

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ライフサイクルCO2と温熱・光環境のトレードオフからみた住宅のパッシブデザイン手法の相対化
Title(English)	Relativization of Design Methods in Passive Solar House from Trade-off Relations of Thermal and Light Environment with LCCO2
著者(和文)	唐木研介
Author(English)	Kensuke Toki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12067号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村田 涼,安田 幸一,奥山 信一,那須 聖,浅輪 貴史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12067号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

博士学位申請論文

論文題目

ライフサイクル CO₂ と温熱・光環境のトレードオフからみた
住宅のパッシブデザイン手法の相対化

Relativization of Design Methods in Passive Solar House
from Trade-off Relations of Thermal and Light Environment with LCCO₂

主指導教員：村田 涼 准教授

副指導教員：安田 幸一 教授

論文提出者：唐木 研介

目次

第1章	序論	1
第1節	研究の背景、意義と目的	2
第2節	研究の方法と用語の定義	11
第3節	従来の研究との比較	14
第4節	論文の構成及び概要	16
第2章	ダイレクトゲイン型住空間モデルにおけるライフサイクルCO ₂ と温熱環境の関係	22
第1節	本章の目的と概要	23
第2節	住空間モデルの設定	24
第3節	住空間モデルの建設時CO ₂ 排出量	26
第4節	暖冷房負荷による運用時CO ₂ 排出量	28
第5節	室温変動からみた夏と冬の温熱環境	30
第6節	温熱環境とLCCO ₂ の関係	34
第7章	小結	37
第3章	日射制御ルーバーを用いた住空間モデルにおけるライフサイクルCO ₂ と光環境の関係	42
第1節	本章の目的と概要	43
第2節	住空間モデルとルーバーの設定	44
第3節	ルーバーの建設時CO ₂ 排出量	46
第4節	暖冷房負荷による運用時CO ₂ 排出量	47
第5節	照度分布からみた夏季の光環境	49
第6節	日射制御とLCCO ₂ の関係	50
第7章	小結	55
第4章	ライフサイクルを考慮したパッシブデザインのトレードオフ	58
第1節	本章の目的と概要	59
第2節	ライフサイクルを考慮したパッシブデザイン手法と環境要因	60
第3節	ライフサイクルにおけるトレードオフとパッシブデザイン手法	73
第4節	小結	82
第5章	結論	85
関連論文目録		91
資料編		94
第2章	資料編	95
第3章	資料編	108

第1章 序論

- 第1節 研究の背景、意義と目的
- 第2節 研究の方法と用語の定義
- 第3節 従来の研究との比較
- 第4節 論文の構成及び概要

第1節 研究の背景、意義と目的

本研究は、温暖地のパッシブソーラー住宅におけるパッシブデザインの手法を対象に、素材や構法の差異を適用した住空間モデルを用いたシミュレーションによりライフサイクルCO₂（以下、LCCO₂）と温熱・光環境の比較検討を行い、ライフサイクルを考慮した環境の負荷と質にみられるトレードオフの特性を検証し、住宅のパッシブデザイン手法の相対的な特徴を明らかにするものである。

1.1.1 現代日本の住宅設計における環境配慮の取組み

化石エネルギーの持続的な利用や気候変動抑止のための温室効果ガスの排出削減といった全地球的な環境問題を背景に、現代日本の建築分野においても様々な環境配慮の取組みがなされている。住宅の設計においても、建物の運用に関わる環境負荷削減の工夫、再生可能エネルギーの活用、建材に関わる資源の循環や、近隣の生態系への配慮、あるいはそれらに関わる法制度の整備といったように、多様な水準や側面からのアプローチがある^{注1)}。

中でも日本の住宅における環境負荷に着目すると、特に給湯、暖冷房によるものが大きく（図 1-1）、これまで建築外皮の高性能化、設備機器の高効率化といった工夫を主として省エネルギー化が進められてきた。暖冷房負荷の削減に関わる建築外皮の高性能化については、古くは北海道に代表される寒さの厳しい地域において、他の地域に先駆けて北欧等の事例に倣った高断熱・高气密住宅の開発、普及が進められ（図 1-2）、近年では省エネルギー基準などの法整備に伴い、比較的冬の寒さが穏やかな関東以南の温暖地においても普及が進んでいる。また、エアコンや給湯器といった設備機器についても 1998 年にトップランナー制度が導入され高効率化が進められてきた。さらに 2000 年以降、住宅用太陽光発電技術の発展と普及により、消費エネルギーの削減だけでなく住宅におけるエネルギーの創出が意図されるようになった（図 1-3）。現在では、様々な省エネルギーの工夫に加え、太陽光発電などを用いた創エネにより建物の運用時のエネルギー収支をゼロとすることを目標としたゼロエネルギー住宅（ZEH、Nearly ZEH など）（図 1-4）の普及を目指す施策が講じられている。これらはいずれも運用時の省エネルギーを中心とした取組みであるが、建設分野に関わる環境負荷において建設時に比べて建物運用時の占める割合が大きいことから優先的に進められた結果と考えられる^{注4)}（図 1-5）。

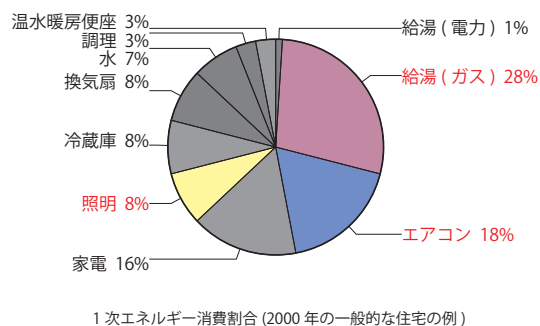


図 1-1 日本の住宅におけるエネルギー消費
出典：自立循環型住宅への設計ガイドライン²⁾



図 1-2 上遠野邸^{注2)}



図 1-3 ENEOS 創エネハウス^{注3)}

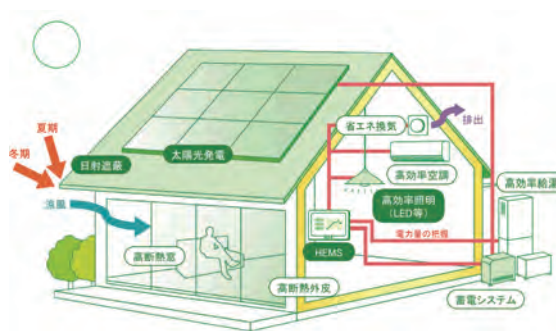


図 1-4 ZEH のイメージ図

出典：経済産業省 資源エネルギー庁 HP
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html

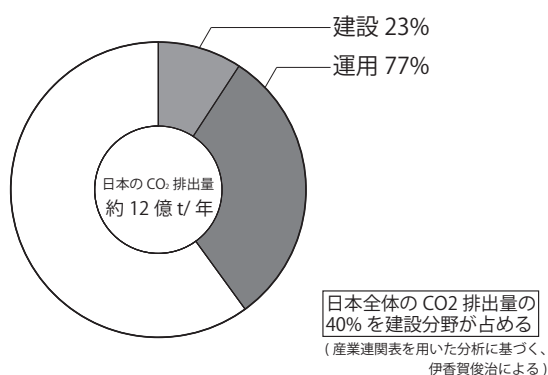


図 1-5 建築分野における CO₂ 排出量
出典：LCCM 住宅の設計手法³⁾

1.1.2 環境配慮におけるライフサイクルの視点の重要性の高まり

一方で、現代の環境配慮住宅の特徴として、断熱材の増量や複層ガラスの採用、太陽光発電パネルの設置などにより住宅が高仕様化する傾向にあり、以前の住宅よりも建設時の環境負荷はより大きくなっていることが挙げられる。さらに、運用時の省エネルギー化の進展により、運用時以外の建材製造や建設、修繕、解体（図 1-6）といった建設時に要するエネルギーが相対的にも大きくなる傾向がみられる。こうした背景をふまえ、近年では、ゼロエネルギー住宅の発展形の一つとして、建物のライフサイクルを通じたカーボンマイナス達成を目指す LCCM 住宅（ライフサイクルカーボンマイナス住宅）^{注5)} の概念（図 1-7）が登場し、LCCM 住宅認証制度の整備など、普及への取組みが進められている。

そうした取組みの一つに、筆者が設計及び工事監理に関わった LCCM 住宅の実証プロジェクトである LCCM 住宅デモンストレーション棟（図 1-8）の建設が挙げられる。本プロジェクトでは、（国研）建築研究所内に木造 2 階建ての実証施設を建設し、資材製造も含めた建設に関わる環境負荷の計測、また完成後の居住試験により建物運用時の負荷の計測など、ライフサイクルを通じた負荷の実証が行われた。その設計においては、LCCO₂ 削減のために、運用時と建設時の双方から検討を行い、まず運用時の負荷削減の工夫として積極的な自然エネルギーの活用を試み、特に日射の取得と遮蔽、さらに蓄熱容量のバランスが設計上の課題となった。さらに、建設時環境負荷の削減について、資材輸送に関わる環境負荷の小さい地場産木材の活用や、資材製造時の環境負荷の大きい基礎コンクリートの物量の削減などの工夫が試行されている。

また、ライフサイクルを通じた環境評価の方法として、日本建築学会による「建物の LCA 指針」（図 1-9）や「LCA ツール」があり、同指針においても、近年の省エネルギー技術の発展と普及により、建物運用時の環境負荷は低減される傾向にあり、建設時を含めたより包括的な取組みの重要度が高まっているとの指摘がなされている。同様に、国外においても、国際エネルギー機関（IEA）の「建築とコミュニティにおけるエネルギー」（EBC）における研究プロジェクトの一つである Annex57 において、今後、ZEH、ZEB の普及に伴い、建物建設時や維持管理時の環境負荷の重要性が相対的に高まることから Embodied Energy/CO₂ の評価等についての研究⁵⁾ が行われており、その研究成果がレポートや設計ガイドラインとして示されている。さらに、建物建設時の環境負荷とデザインに着目した書籍として David Benjamin による「EMBODIED ENERGY AND DESIGN」⁶⁾（図 1-10）があるが、同書では、現代建

築におけるガラス、鉄、プラスチックといった建材の増加に伴う建設時環境負荷の増加を指摘し、同時に、ゼロエネルギー住宅は建設時環境負荷 100%の建築であるとして、環境配慮の取組みにおける「運用時環境負荷」への偏りについて触れ、改めて建設時の環境負荷について目を向けることの重要性について述べている。

このように、現代の建築設計における環境配慮の次のステップとして、運用時だけでなく建設時も含めたライフサイクルを通じた取組みの重要性が高まっている。

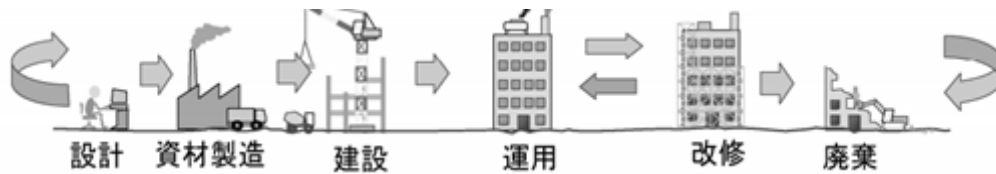


図 1-6 建物のライフサイクル

出典：建物の LCA 指針⁴⁾

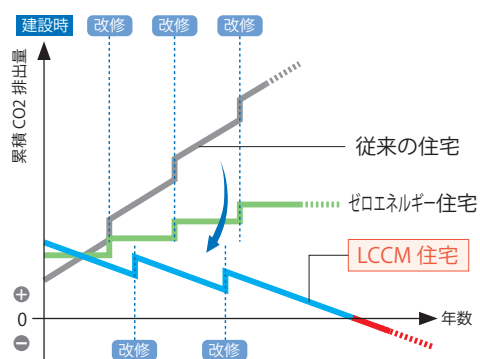


図 1-7 LCCM 概念図（イメージ）



図 1-8 LCCM 住宅デモンストレーション棟



図 1-9 建物の LCA 指針



図 1-10 EMBODIED ENERGY AND DESIGN

1.1.3 環境の負荷と質に関わるパッシブデザイン

このように環境負荷の削減は、現代の住宅設計における大きな課題といえるが、実際の設計においては、環境の負荷だけでなく暖かさや明るさといった環境の質も重要であり、それらの両立が求められる。そこで、室内環境の質に関わる環境制御の手法に着目すると、その一つとしてパッシブデザインがある。パッシブデザインの黎明期における代表的な著書として V. オルゲーによる「Design with Climate」⁷⁾ (1963) が挙げられるが、同書では、快適な室内気候を得る方法として、第1に微気候による調整、第2に建築的な手法、第3に機械的な手法といった3つの段階(図1-11)が示されており、それらの中でパッシブデザインは気候や季節を含む周辺環境との応答、自然エネルギーの利用を意図した第2段階の建築的な手法として位置付けられている。

パッシブデザインは、建築的な工夫により太陽熱を利用する「パッシブソーラー」に端を発するものであり、日本においては1980年の「パッシブソーラーハウスの設計技法」⁸⁾(図1-12)などによりその手法が知られることとなった。パッシブソーラー住宅は自然エネルギーの中でも特に太陽光の活用を主題とするものであり、温熱・光環境との関わりが深く、先に図1-1に示した日本の住宅におけるエネルギー消費の特徴において、建築的な工夫と特に関連が強い暖冷房と照明に関わるエネルギー消費が大きいことをふまえると、それらの削減に有効な手法と考えられる。

さらに、現在のパッシブデザインは太陽熱だけでなく、光、風、水といった様々な要素を対象を広げており、「自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計辞典」⁹⁾(図1-13)ではその手法が体系的に示されている。古来より日本においては、庇、すだれを用いた日射制御や、茅葺屋根による遮熱、高窓による通風換気といった気候風土に即した快適性のための工夫があったが、これらの生活の知恵もコンピュータシミュレーションや気候データに基づく検討を経て、パッシブデザインの手法として見直され、省エネルギーのための要素技術として、先述のゼロエネルギー住宅やLCCM住宅などにも採り入れられている。その一方で、パッシブデザインは時々刻々と変化する周囲の環境と応答し、自然エネルギーを活用しながら快適な室内環境を得ることを目指すものであり、建築の意匠や計画、環境、構造、材料などを総合的に扱う設計理論である。つまり、パッシブデザインは単なる省エネルギーのための要素技術にとどまらず、環境の「負荷」と「質」の双方に深く関わるものであり、特にその包括性から環境配慮の住宅設計の基幹といえる。

一方で、技術普及のためにパッシブデザインの手法の標準化が進められており、2005 年、国土交通省・国土技術総合政策研究所らによる自立循環型住宅の研究開発において「自立循環型住宅への設計ガイドライン」（図 1-14）がまとめられ、本来複雑な検討を伴う環境負荷の削減効果の概算検討が可能な知見が示されている。また、評価制度においても CASBEE すまい〔戸建〕などの環境性能評価ツールにおいてパッシブデザイン手法の採用が加点評価されるなど、普及促進のための整備がなされている。さらに、法制度においても改正建築物省エネ法においては年間日射量地域区分と暖房期日射量地域区分が日射利用の検討のための指標として示されるなど、広く一般化したものとしてパッシブデザインの要素が位置付けられている。こうした技術の普及に伴う手法の標準化により、手法がオプションのように扱われることで、本来、個別解であるべき設計解が画一化するという懸念が生じている^{注6)}。

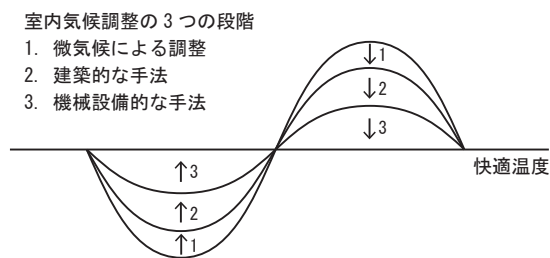


図 1-11 室内気候調整の 3 つの段階

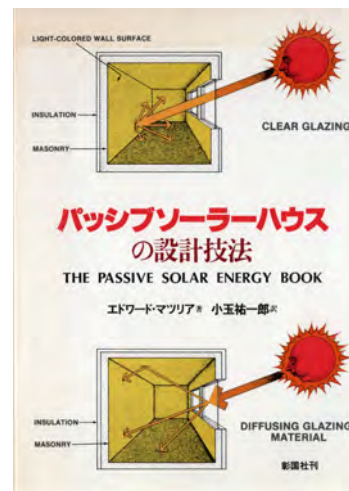


図 1-12 パッシブソーラーハウスの設計技法



図 1-13 パッシブ建築設計手法事典



図 1-14 自立循環型住宅への設計ガイドライン

1.1.4 パッシブデザインにおけるライフサイクルの視点

ここでパッシブデザインの時間的な側面に目を向けると、これまでのパッシブデザインは主に、気温や日射量等の日変化、年変化に着目しており、1日、1年といった時間スパンを対象としてきた。一方で、近年の環境配慮の住宅設計においては、先述の LCCM 住宅などにみられるようなライフサイクルを通じたより長い時間スパンを考慮した検討の重要性が高まっている。パッシブデザインはその検討において躯体や開口部の形状、建築外皮の構成、熱的性能をふまえた素材の選定など、建設時の環境負荷に関わる内容も検討対象となる。すなわち、ライフサイクルの視点からパッシブデザインを考えることで、運用時だけでなく建設時を含めたより広範な環境配慮につながる可能性があると考ええる。

