

## E-0803 低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言

## (1) 住宅・非住宅建築エネルギー消費量削減のシナリオにもとづいた将来予測と政策提言

(独) 建築研究所

村上 周三

平成20～22年度 累計予算額 23,500千円 (うち、平成22年度予算額 8,500千円)

※予算額は、間接経費を含む

[要旨] 民生部門（住宅、業務用建築）におけるエネルギー消費量は一貫して増加し続けている。民生部門の省エネルギー対策を検討するためには、民生用エネルギー需要の将来予測を全国規模で実施すると同時に、各種省エネ技術のエネルギー削減効果を長期的な視点から定量的に把握する必要がある。

本サブテーマは、中、長、超長期的な視点から、住宅・非住宅建築におけるエネルギー消費量の大幅削減の方策を探るため、最新の資料に基づいてエネルギー消費量削減のシナリオを提案し、日本各地および日本全体のエネルギー消費量の将来を精度よく推定するとともに、エネルギー消費量削減を現実的に推進するための政策を提言するものである。その中でも、本サブテーマは、関連する各種資料にもとづいて複数のシナリオを作成し、サブテーマ5で開発する予測手法等を用いて住宅・非住宅建築エネルギー消費量を推定した上で、その結果に基づいて政策提言をまとめるものである。

まず、民生エネルギー消費量削減シナリオに関連する国内外研究事例の調査を行い、中、長、超長期的な視点から、住宅・非住宅建築におけるエネルギー消費量の大幅削減の方策を探るために必要となるシナリオの枠組みを整理した。そして、エネルギー消費に係わる最新のデータを収集し、サブテーマ5で開発された民生部門エネルギー消費量予測手法を用いて、設定した複数のシナリオにおけるエネルギー消費量を2050年まで予測した。日本政府が掲げたCO<sub>2</sub>削減目標の達成可能性を検討し、達成するために必要となる社会面・技術面・政策面における努力を論じることにより、低炭素社会に向けた政策提言を行った。

[キーワード] 民生部門、エネルギー消費量、シナリオ、将来予測、政策提言

## 1. はじめに

エネルギー消費量は一般に民生、産業、運輸の3部門に分類されるが、その中でも民生部門（住宅、業務用建築）のエネルギー消費量のみが一貫して増加を続けており、この増加傾向に歯止めをかけることは、日本のみならず世界の各国にとって差し迫った重要な課題となっている。

しかしながら、民生用エネルギー消費量削減のための対策には人口動態、建物寿命など長期的に変化する要因が多く関係し、対策が効果を発揮するまでに長い時間を要するものが多い。そのため、民生部門の省エネルギー対策を検討するためには、民生用エネルギー需要の将来予測を全国規模で実施すると同時に、各種省エネルギー（以下、省エネと略記）技術のエネルギー削減効果を長期的な視点から定量的に把握する必要がある。

そこで本サブテーマでは、中、長、超長期的な視点から、住宅・非住宅建築におけるエネルギー消費量の大幅削減の方策を探るため、建築におけるエネルギー消費量の詳細なデータベースを始めとして、将来人口、社会システム、建築性能、設備機器普及率、利用形態、設備機器エネルギー効率などのエネルギー消費に関連のある最新の資料に基づいてエネルギー消費量削減のシナリオを提案し、日本各地および日本全体のエネルギー消費量の将来を精度よく推定するとともに、エネルギー消費量削減を現実的に推進するための政策について検討を行った。

## 2. 研究目的

本サブテーマでは、本研究プロジェクト「低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言」を総括する研究を行った。具体的には、まず国内外の政府および研究機関で検討された低炭素社会シナリオを調査し、将来人口やライフスタイルの変化、設備機器効率の向上などを考慮した上で、住宅・非住宅建築におけるエネルギー消費量削減のシナリオを複数提案した。次に、サブテーマ5で開発されたエネルギー消費量予測手法を用いて、各シナリオにおける住宅・非住宅建築エネルギー消費量を推定し、その結果に基づいて政策提言をまとめることを最終的な目的とした。

## 3. 研究方法

### (1) 民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量削減シナリオの検討

国内外における民生エネルギー消費量削減のシナリオと将来予測の方法論に関して調査を行い、シナリオを作成する上での考え方や、将来予測を行う上で必要な基本データを明確にした。次に、基本データとなる将来人口やライフスタイルの変化、建物性能や設備機器の普及率、設備機器効率の向上状況や電力CO<sub>2</sub>排出原単位の低減状況について、現状と将来想定される状況を、政府や各研究機関において検討された関連資料、専門家の意見、統計資料などを参考に絞り込み、複数の現実的なシナリオを設定した。また、非住宅建築エネルギー消費量削減シナリオについては建築主が省エネルギー行動を起こすためのインセンティブに着目し、政策シナリオを設定した。

### (2) 民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルによる各シナリオの検討

サブテーマ5で開発された手法を用いて、各シナリオにおける民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量の2050年までの予測を行った。予測結果に基づき、エネルギーの大幅削減に貢献する技術や情報提供の在り方について分析を行った。

### (3) 低炭素化社会に向けた民生部門におけるエネルギー削減政策に関する考察

民生部門におけるエネルギー消費量の大幅削減に貢献する技術の普及に向けた課題の整理を行い、必要とされる政策について考察した。また、我が国が設定している中長期CO<sub>2</sub>削減目標を達成するために必要となる政策について検討を行った。その結果を踏まえて住宅・非住宅建築エネルギー消費量削減のための政策提言をまとめた。

## 4. 結果・考察

### (1) 民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量削減シナリオの検討

平成20年度にはシナリオ作成に必要な情報として、関連の海外における研究・施策例および

国内の省庁・自治体における取組の調査を行った。IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル）<sup>1)</sup> やIEA（International Energy Agency: 国際エネルギー機関）<sup>2)</sup> 等の国際機関が、世界における民生用エネルギー消費量の予測と削減のための対策・技術に関する検討を目的として実施した予測における、経済成長や新技術の導入等に基づくシナリオ設定や、予測結果に基づき抽出された重要な対策・技術等を調査・整理した。また、国内においても民生用エネルギー消費量削減に向けた積極的な取組が、政府のみならず自治体レベルにおいても実施されている。そこで政府の取り組みとして国土交通省、経済産業省、環境省、内閣府において推進されている関連施策を、自治体レベルの取り組みとして環境モデル都市への応募資料を調査し、さらに国内における複数の低炭素化シナリオ研究<sup>3) 4) 5)</sup> に関して調査を行った。本研究では、これらの国内外における将来シナリオ調査結果に基づいてシナリオの構成要素を抽出し、民生家庭部門低炭素化シナリオの枠組みを整理した（図1）。

具体的には、人口分布や人々のライフスタイルの変化、低炭素技術の普及状況を構成要素とする「社会シナリオ」と、機器エネルギー効率や電力CO<sub>2</sub>排出原単位の変化を構成要素とする「技術進歩シナリオ」、そして両シナリオに影響を及ぼすと考えられる「政策シナリオ（情動的・経済的・規制的政策）」の組み合わせにより、将来のエネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量が推計される枠組みを構築した。

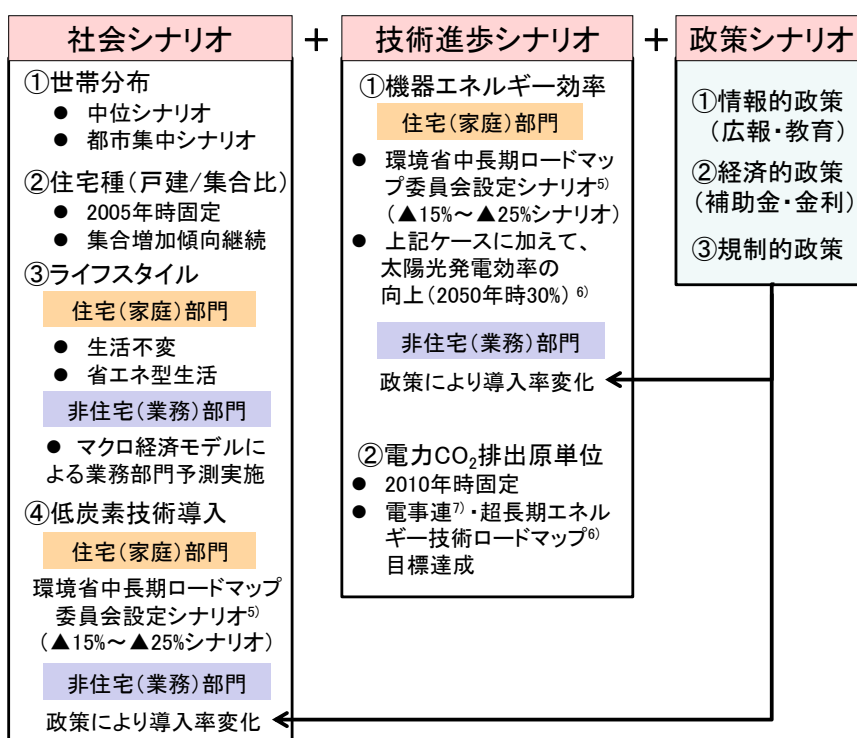


図1 民生部門エネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量削減シナリオの枠組み

本研究では、図1における「社会シナリオ④低炭素技術

導入」および「技術進歩シナリオ①機器エネルギー効率」のシナリオ設定において、住宅部門と非住宅部門では異なる手法を用いた。まず住宅（家庭）部門については、環境省中央環境審議会地球環境部会に設置された中長期ロードマップ小委員会において検討されている将来シナリオ（図1における「技術固定ケース」「参照ケース」「▲15%ケース」「▲20%ケース」「▲25%ケース」）に沿って各種低炭素技術普及シナリオや機器エネルギー効率の向上シナリオを設定した。サブテーマ5において開発された民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルは、家族類別・都道府県別に収集された最新の住宅関連データに基づいて構築されたボトムアップ型のモデルであるため、高い精度のデータが得られている住宅部門に対しては、中長期ロードマップ小委員会で設定された将来シナリオの各種数値が合致するように制約条件を与えることで、

