

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

社会システム編

民生家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量の  
中長期予測モデル構築に向けた検討

平成 30 年 3 月

Study on Modeling for Medium-to Long-term CO<sub>2</sub> Emissions Forecasting  
in the Residential Sector

Strategy for Social System

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2017-PP-19

## 概要

民生家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量の将来予測は、最終エネルギー消費量の将来予測に基づいて算出できる。しかしながら、将来予測に関する従来の研究においては、最終エネルギー消費量の算出根拠となる家庭のエネルギー需要量について、過去の傾向を維持するかもしくは現状値を将来に渡り固定するという条件下での検討しか行われていなかった。本報では、機器普及率や機器エネルギー効率の変化だけでなく、空調に関するライフスタイルの変化を含めた、現状から想定可能なシナリオを複数設定することにより、2050 年における家庭部門の最終エネルギー消費量を約 1,145 PJ/y～1,831 PJ/y と予想した。また、2050 年における電力消費量は 929 PJ/y (≒258 TWh)～964 PJ/y (≒268 TWh)、ガスその他消費量は 216 PJ/y～867 PJ/y と推計された。我が国は 2050 年時に CO<sub>2</sub> 排出量を 80%削減する必要があるため、本推計結果により一定量残ることが予想されたガスその他の化石燃料消費量を、より一層削減する必要があることが明らかとなった。この結果は逆に言えば、現状から想定されるシナリオだけではなく、よりダイナミックなライフスタイルの変化を想定しない限り、CO<sub>2</sub> 削減目標の達成が不可能であることを示唆している。化石燃料消費量が最小となるシナリオにおいて、暖房・給湯・厨房用として化石燃料（ガス）はほぼ均等に消費されるという結果を得た。今後はこれらの用途において化石燃料消費量の削減に貢献し得るライフスタイル変化について検討する必要がある。

## Summary

Future forecasts of CO<sub>2</sub> emissions in the residential sector can be calculated based on predictions of final energy consumption. Previous studies, however, were conducted under conditions which either fixed the household energy demand, upon which final energy consumption calculations are based, at the present value, or which assumed that past trends would be maintained into the future. In this report, final energy consumption in the residential sector in 2050 was estimated at about 1,145 PJ/y ~ 1,831 PJ/y, by setting multiple possible scenarios including not only changes in penetration rates and energy efficiency for equipment, but also lifestyle changes related to air conditioning. Electricity consumption in 2050 was estimated at 929 PJ/y ~ 964 PJ/y (roughly equal to 258 TWh/y ~ 268 TWh/y); fossil fuel consumption including gas was estimated at 216 PJ/y ~ 867 PJ/y. Since CO<sub>2</sub> emissions must be reduced by 80% by 2050, the necessity of further reducing fossil fuel consumption was clear. To put it another way, this result suggests that it is impossible to achieve our CO<sub>2</sub> reduction goal, unless we envision more dynamic lifestyle changes, in addition to the scenarios assumed based on the current situation. In the scenario where fossil fuel consumption was minimized, fossil fuels were consumed almost equally for heating, hot water supply, and kitchens. Going forward, we need to consider lifestyle changes that can contribute to the reduction of fossil fuel consumption in these uses.

## 目次

### 概要

|  |    |
|--|----|
| 1. 提案の背景 .....   | 1  |
| 2. 民生家庭部門におけるサービス量の将来推計 .....                            | 1  |
| 2.1 サービス量の定義 .....                                       | 1  |
| 2.2 過去の 1 人あたりサービス量 $i(t)$ の推計 (t : 1980 年～2012 年) ..... | 2  |
| 2.3 将来のサービス量 $i(t)$ の推計 (t : 2013 年～2050 年) .....        | 5  |
| 3. 民生家庭部門における最終エネルギー消費量の将来推計 .....                       | 21 |
| 3.1 用途別最終エネルギー消費量の将来推計 .....                             | 21 |
| 3.2 家庭部門における最終エネルギー消費量将来推計結果のまとめ .....                   | 29 |
| 4. 政策立案のための提案 .....                                      | 31 |
| 参考文献 .....   | 31 |

## 1. 提案の背景

COP21 で採択されたパリ協定や 2015 年 7 月に国連に提出した「日本の約束草案」を踏まえ、2016 年に「地球温暖化対策計画」が閣議決定された。計画では、温室効果ガス削減目標として、2030 年度に 26%削減（2013 年度比）、2050 年に 80%削減を掲げており、特に民生家庭部門に対しては 2030 年度に 39%削減という大幅な削減が求められている。

民生家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量の将来予測については、これまでも数多くの定量モデルに基づく検討が行われてきた。内閣府や環境省では「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会」や「2013 年以降の対策・施策に関する検討小委員会」などが設置され、目標を実現するための対策・施策の具体的な姿が「中長期ロードマップ」としてまとめてられており、検討に用いた定量モデルの設定条件が公表されている[1]。このモデルでは、世帯あたりのエネルギー需要量は過去の傾向を維持するとの前提条件のもと、各種省エネ設備機器の普及率や機器エネルギー効率の向上について複数のシナリオを立てて、将来のエネルギー消費量を予測している。また、世帯のエネルギー需要量予測を生活行動調査に基づいてより精緻に設定して将来のエネルギー消費量を予測した事例もある[2]。しかしながらこれら既往の研究では、エネルギー消費量予測の礎となる世帯エネルギー需要量について、過去の傾向を維持するかもしくは現状を将来に渡り固定するという条件下での検討しか行われていない。

一方で、私たちの将来の生活行動は現状と大きく異なる可能性も高い。国立環境研究所では、将来的なライフスタイルの変化に着目した「ぼくらの未来シナリオ」を公表している[3]。VR 技術や ICT の発達によって在宅勤務者が増加する可能性や、共働き世帯の増加によって外出時間の増加や家事の簡易化が進む可能性も示唆されている。このようなライフスタイルの変化は、世帯のエネルギー消費量に大きな変化をもたらすと考えられる。そのため、将来起こり得るライフスタイル変化について複数のシナリオを設定し、各シナリオが世帯の生活行動やエネルギー消費量に及ぼす変化を論理的かつ定量的に示すことが重要であると考えられる。従来モデル[2]をライフスタイルの変化を反映できるモデルに改良し、民生家庭部門の CO<sub>2</sub> 削減目標（2030 年度に 39%削減）を達成するために必要な対策を再考する必要がある。

## 2. 民生家庭部門におけるサービス量の将来推計

### 2.1 サービス量の定義

本報では、定量モデルにおける家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出量およびエネルギー需要量を算出する上でベースとなる“サービス量”に着目した。サービス量とは、機器のエネルギー効率などを考慮する前の、人が生活する際に真に必要なエネルギー負荷量を指しており、ライフスタイルに応じて変動する。従来モデル[2]では、1990 年から 2005 年までのサービス量を 5 年毎に把握しているものの、将来のサービス量については 2005 年時の値のまま将来に渡り固定しており（ただし家電用サービス量だけは過去の傾向を維持する設定としている）、ライフスタイルとの関連付けがされていなかった。本報では、過去の統計データに基づきサービス量変化をより詳細に把握し、さらにライフスタイルの変化と関連付けてサービス量の将来シナリオを設定した点が改良のポイントである。日本全体のサービス量および最終エネルギー需要は下式により算出することとした。

日本全体のサービス量  $i(t) = (1 \text{ 人あたりのサービス量 } i_j(t)) \times (\text{将来人口}(t))$

最終エネルギー需要(t)

$$= \sum_{ij} (\text{日本全体のサービス量 } i_j(t) \times \text{サービスの機器分担率 } j_i(t) \times \text{機器のストック効率 } j_i(t))$$

ただし、t: 計算年

i: サービス種 (冷房<sup>1)</sup>、暖房、給湯、厨房、動力他<sup>1)</sup>)

j: エネルギー種 (電力、ガス (LPG、都市ガス)、その他 (灯油、石炭等))

ここで、サービスの機器分担率は各エネルギー種(j)に対応する機器が各種サービス量(i)を満たすために使用される割合を指し、機器のストック効率はストックエネルギー効率 (COP) を指す。

## 2.2 過去の 1 人あたりサービス量 $i_j(t)$ の推計 (t: 1980 年~2012 年)

(1) 1 人あたりの用途別<sup>2)</sup>エネルギー消費量の算出

(財) 日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧 2016[4]」(以下「EDMC 統計」と略) 掲載の家庭部門用途別エネルギー消費量 (図 1) を、総務省「平成 27 年国勢調査[5]」掲載の総人口 (国勢調査は 5 年毎なので、途中年は線形補間) (図 1) で除して、1 人あたりの用途別エネルギー消費量を算出した (図 2)。

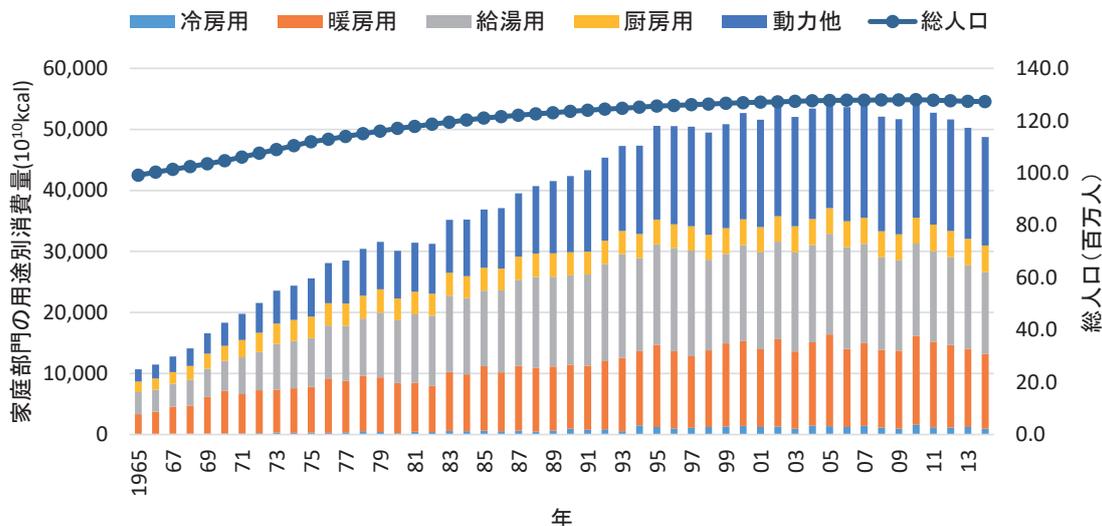


図 1 我が国の家庭部門の用途別エネルギー消費量と総人口の推移[4],[5]

<sup>1)</sup> 冷房および動力他のエネルギー種は、全て電力とした。

<sup>2)</sup> 家庭部門におけるエネルギー消費の用途は、最終エネルギー需要(t)の式の 5 つのサービス種 (冷房、暖房、給湯、厨房、動力他) に対応する。

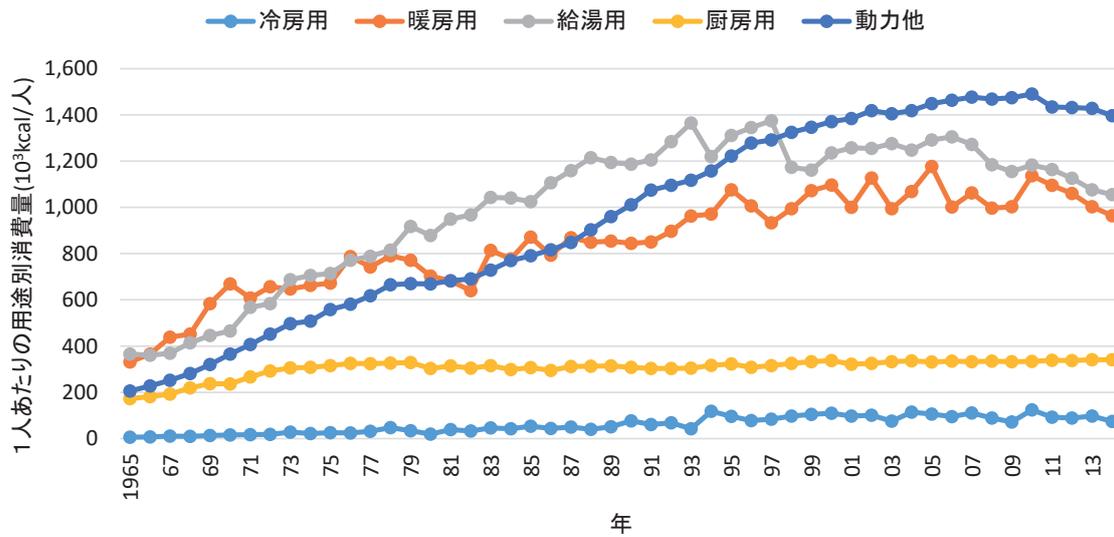


図2 1人あたりの用途別エネルギー消費量の推移

(2) 1人あたりの燃料別<sup>3)</sup>用途別エネルギー消費量の算出

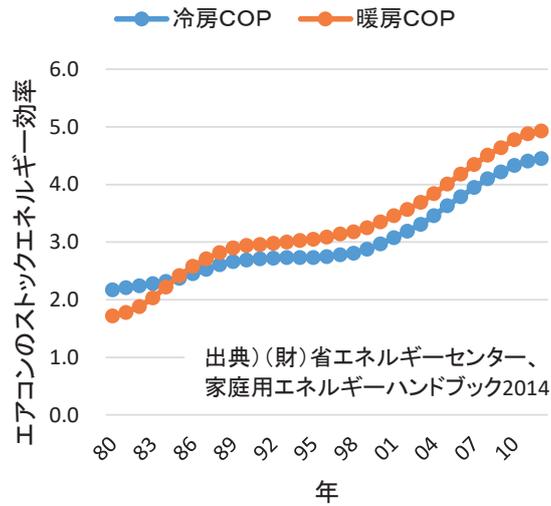
EDMC 統計掲載の世帯あたりの燃料別用途別エネルギー消費量<sup>4)</sup> (10年毎のデータ) に基づき、1人あたりの用途別エネルギー消費量を1人あたりの燃料別用途別エネルギー消費量<sup>4)</sup>に分解した(途中年の燃料内訳%は線形補間)。

(3) 1人あたりの用途別サービス量の算出

各用途における燃料別使用機器を想定(例えば、暖房\_電気はエアコンを想定、暖房\_都市ガスはガスファンヒーター等を想定)し、燃料別使用機器のエネルギー効率(図3)で1人あたりの燃料別用途別エネルギー消費量を除して、1人あたりの燃料別用途別サービス量を算出し、それらを燃料種について足し合わせ、1人あたりの用途別サービス量を算出した(図4)。ただし、2005年以降の給湯用サービス量は、ヒートポンプ給湯器や潜熱回収型給湯器が普及する2005年以前の過去10年間の傾向を維持するものとした。また、動力他用サービス量は、機器エネルギー効率の認定が困難であるため、(2)で得られた結果の合計値をサービス量とし、1999年以降のサービス量についてはトップランナー制度が導入された1998年以前の過去10年間の傾向を維持するものとした。

<sup>3)</sup> 家庭部門におけるエネルギー消費の燃料は、最終エネルギー需要(t)の式のエネルギー種(電力、ガス(LPG、都市ガス)、その他(灯油、石炭等))に対応する。具体的には、後出の図3に示す、電力、都市ガス、LPG、灯油、石炭等の5種に対応する。

<sup>4)</sup> 結果は、図には示していない。



|      | 暖房用  | 冷房用                            | 給湯用 | 厨房   |
|------|--|--------------------------------|-----|------|
| 電力   | エアコン(上図)[6]に実効効率換算係数 0.6 を乗じた値 <sup>5)</sup> | エアコン(上図)[6]に実効効率換算係数 0.9 を乗じた値 | 0.9 | 0.95 |
| 都市ガス | 0.95   |                                | 0.8 | 0.8  |
| LPG  | 0.95   |                                | 0.8 | 0.8  |
| 灯油   | 0.95   |                                | 0.8 | 0.8  |
| 石炭等  | 0.95   |                                | 0.8 | 0.8  |

