

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

慶應義塾大学 理工学部  
(株)日建設計総合研究所

伊香賀俊治  
林 立也

[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。

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。H19年度は、前年度に開発した事務所ビル起因CO<sub>2</sub>排出量予測モデルを全用途の業務用建物（事務所ビル以外に、商業施設、医療施設、教育施設、宿泊施設、その他）に拡張し、業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量を2050年まで都道府県別に予測した。そして、業務用建築における温暖化防止対策の効果を評価し、温室効果ガス削減目標の達成に向けた対策について検討した。

[キーワード] 業務用建築、住宅、省エネルギー、長寿命化、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

民生業務部門のCO<sub>2</sub>排出量は2005年度時で1990年度に比べて40%増加しており、業務用建築における温暖化対策が今後の重要な政策的課題と位置づけられる。そこで本研究では、業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量の超長期予測モデル（以下、予測モデル）を開発し、温室効果ガス削減目標の達成に向けた対策について検討することを目的とする。

## 3. 業務用建築起因 CO<sub>2</sub> 排出量の 2050 年までの都道府県別予測

### (1) 予測モデルの概要 (図1)

予測モデルの概要を図1に示す。予測モデルは以下の3つのサブモデルから構成されている。

- 1) 床面積予測モデル： ストック／新築／改修床面積を都道府県別に 2050 年まで予測
- 2) 床面積当りエネルギー消費量評価モデル： 低炭素技術の導入による床面積当りのエネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を評価
- 3) 低炭素技術の導入評価モデル： 各低炭素技術について、経済合理的な導入率を評価

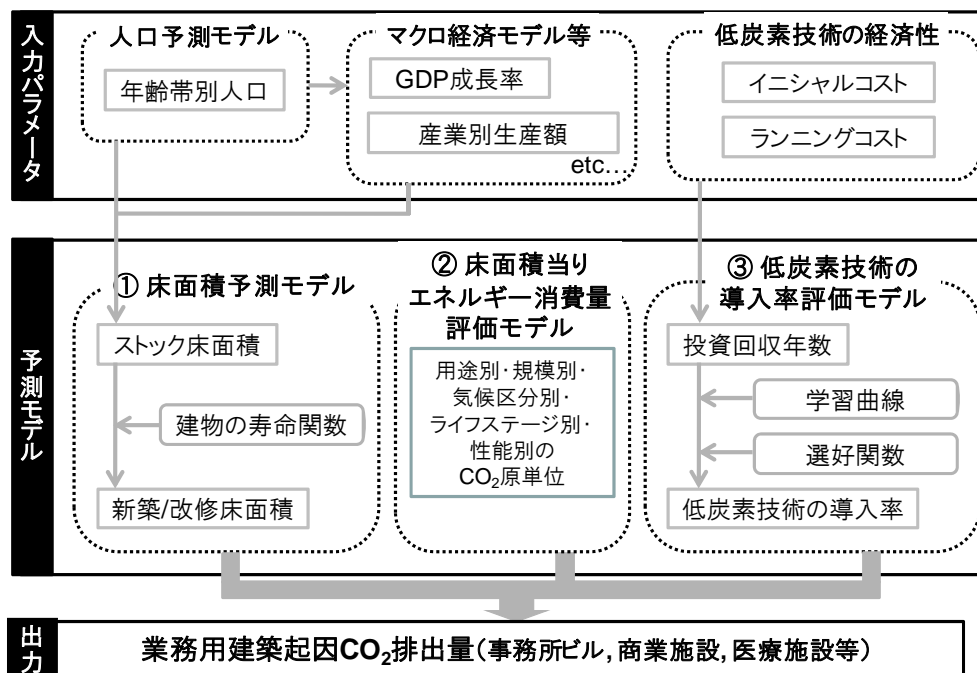


図1 予測モデルの概要

### ① 床面積に関する予測モデル (図1-①)

#### a. ストック床面積の2050年までの予測 (図2)

ストック床面積は、環境省「脱温暖化2050プロジェクト」長期シナリオ研究チームの推計値を引用した<sup>文1)</sup>。ストック床面積の推計に用いられた説明変数および推計結果（都市集中型社会：シナリオA、地方分散型社会：シナリオB）をそれぞれ表1、図2に示す。

