

特別研究・53

カーボン・ニュートラル建築を 目指した建材のあり方

2013年3月

一般社団法人 日本建築学会
カーボン・ニュートラル建材特別研究委員会

目次

第1章	研究の目的・体制・活動概要	1
1.1	研究の目的	2
1.2	研究の体制	2
1.3	委員会活動の概要	4
第2章	建築生産活動におけるカーボンニュートラル性の評価	7
2.1	住宅・建築物の LCCO ₂ 評価手法	8
2.2	部材の LCCO ₂ 評価	10
2.3	評価事例紹介	20
第3章	運用時におけるカーボンニュートラル性の評価	37
3.1	住宅・建築物の評価方法	38
3.2	建築物・都市への影響評価方法	40
3.3	部材の評価方法	54
3.4	評価事例の紹介	88
第4章	カーボンニュートラル化に資する個別技術	99
4.1	カーボンニュートラル化に資する建築生産時の個別技術	100
4.2	カーボンニュートラル化に資する建築運用時の個別技術	113
4.3	カーボンニュートラル化に資するその他の技術	153
第5章	住宅の事例紹介	163
5.1	住宅・建築物の産業連関表データベースによる LCCO ₂ 評価事例紹介	164
5.2	CASBEE による LCCO ₂ 評価事例	168
第6章	今後の課題	171

第 1 章

研究の目的・体制・活動概要

1.1 研究の目的

カーボン・ニュートラルおよびゼロ・エネルギー（またはマイナス・エネルギー）を目標とする建築、および社会基盤施設も含む都市を実現するためには、自然エネルギーの利用や省エネルギー設備機器の利用は当然必要となるが、それらに頼るだけでなく、建築材料の熱特性を有効に利活用することは、それらの実現可能性を格段に高めるものと考えられる。したがって、本特別研究委員会では、建築材料の断熱、遮熱、蓄熱といった熱特性を最大限有効に利用して建築部材（壁・屋根）を構成することで、カーボン・ニュートラルまたはゼロ・エネルギーとなる建築物の実現に資するべく、その実現に貢献できる具体的な建築材料およびそれをを用いた技術を示すことを目的とした。併せて、建築材料の耐久性およびその生産時・施工時の低炭素化の観点をも盛り込み、ライフサイクル全体でのカーボン・ニュートラル化およびマイナス・エネルギー化の容易性に対しても評価し、上記目的の実現方法を多角的に提示することとした。すなわち、立地環境の気象条件（寒冷・温暖）、季節（夏・冬）、方位（東・西・南・北）を要因として、年間を通じての冷暖房負荷エネルギーが最も小さくなる具体の建築材料および技術を、各種建築材料の熱特性を考慮して、建築物の構造形式・用途（鉄筋コンクリート造集合住宅、鉄骨造事務所、戸建て木造など）ごと、建築物の部位（屋根、外壁、舗装）ごとに提示することとした。

以下に、本特別研究委員会で取り扱った建築材料および技術に関して、特徴的な内容・項目を列挙する。

- 実務者向けに、様々な建築材料の使い方に対する提案を行う。
- カーボン・ニュートラル化に資する建築材料の用い方の体系化を目指すものではなく、個別技術に関して、一般的な仕様との相対比較を行ってその優位性を示し、カーボン・ニュートラル建築に資する例示仕様を示す。
- ライフサイクル全体を考慮してのカーボン・ニュートラル性を評価することが重要であり、建築材料生産時のエネルギー使用量・二酸化炭素排出量、輸送時のエネルギー消費量、解体時・廃棄時のエネルギー消費量および二酸化炭素吸収なども含めて考える。
- 関連する ISO 規格（ISO 16745-1 など）についても紹介する。
- 外的与条件として、温度、湿度、風、日射が変化するので、それらの影響を考慮する。
- 建材中の水分（移動）も考慮する。
- 相変化材料についても検討する。
- 植物の葉は近赤外線を反射し、日陰を作るので、ヒートアイランド現象の緩和に効果があるため、屋上緑化・壁面緑化も建築材料に含めて考える。
- ヒートアイランド現象の緩和に関係する舗装材料については、高反射性について検討するとともに、保水または透水のどちらの効果があるのかについて、街全体での評価につなげることができるよう検討する。

1.2 研究の体制

委員会の発足当初は、建築物の部位毎（屋根・外壁、内壁・床・天井、基礎・地下壁、外構・舗装）に WG を設置して、部位毎に用いられている建築材料でのうち、建築物のカーボン・ニュートラル化に資するものについて、技術の現状を取り纏める予定であったが、幹事会および委員会で議論を展開していくにつれて、住宅 WG、建築 WG、都市 WG という 3 つの WG を設置して検討を進めることとなった。表 1.1～表 1.4 に、それぞれ委員会、住宅 WG、建築 WG、都市 WG の構成メンバーを示す。

表 1.1 委員会メンバー

	氏名	所属
委員長	榊田佳寛	宇都宮大学・大学院工学研究科
幹事	足永靖信	国土交通省・国土技術政策総合研究所
	永田明寛	首都大学・東京都市環境学部
	野口貴文	東京大学・大学院工学系研究科
	本橋健司	芝浦工業大学・工学部
委員	赤川宏幸	(株)大林組・技術研究所
	一瀬賢一	(株)大林組・技術研究所
	一ノ瀬雅之	首都大学東京・都市環境学部
	菊池卓郎	(株)竹中工務店・技術研究所
	岸本嘉彦	室蘭工業大学・大学院工学研究科
	北垣亮馬	東京大学・大学院工学系研究科
	木下泰斗	日本板硝子(株)・機能硝子部
	権藤尚	鹿島建設(株)・技術研究所
	齊藤孝一郎	YKKAP(株)・開発本部
	佐々木澄	清水建設(株)・技術研究所
	佐藤大樹	大成建設(株)・技術センター
	鈴木大隆	(独)北海道立総合研究機構・北方建築総合研究所
	田中康夫	住友林業(株)住宅事業本部
	築山祐子	旭化成ホームズ(株)住宅総合技術研究所
	辻大二郎	(株)竹中工務店・技術研究所
	永井香織	日本大学・生産工学部
	中島史郎	(独)建築研究所・材料研究グループ
	名知博司	清水建設(株)・技術研究所
	橋爪慶介	大成建設(株)・建築本部
	梅干野晃	放送大学・教養学部
丸山一平	名古屋大学・大学院環境学研究科	
柳田克巳	鹿島建設(株)・技術研究所	

表 1.2 住宅WGメンバー

	氏名	所属
主査	永田明寛	首都大学・東京都市環境学部
幹事	岸本嘉彦	室蘭工業大学・大学院工学研究科
委員	太田勇	(株)ミサワホーム・技術・環境統括部
	木下泰斗	日本板硝子(株)・機能硝子部
	齊藤孝一郎	YKKAP(株)・開発本部
	鈴木大隆	(独)北海道立総合研究機構・北方建築総合研究所
	田中康夫	住友林業(株)住宅事業本部
	築山祐子	旭化成ホームズ(株)住宅総合技術研究所
	永井香織	日本大学・生産工学部
	中島史郎	(独)建築研究所・材料研究グループ
	萩原伸治	(一財)建材試験センター・中央試験所
	榊田佳寛	宇都宮大学・大学院工学研究科

表 1.3 建築 WG メンバー

	氏名	所属
主査	野口貴文	東京大学・大学院工学系研究科
幹事	一ノ瀬雅之	首都大学東京・都市環境学部
委員	赤川宏幸	(株) 大林組・技術研究所
	一瀬賢一	(株) 大林組・技術研究所
	菊池卓郎	(株) 竹中工務店・技術研究所
	岸本嘉彦	室蘭工業大学・大学院工学研究科
	北垣亮馬	東京大学・大学院工学系研究科
	権藤尚	鹿島建設 (株)・技術研究所
	佐藤大樹	大成建設 (株)・技術センター
	辻大二郎	(株) 竹中工務店・技術研究所
	名知博司	清水建設 (株)・技術研究所
	橋爪慶介	大成建設 (株)・建築本部
	丸山一平	名古屋大学・大学院環境学研究科
	三浦靖弘	清水建設 (株)・技術研究所
	柳田克巳	鹿島建設 (株)・技術研究所

表 1.4 都市 WG メンバー

	氏名	所属
主査	足永靖信	国土交通省・国土技術政策総合研究所
幹事	本橋健司	芝浦工業大学・工学部
委員	赤川宏幸	(株) 大林組・技術研究所
	一瀬賢一	(株) 大林組・技術研究所
	菊池卓郎	(株) 竹中工務店・技術研究所
	権藤尚	鹿島建設 (株)・技術研究所
	佐藤大樹	大成建設 (株)・技術センター
	辻大二郎	(株) 竹中工務店・技術研究所
	名知博司	清水建設 (株)・術研究所
	榊田佳寛	宇都宮大学・大学院工学研究科
	三浦靖弘	清水建設 (株)・技術研究所
	柳田克巳	鹿島建設 (株)・技術研究所

1.3 委員会活動の概要

委員会の設置期間は、2011年4月から2013年3月までの2年間であった。

本委員会は、下記の日程で通算5回開催した。第1回目の会議では、特別研究委員会の目的と活動内容の紹介を行い、その後の3回（第2回～第4回）では、委員自身または所属組織の関連する研究開発内容を紹介し合い、特別研究委員会の活動の方向性、設置すべきWGとその活動内容を確定した。その後は、WGに活動の主体を預け、定期的に幹事会を開催して、活動の進捗状況を報告し合い、WG間の活動内容の重複や不足を解消して軌道修正に努めた。最後の第5回目の本委員会は、各WGの活動成果である報告書の執筆状況を確認し、報告書の原稿の提出締切日を定めた。各WGの会議開催回数は、概ね10回程度であった。

- 第1回 2011年7月7日
- 第2回 2011年8月22日
- 第3回 2011年9月20日
- 第4回 2011年11月30日
- 第5回 2013年3月19日

幹事会は、委員長および各 WG に加えて、主立ったメンバーで構成し、下記の日程で通算 8 回開催した。

- 第1回 2011年4月20日
- 第2回 2011年5月23日
- 第3回 2011年6月17日
- 第4回 2011年11月25日
- 第5回 2012年3月28日
- 第6回 2012年7月27日
- 第7回 2012年9月24日
- 第8回 2012年12月18日

活動当初は、建築物の運用時のカーボン・ニュートラル化（主に、省エネルギー化）に資する建築材料のみを対象に技術の現状を纏める予定であったが、委員会および幹事会での議論を受けて、建築材料の生産時および建築物の施工時のカーボン・ニュートラル化も含めることとし、建築材料の耐久性を高めたり、建築物の耐用年数を長くしたりする技術にも配慮することとした。

各 WG の活動範囲・内容を以下に示す。

a. 住宅 WG

名称は「住宅 WG」であるが、戸建て住宅について、部位別（開口部を含む）に、用いられている各種建築材料の生産時から住宅の運用時までの総合的なカーボン・ニュートラル性の評価を行うとともに、各建築材料のカーボン・ニュートラル性の評価手法の現状について取り纏める。

b. 建築 WG

戸建て住宅以外のオフィスビル（特に、鉄筋コンクリート造建築物）について、室内の冷暖房負荷の低減に資する建築材料（住宅 WG で取り扱う建築材料を除く）を対象として、遮熱性、保水性などに優れる個別技術に関する情報収集を行い技術の現状を取り纏めるとともに、コンクリートの生産・施工時を対象として、二酸化炭素排出量の少ない個別技術の情報収集を行い技術の現状を取り纏める。

c. 都市 WG

ヒートアイランド現象の抑制に資する、建築物に用いる建築材料だけではなく、土木構造物でも用いる建設材料（舗装材料など）を対象として、遮熱性、保水性などに優れる個別技術や緑化技術に関する情報収集を行い、技術の現状を取り纏める。建設材料の遮熱性・保水性については、建築 WG では室内への影響を取り扱うが、都市 WG では室外の都市空間への影響を取り扱う。

第2章

建築生産活動における カーボンニュートラル性の評価

2.1 住宅・建築物の LCCO₂ 評価手法

住宅・建築物から排出される CO₂ は、新築時・運用時（修繕・改修）・廃棄時の各段階で評価される。この新築時から廃棄時までの CO₂ 排出量を、ライフサイクル CO₂ (LCCO₂, 生涯二酸化炭素排出量) と呼ぶ。耐久性の低い住宅では 20~30 年で建て替えることも多く、その場合には建て替え時に係る CO₂ 排出量も計上する。一般的に戸建て住宅の LCCO₂ は、運用時のエネルギーが最も大きく、全体の約 70~80% を占めると言われている。

住宅の LCCO₂ の算出にあたっては、建築材料の生産や輸送エネルギーをどこまで計上するか、エネルギーの原単位をいくつにするか、部材をどこまで細かく拾うか、などその方法は非常に煩雑で一定のルールが存在していない。しかし、低炭素社会の実現に向けてゼロエネルギー住宅やライフサイクルカーボンマイナス住宅 (LCCM 住宅) の普及を目指すにあたっては、住宅の LCCO₂ 算出の必要性は高い。そこで、本報告書では現在住宅の LCCO₂ 計算ツールとしてよく使用されているふたつのツールを取り上げる。

(1) 建築物の LCA ツール (戸建て住宅版)¹⁾

ライフサイクルでの環境負荷を定量的に評価するという LCA (ライフサイクルアセスメント) は 1997 年に国際規格になっている。これに対して日本建築学会では 1997 年度から LCA 指針策定小委員会による検討が進められ、1999 年に「建物の LCA 指針 (案)」とその計算ツールが出版された。その後、2003 年、2006 年と改訂版が出版され、最新版は 2013 年の 2 月に出版された。

このツールでは、専用の Excel ファイルに必要な項目を入力することで建築物のライフサイクルで排出される各種のエネルギーや環境負荷量を算出することができる。図 2.1.1 に LCA ツール (戸建て住宅版) の表紙とインベントリ分析結果の例を示す。Excel ファイルには複数の入力用シートと結果表示シート、及び各種データシートが用意されており、入力シートに建物の構造種別や面積、建替え周期などの基本情報から、建設に必要な資材の物量、運用時の空調、照明といった各種設備のエネルギー消費量等を比較の元となる基準案、評価対象となる対策案のそれぞれについて入力することで、基準案と対策案の各種ライフサイクルエネルギーや環境負荷削減量が算出される。

LCA ツールでは、データベースとして産業連関表を使用している。産業連関表とは、国民経済にお

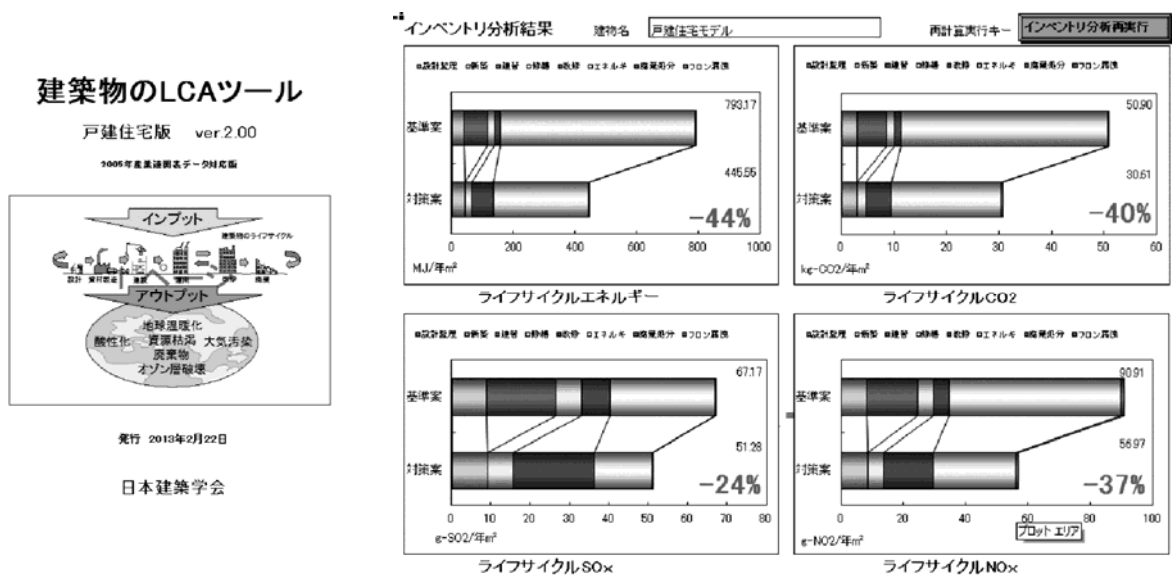


図 2.1.1 LCA ツール(戸建て住宅版)の表紙とインベントリ分析結果の例

いて一定期間に行われた財貨・サービスの産業間の取引金額を一覧表にしたもので、国の 10 府省庁の共同事業として 5 年ごとに作成されている。この金額表示の投入産出連関関係を通じた間接的な環境負荷発生を含めた総負荷発生量を「誘発発生量」と呼び、さまざまな環境負荷の誘発量を一生産あたり原単位として推計することにより LCA データベースとして応用している。最新版の LCA ツールでは、2005 年版の産業連関表を用いている。

(2) CASBEE²⁾

「CASBEE」(建築環境総合性能評価システム, Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) とは、建築物の環境性能や品質を総合的に評価、格付けをするシステムである。CASBEE の研究開発は、2001 年に政府支援のもとに産官学共同プロジェクトとして立ち上げられ、一般社団法人日本サステナブル建築協会内に設置された建築物の総合環境評価研究委員会および傘下の小委員会において継続的に開発とメンテナンスが行われている。CASBEE には、評価する対象のスケールに応じた各種の評価ツールがあり、これらを総称して「CASBEE ファミリー」と呼んでいる。戸建住宅版の CASBEE は 2007 年に「CASBEE-すまい [戸建]」が発表され、2010 年にはライフサイクル CO₂ 評価を 5 段階で格付けする機能を盛り込んだ改訂版「CASBEE 戸建-新築」が発表された。

CASBEE 戸建-新築では、戸建住宅自体の室内環境や耐久性といった環境品質 (Q : Quality) と、戸建住宅が外部に与える環境負荷 (L : Load) それぞれを評価し、「環境品質 (Q) / 環境負荷 (L)」によって戸建住宅の環境効率を求めて総合的な格付けを行う。図 2.1.2 に CASBEE 戸建-新築評価マニュアルの表紙と評価結果の例を示す。評価には専用の Excel ファイルによるソフトウェアが用意されており、マニュアルに従って各シートに必要項目を入力することによって、自動的に評価結果が計算される。環境効率は上からランク S, A, B+, B-, C の 5 段階で格付けされ、評価結果シートでは赤い星によって表示される。ライフサイクル CO₂ は、現状の一般的な住宅のライフサイクル CO₂ (参照値) を 100% とし、参照値に対する削減量によって 5 段階で格付けされ、緑の星によって表示される。LCCM とする削減量 100% 超で最高ランクの星 5 つとなる。

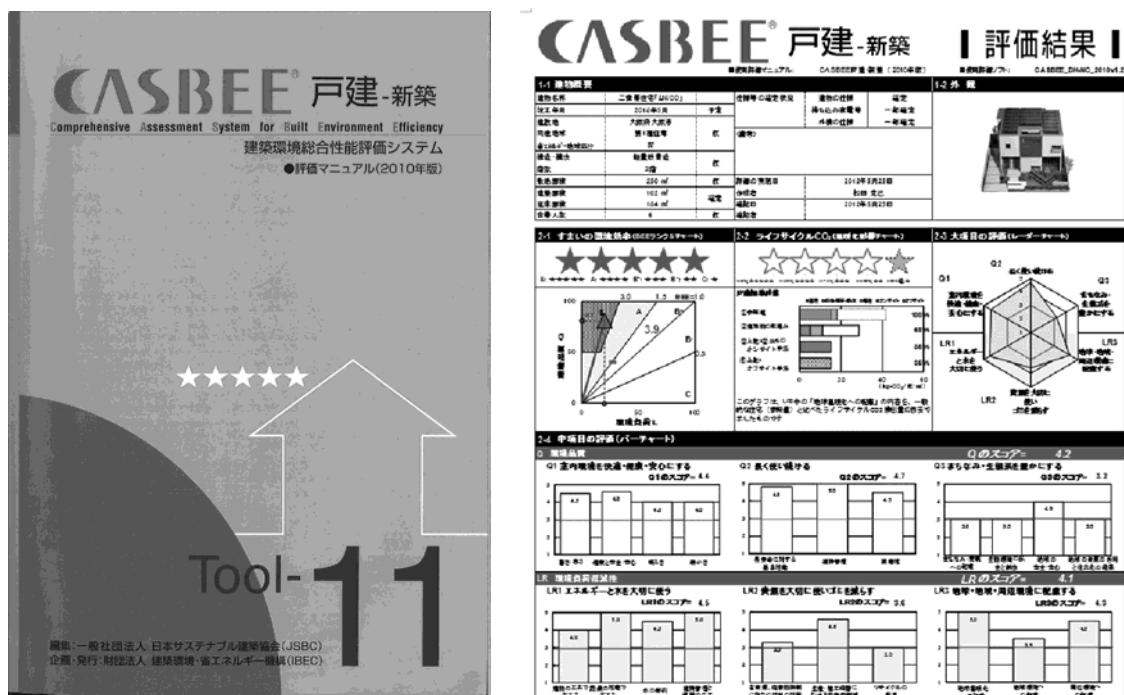


図 2.1.2 CASBEE 戸建-新築評価マニュアル表紙と評価結果の例

参考文献

- 1) (社) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール—改訂版，2013 年 2 月
- 2) (社) 日本サステナブル建築協会：CASBEE 戸建-新築 評価マニュアル（2010 年版），2010 年 7 月

2.2 部材の LCCO₂ 評価

ここでは、部材の LCCO₂ 評価の方法として、生産時の CO₂ 排出量に関する制度であるカーボンフットプリント制度に着目した。第 1 項では、カーボンフットプリント制度の概要について説明する。カーボンフットプリント制度は、平成 21 年度より経済産業省等主導により実施された 3 年間の試行事業¹⁾を終え、平成 24 年 4 月 2 日より社団法人産業環境管理協会による CFP プログラムの運用が開始されている。そこで第 2 項以降は、この試行事業の成果について述べる。第 2 項では、試行事業の概要について説明する。第 3 項では、試行事業における事業者が参加する申請の流れの概要を説明する。第 4 項では、CFP 算定のためのインフラ整備について説明する。第 5 項では CFP 制度の理解向上に向けた取り組みについて述べる。第 6 項では制度設計に関する検討と課題について説明する。

(1) カーボンフットプリント制度の概要

i) カーボンフットプリント制度とは

カーボンフットプリント (CFP : Carbon Footprint of Products) 制度とは、製品ライフサイクルにおいて排出された全ての温室効果ガス量を CO₂ 量に換算して表示する仕組みを指す (以降、ライフサイクルを通して排出される温室効果ガスを CO₂ に換算した相当量を単に「CO₂ 排出量」と表記する)。

CFP 制度の目的は、製品 (サービスを含む) の CO₂ 排出量を「見える化」することにより、事業者と消費者の間で CO₂ 排出量削減行動に関する「気づき」を共有し、「見える化」された情報を用いて、事業者がサプライチェーンを構成する企業間で協力して更なる CO₂ 排出量削減を推進すること、さらには、「見える化」された情報を用いて、消費者がより低炭素な消費生活へ自ら変革していくことを目指す。

特に事業者に対しては、自社の製品の製造工程、運搬や使用、廃棄までの各段階で排出される CO₂ 排出量の明確化により、最も排出量が多い工程を知ることができ、企業にとっても効率的な CO₂ 排出量の削減が可能となる。

ii) 算定方法

平成 21 年度から 3 年間、国が実施していた CFP 制度試行事業では、ライフサイクルを「原材料調達段階」、「生産段階」、「流通段階」、「使用・維持管理段階」、「廃棄・リサイクル段階」の 5 段階に分類している。

CFP の値を算定するためには、まず製品の原材料調達から廃棄・リサイクルまでの全工程を洗い出し、それぞれの工程を 5 段階に分類する。そして、製品カテゴリーごとに定める「商品種別算定基準 (PCR : Production Category Rule)」の中でルールを共通化する。次に、PCR に従い、算定したい製品の各工程における素材の試料量や電力消費量等のデータ (活動量) を集める。収集した活動量に、単位量あたりの CO₂ 排出量 (CO₂ 排出原単位) を掛け合わせることで、各工程の CO₂ 排出量を算定する。この各工程の CO₂ 排出量を合計したものが CFP となる。算定する単位は、その製品の販売単位が基本となる。

iii) CFP マーク

専門家により算定結果の検証を受け、合格となった製品のみが CFP マークを貼付することができる。

採用された CFP マークを図 2.2.1 に示す。国が試行事業を開始する前年、平成 20 年 7 月に公募を行い、全国から集まった 515 作品の中から、最優秀賞として選ばれたものを「カーボンフットプリント・統一マーク」として決定した。このマークははかりを意匠化したものである。

マークの仕様等には、「カーボンフットプリントマーク等の仕様」に定められ、公表されている。CFP マークは、対象製品の販売単位のライフサイクル排出量（＝CFP）を表示することが基本となるが、試行期間中の暫定措置として、「単位量あたり」、「機能あたり」、「削減率」（同一企業、同一 PCR、同一機能の製品の検証を受けた数値間の比較）、「数値なし」の表示が認められていた。



図 2.2.1 採用された CFP マーク

(2) CFP 試行事業の概要

i) 試行事業のはじまり

平成 20 年（2008 年）は京都議定書の第一約束期間の 1 年目にあたり、産業、運輸、民生等の各部門での更なる CO₂ 削減が求められた。そのような中、7 月に閣議決定された「低炭素社会づくりの行動計画」において、「2008 年度中に排出量の算定やその信頼生成の確保、表示の方法等に関するガイドラインを取りまとめ、来年度から試行的な導入実験を目指す。」と明記されたことで、経済産業省を中心として CFP 制度の構築に向けた取り組みがスタートした。

まず、平成 20 年度に CFP 制度構築に向けて 2 つの基本ルールとして、制度のあり方を定めた「カーボンフットプリント制度の在り方（指針）」と CFP 算定のためのルールを算定する基準である「商品別算定基準（PCR）策定基準」が取りまとめられた。

そして、平成 21 年度から平成 23 年度の 3 カ年計画として、企業の温暖化対策の取り組みの促進、低炭素型の産業構造への変革の実現と消費者自身の低炭素行動を促すことを目指し、実際に PCR を策定した後に CFP を算定し、そのマークを表示した製品を市場導入する実証事業として、「CFP 制度試行事業」を行うこととなった。

CO₂ 排出量の「見える化」によって、消費者が CO₂ 排出量を自覚し、企業の取り組みを評価する仕組みを整備するとともに、試行事業を通じ、浮き彫りになった CFP 算定・表示に関する課題を踏まえ、ルールの精緻化、ISO による国際標準化の議論に反映された。

ii) 試行事業の主なプログラム

試行事業では、PCR の策定から CFP 算定、検証までの各段階の他、制度理解向上に向けた説明会やウェブでの情報発信等、以下の表 2.2.1 に示す項目について事業が進められた。

表 2.2.1 試行事業の主なプログラム

プログラム	主な内容
◆CFP算定・表示試行事業 PCR認定 CFP検証	CFPを算定・表示した製品の市場導入実験 商品別策定基準(PCR)の原案作成→審査→認定 CFPの算定・表示案作成→審査→マーク使用許諾
◆インフラの整備 データベース整備 算定支援ツールの開発 人材育成	CFPの算定に必要なインフラ基盤の整備 共通原単位データベースの開発, 参考データの運営 CFP算定用支援ツールの開発 検証員など制度運営のために必要な専門家の育成
◆制度理解向上への取り組み ウェブサイトによる情報発信 事業者向け説明会 消費者向け説明会 展示会への参加	試行事業に関する情報発信と理解向上 ウェブサイトおよびメールマガジンの運営 一般の説明会からCFP導入希望事業者を対象としたワーク ショップ等の実施 ワークショップの開催, 小中高生向け説明会(出張授業)の 実施 エコプロダクツ2009~2011への出展
◆制度設計に関する検討 ルール検討委員会 検証スキーム検討委員会	各種ルールの整備 試行事業に関する基本ルールおよび運用ルールの整備 将来の検証スキームに向けた検討
◆ISO国際標準化	ISO国際標準化活動への参加, 海外の動向調査

(3) CFP 制度試行事業への事業者参加について

i) 試行事業における CFP 算定・表示の流れ

3年間の試行事業では CFP の算定を行い、商品に貼付して流通するまでに次の 3 段階の申請を行うものとした。

Phase1 PCR 原案策定計画の登録

事業者は CFP を算定・表示したい製品の PCR 原案の策定計画を事務局に登録する。

Phase2 PCR の認定

事業者は PCR 原案を作成する。

作成した PCR 原案を公開して意見公募を経た後、PCR 認定委員会の審査を受けたものが認定 PCR として登録される。

Phase3 CFP の検証

事業者は認定 PCR に基づき製品の CFP を算定する。

CFP の算定結果と表示内容について、CFP 検証パネルの審査を受け、許諾を受けた場合に CFP マークの使用が可能となる。

ii) Phase1 PCR 原案策定計画登録

試行事業でのスキームに基づいて CFP の算定・表示を行うためには、まず CFP の算定を行うための商品種別の詳細ルールである PCR を策定しなければならない。試行事業においては、まず事業者が PCR 原案の策定計画を登録し、この計画を公開することによって、同業他社等の利害関係者に PCR 原案の策定に参加することを呼びかけることが事業者に義務づけられた。これは JIS Q 14020 において、環境ラベルの・宣言の構築は「利害関係者の参加による公開の協議」が強く望まれており、また「十分な告知によって、協議への参画を奨励しなければならない」とされていることを踏まえ、PCR 原案策定計画の登録と PCR 原案に対する意見公募の仕組みが採用された。試行事業では合計 106 件の PCR 原案策定計画が登録された。

iii) Phase2 PCR 認定

計画登録を済ませた事業者は、同業他社をはじめとする利害関係者が参加するワーキンググループを

設置して、PCR 原案を策定した。

また PCR 原案の策定には、試行事業のルールに対する十分な理解が必要であることから、希望する事業者に対して事務局からコンサルタントを派遣する「PCR 原案策定事業」の枠組みが設置され、計 53 件の PCR 原案策定支援が実施された。3 年間の試行事業における PCR 原案策定計画の登録件数と支援事業の実績件数を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 PCR 原案の策定計画登録および PCR 原案策定支援事業の実績件数

年度	登録件数 [件]	支援件数 [件]
平成21年度	76	48
平成22年度	22	1
平成23年度	8	4

事業者は、策定した PCR 原案を事務局に提出して、PCR 認定委員会で認定審査を受けることになる。申請を受けた事務局は、PCR 原案を CFP 制度試行事業のウェブサイトに公開して、一定期間の意見公募を実施した。寄せられた意見に対しては、申請した事業者が対応策を検討し、その後の審査資料としても活用した。

意見公募に続いて、試行事業のルールに精通した専門家であるレビュアーによって、事前レビュー（事前審査）が実施された。この事前レビューを通過した PCR 原案は、複数の専門家により構成される PCR 認定委員会の審査を受け、これに合格してはじめて認定 PCR として登録される。

試行事業 3 年間に開催された PCR 認定委員会の開催数と認定された PCR の件数を表 2.2.3 に示す。計 73 件の PCR が登録された。

ここで重要視される事業者側の能力として以下の 3 つが挙げられる。

- a. CFP 算定・社内検証能力
- b. 1 次データ（工場実績データ）取得能力
- c. マネジメントシステム（MS）構築能力

表 2.2.3 PCR 認定委員会と PCR 件数

年度	委員会開催数 [回]	のべ認定件数* [件]
平成21年度	19	36
平成22年度	12	54
平成23年度	4	22

*認定件数は改訂を含む

iv) Phase3 CFP の認定

事業者は、自社の製品を算定の対象とする認定 PCR に基づいて個別に CFP の算定を行うとともに、製品に貼付するための CFP マークの具体的な表示案を作成する（既に認定 PCR が策定されていれば、この段階から試行事業に参加可能）。認定 PCR には、システム境界やデータの収集方法、シナリオの設定方法などが定められているほか、製品本体に貼付する際のラベルの位置やサイズ、CFP マークの横に併記すべき追加情報の記入要領なども示している。

CFP の算定には、PCR 原案策定と同様に試行事業のルールに対する十分な理解が必要であることか

ら、希望する事業者に対して事務局から CFP 算定の専門家をコンサルタントとして派遣する「CFP 算定支援事業」の枠組みを設置して、計 11 件の CFP 算定支援が実施された。CFP 算定支援事業と実績件数を表 2.2.4 に示す。

表 2.2.4 CFP 算定支援事業と実績件数

年度	支援件数 [件]
平成22年度	4
平成23年度	7

事業者は、CFP の算定結果と CFP マークの表示案を事務局に提出し、CFP 検証パネルによる検証を受ける。申請された CFP 算定結果、CFP マーク表示案に対しては、まず試行事業のルールに精通した専門家である検証員によって、事前検証（事前審査）が実施された。この事前検証を通過した CFP 算定結果・表示案は、複数の専門家によって構成される CFP 検証パネルの審査を受け、これに合格してはじめて CFP マークの使用が許諾される。

試行事業 3 年間において開催された CFP 検証パネルの開催数とマーク使用許諾製品の件数を表 2.2.5 に示す。2012 年 3 月 27 日の時点において、計 460 製品に CFP マークの使用が許諾された。

表 2.2.5 CFP 検証パネルの開催数とマークしよう許諾件数

年度	委員会開催数* [回]	マーク使用許諾件数* [件]
平成21年度	19	94
平成22年度	19	218
平成23年度	15	148

*広範囲 PCR 実証実験、サービス実証実験を含む

(4) CFP 算定のためのインフラ整備

i) CO₂ 換算量共通原単位データベース

CFP の算定の際には、全ての CO₂ 排出量を自社で算定できれば良いが、実際には取引関係や労力の問題等のため、全ての排出量を測定することは非常に困難となる。そこで試行事業では、自社で算定していなくても CFP の算定に適用可能な値のデータベースを整備し、それを公開した。

本データベースに格納されているデータは「CO₂ 換算量共通原単位」と呼ばれ、各工業会から提供されたデータや、事業の一環として独立行政法人産業技術総合研究所が作成したデータを、学識経験者を中心に構成される「CO₂ 換算量原単位データ検証委員会」が検証基準に従ってその妥当性を判断し、登録を承諾したものである。また、CFP 制度試行事業ウェブサイトにおいて、データベースの最新版並びに共通原単位データの活用方法を説明した「データベース活用ガイド」が公開されている。

表 2.2.6 に示すように、本データベースに格納されている原単位データはエネルギー、サービス（加工、印刷等）、廃棄処理、輸送、製品において、国内の産業分野を幅広くカバーしている。2011 年 3 月に ver.3.0 として 1031 件のデータが公開され、CFP 算定に活用された。2012 年 3 月末には、さらに工業会データ及び海外データも含め 224 件のデータが追加され、計 1255 件のデータベースとして整備された。

表 2.2.6 共通原単位データベース搭載データの分類

種類	分類番号	分類	搭載データ数[件]			
			ver.3	ver.4 (国内)	ver.4 (海外)	ver.4 (海外参考)
エネルギー	104	鉱業	6	6	3	
	108	木材・木製品(家具・装備品を除く)	1	1		
	111	石油製品・石炭製品	37	37	10	
	120	電気業	1	1	10	
	121	ガス業	3	5	1	
	122	熱供給業	1	1	1	
サービス	207	繊維工業品	7	17		
	212	プラスチック製品	3	26		
	217	非鉄金属	1	2		
	218	金属製品	12	12		
	230	印刷・関連品	3	3		
製品	301	農業	25	23	36	2
	302	林業	5	5		
	303	漁業	27	27		
	304	鉱業	6	10	10	
	305	食料品	44	45	7	1
	306	飲料・たばこ・飼料	2	2	1	
	307	繊維工業品	42	43		
	308	木材・木製品(家具・装備品を除く)	21	22	2	
	309	パルプ・紙・紙加工品	4	15	2	1
	310	化学工業製品	381	388	6	1
	311	石油製品・石炭製品	22	22	10	
	312	プラスチック製品	11	33	3	
	313	ゴム製品	5	5		2
	314	なめし革・同製品・毛皮	7	7		
	315	窯業・土石製品	40	44	2	2
	316	鉄鋼	16	21	3	
	317	非鉄金属	76	78	5	
	318	金属製品	10	10		
	319	一般機械器具	8	8		
	321	ガス業	1	1		
323	水道業	2	2			
329	電子部品・電子デバイス	98	98			
廃棄処理	428	廃棄物処理業	4	4	2	
輸送	524	鉄道業	2	2	1	
	525	道路貨物運送業	77	80	2	
	525	道路旅客運送業		3		
	526	水運業	16	16		
	527	航空輸送(貨物)	4	4		
合計			1031	1129	114	12
					1255	

ii)CFP 算定支援ツール

CFP の算定では、多様な単位やデータ項目から計算する必要があるため、データの入力ミスや単位の換算ミスにより、実際とは大きく異なる結果が算出されることが懸念される。そこで、事務局では CFP 算定支援ツールとして「CFP 算定キット」を開発した。この CFP 算定キットは、Microsoft Excel のマクロ機能を利用して作成されており、各々の PCR 用に作られたテンプレートファイルを読み込むことにより、ケアレスミスを減少させることができる。この CFP 算定キットは CFP 制度試行事業ウェブサイト (<http://www.CFP-japan.jp/calculate/authorize/kits.html>) にて公開されている。

平成 23 年度には、CFP 入門として CFP 算定キットを用いた CFP 算定体験セミナーが 2 回開催されている。また、本キットを使って初めて CFP 算定を行う利用者向けに、CFP 算定キットの操作や機能を説明した操作マニュアルの他、CFP 算定キットの基本的な操作や算定の流れを自習できるチュートリアルツールも併せて用意されている。

3年間の試行事業においては、PCRの策定やCFPの算定に関する専門的知識を有する者が外部専門家として協力している。実施にあたっては、公募審査を通過した方が、試行事業についての研修を行った上で下記の業務を担い、3年間で合計67名が外部専門家として協力している。

- a. PCR原案の策定を行う事業者を支援
- b. CFP算定を行う事業者を支援
- c. PCR認定委員会での審査前に行う事前レビュー
- d. CFP検証パネルにおける審査前に算定結果の妥当性を検証する事前検証
- e. システム認証に関する実証実験におけるシステム構築支援
- f. システム認証に関する実証実験におけるシステム審査

(5) CFP制度の理解向上に向けた取り組み

i) ウェブサイトによる情報発信

試行事業に関する様々な情報を発信するため、「カーボンフットプリント・ウェブサイト (<http://www.cfp-japan.jp>)」が設置されている。

同サイトでは、試行事業に関する各種申請の受付や意見公募、説明会開催情報の案内、CFPマーク使用許諾製品の紹介などに加え、キッズページを用意してCFPの意味を子供向けにもわかりやすく解説するなど、事業者と消費者双方に対して幅広く情報発信を行っている。また、試行事業に関する情報発信を行うメールマガジン「カーボンフットプリント・メールマガジン」が運営され、説明会開催予定の案内や新たな認定PCR、CFPマーク使用許諾製品の掲載情報などが発信された。メールマガジンは2010年3月に発行を開始して以来、2012年3月26日時点において計170本発行された。

ii) 事業者向け説明会・ワークショップの開催

多くの事業者に試行事業の取り組みを紹介するため、北海道から九州まで、のべ26カ所で説明会が開催され、合計3,259人の参加があった。説明会では制度の概要を事務局から説明し、制度参加事業者から、試行事業に参加した動機や実際に算定する際に苦労した点等、体験に即した事例紹介を行った。説明会終了後は希望する参加者に対して事務局との個別相談会を実施している。

また、ルール改正を行った平成22年度には、改正のポイントおよび試行事業の概要を説明するために、CFP連絡会が2回開催されている。平成23年度の「地域連絡会」では、より具体的なPCR策定からCFP算定の各作業プロセス上のポイント説明が追加され、平成23年度の「CFP導入支援ワークショップ」においては、要望が多かった「CFP算定の演習」も実施された。

iii) 消費者向け説明会・ワークショップの開催

消費者や小・中・高校生へのCFPの制度理解向上を図ることやCFPを理解して環境教育を行うことのできる指導者・リーダーを育成するために、平成22年度から消費者向けのワークショップ、小・中・高校生向けワークショップ、環境教育リーダー講習会が開催された。

消費者向けワークショップでは、CFPの説明や事業者からの事例紹介、CFPに関するクイズなどを、小・中・高校生向けワークショップでは、ライフサイクルを体験するすごろくなどを、リーダー講習会では、製品のライフサイクルをグループで書き出すグループワークなどを実施している。それぞれ、CFPのことがわかった、周りの人に伝えていきたい等の感想が提出されている。

(6) 制度設計に関する検討

試行事業では、各規程等に則ってCFPの算定・表示に関する事業が展開されたが、算定・表示試行事業を通じて抽出した課題への対応策を検討するため、ルール検討委員会、スキーム検証委員会の2つの委員会が設置された。

i) ルール委員会審議事項

ルール検討委員会では、試行事業を運営するために必要な指針や策定基準等の基本ルールを始め、基本ルールに関わる実証事業や CFP の多様な表示方法に関して検討した。各検討実施事項の概要と課題を以下に示す。

a. 指針等の規程類の整備

試行事業を開始するに当たり、既存の ISO 規格である ISO 14040（ライフサイクルアセスメント）および ISO 14025（タイプ III 環境ラベル）を参照して、ルール検討委員会での審議を経て、「カーボンフットプリント制度の在り方（指針）」と「カーボンフットプリント制度商品種別算定基準(PCR)策定基準」の2つの基本ルールが策定された。

「カーボンフットプリント制度の在り方（指針）」とは、我が国において検討されている CO2 排出量の「見える化」の一手段としての CFP 制度の在り方を示すものである。また、「カーボンフットプリント制度商品種別算定基準（PCR）策定基準」とは、「カーボンフットプリント制度の在り方（指針）」に基づき、商品種類ごとの詳細ルールである商品種別算定基準（PCR）を定めるにあたり、PCR の公平性や透明性を確保するため、全ての PCR に共通する概念となる策定基準を定めたものとなる。

この2つの基本ルールに基づいて、平成 21 年度より 3 年間の CFP 算定・表示の試行が実施され、さらには、平成 21 年度の試行結果を踏まえて、平成 22 年度にこの2つの基本ルールの改正が行われた。また、基本ルールだけでなく、PCR の認定の手順や CFP の算定・表示・検証の手順を記した規程など、各種運用ルールが整備された。

ここでの課題は、「使用・維持管理段階のシナリオ設定」や「販売プロセスの取り扱い」、「カットオフルールの適用」、「サービス分野」、「土地利用変化、炭素貯留の取り扱い」などであった。

b. サービス分野の CFP 実証事業

試行事業の基本ルールでは、実体のある工業製品や農産物だけでなく、IT サービスや廃棄・リサイクル関連サービスなど「サービス分野」についても試行事業の対象範囲になっている。しかし、工業製品や農産物等に比べ、サービス分野では CFP のベースとなる LCA の研究評価事例が少なく、対象が無形物であり、かつサービスの特徴が多岐にわたることから、関係者が十分に判断できるだけの適切な評価手法が基本ルールでは十分に明確化されていなかった。具体的には、システム境界の設定において、ライフサイクル段階をどのように設定すべきか、資本財を算定範囲に含めるべきか、といった点が工業製品と異なることが予想されていた。そのため、サービス分野の CFP の算定・表示方法について議論がなされた。その成果として、運用ルール「サービスに関する PCR 策定及び CFP 算定・検証の考え方」をとりまとめ、この考え方を検証する目的で実証実験が行われた。実証対象は、公募に応募、PCR の認定および CFP 検証に採択されたインターネットサービスの一つであるアプリケーションサービスについての 1 社 1 サービスと、ライフサイクル CO₂ の試算に採択された 2 社 2 サービスであった。

実証実験の結果、アプリケーションサービスの PCR が策定され、CFP の検証が行われた。また、2 サービスについては LCCO₂ の試算が実施された。アプリケーションサービスの事例では、工業製品の場合と異なり、システム境界を設定する際には「サービスの利用者」が使用する資本財や利用者によるエネルギー消費の影響もライフサイクル全体への寄与が大きいことなどが明らかになった。この事例を通じて運用ルールの改善に関する示唆が得られたが、大幅な運用ルールの修正を要しなかったことから、概ね運用ルールの有効性が確認されたものと考えられている。

ここでの課題は、実際にサービス分野において PCR を策定し、CFP の検証を実施できた案件がアプリケーションサービスのみであったため、他のサービスで応用するなど継続した検討が必要となった点

である。

c. 広範囲 PCR を用いた実証事業

試行事業を進めるにつれ、PCR が定めている算定対象が細分化されすぎ、類似した製品間で異なる PCR が定められている場合や PCR によってデータ収集の方法が異なる場合がある等、PCR 間の整合性を確保できていないケースが見られるようになった。

そこで、対象範囲を大きく広げた広範囲 PCR という実験用の PCR を事務局主導で策定し、PCR の階層構造や分類体系の整理、PCR 策定負荷の軽減を目的とした実証事業が行われた。具体的には、製品を使用するに当たり、エネルギーを使用する製品を対象とした広範囲 PCR、エネルギーを使用しない製品を対象とした広範囲 PCR の 2 つを試験的に策定し、公募に応募、採択された菓子類、複合機等 9 社 14 製品について広範囲 PCR を適用した算定・検証が試みられた。

広範囲 PCR は通常の PCR と比べて個別の製品特性に応じた具体的な算定ルールが設定されていないことから、広範囲 PCR だけでは算定ルールの妥当性の問題が予想される。そこで、算定事業者が対象製品ごとの「システム境界」や「シナリオ設定」について、具体的な算定ルールを追加し、補足説明資料として公開することでその問題に対応した。

結果として、実験に参加した全ての製品について、CFP 算定が可能であることが分かった。ただし、算定結果の認定に際しては、事業者が独自に設定した補足説明資料について専門家によるレビュー等を行うなど、その妥当性を高めるべきとの結論が得られた。

補足説明資料の分析から、PCR の階層構造や分類体系の整理には、「システム境界」と「使用シナリオ」といった項目の設定が重要であることが示された。具体的には、食品の数事例では、システム境界の設定については共通部分が多く、使用シナリオの設定について「冷蔵冷凍の要否」や「調理の要否」といった点が異なることがわかった。

ここでの課題としては、実証事業では主に食品分野での事例が多かったため、一般化して確立するためには、他の産業分野での更なる実施事例の蓄積が必要と考えられる。今後、産業分野によっては PCR の細分化や統合の必要が生じると思われ、様々な背景に柔軟に対処しつつ、通常の PCR も踏まえて PCR 間の共通項目や独自項目を整理することによって、産業分野別に PCR 策定のためのガイドを作成するなど、適切な製品カテゴリーの設定に資する PCR スキームを構築・維持するための手法を確立すべきとの示唆が得られている。

d. 多様な表示に関する検討

消費者や事業者が受け入れやすい表示方法を検討するため、多様な表示方法を試験的に認められた。さらに、表示の多様化検討 WG が設置され、その具体的な運用方法について検討を行い、各種の表示方法に応じた運用ルール等が整備された。この多様な表示方法のルールは全ての PCR に適用され、CFP 検証において表示案として申請を行い、マーク使用許諾を受けることによって、使用可能となる。

「単体量あたり」、「機能あたり」表示は、ピーマンや卵など 10 件以上、「数値なし」表示はノート 1 件、「削減率」表示は食器と IT 機器の 2 件の申請があった。

事業者や消費者へのアンケートの結果、これまでどおり製品 1 つあたりの CFP の値を示すことが最も好まれたが、他の表示方法についても一定の理解があることがわかった。参加事業者へのヒアリングでは、多様な表示方法を導入したことに対する不満やトラブルは特に見受けられず、今後も多様な表示方法という枠組みを残すよう希望する意見があった。

課題として、今回の実施事例は「数値なし」表示 1 件、「削減率」表示 2 件にとどまっており、

未知の「多様な表示であれば解決できる課題」が残されている可能性は高いと考えられる。

(7) 検証スキーム検討委員会審議事項

CFP の算定結果・表示内容を消費者にコミュニケーションするにあたり、信頼性、客観性の担保が重要であると考えられる。そのため、試行事業では、制度開始当初より、申請案件毎に第三者が検証を行う「個別検証方式」が採用されている。

本方式の手順は、①事業者の申請を受付、②事務局が管理・派遣する検証員による事前検証の実施、③事務局が設置する CFP 検証パネルによる審議及び最終判定の実施、となっている。しかし、この方式は、CFP 検証パネルの開催回数及び日程の制限から、事業者の申請の自由度が低くなる問題があった。また、事務局が多数の検証員の活動を管理することも大きな負荷となっていた。

そこで、上記課題を解決すべく、検証スキーム検討委員会では望ましい CFP の検証方式について、以下の3つの実証実験を通じて検討が行われた。

a. CFP システム認証方式の実証実験

CFP システム認証方式とは、事業者が内部に構築した「CFP 算定・検証・公開システム」を第三者が認証することにより、通常は個別検証の流れを経ずにラベルの申請を可能にする方式である。この方式は、多くの製品の算定・検証を実施する場合のコスト削減や時間の短縮、また、事業者が望むタイミングで CFP 表示が可能となるなどのメリットがあると考えられている。

実験をスムーズに進めるため、CFP やタイプ III 環境ラベルの算定経験を条件に公募を行い、6 事業者の協力を得て実証実験が行われた。参加事業者は、「システム要求事項」に従ったシステム構築し、第三者によるシステム認証審査を受けた。その結果、全参加事業者のシステムの有効性が認められ、これを受け、検証スキーム検討委員会に対し、本方式の本格実施に向けた提言がなされている。

ここでの課題としては、CFP やタイプ III 環境ラベルの算定経験が無い事業者によるシステム構築の可能性については、継続的な検討が必要と考えられている。

b. 検証機関による個別検証方式実施に関する実証実験

個別検証方式の実施主体を増やすと共に事務局負担を軽減すべく、独立した検証の実施可能性の検討も含め、検証機関による個別検証方式実施の実証実験が行われた。

実験にあたり、LCA や CFP に係る実務経験があることを条件に公募を行い、5 検証機関の協力を得て実証実験が行われた。参加検証機関は、事務局から割り振られた検証案件について個別検証と機関内レビューを実施した。また、その信頼性の確認のため、CFP 検証パネルにおける審議も追加的に実施された。その結果、参加検証機関が審査を行った案件について、CFP 検証パネルから大きな問題に関する指摘はなかった。しかし、検証機関側から、機関内レビューによって CFP 検証パネルの役割を担うことは、技術的に懸念があることが示された。これらの議論を受け、検証スキーム検討委員会においては、検証機関による個別検証方式の有効性は確認されたものの、独立した検証の実施についての検討は保留されることとなった。

ここでの課題としては、検証機関が独立して CFP 検証を行うためには、PCR に規定される内容の再検討（PCR の内容を越えた判断を極力少なくする）、検証機関の能力評価（基準の設定、事務局による評価など）、検証機関内のレビュー担当者の力量向上（資格・研修制度等の拡充）などの課題を解決する必要性が挙げられている。

c. 要員認証方式の実証実験

要員認証方式とは、事業者内の検証員を第三者が認証し、その要員が事業者の CFP 算定・表示結果を検証することで、ラベルの申請が可能となる方式のことである。この方式は、システム認証方式と同

様のメリットがあると考えられたが、同時に、消費者に対する信頼性の担保などが課題であると考えられた。

実験にあたり、比較のため、LCA や CFP の実施経験が豊富な要員を有する事業者と、経験が少ない要員を有する事業者の2事業者が採択された。研修等を受けた要員により、採択事業者内で算定された結果が検証された。その信頼性の確認のため、CFP 検証パネルにおける審議も追加的に実施された。

その結果、経験豊富な要員を有する事業者では有効に機能したが、経験が少ない要員を有する事業者では内部検証に問題点が多く、CFP 検証パネルの審議に進むことができなかった。

この結果を踏まえ、検証スキーム検討委員会は、経験を有する事業者が少ない制度開始当初においては本方式を拙速に導入すべきではないと結論づけた。

委員会においては、力量を有する人材が豊富になった段階で、本方式の導入について改めて検討すべきとの結論に達した。そのため、本方式の具体的な課題の抽出等については、将来的に改めて行う必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人産業環境管理協会 CFP 制度試行事業事務局 HP：“カーボンフットプリント制度試行事業総括報告書”，http://www.cms-cfp-japan.jp/about/pdf/CFP_Summary_Report.pdf.

2.3 評価事例紹介

(1) コンクリート

日本コンクリート工学会に設置されたサステナビリティ委員会（委員長：堺孝司・香川大学教授）傘下の評価ツール WG（主査：小山明男・明治大学教授）では、コンクリート、コンクリート製品およびコンクリート構造物に関わる環境負荷（現時点では、CO₂ 排出量の評価に特化）の評価システムを構築中である。その一部ではあるが、生コンクリートの CO₂ 排出量（カーボンフットプリント）評価のための PCR および評価ツール案の概要を以下に紹介する。

a. 階層構造

生コンクリートに関わる CO₂ 排出量評価ツールの階層構造は、図 2.3.1 のように設定されている。すなわち、評価ツールは、原料調達段階、製造段階、流通・販売段階、使用・維持段階、および廃棄・リサイクル段階から構成されているが、使用・維持段階の CO₂ 排出は、コンクリート構造物の利用方法に依存するので一律に計算することが難しいため、評価範囲から除外されている。

b. インベントリデータおよび入力方法

各段階におけるインベントリデータとその入力方法を以下に示す。

①原料輸送（トンキロ法）

・種類：セメント、粗骨材、細骨材、混和材、混和剤

・入力：総輸送量（t・km）／生産量（m³）

例）セメント使用量 0.3t/m³，輸送距離 70km で 3.65kg-CO₂/m³

骨材使用量 1t/m³，輸送距離 30km で 5.21kg-CO₂/m³（細・粗骨材とも）

混和剤使用量 1kg/m³，輸送距離 400km で 0.07kg-CO₂/m³

・原単位：共通データによる

②原料製造

・入力：配合の単位量（kg/m³）

- コンクリート
 - └ <LC> 原材料調達
 - └ <SUB> 原材料輸送
 - └ <G> セメント輸送<活>輸送量 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 粗骨材輸送<活>輸送量 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 細骨材輸送<活>輸送量 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 混和材輸送<活>輸送量 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 混和剤輸送<活>輸送量 <原>タンクローリー輸送 (積載量10kL、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> その他<活>輸送量 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <SUB> セメント
 - └ <G> 普通ポルトランドセメント<活>使用量 <原>Nセメント
 - └ <G> 高炉セメントA種<活>使用量 <原>BAセメント
 - └ <G> 高炉セメントB種<活>使用量 <原>BBセメント
 - └ <G> 高炉セメントC種<活>使用量 <原>BCセメント
 - └ <G> フライアッシュセメントA種<活>使用量 <原>FA
 - └ <G> フライアッシュセメントB種<活>使用量 <原>FB
 - └ <G> フライアッシュセメントC種<活>使用量 <原>FC
 - └ <G> 中庸熟ポルトランドセメント<活>使用量 <原>中庸熟
 - └ <G> 低熟ポルトランドセメント<活>使用量 <原>低熟
 - └ <G> 早強ポルトランドセメント<活>使用量 <原>早強
 - └ <G> エコセメント<活>使用量 <原>エコ
 - └ <SUB> 骨材
 - └ <G> 砕石<活>使用量 <原>砕石
 - └ <G> 砕砂<活>使用量 <原>砕砂
 - └ <G> 砂利<活>使用量 <原>砂利
 - └ <G> 砂<活>使用量 <原>砂
 - └ <G> 軽量粗骨材 (フライ) <活>使用量 <原>軽量粗骨材 (フライ)
 - └ <G> 軽量粗骨材 (頁岩) <活>使用量 <原>軽量粗骨材 (頁岩)
 - └ <G> 再生粗骨材H (偏心) <活>使用量 <原>再生粗骨材H (偏心)
 - └ <G> 再生粗骨材H (加熱) <活>使用量 <原>再生粗骨材H (加熱)
 - └ <G> 再生粗骨材H (湿式) <活>使用量 <原>再生粗骨材H (湿式)
 - └ <G> 再生粗骨材M (3破碎) <活>使用量 <原>再生粗骨材 (偏心・細骨材利用)
 - └ <G> 再生粗骨材L (2破碎) <活>使用量 <原>再生粗骨材H (加熱・細骨材利用)
 - └ <G> 再生粗骨材H (偏心・細骨材利用) <活>使用量 <原>再生粗骨材H (湿式・細骨材利用)
 - └ <G> 高炉スラグ骨材<活>使用量 <原>高炉スラグ骨材
 - └ <G> フェロニッケル骨材<活>使用量 <原>フェロニッケル骨材
 - └ <G> 銅スラグ骨材<活>使用量 <原>銅スラグ骨材
 - └ <G> 溶融スラグ骨材<活>使用量 <原>溶融スラグ骨材
 - └ <SUB> 混和材
 - └ <G> 高炉スラグ微粉末<活>使用量 <原>高炉
 - └ <G> フライアッシュ<活>使用量 <原>フライアッシュ
 - └ <SUB> 混和剤
 - └ <G> 混和剤 (リグニン) <活>使用量 <原>混和剤A
 - └ <G> 混和剤 (NS) <活>使用量 <原>混和剤B
 - └ <G> 混和剤 (MS) <活>使用量 <原>混和剤C
 - └ <G> 混和剤 (PCE) <活>使用量 <原>混和剤D
 - └ <SUB> 練混水
 - └ <G> 練混ぜ水<活>使用量 <原>水道水
 - └ <G> 練混ぜ水<活>使用量 <原>工業用水
 - └ <G> スラッジ水<活>使用量 <原>スラッジ水
 - └ <LC> 生産
 - └ <SUB> 生コン製造
 - └ <G> 練混ぜほか<活>電力投入量 <原>電力 (日本平均 (平成16年度～20年度平均))
 - └ <G> 練混ぜほか<活>燃料投入量 <原>A重油のボイラーでの燃焼
 - └ <G> 処理<活>工業水投入量 <原>工業用水
 - └ <G> 処理<活>上水投入量 <原>水道水
 - └ <LC> 流通・販売
 - └ <SUB> 製品輸送
 - └ <G> 大型<活>製造工場から建設現場 <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 小型<活>製造工場から建設現場 <原>トラック輸送 (4トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <LC> 使用・維持
 - └ <LC> 廃棄・リサイクル
 - └ <SUB> 廃棄物輸送
 - └ <G> 廃棄物輸送<活>廃棄物輸送 (10車) <原>トラック輸送 (10トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <G> 廃棄物輸送<活>廃棄物輸送 (4車) <原>トラック輸送 (4トン車、短期・長期規制適合、積載率50%)
 - └ <SUB> 廃棄物処理
 - └ <G> 破碎処理<活>破碎処理量 <原>破碎
 - └ <G> 再生処理<活>再生処理量 <原>再生
 - └ <G> 埋立処理<活>埋立量 <原>埋立 (管理型)

図 2.3.1 生コンクリートに関わる CO₂ 排出量評価ツールの階層構造

- ・種類：（セメント） 普通ポルトランドセメント，中庸熱，低熱，早強（普通ポルトと同じ）
高炉 A 種， B 種， C 種（ A 種， C 種は B 種をもとに略算）
フライアッシュ A 種， B 種， C 種（ A 種， C 種は B 種をもとに略算）
エコセメント
- （骨材） 砕石， 砕砂， 砂利， 砂， 軽量骨材（FA 系）， 軽量骨材（頁岩系）
再生骨材 H（加熱， 偏心， 湿式）， 再生骨材 M， 再生骨材 L
高炉スラグ骨材， フェロニッケル骨材， 銅スラグ骨材， 熔融スラグ骨材
- （混和材） 高炉スラグ微粉末， フライアッシュ
- （混和剤） リグニン， NS， MS， PCE
- （練混ぜ水） 水道水， 工業用水， スラッジ水（扱いは未検討）
- ・原単位： JCI 環境負荷最小化委員会データを基本とし， その他情報も含む。
ただし， 水道水， 工業用水は共通データによる

③生コン製造

- ・種類： 電力投入量， 燃料投入量
- ・入力： 月投入量（ kWh， L 等） / 月生産量（ m³）
- ・原単位： 共通データによる

④製品輸送（トンキロ法）

- ・種類： 大型（ 10t トラック準用）， 小型（ 4t トラック準用）
- ・入力： 総輸送量（ t・km） / 生産量（ m³）
平均輸送距離 25km であれば $25\text{km} \times 2.4\text{t}/\text{m}^3 = 60\text{t} \cdot \text{km}$ となる。
- ・原単位： 共通データによる

⑤使用・維持 なし

⑥廃棄物輸送

- ・種類： 大型（ 10t トラック）， 小型（ 4t トラック）
- ・入力： 総輸送量（ t・km） / 廃棄物発生量（ m³）
廃棄物発生割合 2% とすると， 平均輸送距離が 25km であれば， $25\text{km} \times 2.4\text{t}/\text{m}^3 \times 0.02 = 1.2\text{t} \cdot \text{km}$ となる。
- ・原単位： 共通データによる

⑦廃棄物処理

- ・種類： 破碎処理， 再生処理， 埋立処分
- ・入力： 処理・処分量
- ・原単位： 破碎処理・埋立処分は共通データによる
再生処理については， 要検討（マイナスの原単位はありえないが， 試行として）
例） 1m³ の生コンで廃棄物発生割合 2% とし， $2.4\text{t} \times 0.02 = 0.048\text{t}$ のコンクリート塊 0.048t をすべて再利用すると， 砕石の原単位 5.09kg-CO₂/t は後から得をすることになる。つまり， $0.048 \times 5.09 = 0.244\text{kg-CO}_2$ のマイナスとなる。

c. 試行例

作成したツールを基に， 標準的なコンクリートの LCCO₂ の評価結果を図 2.3.2 に示す。生コンクリートの LCCO₂ 排出量については， 原材料調達段階におけるものがそのほとんどを占め， なかでも， セメントの使用による影響が大きい。次に， セメントとして高炉セメント B 種を用いた場合の LCCO₂ の評

価結果を標準のコンクリートと比較したものを図 2.3.3 に示す。また、図 2.3.3 では、再生骨材 H を使用したケースと粗骨材の輸送方法を変えたケースについても示している。評価結果が適切かどうかは別として、原材料を変更した場合や輸送方法が変わった場合などを考慮できるツールとなっている。