各種将来シナリオが実現された時のエネルギー削減効果などを推計することが可能である。例えば、暖房用や給湯用のエネルギー源や、使用機器種の割合についても家族類別・都道府県別のデータが収集されているため、中長期ロードマップ小委員会で設定された将来シナリオが「日本全体で高効率給湯器を〇万台普及」と設定されている場合には、現状の家族類別・都道府県別の機器保有率から各機器の買換え率を想定することで、将来エネルギー消費量の予測精度を向上させることが可能となった。そのため本研究では住宅部門に関して、各シナリオにおける将来予測結果に基づき、設定された将来シナリオを実現するために必要となる政策について最終的に提案を行うことを目的とした。

しかしながら一方で、将来シナリオとして設定した各種機器普及率やエネルギー効率の妥当性に関する考察を行うためには、必要とされる政策の導入効果に関する定量的な分析が必要となる。例えば経済的政策として機器導入に際して補助金を支給する場合、そのような政策の存在によってどれだけの人々が機器導入行動を実施するのかを予測する手法が必要となる。人の行動は経済的要素だけに左右されているわけではなく、情報の有無やイメージの良し悪しなど様々な要因に支配されていることが、社会心理学研究において指摘されている<sup>8) 9)</sup>。サブテーマ5において戸建住宅主に対する省エネ行動要因調査を行った結果からも、費用対効果以外の要因が実際の低炭素機器導入に至った要因であることが示唆された。

そのため本研究では、データの蓄積量が少なく住宅部門のように中長期ロードマップ小委員会で設定された将来シナリオの再現が困難な状況にある非住宅（業務）部門に関して、外生的に将来シナリオを与える手法ではなく、省エネ行動要因調査結果に基づいて各種低炭素技術の普及シナリオなどを設定する手法を用いることとし、最終的には政府が設定しているCO<sub>2</sub>削減目標達成の可能性について考察を行うことで、必要とされる政策について提言を行うことを目的とした。

## 1) 「社会シナリオ」の概要

将来のエネルギー消費量を予測する上で、世帯数や業務部門の床面積の変化、そして人々がどのような生活スタイルを送っているのかを想定することは重要な要素となる。そこで本研究では、既往の研究事例<sup>4) 5)</sup> 調査や最新のエネルギー消費動向調査に基づき、以下の想定をした。

### a. 世帯分布

我が国の人口および世帯数の将来は主に国立社会保障・人口問題研究所<sup>12)</sup>（以下「社人研」と略）において検討されており、その他に各研究機関による独自予測結果が報告されている。図2に予測結果の概要を示す。先述した中長期ロードマップ小委員会における世帯数予測値は社人研が2002年に報告した予測値に

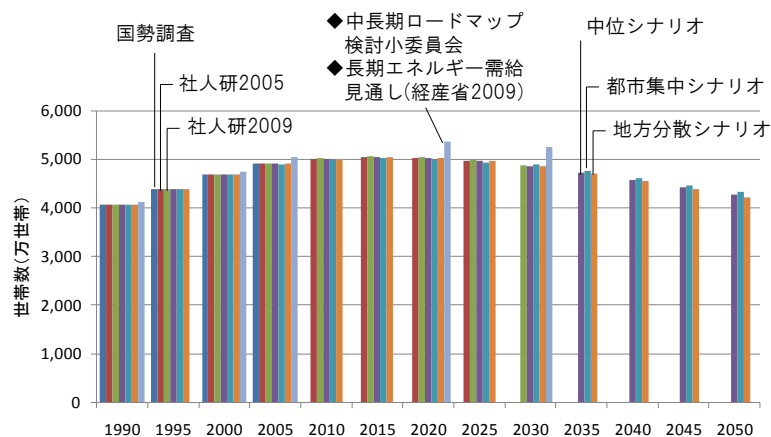


図2 世帯数予測検討事例<sup>4) 5) 10) 11)</sup>

基づいており、近年の予測値と比べて世帯数を過大評価している可能性があるため、本研究では採用しなかった。世帯数を2050年まで予測した事例においては、世帯の分布として都市集中型と地方分散型を設定したケースが挙げられるが、例として東京都における近年の世帯数変化や社人研が2009年に報告した予測値を比較すると（図3）、地方分散傾向は見られず、むしろ想定した都市集中傾向を上回る可能性が示唆された。そこで本研究では、BAU（Business As Usual）ケースとして社人研予測に用いられた出生率変化などを2050年まで延長したシナリオを設定した研究事例を用いることとし、加えて既往研究で設定された都市集中シナリオについて検討を行うこととした。

図4に世帯数の家族類構成別予測結果を示す。両シナリオとも、2050年には高齢者世帯が全世帯の約3割を占め、単身または夫婦世帯が全世帯の約6割を占めることを想定している。平均世帯人数と一人当たりエネルギー消費量は反比例の関係にあることが知られていることから、今後はエネルギー削減対策の普及がより重要になると考えられた。

#### b. 住宅種（戸建/集合比）

図5に示すように、近年、集合住宅の比率は一貫して増加傾向にあるため、本研究では過去（1980年から2005年）の集合住宅増加率を2050年まで維持する仮定を置き（集合住宅居住率が年間0.34%ずつ増加する）、「集合増加傾向継続」シナリオとして検討を行った。

#### c. ライフスタイル

住宅（家庭）部門においては、費用をかけずエネルギー消費量を削減する対策としてライフスタイルの変化による省エネ化が挙げられる。生活におけるエネルギー消費に関する知識を専門家と共有し、快適性を失わずに省エネ行動を実行することが理想であるが、将来どの程度の世帯が省エネ型ライフスタイルに移行する可能性があるのかを定量的に検討する研究はまだ少ない。本研究では過去のアンケート調査に基づく研究事例<sup>14)</sup>から、図6に示す省エネ行動実行世

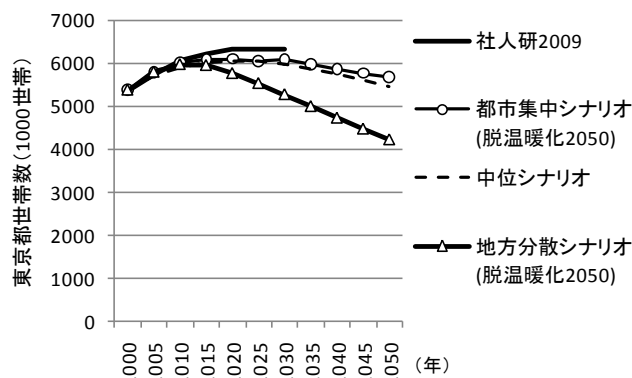


図3 東京都における世帯数予測結果

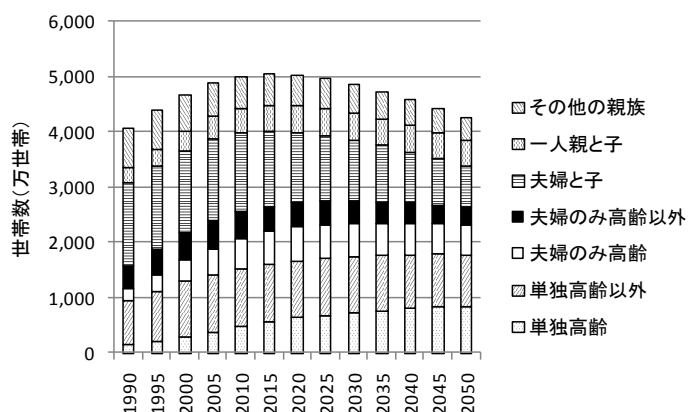


図4 家族類別世帯数予測結果

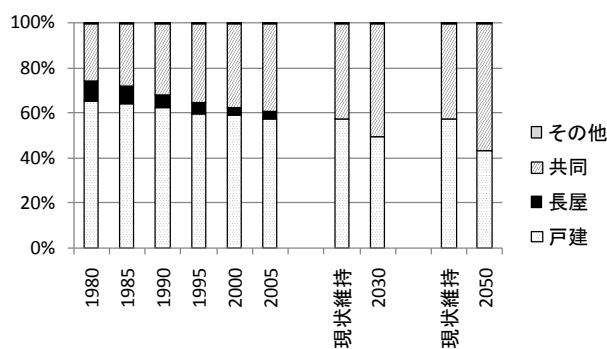


図5 住宅種割合の推移<sup>13)</sup>

帯割合を引用し、ライフスタイルの変化による

省エネ効果を過大評価しないよう、図6に示した①

（「できる」と回答した人の割合）の実行率が2015年以降実現されるものとした「省エネ努力」シナリオについて検討を行った。

また、非住宅（業務）部門の将来予測に関しては、将来の業種別生産額や就業者人口など様々な社会要因が影響を及ぼすと考えられたため、マクロ経済モデルによる業務部門の予測結果に基づいて、床面積の予測を行った。具体的な予測手法についてはサブテーマ5で構築されたため本報告書では割愛するが、日本全体の業種別ストック床面積を推計し（結果を図7に示す）、都道府県別の産業連関分析に関する現状値を2050年まで延長する仮定を置いて、都道府県別に業種別ストック床面積の予測が行われた。

