

### S - 3 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

#### 3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

##### (3) 都市建築物由来のエネルギー消費と変革による削減効果

(株) 日建設計 環境計画室

伊香賀俊治

#### [要旨]

本研究では、住宅や業務建築の運用に伴うエネルギー消費と、それらの建設に伴う誘発環境負荷の両者を対象とする。前者の対策には、断熱性能の向上、省エネ型設備の導入などがあり、後者の対策には、長寿命化やエコマテリアルの採用などがある。さらにライフスタイルの変更も検討対象とする。建築物は、ライフサイクルが長いために、都市内のすべての建築が更新されるまでに数十年以上かかること、都市計画的には建物規模の誘導が可能であること、家族構成・住宅面積・就業人口比率・勤務時間などのストーリーラインによって影響を受ける社会的な要因が大きいことなどの特徴を有する。

まず、これらの複雑な要素を考えずに複数の都市に導入した場合のエネルギー消費量削減のポテンシャルを求める。次に中期解析に用いる建築物の更新サイクルの検討を対象都市に対して行うと共に、省エネ型の技術の普及を予測し、これらを建築物のエネルギー消費モデルに組み込む。さらに社会の変化に伴う住宅、業務用建築の変化シナリオを作成し、エネルギー消費量を求める。

今年度は、サブテーマ(1)で選定された宇都宮市を対象として、家族類型別世帯数・ライフスタイル・住宅断熱水準・家電製品普及率・年間時刻別気象データなどを推計条件として、家庭部門のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測した。宇都宮市の世帯数は、2020年時点で1990年比35%と推計されており、特に高齢世帯と単身世帯が増加傾向にある。家庭部門のCO<sub>2</sub>排出量は、BAUケースでは、2020年時点で1990年比33%増加するとの予測結果を得た。これに対して、住宅断熱基準を省エネ法よりも強化(北海道並の住宅断熱基準を適用)、新築時だけではなく改修時の徹底的な断熱強化、暖冷房給湯の電化率の向上とトップランナー設備の普及、省エネ家電への買い替え促進、節約型ライフスタイルへの転換などを行った徹底対策ケースでは、1990年比3%削減されるなどの予測結果を得た。

[キーワード] 戸建住宅、集合住宅、断熱強化、省エネ家電、ライフスタイル

#### 1. はじめに

本研究では、住宅や業務建築の運用に伴うエネルギー消費と、それらの建設に伴う誘発環境負荷の両者を対象とする。前者の対策には、断熱性能の向上、省エネ型設備の導入などがあり、後者の対策には、長寿命化やエコマテリアルの採用などがある。さらにライフスタイルの変更も検討対象とする。建築物は、ライフサイクルが長いために、都市内のすべての建築が更新されるまでに数十年以上かかること、都市計画的には建物規模の誘導が可能であること、家族構成・住宅面積・就業人口比率・勤務時間などのストーリーラインによって影響を受ける社会的な要因が大きいことなどの特徴を有する。まず、これらの複雑な要素を考えずに複数の都市に導入した場合

のエネルギー消費量削減のポテンシャルを求める。次に中期解析に用いる建築物の更新サイクルの検討を対象都市に対して行うと共に、省エネ型の技術の普及を予測し、これらを建築物のエネルギー消費モデルに組み込む。さらに社会の変化に伴う住宅、業務用建築の変化シナリオを作成し、エネルギー消費量を求める。

## 2. 研究目的

サブテーマ(1)で選定された宇都宮市を対象として、家族類型別世帯数・ライフスタイル・住宅断熱水準・家電製品普及率・年間時刻別気象データなどを推計条件として、家庭部門のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測することを今年度の研究目的とした。

## 3. 研究方法

住宅のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の計算フローを図1に示す。47都道府県別、7家族類型別(高齢単独世帯、その他単独世帯、高齢夫婦のみの世帯、その他夫婦のみの世帯、夫婦と子から成る世帯、ひとり親と子から成る世帯、その他の世帯)に、(1)暖冷房、(2)給湯、(3)その他(厨房、娯楽情報、家事衛生、照明)別に計算する。

### 3.1 暖冷房用エネルギー消費量の計算

気象条件、設定室温等を考慮した数十パターンの建物条件による熱負荷計算結果を元に重回帰式を作成し、その式を推計ツールに組み込んだ。推計ツールには、家族類型や地域特性を考慮した延床面積、断熱性能等の変数を用意し、家族類型や検討地域に合わせて熱負荷原単位を変えて利用する仕組みとした。家族類型別の負荷原単位と世帯数から地域全体の負荷を求め、燃料別分担と燃料別平均COPから暖冷房用のエネルギー消費量を算出した。なお、空調換気扇の電力消費量もここに算入した。