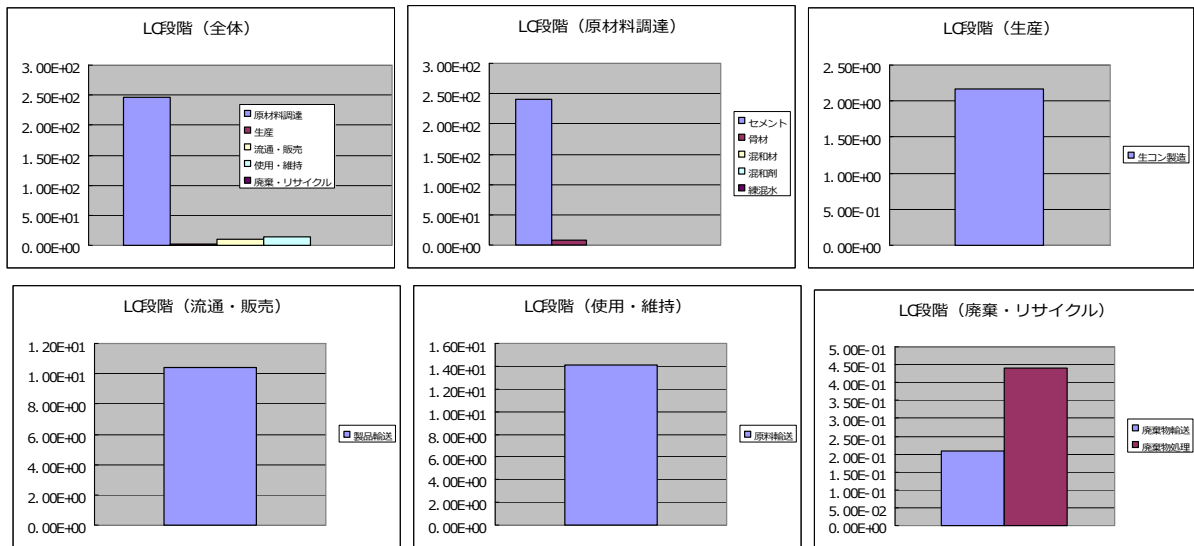


図 2.3.2 標準的なコンクリートの LCCO₂ の評価結果

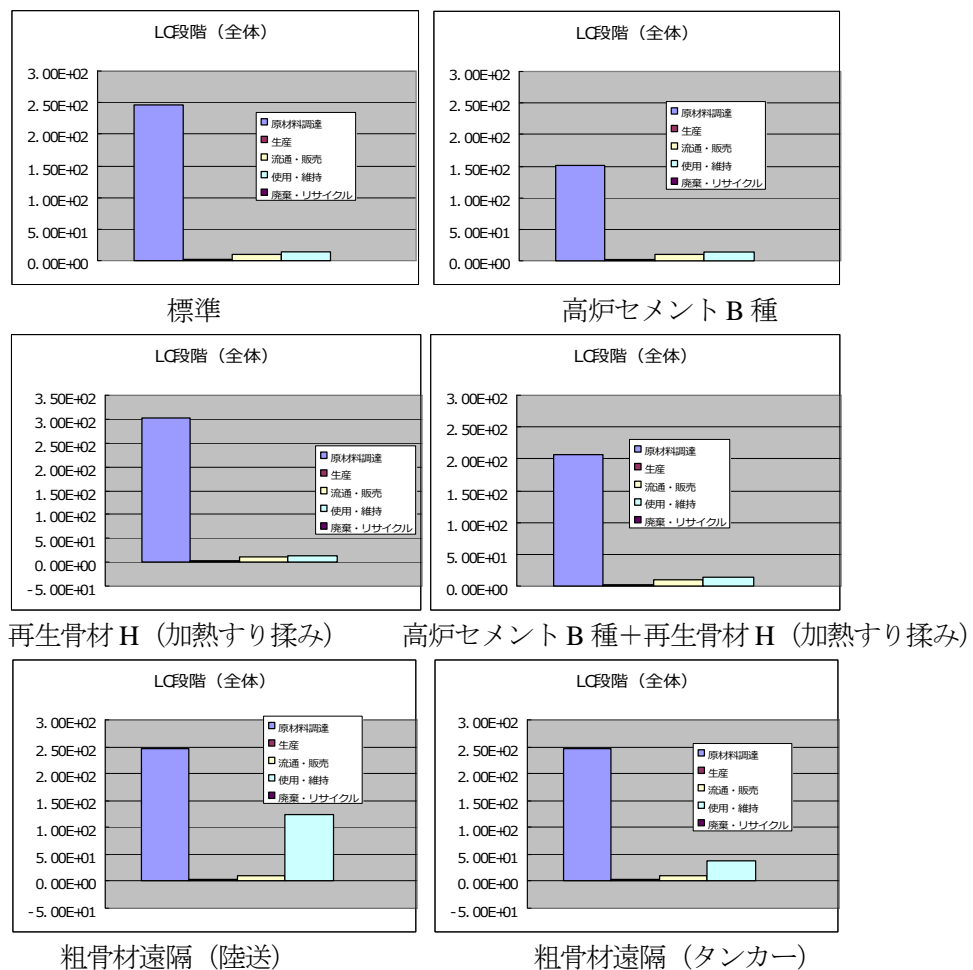


図 2.3.3 高炉セメント B 種を使用したコンクリートの LCCO₂ 排出量算出結果

(2) 木材

木材製品のカーボンフットプリントに関しては、木材製品に対する商品種別算定基準¹⁾ (Product Category Rule of “Wood Products”, 認定 PCR 番号 : PA-CD-01) が定められている。同基準では、フローリング、製材、集成材、合板、パーティクルボード、繊維板、保存処理木材などが対象となっている。いずれの製品についても、原材料調達段階、生産段階、流通段階、使用・維持管理段階、廃棄・リサイクル段階について考慮し、製品のライフサイクルを通じたカーボンフットプリントを作成することとしている。また、木材製品のカーボンフットプリントについて、特筆すべきこととして、附属書 H に「木材・木質材料中の貯蔵炭素量 (規定)」が定められていることである。同附属書の原文は以下に示す内容となっている。

木質バイオマスは、葉が空気中から取り込んだ CO₂ と根から吸い上げられた水とで光合成によって生産された糖が、様々な生合成経路を経て、セルロースやヘミセルロース、リグニンという高分子になり、それらが細胞壁などを構成することによって、樹木中に貯蔵されていく。よって、木材中には空気中の CO₂ が C の形で固定されていることになる。木材中のセルロース、ヘミセルロース、リグニンの比率は、樹種によって少し異なるが、概ね 2 : 1 : 1 と言われており、木材を構成する元素の重量素性としては、C が 50%、H が 6%、O が 43%、その他が 1% となっている。「木材利用に係る環境貢献度の定量的評価手法について (中間とりまとめ)」(平成 21 年 2 月 林野庁 URL <http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/mieruka/pdf/torimatome.pdf>)

より、木材中の貯蔵炭素量は、次の式で求められ、その値を貯蔵炭素量として用いてよい。

$$\text{貯蔵炭素量 (kg-C)} = \text{木材・木質材料中の木材の全乾重量 (kg-木材)} \times 0.5$$

ここで、吸収した貯蔵炭素量を大気中の CO₂ 量に換算するには、貯蔵炭素量×44/12 で換算すればよい。この式の中の 44 は CO₂ の分子量、12 は C の分子量である。

(3) 鋼材

鋼材のカーボンフットプリントに関しては、まだ PCR が作成されていない。

(4) 断熱材

断熱材の種別を図 2.3.4 に示す。ここでは、新聞紙をリサイクルすることにより製造される木質繊維系 (セルロースファイバー) の建築用断熱材である「デコスファイバー」の事例²⁾を紹介する。「デコスファイバー」は、吹込み用繊維質断熱材として JIS A 9523 により認証されている。断熱性・調湿性・防火性・防音性など多機能な性質を持ち、断熱欠損のない付加価値の高い優れた躯体をつくることができると考えられている。現在、全国の木造住宅着工棟数におけるシェアは約 1% である。

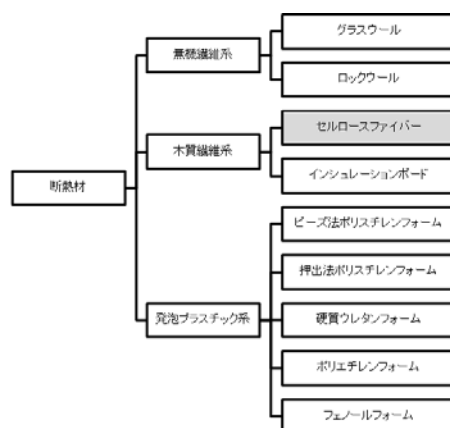


図 2.3.4 断熱材の種別

2011年11月11日、株式会社デコスは建築用断熱材として日本で初めて『デコスファイバー』へのカーボンフットプリント(CFP)マーク使用許諾認定を取得している。

CO₂排出量の観点からの本製品の最大の特徴は、生産段階において使用するエネルギーが電気のみである。熱(溶解・乾燥)、水(洗浄・冷却)などは一切使用しておらず、他の断熱材に比べ圧倒的に製造時のエネルギー消費量が少ない。さらには生産段階において、工場から排出される廃棄物も100%リサイクル活用されており、廃棄物の生成量が0となっている。

今回の『デコスファイバー』CFP 検証申請に先立ち、建築用断熱材業界を代表して日本セルロースファイバー工業会(以下、CF工業会)では、CFP算定ルールとなるPCRを策定し、2011年9月20日に「建築用断熱材」として認定を受けた。

PCR策定にあたり、対象範囲および参加メンバーの決定には紆余曲折があった。まずは対象製品を「セルロースファイバー」とし、参加メンバーをCF工業会として申請した。経済産業省より、「セルロースファイバー」だけでは対象範囲が狭いため、「断熱材」と対象を拡張し、断熱建材協議会を参加メンバーとするように要請があった。しかし、結果として業者間の協議する時間を確保できず、対象製品を建築用断熱材、参加メンバーをCF工業会とするに至った。ここで、建築用断熱材とは、建築物の断熱を目的とする材料であり、熱伝導率0.06W/mK以下のものと定義された。躯体構造・断熱工法・断熱材種類は問わない。ただし、この時点では「吹込み用繊維質断熱材 セルロースファイバー」を対象として策定されている。

PCRの策定には、シナリオを想定したライフサイクルフロー図の作成が求められる。PCRはこれを文書化したものと考えてよい。認定を受けたデコスファイバーのライフサイクルフローを図2.3.5に示す。

次に、策定されたPCRに基づき対象製品のCFPを算定する。基本的にCFPの算定は、活動量(素材使用量、電力消費量等)に原単位を掛け合わせ算出する。

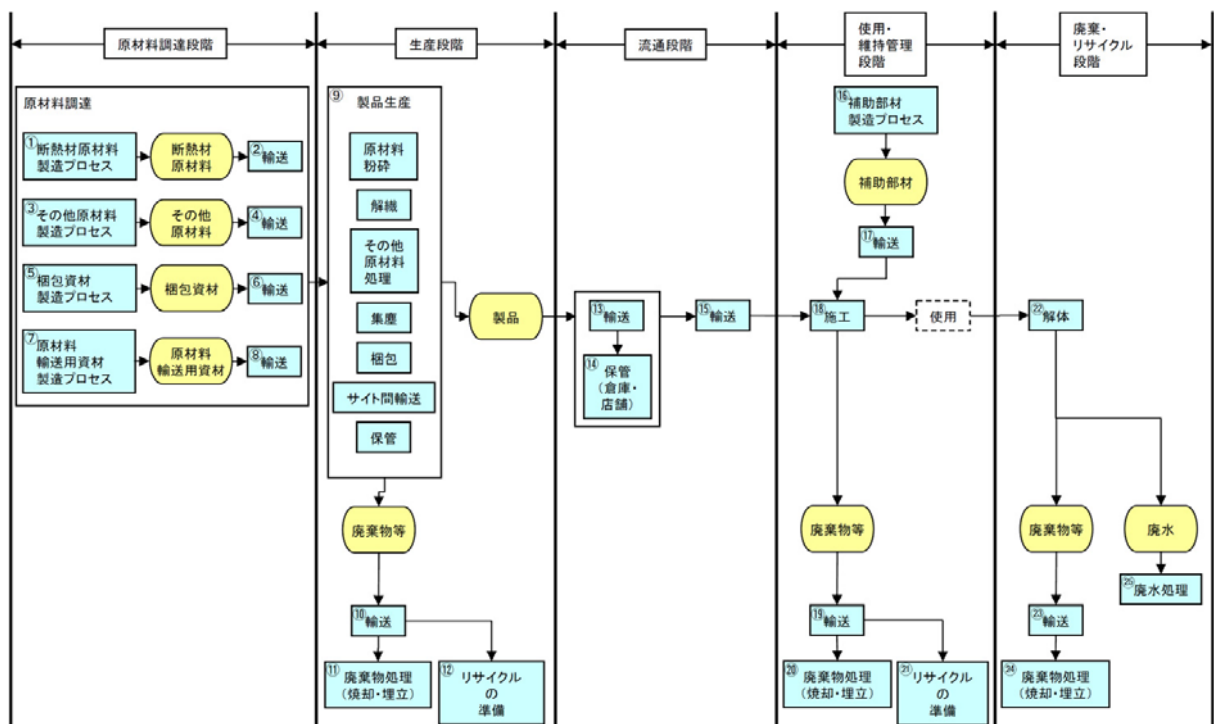


図 2.3.5 ライフサイクルフロー

CFP 算定事業者は、まず直近 1 年間の活動量を正確に把握する必要がある。活動量は、直接計測するほか、電力・水道・ガス会社などからの購入伝票など、CFP 算定を行なう根拠として様々なデータ収集を行わなければならない。原単位は CFP 制度で用意された共通の数値を使用する。認定 PCR に従い、共通の原単位を使用することで CFP マークの数値は公平性及び透明性を確保している。

CFP 算定にあたり収集した項目を表 2.3.1 に示す。CFP 算定では、「デコスファイバー」単体だけではなく、「デコスファイバー」に付随して必要となる全ての項目を拾い出し、計算する必要がある。

表 2.3.1 CFP 算定の算定項目

ライフサイクル	算定項目
原材料調達段階	在庫量・新聞調達量・薬剤・風袋・梱包資材・原材料輸送用資材・輸送距離など
生産段階	電力量・廃棄物量・輸送距離など
流通段階	全国のデコス施工代理店までの輸送距離、輸送方法、輸送量など
使用・維持管理段階	施工時の材料・電力量・廃棄物量など
廃棄・リサイクル段階	解体時の燃料・散水量・廃棄物量など

デコスファイバー（1 袋 15 kgあたり）の CFP 算定結果をとして、認定された CFP マークを図 2.3.5 に、LCCO₂の比率を図 2.3.6 に、LCCO₂の内訳を表 2.3.2 に示す。

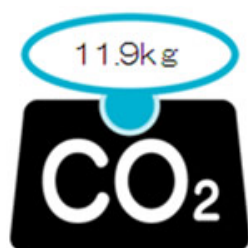


図 2.3.5 CFP マーク

(検証番号：CV-CK01-001)

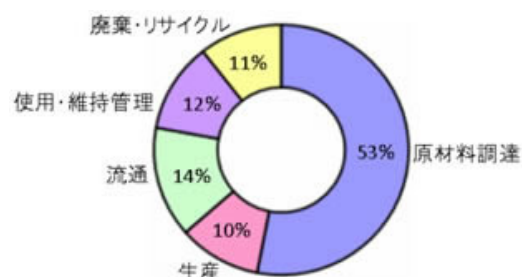


図 2.3.6 LCCO₂の比率

注) CFP マークは使用方法に詳細規定があるため、使用許諾を受けた（株）デコス以外は使うことができない。

表 2.3.2 LCCO₂の内訳

ライフサイクル	LCCO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ e]
原材料調達段階	6.33
生産段階	1.25
流通段階	1.71
使用・維持管理段階	1.38
廃棄・リサイクル段階	1.26

生産時の LCCO₂ 排出量が他の断熱材に比して圧倒的に少ない。これは先述のように、デコスファイバーが生産される菊川工場(山口県下関市)では、使用するエネルギーが電気のみとなっていること、および生産段階において工場から排出される廃棄物も 100%リサイクル活用されていることに起因する。

さらに、流通段階において「モーダルシフト(鉄道貨物+トラック輸送)」を積極的に採用しており、鉄道貨物とトラック輸送を併用することで、輸送時の CO₂ 排出量削減を図っている。原材料調達段階の比率が高い理由は、薬剤の調達が輸入に依存しているためである。

これらの事例を踏まえ、CFP 算定に関して明らかになった課題としては以下の項目が挙げられてい

る。

- a. 更新が2年ごとに実施されるが、より低いものを目指す必要があり、継続が困難
- b. 解体に関するデータがほとんどない。
- c. 性能との関連付けが困難
- d. コンサルタント（守秘義務有）および関連省庁からの意見により、再計算が頻繁
- e. 製造工程を公開しなければならない

また CFP の普及に関して、先進的企業としての PR 効果は高いが、後発の他社は CFP の数字が大きくなる傾向にあるため、労力の価値がない可能性が高い。

(5) 建材用アルミ型材

日本の窓の主要部材であるアルミ型材について、（一社）日本サッシ協会の取組みを紹介する。

日本サッシ協会では、1999 年 4 月に「環境対策部会」を設置し、業界として環境への負荷を低減する取り組みを積極的に進めている。表 2.3.4 に 1999 年度から 2011 年度までの環境対策部会の取組みを示す³⁾。2012 年 2 月時点で“建材用アルミ型材”の PCR は策定中である。

表 2.3.4 環境対策部会の取組み（1999 年度～2011 年度）³⁾

		取組み
2011(H23)年度	2月	アルミ型材のカーボンフットプリントのPCR原案策定
2010(H22)年度	7月	カーボンフットプリントの検討開始
2009(H21)年度	11月	「表面処理工程から排出される副産物・産業廃棄物の実態調査」の実施
	12月	CO2排出量取引の調査
2008(H20)年度	3月	「サッシ業界自主環境行動計画」の見直し・改定
2007(H19)年度	10月	廃棄塩ビサッシリサイクル実証実験
	10月	「住宅用アルミ建材等の梱包廃材対策に関する調査研究」の実施
2006(H18)年度	3月	アルミニウム 3 R システム化調査委員会への参画
	9月	「建築物解体により生じる難解体性建材リサイクルに関する調査研究」の実施
2005(H17)年度	11月	「大気VOC削減自主的取組み計画」の策定
2004(H16)年度	3月	「廃アルミ建材の流通実態等に関する調査研究」の実施
	2月	アルミサッシのLCCO2評価の実施
	10月	「環境データの集計マニュアル」策定
	6月	「サッシ・ドア製品アセスメントガイドライン」の策定
2003(H15)年度	3月	「サッシ業界自主環境行動計画」の見直し・改定
	11月	ドイツにおける塩ビサッシリサイクルシステムの現地視察
2002(H14)年度	6月	容器包装リサイクル法への対応ガイドライン策定
	11月	ドイツにおける塩ビサッシリサイクルシステムの現地視察
2001(H13)年度	4月	資源リサイクル法に基づく塩ビサッシの材質表示開始
	3月	断熱サッシ・ドアがグリーン購入法の特定調達品目に指定される
2000(H12)年度	3月	「サッシ業界自主環境行動計画」のフォローアップ
	3月	「サッシ業界自主環境行動計画」の策定
	12月	各社現状調査及び統計データ整備（CO2排出量・廃棄物量・化学物質使用量など）
1999(H11)年度	2月	P R T R 対象化学物質リストの策定
	10月～	プラスチックサッシ工業会との合同による「塩ビ製サッシリ
	4月	「環境問題対策部会」の発足

i) 建材用アルミ型材の PCR

アルミ型材とは、アルミサッシの枠や障子を構成する押出し成形品である。アルミニウムを主成分とする合金であり、JIS H 4100 に規定されている。主に用いられる A 6063 合金は、マグネシウム、ケイ

素等を加え押し出し性を高めた耐食熱処理合金である。

以下に、建材用アルミ型材のPCRの特徴を示す。

- ① PCRの算定単位は、アルミ型材1kg当たりのCO₂排出量である。
- ② ライフサイクルは、原材料調達段階と生産段階に分けられる。
 原材料調達段階のフローは、資源採取⇒輸送⇒精錬・製造⇒輸送
 生産段階のフローは、鋳造⇒押出⇒表面処理
- ③ 原材料調達段階のCO₂排出量が全体の9割以上を占める。ボーキサイトから精錬するために多量の電気を使用し、全体の85%以上のCO₂排出量となる。
- ④ 一般的にアルミ再生地金のGHG排出量原単位は、新地金の1/30である。アルミ再生地金の使用比率を示すアルミリサイクル率が、原材料調達段階のCO₂排出量に大きく影響する。

アルミ新地金 9.2 (kg-CO₂e/kg)

アルミ再生新地金 0.31 (kg-CO₂e/kg)

建材用アルミ型材のPCRにより、アルミサッシの主な構成部材であり、CO₂排出量の大部分を占めるアルミ型材の評価が可能になる。しかし、窓全体の評価を行うには、ガラスをはじめとする他の構成部材を合わせたPCRが必要である。また、流通段階、使用・維持管理段階や廃棄・リサイクル段階を合わせたライフサイクル全体の評価が求められる。

ii) 日本サッシ協会の自主環境行動計画

表 2.3.5.1 に示すように、日本サッシ協会では 2001 年度に自主行動計画を定め、環境負荷低減活動を行ってきた。2004 年 3 月、2009 年 3 月には、環境問題を取り巻く社会状況の変化に柔軟に対応するために、それまでの目標値に対する実績を踏まえ、一部を見直し・改定して現在に至っている。表 2.3.5 に自主行動計画の目標と 2011 年現在の実績状況を示す³⁾。

表 2.3.5 自主環境行動計画の目標と実績状況³⁾

項目		自主行動計画における目標	実績状況(2011年)
1	地球温暖化対策	調達段階のCO ₂ 削減	アルミサッシ原材料に占めるアルミリサイクル材の比率を2012年度までに22%以上にする。 アルミリサイクル率18.8%の実績
		生産段階のCO ₂ 削減	生産段階から排出されるCO ₂ 総排出量を2012年度までに1990年度レベルから30%削減する。 1990年度比32%削減
		製品輸送段階のCO ₂ 削減	輸送段階におけるCO ₂ 排出原単位を2012年度までに2007年度レベルから5%削減する。 2007年度比0.6%削減
2	循環型社会の形成	産業廃棄物の削減	産業廃棄物の総量を2012年度までに2007年度比10%削減する。 2007年度比33.4%削減
		ゼロエミッションへの取組み	生産工場からの定常的な排出物の最終処分比率を2012年度までに2%未満(リサイクル率98%以上)にする。 最終処分比率1.8%の実績
		プラスチック系梱包資材使用量の削減	プラスチック系梱包資材の使用量を2012年度までに2007年度比20%削減する。 2007年度比39.1%削減
3	化学物質対策	PRTR物質の使用量削減	製造におけるジクロロメタンの使用量を2012年度までに2007年度比35%削減する。 2007年度比62%削減
			製造における鉛の使用量を2012年度までに2007年度比50%削減する。 2007年度比56.9%削減

iii) アルミサッシのCO₂排出量把握

日本サッシ協会では、業界全体の調達段階・生産段階・製品輸送段階のCO₂排出量を継続的に調査している。ここでは、各段階のCO₂排出量の推移について考察する。

a. 調達段階のCO₂排出量

調達段階のCO₂排出量とアルミリサイクル率の推移を図2.3.8に示す。

調達段階のCO₂排出量は、2004年から2009年にかけて減少し、2010年から増加に転じている。これは、アルミニウムサッシの出荷量を反映している。図2.3.9にアルミニウムサッシの出荷数量と出荷額を示す⁴⁾。出荷数量と出荷額共に2004年から2009年にかけて減少し、2010年から増加している。景気動向や住宅着工戸数により出荷量が増減し、調達段階のCO₂排出量に影響しているのが確認できた。

一方、アルミリサイクル率は、2004年から2008年にかけて上昇し、2009年から減少に転じている。2012年度は、最大値である2008年度レベルを目標としている。

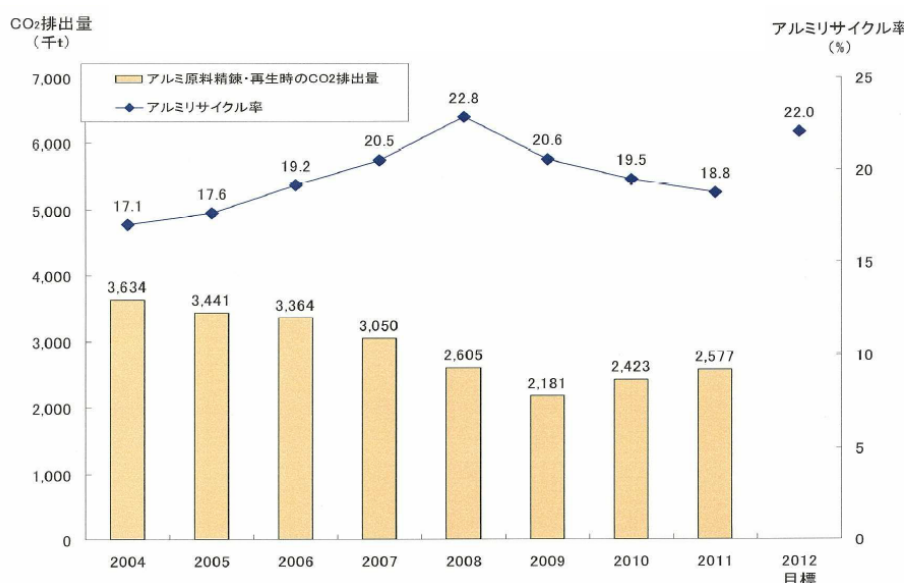


図 2.3.8 調達段階のCO₂排出量とアルミリサイクル率³⁾

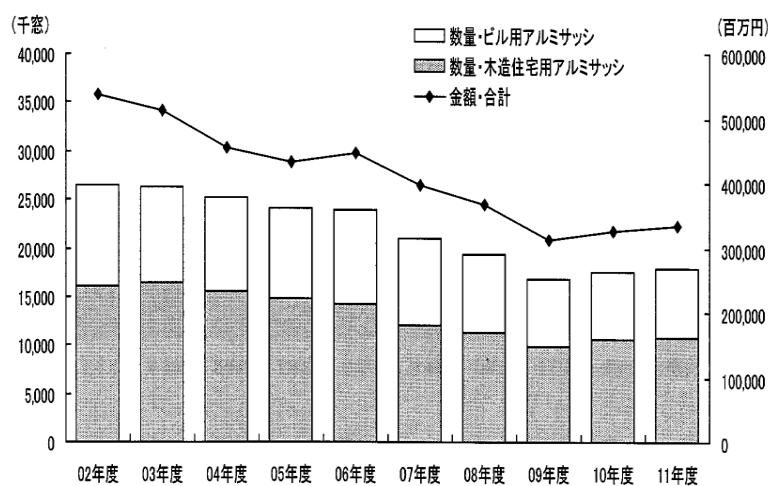


図 2.3.9 アルミニウムサッシの出荷数量・金額⁴⁾

b. 生産段階のCO₂排出量

生産段階のCO₂排出量と1990年度の実績に対する生産段階CO₂排出量、出荷重量およびCO₂排出原単位（重量当たり）を図2.3.10に示す。調達段階CO₂排出量、出荷量と同様に生産段階CO₂排出量は、2004年から2009年にかけて減少し、2010年から増加に転じている。生産段階のCO₂排出原単位は、2011年度時点で1990年度比110%となっている。窓がより軽量で複雑な商品に進化しているためと考えられる。2012年度は出荷量増を見込み、生産段階のCO₂排出量で前年比3%増加を目標としている。

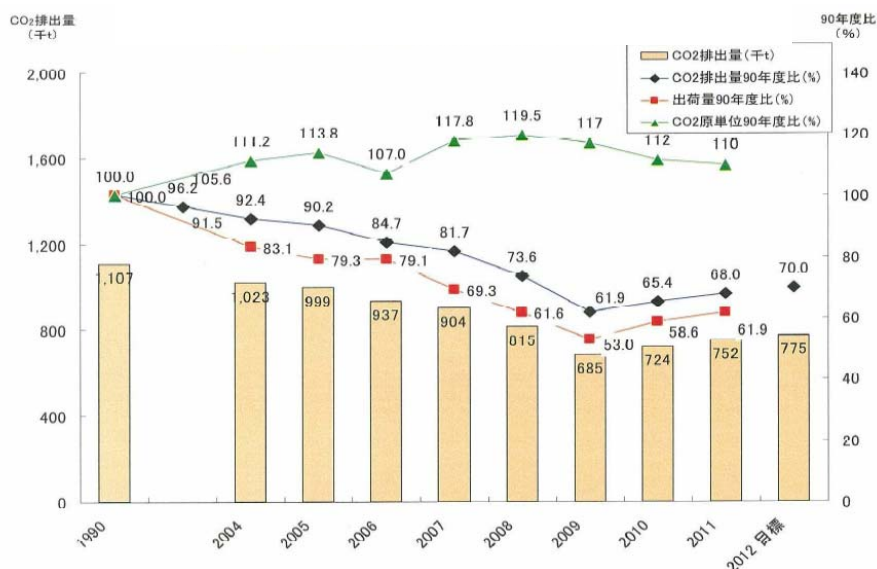


図 2.3.10 生産段階のCO₂排出量，出荷重量，CO₂排出原単位（重量当たり）¹⁾

c. 製品輸送段階のCO₂排出量

製品輸送段階のCO₂排出量とCO₂排出原単位（売上高当たり）を図2.3.11に示す。調達段階CO₂排出量、生産段階CO₂排出量そして出荷量と同様に2004年から2009年にかけて減少している。しかし、2010年以降の増加は見られない。これは、製品の軽量化と輸送車両の燃費向上が影響していると考えられる。製品輸送段階のCO₂排出量原単位の2012年度目標は、前年比4%削減を目標としている。

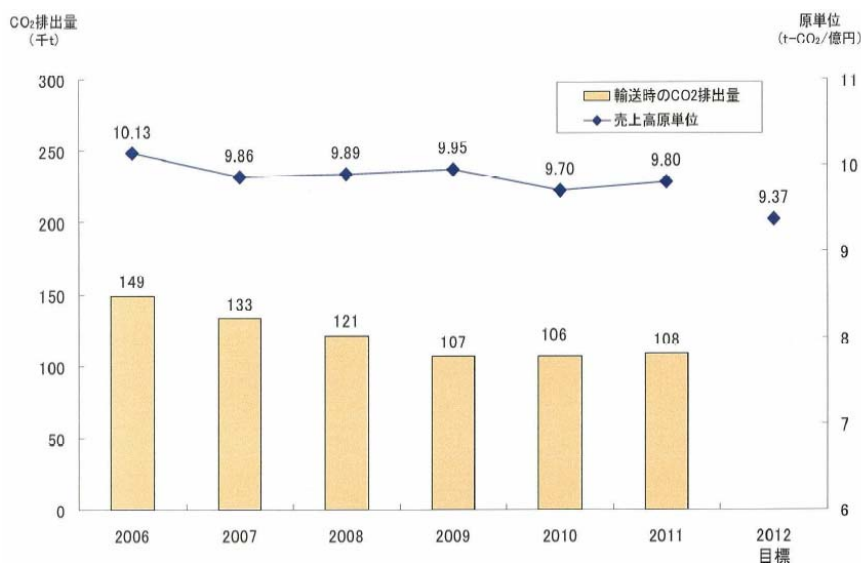


図 2.3.11 製品輸送段階のCO₂排出量，CO₂排出原単位（売上高当たり）³⁾

日本サッシ協会におけるアルミサッシ業界の CO₂ 排出量の調査結果について紹介した。マクロ的な視点で年度毎の業界全体の CO₂ 排出量の推移を見ることにより、景気動向や住宅着工戸数が CO₂ 排出量に大きく影響していることが見て取れた。しかし、ライフサイクルの個々の段階での CO₂ 排出削減に対する企業努力は、窓全体・一窓当たりの効果として把握する必要がある。各段階での排出削減の取組みによるコスト上昇と窓全体の削減効果を比較検討できることがカーボンフットプリントの利点である。窓の PCR の制定により、低炭素社会に対応した窓の開発が推進されると考える。

(6) カーテンレールおよびブラインド類

窓に付属するカーテンレールとブラインド類について、トーソー株式会社の取組みを紹介する。

トーソー株式会社では、2010 年に“カーテンレール”の PCR を申請し、同年 11 月 30 日に認定を受けている。2011 年 12 月には、事業者のカーボンフットプリントのシステムを認証し、当該事業者の算出した CO₂ 排出量を適正なものとして表示を認める「システム認証」を取得している。現在取得した製品は、11 を数えている。更に、2012 年度に入り“カーテンレールおよびブラインド類”の PCR に拡張し、2 月 18 日より意見公募を開始し、現在最終審査の段階にある。

カーボンフットプリントの認証を取得したカーテンレールおよび表示例を図 2.3.12 に示す⁵⁾。CO₂ 排出量の算出値は 4.36kg-CO₂ である。算出値の内訳を図 2.3.13 に示す⁵⁾。原材料調達段階が全体の 71% を占めている。以下、生産段階：4%、流通段階：18%、そして廃棄・リサイクル段階が 8%となっている。

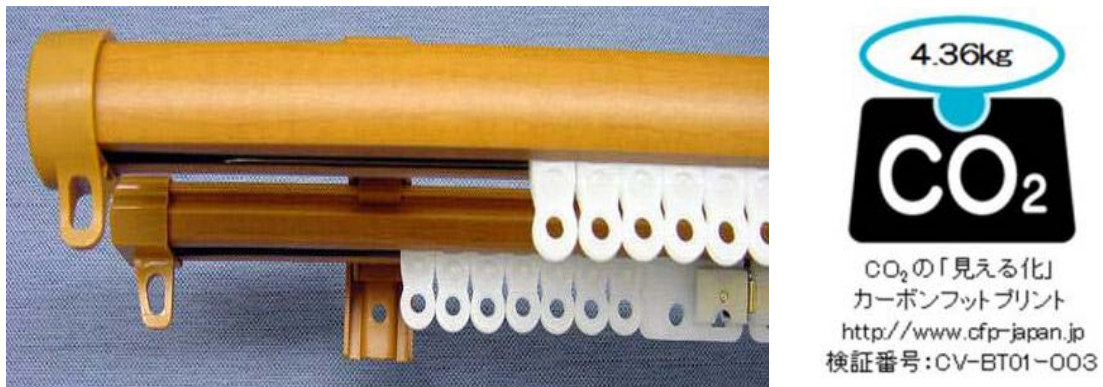


図 2.3.12 認証取得カーテンレールおよびカーボンフットプリント表示例⁵⁾

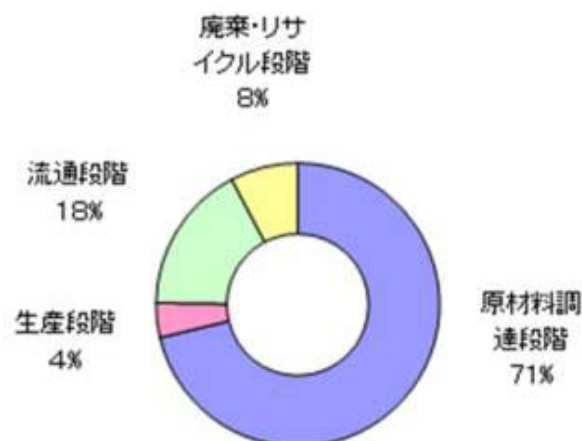


図 2.3.13 CO₂ 排出量の内訳⁵⁾

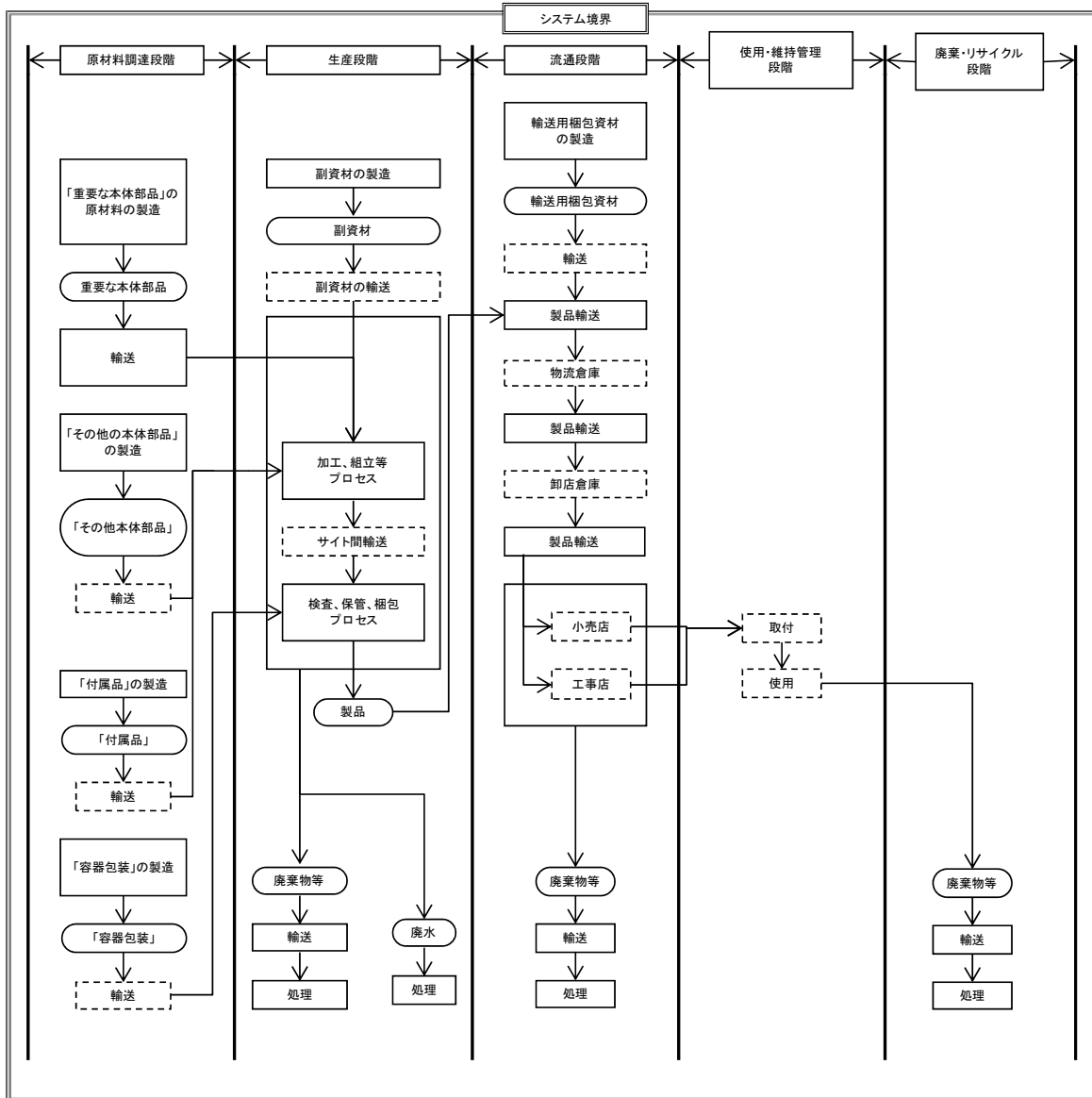
i) カーテンレールおよびブラインド類の PCR

図 2.3.14 に“カーテンレールおよびブラインド類”の PCR の一部を示す⁶⁾。PCR の対象とする商品は、日本標準商品分類においてカーテンレールと日おい、日よけおよびすだれに分類される。カーテンと使用段階にエネルギーを消費する電動のカーテンレールおよびブラインド類は対象としていない。

“カーテンレールおよびブラインド類” Carbon Footprint of Products- Product Category Rule of “Curtain rails, shades and blinds”		
本文書は、社団法人産業環境管理協会が運営管理する「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム」(CFPプログラム)において、「カーテンレールおよびブラインド類」を対象とした CFP の算定・宣言のルールについて定める。		
CFP の算定・宣言を行おうとする事業者等は、本文書および「カーボンフットプリント算定・宣言に関する要求事項」に基づいて、CFP の算定・宣言を行う。		
2013. 2. 18 意見公募版		
No.	項目	内容
1	適用範囲	この CFP-PCR は、CFP プログラムにおいて「カーテンレールおよびブラインド類」を対象とする CFP 算定および CFP 宣言に関する規則、要求事項および指示事項である。 なお、対象製品の関係法令に抵触する内容については、法令順守を優先する。
2	対象とする製品種別の定義	
2-1	製品種別	この CFP-PCR の対象とする「カーテンレールおよびブラインド類」とは、日本標準商品分類において、以下に分類される物品を対象とする。 ・8561 カーテンレール ・857 日おい、日よけおよびすだれ(※) ただし、現時点では、使用段階において、エネルギーを消費する電動のカーテンレールおよびブラインド類は対象外とする。 (※) 857 日おい、日よけおよびすだれについてはカーテンを含まない。
2-2	機能	カーテンレールおよびブラインド類の提供およびその使用
2-3	算定単位 (機能単位)	販売単位とする。
2-4	対象とする構成要素	次の要素を含むものとする。 ・製品(カーテンレールおよびブラインド類本体、付属品、容器包装) 付属品は取付施工用ねじ、取扱説明書や保証書、ステッカー等、常時、添付または同梱されるものとする。 容器包装は、提供先の手元にわたるものとし、個装、内装、外装を問わない。 ・各ライフサイクル段階で使用される輸送用資材、および副資材
3	引用規格および引用 CFP-PCR	次の CFP-PCR を引用する。 ・PA-BB 紙製容器包装(中間財) ・PA-BC プラスチック製容器包装 ・PA-BD 金属製容器包装(中間財) ・PA-BE ガラス製容器(中間財) 以上の容器包装関連 CFP-PCR 4 件をまとめて、以後「容器包装 CFP-PCR」と記述する。

図 2.3.14 カーテンレールおよびブラインド類の PCR (一部)⁶⁾

PCR の附属書 A に示されているライフサイクルフロー図を図 2.3.15 に示す⁶⁾。フロー図には、原材料調達段階、生産段階、流通段階、使用・維持管理段階、そして廃棄・リサイクル段階が示されている。カーテンレールやブラインド類は、取付け時にエネルギーを消費しない、または微小であるため、使用・維持管理段階は、CO₂ 排出量算定の対象外となっている。



※全てのエネルギーおよび水の供給と使用に係るプロセスはフロー図から省略

※このフロー図は工業製品のライフサイクルの概要を示した。特定の製品のCFP算定にあたっては、不要なプロセスを省略する等、実際に利用しているプロセスに沿って算定すること

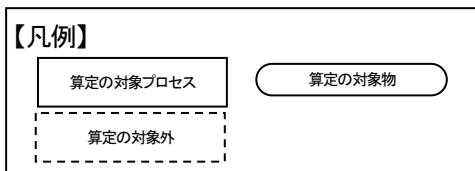


図 2.3.15 ライフサイクルフロー図⁶⁾

ii) カーボンフットプリント算定値推定法

本PCRの特徴にカーボンフットプリント算出値の推定方法がある。附属書Dには規定としてカーテンレールやブラインド類の長さや製品幅、製品高さによる推定方法が示されている。これは、シリーズ商品の括りの中で、回帰式による予測を可能にしており、様々な窓の幅寸法や高さ寸法への対応を容易にしている。

カーテンレールの場合、CO₂排出量はレール長さと相関があり、以下の回帰式で求められる。但し、回帰式から算出した結果が詳細な算出過程から得られた値と±5%以内であることを検証するよう規定されている。レール長さでのCO₂排出量の回帰式を図2.3.16に示す⁶⁾。

$$CO_2 = A \cdot L + B \quad \dots(2.3.1)$$

A, B : シリーズ毎に設定される定数

L : レール長さ (m)

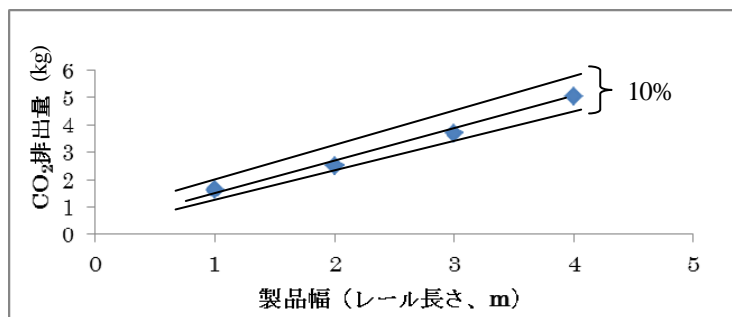


図 2.3.16 レール長さでのCO₂排出量の回帰式⁶⁾

ブラインド類の場合、CO₂排出量は製品幅および製品面積と相関があり、以下の回帰式で求められる。製品幅、製品面積でのCO₂排出量の回帰式を図2.3.17および図2.3.18に示す⁶⁾。

$$CO_2 = A_l \cdot W + B_l \quad \dots(2.3.2)$$

A_l, B_l : シリーズ毎に設定される定数

W : 製品幅 (m)

$$CO_2 = A_w \cdot W \cdot H + B_w \quad \dots(2.3.3)$$

A_w, B_w : シリーズ毎に設定される定数

W : 製品幅 (m)

H : 製品高さ (m)

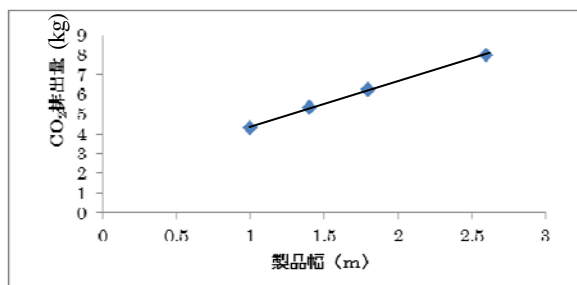


図 2.3.17 製品幅でのCO₂排出量の回帰式²⁾

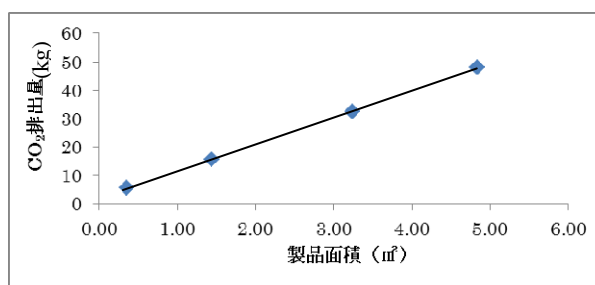


図 2.3.18 製品面積でのCO₂排出量の回帰式⁶⁾

ブラインド類のCO₂排出量は、製品幅から求めた回帰式と製品面積から求めた回帰式の和で算出できる。製品高さでのCO₂排出量の回帰式を図2.3.19に示す⁶⁾。

$$CO_2 = A_l \cdot W + A_w \cdot W \cdot H + B \quad \dots(2.3.4)$$

A_l, A_w, B : シリーズ毎に設定される定数

W : 製品幅 [m]

H : 製品高さ [m]

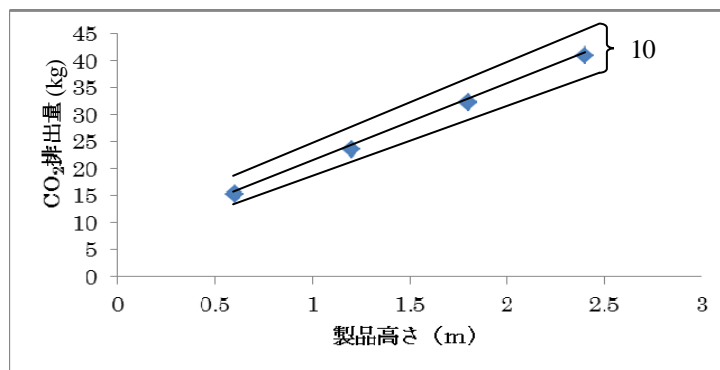


図 2.3.19 製品高さでの CO₂ 排出量の回帰式 (例: 幅 1.8m の場合)⁶⁾

トーソー株式会社におけるカーボンフットプリントへの取組みについて紹介した。企業の生産活動にとっては、CO₂ 排出量の「見える化」により排出量の多い過程を把握し、効率的な削減に取り組むことが可能となる。消費者に対しては、環境負荷の少ない製品を選択する目安を提供することができる。

しかし、ライフサイクルフローの中の使用・維持管理段階は CO₂ 排出量の算定対象外となっている。ブラインドやスクリーンなどの商品の中には、遮熱性や断熱性を高めた付加価値の高い商品が提供されている。これらの商品を LCCO₂ の観点で評価し、開発と普及を促進するには、使用・維持管理段階での暖冷房エネルギーの削減効果を CO₂ 排出量の算定に反映させる必要があると考える。

参考文献

- 1) 商品種別算定基準 (PCR), (認定 PCR 番号: PA-CD-01), 対象製品: 木製製品
- 2) 株式会社デコス HP: <http://www.decos.co.jp/cfp/index.php>
- 3) 一般社団法人 日本サッシ協会: ホームページ, <http://www.jsma.or.jp/Top/tabid/57/Default.aspx>
- 4) 一般社団法人 リビングアメニティ協会: 2012 年版 住宅部品統計ハンドブック, pp.49, 2012.10 月
- 5) トーソー株式会社, 環境への取組み 2011 年度版, 2012.3 月
- 6) トーソー株式会社, カーテンレールおよびブラインド類 PCR, 2013.3 月

第3章

運用時におけるカーボンニュートラル性の評価

3.1 住宅・建築物の評価方法

住宅や建築物（非住宅）の運用時におけるカーボンニュートラル性の評価には、運用時のエネルギー使用に伴う CO₂ 排出以外にも、維持保全に係る CO₂ 排出や耐用年数の問題、緑化による CO₂ の吸収・固定、水使用に伴う CO₂ 排出も本来係ってくる。また、温室効果ガスという括りで言うと CO₂ 以外にも CH₄、NO₂、HFCs、PFCs、SF₆ も対象となる。しかしながら、本節では敷地内（オンサイト）におけるエネルギー使用・創出のみを対象とする。なお、オンサイトだけではカーボンニュートラル化が不十分な場合に他の場所（オフサイト）で CO₂ 排出量削減を図るカーボンオフセットに関しても、2012 年 5 月から環境省による制度が正式に開始している¹⁾。

建物のエネルギー使用は、空調換気設備（暖房・冷房・機械換気）、照明設備、給湯設備、昇降機（エレベータ、エスカレータ等）、及びその他の機器（家電、調理機器、OA 機器等）で生じる。基本的にはこれらの機器全体で使用されるエネルギー使用量の合計を、建物のエネルギー使用量とみなせばよい。ここで、その他の機器の扱いについては、異論の生じる部分であり、特に建物のエネルギー性能を論じる場合にこれを含めるかどうかは議論の余地のあるところである。なぜなら、建築基準法における建築物に建築設備は含まれるが、家電等は含まれないためである。しかしながら、建物内で使用されているエネルギーであることにはかわりは無いこと、冷暖房負荷における内部発熱要因であるので完全に独立に考えることができないこと、また、これらを分離し計量するのは現実的でないという技術的な問題があることなどから、家電等を含めて考えるのが主流になってきているようである。

新築時に、運用時のエネルギー使用量が少ない建物、すなわち、外皮性能が高く高効率の設備を導入した省エネ性に優れた建物を計画することは、ライフサイクルを通して運用時の CO₂ 排出の占める割合が極めて大きいことを考えると重要である。このため、国は新築時や大規模改修時に省エネ性に優れた建物を普及させるために、省エネ基準を設けている。

2013 年 1 月 31 日に、新しい住宅・建築物の省エネ基準が公布されたが（「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（通称：省エネ法）に基づく経済産業省・国土交通省告示「エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準」²⁾。住宅は 2013 年 10 月 1 日より、非住宅は 2013 年 4 月 1 日より施行）、この基準はこれまでの省エネ基準とは全く異なり、住宅・非住宅とも外皮性能に加え、一次エネルギー消費量に関する基準が設けられている。一次エネルギー消費量による評価は、住宅では住宅メーカーに対しての基準（「住宅事業建築主の判断の基準」2009 年告示）で先行して行われていたが、今回の改正で全住宅が対象となるとともに算定方法も見直された。非住宅に関しては、これまで CEC（設備システムエネルギー消費係数）の基準値が、空調、換気、照明、給湯、昇降機それぞれに設けられていたが、これらの「効率」による評価から一次エネルギー消費量自体の評価に変更された。

新しい省エネ基準では、建物用途・室用途・床面積・地域を考慮し算定される「基準一次エネルギー消費量」と、計画されている建物・設備の仕様を考慮し算出された「計算一次エネルギー消費量」を比較し、計算一次エネルギー消費量が基準一次エネルギー消費量を上回らないようにすることを要求している。基準一次エネルギー消費量は基本的には、室用途（例えば事務室等で 19 区分）・地域（8 つの地域区分）・設備（空気調和設備・機械換気設備・照明設備・給湯設備・その他設備等）ごとに床面積当りの原単位（MJ/m²年）が示され、各室の面積を原単位に乘じ合計したものに昇降機の一次エネルギー消費量を加える形になっている。計算一次エネルギー消費量は、室用途ごとに定められる標準的な室用条件（運転時間、設定温度、内部発熱量、外気量）と地域区分ごとに定められる気象情報を用い、個々の設備の効率等も考慮して算出する形となっている（基本的には 1 日当たりのエネルギー消費量に稼働

日数を乗じて個々の機器のエネルギー消費量を計算後合計)。更に、エネルギー利用効率化設備(太陽電池、コージェネレーションシステム)を有している場合は、これによる一次エネルギー消費量の削減量を減ずる。その他設備に関しては、基準一次エネルギー消費量をそのまま用い、その省エネ評価は行わない。計算一次エネルギー消費量を算出するのは複雑であるが、その算定プログラムが Web プログラム(住宅版 <http://house.app.lowenergy.jp/>、非住宅版 <http://building.app.lowenergy.jp/>)として提供されている。計算法の詳細は建築研究所ホームページ³⁾を参照されたい。

省エネ基準は現行では省エネ措置の届出義務に過ぎないが、国は 2020 年までに、標準的な新築住宅で ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)の、新築公共建築物等で ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の実現を目指しており、2020 年までにすべての新築建築物に対して省エネ基準の適合義務化を進める方針を示している。なお、省エネ基準の改正に先立ち、「都市の低炭素化の促進に関する法律」(2012 年 9 月 5 日公布、2012 年 12 月 4 日施行)に基づき、既に低炭素建築物認定制度が開始しているが、その基準値(低炭素基準⁴⁾)は省エネ基準における基準一次エネルギー消費量の 9 割に設定されている(家電等のエネルギー消費量を除く)。

上記で述べたのは、新築や大規模改修時における省エネ基準であり、運用時のエネルギー使用量を計画時に推定して基準値と比較する形になっている。実際の運用時のエネルギー使用に関しては実績値を国に届け出る義務が特定事業者(事業者全体のエネルギー使用量が原油換算で 1,500kL/年以上の事業者)に課せられている。特定事業者には「地球温暖化対策の推進に関する法律」(通称:温対法)に基づき、温室効果ガス排出量の報告義務も課せられている。以上は国の規制であるが、自治体によっては独自の規制を設けているところもある。なお、企業が自主的にエネルギー管理を行う仕組みを規定した国際規格に ISO 50001「エネルギーマネジメントシステム」並びに関連規格があり、認証制度も開始している。

運用時の CO₂ 排出量に関しては、現在、ISO/TC 59/SC 17/WG 4 で日本が幹事国として、

ISO 16745-1 Environmental performance of buildings - Carbon metric of building - Part 1: in-use stage という国際規格を提案し、審議が行われている⁵⁾。これは既存建物を主たる対象とし、各エネルギー源の消費量実績値をもとに CO₂ 排出量を算定・表示する手順を規定したものである。基本的には、TC 163 & TC 205 JWG で現在作成中の下記の 4 つの規格が normative reference となっており基本的な計算法はこちらを参照することになっている。

ISO 12655, Energy Performance of Buildings - Presentation of real energy use of buildings

ISO 16343, Energy Performance of Buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings

ISO/TR 16344, Energy performance of buildings - Common terms, definitions and symbols for the overall energy performance ration and certification

ISO 16346, Energy performance of buildings - Assessment of overall energy performance

参考文献

- 1) 環境省カーボンオフセット制度(<http://www.jcs.go.jp/>), 2012.
- 2) 経済産業省・国土交通省告示: エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準, 2013.
- 3) 独立行政法人建築研究所: 住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報(<http://www.kenken.go.jp/becc/>), 2012.

- 4) 経済産業省・国土交通省告示：建築物に係るエネルギーの使用の合理化の一層の促進その他の建築物の低炭素化の促進のために誘導すべき基準，2013.
- 5) 野城智也・秋元孝之・遠藤純子：建築のカーボンメトリック（CO₂ 排出量測定法）に関するワークショップ(2012-06-26)資料，建築・住宅国際機構，2012.