表1. 業務用建築のストック床面積の説明変数

用途	主な説明変数	その他の説明変数
事務所ビル	生産年齢人口	在宅勤務率など
商業施設	商業生産額	無店舗販売率
教育施設	就学年齢人口 (年齢帯別)	就学率 (年齢帯別)
医療施設	人口 (年齢帯別)	罹患率 (年齢帯別)
宿泊施設	宿泊業生産額	—
その他	総人口	—

ストック床面積 [億m<sup>2</sup>]

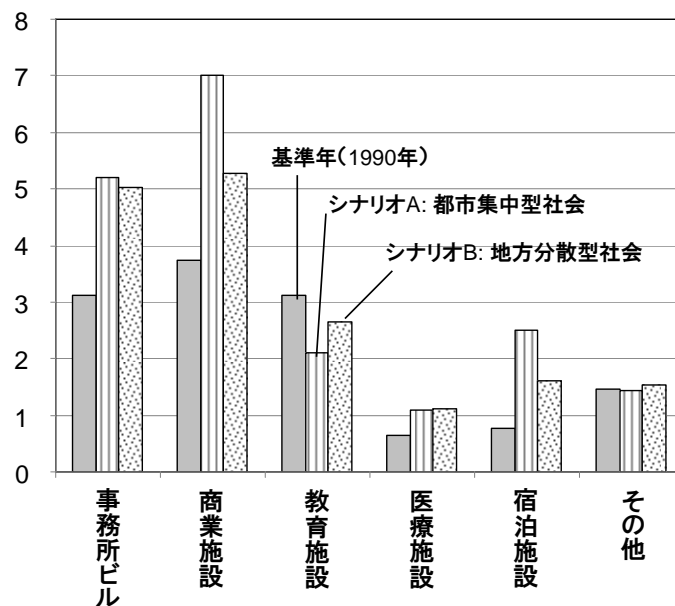


図2 事務所ビルのストック床面積の試算結果(全国)

b. 新築・改修床面積の2050年までの予測 (図3-1、3-2)

2005年度までの新築床面積については、建築着工統計<sup>2)</sup>に基づき推計した。それ以降は、毎年  
 の新築床面積が業務用建築の残存率関数<sup>3)</sup>に従い減少する一方で、ストック床面積を満たすよう  
 に毎年の新築床面積を予測した。改修床面積に関しては、新築後20年周期で改修工事が行われる  
 と仮定し、毎年の改修床面積を予測した。新築・改修床面積の予測結果を、長寿命化対策の有無  
 別にそれぞれ図3-1、3-2に示す。

② 床面積当りのエネルギー消費量評価モデル (図1-②)

業務用建築のエネルギー消費/CO<sub>2</sub>排出構造は、建物の用途や規模、所在地の気候等によって異な  
 る。そこで、規模別の事務所ビルの標準モデルを設定し、各モデルビルに様々な低炭素技術を採用  
 した場合のCO<sub>2</sub>原単位を、規模別、気候区分別、ライフステージ別に算出し、データベースを  
 作成した。データベース構築に必要な諸条件について以下に示す。