#### d. 低炭素技術導入

住宅（家庭）部門における低炭素技術導入シナリオは、環境省中央環境審議会地球環境部会に設置された中長期ロードマップ小委員会において検討されている将来シナリオに基づき、「技術固定ケース」「参照ケース」「▲15%ケース」「▲20%ケース」「▲25%ケース」を設定した。

なお、「技術固定ケース」は現状における技術導入やエネルギー効率が将来に渡り固定されるケースを想定しており、「参照ケース」はこれまでの延長線上で今後も技術導入やエネルギー効率改善に努めたケースを想定している。また、政府の中期目標である2020年時CO<sub>2</sub>排出量25%削減（1990年比）の達成に向けて、国内の対策のみにより目標を達成するケースを「▲25%ケース」とし、海外のCO<sub>2</sub>クレジットを調達するなどの努力を含むケースとして、「▲15%ケース」および「▲20%ケース」が設定されている。以下に技術別の導入シナリオ設定について概要を示す。

##### i) 高断熱住宅の普及

我が国の建築基準法が定める住宅の断熱性能は、欧米諸国と比べて低い水準にある<sup>15)</sup>。住宅は設備機器と比べて償却年数が長いため、高断熱住宅の普及に向けた法改正の動きが近年見られるようになった。具体的には、2020年以降に次世代断熱基準（99年基準）相当の断熱性能が、全新築住宅に対して義務化される可能性があることから、本研究においても図8～10に示すシナリオを設定した。ただし、改次世代断熱基準とは、旧基準（昭和55年断熱基準）の熱損失係数の0.2倍の熱損失係数を仮定した断熱水準を指す。

	省エネルギー行動	実行世帯(%)	
		①	②
暖房	暖房室温を2℃下げ、冷房室温を1℃上げる	20	70
	暖房延べ時間を25%短縮し、冷房延べ時間を25%短縮する	20	70
給湯	給湯温度を1℃下げる	20	50
	入浴回数を減らす	7	26
	風呂給湯量を減らす	13	54
	節水シャワーヘッドを使用する	31	60
	洗顔と炊事で湯を使うのを減らす	10	76
	夏の洗顔・炊事は水を使う	20	50
家電製品	不使用時に家電のコンセントを抜く	21	54
	風呂の残り湯を洗濯に使う	51	64
	洗濯をまとめて洗う	40	74
	スピードコースで洗濯する	20	50
	白熱灯から電球型蛍光灯に交換する（廊下・浴室・洗面）	29	61
	温水洗浄便座のふたを閉める	20	50
	温度設定を季節に合わせて調整する	34	51

①：「できる」と回答した人の割合

②：「できる」もしくは「多少ならでできる」と回答した人の割合

図6 省エネ実行世帯率の設定

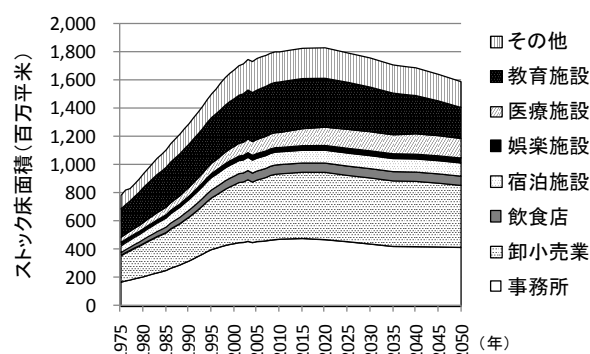
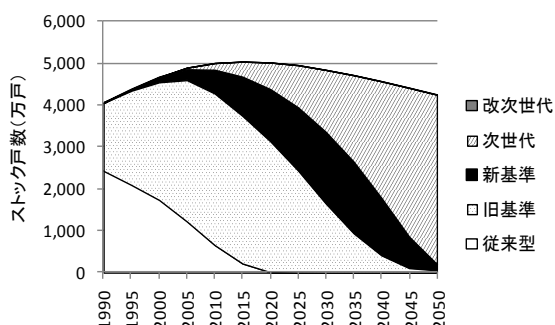
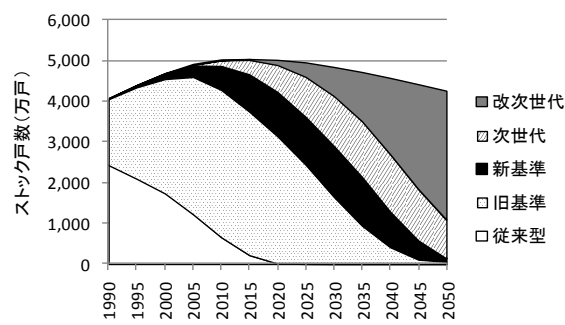


図7 業務部門ストック床面積予測



(\*2020年時の次世代基準規制などを行わず、過去の傾向を継続した場合と仮定。)

図8 技術固定・参照ケースにおける  
断熱水準別住宅ストック内訳

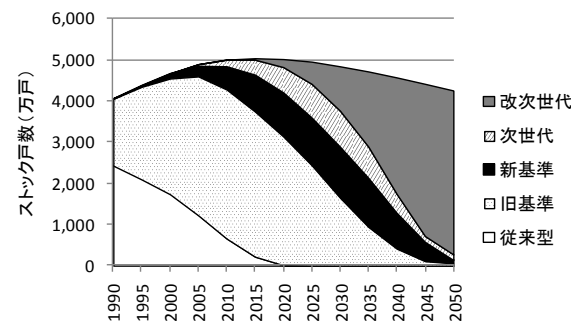


(\*2020年時の新築着工において8割が次世代基準、2割が改次世代基準とする規制を想定。)

図9 ▲15%ケースにおける  
断熱水準別住宅ストック内訳

ii) 高効率給湯器の普及

ヒートポンプ式高効率給湯器および潜熱回収型高効率給湯器の普及率設定を図11～図13に示す。なお、2015年までの高効率給湯器普及台数は、エネルギー基本計画（2010.6.18閣議決定）の目標出荷台数（2013年時年間160万台、2015年時年間200万台出荷）が達成されるものと想定した。従来型の給湯器からの買換えルールについては以下のように定めた。従来型の電気式給湯器を持つ世帯は電気式ヒートポンプ給湯器に優先的に買い換え、従来型のガス・灯油給湯器を持つ世帯は潜熱回収型給湯器に優先的に買い換えることとした。潜熱回収型給湯器に買い換える世帯のうち、都市部に住んでおり所得が高いと予想される都市ガス給湯器保有世帯が優先的に買い換えることとし、LPG給湯器保有世帯、灯油給湯器保有世帯の順に買い換えることとした。電気式ヒートポンプ給湯器へ買い換える場合は、供給エネルギーあたりのCO<sub>2</sub>排出量が多い機器の順（灯油利用世帯、LPG利用世帯、都市ガス利用世帯の順）に買い換えることとした。



(\*2020年時の新築着工において7割が次世代基準、3割が改次世代基準とする規制を想定。)