#### (1)重回帰式の作成

マクロモデルでの都道府県別暖冷房負荷推計に利用するため、表1のA～Eを説明変数とした重回帰分析を行い、暖冷房負荷重回帰式を地域区別別に作成した。熱損失係数は4水準、それ以外の説明変数は3水準設定した。各説明変数の水準の組み合わせによる重回帰分析の観測数は、戸建・集合別、

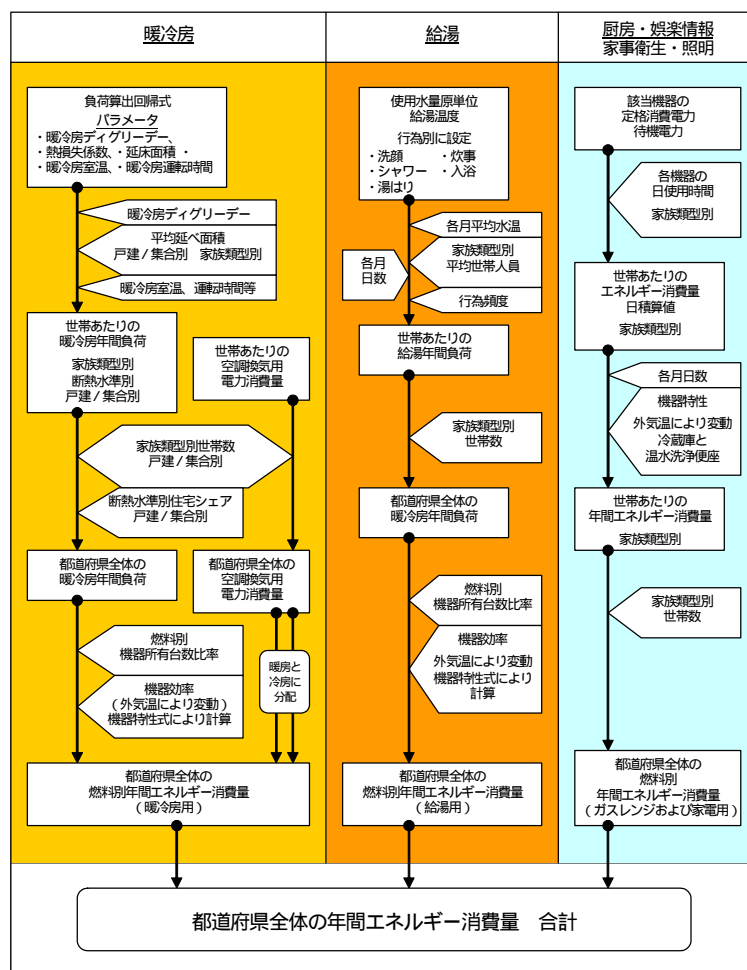


図1 住宅内のエネルギー消費推計マクロモデルの計算フロー

地域別、暖冷房別に、それぞれ3<sup>4</sup> × 4=324通りである。

重回帰分析の基データとなる各条件の熱負荷は、住宅用熱負荷計算ソフトSMASH<sup>[3]</sup>にて計算した。解析対象とする住戸モデルとして、戸建住宅には「建築学会標準問題モデル」(図2)、集合住宅には「住宅の新省エネルギー基準と指針」(図3)の中間階中間住戸を用いた。断熱水準、空調設定温度および空調運転時間については、表4の説明変数C、D、Eの水準値に従い、その他、部位仕様、各室の使用状況等は建築学会標準問題に準じた。延床面積の違いについては、それぞれの負荷計算は行わず、基準モデルの負荷計算結果から必要な室の負荷計算結果を抽出して集計することで、各規模の負荷計算結果に代用した。

重回帰式は、暖冷房それぞれについて、戸建・集合別、地域区分別に作成した。重回帰分析結果(決定係数R<sup>2</sup>)と作成された重回帰式係数を表2に示す。