3.2 建築物・都市への影響評価方法

(1) 建築物・都市の表面熱収支の計算方法

カーボンニュートラル建材により，建築物や都市の地盤の表面温度上昇を抑制することは，1) 直接的に建物への貫流熱負荷を低減する効果（建築物への影響）と，2) 外気温を低下させる効果(都市への影響)，の2点が挙げられる．後者は，間接的に建築物の外気負荷の軽減にもつながる．

これらの効果を数値解析により予測するためには，(3.2.1)～(3.2.3)式に示す建築物や地盤の表面熱収支を解くことで，その表面温度を計算する．ここでは，建物外表面および地表への流入を正，流出を負としている．建材の違いは，日射取得エネルギーを与える際の日射反射率，長波放射取得エネルギーを与える際の長波放射率，及び蒸発効率等に反映される．

$$S + R + H + L \cdot E + C = 0 \quad (3.2.1)$$

$$H = \alpha_c (T_a - T_w) \quad (3.2.2)$$

$$L \cdot E = L \cdot \alpha_w \beta (f_a - f_w) \quad (3.2.3)$$

S : 日射(短波放射)取得エネルギー (W/m²)

R : 長波放射取得エネルギー (W/m²)

H : 対流熱伝達量 (W/m²)

$L \cdot E$: 蒸発潜熱量 (W/m²)

C : 建物内部，地中への伝導熱量 (W/m²)

α_c : 対流熱伝達率 (W/m²K)

T_a : 表面近傍の外気温度 (K)

T_w : 表面温度 (K)

L : 水の蒸発潜熱 (J/kg)

E : 水分蒸発量 (kg/s)

α_w : 湿気伝達率 (kg/m²skPa) ($\alpha_w = 7.0 \times 10^{-6} \alpha_c$)

β : 蒸発効率 (-)

f_a : 空気の水蒸気分圧 (kPa)

f_w : 地表面，建物外表面の飽和水蒸気圧 (kPa)

精緻に解析を行うためには，表面熱収支を構成する各熱フラックス (S , R , H , $L \cdot E$) は，3次元のCFD解析や放射熱伝達解析等により与え，伝導熱量 (C) は，建物躯体や土壌の蓄熱効果を考慮できる非定常熱伝導方程式により算出する．しかし，計算負荷の関係上，建築物への影響を評価する場合は，前者の各熱フラックス (S , R , H , $L \cdot E$) を，3次元解析を行わずに簡易に標準気象データ等から与え，都市への影響を評価する場合は，後者の伝導熱量 (C) を，特定の1時刻のみの定常状態を仮定した熱貫流量から与える，といった簡易化が行われるのが一般的である．

建築物への影響を評価する場合，躯体の蓄熱効果を考慮した年間熱負荷計算が実施されることが多い．この場合は，(3.2.1)式の伝導熱量 (C) は，(3.2.4)式に示す非定常1次元熱伝導方程式で評価され，それにより求まる建物躯体内部，建物内外の表面温度等の各所の温度のうち，室内側の表面温度から，貫流熱負荷が算出される．ここでは，建材の違いは，熱伝導率，比熱，密度に反映される．

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (3.2.4)$$

λ : 熱伝導率 (W/mK)
 c : 比熱 (J/kgK)
 ρ : 密度 (kg/m³)
 t : 時間

都市への影響を評価する場合は、屋外の大気、放射などの詳細な3次元的な分布の予測が重要となることが多い。そのため、特定の1時刻のみの定常解析を前提とし、土壌や建物壁体内などの固体内の熱伝熱量 (C) は、(3.2.5)式のような熱貫流率により表される簡易な評価式が用いられることが多い。ここでは、建材の違いは、熱貫流率に反映される。

$$C = k \cdot (T_i - T_w) \quad (3.2.5)$$

k : 熱貫流率 (W/m²K)
 T_i : 躯体内部温度 (K)

(2) 緑化に関する解析事例

緑化について、外構の樹木と建物の緑化の事例をそれぞれ紹介する。

図 3.2.1 は、東京都内某所のビルに囲まれ、アスファルトによりおおわれた空間において、樹木の緑陰による屋外の暑熱環境緩和効果を検証した事例である¹⁾。日射を含む放射解析により、高さの違う樹木を配置した2種類の改善案(①樹高10m、②樹高20m、いずれも20本)が、アスファルト舗装面の表面温度に及ぼす影響を予測している。

改善案①では、樹木下の表面温度がアスファルトに比べ 15°C 下がっており、さらに改善案②では、緑陰が連続することで緑陰面積がアスファルト範囲の約 80% となり、地表面だけでなく建物立面にも緑陰を形成している。

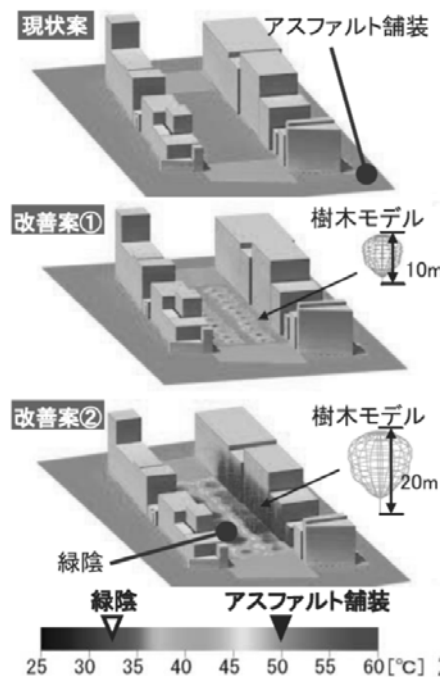


図 3.2.1 樹木の評価例

図 3.2.2 は、福岡市中心部に立地し、ほぼ全面が芝地の公園と河川に隣接する、階段状の緑化屋根 (ステップガーデン) を有する建物において、屋上緑化による建物周辺の温熱環境改善効果を検証した事例である²⁾。CFD 解析を用いて、ステップガーデンを緑化した状態と緑化しない状態の、建物周辺の気温分布を予測している。CFD 解析の計算条件となる、建物や道路等の各表面の温度と表面からの熱フラックスは、表面材料別の 1 次元熱収支計算により算出しており、ステップガーデンを緑化しない場合の屋上には、コンクリートからの発熱を与えている。気象条件は、夏期日中 (8 月 1 日晴天時) の 12 時を想定している。

ステップガーデンを緑化することにより、緑化しない場合に比べ、ステップガーデン及び前面の公園に低温域が広がり、建物周辺の気温が低減されていることが分かる。

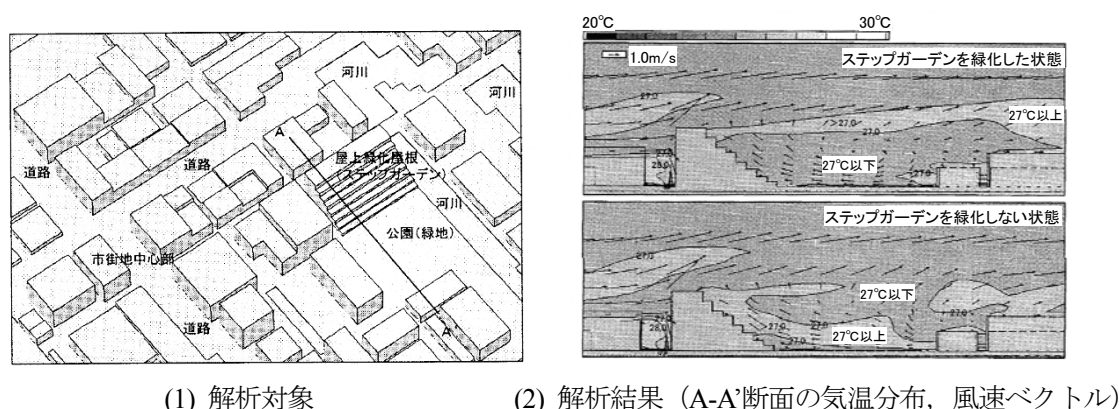


図 3.2.2 建物緑化の評価例

(3) 保水性建材に関する解析事例

保水性建材の事例として、保水性舗装の事例を紹介する。

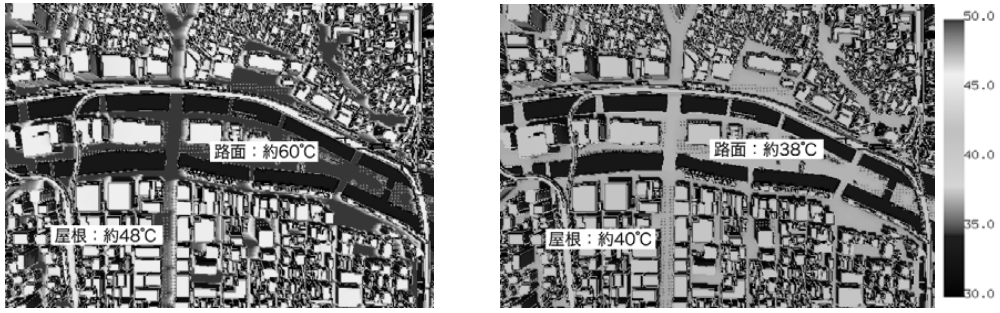
図 3.2.3 は大阪市中央部で 2 つの河川を含む市街地を対象とし、保水性舗装と屋上緑化により解析領域全体 (東西 1.88km, 南北 1.58km) を湿潤化した場合の気温低減効果を検証した事例である³⁾。放射解析による表面温度の予測と、CFD 解析による気温の予測を行っている。気象条件は、大阪の典型的な夏季晴天時を想定している。

道路表面温度は、現況の 60°C から保水性舗装後に 38°C となり、約 22°C 低下している。また、現況の場合に、風通しが悪い通りで 33~34°C 程度であった気温が、湿潤化後には 32~33°C となり、約 1°C 程度、気温が低下している。

(4) 高反射建材に関する解析事例

図 3.2.4 は、東京都内の 2 つの河川に挟まれた住宅団地を対象に、建物の高反射塗装、及び団地内道路の高反射舗装による屋外温熱環境の改善効果を検証した事例である⁴⁾。CFD・放射連成解析による気温分布の予測を行っている。気象条件は、7 月 23 日夏期 14 時の快晴時を想定している。

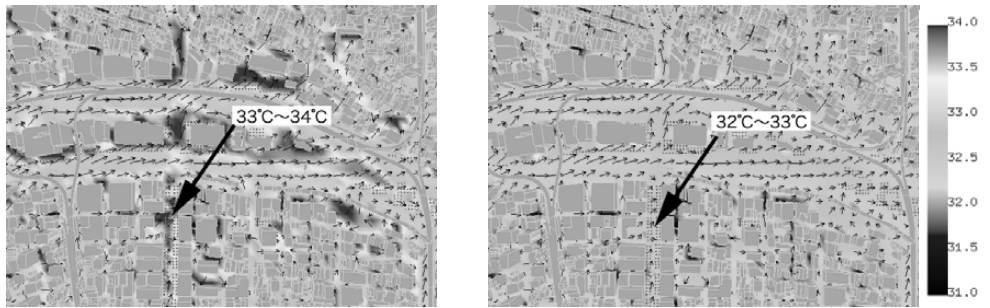
対策の無い場合の気温は、日陰で 30~33°C、南西からの日射が当たり、かつ南東からの風が通り難い部分で 36°C 以上となっている。建物の屋上面と側壁面を高反射塗装した場合は、中庭の東側とその北側にかけての部分で 0.4°C 以上の気温の低下が見られる。道路を高反射舗装とした場合は、中庭の東側や西側住棟の西で最大 2°C 以上の気温の低下が見られる。



(a) 現況

(b) 湿潤化後

(1) 表面温度分布 (°C)



(a) 現況

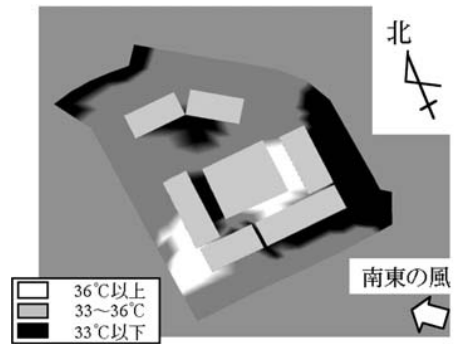
(b) 湿潤化後

(2) 気温 (°C)・風速ベクトル分布 (地上1.5m)

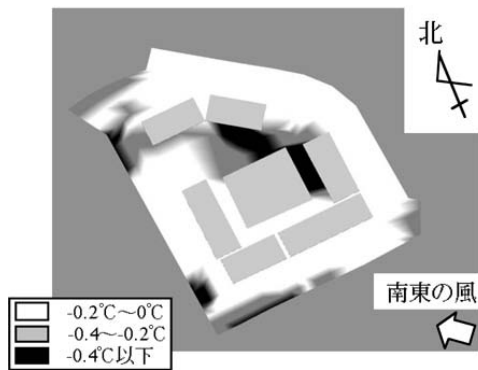
図 3.2.3 保水性舗装の評価例



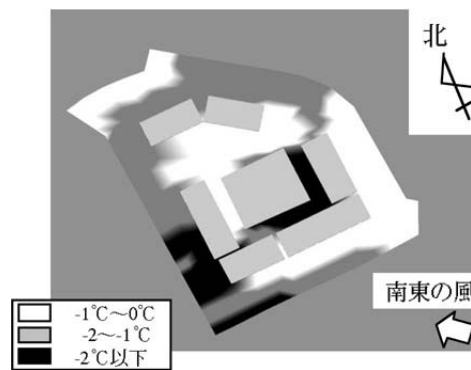
(1) 解析対象



(2) 気温分布(対策無し)(地上1.5m)



(3) 建物高反射による気温低下(地上1.5m)



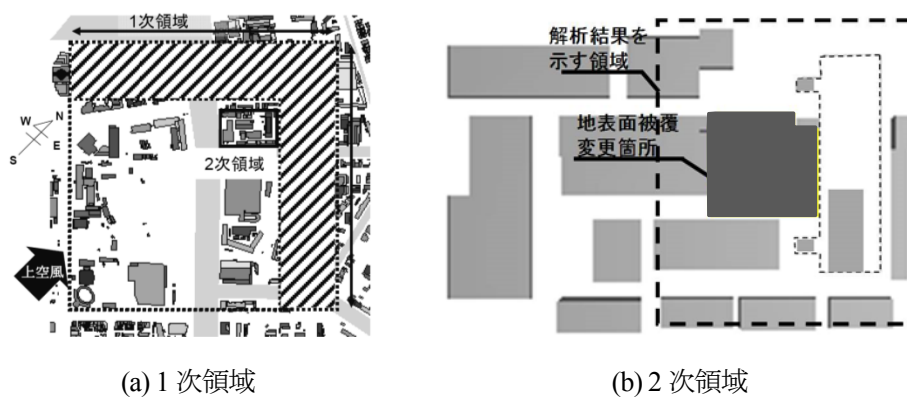
(4) 道路高反射による気温の低下(地上1.5m)

図 3.2.4 建物の高反射塗装と道路の高反射舗装の評価例

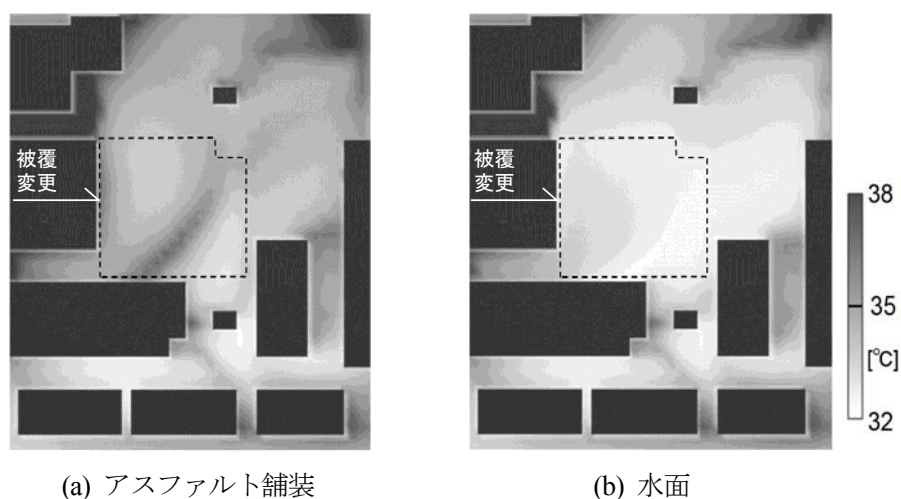
(5) 水（水面）に関する解析事例

図 3.2.5 は、東京都の沿岸部に位置する事業所内の 40m×40m の中庭空間及びその周辺街区を対象に、水面による気温低減効果を検証した事例である⁵⁾。中庭がアスファルト舗装の場合と、水面の場合の気温分布を、CFD・放射連成解析により予測している。広領域（1次領域）を対象とした解析を行い、1次領域の結果を境界条件として、2次領域で非定常熱収支解析と流体解析を行っている。1次領域の斜線部分は、計算安定性のために設置された建物を設けない領域である。非定常解析は、2007年8月8日0時～8月9日24時を対象とし、室内側を26℃と想定した室内への貫流熱量も解析され、空調排熱として屋外解析にフィードバックされている。最終的には、非定常解析期間のうち、8月9日12時を対象として流体解析を行い、屋外環境の評価としている。なお、着目する水面については、熱収支は解かず実測値を与えている。

中庭がアスファルトの場合に比べ、水面の場合には、当該部分で約1～1.5℃程度気温が低くなり、冷気が風下に輸送されている。



(1) 解析対象



(2) 気温の水平分布(高さ 1.6m)

図 3.2.5 水面の評価例

(6) 各種カーボンニュートラル建材の複合効果の評価事例

図 3.2.6 は、ある仮想の計画建物において、多様なカーボンニュートラル建材を同時に採用した場合の、複合的な屋外環境の改善効果を検証した事例である⁶⁾。建物の屋上をコンクリート、外構をアスフ

アルトとした環境配慮の無い場合と、各種カーボンニュートラル建材を採用し環境配慮を行った場合の、表面温度の差異を放射解析により予測している。採用されている建材は、建物の保水性建材、高反射塗装、屋上と壁面の緑化、外構部分の植樹と保水性舗装、及びそこへの散水、さらにミスト散水による冷却である。

屋上面がコンクリートの場合、表面温度が 60℃を超えているのに対し、屋上緑化・保水性建材により、38℃程度まで低減できている。また、外構部分もアスファルトの場合に 55℃程度であるのに対し、保水性舗装により 38℃程度になっており、さらに樹木による緑陰部分では、35℃程度にまで低減できている。

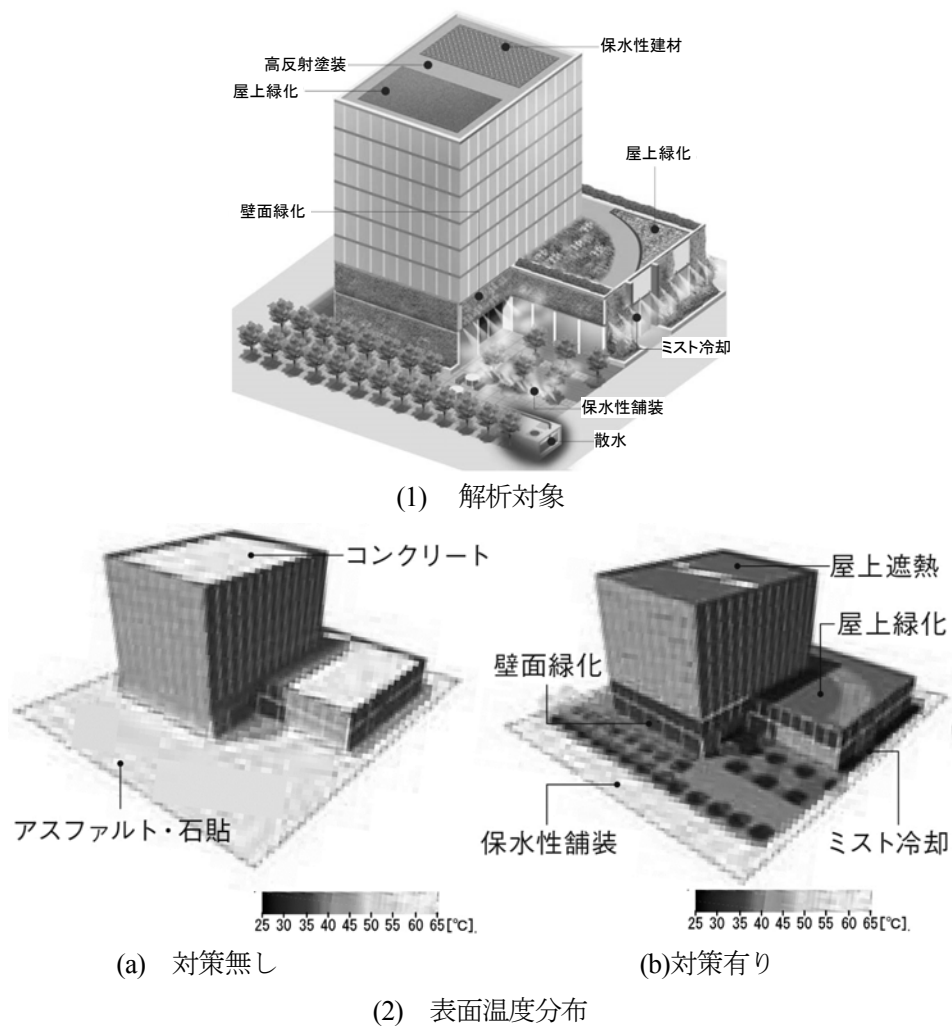


図 3.2.6 複合評価事例

(7) 温熱快適性評価

a. 温熱快適性に関して

各種の技術が導入された際の屋外温熱環境に与える影響を評価する指標の一つに温熱快適性がある。温熱快適性は体感温度の指標の一つである SET*（標準新有効温度，Standard New Effective Temperature）等を用いて表現され、気温だけではなく、湿度や風、日射等の放射熱の影響を受けるものである。体感温度に影響を及ぼす要素を図 3.2.7⁷⁾ に示す。気温、湿度、風速、放射温度が周辺温熱環境の要素、活動量、着衣量が人体側の要素となる。

本項では各技術の効果として、数値解析を用いた予測や実測調査による実態把握により環境要素を把握し、温熱環境を評価した事例を紹介する。



図 3.2.7 体感温度に影響する主な要因

b. 数値解析による温熱快適性評価事例

数値解析を用いることで対策前後の環境の変化を予測することができる。

緑化の有無の評価事例を図 3.2.8 に示す⁸⁾。この事例では、実在の学校の校庭の芝生化が夏季の屋外温熱環境に与える影響を風向別に予測している。結果を見ると、芝生化によって SET*が下がり、夏季の温熱環境が改善される範囲は風向によって異なるが、南寄りの風が吹く場合は芝生化により SET*が局所的に 1°C 程度低くなる傾向が見られる。

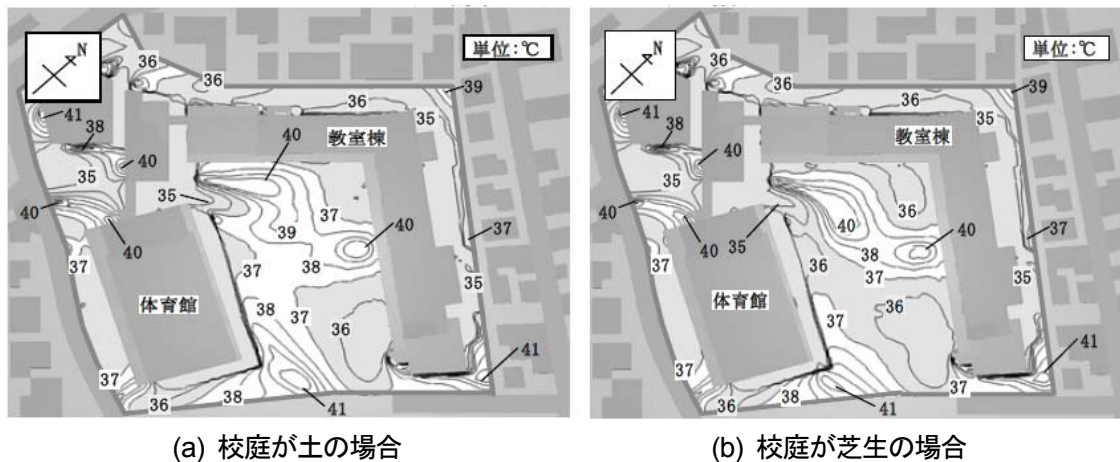


図 3.2.8 校庭 (GL+0.6m) の SET*の比較 (南西風 (GL+15.8m) の場合)

次に開発計画前後の環境変化の予測・評価事例を図 3.2.9 に示す⁹⁾。建物の建替プロジェクトを想定した事例であり、高層化による風通しの配慮、屋上緑化及び空地緑化、樹木による日陰の形成、が夏季の屋外温熱環境改善効果に及ぼす影響を検討している。結果を見ると、緑化に伴う湿度上昇による体感温度の上昇よりも、空地確保による風通しへの配慮と芝や樹木を用いた緑化による、気流速度の改善や、気温の低下、放射温度の低下の効果が大きく、SET*が低下し対策案の効果が期待できる結果となっている。

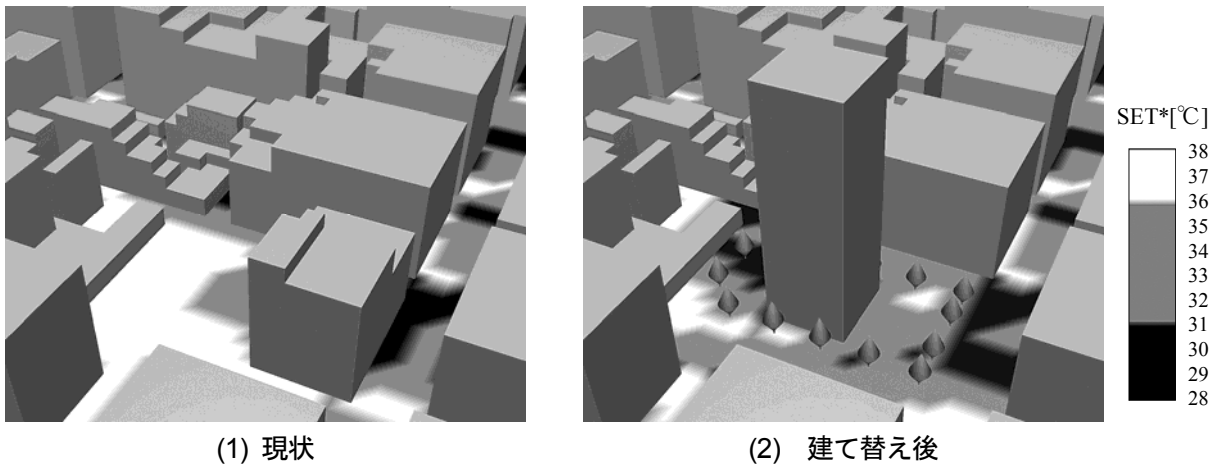


図 3.2.9 SET*の比較

c. 実測調査による温熱快適性評価事例

実測調査では図 3.2.10¹⁰⁾ に示すような機材を用いることで気温、湿度、風速、放射温度の環境 4 要素を計測し、体感温度等を算出することで実際に形成されている温熱環境を評価する。

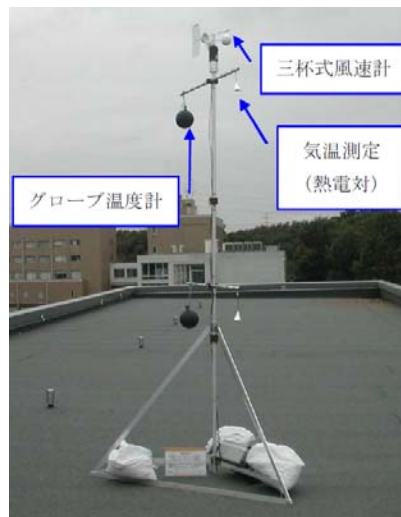
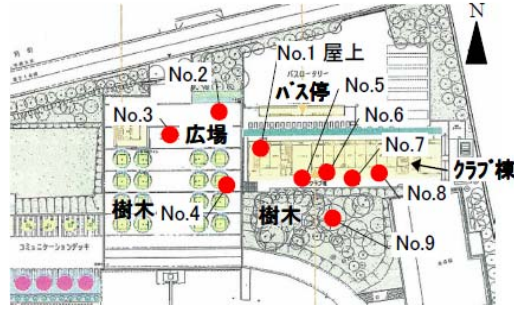


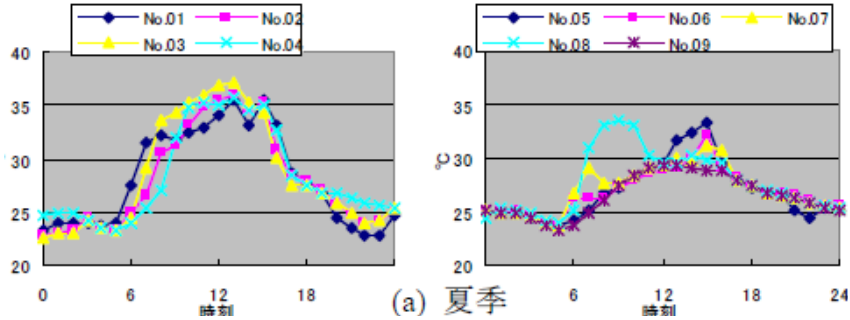
図 3.2.10 観測機器例

図 3.2.11 に大学のキャンパス内のクラブ棟を対象に、寒暑の程度と建物や樹木との関係性を評価した事例を示す¹⁰⁾。結果を見ると、夏季は日射の影響が大きく現れており、日中の広場やピロティの日向部分 (No.2~04) の SET*が高い。

人工地盤上に作られた大規模緑地内及びその周辺での温熱環境の計測例を図 3.2.12 に示す¹¹⁾。夏季の朝晩は半開放空間で、日中は緑陰で SET*の値が低く、温熱的に最も快適である。一方、冬季は時間変化が大きく、日の当たる日中は半開放空間が SET*の値が高く、暖かく快適である。緑陰は落葉しているものの枝が密であり、日が遮られるため SET*の値が半開放空間に比べ大幅に低くなっている。

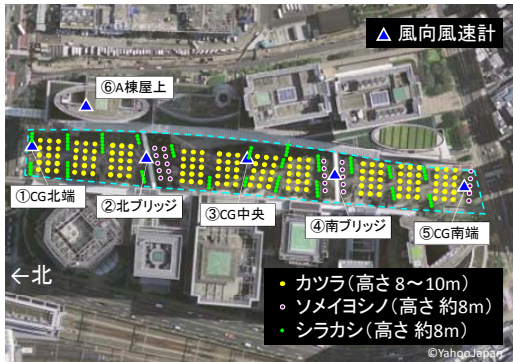


(1) 測定点とクラブ棟レイアウト

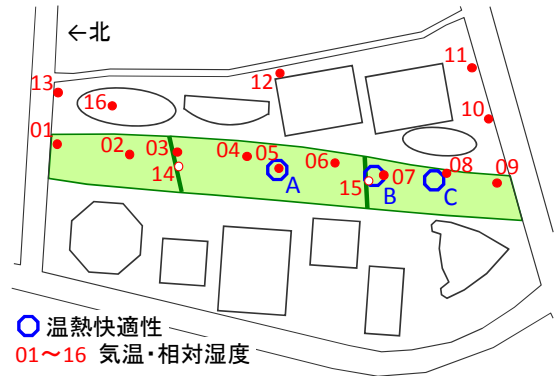


(2) SET*の日変化 (夏季)

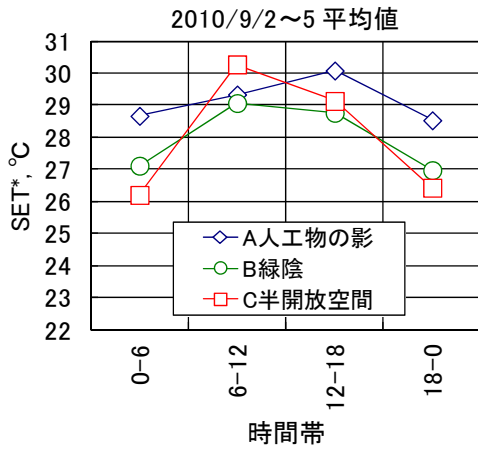
図 3.2.11 大学キャンパス内での測定例



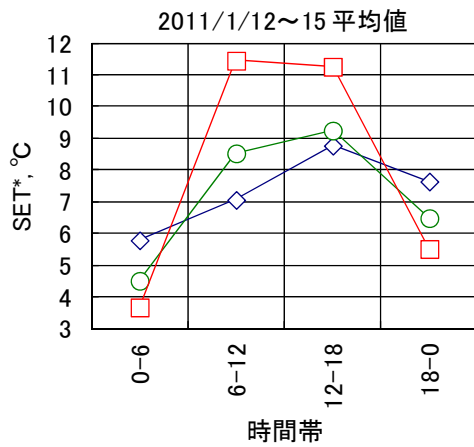
(1) 測定領域



(2) 快適性評価測定地点



(a) 夏季



(b) 冬季

(3) 時間帯別の SET* (4 日間の平均値)

図 3.2.12 大規模ガーデンでの測定例

屋上公園内の2つのエリア（周囲に遮蔽物のない地点①，周囲を緑地に囲まれた地点④）において快適性指標と平均滞留時間の比較を行った結果を図 3.2.13 に示す¹²⁾。SET*が高い，すなわち夏季の温熱快適性が悪い条件下ではあまり滞留せず，訪問してもすぐに屋内に入ってしまうことが伺える。両者の関係には明確な負の相関が見られた。図 3.2.14 は図 3.2.12 に示した SET*と滞留者数，及び平均滞留時間の関係について時間変化を示したものである。SET*の低下とともに，滞留者数が地点①と④で逆転し，夕方に近づくにつれ緑陰（地点④）から解放空間（地点①）へと滞留場所が移動していることが伺える。

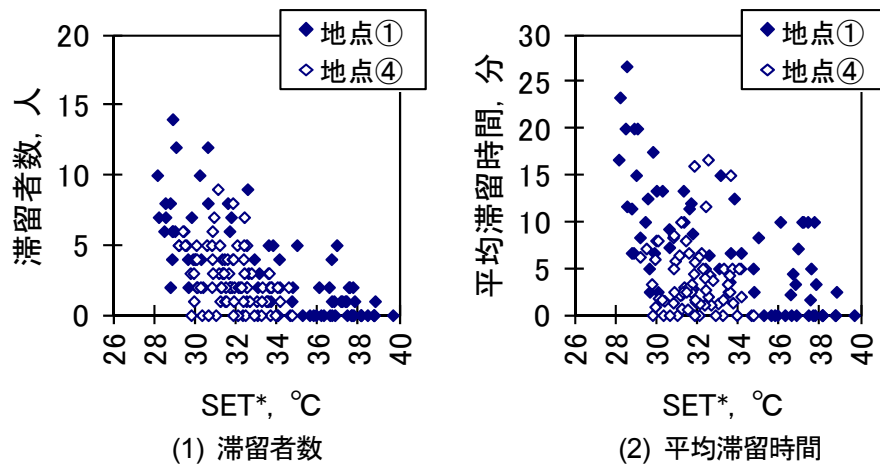


図 3.2.13 晴天日の SET*と滞留者数，平均滞留時間との関係

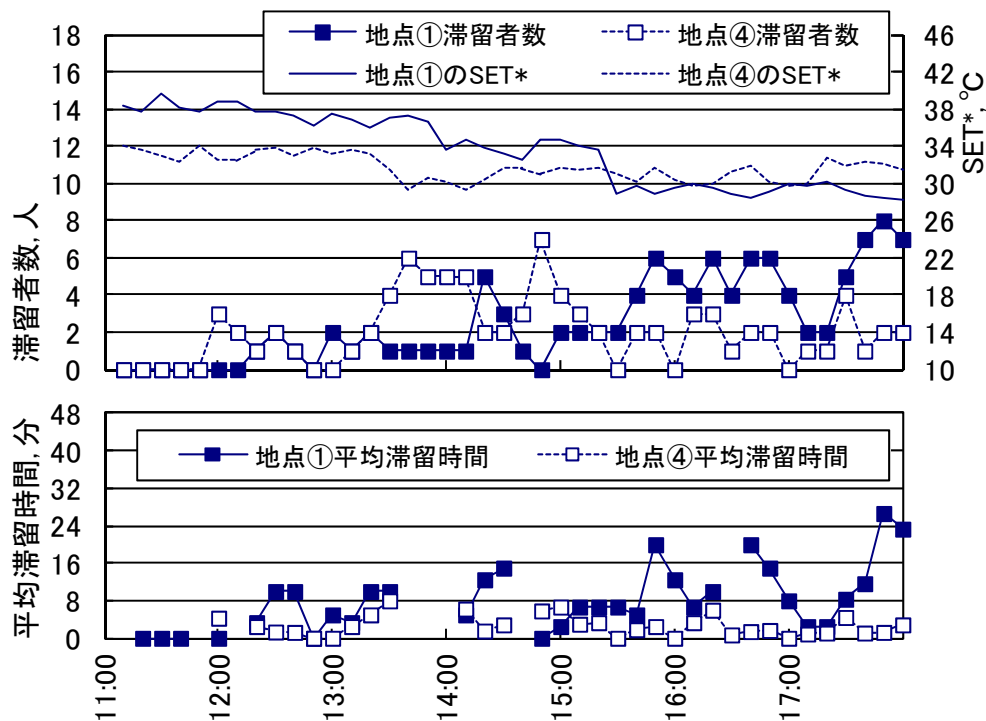


図 3.2.14 晴天日の SET*と滞留者数，平均滞留時間との関係

次に屋外オフィス空間における測定を通じ，種々の日射遮蔽物の影響を検討した例を図 3.2.15，表 3.2.1 に示す¹³⁾。いずれの日除け下では日除け無に比べて SET*が低下しているが，夏季では 30°C を超

え、温熱的に厳しい環境が形成されている。一方、中間期の日除け下ではほぼ 20-30°Cの範囲にあり、屋外オフィスとして許容できる環境に近づいたと考えられる。ただし、日除けの表面色や設置高さなどの諸条件が日除けごとに異なっており、条件を揃えた比較検証では異なる結果となることが考えられる。

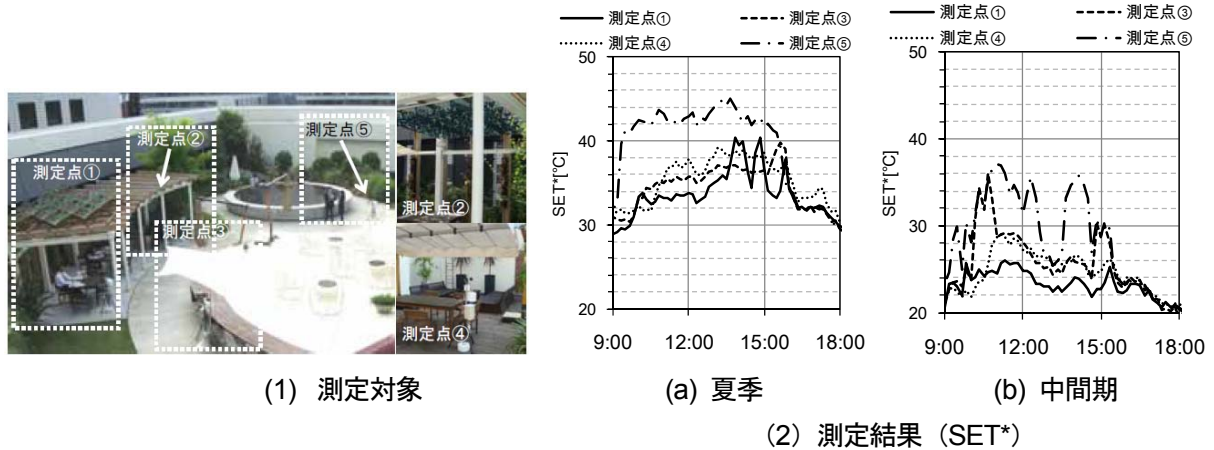


図 3.2.15 屋外オフィスにおける測定例

表 3.2.1 測定点の概要

測定点	名称	日除けの通気性	素材	表面色
測定点①	特殊形状日除け ²⁾	通気性有	塩ビ	4色混合
測定点②			布	濃緑色
測定点③	膜日除け	通気性無	テント膜	白色
測定点④				乳白色
測定点⑤	日射遮蔽無	地表面:コンクリート		

最後に対策技術の評価として、微細ミストの効果の評価した事例を図 3.2.16¹⁴⁾に、湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果について検討した測定例を図 3.2.17 に示す¹⁵⁾。図 3.2.16 を見ると、絶対値ではミスト噴霧時の方が SET*の値が高く、温熱環境が悪化しているように見えるが、外部の SET*と比較するとその低下量は噴霧時の方が大きく、SET*の低下量で判断するとミスト噴霧時の暑熱緩和効果が大きいものと考えられる。図 3.2.17 は天然芝、密粒度アスファルト、湿潤舗装、遮熱舗装上で環境要素を計測することで温熱環境の違いを比較している。結果を見ると、地上 50cm の高さでの評価では、日射反射の大きい遮熱塗料が最も高く、他の地表被覆に比べて日中、2.5-3°C高くなっている。

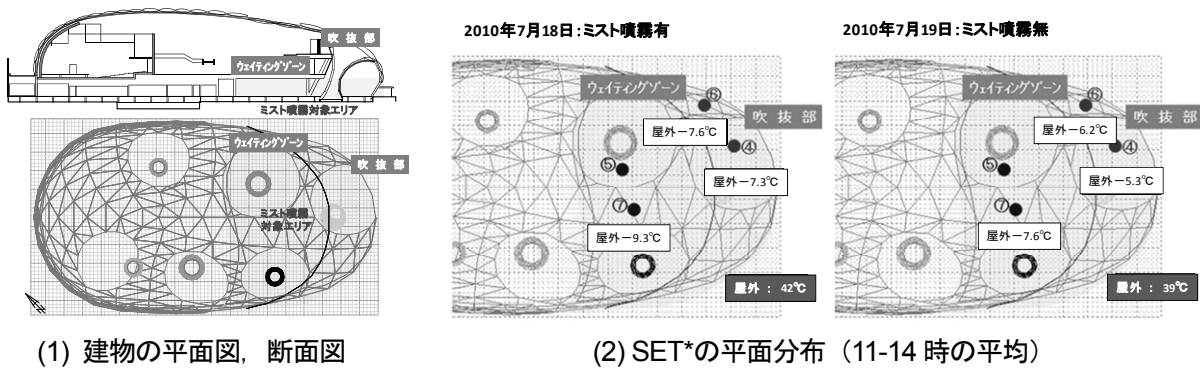
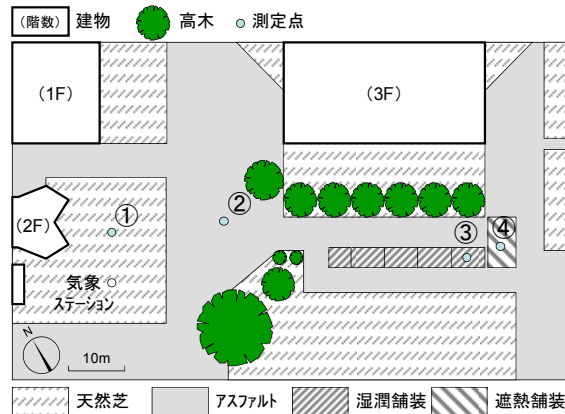
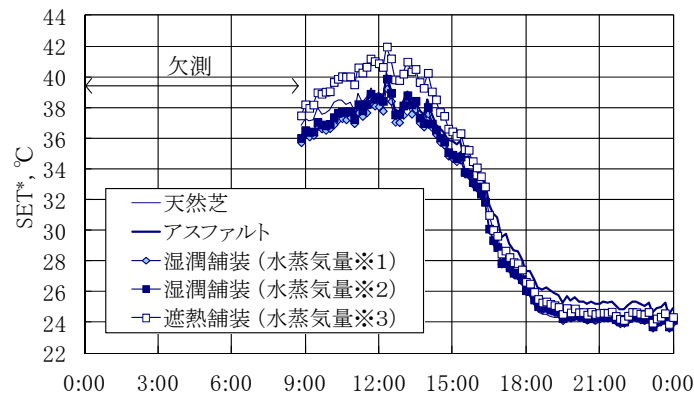


図 3.2.16 微細ミストの暑熱緩和効果の検討



(1) 測定地点を含む敷地の平面図

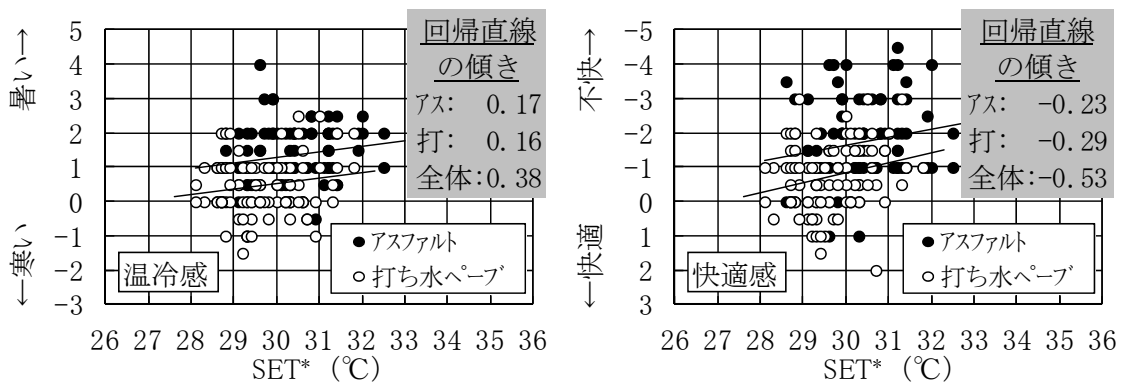


(2) SET*の経時変化 (8/18)

図 3.2.17 湿潤舗装・遮熱舗装上での測定結果

d. アンケート調査による温熱快適性評価事例

以下では実際に被験者実験による評価事例を紹介する。被験者へのアンケート調査は主に実測調査と同時行われ、回答結果と SET*の比較等が行われる。例として、図 3.2.17 に示した各種土地被覆上で被験者実験の結果を図 3.2.18 に示す¹⁶⁾。図では温冷感、快適感と SET*を比較しており、どちらもアスファルト上と湿潤舗装上での分布域の違いが明確で、SET*が高くなるにつれ申告値が「暑い」、及び「不快」側へ移動することが分かる。



(1) SET*と温冷感

(2) SET*と快適感

図 3.2.18 SET*と申告値変化 (実測開始時基準) の関係

図 3.2.19, 3.2.20 は屋外アメニティ空間において、実測調査とともに利用時間、アンケート調査を実施した例である^{17), 18)}。図 3.2.19 を見ると全地点で“快適”“やや快適”の回答者が過半数以上となっている。但し，“快適”と答える割合には地点によって差が見られ、空間構成や温熱環境により快適感に差が生じたことが考えられる。図 3.2.20 は夏季のアンケート評価別の各パラメータと利用時間の関係を示したものである。SET*は外気温に比べるとばらつきが少なく、利用時間との間に負の相関が見られる。また、各申告の中で最も利用時間の長いサンプルに着目すると，“快適” > “やや快適” > “普通” > “やや不快”の順に利用時間が短くなっており、利用時間が快適感に左右されることが示唆される。

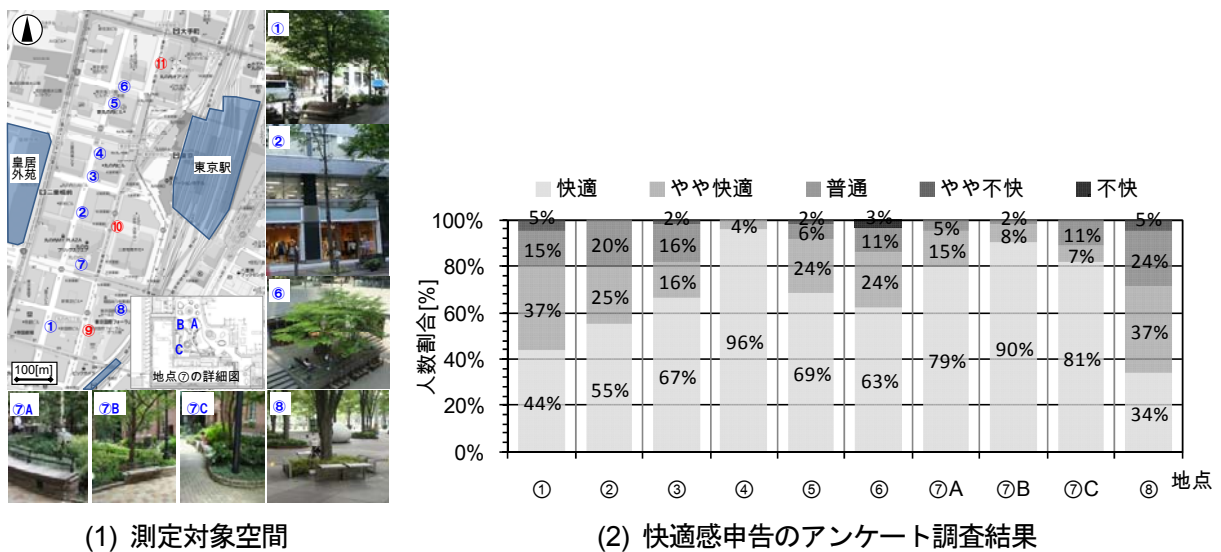


図 3.2.19 夏季のアンケート調査結果

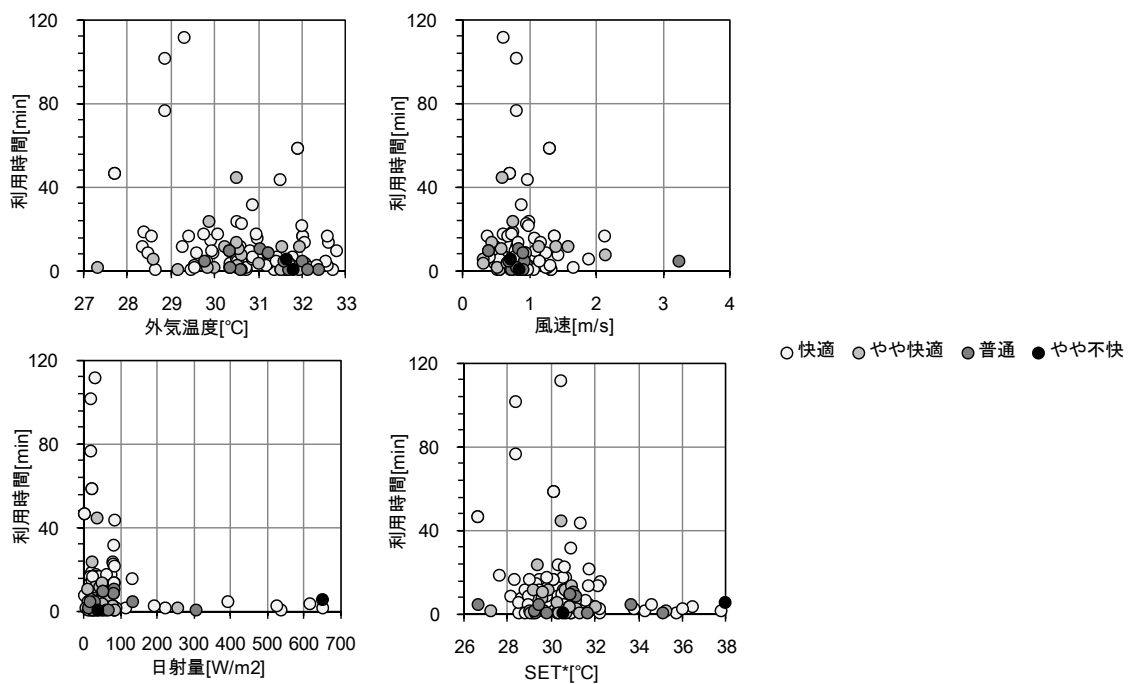


図 3.2.20 アンケート評価別の各パラメータと利用時間の関係

敷地内に作られた水面を有するビオトープ内及びその周辺で実測調査，及びアンケート調査を行った事例を図 3.2.21 に示す^{19), 20)}。アンケートの申告値を見ると，時間帯 1, 2 では日射が直接当たる「アスファルト」，「緑地」の快適性が非常に悪いが，時間帯 3 では「緑地」は樹陰となることで，「アスファルト」は風の影響が強くなることで他の地点とほぼ同程度の値を示している。

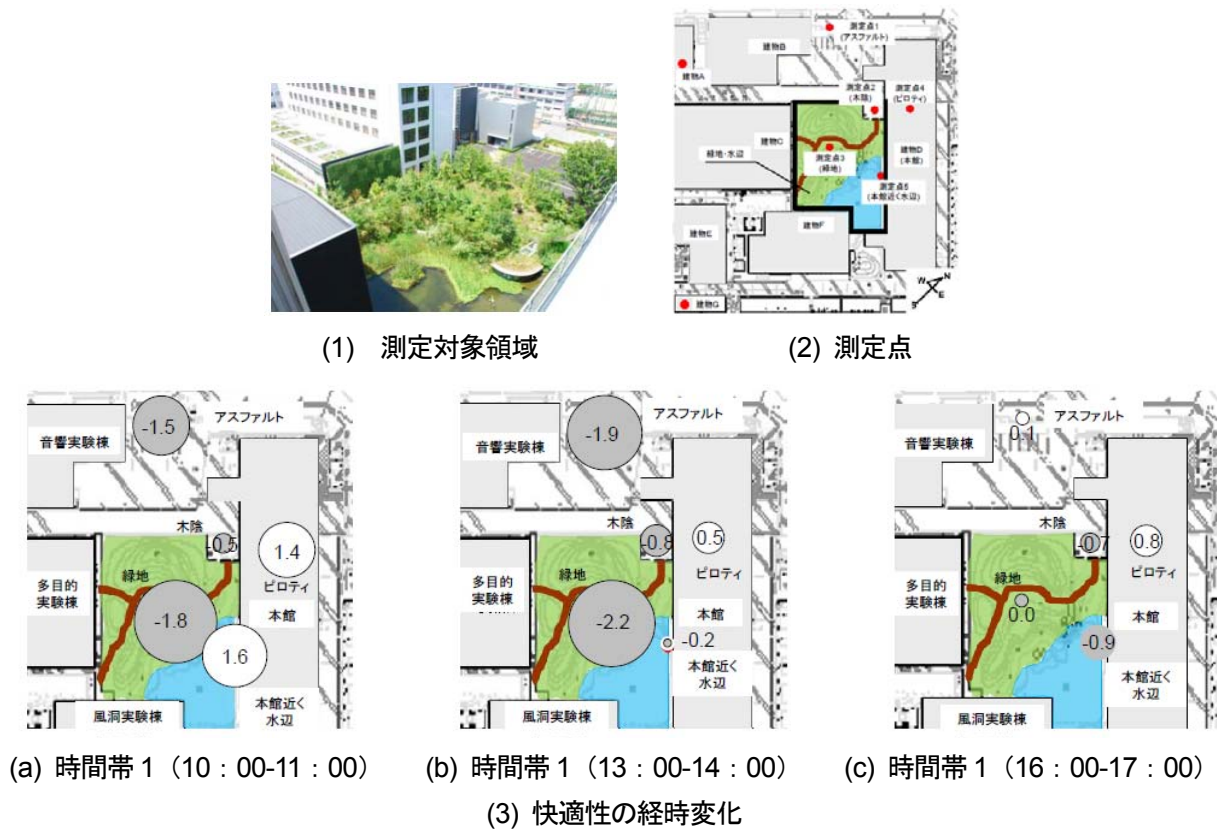


図 3.2.21 ビオトープ周りの被験者実験

参考文献

- 1) 安藤他：街路空間の温熱環境評価に関する研究，竹中技術研究報告，No.66，2010
- 2) 三坂他：環境共生設計のための屋外熱環境予測システムの開発，日本建築学会技術報告集，第 13 号，151-154，2001
- 3) 片岡他：数値都市気候モデル「Appias(アッピアス)®」の開発，大林組技術研究所報，No.73，2009
- 4) 大黒他：建築・設備から見たヒートアイランド対策技術とその評価，大成建設技術センター報，第 37 号，2004
- 5) 熊谷他：地表面被覆の変更がもたらす各気象要素の変化に伴う人体熱収支変化に着目した屋外空間の温熱快適性の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，849-850，2010
- 6) 大野他：屋外温熱環境改善システム BREEZA SYSTEM，建築設備士，34-38，2012
- 7) 高木賢二他：鹿島都市気候評価システム：KaUCES を用いた屋外風・温熱環境評価，鹿島技術研究所年報，第 59 号，pp.145-154，2011.9
- 8) 梅田和彦他：芝生の校庭による校内の暑熱環境の緩和に関する CFD 解析による検討，日本建築学会環境系論文集，第 608 号，pp.9-15，2006.10
- 9) 大黒雅之，森川泰成：街区及び敷地レベルを対象としたヒートアイランド解析評価システムの開

- 発, 大成建設技術センター報, 第 38 号, pp.14 - 1-14 - 6, 2005
- 10) 近藤宏二他: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その 2 大学キャンパスの実測値に基づく評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.979-980, 2007.8
 - 11) 赤川宏幸他: 人工地盤上の大規模都市緑地における微気候環境と生物相の評価, 大林組技術研究所報, No.75, pp.1-10, 2011
 - 12) 赤川宏幸他: 大規模商業施設屋上庭園における夏季の温熱環境と訪問者の滞留特性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 611 号, pp.67-74, 2007.1
 - 13) 安藤邦明他: 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その 1 屋外オフィスにおける日除けを対象とした温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.815-816, 2011.8
 - 14) 三坂育正他: 微細ミストによる暑熱緩和効果に関する研究 (第 2 報) 半屋外の実空間への適用と効果評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演梗概集, pp.1063-1066, 2011.9
 - 15) 赤川宏幸他: 湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 623 号, pp.85-91, 2008.1
 - 16) 赤川宏幸, 小宮英孝: 蒸発冷却を利用した舗装システムの開発 その 3 被験者実験による温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.387-388, 2000.9
 - 17) 三坂育正他: 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その 2 屋外アメニティ空間における調査概要と夏季実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.821-822, 2012.9
 - 18) 安藤邦明他: 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その 3 屋外アメニティ空間の利用状況に関する考察と秋季温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.823-824, 2012.9
 - 19) 内田茉莉亜他: 緑地・水面周辺の屋外空間における人間の温熱快適性に及ぼす諸要因の寄与とそのモデル化 (その 1) 物理環境要素の測定結果と被験者の温熱快適性の申告値の経時変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.715-716, 2009.8
 - 20) 登内隆宏他: 緑地・水面周辺の屋外空間における人間の温熱快適性に及ぼす諸要因の寄与とそのモデル化 (その 2) アンケート結果の分析と屋外空間における評価の際の SET*の問題点の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.717-718, 2009.8

3.3 部材の評価方法

(1) 断熱部材の LCCO₂ 評価・算定法の標準化調査 (既往の調査研究より)

住宅・建築物の運用時における外皮部材のカーボンニュートラル性の評価について, 既往の調査研究例として, 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託により (社) 日本建材・住宅設備産業協会 (建産協) 内に設置された委員会にて実施された「断熱部材の LCCO₂ 評価・算定法の標準化調査」の内容と成果を調査した。

この調査事業の最終年度報告書¹⁾では, 断熱部材の LCCO₂ 評価に関する ISO 規格の動向調査, 運用段階と輸送段階における LCCO₂ 算定の標準化に関する検討, 断熱部材と開口部の LCCO₂ 評価の事例が示されている。さらに, 調査事業の最終年度成果物として, 「建築用断熱材及び開口部材の LCCO₂ の算定及び表示方法」の JIS 案²⁾が提示されている。

住宅の運用段階における CO₂ 排出の評価については, 算出の標準化を目的として統一化すべき事項と方法が示されている。

a. 住宅の建設地域

暖房デグリーデーと冷房デグリーデーを気象条件のパラメータとして使用する。

a. 評価モデル

戸建住宅モデル（日本建築学会標準問題モデル）と集合住宅（IBEC モデル）で代表させる。

b. 断熱水準

H11 基準の仕様基準を基本とする。

c. 暖冷房スケジュール

日本建築学会標準問題の生活スケジュールを基本とする。

d. 暖冷房機器

暖房では灯油（石油 FF 式）、都市ガス（ガス FF 式）、電気（エアコン）を対象とする。冷房では電気（エアコン）を対象とする。機器効率は 2007 年時点のトップランナー機器を想定する。

e. 住宅使用年数と交換・補修

使用年数 50 年，断熱改修なしとする。

f. 比較対象

比較対象は性能が悪い条件を想定する。例えば，窓ではアルミサッシと単板ガラス，ドアでは熱抵抗ゼロ，壁では断熱材なしとする。

g. 暖冷房負荷算出ツール

複雑な熱負荷シミュレーション実施を不要とするために，デグリーデーや熱損失係数をパラメータとした暖冷房負荷の重回帰式を利用させる。

h. サッシ気密性

評価対象のパラメータにはしない。

i. 断熱材の経年変化

別途調査の結果を利用する。

成果物として提示された JIS 案には，使用段階における暖冷房用エネルギーに係る CO₂ 排出削減量の算定について，さらに詳しく記述されている。使用期間 m における暖冷房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量は，経年変化を考慮しない場合とする場合とで，それぞれ式(3.3.1)と式(3.3.2)により算出することとされている。

$$\Delta E_u = (\Delta E_{uh} + \Delta E_{uc}) \times m \quad (3.3.1)$$

$$\Delta E_u = \sum_i^m (\Delta E_{uh,i} + \Delta E_{uc,i}) \quad (3.3.2)$$

ΔE_u : 使用期間における暖冷房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂)

ΔE_{uh} : 年間の暖房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

ΔE_{uc} : 年間の冷房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

$\Delta E_{uh,i}$: i 年目の年間の暖房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

$\Delta E_{uc,i}$: i 年目の年間の冷房用エネルギー削減量に係る CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

m : 使用期間 (年)

また，住宅の使用段階における CO₂ 算定については，重回帰式を用いる方法が JIS 案の附属書 C に記述されており，まず，住宅の年間暖房負荷と年間冷房負荷の重回帰式が下式のように与えられている。

$$Q_h = a + b \cdot D_h + c \cdot A + d \cdot Q + e \cdot \theta_h + f \cdot t_h \quad (3.3.3)$$

$$Q_c = a + b \cdot D_c + c \cdot A + d \cdot Q + e \cdot \theta_c + f \cdot t_c \quad (3.3.4)$$

Q_h, Q_c : 年間暖房負荷, 年間冷房負荷 (MJ/年)

D_h, D_c : 暖房デグリーデー, 冷房デグリーデー (°C日/年)

A : 延べ床面積 (m²)

Q : 熱損失係数 (W/m²K)

θ_h, θ_c : 暖房室温, 冷房室温 (°C) (暖房 18°C, 冷房 28°Cに固定)

t_h, t_c : 暖房時間, 冷房時間 (hr/日) (暖房 16hr, 冷房 11hrに固定)

a, b, c, d, e, f : 重回帰式の係数 (表 3.3.1)

表 3.3.1 住宅別・熱負荷別の重回帰式係数

		a	b	c	d	e	f
戸建住宅	暖房	-1.2231×10^5	1.8264	266.02	7201.3	4086.8	573.75
	冷房	1.0607×10^4	18.592	19.681	-328.75	-578.10	430.94
集合住宅	暖房	-2.8762×10^3	1.9974	147.52	4574.4	682.29	16.583
	冷房	1.5005×10^4	8.3954	5.3314	-1073.7	-519.52	89.184

附属書 C には, 暖房デグリーデーと冷房デグリーデーの代表値として, 札幌, 盛岡, 仙台, 東京, 鹿児島, 那覇での値が記載されており, それ以外の任意の都市の値を用いてもよいとされている (ただし, 用語の定義の節に, 省エネ法では暖房デグリーデーは 18°C, 冷房デグリーデーは 24°Cをそれぞれ基準としていると解説されているが, 本 JIS 案での基準温度は明示されていない)。

次に, 年間暖房負荷と年間冷房負荷から年間暖房エネルギーと年間冷房エネルギーは下式で算出することとされている。

$$E_{uh} = \frac{Q_h}{\varepsilon_h} \quad (3.3.5)$$

$$E_{uc} = \frac{Q_c}{\varepsilon_c} \quad (3.3.6)$$

E_{uh}, E_{uc} : 年間暖房エネルギー, 年間冷房エネルギー (MJ/年)

$\varepsilon_h, \varepsilon_c$: 暖房機器効率, 冷房機器効率 (—)

暖房機器効率および冷房機器効率には, エネルギー経済統計要覧による暖冷房機器の使用割合と省エネ性能カタログ平均値による機器種別ごとの機器効率から設定された固定値が与えられている (暖房 1.33, 冷房 4.40)。

最後に, 年間暖冷房エネルギーから CO₂ 排出量を下式により算出することとされている。

$$W_y = W_{yh} + W_{yc} \quad (3.3.7)$$

$$W_{yh} = E_{uh} \cdot Y \quad (3.3.8)$$

$$W_{yc} = E_{uc} \cdot Y \quad (3.3.9)$$

W_y : 年間暖冷房 CO₂ 排出量 (kg-CO₂/年)

W_{yh}, W_{yc} : 年間暖房 CO₂ 排出量, 年間冷房 CO₂ 排出量 (kg-CO₂/年)

Y : 暖冷房機器の CO₂ 排出係数 (kg-CO₂/MJ)

暖冷房機器の CO₂ 排出係数として、CO₂ 排出原単位に上述の機器の使用割合と機器効率を反映した一定値 (暖房 0.0681, 冷房 0.0239) が与えられているが、式(3.3.5)と式(3.3.6)でも機器効率で除しているため、この一定値を式(3.3.8)と式(3.3.9)に用いると、機器効率の考慮が重複することになる。また、JIS 案の本文では CO₂ 排出量は記号 E で表されていたが、附属書 C では記号 E はエネルギー量を表し、CO₂ 排出量は記号 W で表される。混同しないよう注意を要する。

一般に、暖冷房負荷、暖冷房エネルギー、暖冷房起因の CO₂ 排出を算定する際には、建設地の気象データ、建物使用スケジュール、外皮仕様、暖冷房の設定温度と運転スケジュールなど入力条件を詳細に設定した年間熱負荷計算シミュレーションを実施する必要がある。これは汎用性を持つ反面、多少専門的な知識を要し、煩雑である故に、条件設定の違いによっては結果が大きく異なることがある。そこで、本 JIS 案では、複雑な条件入力の間違いを防いで、計算実施者によって結果が違わないようにするために、気象条件を表す暖房・冷房のデグリーデーと外皮の断熱性能を表す熱損失係数だけをパラメータとし、その他を固定値として、年間暖冷房負荷を推定する重回帰式 (式(3.3.3), 式(3.3.4)) がまとめられたとのことである。しかし、この重回帰式のパラメータであるデグリーデーと熱損失係数は両方とも外気温に関するものであり、日射に関するパラメータ、つまり建設地の日射量の大小や住宅外皮の日射取得/日射遮蔽の性能が扱われていない。冬期には日射取得が暖房負荷の低減に寄与し、逆に夏期には日射遮蔽が冷房負荷の低減に寄与することは周知である。入力を簡易化した熱負荷推定方法であるとしても日射による熱取得の考慮の追加が望まれる。なお、重回帰式の定式化において、デグリーデー D と延べ床面積 A と熱損失係数 Q の線形結合で与えられているが、熱損失係数の定義には延べ床面積と室内外気温差が分母に含まれており、本来これらの積の形で表されるものと考えられる。

(2) 窓のエネルギー性能評価に関する ISO 規格の概要

窓の熱性能は、一般に、断熱性能 (熱貫流率)、遮熱性能 (日射熱取得率)、気密性能 (漏気量) で評価されるが、近年は、これら熱性能を熱負荷レベルで総合化した窓のエネルギー性能による評価が欧州などで導入され、これにより窓製品の格付けが行われている。

このエネルギー性能評価を日本の住宅の窓に適用することを目的として、これに適した評価手法の構築と入力条件の整備のための研究が行われている^{23), 24)}。(2)節では、窓のエネルギー性能評価手法を規定する ISO 規格の経緯と内容を概説し、これを日本の住宅の窓に適用する際に検討すべき課題について述べる。

窓のエネルギー性能の ISO 規格化の経緯

欧州においては、既に窓のエネルギー性能の評価と格付けが運用されており、EWERS (European Window Energy Rating System) では、窓のエネルギー性能は式(3.3.10)のように表される³⁾。

$$E = A \cdot g_w - B \cdot (U_w + L_w) \quad (3.3.10)$$

E : エネルギー性能

U_w : 窓の熱貫流率 (W/m²K)

g_w : 窓の日射熱取得率 (-)

L_w : 窓の漏気による熱損失係数 (W/m^2K).

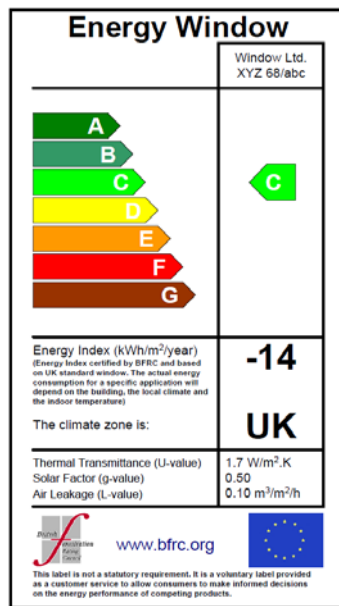


図 3.3.1 窓のエネルギー性能の格付けの例(BFRC)

式(3.3.10)の A, B は, 気象, 建物, 暖房期間によるもので, 国や地域ごとに異なる定数である. 例えば, イギリス BFRC (British Fenestration Rating Council)では, 式(3.3.11)のように定数が与えられ, エネルギー性能 E の値が大きいほどエネルギー的に高性能な窓として格付けされる⁴⁾ (図 3.3.1). ただし, EWERS や BFRC では暖房期のエネルギー性能だけを評価と格付けの対象としている.

$$E = 218.6 \times g_w - 68.5 \times (U_w + 0.0165 \times L_{50}) \quad (3.3.11)$$

L_{50} : 差圧 50Pa における窓の漏気量(m^3/hm^2).