図10 ▲20、▲30%ケースにおける  
断熱水準別住宅ストック内訳

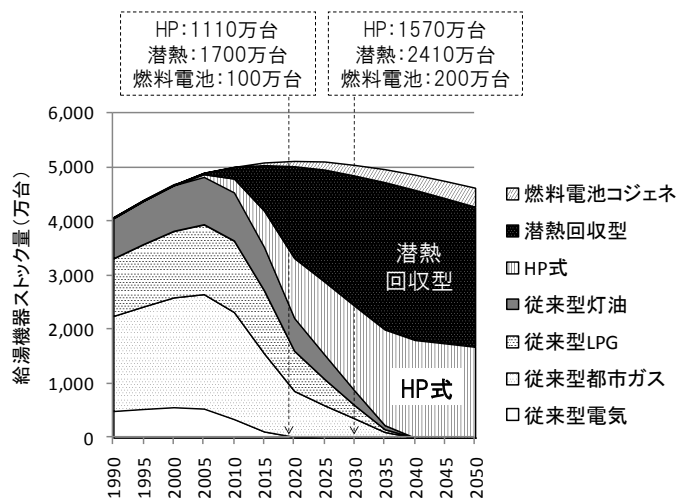


図11 ▲15%ケースにおける給湯機器  
種別普及台数設定

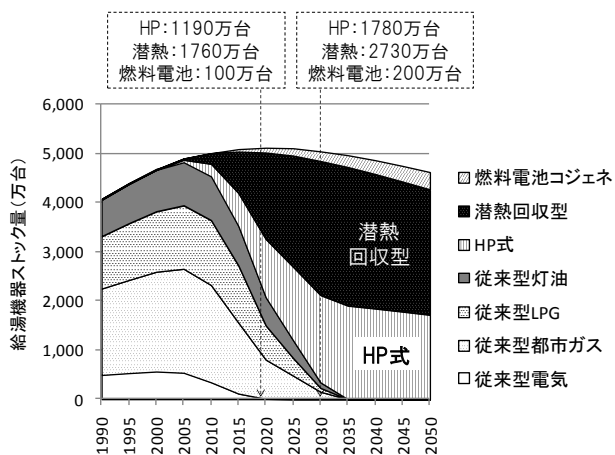


図12 ▲20%ケースにおける給湯  
機器種別普及台数設定

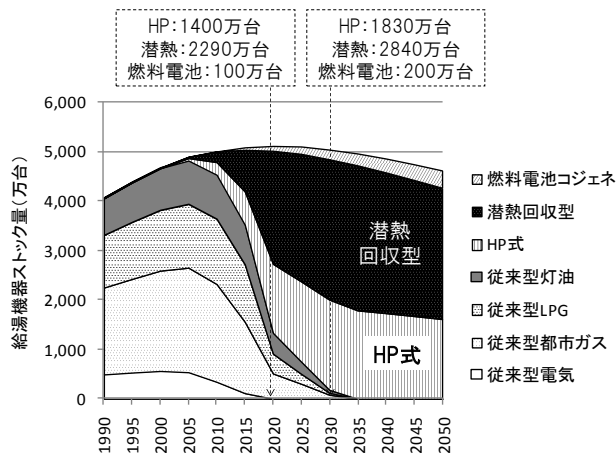


図13 ▲25%ケースにおける給湯  
機器種別普及台数設定

iii) 太陽光発電器 (PV) の普及

本研究では持家戸建住宅の屋根への普及を想定した。▲15%、▲20%、▲25%ケースとも現状からの大幅な太陽光発電器普及を想定している(図14)。サブテーマ6において専門家を対象に行われたデルファイ調査結果を図14に示すが、2020年頃までの普及設定は現実的な想定範囲内であることが示唆された。

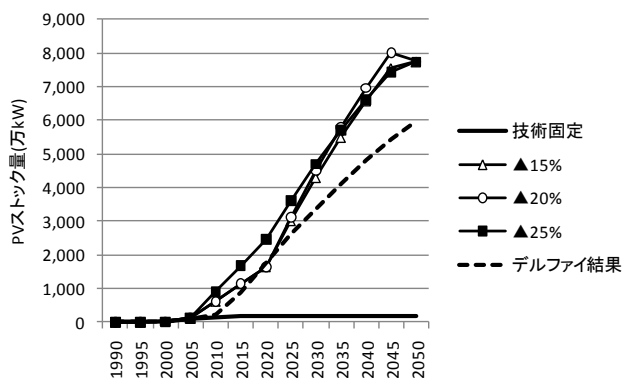


図14 太陽光発電器の普及台数設定

iv) 太陽熱給湯器の普及

太陽光発電器と同様に、本研究では持家戸建住宅の屋根への普及を想定した。近年太陽熱給湯器の設置台数は減少傾向にある。そのため技術固定ケースにおいては現時点よりも減少するシナリオとなっている(図15)。サブテーマ6におけるデルファイ調査結果を見ても、中長期ロードマップ小委員会の設定よりも低い普及を見込んでおり、現実的に普及台数目標を達成するためには追加的な政策が必要であることが示唆された。

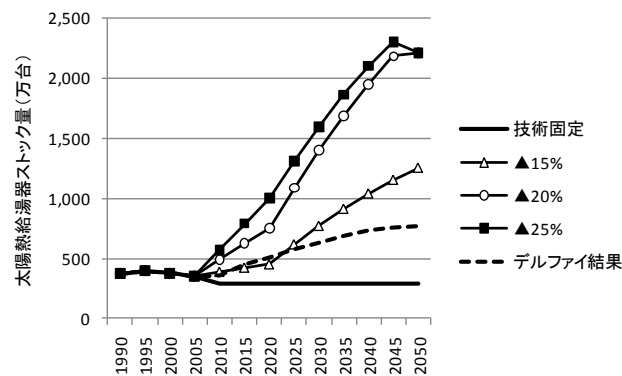


図15 太陽熱給湯器の普及台数設定

v) 暖房機器における電気・ガス利用率の増加

図16に燃料種別暖房用エネルギー消費量の推移を示す。近年灯油暖房から電気・ガス暖房へ



の買換えが進んでいると考えられたことから、今後も過去の傾向に基づき、電気利用率は年間0.34%（1980年から2008年までの平均増加率）の増加を維持し、ガス利用率は年間0.33%（1970年から2008年までの平均増加率）の増加を維持するものとした。

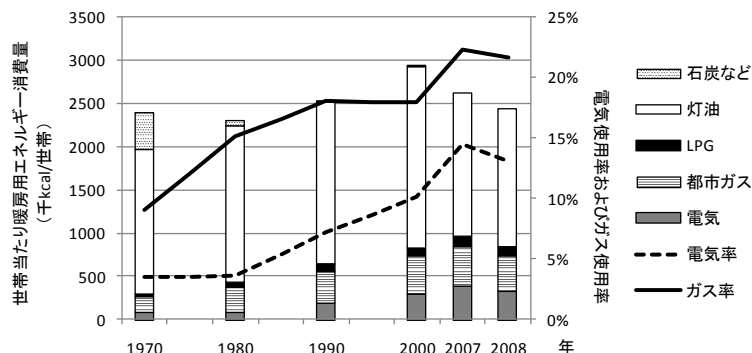


図16 燃料種別暖房用エネルギー消費量の推移<sup>16)</sup>

#### vi) 非住宅（業務）部門における低炭素技術導入シナリオの設定

非住宅部門における低炭素技術として、本研究では既往研究に基づき、7種の技術（壁・窓の断熱化、高効率熱源、ファン・ポンプのインバータ化、外気冷房、高効率照明、照明の制御、BEMS（Building and Energy Management System）の7種）について検討した。各低炭素技術の将来導入量は、実施される政策の種類によって異なることとし、その変化量は非住宅建設事業主に対するアンケート調査に基づき推算した。具体的な推算手法についてはサブテーマ5で構築されたため本報告書では割愛するが、低炭素技術に関する正しい知識の提供を想定した「情報の政策」や、初期投資に対する補助金導入を想定した「経済的政策」、そして強制的な技術導入を想定した「規制的政策」を実施した時の、各技術導入量が予測結果として得られる手法である。本研究では、現状における設定補助率の最大値として初期投資の半額補助を「経済的政策」として想定した。

#### 2) 「技術進歩シナリオ」の概要

従来のように家電機器のエネルギー効率が技術進歩により改善されることで、将来のエネルギー消費量削減にどの程度貢献するのか検討を行う必要がある。本研究では、各家電機器のエネルギー効率改善率を中長期ロードマップ小委員会設定シナリオに沿って設定した。

また、機器エネルギー効率の向上だけでなく、系統電力の発電効率を改善することによるエネルギー消費削減効果も見込むことができる。CO<sub>2</sub>削減の視点では、従来の化石燃料依存発電から脱却し、再生可能エネルギーの積極導入やCO<sub>2</sub>排出原単位が非常に小さい原子力発電の推進が中長期ロードマップ小委員会においても検討されている。しかしながら、これら代替エネルギー資源の活用は、経済性の検討や世論への対応などが不可欠となる。本研究では、電気事業連合会が掲げた電力CO<sub>2</sub>排出係数目標値（2020年時0.33(kg-CO<sub>2</sub>/kWh)）および経済産業省関連委員会が発表した超長期エネルギー技術ロードマップに示された2050年時電力CO<sub>2</sub>排出係数目標値（0.12(kg-CO<sub>2</sub>/kWh)）を達成するシナリオについて検討を行った。なお、上記年度間は線型補完した。

#### 3) 本研究で設定した住宅（家庭）部門のシナリオ

中長期ロードマップ小委員会では、特に低炭素化技術の普及率予測や機器エネルギー効率の将来予測について言及されているが、住宅種比率の変化やライフスタイルの変化を考慮した社会シナリオの変化に関して検討されていない。

本研究では最終的に図17に示す9通りの将来シナリオを設定し、我が国が掲げているCO<sub>2</sub>削減目標（2020年時25%削減、2050年時80%削減（1990年比））を達成するために社会面・技術面・政策面において必要となる努力およびその効果について検討を行った。

		シナリオ1	「技術固定」シナリオ2	「参照」シナリオ3	シナリオ4	シナリオ5	シナリオ6	「▲15%」シナリオ7	「▲20%」シナリオ8	「▲25%」シナリオ9
社会シナリオ	①世帯分布	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	②住宅種	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	③ライフスタイル	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	④低炭素技術	○	○	○	○	○	○	○	○	○
技術進歩シナリオ	①機器効率	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	②電力原単位	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図17 本研究において設定した住宅（家庭）部門エネルギー消費将来シナリオ

(2) 住宅（家庭）部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルによる各シナリオの検討

サブテーマ5において構築された民生家庭部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルを用いて、図17に示した各シナリオにおけるエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量の予測を行った。計算概要を図18に示す。

なお、図8～10に示した断熱基準別住宅ストック戸数予測は、図18における「断熱基準別戸数推計データベース」<sup>17)</sup>による予測結果を用いたものである。