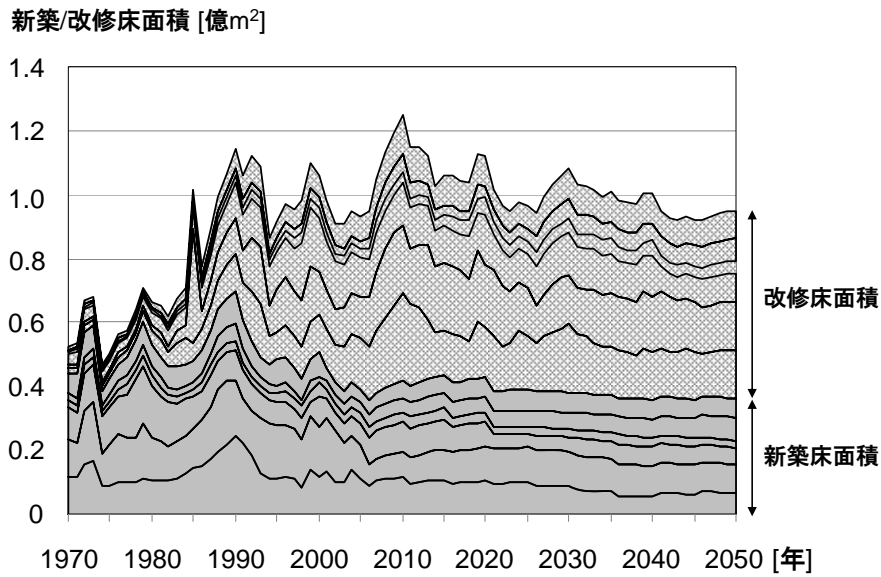


図3-1 新築・改修床面積の予測（長寿命対策なし）

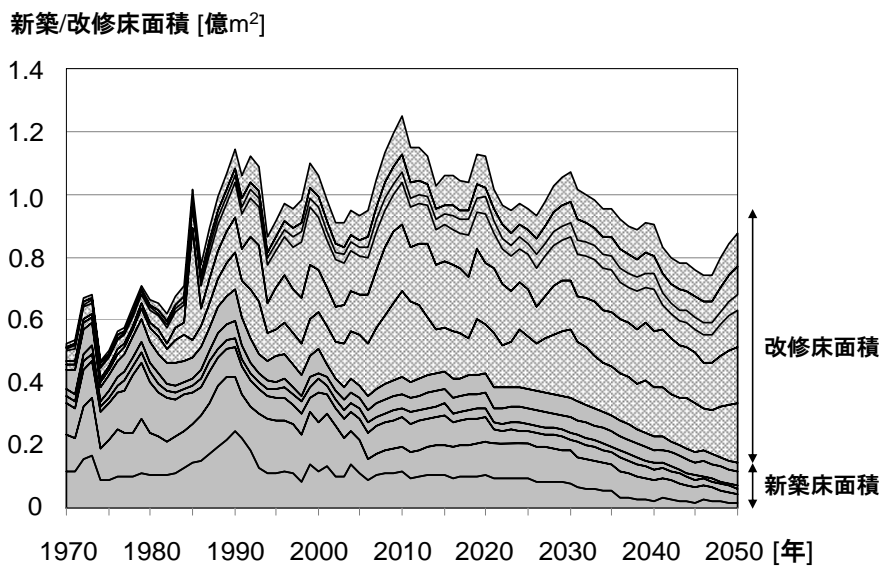


図3-2 新築・改修床面積の予測（長寿命対策あり）

a. 業務用建築の標準モデルの設定

本研究で設定した各用途の業務用建築の標準モデルの概要を表2に示す。

b. 評価対象とする低炭素技術の選定

「官庁施設の環境保全性に関する基準」<sup>4)</sup>に基づき、CO<sub>2</sub>削減効果が大きい低炭素技術を選定した(表3)。

c. エネルギー消費量/CO<sub>2</sub>排出量の評価方法

新築・改修時のCO<sub>2</sub>排出量の評価には、建築物のLCA計算ツール<sup>5)</sup>を用いた。運用時のエネルギー消費量の評価には、空調に関してビル空調熱源経済性評価プログラムFACES<sup>6)</sup>を、空調以外に関してCEC計算基準<sup>7)</sup>を用い、年度別の電力CO<sub>2</sub>原単位を乗じることによってCO<sub>2</sub>排出量に換算した。

表2 標準モデル建物の概要

用途	規模	延床面積	階数	コア	熱源方式
事務所ビル	小規模 (～1999m <sup>2</sup> )	323	F3	サイド	個別
	中規模 (2000～9999m <sup>2</sup> )	3,447	F7+B1	サイド	個別
	大規模 (10000m <sup>2</sup> ～)	20,429	F14+B1	センター	中央
商業施設	小規模 (～1999m <sup>2</sup> )	336	F1	サイド	個別
	中・大規模 (2000m <sup>2</sup> ～)	7,635	F8+B1	サイド	中央
教育施設	—	1,222	F3	サイド	個別
医療施設	小規模 (～1999m <sup>2</sup> )	414	F2	サイド	個別
	中規模 (2000～9999m <sup>2</sup> )	4,088	F3+B1	サイド	個別
	大規模 (10000～m <sup>2</sup> )	19,482	F7+B1	センター	中央
宿泊施設	小規模 (～1999m <sup>2</sup> )	342	F3	サイド	個別
	中・大規模 (2000m <sup>2</sup> ～)	6,210	F10+B1	センター	中央
その他	—	662	F3	サイド	個別