例えば、温暖地におけるパッシブソーラー住宅の手法として、温熱環境の面では建物の高断熱・高气密化に加え、より積極的な太陽光の利用として日射熱を蓄熱し活用する方法が挙げられる。中でも、居住空間に直接熱を取り入れるダイレクトゲイン（図 1-15）は、開口部から取得した日射熱を、RC などの躯体に蓄熱することで冬の暖房負荷削減に活用するものであるが、一方で、大きな開口部に用いられるガラスや、蓄熱に適したコンクリートやタイルは資材製造時の環境負荷が大きく建設時環境負荷の増加につながるため、ライフサイクルを考慮する場合、それら双方への配慮が求められる。また、光環境の面では、日射遮蔽の手法を開口部の性能によるものと日除けを用いるものに大別することができ、日除けを用いる手法には庇やルーバー（図 1-16）、ブラインド、ロールスクリーンなど様々な種類がある。特に雨の多い日本の気候風土においては、古くから躯体の保護も兼ねて庇が用いられてきた。また、日射を遮蔽するだけでなくより積極的に制御し光環境の向上に用いるものとしては、ライトシェルフや可動式のルーバーといった工夫が考えられ、中でもルーバーはその設置位置やフィンの間隔など設計検討における選択肢が多く、より細やかな光環境の調整が可能な手法といえる。一方で、外付けルーバーのようにアタッチメントを窓面の外部に設置する手法は、耐候性に配慮して金属製とする場合が多く、資材製造時の環境負荷が大きくなりがちである。これらの例では、運用時の負荷削減に有効な手法に、建設時の環境負荷の増加が伴う場合があり、運用時の負荷削減と建設時の負荷削減の間にトレードオフ（二律背反の関係）が生じている。先述の LCCM 住宅デモンストレーション棟では、運用時と建設時の環境負荷のバランスの中で、あえて熱容量の大きな素材を積極的に用いず、建設時の環境負荷を抑える形で計画されている。

つまり、これらライフサイクル環境負荷における建設時と運用時のトレードオフの存在は、

トータルでの環境負荷が等しい中で、建設時と運用時の環境負荷のバランスによって異なる設計解がありうることを示しており、より柔軟で多様な設計解につながる可能性がある。

1.1.5 ライフサイクルを考慮した環境の負荷と質におけるトレードオフ

さらに、このような環境負荷における建設時と運用時という負荷同士のトレードオフに加え、環境の「負荷」と「質」の関係においてもトレードオフが生じる。現在、ルームエアコンなどの空調設備の技術的な発達と普及により、化石エネルギーの消費をいとわなければ、ある程度の温熱環境を得ることは難しくなくなった。これは、「負荷」の増加を問わなければ、技術的には、ある程度の「質」を得ることができるということである。すなわち、住宅の環境制御においては、より少ない「負荷」でより良い「質」が得られることが望ましい^{注7)}が、実際には、ある技術の適用によって生じる「負荷」とそれによって得られる「質」の間にはトレードオフが生じ、それゆえ環境の「負荷」と「質」のバランスを考慮した、設計上の総合的な判断が求められているといえる。さらに、パッシブデザインによる環境制御においては、季節・時間や天候によって一様ではない自然エネルギーを用いて室内環境を調整するため、設備機器を用いた環境制御に比べ環境のムラが生じる可能性があり、より「環境の質」の確保に配慮が求められると同時に、「環境負荷と環境の質」のトレードオフが顕著に表れると考えられる。特に、関東以南の温暖地においては、四季の変化が大きいことからその傾向は一層強くなると予想される。

これらのことから、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおいては、「建設時と運用時の環境負荷」の局面におけるトレードオフに加え、「環境の負荷と質」の局面においてもトレードオフが生じる可能性があり、これら2つの局面におけるトレードオフ（図1-17）をふまえた包括的な検討が求められることとなる。すなわち、設計における検討が複雑化する一方で、これら2つの局面において、その選択の組合せにより、画一的ではない、より柔軟で多様な設計解が生じる可能性があると考えられ、これらトレードオフの相互的な特性を把握し、パッシブデザインの設計手法を相対化することは、今後の持続可能な社会を目指す住宅設計において意義があるものとする。

そこで本研究では、温暖地のパッシブデザインにおける代表的な手法として、ダイレクトゲインによる日射熱利用と水平ルーバーを用いた日射制御を取り上げ、ライフサイクルを考慮した検討において生じる「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」という2つの

局面におけるトレードオフの特性を検証し、住宅のパッシブデザイン手法の相対的な特徴を明らかにすることを目的とする。



図 1-15 ダイレクトゲインの手法イメージ
写真：鳥村鋼一



図 1-16 日射制御の手法イメージ

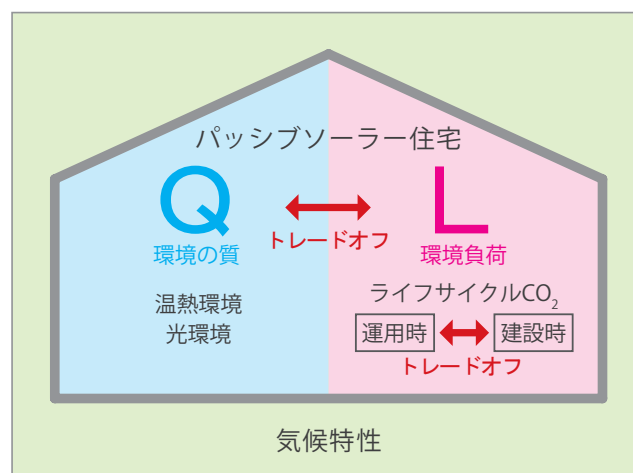


図 1-17 ライフサイクルを考慮したパッシブデザインの2つの局面におけるトレードオフ

第2節 研究の方法と用語の定義

1.2.1 研究の方法

本研究は、温暖地のパッシブソーラー住宅におけるパッシブデザインの手法として、太陽光の活用に関わるダイレクトゲイン（第2章）と日射制御ルーバー（第3章）を取り上げ、ライフサイクルを考慮した際に生じる「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」という2つの局面におけるトレードオフに着目し検討するものである。検討にあたって、定量的な指標として、環境負荷については代表的な温室効果ガスであるCO₂の排出量を用い、環境の質については室温、照度などを用いる。研究の方法として、まず各手法について素材や構法の差異を適用した住空間モデルを設定し、建設時CO₂を算出すると共に、環境シミュレーションを用いて運用時CO₂排出量及び室内環境を検討する。さらに、それらに基づいたLCCO₂と温熱・光環境の関係性について考察する。以下に、本研究における住空間モデル及び建設敷地の設定、環境シミュレーションプログラムなどについて述べる。

住空間モデル及び建設敷地の設定

住空間モデルは、地上2階建の戸建住宅の1階部分の南に面する居間を想定して設定する。構造形式はライフサイクル環境負荷の観点から木造をベースとする。パッシブデザインによる日射の活用を考慮し、東西に長く南北に奥行きが浅い平面形状とし、南側に日射取得のための大きな開口部を設ける。開口部は南面のみとする（図1-18）。これらモデルの外形の設定については先述のLCCM住宅デモンストレーション棟を参照している。

建設敷地についても日射の活用を考慮し、比較的温暖で日射量の取得が期待される立地として省エネルギー基準における6地域から東京を建設地とし、さらに近郊の日射の遮蔽物の少ない郊外地を想定する。

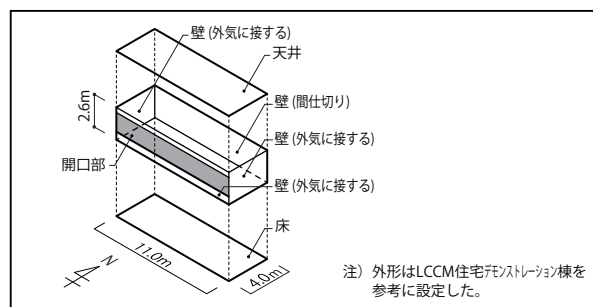


図1-18 住空間モデル

環境シミュレーションプログラム

第2章では、ダイレクトゲインの手法を適用した住空間モデルにおける運用時環境負荷及び温熱環境の検討のために、パッシブデザインを支援する設計ツールである Solar Designer ver.6^{注8)}を用いる。

第3章では、日射制御ルーバーの手法を適用した住空間モデルにおける運用時環境負荷の検討にあたり、意匠設計との連動を考慮した環境解析ツールである Autodesk Ecotect Analysis を使い、さらに光環境の検討にあたり、昼光計画やデザインのための昼光設計ソフトである VELUX Daylight Visualizer を用いる。

いずれも環境シミュレーションプログラムとしての特性に加え、設計実務者による利用のしやすさも考慮して選定した。

建設時環境負荷の検討

第2章、第3章共通して、日本建築学会による「建物のLCA指針」及び「建築物のLCAツール戸建住宅版」を参照し、CO₂原単位と更新周期を設定する。

1.2.2 用語の定義

以下に、本研究で用いる主な用語の定義について述べる。

「トレードオフ」

広辞苑第七版¹⁴⁾によると“同時には成立しない二律背反の関係を示す経済用語。物価安定と完全雇用の関係など。”とあり、元来は主に経済分野における用語であるが、近年では環境、建築分野でも用いられており、評価項目の多目的最適化などを扱う場合などにみられる¹⁵⁾。本研究においては、項目間の二律背反の関係を示す。

「運用時環境負荷」(運用時 CO₂ 排出量)

建物の運用時における暖冷房、給湯、照明、その他家電等により生じる環境負荷を指す。中でも暖冷房負荷は日本の住宅において給湯野による環境負荷に次いで大きく、建築外皮の仕様などパッシブデザインと関りが深いことから、本研究においては、空調設備による暖冷房負荷を運用時環境負荷として算出し検討する。環境負荷の検討には CO₂ 排出量を用いる。

「建設時環境負荷」(建設時 CO₂ 排出量)

建物の運用時を除く、設計、資材製造、建設、改修、廃棄を総じて建設時と称し、建設時に関わる環境負荷を指す。本研究においては、これらの中でも特に大きいものとして、新築時及び改修時の資材製造に関わる環境負荷を合わせて建設時環境負荷として算出し検討する。算出にあたっては日本建築学会による「建築物の LCA ツール戸建住宅版」の「複合原単位」を用いる。環境負荷の検討には CO₂ 排出量を用いる。

「ライフサイクル環境負荷」(LCCO₂)

建物の運用時と建設時の環境負荷を合わせた建物生涯に関わる環境負荷をライフサイクル環境負荷とする。環境負荷の検討には CO₂ 排出量を用いる。

第3節 従来の研究との比較

本研究は、温暖地における住宅のパッシブデザインの手法を対象に、ライフサイクルを考慮した場合に生じる環境の負荷と質におけるトレードオフについて検討するものである。パッシブデザインの理論や手法について体系的に記した書籍として、日本においては自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典があり、さらにその手法の適用について広く示したものとして、環境共生住宅 A-Z、自立循環型住宅への設計ガイドライン、HEAT20 設計ガイドブック¹⁶⁾などが挙げられる。また、建物のライフサイクルについては、ライフサイクルでの環境評価の指針を示すものとして日本建築学会による建物の LCA 指針が挙げられる。本節では国内でこれまでになされてきた学術的な研究のうち、関連する既往の研究を挙げ、本研究との関係を述べる。

パッシブデザイン全般に関する研究

パッシブデザインの全般について総合的に研究したものとして、鈴木らによる現代住宅のパッシブ設計手法の選定要因を事例調査により検討したもの¹⁷⁾、松元らによるパッシブデザインの検討の基礎となる気候特性を示すパッシブ気候図とパッシブデザイン手法の関係性について検討したもの¹⁸⁾などが挙げられる。

ダイレクトゲインの手法の適用と温熱環境に関する研究

ダイレクトゲインによる日射熱利用とその温熱環境については日射熱の取得と蓄熱が重要な要素となる。これらに関連する研究として、藤原らによる北海道の現代住宅を対象に主空間の形状と温熱環境の関係性を扱ったもの¹⁹⁾があり、寒冷地において開口を大きく開けた場合の環境負荷削減の可能性に言及している。また蓄熱容量に着目したものとして、桑沢らによる蓄熱が暖冷房負荷に与える影響を外皮性能、日射熱の取得状況、蓄熱容量をパラメータとして検討し、簡易な評価手法の提案を行ったもの²⁰⁾がある。またパッシブデザインの手法の適用と温熱環境についての研究として、宮岡らによる夜間の外気導入によるパッシブクーリングの効果を検討したもの²¹⁾が挙げられる。

日射制御ルーバーの手法の適用と光環境に関する研究

ルーバーを用いた環境制御に関する研究として、竹内らによるルーバーを用いた統合ファサードを意匠・構造・環境制御の各面から検討したケーススタディがあり、環境シミュレー

ションを用いて最適化のためのパラメトリックスタディがなされている。一連の研究においては日射遮蔽による空調負荷の削減といった運用時の負荷に関するもの²²⁾、室内の光環境の制御の側面からルーバーの効果に言及したもの²³⁾ などがある。またパッシブデザインの手法の適用と光環境についての研究として、村田らによる現代日本のコートハウスを対象に断面構成と光環境について検討したもの²⁴⁾ が挙げられる。

ライフサイクル環境負荷に関する研究

建物の運用時だけでなく建設時を含めたライフサイクル環境負荷に着目した研究として、酒井らによる建物のライフサイクルの各過程における負荷を定量的に扱ったもの²⁵⁾ や鈴木らによる産業連関表を用いた解析²⁶⁾ がある。また、実態調査に基づく研究としては高断熱・高気密住宅の具体例について $LCCO_2$ を算出したもの²⁷⁾ や、設備機器の $LCCO_2$ に着目したもの²⁸⁾ がある。さらに、ライフサイクルを通じた検討を設計実務で活用することを目指したものとして、弥田らによる $LCCO_2$ の低減を多目的最適化問題として扱ったもの²⁹⁾ がある。

さらに、特に、建物の建設時に関わる Embodied Energy に着目した研究として、岡らによる IEA の Annex57 における Embodied Energy/ CO_2 の算出や評価に関する一連の検討⁵⁾ や、横山による産業連関表に基づく建築物の Embodied Impact の評価に関するもの³⁰⁾ が挙げられる。

また（国研）建築研究所においては住宅のライフサイクルを通じた環境負荷低減の実証研究のため、2011 年に LCCM 住宅デモンストレーション棟が建設され、その設計、建設、環境計測などを通じた研究、評価が行われている^{31) 32) 33)}。

上記のような、パッシブデザインの手法の適用と効果に関する研究においては、主に建物の運用時における環境負荷削減や室内環境に及ぼす効果などに主眼が置かれ、手法の適用による建設時環境負荷について言及するものはみられない。またライフサイクル環境負荷に関する研究において、その環境の負荷と質の関係性を捉えたものは少ない。よって本研究は、パッシブデザインの手法を対象に、運用時、建設時の両面からライフサイクルを通じた環境負荷を捉え、さらにその環境の負荷と質について検討することでそれらの相互的な特性を明らかにすものであり、既往の研究にない独自性を有するものとする。

第4節 論文の構成及び各章の概要

本論文は、「ライフサイクル CO₂ と温熱・光環境のトレードオフからみた住宅のパッシブデザイン手法の相対化」と題し、以下の5章から構成されている（図 1-19）。各章の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、研究の背景、意義と目的、研究の方法と用語、従来の研究との関係、論文の構成について述べている。現代日本の住宅設計において、建物の高断熱・高気密化や設備機器の高効率化といった省エネルギー技術の開発や普及、さらに太陽光発電を用いたゼロエネルギー住宅の普及の施策など、様々な水準で環境配慮の取組みがなされており、これらの取組みが主として建物運用時の環境負荷削減を主眼として進められてきたことに言及している。一方で、運用時環境負荷の削減と共に住宅は高仕様化しており、建設時の環境負荷は増加する傾向にあり、運用時だけでなく建設時も含めたライフサイクルを通じた環境配慮の重要性の高まりを指摘している。さらに、室内環境制御のための設計理論としてパッシブデザインを挙げ、環境の「負荷」と「質」の双方に深く関わるというその特徴から、環境配慮の住宅設計における重要性を示す一方で、手法の標準化により設計の画一化につながる懸念が生じていることを述べている。これらに対して、ライフサイクルの視点の重要性の高まりから、このような長い時間軸でパッシブデザインを捉えることで、建物運用時の事象に留まらないより広範な環境配慮が射程に捉えられ、尚且つより柔軟で多様な設計解の模索が可能となると考えられ、特に、建物の一生という長い時間軸の中で生じる「建設時と運用時の環境負荷」といった負荷同士のトレードオフ、さらには、「環境の負荷と質」といった負荷と質のトレードオフは、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインの特性に深く関わるものとする。これらの背景をふまえ、温暖地の住宅のパッシブデザインにおける代表的な手法として、ダイレクトゲインによる日射熱利用と水平ルーバーを用いた日射制御を取り上げ、ライフサイクルを考慮した検討において生じる「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」という2つの局面におけるトレードオフの特性を検証し、住宅のパッシブデザイン手法の相対的な特徴を明らかにするという、本研究の目的と意義について述べている。また、本研究における資料と方法について示し、関連する既往研究との関係を比較、整理することで本研究の独自性と意義について述べている。

第2章「ダイレクトゲイン型住空間モデルにおけるライフサイクル CO₂ と温熱環境の関係」

では、温暖地における住宅のパッシブデザインの日射熱利用に関わる代表的な手法の一つであるダイレクトゲインについて、ライフサイクル環境負荷と環境の質の観点から検討している。そこで、まず日射熱利用を意図したダイレクトゲイン型住空間モデルを設定し、蓄熱容量と開口部の組合せに応じて、新築及び改修の際の建設時 CO₂ 排出量を算出する。次に温熱環境シミュレーションを用いて、暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量を算出すると同時に、室温変動からみた夏と冬の温熱環境について検討する。これらをふまえ、LCCO₂ における建設時と運用時の環境負荷の関係、さらに LCCO₂ と温熱環境の関係について考察している。

第3章「日射制御ルーバーを用いた住空間モデルにおけるライフサイクル CO₂ と光環境の関係」では、前章に続き、温暖地における住宅のパッシブデザインの昼光利用の代表的な手法の一つである水平ルーバーを用いた日射制御について、同様に、ライフサイクル環境負荷と環境の質の観点から検討している。そこで、まず日射取得のための南面大開口のある住空間モデルとその開口における日射を制御するルーバーの構成について設定し、それに基づき、ルーバーを新築及び改修する際の建設時 CO₂ 排出量を算出する。次に環境シミュレーションを用いて、暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量を算出し、さらに照度分布からみ夏季の光環境について検討する。これらをふまえ、LCCO₂ における建設時と運用時の環境負荷の関係、さらに LCCO₂ と光環境の関係について考察している。