また, カナダ規格 CSA (Canadian Standards Association)^{5),6)}では, 式(3.3.12) (3.3.13)のように暖房と冷房のエネルギー性能が表され, ここでも暖房エネルギー性能 ER の値が大きいほど高く格付けされる. 一方, 冷房エネルギー性能 ERC は小さいほど望ましいと記述されるだけで, 格付けには利用されない.

$$ER = 57.76 \times g_w - 21.90 \times U_w - 0.54 \times \frac{L_{75}}{A_w} + 40 \quad (3.3.12)$$

$$ERC = 111.0 \times g_w \cdot R - 4.5 \times U_w - 0.07 \times \frac{L_{75}}{A_w} \quad (3.3.13)$$

ER : 暖房エネルギー性能

ERC : 冷房エネルギー性能(W/m^2)

L_{75} : 差圧 75Pa における窓の漏気量(m^3/h)

A_w : 窓面積(m^2)

R : 日除け効果 (0.7)

国際標準化機構の技術委員会 (ISO/TC163) において, これら既存規格をもとに窓のエネルギー性能評価手法に関する国際規格策定が作業項目に取り上げられ, 2002 年より作業グループ

(ISO/TC163/SC2/WG11)にて、筆者らも参画して ISO 規格案作成に取り組んできた。ようやく 2011 年 2 月に最終案が可決され、ISO 18292⁷⁾として発行された。

ISO 規格における窓のエネルギー性能の評価手順

ISO 18292 による窓のエネルギー性能の評価と格付けにあたっては、まず各国または各地域レベルで、①暖房、冷房、暖冷房のうちどのエネルギー性能を評価するのかを決定し、②格付けの基準とすべき標準建物 (Reference building) 条件での暖冷房負荷の計算を行い、③代表的な気象データやその他条件設定を決定し、④窓のエネルギー性能による格付け等級区分を策定することが必要である。ただし、具体的な標準建物条件、気象、格付け等級区分などは ISO 18292 には直接規定されず、各国や各地域で策定される基準に委ねられる。

個々の具体的な窓のエネルギー性能の計算の段階においては、表 3.3.2 の手順による。

表 3.3.2 窓のエネルギー性能の計算の手順

<i>Step 1:</i> 気象データの準備 (外気温, 窓面受照日射量)
<i>Step 2:</i> 建物データの準備 (暖冷房設定, ユーティリゼーションファクタ)
<i>Step 3:</i> 窓の熱性能の準備 (熱貫流率, 日射熱取得率, 漏気量, 遮蔽物効果係数, 窓面積),
<i>Step 4:</i> 窓のエネルギー性能の計算 (暖房エネルギー性能, 冷房エネルギー性能)

窓のエネルギー性能の計算基礎式

ISO 18292 では、窓のエネルギー性能は、窓の 3 つの熱性能を変数として、気象、建物仕様、暖冷房、窓面方位などを考慮し、単位窓面積あたり一年あたりの窓に起因する暖冷房負荷として表され、月別計算法、期間計算法、時刻別計算法のいずれかを用いることとされている。月別/期間計算法は、年間熱負荷の簡易計算法として ISO 13790⁸⁾に規定されるユーティリゼーションファクタ法を利用するものである。これらは、気象データとしての平均室外気温と平均日射量に月別または暖房/冷房の期間別の値を用いる。本研究では、窓のエネルギー性能の評価を簡易な手順で可能とするために月別/期間計算法を採用した。

月別/期間計算法による暖房、冷房それぞれのエネルギー性能の計算基礎式は式(3.3.14) (3.3.15)で表される。これらの値が小さいものほどエネルギー性能が良い窓を意味する。月別/期間の窓からの正味の熱損失、熱取得はユーティリゼーションファクタを用いて式(3.3.16) (3.3.17)で表される。ユーティリゼーションファクタは暖房期間であれば熱損失を補うことのできる熱取得の割合を、冷房期間であれば熱取得を打ち消すことのできる熱損失の割合を表し、建物仕様 (外皮の熱容量と断熱) によって異なる値をとる。窓からの熱損失は貫流と漏気による熱損失の積算量であり、窓からの熱取得は日射による熱取得の積算量である (式(3.3.18) (3.3.19))。窓の漏気量から窓の漏気による熱損失係数への換算は式(3.3.20)による。

月別計算法 (Monthly method) :

$$WEP_H = \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_{H,nd,m}}{A_w} \quad WEP_C = \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_{C,nd,m}}{A_w} \quad (3.3.14)$$

期間計算法 (Seasonal method) :

$$WEP_H = \frac{Q_{H,nd,seas}}{A_w} \quad WEP_C = \frac{Q_{C,nd,seas}}{A_w} \quad (3.3.15)$$

$$Q_{H,nd} = f_H \cdot (Q_{ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn}) \quad (3.3.16)$$

$$Q_{C,nd} = f_C \cdot (Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{ht}) \quad (3.3.17)$$

$$Q_{ht} = (U_w \cdot A_w + H_{ve}) \cdot (\theta_{i,set} - \theta_{e,avg}) \cdot \frac{t}{1000} \quad (3.3.18)$$

$$Q_{gn} = F_{sh} \cdot g_w \cdot I_{sol} \cdot A_w \cdot \frac{t}{1000} \quad (3.3.19)$$

$$H_{ve} = \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_{ref}} \right)^{2/3} \cdot \rho \cdot C_p \cdot L_{\Delta p_{ref}} \quad (3.3.20)$$

WEP_H : 窓の暖房エネルギー性能 (kWh/m²)

WEP_C : 窓の冷房エネルギー性能 (kWh/m²)

$Q_{H,nd,*}$: 月別または期間の窓からの正味の熱損失 (kWh)

$Q_{C,nd,*}$: 月別または期間の窓からの正味の熱取得 (kWh)

A_w : 窓面積 (m²)

Q_{ht} : 月別または期間の窓からの熱損失 (kWh)

Q_{gn} : 月別または期間の窓からの熱取得 (kWh)

$\eta_{H,gn}$: 暖房の熱取得ユーティリゼーションファクタ (-)

$\eta_{C,ls}$: 冷房の熱損失ユーティリゼーションファクタ (-)

f_H : 月別または期間の暖房期間の割合 (-)

f_C : 月別または期間の冷房期間の割合 (-)

U_w : 窓の熱貫流率 (W/m²K)

H_{ve} : 窓の漏気による熱損失係数 (W/K)

$\theta_{i,set}$: 室内設定気温 (°C)

$\theta_{e,avg}$: 室外平均気温 (°C)

t : 月別または期間の時間 (h)

F_{sh} : 遮蔽物の効果係数 (-)

g_w : 窓の日射熱取得率 (-)

I_{sol} : 窓の平均受照日射量 (W/m²)

Δp : 平均室内外圧力差 (Pa)

Δp_{ref} : 気密性能測定時の室内外気圧差 (Pa)

$\rho \cdot C_p$: 空気の容積比熱 (kJ/m³K)

$L_{\Delta p_{ref}}$: 気密測定による窓の漏気量 (m³/h)

日本の住宅への適用のための課題

窓のエネルギー性能評価を日本の住宅の窓に適用する際には、国や地域レベルでの評価基準の策定や計算手順の設定が必要となる。本研究では、日本の住宅への適用を目的とすることから暖房と冷房の両方のエネルギー性能を対象とし、計算手法として前述のとおり月別/期間計算法を採用することとした。格付け等級は然るべき基準や規格で規定されるものと考え、日本の住宅での窓の使用条件におけるエネルギー性能評価手法の構築までを本研究の範囲とする。Step 1~3の計算手順においては、気象データ、建物データ、窓の熱性能の準備が必要である。特に、標準建物 (Reference building) として、標準住宅

モデル、外皮の断熱仕様、暖冷房、内部発熱、換気などの条件を設定し、この標準建物について動的熱負荷計算（詳細計算）による年間暖冷房負荷を ISO 13790 による月別/期間計算法（簡易計算）によりうまく再現するユーティリゼーションファクタを整理することが本研究の最大の課題である。

(3) ユーティリゼーションファクタによる月別および期間熱負荷簡易計算法

建物外皮の中でも窓の熱性能は、暖冷房エネルギーに対して最も影響を及ぼす。そして、窓の熱性能による暖冷房エネルギーへの影響度は、建築物の熱特性により変化する。(2)節で概説した ISO 18292⁷⁾では、ISO 13790⁸⁾に示されているユーティリゼーションファクタを用いることにより、建築物の熱特性を考慮した窓のエネルギー性能評価法を構成している。

(3)節では、ISO 13790 の一部である月別および期間熱負荷簡易計算法（ユーティリゼーションファクタ法）について概説し、日本の住宅の窓のエネルギー性能算出に用いるためのユーティリゼーションファクタ導出への課題を示す。

月別および期間熱負荷計算法～ユーティリゼーションファクタ法

連続空調される建物の暖冷房負荷は、式(3.3.21)(3.3.22)により算出される。

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (3.3.21)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad (3.3.22)$$

- $Q_{H,nd}$ $Q_{C,nd}$: 連続空調の暖冷房負荷 (MJ/(月別 or 期間))
- $Q_{H,ht}$ $Q_{C,ht}$: 冬期・夏期の建物全体の熱損失 (MJ/(月別 or 期間))
- $Q_{H,gn}$ $Q_{C,gn}$: 冬期・夏期の建物全体の熱取得 (MJ/(月別 or 期間))
- $\eta_{H,gn}$: 熱取得のユーティリゼーションファクタ (-)
- $\eta_{C,ls}$: 熱損失のユーティリゼーションファクタ (-)

建物全体の熱取得と熱損失に含まれる項目を表 3.3.3 に示す。計算期間（月間/暖冷房期間）の熱損失、熱取得を用いることにより、その期間の暖冷房負荷を算出することができる。

表 3.3.3 建物の熱取得と熱損失

伝熱種別	発生部位	熱取得(Q_{gn}) or 熱損失(Q_{ht})	摘要
貫流	外壁・屋根・1階床・非空調室 (不透明部位)	Q_{ht} (熱損失)	(設定温度-外気温)の正負に係らず 全部 Q_{ht} としてカウントする。
	窓(透明部位)		
日射	外壁・屋根(不透明部位)	Q_{gn} (熱取得)	外壁・屋根と窓で有効集熱面積 (effective collecting area)の計算法が異なる。
	窓(透明部位)		
夜間放射	外壁・屋根(不透明部位)	$-Q_{gn}$ (負の熱取得)	表面温度と天空温度との差に放射熱伝達率 を掛けた熱量を等価温度に換算して求める。
	窓(透明部位)		
換気	室	Q_{ht} (熱損失)	(設定温度-外気温)の正負に係らず 全部 Q_{ht} としてカウントする。
内部発熱	室	Q_{gn} (熱取得)	人体、機器類、照明、給湯、冷暖房・換気設備、 物品製造等に伴う発熱を考慮する。 (但し散逸分を除く。)

ユーティリゼーションファクタは 0~1 の間の値を取り、冬期に於いては熱取得が暖房負荷を軽減す

る割合を示し、夏期に於いては熱損失が冷房負荷を軽減する割合を示す。即ち、熱取得のユーティリゼーションファクタが大きな値を示す程、熱取得は有効利用され、暖房負荷は小さくなる。一方、熱損失のユーティリゼーションファクタが大きな値を示す程、熱損失は有効利用され、冷房負荷が小さくなる。

連続空調による暖冷房負荷算出法

熱取得、熱損失のユーティリゼーションファクタ算出式を以下に示す。図 3.3.2 に熱取得、熱損失のユーティリゼーションファクタ算出方法を含めた連続空調による暖冷房負荷算出の全体像を示す。

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (3.3.23)$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (3.3.24)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (3.3.25)$$

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (3.3.26)$$

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad (3.3.27)$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau_H}{\tau_{H,0}} \quad (3.3.28)$$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau_C}{\tau_{C,0}} \quad (3.3.29)$$

- γ_H, γ_C : 熱バランス (-)
- a_H, a_C : 計算対象建物のパラメータ (-)
- τ : 計算対象建物の時定数 (h)
- $a_{H,0}, a_{C,0}$: 参照数値パラメータ (-)
- $\tau_{H,0}, \tau_{C,0}$: 参照時定数 (h)
- C_m : 計算対象建物の内部の熱容量 (kJ/K)
- $H_{tr,adj}$: 計算対象建物の熱貫流による伝達係数 (W/K)
- $H_{ve,adj}$: 計算対象建物の換気による伝達係数 (W/K)

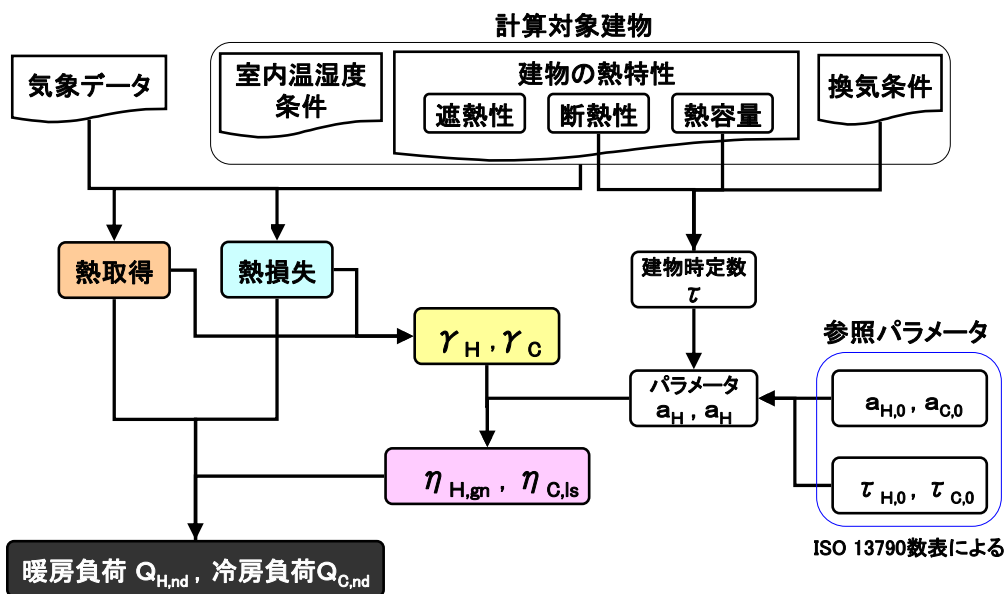


図 3.3.2 連続空調による暖冷房負荷算出法の全体像

鎖線内は図 3.3.2 の連続空調による暖冷房負荷算出法

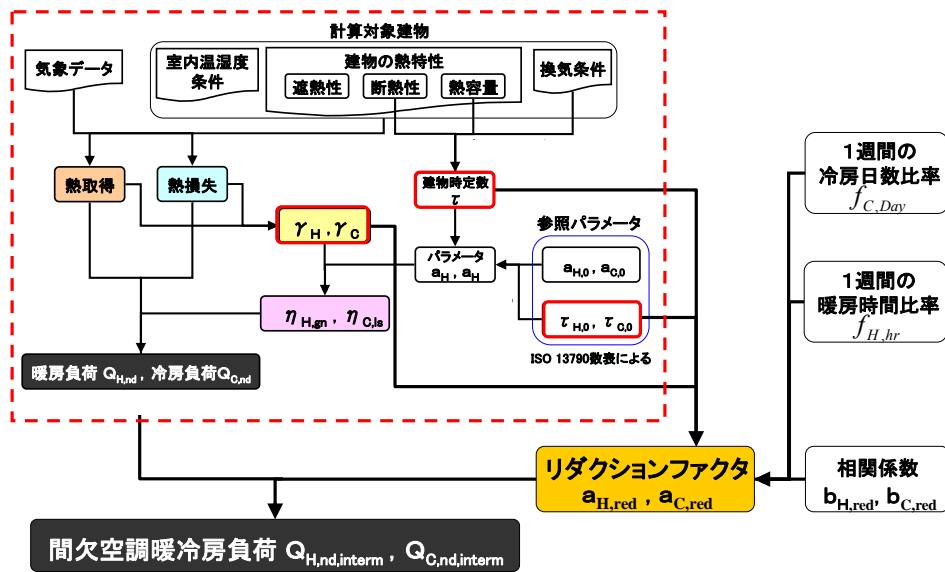


図 3.3.3 間欠空調による暖冷房負荷算出法の全体像

間欠空調による暖冷房負荷算出法

間欠空調される建物の暖冷房負荷は、式(3.3.30) (3.3.31)により算出する。図 3.3.3 に間欠空調による暖冷房負荷算出の全体像を示す。

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd} \quad (3.3.30)$$

$$Q_{C,nd,interm} = a_{C,red} \cdot Q_{C,nd} \quad (3.3.31)$$

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot (\tau_{H,0} / \tau) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (3.3.32)$$

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot (\tau_{C,0} / \tau_C) \cdot 1/\gamma_C \cdot (1 - f_{C,Day}) \quad (3.3.33)$$

- $Q_{H,nd,interm}, Q_{C,nd,interm}$: 間欠空調の暖冷房負荷 (MJ/(月別 or 期間))
- $a_{H,red}, a_{C,red}$: 間欠空調のためのリダクションファクタ (—)
- $b_{H,red}, b_{C,red}$: 経験的な相関係数 (=3) (—)
- $f_{H,hr}$: 一週間の内の暖房時間の比率 (—)
- $f_{C,Day}$: 一週間の内の冷房日数の比率 (—)

パラメータの影響

ユーティリゼーションファクタ法では、式(3.3.28) (3.3.29)に用いる無次元の数値パラメータ $a_{H,0}, a_{C,0}$ や参照時定数 $\tau_{H,0}, \tau_{C,0}$ が用いられる。これらの値は、ISO 13790 に示されている数表の値を用いることも可能であるが、国家レベルで決定することも可能とされている。今後、日本の主要な構造の住宅に対してその適用性を確認する必要がある。

(4)節に示す日本の RC 造集合住宅の標準住宅モデルについて $a_{H,0}, a_{C,0}, \tau_{H,0}, \tau_{C,0}$ を変化させた場合の暖冷房負荷の変化率を図 3.3.4 に示す。ISO 13790 に示されている値を用いた場合の暖冷房負荷を 100%とした。

$a_{H,0}, a_{C,0}$ の上昇に対し暖房負荷、冷房負荷は共に減少し、 $\tau_{H,0}, \tau_{C,0}$ の上昇に対し両者は増加する。変化

率は、暖房負荷の方が冷房負荷よりも大きい。これらのパラメータを十分な検証結果に基づいて決めることによりユーティリゼーションファクタ法の精度向上が期待できる。

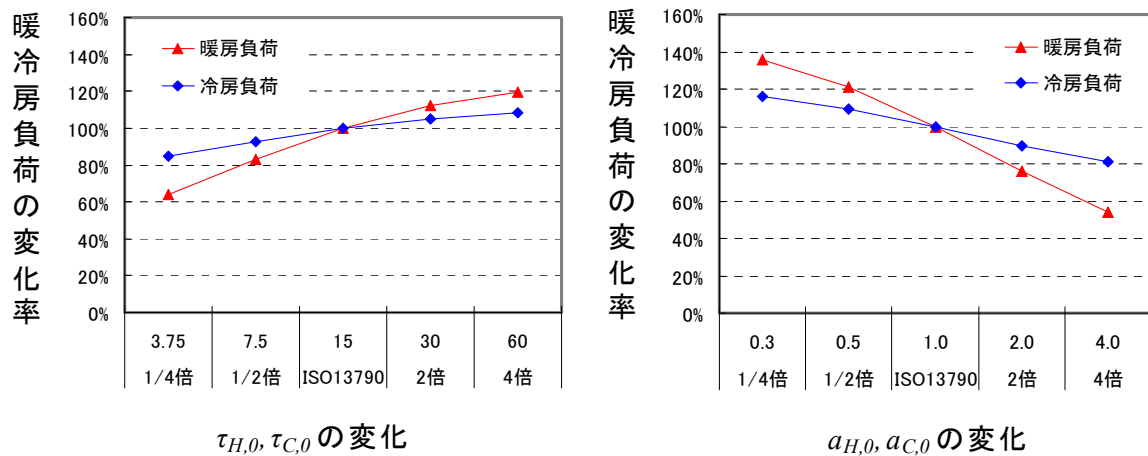


図 3.3.4 パラメータの変化による暖冷房負荷の変化率

(3)節では、ISO 18292 が規定する窓のエネルギー性能の算出に用いられるユーティリゼーションファクタ法について概説し、暖冷房負荷の算出結果に影響を与えるパラメータについて日本の住宅に対する検証の必要性を示した。ユーティリゼーションファクタは、暖冷房負荷に対する熱取得、熱損失の影響を気象データや建物の仕様、住まい方によって総合的に表した指標である。様々な要因の影響度を明確にし、地域別、住宅構造別に整理する必要がある。

(4) 標準住宅モデルの条件設定と熱負荷詳細計算例

ISO 18292⁷⁾では、国や地域ごとに標準住宅モデルを定義し、その標準住宅モデルを元に整理されたユーティリゼーションファクタを用いて窓のエネルギー性能評価を行うこととされている。

そこで、(4)節では、まず、本研究で窓エネルギー性能評価に用いようとする標準住宅モデルの設定条件を示す。ここで、標準住宅モデルには戸建住宅モデルと集合住宅モデルの2種類を考える。また、標準住宅モデルのうち戸建住宅モデルについて、動的熱負荷計算（詳細計算）により、窓の熱性能を変化させた場合の年間暖冷房負荷を整理し、その結果から見えてくる地域ごとに推奨される窓の熱性能値についての考察を述べる。

標準住宅モデルと条件設定

標準住宅モデルには、Window25 研究会⁸⁾で検討された戸建住宅モデル⁹⁾および集合住宅モデル¹⁰⁾を用いる。戸建住宅モデルはI、II地域対象の寒冷地仕様とIII~VI地域対象の温暖地仕様の2種類、集合住宅モデルは中間階/中間戸モデルと最上階/妻側モデルの2種類、計4種類とする。それぞれのモデルで壁床天井の断熱仕様は4水準（S55 基準以前、S55 基準、H4 基準、H11 基準）×6地域の計24パターンを作成した。空調設定を行う部屋はLD、台所、主寝室、子供室1、2の計5室とし、部分間欠運転を基本設定とする。なお、これら空調設定部屋では夏期に室温より外気温が低い時間帯において窓開放換気を行う。標準住宅モデルを図3.3.5、図3.3.6に、条件設定の概要を表3.3.4に示す。

表 3.3.4 戸建住宅モデル, 集合住宅モデルの条件設定概要

戸建住宅モデル	寒冷地仕様	延床面積	120.08m ²
		窓面積	25.22m ²
集合住宅モデル	中間階/中間戸	延床面積	70.00m ²
		窓面積	10.40m ²
最上階/妻側		延床面積	70.00m ²
		窓面積	12.26m ²
壁床天井	1モデル当り24パターン 4水準 (S55基準以前, S55基準, H4基準, H11基準) × 6地域		
空調運転方法	部分間欠運転 ²⁾ (暖房 20℃, 冷房 27℃ (就寝時 28℃) 60%)		
空調設部屋	LD, 台所, 主寝室, 子供室×2		
内部発熱	家族構成4人を想定したスケジュール ²⁾		
夏期窓開放	室温 28℃以上, 外気温 26℃以下のとき自然換気 10回/h		

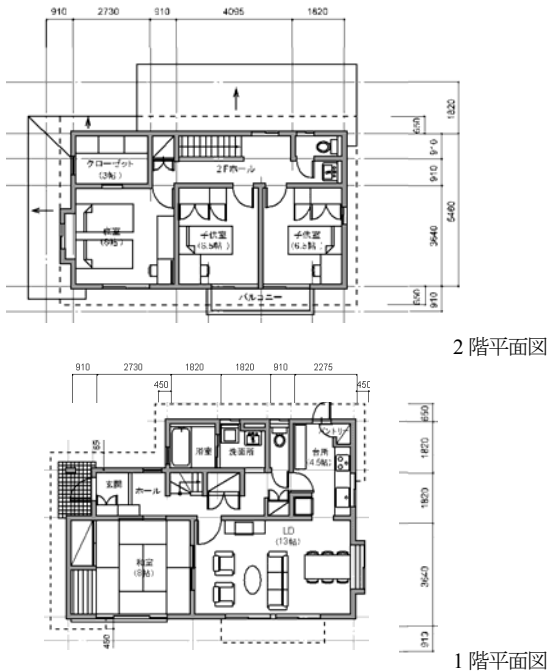


図 3.3.5 戸建住宅モデル (温暖地仕様)

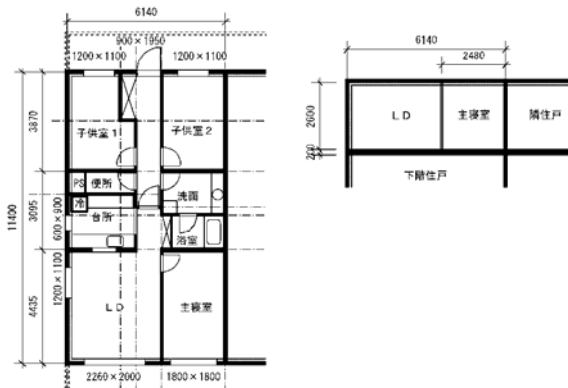


図 3.3.6 集合住宅モデル (最上階/妻側)

標準住宅モデルでの熱負荷計算例

標準住宅モデルのうち戸建住宅モデルについて, 動的熱負荷計算プログラム AE-Sim/Heat¹¹⁾を用いて年間暖冷房負荷計算を行った例を示す. 壁床天井の断熱仕様は H11 基準¹²⁾に準じて設定した. 空調設定部屋の窓の熱貫流率は 1.30~4.65 (W/m²K), 日射熱取得率は 0.1~0.9 (-)の範囲でそれぞれ組み合わせ入力値とし, 非空調部屋の窓の熱性能値は一定とする. 冬期と夏期で窓の遮蔽物の使い分けは考慮せず, 窓の熱性能値は通年一定とする. 計算対象都市は I~V 地域の代表的な都市を選択し, 特に IV, V 地域では様々な気象が混在するため, 多くの都市について計算した. 計算条件を整理したものを表 3.3.5 に示す.

表 3.3.5 計算条件概要

気象条件	I-札幌, II-盛岡, III-仙台 IV-東京, 富山, 名古屋, 大阪, 広島, 鳥取, 高松, 熊本 V-高知, 福岡, 鹿児島 2000年版アメダス気象データ標準年
窓条件	空調設定部屋の窓の熱性能値は変数. 熱貫流率 1.30~4.65(W/m ² K), 日射熱取得率 0.1~0.9(-) 非空調部屋の窓の熱性能値は一定 熱貫流率 4.65(W/m ² K), 日射熱取得率 0.53(-)

札幌, 東京, 鹿児島 の計算結果を図 3.3.7~3.3.9 に示す. これは, 窓の熱貫流率と日射熱取得率の任意の組合せにおける年間暖冷房負荷を表している. 図中の矢印は各熱貫流率の値において年間暖冷房負荷が最小となる日射熱取得率の点を繋いだものであり, 年間暖冷房負荷が小さくなる方向を指している. これより3都市とも, 熱貫流率が小さいほど年間暖冷房負荷が小さくなる事が分かる. 次に, 窓の日射熱取得率については, 札幌では大きいほど, 鹿児島では逆に小さいほど年間暖冷房負荷が小さくなる. 一方, 東京では窓の熱貫流率の値により最適な日射熱取得率が変化することがわかる. そこで他都市についても同様の計算を行い, 各熱貫流率において年間暖冷房負荷が最も小さくなる日射熱取得率を求めた結果を表 3.3.6, 図 3.3.10 に示す. これによると, I~III地域では窓の熱貫流率の値によらず日射熱

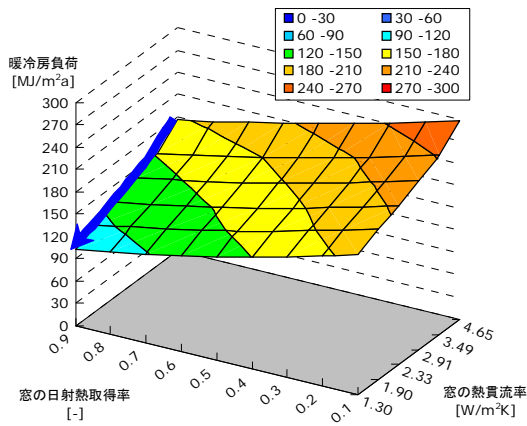


図 3.3.7 年間暖冷房負荷 (札幌)

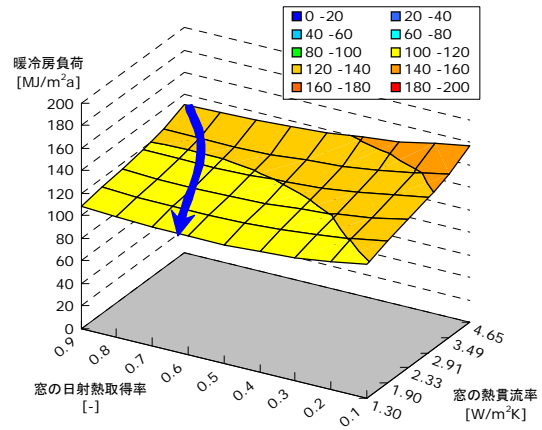


図 3.3.8 年間暖冷房負荷 (東京)

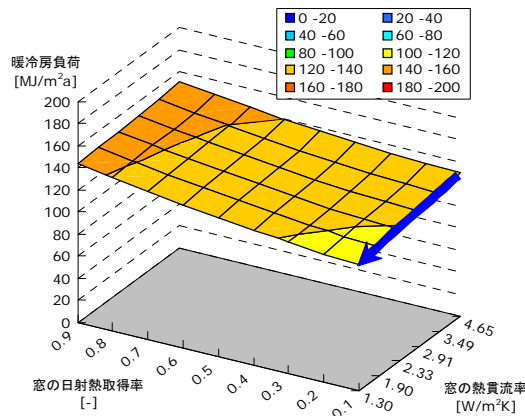


図 3.3.9 年間暖冷房負荷 (鹿児島)

取得率は大きい方が良く、IV、V地域では熱貫流率の値により日射熱取得率の最適値が変わることが分かる。よって、IV、V地域では様々な気象の都市が混在するので、都市ごとに最適な窓の熱性能値を選択することが望ましい。

まとめ

ISO18292 では、国や地域ごとに標準住宅モデルを定義し、それに基づいたユーティリゼーションファクタを用いて窓のエネルギー性能評価を行うこととされている。(4)節では、本研究で窓のエネルギー性能評価に用いる標準住宅モデルの条件設定を記した。また、その中から戸建住宅モデルについて窓の熱性能値を変化させて熱負荷計算を行い、都市ごとに最適な窓の熱貫流率と日射熱取得率の組み合わせを示した。今後、ユーティリゼーションファクタ法を用いることで、このような窓のエネルギー性能評価をより簡易に表せるようになると思われる。

【注記】Window25 研究会は、「住宅窓の CO₂ 排出量の量的把握と削減予測の研究」をテーマとした窓業界三団体（板硝子協会、(社)日本サッシ協会、プラスチックサッシ工業会）による研究委員会であり、国土交通省の平成 22 年度住宅・建築物環境対策事業費補助金を受けて実施された。

表 3.3.6 年間暖冷房負荷が小さくなる窓の熱貫流率と日射熱取得率の組み合わせ

窓の熱貫流率 [W/m ² K]		1.30	1.90	2.33	2.91	3.49	4.65
年間暖冷房 負荷を最小 にする 窓の日射 熱取得率	I-札幌	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	II-盛岡	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	III-仙台	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	IV-富山	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	IV-東京	0.62	0.66	0.70	0.74	0.79	0.88
	IV-名古屋	0.68	0.73	0.76	0.79	0.84	0.90
	IV-大阪	0.43	0.48	0.51	0.56	0.59	0.66
	IV-広島	0.57	0.61	0.64	0.68	0.72	0.81
	IV-高松	0.52	0.57	0.60	0.64	0.68	0.76
	IV-鳥取	0.79	0.84	0.88	0.90	0.90	0.90
	V-高知	0.46	0.50	0.53	0.57	0.60	0.67
	V-福岡	0.39	0.44	0.47	0.51	0.55	0.61
	IV-熊本	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41	0.48
	V-鹿児島	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

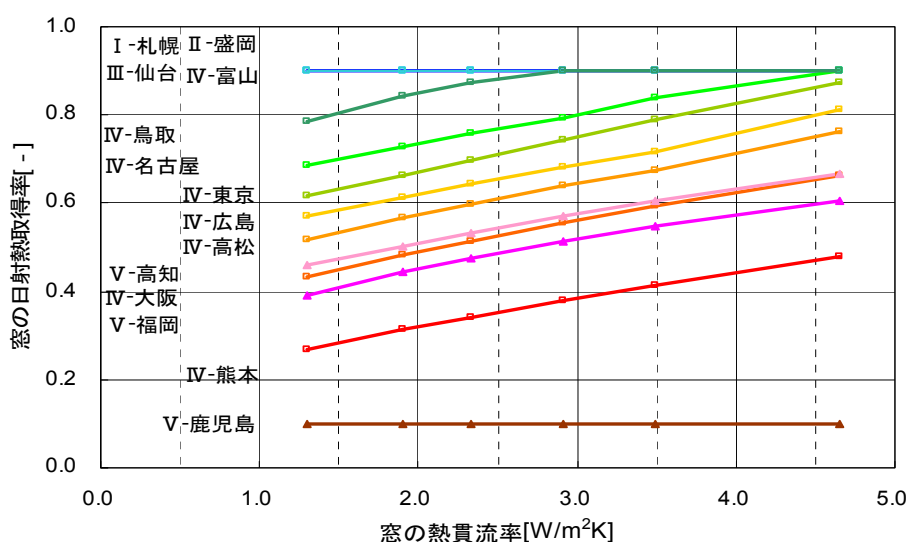


図 3.3.10 年間暖冷房負荷が小さくなる窓の熱貫流率と日射熱取得率の組み合わせ

(5) 標準住宅モデルの期間熱負荷の詳細計算と簡易計算の比較

(5)節では、(3)節で概説したユーティリゼーションファクタ法⁸⁾による暖冷房負荷を動的熱負荷計算の値と比較することにより、日本の集合住宅に対する適用性を検証する。また、ユーティリゼーションファクタに対する気象データや建物の熱特性の影響を確認し、日本の住宅の窓のエネルギー性能算出に採用するユーティリゼーションファクタを整理するための課題を示す。

計算に用いた標準住宅モデルと計算条件

本検討では、(4)節にて示した集合住宅の標準モデル（最上階／妻側）¹⁰⁾を対象に計算を行った。温熱環境シミュレーションプログラム“AE-Sim/Heat”¹¹⁾（以降、詳細計算）を用いて暖冷房負荷を算出し、ユーティリゼーションファクタ法（以降、簡易計算）による算出値との比較検討を行った。表 3.3.7 に計算条件の概要を示す。ユーティリゼーションファクタ法との比較を容易にするため、標準住宅モデルの内部発熱、居住者、および暖冷房のスケジュールを簡素化した。

表 3.3.7 計算条件概要

都市	札幌（I地域）、東京（IV地域）、鹿児島（V地域）	
壁床天井	H11年度仕様基準に準拠	
空調設定	<ul style="list-style-type: none"> ・24時間連続運転（全館空調 暖房：18℃ 冷房：27℃） ・間欠運転（全館空調 暖房：18℃ 冷房：27℃） 	
内部発熱	<ul style="list-style-type: none"> ・全室床面積当り一定値（顕熱のみ 4.65(W/m²)) ・家族構成4人を想定したスケジュール 	
窓条件	Case1：アルミサッシ+透明単板ガラス	(U値：6.25(W/(m ² K)) η値：0.88)
	Case2：アルミサッシ+日射遮蔽型 Low-E 複層ガラス	(U値：3.02(W/(m ² K)) η値：0.39)
	Case3：樹脂サッシ+日射取得型 Low-E 複層ガラス	(U値：2.08(W/(m ² K)) η値：0.74)
	Case4：樹脂サッシ+日射遮蔽型 Low-E 複層ガラス	(U値：2.04(W/(m ² K)) η値：0.39)
	(全窓付属品無し)	

簡易計算と詳細計算比較 連続空調による暖冷房負荷算出結果

連続空調時の年間熱負荷の比較結果を図 3.3.11～図 3.3.13 に示す。暖冷房負荷の簡易計算と詳細計算の差は、概ね 10%程度であるが、札幌の Case2 や Case4 では 25%の差を示すものもある。全地域で簡易計算による暖房負荷は詳細計算結果に対して小さく、逆に冷房負荷は簡易計算の方が大きくなる傾向となっている。各地域の傾向を見ると特に冷房負荷の両者の乖離は、東京、鹿児島に比べて札幌のほうが大きい。図 3.3.14 に鹿児島、Case1 の月別暖冷房負荷算出結果を示す。中間期（斜線で囲んだ部分）で両者の乖離が大きい事が分かる。

これらの結果より負荷の絶対値が小さい場合、詳細計算と簡易計算の結果には乖離が生じやすい事が分かる。

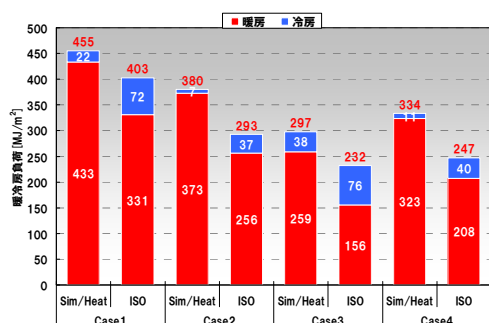


図 3.3.11 年間熱負荷の比較（札幌）

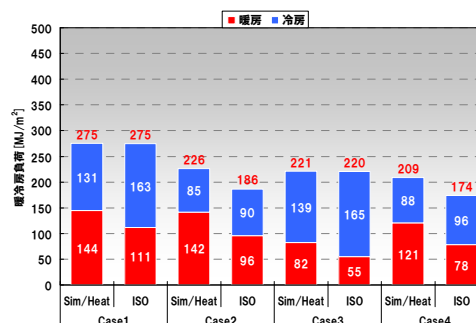


図 3.3.12 年間熱負荷の比較（東京）

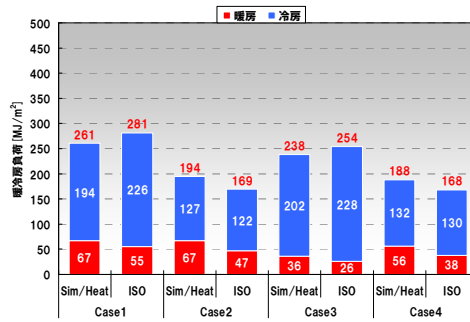


図 3.3.13 年間熱負荷の比較（鹿児島）

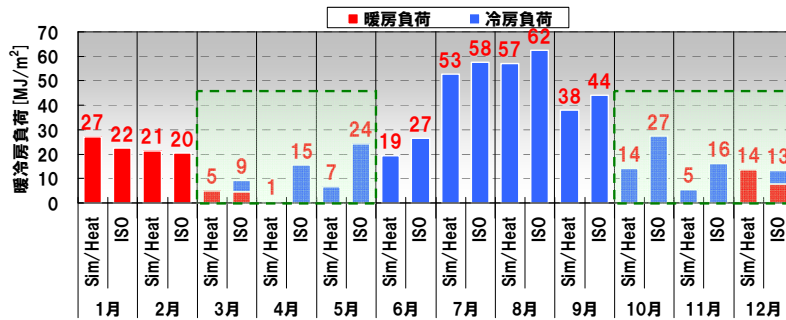


図 3.3.14 月別暖冷房負荷の比較（鹿児島，アルミサッシ+透明単板ガラス）

間欠空調による暖冷房負荷算出結果

図 3.3.15 に東京の間欠空調による年間暖冷房負荷の比較結果を示す。連続空調時に比べて特に暖房負荷の乖離が大きく簡易計算は詳細計算の 50%以下となった。暖房スケジュールの影響や簡易計算に用いる経験的な相関係数： $b_{H,red}$ 、 $b_{C,red}$ の適用性も含め検討が必要である。

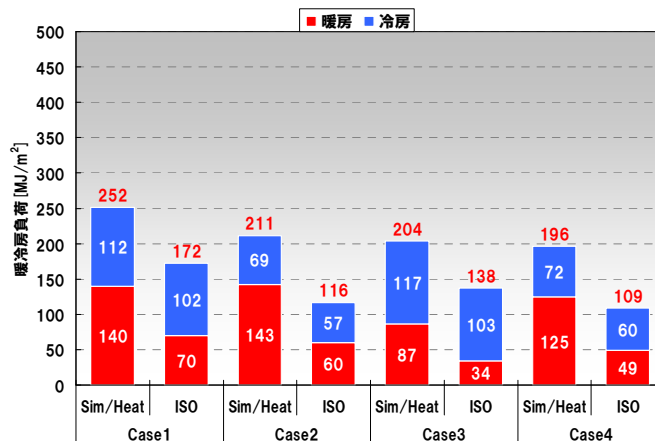


図 3.3.15 年間熱負荷の比較（東京）

ユーティリゼーションファクタ算出結果

図 3.3.16, 図 3.3.17 に暖房時の熱取得と冷房時の熱損失のユーティリゼーションファクタの比較を示す。比較として富山のデータも併記する。熱取得、熱損失共に札幌と富山、東京と鹿児島が近い値を示した。気象データの類似性による傾向の把握など今後の課題である。

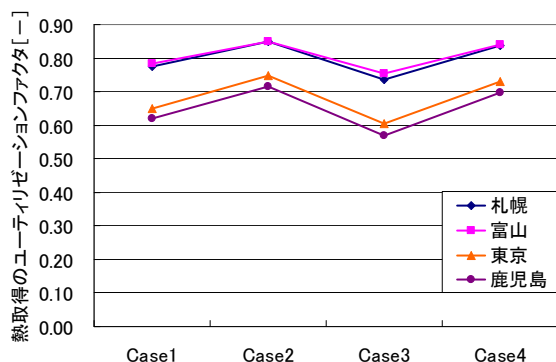


図 3.3.16 熱取得のユーティリゼーションファクタ

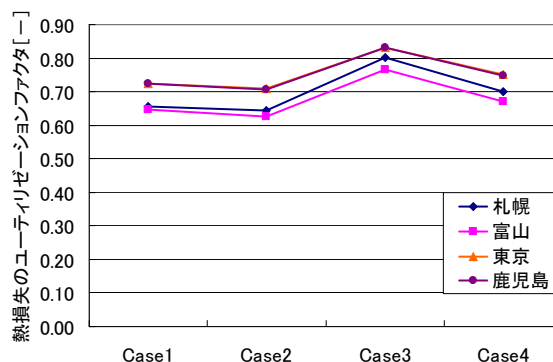


図 3.3.17 熱損失のユーティリゼーションファクタ

日本の住宅の窓について ISO 18292⁷⁾による窓のエネルギー性能評価を行うには、日本の気候、住宅仕様、住まい方に適合したユーティリゼーションファクタを整理する必要がある。(5)節では、日本の集合住宅の標準住宅モデルに対するユーティリゼーションファクタ法の適用性を確認するため、詳細計算による暖冷房負荷と比較した。

その結果、連続空調での期間暖房負荷は、詳細計算に対して 60~82%、期間冷房負荷は 96~124%を示した。特に冷房負荷は、中間期や負荷の小さい地域において乖離が大きい。年間の暖冷房負荷の総計は、74~108%の範囲にある。間欠空調では、期間暖房負荷は、39~50%、期間冷房負荷は 83~91%を示し、暖房負荷の算出法に対する検討の必要性が明らかになった。

算出されたユーティリゼーションファクタは、窓の熱性能や住宅仕様、気象データにより変化はあるものの、熱取得のユーティリゼーションファクタは 0.57~0.85、熱損失のユーティリゼーションファクタは 0.63~0.83 の範囲にある。日本の住宅のユーティリゼーションファクタを整理するには、以下の課題に取り組む必要がある。

- ① 詳細計算との誤差要因解明 (負荷の小さい期間や地域と間欠空調に対する検討)
- ② 計算に用いられる各ファクタの検証 ($a_{H,0}$, $a_{C,0}$, $\tau_{H,0}$, $\tau_{C,0}$, $b_{H,red}$, $b_{C,red}$)
- ③ 熱容量の影響範囲の検討
- ④ 間欠空調負荷の適用範囲把握
- ⑤ 構造の異なる住宅仕様での適用性確認

(6) 窓のエネルギー性能算出フロー

窓のエネルギー性能 (WEP ; Window Energy Performance) の評価法を規定した ISO 18292⁷⁾が2011年4月に発行された。この規格を用いることにより、窓に起因する内外温度差による貫流熱や漏気などの熱損失、日射による熱取得を根拠とした総合的な熱性能を評価することができる。

窓の熱損失・熱取得は、住宅建設地が寒冷地なのか温暖地なのかといった地域別に、そして日射がどれだけ当たるのかといった方位別にそれぞれ異なる値となる。よって、住宅に設置された窓の実質的なエネルギー性能を評価する必要がある。

窓のエネルギー性能の考え方が、既に欧州、カナダで規格化され、窓の格付けに使用されていることは(2)節で示した。(6)節では、欧米の既存規格をもとに作成された ISO 18292 の評価法を日本の住宅の窓に適用するためのフローを示し、各 Step でのここまでの取り組みと検討課題を概説する。

ISO 18292 に基づく窓のエネルギー性能算出フロー

図 3.3.18 に窓のエネルギー性能算出フローの全体像を示す。ISO 18292 には、昼光利用の可能性を表

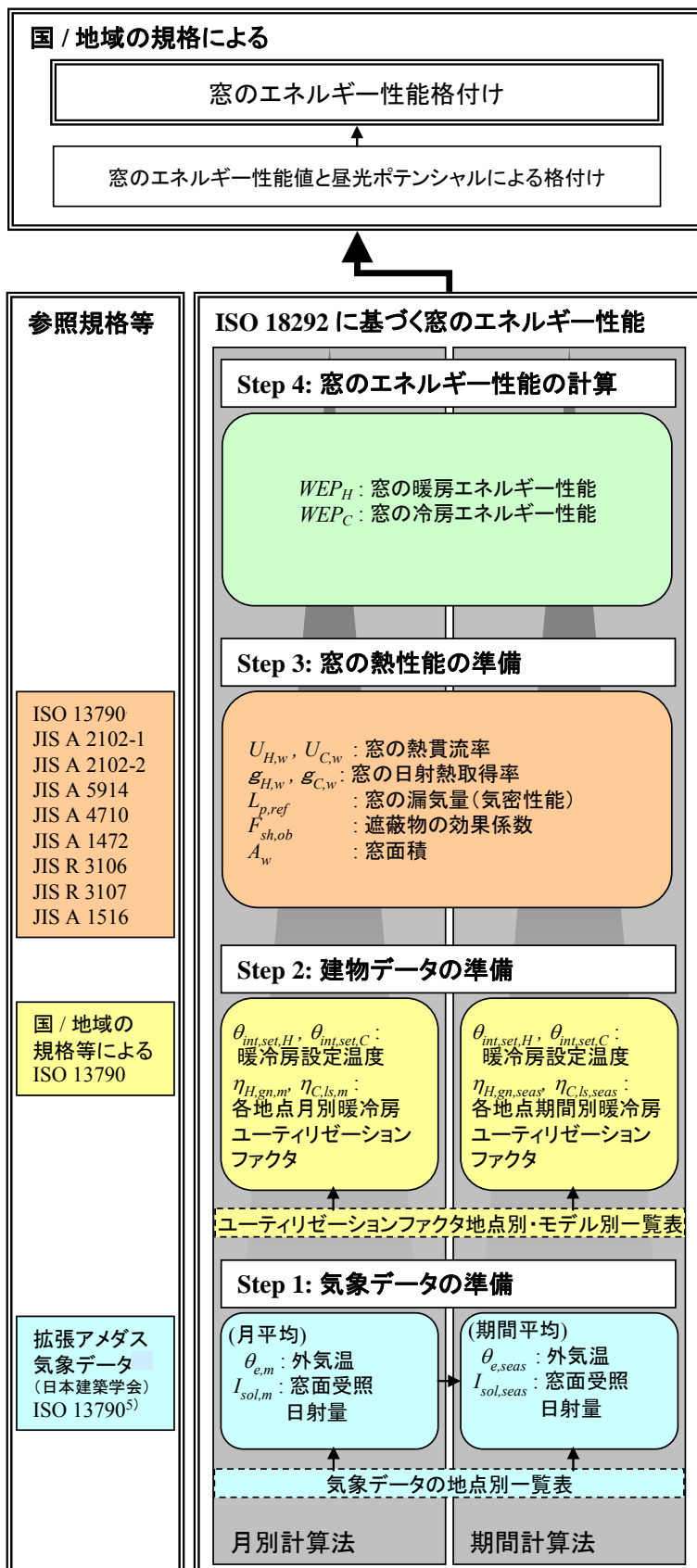


図 3.3.18 窓のエネルギー性能算出フロー

す指標 (昼光ポテンシャル) も示されているが、窓のエネルギー性能とは別個の指標であるため、本研

究では検討対象としない。暖冷房に対する窓のエネルギー性能は、Step1 から Step4 の手順で算出される。Step1 から Step3 に用いる参照規格、文献等を図中に示した。

Step1 では、気象データとして外気温と窓面受照日射量の月別・期間の一覧表が準備される。窓面受照日射量は、方位別の値を準備する必要がある。本研究では、設計用気象データとして国内で広く使用されている拡張アメダス気象データ¹³⁾を用いることとした。

Step2 では、(4)節で示したように「住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説」⁹⁾に示される住宅モデルの諸条件を用いる。暖冷房ユーティリゼーションファクタ (UF ; Utilization Factor) は、ISO 13790⁸⁾に基づき地点別・モデル別に算出した一覧表を用いる。

Step3 では、窓の断熱性能、遮熱性能、気密性能を対応する JIS 規格^{14)~21)}により求める。

Step4 では、Step3 で求めた窓の諸元を用い、(2)節に示した計算基礎式によって窓の暖房エネルギー性能 (WEP_H)、窓の冷房エネルギー性能 (WEP_C) を算出する。

各 Step での対応と今後の課題

Step1 では、拡張アメダス気象データを基に観測点別の気象データの一覧表が準備される。方位別日射量と外気温を一覧表から探索するには、ヒューマンエラーが発生する可能性があるため、簡便なツール化が必要である。

Step2 では、UF の日本の気象条件への適用が課題となっている。動的熱負荷計算（詳細計算）との比較より ISO 13790 の算出方法をそのまま用いることに限界があることが確かめられた。(7)節、(8)節において、日本のような温暖地域の気象条件に対応した UF 算出方法を提案する。また、(9)節では、WEP に用いる UF の算出手順を示す。現状、AE-Sim/Heat との比較により連続空調での精度を確保できているが、間欠空調、部分空調時の適用性検証は今後の課題である。

Step3 では、様々な窓種別、ガラス別、寸法毎の窓の熱性能が必要となる。近年、窓の断熱性能の計算法の JIS が制定され、遮熱性能についても計算法 JIS 作成が検討されている。これら計算法により多様な窓の熱性能を求めることが可能である。計算法 JIS を根拠とした窓の熱性能の計算プログラムとの連携が今後の課題である。

窓からの漏気量は、気密性能と内外差圧から求める必要がある。内外温度差や外部風速により内外差圧は変化するため、各地域の気温や風速に基づいた漏気量を評価する必要があると考えられる。

Step4 では、建物の仕様別（プランや断熱性能の違い）の暖房と冷房の UF の一覧表と気象データの一覧表、そして窓の性能値から適切な値を探索して WEP_H 、 WEP_C を算出する。計算式は簡単ではあるが、計算量が多く複雑な計算作業が必要となる。 WEP を計算するための簡便なツール化が必要と考えられる。

窓のエネルギー性能の運用

ISO 18292 に基づき算出された日本の窓のエネルギー性能と昼光ポテンシャルによって、窓のエネルギー性能の格付けがなされる。格付け指標の算出方法や等級区分は各国、各地域で策定される規格・基準に委ねられている。個々の窓製品を横並びで比較するのか、窓が設置される住宅全体で評価するのかで基準値や目標値の考え方は異なる。

方位別に算出された窓のエネルギー性能を横並び比較することにより、窓が設置された方位に最適なガラス・フレーム・遮蔽物の組合せを探索することができる。この場合、方位別・地域別に格付けの基準値は異なることになる。一方、住宅の全ての窓のエネルギー性能を面積加重平均した値を格付けすることにより、各地域の住宅の窓に求められるエネルギー性能を総括的にコントロールできると考えられる。

前者は、高性能な省エネ型窓の開発の目標値としても有用なファクタとなる。夏期の日射遮蔽を目的とした窓形態と冬期の日射熱取得を目的とした窓形態をそれぞれ設計することが可能である。後者は、住宅全体の窓の熱性能やエネルギー消費とコストとのベストバランスを求める際の指標となる。

まとめ

ISO 18292 に基づき日本の窓のエネルギー性能を評価するためのフロー案を示した。そして、これまでの取り組みを整理し、各 Step での課題を明らかにした。

窓の断熱性能、遮熱性能、気密性能を定義するために対応する JIS 規格が用いられる。JIS 規格に基づいた窓の熱性能の評価プログラムとの連携も含め、計算者の負荷を軽減するためのツール化を推進していく。

計算に用いる UF は、(7)節～(9)節において連続・全館空調条件での詳細計算との比較により精度を検証し、日本の気象条件に対応した計算法を提案する。よって、窓のエネルギー性能を窓製品の横並び比較に用いることが可能となる。しかし、窓の格付けを行うには、目的に応じた基準値のあり方について更に検討が必要である。

今後、本研究において提案される窓のエネルギー性能の評価法が、窓以外の建材（外壁、屋根など）にも適用できるのか、その可能性を明確にしていく。住宅の様々な建材を共通のフローを用いて評価することにより、それぞれの省エネ性への影響度を同時に把握し、住宅全体として最適化することが容易になる。

(7) ブラックボックスアプローチによるユーティリゼーションファクタの同定

ISO 規格 (ISO 18292)⁷による窓のエネルギー性能 (WEP; Window Energy Performance) の評価では、標準住宅 (Reference building) 条件でのユーティリゼーションファクタ (UF; Utilization Factor) の値を用いる必要がある。この UF の値は、暖冷房負荷の簡易計算法である UF 法を規定する別の ISO 規格 (ISO 13790)⁸に基づく。

本研究では、日本の標準住宅について動的熱負荷計算（詳細計算）による暖冷房負荷を UF 法（簡易計算）によりうまく再現する UF を整理することを課題としているが、ISO 13790 のデフォルトの UF 算出式による計算ではよい一致が得られないことが分かった。そこで、ISO 13790 に別の方法として記述されている、詳細計算による暖冷房負荷の結果から UF 値を逆算する方法—ブラックボックスアプローチ (BBA; Black Box Approach)—を用いて、UF 値の同定を試みた。これによると、ISO 13790 のデフォルト算出式に比べて、特に冷房負荷の UF 値にばらつきが出現する結果となった。(7)節では、詳細計算と簡易計算による住宅の暖冷房負荷の比較を示し、導入した BBA 法を概説し、冷房負荷の UF 値の不整合についてその原因を考察する。

詳細計算と簡易計算の暖冷房負荷の比較

(4)節において設定した標準住宅モデルのうち戸建住宅モデルについて、詳細計算および簡易計算による暖冷房負荷を比較する。ここで、詳細計算には住宅用熱負荷計算プログラム”AE-Sim/Heat”を用い、簡易計算では ISO 13790 のデフォルトの UF 算出式を用いた。なお、比較の目的は詳細計算の暖冷房負荷を再現する妥当な UF 値を決定することであり、(3)節に示したように UF 算定式は建物外皮の断熱性と熱容量の比および連続空調における建物の熱損失と熱取得の比の二つの変数で表されることから、(5)節と同様に、全館均一の内部発熱 (4.65 W/m^2) を与え、全館連続空調運転（暖房 18°C 、冷房 27°C ）とした。また、日除けによる日射遮蔽効果は、標準住宅モデルの建物性能ではなく、窓性能として入力すべきと考え、日除けとなるバルコニーや庇は標準住宅モデルから取り除いた。

図 3.3.19 に、札幌、東京、鹿児島気象データによる月別の暖房負荷および冷房負荷の計算結果を示

す。いずれの地点も、月別の暖冷房負荷の変化の傾向は詳細計算と簡易計算でよく一致しているが、詳細計算よりも簡易計算の方が全体的に大きく、特に冷房負荷は差違が顕著であり、冬期において詳細計算では発生しない冷房負荷が簡易計算では発生している。

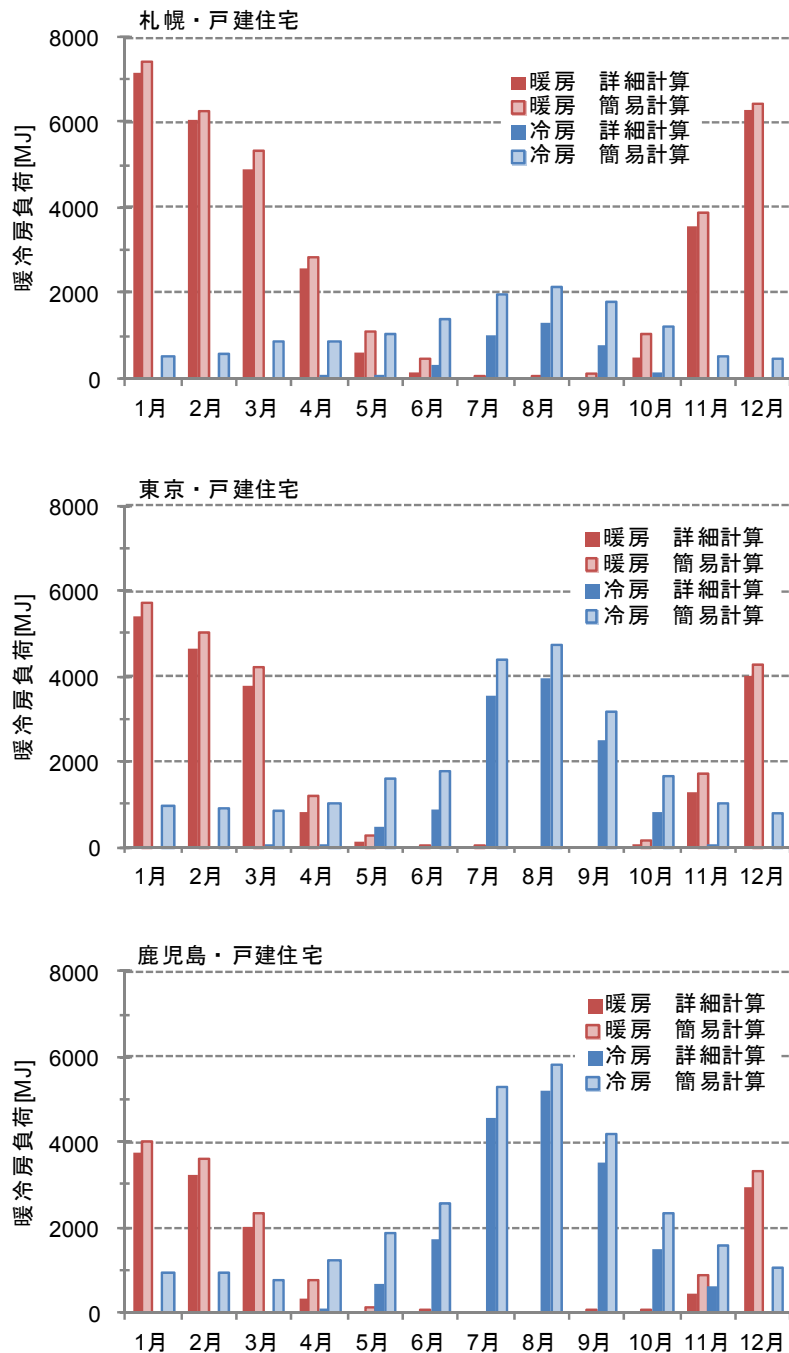


図 3.3.19 詳細計算と簡易計算の暖冷房負荷の比較

戸建住宅、全館連続空調運転（暖房 18℃、冷房 27℃）、札幌・東京・鹿児島、日除けなし

ブラックボックスアプローチの導入

BBA 法は、UF 算定のための実験的パラメータを各国や各地域で個別に定めるために詳細計算による暖冷房負荷から UF 値を逆算する方法として、ISO 13790 の附属書に記述されている。

ISO 13790 では熱負荷と熱損失と熱取得との関係は UF を用いて式(3.3.34)で表されるので、熱負荷と熱損失と熱取得が既知ならば式(3.3.35)により UF を求めることができる。そこで、標準住宅モデルにおける熱負荷と熱損失と熱取得を求めるために、詳細計算法による暖冷房負荷計算を表 3.3.8 の 4 つのケースで実施する。まず、Case 0 で通常の熱負荷を求める (式(3.3.36))。次に、Case 1 で全熱取得をゼロに設定した条件での熱負荷を求める。これは熱損失に相当する (式(3.3.37))。次に、Case 2 で、全熱取得を利用するように暖房設定を高温に、全熱損失を利用するように冷房設定を低温に、それぞれ設定した条件、つまり UF の値が 1 となる状態での熱負荷を求め、Case 3 ではさらに全熱取得をゼロに設定した熱負荷を求める。これらの熱負荷の差が熱取得に相当する (式(3.3.38))。最終的に、式(3.3.35)で得られる UF を式(3.3.39)の熱収支比の関数として整理する。

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad (3.3.34)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{Q_{H,ht} - Q_{H,nd}}{Q_{H,gn}} \quad \eta_{C,ls} = \frac{Q_{C,gn} - Q_{C,nd}}{Q_{C,ht}} \quad (3.3.35)$$

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,0} \quad Q_{C,nd} = Q_{C,nd,0} \quad (3.3.36)$$

$$Q_{H,ht} = Q_{H,nd,1} \quad Q_{C,ht} = Q_{C,nd,1} \quad (3.3.37)$$

$$Q_{H,gn} = Q_{H,nd,3} - Q_{H,nd,2} \quad Q_{C,gn} = Q_{C,nd,2} - Q_{C,nd,3} \quad (3.3.38)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad \gamma_C = \frac{Q_{C,ht}}{Q_{C,gn}} \quad (3.3.39)$$

記号は、 Q : 月別または期間の熱量(kWh), η : UF(-), γ : 熱収支比(-)

添字は、 H : 暖房, C : 冷房, nd : 負荷, ht, ls : 損失, gn : 取得

なお、Case 1 では普通に暖冷房負荷計算を実行すると、室内設定温度よりも室外気温が高い時間帯には暖房負荷が発生せず、室外気温が低い時間帯には冷房負荷が発生しない。Case 1 で得られる熱負荷を式(3.3.37)のように熱損失とみなすためには、室内気温を暖冷房設定温度に維持する熱負荷を得る必要がある。そこで、Case 1 では暖房設定温度に対する暖房負荷と冷房負荷および冷房設定温度に対する暖房負荷と冷房負荷の計算を実行する。

表 3.3.8 Black Box Approach の計算手順

Case #	計算条件	出力
Case 0	通常の暖冷房負荷計算を実行	$Q_{H,nd0}$ $Q_{C,nd0}$
Case 1	Case 0 の条件で、内部発熱と日射熱取得と天空放射をゼロとして暖冷房負荷計算を実行	$Q_{H,nd1}$ $Q_{C,nd1}$
Case 2	Case 0 の条件で、暖房負荷計算では暖房設定温度を高く、冷房負荷計算では冷房設定温度を低く設定して暖冷房負荷計算を実行	$Q_{H,nd2}$ $Q_{C,nd2}$
Case 3	Case 2 の条件で、内部発熱と日射熱取得と天空放射をゼロとして暖冷房負荷計算を実行	$Q_{H,nd3}$ $Q_{C,nd3}$

BBA 法による UF の算出と考察

2 節の標準住宅モデルの詳細計算を BBA 法に適用して UF 値を算出した。図 3.3.20 に BBA 法により得られた月別の熱収支比 (式(3.3.39)) と UF 値 (式(3.3.35)) の分布を示す。また、ISO 13790 のデフォルト算定式による UF 曲線も併せて示す。これによると、BBA 法による暖房 UF、冷房 UF とともに ISO

13790 デフォルト算定式の曲線に沿って分布するが、やや大きい値となることが分かる。また、札幌は一つの曲線に集約されるが、東京7~9月の冷房、鹿児島5月10月の暖房、鹿児島9月の冷房などは曲線から明らかに外れる。これらの地点と月では室外気温が室内設定温度を上回る時間帯があり、このとき、貫流と換気により室外から室内へ熱が流入、つまり負の熱損失となる。しかし、式(3.3.37)ではBBA法のCase 1による熱負荷をそのまま熱損失とするため、このような時間帯を含む全時間帯の正負の熱損失が合計（相殺）され、熱損失の絶対値が過小評価されると考えられる。(8)節では、室外気温の高低の時間帯を分離して、正負の熱損失を正しく評価する方法をBBA法とUF法に導入することを提案する。

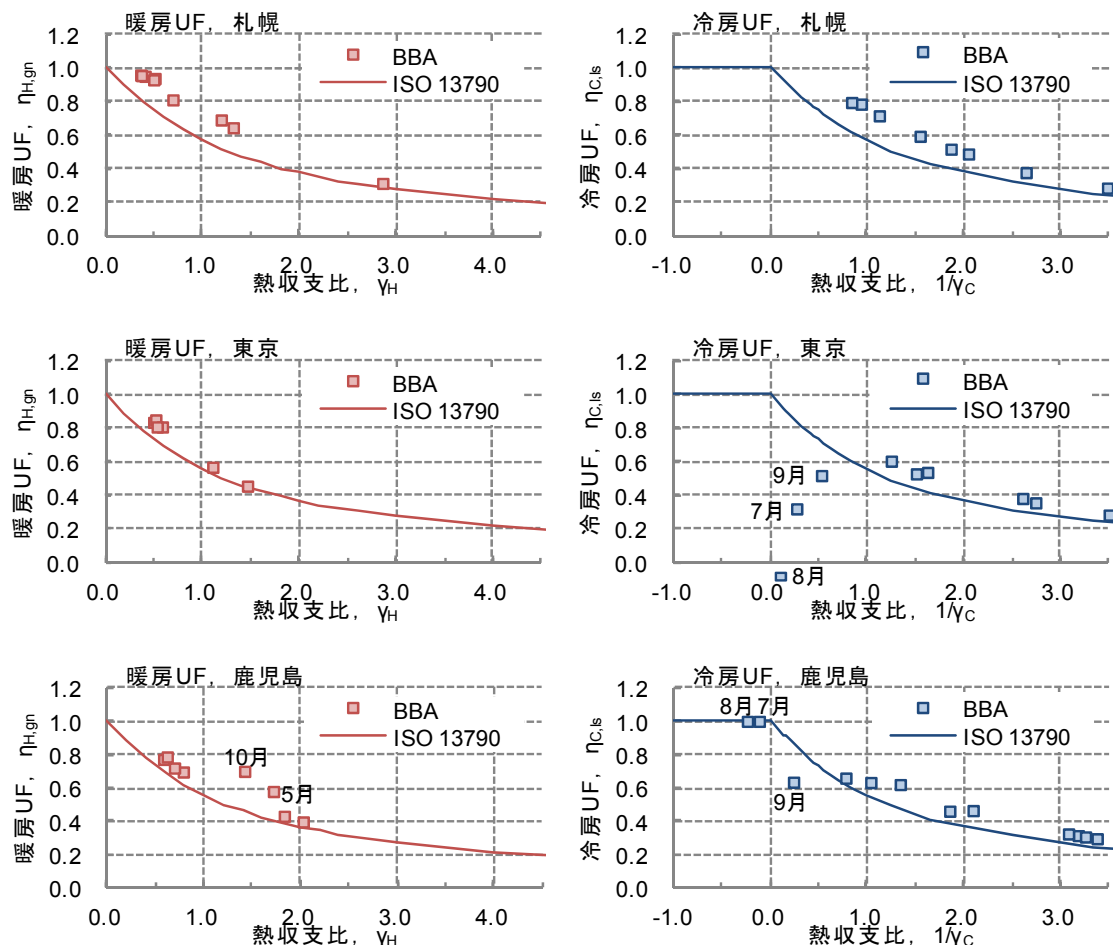


図 3.3.20 BBA 法による月別 UF の分布と ISO 13790 デフォルト算定式による UF 曲線の比較

(8) 寒暖の時間帯が混在する日本の気候に対応する計算方法

(7)節では、ブラックボックスアプローチ法 (BBA; Black Box Approach 法) を用いて、動的熱負荷計算 (詳細計算) の結果からユーティリゼーションファクタ (UF; Utilization Factor) の算出を試みたが、ISO デフォルト算出式による UF 曲線から外れた値が散見された。室内設定温度に対して室外気温が高い或いは低い時間帯が混在するような日本の気候に対応するには計算手法の改良が必要と考えられる。そこで、(8)節では、その改良をまず BBA 法に導入して UF の値を確認する。またその UF 値に適合するように ISO13790⁸⁾ (簡易計算) で使用する住宅モデルの断熱性と熱容量による固有の値を同定する。次に簡易計算にもこの手法を導入して暖冷房負荷を求め、妥当性を検討した。