表1 重回帰式の説明変数とシミュレーション条件

説明変数	シミュレーション条件		
A デグレデー [度日/年]	地域モデル別に3都市を選定		
	暖房	地域モデル:	3587(札幌)、4275(旭川)、3234(盛岡)
		地域モデル:	3234(盛岡)、3587(札幌)、2561(仙台)
		地域モデル:	2561(仙台)、3234(盛岡)、1592(東京)
	冷房	地域モデル:	1592(東京)、2561(仙台)、1701(広島)
		地域モデル:	1163(鹿児島)、1701(広島)、1481(福岡)
B 延床面積 [㎡/戸]	戸建	60㎡: LDK、主寝室(小)	(小)は通常の半分
		120㎡: LDK、主寝室、子供部屋×2	
		180㎡: LDK(大)、主寝室×2、子供部屋×2	(大)は通常の2倍
	集合	20㎡: LDK(小)、主寝室(小)	(小)は通常の半分
		40㎡: LDK、主寝室、子供部屋	
		80㎡: LDK、主寝室、子供部屋×2	
C 熱損失係数 [W/㎡K]	地域別に4種の断熱仕様基準を満たす熱損失係数を設定(戸建/集合別) 従来型(無断熱)、旧基準、新基準、次世代基準		
D 空調室温 [℃]	暖房	地域モデル	18 (節約型)、22 (標準型)、26 (浪費型)
		地域～地域モデル	14 (節約型)、18 (標準型)、22 (浪費型)
	冷房		28 (節約型)、26 (標準型)、24 (浪費型)
E 空調時間 [h/日]	暖房 [地域モデル]	31h(節約型): LDK 9h (6:00-9:00、16:00-22:00)、 主寝室 10h (22:00-8:00)、子供部屋 12h (20:00-8:00)	
		49h(標準型): LDK 17h (6:00-23:00)、 主寝室 15h (17:00-8:00)、子供部屋 17h (15:00-8:00)	
		72h(浪費型): LDK 24h (0:00-24:00)、 主寝室 24h (0:00-24:00)、子供部屋 24h (0:00-24:00)	
	暖房 [地域～地域モデル]	8h(節約型): LDK 5h (6:00-8:00、19:00-22:00)、 主寝室 1h (22:00-23:00)、子供部屋 2h (21:00-23:00)	
		16h(標準型): LDK 11h (6:00-9:00、12:00-14:00、16:00-22:00)、 主寝室 2h (21:00-23:00)、子供部屋 3h (20:00-23:00)	
		25h(浪費型): LDK 16h (6:00-22:00)、 主寝室 4h (19:00-23:00)、子供部屋 5h (18:00-23:00)	
LDK、主寝室、 子供室の延運 転時間を空調 時間として定 義	冷房	6h(節約型): LDK 4h (18:00-22:00)、 主寝室 1h (22:00-23:00)、子供部屋 1h (22:00-23:00)	
		11h(標準型): LDK 6h (16:00-22:00)、 主寝室 4h (21:00-23:00)、子供部屋 3h (20:00-23:00)	
		17h(浪費型): LDK 10h (12:00-22:00)、 主寝室 3h (21:00-24:00)、子供部屋 4h (20:00-24:00)	

(2)断熱水準別住宅戸数割合

各年における新設住宅に占める断熱水準別のシェアから戸数を想定し、1990年時点の断熱水準別の住宅ストック戸数をベースに、断

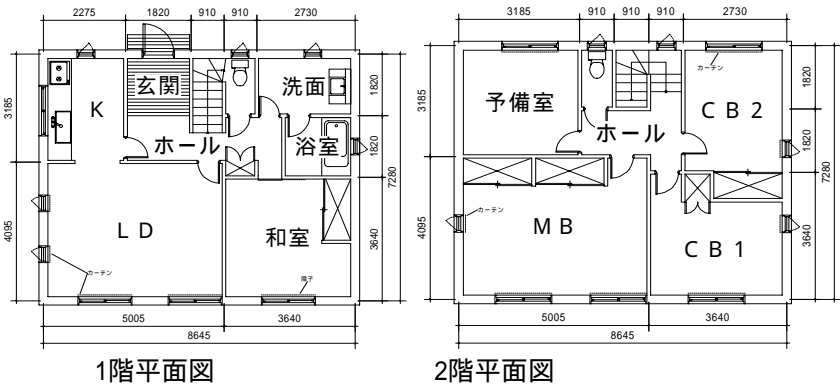


図2 戸建住宅・住戸モデル<sup>文5)</sup>

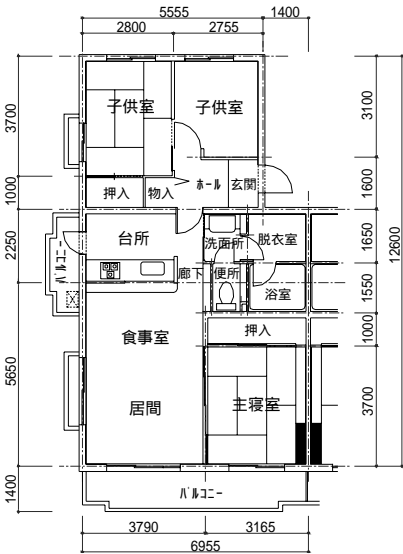


図3 集合住宅・住戸モデル<sup>文6)</sup>

表2 暖冷房負荷重回帰分析結果(決定係数 $R^2$ と重回帰式係数)