第4章「ライフサイクルを考慮したパッシブデザインのトレードオフ」では、第2章、第3章の検討結果をもとに、ライフサイクルという長い時間軸で捉えた場合に生じるパッシブデザインについて、定型と代替という手法、及び環境の総合性能に関わる要因を挙げ、これらの相互関係について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面におけるトレードオフの特徴から検討している。そこで、まず、ダイレクトゲインと日射制御ルーバーについて、各々の住空間モデルの設定とルーバーの構成に基づき、運用時に主眼を置いた場合の定型的な手法とライフサイクルを考慮した場合の代替的な手法を位置付ける。次に、ライフサイクルを考慮した場合の住宅における環境の総合性能に関わる要因として「人」、「場所」、「物」、「時間」を提示し、パッシブデザイン手法の定型・代替と、環境要因の関係性について検討する。さらに、2つの局面におけるトレードオフに着目し、手法間の相互関係について考察することで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインのトレードオフの特徴について論じている。

第5章「結論」では、前章までに得られた結果をまとめ、本研究で得られた成果を総括している。

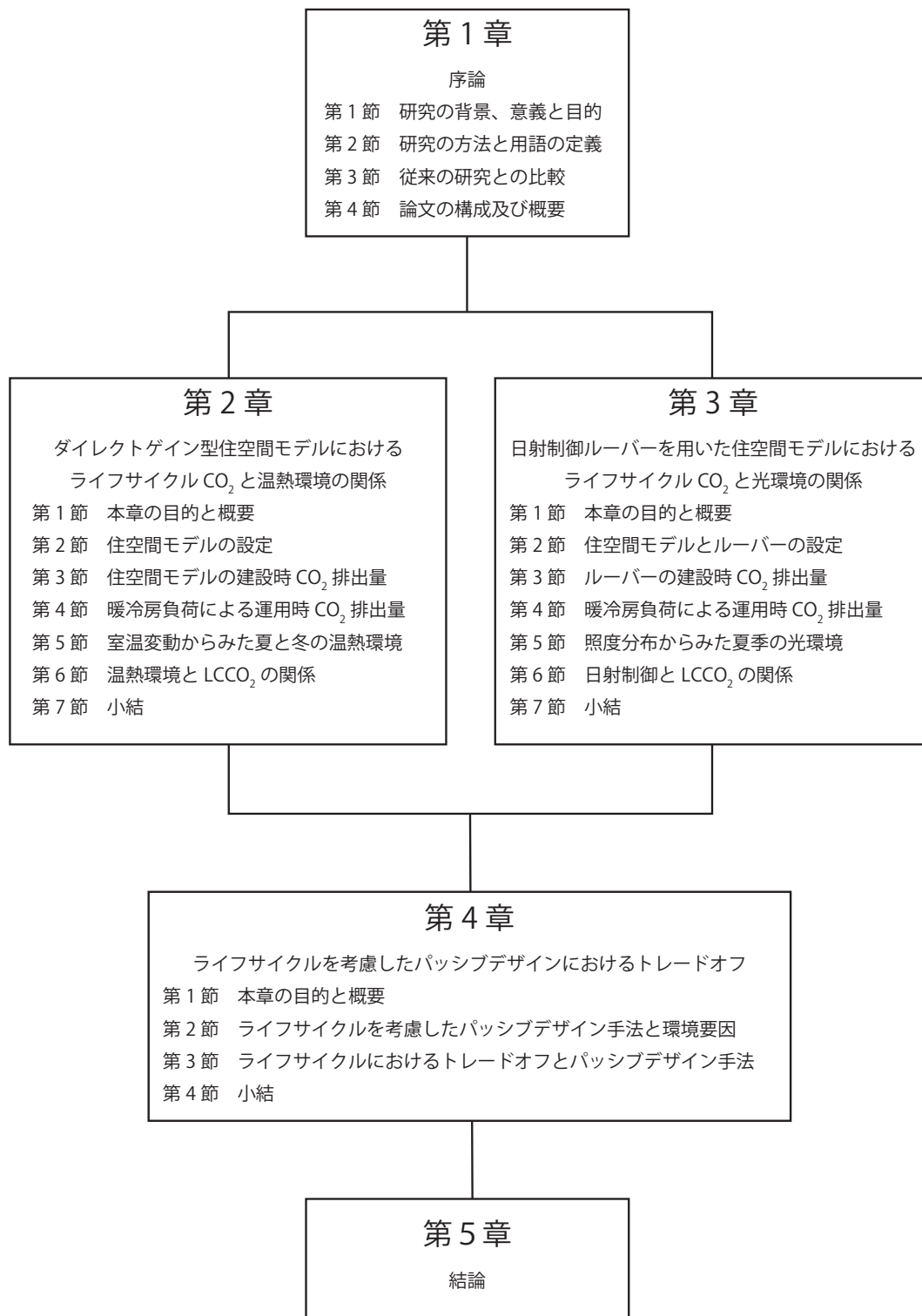


図 1-19 論文の構成

第1章 注

注1) 持続可能な社会における住宅のあり方について、環境共生住宅の思想と手法を体系的に示した書籍として「環境共生住宅A-Z」¹⁾があるが、同書において、その目標として環境負荷の削減だけでなく、自然との親和性、健康・快適性の要素が挙げられており、環境配慮の取組みに多様なアプローチがあることを示している。

注2) 上遠野邸（北海道札幌市 1968年竣工 設計：上遠野徹）
北海道を拠点とした建築家上遠野徹の自邸。寒さの厳しい北海道の気候風土を意識し、いち早く外壁の断熱やペアガラスの採用などの工夫に取り組んでいる。また寒冷地でありながらも南に大きな開口を設け冬季の日射の取得、活用を試みている。

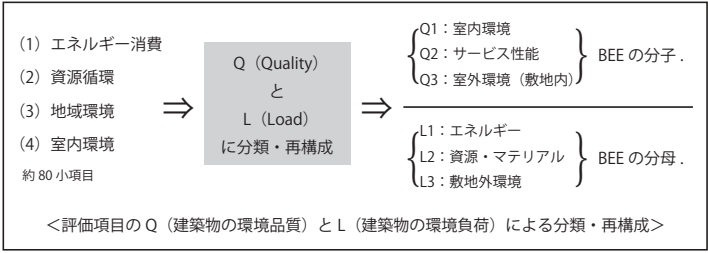
注3) ENEOS 創エネハウス（神奈川県横浜市 2009年竣工 設計：(有) 小泉アトリエ）
省エネルギーの工夫により、CO₂排出量を1990年比で半減し、さらに、太陽光発電による創エネによって運用時のCO₂排出量収支をゼロとすることを目指したモデル住宅。南側屋根全面に太陽光発電パネルを設置している。筆者は(有) 小泉アトリエにおいて、基本・実施設計及び現場監理を担当した。

注4) 「LCCM 住宅の設計手法」³⁾ pp. 2-3 において建設分野全体でのCO₂排出量の約3/4を運用段階が占め、建設段階のそれよりもはるかに大きく、日本における省エネルギーの取組みが運用段階を主として進められてきたことが述べられている。

注5) LCCM（ライフサイクルカーボンマイナス）住宅とは、建物が生涯を通じて排出するCO₂を極力削減し、その上で太陽光電池などを用いてエネルギーを創出することで、ライフサイクルを通じたCO₂収支をマイナスとすることを旨とするものである。（国研）建築研究所内に実証研究のためのデモンストレーション棟が建設され、設計、建設時から建設後に渡って様々な取組みがなされている。筆者は(有) 小泉アトリエにおいて、LCCM 住宅デモンストレーション棟の基本設計、実施設計及び現場監理を担当し、調査研究に関わった。LCCM 住宅デモンストレーション棟での試みについては参考文献3) に詳しい。

注6) 建築家小泉雅生は著書「環境のイエ」¹⁰⁾において、社会的に「環境に配慮した住宅」が求められる状況の中で、その検討上の複雑さや、住宅の性能評価の枠組みや制度の整備により、環境配慮の取組みが、評価されやすい技術や設備機器を付加していく「オプション型」の方向に偏っていったのではないかと、という考察を述べている。同様の内容は「環境建築私論」¹¹⁾（小泉雅生著）においてもみられ、環境建築においてホーリスティックな感覚が失われてしまうことに対する危険性について示唆している。

注7) 日本における代表的な建築の環境性能の評価方法であるCASBEE¹²⁾では、建築におけるQ（環境品質）とL（環境負荷）からその環境の総合性能を評価しており、本研究はその枠組みを参照し、環境の負荷と質に着目している。CASBEEは環境の総合性能をBEE（環境効率）＝Q（環境品質）/ L（環境負荷）によって算出し、QとLを除算により直列的に関係づけ、多様な要素を一元化することで環境を評価する。その方法は、評価結果が分かりやすいものとなる利点がある一方で、項目が多岐に渡るQとLの影響がBEEにでは合算されるため、個々の項目の相互関係が明確に分かりにくいという側面がある。一方、具体的設計検討においては、QとLがどのように影響を及ぼし合うのかといった項目間の相互関係の把握が重要となると考えられる。そこで、本研究では住宅設計におけるパッシブデザイン手法の相対化を目的とし、2つのパッシブデザイン手法において特に重要と考えられるもの（室温や照度の変動、開口部の大きさや素材の組合せなど）に項目を限定して比較することにより、QとLの相互関係を並列的に検討している。



$$\text{建築物の環境効率 (BEE)} = \frac{Q (\text{建築物の環境品質})}{L (\text{建築物の環境品質})}$$

環境効率 (BEE) の算出

図版引用：(一財) 建築環境・省エネルギー機構 HP CASBEE の概要
https://www.ibec.or.jp/CASBEE/CASBEE_outline/method.html

注 8) 株式会社クアトロによるパッシブデザインを支援する設計ツール。旧・建設省建築研究所のシミュレーションプログラム「PASSWORK」をベースとして開発され、ダイレクトゲインシステムにおける集熱、断熱、蓄熱などの熱的性能の検討が可能。建物の単室モデルに対し室温等を各部位を節点とした熱回路網の平衡式を用いて求めるもの。「PASSWORK」の開発及び検証については小玉らによる既往論文¹³⁾に詳述されている。シミュレーションプログラムの選定においては設計実務者による利用しやすさも考慮した。<https://qcd.co.jp/software/solardesigner/>

第 1 章 参考文献

- 1) (一社) 環境共生住宅推進協議会：新版 環境共生住宅 A-Z, ビオシティ, 2009.3
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所：自立循環型住宅への設計ガイドライン エネルギー消費 50%削減を目指す住宅設計, 財団法人建築環境・省エネルギー機構, 2006.12
- 3) LCCM 住宅研究・開発委員会：LCCM 住宅の設計手法 デモンストレーション棟を事例として, 建築技術, 2012.3
- 4) 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, 日本建築学会, 2013.2
- 5) 岡建男, 澤地孝男：建築物の Embodied Energy に関する研究 (Annex57) -1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 2013.8
- 6) David Benjamin: EMBODIED ENERGY AND DESIGN Making Architecture Between Metrics and Narratives, Columbia University GSAPP and Lars Mueller Publishers, 2017.11
- 7) Victor Olgyay: DESIGN WITH CLIMATE, Princeton University Press, 2015 (first published in 1963)
- 8) エドワード・マツリア (著), 小玉祐一郎 (訳)：パッシブソーラーハウスの設計技法, 彰国社, 1980.11
- 9) 小玉祐一郎, 堀越哲美他：自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典 新訂版, 彰国社, 2003.6
- 10) 小泉雅生：環境のイエ フィジックスと住空間デザイン, 学芸出版社, 2010.11
- 11) 小泉雅生：環境建築私論 近代建築の先へ, 建築技術, 2021.4
- 12) 村上周三, 秋元孝之, 伊香賀俊治, 岩村和夫, 清家剛, 近田智也, 南雄三：CASBEE™ すまい [戸建] 入門 第 5 版, 建築技術, 2010.4
- 13) 小玉祐一郎, 武政孝治：設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究 (1) パソコンを用いたプログラムの開発と検証, 日本建築学会計画系論文集, 第 374 号, pp. 44-53, 1987.4
- 14) 広辞苑 第七版, 岩波書店, 2018.1
- 15) 島崎祐輔, 村上周三ほか：環境共生住宅の性能評価項目の抽出と多目的最適化 (その 1) 評価項目間のトレードオフ関係の把握, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2006.2
- 16) HEAT20 設計ガイドブック作成 WG：HEAT20 設計ガイドブック, 建築技術, 2016.3
- 17) 鈴木聖明, 市川尚紀：現代住宅のパッシブ設計手法とその選定要因に関する事例調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 642 号, pp. 1001 - 1008, 2009.8

- 18) 松元良枝, 小玉祐一郎, 武政孝治, 村田涼, 金子尚志, 宮岡大: パッシブ気候図の作成とパッシブデザインへの活用, 日本建築学会環境系論文集, 第 82 巻, 第 737 号, pp. 653-662, 2017. 7
- 19) 藤原紀沙, 村田涼, 湯浅和博, 安田幸一: 北海道の現代住宅における主空間の形状と温熱環境の関係性, 日本建築学会計画系論文集, 第 80 巻, 第 708 号, pp. 315-322, 2015. 2
- 20) 桑沢 保夫, 峰野 悟, 澤地 孝男: 戸建て住宅における蓄熱が暖房熱負荷に与える影響の評価手法, 日本建築学会環境系論文集, 第 80 巻, 第 717 号, pp. 1045-1052, 2015. 11
- 21) 宮岡大, 小玉祐一郎, 武政孝治, 蓮井睦子: 外気導入モードの違いがパッシブクーリング効果に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 618 号, pp. 37-43, 2007. 8
- 22) 佐藤智之, 久保健太郎彦根茂, 三澤温, 趙旺熙, 岩本静男, 岩田衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究 ルーバーの日射遮蔽効果と年間空調負荷のケーススタディ, 日本建築学会環境系論文集, 第 77 巻, 第 676 号, pp. 467-474, 2012. 6
- 23) 彦根茂, 三澤温, 中村慎, 岩本静男, 岩田衛: 統合ファサードにおける斜行配置ルーバーによる室内光環境, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 644 号, pp. 1187-1193, 2009. 10
- 24) 村田涼, 金子明日美: 現代日本のコートハウスにおける中庭まわりの断面構成と冬期の光環境, 日本建築学会計画系論文集, 第 79 巻, 第 700 号, pp. 1321-1327, 2014. 6
- 25) 酒井寛二, 漆崎昇, 相賀洋, 下山真人: 建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方策に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 484 号, pp. 105-112, 1996. 6
- 26) 鈴木道哉, 岡建雄, 岡田圭史: 産業連関表による建築物の評価 その 3. 住宅建設によるエネルギー消費量, 二酸化炭素排出量, 日本建築学会計画系論文集, 第 463 号, pp. 75-82, 1994. 9
- 27) 高村秀紀, 浅野良晴: 実測調査に基づく高断熱・高気密住宅の建設から運用までの CO₂ 排出量 在来木造戸建住宅の LCCO₂ 評価に関する研究 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第 634 号, pp. 1435-1441, 2008. 12
- 28) 小林謙介, 近田智也, 井上隆: 戸建て住宅における設備のライフサイクル CO₂ 評価に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 610 号, pp. 83-89, 2006. 12
- 29) 弥田俊男, 宗本順三, 吉田哲, 高野俊吾: 独立住宅モデルの建材選択に伴う LCC, LCCO₂, 最終廃棄物量低減の多目的問題—住宅建材の選択システムの GA 適用の研究—, 日本建築学会計画系論文集, 第 524 号, pp. 77-84, 1999. 10
- 30) 横山計三: 2011 年産業連関表によるエネルギー消費量・CO₂ 排出量原単位の算出と建築物の Embodied Impact 評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 84 巻, 第 757 号, pp. 335-343, 2019. 3
- 31) 清家剛, 兼松学, 小林謙介, 磯部孝行, 名取発: LCCM を指向した環境配慮型住宅の LCCO₂ 評価に関する研究 データの不確実性と制度を考慮した CO₂ 削減目標の実現性検証手法, 日本建築学会環境系論文集, 第 80 巻, 第 707 号, pp. 55-65, 2015. 1
- 32) 高瀬幸造, 中川あや, 桑沢保夫, 前真之, 村上周三: LCCM 住宅デモンストレーション棟における居住実験結果, 日本建築学会技術報告集, 第 19 巻, 第 42 号, pp. 661-664, 2013. 6
- 33) 門脇耕三, 小泉雅生: ライフサイクルカーボンマイナス住宅の設計プロセス—LCCM 住宅デモンストレーション棟を対象とした調査—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp. 997-998, 2011. 8

第2章 ダイレクトゲイン型住空間モデルにおけるライフサイクルCO₂と温熱環境の関係

- 第1節 本章の目的と概要
- 第2節 住空間モデルの設定
- 第3節 住空間モデルの建設時CO₂排出量
- 第4節 暖冷房負荷による運用時CO₂排出量
- 第5節 室温変動からみた夏と冬の温熱環境
- 第6節 温熱環境とLCCO₂の関係
- 第7節 小結

第1節 本章の目的と概要

ダイレクトゲインによる日射熱の利用は、暖房負荷低減の手法の一つとして挙げられるが^{注1)}、その手法の適用にあたっては、日射取得のための開口部の配置、開口部を含めた建物の外皮性能、夏期や中間期の日射遮蔽などの検討が求められる。さらに、変動する日射を最大限に取り込みながら安定した温熱環境を得るためには、適切な熱容量の配置を検討する必要がある。一方で、熱容量の付加はその方法によっては建設時の環境負荷の増加を伴う。木造住宅に熱容量を付加する一般的な方法にコンクリートの土間床が挙げられるが、コンクリートは容積比熱が大きく蓄熱に適すると同時に、製造時の環境負荷が大きく、建設時環境負荷の増加への配慮が必要となる。これらの環境負荷の検討と併せて、日射熱利用においては室内の温熱環境への影響についての配慮も求められ、これら相互の要素の適切なバランスの模索が必要となる。