計算条件

詳細計算，簡易計算の標準住宅モデルの条件（(4)節）を表 3.3.8 に示す。

表 3.3.8 計算条件

戸建住宅モデル	寒冷地仕様 (I, II地域)	延床面積 120.08m ² 窓面積 25.22m ²
	温暖地仕様 (III~VI地域)	延床面積 120.08m ² 窓面積 32.20m ²
壁床天井	次世代省エネ基準 ¹²⁾ の仕様基準に従う	
空調運転方法	全館連続運転 暖房設定 温度 18℃ 冷房設定 温度 27℃	
内部発熱	顕熱発熱 4.65W/m ²	
換気回数	0.5 回/hr	
計算地域	I 札幌, IV 東京, V 鹿児島	
窓の熱性能	一戸全ての窓性能は同一とする。 札幌 熱貫流率 2.33 (W/m ² K) 日射熱取得率 0.52 (-) 東京, 鹿児島 熱貫流率 4.65 (W/m ² K) 日射熱取得率 0.45 (-)	

熱損失の正負分離の BBA 法への適用

日本の冷房期では，室内設定温度より室外気温が低くなる時間帯と高くなる時間帯が混在しているため，BBA 法の Case1 の通りに熱損失を算出すると室内から室外へ流出する正の熱損失と室外から室内へ流入する負の熱損失が合計（相殺）されてしまい過小評価されることがわかった．そこで，室内設定温度より室外気温が低くなる時間帯と高くなる時間帯に分離する方法（熱損失の正負分離の方法）を提案する．具体的には，BBA 法の Case0~3 で得た熱負荷を，室内設定温度に比べて室外気温が低い時間帯と高い時間帯に分離して集計し，それぞれの時間帯における熱損失と熱取得から UF を算出する．図 3.3.21，図 3.3.22 に正の熱損失が生じる時間帯の暖房 UF と冷房 UF の分布を示す．実線は ISO 13790 のデフォルト算定式による UF 曲線である．これより熱損失の正負分離の方法を取り入れた BBA 法による UF 値が UF 曲線に沿って分布していることがわかる．(7)節の図 3.3.20 で見られるような UF 曲線から外れた値が改善され，熱損失の正負分離の方法の導入は有用な手段であることが確認された．また，BBA 法による UF 値は ISO13790 のデフォルト算定式による UF 曲線と比べて大きく，詳細計算の暖冷房負荷が簡易計算のそれより小さくなる傾向と一致している．そこで，BBA 法による UF 値の分布か

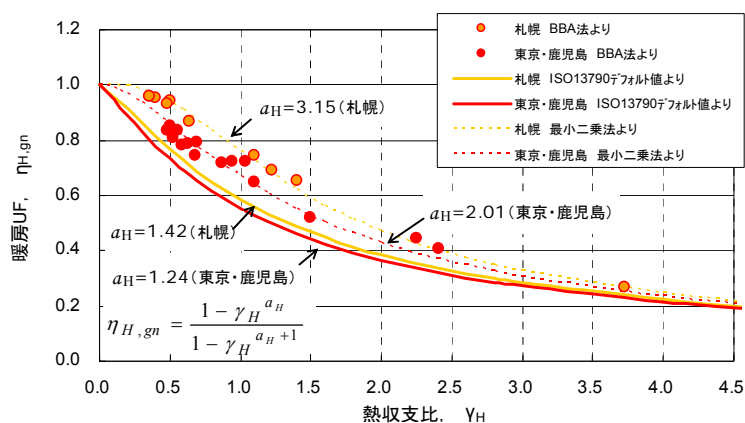


図 3.3.21 暖房の UF

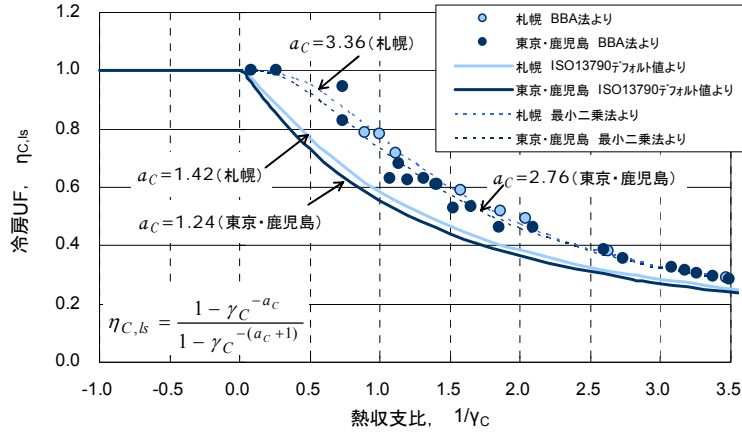


図 3.3.22 冷房のUF

ら UF 算定式の変数となる住宅モデルの断熱性と熱容量による固有の値 a_H , a_C を最小二乗法により同定した。東京と鹿児島の住宅モデルは仕様が同一なので両者の結果を合わせ、札幌とは区別して整理した。なお、負の熱損失、すなわち熱収支比 γ が負の場合には、暖房 UF は暖房負荷が 0 になるように、冷房 UF は 1 になるように別途値が規定されているので、これを用いる。

熱損失の正負分離の UF 法への適用 計算方法概要

熱損失の正負分離の方法を簡易計算へも適用する方法について、連続空調時の冷房負荷を例にとり示す。基礎式(3.3.40)を、熱損失、熱取得、UF の各々について室内設定温度と比べて室外気温が低い時間帯（正の熱損失;肩書き \oplus ）と高い時間帯（負の熱損失;肩書き \ominus ）に分けて記述すると式(3.3.41)になる。 \oplus の時間帯、 \ominus の時間帯における熱損失、熱取得は、1 時間毎の気象データから室外平均気温、月別合計時間、受照面日射量等を用意し、式(3.3.42) (3.3.43) (3.3.46) (3.3.47)より算出する。上述の住宅モデルの断熱性と熱容量から決まる固有の値 a_H , a_C を用いて、式(3.3.44)により UF を算出する。

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad (3.3.40)$$

$$Q_{C,nd} = (\oplus Q_{C,gn} - \ominus \eta_{C,ls} \oplus Q_{C,ht}) + (\ominus Q_{C,gn} - \ominus \eta_{C,ls} \ominus Q_{C,ht}) \quad (3.3.41)$$

$\theta_{i,set} \geq \theta_{e,avg}$ のとき（正の熱損失； \oplus の時間帯）

$$\oplus Q_{C,ht} = H_{tr} \cdot (\theta_{i,set} - \theta_{e,avg})^{\oplus} t \quad (3.3.42)$$

$$\oplus Q_{C,gn} = \oplus Q_{sol} + \oplus Q_{int} \quad (3.3.43)$$

$$\oplus \eta_{C,ls} = \frac{1 - \oplus \gamma_C^{-a_C}}{1 - \oplus \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (3.3.44)$$

$$\oplus \gamma_C = \frac{\oplus Q_{C,gn}}{\oplus Q_{C,ht}} \quad (3.3.45)$$

$\theta_{i,set} < \theta_{e,avg}$ のとき（負の熱損失； \ominus の時間帯）

$$\ominus Q_{C,ht} = H_{tr} \cdot (\theta_{i,set} - \theta_{e,avg})^{\ominus} t \quad (3.3.46)$$

$$\ominus Q_{C,gn} = \ominus Q_{sol} + \ominus Q_{int} \quad (3.3.47)$$

$$\ominus \eta_{C,ls} = 1 \quad (3.3.48)$$

$Q_{C,nd}$: 月別の冷房負荷 (MJ/月)

$Q_{C,gn}$: 月別の熱取得 (MJ/月)

- $Q_{C,ht}$: 月別の熱損失 (MJ/月)
- $\eta_{C,ls}$: 冷房期の UF (-)
- H_{tr} : 住宅モデルの熱損失係数 (W/K)
- $\theta_{i,set}$: 室内設定温度 (°C)
- $\theta_{e,avg}$: 室外平均気温 (°C)
- t : 月別の時間 (h)
- Q_{sol} : 月別の日射による熱取得 (MJ/月)
- Q_{int} : 月別の内部発熱による熱取得 (MJ/月)
- γ_C : 熱収支比 (-)
- a_C : 住宅モデルの断熱性と熱容量による固有の値 (-)

詳細計算と簡易計算の暖冷房負荷比較

暖冷房負荷について詳細計算による結果と熱損失の正負分離の方法を導入した簡易計算による結果を併せて図 3.3.23 に示す。簡易計算の結果は詳細計算に比べて、暖房負荷が小さく冷房負荷が大きくなっているが、(7)節の図 3.3.19 に比べて一年を通じて良く整合している。詳細計算の暖冷房負荷を上手く再現するような簡易計算の UF を算出することが本研究の課題の一つであったが、熱損失の正負分離の方法を導入すれば解決できることが確認された。

室内設定温度に比べて室外気温の寒暖の時間帯が混在するような日本の気候に対して比較的寒冷的な欧州で開発された簡易計算法を直接適用することができなかったが、熱損失の正負分離の方法を導入することにより適切な UF 値を算出できることを示した。今後この手法で得られた UF 値を用いて窓エネルギー性能評価の検討を行っていく。

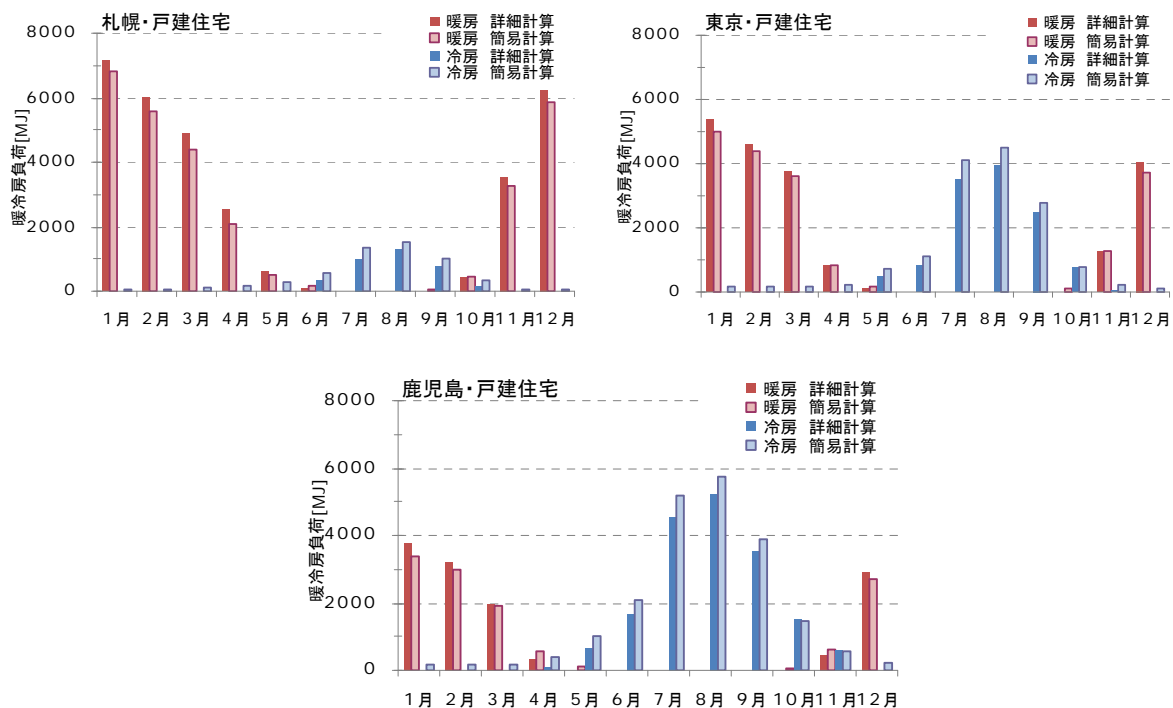


図 3.3.23 詳細計算と簡易計算の暖冷房負荷の比

(9) 窓のエネルギー性能算出に用いるユーティリゼーションファクタの算出手順

(9)節では、(8)節で提案された熱損失の流出入で分けたユーティリゼーションファクタ (UF ; Utilization Factor) の同定 (熱損失の正負分離の方法) と計算対象建物のパラメータ (建物パラメータ) の最適化を行なう手法を集合住宅の標準モデルに適用させ、有効性を検討する。次に窓の仕様により変化する UF を各住宅の省エネルギー基準に掲載された地域別性能基準値より標準化する方法について検証する。最後に ISO 18292⁷⁾記載の窓のエネルギー性能算出の日本における課題についてまとめる。

計算条件

本節で扱う動的熱負荷計算 (詳細計算法) ISO 13790 の熱負荷算出法 (簡易計算法) の計算条件を表 3.3.9 に示す。

表 3.3.9 計算条件概要

集合住宅モデル (最上階/妻側)	延床面積 70.00m ² 窓面積 12.26m ² 全地域共通
壁床天井	次世代省エネ基準 ¹²⁾ の仕様基準に従う
空調運転方法	全館連続運転 暖房設定 温度 18℃ 湿度成り行き 冷房設定 温度 27℃ 湿度 60%
内部発熱	顕熱発熱 4.65W/m ²
換気回数	0.5 回/hr
計算地域	I 札幌, IV 東京, V 鹿児島
窓の熱性能	全窓が同一性能のものとする。 札幌 熱貫流率 2.33(W/m ² K) 日射熱取得率 0.52 東京, 鹿児島 熱貫流率 4.65(W/m ² K) 日射熱取得率 0.45

熱損失の正負分離の方法による UF 同定の検証

集合住宅の標準モデル (最上階/妻側) を対象にブラックボックスアプローチ法 (BBA 法; Black Box Approach 法) による UF と(8)節にて提案された熱損失の正負分離の方法による UF の検討を行う。BBA 法の詳細計算は温熱環境シミュレーションプログラム”AE-Sim/Heat”¹¹⁾を用いた。図 3.3.24 に BBA 法と熱損失の正負分離の方法の暖房期の熱収支比 γ_H と UF $\eta_{H,gn}$ の関係を示す。図 3.3.25 に同様に冷房期の熱収支比 $1/\gamma_C$ と UF $\eta_{C,ls}$ の関係を示す。比較対象として簡易計算法による数値を併記する。暖房の UF は 3 つの手法で同様の分布となった。一方、冷房の UF は BBA 法でのばらつきが熱損失の正負分離の方法で改善されており本手法の有効性が確認できた。

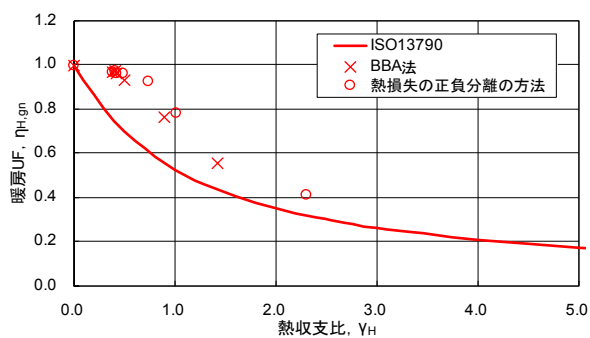


図 3.3.24 暖房期の $\eta_{H,gn}$ の比較

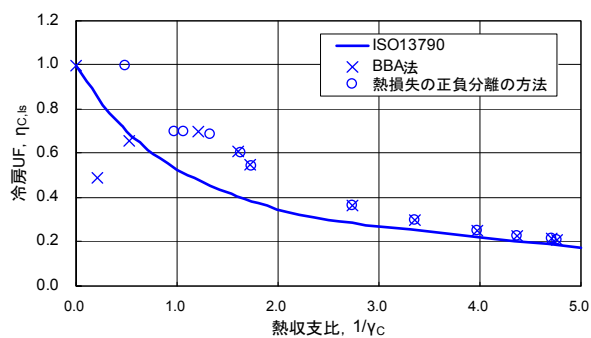


図 3.3.25 冷房期の $\eta_{C,ls}$ の比較

計算対象建物のパラメータ最適化の検証

熱損失の正負分離の方法により簡易計算法と同様の分布となる UF の同定が可能となったが、建物パラメータに ISO 13790 記載の参考値を用いると値は一致しない。建物パラメータは国毎に適正值の決定が可能である為、熱損失の正負分離の方法により得られた UF への最小二乗近似から最適値算出を試みた。図 3.3.26 に暖房の UF を示す。建物パラメータの最適化により UF が一致した。冷房の UF についても同様の結果が得られた。

次に最適化された UF を用いた簡易計算法と詳細計算法により算出した熱負荷の比較を図 3.3.27 に示す。詳細計算結果に対して多少の乖離はあるが月毎の負荷傾向を表せている。今後、最適化された UF を用いた簡易計算結果と詳細計算結果の負荷傾向の整合性が、同一仕様の建物であれば地域に拠らず保たれる事を確認する必要がある。

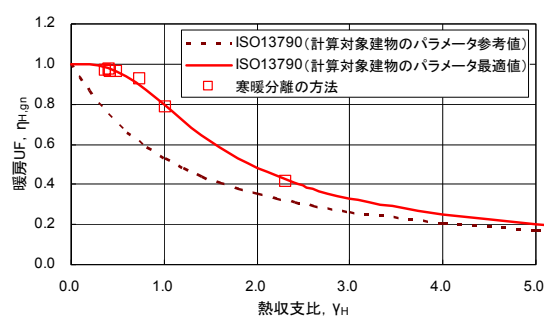


図 3.3.26 計算対象建物のパラメータ最適化による UF の検討

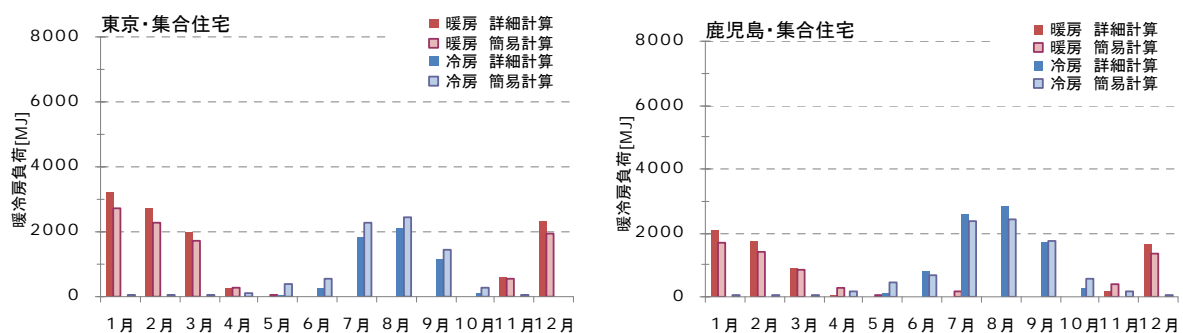


図 3.3.27 簡易計算と詳細計算の暖冷房負荷の比較

ユーティリゼーションファクタ固定化の検討

簡易計算法による建物の暖冷房負荷計算法においては、熱損失と熱取得が変化すれば UF も変化する。即ち、窓の熱貫流率 U_w と日射熱取得率 g_w が変化しても UF が変化することになる。しかし、窓のエネルギー性能を評価する上で、建物全体の特性値である UF まで遡って計算するには大きな計算負荷が発生する。また、暖冷房エネルギーに対する窓の熱性能の影響を直接的に表すには、UF は変化せず固定値とすべきである。

そこで、窓の代表的な熱性能で算出した UF (UF_0) を全ての窓に用いることが可能かを検証する。ここでは、「住宅に係るエネルギー使用の合理化に関する設計、施工及び保全の指針」に示されている地域別の窓の熱性能基準値による UF_0 を用いた場合と個々の窓の熱性能から得られる UF を用いた場合の建物全体の暖冷房負荷を比較する。表 3.3.10 に計算条件の概要を示す。

表 3.3.10 計算条件概要

計算モデル	標準住宅モデル (戸建住宅, 集合住宅)
窓仕様	・基準値 札幌 Uw : 2.33(W/ (m ² K)) gw : 0.45 東京 Uw : 4.65(W/ (m ² K)) gw : 0.45 鹿児島 Uw : 4.65(W/ (m ² K)) gw : 0.45
	・仕様変更 Uw : 1.00~10.00 1.00 ピッチ gw : 0.10~0.90 0.10 ピッチ

検証は簡易計算法に基づき以下の手順により行う。

- ① 全窓を基準値として UF₀ を算出
- ② 南面テラス窓の熱性能を変化させ、それぞれの Case で通常の手順で UF を算出、それを用いて熱負荷を算出
- ③ 南面テラス窓の熱性能を変化させ、全ての Case で UF₀ を用いて熱負荷を算出
- ④ ②と③の熱負荷の差を比較

戸建住宅における検証結果を図 3.3.28 に示す。UF₀ による算出結果は通常の UF による算出結果に対して暖房負荷は 97%~106%、冷房負荷は 95%~109%であった。しかし、ガラス・フレームの性能から現実的な窓の U_w, g_w の範囲 (赤で示した範囲) で見ると乖離は 5%以下であることから、UF₀ を用いた窓のエネルギー性能評価は可能と考えられる。

相対比 [%]	gw									
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	
U _w [W/m ² K]	1.00	100	99	98	98	97	96	96	95	95
	2.00	101	100	99	98	98	97	96	96	95
	3.00	102	101	100	99	98	98	97	96	96
	4.00	103	102	101	100	99	98	98	97	96
	5.00	104	103	102	101	100	99	98	98	97
	6.00	105	104	103	102	101	100	99	98	98
	7.00	106	105	103	102	101	101	100	99	98
	8.00	107	106	104	103	102	101	100	100	99
	9.00	108	107	105	104	103	102	101	100	100
	10.00	109	108	106	105	104	103	102	101	100

図 3.3.28 冷房負荷の比較 (戸建住宅)

日本の気象条件に対応した UF の算出方法と UF の固定値 (UF₀) を提案し、窓のエネルギー性能評価における UF の算出手順を標準化した。これにより窓のエネルギー性能を断熱性能、遮熱性能、気密性能から横並び比較を行うことが可能となった。

一方、窓のエネルギー性能 (WEP) が住宅全体の暖冷房負荷の内、窓に起因する部分と捉えられるのか、即ち WEP をそのまま暖冷房エネルギー消費量や CO₂ 排出量に換算することが可能なのかについて、今後の研究により明らかにする必要がある。

また、日本の住宅の省エネルギー基準での窓の基準値を用いた場合の WEP を算出し、省エネルギー基準の変遷と WEP との対比を行う。それにより、住宅の省エネ化、低炭素化を推し進める上で窓に求められる熱性能の方向性を明らかにする。また、各地域区分の中で WEP にどの程度の差異があるのかを明らかにし、WEP に基づいた新たな地域区分の可能性を確認する。これらの取組みにより窓の熱性能を熱負荷レベルで総合化した窓のエネルギー性能の有効性を明確にしていく。

(10) 窓のエネルギー性能の試算

ここまで窓のエネルギー性能評価を日本の住宅に適用させるための様々な検討を行ってきた。(10)節

では、WEP 計算のケーススタディの結果から住宅の窓の熱性能の目指す方向を検討し、窓の断熱性能と日射取得／日射遮蔽性能を統合して表す評価指標として WEP が有用であることを示す。

方位別窓エネルギー性能の検討

住宅の省エネ基準の新6地域の東京を想定して、庇と日射遮蔽物がなく、窓の日射熱取得率を中程度一定として、窓の熱貫流率を1.30および4.65 W/(m²·K)とした場合の方位別WEPを検討する。計算条件を表3.3.11に、計算結果を図3.3.29、表3.3.12に示す。

WEPの値が小さいほど暖冷房負荷が小さくなることを意味する。WEPが負の値のときは暖房WEPでは窓からの熱取得が暖房負荷削減と建物の蓄熱に利用され、冷房WEPでは窓からの熱損失が冷房負荷削減と建物の除熱に利用されることを表している。まず、方位別にWEPを比較すると、暖房WEPは南面では小さく、北面では大きい。冷房WEPは東面、西面が大きいことがわかる。また、窓の熱貫流率が小さい場合には、冷房WEPが若干大きくなるが、暖房WEPがそれ以上に小さくなるため、年間合計の暖冷房WEPも小さくなることが分かる。

表 3.3.11 計算条件

地域	: 6地域 東京
窓の熱貫流率 (2水準)	: 1.30, 4.65 (W/(m ² K))
窓の日射熱取得率	: 中程度
サッシ気密等級	: A-4等級
遮蔽物	: なし
庇	: なし

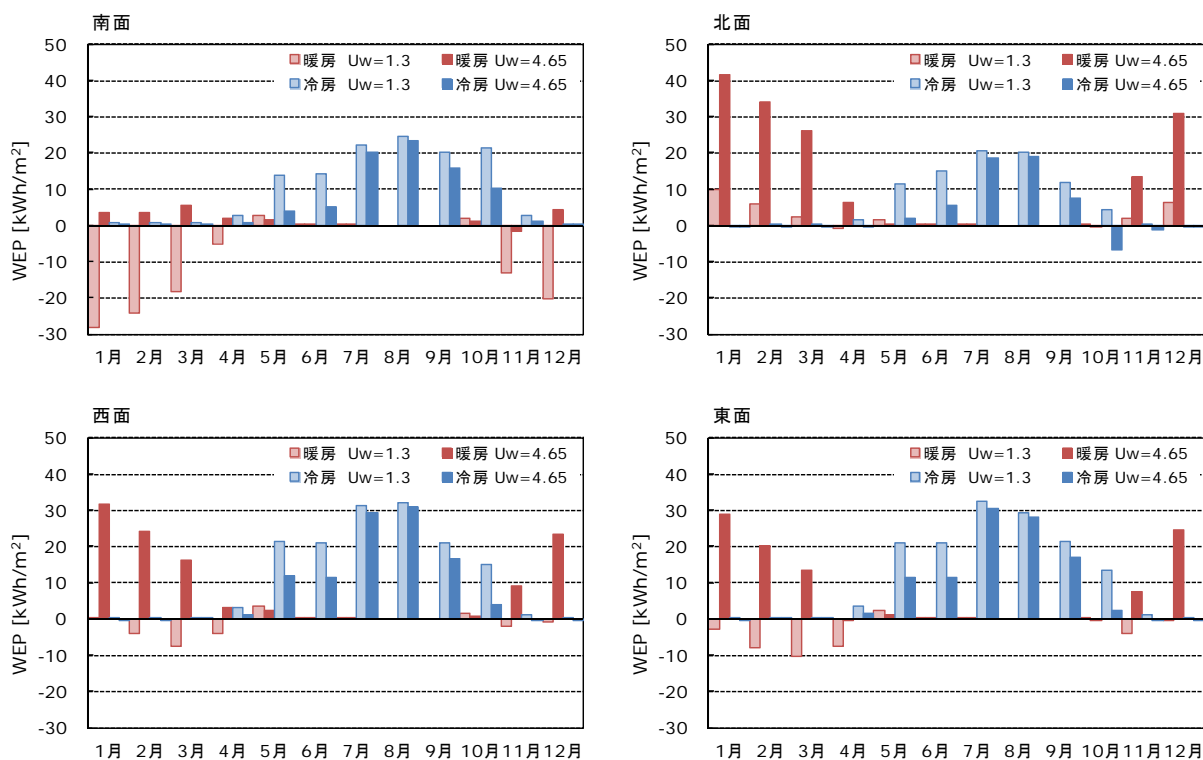


図 3.3.29 方位別 WEP 計算結果 (東京, 庇なし, 遮蔽物なし, 日射熱取得率中程度)

表 3.3.12 方位別 WEP 計算結果（東京，庇なし，遮蔽物なし，日射熱取得率中程度）

WEP _H	U _w =1.3				U _w =4.65			
	南	西	北	東	南	西	北	東
1月	-28	0	10	-3	4	32	42	29
2月	-24	-4	6	-8	4	24	34	20
3月	-18	-8	2	-10	5	16	26	14
4月	-5	-4	-1	-8	2	3	6	-1
5月	3	3	2	2	1	2	0	1
6月	0	0	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	0	0
10月	2	1	0	1	1	1	0	0
11月	-13	-2	2	-4	-2	9	13	8
12月	-20	-1	6	0	4	24	31	24
年間	-105	-14	27	-30	20	111	152	95

WEP _C	U _w =1.3				U _w =4.65			
	南	西	北	東	南	西	北	東
1月	1	0	0	0	0	0	0	0
2月	1	0	0	0	0	0	0	0
3月	1	0	0	0	0	0	0	0
4月	3	3	1	4	1	1	-1	2
5月	14	21	12	21	4	12	2	11
6月	14	21	15	21	5	12	6	12
7月	22	31	21	33	20	29	19	31
8月	25	32	20	29	24	31	19	28
9月	20	21	12	22	16	16	7	17
10月	21	15	4	14	10	4	-7	2
11月	3	1	0	1	1	0	-1	0
12月	0	0	0	0	0	0	0	0
年間	124	147	85	145	82	105	43	103

WEP_{H+C}	19	133	113	115	102	216	195	198
--------------------------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

窓の熱貫流率が小さくなると
暖冷房 WEP 小



庇と遮蔽物の組み合わせによる窓の熱性能と窓のエネルギー性能の検討

庇，遮蔽物の組み合わせは様々あるが，その中でどのような窓の使用方がよいかを検討する．ここでは各方位のWEPに標準住宅モデルの各方位の窓面積を重みとして加重平均して標準住宅モデル一戸における平均的なWEPにより比較を行う．

計算条件を表3.3.13に示す．窓の熱貫流率を3水準，窓の日射熱取得率を3水準とし，遮蔽物は4水準，庇はなし，ありの2水準とする．庇がある場合は，日除け効果係数として，個々の窓の庇寸法に応じた取得日射量補正係数²²⁾を方位別に窓面積加重平均した値を用いた．

表 3.3.13 計算条件

地域	: 2 地域 札幌, 6 地域 東京
窓の熱貫流率 (3 水準)	: 1.3, 2.33, 4.65 (W/(m ² K))
窓の日射熱取得率 (3 水準)	: 低, 中, 高
サッシ気密等級	: A-4 等級
遮蔽物 (4 水準)	: なし, LC, 内BL, 外BL LC: レースカーテン, 内BL: 内付ブラインド, 外BL: 外付ブラインド
庇 (2 水準)	: なし, あり

表 3.3.14 および表 3.3.15 に，窓の熱性能を一年間および全方位で固定した場合の標準住宅モデルの暖冷房 WEP を算出した結果を示す．これらによると，窓の熱貫流率を小さく，窓の日射熱取得率を高く

すると暖房 WEP は小さくなり、窓の熱貫流率を大きく、窓の日射熱取得率を低くすると冷房 WEP は小さくなる事が分かる。また札幌、東京いずれも窓の熱貫流率が小さい方が年間の暖冷房 WEP を小さくすることができる。札幌では、庇の有無によらず、暖房 WEP が支配的であることから日射熱取得が高い窓の方が暖冷房 WEP を低減できることが確認された。ここで庇の有無による差は軽微である。札幌のような寒冷地においては、暖房期の日射熱取得を期待して高断熱かつ日射熱取得の高い窓（日射取得型）にすることにより年間の窓のエネルギー性能の向上（暖冷房 WEP の削減）が見込まれる。

一方、東京では、暖冷房 WEP に対する庇の効果を確認できた。窓の日射取得/日射遮蔽性能の変化による暖冷房 WEP への影響は軽微であるが、これは暖房 WEP と冷房 WEP の増減が相殺されたことによるもので、使用する遮蔽物種類を全年一定と仮定したためである。夏期と冬期で日射取得/日射遮蔽性能を変化させる、つまり、暖房期と冷房期で遮蔽物の使い分けを行うことで、年間の窓のエネルギー性能の向上（暖冷房 WEP の削減）が見込まれる。

表 3.3.14 標準住宅モデル WEP 計算結果、一年中遮蔽物が同一（2 地域 札幌）

庇	遮蔽物	窓の日射熱取得率 [-] gw	暖房WEP			冷房WEP			暖冷房WEP		
			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]		
			U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65
なし	なし	低	27	113	309	39	55	-35	65	129	273
		中	40	40	236	85	62	11	21	102	246
		高	-92	-5	190	113	91	40	21	85	229
	LC	低	49	136	331	24	2	-49	74	138	282
		中	6	92	287	52	29	-22	58	121	266
		高	-16	71	266	65	43	-8	50	114	258
	内BL	低	58	144	340	19	-4	-55	77	141	285
		中	22	109	304	41	19	-32	64	128	272
		高	7	94	289	51	28	-23	58	122	266
	外BL	低	117	204	399	-18	-41	-92	99	163	307
		中	103	190	385	-10	-32	-83	94	158	302
		高	97	184	379	-6	-28	-79	91	155	299
あり	なし	低	38	125	320	24	1	-50	62	126	270
		中	-28	58	253	61	38	-13	26	96	240
		高	-70	17	212	84	61	10	14	78	222
	LC	低	59	145	340	12	-11	-62	71	135	279
		中	19	105	301	34	12	-39	53	117	261
		高	-1	86	281	45	22	-29	44	108	253
	内BL	低	66	153	348	8	-15	-66	74	138	282
		中	34	121	316	26	3	-48	60	124	268
		高	20	107	302	33	11	-40	54	118	262
	外BL	低	120	207	402	-22	-45	-96	98	162	306
		中	108	194	389	-15	-38	-89	92	156	300
		高	102	188	383	-12	-35	-86	90	154	298

表 3.3.15 標準住宅モデル WEP 計算結果、一年中遮蔽物が同一（6 地域 東京）

庇	遮蔽物	窓の日射熱取得率 [-] gw	暖房WEP			冷房WEP			暖冷房WEP		
			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]		
			U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65
なし	なし	低	-22	17	103	70	57	27	48	73	131
		中	-74	-35	51	124	111	82	50	76	133
		高	-106	-68	19	158	145	116	52	77	135
	LC	低	-6	33	119	53	40	11	47	73	130
		中	-37	2	88	86	73	43	49	74	131
		高	-52	-14	73	101	88	59	49	75	132
	内BL	低	0	39	125	47	34	4	47	72	130
		中	-25	13	100	73	60	31	48	74	131
		高	-36	3	89	84	71	42	49	74	131
	外BL	低	42	81	167	3	-10	-40	45	70	128
		中	33	71	158	13	0	-30	45	71	128
		高	28	67	153	18	5	-25	46	71	128
あり	なし	低	-16	22	109	56	49	14	40	65	123
		中	-65	-26	60	102	89	60	37	63	120
		高	-95	-57	30	131	118	89	36	61	119
	LC	低	-1	37	124	42	29	-1	41	66	123
		中	-30	8	95	69	56	27	39	65	122
		高	-44	-6	80	83	70	41	38	64	121
	内BL	低	5	43	129	36	23	-6	41	66	124
		中	-19	19	106	59	46	17	40	65	122
		高	-29	9	96	68	55	26	39	65	122
	外BL	低	44	82	169	-1	-14	-43	43	68	126
		中	35	73	160	8	-5	-35	42	68	125
		高	30	69	155	12	-1	-31	42	68	125

表の見方

WEP 小 → 大

そこで、窓の熱性能を遮蔽物により夏期と冬期で使い分けた場合の標準住宅モデルでの暖冷房 WEP を算出した。暖房期は遮蔽物なし、冷房期は遮蔽物を使用した場合の計算結果を表 3.3.16 と表 3.3.17 に示す。ここで、断熱性能は通常ガラスやフレームの断熱性能で決まるため夏期と冬期で変化しないものと仮定した。

札幌、東京いずれも、熱貫流率が小さく、日射熱取得率が高い窓で、夏期に外付けブラインドを使用した場合が最も暖冷房 WEP が小さくなる結果となった。この場合、庇が無い方が窓のエネルギー性能は向上する。熱貫流率が小さく、日射熱取得率が高い窓の暖冷房 WEP は、札幌、東京いずれも負の値を示している。これは、窓からの熱の流入・流出により暖冷房負荷を軽減する可能性があることを示しており、窓がパッシブハウスや ZEH の実現に寄与すると言える。暖房 WEP と冷房 WEP を個々に見ると、暖房 WEP では、窓の日射取得（高日射熱取得率）と高断熱化（低熱貫流率）により住宅の暖房負荷低減に大きく寄与し、冷房 WEP では、窓の日射遮蔽（外付けブラインド）と低断熱化（高熱貫流率）により住宅の冷房負荷低減に寄与する。ただし、冷房負荷削減のために窓をあえて低断熱化する必要はなく、外気温度が室内気温よりも低い時間帯に窓を開放して通風換気することで熱損失（熱排出）を促し、低断熱にすること以上の効果をもたらすと考えられる。逆に、外気温度が室内気温よりも高い時間帯には、室外から室内へ流入する貫流熱（負の熱損失）を低減するためにはやはり高断熱化が必要である。

以上のことから、住宅の暖冷房負荷を低減するために、必要な窓性能、遮蔽物、庇について以下のようまとめられる。

- ・ 窓の高断熱化（熱貫流率を小さくすること）が必須である。
- ・ 窓開放により通風換気を促進する。
- ・ 季節により遮蔽物を使い分ける（暖房期は遮蔽物を取り払い、冷房期には遮蔽する）
- ・ その場合、窓自体の日射熱取得率は高いほうが望ましい。
- ・ 地域、方位により適切な庇の設計を行う。


WEP を用いることにより窓の日射取得／日射遮蔽性能と断熱性能（通風性能）を夏期と冬期で適宜変化させることによる暖冷房負荷低減の可能性を明示することができた。低炭素社会に対応した窓の熱性能評価指標として WEP は有効に利用されるものとなるを考える。

表 3.3.16 標準住宅モデル WEP 計算結果、遮蔽物の使い分け（2 地域 札幌）

庇	遮蔽物	窓の日射熱取得率 [-]	暖房 WEP			冷房 WEP			暖冷房 WEP		
			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]		
暖房期 / 冷房期	gw		U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65
なし	なし/LC	低	27	113	309	24	2	-49	51	115	259
		中	-46	40	236	52	29	-22	6	70	214
		高	-92	-5	190	65	43	-8	-22	37	182
	なし/内BL	低	27	113	309	19	-4	-55	46	110	254
		中	-46	40	236	41	19	-32	-5	59	203
		高	-92	-5	190	51	28	-23	-41	23	167
	なし/外BL	低	27	113	309	-18	-41	-92	9	73	217
		中	-46	40	236	-10	-32	-83	-56	8	152
		高	-92	-5	190	-6	-28	-79	-97	-34	111
あり	なし/LC	低	38	125	320	12	-11	-62	50	114	258
		中	-28	58	253	34	12	-39	6	70	214
		高	-70	17	212	45	22	-29	-25	39	183
	なし/内BL	低	38	125	320	8	-15	-66	46	110	254
		中	-28	58	253	26	3	-48	-2	62	206
		高	-70	17	212	33	11	-40	-36	28	172
	なし/外BL	低	38	125	320	-22	-45	-96	16	80	224
		中	-28	58	253	-15	-38	-89	-44	20	165
		高	-70	17	212	-12	-35	-86	-82	-18	126

表 3.3.17 標準住宅モデル WEP 計算結果, 遮蔽物の使い分け (6 地域 東京)

庇	遮蔽物	窓の日射熱取得率 暖房期 /冷房期 gw	暖房WEP			冷房WEP			暖冷房WEP		
			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]			窓の熱貫流率 [W/(m ² K)]		
			U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65	U _w =1.3	U _w =2.33	U _w =4.65
なし	なし/LC	低	-22	17	103	53	40	11	31	57	114
		中	-74	-35	51	86	73	43	12	37	94
		高	-106	-68	19	101	88	59	5	21	78
	なし/内BL	低	-22	17	103	47	34	4	25	50	108
		中	-74	-35	51	73	60	31	-1	25	82
		高	-106	-68	19	84	71	42	-22	3	61
	なし/外BL	低	-22	17	103	3	-10	-40	-19	6	63
		中	-74	-35	51	13	0	-30	-61	-36	22
		高	-106	-68	19	18	5	-25	-89	-63	-6
あり	なし/LC	低	-16	22	109	42	29	-1	26	51	108
		中	-65	-26	60	69	56	27	5	30	87
		高	-95	-57	30	83	70	41	-12	13	70
	なし/内BL	低	-16	22	109	36	23	-6	20	46	103
		中	-65	-26	60	59	46	17	-6	20	77
		高	-95	-57	30	68	55	26	-27	-1	56
	なし/外BL	低	-16	22	109	-1	-14	-43	-17	8	66
		中	-65	-26	60	8	-5	-35	-57	-32	26
		高	-95	-57	30	12	-1	-31	-83	-58	-1

表の見方 
WEP 小 → 大

参考文献：

- 「断熱部材の LCCO₂ 評価・算定法の標準化調査」成果報告書, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 平成 20 年 3 月
- (JIS 案) 建築用断熱材及び開口部材の LCCO₂ の算定及び表示方法
- Establishment of European Window Energy Rating System (EWERS) Final Project Report, European Window Energy Rating, 2000
- BFRC Rating Calculations, British Fenestration Rating Council, 2004
- CSA A440.2-04 -- Energy performance of windows and other fenestration systems
- CSA A440.3-04 -- User guide to CSA A440.2-04, Energy performance of windows and other fenestration systems
- ISO 18292:2011, Energy performance of fenestration systems for residential buildings -- Calculation procedure
- ISO 13790:2008, Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling
- 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, (財)建築環境省エネルギー機構, 2009 年 7 月
- 砂川雅彦, 鈴木大隆, 三浦尚志, 中村美紀子: 集合住宅におけるエネルギー性能評価の与条件の検討 その 2 集合住宅の住戸位置の違いによる暖冷房負荷の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010 年 9 月
- AE-Sim/Heat (株)建築環境ソリューションズ
- 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, 平成 21 年 3 月
- 拡張アメダス気象データ 1981-2000, (社)日本建築学会, 2005 年 8 月
- JIS A 2102-1:2011, 窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算—第 1 部: 一般
- JIS A 2102-2:2011, 窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算—第 2 部: フレームの数値計算方法
- JIS A xxxx, 窓及びドアの熱性能—日射熱取得率の計算— (2012 年度制定予定)

- 17) JIS A 4710:2004, 建具の断熱性試験方法
- 18) JIS A 1472:2005, 出窓及び天窗の断熱性試験方法
- 19) JIS R 3106:1998, 板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法
- 20) JIS R 3107:1998, 板ガラス類の熱抵抗及び建築における熱貫流率の算定方法
- 21) JIS A 1516:1998, 建具の気密性試験方法
- 22) 住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報
- 23) 木下泰斗, 齊藤孝一郎, 塩崎智子, 石橋健太郎, 赤坂裕: 窓のエネルギー性能評価に関する ISO 規格の日本の住宅への適用に関する研究 その 1~4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp.301-308, 2011.8
- 24) 齋藤孝一郎, 木下泰斗, 石橋健太郎, 塩崎智子, 赤坂裕ほか: 窓のエネルギー性能評価に関する ISO 規格の日本の住宅への適用に関する研究 その 5~8, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp.67-74, 2012.9

3.4 評価事例の紹介

(1) 環境技術実証事業 (ETV : Environmental Technology Verification)

環境実証事業とは、すでに適用が可能な段階にありながら、環境保全効果等について客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果等を第三者が客観的に実証する事業を実施することにより、環境技術を実証する手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展を促進することを目的とし、環境省が実施しているものである¹⁾。実施している技術分野一覧を表 3.4.1 に示す。

この事業において実施している「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他を試験等に基づき客観的なデータとして示すことと定義し、「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なるものとしている。

建築分野に関連する技術としては、「ヒートアイランド対策大綱」の影響もあり、ヒートアイランド対策ヒートアイランド対策技術分野（建築物外皮による空調負荷低減等技術）が実施されるようになった。

平成 23 年 11 月 7 日の報道発表資料 (<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14409>) を参考にこの技術分野を紹介する、ヒートアイランド対策技術分野（建築物外皮による空調負荷低減等技術）は、建築物（事務所、店舗、住宅など）に後付けができる外皮によって室内冷房負荷の低減等をさせ、人工排熱を減少させる技術を対象としたものであり、その代表的なものとしては、窓ガラスの遮蔽性能を向上させ日射熱の侵入量を抑制させる「窓用日射遮蔽フィルム（窓用日射遮蔽コーティング材）」や建築物の屋根・屋上の日射反射率を高め表面温度を低下させる「屋根・屋上用高反射率塗料」が挙げられる。また、最近では、建築物の屋根・屋上に敷設し、蒸発潜熱により屋根・屋上表面温度を低下させる「屋根・屋上用保水性建材」の技術も実施するようになっている。これらは、既存の建築物に適用が可能である、大規模な工事を必要としない、屋上緑化等の技術と異なり建物への荷重が問題とならない等の理由により、他のヒートアイランド対策と比較して導入が容易な技術といえる。窓用日射遮蔽フィルムについては、国等の公的機関が率先して環境物品等（環境負荷低減に資する製品・サービス）の調達を推進するグリーン購入法の特典調達品目である「日射調整フィルム」に該当しており、環境実証事業に応募し、第三者による客観的な実証を経た技術については、グリーン購入法に適合しているかどうかの判

表 3.4.1 環境実証における技術分野の一覧¹⁾

技術分野	概要	対象となる技術の例
地球温暖化対策技術分野 (照明用エネルギー低減技術 (反射板, 拡散板等))	日常業務または日常生活に求められる光環境の実現に必要なエネルギー消費量を低減し, 温室効果ガス排出削減に資する技術分野	照明ランプ周辺に反射板, 拡散板等を設置することで照明用エネルギーを低減する技術 (照明ランプ単体を除く)
自然地域トイレし尿処理技術分野	山岳地や山麓, 海岸, 離島などの自然地域で上下水道, 電気 (商用電源), 道路等のインフラが不十分な地域, または自然環境の保全に配慮しなければならない地域において, し尿を適切に処理するための技術分野.	非放流式で, し尿を生物処理, 化学処理, 物理処理, もしくはその組合せにより適切に処理するし尿処理技術 (装置) など.
有機性排水処理技術分野	厨房・食堂, 食品工場等から排出される有機性排水を適正に処理するための技術分野.	厨房からの有機性排水を, 生物学的または物理化学的処理により適切に処理する技術 (装置・プラント) など.
閉鎖性海域における水環境改善技術分野	閉鎖性海域において, 水質および底質の直接浄化, または生物生息環境の改善に資する技術分野. ただし, 現場で直接適用可能なものを基本とし, 大規模土木工事等を要するものは除く.	海草の増殖用ネット等を活用した生物生息環境の改善技術, エアレーションや海底耕耘等による水質改善技術, リサイクル材を用いた海域改善技術など.
湖沼等水質浄化技術分野	流入汚濁負荷の削減だけでは水質改善が難しい湖沼等において, 水中, 底泥中の汚濁を直接浄化, または, 汚濁負荷の内部生産を抑制するための技術分野.	ろ過・吸着・沈殿等及び植物プランクトンの異常増殖の抑制による湖沼等の水質改善技術など.
ヒートアイランド対策技術分野 (建築物外皮による空調負荷低減等技術)	建築物 (事務所, 店舗, 住宅など) に後付けで取り付けることができる外皮技術であり, 室内冷房負荷の低減等をさせることによって, 人工排熱を減少させ, ヒートアイランド対策効果が得られる技術分野.	窓用日射遮蔽フィルム, 窓用コーティング材, 窓用後付複層ガラス, 屋根・屋上用保水性建材, 高反射率ブラインド, 防水シート, 高反射率瓦, 高反射率塗料など.
ヒートアイランド対策技術分野 (地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム)	地中等 (地下水・河川・下水等も含む) と外気との温度差を利用し, 外気を熱源とする空冷式ヒートポンプよりも効率的に, また冷房時に外気に放出せずに建築物の冷暖房を行うことでヒートアイランド対策効果が得られる技術分野.	地中熱又は下水熱を熱源とした水冷式ヒートポンプ, 地中熱交換部, 及びそれらを組み合わせたシステム全体.
VOC 簡易測定技術分野	操作・管理の容易性や定量の迅速化などの特徴をもったもので, VOC 等各種ガス取扱い場所における工程管理, 機器管理, VOC 等処理装置管理, 作業環境管理等, 室内環境管理等, VOC 等削減の自主的取り組みや環境管理に有用な技術分野.	VOC に関して複数成分を同時に測定でき, 操作・管理等が簡便な技術.

断においてその実証結果を活用することができるようになっている。しかし、環境物品等の調達の推進に関する基本方針において判断の基準が別途定められており、実証された対象技術が判断の基準を満たさない場合もあるため注意が必要である。

この事業において実施している「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他を試験等に基づき客観的なデータとして示すことと定義し、「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なるものとしている。

建築分野に関連する技術としては、「ヒートアイランド対策大綱」の影響もあり、ヒートアイランド対策ヒートアイランド対策技術分野（建築物外皮による空調負荷低減等技術）が実施されるようになった。

平成 23 年 11 月 7 日の報道発表資料 (<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14409>) を参考にこの技術分野を紹介する、ヒートアイランド対策技術分野（建築物外皮による空調負荷低減等技術）は、建

建築物（事務所、店舗、住宅など）に後付けができる外皮によって室内冷房負荷の低減等をさせ、人工排熱を減少させる技術を対象としたものであり、その代表的なものとしては、窓ガラスの遮蔽性能を向上させ日射熱の侵入量を抑制させる「窓用日射遮蔽フィルム（窓用日射遮蔽コーティング材）」や建築物の屋根・屋上の日射反射率を高め表面温度を低下させる「屋根・屋上用高反射率塗料」が挙げられる。また、最近では、建築物の屋根・屋上に敷設し、蒸発潜熱により屋根・屋上表面温度を低下させる「屋根・屋上用保水性建材」の技術も実施するようになってきている。これらは、既存の建築物に適用が可能である、大規模な工事を必要としない、屋上緑化等の技術と異なり建物への荷重が問題とならない等の理由により、他のヒートアイランド対策と比較して導入が容易な技術といえる。窓用日射遮蔽フィルムについては、国等の公的機関が率先して環境物品等（環境負荷低減に資する製品・サービス）の調達を推進するグリーン購入法の特典調達品目である「日射調整フィルム」に該当しており、環境実証事業に応募し、第三者による客観的な実証を経た技術については、グリーン購入法に適合しているかどうかの判断においてその実証結果を活用することができるようになってきている。しかし、環境物品等の調達の推進に関する基本方針において判断の基準が別途定められており、実証された対象技術が判断の基準を満たさない場合もあるため注意が必要である。

この建築物外皮分野の対象技術は、窓用の技術と屋根・屋上用の技術に大きく区分できる。それぞれの技術における代表的なものを表 3.4.2 に示す。

この建築物外皮分野の開始当初の平成 18 年は、窓用日射遮蔽フィルムの 1 つの技術であったが、現在では 10 種類を超える技術を対象とするようになってきた。それぞれの実証対象技術における件数の推移を表 3.4.3 及び図 3.4.1 に示す。

この事業における「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他を試験等に基づき客観的なデータとして示すことを目的としているため、実証項目の設定、およびその実証方法が重要となる。この実証方法については、「環境技術実証事業実施要領」²⁾、および「実証試験要領」³⁾に従って各対象技術に対して実証試験計画を策定し、実施されている。

表 3.4.2 実証対象技術の一覧

窓用後付技術	窓用日射遮蔽フィルム、窓用日射遮蔽コーティング材、窓用後付複層ガラス 窓用日射遮蔽ファブリックシート、窓用高反射率ブラインド、窓用日射遮蔽網戸 窓用日射遮蔽スクリーン、窓用日射遮蔽レースカーテン、窓用後付日除け建材
屋根・屋上用後付技術	屋根・屋上用高反射率塗料、屋根・屋上用高反射率防水シート 屋根用高反射率瓦、屋根用日除けシート、屋根・屋上用保水性建材
その他	開口部用後付建材

表 3.4.3 実証対象技術の推移

No.	実証対象技術の種類	H18	H19	H20	H21	H22	H23	累計
1	窓用日射遮蔽フィルム	22	23	7	13	11	4	80
2	窓用日射遮蔽コーティング材		7	7	8	6	4	32
3	窓用後付複層ガラス		2	0	1	0	0	3
4	屋根・屋上用高反射率塗料			48	39	32	18	137
5	屋根・屋上用高反射率防水シート			12	0	0	0	12
6	屋根用高反射率瓦			2	4	1	1	8
7	窓用高反射率ブラインド			0	3	2	0	5
8	その他*			1	3	6	10	20
年間合計実証数		22	32	77	71	58	37	297

*：表 3.4.2 の「その他」以外に、No.1～No.7 以外の対象技術を含む

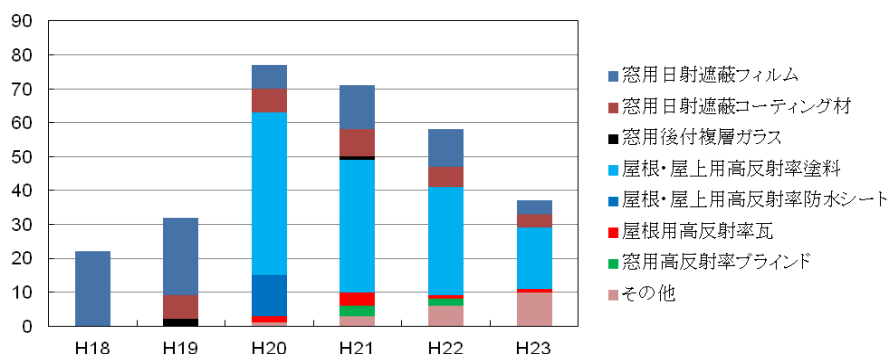


図 3.4.1 実証対象技術の推移

この事業における「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他を試験等に基づき客観的なデータとして示すことを目的としているため、実証項目の設定、およびその実証方法が重要となる。この実証方法については、「環境技術実証事業実施要領」²⁾、および「実証試験要領」³⁾に従って各対象技術に対して実証試験計画を策定し、実施されている。

建築物外皮分野においては、主に建物における熱負荷または、大気への顕熱放散量に影響を及ぼす各物性値を測定し、空調負荷低減による環境保全の効果について実証している。その際、表 3.4.4 に示す実証項目（対象技術の性能を測るための項目）と参考項目（対象技術の性能を測るうえで、参考となる項目）について試験および数値計算を実施している。

試験は、各対象技術に対して策定された実証試験計画に示される方法により実施するが、その多くが JIS に規定された試験方法である。一方、数値計算は、JIS など標準化されたものがないため、学識経験者などにより検討が行われ実証試験計画の策定を行い、実施されている。数値計算には表 3.4.5 に示すシミュレーションソフトを使用し、表 3.4.6 および図 3.4.2 の住宅モデル、表 3.4.7 および図 3.4.3 のオフィスモデル、表 3.4.8 および図 3.4.4、図 3.4.5 の工場モデルを用いて実施されている。

実証試験に関する情報は、環境省のホームページ (<http://www.env.go.jp/policy/etv/>) および実証運営機関である建材試験センターのホームページ (<http://www.jtccm.or.jp/etv.html>) で一般に公開されており、試験計画、試験方法の詳細、試験結果の詳細の内容が確認できるようになっている。また過去に実施された実証結果を整理した調査結果（例えば、図 3.4.6～図 3.4.8）も報告されているので、実証試験結果を併せて参照することにより、より多くの情報を得ることができる。

表 3.4.4 実証項目・参考項目の一覧

大項目	小項目
熱・光学能	遮へい係数、熱貫流率、可視光線透過率、可視光線反射率、日射透過率 日射反射率、明度、垂直放射率、修正放射率（長波放射率）
数値計算	冷房負荷低減効果（8月）、冷房負荷低減効果（6～9月） 室温上昇抑制効果（自然室温・体感温度）、屋根（屋上）表面温度低下量 昼間の対流顕熱量低減効果（夏季1ヶ月）、昼間の対流顕熱量低減効果（夏季6～9月） 夜間の対流顕熱量低減効果（夏季1ヶ月）、夜間の対流顕熱量低減効果（夏季6～9月） 暖房負荷低減効果（2月）、暖房負荷低減効果（11～4月） 冷房負荷低減効果（年間空調）、暖房負荷低減効果（年間空調） 冷暖房負荷低減効果（期間空調）、冷暖房負荷低減効果（年間空調） 対流顕熱量低減効果（設定期間中）
環境負荷・維持 管理等性能	性能劣化の把握（促進耐候性試験）、性能劣化の把握（屋外暴露試験） 付着性試験、露点温度

表 3.4.5 数値計算の概要

対象建物	数値計算
戸建て住宅 (平成 18~22 年度は RC 造)	LESCOM-env ⁴⁾
戸建て住宅 (平成 23 年度から木造)	AE-Sim/Heat ⁵⁾
オフィス	NewHASP/ACLD ⁶⁾
工場モデル	AE-Sim/Heat

表 3.4.6 想定する住宅モデル

設定条件	内容
モデル建築物の概要	<ul style="list-style-type: none"> 住宅 [標準問題の提案 (住宅用標準問題)]⁷⁾ 構造: 木造 延べ床面積: 125.86m²
実証項目の対象となる部分	<ul style="list-style-type: none"> 1 階 LD 部 (リビングダイニングスペース部) 対象床面積: 20.49m² 階高: 2.7m 窓面積: 6.62m²
備考	<ul style="list-style-type: none"> 数値計算は, AE-Sim/Heat を用いて行う.

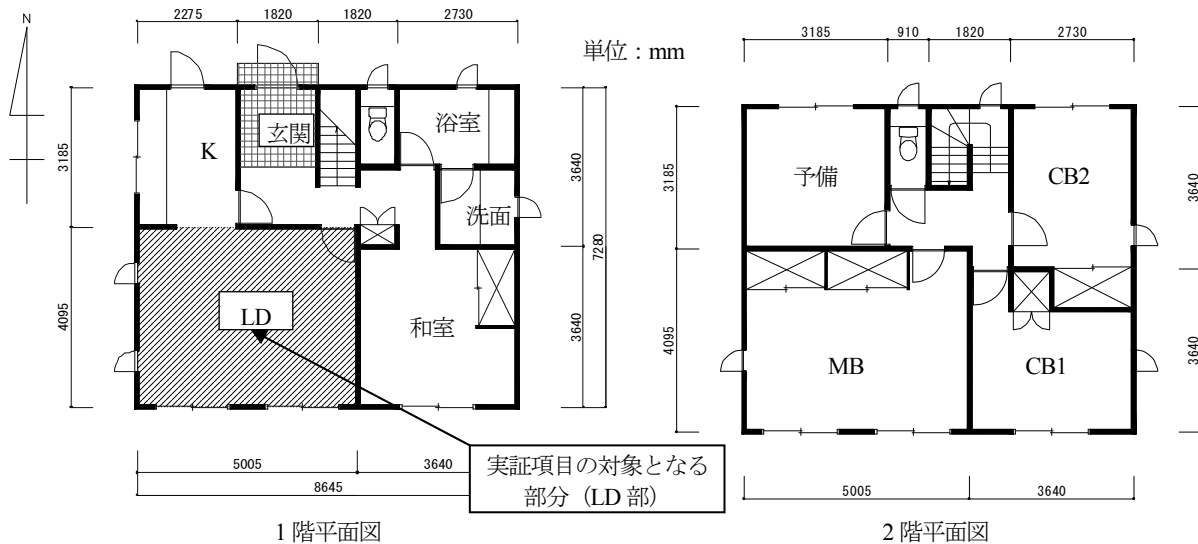


図 3.4.2 計算用住宅モデル (平面図)⁷⁾

表 3.4.7 想定するオフィスモデル

設定条件	内容
モデル建築物の概要	<ul style="list-style-type: none"> オフィス [標準問題の提案 (オフィス用標準問題)]⁸⁾ 構造: RC 造 (鉄筋コンクリート造) 基準階床面積 826.56m²
実証項目の対象となる部分	<ul style="list-style-type: none"> 基準階 (2~7 階) のいずれか 1 フロアの事務室南側部 対象床面積: 113.40m² 階高: 3.6m 窓面積: 37.44m²
オフィス用標準問題からの変更点	<ul style="list-style-type: none"> 基準階の立面において, ガラス窓の寸法を幅 1800mm×高さ 1800 mm から幅 1800 mm×高さ 2600 mm に変更. 窓ガラスの種類を吸熱ガラス (8mm) からフロート板ガラス (8mm) に変更.
備考	<ul style="list-style-type: none"> 室使用パターンは, カレンダー①⁹⁾ (平日 247 日, 土曜日 47 日, 日祝日・年末年始 71 日) を使用する. 数値計算は, NewHASP/ACLD を用いて行う.

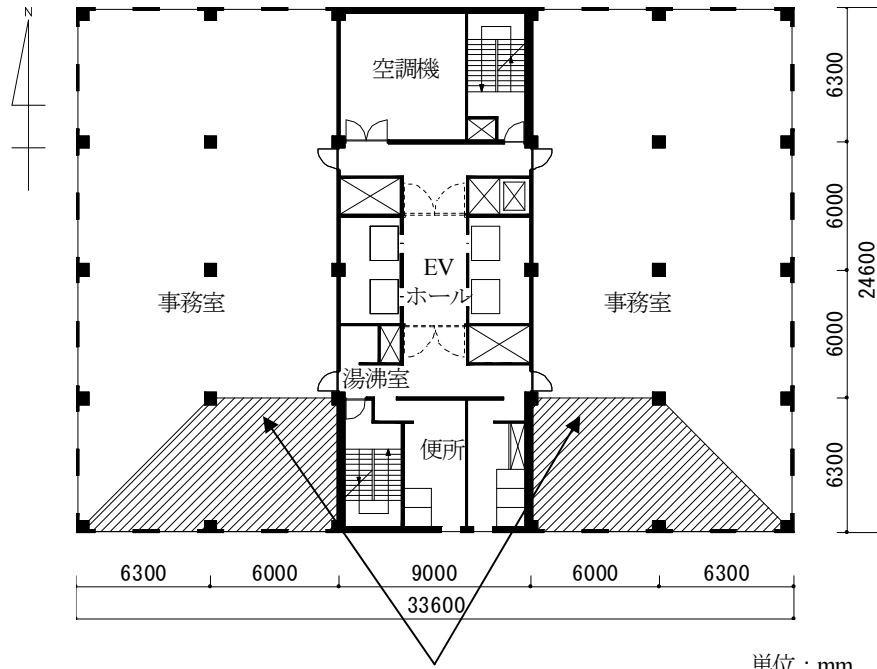


図 3.4.3 計算用オフィスモデル (平面図) ⁸⁾

表 3.4.8 想定する工場モデル

設定条件	内容
モデル建物の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・工場 ・床面積: 1000m² ・構造: S 造 (鉄骨造) ・最高高さ: 10.8m (天井高さ 9.5m)
実証項目の対象となる部分	<ul style="list-style-type: none"> ・工場全体
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・数値計算は, AE-Sim/Heat を用いて行う.