図3 燃料別使用機器のストックエネルギー効率  
 (実効効率換算係数は、参考文献[2]より引用)

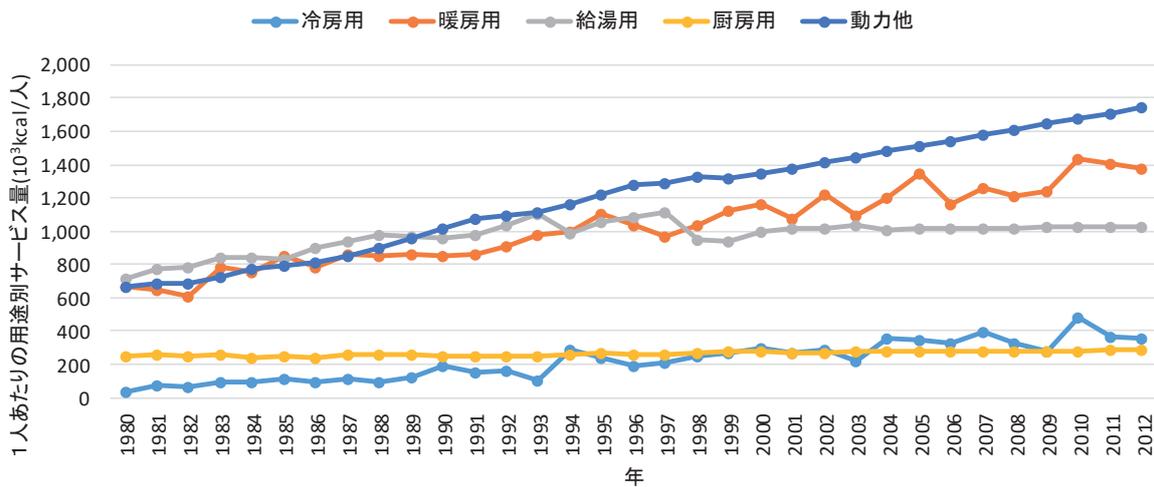


図4 1人あたりの用途別サービス量の推移

<sup>5)</sup> エアコンのヒートポンプ効率(エネルギー効率)はJIS規格に基づいて特定条件下で計測されたものであるが、実際のヒートポンプ効率は外気温や室内設定温度などの条件によって大きく変化する。そのため、エアコンのエネルギー効率については文献値に基づき実効効率換算係数を乗じた。

## 2.3 将来のサービス量 $i(t)$ の推計 (t : 2013 年～2050 年)

### (1) 空調用サービス量の将来推計

#### ① 将来シナリオ (空調) の設定

将来の住宅では宅内ヒートショックの緩和や快適性の向上を目的とした全館連続空調運転が普及する可能性がある。空調時間および空調面積の増加は、冷暖房用サービス量の増加につながる。本報では空調用サービス量に係る将来シナリオとして、まず以下 2 つのシナリオを設定した。

- ・「傾向維持ケース」:

各用途サービス量は、2012 年以前の過去 10 年間の傾向を維持する。

- ・「空調拡大ケース」:

2050 年の住宅は全て全館連続空調運転をしていると仮定し、部分間欠空調からの増分 (暖房は約 2.6 倍、冷房は約 1.7 倍。各値は、(財) 建築環境・省エネルギー機構「住宅事業建築主の判断基準」の「戸建て住宅の暖冷房負荷資料 (戸建、IVb 地域、換気なし)」における平成 4 年断熱性能基準住宅<sup>6)</sup>と平成 11 年断熱性能基準住宅の「潜熱・顕熱の年間合計値」に基づき、部分間欠空調から全館連続空調に切り替えた場合の負荷増分の平均値を採用。) を、2012 年の冷暖房サービス量に乗じることで、2050 年の冷暖房サービス量を算出。その他の各用途サービス量は、2012 年以前の過去 10 年間の傾向を維持する。

#### ② 各将来シナリオ (空調) における 1 人あたりサービス量 $i(t)$ の推計 (t : 1980 年～2050 年※ 2013 年以降が推計値)

各将来シナリオにおける 1 人あたりサービス量  $i(t)$  の推計結果を図 5 に示す。ただし図 5 において、冷暖房用以外のサービス量の将来推計は、2012 年以前の過去 10 年間の傾向を維持するものとして算出した。冷房用サービス量は「傾向維持ケース」と「空調拡大ケース」の差が非常に小さいため、プロットが重なって見える。

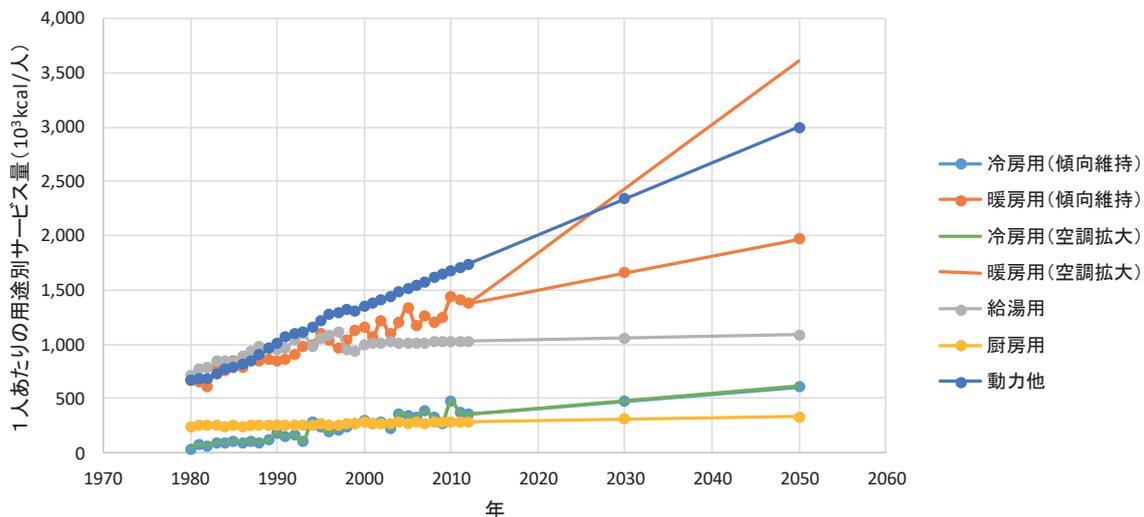


図 5 1 人あたりの用途別サービス量の推移と推計

<sup>6)</sup> 断熱性能基準住宅については、後出の図 9 参照。

③ 各将来シナリオ (空調) における日本全体の家庭部門の用途別サービス量  $i(t)$  の推計 ( $t$ : 1980 年～2050 年※2013 年以降が推計値)

将来人口  $i(t)$  には、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計) (2011 年～2060 年)」における「出生高位・死亡低位」シナリオを用いた (2015 年度の人口統計実績値と前述将来推計人口を比較した結果、「出生高位・死亡低位」シナリオが最も合致したため)。

傾向維持ケース、および空調拡大ケースにおける、日本全体の家庭部門の用途別サービス量  $i(t)$  の推計結果を図 6 に示す。

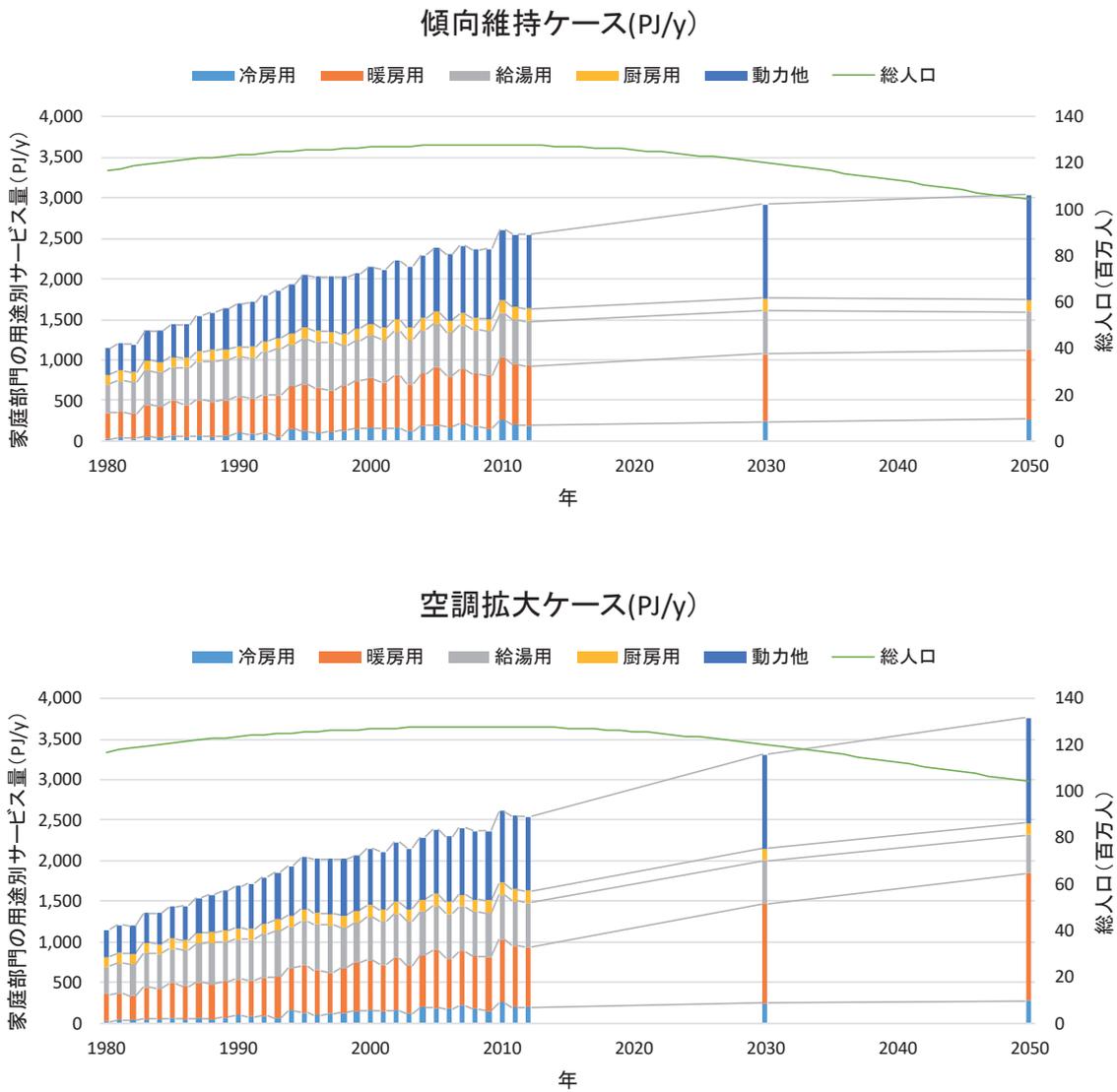


図 6 我が国の家庭部門の用途別サービス量と総人口の推移推計結果

なお、参考までに本報告書で想定した我が国の将来総人口および総住宅ストック<sup>7)</sup>数、世帯人員数を図7に示す。総人口には「出生高位・死亡低位」シナリオを、総住宅ストック数には「出生中位・死亡中位」シナリオにおける総世帯数を用いており、今後総住宅ストック数シナリオを改良する必要がある点を留意されたい。

また、将来の建て方別世帯数について、上記総住宅ストック数に戸建の割合（2010年度までは総務省「平成27年国勢調査[5]」より算出。2010年以降は2005年から2010年までの戸建世帯の増減傾向を線形補間）を乗じて戸建て世帯数を設定した（図8）。

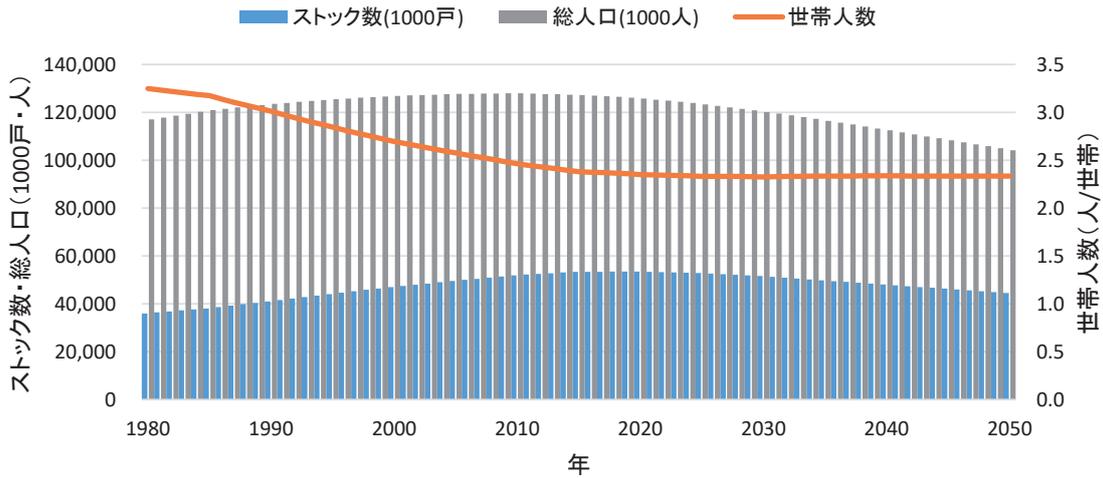


図7 我が国の将来総人口、総住宅ストック数、世帯人数の設定

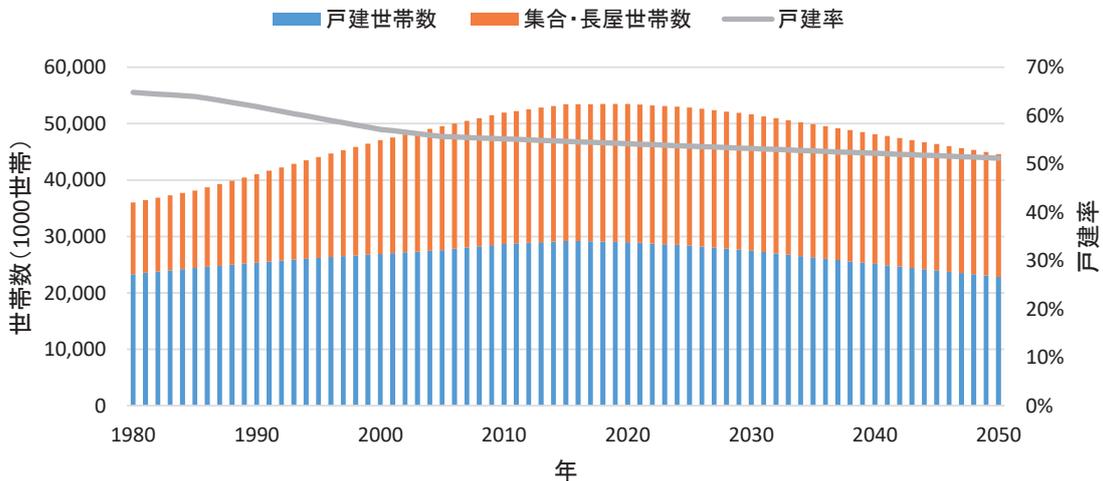


図8 我が国の建て方別将来総世帯数の設定

<sup>7)</sup> 住宅ストックとは、実績年あるいは推計年において国内に建築されている既存の住宅のこと。

④ 断熱性能の強化を考慮した日本全体の空調用サービス量の将来推計

住宅の断熱性能向上は、空調用サービス量の削減に貢献する。そこで本報では、将来における高断熱住宅の普及状況について検討を行った。2012 年時点の住宅ストックにおける断熱性能の内訳について、図 9 に示す調査結果がある<sup>8)</sup>[7]。ここでは、2030 年、2050 年時点の断熱性能内訳を求めることを目的とする。