そこで本章では、日射熱利用を考慮した住空間をモデル化し、開口面積や熱容量を変化させて検討を行う。温熱環境のシミュレーションを用い、建設・運用時の両面からみた環境負荷や、室温の変動を検討することで、ライフサイクルを通じたこれらの環境負荷と環境の質のバランスの一端を明らかにすることを目的とする。

2節では、まず住宅の居間を想定したモデルを設定する。日射取得部位としての南面の開口部や蓄熱部位としてのコンクリートの大きさや位置をパラメータとし、それらの組合せにより住空間モデルを設定する。3節、4節では各モデルの建設時環境負荷、運用時環境負荷をそれぞれ検討する。建設時環境負荷については、評価期間を設定し改修による更新も考慮の上、CO₂排出量を積算する。運用時環境負荷については、年間の暖冷房負荷を環境シミュレーションにより検討する。5節では、各モデルにおける室内の温熱環境について、集熱と蓄熱の影響が特に大きいと予想される冬と夏を対象に、環境シミュレーションにより検討する。6節では、前節までに得られた建設時・運用時環境負荷よりライフサイクル環境負荷（LCCO₂）を算出し、建設時、運用時の環境負荷の関係を捉え、さらに5節の冬と夏の温熱環境の特徴と併せて考察する。

第2節 住空間モデルの設定

東京近郊の郊外に建つ木造住宅を想定し、南面に日射取得のための開口部のある居間を住空間モデルとして設定する（図 2-1）。序章で述べたように、モデルの外形は先述の LCCM 住宅デモンストレーション棟を参照し、郊外の戸建て住宅地でのダイレクトゲインを想定した、東西に長く南北に奥行きが浅い平面形状とした。

開口部は南面のみとし、日射制御のため窓の直上に開口高さの半分の奥行きを持つ庇を設ける。この日射取得面の大きさを周辺建物の密集度合いへの応答を考慮して段階的に変え、掃出し窓、腰窓、頂側窓を各々想定した大、中、小の3種類を設定した（表 2-1）。なお本章では大をL、中をM、小をSとして示す。窓の仕様は普通複層ガラス（6+A12+6）を用いたアルミサッシ（U値：2.9W/(m²・K)）とする。

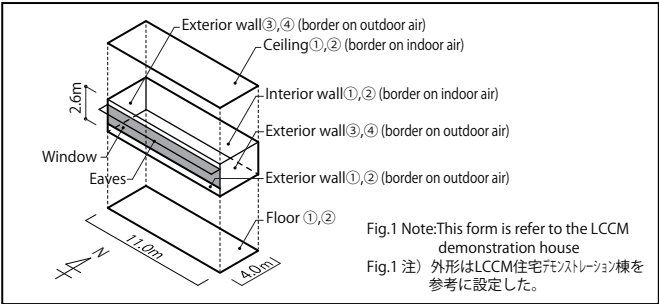


図 2-1 住空間モデルの設定

表 2-1 開口部の設定

L	Large 大	M	Medium 中	S	Small 小

蓄熱容量の大きさも以下のように各構成面の仕様により段階的に変更する（表 2-2）。A：基礎を布基礎＋床断熱とし、基礎コンクリートの熱容量を室外とする。B：基礎を土間基礎＋外断熱とし、基礎コンクリートの熱容量を室内に取り込む。Bが木造住宅の基礎を利用するものであるのに対し、さらにRCを付加し蓄熱容量を増すものとして、C：基礎を土間基礎＋外断熱とした上、北側の間仕切壁をRC造とする。D：基礎を土間基礎＋外断熱とした上、四周の壁面と天井をRC造とし外断熱とする。以上の4種類を設定する。

これら蓄熱容量と開口部を組み合わせ、計 12 種類の住空間モデルを設定した（表 2-3）。以降、本文中では蓄熱容量についてAを「蓄熱小」、Bを「蓄熱中」、Cを「蓄熱大」、Dを「蓄熱特大」と表し、開口部のL、M、Sと組み合わせて、モデルの名称をAL「蓄熱小・開口大」のように示す。

表 2-2 熱容量の設定

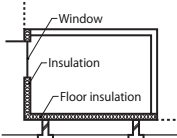
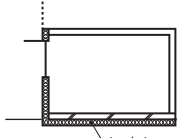
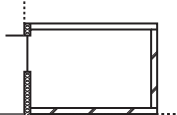
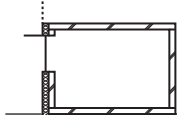
A	Continuous footing 布基礎	B	Mat foundation 土間基礎
			
C	Mat foundation+RC wall(North) 土間基礎＋北側壁 RC	D	Mat foundation+RC wall,floor,ceiling 土間基礎＋四周壁・天井 RC
			
Legends 凡例：  Insulation 断熱材  Reinforced concrete			

表 2-3 開口部と熱容量の組合せ

		Window 開口部		
		L Large 大	M Medium 中	S Small 小
Thermal mass 蓄熱容量	A Small 小	AL 「蓄熱小・開口大」	AM 「蓄熱小・開口中」	AS 「蓄熱小・開口小」
	B Medium 中	BL 「蓄熱中・開口大」	BM 「蓄熱中・開口中」	BS 「蓄熱中・開口小」
	C Large 大	CL 「蓄熱大・開口大」	CM 「蓄熱大・開口中」	CS 「蓄熱大・開口小」
	D Extra large 特大	DL 「蓄熱特大・開口大」	DM 「蓄熱特大・開口中」	DS 「蓄熱特大・開口小」

第3節 住空間モデルの建設時 CO₂ 排出量

新築及び改修の際に発生する建設時の環境負荷を検討するため、「建築物のLCAツール戸建住宅版^{注2)}」の「複合原単位」を用いて各モデルの新築時の建設資材量による環境負荷を検討する。そこで、各モデルを構成する外壁（南）、外壁（東西）、内壁（北）、天井、床の各面について、蓄熱容量及び開口の大きさに応じて、部位の構成と数量を各々設定し、各面のCO₂排出量を算出した（表2-4、付表2-1）。表2-5に南壁の木造（EW①）及びRC造（EW②）のCO₂排出量原単位の算出例を示す。そして、これらの面の組合せにより各モデルの建設時CO₂排出量を算出した（図2-2）。なお算出にあたっては、建設、改修、解体の工事に伴って生じるCO₂排出量は含んでいない。また各モデルの評価期間は60年とし、各面の更新周期は木造部分を30年、RC造部分を60年とした^{注3)}。

全てのモデルの中で、AS「蓄熱小・開口小」の建設時CO₂排出量が最も小さく、最大のCL「蓄熱大・開口大」の約52%である。これはCO₂排出量原単位の大きいコンクリートとアルミサッシの資材量がいずれも最も小さいためと考えられる。開口の大きさが共通するモデルを比較すると、「開口中」と「開口小」は、いずれも蓄熱容量が大きくなるにつれて建設時CO₂排出量が大きくなるが、「開口大」のみCLが最も大きい。DL「蓄熱特大・開口大」はCLに比べ建設当初のCO₂排出量が大きいが、CLの更新時のCO₂排出量が大きいくことに
よって最終的にCLがDLを上回る結果となっている。また、蓄熱容量の大きさが共通するモデルを比較すると、A～Dのいずれも開口が小さくなるにつれて建設時CO₂排出量が小さくなる。ALはASの1.45倍であるが、DLはDSの1.05倍に留まり、Dについては開口の大きさによる建設時CO₂排出量の変化の影響が相対的に小さい。

これらより、蓄熱容量の付加のためのRC造部分の増加に伴い、建設時CO₂排出量も増加する傾向にあるが、更新周期の影響によっては木造部分を含むモデルの方が建設時CO₂排出量が大きくなる場合もあることが分かる。

表 2-4 建物の部位の構成と CO₂ 排出量

Main material		Wood					RC(reinforced concrete)											
Element		Exterior wall ① (EW①)			South wall Area : 28.6㎡		Exterior wall ② (EW②)			South wall Area : 28.6㎡								
		:Wooden structure with heat insulation filling			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions	:RC structure with external insulation			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions					
Exterior wall (contact with outdoor air) 外壁	South wall 南壁	EW①L (Large window)	Wall	Exterior wall-W	2.2	㎡	28.1	kg-CO ₂ /㎡	61.7	EW②L (Large window)	Wall	Exterior wall-RC	2.2	㎡	79.9	kg-CO ₂ /㎡	175.7	
			Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	26.4	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	2996.4		Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	26.4	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	2996.4	
		EW①M (Medium window)	Wall	Exterior wall-W	15.4	㎡	28.1	kg-CO ₂ /㎡	432.1	EW②M (Medium window)	Wall	Exterior wall-RC	15.4	㎡	79.9	kg-CO ₂ /㎡	1230.4	
			Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	13.2	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	1498.2		Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	13.2	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	1498.2	
	EW①S (Small window)	Wall	Exterior wall-W	22.0	㎡	28.1	kg-CO ₂ /㎡	617.3	EW②S (Small window)	Wall	Exterior wall-W	22.0	㎡	79.9	kg-CO ₂ /㎡	1757.8		
		Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	6.6	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	749.1		Window	Aluminum sash+Glass t=6+6	6.6	㎡	113.5	kg-CO ₂ /㎡	749.1		
	East, West wall 東西壁	Exterior wall ③ (EW③)			East(West) wall Area : 10.4㎡			Exterior wall ④ (EW④)			East(West) wall Area : 10.4㎡							
		:Wooden structure with heat insulation filling			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions	:RC structure with external insulation			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions					
Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス			10.4	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	30.1	Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス			10.4	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	30.1			
Plaster board t=12.5mm 壁下地PB12.5t			10.4	㎡	4.1	kg-CO ₂ /㎡	42.6	RC t=180 (concrete) コンクリート			1.9	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	562.5			
Wooden framework 木軸組			73.3	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	21.9	RC t=180 (steel) 鉄筋			207.0	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	144.9			
Glasswool 24K t=100mm 断熱材GW24K			1.0	㎡	66.6	kg-CO ₂ /㎡	66.6	Styrofoam t=50 断熱材ポリスチレンフォームA1 50t			10.4	㎡	4.9	kg-CO ₂ /㎡	50.9			
Structural plywood 外壁下地合板			10.4	㎡	7.0	kg-CO ₂ /㎡	72.8	Siding board 外壁サイディング			10.4	㎡	5.4	kg-CO ₂ /㎡	56.1			
Siding board 外壁サイディング			10.4	㎡	5.4	kg-CO ₂ /㎡	56.1											
Interior wall (contact with indoor air) 内壁	North wall 北壁	Interior wall ① (IW①)			North wall Area : 28.6㎡			Interior wall ② (IW②)			North wall Area : 28.6㎡							
		:Wooden structure without heat insulation filling			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions	:RC structure without heat insulation			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions					
		Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス			28.6	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	82.9	Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス			28.6	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	82.9	
		Plaster board t=12.5mm 壁下地PB12.5t			28.6	㎡	4.1	kg-CO ₂ /㎡	117.2	RC t=180 (concrete) コンクリート			5.1	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	1510.1	
		Wooden framework 木軸組			182.4	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	54.7	RC t=180 (steel) 鉄筋			569.1	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	398.3	
Ceiling (contact with indoor air) 天井		Cieling ① (CE①)			Cieling Area : 44.0㎡			Cieling ② (CE②)			Cieling Area : 44.0㎡							
		:Wooden structure without heat insulation filling			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions	:RC structure without heat insulation			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions					
		Vinyl wallpaper 天井仕上ビニールクロス			44.0	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	127.6	Vinyl wallpaper 天井仕上ビニールクロス			44.0	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	127.6	
		Plaster board t=9.5mm 天井下地PB9.5t			44.0	㎡	3.1	kg-CO ₂ /㎡	136.4	RC t=180 (concrete) コンクリート			7.9	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	2345.1	
		Wooden ceiling joist 天井下地木柵			44.0	㎡	0.6	kg-CO ₂ /㎡	26.4	RC t=180 (steel) 鉄筋			880.0	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	616.0	
		Wooden framework 木構築材			670.3	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	201.0									
Floor + foundation 床+基礎		Floor① (FL①)			Floor Area : 44.0㎡			Floor② (FL②)			Floor Area : 44.0㎡							
		:Wooden structure with heat insulation filling			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions	:RC structure with external insulation			Quantity	CO ₂ emissions per unit	CO ₂ emissions					
		Plywood flooring 床仕上フローリング			44.0	㎡	7.0	kg-CO ₂ /㎡	308.0	Floor tile 床仕上タイル			44.0	㎡	40.5	kg-CO ₂ /㎡	1782.0	
		Substrate plywood 床下地合板			44.0	㎡	7.0	kg-CO ₂ /㎡	308.0	Wooden floor frame 木床組(外周土台のみ)			125.8	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	37.7	
		Wooden floor frame 木床組(土台・大引)			293.0	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	87.9	RC (concrete) 土間基礎 (コンクリート)			11.1	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	3286.7	
		Glasswool 24K t=100mm 断熱材GW24K			4.4	㎡	66.6	kg-CO ₂ /㎡	293.0	RC (steel) 土間基礎 (配筋)			645.8	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	452.0	
		RC (concrete) 布基礎 (コンクリート)			6.0	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	1776.6	Styrofoam t=100 断熱材ポリスチレンフォームA1 100t			44.0	㎡	9.7	kg-CO ₂ /㎡	426.8	
		RC (steel) 布基礎 (鉄筋)			200.0	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	140.0									

表 2-5 CO₂ 排出量原単位の算出例

Exterior wall-W (Wooden structure with heat insulation filling)					South wall Area:28.6㎡		Exterior wall-RC (RC structure with external insulation)					South wall Area:28.6㎡		
Material 素材			Quantity 数量	CO ₂ emissions per unit CO ₂ 排出量原単位	CO ₂ emissions CO ₂ 排出量		Material 素材			Quantity 数量	CO ₂ emissions per unit CO ₂ 排出量原単位	CO ₂ emissions CO ₂ 排出量		
inside (室内側)	Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス	28.6	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	82.9	inside (室内側)	Vinyl wallpaper 壁仕上ビニールクロス	28.6	㎡	2.9	kg-CO ₂ /㎡	82.9	
	Plaster board t=12.5mm 壁下地PB12.5t	28.6	㎡	4.1	kg-CO ₂ /㎡	117.2		RC t=180 (concrete) コンクリート	5.1	㎡	296.1	kg-CO ₂ /㎡	1510.1	
	Wooden framework 木軸組	182.4	kg	0.3	kg-CO ₂ /kg	54.7		RC t=180 (steel) 鉄筋	569.1	kg	0.7	kg-CO ₂ /kg	398.3	
	Glasswool 24K t=100mm 断熱材GW24K	2.9	㎡	66.6	kg-CO ₂ /㎡	193.1		Styrofoam t=50 断熱材ホリスレンフォームA1 50t	28.6	㎡	4.9	kg-CO ₂ /㎡	140.1	kg-CO ₂
outside (室外側)	Structural plywood 外壁下地合板	28.6	㎡	7.0	kg-CO ₂ /㎡	200.2	outside (室外側)	Siding board 外壁サイディング	28.6	㎡	5.4	kg-CO ₂ /㎡	154.4	
	Siding board 外壁サイディング	28.6	㎡	5.4	kg-CO ₂ /㎡	154.4								
					802.5							2285.8		
Exterior wall-W CO ₂ emissions per square meter					802.5÷28.6=28.1	28.1 (kg-CO ₂ /㎡)	Exterior wall-RC CO ₂ emissions per square meter					2285.8÷28.6=79.9	79.9 (kg-CO ₂ /㎡)	

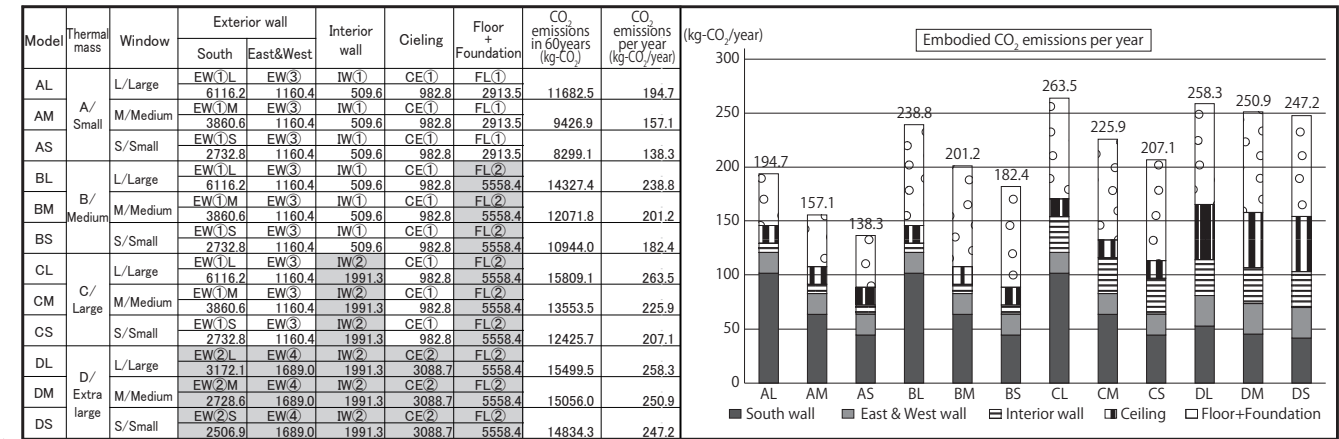


図 2-2 各モデルの建設時 CO₂ 排出

第 4 節 暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量

運用時の環境負荷を検討するため、環境シミュレーションプログラム Solar Designer^{注 4)}を用いて、図 2-3 の設定^{注 5)}に基づき年間の暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量^{注 6)}を算出した(図 2-4)。開口部からの集熱と蓄熱の組合せによる日射熱利用を意図し、空調は家庭用エアコンを用いた間欠運転方式とし、外気温に応じて外気導入^{注 7)}を行う設定とした。冬のオーバーヒート時に冷房が稼働しないよう、空調期間は暖房は 11 月～4 月、冷房は 6 月～10 月とし、設定温度は暖房 18℃、冷房 28℃とした。また、生活スケジュールは参考文献 4)を参照し、4 人家族の居間を想定した在室及び発熱スケジュールとし、平日と休日は同一のスケジュールとした。

