

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

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。

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。H18年度は、事務所ビル起因CO₂排出量を2050年まで都道府県別に予測し、事務所ビル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] 住宅、業務用建築、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CO₂排出量は2005年度時で1990年度に比べて40%増加している²⁾。また業務用建築の棟数の約半数を事務所ビルが占めていることから、事務所ビル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、事務所ビル起因CO₂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. 研究方法

(1) 事務所ビル起因CO₂排出量の都道府県別予測モデルの概要（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。

- a) 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
- b) 床面積当りCO₂排出量評価モデル：低炭素技術の導入による床面積当りのCO₂排出量の削減効果を評価
- c) 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

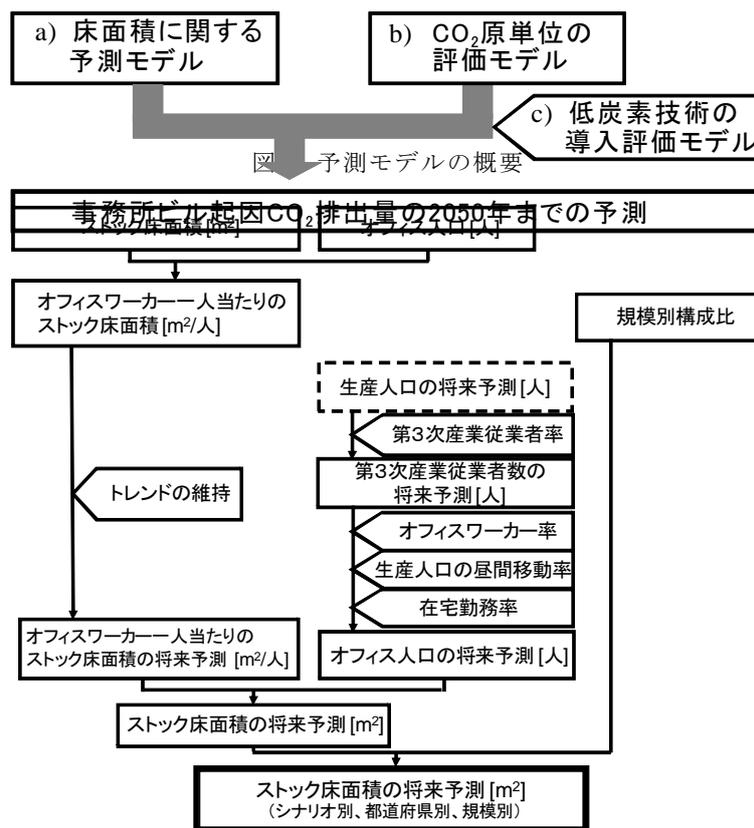


図2 事務所ビルのストック床面積の予測フロー

(2) 床面積に関する予測モデル (図1-a)

1) ストック床面積の2050年までの予測 (図3)

事務所ビルのストック床面積の公的な予測データは存在しない。そこで、将来推計人口データに基づき、事務所ビルのストック床面積を算出する。事務所ビルのストック床面積の予測フローを図2に示す。各パラメータを、2050年の社会像別（都市集中型社会：シナリオA、地方分散型社会：シナリオB）にそれぞれ適宜推計した（表1）。試算した結果を図3に示す。

表1 オフィス人口に関する各パラメータの根拠

生産人口 (15~64歳の人口)	環境省「脱温暖化2050プロジェクト」における将来推計人口データ(シナリオA・B共通)
第3次産業従業者率 (生産人口のうち、第3次産業従業者の占める割合)	GDP成長率と同じ比率で増加していくと仮定(シナリオA:2%/年,シナリオB:1%/年)
オフィスワーカー率 (第3次産業従業者数のうち、オフィス人口の占める割合)	2005年時点での値を固定(シナリオA・B共通)
生産人口の昼間移動率 (人口を昼間人口に変換する係数)	2005年時点での値を固定(シナリオA・B共通)
在宅勤務率 (オフィス人口のうち、在宅勤務者数の占める割合)	シナリオA:2020年に約10%で安定 シナリオB:2050年に約30%に達成すると仮定
オフィスワーカー一人当たりのストック床面積	現状の微増傾向が2020年まで続き、24.9m ² /人で安定すると仮定
規模別構成比 (床面積ベース)	小規模クラス(～1999m ²) : 51.1%, 中規模クラス(2000～9999m ²) : 26.4%, 大規模クラス(10000m ² ～) : 22.5%