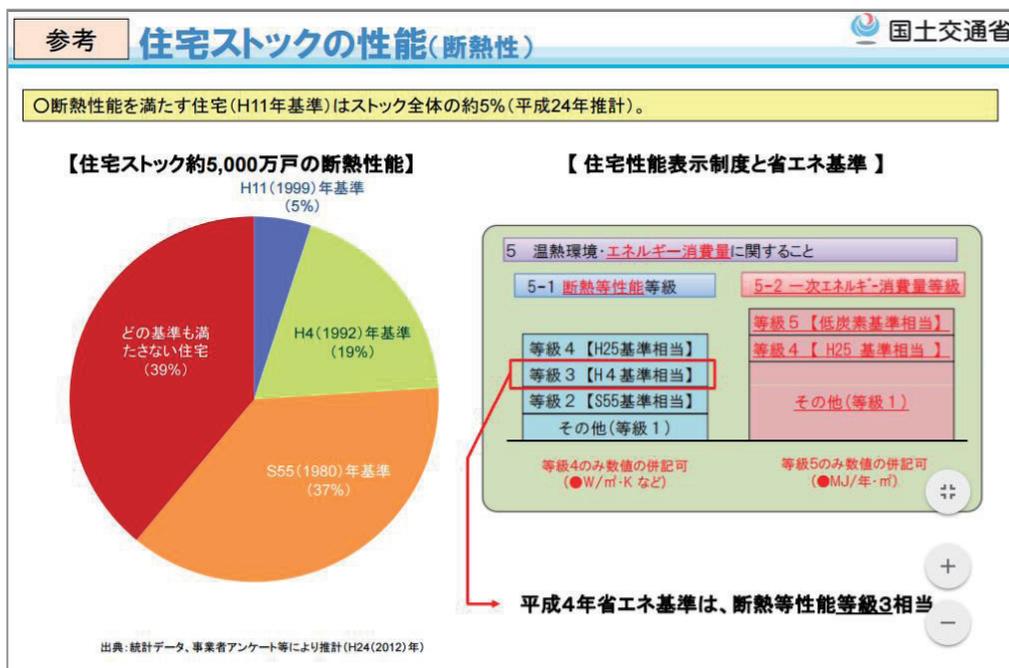


図 9 2012 年時点の住宅ストックの断熱性能内訳[7]

将来の断熱性能内訳を求めるために、2013 年以降の新築着工戸数とその断熱性能内訳、滅失戸数とその断熱性能内訳を以下のように設定した。

- ・ 2020 年に省エネ基準法の遵守が義務化<sup>9)</sup>されることにより、新築住宅の断熱性能は少なくとも平成 11 年基準を満たすことが予想される。よって、2020 年の新築住宅は全て平成 11 年基準であると、実績値 (2000 年～2009 年) から 2020 年までの間は線形補間した (図 10)。

<sup>8)</sup> 図 9 に示す省エネ基準については図 12 を参照。

<sup>9)</sup> 「建築物のエネルギー消費性能向上に関する法律 (建築物省エネ法)」(2015 年 7 月 8 日公布)に基づく「省エネ基準適合義務化」のこと。日本再興戦略 2013 (2013 年 6 月 14 日閣議決定)において、「規制の必要性や程度、バランス等を十分に勘案しながら、2020 年までに新築住宅・建築物について段階的に省エネ基準への適合を義務化する。」と決定された。

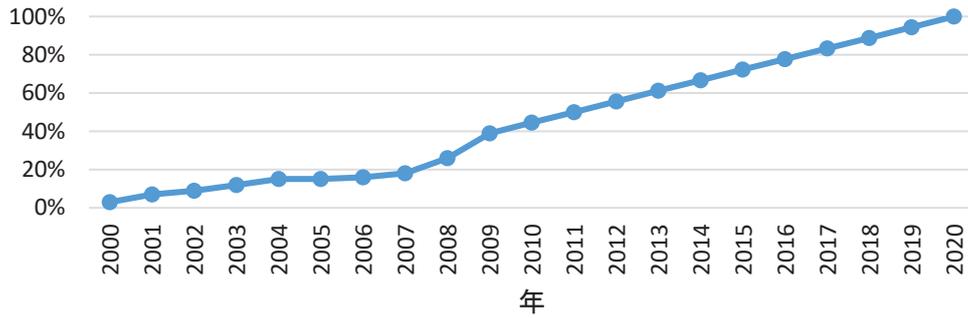


図 10 設定した新築住宅における平成 11 年断熱基準の適合率

- 2013 年以降の新築住宅において、図 10 に示す平成 11 年基準以外は全て平成 4 年断熱基準を満たすと仮定した。
- 2013 年以降の新築着工戸数は、国立社会保障・人口問題研究所「日本の世帯数の将来推計（平成 25 年 1 月推計）（2010 年～2035 年）※人口「出生中位・死亡中位」シナリオに基づく推計」における世帯数推計結果（2035 年～2050 年は過去 10 年間の傾向を維持すると仮定）と滅失戸数から算出した。ただし、今後の課題として、「出生高位・死亡低位」シナリオに基づく世帯数予測を行う必要がある。
- 2013 年以降に滅失する住宅戸数は、2011 年～2015 年の実績値（住宅ストック数の変化量と着工戸数の差）の平均値である年間約 621（千戸）を 2050 年まで固定し、断熱性能の低い住宅から滅失すると仮定した。
- 既存住宅の改修（断熱性能向上）は考慮していない。

以上の条件に基づいた将来の住宅ストックの断熱性能内訳の推移推計結果を図 11 に示す。

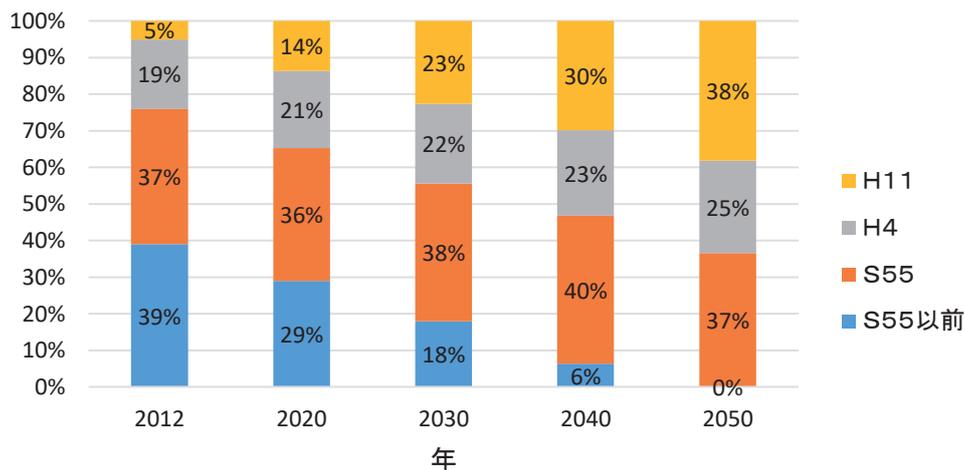


図 11 住宅ストックの断熱性能内訳の推移推計結果

次に、断熱性能強化によるサービス量の減少効果を推計する。断熱性能別の省エネ率に関する資料[8] (図 12) に基づき、2012 年時点の住宅ストック全体の冷暖房用サービス量を 1 とした時の、将来の冷暖房用サービス量を算出した (図 13)。

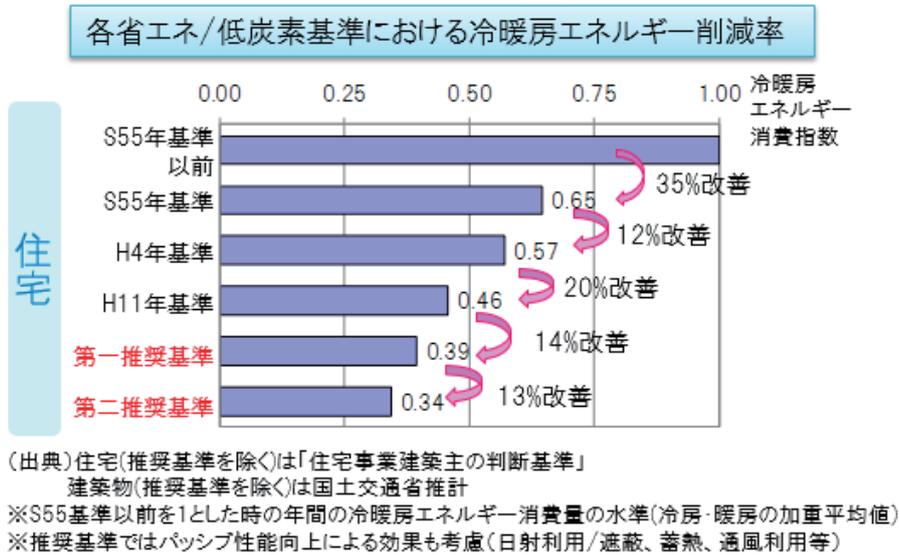


図 12 断熱性能別の冷暖房エネルギー削減率[8]

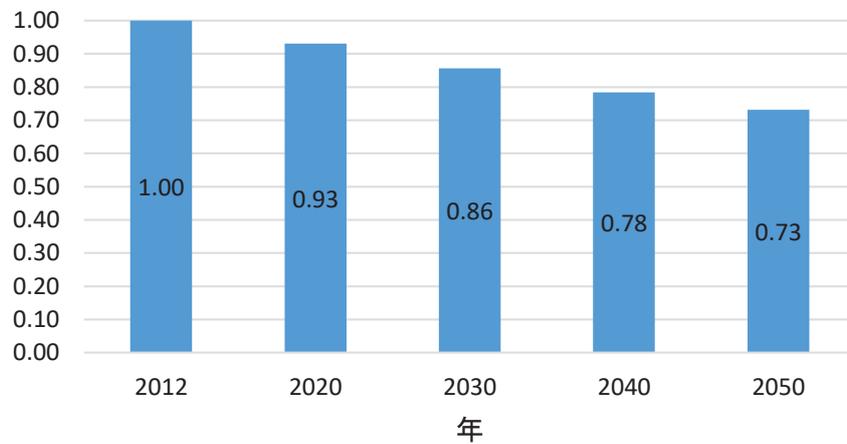


図 13 住宅ストックにおける冷暖房用サービス量の推移推計結果 (2012 年を 1 とする)

断熱性能の強化により、冷暖房用サービス量は減少する。図 11（住宅ストックの断熱性能内訳の推移推計結果）および図 13（住宅ストックにおける冷暖房用サービス量の推移推計結果）の前提に基づき断熱性能強化時における冷房用・暖房用サービス量を試算した結果を図 14 および図 15 に示す。冷房用サービス量は、断熱強化の場合でも、「傾向維持ケース」と「空調拡大ケース」の差が非常に小さいため、プロットが重なって見える。ただし、図 13 は冷暖房合計エネルギー消費量の削減率を示した結果であるため、今後は暖房・冷房の単独の省エネ効果に基づくよう、図 14 および図 15 を修正する必要がある。

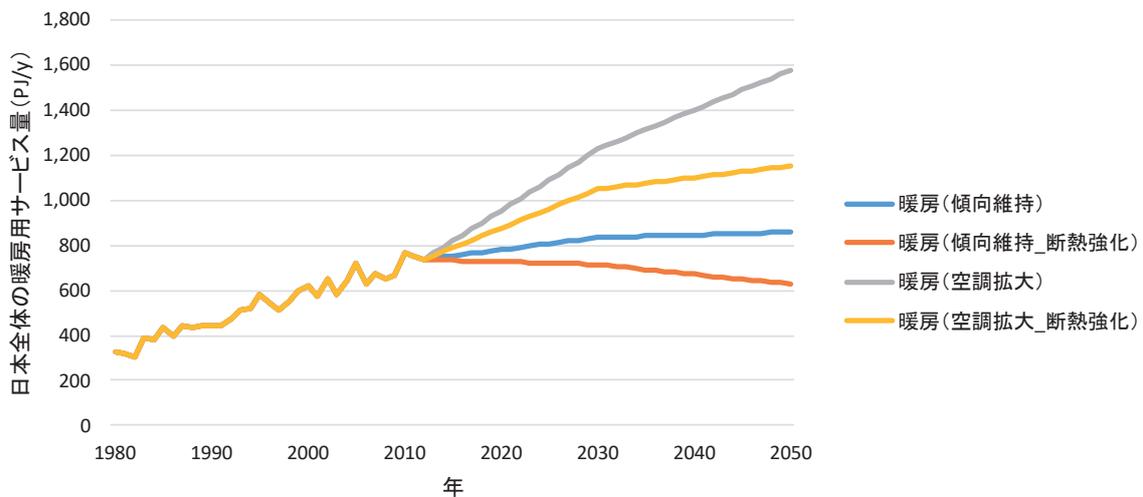


図 14 断熱強化による暖房用サービス量の削減試算結果  
 (ただし 2013 年～2029 年、2031 年～2049 年は線形補間)

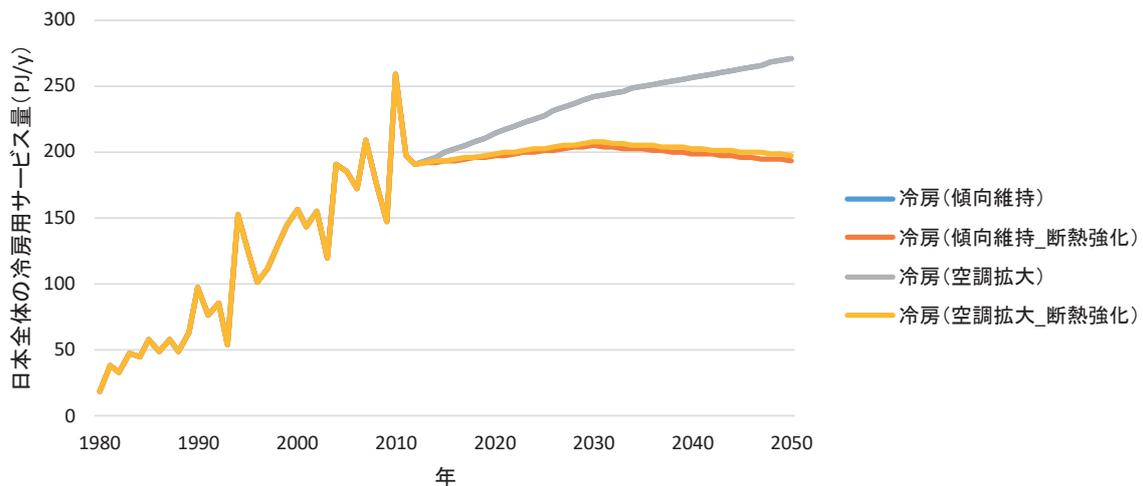


図 15 断熱強化による冷房用サービス量の削減試算結果（全て電力）  
 (ただし 2013 年～2029 年、2031 年～2049 年は線形補間)

⑤ 空調用サービス量の燃料別供給内訳シナリオ

図 16 に示した各ケースの暖房用サービス量を満たす暖房機器は、エアコン（電力）、ガス機器（都市ガス+LPG）、灯油機器（灯油他）の 3 つに大別できる。2.2（2）に示した算出方法に基づいて得られた 1980 年～2012 年における暖房用サービス量の燃料源別供給内訳および電力の占める割合を図 16 に示す。