	地域区分	観測数	決定係数 $R^2$	係数0	係数1	係数2	係数3	係数4	係数5
				切片	デグリデーの係数	延床面積の係数	熱損失係数の係数	空調室温の係数	空調時間の係数
戸建住宅	年間暖房負荷	324	0.783	-337976.4	24.6956	527.4541	28553.6	5502.8	826.6785
		324	0.799	-152644.0	17.0941	188.4541	7263.6	3427.8	884.2118
		324	0.780	-116176.6	13.2296	145.0048	5292.7	3058.0	667.2899
		324	0.797	-99964.6	12.5583	119.8156	4126.2	2880.6	539.2169
		324	0.798	-90392.5	14.3134	101.2194	3230.7	2669.8	464.2327
	年間冷房負荷	324	0.585	9910.1	66.1908	5.6507	43.4832	-487.4	169.7894
		324	0.722	14831.8	29.1664	7.6174	46.6313	-680.3	219.8413
		324	0.737	28609.2	25.8461	17.1143	81.2735	-1319.0	358.7076
		324	0.780	38386.8	30.3697	26.6668	152.0937	-1830.4	465.7690
		324	0.834	54716.6	14.6737	48.5210	320.3386	-2540.5	758.3782
集合住宅	年間暖房負荷	324	0.837	101502.6	43.7954	102.2322	826.0848	-5485.9	1567.5343
		324	0.785	-72440.4	5.4124	312.9258	19646.8	1160.6	35.1329
		324	0.788	-39095.9	4.1311	131.9588	7069.2	819.2	116.4441
		324	0.764	-29046.2	3.0504	100.2664	4286.4	729.0	88.7565
		324	0.768	-23877.2	2.7929	77.7679	3207.6	643.1	68.5095
	年間冷房負荷	324	0.752	-19759.7	2.7843	62.6973	2279.6	559.4	57.6385
		324	0.574	7283.2	33.6633	10.2927	-13.6395	-327.6	82.2308
		324	0.719	11275.8	20.5681	14.4711	-12.8614	-486.3	107.7608
		324	0.747	22865.6	20.4517	35.0055	71.7738	-1001.8	177.5686
		324	0.805	31388.6	22.6125	55.1586	84.8416	-1399.8	227.7441

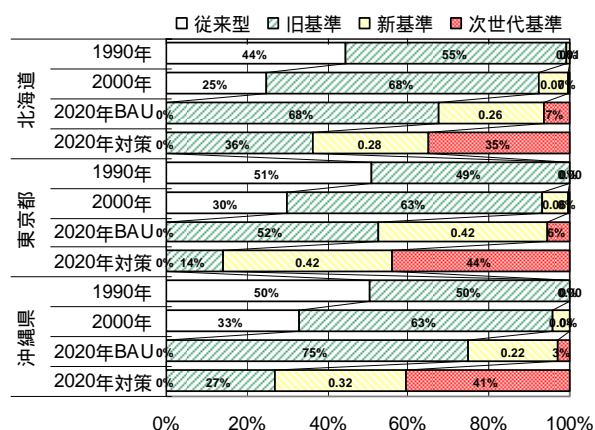
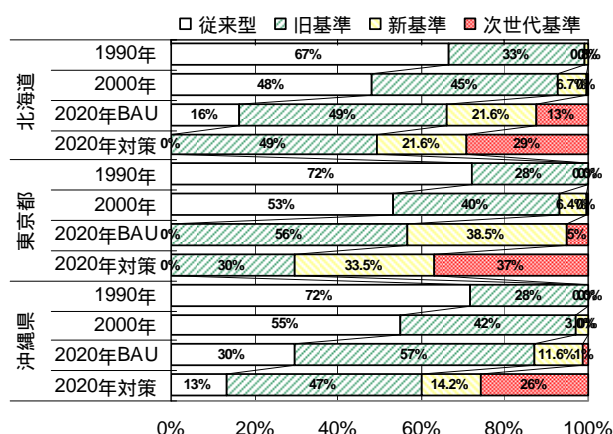


図4 断熱水準別住宅戸数の経年変化(戸建住宅) 図5 断熱水準別住宅戸数の経年変化(集合住宅)

断熱水準別の新設戸数を積上げることにより、各年における住宅ストックに占める断熱水準別の住宅数を都道府県別、戸建/集合別に推計した。住宅ストックの戸数は、前年のストック戸数及び新設戸数と除却戸数により定まるが、本研究では各年の住宅ストック戸数をあらかじめ設定しておき、新設戸数を積上げる際にストック戸数を上回る分が除却されるとした。

1990年以降の住宅戸数については、2000年までは国勢調査の世帯数、2005年以降2020年まではマクロモデルで設定している5年毎のデータを基に、中間年については直線補完して世帯数を推計した上、文献[10]における都道府県別、建て方別の世帯数と空家戸数から住宅戸数の「世帯数倍率」を求め、各年の世帯数に乘じたものをストックの住宅戸数とした。「世帯数倍率」は、近年ではほぼ全国ベースでは一定であることから、将来においても一定と仮定した。

図4に、北海道、東京都、沖縄県を代表例として、1990年、2000年、2020年(BAUケース)、2020年(新築および改修時の断熱強化ケース)における戸建住宅の断熱水準別戸数割合の計算結果を示す。集合住