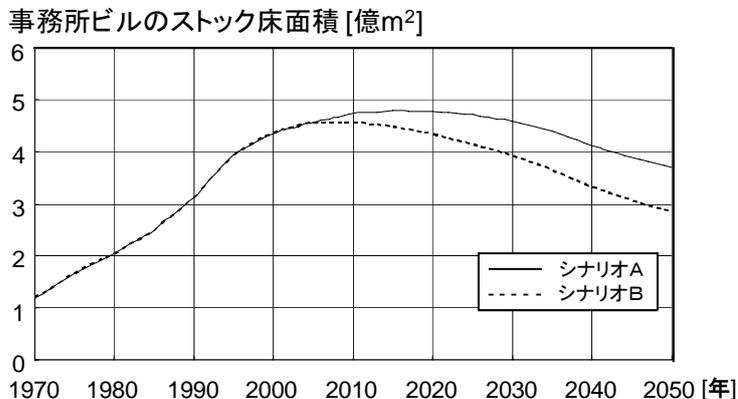


図3 事務所ビルのストック床面積の試算結果(全国)

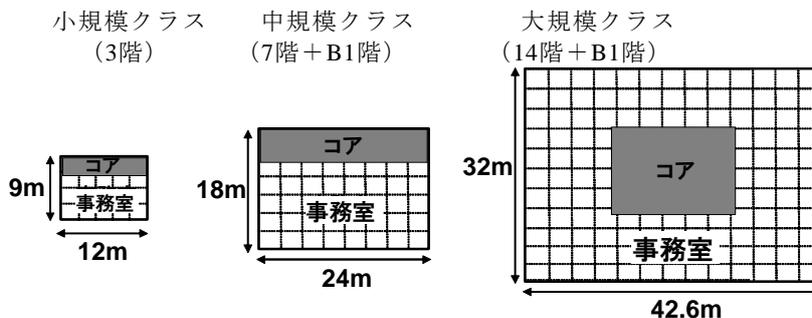


図4 標準モデルビルの基準階の平面図

2) 新築・改修床面積の2050年までの予測

2005年度までの新築床面積については、建築着工統計³⁾に基づき推計した。それ以降は、毎年
の新築床面積が事務所ビルの残存率関数⁴⁾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、毎年改修床面積を予測した。

(3) CO₂原単位の評価モデル(図1-b)

事務所ビルのCO₂原単位は、事務所ビルの規模や所在地の気候、ライフステージによって異なる。
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CO₂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。

1) 事務所ビルの標準モデルの設定

本研究で設定した事務所ビルの標準モデルの概要を図4に示す。規模別に3種類設定し、それぞ
れ2000m²未満、2000~9999m²、10000m²以上のビルの代表的規模とした。

2) 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」⁵⁾に基づき、CO₂削減効果が大きい低炭素技術を選定
した(表2)。

3) CO₂排出量の評価方法

新築・改修時のCO₂排出量の評価には、建築物のLCA計算ツール⁶⁾を用いた。運用時のCO₂排出
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FACES⁷⁾を、空調以外に関して
CEC計算基準⁸⁾を用いた。

表2 評価対象とする低炭素技術

		規模	標準	新築対策	改修対策
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 ²	4500N/m ²	
	十分な耐久性		建築基準法に定められた基準	同50%増	
外皮性能	外壁の高断熱窓・ブラインド	全	PAL : 300~320MJ/年・m ²	PAL : 225~240MJ/年・m ²	←
	熱源方式	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	水蓄熱の導入に伴い、 高効率HPへのリプレイス	(~2020年)平均COP : 1.2 (2021年~)平均COP : 1.6	
氷蓄熱 全熱交換機	大 全	無 無	有 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	←