表3 評価対象とする低炭素技術

		規模	標準	新築時の対策	改修時の対策
長寿命化	階高のゆとり	全	3.8m	4m	←
	天井高のゆとり		2.6m	2.8m	
	床荷重のゆとり		2900N/m <sup>2</sup>	4500N/m <sup>2</sup>	
	十分な耐久性		建築基準法で定められた基準	同50%増	
外皮性能	外壁の高断熱	全	PAL : 300～320MJ/年・m <sup>2</sup>	PAL : 225～240MJ/年・m <sup>2</sup>	←
	窓・ブラインド				
熱源方式	高効率熱源	小中	EHPビルマルチ		←
			平均COP : 2.5	(～2020年)平均COP : 4.5 (2021年～)平均COP : 6.0	
		大	ガス吸収式冷温水		
	平均COP : 0.9	(～2020年)平均COP : 1.2 (2021年～)平均COP : 1.6	(～2020年)平均COP : 1.2 (2021年～)平均COP : 1.6		
	氷蓄熱	大	無	有	←
全熱交換機	全	無	有		
熱搬送方式	制御方式	大	CAV	VAV	←
空調方式	外気量制御	全	無	有	←
	空調方式	大	標準	タスク&アンビエント方式	←
照明方式	高効率照明	全	標準	(～2020年)電力消費量20% 減 (2021年～)電力消費量50% 減	←
	初期照度補正		無	有	←
	昼光制御		無	有	←
エレベータ	制御方式	全	交流帰還	交流VVVF	←

③ 低炭素技術の導入評価モデル (図1-③)

各低炭素技術の導入率は経済性に強く影響され、導入率と投資回収年数の関係は図4に示す選好関数で表されることが知られている<sup>8)</sup>。また、投資回収年数に影響を与える初期単位コストは、