宅の断熱水準別戸数割合についても同様のケースについて、図5に示す。

### 3.2 給湯用エネルギー消費量の計算

給湯用エネルギー消費量の計算フローを図1に示す。使用量原単位および利用温度には、空気調和・衛生工学会（以下、空衛学会）の研究成果<sup>[19]</sup>を利用した。給湯使用行為頻度テーブル、世帯数、各月平均水道水温から地域全体の給湯負荷を求め、燃料別分担と燃料別平均COPから給湯用エネルギー消費量を算出した。

### 3.3 厨房・娯楽情報・家事衛生・照明用エネルギー消費量の計算

厨房・娯楽情報・家事衛生・照明用エネルギー消費量の計算フローを図1に示す。空衛学会の研究成果<sup>[19]</sup>を利用し、家族類型別に家電機器の電力消費量日積算値を設定した。日積算値を作成する際の家族構成モデルは、家族類型別に1種のモデルを仮定して当てはめた。日積算値に日数および世帯数を乗じて厨房他4用途のエネルギー消費量を算出した。

### 3.4 太陽熱利用量の計算

太陽熱利用量は、県庁所在都市毎に、南傾斜20度、南垂直面、最適角度別の単位集熱器面積あたりの年間集熱量をデータベースに組み込んだ。戸建住宅、集合住宅別に、集熱器設置角度と普及率を入力して算出する。

### 3.5 太陽光発電量の計算

太陽光発電量も太陽熱利用と同様に、県庁所在都市毎に、南傾斜20度、南垂直面、最適角度別の単位

住宅マクロモデル

都道府県選択: 東京都

省エネルギー対策

空調設定室温: 22℃

空調運転時間の調節: 暖房時: 標準時間 0.75, 冷房時: 標準時間 0.75

省エネ型エアコンへの買い替え促進(電気機器の効率UP)

照明機器の電化率向上: 2020年時点で2005年の 1.5 倍に

断熱強化対策の推進

太陽熱給湯の導入促進

太陽光発電の導入促進

給湯

その他(照明・厨房・娯楽情報・家事衛生)

計算実行 キャンセル

図6 都道府県選択・省エネ対策選択画面



発電容量あたりの年間発電量をデータベースに組み込んだ。戸建住宅、集合住宅別に、太陽光発電パネルの設置角度と普及率を入力して算出する。

### 3.6 予測ソフトの操作方法

予測ソフトは汎用表計算ソフト上で開発したもので、図6に示す画面で、検討したい都道府県と、採用する省エネルギー対策をチェックし、計算実行ボタンを押すと数十秒で計算結果が表示される。また、全国推計を行うためのボタンを押すと数分で計算結果が表示される。なお、以降に示す推計結果は図6の画面中に記載された検討条件でのものである。

## 4. 結果・考察

### 4.1 全国の住宅CO<sub>2</sub>排出量の予測結果

(独)国立社会保障・人口問題研究所の予測によれば、日本の総世帯数は図7に示すように2015年頃まで増加し続け、その後減少に向かう。また、単身世帯、高齢世帯の割合は1990年以降2020年に向けて増大を続ける。この統計データ等に基づき、図6に示めした検討条件で、全国の住宅の用途別CO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測した結果を図8示す。1990年の住宅関連CO<sub>2</sub>排出量は、1.4億t-CO<sub>2</sub>/年、2000年には1.7億t-CO<sub>2</sub>/年(90年比20%増大)という結果が得られた。BAU(Business as usual)ケースでは、2010年には90年比24%増大すると予測された。これに対して、新築および既存住宅の断熱強化、トップランナー家電機器への買い

替え促進、太陽熱集熱・太陽光

発電の導入促進、節約型ライフスタイルの徹底など行うとした対策強化ケースでは、図9に示すように、2020年には1990年比4%増に留まるものの、2020年には20%削減という結果が得られた。