4) CO₂原単位の算出

規模別、気候区分別、ライフステージ別、低炭素技術別に、CO₂原単位を算出した。一例として、東京都における運用段階のCO₂原単位を図5に示す。新築および改修時に対策を行った場合、標準的な事務所ビルと比べCO₂原単位が約30%削減されている。

(4) 低炭素技術の導入評価モデル (図1-c)

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選好関数で表されることが知られている⁹⁾。また、投資回収年数に影響を与える初期単位コストは、累積生産量が増加するほど低下し、その関係は学習曲線として表される¹⁰⁾。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・改修時に予測した。例として、大規模ビルの新築時における各低炭素技術の導入率を図4に示す。

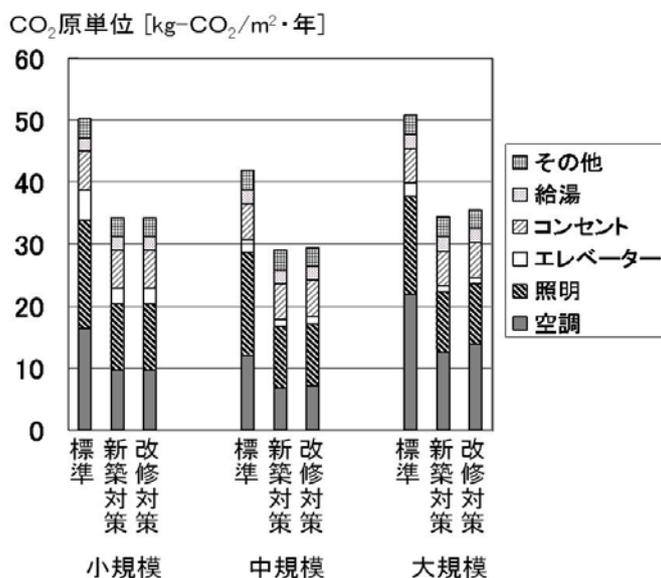


図5 東京都における運用段階のCO₂原単位

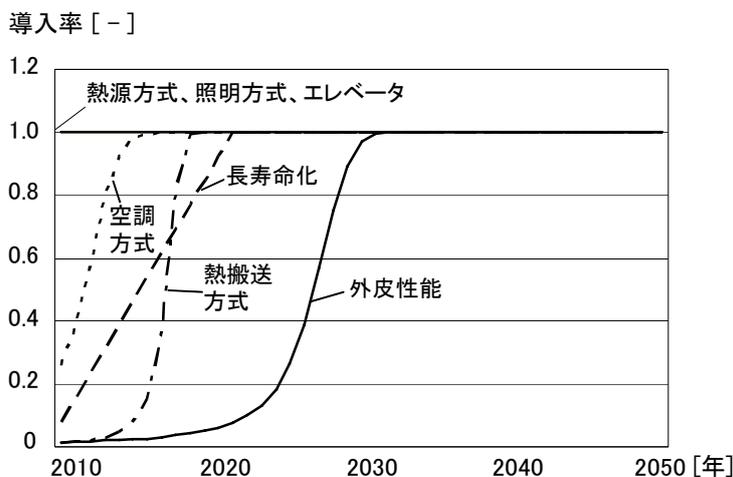


図6 各低炭素技術の導入率の推移 (大規模ビル、新築時の場合)

(5) 予測条件

1) ストック床面積

ストック床面積は、前報で算出した将来の社会像別（A：都市集中型、B：地方分散型）シナリオ、及び両者の中間シナリオ、以上3ケースを想定する。

2) 電力CO₂原単位

電力CO₂原単位に関しては、2005年以前は実績値¹⁾を用いる。2005年以降は、2005年度の実績値（0.425kg-CO₂/kWh）を固定したシナリオと、超長期エネルギー技術ロードマップ²⁾における予