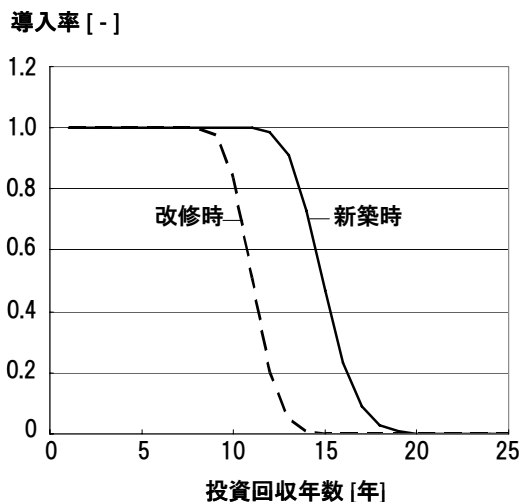


図4 低炭素技術の選好関数

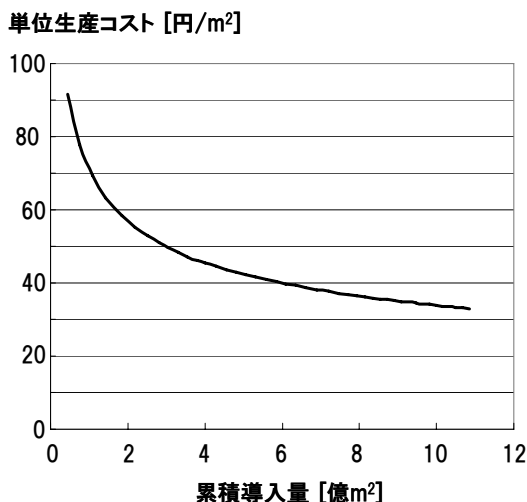


図5 照明方式における学習曲線の事例

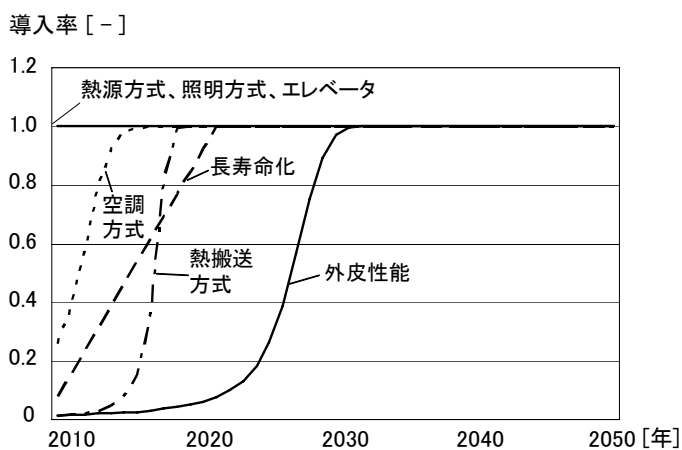


図6 各低炭素技術の導入率の推移（大規模事務所ビル、新築時の場合）

累積生産量が増加するほど低下し、その関係は図5に示す学習曲線として表される<sup>9)</sup>。選好関数と学習曲線に基づき、各低炭素技術の導入率を規模別、新築・改修時別に予測した。例として、大規模事務所ビルの新築時における各低炭素技術の導入率を図6に示す。なお、低炭素技術の効率向上は、超長期エネルギーロードマップビジョン<sup>11)</sup>を参考に、3に示すように進展するものとした。

#### 4. 結果・考察

低炭素技術が導入されないケース（自然ケース）、及び2008年から各低炭素技術が導入率に基づき導入されるケース（対策ケース）について試算した。

##### （1）事務所ビル起因CO<sub>2</sub>排出量の予測結果（全国）

表4に示すように、未来社会像として、シナリオA（都市集中型社会）、シナリオB（地方分散型社会）、シナリオM（シナリオAとBの中間）を設定し、電力部門の対策として、電力のCO<sub>2</sub>原単位が2005年以降変化しないシナリオ1（0.425kg-CO<sub>2</sub>/kWh）と経済産業省の超長期エネルギービジョン<sup>11)</sup>に基づくシナリオ2（2030年：0.27 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、2050年：0.12 kg-CO<sub>2</sub>/kWh）を想定した。

表4 検討シナリオと業務用建築の運用・新築・改修時のCO<sub>2</sub>排出量削減率

検討シナリオ			CO <sub>2</sub> 排出量削減率(1990年=100%)						
No.	未来社会シナリオ	電力部門シナリオとCO <sub>2</sub> 原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)	1990年			2020年		2050年	
			1990年	2020年	2050年	2020年	2050年	2020年	2050年
A1	Aシナリオ	1 2005年以降固定	0.421	0.390	0.390	+18%	+11%	-7%	-33%
A2		2 超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-7%	-45%	-21%	-70%
B1	Bシナリオ	1 2005年以降固定	0.421	0.390	0.390	+13%	+7%	-3%	-40%
B2		2 超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-8%	-49%	-22%	-73%
M1	Mシナリオ	1 2005年以降固定	0.421	0.390	0.390	+15%	+9%	-5%	-36%
M2		2 超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-7%	-47%	-21%	-71%