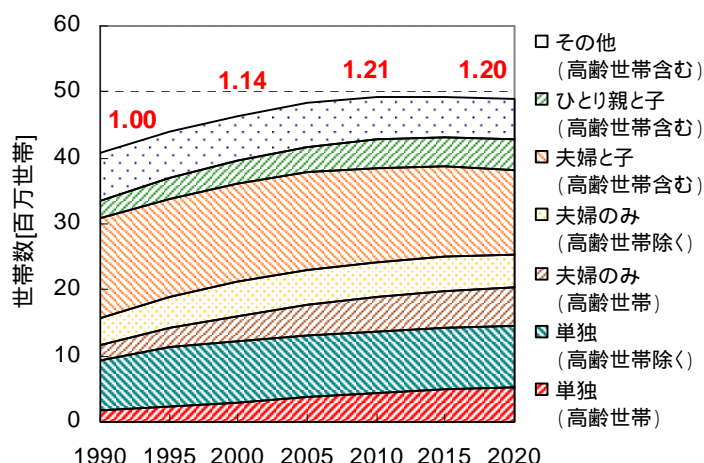


図7 日本の家族類型別世帯数の推移

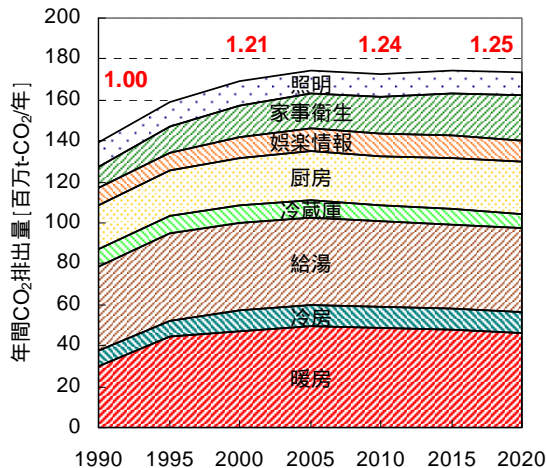


図8 全国の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移 (BAUケース)

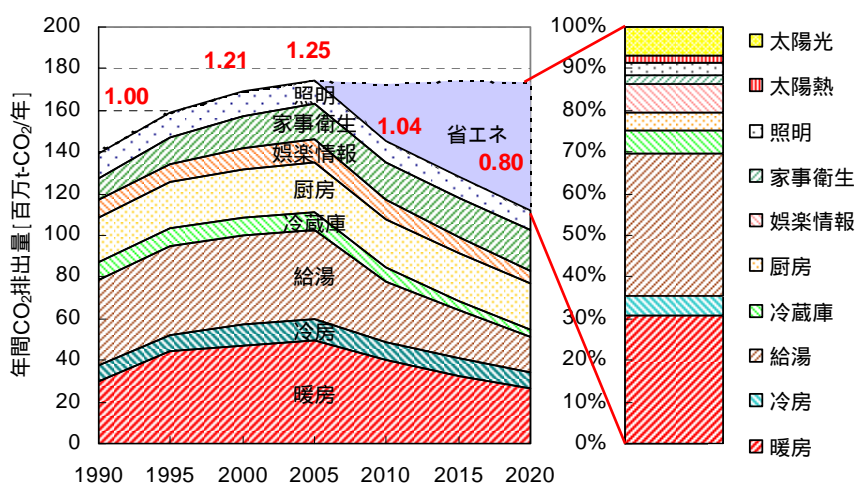


図9 全国の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移 (対策強化ケース)

## 4.2 栃木県の住宅CO<sub>2</sub>排出量の予測結果

(独)国立社会保障・人口問題研究所の予測によれば、栃木県の総世帯数は図10に示すように2010年には1990年比27%増、2020年には31%に増加し続ける。また、単身世帯、高齢世帯の割合も1990年以降2020年に向けて増大を続けると予測されている。この統計データ等に基づき、BAUケースにおける栃木県内の住宅の用途別CO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測した結果を図11に示す。

CO<sub>2</sub>排出量はBAUケースでも2010年には1990年比30%増大、2020年には34%増大とするとの予測結果を得た。これに対して、太陽光発電、太陽熱の導入を含まない対策強化ケースでは、図12に示すように、2010年には1990年比8%増に抑えられ、2020年には20%削減という予測結果が得られた。

## 4.3 宇都宮市の住宅CO<sub>2</sub>排出量の予測結果

(独)国立社会保障・人口問題研究所の予測と、宇都宮市の家族類型別世帯数の統計データを基に、宇都宮市の世帯数の将来推計を行った結果、図13に示すように、1990年比30%増、2020年には35%に増加し続け、栃木県全体よりも増加率が高く推移すると予測された。また、単身世帯、高齢世帯の割合も栃木県全体よりも多いと予測された。

この世帯数データ等に基づき、BAUケースにおける宇都宮市内の住宅の用途別CO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測した結果を図14に示す。家庭部門のCO<sub>2</sub>排出量は、BAUケースでは、2010年には1990年比33%増大、

2020年には39%増大と、栃木県全体よりも高めに推移する予測結果となった。これに対して、太陽光発電、太陽熱の導入を含まない対策強化ケースでは、図15に示すように、2010年には1990年比14%増に抑