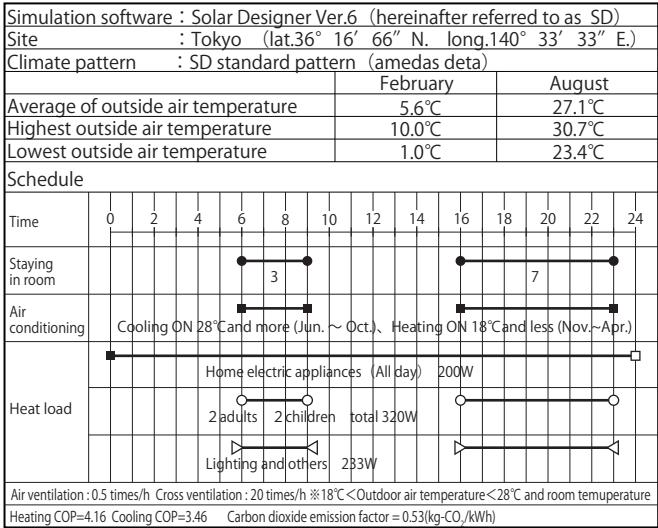


図 2-3 暖冷房負荷算出の設定

運用時 CO₂ 排出量を全てのモデルで比較すると、AL「蓄熱小・開口大」が最大、DM「蓄熱特大・開口中」及びCS「蓄熱大・開口小」が最小となり、その差は約12倍である。中でも蓄熱量の小さいAはいずれも値が大きく、最も小さいAS「蓄熱小・開口小」でも他のB～Dのいずれよりも大きい。開口の大きさが共通するモデルを比較すると、「開口大」、「開口中」は蓄熱容量が大きくなるにつれて暖冷房負荷が小さくなる。一方で、「開口小」は、AS「蓄熱小・開口小」が最大、CS「蓄熱大・開口小」が最小となった。蓄熱容量が最も大きいDS「蓄熱特大・開口小」は冷房負荷が生じていないが、暖房負荷が特に大きいためにBS、CSよりも通年の負荷が大きい。

また、蓄熱容量が共通するモデルを比較すると、A～Cでは開口部が小さくなるにつれて運用時 CO₂ 排出量も小さくなるが、DではDM「蓄熱特大・開口中」が最も小さく、DS「蓄熱特大・開口小」が最も大きいという異なる結果を示した。これは蓄熱容量の大きさに対し、開口部が小さく十分な日射熱が得られなかったために暖房負荷が大きくなったためと考えられる。

これらより、総じて、蓄熱容量が大きく開口部が小さいほど暖冷房負荷が小さくなる傾向がみられるが、DSのような大きな蓄熱容量に対し小さな開口部といった組合せの場合に、環境負荷が増加する場合があることが分かる。

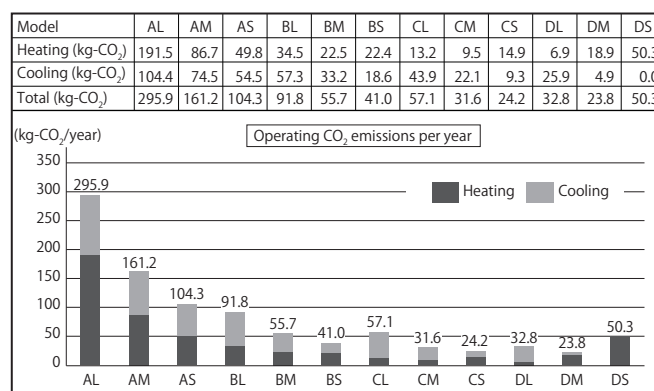


図 2-4 暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量

第5節 室温変動からみた夏と冬の温熱環境

ダイレクトゲインによる日射熱利用がもたらす室内の温熱環境の質への影響を検討する。そこで、開口部と蓄熱部位の差異による集熱と蓄熱の効果が特に顕著と考えられる夏と冬を対象とし、夏は最も外気温の高い8月、冬は最も外気温の低い2月の各晴天日を代表日として、前節と同様の設定で Solar Designer を用いて各モデルの1日の室温の性状を検討する。各モデルの1日における時間ごとの室温の変動を図 2-5、図 2-6 に示す。

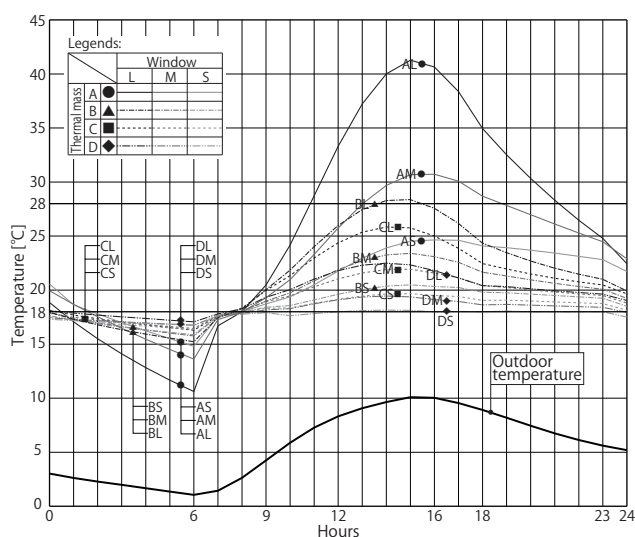


図 2-5 冬の室温

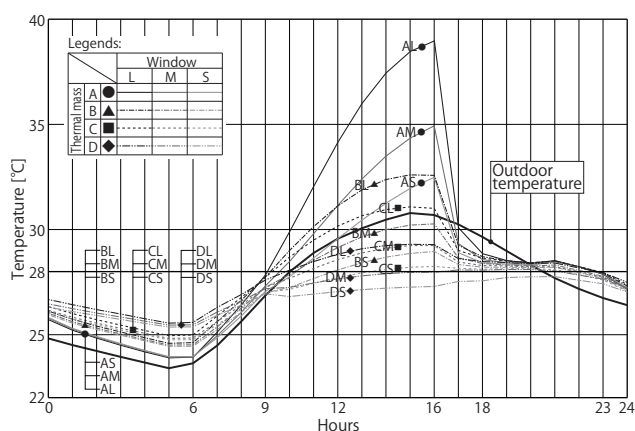


図 2-6 夏の室温

まず、室温の変動幅に着目する。冬について、開口の大きさが共通するものを比較すると、蓄熱容量の増加に伴い最高室温と最低室温の差が減少する傾向がみられる。D L「蓄熱特大・開口大」は最高室温 22.4℃に対し最低室温が 17.0℃と室温変動が約 5℃であるのに比べ、A L「蓄熱小・開口大」は約 30℃と変動が大きく、日中の不在時に室温が 40℃を超える高温となり、夜間は午前 6 時に最低室温 10.6℃まで下がる。同様に、蓄熱容量が共通するものを比較すると、開口が小さいほど最高室温と最低室温の差が減少する傾向がみられる。D S「蓄熱特大・開口小」は最高室温 18.1℃、最低室温 16.7℃と極めて変動幅が小さく室温が安定しているが、1 日のうちの過半で室温が 18℃を下回り、低温安定の温熱環境といえる。さらに夏の室温をみると、冬と同様に蓄熱容量の増加や開口面積の減少に伴い、最高室温と最低室温の差が小さくなる傾向がみられる。日中に最も高温となるのは A L であり、室温は最高で 40℃近くまで上昇し、最低室温との差が約 15℃と非常に大きい。これに対し、蓄熱容量が最も大きい D は、外気温が最高となる 15 時にいずれも室温が外気温を下回り、なおかつ最低室温はいずれも 25℃程度であり、温度変動が小さい。また、夜間 0 時～6 時の間において全てのモデルが外気導入の条件を満たし、特に D はその熱容量の大きさによるナイトページの蓄冷効果が顕著であり、日中の温度上昇抑制に大きく作用していると考えられる。

次に、室温の推移について、1 日における室温と快適な温度との差分の総量を捉えるため、暖冷房の設定温度を閾値とした室温との差の時間積分を「デグリー・アワー」（以下、 $D \cdot H$ とする。単位は $[^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}]$ ）とし室温変動の時間変化の度合いを示す指標とする^{注 8)}。図 2-7 に算出方法を示す。冬、夏とも 18℃～28℃を「ポジティブデグリー・アワー」（以下、 $pD \cdot H$ ）とし、冬は 18℃未満、夏は 28℃を超える範囲を「ネガティブデグリー・アワー」（以下、 $nD \cdot H$ ）とする。 $D \cdot H = pD \cdot H + nD \cdot H$ であり $D \cdot H$ が大きい程、室温が快適な温度帯^{注 9)}に近い状態を長く保ち、余力としての冷温熱を有することを表す。

冬、夏の各代表日について各モデルの $D \cdot H$ を算出し、モデル間での順位と併せて示した（表 2-5）。冬の $D \cdot H$ は A M「蓄熱小・開口中」と A L が特に大きく、D S「蓄熱特大・開口小」が最も小さい。A M、A L は夜間の室温低下が大きく、 $nD \cdot H$ が最下位だが、 $pD \cdot H$ が極めて大きい^{注 10)} ために $D \cdot H$ は最上位に位置している。また、特に A L と A M は 28℃を超える時間帯が顕著に発生しているが、これらは $D \cdot H$ には算入されないため、A L と A M は $pD \cdot H$ が他と比べて相対的に近い値を示す結果となっている。D S は $nD \cdot H$ は中位であるが、 $pD \cdot H$ が極めて小さく、唯一 $D \cdot H$ が負の値を示している。これに対して D L や C L のように蓄熱容量を確保し開口を大きくすると $nD \cdot H$ の値が向上し、 $pD \cdot H$ 、 $D \cdot H$ 共に中位から、上位に位置する。

一方、夏のD・HはpD・HとnD・Hが共に最上位であるDSが最も大きく、ALのD・Hは特に小さく、pD・Hに比べてnD・Hの値のマイナスが影響していることがわかる。総じて、蓄熱容量が大きく、開口が小さいとnD・Hが良い値を示す傾向がみられる。

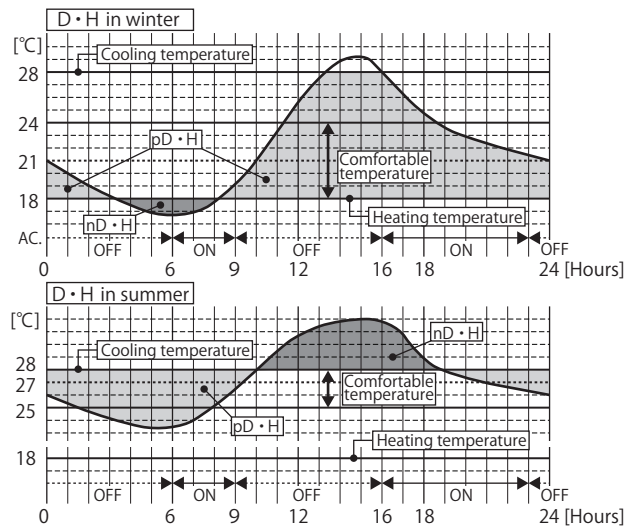


図 2-7 D・Hの算出方法

表 2-5 冬と夏の D・H													[°C・h]
Winter													
D・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	109.05	109.23	66.75	83.10	42.81	15.11	67.33	31.34	7.90	38.93	5.20	-7.61	
Rank	2	1	5	3	6	9	4	8	10	7	11	12	
pD・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	136.14	122.02	75.78	94.76	52.15	24.75	73.76	38.02	15.91	42.55	11.81	0.44	
Rank	1	2	4	3	6	9	5	8	10	7	11	12	
nD・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	-27.09	-12.79	-9.04	-11.67	-9.35	-9.64	-6.43	-6.68	-8.01	-3.62	-6.61	-8.05	
Rank	12	11	7	10	8	9	2	4	5	1	3	6	
Summer													
D・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	-27.79	-3.44	10.09	-4.22	13.43	23.16	1.21	16.60	24.98	7.98	20.84	29.08	
Rank	12	10	7	11	6	3	9	5	2	8	4	1	
pD・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	27.64	28.21	28.92	22.90	25.08	27.23	20.36	22.56	26.08	16.65	21.17	29.08	
Rank	4	3	2	8	7	5	11	9	6	12	10	1	
nD・H	AL	AM	AS	BL	BM	BS	CL	CM	CS	DL	DM	DS	
	-55.43	-31.65	-18.83	-27.12	-11.65	-4.07	-19.15	-1.10	-1.10	-8.67	-0.34	0.00	
Rank	12	11	8	10	7	5	9	3	3	6	2	1	

これらの冬と夏のD・Hの組合せをFig. 8に示す。冬と夏の正負の組合せにより4種の領域に分けて捉えると、冬は負、夏は正の領域に分布する①にはD Sが該当する。D Sは他のモデルに比べ夏のD・Hが最も大きい、冬のD・Hが唯一負の値を示している。冬と夏が共に正の②には最も多くのモデルが該当し、これらはD・Hの値の組合せから概ね3つのグループに分けられる。冬と夏が共に負の③には該当するモデルがみられなかった。冬は正、夏は負の④にはA L、A M、B Lの3つのモデルが該当する。この内、A Lは冬のD・Hが極めて大きく、夏のD・Hは最も小さいため、特に偏った分布となっている。

ここで蓄熱容量に着目すると、開口の大きさが共通する場合、蓄熱容量の小さいモデルほど冬のD・Hが大きく、夏のD・Hは小さい。蓄熱容量ごとの分布をみると、C以外は開口の大きさによって異なる領域に分布するものがあるが、Cは開口の大きさによらず②に属し、冬は暖かく、夏は涼しい冷温熱を有するという点で一定の温熱環境を得やすいモデルであることが分かる。

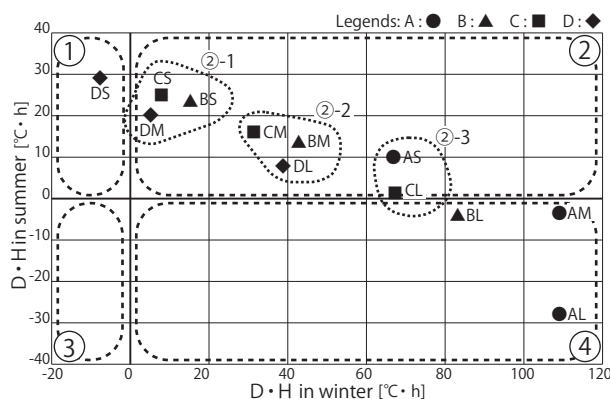


図 2-8 冬と夏のD・Hの分布

第6節 温熱環境とLCCO₂の関係

2.6.1 LCCO₂における建設時・運用時環境負荷

3節及び4節で得られた建設時CO₂排出量と運用時CO₂排出量を合わせたLCCO₂の特徴について考察する(図2-9)。評価期間は60年とした。

全てのモデルでLCCO₂を比較すると、最大がAL「蓄熱小・開口大」、最小がBS「蓄熱中・開口小」、次に小さいのがCS「蓄熱大・開口小」であり、最大と最小の差は約2.2倍である。これらのLCCO₂の内訳をみると、BSはCSよりも運用時CO₂排出量が大いだが、建設時CO₂排出量がより小さいためBSのLCCO₂が最小となっている。またALは建設時CO₂排出量はBSより小さいが、運用時CO₂排出量が約12.2倍と著しく大きい。

次に、開口の大きさと蓄熱容量のバランスに着目すると、「開口大」ではAのLCCO₂が最大であり、蓄熱容量が増えるほどLCCO₂は小さくなり、Dが最小である。この間、AからB、すなわち布基礎からベタ基礎への変更時の削減率が0.67倍と最も効果が大い。これらのLCCO₂の内訳をみると、運用時環境負荷はAからDの順に小さくなり、蓄熱が効果的であるのに対して、建設時環境負荷はCで最大となりDはCを下回る。これは南壁がDはRC造であり更新が0回であるのに対し、Cは木造であり大開口のアルミサッシの更新による建設時CO₂排出量が大きく影響している。また、「開口中」ではAのLCCO₂が最大、BのLCCO₂が最小となる。これらはAからDの順に建設時環境負荷は大きくなり、運用時環境負荷は小さくなるが、それらを合算するとDのLCCO₂がB、Cより大きくなる。また、「開口小」ではDのLCCO₂が最大となり、Aを上回る。DとAは暖房負荷はほぼ同じだが、Dはコンクリートの蓄冷により冷房負荷が生じず、運用時環境負荷は小さい。しかし、建設時環境負荷において約1.7倍の差が生じるためにLCCO₂はDの方が大きくなっている。