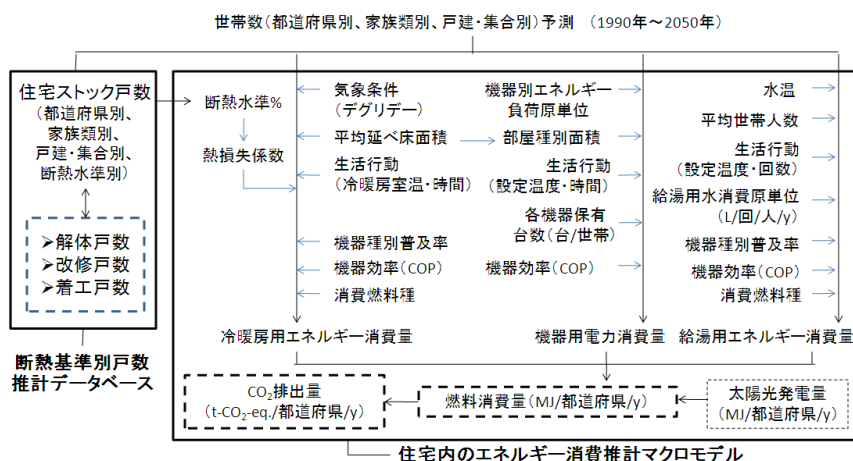


図18 民生家庭部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルの概要

1) 中長期ロードマップ小委員会報告値と本モデルによるシナリオ検討結果の比較

本検討では人々の生活行動データに基づいてエネルギー消費量を積み上げ計算しているのに対し、中長期ロードマップ小委員会において計算に用いられているAIM (Asian-Pacific Integrated Model) モデルは過去の統計データに基づき設定した一世帯あたりのエネルギー負荷を将来に渡り固定し、そのエネルギー負荷に機器効率の向上効果などを組み合わせることでエネルギー消費量を算出している。よって、中長期ロードマップ小委員会報告値と本モデルの

検討結果に相違が生じる場合は、エネルギー負荷自体に相違がある場合であると考えられる。

図19に中長期ロードマップ小委員会におけるエネルギー負荷設定を、図20に本モデルによるエネルギー負荷算出結果（本モデルでは都道府県別・家族類別にエネルギー負荷量が算出される構造となっているが、図20には全世界帯平均値を示す）を示す。両者の顕著な違いは動力負荷値に見られる。中長期ロードマップ小委員会における家電負荷は文献に基づき外生的に設定されているのに対して、本モデルでは既存の家電機器が過去の傾向に沿って普及する場合を想定しているため、飛躍的な動力負荷の増加は見られない。なお、図20において冷暖房負荷が減少しているのは過去の傾向を継続する形で断熱水準の高い住宅ストックが増加するためであり、図19においてその傾向が見られない原因は住宅の高断熱化も技術進歩効果として捉えていることなどの見解の違いによるものである。図20では給湯負荷や厨房負荷にも若干の低下が認められる。これは世帯あたり平均人員数が、高齢化や核家族化が進むことで将来減少することが反映された結果であり、このように高い精度での予測は現状のAIMモデルでは困難であるため、本モデルを使用する利点ともいえる。

その他の両モデル設定の相違点としては電力CO<sub>2</sub>排出係数の設定が挙げられる。中長期ロードマップ小委員会報告書では電力CO<sub>2</sub>排出係数の設定数値について記載がないため不明であるが、本研究では（1）の2）において記述し

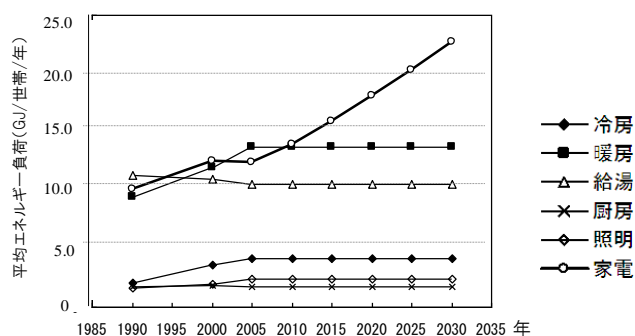


図19 中長期ロードマップ小委員会におけるエネルギー負荷設定

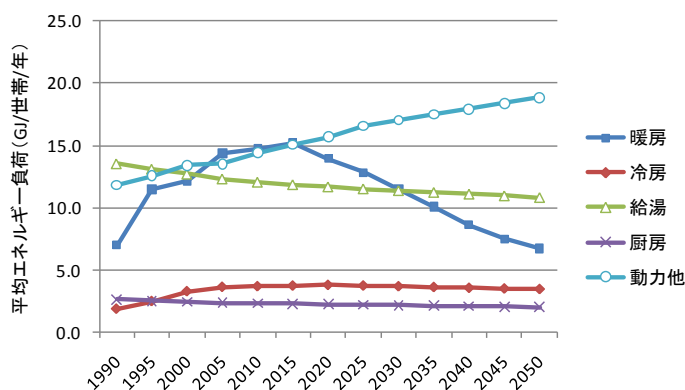


図20 本モデルによるエネルギー負荷算出結果（全世界帯平均値）

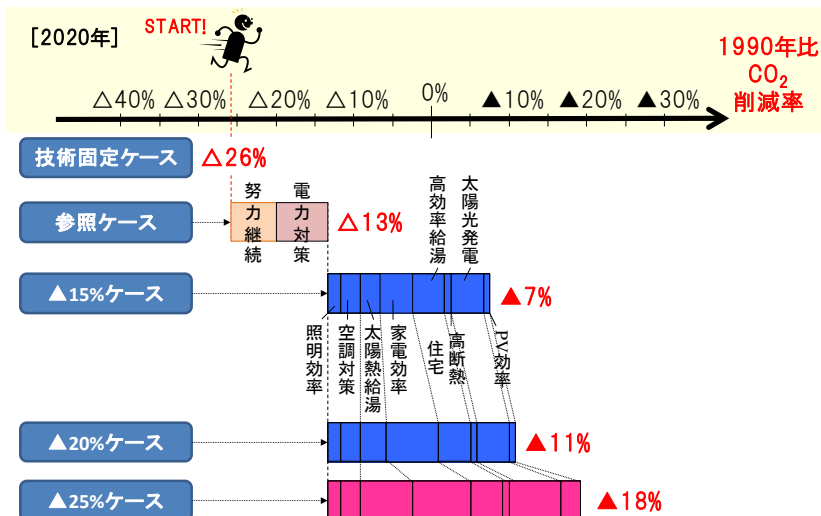


図21 各シナリオの2020年におけるCO<sub>2</sub>排出量算出結果

た理由から、電気事業連合会および超長期エネルギー技術ロードマップで示された目標値を設定した。

以上の相違点を考慮した上で、各シナリオの2020年におけるCO<sub>2</sub>排出量算出結果を参照されたい(図21)。2020年時において、技術固定ケースでは1990年比26%増となる。これまでと同様の努力を継続する想定をした参照ケースでも、13%増となることが示された。これに対して、▲15%～▲25%ケースで想定した低炭素化技術の大規模導入を行うことにより、大幅にCO<sub>2</sub>は削減されるものの、各7%～18%減にとどまり、中長期ロードマップ小委員会における検討結果よりもCO<sub>2</sub>削減効果は低いことが示唆された。この相違が生じた主原因は先述したように動力負荷設定と電力CO<sub>2</sub>排出係数設定の相違にある。本検討により、図1に示した「低炭素技術導入」対策や「技術進歩」対策のみでは政府が掲げるCO<sub>2</sub>削減目標の達成は困難であることが示唆された。

## 2) 社会シナリオの選択がCO<sub>2</sub>削減量に及ぼす影響の検討

1)に示した対策に加えて、図1に示した「世帯分布」「住宅種」「ライフスタイル」の変化が実現した場合に、政府が掲げるCO<sub>2</sub>削減目標の達成が可能か否かを検討した。

その結果、戸建住宅よりも世帯あたりエネルギー消費量の小さい集合住宅に、世帯が移行することを意味する「都市集中」かつ「集合増加傾向継続」がエネルギー削減シナリオとして選択された。しかしながら、これらのシナリオが選択されることによるエネルギー削減効果は、全体的に見て非常に小さかった(図22)。一方、「省エネ努力」ライフスタイルが実現した場合のエネルギー削減効果は大きく、さらに1)で検討された低炭素技術導入や技術進歩が考慮された場合には、政府が掲げるCO<sub>2</sub>削減目標の達成が可能となることが示唆された(図22)。