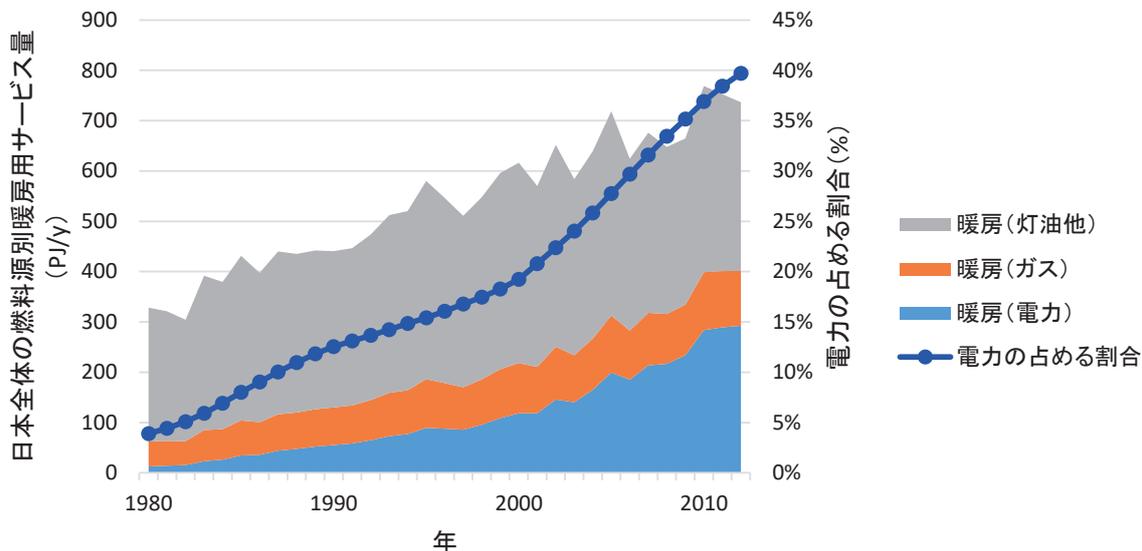


図 16 断熱強化による暖房用サービス量の削減試算結果

図 16 をみると、1980 年以降の暖房用サービス量の増加分は、ほぼエアコン（電力）の普及によるものであり、ガスや灯油等による暖房用サービス量は 1993 年頃からほぼ不変であった。

以上の結果から、断熱性能強化によるサービス量の減少効果考慮後の 2013 年以降 2050 年までの暖房用サービス量推計において、以下 2 つのシナリオを設定した。

- ・「ガス灯油サービス量不変ケース」：  
 ガスおよび灯油等により供給される暖房用サービス量およびその比率は、1993 年～2012 年までの平均値：462(PJ/y)（ガス 21%、灯油 79%）のまま 2050 年まで固定する。
- ・「電化傾向維持ケース」：  
 2011 年～2012 年の電化伸び率を 2050 年まで維持した電化率を設定する。また、ガスと灯油は 1993 年～2012 年までの平均比率（ガス 21%、灯油 79%）を保つと仮定した。

暖房用サービス量に関する「傾向維持\_断熱強化ケース」および「空調拡大\_断熱強化ケース」(図 14 参照)において、上記「ガス灯油サービス量不変ケース」「電化傾向維持ケース」を適用した結果を、それぞれ図 17、図 18 に示す。断熱強化考慮後の 2050 年における暖房用サービス量は、「傾向維持ケース」で 628(PJ/y)、「空調拡大ケース」で 1,152(PJ/y)となり、推定幅が大きくなることが予想された。また、暖房の電化傾向が今後も維持される場合、両ケースにおいて 2050 年における暖房用サービス量の 88%が電力(エアコン)により賄われることが予想された。

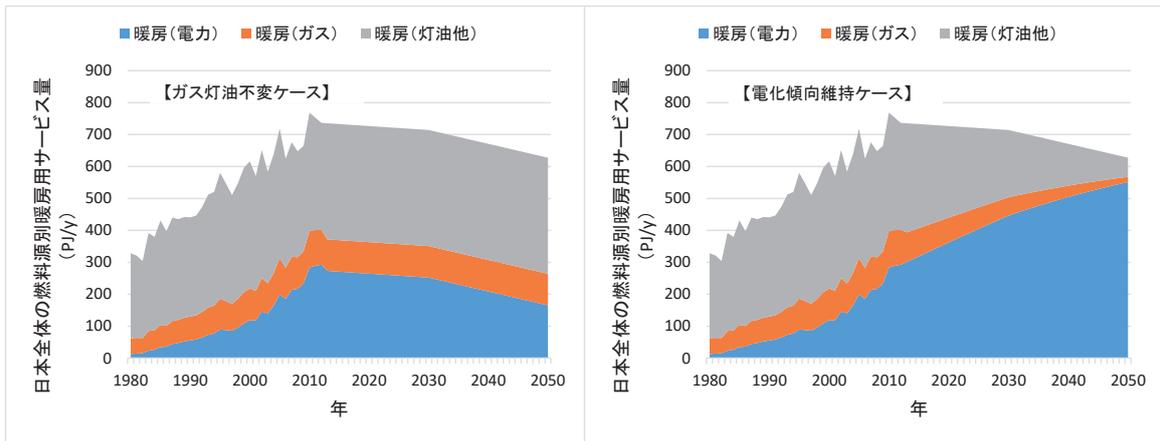


図 17 「傾向維持\_断熱強化ケース」における暖房用サービス量の燃料源別供給内訳

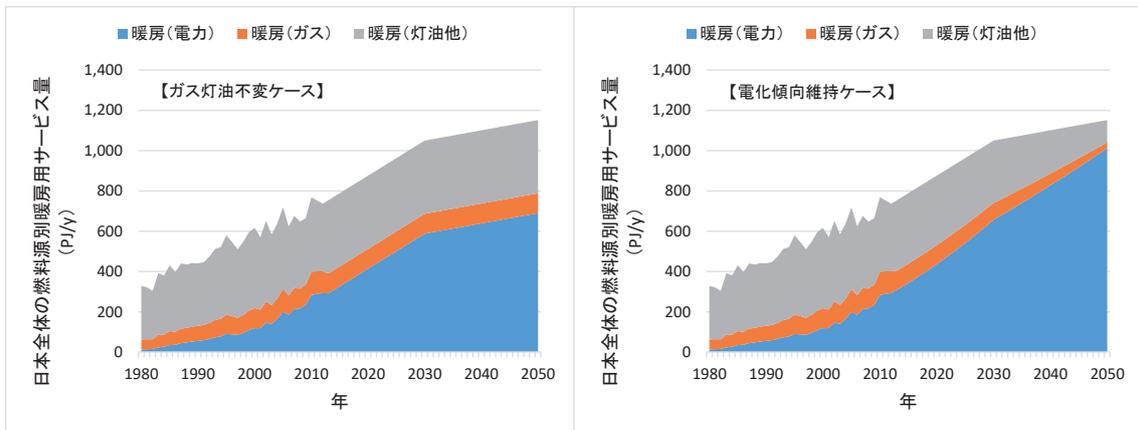


図 18 「空調拡大\_断熱強化ケース」における暖房用サービス量の燃料源別供給内訳

(2) 給湯用サービス量の将来推計

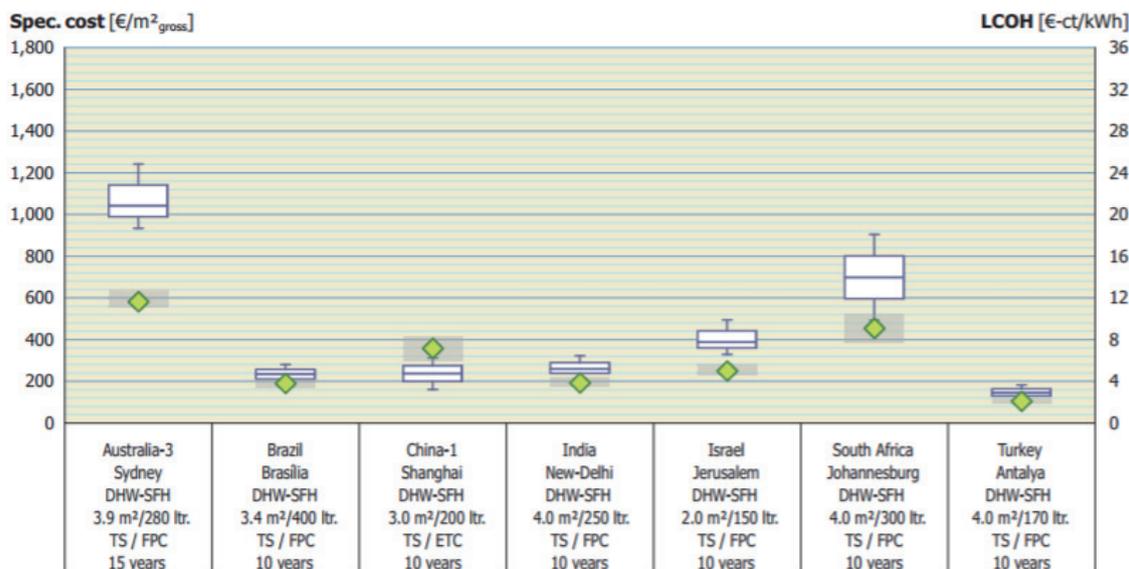
① 将来シナリオ（給湯）の設定

1 日の給湯負荷(kJ/日)は、以下の式で算出できる。

$$\text{給湯負荷} = \text{給湯量 (kg/日)} \times (\text{給湯温度 (}^\circ\text{C)} - \text{給水温度 (}^\circ\text{C)}) \times \text{水の比熱 (4.186 kJ/kg/K)}$$

太陽熱温水器を設置することにより、給水温度を上昇させ、給湯負荷を削減することが可能となる。一般的な給湯温度 (38~44°C) に対して、太陽熱温水器を設置しない場合の給水温度は約 17°C (東京都年平均推計) であるのに対し、太陽熱温水器を経由した給水温度は年平均約 37°C (平板式) ~ 約 50°C (真空式) との報告もみられる。

太陽熱温水器は中国を中心に海外において設置が進んでいる。日本は給湯需要の比率が他国と比べて高く年間日射量も多い上に、海外製品の価格は国内製品と比べて 1/3 程度と非常に安い (海外製品の価格を図 19 に示す[9])。国内製品は 8 万円/m<sup>2</sup> 前後 (650 €/m<sup>2</sup> 前後)、今後日本でも海外製品の普及が進む可能性がある。特に、真空チューブ式集熱器は外気温に左右されにくく集熱効率が高いため、日本においても潜在的な需要は大きいと考えられる。

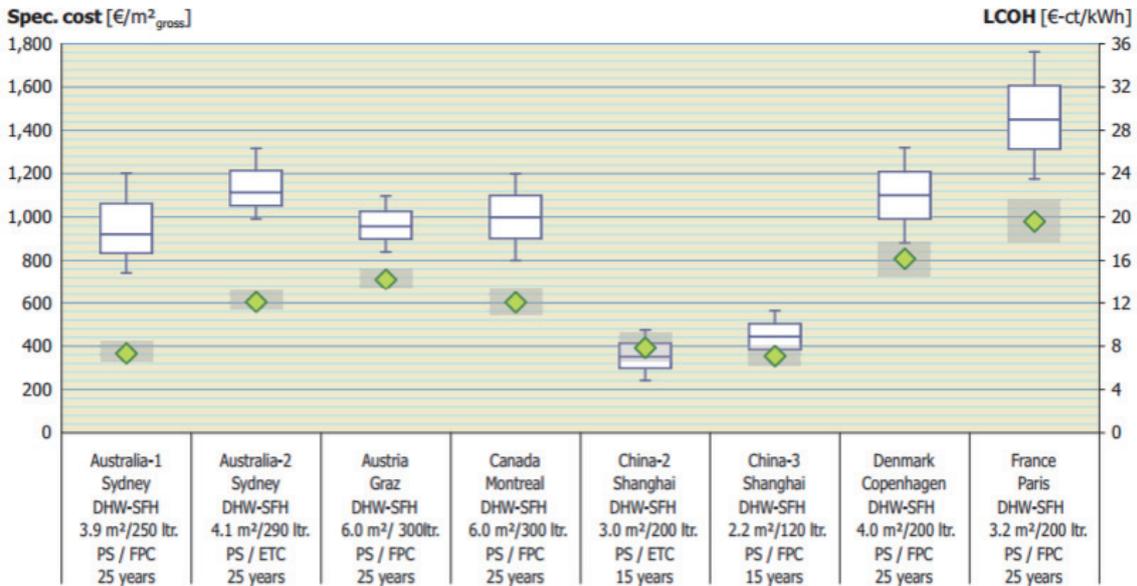


※FPC (Flat-plate collectors) とは平板集熱器を指す。

※ETC (Evacuated tube collectors) とは真空チューブ式集熱器を指す。

図 19 熱サイフォン型（自然循環式）住宅向け太陽熱温水器の平米あたりシステムコスト（補助金なし、設置費用含む）の比較（ボックスプロットおよび左軸値参照）[9]

直接加熱方式である太陽熱温水器に対して、ソーラーシステムは熱媒体もしくは水による間接加熱方式である。ソーラーシステムの利点は、屋根に貯湯槽をおく必要がないため屋根荷重の負担が少ないこと、電気やガスなどの補助給湯器と接続可能であること、集熱面積を 6~8 平米にすると給湯のほか暖房にも利用可能であること等が挙げられる。一方で、普及が進まない最大の課題は価格である。しかしながら、太陽熱温水器と同様に、海外製品の価格は国内製品と比べて 1/2 程度と非常に安い (海外製品の価格を図 20 に示す[9])。国内製品は 25 万円/m<sup>2</sup> 前後 (2100 €/m<sup>2</sup> 前後)、今後日本でも海外製品の普及が進む可能性がある。



※FPC (Flat-plate collectors) とは平板集熱器を指す。  
 ※ETC (Evacuated tube collectors) とは真空チューブ式集熱器を指す。

図 20 小型ポンプ型（強制循環式）住宅向け太陽熱温水器の平米あたりシステムコスト（補助金なし、設置費用含む）の比較（ボックスプロットおよび左軸値参照）[9]

以上の根拠に基づき、将来の住宅では太陽熱温水器が普及する可能性があると思定した。

次に、普及を想定した場合の太陽熱温水器の設置面積およびエネルギー供給量について検討を行った。日射量に対する太陽熱利用システムのエネルギー効率<sup>1</sup>は 40～60%[10]である。年間傾斜面日射量を 4,500(MJ/m<sup>2</sup>/y)と仮定すると、年間集熱量は 1,800～2,700(MJ/m<sup>2</sup>/y)となる（前述中央環境審議会資料[1]では 2,177(MJ/m<sup>2</sup>/y)に設定）。給湯の 1 人あたりサービス需要量は約 1,000(kcal/y/人)（図 5 より）であり、世帯人数は概ね 2.3（人/世帯）（図 7 より）であるため、蓄熱ロスや配管熱ロスを考慮しても、現在一般的に販売されている太陽熱温水器の集熱面積（3 m<sup>2</sup>）を確保することで、太陽熱温水器のみで給湯用サービス需要をほぼ満たすことができると考えられる。近年は集合住宅のバルコニー外壁に設置できるタイプの太陽熱温水器も販売されており、住宅種に係らず導入は可能である。

EDMC 統計[4]によると、2010 年度の太陽熱による給湯エネルギー供給量は日本全体で 16,093(TJ)である。2010 年度の太陽熱利用システム導入世帯数は、約 2,507（千世帯）（図 21 より）であることから、世帯あたりの設置面積を 3 m<sup>2</sup>、エネルギー供給量を 2,177(MJ/m<sup>2</sup>)とすると合計エネルギー供給量は 16,373(TJ)であり、誤差は 2%以下であることから、上記前提が妥当であると考えられた。

以上の観点から、本報では給湯用サービス量に係る将来シナリオとして、今後太陽熱温水器が普及するケースを含めた以下 2 つのケースを設定した。

・「(太陽熱) 傾向維持ケース」:

2008～2013 年度までの導入傾向を維持すると仮定。なお、太陽熱利用システムの普及率は年々低下している（総務省住宅・土地統計調査によると、平成 15 年度の普及率は 6.6%、平成 20 年度の普及率は 5.3%(戸建 9.1%、集合その他 0.5%)、平成 25 年度の普及率は 4.2%(戸建 7.4%、集合その他 0.4%)）。平成 15 年度以降（省エネルギー設備に関する統計調査開始以降）の建て方別普及戸数（ストック）推定結果を図 21 に示す。