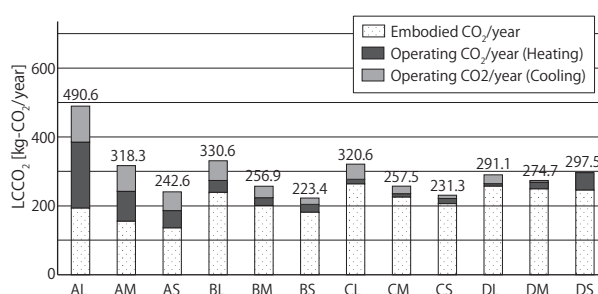


図2-9 各モデルのLCCO₂

2.6.2 日射取得と蓄熱容量からみた $LCCO_2$ と温熱環境

前節の $LCCO_2$ と 5 節の温熱環境の関係を検討する（図 2-10）。冬と夏の D・H の組合せが④に該当するものはいずれも $LCCO_2$ が大きい。中でも A L では冬の D・H が非常に大きく、暖かさを得ていると言えるが、 $LCCO_2$ の大きさや夏の D・H の小ささとのトレードオフ関係が顕著である。①は D S のみが該当し、温熱環境は低温安定という特徴があり、 $LCCO_2$ は全体の 8 番目に大きい。②の 3 つのグループの内、D・H が冬に小さく夏に大きい②-1 には B S、C S という $LCCO_2$ が最小となるモデルがある。一方、DM は②-2 のグループのモデルと $LCCO_2$ が近似し、CM よりも $LCCO_2$ が大きくなる。さらに②-2 では D L が $LCCO_2$ が最も大きく、①の D S と同等であるが、D・H や運用時環境負荷の内訳は大きく異なる。②-3 の C L は A S よりも $LCCO_2$ が約 1.3 倍大きく、かつ夏の D・H は小さくなる。

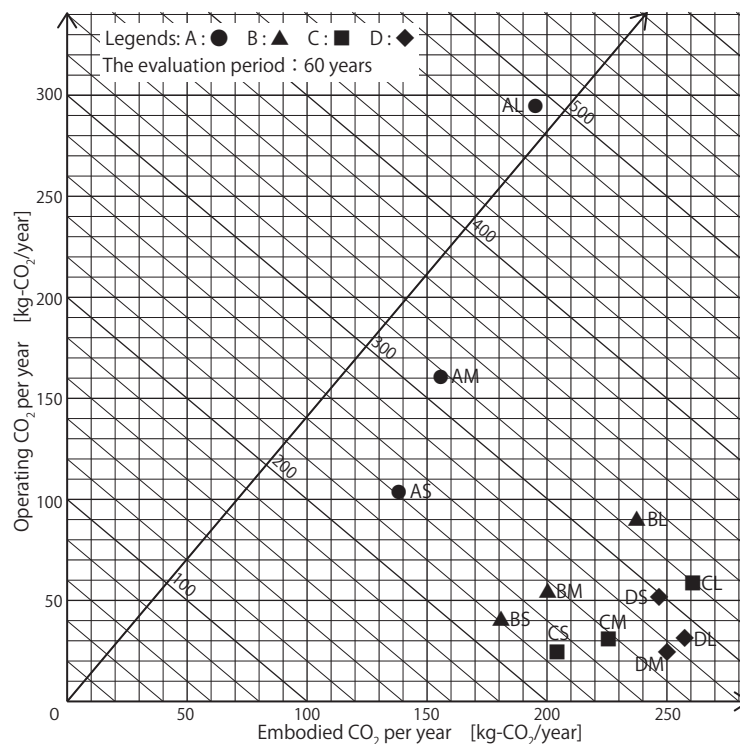


図 2-10 $LCCO_2$ と温熱環境

以上より、AL、AM、BLのように開口部がより大きく、蓄熱容量がより小さい組合せや、DSのように開口部が小さく、蓄熱容量が大きい組合せでは、 $LCCO_2$ はより大きく、かつ温熱環境は冬と夏のバランスに偏りが生じる。一方、 $LCCO_2$ が最小となるのはBSやCSであるが、日射取得量が少ないため、冬の温熱環境が低温寄りである。そこで開口部を小から中に、BM、CMへと変更すると、 $LCCO_2$ が約 1.1 倍に増加するが、冬のD・HがBSからBMで約 2.8 倍、CSからCMで約 4.0 倍大きくなり、 $LCCO_2$ と温熱環境とのバランスが向上する。すなわち、ダイレクトゲインによる日射熱利用においては、木造やRC造といった素材や構造の選択と、窓の大きさや蓄熱容量による集熱と蓄熱のバランスが設計上の要点となるが、BMやCMは環境負荷と環境品質の双方のバランスのとれたモデルと考えられる。一方でAS、DLの $LCCO_2$ も約 1.2 倍の範囲に収まっており、木造を主とし小さな窓を設けた軽量・閉鎖系のASと、RC造でかつ大きな、窓を設けた重量・開放系のDLという対照的な特徴を持つモデルがライフサイクルを通じた環境負荷という点では近い値を示している。ASとDLのD・Hを比較すると夏はほぼ同等であるのに対し、冬はASの方が約 1.7 倍大きい。これらの結果は、例えば密集した都市環境のように大きな集熱面を設けることが困難な立地条件では、集熱面の最大化を意図した掃出し窓（L）ではなく、採光・通風に特化した頂側窓（S）を選択し、蓄熱容量が過大とならないよう計画するなど、蓄熱容量と開口部のバランスによって一定の温熱環境を得る設計上のオルタナティブがあり得ることを示している。

第7節 小結

以上、本研究では、日射熱利用を意図したダイレクトゲイン型住空間モデルを設定し、新築及び改修の際のCO₂排出量を算出すると共に、温熱環境シミュレーションを用いることで、蓄熱容量と開口部の組合せに応じた温熱環境とLCCO₂の関係について検討した。

2節では、東京近郊の木造住宅の居間を想定した住空間モデルについて、蓄熱部位としてのコンクリートや集熱部位としての南面の開口部といったパラメータを設定し、それらの大きさや位置の組合せにより比較検討のための12種類のモデルを設定した。

3節では、各モデルの構成に応じた建設時環境負荷について検討した。壁、天井、床の各面の構成や更新周期を設定し、それらの合計によって建設時CO₂排出量を算出した。その結果、全てのモデルの中でCL「蓄熱大・開口大」が最も大きく、AS「蓄熱小・開口小」が最も小さい値を示した。総じて、開口部が大きく、蓄熱容量が大きい方が建設時環境負荷が大きくなる傾向がみられたが、「開口大」においては、建設当初の建設時CO₂排出量が最も大きいDL「蓄熱特大・開口大」に対し、更新時の負荷が大きいCLが評価期間全体では上回る結果となった。蓄熱部位としてのコンクリート量の増加に伴い建設時CO₂排出量は増加する傾向にあるが、更新周期によっては、木造部を含むモデルの方が建設時CO₂排出量が大きくなる場合があることを示した。

4節では、温熱環境シミュレーションを用いて、各モデルの暖冷房負荷による運用時環境負荷を算出した。全てのモデルで比較すると、AL「蓄熱小・開口大」が最も大きく、DM「蓄熱特大・開口中」及びCS「蓄熱大・開口小」が最も小さい結果となった。蓄熱容量が共通するモデルごとに比較すると、A～Cで開口部が小さくなるにつれて運用時CO₂排出量も小さくなるが、DのみDM「蓄熱特大・開口中」が最も小さく、DS「蓄熱特大・開口小」が最も大きい値を示した。これらの結果より、総じて、蓄熱容量の増加に伴い、運用時環境負荷は小さくなる傾向がみられるが、蓄熱容量に対し開口部が小さいために日射取得量が不足すると、環境負荷が大きくなる場合があることを示した。

5節では各モデルの室内の温熱環境について、シミュレーションにより冬と夏の代表日の室温の推移を検討した。室温の変動幅については、冬、夏いずれもALが最も大きく、蓄熱容量の増加に伴い、室温の変動幅が小さくなるという傾向がみられた。一方、室温の変動の時間変化の度合いを示す指標として「デグリー・アワー」(D・H)を算出し比較したところ、蓄熱容量の最も大きいDSが冬のD・Hにおいて最も小さい結果となり、蓄熱容量が大きい場合でも日射取得量が不足することで低温安定の温熱環境が生じることを示した。

6 節では、3、4 節で得られた建設時環境負荷と運用時環境負荷の関係を捉え、それらを合計した $LCCO_2$ と 5 節の温熱環境との関係について考察した。蓄熱容量 A～C においては、蓄熱容量の増加に伴い建設時環境負荷が大きくなり、運用時環境負荷が小さくなる傾向がみられ、建設時と運用時の CO_2 排出量がトレードオフの関係にあることが示された。全てのモデルで $LCCO_2$ を比較すると、AL が最も大きく、BS が最も小さい結果となった。

$LCCO_2$ と温熱環境の関係では、 $LCCO_2$ が最も小さい BS、CS は共に冬の D・H が小さい値となり、 $LCCO_2$ と温熱環境の間にトレードオフの関係があることを示した。一方、C「蓄熱大」のモデルにおいては開口の大きさが共通する他のモデルと比較すると $LCCO_2$ が小さく、尚且つ一定の温熱環境が得られることが示された。また、蓄熱容量の増大によって、DS のように環境負荷、温熱環境のいずれにおいても不利になる場合があることを示した。

本章では、ダイレクトゲイン型住宅モデルにおける蓄熱容量と開口部の組合せにより生じるライフサイクルを通じた環境負荷と環境の質の関係について考察した。ダイレクトゲインによる日射熱利用について、建設時と運用時の双方における環境負荷に加え、さらに室温の変動という環境の質的な価値を含めた包括的な検討は既往研究にはみられず、特に、木造と RC 造、大開口と小開口といった一般的な構法や形式の選択における、これらの環境の負荷と質の間にあるトレードオフやオルタナティブの関係を示すことで、自然エネルギーをパッシブな方法で活用した設計を行う上での有効な知見を与えるものとする。一方、空調スケジュール、日射遮蔽、換気など温熱環境への影響の面でより詳細な要素が多数あり、オーバーヒートしそうな余剰の熱を内部建具の開閉によって他室で利用するなどといった住まい手の環境行動による工夫も考えられる。それらへの対応は本研究の今後の課題であり、特に、本稿における蓄熱容量の小さいモデルについては、換気による排熱、夜間の断熱補強など、パッシブな工夫による負荷低減、環境改善の可能性があると考える。

第2章 注

- 注1) 参考文献1) pp. 24-27 に壁への蓄熱、pp. 32-35 に床への蓄熱におけるダイレクトゲインの手法が紹介されている。
- 注2) 日本建築学会発行の建物のライフサイクルにおける資源循環性を評価する LCA ツール。2005 年産業連関分析における複合原単位を利用している。
- 注3) 本稿では各面の構造（木造、RC 造）に基づき、各面ごとに更新周期を設定した。なお、各面の構成においては仕上げと下地など、実施工上分離しづらいものも含まれるため、サッシも含めた面ごとに全て更新される想定とした。また木造においては軸組のみを再利用する改修もみられるが、本稿においては軸組部の CO₂ 排出量が相対的に小さいこともあり、仕上げ等と同時に更新されるものとした。
- 注4) 株式会社クアトロによるパッシブデザインを支援する設計ツール。旧・建設省建築研究所のシミュレーションプログラム「PASSWORK」をベースとして開発され、ダイレクトゲインシステムにおける集熱、断熱、蓄熱などの熱的性能の検討が可能。建物の単室モデルに対し室温等を各部位を節点とした熱回路網の平衡式を用いて求めるもの。「PASSWORK」の開発及び検証については小玉らによる既往論文²⁾に詳述されている。また、住宅の温熱環境に関する近年の研究では、桑沢らによるもの³⁾等があり、藤原らによるもの⁴⁾や宮岡らによるもの⁵⁾に同ツールを用いた検討結果が報告されている。シミュレーションプログラムの選定においては設計実務者による利用しやすさも考慮した。
<https://qcd.co.jp/software/solardesigner/>
- 注5) 気象データは SolarDesigner の標準気候パターン（東京）を用いた。これはアメダスの「標準年 EA 気象データ（1981～1995）」をもとに各地点のデータを月別に分け、さらに各月の特性を3日間（晴れ、曇り、晴れ曇り）に集約して作成されていたものであり、蓄熱部位の特性を評価するためこれら3日間の気候パターンが7回繰り返すと仮定した21日のうち最後の3日間が計算に適用されている。なお、近年は地球温暖化やヒートアイランド等の影響により、夏期には本稿で用いた気象データよりも高い気温も観測されており、特に夜間の外気温の最低温度の上昇等は蓄熱容量の活用を検討する上で注意を要する。
- 注6) 運用時負荷は以下の計算式により算出した。
暖房・冷房負荷 (MJ) ÷ 3.6(kWh) ÷ 暖房・冷房 COP × 2.6(1 次エネルギー換算値) × CO₂ 排出量原単位 0.53(kg-CO₂/kWh) = CO₂ 排出量 (kg-CO₂)
COP は（独）建築研究所による参考文献6) より、2010 年度の高効率機種に関する調査値を参照し冷房 3.46、暖房 4.16 とした。一次エネルギー換算値は資源エネルギー庁の総合エネルギー統計「2018 年度以降総合エネルギー統計に適用する標準発熱量及び炭素排出係数」より電力の受電端投入熱量 9370MJ/kWh を参照し設定した。電力の CO₂ 排出量原単位については平成 25 年度東京電力の値を援用した。
- 注7) 特に夏期の夜間及び中間期に外気導入による室温抑制を想定し、暖房期間を除いた5月～10月の期間内に、18℃＜外気温度＜28℃でかつ室温が外気より高い場合に、時間に関わらず20回/hで換気が行われる設定とした。なお、実際の換気量は開口部の大きさや形状などにより異なる可能性があるが、本稿においては継続して最大限の換気が行われる状態を想定し、参考文献5) を参照し20回/hとした。なお、これらの換気回数は開口部の大きさに関わらず全モデルで一律の設定とした。
- 注8) 本研究で定義するデグリー・アワーは、基準温度との差を用いた指標である暖房デグリーデーや冷房デグリーデーの方法を援用しており、松元らによる既往研究7) でも同様の方法を用いているが、本稿では冬と夏の両方の温熱環境を考慮し、pD・H と nD・H という指標を設定している。
- 注9) 参考文献8) では熱環境の評価のための基準値として、高齢者身障者に配慮した住宅熱環境評価基準値として居間・食堂の温度を、冬期を 21 ± 3℃、夏期を 27 ± 2℃としており、これに基づき快適温度帯を設定した。なお夏期は空調設定温度が 28℃であることから 25℃～28℃とした。
- 注10) 本研究では北面及び上面を外気に接しない面とする単室モデルとしており、室外との換気による熱の移動は一律に換気回数として計算している。しかし冬のオーバーヒートのような状態は、実際の多数室の住戸では部屋間のドアを開閉する住まい方の工夫などにより、余剰の熱を積極的に使

いこなすことも考えられる。

Appendix table 1 Detailed settings of the building element

Element	Detail		Details of foundation
Exterior wall-W Exterior wall ③ Interior wall ①	Wooden framework	Wood column: 105mm × 105mm@910mm Wood stud: 45mm × 105mm@910mm	
Exterior wall-RC Exterior wall ④ Interior wall ② Ceiling ②	RC (concrete)	Concrete (portland cement) Fc24N/mm2	
	RC (steel)	Deformed bar: D13 @200mm in each direction Double layered bar arrangement	
Floor ①	Wooden framework	Wooden sill: 105mm × 105mm Floor framing horizontal member: @910mm 105mm × 105mm	
	RC (concrete)	Concrete (portland cement) Fc24N/mm2	
	RC (steel)	Deformed bar: D13, D10	
Floor ②	Wooden framework	Wooden sill: 105mm × 105mm	
	RC (concrete)	Concrete (portland cement) Fc24N/mm2	
	RC (steel)	Deformed bar: D13, D10	

Appendix table 1 Note: Wooden frameworks are consisted of natural wood.
The density of natural wood is set as 380kg/m³ for Japanese cedar.
別表 1 注) 木材は製材を想定し、比重をスギ材相当の380kg/m³として算出した。

第2章 参考文献

- 1) 彰国社：自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典 新訂版，彰国社，2003.6
- 2) 小玉祐一郎，武政孝治：設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究
(1) パソコンを用いたプログラムの開発と検証，日本建築学会計画系論文集，第374号，pp.44-53, 1987.4
- 3) 桑沢 保夫，峰野 悟，澤地 孝男：戸建て住宅における蓄熱が暖房熱負荷に与える影響の評価手法，日本建築学会環境系論文集，第80巻，第717号，pp1045-1052, 2015.11
- 4) 藤原紀沙，村田涼，湯浅和博，安田幸一：北海道の現代住宅における主空間の形状と温熱環境の関係性，日本建築学会計画系論文集，第80巻，第708号，pp.315-322, 2015.02
- 5) 宮岡大，小玉祐一郎，武政孝治，蓮井睦子：外気導入モードの違いがパッシブクーリング効果に及ぼす影響，日本建築学会環境系論文集，第618号，pp.37-43, 2007.8
- 6) 独立行政法人建築研究所，建築研究資料 No. 155 集合住宅の住まい方・設備保有状況に関する基礎調査，独立行政法人建築研究所，2014.2
- 7) 松元良枝，村田涼，細川奈美：現代日本の狭長敷地に建つ都市住宅における窓辺の構成と冬期の光・熱環境，日本建築学会計画系論文集，第84巻，第758号，pp.809-818, 2019.4
- 8) 川島美勝：高齢者の住宅熱環境，理工学社，1994.6

第3章 日射制御ルーバーを用いた住空間モデルにおけるライフサイクルCO₂と光環境の関係

- 第1節 本章の目的と概要
- 第2節 住空間モデルとルーバーの設定
- 第3節 ルーバーの建設時CO₂排出量
- 第4節 暖冷房負荷による運用時CO₂排出量
- 第5節 照度分布からみた夏季の光環境
- 第6節 日射制御とLCCO₂の関係
- 第7節 小結

第1節 本章の目的と概要

パッシブデザインにおける日射制御の手段の一つとして水平ルーバー（以下ルーバー）が挙げられる^{注1)}が、ルーバーの適用に当たっては、中間期や夏期の冷房負荷増加を避けるための日射遮蔽と、冬期の暖房負荷削減のための日射取得を併せた検討が求められる。一方で、ルーバーの設置は部材の製造に伴う建設時の環境負荷の増加につながる。遮蔽効果が高いとされる外付ルーバーでは、耐候性の面からアルミなどの金属素材が用いられることが多いが、金属素材は製造時の環境負荷が大きいという課題がある。ルーバーの設置にあたっては、これら環境負荷の検討と同時に、日射の遮蔽による室内の光環境への影響についても配慮が求められ、これら相互の要素の適切なバランスの模索が必要となる。