表3 検討シナリオと事務所ビルの運用・新築・改修時のCO₂排出量削減率

No.	未来社会シナリオ	検討シナリオ				CO ₂ 排出量削減率(1990年=100%)				
		電力部門シナリオとCO ₂ 原単位(kg-CO ₂ /kWh)				自然体ケース		建築対策ケース		
			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	-12%	-34%	-12%	-46%
A2		2	超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-26%	-63%	-26%	-64%
B1	Bシナリオ	1	2005年以降固定	0.421	0.390	0.390	-23%	-50%	-23%	-69%
B2		2	超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-36%	-72%	-35%	-81%
M1	Mシナリオ	1	2005年以降固定	0.421	0.390	0.390	-18%	-42%	-18%	-52%
M2		2	超長期ビジョン	0.421	0.315	0.120	-31%	-68%	-31%	-78%

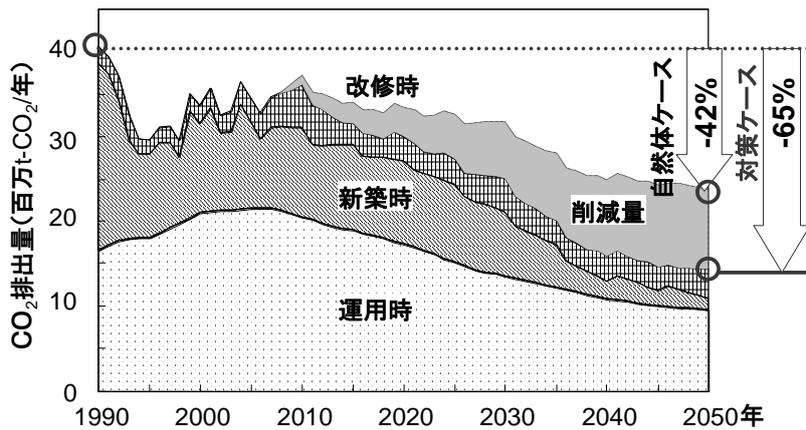


図7 全国の事務所ビルからのCO₂排出量（表1に示すM1シナリオ）

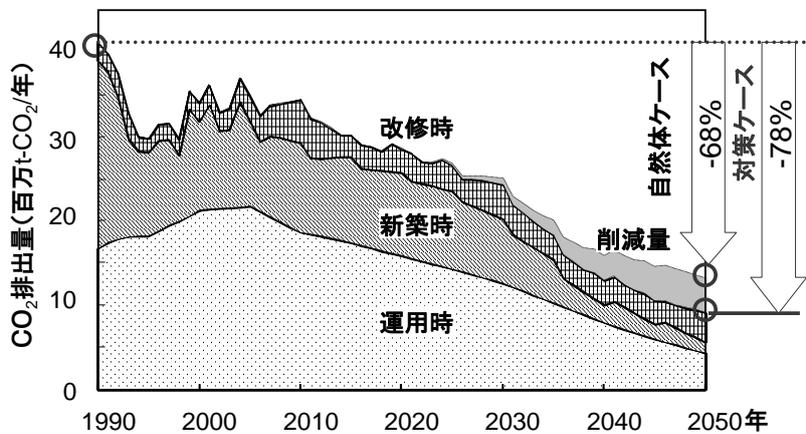


図8 全国の事務所ビルからのCO₂排出量（表1に示すM2シナリオ）

測値(2030年:0.27 kg-CO₂/kWh、2050年:0.12 kg-CO₂/kWh)を採用したシナリオの2ケースを想定する。

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CO₂排出量の予測結果(全国)

表3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CO₂原単位が2005年以降変化しないシナリオ1と経済産業省の超長期エネルギービジョンに基づくシナリオ2を想定した。

M1シナリオの予測結果を図7と表3に示す。2050年におけるCO₂排出量は1990年に比べて、自然体ケースでは42%削減され、対策ケースでは52%削減できる。また、M2シナリオでは、図8と表3に示すように、自然体ケースでは68%削減され、対策ケースでは78%削減できることがわかった。