次に、2050年時におけるCO<sub>2</sub>

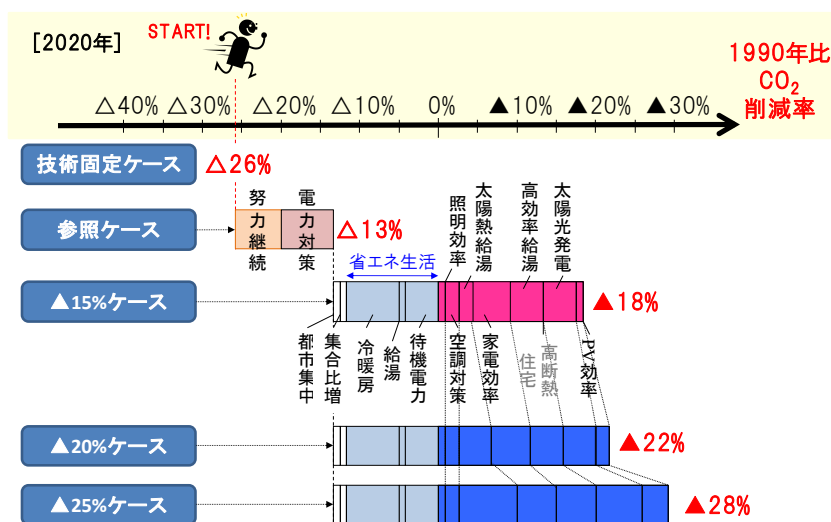


図22 社会シナリオの変化を考慮した2020年におけるCO<sub>2</sub>排出量算出結果

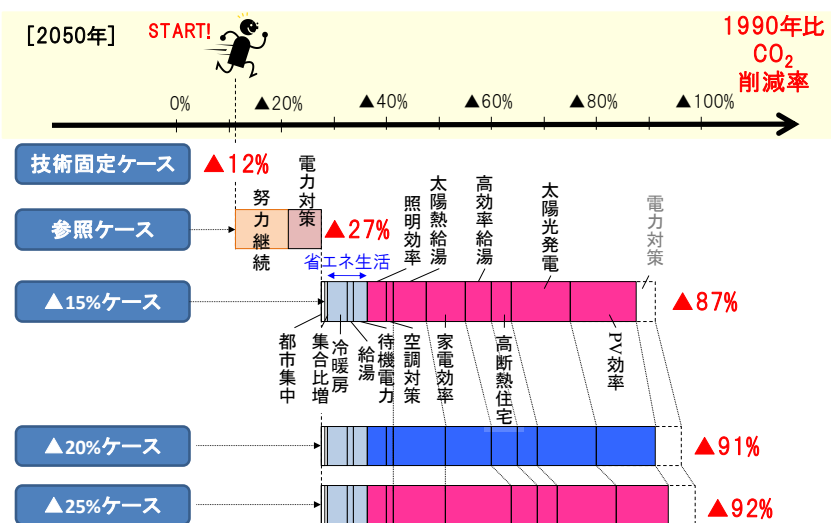


図23 各シナリオの2050年におけるCO<sub>2</sub>排出量算出結果

排出量算出結果を図23に示す。2050年時において、技術固定ケースでは1990年比12%減、参照ケースでは27%減となることが示された。これに対して、▲15%～▲25%ケースで想定した低炭素化技術の大規模導入を行うことにより各CO<sub>2</sub>排出量87%～92%減が見込まれ、政府が目標とする2050年時80%減（1990年比）が達成可能となることが示唆された。なお、図23において電力対策（電力CO<sub>2</sub>排出係数の低減対策）を行うと全体のCO<sub>2</sub>削減率が減少してしまう現象が見られる。これは、2050年時には各シナリオとも太陽光発電余剰電力が発生しており、これを電力会社に売電する際に電力CO<sub>2</sub>排出係数が大きい方が見かけ上のCO<sub>2</sub>削減量が大きく算出されるためである。

電力CO<sub>2</sub>排出係数の低減による効果を、各種低炭素技術導入効果に先んじて示した一例（▲15%ケース）を図24に示す。仮に電力CO<sub>2</sub>排出係数の低減努力のみが行われた場合、2050年時CO<sub>2</sub>排出量は1990年比46%減にとどまる。つまり、電力分野の努力のみでは政府目標は達成できず、やはり社会面の努力や低炭素技術の普及が不可欠であることが示された。

また、CO<sub>2</sub>排出量推移を示す一例として、▲25%ケースにおけるCO<sub>2</sub>排出量および各種対策によるCO<sub>2</sub>削減量の推移を図25に示す。太陽光発電機の発電効率が2050年時30%まで向上した場合、家庭内での電力需要以上の発電が可能となるため、売電分のCO<sub>2</sub>削減効果を考慮した。

住宅（家庭）部門の低炭素化に向けて、社会面および技術面において必要となる努力を明らかにすることを目的に本研究は行われたが、図21および図22に示されたように、世帯分布や住居種を選択、そしてライフスタイルの変化といった社会面の変化・努力のみでは政府が掲げるCO<sub>2</sub>削減目標の達成は不可能である一方、低炭素技術の導入や電力CO<sub>2</sub>排出係数の低減のみでも政府目標は達成できないことが示された。よって、社会面・技術面の両面が共に努力することが不可欠であり、両面を支援する政策が求められることが示された。

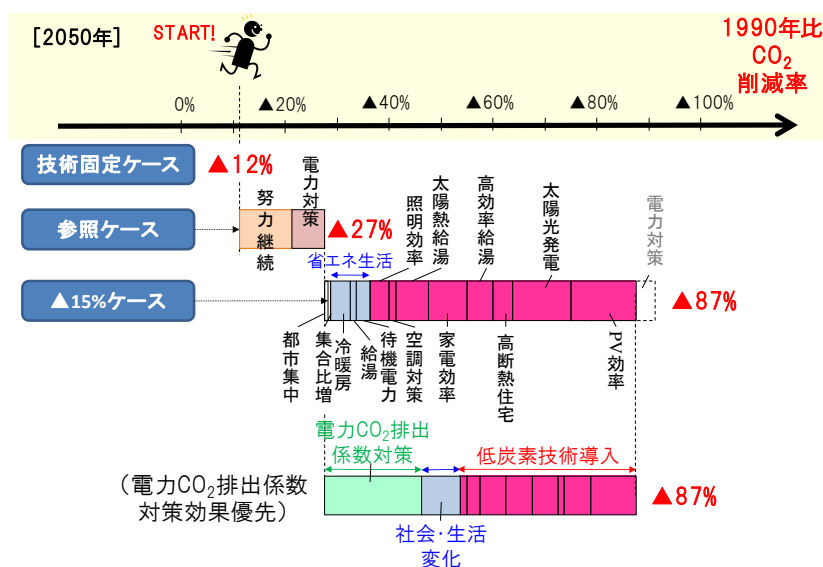


図24 電力CO<sub>2</sub>排出係数低減によるCO<sub>2</sub>削減効果（▲15%ケース例）

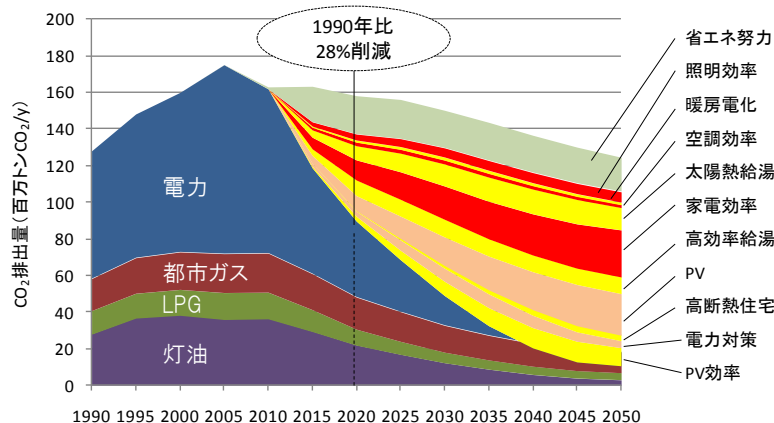


図25 ▲25%ケースにおけるCO<sub>2</sub>排出量および各種対策によるCO<sub>2</sub>削減量算出結果

### 3) 住宅（家庭）部門エネルギー消費量削減予測結果のまとめ

本研究設定シナリオ（図17）における各エネルギー消費量削減予測結果を図26に示す。低炭素技術の導入や技術進歩は全世帯への普及に時間を要するため、短期的にエネルギー消費削減効果を得るためにはライフスタイルの変化（省エネ努力の推進）が求められることが定量的に示された。

