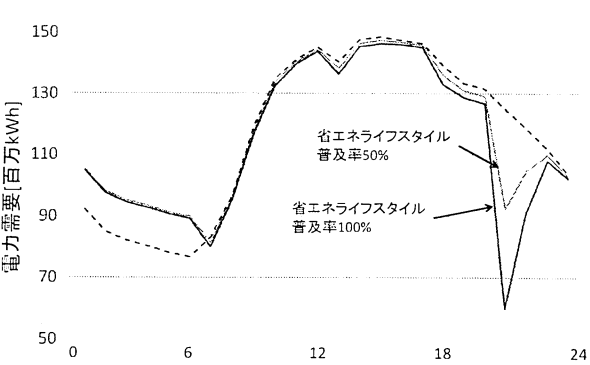


図-10 電気自動車普及率 50%時の省エネ型ライフスタイル浸透による総電力需要の変化

表-5 施策実施に伴う発電による排出係数の変化

	消費 電力量 [百万 kWh]	CO ₂ 排出係数 [kg-CO ₂ /kWh]	CO ₂ 排出量 [千 t- CO ₂]
現状	2808	0.447	1254.2
EV 普及率 30%	2858	0.288	822.4
EV 普及率 50%	2891	0.292	845.0
EV 普及率 100%	2974	0.303	901.5
EV 普及率 50% +ライフスタイル 浸透率 50%	2819	0.291	821.1
EV 普及率 50% +ライフスタイル 浸透率 100%	2747	0.322	885.1

表-6 試算に用いた各発電手段による排出係数¹²⁾

発電手段	排出係数 (g-CO ₂ /kWh)
原子力	0
水力	0
石油火力	704
石炭火力	887
LNG火力	478
新エネルギー (太陽光・風力・地熱)	0

ら夕方～夜に移り、その値が現状よりも下回ってしまう。そのため、ベース発電の割合を増加させることが困難となり、排出係数の低減が他と比べて小さいものとなっている。そのため、CO₂排出量では浸透率 50%の時と比べて増加してしまう結果となっている。つまり、家庭内で負荷平準化が進んだとしても、発電時における CO₂削減には直接的には結び付かないことがわかる。そのため、消費電力の節約分を他の部分に回す仕組みが必要であると言える。

5. まとめ

本研究では、電気自動車の普及が電力需要の負荷平準化に与える効果について分析を行った。その結果、電気自動車の普及は、電気需要の増加をもたらすものの、夜間時の電力需要の増加をもたらすことで、負荷平準化につながり、その結果発電による CO₂排出係数が小さくなることで、CO₂排出量を減少させる効果を有することを示すことができた。このことから、電気自動車の普及は、運輸部門の CO₂排出量のみならず、発電による排出量削減にも効果を有すると結論付けられる。

一方、電気自動車の普及と省エネ型ライフスタイルの浸透が進んだ場合について分析を試みた結果、ある程度浸透した場合までは排出係数の減少が見込めるものの、それ以上になると、排出係数の減少は期待できなくなり、消費電力の節約による CO₂の削減効果を相殺してしまうことも併せて示している。

なお、本研究では算出に当たりいくつかの仮定を置いており、それが結果に影響を与えていることは否定できない。例えば、電気自動車の充電時間については0時から6時に行われると設定しているが、必ずしもこの時間に充電が行われるとは限らず、消費電力も充電開始時に

集中することから、一定になるとは言えない。そのため、設定した仮定について詳細なものとしていくことが必要である。また、電力需要の昼間時のピークについては、産業部門あるいは業務部門の影響が大きいにもかかわらず、これらについては検証することができなかった。そのため、これらの影響を検証していくことも、本研究の課題である。

参考文献

- 1) 温室効果ガスインベントリオフィス：温室効果ガス排出量・吸収量データベース
- 2) EV ポータル(<http://www.ev-life.com/>)
- 3) e 燃費アワード 2007-2008(<http://response.jp/c-nenpi/award20072008/>)
- 4) 国土交通省：自動車輸送統計調査
- 5) 「2050 日本低炭素社会」シナリオチームら：2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討, 2008.
- 6) 環境省：温室効果ガス 2050 年 80%削減のためのビジョン, 2009.
- 7) 吉野博：マイクロモデルを用いた省エネライフスタイルによる省エネルギー効果の検討, 第 4 回住宅エネルギーシンポジウム, 2005.
- 8) NHK 放送文化研究所：2005 年国民生活時間調査報告書, 2005.
- 9) 宇田川光弘：標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回シンポジウム, 1985.
- 10) (財)建築環境・省エネルギー機構：住宅の新省エネルギー基準と指針, 1997.
- 11) 団野直子, 木谷文樹：入浴におけるミニマム水量算定のための基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 461 号, pp81-86, 1994.
- 12) 電気事業連合会：「原子力・エネルギー」図面集, 2009.