(2) 事務所ビル運用時のCO₂排出量の予測(都道府県別)

2050年の事務所ビル運用時のCO₂排出量を、都道府県別・社会像別に予測した結果を図9に示す(電力CO₂原単位:ロードマップの予測値、対策ケース)。全国的にAシナリオよりもBシナリオの方がCO₂排出量は小さく、その傾向は東京都を代表とする都市部で顕著に表れている。都市部における事務所ビル運用時CO₂排出量は、社会像の違いの影響を強く受けることが示唆された。

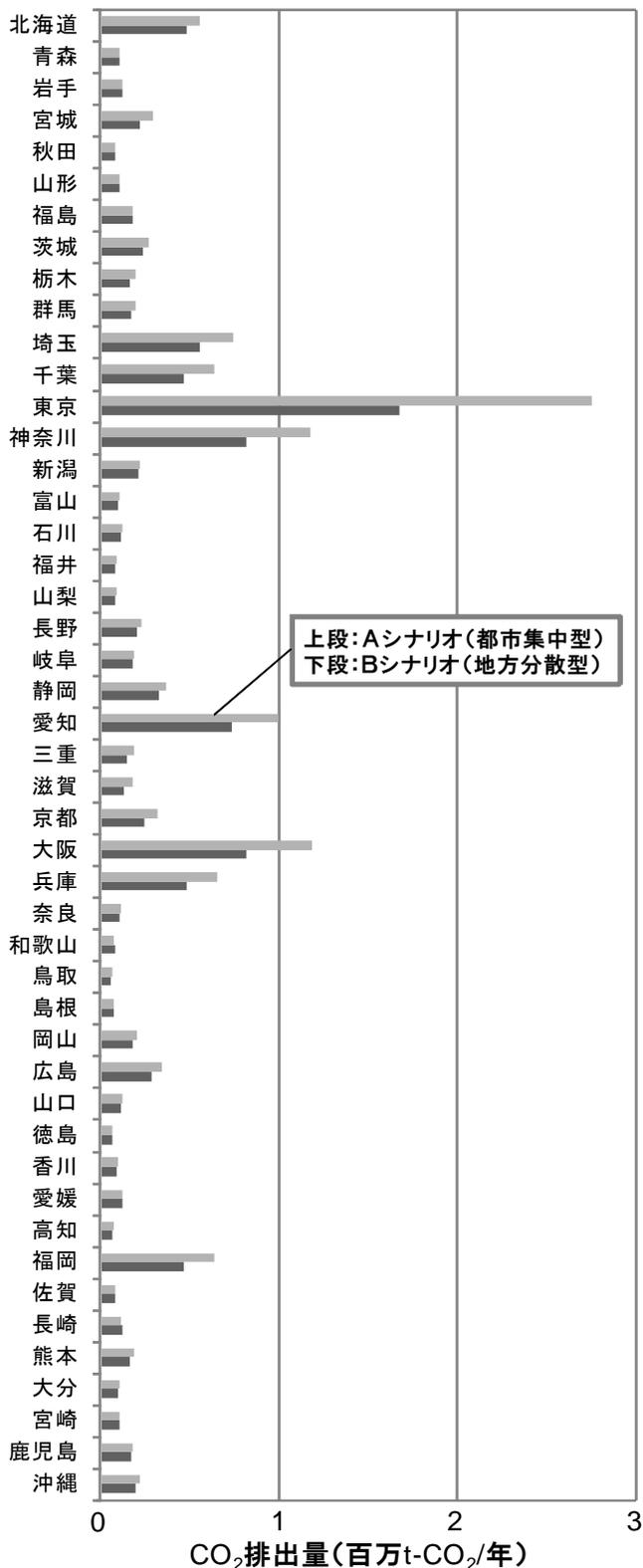


図9 事務所ビル運用時CO₂排出量の都道府県別予測

(3) 低炭素技術毎のCO₂削減効果

各低炭素技術によるCO₂削減量の内訳を図10に示す。削減効果が大きい対策は、長寿命化(2050年時の総削減量の40%)、照明方式(同28%)、熱源方式(同17%)、である。特に長寿命化による削減効果が大きい、対策開始から効果が表れるまでに約20年を要するため、削減目標達成に向けて早急に取り組む必要がある。