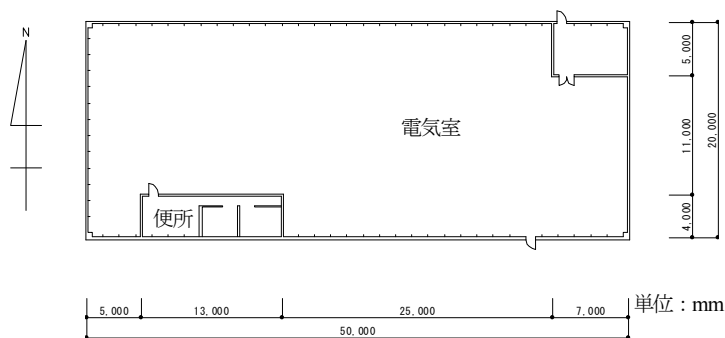


図 3.4.4 計算用工場モデル (平面図)

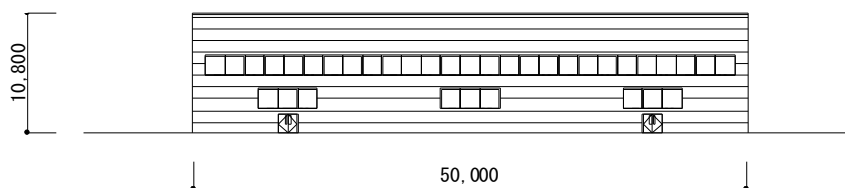


図 3.4.5 計算用工場モデル (南側立面図)

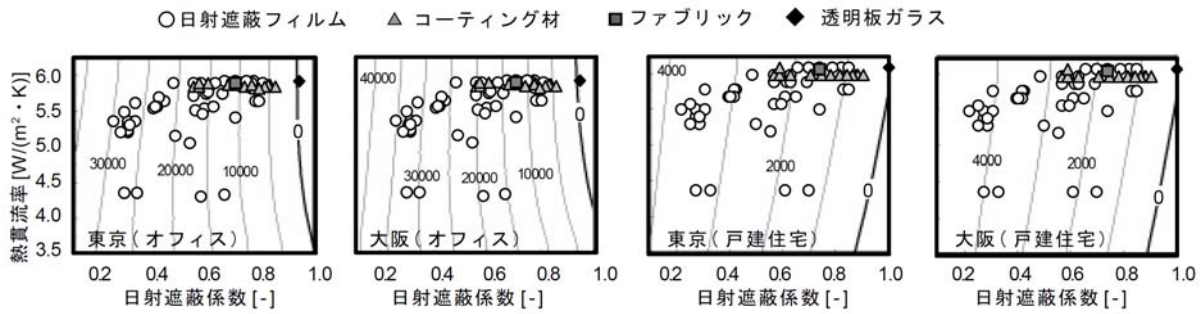


図 3.4.6 透明板ガラス（オフィス:FL8, 住宅:FL3）を基準とした年間冷房負荷低減量（単位:MJ）¹⁰⁾

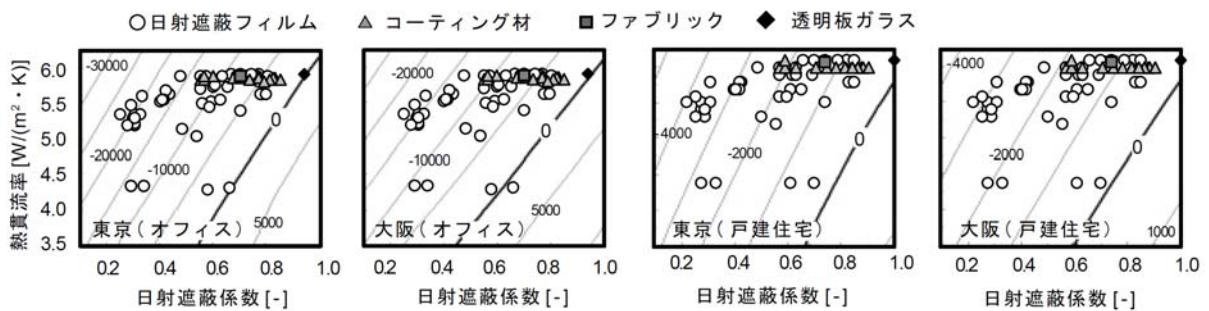


図 3.4.7 透明板ガラス（オフィス:FL8, 住宅:FL3）を基準とした年間暖房負荷低減量（単位:MJ）¹⁰⁾

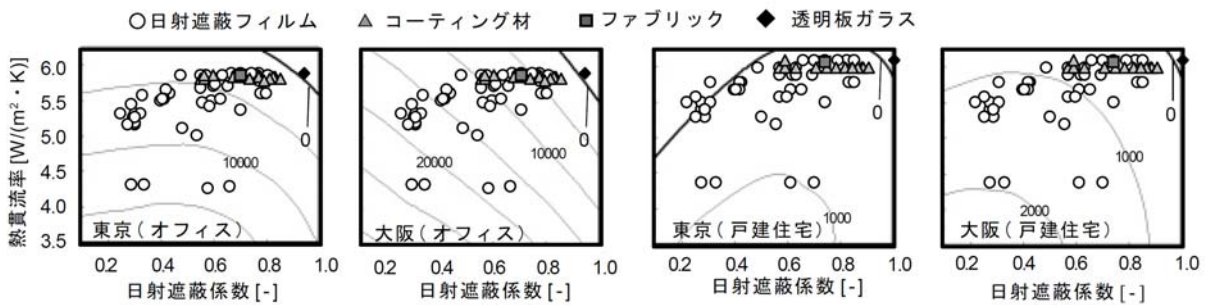


図 3.4.8 透明板ガラス（オフィス:FL8, 住宅:FL3）を基準とした年間冷暖房負荷低減量（単位:MJ）¹⁰⁾

(2) 仕上材料を対象とした総合環境性能評価ツール（T-feels）

仕上材料を対象とした環境評価方法として、エコマーク¹¹⁾、グリーン購入法¹²⁾、BCJ アグレマン事業¹³⁾などの認証制度があり、建材を含めた建物全体の環境性能評価として CASBEE¹⁴⁾がある。さらに、37箇所（2011年2月時点）の自治体で独自に環境負荷の小さい建材の認定基準を策定¹⁵⁾している。これらの評価手法は、評価の視点や基準が異なり、評価手法によって評価結果に差が出る場合もある。

T-feels とは、仕上材料を対象とした総合環境性能評価ツールとして、既存の評価項目をベースに、評価基準設定を行っている。表 3.4.1 に既存の評価方法と T-feels の評価項目¹⁶⁾を示す。T-feels の評価項目は、耐久性、再生資源、オゾン層破壊、地球温暖化、ライフサイクル、有害物質、熱伝導率、木材利用の8項目となっている。新規評価項目は、既存評価手法における評価項目のうち、地球温暖化現象をはじめとする敷地外における環境問題の改善性が緊急の課題とし、敷地外の環境問題の改善性に関する項目を抽出し、敷地内における環境問題や防災性に関する性能は対象外としている。新規評価項目を表 3.4.2 に示す。新規評価項目は大項目として、省資源、地域環境、地球環境を設定し、具体的な評価項目として小項目を設定している。各項目の内容を以下に示す。

表 3.4.1 評価項目

	耐久性	再生資源	オゾン層破壊	地球温暖化	ライフサイクル	有害物質	熱伝導率	難燃性	木材使用
CASBEE	○	○	○	○		○			○
エコマーク		○	○	○	○	○	○		
グリーン購入法		○	○	○	○				
BCJアグレメン			○	○	○	○	○	○	
T-feels	○	○	○	○	○	○	○		○

表 3.4.2 新規評価項目

大項目	小項目
1 省資源	1-1 長寿命性
	1-2 リサイクル材
	1-3 再生可能材料
	1-4 その他の取り組み (解体時の分別のし易さ)
2 地域環境	2-1 健康被害のある物質の使用回避
3 地球環境	3-1 フロン・ハロンの使用抑制
	3-2 製造時の CO ₂ 排出量
	3-3 運用時の CO ₂ 排出量

i) 評価項目

a. 省資源

既存の評価手法の耐久性、再生資源、木材使用に関する項目を参考に、ライフサイクルで非再生性資源の消費量を削減し、非再生性資源のピークアウト回避や最終処分場不足の回避等に寄与できる性能を評価する項目として「省資源」を設定している。さらに、小項目として、物理的な耐用年数により耐久性を評価する「長寿命性」、リサイクル材の含有状況を評価する「リサイクル材」、再生可能材料^(注1)含有の有無を評価する「再生可能材料」、工法により解体時の分別のし易さを評価する「その他の取り組み」を設定している。

(注1) 再生可能材料とは、持続可能な森林から産出された木材や羊毛など、生成速度が、消費速度と比較して比較的早いと考えられるものを指すものとした。

b. 地域環境

既存の評価手法の有害物質に関する項目を参考に、解体後における地域の土壌、水、空気への汚染物質排出量削減性能を評価する項目として、「地域環境」を設定している。評価は、化学物質排出把握管理促進法に定められている第一種、二種指定化学物質の有無により評価している。

c. 地球環境

既存の評価手法のオゾン層破壊、地球温暖化、ライフサイクル、熱伝導率に関する項目を参考に、ライフサイクルでの地球環境への汚染物質排出量削減性を評価する項目として「地球環境」を設定している。さらに、小項目として、フロン・ハロン含有の有無を評価する「フロン・ハロンの使用抑制」、製造時の化石燃料消費による CO₂ 排出量の削減性を評価する「製造時の CO₂ 排出量」、日射遮蔽性能などの向上に寄与するか否かにより運用時の CO₂ 排出量の削減性を評価する「運用時の CO₂ 排出量」を設定している。

ii) 評価基準

a. 仕上材料の分類

仕上材料は多岐にわたるが、設計者がエコマテリアルの使用を検討する場合、使用部位に合わせて選定されている。また、仕上材料は使用箇所によって性能が異なることが一般的である。そこで、評価基

準は部位ごとに設定することが合理的である。設定した仕上材料の分類を表 3.4.3 に示す。分類は、最初に内装と外装に分け、その中で天井・壁、床、屋上に分類し、さらに下地材と仕上材に分け、合計 7 項目に分類している。

表 3.4.3 仕上材料の分類

分類	使用場所		
1	内装	天井・壁	下地
2			仕上げ
3		床	下地
4			仕上げ
5	外装	屋上	—
6		壁	下地
7			仕上げ

b. 評価基準の設定

表 3.4.3 の分類にしたがって、約 100 製品を抽出し、表 3.4.2 に示した評価項目にしたがって環境性能に関するアンケート調査を実施しその結果を参考に評価基準を設定している。評価の段階は、各仕上材料の環境性能に関する優劣を明確にするため、環境性能の高い材料、標準的な材料、環境性能に劣る材料の 3 段階で評価している。環境性能を 3 段階で評価することで、概ね部位毎に仕上材料の環境性能の優劣を比較できている。

参考文献

- 1) 環境実証ホームページ (<http://www.env.go.jp/policy/etv/>) より
- 2) 環境技術実証事業実施要領 (http://www.env.go.jp/policy/etv/t3_02.html) より
- 3) 実証試験要領 (http://www.env.go.jp/policy/etv/t3_06.html) より
- 4) 旧通産省生活産業局の住機能向上製品対策委員会で開発された多数室非定常熱負荷計算プログラム「LESCOM」注) を、実証対象技術に応じた内容に追加開発 (東京理科大学武田仁教授による) したもの
- 5) 株式会社建築環境ソリューションズ (監修: 東京大学 教授 坂本雄三)
- 6) 空気調和・衛生工学会. オフィスビルの内部発熱と熱負荷シミュレーション, 2009, 143p, R-1009-2008. (現在は, 社団法人建築設備技術者協会ホームページ (<http://www.jabmee.or.jp/hasp/>) において公開)
- 7) 宇田川光弘: 標準問題の提案 (住宅用標準問題), 社団法人日本建築学会環境工学委員会熱分科会, 第 15 回熱シンポジウム, 1985
- 8) 滝沢博: 標準問題の提案 (オフィス用標準問題), 社団法人日本建築学会環境工学委員会熱分科会, 第 15 回熱シンポジウム, 1985
- 9) 東京電機大学ほか: 平成 22 年度建築基準整備促進事業 調査番号 22 業務系建築物の省エネルギー基準に関する検討「業務系建築物の省エネルギー基準に関する基礎的調査」
- 10) 伊藤大輔, 武田仁, 足永靖信, 藤本哲夫: 既存の窓面を対象にした遮熱化技術の光学特性及び熱特性の調査と空調負荷削減効果に関する数値計算, 日本建築学会技術報告集, Vol.16, No.32, pp.185-190, 2010
- 11) 財団法人日本環境協会ホームページ (<http://www.ecomark.jp/>) より

- 12) 環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/index.html>) より
- 13) 財団法人日本建築センターホームページ (http://www.bcj.or.jp/c12_rating/bizunit/agreement/index.html)
より
- 14) JSBC : CASBEE-新築 2010 年版,2010 年 7 月
- 15) リサイクル製品認定制度情報サイト (<http://recycle.eco.coocan.jp/index.html>) より
- 16) 高橋愛枝, 永井香織, 小柳秀光, 並木哲, 森川泰成 : エコマテリアルに関する評価方法の実態調査,
日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集, p83-84, 2010 年 10 月

第4章

カーボンニュートラル化に資する個別技術

4.1 カーボンニュートラル化に資する建築生産時の個別技術

(1) 建築工事における個別技術

建設業界団体や大手・準大手の建設会社を中心に、地球温暖化防止対策の一環として建築生産活動における CO₂ 削減に取り組む事例が増加している。建設業界に関連する CO₂ 排出量としては建物運用段階での CO₂ が主であるが、業界が直接管理できるのは建築生産段階での CO₂ であり、業界として建築生産活動における CO₂ 削減を重視しているためである。

建設3団体（（社）日本建設業団体連合会，（社）日本土木工業協会，（社）建築業協会，2011年4月に新日建連に合併）では、1996年に建設業界の環境方針ならびに目標を「建設業の環境自主行動計画」として策定・公表した。1998年には、建築生産段階における CO₂ 排出について“2010年度までに1990年度比で施工高1億円あたりの CO₂ 排出量原単位 12%削減”という目標値を設定し、施工現場の CO₂ 排出量サンプリング調査を毎年実施して実績をフォローしている。その結果、図 4.1.1 に示すように、目標値 12%を5年連続（2004年～2008年）で達成している実績がある²⁾。これらを勘案し、2010年4月には新しい目標値として“2012年度までに1990年度比で施工高1億円あたりの CO₂ 排出量原単位を13%削減”を設定している。

サンプリング調査結果によると、土木・建築とも原単位は改善されているが、大型重機の使用が多い土木工事の CO₂ 排出原単位は、建築工事の CO₂ 排出原単位の約4倍（図 4.1.2）となっており、土木工事比率が全体の CO₂ 排出量原単位の増減に大きく影響している²⁾。また、CO₂ 排出量調査と同時に、作業所における CO₂ 削減活動については、表 4.1.1 に示すような削減活動項目を設け、建設施工現場ごとにその実施率を調査集計している²⁾。

ゼネコン各社も、施工高当たりの CO₂ 排出量原単位について削減目標を掲げ、その実現に向けた取り組みを推進している。ゼネコンによっては、モデル事業所を設定して現場での CO₂ 削減対策を積極的に採用していく取り組みがなされている。また、「建設工事のゼロエネルギー化」という目標を設定し

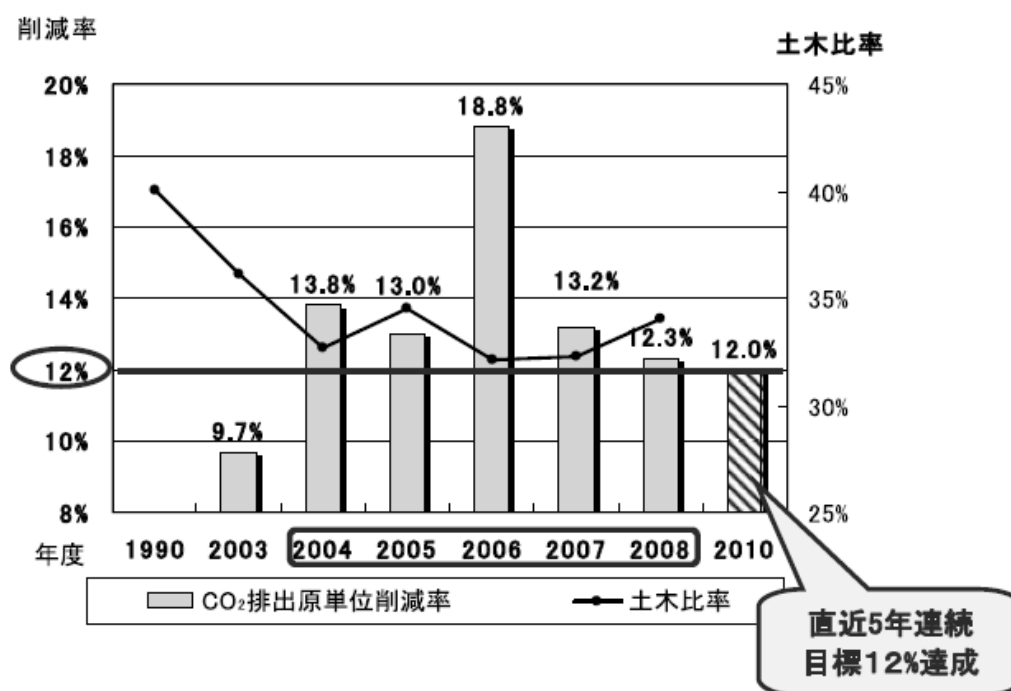


図 4.1.1 CO₂ 排出原単位の削減率の推移（1990 年度比）¹⁾

て、施工の省エネ化を一層推進しながら、メガソーラーなど自社で手掛ける再生可能エネルギー事業で創出したエネルギー量で、施工段階のエネルギー消費量を相殺し、差し引きゼロにするという考え方（カーボンオフセット）も発表されている。

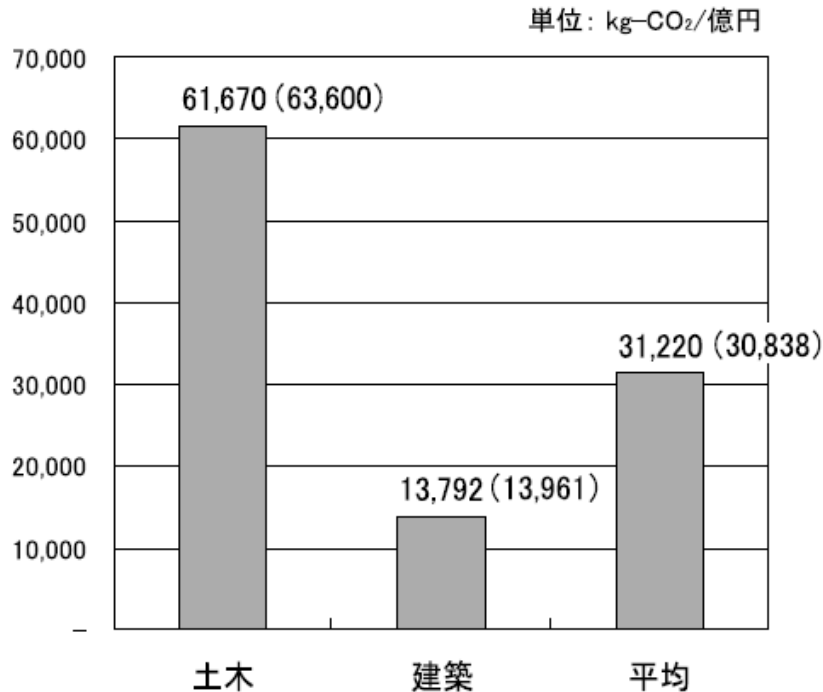


図 4.1.2 2009 年度の CO₂ 排出原単位の比較¹⁾ () 内は 2008 年度

表 4.1.1 CO₂ 排出削減活動と実施率²⁾

	活動項目	1990 年度 実施率 (%)	2009 年度 実施率 (%)	2012 年度 目標値 (%)	
電力	①こまめな消灯	0	70.2	90	
	②空調温度適正化	0	69.0	90	
	③高効率照明の採用	60	83.8	90	
灯油	④適正暖房	0	65.8	90	
	⑤エアコン暖房への切替	30	87.2	85(達成済)	
軽油	⑥アイドリングストップ	車両	0	80.1	90
		重機	0	79.4	90
	⑦適正整備	60	93.0	90(達成済)	
	⑧省燃費運転研修	車両	0	33.5	90
		重機	0	36.7	50
	⑨発生土リサイクル (Q×L) : (m ³ ・km/億円) ここで Q: 平均搬出量 (m ³ /億円) L: 平均搬送距離 (km)	m ³ ・km/億円: Q: 平均搬出量 (m ³ /億円) × L: 平均搬送距離 (km)			
	建築	13,145 Q: 644 L: 20.4	4,850 Q: 258 L: 18.8	9,203 (達成済)	
	土木	24,026 Q: 2,356 L: 11.1	15,088 Q: 1,658 L: 9.1	16,818 (達成済)	

図 4.1.3 に示すように、建設施工現場で使用される最大のエネルギーは軽油であり、2008 年度の調査実績では電力：約 17%、灯油：約 1%、重油：13%に対し軽油：約 69%となっている。従って、「軽油」の使用量を削減することが、建設施工段階における CO₂ 排出量削減のポイントとなる。

建築生産段階における CO₂ 削減は、現場作業所の地道な取り組みや生産の合理化によって削減量を少しずつ積み上げてきている。建材にかかわる取り組み事例としては、トラック積載率の向上による輸送回数の削減、寒中コンクリート養生の燃料削減、省エネ型照明器具の利用、混合廃棄物の輸送量削減などが挙げられる。また、業界団体とゼネコン・協力会社が連携して、重機オペレーターに対する省燃費研修会の開催、現場作業員に対する温暖化防止活動の啓発などに取り組んでいる。

次ページ以降に、建築工事におけるカーボンニュートラル化に資する取り組み事例を紹介する。

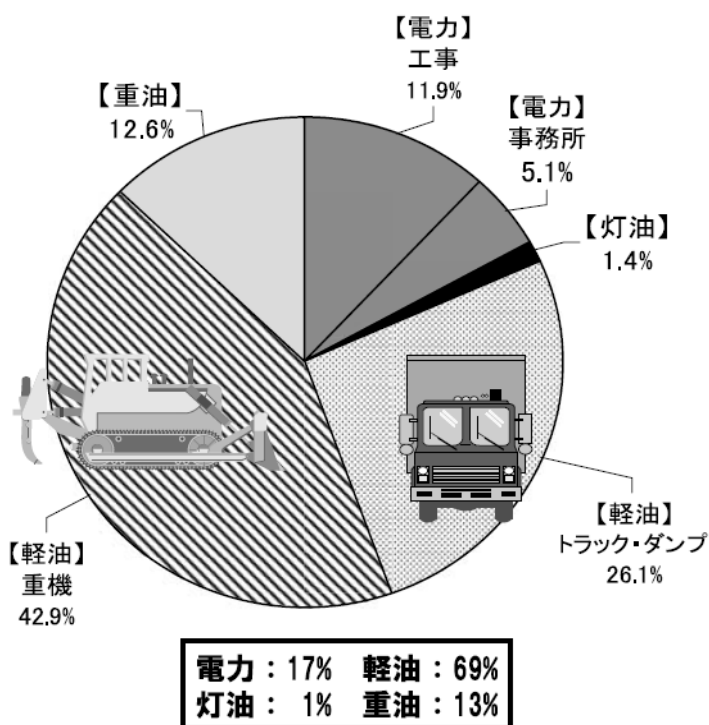


図 4.1.3 建設現場のエネルギー別使用比率（2008 年度）²⁾

参考文献

- 1) 小池勝則：建設 3 団体の地球温暖化防止活動，建設の施工企画，pp.9-13, 2010.11.
- 2) (社) 日本建設業連合会温暖化対策専門部会：CO₂ 排出量調査報告書，2008～2012 年

個別技術 1 - 1

①技術名	型枠の現地加工による輸送量の抑制
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：型枠</p> <p>(b) 適用箇所：RC 集合住宅の躯体</p> <p>(c) 諸元：型枠材約 100m²</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> PCa 造の集合住宅建設工事において、型枠材約 100m² を外部加工業者で加工してから現場に搬入する予定であったが、現場内で加工することにより材料の輸送回数を減らすことにつながった。 規格サイズでまとめて現場に持ち込めるため、外部で加工して持ち込む場合に比べて積載率が高まり運搬効率も向上。 <div data-bbox="539 819 1054 1122" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">外部で加工予定の型枠を現地で加工</p>	
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 10t トラック 1 台あたりの燃費を 2.5km/L, 片道輸送距離を 50km とする。 計画時：輸送回数 5 回×50km×2÷2.5km/L=200L 実績：輸送回数 1 回×50km×2÷2.5km/L=40L 削減効果：(200L-40L) ×2.62kg-CO₂/L=419 kg-CO₂ (80%削減) <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 現場内に型枠の加工ヤードが取れることが条件。 	
① 参考文献	
(社) 日本建設業団体連合会他：建設施工における地球温暖化対策事例集, 2005.3	

個別技術 1 - 2

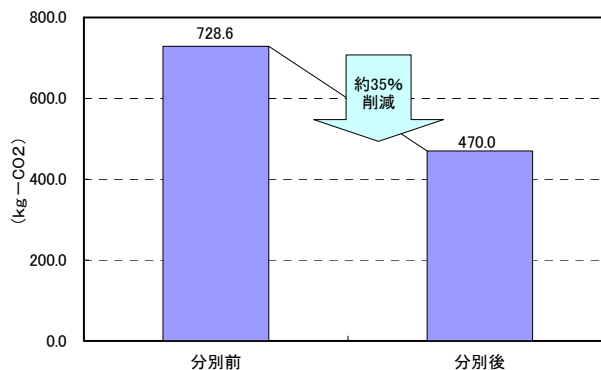
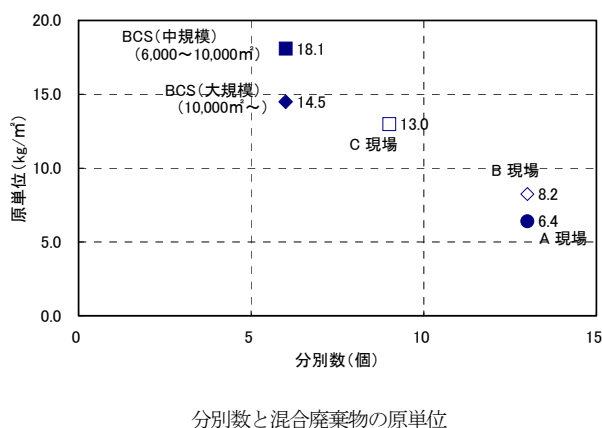
①技術名	コンクリート養生方法の改善による灯油使用量の低減
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：病院建築の RC 躯体</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 北海道での病院工事で、冬季コンクリート養生時に周囲をビニールシートで覆って採暖するが、上部本設床を先行打設して囲いの一部として活用した。 打設階の密閉度が高まり、採暖に要する燃料を半減した。 <div data-bbox="459 667 1152 1238" style="text-align: center;"> </div>	
③効果	
<p>(a) CO₂削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 灯油の排出係数を 2.49 kg-CO₂/L とする。 活動前：116,319L×2.49 kg-CO₂/L=289,634 kg-CO₂ 活動後：58,750L×2.49 kg-CO₂/L=146,288 kg-CO₂ 削減効果：143,346 kg-CO₂ (49.5%削減) <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 作業環境が向上 除雪時の安全性が確保された 仮設資材を低減 	
④参考文献	
(社) 日本建設業団体連合会他：建設施工における地球温暖化対策事例集，2005.3	

個別技術 1-3

①技術名	仮設照明器具の変更による電力使用量の低減
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：仮設照明器具</p> <p>(b) 適用箇所：集合住宅工事の仮設照明</p> <p>(c) 諸元：白熱電球 100W (100V, 90W), 蛍光ランプ 100W (100V, 22W)</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 躯体内の仮設照明を1フロア当たり 30 箇所, 計 10 フロア分を 100W 白熱電球で計画していたが, 100W 型電球形蛍光ランプに変更し, 消費電力を削減した. <div data-bbox="421 680 1197 1211" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">100W型電球形蛍光ランプ</p>	
③効果	
<p>(a) CO₂削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 100W 白熱電球の電力使用量：300 箇所×90W×8 時間/日=216,000Wh ・ 100W 蛍光ランプの電力使用量：300 箇所×22W×8 時間/日=52,800Wh ・ 削減効果：(216kWh-52.8kWh) ×0.39kg-CO₂/kWh=63.6 kg-CO₂ (76%削減) <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ランプ寿命も伸びる 	
④参考文献	
(社) 日本建設業団体連合会他：建設施工における地球温暖化対策事例集, 2005.3	

個別技術 1 - 4

①技術名	混合廃棄物の分別による廃棄輸送時の CO ₂ 排出量削減
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：混合廃棄物</p> <p>(b) 適用箇所：建設現場の廃棄コンテナ</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物排出量の原単位集計に基づき、工事の進捗状況に合わせて、重点化した建設副産物の分別を徹底して行う。 ・ 現場から排出される混合廃棄物について、建設副産物の分別種類を増やし、混合廃棄物の嵩密度を大きくする。 ・ 市街地の狭隘な敷地に建設する小規模ビルでは、廃棄コンテナを配置する場所が確保しづらく、小規模な現場への適用には課題がある。 	
③効果	
<p>(c) CO₂ 削減試算</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建設副産物の分別種類を 8 種類と 14 種類の場合で、混合廃棄物の平均嵩密度と車両 1 台当たりの排出量、トータルの車両台数を比較した。その結果、廃棄輸送時の CO₂ 排出量を約 35%削減できる。 <p><8 種類分別の場合（分別前）></p> <p>平均嵩密度 0.25t/m³ 車両 1 台当たりの排出量 1.47t/台 車両台数 77 台</p> <p><14 種類分別の場合（分別後）></p> <p>平均嵩密度 0.38t/m³ 車両 1 台当たりの排出量 2.28t/台 車両台数 50 台</p> <p>※収集トラック容量 6m³ トータル排出量 113.2t</p>	
④参考文献	
名知洋子他：建築生産プロセスにおける建設副産物の排出要因と混合廃棄物量に関する一考察，日本建築学会技術報告集，第 18 号，pp.325-328（2003）	



(2) コンクリート部材における個別技術

コンクリートの主材料である普通ポルトランドセメントは CO₂ 原単位が非常に大きいため、コンクリート部材中のセメント使用量を如何に低減できるかという観点から、コンクリート部材のカーボンニュートラル化に向けた技術開発が活発に行われている。セメント産業からの CO₂ 排出量は国全体の CO₂ 排出量 13.7 億トン（2007）に対して 3.7%程度を占めており¹⁾、この量は約 5000 万トンの莫大な量に相当するため、コンクリート部材の低炭素化には大きな削減効果が期待される。

表 4.1.2 にコンクリート構成材料の CO₂ 原単位を示す。普通ポルトランドセメントの CO₂ 原単位は 766.6kg-CO₂/トンと他の構成材料と比較して極めて大きく、コンクリートの CO₂ 原単位のほとんどはセメントによる CO₂ 排出量に由来していることが分かる。これはセメントの主原料であるクリンカーの製造時に、化石燃料の燃焼や原材料である石灰岩の熱分解に伴って多量の CO₂ を排出するためである。

コンクリート部材の CO₂ 削減方法を表 4.1.3 に示す。材料レベルから部材レベルまで、セメント、コンクリート、コンクリート部材の各対象に応じて CO₂ 削減が行うことができる。

セメントを対象とした場合の CO₂ 削減方法として低炭素型のコンクリートの事例が紹介している。ここでは、できる限りクリンカー使用量の低減させることが CO₂ 削減に効果的であり、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの産業副産物を有効利用し、多量に混合させることで低炭素型のコンクリートを製造する技術が開発・実用化されている。

コンクリートを対象とした場合の CO₂ 削減方法としてはコンクリート中のセメント使用量の低減が有効である。セメント中への球形混和材や超微粒子の混和技術または粒径の良い骨材を選定技術などによってコンクリートのワーカビリティを向上させ、コンクリート調合の単位水量の低減もしくは同一強度に対する水セメント比を大きく設定するにより、使用するセメント量を低減させることができる。

コンクリート部材を対象とした場合としては、コンクリートの高強度化の技術が紹介している。コンクリートを通常の 3~5 倍まで高強度化することで、柱や梁などの部材断面をスリム化し、建築部材全量としてのセメント使用量、更には鉄筋量や骨材量を低減させることのできる技術である。

次ページ以降に、コンクリート部材におけるカーボンニュートラル化に資する取組み事例を紹介する。

表 4.1.2 コンクリート構成材料の CO₂ 原単位

項目	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /トン)	出典元
普通ポルトランドセメント	766.6	*1
高炉スラグ微粉末	26.5	*1
細砂	3.7	*1
砕石	2.9	*1
上水	0.19	*2

*1) 土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), 2005

*2) 国立環境研究所: 産業関連表による二酸化炭素排出原単位, 1995

表 4.1.3 コンクリート部材の CO₂ 削減方法

レベル	対象		CO ₂ 削減方法
材料 ↓ 部材	1	セメント	セメント中のクリンカー使用量の削減
	2	コンクリート	コンクリート中のセメント使用量の削減
	3	コンクリート部材	コンクリート使用量の削減

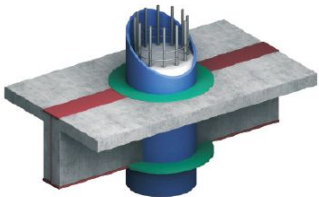
参考文献

- 1) 細谷俊夫: セメント産業における CO₂ 排出削減の取組み, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.51-53, 2010


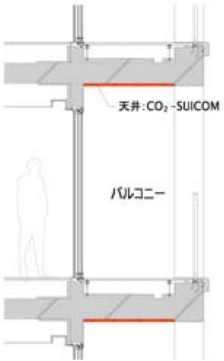
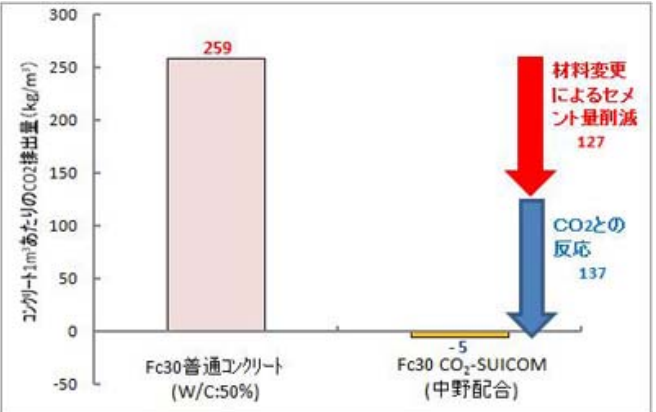
個別技術 2 - 1

①技術名	低炭素型のコンクリート (クリーンクリート)																																																	
②技術の概要																																																		
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：コンクリート構造物全般。基礎や地中梁などのマスコンクリートが最適。</p> <p>(d) 特徴（他製品との違い）</p> <ul style="list-style-type: none"> 結合材であるセメントの一部（70%以上）を、二酸化炭素（以下 CO₂）排出量が少ない高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームなどの混和材で置換し、普通ポルトランドセメントのみを使用した場合に比べて二酸化炭素排出量を大幅に低減する。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="236 678 598 981"> <p>28日標準圧縮強度 (N/mm²)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>成分</th> <th>1成分</th> <th>2成分</th> <th>3成分</th> <th>4成分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>100</td> <td>50 25 15 10</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>BS</td> <td>0</td> <td>50 75 85 90</td> <td>75 65 55</td> <td>85 75 65 55</td> </tr> <tr> <td>FA</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 10 20</td> <td>0 10 20 30</td> </tr> <tr> <td>SF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 2.5 5</td> </tr> </tbody> </table> <p>結合材の混合割合 (%)</p> <p>圧縮強度</p> </div> <div data-bbox="598 678 973 1003"> <p>断熱温度上昇量 (°C)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>凡例</th> <th>セメント呼称 (%)</th> <th>W/B</th> <th>混合割合 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x</td> <td>N 33</td> <td>49.7</td> <td>100 0 0</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>N 27</td> <td>58.9</td> <td>100 0 0</td> </tr> <tr> <td>△</td> <td>L5</td> <td>27</td> <td>50.7 100 0 0</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>N 27</td> <td>45.8</td> <td>25 100 10 10</td> </tr> <tr> <td>▲</td> <td>N 27</td> <td>39.8</td> <td>15 65 20</td> </tr> </tbody> </table> <p>材齢 (日)</p> <p>断熱温度上昇</p> </div> <div data-bbox="973 678 1364 929"> <p>乾燥収縮</p> <p>乾燥収縮率 (×10⁴)</p> <p>材齢 (日)</p> </div> </div>		成分	1成分	2成分	3成分	4成分	C	100	50 25 15 10	25	15	BS	0	50 75 85 90	75 65 55	85 75 65 55	FA	0	0	0 10 20	0 10 20 30	SF	0	0	0	0 2.5 5	凡例	セメント呼称 (%)	W/B	混合割合 (%)	x	N 33	49.7	100 0 0	○	N 27	58.9	100 0 0	△	L5	27	50.7 100 0 0	●	N 27	45.8	25 100 10 10	▲	N 27	39.8	15 65 20
成分	1成分	2成分	3成分	4成分																																														
C	100	50 25 15 10	25	15																																														
BS	0	50 75 85 90	75 65 55	85 75 65 55																																														
FA	0	0	0 10 20	0 10 20 30																																														
SF	0	0	0	0 2.5 5																																														
凡例	セメント呼称 (%)	W/B	混合割合 (%)																																															
x	N 33	49.7	100 0 0																																															
○	N 27	58.9	100 0 0																																															
△	L5	27	50.7 100 0 0																																															
●	N 27	45.8	25 100 10 10																																															
▲	N 27	39.8	15 65 20																																															
③効果																																																		
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 土木学会等のインベントリーデータ使用。 結合材のうち、普通ポルトランドセメントの割合を15%まで低下することにより CO₂ 排出量を 50kg/m³ 以下まで低減可能。 <p>(b) その他の付帯的な事項</p> <ul style="list-style-type: none"> 普通ポルトランドセメントのみに比べ、中性化が速いので、かぶり厚さの確保または調合の検討が重要。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="938 1131 1372 1485"> <p>CO₂ 排出量 (kg/m³)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>成分</th> <th>1成分</th> <th>2成分</th> <th>3成分</th> <th>4成分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>100</td> <td>50 25 15 10</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>BS</td> <td>0</td> <td>50 75 85 90</td> <td>65 55</td> <td>75 65 55</td> </tr> <tr> <td>FA</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10 20</td> <td>10 20 30</td> </tr> <tr> <td>SF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2.5 5</td> </tr> </tbody> </table> <p>混合比率 (%)</p> <p>コンクリート 1m³あたりの CO₂ 排出量</p> </div> </div>		成分	1成分	2成分	3成分	4成分	C	100	50 25 15 10	25	15	BS	0	50 75 85 90	65 55	75 65 55	FA	0	0	10 20	10 20 30	SF	0	0	0	2.5 5																								
成分	1成分	2成分	3成分	4成分																																														
C	100	50 25 15 10	25	15																																														
BS	0	50 75 85 90	65 55	75 65 55																																														
FA	0	0	10 20	10 20 30																																														
SF	0	0	0	2.5 5																																														
④参考文献																																																		
<ol style="list-style-type: none"> 1) 溝渕麻子・小林利充・近松竜一・一瀬賢一：環境配慮型コンクリートの基礎的性質に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.215-220，2011 2) 小林利充・近松竜一・溝渕麻子・一瀬賢一：低炭素型のコンクリート「クリーンクリート™」の開発，大林組技術研究所報，No.75，2011.12 3) 溝渕麻子・小林利充・一瀬賢一：混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状（その1）～（その3），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.185-190，2011.8 4) 溝渕麻子・小林利充・一瀬賢一他：混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状（その4）～（その8），日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.865-874，2012.8 																																																		

個別技術 2-2

①技術名	低炭素型のコンクリート (ECM セメント・コンクリート)						
②技術の概要							
(a) 技術の分類：セメント，コンクリート							
(b) 適用箇所：コンクリート構造物，マスコンクリート，地下躯体，杭，CFT 柱，地盤改良体							
(c) 諸元：高炉スラグ微粉末 60～70%，普通ポルトランドセメント 30%程度，せっこう 0～10%							
(d) 特徴							
<ul style="list-style-type: none"> 副産物を 60%程度混合させることで CO₂ 原単位の多い普通セメント量を大きく削減できる。 初期強度と収縮が大きい課題を改善し，施工しやすく，ひび割れの低減に有効である。 従来のセメントよりも低発熱であり，大断面部材の温度ひび割れ対策に有効である。 							
材料の用途，目標強度，材料構成の例							
	タイプ	用途	目標強度 (N/mm ²)		材料構成 (質量%)		
			7日	28日	高炉スラグ微粉末	反応刺激材	無水セッコウ
			ECM-A	地盤改良体			
ECM-B	地上躯体, 杭	17.5以上	42.5以上	60～70	20～30	5～10	
想定する適用部位の例							
③効果							
(a) CO ₂ 削減試算							
【8F 建て RC 集合住宅を例として試算】							
CO ₂ 削減効果の例							
<ul style="list-style-type: none"> セメントとして 60～80%の CO₂ 削減 コンクリートとして 60～70%の CO₂ 削減 躯体構造物として 50～60%の CO₂ 削減 							
(b) その他の付帯的な効果							
<ul style="list-style-type: none"> 低発熱により，マスコンクリートの温度ひび割れの低減に有効である。 硫酸塩の劣化抵抗性に優れる。アルカリシリカ反応の抵抗性に優れる。 普通ポルトランドセメントのみに比べて中性化が早い，かぶり厚さおよび中性化速度による性能設計手法により水セメント比を低減することで制御が可能。 地盤改良に使用した場合は，六価クロムの溶出を抑制できる。 							
④参考文献							
1) 米澤敏男，坂井悦郎，鯉渕清，木之下光男，釜野博臣：エネルギー・CO ₂ ・ミニマム (ECM) セメント・コンクリートシステム，コンクリート工学，Vol.48，No.9，pp.69-73，2010							
2) 和地正浩・米澤敏男・三井健郎・井上和政：高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの物性に及ぼす SO ₃ 量の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.203-208，2011							

個別技術 2-3

①技術名	CO ₂ 吸収コンクリート (CO ₂ -SUICOM)						
②技術の概要							
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：非構造部材（外構材，PCa パネル等）</p> <p>(c) 諸元：圧縮強度 50N/mm²程度</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート製造時に CO₂ 高濃度環境中で CO₂ を強制的に吸収・反応させる（強制炭酸化養生）。 ・ コンクリートの主原料であるセメントの一部を特殊混和材と置き換え。 ・ 特殊混和材は CO₂ と反応することで、コンクリートを緻密化・硬化させる。 							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>							
③効果							
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Fc=30N/mm² の普通コンクリートと CO₂ 吸収コンクリートを比較 ・ 普通コンクリートに比べて大幅な CO₂ 排出量の削減効果（264kg/m³）が得られ、材料製造時の CO₂ 排出量を実質ゼロ以下にできる。 <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 組織が緻密であるため、CO₂ や O₂ などの外気がコンクリート内部に入りにくく、躯体コンクリートの保護に有効。 ・ 乾燥収縮を大幅に抑制でき（従来品の 1/10）、寸法安定性を確保できる。 							
 <table border="1"> <caption>CO₂ 削減試算の比較</caption> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>CO₂ 排出量 (kg/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fc30普通コンクリート (W/C:50%)</td> <td>259</td> </tr> <tr> <td>Fc30 CO₂-SUICOM (中野配合)</td> <td>-5</td> </tr> </tbody> </table> <p>削減効果の内訳:</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料変更によるセメント量削減: 127 kg/m³ CO₂との反応: 137 kg/m³ 		材料	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)	Fc30普通コンクリート (W/C:50%)	259	Fc30 CO ₂ -SUICOM (中野配合)	-5
材料	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)						
Fc30普通コンクリート (W/C:50%)	259						
Fc30 CO ₂ -SUICOM (中野配合)	-5						
④参考文献							
http://www.kajima.co.jp/news/press/201201/30a1-j.htm							

個別技術 2 - 4

①技術名	超高強度プレキャスト構真柱を用いた逆打工法による省資源化
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：鉄筋コンクリート構真柱</p> <p>(b) 適用箇所：鉄筋コンクリート造高層建築の地下躯体</p> <p>(c) 諸元：設計基準強度 80N/mm² 以上の超高強度コンクリート</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 高層建築の地下工事に、超高強度プレキャスト構真柱を用いた逆打工法を適用することにより、掘削後における地下柱の構築を不要にし、鉄骨構真柱・型枠等の仮設資材を削減する。 一般に大断面となる高層建築の地下柱に、超高強度プレキャストコンクリートを用いることで、部材断面を縮小し、鉄筋コンクリートの使用量の削減と部材の軽量化を図る。この軽量化により、プレキャスト部材の建込みが可能となるため、高層建築における鉄筋コンクリート構真柱が実現される。 	
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 一般的な鉄骨構真柱に比較して、仮設鉄骨および地下柱の構築が不要となるため、鉄骨・型枠に係る CO₂ 排出量が削減される。 超高強度プレキャスト構真柱では、コンクリートの高強度化による部材断面の縮小により、主にセメント（結合材）の使用量に係る CO₂ 排出量が削減される。 <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 超高強度プレキャスト工法による、地下柱の品質・耐久性の向上。 鉄筋コンクリート構真柱を用いた逆打工法による、工期短縮・省力化。 	
④参考文献	
山本佳城, 宮田哲治, 本岡功成, 服部敦志: 超高強度プレキャスト鉄筋コンクリート構真柱の開発と超高層建物への適用, コンクリート工学, 第 47 巻 8 号, pp.34-38, 2009.8	

個別技術 2 - 5

①技術名	セメントを副産物で多量置換した材料起因 CO ₂ 削減型高強度コンクリート
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：コンクリート構造物</p> <p>(c) 諸元：JIS A 5308 の範囲（呼び強度 60 まで）を超える高強度コンクリート</p> <p>(d) 特徴（他製品との違い）</p> <ul style="list-style-type: none"> セメントを高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームなどの産業副産物で置換することで資源の有効利用を実現し、かつコンクリート材料（特にセメント）の製造などで発生する CO₂ 量を削減。 副産物多量置換にも拘らず、通常の高強度コンクリートと同等の高い強度と優れた耐久性。 	
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート 1m³ あたりの材料（セメント、骨材など）の製造などに起因する CO₂ 排出量削減率を試算。試算に用いた各材料の CO₂ 排出量の設定値は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ポルトランドセメント：766.6kg/t ✓ 高炉スラグ微粉末：26.5kg/t ✓ フライアッシュ、シリカフェーム：19.6kg/t ✓ 細骨材：3.7kg/t ✓ 粗骨材：2.9kg/t 副産物置換率 70%の高強度用プレミックスセメントを用いた場合、副産物置換率 10%程度の一般の高強度用プレミックスセメントを用いた場合と比較して、設計基準強度 80N/mm² の CO₂ 排出量を 60% 程度削減可能。 	
<p style="text-align: center;">超高強度コンクリート(設計基準強度 80N/mm²)のCO₂量の比較</p>	
<p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 副産物をプレミックスしたセメントの使用により、高強度コンクリートの製造を効率化。 副産物の種類や置換率を適切に設定しないと強度発現が低下し、同じ強度を得るためのプレミックスセメント量が増えるため、副産物置換率がそのまま CO₂ 排出量削減率に繋がらない。 	
④参考文献	
<p>1) 吉田泰, 山本佳城, 陣内浩: 環境配慮型超高強度コンクリートに関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.672, pp.135~142, 2012.2</p> <p>2) http://www.taisei.co.jp/about_us/release/2013/1353286220480.html</p>	

(3) 木材における個別技術

a. はじめに

木材は数十年から百数十年のオーダーで再生可能な唯一の基幹材料である。また、加工に要するエネルギーは他の基幹材料に比べると少ない。さらに、樹木は大気中の二酸化炭素を原料の一つとして光合成を行い成長する。このため、木材は二酸化炭素を起源とする炭素を固定している。

b. カーボンニュートラルにおける森林の役割

図 4.1.4 に 1955 年から 2010 年の我が国の木材供給量と自給率を示す。木材の総供給量は 1990 年代をピークに増大しており、その後、減少傾向にある。また、国産材の供給量は、1965 年をピークに減少し、2008 年以降やや増えているもののほぼ横ばいの状況にある。このため我が国の木材自給率は 1955 年から 2008 年までほぼ一貫して減少傾向にある。

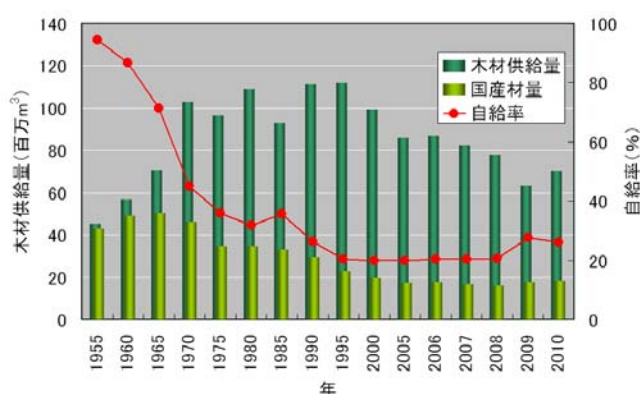


図 4.1.4 我が国の木材供給量と自給率¹⁾

一方、我が国の日本の国土面積は約 3780 百万 ha であり、このうち森林面積は国土面積の約 66%に相当する 2510 万 ha である。図 4.1.5 に主要林業国の森林率（国土面積に占める森林面積の割合）を示す。我が国は世界でも森林率が高い国の一つであり、森林国である。

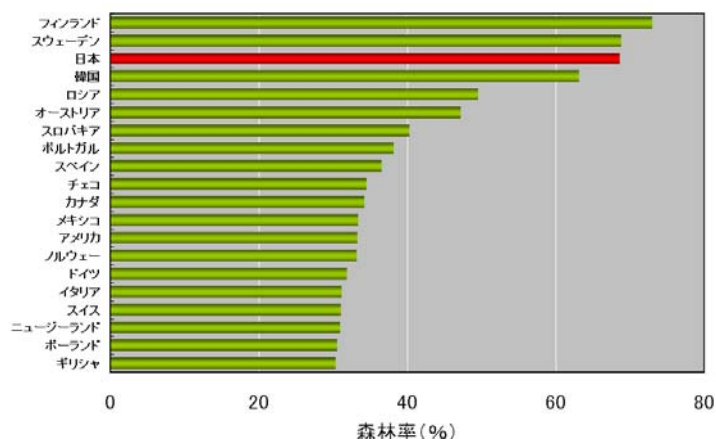


図 4.1.5 各国の森林率¹⁾

我が国の国土面積の約 2/3 を占める森林では、毎年、森林蓄積量（樹木の材積量）が増えている（図 4.1.6 参照）。

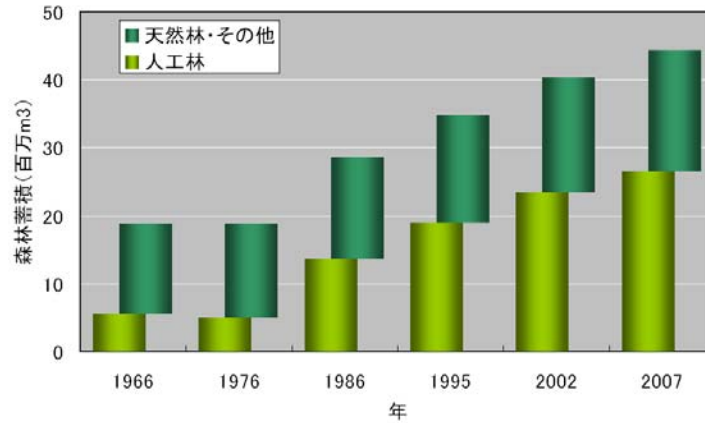


図 4.1.6 我が国の森林蓄積量¹⁾

また、森林蓄積が増加しているのは主として人工林である。森林蓄積が増えているのは、図 4.1.7 に示すように個々の樹木が成長し年生分布が高齢側に動いていることと、図 4.1.8 に示すように伐採して利用している樹木の量が少ないからである。図 5 は各国の年間伐採率（全森林蓄積に対する伐採量の割合）を示したものであるが、我が国の年間伐採率は 1% に満たない。

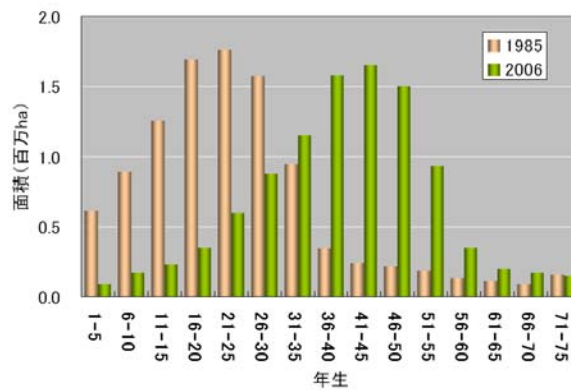


図 4.1.7 我が国の樹木の年生分布¹⁾

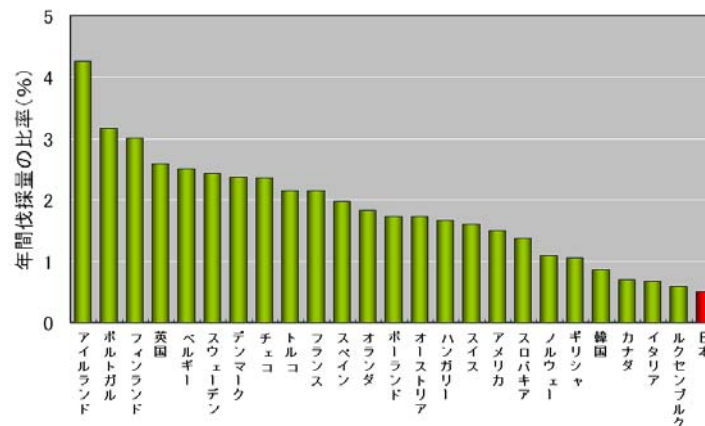


図 4.1.8 各国の年間伐採量の比率¹⁾

樹木の新陳代謝を表す指標として、純生態系交換（Net Ecosystem Exchange: NEE）という指標がある。NEE は簡単に言えば、樹木の CO₂ の吸収と放出の差を表したものである。樹木が若齢期のときには、NEE は上昇、すなわち、バイオマス量は増加する。樹木が成熟期には、NEE 減少しはじめるが、この段階でもバイオマス量は若齢期ほどではないが増加する。樹木が老齢期には NEE は 0 となり、バイオマス量は増加しなくなる。成熟期や老齢期に達した樹木は適度に伐採し、CO₂ を旺盛に吸収する若い樹木に活躍の場を与えることが重要である。

c. カーボンニュートラルにおける木材利用の意義

木材と石油はともに炭素鎖からなる有機化合物である。したがって、その利用方法も似ている。例えば、石油は燃やしてエネルギーを得ることもできれば、化学合成をしてプラスチックなどの製品を製造することができる。一方、木材も燃やして熱源とすることと、加工して木材製品を製造することができる。しかしながら、気象変動枠組条約の第 1 約束期間においては、石油は燃焼時に CO₂ を排出し、木材は樹木を伐採した時点で CO₂ を排出するという扱いになっている（図 4.1.9 参照）。

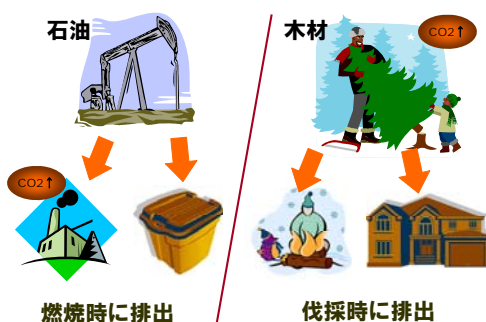


図 4.1.9 気象変動枠組条約の第 1 約束期間における伐採木材の扱い

このような中、気象変動枠組条約の第 2 約束期間において導入される木材製品（HWP : Harvested Wood Products）に蓄積されている炭素の変化量に対する評価方法²⁾が定まった。第 2 約束期間では、国内の森林から伐採されて利用されている木材については、燃焼等によって大気中に二酸化炭素を排出した時点において、炭素排出を計上することになる可能性が高い（図 4.1.10 参照）。言い方を変えると、国産材については、燃焼等によって大気中に二酸化炭素を排出しない限り、木材製品中に炭素が蓄積されているものとして扱われることとなる。木材を森林から搬出した時点において木材中に蓄積されている炭素が大気中に放出されるという扱いをしている第 1 約束期間に比べると、画期的な一歩を踏み出したと言える。

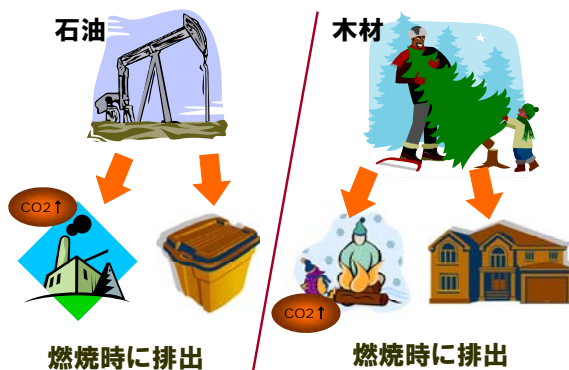


図 4.1.10 気象変動枠組条約の第 2 約束期間における伐採木材の扱い

一方、第2約束期間における木材製品の炭素蓄積変化量の算定ルールにおいて忘れてはならないのは、第2約束期間開始前に国内の森林から搬出された木材を用いて製造された木材製品の扱いである。このような木材製品を第2約束期間中に廃棄した場合には、炭素の排出として計上しなければならない。我が国の木材自給率は1950年頃までは90%以上あり、1960年代後半には約50%となり、その後漸減し現在は20%から30%の間にある。我が国には、国産材を構造材とする木造住宅等の膨大なストックがあり、このストックを今後どのように扱うかによって、木材製品の炭素蓄積変化量はプラスになることもあれば、マイナスになることもある。

木材製品の炭素蓄積変化量をプラスにする方法は様々である。例えば、木材製品の寿命を延ばし、木材製品の廃棄による炭素排出総量を抑えることがその一つである。木造住宅等の長寿命化に対する施策や既存木造住宅の耐震改修に対する施策は、今後、炭素蓄積変化量をプラスにすることに對しても寄与することになる。木材の需要を拡大することによっても、木材製品の炭素蓄積変化量をプラス側に導くことができる。

参考文献

- 1) 平成21年度 森林・林業白書
- 2) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, CHAPTER 12 HARVESTED WOOD PRODUCTS

4.2 カーボンニュートラル化に資する建築運用時の個別技術

(1) 高日射反射率塗料

a. 高日射反射率塗料に関する主な動向

近年、ヒートアイランド現象による夏場の都心部の気温上昇が問題となっている。高日射反射率塗料は太陽光のうち熱に関与するといわれている近赤外線を塗膜表面で反射させる機能性塗料である。高日射反射率塗料の利用により、都心部でのヒートアイランド現象緩和が期待できる。

高日射反射率塗料の出荷量は、図 4.2.1 に示すように毎年順調に伸びており、2011 年度では 26 社で約 10500ton の出荷が報告されている¹⁾。そのうち、97%が建築用として使用されている。高日射反射率塗料の評価については、かつては製品の性能となる反射率の測定方法が各社独自の方法を採用しており、購入者がその性能を客観的に評価することが困難であった。そこで、経済産業省では、高日射反射率塗料の反射率を評価する方法を統一し、日本工業規格（JIS K 5602 塗膜の日射反射率の求め方）を平成 20 年 9 月 20 日に制定・公示した。この JIS の制定により、高日射反射率塗料の性能に関する客観的な評価が可能となり、企業だけでなく一般の消費者も高日射反射率塗料の選択がしやすくなり、高日射反射率塗料に対する信頼も高まり、製品の普及、更なる技術開発が促進されているものと推察する。この JIS の制定により、高日射反射率塗料の普及が促進され、一般の消費者には電気消費量の削減効果、都市部においてはヒートアイランド現象の防止、二酸化炭素排出量の削減なども寄与することが期待される。また高日射反射率塗料は、2009 年度にグリーン購入法調達品候補として提案し、翌年 3 月に正式採用された。このため高日射反射率塗料は、今後益々適用実績が多くなるものと推察する。

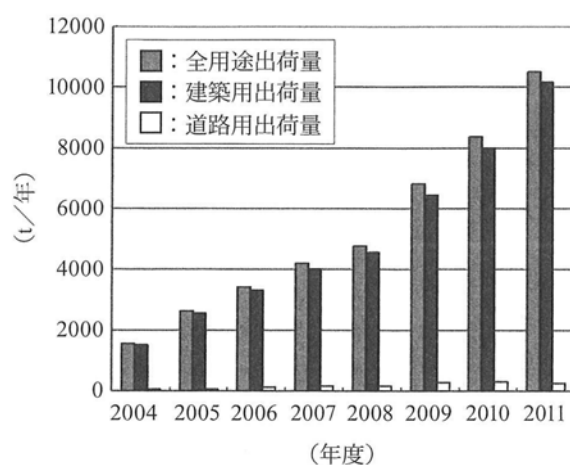


図 4.2.1 高日射反射率塗料の出荷量推移

ヒートアイランド対策として、東京都は、東京都環境局基本計画（平成 14 年 1 月）において「2015（平成 27）年までに、熱帯夜の発生を 20 日程度／年に減少させる。」という目標を立てている。東京都は、東京における環境と経済の好循環の実現等に資することを目的として、千代田区、中央区、港区、新宿区、台東区、品川区、目黒区の都心 7 区および東京都関係 7 団体（緑化団体・塗料製造業団体等）で「クールルーフ推進協議会」を設立した。この協議会では 2005 年度から 2007 年度まで 3 ヵ年実施計画で屋上緑化や高日射反射率塗料による建築物の被覆対策施工を行った物件について補助事業を行った。補助事業については 2008 年度からは各区単位で行われており、具体的には港区、千代田区、墨田区、北区などで実施されている。

また、環境省が進める「環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（建築物外皮による空調負荷低減技術）」の対象技術の一つとして「高日射反射率塗料（遮熱塗料）」が採りあげられている。更に、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）の特定調達品目として「公共工事」の項目に高日射反射率塗料が採用された。

b. 高日射反射率塗料の標準化

先にも触れたが、2008年9月にJIS K 5602（塗膜の日射反射率の求め方）、2011年7月にJIS K 5675（屋根用高日射反射率塗料）が制定された。高日射反射率塗料には1種と2種の区分があり、1種は「水を主要な揮発成分とする液状・自然乾燥形の塗料」、2種は「有機溶剤を揮発成分とする液状・自然乾燥形の塗料」と定義される。現状では2種に該当する塗料しか市場には存在しない。主な品質項目は以下のものである。

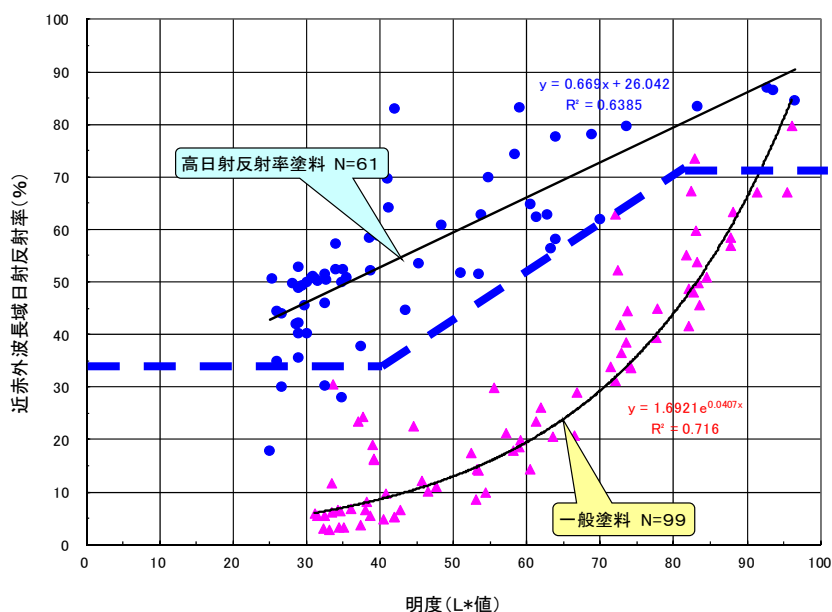
i) 日射反射率

明度は日射反射率に影響を与えることは明らかである。そこで、明度 L 値により日射反射率の規定を設けた。高日射反射率塗料は、①低明度領域（明度 L*値が $L^* \leq 40.0$ ）にある場合は近赤外波長域の日射反射率 ρ_{IR} （%）が 40.0 以上であること、②中明度領域（明度 L*値が $40.0 < L^* < 80.0$ ）にある場合は近赤外波長域の日射反射率 ρ_{IR} （%）が明度 L*値以上であること、③高明度領域（明度 L*値が $L^* \geq 80.0$ ）にある場合は近赤外波長域の日射反射率 ρ_{IR} （%）が 80 以上であることと規定された。