そこで本章では、水平ルーバーによる日射制御を意図した住空間をモデル化し、温熱及び光環境のシミュレーションを用い、建設と運用時の両面からみた環境負荷や、屋内の自然光による明るさを検討することで、ライフサイクルを通じたこれらの環境負荷と環境の質のバランスの一端を明らかにすることを目的とする。

第2節 住空間モデルとルーバーの設定

東京近郊の郊外に建つ住宅を想定し、南面に日射取得のための大開口のある居間を住空間モデルとして設定した(図3-1)。南面大開口に設置するルーバーの構成は、位置やフィンの間隔、素材および開閉の有無から設定する。日射を制御する位置による影響を捉えるため、ルーバーの位置は室内側の内と、室外側の外の2種類を設定した(表3-1)。フィンの間隔は、中間期と夏季の日射を遮蔽する密と、夏至の日射遮蔽に特化した疎の2種類を設定した(表3-2)。素材は、木、アルミ、コンクリートの3種類とした(表3-3)。また、重量の軽い木とアルミについては、ルーバーの開閉が可能であると想定し、固定と可動の2種類を設定した(表3-4)。可動については日射の取得が期待される11～4月においてルーバーを開き、ルーバー無しと同様とする設定とした。これらの組合せとルーバー無しを併せて21種類のルーバーの構成について、LCCO₂および光環境を検討する(表3-5)。以降、本研究において、本文中では「木・外・疎・可動」といった表現を用い、素材、設置位置の内外、間隔の疎密、固定/可動の組み合わせを示す。同様に図中においては表1～4の記号を用いて、ルーバーの組合せを例:①W内密f(木製、室内設置、ルーバー間隔が密、固定式)のように示すこととする。

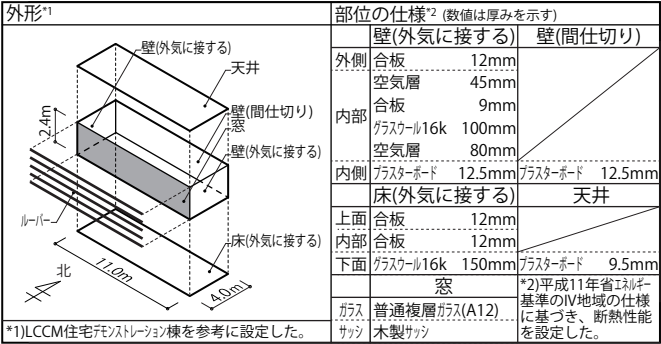


図3-1 住空間モデルの設定

表 3-1 ルーバーの位置

内	外
註)長さ10.8mのルーバーを窓の芯からルーバーの芯まで内外ともに125mmの位置に設置する。	

表 3-3 ルーバーの素材

素材	木 (W)	アルミ (A)	コンクリート (C)
断面形状			
体積	0.054m ³ /本	0.0063m ³ /本	0.054m ³ /本
註)表中の数値は寸法(mm)を示す。			

表 3-2 ルーバーの間隔

密	疎
計 12 本	計 5 本
註)表中の数値は寸法(mm)を示す。	

表 3-4 ルーバーの開閉

	固定 (f)	可動 (m)
6-10 月		
11-4 月		
註)可動は木と7mmについて設定する。		

表 3-5 ルーバーの設定の組合せ

① ルーバー無し							
							
位置 間隔			開閉	素材	木 (W)	アルミ (A)	コンクリート (C)
							
内	密		固定 (f)	① W 内密 f	⑨ A 内密 f	⑰ C 内密 f	
			可動 (m)	② W 内密 m	⑩ A 内密 m		
	疎		固定 (f)	③ W 内疎 f	⑪ A 内疎 f	⑱ C 内疎 f	
			可動 (m)	④ W 内疎 m	⑫ A 内疎 m		
外	密		固定 (f)	⑤ W 外密 f	⑬ A 外密 f	⑲ C 外密 f	
			可動 (m)	⑥ W 外密 m	⑭ A 外密 m		
	疎		固定 (f)	⑦ W 外疎 f	⑮ A 外疎 f	⑳ C 外疎 f	
			可動 (m)	⑧ W 外疎 m	⑯ A 外疎 m		

第 3 節 ルーバーの建設時 CO₂ 排出量

新築及び改修の際に発生する建設時の環境負荷を検討するため、「建築物の LCA ツール戸建住宅版^{注2)}」の「複合原単位」を用いてルーバーの体積あたりに換算した原単位を算出した（表 3-6）。また、改修時の CO₂ 排出量を捉えるため、評価期間を 90 年とし、ルーバーの位置と素材に応じて更新周期を設定した（表 3-7）。これらをもとにルーバーの構成毎にフィンの素材と数による建設時 CO₂ 排出量を、以下の式 1 より算出した。

ルーバーの建設時 CO₂ 排出量 (kg-CO₂) =

ルーバーの体積 (m³ / 本) × 本数 (本) × 換算した原単位 (kg-CO₂ / m³) × (更新回数 + 1) (回)

… (式 1)

表 3-8 に各々の値を示す。なお算出にあたってルーバーの支持材等の副資材、加工、仕上げについては含んでいない。

アルミは原単位が大きいため、建設時 CO₂ 排出量が最小となる構成でも他の素材の最大の場合の約 4 倍の値となり、建設時 CO₂ 排出量が特に大きいことを示している。またコンクリートは原単位が木の約 3 倍と大きいですが、更新周期が長い評価期間を通じた建設時 CO₂ 排出量の比較においては、大小が逆転しコンクリートの方が内付は約 43%、外付は約 57%と木よりも小さい値となった。

表 3-6 ルーバーの素材による原単位

素材	複合原単位	密度 (kg/m ³)	換算した原単位 (kg-CO ₂ /m ³)	注)「建築物の LCA ツール戸建住宅版 ver.2.00」(日本建築学会)における「複合原単位」から、木は製材、アルミはアルミサッシ、コンクリートはコンクリート(部材)Fc24N/mm ² を選択した。また、木の密度は JIS の平均気乾密度から設定した。
木	0.3 (kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	
アルミ	9.4 (kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	
コンクリート	296.1 (kg-CO ₂ /m ³)		296.1	

表 3-7 ルーバーの位置と素材による更新周期

素材位置	木	アルミ	コンクリート	注)「建築物の LCA ツール戸建住宅版 ver.2.00」(日本建築学会)における「更新周期」から、木は製材、アルミはアルミサッシ、コンクリートはコンクリート(部材)Fc24N/mm ² を参照し、内の更新周期を設定した。外は内の年数を 1.5 で除した値とした。また、評価期間を 90 年とし、0 内は更新回数を示す。
内	15 年 (5)	45 年 (1)	90 年 (0)	
外	10 年 (8)	30 年 (2)	60 年 (1)	

表 3-8 ルーバーの建設時 CO₂ 排出量

ルーバーの設定	ルーバーの建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
① ルーバー無し	0.00 (0.00)
② W 内密 f/m	4.92 (443.23)
③ W 内疎 f/m	2.05 (184.68)
④ W 外密 f/m	7.39 (664.85)
⑤ W 外疎 f/m	3.08 (277.02)
⑥ A 内密 f/m	42.45 (3820.51)
⑦ A 内疎 f/m	17.69 (1591.88)
⑧ A 外密 f/m	63.68 (5730.76)
⑨ A 外疎 f/m	26.53 (2387.82)
⑩ C 内密 f	2.13 (191.87)
⑪ C 内疎 f	0.89 (79.95)
⑫ C 外密 f	4.26 (383.75)
⑬ C 外疎 f	1.78 (159.89)
注) 評価期間を 90 年とし、0 内は 90 年合計のルーバーの建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂) を示す。	

第 4 節 暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量

運用時における環境負荷を検討するため、Autodesk Ecotect Analysis^{注3)}を用いて図 3-2 の設定に基づき、暖冷房負荷による運用時 CO₂ 排出量を算出した(表 3-9)。本章では、住宅の運用時環境負荷において、給湯負荷に次いで負荷が大きく、なおかつ日射遮蔽、日射取得と関連の強い暖冷房負荷を検討の対象とした。アルミ・内以外は、いずれの構成においても、ルーバー無しよりも運用時 CO₂ 排出量が小さい結果となった。

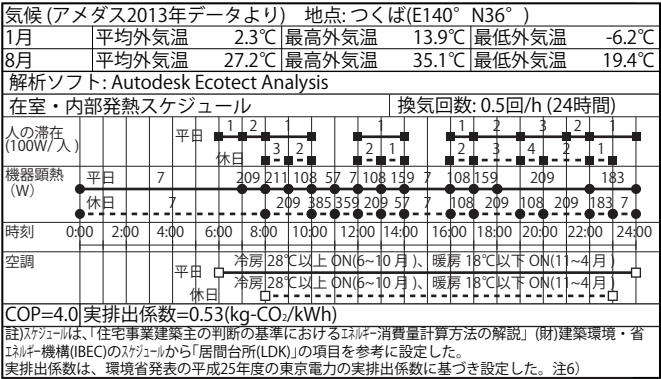


図 3-2 暖冷房負荷シミュレーションの概要

表 3-9 暖冷房負荷による運用時 CO₂

ルーバーの設定	暖冷房負荷による運用時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)		
①ルーバー無し	暖193.41 (±0)	冷141.12 (±0)	計334.53 (±0)
②W 内密 f	193.61 (+0.20)	139.93 (-1.19)	333.54 (-0.99)
③W 内密 m	193.41 (±0)	139.93 (-1.19)	333.34 (-1.19)
④W 内疎 f	193.61 (+0.20)	140.71 (-0.41)	334.32 (-0.21)
⑤W 内疎 m	193.41 (±0)	140.71 (-0.41)	334.12 (-0.41)
⑥W 外密 f	207.24 (+13.83)	105.65 (-35.47)	312.89 (-21.64)
⑦W 外密 m	193.41 (±0)	105.65 (-35.47)	299.06 (-35.47)
⑧W 外疎 f	198.81 (+5.40)	125.93 (-15.19)	324.74 (-9.79)
⑨W 外疎 m	193.41 (±0)	125.93 (-15.19)	319.34 (-15.19)
⑩A 内密 f	193.61 (+0.20)	141.18 (+0.06)	334.79 (+0.26)
⑪A 内密 m	193.41 (±0)	141.18 (+0.06)	334.59 (+0.06)
⑫A 内疎 f	193.41 (±0)	141.17 (+0.05)	334.58 (+0.05)
⑬A 内疎 m	193.41 (±0)	141.17 (+0.05)	334.58 (+0.05)
⑭A 外密 f	207.24 (+13.83)	105.65 (-35.47)	312.89 (-21.64)
⑮A 外密 m	193.41 (±0)	105.65 (-35.47)	299.06 (-35.47)
⑯A 外疎 f	198.81 (+5.40)	125.93 (-15.19)	324.74 (-9.79)
⑰A 外疎 m	193.41 (±0)	125.93 (-15.19)	319.34 (-15.19)
⑱C 内密 f	192.73 (-0.68)	139.98 (-1.14)	332.71 (-1.82)
⑲C 内疎 f	193.03 (-0.38)	140.37 (-0.75)	333.40 (-1.13)
⑳C 外密 f	207.24 (+13.83)	105.65 (-35.47)	312.89 (-21.64)
㉑C 外疎 f	198.81 (+5.40)	125.93 (-15.19)	324.74 (-9.79)

凡例) ☒ 暖房負荷 ☐ 冷房負荷
註)①内はルーバー無しに対しての増減量(kg-CO₂/年)

ルーバーの位置に着目すると、外付のルーバーは、素材や間隔によらず内付よりも運用時 CO₂ 排出量が小さく、室外側での日射制御が有効であることが確認された。次にフィンの間隔に着目すると、アルミ・内を除き、間隔が疎よりも密の運用時 CO₂ 排出量が小さい結果となった。中でも外付けのルーバーにおいては、間隔による運用時 CO₂ 排出量の差異が大きく、疎に比べ密の方が暖房負荷は大きくなるものの、その増加分を冷房負荷の削減量が大きく上回ることによって、結果として通年での運用時 CO₂ 排出量は小さくなっている。ルーバーの素材に着目すると、その違いによる差異は総じて小さいが、開閉を行う木やアルミにおいては、可動の場合にいずれもルーバー無しと暖房負荷が同程度となるため、運用時 CO₂ 排出量が小さい結果となった。

すなわち、窓の外側で日射を制御する外付のルーバーで、なおかつ夏至のみに特化するのではなく、中間期の日射遮蔽も含めて考慮したものが運用時 CO₂ 排出量の削減に総じて効果的であり、その中でも可動するルーバーが最も削減効果が高い。

第 5 節 照度分布からみた夏季の光環境

ルーバーを用いた日射制御による室内の光環境への影響を検討する。そこで、日射遮蔽の効用が特に大きいと考えられる夏季を対象に選定し、VELUX Daylight Visualizer^{注 4)}を用いて図 3-3 の設定に基づき自然光による照度を算出した(図 3-4)。また、最小照度と照度の偏りを検討するため、居間での活動として団らん・娯楽を想定し、JIS の照度基準²⁾を参考に、最小照度が 225lx^{注 5)}以上を明、未満を暗とし、また最大照度と最小照度の比が 0.5 以上を照度の変化が小、未満を大とした(表 3-10)。アルミ・外・疎を除いたルーバーの構成では、いずれの測定点においてもルーバー無しよりも照度が低い。この内、最小照度が最も低い⑩において明であり、団らん・娯楽に適した照度以上の明るさが確保されている。また、照度の変化は、ルーバー無しが最も大きく、ルーバーがある方が小さくなる。特に、密はいずれも疎よりも照度の変化が小さく、中でも照度の変化が小となるものは、反射率の低い木・密とコンクリート・密である。素材の反射率が高い程、照度の変化が大きく、アルミは照度の変化が大であり、特に外・疎の場合は照度分布がルーバー無しと近似する。これらのことから日射熱利用を意図し南面に大開口を設けた本稿のモデルにおいては、ルーバーを設置した場合でも、いずれのルーバーの構成においても照度は十分に確保されており、素材の反射率を抑え、間隔を密にすることで、より照度の変化の小さい光環境が得られる。

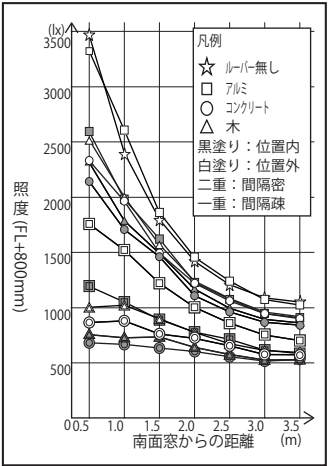
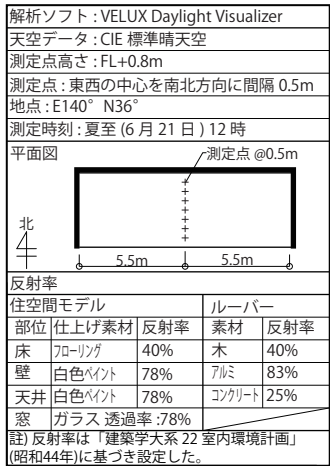


表 3-10 ルーバーの設定と照度					
ルーバーの設定		最大照度 (lx)	最小照度 (lx)	最小照度 最大照度	
⑩ ルーバー無し		3468.5	1052.0	0.30	
①	W内密 f/m	758.9	525.1	0.69	
②	W内疎 f/m	2312.7	862.8	0.37	
③	W外密 f/m	1024.2	607.0	0.59	
④	W外疎 f/m	2525.4	918.6	0.36	
⑤	A内密 f/m	1196.5	585.3	0.48	
⑥	A内疎 f/m	2592.7	909.5	0.35	
⑦	A外密 f/m	1762.6	702.9	0.40	
⑧	A外疎 f/m	3334.7	1026.0	0.31	
⑨	C内密 f	682.6	516.8	0.76	
⑪	C内疎 f	2142.2	843.4	0.39	
⑫	C外密 f	880.9	569.7	0.65	
⑬	C外疎 f	2338.4	902.1	0.39	
最小照度	225lx未満	暗	最小照度	0.5未満	変化大(大)
照度	225lx以上	明	最大照度	0.5以上	変化小(小)

図 3-3 光環境シミュレーションの概要 図 3-4 ルーバーの設定と照度分布

第 6 節 日射制御と LCCO₂ の関係

3.6.1 LCCO₂ における建設時・運用時環境負荷

3、4 章で得られた建設時 CO₂ 排出量と運用時 CO₂ 排出量を合わせて LCCO₂ とする。6 章では LCCO₂ における建設時と運用時の CO₂ 排出量の関係を捉え（表 3-11）、続いて更新周期による影響や、夏季の光環境との関係について考察する（図 3-5）。

まず、表 3-11 でルーバーの各構成における LCCO₂ を、ルーバー無しにおける LCCO₂ と比較すると、内・密を除くコンクリートと木の外付は、ルーバー無しよりも LCCO₂ が小さく、ライフサイクルでの CO₂ 排出量を削減するルーバーの構成である。また、アルミ・外・密は、運用時 CO₂ 排出量が最も小さいにも関わらず、建設時 CO₂ 排出量が大きいため、ルーバー無しよりも LCCO₂ が大きくなっており、建設時と運用時の CO₂ 排出量にトレードオフの関係が生じているといえる。一方、木・外やコンクリート・外は建設時 CO₂ 排出量も運用時 CO₂ 排出量も小さく、建設時 CO₂ 排出量の抑制と運用時 CO₂ 排出量の削減が両立されている。