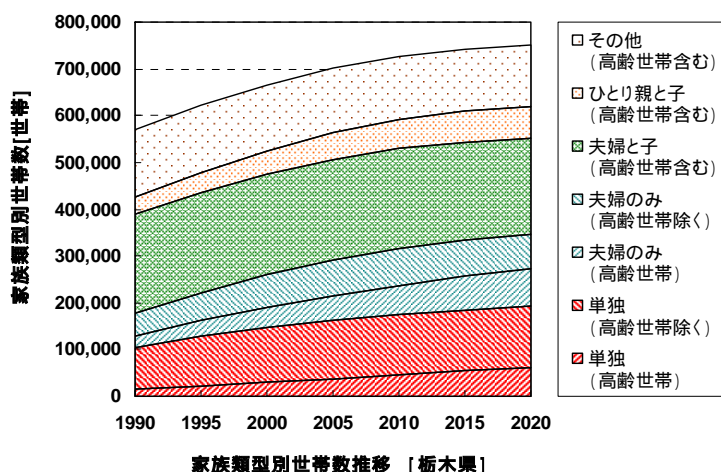


図10 栃木県の家族類型別世帯数の推移

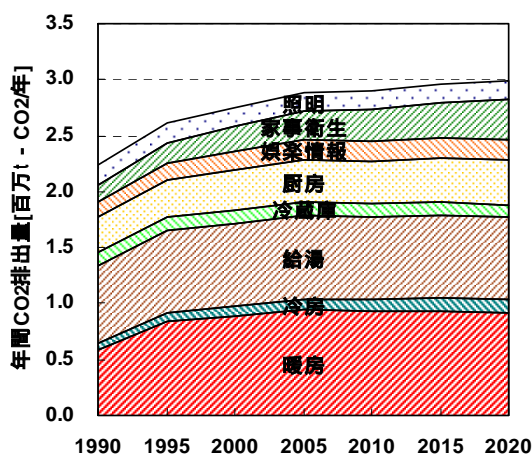


図11 栃木県の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移 (BAUケース)

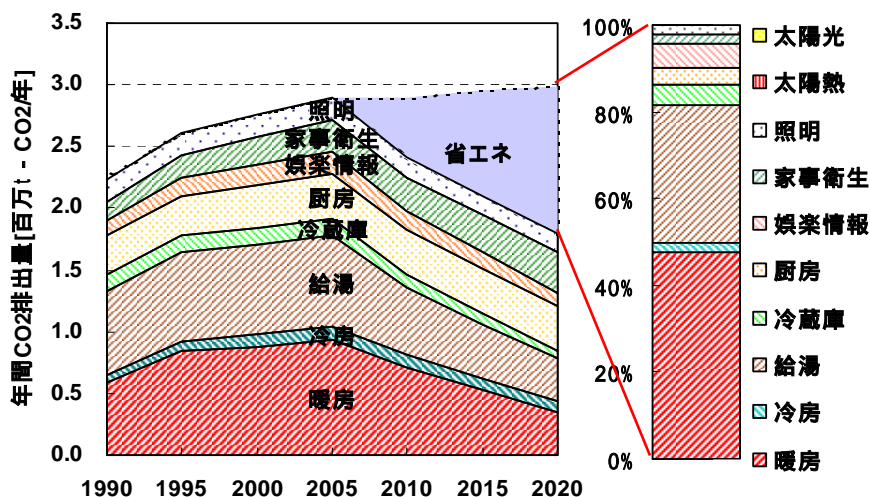


図12 栃木県の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移 (対策強化ケース)

えられ、2020年には3%削減という予測結果が得られた。

## 5. 本研究により得られた成果

今年度は、サブテーマ(1)で選定された宇都宮市を対象として、家族類型別世帯数・ライフスタイル・住宅断熱水準・家電製品普及率・年間時刻別気象データなどを推計条件として、家庭部門のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を2020年まで予測することが研究目的であった。

宇都宮市の世帯数は、2020年時点で1990年比35%と推計されており、特に高齢世帯と単身世帯が増加傾向にある。家庭部門のCO<sub>2</sub>排出量は、BAUケースでは、2020年時点で1990年比33%増加するとの予測結果を得た。これに対して、住宅断熱基準を省エネ法よりも強化(北海道並の住宅断熱基準を適用)、新築時だけではなく改修時の徹底的な断熱強化、暖冷房給湯の電化率の向上とトップランナー設備の普及、省エネ家電への買い替え促進、節約型ライフスタイルへの転換などを行った徹底対策ケースでは、1990年比3%削減されるなどの予測結果を得た。