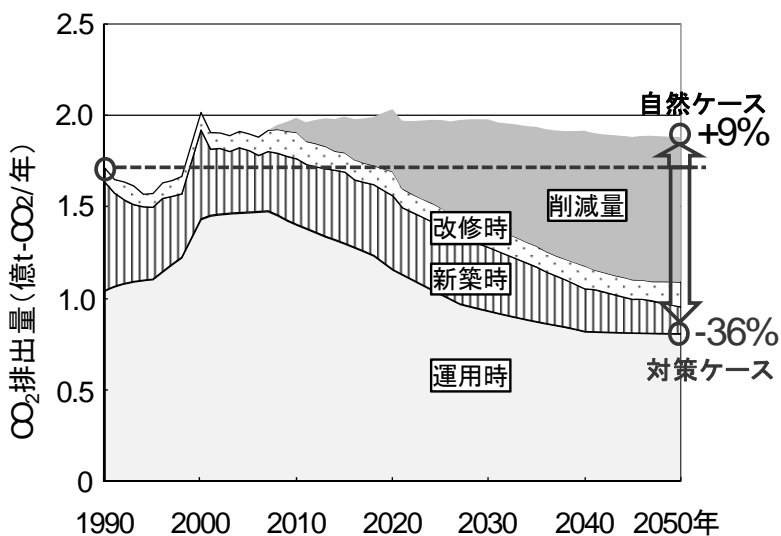


図7 全国の事務所ビルからのCO<sub>2</sub>排出量(表1に示すM1シナリオ)

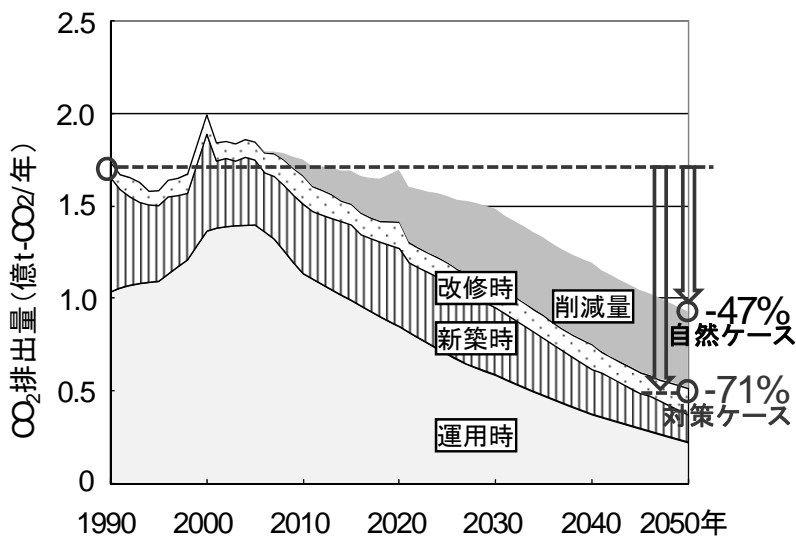


図8 全国の事務所ビルからのCO<sub>2</sub>排出量(表1に示すM2シナリオ)

M1シナリオの予測結果を図7と表4に示す。2050年におけるCO<sub>2</sub>排出量は1990年に比べて、自然体ケースでは9%増加し、対策ケースでは36%削減できる。また、M2シナリオでは、図8と表4に示すように、自然体ケースでは47%削減され、対策ケースでは71%削減できることが示された。

### (2) 建物用途別のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル

各用途建物のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを定量化するために、CO<sub>2</sub>排出削減量の内訳を図9に示す。削減ポテンシャルが大きい建物用途は、商業施設(2050年時の総削減量の33%)、宿泊施設(同18%)、