図 4.1.1 に明度と近赤外波長域の日射反射率との関係を示す。

ii) 耐候性

耐候性については等級を設けている、表 4.1.1 耐候性の高い順に 1 級、2 級、3 級とした。ただし、促進耐候性及び屋外暴露耐候性で、光沢保持率を算出するため JIS K 5658（建築用耐候性上塗り塗料）に合わせ、初期の鏡面光沢度を規定しているが、屋根用製品には初期光沢度が低い製品も好まれるため、初期光沢度 70 未満の製品を LG 級として追加している。また、日射反射率の維持として 24 ヶ月の試験で「近赤外波長域の日射反射率保持率の平均が 80%以上である。」と規定されている。



注1 2008年日塗工調査によるグラフ

注2 ---はJIS K 5675（屋根用高日射反射率塗料）における高日射反射率塗料の基準

図 4.2.2 明度（L*値）と近赤外波長域日射反射率（%）の関係

表 4.2.1 高日射反射率塗料の耐候性

項目	等級			
	1 級	2 級	3 級	LG 級
鏡面光沢度 (60 度)	70 以上		70 未満	
促進耐候性	照射時間	2500 時間	1200 時間	600 時間
	観察項目	規定照射時間後、塗膜に、割れ、はがれ及び膨れがなく、試料の色差と見本品の色差との差が大きくなり、かつ、白亜化の等級が 1 又は 0 である。		
	光沢保持率	80% 以上	80% 以上	70%以上
屋外暴露耐候性	塗膜に、割れ、剥がれ及び膨れがなく、試料と見本品との変色の程度を目視によって比較し、見本品の色変化と試料の色変化とが大差なく、更に、近赤外波長域の日射反射率保持率の平均が 80%以上である。			
	光沢保持率が 60% 以上で、白亜化の等級が 1 又は 0 である。	光沢保持率が 40% 以上で、白亜化の等級が 2, 1 又は 0 である。	光沢保持率が 30% 以上で、白亜化の等級が 3, 2, 1 又は 0 である。	白亜化の等級が 3, 2, 1 又は 0 である。

c. 施工事例

高日射反射率塗料を工場の屋根に塗装した効果を実測した事例²³⁾を図 4.2.3~4.2.5 に示す。図 4.2.3 に示すような工場の屋根に図 4.2.4 に示す分光日射反射率を持つ一般的な屋根用塗料と高日射反射率塗料を施工している。日射反射率は一般的な屋根用塗料が 41%，高日射反射率塗料が 92%である。屋根表面温度と室内温度を実測した結果を図 4.2.5 に示す。一般的な屋根用塗料を塗布した場合は日中の最高温度が屋根表面で約 50℃まで上昇しているのに対して、高日射反射率塗料を塗布した場合は約 30℃に抑えられている。この工場とその使用状況をもとに 1 年間の冷暖房負荷の低減効果を試算した結果を図 4.2.6 に示す。日射反射率は汚れによる低減を考慮し、一般的な屋根用塗料を 40%，高日射反射率塗料を 80%と設定している。天井部は石膏ボードと 50mm のグラスウールで構成されているため屋根からの冷暖房負荷は軽減されるが、それでも年間の負荷削減効果は約 6%あると試算されている。



図 4.2.3 高日射反射率塗料を塗装した屋根

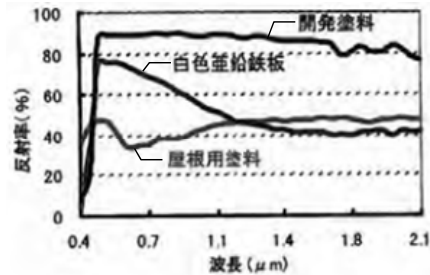


図 4.2.4 塗料の分光反射率測定結果

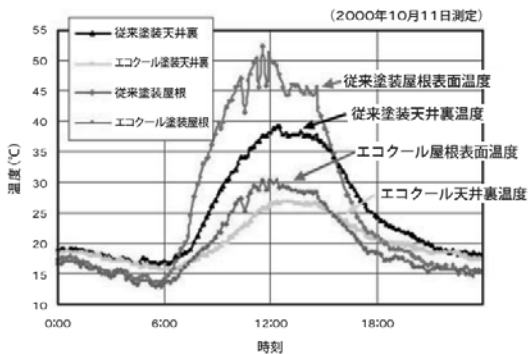


図 4.2.5 塗装屋根の表面温度と天井裏温度

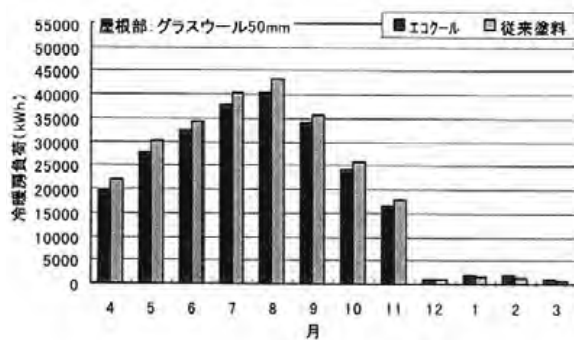


図 4.2.6 適用効果試算結果

次に、高日射反射率を集合住宅の屋上に塗装した効果を実測した事例⁴⁾を図4.2.7～4.2.11に示す。施工対象は図4.2.7に示すような集合住宅の7Fと8Fの屋上で、8Fは白色、7Fの屋上は8Fの居住者の眩しさに配慮して灰色の高日射反射率塗料が用いられている。各階に用いられた塗料の分光日射反射率とその経時変化を図4.2.8に示す。8月の晴天日14:00時に屋上の表面温度を赤外線カメラで測定した結果を図4.2.9に示す。高日射反射率塗料が施工されていない部分では約54℃のとき、灰色の塗料を施工している部分で約44℃、白色の塗料を施工している部分で約33℃に抑えられている。

高日射反射率塗料を施工する前後で猛暑日に8Fの屋根裏空間温度を測定した結果を図4.2.10に示す。施工前は31～37℃に分布しているのに対し、施工後は29.5～32.5℃に分布しており、室内への負荷を低減する効果が確認できている。

施工前（2007年8月～9月、2007年12月～2008年1月）および施工後（2008年8月、2009年8月～9月、2008年12月～2009年1月、2009年12月～2010年1月）に室内温度と電力使用量を測定し、省エネルギー効果を評価している。夏期と冬期の各代表日一日間の合計電力消費量を図4.2.11に示す。代表日の3～8日間を抽出するにあたっては各年の気象条件の差異を極力排するようにしている。7階施工後の2008年で、冬期の消費電力量は約12%増加したが、夏期の削減率が45%と大きく、両者の合計値で評価すると、計21%消費電力量が削減されている。8階では、高反射率塗料施工前の2007年と比較して、施工後2年目の2009年で、夏期において30%削減、冬期において9%増加したが、両者の合計値で評価すると、9%消費電力量が削減されている。夏期、冬期ともに消費電力量が削減された7階の2009年では合計30%、8階の2008年では合計25%の消費電力量を削減できたことが示されている。

次々ページ以降に、高日射反射率塗料の個別事例を紹介する。

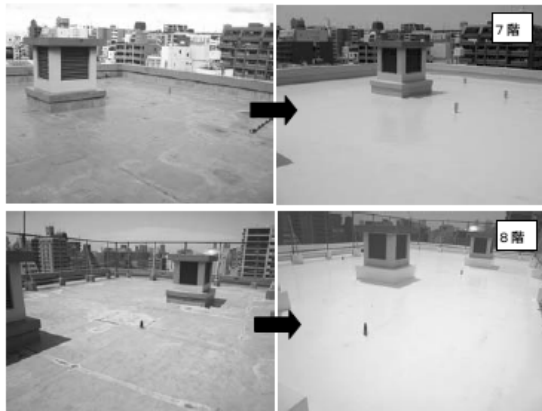


図4.2.7 高日射反射率塗料を屋根に塗装する前後

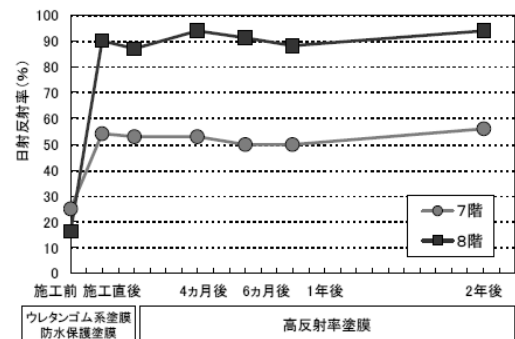


Fig. 9 日射反射率の経時変化
Time-course of Solar Reflectance

図4.2.8 塗装屋根の日射反射率とその経時変化

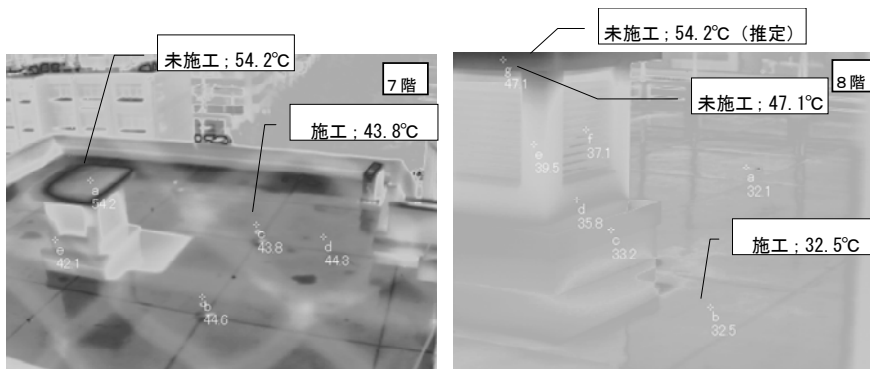


図4.2.9 温度上昇抑制効果の熱画像測定結果

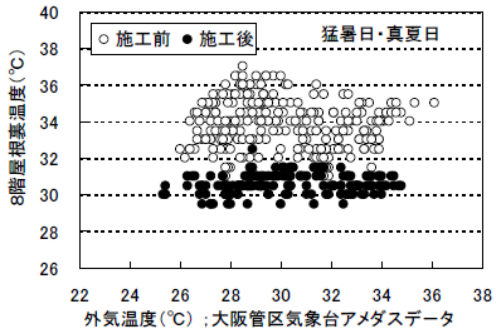


図 4.2.10 塗装前後の屋根裏温度の測定結果

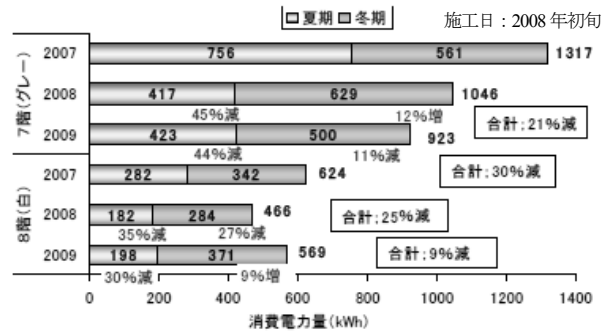


図 4.2.11 夏期と冬期の消費電力量測定結果

参考文献

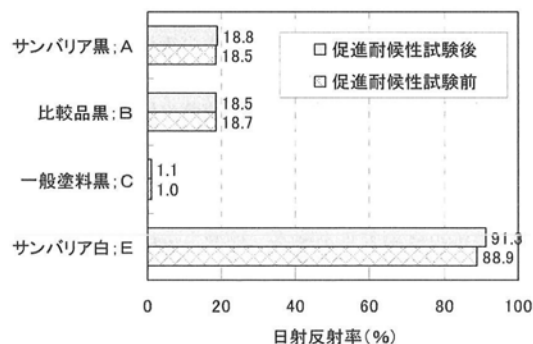
- 1) 渡辺健児：省エネ塗料としての高日射率塗料市場の普及活動と健全な発展，塗装技術，2012.8，pp.49-63
- 2) 二階堂稔他：構造物の温度上昇を抑制する高光反射・熱高放射塗料，鹿島技術研究所年報，第 47 号，pp.153-158，1999
- 3) 二階堂稔：光高反射・熱高放射塗料の開発，鹿島技術研究所年報，第 52 号，pp.183-184，2004
- 4) 奥田章子，堀長生：太陽熱光反射率塗料「サンバリア」の開発，大林組技術研究所年報，第 74 号，pp.1-8，2010

個別技術 3 - 1

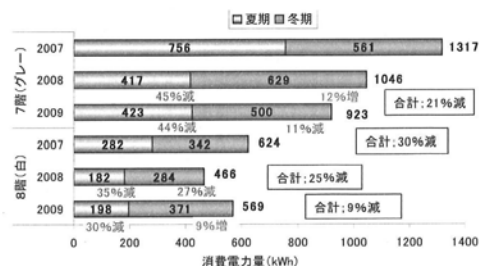
①技術名	高日射反射率塗料 (エコクール)
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：塗料</p> <p>(b) 適用箇所：屋根面</p> <p>(c) 諸元：厚さ 190~330μm の弾性塗料</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光を高反射するとともに、熱を高放射する機能性塗料 ・ 光反射および断熱効果のある中空ビーズを含有 ・ 合成樹脂塗料であり、コンクリート、モルタル、鉄、ステンレス、アルミニウム、木材等への塗装が可能 	
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 工場屋根に塗装することにより年間の冷暖房負荷を 5~15% (天井裏断熱材：50~0 mm) 低減できることが試算されている (建物仕様, 工場内の熱負荷等によって異なる). ・ 屋根面の反射率が大きいほど建屋内温度が低くなる. 	
<p>年間冷暖房負荷の低減効果の例</p>	
<p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 汚れ防止, 防カビ, 防藻性があり, 長期耐久性に優れる (7~10 年で塗替え). 	
④参考文献	
<p>二階堂稔：光高反射・熱高放射塗料の開発, 鹿島技術研究所年報, 第 52 号, 2004</p>	

個別技術 3-2

①技術名	高日射反射率塗料（サンバリア）																					
②技術の概要	<p>(a) 技術の分類：塗料</p> <p>(b) 適用箇所：屋根材や壁材</p> <p>(c) 諸元（形状，物性，使用材料）</p> <ul style="list-style-type: none"> クロムを含まない低汚染型フッ素樹脂系太陽熱高反射率塗料 <p>(d) 特徴（他製品との違い）</p> <ul style="list-style-type: none"> 塗料の中に赤外線を選択的に反射する特殊な高反射率顔料を添加し，被塗装物の温度上昇を抑制する機能性塗料。 夏場における表面温度上昇を抑制するため，室内温度の上昇を抑え，冷房負荷を低減し，省エネルギー効果も期待できる。 耐候性に優れる．熱反射の低下が無く，その性能が長期間持続できる。 																					
③効果	<p>(a) CO₂削減試算</p> <p>・ 築 36 年経過した大阪市内の鉄筋コンクリート造集合住宅（7 階建て，8 階建ての両棟一体構造）の屋上に表 1 に示す塗装仕様を適用．施工前（2007 年）と施工後（2008 年，2009 年）の夏期と冬期の消費電力量を比較．</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>塗装仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工程</th> <th>塗料</th> <th>7階</th> <th>8階</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>プライマー</td> <td>エポキシ樹脂系プライマー</td> <td colspan="2">透明</td> </tr> <tr> <td>中塗り</td> <td>フッ素樹脂塗料用中塗り</td> <td colspan="2">白</td> </tr> <tr> <td>上塗り(1)</td> <td>高反射率塗料「サンバリア」</td> <td>グレー</td> <td>白</td> </tr> <tr> <td>上塗り(2)</td> <td>低汚染型フッ素樹脂系クリヤー</td> <td colspan="2">透明</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>夏期と冬期の消費電力量</p> </div> </div>		工程	塗料	7階	8階	プライマー	エポキシ樹脂系プライマー	透明		中塗り	フッ素樹脂塗料用中塗り	白		上塗り(1)	高反射率塗料「サンバリア」	グレー	白	上塗り(2)	低汚染型フッ素樹脂系クリヤー	透明	
工程	塗料	7階	8階																			
プライマー	エポキシ樹脂系プライマー	透明																				
中塗り	フッ素樹脂塗料用中塗り	白																				
上塗り(1)	高反射率塗料「サンバリア」	グレー	白																			
上塗り(2)	低汚染型フッ素樹脂系クリヤー	透明																				
④参考文献	<ol style="list-style-type: none"> 奥田章子・堀長生：太陽熱高反射塗料「サンバリア®」の開発，大林組技術研究所報，No.74，2010.12 奥田章子・堀長生他：環境配慮型太陽熱高反射塗料の開発（その 1）～（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.827-830，2007.8 奥田章子・堀長生他：環境配慮型太陽熱高反射塗料の開発（その 3）～（その 4），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.447-450，2008.9 奥田章子・堀長生他：環境配慮型太陽熱高反射塗料の開発（その 5）～（その 7），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.1043-1048，2009.8 奥田章子・堀長生：環境配慮型太陽熱高反射塗料の開発（その 8）～（その 9），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.283-286，2010.9 																					



促進耐候性試験前後の日射反射率



夏期と冬期の消費電力量

(2) 蓄熱体としてのコンクリートの利用

昨今の地球温暖化に伴って、空調機器の利用率が増加し続けており、それによって CO₂ の排出量も年々増加している。エネルギーを使った空調や照明などで室内空間を快適にするのではなく、建築物に生じる自然の熱や光の流れを利用して暖冷房効果や照明効果を得るシステムをパッシブデザインという。

太陽光の利用に関しては、太陽光を太陽光発電システムや太陽熱温水器などの機械設備の熱源として利用するアクティブソーラーシステムと、太陽光の集熱・蓄熱・放熱という暖房プロセスに機械設備を用いず、熱の移動を自然の対流や伝導・放射に任せるパッシブソーラーシステムがある。パッシブソーラーシステムでは、図 4.2.12 に示すように、冬季には、晴天時の日中の太陽熱を利用して夕刻・夜間や曇天時に暖房効果を得るために、建築物の内部に蓄熱体が設置される。

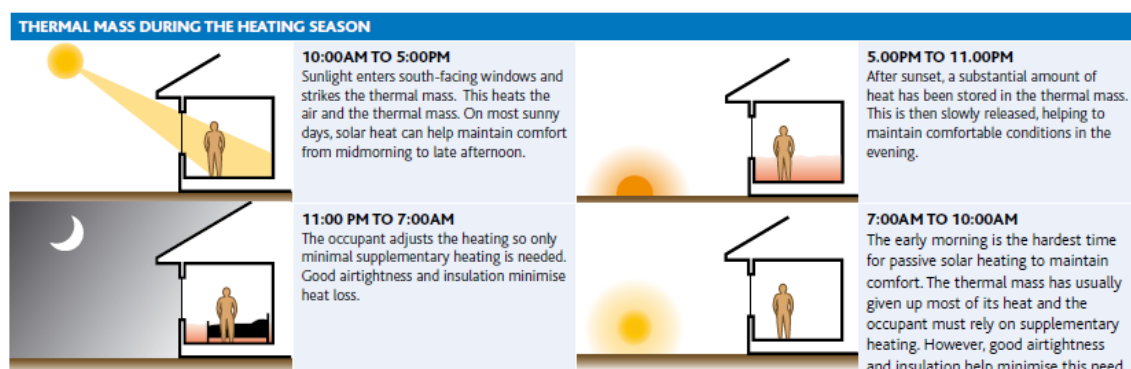


図 4.2.12 冬季における蓄熱効果の利用¹⁾

蓄熱量のみを考慮するのであれば、材料を ΔT だけ温度上昇させるのに必要な熱量 ($\rho C \Delta T$, ρ : 密度, C : 比熱) が蓄熱体の適不適を決定する指標となるが、蓄熱体としては、一度温めると冷めにくい材料が望ましい。時間 t の間における材料の蓄熱量 Q は、

$$Q \propto \sqrt{t} \Delta T \frac{\lambda}{a^{1/2}} \quad (4.2.1)$$

λ : 熱伝導率, a : 熱拡散率 ($= \lambda / \rho C$)

で表されるため、 a の大きな材料は蓄熱体としては不向きであり、 $\lambda / a^{1/2}$ が大きく、 a のあまり大きくない材料が蓄熱体として適していると言える。

コンクリートは、熱容量が大きく熱伝導率も比較的大きいため、蓄熱体に適した材料といえ、コンクリートの蓄熱効果を有効に機能させるためには、コンクリートの表面は露出、または、タイル、塗料、漆喰などで仕上げられているのがよく、カーペットや石膏ボードなどの仕上げはコンクリートの蓄熱効果を弱めることになる。

パッシブソーラーシステムの蓄熱体としてのコンクリートの利用には、下記のように幾種類かの方法があるが、いずれも床および壁に用いられるコンクリートが蓄熱材として利用される。

a. 直接集熱型 (Direct gain system)

室内の床や壁をコンクリートとし、日中は南面の窓や高窓から日射を導入して蓄熱し、夜間、室温が低下し始めると、コンクリートの表面から放熱が始まり、暖房効果が得られる。蓄熱効率を高めるためには、広範囲のコンクリート表面に日射が直接当たるようにし、日射吸収率の大きい仕上げ材を

用いるのが望ましい。また、一日周期の蓄熱・放熱に有効なコンクリートの厚さは 15～20cm であり、蓄熱量を増やすためには、厚さを増すよりも表面積を増やした方が効果的である。

b. トロンブウォール型 (Trombe wall system)

集熱窓の室内側に蓄熱のためのコンクリート壁を配し、コンクリート壁を貫流して室内に到達する熱によって暖房効果を得る。壁が厚くなるほど蓄熱量が増えて伝熱タイムラグも大きくなるが、反面、貫流する熱の減衰も大きくなる。一般的に、コンクリート壁の厚さは 20～30cm であり、伝熱タイムラグは 6～8 時間程度である。コンクリート壁の上部・下部に空気循環口を設け、空気の対流によって熱の移動を促進させる場合もある。透明な断熱材を窓ガラスとコンクリート壁との間の空気層に充填する構法が開発され、集熱効率が著しく向上した。

c. 温室付設型

居室の南側に付設された温室を集熱部位とし、温室で暖められた空気を、コンクリートスラを配した床下などに送って蓄熱する。

一方、暑中環境(夏季)の場合には、コンクリートをパッシブクーリングシステムの重要な要素として利用することができる。その場合、日中にコンクリート床スラブに吸収・蓄積された熱は、夜間の換気で導入される外気によって奪い取られ、図 4.2.13 に示すように、昼夜を通じて室内温度が安定的に保たれる。これによって、日中の空調機器の利用によるエネルギー消費量が抑制され、CO₂ 排出量の削減につながる。ただし、夏季には、太陽光が室内に入り込んでコンクリート床スラブが蓄熱することは避けなければならない。コンクリートによるパッシブクーリングを活かすためには、庇、バルコニー、ルーバーなどの設置は必須となる。

次ページ以降に、コンクリートの蓄熱体としての利用事例を紹介する。

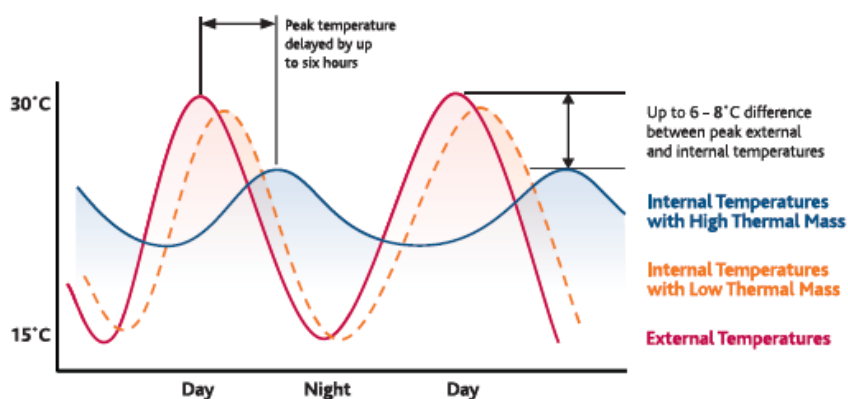
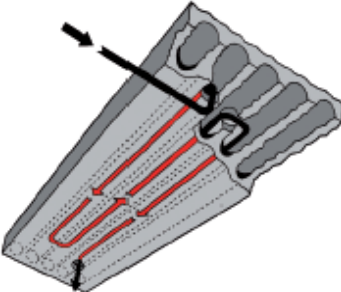
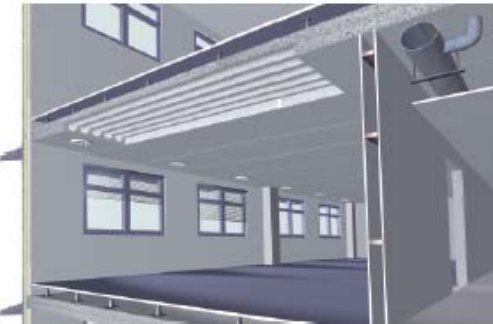


図 4.2.13 蓄熱効果の利用による室内温度の安定化²⁾

参考文献

- 1) The Concrete Centre: Thermal Mass for Housing, 2008
- 2) T. de Saulles: Utilisation of Thermal Mass in Non-Residential Buildings. The Concrete Centre, 2006

個別技術 4 - 1

①技術名	パッシブクーリングにおけるコンクリートの蓄熱体としての利用
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：RC 造建築物の床</p> <p>(c) 諸元：RC スラブ+床下強制換気</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ワッフルスラブ露出天井+床下強制換気 <p>揚げ床の床下空間に、新鮮な外気を機械式換気によって強制的に導入することによって、コンクリートスラブを冷却する方法である。この方法は、空気がコンクリートスラブの両面に直接接触して冷却がなされるという点でも効果的であり、スラブを厚くすることによって蓄熱効果を増大させることができる。さらに、床下空間の流動空気を乱流状態とすることにより、さらに対流熱伝達による冷却効率は高まる。</p> ・ 空洞スラブ露出天井+床下強制換気 <p>プレキャスト製のコンクリートスラブ内に設けられた連結空洞内に、新鮮な外気を機械式換気によって強制的に導入し、低速で循環させることによって、コンクリートスラブを冷却する方法である。空洞を通過した空気の温度は、コンクリートスラブの温度と 1~2℃の差異しかなくなる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	
③効果	
<p>(a) 冷却効率</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ワッフルスラブ露出天井+床下強制換気 : 25~35W/m² ・ 空洞スラブ露出天井+床下強制換気 : 40W/m² 	
④参考文献	
T. De Saulles: Utilisation of Thermal Mass in Non-Residential Buildings, The Concrete Centre, 2006	

個別技術 4 - 2

①技術名	コンクリートの蓄熱体としての利用										
②技術の概要											
<p>(a) 技術の分類：コンクリート</p> <p>(b) 適用箇所：RC 造建築物の壁・床</p> <p>(c) 諸元：RC 壁</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリートは、熱容量が大きく熱伝導率も比較的大きいため、蓄熱体に適した材料であ、コンクリートの蓄熱効果を有効に機能させるためには、コンクリートの表面は露出、または、タイル、塗料、漆喰などで仕上げられているとより効果的である。 											
③効果											
<p>(a) CO₂ 削減効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 戸建住宅についてではあるが、建設段階までは木造建築物よりも多かった CO₂ の排出量も、コンクリートの蓄熱効果を有効利用することで空調機器の利用が抑制されるため、数年から十数年後には、コンクリート造建築物の方が、CO₂ 排出量が少なくなることが試算されている。 	<table border="1" data-bbox="376 1151 1214 1570"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lightweight</td> <td>External walls: timber framed wall with exterior brick and internal plasterboard finish Internal partitions: timber stud and plasterboard Ceilings: timber with plasterboard/chipboard finish Ground floor: solid concrete/screed Roof: timber/tile</td> </tr> <tr> <td>Mediumweight</td> <td>As <i>lightweight</i> but with: External walls: mediumweight concrete block cavity wall with exterior brick and internal plasterboard finish</td> </tr> <tr> <td>Medium-heavy weight</td> <td>As <i>mediumweight</i> but with: Ground floor ceiling: precast concrete floor units Ground floor partitions: mediumweight concrete block with plasterboard finish</td> </tr> <tr> <td>Heavyweight</td> <td>External walls: heavyweight concrete block cavity wall with exterior brick and fair-faced internal finish Internal partitions: heavyweight concrete block, fair-faced Ground and first floor ceilings: precast concrete floor units Ground floor solid floor construction and roof construction: as above.</td> </tr> </tbody> </table>	CASE	DESCRIPTION	Lightweight	External walls: timber framed wall with exterior brick and internal plasterboard finish Internal partitions: timber stud and plasterboard Ceilings: timber with plasterboard/chipboard finish Ground floor: solid concrete/screed Roof: timber/tile	Mediumweight	As <i>lightweight</i> but with: External walls: mediumweight concrete block cavity wall with exterior brick and internal plasterboard finish	Medium-heavy weight	As <i>mediumweight</i> but with: Ground floor ceiling: precast concrete floor units Ground floor partitions: mediumweight concrete block with plasterboard finish	Heavyweight	External walls: heavyweight concrete block cavity wall with exterior brick and fair-faced internal finish Internal partitions: heavyweight concrete block, fair-faced Ground and first floor ceilings: precast concrete floor units Ground floor solid floor construction and roof construction: as above.
CASE	DESCRIPTION										
Lightweight	External walls: timber framed wall with exterior brick and internal plasterboard finish Internal partitions: timber stud and plasterboard Ceilings: timber with plasterboard/chipboard finish Ground floor: solid concrete/screed Roof: timber/tile										
Mediumweight	As <i>lightweight</i> but with: External walls: mediumweight concrete block cavity wall with exterior brick and internal plasterboard finish										
Medium-heavy weight	As <i>mediumweight</i> but with: Ground floor ceiling: precast concrete floor units Ground floor partitions: mediumweight concrete block with plasterboard finish										
Heavyweight	External walls: heavyweight concrete block cavity wall with exterior brick and fair-faced internal finish Internal partitions: heavyweight concrete block, fair-faced Ground and first floor ceilings: precast concrete floor units Ground floor solid floor construction and roof construction: as above.										
④参考文献											
The Concrete Centre: Thermal Mass for Housing, 2008											

(3) 保水・蒸発の利用

a. 保水・蒸発技術の概要

外部で使用される建材が保水機能を有することにより、雨水を建材に吸収・蒸散させて建材面の温度を抑えることにより、ヒートアイランド現象を抑制する効果が期待される。太陽熱により建材表面が暖められると建材内部の水分が蒸発し、気化熱としてエネルギー消費することにより建材の表面温度上昇を抑制するメカニズムである。雨水を吸収させて機能させることから舗装建材や屋上の防水押え用の建材に多くその機能が使用されている。

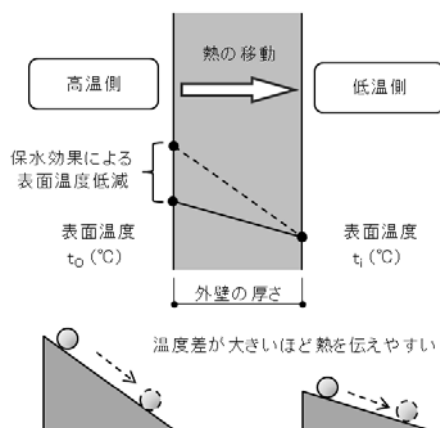


図 4.2.14 保水効果による熱移動イメージ

また、気化熱により温度上昇を防ぐ「打ち水」効果があることから、建物外部や周囲の温度を下げると同時に屋内冷房負荷の低減でき、特に都市部において緑化が困難な部位に用いることでその効果が期待される。気化熱とは、液体を気化させるのに必要な熱量のことであり、水の場合、1気圧で100°Cのときの気化熱は2259 J/kg、25°Cでは2573 J/kgである。したがって、ある程度の面積の保水建材で構成された建築物であれば相当量の熱量を建物外壁より奪うことが可能であり、外壁の表面温度を下げる事が期待できる。

建物外壁の内外温度差を小さくすることで、外気からの熱移動量を低下することができるため、夏季においては室内で使用する冷房使用量が抑えられ、エネルギー消費を低減することが可能となる。また風通しのよい環境であれば住宅などの低層建築では、建物周囲に保水建材を用いることで外気温度を下げることもなり、開口部を開放して外気を取り入れることで室内空間の快適性を確保することができる。

保水機能の優劣については、一定の体積含水率を保ち蒸発が長時間にわたるものが建材の表面温度の上昇をより抑制する効果があると評価されている。現在、保水建材を評価する実験も各種おこなわれており、客観的に評価する指標も報告されている。それらの主なものが、①水を蓄える性能（保水性）、②水を短い時間で吸収する性能（吸水性）、③水分を蒸発させ表面温度の上昇を抑制する性能（蒸発性）である。

保水建材の代表例である保水性舗装については、吸水能力以上の余分な雨水は地中に浸透させる構造が多いことから、近年多発するゲリラ豪雨時などに起こる下水や河川の氾濫の防止の効果や、地中の滞水層に雨水が浸透することから植生・地中生態の改善等の効果もあるとされている。また建物屋上部に防水押えコンクリートの代替品として保水性能をもつブロックや人工骨材を敷き詰める事例もあり、ヒ

ートアイランド現象抑制に一役買っている。一方、建物壁面への保水建材の利用については、漏水リスクや発藻などメンテナンス性の観点で課題が多く、積極的に採用されていないのが実情である。今後、研究開発などにより保水外壁建材の商品開発が期待される。

表 4.2.2 は、保水・蒸発技術の分類表を示す。適用場所によって建築、外構、都市に分類している。建築に分類される技術は建築物の外皮にあたる部分に適用される。したがって、省エネの効果を持ち、直接的なカーボンニュートラルに資する要素技術である。外構、都市に分類される技術は、建築物に対して直接的な省エネにつながらないが、都市や街区の気温を全体的に低減させるので、間接的な省エネへとつながる。ただし、規模が小さい場合にはその効果は限定的である。

表 4.2.2 保水・蒸発技術の分類

適用場所	建築	外構	都市
要素技術	屋根散水 屋根シート膜散水 壁面・ガラスへの散水 保水タイル(屋上・バルコニー) 保水建材 保水性舗装(屋上・人工地盤)	保水性舗装(歩道) 保水壁(外構) ミスト 打ち水・散水(歩道) スクリーン等への散水 水盤・薄水盤・流水盤 噴水等の水景施設	保水性舗装(車道) 道路散水(車道) ビオトープ

b. 保水・蒸発技術の効果

いずれの技術や手法も、蒸発の気化熱を利用するもので、水が蒸発するとき、蒸発の潜熱を奪われることによって材料そのものが冷やされる。冷却の程度は、気温、湿度、風速、日射量等に影響されるので、適用する場所は慎重に選択する必要がある。以下に、保水・蒸発技術に期待される効果を挙げる。

- i) 建物の冷房負荷削減（建築外皮技術）
- ii) 都市ヒートアイランドの緩和策
- iii) クールスポットの生成（冷気のたまり場の生成）
- iv) 放射環境の改善（快適性向上、熱中症予防）

i) は、本委員会の趣旨とするカーボンニュートラルに直接的に資するもので、建築物の外皮に対応する技術の効果である。ii) は、広く都市全体に波及する効果であり、一定の面積が確保されて初めて効果を発揮する。iii) は、ii) のヒートアイランド対策へとつながるが、より人間スケールでの気温の提言を期待するものである。iv) も同じく、人間スケールで放射環境を改善する効果である。2012年3月に環境省が発行したヒートアイランド対策マニュアルにもあるように、ii)の緩和策の普及には限界があるため、iii) や iv) のような夏季における人の熱ストレスを軽減し、快適な都市生活を確保するための適応策を今後積極的に進めることが示されている。

次ページ以降に、保水・蒸発を利用した技術の事例を紹介する。

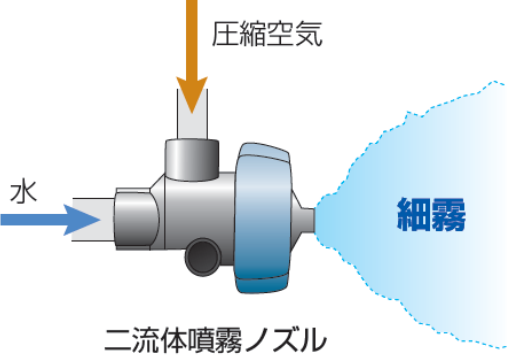

個別技術 5 - 1

①技術名	保水性舗装 (テプサム クールブロック)
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：ブロック，使用済み発泡スチロール</p> <p>(b) 適用箇所：歩道</p> <p>(c) 諸元：形状 (10cm×20cm×6cm)，物性 (比重 1.3，吸水率約 22%)</p> <p>(d) 特徴：使用済み発泡スチロールを温風減容処理した骨材でブロックを軽量化 太陽光発電による保水性舗装への給水で夏季の暑熱環境を緩和</p>	
 <p style="text-align: center;">給水システム</p>	
 <p style="text-align: center;">保水性ブロック</p>	 <p style="text-align: center;">実施例</p>
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p>試算条件：保水性舗装を建物屋上に設置。コンクリート屋根との比較。</p> <p>屋上表面温度：コンクリート 60℃，保水性舗装 40℃，室温：26℃</p> <p>熱貫流率 (屋上～室内)：0.5 W/(m²・K)</p> <p>CO₂ 削減量：2.8 kg-CO₂/(m²・年)</p> <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <p>外壁に使用できるパネルも有り。</p>	
④参考文献	
<p>http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/513/242/K00D59.pdf</p> <p>http://www.taisei.co.jp/giken/report/2007_40/paper/A040_038.pdf</p>	

個別技術5-2

①技術名	一流体式ミスト噴霧システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類： ミスト</p> <p>(b) 適用箇所： 外構, 人工地盤</p> <p>(c) 諸元： ミストノズル, 高圧ポンプ, 制御盤</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ノズルから噴霧される超微細（16 ミクロン）な霧状水滴の気化熱を利用した外気を冷却 水とわずかなエネルギーで、効率的に気温を低下 <p>・六本木ヒルズ66プラザ(2006年)</p>  <p>屋外プラザ内キャノピー (180㎡)</p> <p>・新丸の内ビルディング(2007年)</p>  <p>・クールスポットのイメージ</p>  <p>※ ドライミストは、経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業として名古屋大学, 中部電力, 能美防災, 川本製作所, トーキン, 弊社にて共同開発した技術です。</p>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ミスト噴霧により、平均2℃～3℃程度の気温低減が可能。屋外熱中症対策。 ミストは濡れたという感覚（ベタ付き感）がなく、ボタ落ちの心配がない。 気象条件に基づいた自動制御運転等により、エネルギー消費が小さい。 見える環境技術のため、子供・地域向けの体験型環境教材、環境シンボルへの活用。 壁面緑化、保水性舗装と組合せ「木陰＋ミスト＋涼風」による夏季クールスポットを創出。 	
④参考文献	
<p>http://www.shimz.co.jp/tw/tech_sheet/m0214/m0214.html</p>	

個別技術 5-3

①技術名	二流体式ミストシステム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：ミスト</p> <p>(b) 適用箇所：外構，人工地盤</p> <p>(c) 諸元：二流体ミストノズル，コンプレッサ，制御盤</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮空気でタンクから水を吸い上げ，ノズル部分で混合して噴霧する。 ・ 発生する霧の粒径は平均約 10μm と非常に細かいので，触っても濡れない。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 夏期の噴霧実験の結果，噴霧後 5 分以内に 2~3$^{\circ}$C 気温が降下。 ・ 粒子が細かいのですぐに気化し，周囲や床を濡らさない。 ・ 噴霧時間を制御し，音楽や照明と組合せることで，楽しい霧の演出スペースを創出。 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 相賀洋，諸田健太郎：41647 省エネルギー細霧冷房システムに関する研究 第 1 報 屋外での二流体ノズル噴霧による空気温度降下性能実験，日本建築学会学術講演梗概集，D-2，pp. 1337-1338，2006 2) http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech029 	



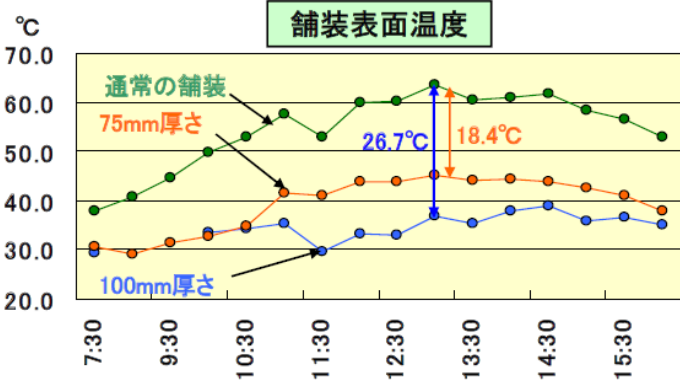
個別技術 5 - 4

①技術名	保水性ブロック舗装
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：保水性ブロック舗装</p> <p>(b) 適用箇所：外構，人工地盤，歩道，広場</p> <p>(c) 諸元：100×200×60，表層材（溶融スラグ，ホタテ，ガラス廃材）</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基層材に使用済み発泡スチロールのリサイクル材 Tepsa を，表層材に他の廃材を利用。 ・ 軽量で保水性が高く，給水された支持層の水を吸い上げ，蒸散。 	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: right; font-size: small;">屋上ドッグランイメージ</p> </div> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: right; font-size: small;">歩道イメージ</p> </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">テプサムクールブロックは軽量なため屋上や歩道橋などにも適用できます。建物の周辺・中庭・歩道、アミューズメント施設路面、カフェテラス、ドッグラン等への採用が考えられ、お子様、車椅子の方、ベビーカーの赤ちゃん、また、散歩する犬への負担を軽減します。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p style="font-size: x-small;">保水蒸散状況</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: x-small;">クールブロック・サイズ 100mm×200mm D:60mm</p>  <p style="font-size: x-small;">溶融スラグ ホタテ ガラス</p> </div> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池と組み合わせて供水するので，給水源が枯渇しないかぎり散水が可能。 ・ 路面温度を最大で約 20℃程度冷却。 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 梅田和彦，深尾仁，並木裕，内池智広，長瀬公一：太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集, No.605 , pp. 71-78, 2006. 2) http://www.taisei-design.jp/de/feature/eco_arch/tech/coolblock.html 	

個別技術 5-5

①技術名	給水機能付保水性ブロック舗装システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：保水性ブロック舗装システム</p> <p>(b) 適用箇所：外構，人工地盤，歩道，広場</p> <p>(c) 諸元：透水・保水・揚水ブロック，導水シート，給水パイプ，タイマー・電磁弁</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 埋設した給水パイプから供給された水が導水シートを拡散。 ・ 表層の舗装材は揚水，保水，さらに透水機能を持つ。 ・ 少ない水で最大の蒸発冷却効果を発揮。 	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>意匠性の高いセラミック揚水ブロック舗装</p> </div> <div> </div> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下面給水なので，無駄な水を使わず，散水と比べて数分の1の水量で稼働。 ・ 水源は植栽への灌水とほぼ同様。雨水のほか，地下水，工業用水等も利用可能。 ・ 真夏の正午頃には，アスファルトと比べて10～25℃表面温度が低下。 ・ 屋上階に設置した場合，15～20%程度の省エネ効果が期待される。 	
<p style="text-align: center;">夏季日中の表面温度の日変化</p>	<p style="text-align: center;">快適性の比較（夏季、パラソル下）</p>
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 赤川宏幸，小宮英孝：表面を連続的に湿潤できる舗装体に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，No.530，pp. 79～85，2000. 2) http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech028 	

個別技術 5-6

①技術名	保水性アスファルト舗装
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：保水性舗装</p> <p>(b) 適用箇所：車道，駐車場</p> <p>(c) 諸元：表層保水層 30～100mm</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 交通荷重を支持するアスファルトと水分を吸収して蓄える保水材で構成. 陶磁器の原料採掘時に副産物として発生する粘土を保水材として選定. 保水材の最大吸水率 48%. 保水材の色は好みの色に着色可能. <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>着色材 0 %</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>着色材(黄色)0.8%</p> </div> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> 夏季日中の表面温度を最大 18.4～26.7℃低減可能. <div style="text-align: center;">  </div>	
④参考文献	
http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech028	

個別技術 5-7

①技術名	給水機能付保水性アスファルト舗装システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：保水性舗装</p> <p>(b) 適用箇所：構内道路，駐車場，歩道</p> <p>(c) 諸元：保水性アスファルト，導水シート，給水パイプ，タイマー・電磁弁</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 埋設した給水パイプから供給された水が導水シートを拡散。 ・ 開粒度アスコンの間に充填された揚水材が給水された水を地表面まで揚水。 ・ 少ない水で最大の蒸発冷却効果を発揮。 <div data-bbox="526 694 1069 1008" style="text-align: center;"> <p>ローコストなアスファルト系湿潤舗装</p> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下面給水なので，無駄な水を使わず，散水と比べて数分の1の水量で稼働。 ・ 水源は植栽への灌水とほぼ同様。雨水のほか，地下水，工業用水等も利用可能。 ・ 真夏の正午頃には，アスファルトと比べて10～15℃表面温度が低下。 <div data-bbox="287 1254 1308 1657" style="text-align: center;"> </div>	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 赤川宏幸，竹林英樹，森山正和：湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集，No.623，pp. 85-91，2008. 2) http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech014 	


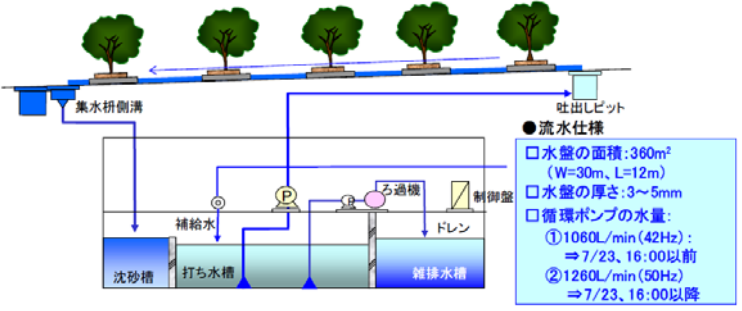
個別技術 5-8

①技術名	給水機能付人工芝舗装システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：湿潤人工芝舗装</p> <p>(b) 適用箇所：テニスコート、広場</p> <p>(c) 諸元：砂入り人工芝，導水シート，給水パイプ，タイマー・電磁弁</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 埋設した給水パイプから供給された水が導水シートを拡散。 ・ 表層の砂入り人工芝が湿潤。 ・ 少ない水で最大の蒸発冷却効果を発揮。 <div data-bbox="491 719 1098 1014" style="text-align: center;"> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下面給水なので，無駄な水を使わず，散水と比べて数分の1の水量で稼働。 ・ 水源は植栽への灌水とほぼ同様。雨水のほか，地下水，工業用水等も利用可能。 ・ 真夏の正午頃には，アスファルトと比べて10～20℃表面温度が低下。 	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="312 1281 810 1594"> </div> <div data-bbox="831 1281 1286 1594"> </div> </div> <p style="text-align: center;">ホテルグリーンプラザ上越 テニスコート サーモグラフィ画像（夏季日中）</p>	
④参考文献	
<p>http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech02</p>	

個別技術 5-9

①技術名	給水機能付緑化ブロック舗装システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：緑化ブロック舗装</p> <p>(b) 適用箇所：駐車場，構内道路</p> <p>(c) 諸元：緑化（保水性）ブロック，導水シート，給水パイプ，タイマー・電磁弁</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 埋設した給水パイプから供給された水が導水シートを拡散。 表層の緑化ブロックは普通タイプと保水タイプが選択可能。 盛夏でも水切れが無く植物が健全に生長。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="347 734 805 1008" style="text-align: center;"> <p>打ち水グラスパーク</p> </div> <div data-bbox="858 719 1249 1010"> </div> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> 面給水なので，無駄な水を使わず，散水と比べて数分の1の水量で稼働。 水源は植栽への灌水とほぼ同様。雨水のほか，地下水，工業用水等も利用可能。 自治体によっては工場立地法の緑化面積に算定可能。 	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="355 1283 798 1585"> </div> <div data-bbox="818 1283 1236 1592"> </div> </div> <p style="text-align: center;">駐車場車路への適用 インターロッキング舗装との温度比較(6月)</p>	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 杉本英夫，赤川宏幸：40408 底面給水システムによる緑化舗装の熱環境に関する研究：夏季のブロック舗装表面の温度と緑化面の土壌水分，日本建築学会学術講演梗概集，D-1，pp. 841-842，2010. 2) http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech013 	

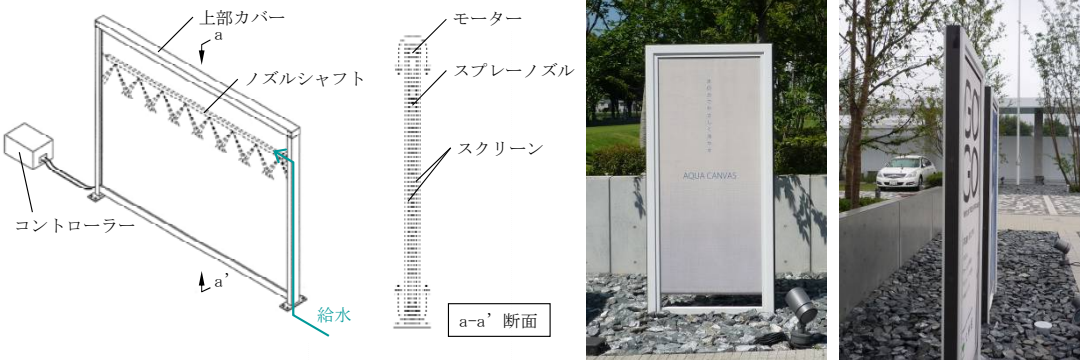
個別技術 5-10

①技術名	流水式水盤システム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：薄水盤</p> <p>(b) 適用箇所：外構，人工地盤</p> <p>(c) 諸元：貯水槽，ポンプ，制御盤</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水盤の厚さは3～5mm. ・ 夏期は打ち水効果により周辺温度を低減. 	
	 <p>●流水仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> □水盤の面積:360m² (W=30m, L=12m) □水盤の厚さ:3～5mm □循環ポンプの水量: <ul style="list-style-type: none"> ①1060L/min(42Hz): ⇒7/23, 16:00以前 ②1260L/min(50Hz): ⇒7/23, 16:00以降
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 表面温度は普通ブロックに比べ最大で約30℃低く，気温よりも低い. ・ 周辺の景色を映し，光を反射. ・ 靴のまま入ることが可能. ・ 輻射量低減による快適性の向上効果. ・ 取り込み外気の冷却による省エネルギー効果 (CO₂排出量削減効果). 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 安藤邦明，三坂育正，幅谷尚子，庄田英行，畑中哲夫，有尾清二郎：水景施設を活用した暑熱環境改善に関する研究 その1 調査概要と暑熱環境緩和効果の検討，日本建築学会学術講演梗概集，D-1，pp.885-886，2009 2) http://www.takenaka.co.jp/solution/needs/ecosystem/service15/index.html 	

個別技術 5 - 1 1

①技術名	給水機能付保水性ウォールシステム
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：保水性ウォール</p> <p>(b) 適用箇所：外壁，屋外パーテーション</p> <p>(c) 諸元：雨水貯留槽，ポンプ，灌水チューブ，太陽光パネル，制御盤</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 使用済み発泡スチロールのリサイクル材 Tepsa を材料とし，表層材に他の廃材（ガイシ・ガラス・ホタテ・珪藻土など）を利用して成形した外壁パネル。 ・ 軽量で保水性が高く，パネル内部に直接給水し浸透，蒸散を繰り返す。 ・ クールブロックと組み合わせて L 型に設置すると最も高い打ち水効果を発揮。 <div data-bbox="261 759 1331 1252" style="text-align: center;"> <p>The diagram illustrates the Cool Wall System. On the left, a vertical stack of material layers is shown: 表層材 (Surface Material) with sub-categories ガイシ (Gypsum), ガラス (Glass), ホタテ貝 (Shell), and 珪藻土 (Diatom Earth). The main image shows a large wall labeled 'クールウォール' (Cool Wall) with 'クールブロック' (Cool Block) at the base and '緑化基盤' (Greening Base) at the bottom. On the right, two heatmaps are shown: '給水前' (Before Watering) with a maximum surface temperature of 24.4°C, and '給水後' (After Watering) with a maximum surface temperature of 22.2°C, demonstrating the cooling effect.</p> </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常の壁面よりも表面温度を約 5～10℃低減。 ・ 外壁と路面のシステムは，夏期における屋外空間の体感温度を 2℃程度低減。 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 梅田和彦，長瀬公一：壁体の給水による暑熱環境緩和に関する研究 その 1 給水式壁体の冷却性能に関する基礎的検討，日本建築学会学術講演梗概集，D-2，pp.655-656，2006. 2) http://www.taisei-design.jp/de/feature/eco_arch/tech/coolwall.html 	

個別技術 5-12

①技術名	蒸発冷却スクリーン
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：湿潤スクリーン</p> <p>(b) 適用箇所：外構、人工地盤、現場仮囲</p> <p>(c) 諸元：H3,000×W3,000 程度まで、D100 程度、スプレーノズル、ポンプ、制御盤</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ メッシュスクリーンを湿潤させ、気化熱で冷却 ・ 冷ふく射、涼風、ミストの3つの効果 ・ スクロールするサイン <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;">  </div>	
③効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 広告等を印刷することで、サインとしての機能を果たすと同時に、人を近づけることで、冷ふく射効果を向上 ・ 回転することによるアイキャッチ効果 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 赤川宏幸, 杉本英夫, 岩井洋：蒸発冷却スクリーン「アクアキャンバス TM」, 大林組技術研究所報, No.74, 2010. 2) http://www.obayashi.co.jp/uploads/File/news/aqua%20cambas.pdf 	

(4) 壁面・屋上の緑化

a. 壁面緑化

高度な空間利用が行われる都市において、少しでも緑を増やすため、壁面緑化の採用が増えている。植物等による日射の反射及び植物体からの蒸散による気化熱などの効果で日射による建築物表面温度の上昇が抑制され、ヒートアイランド抑制など地域・都市環境に対する効果がある。また、断熱効果により建物内への貫流熱量が減少し、省エネルギー効果もある。国土交通省の調査¹⁾によれば、2011年に約8.9haの壁面緑化が施工され、単年施工面積としては過去最大となった。

壁面緑化の効果としては、建物や都市の景観向上、ヒートアイランド現象の緩和、大気浄化、騒音低減、生態系への配慮、人への心理・生理的な効果など様々なものが挙げられる。これらの他に、本報告書で取り上げるように、植物による日射遮蔽や蒸散効果、基盤材が断熱材の役割を果たすなど、カーボンニュートラルに資する建材としての活用が期待できる。建物外壁に壁面緑化を採用することで、建物内部への温熱環境負荷を低減でき、省エネルギーによってCO₂排出量を削減できる。

i) 壁面緑化手法

壁面緑化手法には、図4.2.15に示すように、大きく4タイプがあるが、代表的なものは植栽を壁及びワイヤー等に沿って成長させる「登はん型」おとび「下垂型」、植栽の植えられたポット等のユニットを壁面に取り付ける「基盤造成型（ユニット型）」の3種類である。それぞれに長短があり、設置条件や意匠性、コスト、メンテナンス性等を考慮して選択する。基盤造成型はコストが高いものの、意匠性や省エネ効果で優れるため、近年、その採用が増えている。

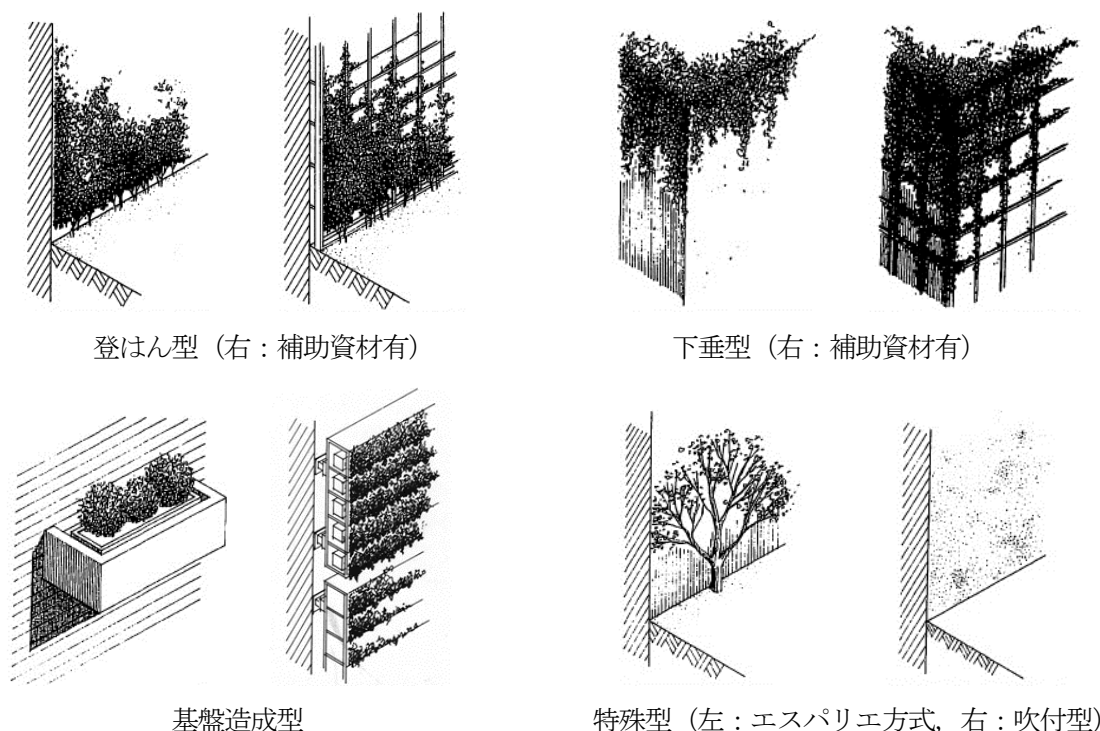


図 4.2.15 壁面緑化手法²⁾

ii) 壁面緑化植物

壁面緑化に用いる植物としては、表4.2.3に示すようなものがある。登攀および下垂型では、ツル系の植物に限定されるが、基盤造成型では、より多様な植物を使用することができる。また登攀型や下垂

型では、植物が成長して壁面を覆うのに数年の時間を要するが、基盤造成型は、圃場等で事前に植物を成長させた緑化ユニットを壁面へ設置すれば、すぐに緑化が完成する。

表 4.2.3 壁面緑化用植物³⁾

タイプ		植物名
登攀型	付着型	ヘデラ類、オオイタビ類、ツルマサキ、テイカカズラ、ノウゼンカズラ、ツルアジサイ、ハトスヘデラ、ツタ、ビグノニア
	巻付型	カロライナジャスミン、ピナンカズラ、スイカズラ、ムベ、ツキヌキニンドウ、テイカカズラ、キウイ、トケイソウ、ビグノニア、クレマチス類
	這性型	モッコウバラ、ツルバラ、テリハノイバラ、ピラカンサ
下垂型	付着型	ヘデラ類、オオイタビ類、ツルマサキ、テイカカズラ、ノウゼンカズラ、ハトスヘデラ、ツタ、ビグノニア
	巻付型	カロライナジャスミン、ピナンカズラ、スイカズラ、ムベ、ツキヌキニンドウ、ムベ、トケイソウ、アケビ、ツルウメモドキ、ナツユキカズラ、キウイ
	葡萄型	ヴィンカ・ミノール、ヴィンカ・マジョール、ガザニア、ローズマリー、ハイビヤクシン類、コトネアスター、マツバギク、ヒメツルソバ
基盤造成型		ヘデラ類、シマカンサゲ、フィリツワブキ、ツキヌキニンドウ、ハツユキカズラ、ツボサング、フィリフェラオーレア、ブルーパシフィック、ベニシダ、タマシダ、オオゴンカズラ、ハマヒサカキ、ヤブコウジ、ツルマサキ、ローズマリー、オオイタビ類、セダム類、タマリユウ、ポトス、フィリヤブラン、マツバギク、ヒメツルソバ、ベアグラス、アスパラガス、ノシラン 等

iii) 壁面緑化採用上の留意点

壁面緑化の採用にあたっては、以下の点に留意が必要となる。

壁面緑化は建物外壁に取り付けるため、落下等は絶対に許されない。建物には図 4.4.2 に示すように様々な風圧力がかかる。施工地の風環境を調査するとともに、図 4.4.3 に示すような耐風圧性能確認試験を行い、必要な性能をもったシステムを採用しなければならない。

また植物は生き物であるため、灌水や施肥等のメンテナンスが重要となる。壁面緑化のトラブル原因のほとんどが灌水にあり、特に留意が必要となる。また見栄えを確保するためには、刈り込みや防虫等の作業も必要となる。メンテナンスのための作業足場（高所作業車でもよい）を事前に検討しておく必要がある。

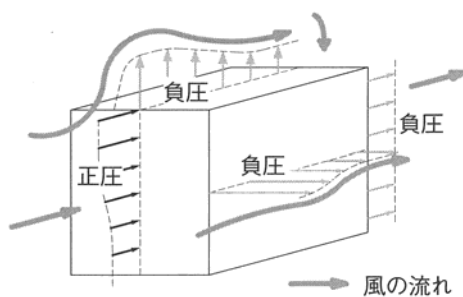


図 4.2.16 建物に作用する風圧力³⁾

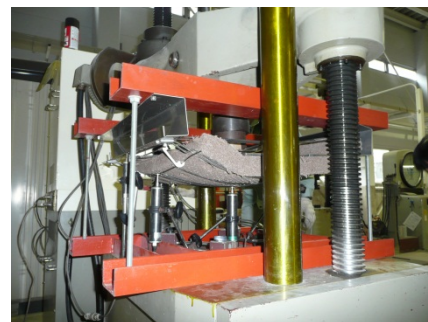


図 4.2.17 耐風圧性能の確認試験

b. 屋上緑化

建築物の屋上に植物を植え緑化する技術である。植物等による日射の反射及び植物体からの蒸散による気化熱などの効果で日射による建築物表面温度の上昇が抑制され、ヒートアイランド抑制など地域・都市環境に対する効果がある。また、断熱効果により建物内への貫流熱量が減少し、省エネルギー効果もある。

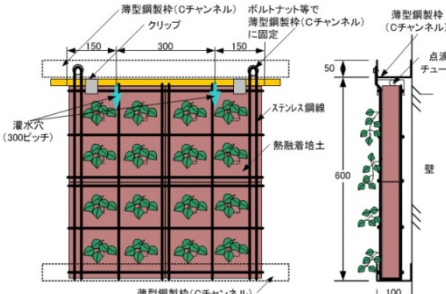

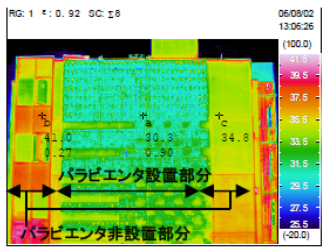
大きな分類としては、緑化層の中に貯水槽を持たない「薄層型」と貯水槽を有する「貯水型」がある。

次ページ以降に、壁面緑化技術および屋上緑化技術の事例を紹介する。

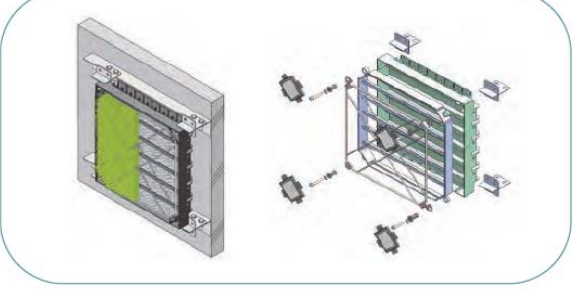
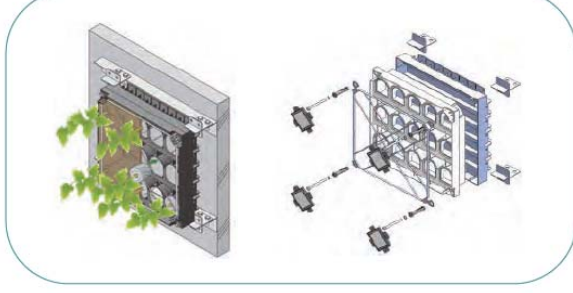
参考文献

- 1) 国土交通省都市局：平成 23 年全国屋上・壁面緑化施工実績調査，pp.3，2012.
- 2) (財)都市緑化技術開発機構：NEO-GREEN SPACE DESIGN①，pp.52，1995.
- 3) (財)都市緑化技術開発機構：壁面緑化の Q&A，pp.85-93，2012.