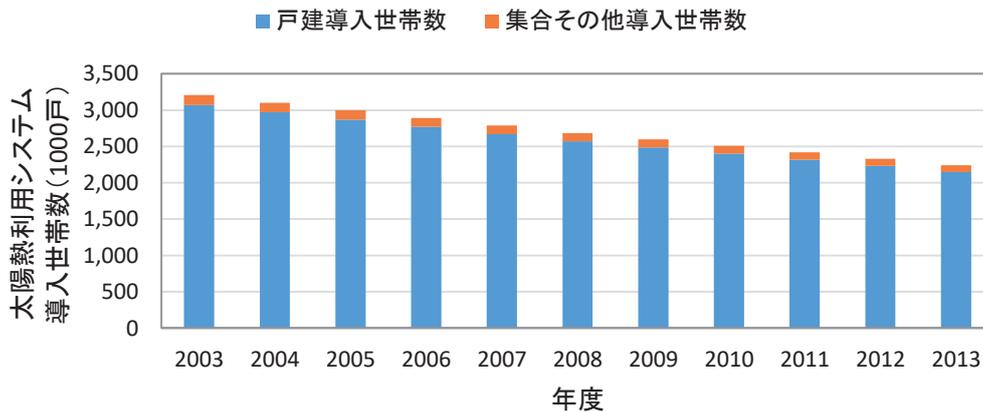


図 21 太陽熱利用システムの導入世帯数推定結果

・「(太陽熱) 普及ケース」:

2020 年に省エネ基準法の遵守が義務化されるなどの政策に伴い、太陽熱への関心が高まると想定。戸建・集合住宅ともに普及が促進すると仮定。なお、普及速度は住宅用太陽光発電と同じ[11]（図 22 参照。ただし 2011 年以降の急激な増加は考慮しない。）とした。

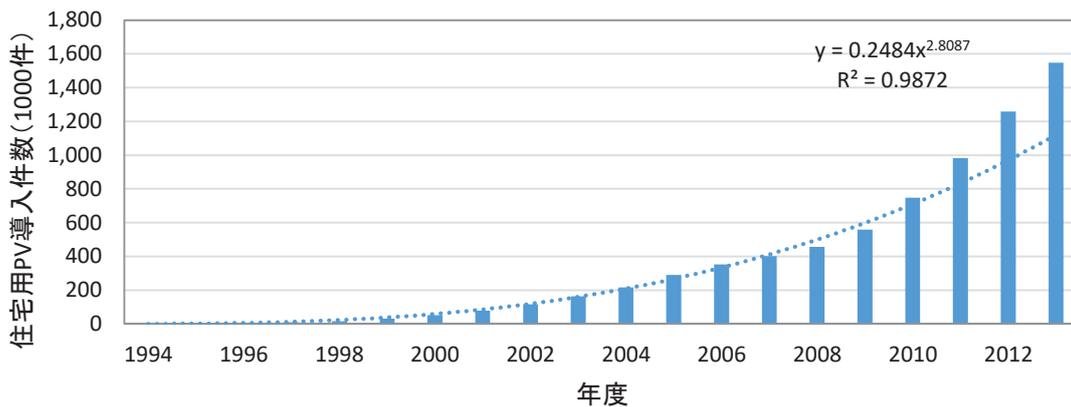


図 22 住宅用太陽光発電の導入世帯数の推移

以上 2 つのケースの設定に基づき、本報で想定した今後の太陽熱利用システム導入件数を図 23 に示す。「普及ケース」では 2050 年における太陽熱利用システム導入世帯数が 35,135（千戸）になると推定された。

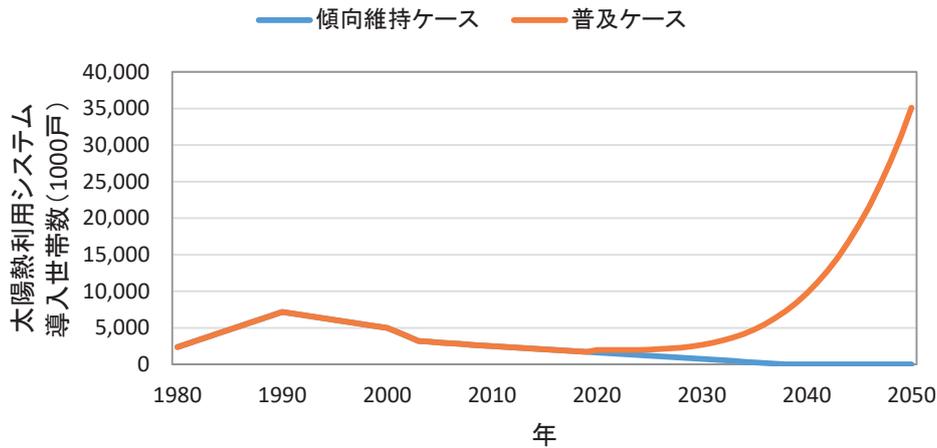


図 23 各ケースにおける太陽熱利用システム導入世帯数

② 各将来シナリオ（給湯）における日本全体のサービス量  $i(t)$  の推計（ $t$  : 1980 年～2050 年※ 2013 年以降が推計値）

太陽熱温水器の普及による給湯用サービス量の削減を考慮した、給湯用サービス量推移の試算結果を図 24 に示す。ただし、世帯あたりの設置面積は 3 m<sup>2</sup>、エネルギー供給量を 2,177(MJ/m<sup>2</sup>)とした。

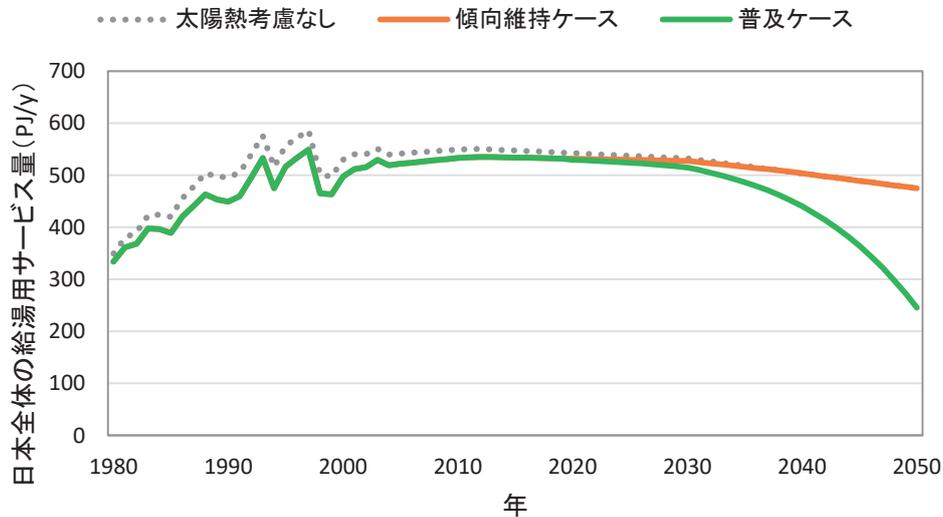


図 24 太陽熱利用システムの普及による給湯用サービス量の削減試算結果

③ 給湯用サービス量の燃料別供給内訳シナリオ

図 24 で得られた各ケースの給湯用サービス量を満たす給湯機器は、ヒートポンプ給湯器（電気）、従来型電気給湯器（電気）、燃料電池（都市ガス+LPG）、潜熱回収型ガス給湯器（都市ガス+LPG）、従来型ガス給湯器（都市ガス+LPG）、灯油機器（灯油他）の 6 つに大別できる。本報告書では、従来型ガス給湯器を除く 5 つの給湯機器について、供給サービス量は過去の傾向を維持すると仮定した（従来型電気給湯器および灯油機器は過去 10 年間の傾向を、その他の機器は過

去1年間の増加率を維持するものとした)。

以上の想定に基づき、太陽熱利用システムの普及ケース別に、給湯用サービス量の燃料源別供給内訳を試算した結果を図25～27に示す。ただし、太陽熱普及ケースにおいては、2050年時点におけるヒートポンプ給湯器によるサービス供給量とガス(燃料電池と潜熱回収型給湯器)によるサービス供給量が同量となるケース(ガス電気均等ケース)と、ヒートポンプ給湯器の普及傾向を維持するとともに潜熱回収型給湯器よりも優位に導入されるケース(ヒートポンプ優先ケース)の2通りを設定した。

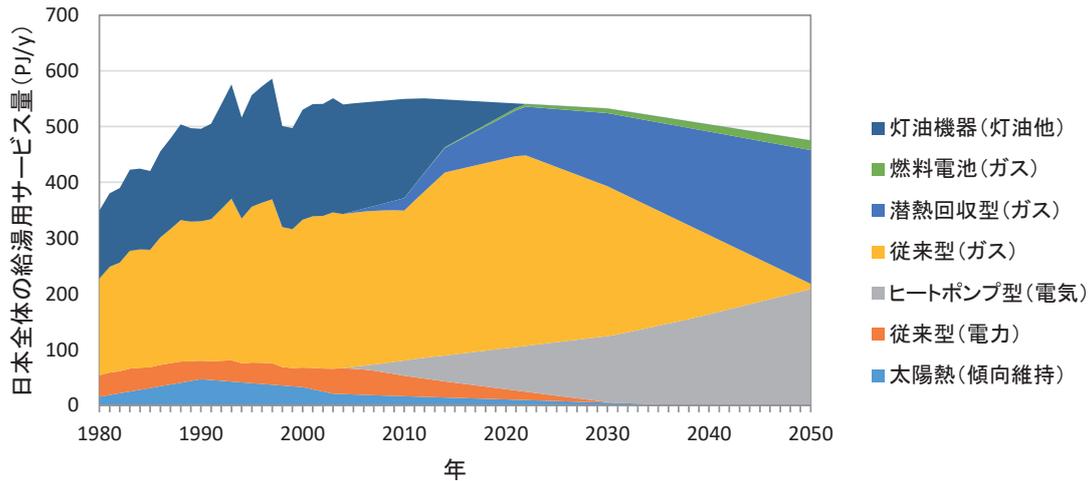


図25 給湯用サービス量の燃料源別供給内訳(太陽熱\_傾向維持ケース)

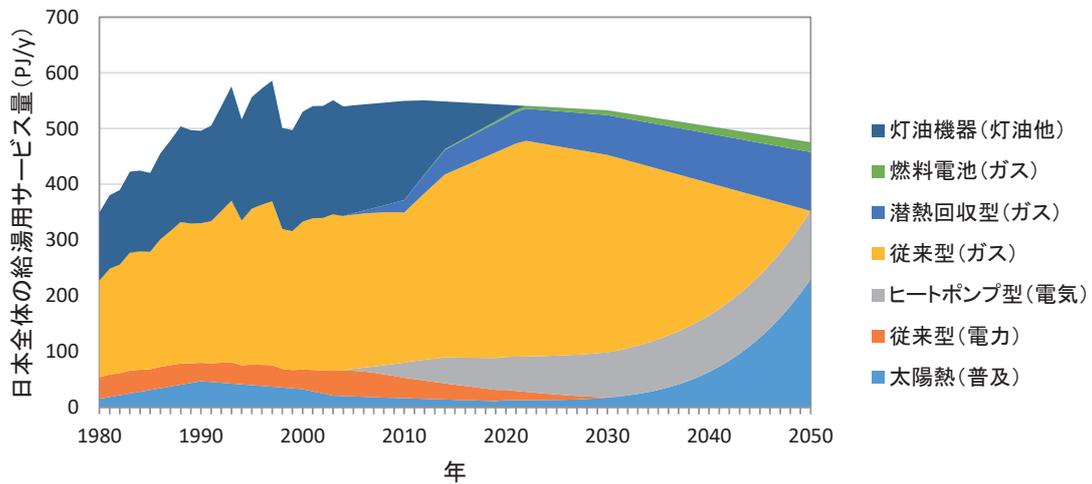


図26 給湯用サービス量の燃料源別供給内訳(太陽熱普及\_ガス電気均等ケース)

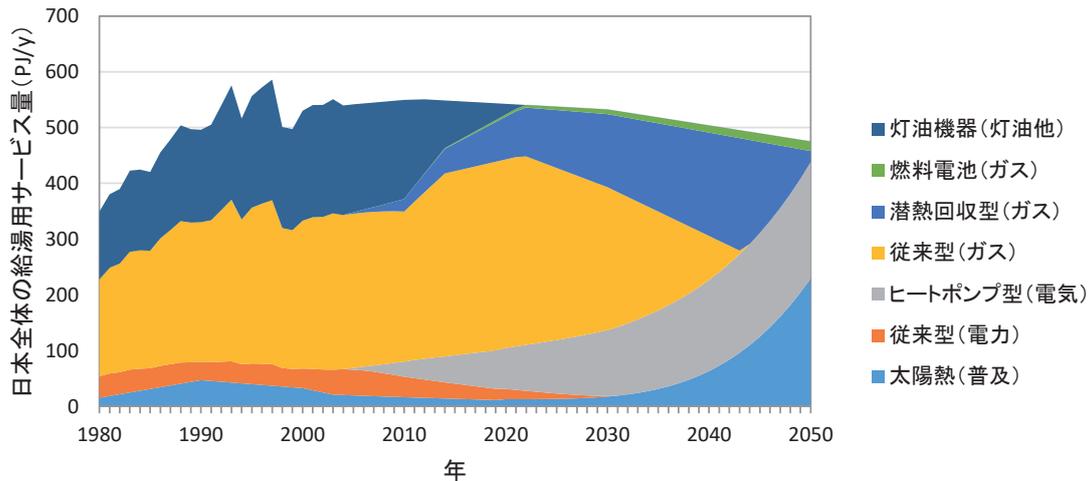


図 27 給湯用サービス量の燃料源別供給内訳 (太陽熱普及\_ヒートポンプ優先ケース)

### (3) 動力他用サービス量の将来推計

2.2 章 (3) に記載したように、動力他用サービス量の推定においては、機器エネルギー効率の認定が困難であるため、1998 年以前のサービス量については 1 人あたりのエネルギー消費量自体を“サービス量”として標記した。動力他用エネルギー消費量の削減要素としては、トップランナー制度導入による機器エネルギー効率の向上効果が挙げられる。トップランナー制度は 1999 年に導入された。そこで、1999 年以降のサービス量については、トップランナー制度導入前の 1965 年～1998 年における近似直線により推定した。各種想定に基づく 1 人あたりの動力他用サービス量を図 28 に示す。

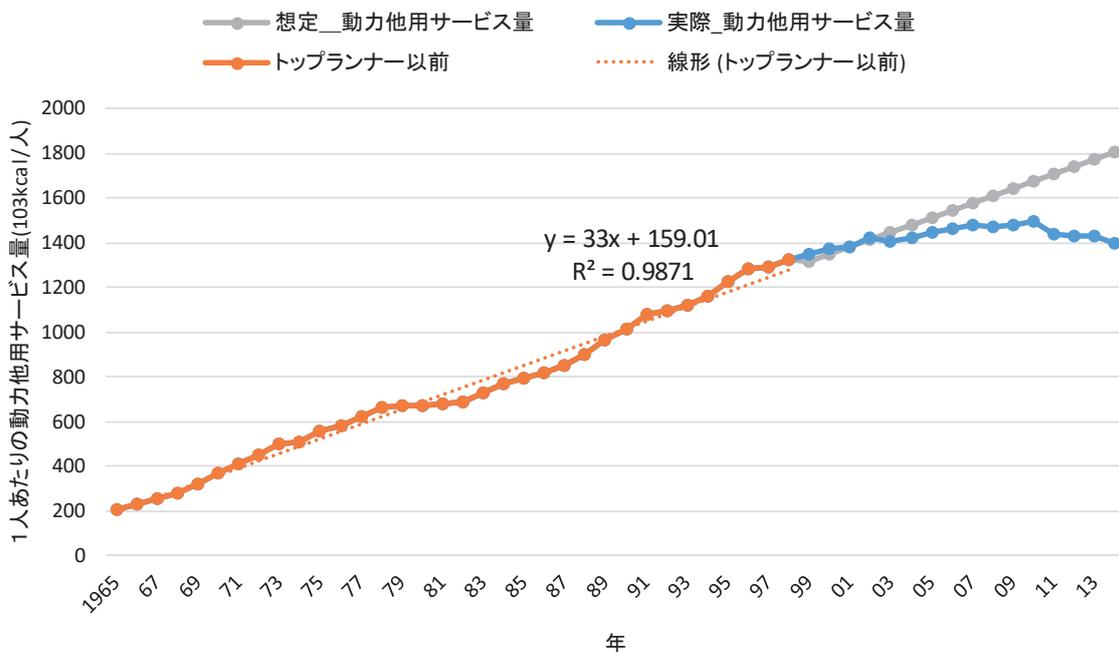


図 28 1 人あたりの動力他サービス量の推移

一方で、実際の動力他用エネルギー消費量は 2000 年頃からはほぼ一定の値となっている。トップランナー制度の導入による機器エネルギー効率の向上効果のほかにも、ライフスタイルの変化などが要因として考えられるが、詳細は定かではない。動力他用エネルギー消費量の将来シナリオについては、3.1 章（3）にて後述する。