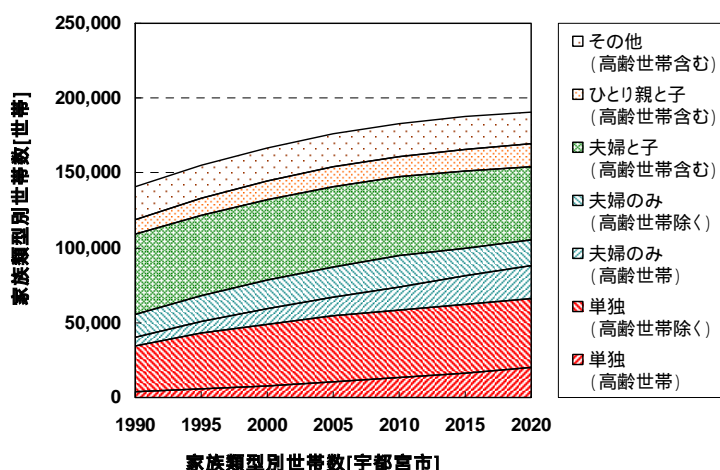


図13 宇都宮市の家族類型別世帯数の推移

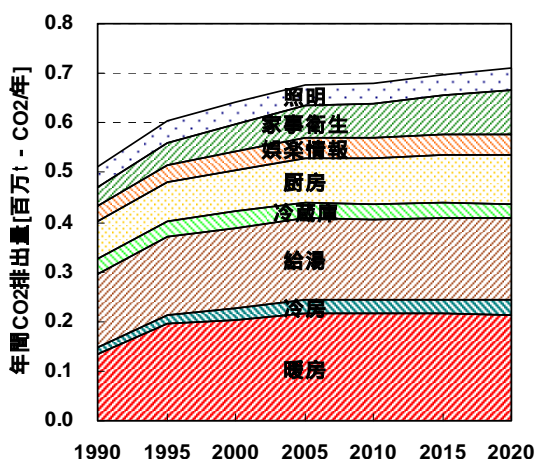


図14 宇都宮市の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移(BAUケース)

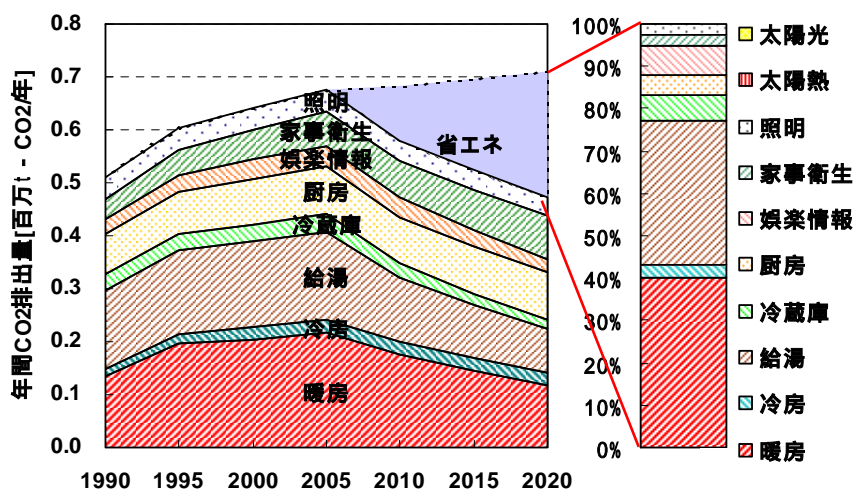


図15 宇都宮市の住宅CO<sub>2</sub>排出量の推移(対策強化ケース)



## 6. 引用文献

- 1) 拡張アメダス気象データ、(社)日本建築学会、2000
- 2) 住宅の省エネルギー基準の解説、(財)建築環境・省エネルギー機構、2002
- 3) SMASH for Windows Ver.2 住宅用熱負荷計算プログラム、(財)建築環境・省エネルギー機構、2000
- 4) 宇田川光弘：標準問題の提案 住宅用標準問題、日本建築学会第15回熱シンポジウムテキスト、pp23-33、1985
- 5) 住宅の新省エネルギー基準と指針、(財)建築環境・省エネルギー機構、1997
- 6) SCHEDULE Ver2.0 生活スケジュール自動生成プログラム、(社)空気調和衛生工学会、2000
- 7) 三浦秀一、外岡豊：日本の住宅における地域別エネルギー需要構造とその増加要因に関する研究、日本建築学会計画系論文集第562号、pp105-112、2002.12
- 8) 深澤大樹、外岡 豊、三浦秀一他：都道府県別住宅CO<sub>2</sub>排出実態の詳細推計 - その3 2000年度における建て方別・用途別推計 -、第19回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、pp703-708、2003
- 9) EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2002年版)、(財)日本エネルギー経済研究所 計量分析部、2002
- 10) 佐賀武義、三浦秀一：住宅における太陽エネルギー導入のための地域別可能性評価に関する研究、太陽/風力エネルギー講演論文集、pp.125-128、2002.11

## 7. 海外との協力

本項目には、特記事項はない。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

伊香賀俊治、三浦秀一、外岡 豊、下田吉之、小池万理、深澤大樹：住宅のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発、日本建築学会技術報告集(査読中)

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

### (2) 口頭発表(学会)

伊香賀俊治、三浦秀一、外岡 豊、下田吉之、小池万里、深澤大樹、水石 仁：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1)、住宅内のエネルギー消費推計モデルの概要、日本建築学会大会講演梗概集、2004.08

### (3) 出願特許

なし

### (4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

本研究の成果は、グループ全体として京都議定書発効以降のわが国のCO<sub>2</sub>排出削減目標策に寄与するとともに、一部は政府間気候変動パネルの評価に反映されるよう努める。