個別技術 6-1

①技術名	ユニット型壁面緑化システム 1 (パラビエンタ)																																											
②技術の概要																																												
<p>(a) 技術の分類：壁面緑化システム</p> <p>(b) 適用箇所：外壁</p> <p>(c) 諸元：壁面に設置する U 字型の薄型鋼製枠・ステンレス鋼線枠と植栽基盤である熱融着固化培土「エクセルソイル」を組み合わせた緑化ユニット，点滴灌水チューブからなる壁面緑化システム</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 植物や緑化ユニットによる日射遮蔽，多孔質な緑化基盤による断熱，蒸散効果等による壁面温度の低減により高い省エネ効果を発揮。 緑化ユニットを鋼製枠に固定するだけで壁面を緑化できる簡易なシステム 保水性・排水性に優れ，5cm という薄さで多様な植物を生育させることが可能で風雨による土壌の飛散・流出も殆どない。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="207 828 654 1164" style="text-align: center;">  <p>構成図</p> </div> <div data-bbox="670 873 1021 1131" style="text-align: center;">  <p>施工事例</p> </div> <div data-bbox="1037 840 1364 1131" style="text-align: center;">  <p>夏季の壁面温度低減効果</p> </div> </div>																																												
② 効果																																												
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <ul style="list-style-type: none"> 本技術の CO₂ 削減効果について，一般外壁との比較検証を行った。その結果，一般外壁（断熱材無）に対して，約 13kg-CO₂/m²・年の削減効果が得られた。 <p>※緑化ユニットの物性値については実測データ¹⁾を利用。また，日射量は測定日の気象台のデータを参照。計算は伝熱計算プログラム「NETS Ver.4.1」を使用。</p> <p style="text-align: center;">壁面緑化の効果（断熱材との比較）</p> <table border="1" data-bbox="220 1505 1374 1684" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">項 目</th> <th>断熱材無</th> <th>断熱材有</th> <th>壁面緑化</th> <th>断熱材+壁面緑化</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">断熱性能：壁体の熱通過率 [W/(m²・K)]</td> <td>3.11</td> <td>1.07</td> <td>0.82</td> <td>0.34</td> </tr> <tr> <td colspan="2">省エネ効果：貫流熱負荷 [Wh]</td> <td>544</td> <td>203</td> <td>42</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">CO₂ 削減効果</td> <td>断熱材無との比較削減量 [kg-CO₂/m²・年]</td> <td>—</td> <td>8.65</td> <td>12.7</td> <td>13.4</td> </tr> <tr> <td>断熱材有との比較削減量 [kg-CO₂/m²・年]</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>4.09</td> <td>4.72</td> </tr> <tr> <td colspan="2">イニシャルコスト [円/m²]</td> <td>0</td> <td>3,000</td> <td>80,000～</td> <td>83,000～</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ランニングコスト [円/m²]</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,500～</td> <td>1,500～</td> </tr> </tbody> </table> <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 壁面緑化は CO₂ 削減効果だけでなく，都市景観の改善やヒートアイランド現象緩和，大気浄化，騒音低減等のメリットがある。一方，イニシャルとランニングコストが課題である。 				項 目		断熱材無	断熱材有	壁面緑化	断熱材+壁面緑化	断熱性能：壁体の熱通過率 [W/(m ² ・K)]		3.11	1.07	0.82	0.34	省エネ効果：貫流熱負荷 [Wh]		544	203	42	17	CO ₂ 削減効果	断熱材無との比較削減量 [kg-CO ₂ /m ² ・年]	—	8.65	12.7	13.4	断熱材有との比較削減量 [kg-CO ₂ /m ² ・年]	—	—	4.09	4.72	イニシャルコスト [円/m ²]		0	3,000	80,000～	83,000～	ランニングコスト [円/m ²]		0	0	1,500～	1,500～
項 目		断熱材無	断熱材有	壁面緑化	断熱材+壁面緑化																																							
断熱性能：壁体の熱通過率 [W/(m ² ・K)]		3.11	1.07	0.82	0.34																																							
省エネ効果：貫流熱負荷 [Wh]		544	203	42	17																																							
CO ₂ 削減効果	断熱材無との比較削減量 [kg-CO ₂ /m ² ・年]	—	8.65	12.7	13.4																																							
	断熱材有との比較削減量 [kg-CO ₂ /m ² ・年]	—	—	4.09	4.72																																							
イニシャルコスト [円/m ²]		0	3,000	80,000～	83,000～																																							
ランニングコスト [円/m ²]		0	0	1,500～	1,500～																																							
④参考文献																																												
<p>藤堂香織他：壁面緑化による室内及び屋外の熱環境への負荷低減効果の予測に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第 631 号，pp.1109-1116，2008</p>																																												

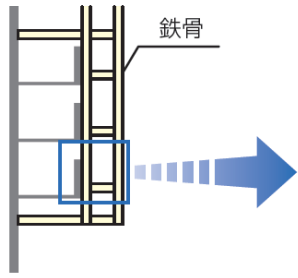
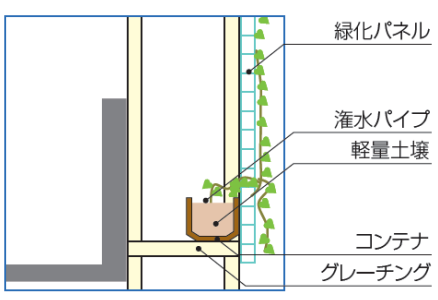
個別技術 6-2

①技術名	ユニット型壁面緑化システム 2 (緑彩マルチパネル)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クロスフレームとコーナーカバーによる直線的な表情，多彩な植物などの利用による自由なデザイン ・ ムラが生じにくい灌水システム ・ 植栽基盤に肥料を含有 ・ 芝・草花用，草花・低木用の 2 種類のパネル ・ 目的に合わせた密度での植栽が可能 ・ 450mm 角，10kg/枚以下のコンパクトなサイズ ・ 四隅のボルトでの一括固定によるシンプルな施工 ・ 施工性パネルフレームは再生樹脂材料 (フェルト) ・ 使用する再生樹脂材料は酸素指数 26 以上 (消防法の不燃基準) ・ 植栽基盤も再生繊維材料 	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="199 974 774 1064" style="border: 1px solid gray; border-radius: 15px; padding: 5px; width: 45%;"> <p>タイプ A 平面的に繁茂する植物に適した構造です。芝生やグラウンドカバーなどの地被類を使用します。</p> </div> <div data-bbox="805 974 1380 1064" style="border: 1px solid gray; border-radius: 15px; padding: 5px; width: 45%;"> <p>タイプ B ポットで育苗する多種多様な草本類・低木類に適した構造です。ロール状フェルトの基盤に定植させた植栽を使用します。</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div>	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 大野直，藤井義久，高木賢二，武政祐一，工藤善：屋外温熱環境改善システム BREEZA SYSTEM，建築設備士，平成 24 年 12 月 2) http://www.kajima.co.jp/news/press/201308/19e1-j.htm 	

個別技術 6-3

①技術名	ユニット型壁面緑化システム3 (パーティカルフォレスト)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 糸くず，古着，廃材等を利用したフェルト材をリサイクルし緑化パネルの給水層として積極的に利用 ユニット化がされており取り付けが容易で，汎用性が高く，街を「緑」でつなぐ景として多彩に演出 樹木木質部の約 50%は CO₂ 固定量として算出可能 多樹種により昆虫等の生物多様性に寄与 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="199 721 718 873" style="width: 45%;"> <p>■ 植物</p> <p>種類：草本～木本 高さ：H20～40cm程度(引渡時) ※専用ポットで養生した植物を使用</p> </div> <div data-bbox="790 721 1372 840" style="width: 45%;"> <p>■ 緑化パネル</p> <p>表面材：GRC・スチール、仕上げ：塗装 標準色：白系（ベース色は、変更可能）</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="263 896 638 1377" style="width: 45%;"> </div> <div data-bbox="790 884 1380 1377" style="width: 45%;"> </div> </div>	
④参考文献	
http://www.takenaka.co.jp/news/2012/07/02/	

個別技術 6-4

①技術名	登はん型壁面緑化技術 1 (グリーンキューブウォール)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ダブルスキン構造で壁面と一体化 ・ バルコニーなど様々な場所に安全に取り付け可能 ・ 管理用通路があるため、高所作業などを行う専門業者でなくても維持管理ができ低コスト ・ 従来の壁面緑化に比べて、植物種を増やして、多様なバリエーションを楽しむことが可能 ・ 建物周囲の街路樹など植樹帯との連続的な景観を構築 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>ダブルスキン構造模式図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>緑化システム模式図</p> </div> </div>	
④参考文献	
http://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/01detail02	

個別技術 6-5

①技術名	登はん型壁面緑化技術 2 (バーティカル・グリーン・システム)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 植物用の支持材は、厚みを持ち、強度と耐久性に優れ、意匠性の高い面状格子材 耐久性の高い格子の内側の管理スペースで安全かつ容易に維持管理ができるため、高所にも適用可能 植物は、面状格子材に登攀可能な巻き付き登はん型つる植物が最適で、その他の植物も適用可能 キャットウォーク下部にプランターを格納しているため、障害物が無い安全な管理通路を設置できる上、プランターの奥行きを確保できるため、プランター容量増大が実現可能 室内側からプランターが見えないため、景観配慮にも貢献 プランター上のキャットウォークは切り欠きを設けた蓋状とし、下部の管理作業も容易 プランター側面に排水口を設けることにより、プランター底面に水を貯留させ、毛管水により灌水ムラを軽減 プランターを二重箱構造にすることで、余剰水を落水させず、排水を適切に処理 <div data-bbox="236 1016 1348 1518" style="text-align: center;"> <p>①面状格子材 安全性と景観への配慮</p> <p>②プランター内蔵型キャットウォーク 管理通路とプランター容量の確保</p> <p>③底面灌水 灌水ムラの軽減により管理リスクを軽減</p> <p>④景観向上 室内外からの景観向上</p> <p>⑤排水施設 排水を集め落水を回避</p> <p>屋外側</p> <p>室内側</p> </div>	
④参考文献	
http://www.kajima.co.jp/news/press/200608/29a1fo-j.htm	

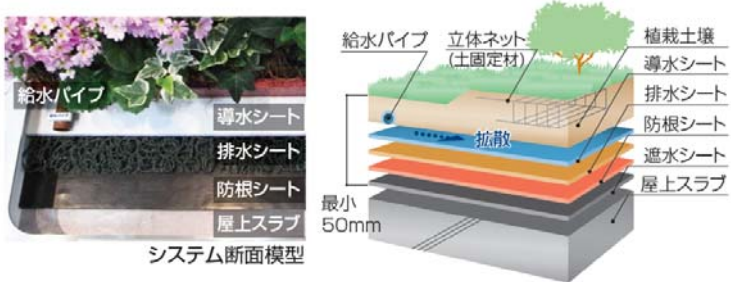

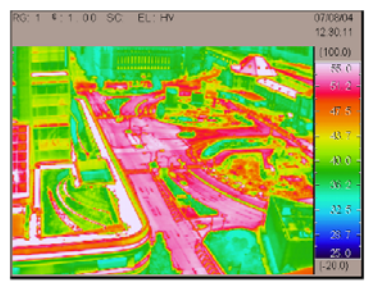
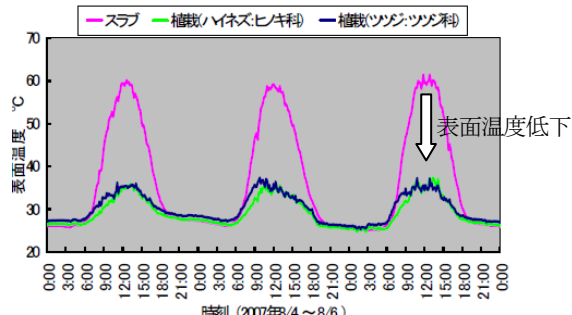
個別技術 6-6

①技術名	登はん型壁面緑化技術 3
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 地上設置の植栽ユニットから登ハンさせる「登ハン型緑化システム」 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="258 515 699 1037" style="width: 45%;"> </div> <div data-bbox="753 492 1343 1097" style="width: 45%;"> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> 屋上設置のプランターから下垂させる「下垂型緑化システム」 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="258 1254 707 1789" style="width: 45%;"> </div> <div data-bbox="730 1227 1350 1783" style="width: 45%;"> </div> </div>	
④参考文献	
http://www.shimz.co.jp/news_release/2004/600.html	

個別技術 6-7

①技術名	登はん型壁面緑化技術 4
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の外壁面に鉄骨フレームを組み、各階の底にあたる位置に鉄骨フレームを介して歩廊を設置し、外壁から 800mm の位置にプランターと登はん補助材を据え付け 登はん補助材は、デザイン的な要素と開口部を被覆することに配慮して、腰壁の上端までエキスパンドメタルを設置 開口部の前面はロープ（性状が異なる 2 種類の材料） 植物の組合せやロープの張り方によって緑被率を調整 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	
③ 効果	
<ul style="list-style-type: none"> 夏の実測による太陽日射透過率（緑化層背面の日射量/緑化層前面の日射量）は、日中に 60%（遮蔽率 40%）、朝・夕は 30%（遮蔽率 70%）となり、緑化による日射遮蔽効果を確認 実測より求めた日射遮蔽データを用いた年間熱負荷計算により、緑被率（窓面を緑が覆う割合）50%時に 8%の冷房負荷の削減が期待できることを確認 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 1) 屋下亮他：つる植物を用いた窓面の緑化に関する研究 横浜国立大学建築棟にて実施した壁面緑化について，大成建設技術センター報，第 45 号，2012 2) http://www.taisei.co.jp/giken/report/2012_45/paper/A045_050.pdf 	

個別技術 6-8

①技術名	薄層型屋上緑化技術（グリーンキューブライト）
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 給水装置と緑化基盤がセットになった屋上用緑化システム ・ 導水シートで底面から緑化全体に均一に給水し、降雨時には余剰水を速やかに排水 ・ 土壌の層厚が薄くても植物の生育に適した土壌水分状態を保つことが可能 ・ 軽いので、広い面積の屋上緑化、緑化用の荷重を見込んでいない既存建物への設置も可能 ・ 底面給水により自然の毛管作用を利用するため節水可能 <div style="text-align: center;">  <p>システム断面模型</p> </div>	
④ 効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 断熱効果により最上階では 15～20%の省エネが見込めるほか、水分の気化熱による冷却効果でヒートアイランド現象の緩和に有効 ・ 都内の屋上緑地で熱画像を撮影した結果、緑地は灌水管理が適切に行われているので表面温度が下がり、熱環境の緩和が期待できることが明らかになった。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="text-align: center;">  <p>時刻 (2007年4/8)</p> </div>	
④参考文献	
<p>杉本英夫・赤川宏幸：底面灌水システムによる土壌水分管理と熱環境改善効果，大林組技術研究所報，No.72，2008</p>	

個別技術 6-9

①技術名	貯水型屋上緑化技術 1
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 雨水貯留機能を持ち，毛管作用のある布で貯水槽から土へ揚水するので，灌水の手間を削減可能 ・ 水源は雨水を使用するが不足分は適時給水 ・ 用途変更などによる移動が容易 ・ 土層の厚さは 100 ミリ程度から可能で，土層を厚くすれば中高木も植栽可能 <div data-bbox="443 667 1141 1115" style="text-align: center;"> </div>	
④参考文献	

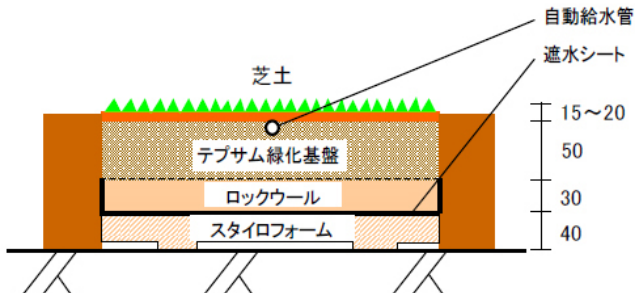

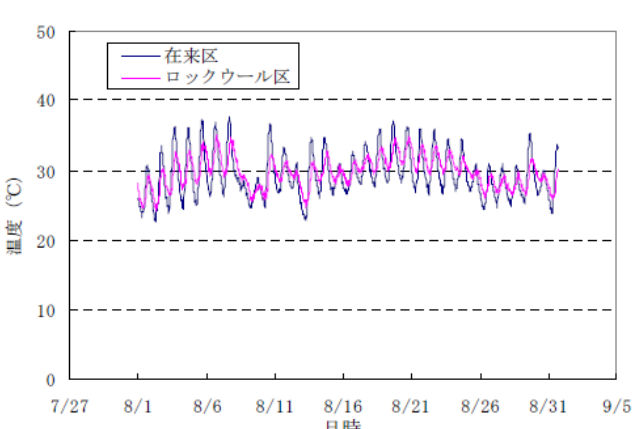
個別技術 6-10

①技術名	貯水型屋上緑化技術 2 (エバクールガーデン)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌の下部に貯水するとともに、蒸散量の大きい植物を植栽するので、蒸発散作用を最大限に利用し、屋上温度及び快適性指数 SET*を低減可能 ・ 貯水・保水機能による屋上面の断熱効果が高く、屋根面の蓄熱を軽減し空調効率も向上 ・ 人工軽量土壌下の貯水層に雨水を貯留し、使用水道水は湯水時のみ自動供給するため、豪雨時の雨水流出抑制や節水に寄与 ・ 土壌水分を一定に維持 ・ 植物にあわせた土壌の選択により多様な植栽が可能で、乾燥に弱い植物や野菜類も植栽可能 ・ 設置・撤去が容易な構造であるため、新設および既設の陸屋根に設置可能 <div data-bbox="395 779 1200 1220" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">*屋上の水勾配を活用した自然流下システムであり、ポンプ等の動力は不要です。</p>	
⑤ 効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 緑化下面是屋上コンクリート面に比べて日中の熱流量が非常に小さく、また夜間の熱流量変化が小さいことから、蓄熱・放熱が非常に小さく抑制されている。雨水も貯水することができるので試算結果では約 70%の節水が可能となる。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="316 1489 774 1809"> </div> <div data-bbox="869 1489 1292 1809"> <p style="text-align: center; font-size: small;">* 2010年、東京都府中市の気象データによる試算 土壌厚 10cm、100 m²の屋上庭園の比較</p> </div> </div>	
④参考文献	
<p>大野直、藤井義久、高木賢二、武政祐一、工藤善：屋外温熱環境改善システム BREEZA SYSTEM，建築設備士，平成 24 年 12 月</p>	

個別技術 6 - 1 1

①技術名	貯水型屋上緑化技術 3 (年中花見月)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 宿根草や低木類などの植物に軽量薄層基盤を適用し，灌水（水遣り）管理の少人化が可能 永続性のある宿根層や低木類などの中から一年を通して開花植物を觀賞できるように植物を選定 水辺ユニットなどを植栽域に組み込み可能 	
④参考文献	
<ol style="list-style-type: none"> 橘大介，薬師寺圭，中村健二：花卉による人工地盤緑化システム「年中花見月」の開発，清水建設研究報告，第 81 号，平成 17 年 4 月 http://www.shimz.co.jp/tw/tech_sheet/m0248/m0248.html 	

個別技術 6-12

①技術名	貯水型屋上緑化技術 4 (テプサム屋上緑化システム)
②技術の概要	
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 骨材化した発泡スチロール廃材 (テプサム) を植栽基盤に混合し、親水性のロックファイバーを貯水層に適用した緑化システム テプサム軽量土壌はテプサムと粒径の揃った鹿沼土を混合しており、軽量かつ保水性に優れており、適度な降雨があれば春秋の中間期は雨水のみで芝生を維持可能 発泡スチロール骨材が持つ断熱性により、屋上面の断熱性を向上  	
⑥ 効果	
<ul style="list-style-type: none"> 貯水層に用いているロックウールは、有効水分量が 700 l/m^3 程度で、植栽土の 7 倍程度の保水力を備え、かつ飽和透水係数が $2\sim 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ で、植栽土と同等の排水性能を備えている。 夏期に、週に 2 回、1 回あたり 10 l/m^2 程度の散水で、緑被度の高い芝生を維持することができる。 ロックウールを用いない在来工法によって造成された屋上緑化に比べて、夏期における緑化下スラブ温度の日最高温度を低く抑えることができ、断熱性能の更なる向上が図れていた。 	
④参考文献	
<p>屋脊下亮, 谷二三雄: ロックウールを保水層に適用した屋上緑化システムの開発, 大成建設技術センター報, 第 40 号, 2007</p>	

4.3 カーボンニュートラル化に資するその他の技術

カーボンニュートラル化に資する建築手法は、近年多種多様化している。例えば採光を工夫する手法、ダブルスキンの外装建材を用いる手法、また建築資材そのものの重量を減じて運搬時にかかる CO₂ 削減を図る手法や建材ロスや養生材などで搬出される建設廃棄物をより少なくして CO₂ 削減を図る手法、仮設コストや工期を削減し施工方法を工夫するものなど様々である。

これら個々の建材や手法についてその CO₂ 削減効果が謳われているが、本来総合的にカーボンニュートラル化に資するかを評価する必要があるのも事実である。なぜならば建物立地条件や季節により CO₂ 削減効果にバラツキが生じる点や、施工条件により評価に差があるためである。

採光を工夫する手法については、通年にわたり照明費用を減じ冬季には暖房費用を削減できる一方で、夏季には空調費用は増加に転じる可能性もある。ダブルスキンの外装材も1年を通じて同じ条件で空調費用を削減できるわけではない。施工方法による工夫においても、工期短縮を優先することで使用する仮揚重機が大型化したり労務費等が増大したりで結果として仮設電気使用量や種々の輸送ロス量が増大し、CO₂ 削減には寄与しないこともあるからである。

カーボンニュートラル化に資する建材であるか否かの評価については、建物の立地条件や気候・風土も配慮し、通年の設備負荷やランニングコストや施工中にかかる仮設諸費用の諸条件も踏まえた上で、総合的に考察する必要がある。複合的な要素も配慮する必要もある。近年、建材そのものが複合化・多様化している点と商品開発や施工方法の開発スピードが日進月歩である点で、その客観的な評価指標は個々に設けられていないのが実情である。

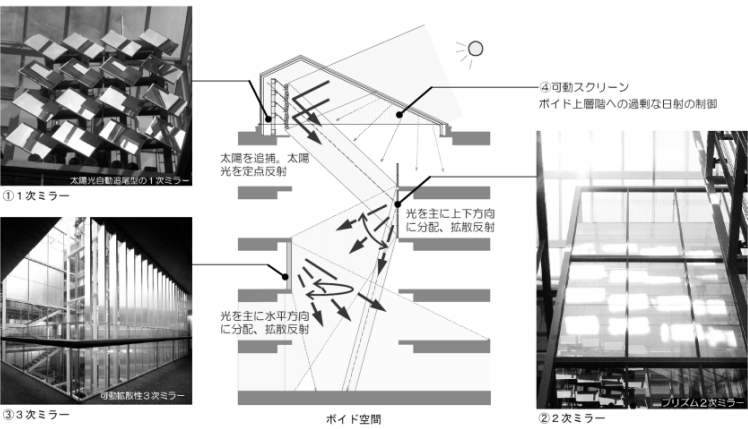
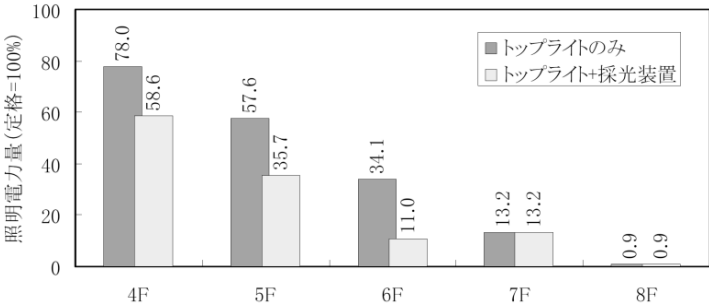
したがって設計者は、建物の立地条件や気候・風土を考慮し、発注者と将来的な使い勝手やメンテナンス方法について十分にコミュニケーションをおこない把握した上で建材等の仕様を提案し、決定する必要性があり、今後はそういった広い知見や知識量・資質を持つことを期待されると言えよう。

一方、カーボンニュートラル化に資する建材や施工法を開発する側は、メリットとデメリットを明確化する必要性があり、客観的にそれらの建築手法を設計者や発注者さらにはユーザーが把握できる様に配慮すべきである。共通で用いることのできる総合的かつ客観的な評価軸が現段階でないため、建築業界として建材や施工方法の評価については、開発技術者の判断に委ねられているのが実情である。

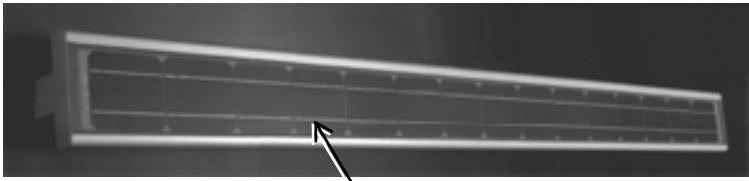

今後も様々な建築手法によるカーボンニュートラル対応が商品化されていくことであろうから、適材適所にそういったものが使われていくために、建築業界としても客観的に評価可能な評価基準も整備していくことが期待される。

次ページ以降に、カーボンニュートラル化に資するその他の技術を紹介する。

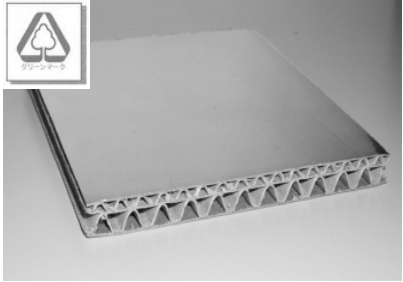
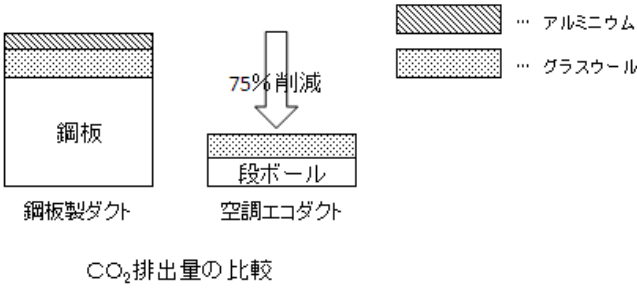
個別技術 7-1

①技術名	太陽光追尾型採光システム (T-Soleil)																		
②技術の概要																			
<p>(a) 技術の分類：アルミ，ガラス</p> <p>(b) 適用箇所：トップライト，ボイド空間</p> <p>(c) 諸元：太陽を自動追尾し採光したい場所に昼光を届ける仕組みを持つ採光システム</p> <p>(d) 特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> 採光装置を建築空間に適用し，効率よく，多くの光を所望の位置に導くことが可能 建物下層階の所望の位置に自然光を効率よく取り入れて，上層階のような明るさを作りながら，トップライト本体の採光を阻害しない大面積の採光・導光の仕組みあり 太陽光を自動追尾するミラーと多段のミラーの組合せにより，窓が小さいことで不足する採光をトップライトから効率良く取り入れることが可能 																			
③効果																			
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p>大成札幌ビルでは，4～8F に至るボイド周囲の廊下では昼光利用が期待される．この廊下の設計照度を 300lx とし，人工照明による定格電力量に対するトップライトと採光装置による電力削減効果を算定した．現地での昼光照度の実測と採光シミュレーションに基づき，昼光が期待できる 10～15 時を対象時間として年間の電力量を求めた．ボイド上層の 7～8F はトップライトのみで十分な照度を確保でき，下層階の 4～6F ではトップライトのみの場合に比べて 40%近い削減効果を得た．</p>  <table border="1" data-bbox="438 1505 1149 1809"> <thead> <tr> <th>Floor</th> <th>トップライトのみ (%)</th> <th>トップライト+採光装置 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4F</td> <td>78.0</td> <td>58.6</td> </tr> <tr> <td>5F</td> <td>57.6</td> <td>35.7</td> </tr> <tr> <td>6F</td> <td>34.1</td> <td>11.0</td> </tr> <tr> <td>7F</td> <td>13.2</td> <td>13.2</td> </tr> <tr> <td>8F</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table>		Floor	トップライトのみ (%)	トップライト+採光装置 (%)	4F	78.0	58.6	5F	57.6	35.7	6F	34.1	11.0	7F	13.2	13.2	8F	0.9	0.9
Floor	トップライトのみ (%)	トップライト+採光装置 (%)																	
4F	78.0	58.6																	
5F	57.6	35.7																	
6F	34.1	11.0																	
7F	13.2	13.2																	
8F	0.9	0.9																	
④参考文献																			
<ol style="list-style-type: none"> http://www.taisei.co.jp/giken/report/2008_41/intro/C041_015.htm http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/639/631/K00E34.pdf http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/823/815/K00D71.pdf 																			

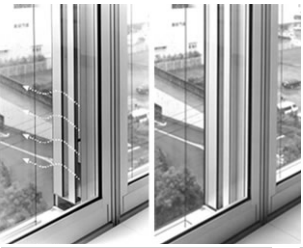
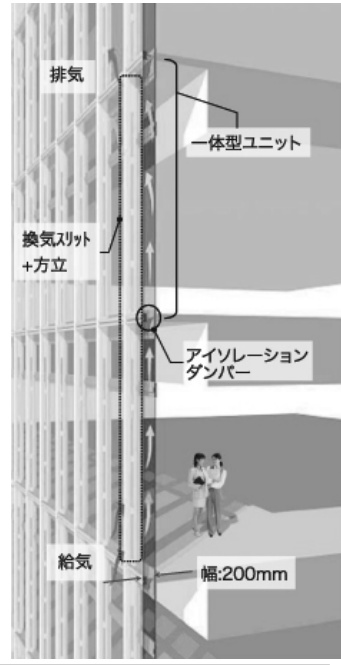
個別技術 7-2

①技術名	太陽光ルーバー													
②技術の概要														
<p>(a) 技術の分類：外付けルーバー</p> <p>(b) 適用箇所：窓，壁，屋根</p> <p>(c) 諸元：ルーバー（アルミ），太陽電池（ガラス，発電容量 43.4W/本）</p> <p>(d) 特徴：発電＋日射遮蔽の相乗効果でライフサイクル CO₂ を削減</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>外付けルーバーの受光面に太陽電池（単結晶セル）を設置 寸法：長さ 3,315mm×高さ 150mm</p> <p>外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>実施例</p> </div> </div>														
③効果														
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p>試算条件：発電容量 10kW システム，東京，南向き 60 度傾斜，窓の日除けで使用 CO₂ 排出係数（電力：0.315 (kg-CO₂/kWh)¹⁾ 杉の木 CO₂ 吸収量：14 (kg/本)²⁾</p> <div style="text-align: center;"> <p>表 1 CO₂削減効果</p> <table border="1" data-bbox="488 1303 1102 1541"> <thead> <tr> <th></th> <th>CO₂排出削減量 [t-CO₂/年]</th> <th>杉 本数 (CO₂吸収相当) [本]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>発電</td> <td>2.8</td> <td>205</td> </tr> <tr> <td>日射遮蔽</td> <td>1.2</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>4.0</td> <td>297</td> </tr> </tbody> </table> <p>参考文献 1) 平成 22 年度 JPEA 表示に関する業界自主ルール 2) 林野庁：地球温暖化防止のための緑の吸収源対策</p> </div> <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 空調機械室の目隠し壁としても使用可能。太陽熱も回収できるタイプも有り。 				CO ₂ 排出削減量 [t-CO ₂ /年]	杉 本数 (CO ₂ 吸収相当) [本]	発電	2.8	205	日射遮蔽	1.2	92	計	4.0	297
	CO ₂ 排出削減量 [t-CO ₂ /年]	杉 本数 (CO ₂ 吸収相当) [本]												
発電	2.8	205												
日射遮蔽	1.2	92												
計	4.0	297												
④参考文献														
<p>1) http://www.taisei.co.jp/kankyoun/env_fair/shoene/07.html</p> <p>2) http://www.taisei.co.jp/giken/report/2011_44/paper/A044_050w.pdf</p>														

個別技術 7-3

①技術名	高機能段ボール製ダクト (コルエアダクト)
②技術の概要	
<p>(a) 技術の分類：空気調和・換気設備</p> <p>(b) 適用箇所：空調・換気用ダクト</p> <p>(c) 諸元：厚さ 8mm の段ボールに、厚さ 20μm のアルミニウム箔をラミネートした材料，熱貫流率 2.04 W/(m²K)</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 国土交通大臣指定の性能評価機関による発熱性試験及びガス有害性試験に合格し，国土交通大臣による不燃材料認定を取得 ダクトとして平板の状態での搬入するため，運搬トラックの台数を大幅削減可能 アルミニウム箔と段ボールを分離することで，それぞれ資源としてリサイクル可能 	
	
③効果	
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <ul style="list-style-type: none"> 高機能段ボール製ダクト材の生産時の CO₂ 排出量は，鋼板製ダクトの約 1/4 に削減 <p>(b) その他の付帯的な効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料の輸送用トラック台数の大幅削減とそれに伴う CO₂ 排出量の削減 高機能段ボール製ダクトは，廃棄の際にアルミニウム箔と段ボールに分離することで，それぞれの資源としてリサイクル可能 高機能段ボール製ダクトは，リサイクル品であり，グリーンマーク表示製品 	
 <p style="text-align: center;">CO₂ 排出量の比較</p>	
④参考文献	
<p>1) http://www.kurimoto.co.jp/j03/topics.htm</p> <p>2) http://www.cho-monodzukuri.jp/award/2008/environment-related.html</p>	

個別技術 7-4

①技術名	超薄型ダブルスキンユニット (T-Façade Air)															
②技術の概要																
<p>(a) 技術の分類：サッシ</p> <p>(b) 適用箇所：カーテンウォール</p> <p>(c) 諸元：自動開閉制御の換気スリットをサッシ縦方向に内蔵し、サッシ縦方向全域から給気、排気を行い、中空層幅を約 200mm と大幅に薄型化しつつ、換気量を確保し、従来型ダブルスキンと同等の省エネルギー性能とした。</p> <p>(d) 特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全面ガラス建築に大幅な省エネルギー性能を持たせる二重ガラス構造（ダブルスキンシステム）を、厚さわずか 200 ミリで実現し、薄型化・ユニット化により大幅にコストダウン。 ・ 夏期は換気スリットにより、二重ガラス内の空気を自然換気し、日射熱の負荷を低減、冬期は、換気スリットを閉じて、暖房負荷を低減。 ・ サッシ底部のアイソレーションダンパーの開閉により空気の通り道を制御し、省エネルギー性能を最大限に発揮。 																
 <p>換気スリット(左：開、右：閉)</p>		 <p>排気 換気スリット+方立 アイソレーションダンパー 給気 幅:200mm 一体型ユニット</p> <p>薄型ダブルスキンユニットイメージ</p>														
③効果																
<p>(a) CO₂ 削減試算</p> <p><試算の考え方></p> <p>窓システムの日射熱取得率と熱貫流率より年間エネルギー消費量を求め、CO₂ 排出量に換算</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 従来システム 0kg-CO₂/m²*/年（削減量） ・ 本システム 23.3kg-CO₂/m²*/年（削減量）（*外壁面積） <table border="1" data-bbox="427 1496 1161 1637"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">窓システム</th> </tr> <tr> <th>薄型化ダブルスキン</th> <th>Low-eペアガラス</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日射熱取得率 η [ND]</td> <td>0.11~0.25</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>熱貫流率 K [W/m²K]</td> <td>2.75</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>年間エネルギー消費量</td> <td>76%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>				窓システム		薄型化ダブルスキン	Low-eペアガラス	日射熱取得率 η [ND]	0.11~0.25	0.43	熱貫流率 K [W/m ² K]	2.75	2.3	年間エネルギー消費量	76%	100%
	窓システム															
	薄型化ダブルスキン	Low-eペアガラス														
日射熱取得率 η [ND]	0.11~0.25	0.43														
熱貫流率 K [W/m ² K]	2.75	2.3														
年間エネルギー消費量	76%	100%														
④参考文献																
<p>1) 藤村淳一，横井 睦己，御器谷良一，藤井浩史，張本和芳，樋渡潔：高性能薄型ダブルスキンユニットの開発：（その 1）システム概要と基本性能，日本建築学会学術講演梗概集，D-2，2009，pp.961-962，2009-07-20</p> <p>2) http://www.taisei.co.jp/1169092623188.html</p>																

第5章

住宅の事例紹介

5.1 住宅・建築物の産業連関表データベースによる LCCO₂ 評価事例紹介

(1) はじめに

ミサワホームの「フラグシップモデル」は 2030 年の標準的住宅を想定し、LCCO₂ マイナスを実現する住宅として平成 22 年に建設したモデル住宅である。ミサワホーム独自の木質パネル構法をベースに、断熱性能・日射制御機能の強化、通風と排熱の合理化及びエアコンとの連動化、太陽熱集熱機能付太陽光発電システム（カスケードソーラーシステム）、高効率照明、ふく射冷暖房システムを組み合わせ、成熟社会に見合った室内温熱快適性・利便性を実現しながら、ライフサイクルでの環境負荷（CO₂ 排出量収支）をゼロ以下にすることを意図したものである。住宅プラン及び断熱仕様、設備仕様は以下の通りである。

構法構造：	木質パネル構法住宅 244m ²
冷暖房：	エアコン+ふく射冷暖房パネル
給湯：	エコキュート
調理：	IH キッキングヒーター
照明：	LED+高効率蛍光灯
太陽光発電：	PV9.6kW（太陽熱集熱機能付）
断熱仕様：	天井【RW250mm】、外壁【GW150mm】、基礎【ポリスチレンフォーム B3 100mm】、窓【樹脂サッシ両面 Low-E ガラス】、換気【熱交換換気（温度交換効率 70%）】
熱損失係数（Q 値）：	1.05W/m ² K



図 5.1.1 計算対象としたモデル住宅

(2) LCCO₂ 算出方法

LCCO₂ 算出には大きく分けて建設時の部材生産・施工に関わる排出量計算と、生活段階におけるエネルギー消費に伴う排出量計算が必要となる。建設時の部材生産・施工の評価にはまず各部材の使用量を把握する必要がある。構造材、仕上材は図面から素材ごとに算出した。設備は各メーカーに個別調査し、素材ごとに算出した。積算対象範囲は建物重量の 0.1%未満であることが明確である材料以外はすべて計算対象とした。素材の CO₂ 原単位は建築学会 LCA 計算ソフト（産業連関表 1995 年版ベース）に準じた。

生活段階のエネルギー消費量に関しては、用途別に以下の仮定に沿って算出した。

- 【冷暖房】： SIM/HEAT 負荷計算と機器の月別 COP より算出
- 【給湯】： 統計年報関東版データ⁽¹⁾と外気温度から導いた月別負荷と機器の月別 COP より算出
- 【調理】： 統計年報関東版データと機器効率より算出
- 【照明】： 統計年報関東版データと器具効率より算出
- 【家電他】： 統計年報関東版データより算出
- 【太陽光発電】： パラメータ分析法により月別に算出
- 【カスケードソーラー集熱】： システムシミュレーションをもとに暖房負荷から差し引き

(3) 算出結果

図 5.1.2 は部材別素材別に集計した重量である。基礎には砕石も含めており、建物重量の半分近くを占めていることがわかる。基礎、木構造材、仕上げ材だけで総重量の 90% 近くに達している。設備その他の重量は相対的に小さい。一方、CO₂ 排出量で集計し直すと、図 5.1.3 になる。基礎、木構造材、仕上げ材は CO₂ 排出ベースでは相対的に小さくなり、建具、設備、その他部材の割合が大きくなっている。積算対象を構造材、仕上げ材等に限定することは住宅のライフサイクル CO₂ 評価結果に大きな誤差をもたらす可能性があることが分かる。

図 5.1.4 は、検討対象とした住宅を標準的な仕様で建設した場合の建設時 CO₂ 排出量と比較した結果である。ライフサイクル CO₂ マイナスモデルは、一層の省エネルギーを実現するために追加的な部材を使用しており、結果として建設時に 15 トンの排出量増となった。

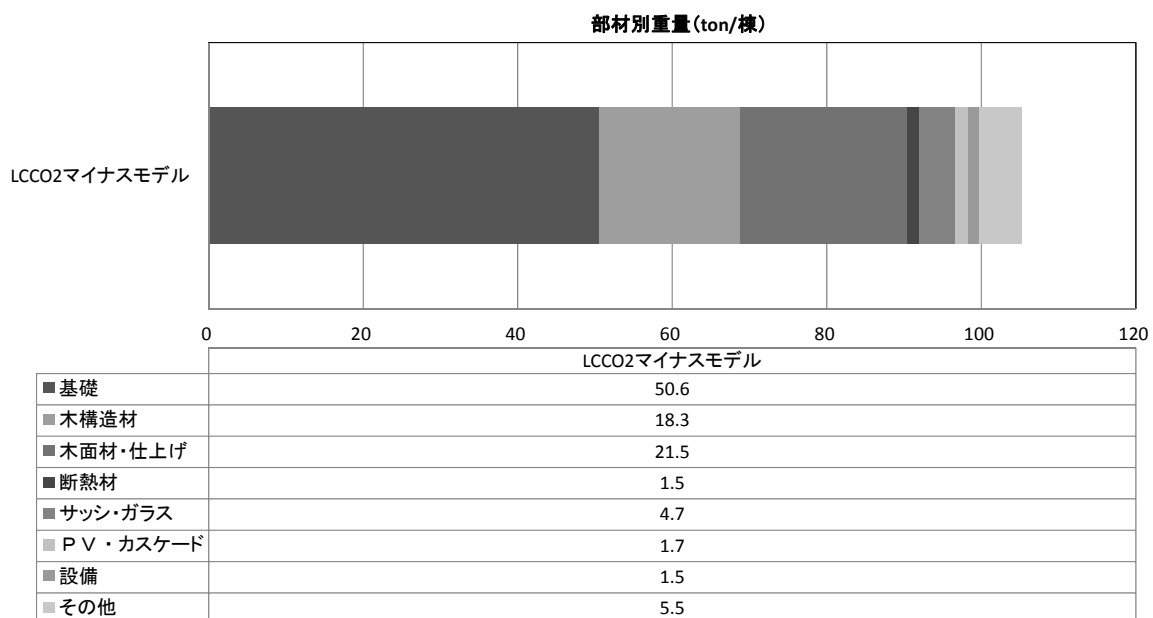
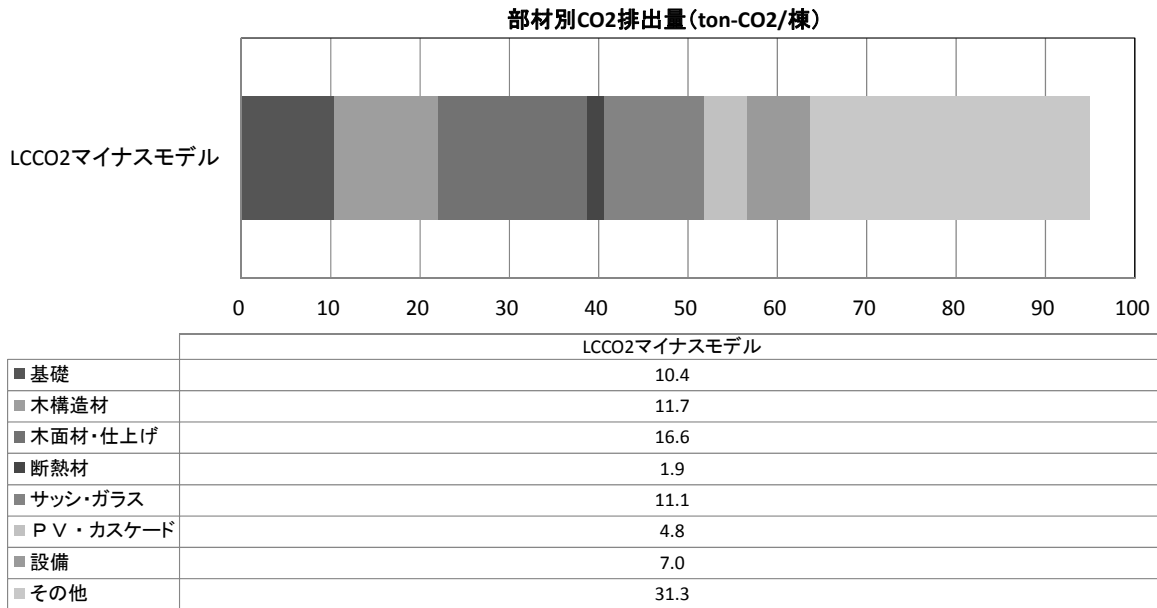


図 5.1.2 部材別重量



※「その他」に分類したもの: 接着剤、ビス、遮蔽スクリーン、デッキ、内部建具類、スケルトン階段、給水給湯管、配線材類、共通仮設分

図 5.1.3 部材別 CO₂ 排出量

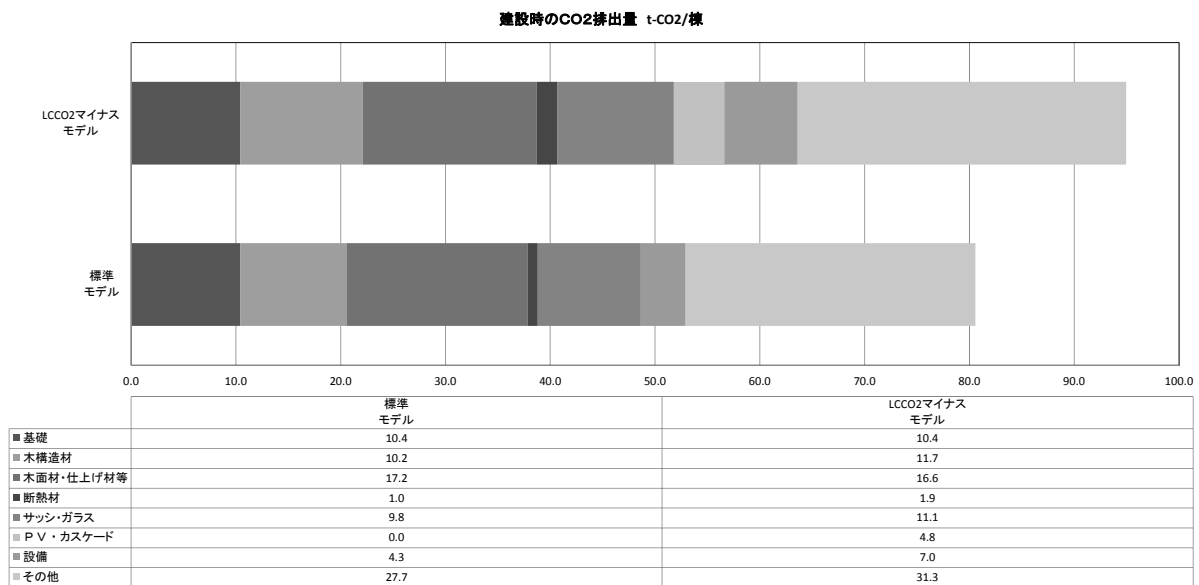


図 5.1.4 標準的仕様で建設した場合との比較

本住宅は、建設時の CO₂ 排出を生活時の CO₂ 吸収で相殺することを意図している。図 5.1.5 は生活時の年間 CO₂ 収支計算結果である。同一プランの住宅を標準的な仕様で建設した場合、CO₂ 排出量は 6.4 トン/年となる。一方、断熱性能・日射制御機能の強化など、追加的な省エネルギー技術を導入したライフサイクル CO₂ マイナス仕様では、太陽光発電以外の省エネルギー効果で年間の CO₂ 排出量が 52% 削減される。太陽光発電による CO₂ 排出削減効果は 4.6 トン/年あり、生活に伴う各用途排出との収支は -1.5 トン/年となる。図 5.1.6 は建設後の CO₂ 排出量収支の推移である。ライフサイクル CO₂ マイナス

モデルは建設時の排出量は大きいですが、その後は年間収支としてマイナスになり、入居後約2年で標準仕様住宅と逆転する。生活時のCO₂排出減を実現できる技術や部材は、生産時と建設時のCO₂排出増があってもライフサイクルの観点では大きな削減効果をもたらす。

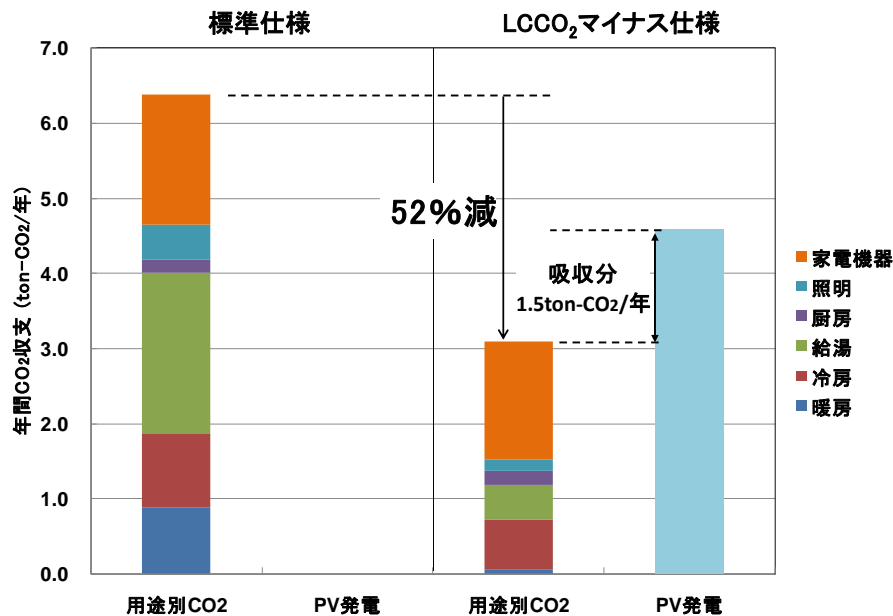


図 5.1.5 生活段階の CO₂ 排出量収支

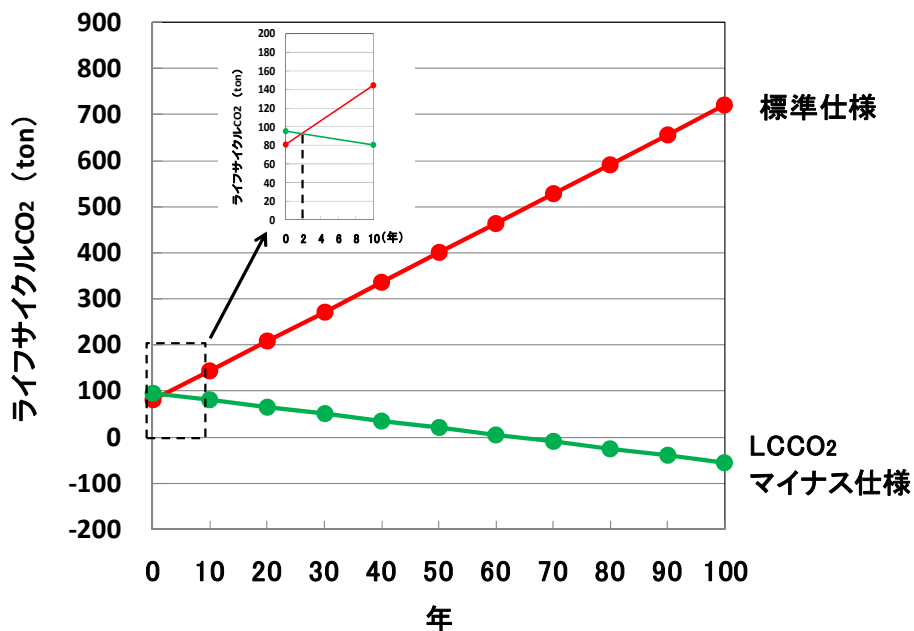


図 5.1.6 建設後のライフサイクル CO₂ 推移

(4) まとめ

近年、住宅のライフサイクル評価事例が多くなっているが、計算を簡素化したり積算対象を限定することは、結果として CO₂ 排出量を小さく見積もることに他ならず、安易な簡素化は認められるべきではない。また、素材の CO₂ 排出原単位は必ずしも重量に比例するものではないため、積算対象を限定

することは評価結果を歪める可能性があることに注意が必要である。同様に、積算方法が異なる事例を単純に比較することはナンセンスであることを認識する必要がある。

また、ライフサイクル CO₂ を改善する手法として建築部材を削減することも手法としては考えられるが、CO₂ 排出の低減が構造強度や耐久性の低下につながるのでは本末転倒である。建材のカーボン評価を行う場合には材料単体のライフサイクル評価と同時に、その材料が用いられる建築物としての総合的評価が重要である。

参考文献

- 1) 家庭用エネルギー統計年報，2010年版，住環境計画研究所

5.2 CASBEE による LCCO₂ 評価事例

国土交通省にて実施している「住宅・建築物省 CO₂ 先導事業」では、住宅・建築物における省 CO₂ 対策を強力に推進し、住宅・建築物の市場価値を高めるとともに、居住・生産環境の向上を図るため、省 CO₂ の実現性に優れたリーディングプロジェクトとなる住宅・建築プロジェクトを公募によって募り、整備費等の一部を国が補助し支援する事業として、平成 20 年度から実施されている。

この事業での評価の視点のひとつに、住宅の建設・運用・解体・廃棄までの一生涯に排出する CO₂ をライフサイクルトータルの CO₂ 収支でマイナスとなるライフサイクルカーボンマイナス (LCCM) の観点から CASBEE の LCCO₂ 評価手法を用いている。

ここでは、住宅の LCCO₂ 評価の事例の一つとして、上記事業の平成 22 年第 2 回において採択を受けた住友林業 (株) の「サステナブルエナジーハウス (省 CO₂ タイプ)」を紹介する。

(1) 提案概要

LCCM の観点から、主要構造材の国産材率 100% やバイオマス燃料を利用した木材乾燥などによるイニシャル (建設時まで) での CO₂ 削減と、高い断熱性能や植栽等も活かした高度なパッシブ設計などによるランニング (居住時) での CO₂ 削減を、バランスよく取り組むことで LCCM 住宅実現に向けて、1st ステップとなる住宅モデルを提案する。また、Web 上のコミュニケーションツールを活用することで、より実効性・波及性が高い省 CO₂ 行動の取り組みが期待できる。

(2) 提案に対する概評

パッシブ設計や断熱仕様の強化、高効率設備の採用など、住宅の省エネ性能をバランスよく向上させるとともに、建設段階での多様な省 CO₂ への取り組み、居住の省 CO₂ 行動を喚起する工夫など、ライフサイクル全般で LCCM に向けた取り組みを行う点を評価した。特に、建設段階における主要構造材の国産材率 100%、バイオマス燃料による木材乾燥など、意欲的な取り組みと、関連製材業者への省 CO₂ 乾燥技術の波及効果を評価した。

(3) 提案の全体像

LCCM の観点から、イニシャル (建設時まで) とランニング (居住時) での CO₂ 削減をバランスよく取り組むことで LCCM 住宅実現に向けて、1st ステップとなる住宅モデルを提案した。

提案の全体像を下記及び図 5.2.1 に示す。

【イニシャル CO₂ 削減の取り組み】

- ①部材調達から建設過程での CO₂ 排出を植林によりオフセット
- ②主要構造材の国産材率 100%
- ③バイオマス燃料による木材乾燥の推進

- ④物流中継センターによる資材配送の集約化
- ⑤施工管理システム (IT) の活用

【ランニング CO₂ 削減の取組み】

- ①断熱性向上と風・太陽・緑を活用したパッシブ設計 (涼温房)
- ②再生可能エネルギーの活用 (太陽光発電システム 5kW 以上)
- ③高効率設備, 節湯・節水設備の導入
- ④低炭素型ライフスタイルへの誘導 (見える化, Web の活用)

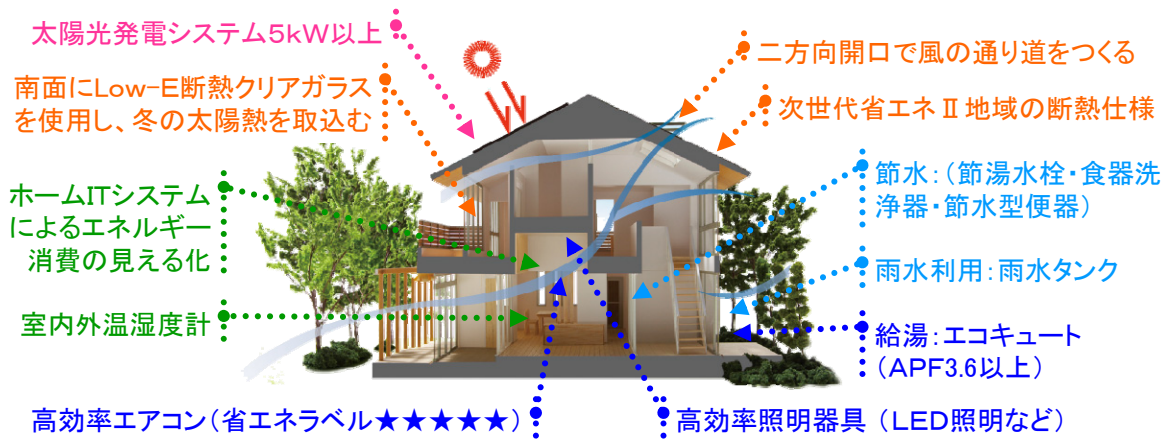


図 5.2.1 提案の全体像

(4) 省 CO₂ 技術とその効果

省 CO₂ 技術とその効果を下記及び表 5.2.1 に示す。

① 植林によるオフセット

住宅の床面積の 2 倍相当の植林を行い, 10 年間にわたり管理, 育林することで, 住宅の主要構造材の伐採から建築施工までに排出される CO₂ (一棟当たり 6 t-CO₂) をオフセットする。

② 主要構造材の国産材率 100%

国産材の採用, さらに直径の小さな丸太や短尺材, 根曲がり部分などの未利用材も資材として使用することで, 海外からの輸送による CO₂ 排出量を削減するとともに, 日本の森林保全を推進する。

③ バイオマス燃料による木材乾燥の推進

使用する国産材は, 平均 91%のバイオマス燃料(木屑等)による乾燥化を実現。今後, 計画的にバイオマス燃料化を推進し, 100%化及び製材業への波及を図る。

④ 物流中継センターによる資材配送の集約化

全国 27 ヶ所に設置した物流中継センターの活用により, 資材配送を集約化し, 輸送段階での CO₂ 削減を図る (従来に比べ約 1/3 の配送回数を実現)。

⑤ 施工管理システム (IT) の活用

施工管理システム (IT) の活用により, 電子化された図面・仕様書・工程管理の共有化, 電子受発注によるペーパーレス化及びムダの削減を行い, 施工段階での CO₂ 削減を図る。

⑥ 断熱性向上と風・太陽・緑を活用したパッシブ設計 (涼温房)

- ・「次世代省エネルギー基準を超える断熱性能へ強化」し, 省エネ化を図る。
- ・「建物の南面は真南±30 以内に配置」し, 「南面窓のガラスは Low-E 断熱クリア+軒や簾による日射遮蔽, その他の面は Low-E 遮熱クリア」とし, 太陽熱を冬は有効に取り入れ, 夏は遮蔽する。

- ・通風措置として全居室は「2 方向開口」又は「1 面開口+室内欄間ドア or 引戸」とし、さらに風圧・温度差換気促進のため「開閉式トップライト」を設置する。
 - ・「熱負荷、通風、日照シミュレーション」を実施し、敷地に適した計画を行う。
- ⑦ 再生可能エネルギーの活用
- ・太陽光発電システム（5kW 以上）を搭載する。
- ⑧ 高効率設備、節湯・節水設備の導入
- ・空調設備：主要な居室のエアコンは省エネラベル★★★★★の機器を設置。
 - ・給湯設備：エコキュート（APF3.6 以上）を設置。
 - ・照明設備：居間の主照明器具は、省エネ基準達成率 100%以上の蛍光灯又はLED照明を設置。
 - ・衛生設備：節水型便器、暖房便座（省エネ基準達成率 100%以上）を設置。
 - ・節水設備：食器洗浄機、浴室水栓・台所水栓（節湯タイプ）、雨水タンクの設置。
- ⑨ 低炭素型ライフスタイルへの誘導（見える化、Web の活用）
- ・「ホーム IT システム」又は「省エネナビ」を設置し、エネルギー消費を見える化する。
 - ・「室内外温湿度計」を設置し、窓明け換気・通風等を促進させる。
 - ・オーナー参加型住まい方アイデア公開サイト『エコ百科』への参加により、引渡し後のエコ行動の推進・誘発を図る。

表 5.2.1 省 CO₂ 技術とその効果

項目	一次エネルギー削減量	CO ₂ 削減量 (kg-CO ₂ /年 m ²)	削減割合	比較対象, 備考
①	—	0.54kg-CO ₂ /年 m ²	建設時の 18.2%	実施しない場合
②	—	0.36kg-CO ₂ /年 m ²	建設時の 12.1%	実施しない場合
—	—	5.95 kg-CO ₂ /年 m ²	建設時に自動反映	木造住宅, 劣化等級 3 を選択
③	—	—	—	—
④	—	0.01kg-CO ₂ /年 m ²	建設時の 0.5%	実施しない場合
⑤	—	—	—	—
⑥, ⑧, ⑨	—	10.73kg-CO ₂ /年 m ²	居住時の CO ₂ 排出量の 41.5%	CASBEE 戸建・新築 (2010 年版) の参照値
⑦	—	15.11kg-CO ₂ /年 m ²	居住時の CO ₂ 排出量の 58.5%	CASBEE 戸建・新築 (2010 年版) の参照値

(5) LCCO₂ 計算と CASBEE 評価

LCCO₂ 計算と CASBEE 評価を図 5.2.2 に示す。



図 5.2.2 LCCO₂ 計算と CASBEE 評価

第6章

今後の課題

本特別研究委員会は、低炭素社会の実現に向けて、昨今、我が国の建築関連業界が調査研究や技術開発を進め、日本建築学会においても地球環境委員会を中心として、カーボン・ニュートラル建築物やゼロ・エネルギー建築物に関する建築調査研究活動が進められる中、低炭素社会を実現する場合に支障の一つとなるセメント系材料（コンクリート含む）がこれまでの中心的な検討材料であった材料施工委員会においても、その一躍を担うべく、材料施工委員会からの発案により設置された。低炭素社会の実現に向けて、我が国でこれまで進められてきた建築物における省エネルギー化は、冷暖房・空調設備の効率化と断熱材利用によるものが主流であり、カーボン・ニュートラル建築物やゼロ・エネルギー建築物の実現も、自然再生エネルギー利用設備の設置と断熱材利用によるものが中心であった。建築材料については、生長時に二酸化炭素を吸収・固定する木材の利用を促進する動きが活発化しているが、木材だけで現代社会の建築物を構築するのは無理であり、コンクリートや鋼材、プラスチック、タイル、石膏ボードなどの建築材料は欠かせない。また、建築物の運用時におけるカーボン・ニュートラル化およびゼロ・エネルギー化が格段に進められた暁には、建築材料の生産段階、建築物の施工段階・解体段階などにかかるエネルギーの方が多くなってしまいかねず、そのような段階での省エネルギー化・低炭素化が重要になる。したがって、木材以外の建築材料について、カーボン・ニュートラル化に資する方策を探ることは意義深く、その意味で、建築物のカーボン・ニュートラル化に資する建築材料とその生産・施工時の省エネルギー化・低炭素化技術の事例を紹介することができた本特別研究委員会は、一定の役割を果たしたと言えよう。

しかしながら、目的の達成に向けての活動は始まったばかりであり、カーボン・ニュートラル化に資する個々の建築材料や技術を組み合わせて最適な状態を見出すに至るまでには、残された課題もまだ多い。それらの一例を下記に示す。

- 個々の建築材料のプロダクト・カテゴリー・ルール（PCR）の標準化とカーボンフットプリントの明確化
- 建築物の運用時における建築材料のカーボン・ニュートラル性に対する効果の定量化手法の構築
- ライフサイクル全体を通じての建築材料のカーボン・ニュートラル性の評価手法の体系化
- ライフサイクル全体を通じてカーボン・ニュートラルまたはゼロ・エネルギーとなる建築物における建築材料の利用に関わる設計手法の構築・体系化

これら課題の解決とカーボン・ニュートラル建築物またはゼロ・エネルギー建築物の合理的な実現に向けて、材料施工委員会には熱環境建材研究小委員会が、環境工学委員会の伝熱小委員会にはカーボン・ニュートラル建材WGが2013年度に新たに設置され活動を開始したところである。これら小委員会およびWGの活動を含め、日本建築学会における今後の調査研究活動に期待したい。