#### （4）厨房用サービス量の将来推計

厨房用サービス量は図 4 および図 29（下図）に示したように微増傾向にあることから、今後もその傾向を維持するものとした（図 5 参照）。しかしながら、燃料源別の内訳をみると、厨房の電化率は近年上昇傾向にある。なお、厨房用エネルギー源は電力とガスの 2 種類のみである。

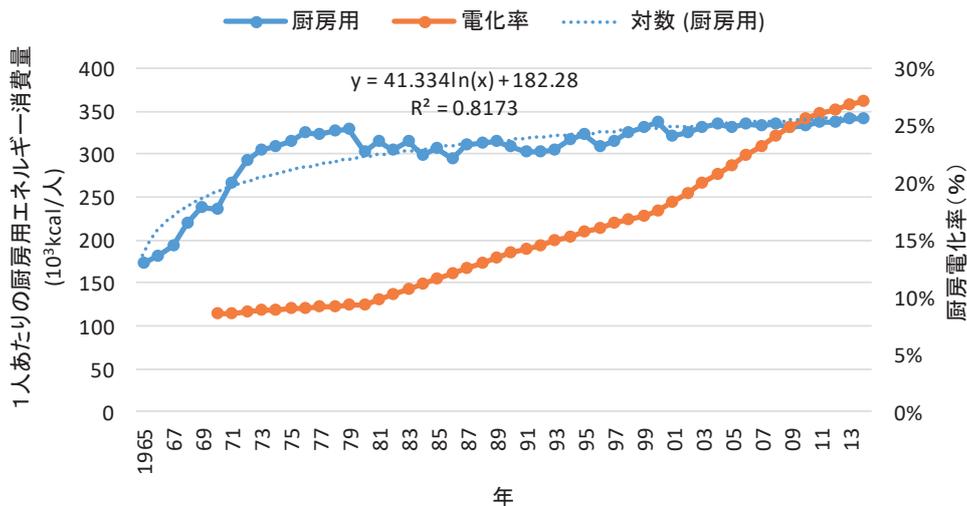


図 29 厨房用サービス量および電化率の推移

そこで本報では、2014 年以降 2050 年までの燃料源別厨房用サービス量推計において、2004 年～2014 年の電化伸び率を 2050 年まで維持すると仮定して得た結果（2030 年時電化率 37%、2050 年時電化率 50%）に従うものとした。厨房用サービス量の燃料源別供給内訳を試算した結果を図 30 に示す。

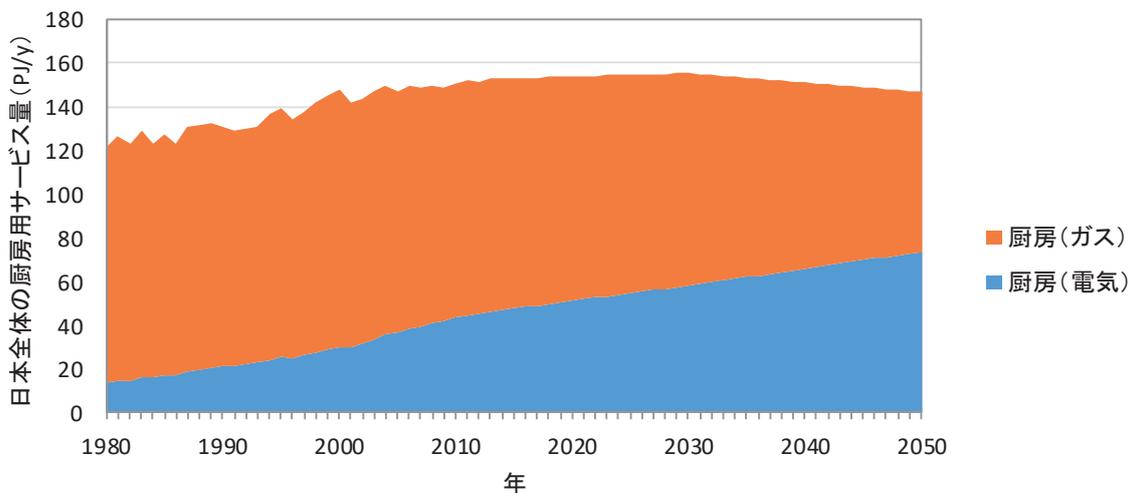


図 30 厨房用サービス量の燃料源別供給内訳

### 3. 民生家庭部門における最終エネルギー消費量の将来推計

#### 3.1 用途別最終エネルギー消費量の将来推計

##### (1) 空調用最終エネルギー消費量の将来推計

##### ① 機器のストックエネルギー効率の設定

図 3 に示した 1980 年～2012 年のエアコンのストックエネルギー効率 (COP) の推移における 2011 年～2012 年の COP 伸び率を 2050 年まで維持した COP を設定し、実効効率 (図 3 参照) を乗じた値を、本報における「ストックエネルギー効率」として図 31 のように設定した。実効効率については、今後再考すべき点である。なお、ガスおよび灯油による暖房機器のストックエネルギー効率は将来に渡り不変 (COP=0.95) であるとした (図 3 参照)。

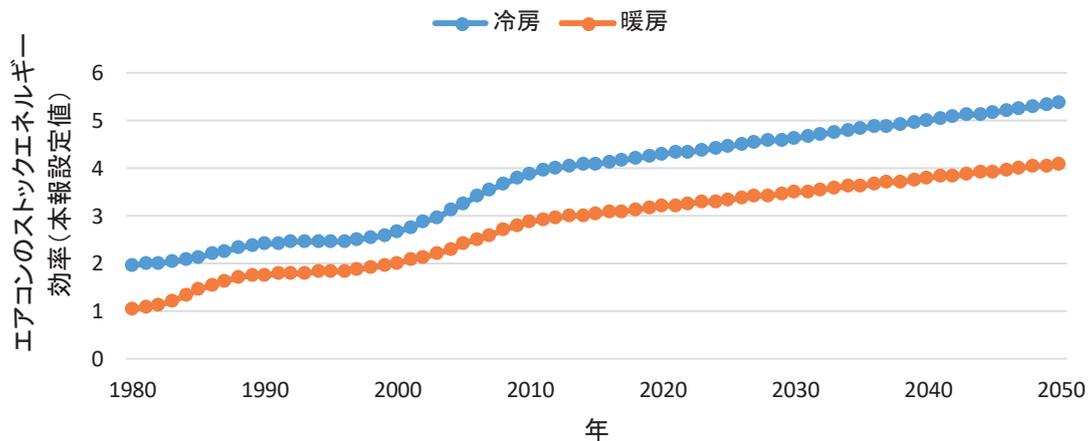


図 31 本報で設定したエアコンのストックエネルギー効率の推移

② 燃料源別冷暖房用最終エネルギー消費量の将来推計結果

2.3 章 (1) ⑤ で示した日本全体の冷暖房用サービス量シナリオに、上記①で示した機器のストックエネルギー効率を適用し、燃料源別冷暖房用最終エネルギー消費量の将来推計を行った。

日本全体の暖房用サービス量シナリオ (図 17、図 18) から求めた、2050 年までの暖房用最終エネルギー消費量推計結果を図 32、図 33 に示す。2050 年時点の暖房用最終エネルギー消費量は年間約 215(PJ) (「空調傾向維持\_電化傾向維持ケース」の推計結果。内訳は電力 135(PJ)、ガス 17(PJ)、灯油その他 63(PJ)である。) ~655(PJ) (「空調拡大\_ガス灯油不変ケース」の推計結果。内訳は電力 168(PJ)、ガス 104(PJ)、灯油その他 383(PJ)である。) の幅の中に収まると予想された。

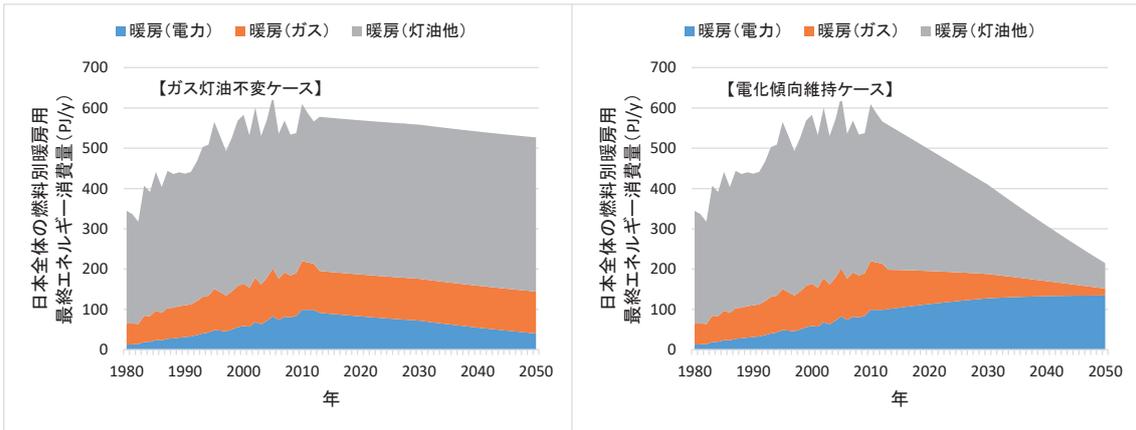


図 32 「傾向維持\_断熱強化ケース」における燃料別暖房用最終エネルギー消費量

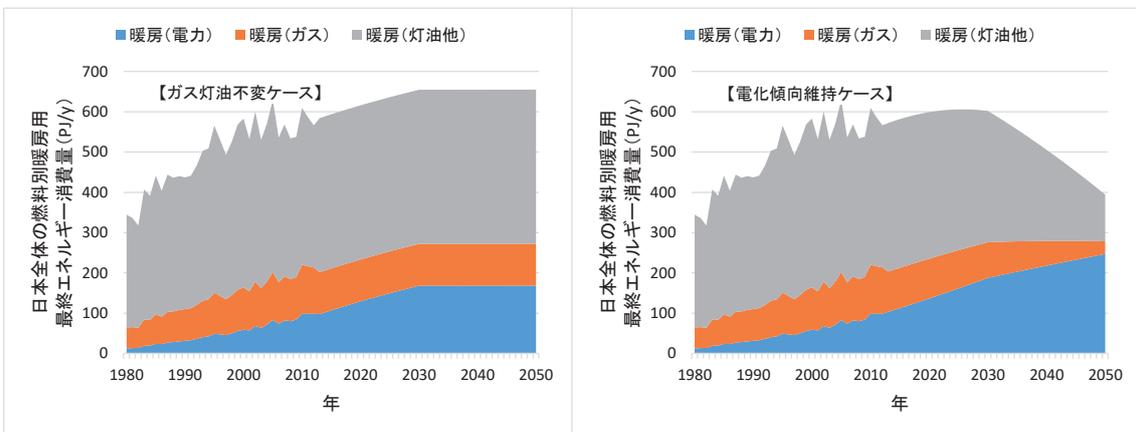


図 33 「空調拡大\_断熱強化ケース」における燃料別暖房用最終エネルギー消費量

また、暖房と同様に、図 31 に示すエアコンのストックエネルギー効率に基づいて、断熱性能強化によるサービス量の減少効果考慮後の「傾向維持ケース」および「空調拡大ケース」における 2050 年までの冷房用最終エネルギー消費量を推計した（図 34）。その結果、2050 年時点の冷房用最終エネルギー消費量は年間約 36(PJ)（「空調傾向維持ケース」）～37(PJ)（「空調拡大ケース」）の幅の中に収まると予想された。

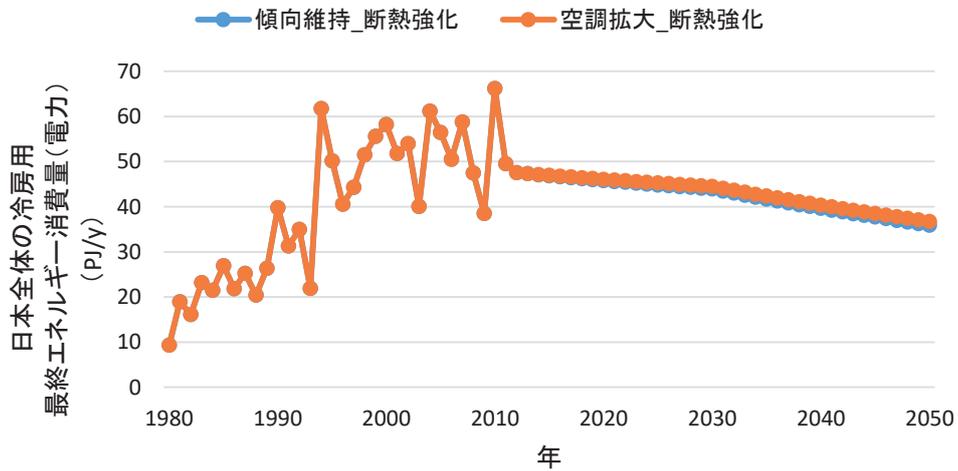


図 34 冷房用最終エネルギー消費量（全て電力）

以上の推計結果に基づき、冷暖房用最終エネルギー消費量の将来推計結果を図 35 にまとめた。その結果、2050 年時点の冷暖房用最終エネルギー消費量は年間約 251(PJ)～692(PJ)の幅の中に収まると予想された。図 36 に各ケースにおける燃料別冷暖房用最終エネルギー消費量を示す。