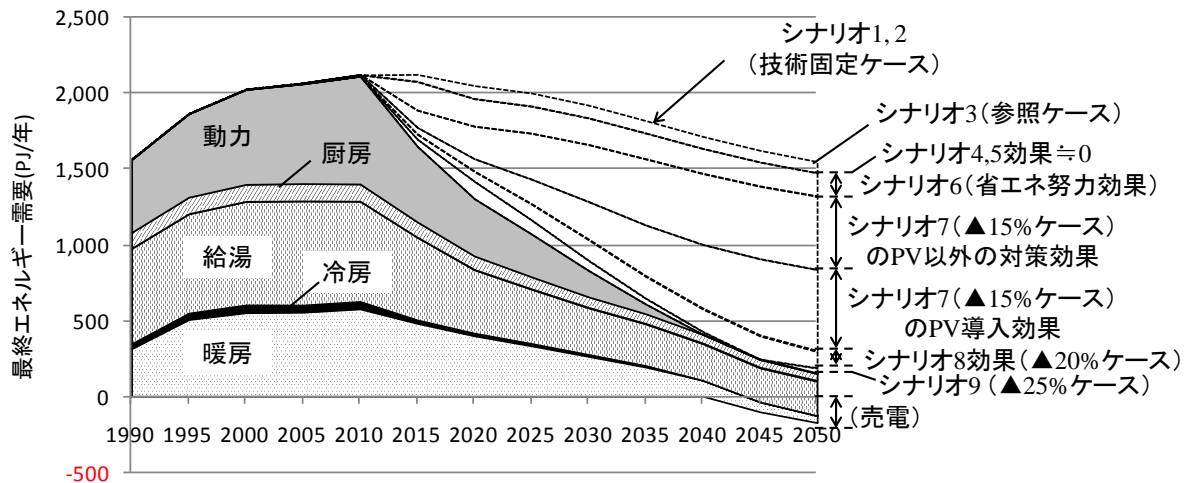


図26 本研究設定シナリオにおける各エネルギー消費量削減予測結果

しかしながら、機器のエネルギー効率向上に伴い、長期的視野からはライフスタイルの変化による効果は小さくなる傾向となる。逆に、低炭素技術の普及による効果は長期的視野からは非常に大きく、▲15%ケースで設定した対策でも十分なエネルギー削減効果が期待できることが示唆された。特に、太陽光発電機の普及および継続的な発電効率の向上努力が行われた場合、他の技術導入効果や機器効率向上効果を上回るエネルギー削減効果が期待されることが示唆された。また、▲25%ケースで設定した対策が実行された場合には、2020年時エネルギー消費削減率（1990年比）は17%、2030年時削減率は47%、そして2050年時には太陽光発電余剰電力の売電効果を削減量に含めると1990年比エネルギー削減率は90%となり、住宅（家庭）部門のゼロエネルギー化がほぼ達成される見通しとなった。

### (3) 低炭素化社会に向けた住宅（家庭）部門におけるエネルギー削減政策に関する考察

本研究により、住宅（家庭）部門におけるエネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量の削減には、ライフスタイルの変化を含む国民一人一人の努力だけでなく、低炭素化技術導入目標の達成および電力会社による電力CO<sub>2</sub>排出係数削減努力など各方面が一体となって努力する必要があることが定量的に示された。しかしながら本研究で挙げた各種対策の実現には課題も多く残されている。以下に各種対策の課題と必要とされる政策についての考察を示す。

#### 1) 社会面におけるエネルギー・CO<sub>2</sub>削減シナリオの実現に向けた課題と必要とされる政策

社会シナリオの構成要素として、本研究では世帯分布、住宅種の選択、ライフスタイルの変化、そして低炭素技術の導入を挙げた。まず、エネルギー・CO<sub>2</sub>削減シナリオとして、世帯分布については都市集中シナリオが選択されたが、現在我が国は既に都市集中傾向が見られている

(図3) ため政策を必要としない。

住宅種目の選択については戸建住宅よりも世帯あたりエネルギー消費量が低い集合住宅への住み替え傾向の維持が選択されたが、サブテーマ2の研究で示唆されたように、集合住宅共用部エネルギー消費量は階数が多くなるほど大きくなり、戸建住宅のエネルギー消費量と変わらないレベルになり得るとの実態調査結果を考慮すると、今後は共用部にも着目した低炭素化対策についても検討する必要があることが示唆された。

ライフスタイルについては今後更なる省エネ努力を国民に求めるシナリオが選択されたが、家庭内エネルギー消費実態に関する正しい知識が国民に浸透していないという調査結果が多数見られることから、今後省エネ知識に関する情報提供を促す政策の必要性を高める必要があることが示唆された。サブテーマ5の研究で検討されたように、人々が環境配慮行動を実行に移す際には①省エネ効果の認知度②実行可能性③経済・非経済便益④対外的イメージの4要素が影響を及ぼすとの研究結果が社会心理学研究により得られている。家庭内における日々の省エネ行動は、②や③において課題は少ないものの、④の要素（例えば、省エネ行動に貢献していることを家庭外にアピールすることを意味する）に欠ける。本研究において想定された省エネライフスタイルを実際に実行に移すために必要な対策を、今後は心理学分野などの知見も生かしつつ検討することが期待された。

低炭素技術については、本研究では現状よりも大幅に普及速度を増したシナリオを設定している。サブテーマ6の研究で示された専門家による低炭素技術の普及予測結果の一例を図14、図15にデルファイ結果として示したが、特に太陽熱給湯器はCO<sub>2</sub>削減貢献度が大きいものの（図21～25）、近年の販売量の減少が反映されて低い普及予測結果となった。販売量の減少は主に太陽光発電販売量の増加に押されたことが原因と考えられるが、人々が太陽熱給湯ではなく太陽光発電器を購入する原因についてサブテーマ5で調査を行った結果、先述④「対外的イメージ」要素が大きく影響していると考えられた。そのため、③「経済・非経済便益」以外の要素による実行率低下を最小限に抑える政策も必要となることが示唆された。具体的には、各低炭素技術の省エネ効果に関する正しい知識の提供を促すと同時に、機器のデザインやイメージの向上を促すことが重要であると考えられた。

## 2) 技術面におけるエネルギー・CO<sub>2</sub>削減シナリオの実現に向けた課題と必要とされる政策

技術シナリオの構成要素として、本研究では機器エネルギー効率と電力CO<sub>2</sub>排出係数の低減を挙げた。各家庭が所有する設備機器・家電機器を買い替える際にエネルギー効率の高い機器を選択してもらうための政策として、省エネラベル制度やエコポイント制度が我が国では既に実施されている。長期的視点においてエネルギー消費削減貢献度が大きかった太陽光発電については、技術ロードマップにおいて2050年目標とされた発電効率30%が達成可能となるよう今後の技術開発や政策的支援が重要であると考えられた。

## (4) 低炭素化社会に向けた非住宅（業務）部門におけるエネルギー削減政策に関する考察

サブテーマ5において政策導入効果が検討された。住宅（家庭）部門のように精度の高い検討を行うためには今後も基礎データの収集が不可欠であるが、サブテーマ5の研究により情報的政策が高い実施効果をもたらす可能性が示唆された。2020年時におけるエネルギー消費量は何も

対策を実施しない場合には1990年比42%の増加が予想され、CO<sub>2</sub>排出量は1990年比29%の増加が予想された。しかしながら、情政策的政策の実施によりエネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が見込まれた結果、エネルギー消費量は1990年比12%の増加、CO<sub>2</sub>排出量は1990年比2%の削減が予想された。情政策的政策に加えて初期投資額の半額補助を想定した経済的対策を実施したケース（2020年時エネルギー消費量は1990年比7%の増加、CO<sub>2</sub>排出量は1990年比6%の削減見込み）や、実現が困難な可能性はあるものの最大限のエネルギー削減努力を必要とする規制的政策（2020年時エネルギー消費量は1990年比32%の削減、CO<sub>2</sub>排出量は1990年比41%の削減見込み）、さらに電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が低下するケースなどの予測結果も考慮した結果（図27）、情政策的政策の実施が大きな効果をもたらす可能性が示唆された。しかしながら政府の中期目標である2020年時におけるCO<sub>2</sub>削減目標（1990年比25%削減）を達成するためには、情政策的政策、経済的的政策だけでなく規制的政策を一部導入することが求められることも同時に示唆された。

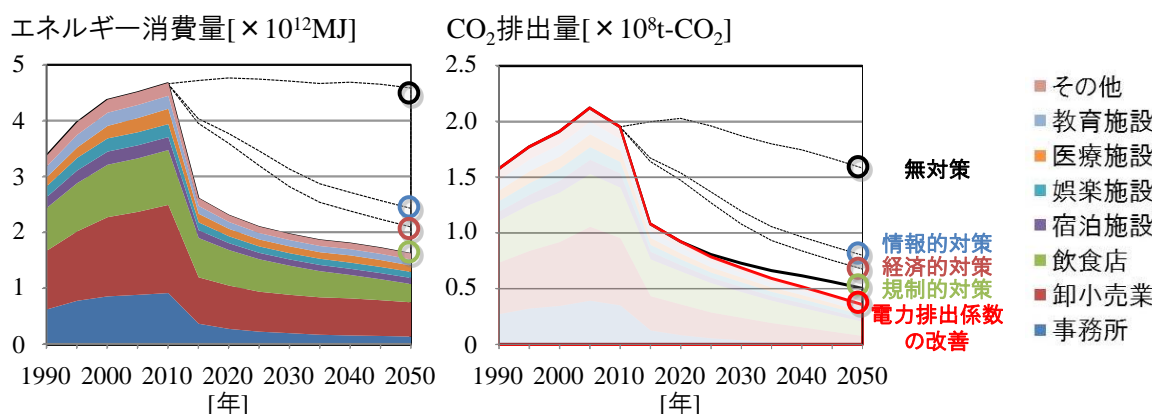


図27 非住宅建築におけるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量予測結果

ただしサブテーマ5では情政策的政策として、主に認知バイアスの除去を挙げている。認知バイアスの除去とは、アンケート調査で明らかとなった追加投資額に対する過大評価等の是正を指す。サブテーマ5では、非住宅建築事業主に対して、各種低炭素技術の実際の導入率と、仮想の投資回収期間を提示した場合の導入選好率についてアンケート調査を行った。仮想の投資回収期間を提示した場合の導入選好関数結果を図28に示す。ただし耐用年数の長さによって希望する投資回収期間は異なると考えられたため、アンケート調査は耐用年数が短い技術と長い技術に分けて実施された。図28は事業主が考える投資回収期間と導入意思の関係を示しており、当然ながら投資回収期間が短いほど導入