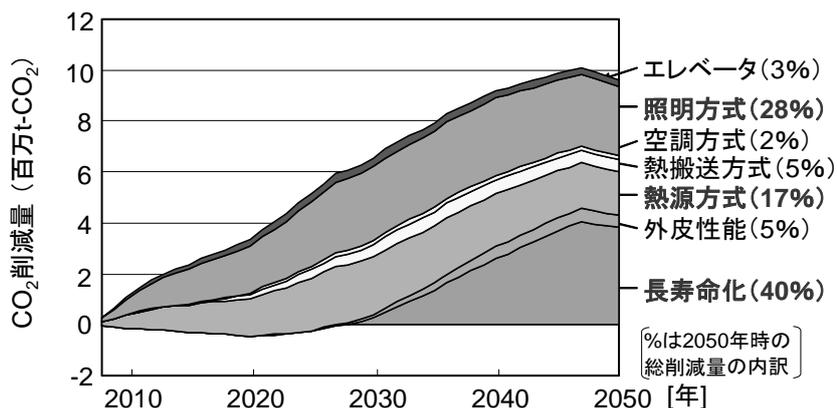


図10 各低炭素技術によるCO₂削減量の推移

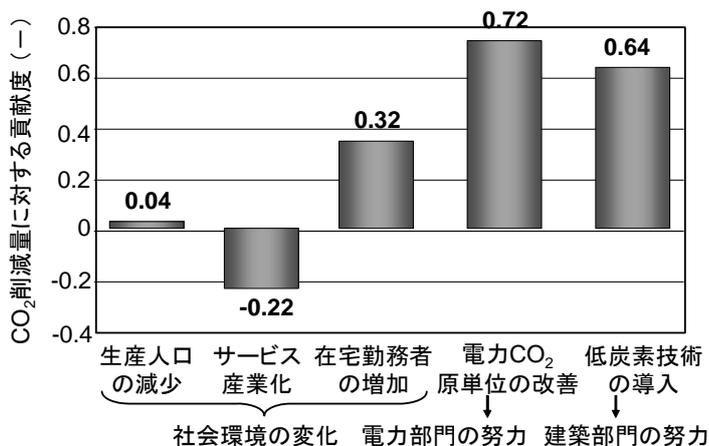


図11 各パラメータ変動のCO₂削減量への貢献度

(4) 社会環境変化および低炭素技術のCO₂削減への貢献度

社会環境変化および低炭素技術のCO₂削減への貢献度を図11に示す。在宅勤務者の増加やサービス産業化の影響が比較的大きいため、これら社会環境変化の不確実性を踏まえ、精度良く予測することが重要である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

事務所ビルのストック/新築/改修床面積を都道府県別に2050年まで詳細に予測し、各低炭素

技術の経済合理的な導入によるCO₂排出量の削減効果を推計する手法を確立したこと。

(2) 地球環境政策への貢献

事務所ビル起因CO₂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地球環境政策の判断材料を提供できるようになった。

6. 引用文献

- 1) 気候変動に関する国際戦略専門委員：「気候変動問題に関する今後の国際的な対応について第2期中間報告」，2005
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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，413，1990
- 5) 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
- 6) (社)日本建築学会：「建物のLCA指針」，2006
- 7) 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
- 8) (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
- 9) 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
- 10) 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，297-300，2004
- 11) 電気事業連合会：「電気事業における環境行動計画2006」，2006
- 12) (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

7. 国際共同研究等の状況

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）>

なし

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表>

なし

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 新谷圭右、村上周三、伊香賀俊治、津田公平：事務所ビル起因のCO₂排出量の長期予測モデルの開発，日本LCA学会研究発表会講演要旨集、2007.3

(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

(6) その他

なし