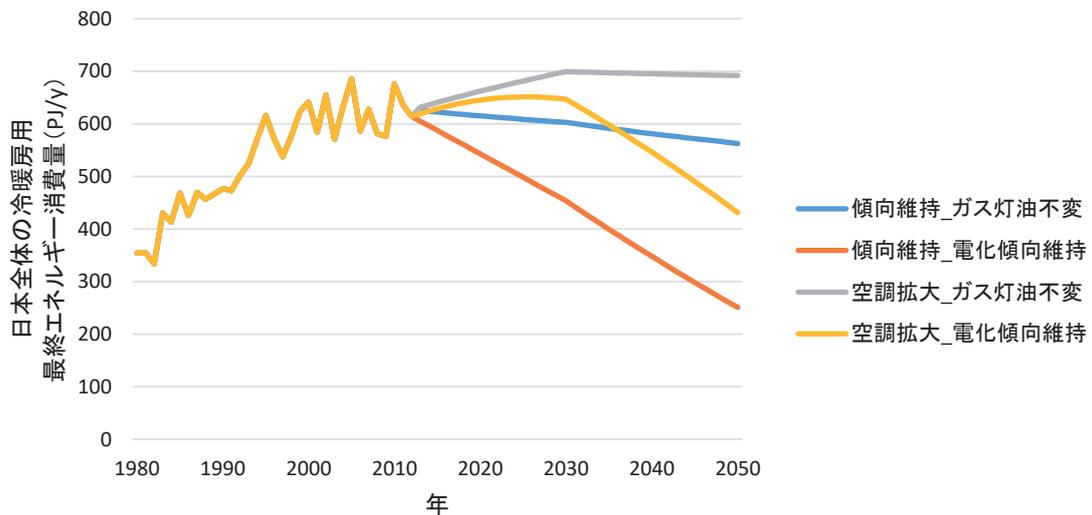


図 35 冷暖房用最終エネルギー消費量の推計結果

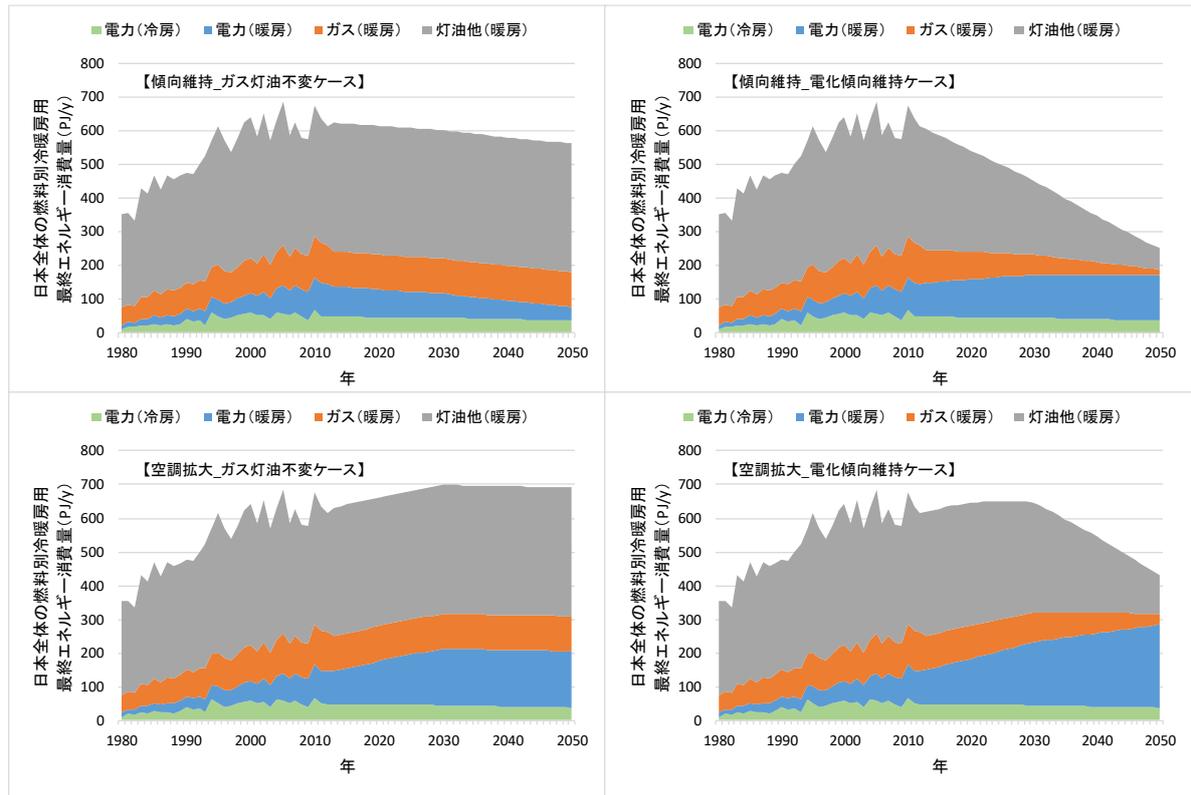


図 36 燃料別冷暖房用最終エネルギー消費量の推計結果

(2) 給湯用最終エネルギー消費量の将来推計

① 機器のストックエネルギー効率の設定

給湯用ヒートポンプシステムのエネルギー効率 (COP) について、フローエネルギー効率<sup>10)</sup>では 5.0~5.5 程度に向上しつつある (図 37、エコキュート (中間期 COP) 参照)。

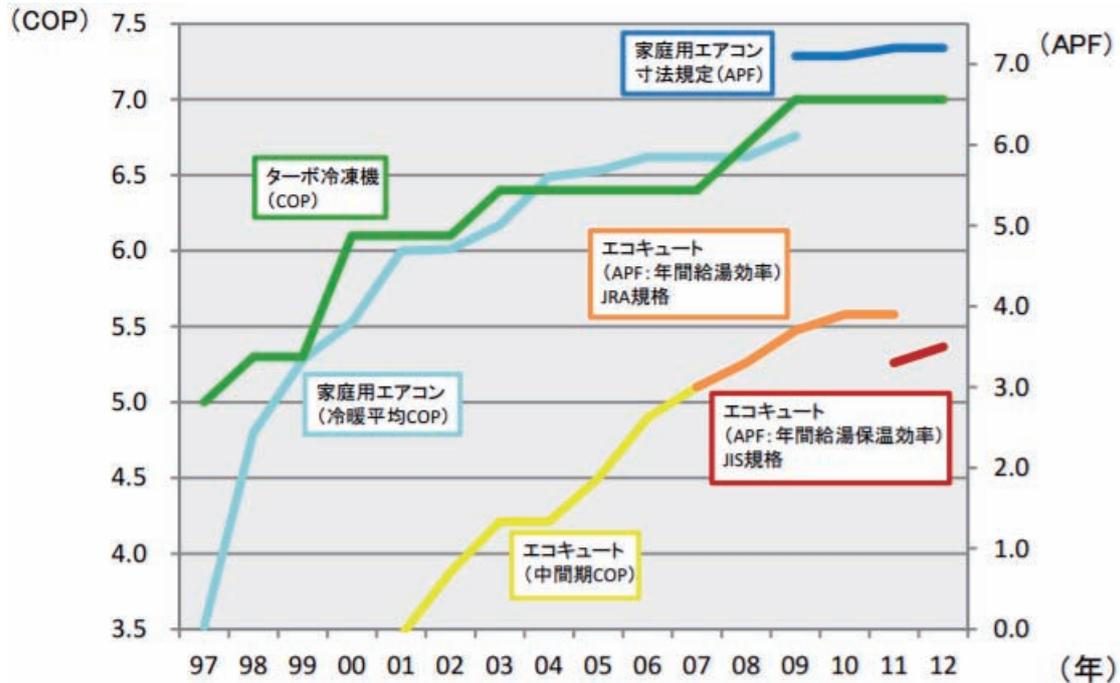


図 37 ヒートポンプ機器の効率推移[12]

ヒートポンプ給湯器のストックエネルギー効率を設定するにあたり、フローエネルギー効率からの換算係数を 0.6[2]とした。給水温度を約 16°C (東京都水道局平成 26 年度年間平均)、給湯温度を 65°C とすると、ヒートポンプ給湯器の理論効率は最大 6.9 (逆カルノーサイクル効率に基づき算出) となる。よって本報告書では、2050 年のフローエネルギー効率を 6.9 とし、2012 年度までの実績値から 2050 年まで線形補間してフローエネルギー効率を設定した。以上の前提に基づいて設定したヒートポンプ給湯器のストックエネルギー効率を図 38 に示す。なお、従来型電気給湯器のストックエネルギー効率は 0.9 (図 3 参照)、従来型ガス給湯器および灯油機器は 0.8 (図 3 参照)、潜熱回収型給湯器は 0.95 とした。燃料電池の熱利用効率<sup>11)</sup>は将来に渡り 45%[1]とした。

<sup>10)</sup> フローエネルギー効率は、実績年または推計年において生産・導入された機器の COP。一方、ストックエネルギー効率は、実績年または推計年における既存の機器の COP。

<sup>11)</sup> 燃料電池は発電と熱供給の両者を可能とする。本報では、文献[1]における 2020 年の「技術固定」シナリオで用いられている燃料電池コージェネレーションシステムの性能 (実効発電効率 34%、実効熱利用効率 45%) を引用した。

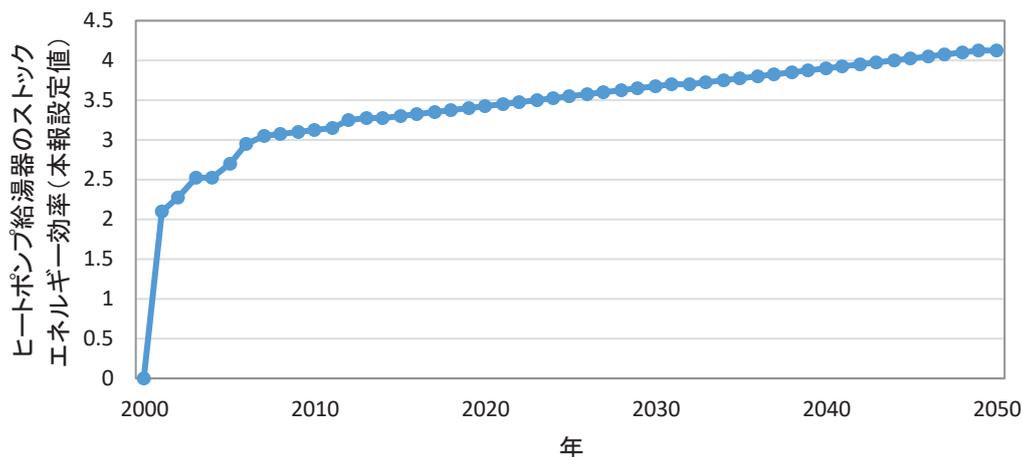


図 38 想定したヒートポンプ給湯器のストックエネルギー効率の推移

② 燃料源別給湯用最終エネルギー消費量の将来推計結果

2.3 章 (2) ③で示した日本全体の給湯用サービス量シナリオ (図 25~27) に、上記①で示した機器のストックエネルギー効率を適用し、燃料源別給湯用最終エネルギー消費量の将来推計を行った (図 39~41)。

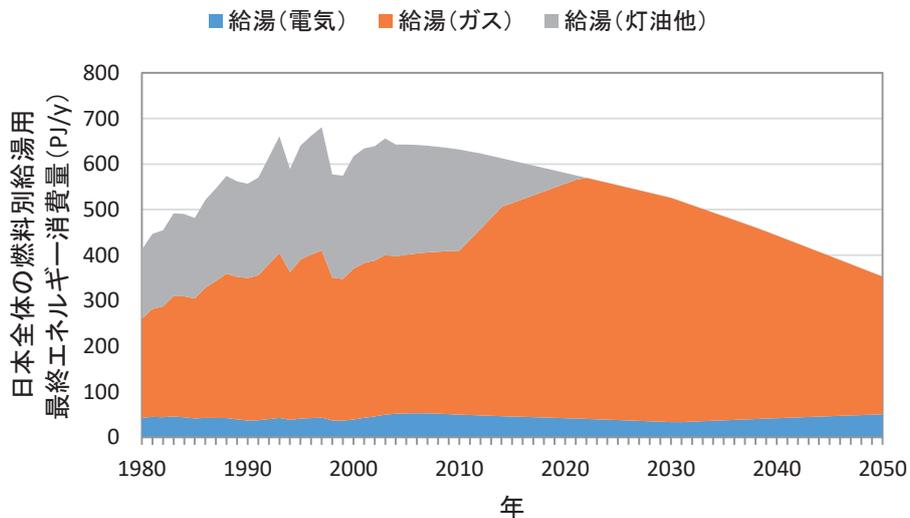


図 39 「太陽熱\_傾向維持ケース」における燃料別給湯用最終エネルギー消費量

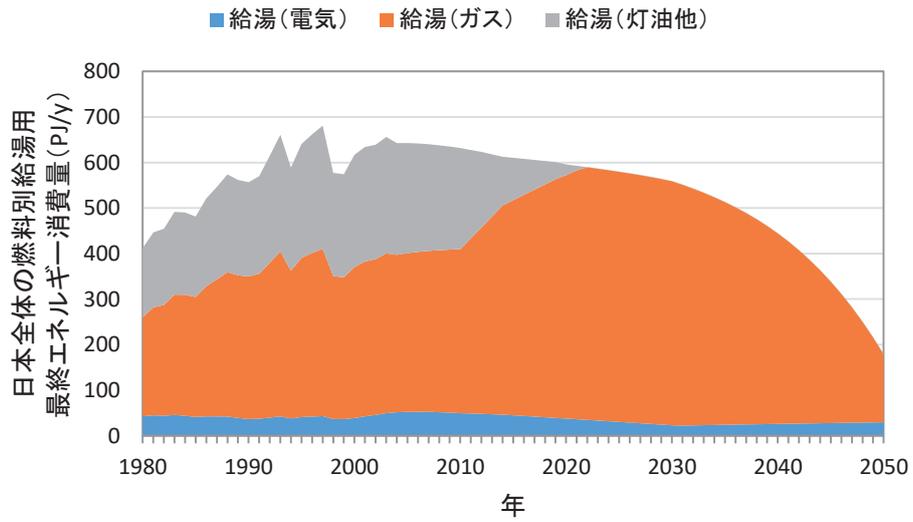


図 40 「太陽熱普及\_ガス電気均等ケース」における燃料別給湯用最終エネルギー消費量

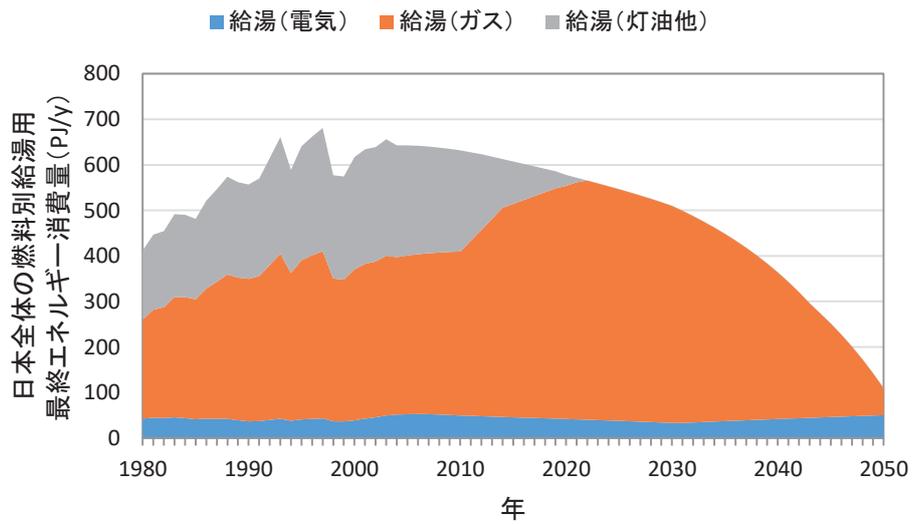


図 41 「太陽熱普及\_ヒートポンプ優先ケース」における燃料別給湯用最終エネルギー消費量

以上の推計結果に基づき、給湯用最終エネルギー消費量の将来推計結果を図 42 にまとめた。その結果、2050 年時点の給湯用最終エネルギー消費量は年間約 109(PJ)（「太陽熱普及\_ヒートポンプ優先ケース」の推計結果。内訳は電力 50(PJ/y)、ガス 59(PJ)である。）～353(PJ)（「太陽熱\_傾向維持ケース」の推計結果。内訳は電力 50(PJ/y)、ガス 303(PJ)である。）の幅の中に収まると予想された。