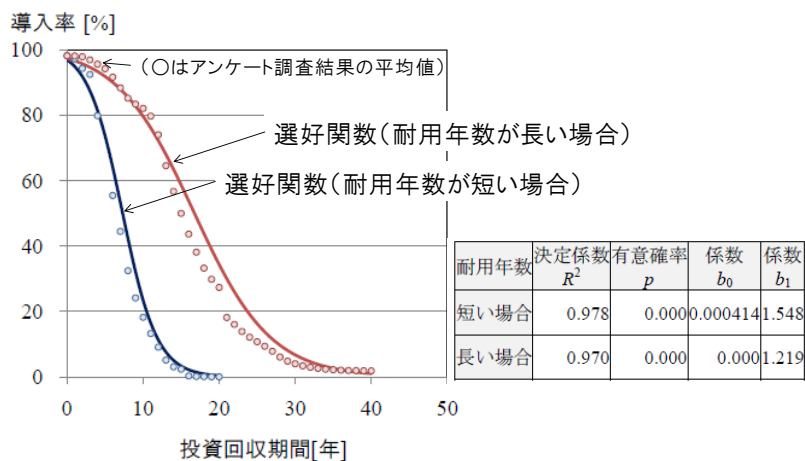


図28 非住宅建築における低炭素技術導入選好関数結果



率は高くなる。仮に事業主が経済合理性のみに基づいて低炭素技術を導入しているならば、各種低炭素技術（投資回収期間は初期投資、運用費および光熱費削減額から算出）の実際の導入率は、図28に示す選好関数上にプロットされるはずである。

図29に実際の導入率をプロットした結果を示す。その結果、実際の導入率は選好関数の上下にプロットされ、投資回収期間以外の要因が導入率に影響を及ぼしていることが示唆された。サブテーマ5ではこの結果を受けて投資回収期間以外の要因についてアンケート調査を行った結果、表1に示す要因が明らかとなった。

ただしインセンティブスプリットとは、取引（契約）の当事者間で利害が一致しないために、適切な省

エネ行動がとられないことを示す用語であり、非住宅建築では一般的にテナント利用者が光熱費を支払うため、建物オーナーが建築物や設備において省エネ対策を行うメリットが生じない状況を指す。また、表1において③・④の要素として挙げられた省エネ効果の高さとは、非住宅建築においてエネルギー消費量の大きいファン・ポンプや冷房に対して省エネ対策を行うと短期的にも光熱費の大幅な削減となるため、比較的投資回収期間の長い③・④の技術については導入率が選好関数よりも高かったことを指している。

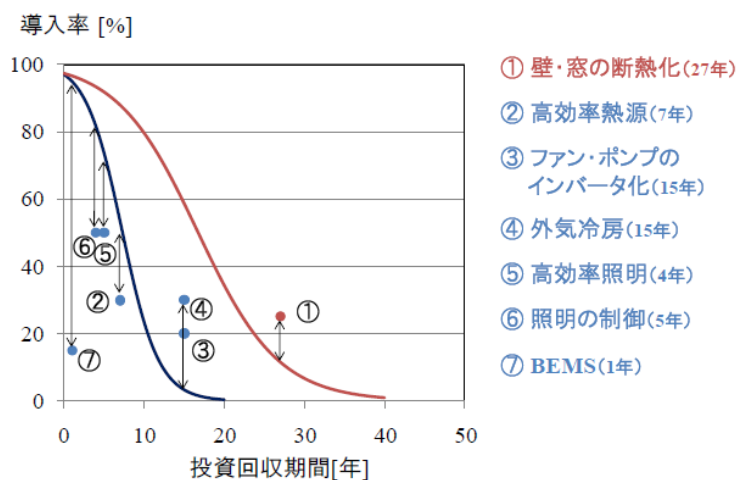


図29 低炭素技術導入選好関数と実際の導入率との比較

表1 非住宅建築における低炭素技術の導入要因調査結果

導入に積極的となるインセンティブ		導入に消極的となる阻害要因	
①壁・窓の断熱化	不動産価値の向上	② 高効率熱源	初期費用に対する認知バイアス
③ ファン・ポンプのインバータ化	省エネ効果の高さ	⑤ 高効率照明	初期費用の高さ インセンティブスプリット
④ 外気冷房	省エネ効果の高さ	⑥ 照明の制御	初期費用の高さ インセンティブスプリット
		⑦ BEMS	知識不足

以上のように、情政策的政策において検討された認知バイアスの除去とは、表1に示された導入に消極的となる阻害要因が正しい情報提供により除去され、さらに導入に積極的となるインセンティブが与えられることによる導入率の向上を想定しており、認知バイアスの除去が高いエネルギー削減効果およびCO<sub>2</sub>削減効果をもたらすことが示唆された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

民生部門エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量予測モデルに最新のエネルギー関連データを反映させて環境省中長期ロードマップ小委員会が設定した低炭素化シナリオを検証した結果、住宅（家庭）部門においては政府が目標としている2020年時CO<sub>2</sub>排出量25%削減（1990年比）は困難であり、目標達成のためにはライフスタイルの変化を中心とする社会面の努力が不可欠であることが示唆された。また、短期的にエネルギー消費削減が求められる場合にはライフスタイルの変化が最も重要な要素となるが、長期的には太陽光発電の普及および発電効率の向上が重要であり、2050年には民生家庭部門のゼロエネルギー化がほぼ達成され得ることが示唆された。非住宅（業務）部門においては情報の政策・経済的政策・規制的政策の導入効果を検討した結果、情報の政策の実施が大きな効果をもたらす可能性が示唆された。しかしながら政府の中期目標である2020年時におけるCO<sub>2</sub>削減目標（1990年比25%削減）を達成するためには、情報の政策、経済的政策だけでなく規制的政策を一部導入することが求められることも同時に示唆された。

### (2) 地球環境政策への貢献

政府が掲げるCO<sub>2</sub>削減目標に対して、社会面および技術面が、それぞれどの程度CO<sub>2</sub>排出量削減に貢献し得るのかを定量的に明らかにし、両者がともに最大限努力することで目標達成が可能となることを示した。また、各種CO<sub>2</sub>削減対策導入シナリオを実際に実現する際に必要とされる政策について、サブテーマ2～6から得られた知見を引用しつつ考察した。

## 6. 引用文献

- 1) IPCC : IPCC Fourth Assessment Report “Climate Change 2007”, 2007
- 2) IEA : World Energy Outlook 2009, 2009
- 3) (財) 日本エネルギー経済研究所 : わが国の長期エネルギー需給展望, 2002
- 4) 内閣府 : 地球温暖化問題に関する懇談会－中期目標検討委員会－, 2008～2009
- 5) 環境省 : 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会, 2009～2010  
(in [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt\\_roadmap/comm.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm.html))
- 6) (財) エネルギー総合工学研究所 : 平成17年度エネルギー環境総合戦略調査（超長期エネルギー技術戦略等に関する調査）超長期エネルギー技術ロードマップ報告書, 2006
- 7) 電気事業連合会 : 環境行動計画（2008年度版）, 2008
- 8) 広瀬幸雄 : 環境と消費の社会心理学－公益と私益のジレンマ－, 名古屋大学出版会, 1995
- 9) 広瀬幸雄 : 環境行動の社会心理学－環境に向き合う人間のこころと行動－, 北大路書房, 2008
- 10) 環境省地球環境研究総合推進費戦略的研究開発プロジェクト : 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト（2050年脱温暖化社会プロジェクト）, 2004～2008
- 11) 総合資源エネルギー調査会 : 長期エネルギー需給見通し（再計算）, 2009
- 12) 国立社会保障・人口問題研究所 : 日本の世帯数の将来推計（都道府県別推計）2009年12月推計, (財) 厚生統計協会, 2010
- 13) 総務省統計局 : 平成20年住宅・土地統計調査

- 14) 竹之下忠英, 伊香賀俊治, 村上周三, 新谷圭右: 住まい方の変化を考慮した住宅のエネルギー消費量のマクロ推計, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 541-544, 2007
- 15) 板硝子協会: CO<sub>2</sub>を削減する「複層ガラス」の効果  
(in [http://www.itakyo.or.jp/toukei/kankyo1\\_1.html](http://www.itakyo.or.jp/toukei/kankyo1_1.html) アクセス日2011年3月1日)
- 16) (財) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット: EDMC/エネルギー・経済統計要覧 (2010年版), (財) 省エネルギーセンター, 2010
- 17) 深澤大樹, 外岡 豊, 伊香賀俊治, 三浦秀一, 小池万理: 住宅内のエネルギー消費量の都道府県別将来推計に関する研究 (その4) 都道府県別住宅断熱水準, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 401-402, 2004

## 7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

〈論文 (査読あり)〉

特に記載すべき事項はない

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

特に記載すべき事項はない

〈その他誌上発表 (査読なし)〉

特に記載すべき事項はない

### (2) 口頭発表 (学会)

- 1) 磐田朋子, 桑沢保夫, 村上周三, 伊香賀俊治: 低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言 (第6報) 民生家庭部門の低炭素化に向けたシナリオの検討, 日本建築学会, 2010年度日本建築学会大会 (北陸), 2010

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

### (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### (6) その他

特に記載すべき事項はない