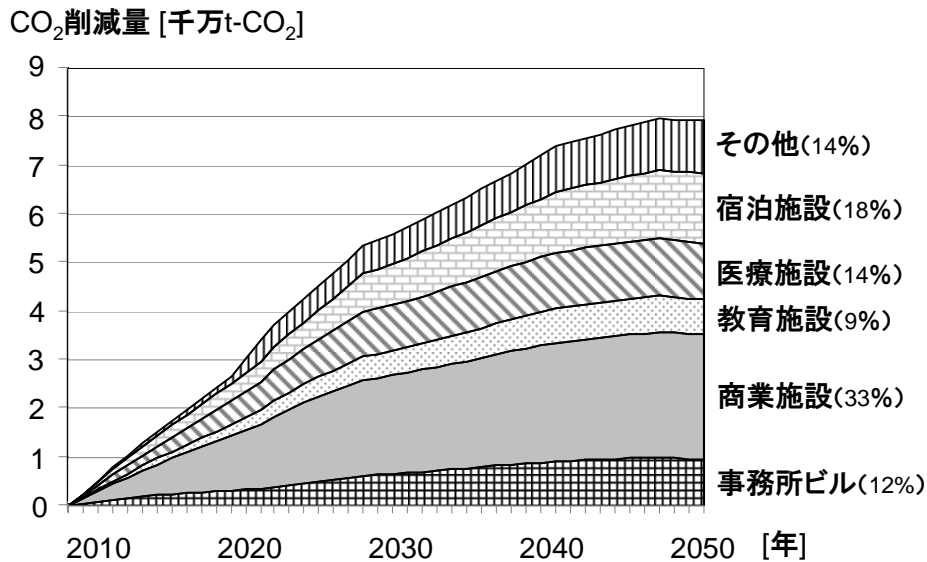


図9 各低炭素技術によるCO<sub>2</sub>削減量の推移

医療施設(同14%)である。特に商業施設における削減ポテンシャルが大きく、今後は商業施設における温暖化対策が重要となる。

### (3) まとめ

- 1) 業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量の超長期予測モデルを開発し、業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量を2050年まで詳細に予測した。
- 2) 各用途建物のCO<sub>2</sub>削減効果を示し、削減目標の達成に向けた対策の方向性を明確化した。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

全用途を対象とした業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量の超長期予測モデルを開発した。これにより、住宅を対象とした既往の成果と併せ、住宅および業務用建築物における温室効果ガス削減目標の達成に向けた地球環境政策の判断材料を提供できるようになった。

### (2) 地球環境政策への貢献

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>排出削減目標策に参与するとともに、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。



## 6. 引用文献

- (1) 脱温暖化2050プロジェクト：日本の将来推計人口・世帯数DB、2005.12
- (2) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課：建築統計年報 昭和29年度版～平成17年度版、1954～2005
- (3) 野城智也ら：東京都中央区における事務所建築の寿命実態、日本建築学会計画系論文報告集第413号、1990.7
- (4) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：グリーン庁舎基準及び同解説、2006.1
- (5) (社)日本建築学会：建物のLCA指針、2006.11
- (6) 東京電力・中部電力・関西電力・日建設計：ビル空調熱源経済性評価プログラム (FACES)、2003
- (7) (財)建築環境・省エネルギー機構：建築物の省エネルギー基準と計算の手引、2006.2
- (8) 総合資源エネルギー調査会：今後のエネルギー政策について、(2001)
- (9) 石原優ら：家庭用エネルギー供給機器の温暖化対策費用効果分析、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、pp.297-300、(2004)
- (10) 電気事業連合会：電気事業における環境行動計画2006、2006.9
- (11) (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ロードマップ報告書、2006.3

## 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)>

- 1) 伊香賀俊治：「住宅および事務所ビルにおける温暖化対策の2050年までの予測」, 地球環境, 12(2), 191-199, 2007

<その他誌上発表(査読なし)>

- 2) 伊香賀俊治：「建築における省エネルギーと温暖化対策」, エネルギー・資源, 28(6), 14-18, 2007

### (2) 口頭発表(学会)

- 1) T. Ikaga, "Backcasting of Household CO<sub>2</sub> Emissions toward 2050 in Japan", Proceedings of International Conference on Sustainable Building Asia, SB07 Seoul, 2007
- 2) 新谷圭右、伊香賀俊治、村上周三、花木啓祐、津田公平：「建築・都市のサステナビリティに関する研究(その1)事務所ビル起因CO<sub>2</sub>排出量の超長期予測モデルの開発」, 2007年度日本建築学会大会, 2007
- 3) 川久保俊、新谷圭右、伊香賀俊治、村上周三、花木啓祐、津田公平：「建築・都市のサステナビリティに関する研究(その2)事務所ビル起因CO<sub>2</sub>排出量の都道府県別予測」, 2007年度日本建築学会大会, 2007
- 4) 新谷圭右、村上周三、伊香賀俊治、津田公平：「業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量の2050年までの予測」,

第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，2008

- 5) 新谷圭右、伊香賀俊治、村上周三、津田公平：「業務用建築起因CO<sub>2</sub>排出量の超長期予測モデルの開発」，日本建築学会関東支部発表会，2008

(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