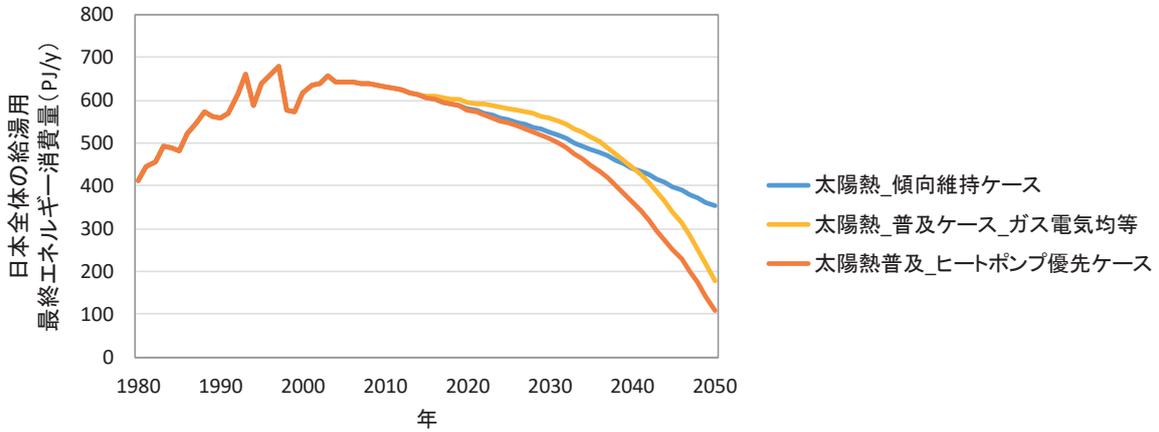


図 42 給湯用最終エネルギー消費量の推計結果

### (3) 動力他用最終エネルギー消費量の将来推計

2.3 章 (3) で示したように、実際の 1 人あたり動力他用エネルギー消費量は 2000 年頃からほぼ一定の値となっている (図 28 参照)。本報では、今後もその傾向が継続するものと仮定した。具体的には、過去 10 年間 (2004 年～2014 年) の平均値 (1,448 千 kcal/person/年) を 2015 年以降も維持するとした。2050 年までの動力他用最終エネルギー消費量推計結果を図 43 に示す。2050 年における日本全体の動力他用最終エネルギー消費量は、632 PJ/y と推計された。動力他用の燃料源は、電力のみである。

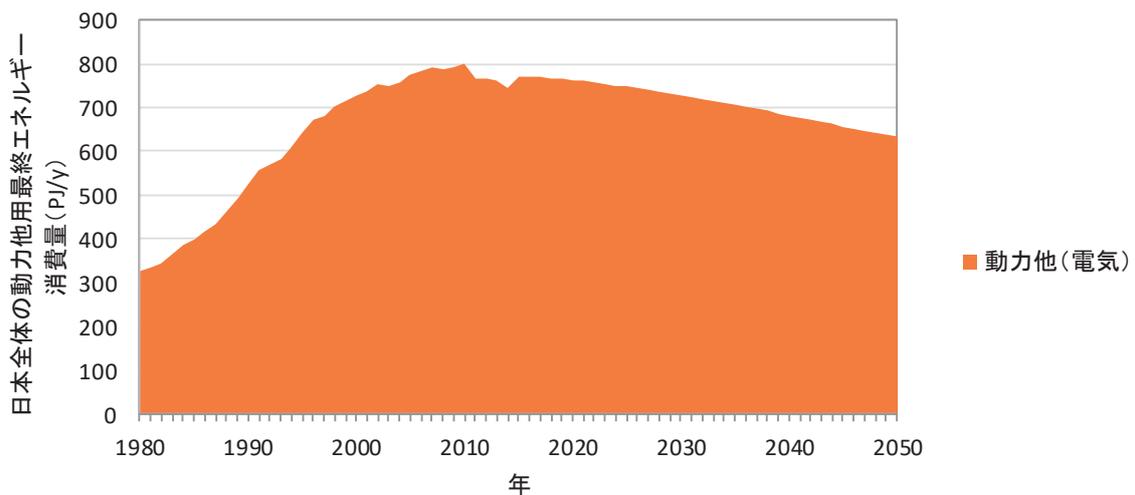


図 43 動力他用最終エネルギー消費量の推計結果

#### (4) 厨房用最終エネルギー消費量の将来推計

2.3 章(4)で示した厨房用サービス量の将来推計結果に基づいて、最終エネルギー消費量の推計を行った(図 44)。2050 年における日本全体の厨房用最終エネルギー消費量は、154 PJ/y (燃料源が電力の場合 77 PJ/y、ガスその他の場合 77 PJ/y) と推計される。ただし厨房用機器のエネルギー効率については、図 3 に示したエネルギー効率(燃料源が電力の場合は 0.95、その他の場合は 0.8)において、電力以外の厨房用機器のエネルギー効率は 2050 年時に電気同様の 0.95 まで向上すると仮定した。

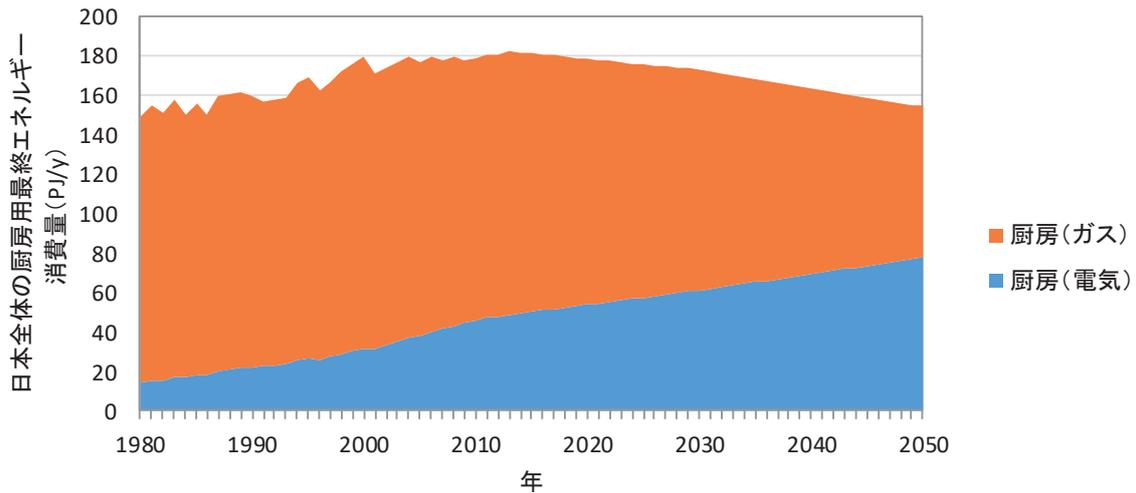


図 44 厨房用最終エネルギー消費量の燃料源別供給内訳

### 3.2 家庭部門における最終エネルギー消費量将来推計結果のまとめ

2050 年において、最も電力以外の燃料(ガス、灯油他)が少ないシナリオは、最も最終エネルギー消費量が少ないシナリオと一致した。以下にそのシナリオ(最小シナリオ)を示す。

- ・ 空調: 「傾向維持\_電化傾向維持ケース」シナリオ(内訳: 電力 170 PJ/y、ガスその他 80 PJ/y (図 36 参照))
- ・ 給湯: 「太陽熱普及\_ヒートポンプ優先ケース」シナリオ(内訳: 電力 50 PJ/y、ガスその他 59 PJ/y (図 41 参照))
- ・ 動力他: 電力 632 PJ/y (図 43 参照)
- ・ 厨房: 電力 77 PJ/y、ガスその他 77 PJ/y (図 44 参照)

上記組み合わせの場合、2050 年における家庭部門の最終エネルギー消費量は約 1,145 PJ/y (内訳: 電力 929 PJ/y、ガスその他 216 PJ/y) と推定された。用途別の最終エネルギー消費量内訳を図 45 に示す。

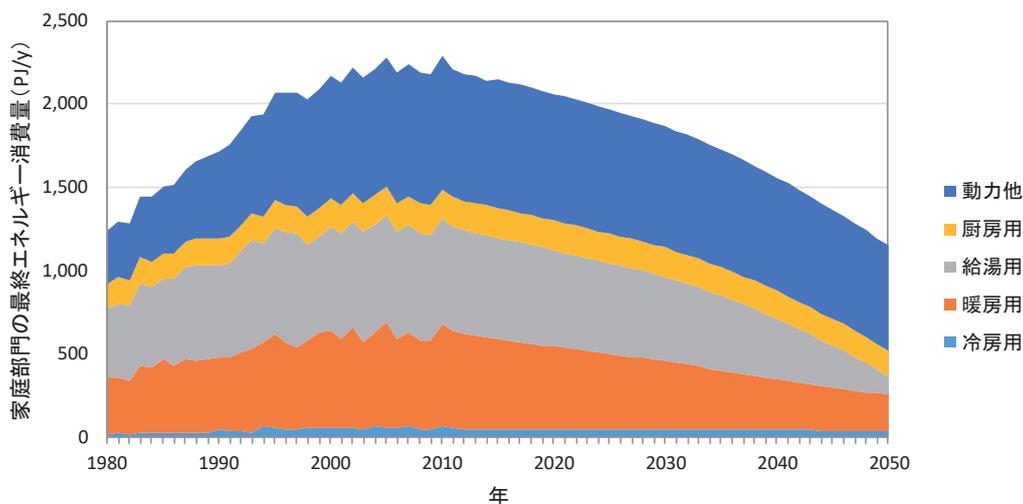


図 45 用途別の最終エネルギー消費量内訳（最小シナリオ）

また、最も電力以外の燃料（ガス、灯油他）が多いシナリオは、最も最終エネルギー消費量が多いシナリオと一致した。以下にそのシナリオ（最大シナリオ）を示す。

- ・ 空 調：「空調拡大\_ガス灯油不変ケース」シナリオ（内訳：電力 205 PJ/y、ガスその他 487 PJ/y（図 36 参照））
- ・ 給 湯：「太陽熱\_傾向維持ケース」シナリオ（内訳：電力 50 PJ/y、ガスその他 303 PJ/y（図 39 参照））
- ・ 動力他：電力 632 PJ/y（図 43 参照）
- ・ 厨 房：電力 77 PJ/y、ガスその他 77 PJ/y（図 44 参照）

上記組み合わせの場合、2050 年における家庭部門の最終エネルギー消費量は約 1,831 PJ/y（内訳：電力 964 PJ/y、ガスその他 867 PJ/y）と推定された。用途別の最終エネルギー消費量内訳を図 46 に示す。

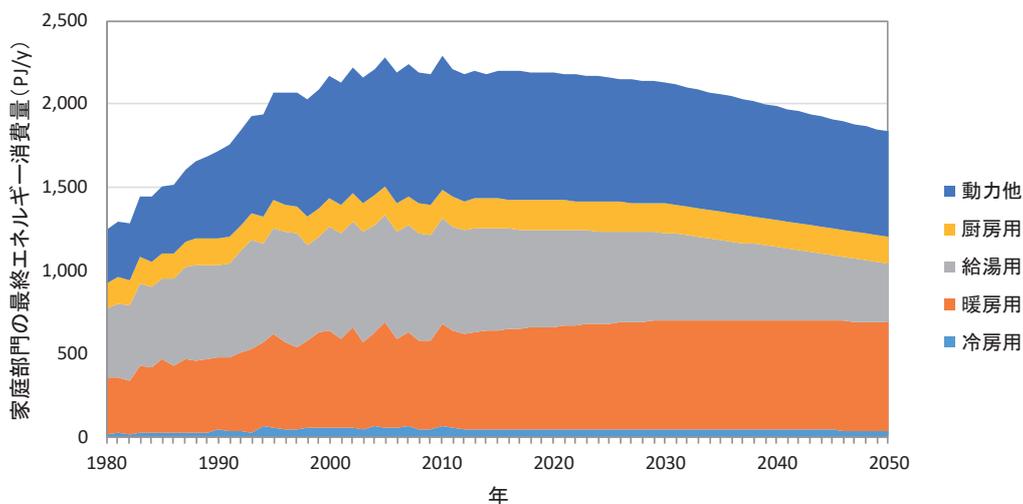


図 46 用途別の最終エネルギー消費量内訳（最大シナリオ）

以上の結果から、2050 年における家庭部門の最終エネルギー消費量は約 1,145 PJ/y～1,831 PJ/y と予想された。また、2050 年における電力消費量は 929 PJ/y (≒258 TWh)～964 PJ/y (≒268 TWh)、ガスその他消費量は 216 PJ/y～867 PJ/y と推計された。

#### 4. 政策立案のための提案

民生家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量の将来予測は、最終エネルギー消費量の将来予測に基づいて算出できる。しかしながら、将来予測に関する従来の研究においては、最終エネルギー消費量の算出根拠となる家庭のエネルギー需要量について、過去の傾向を維持するかもしくは現状値を将来に渡り固定するという条件下での検討しか行われていなかった。本報では、機器普及率や機器エネルギー効率の変化だけでなく、空調に関するライフスタイルの変化を含めた、現状から想定可能なシナリオを複数設定することにより、2050 年における家庭部門の最終エネルギー消費量を約 1,145 PJ/y～1,831 PJ/y と予想した。また、2050 年における電力消費量は 929 PJ/y (≒258 TWh)～964 PJ/y (≒268 TWh)、ガスその他消費量は 216 PJ/y～867 PJ/y と推計された。我が国は 2050 年時に CO<sub>2</sub> 排出量を 80%削減する必要があるため、本推計結果により一定量残ることが予想されたガスその他の化石燃料消費量を、より一層削減する必要があることが明らかとなった。この結果は逆に言えば、現状から想定されるシナリオだけではなく、よりダイナミックなライフスタイルの変化を想定しない限り、CO<sub>2</sub> 削減目標の達成が不可能であることを示唆している。化石燃料消費量が最小となるシナリオにおいて、暖房・給湯・厨房用として化石燃料（ガス）はほぼ均等に消費されるという結果を得た。今後はこれらの用途において化石燃料消費量の削減に貢献し得るライフスタイル変化について検討する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 環境省中央環境審議会地球環境部会, “対策導入量等の根拠資料”, 第 109 回配布参考資料 2, 平成 24 年 6 月, <http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-109/ref02-3.pdf>, アクセス日 2018 年 2 月 21 日.
- [2] 磐田朋子, 桑沢保夫, 村上周三, 伊香賀俊治, “民生家庭部門の低炭素化シナリオに関する研究”, 日本建築学会環境系論文集, 76 巻 667 号, pp.839-846, 2011.
- [3] 国立環境研究所, “ぼくらの未来シナリオ”, <http://www.nies.go.jp/program/psocial/pj2/project-gaiyou.html>, アクセス日 2017 年 12 月 1 日.
- [4] 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, “EDMC/エネルギー・経済統計要覧 2016”, 省エネルギーセンター, 2016 年 2 月.
- [5] 総務省統計局, “平成 27 年国勢調査”, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.htm>, アクセス日 2017 年 12 月 1 日.
- [6] (株)住環境計画研究所編, “家庭用エネルギーハンドブック 2014”, 省エネルギーセンター, 2013 年 12 月.
- [7] 国土交通省社会資本整備審議会住宅宅地分科会, 第 41 回, 2015 年 11 月 30 日開催, 資料 3, “既存住宅ストックの現状について”, <http://www.mlit.go.jp/common/001105108.pdf>, アクセス日 2017 年 12 月 1 日.
- [8] 環境省中央環境審議会地球環境部会, “2013 年以降の対策・施策に関する報告書”, 住宅・建築物 WG 資料, 平成 24 年 6 月, <https://funtoshare.env.go.jp/roadmap/from2013.html>, アクセス日 2017 年 12 月 1 日.
- [9] IEA Solar Heating & Cooling Programme, “Solar Heat Worldwide –Markets and Contribution to the

- Energy Supply 2014, 2016 edition”, <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2016.pdf>, アクセス日 2017 年 12 月 1 日.
- [10] 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ, “あったかエコ太陽熱”, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/attaka\\_eco/df/index.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/df/index.html), アクセス日 2017 年 12 月 9 日.
- [11] 一般社団法人太陽光発電協会, “太陽光発電の現状と展望”, 2015 年 2 月 18 日, [http://www.jpea.gr.jp/pdf/150219\\_deployment.pdf](http://www.jpea.gr.jp/pdf/150219_deployment.pdf), アクセス日 2017 年 12 月 9 日.
- [12] (財) ヒートポンプ・蓄熱センター, “ヒートポンプ・蓄熱システムを学ぼう”, <http://www.hptcj.or.jp/study/tabid/104/Default.aspx>, アクセス日 2017 年 12 月 9 日.

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

社会システム編

民生家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量の  
中長期予測モデル構築に向けた検討

平成 30 年 3 月

Study on Modeling for Medium-to Long-term CO<sub>2</sub> Emissions Forecasting  
in the Residential Sector

Strategy for Social System,  
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2018.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 客員研究員 磐田 朋子 (Tomoko IWATA)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2018 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---

---