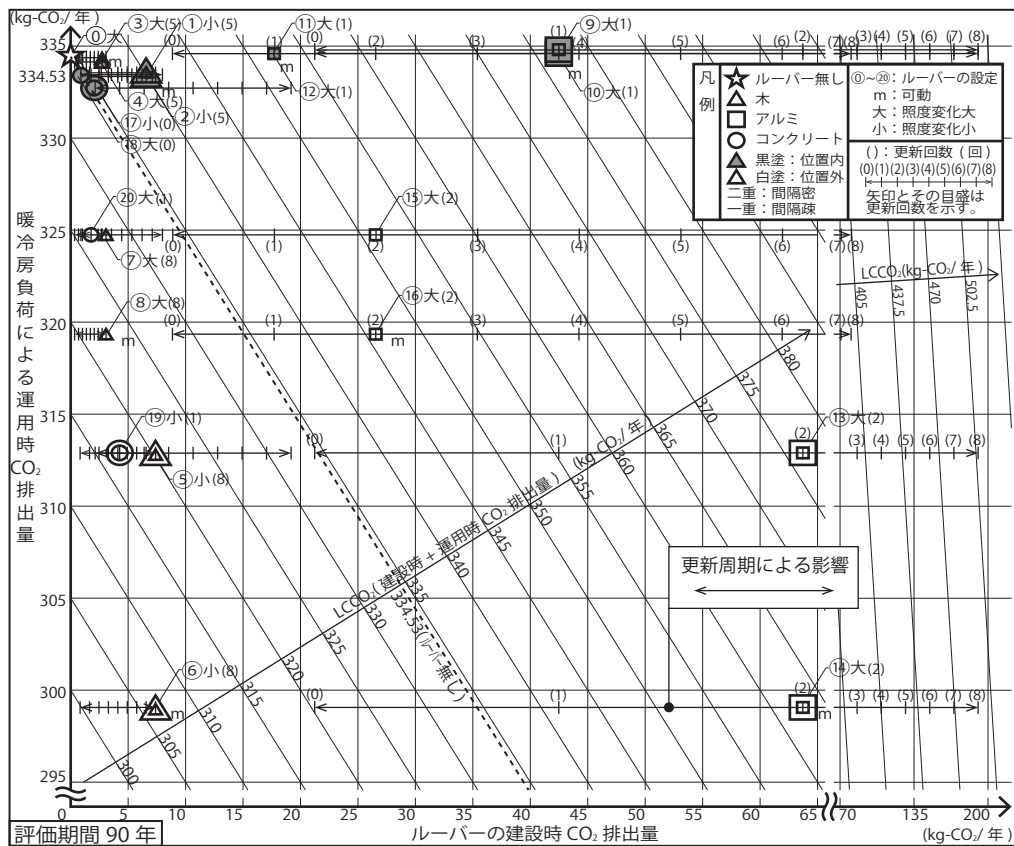
さらに、同じく表 3-11 において、素材毎に着目すると、アルミはいずれもルーバー無しと比べて LCCO₂ が大きいことがわかる。特に、疎は密よりも LCCO₂ が小さく、位置や開閉よりも間隔による差異が顕著である。つまり、フィンの数の差による建設時 CO₂ 排出量の差が LCCO₂ に大きく影響すると考えられる。一方、木は外の場合に、コンクリートは内・密を除いてルーバー無しよりも LCCO₂ が小さい。特に木・外とコンクリート・外では疎よりも密の方が LCCO₂ が小さいことから、フィンの間隔が密になることによる建設時 CO₂ 排出量の増加量よりも、日射を遮蔽することによる運用時 CO₂ 排出量の削減量が LCCO₂ に大きく影響すると考えられる。これらのことから、原単位が大きいアルミは建設時の CO₂ 排出量が、原単位が小さい木や更新周期が長いコンクリートは運用時の CO₂ 排出量が LCCO₂ に大きな影響を与える傾向があり、アルミは間隔をより疎に、木とコンクリートはより密にすることで LCCO₂ をさらに小さくできると考えられる。

さらに、ルーバーの更新周期による影響をより精緻に捉えるため更新回数を 0～8 回まで変更した場合について図 5 により検討した。横軸を建設時、縦軸を運用時の CO₂ 排出量とし、各ルーバーの構成ごとに照度変化の大小と共にプロットした。さらに更新回数による建設時 CO₂ の変化を矢印で示した。アルミは更新周期による LCCO₂ の差が大きく、外の⑬⑭⑮⑯は更新回数 0 回、すなわち評価期間中に更新を行わない場合にルーバー無しよりも LCCO₂ が小さくなる。つまり、アルミは外で更新周期を長くする程 LCCO₂ の削減に効果的であると考えられる。

表 11 ルーバーの設定と LCCO₂

ルーバーの設定	暖冷房負荷と建設時による LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
①ルーバー無し	334.53 (±0)
②W内密 f	338.46 (+3.93)
③W内密 m	338.26 (+3.73)
④W内疎 f	336.37 (+1.84)
⑤W内疎 m	336.17 (+1.64)
⑥W外密 f	320.28 (-14.25)
⑦W外密 m	306.45 (-28.08)
⑧W外疎 f	327.82 (-6.71)
⑨W外疎 m	322.42 (-12.11)
⑩A内密 f	377.24 (+42.71)
⑪A内密 m	377.04 (+42.51)
⑫A内疎 f	352.27 (+17.74)
⑬A内疎 m	352.27 (+17.74)
⑭A外密 f	376.57 (+42.04)
⑮A外密 m	362.74 (+28.21)
⑯A外疎 f	351.27 (+16.74)
⑰A外疎 m	345.87 (+11.34)
⑱C内密 f	334.84 (+0.31)
⑲C内疎 f	334.29 (-0.24)
⑳C外密 f	317.15 (-17.38)
㉑C外疎 f	326.52 (-8.01)

凡例: 暖房負荷 冷房負荷 建設時CO₂排出量
 注) ①はルーバー無しに対する増減値(kg-CO₂/年)



3.6.2 LCCO₂ と夏季の光環境

次に、同じく図 3-5 において、LCCO₂ と夏季の光環境の関係を捉える。ルーバー無しよりも LCCO₂ が小さく、照度の変化が大となるのは、木やコンクリートの外・疎である⑦⑧⑩及びコンクリートの内・疎の⑬であり、照度の変化が小となるのは、木やコンクリートの外・密の⑤⑥⑪である。中でも木の外・密・可動の⑥は、LCCO₂ の削減効果が高く、照度の変化が小さい安定した光環境となる構成であることが分かる。

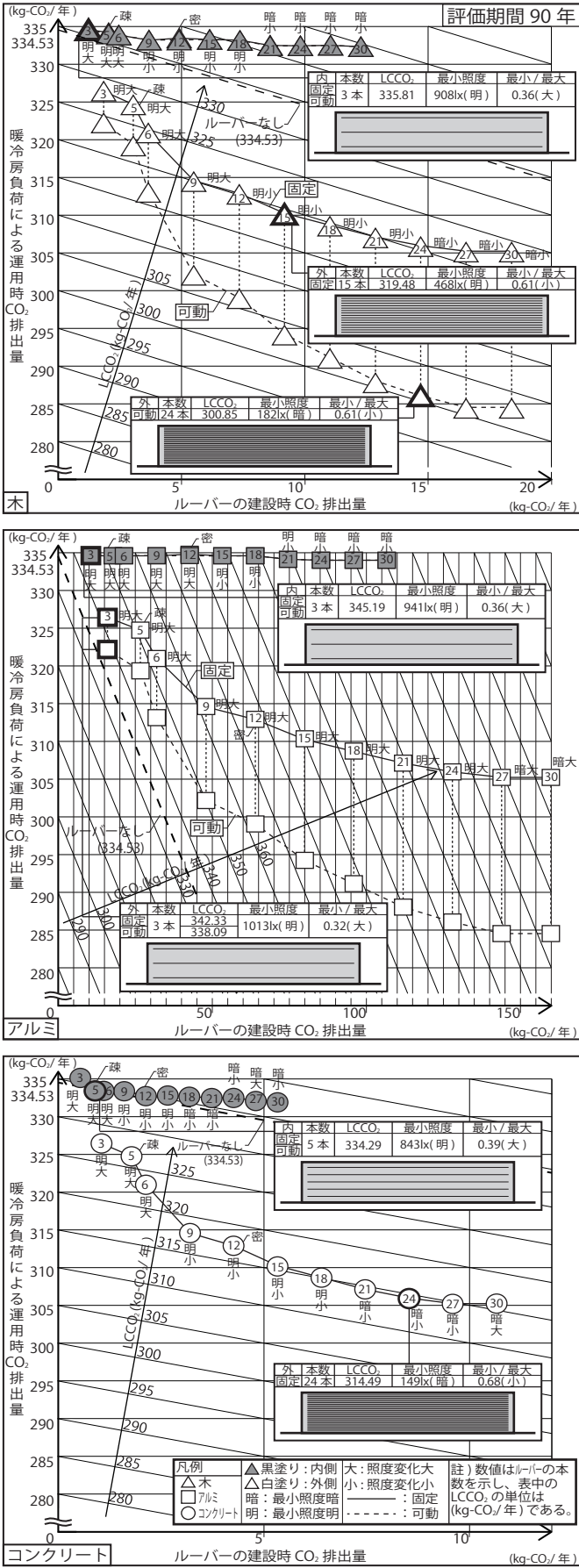
3.6.3 ルーバーの間隔の変更による LCCO₂ と光環境への影響

ルーバーのフィンの間隔によって LCCO₂ が大きく変わることから、間隔を変更し（表 3-12）、素材と位置毎に LCCO₂ と光環境への影響を図 3-5 と同様の方法で図示し、検討する（図 3-6）。まず素材に着目すると、木は開閉によらず、内では間隔が小さい程 LCCO₂ が大きく、外では間隔が小さい程 LCCO₂ が小さくなる傾向がある。固定は 15 本、可動は 24 本の場合に最小となる。アルミは、位置や開閉によらず間隔が小さい程 LCCO₂ が大きく、いずれもルーバー無しよりも大きい。コンクリートは、内では間隔が小さい程 LCCO₂ が大きくなる傾向があり、5 本の場合のみでルーバー無しよりも LCCO₂ が小さくなる。外では間隔が小さい程 LCCO₂ が小さくなる傾向があり、24 本の場合に最小となる。つまり、外の場合、木とコンクリートでは、間隔が小さい程 LCCO₂ は小さくなる傾向にある。このことから、夏季だけでなく中間期の日射遮蔽も考慮してフィンの間隔を小さくする方が、建設時の CO₂ 排出量が増加する反面、運用時 CO₂ 排出量の削減量が大きくなるため、トータルでは LCCO₂ の削減に効果的である。

次に、光環境への影響を検討する。LCCO₂ が最小となるルーバーの間隔において、木・外・可動とコンクリート・外・固定を除き、いずれの場合でも最小照度は明である。木・外・可動とコンクリート・外・固定では、24 本の場合に LCCO₂ は最小となるが最小照度は暗である。最小照度が明で LCCO₂ が最小となるものは、木・外・可動は 21 本、コンクリート・外・固定は 18 本の場合であり、LCCO₂ と光環境の間にトレードオフが生じている。

表 3-12 ルーバーの間隔の変更

フィンの本数	間隔 (x)	フィンの本数	間隔 (x)
3 本	1033.5	21 本	55.6
5 本 疎	487.2	24 本	41.8
6 本	383.4	27 本	31.2
9 本	220.9	30 本	22.8
12 本 密	142.8	註)表中の数値(x)は、 フィン同士の間の寸 法(mm)を示す。	
15 本	100.9		
18 本	74.2		



第7節 小結

以上、本章では、水平ルーバーによる日射制御を意図した住空間モデルを設定し、温熱及び光環境のシミュレーションを用いることで、ルーバーの構成の差異に応じた日射制御とLCCO₂の関係について検討した。

2節では、住宅の居間を想定した住空間モデルとルーバーの構成について設定した。南面の窓の日射を制御するルーバーの位置、素材、間隔、開閉といったパラメータを設定し、さらに、それらの組合せにより比較検討のためのルーバーの構成を設定した。

3節では、各ルーバーの構成に応じた建設時環境負荷について検討した。素材の体積あたりのCO₂排出量原単位等から、各ルーバーの製造時CO₂排出量を算出した。結果として、CO₂排出量原単位が大きいアルミが特に大きな値を示した。コンクリートもCO₂排出量原単位が大きい素材であるが、更新周期が長いために木よりも小さな値を示した。

4節では、温熱環境シミュレーションを用いて、各ルーバーの構成に応じた運用時環境負荷を算出した。いずれの素材においても、内付よりも外付のルーバーの方が環境負荷が小さく、また、11～4月にルーバーを開放することを想定した木とアルミのルーバーではさらに環境負荷を小さくできるという結果となった。

5節では、ルーバーを用いた日射制御による室内の光環境への影響を捉えた。光環境シミュレーションを用いて、日射遮蔽の効用が特に大きいと考えられる夏季について検討した。本稿のモデルにおいては、いずれのルーバーの構成においても、照度は十分に確保されており、素材の反射率やフィンの間隔によって照度の変化の大小が異なる結果となった。

6節では、3、4節で得られた建設時環境負荷と運用時環境負荷の関係を捉え、さらにそれらを合わせたLCCO₂と更新回数、夏季の光環境との関係について考察した。アルミにおいてはいずれのルーバーの設定においてもルーバー無しよりもLCCO₂が大きくなる。木とコンクリートにおいては、ルーバー無しよりもLCCO₂が小さくなる構成があり、中でも、ルーバーの位置等の違いが影響し、木の外・密・可動が最もLCCO₂が小さい結果となった。更新周期の影響についてさらに精緻に捉えようと、アルミは特に影響が大きく、外付で更新周期を長くするほどLCCO₂削減に効果的であることを示した。光環境との関係では、ルーバー無しよりもLCCO₂が小さくなるのは主に木とコンクリートの外付であり、特にフィンの間隔が密の場合は、LCCO₂の削減効果が高く照度変化が小さいが、その中にはLCCO₂の削減と照度の確保の間にトレードオフの関係が生じるといった特徴を示した。

本章では、日射制御の手法としてのルーバーを取り上げてライフサイクルを通じた環境負

荷と環境の質の関係について考察した。日射の取得と遮蔽に関わるパッシブデザインの手法を取り上げ、建設時、運用時両面における環境負荷、さらに環境の質を含め包括的に考察したものは既往研究には見られず、設計を行う上での有効な知見となると考える。一方で、冬季の環境の質において、日射の取得は温熱環境の向上につながるが、同時に、安定した光環境の確保への配慮が求められ、温熱と光の環境の質同士についてもトレードオフが生じる可能性があり、建設時と運用時の環境の負荷同士、環境の負荷と質といった2つの局面に加え、環境の質同士にみられるトレードオフは今後の研究の課題といえる。加えて、ルーバーのフィンの形状、可動性、下地等は、資材量、光環境への影響の面でより詳細な設計上の工夫が期待されるところであり、それらへの対応も本研究の今後の課題である。

第3章 注

注1) 参考文献1)p. 42-45 に日射制御の手法の一つとして紹介されている。

注2) 日本建築学会発行の建物のライフサイクルにおける資源循環性を評価する LCA ツール。2005 年産業連関分析における複合原単位を利用している。

注3) Autodesk による熱解析や昼光解析、エネルギー解析など、企画から詳細までの包括的な解析ツール。シミュレーションプログラムの選定においては設計実務者による利用しやすさも考慮した。
<http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>

注4) 自然光を効果的に利用した昼光計画やデザインのための昼光プラン設計ソフト。CIE 国際照明委員会より採光シミュレーションプログラムの精度を検証する試験 CIE171:2006 の認定を取得している。
<http://viz.velux.com/default.aspx>

注5) JIS Z9110 における居間の「団らん」「娯楽」の照度基準 150-300lx を参考に、その中間値 225lx を用いた。

注6) 東京電力の CO₂ 実排出係数について、2011 年度以前の数値と比べると 2015 年度の数値は比較的大きく、国が示す代替値に近い値となっている。今後も変動する可能性があり評価期間中の推移の予測は困難であることから、本章では現況の数値を適用することとした。

第3章 参考文献

1) 彰国社：自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典 新訂版，彰国社，2003.6

2) JIS Z9110 JIS 照度基準 住宅

第4章 ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおけるトレードオフ

第1節 本章の目的と概要

第2節 ライフサイクルを考慮したパッシブデザイン手法と環境要因

第3節 ライフサイクルにおけるトレードオフとパッシブデザイン手法

第4節 小結

第1節 本章の目的と概要

第2章では「ダイレクトゲイン」、第3章では「日射制御ルーバー」という、温暖地の住宅のパッシブデザインにおける日射熱利用および日射制御の手法に着目し、ライフサイクルにおける特性を検討することにより、「建設時と運用時の環境負荷」という負荷同士の関係、「環境の負荷と質」という負荷と質の関係という2つの局面においてトレードオフが生じることを明らかにした。このような手法内に生じるトレードオフの存在は、運用時環境負荷に主眼を置いた従来のパッシブデザインの定型的な手法に対し、ライフサイクルという長い時間軸で捉えた場合に代替的な手法が生じる可能性を示している。このようにライフサイクルの視点により、パッシブデザインにおける定型・代替という手法間の関係を見出し、それらの相互的な特性を位置付けることはパッシブデザインの視座を広げ、設計上の多様な選択肢を生むことにつながると考える。そこで、本章では第2章、第3章にみられた2つの局面におけるトレードオフ、パッシブデザイン手法の定型と代替について横断的に考察し、それらの検討を通じてライフサイクルを考慮したパッシブデザインの特性について論じる。

第2節では、まず、ライフサイクルという長い時間軸で捉えた場合のパッシブデザイン手法について、各々の住空間モデルに基づき、その定型と代替を位置付ける。次に、ライフサイクルを考慮した環境の総合性能に関わる要因について検討し、環境要因として設定する。さらに、パッシブデザイン手法の定型・代替と環境要因の関係性について検討し、その特徴を示す。

第3節では、第2節で位置付けたパッシブデザイン手法の定型と代替及び、環境要因について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面におけるトレードオフの特徴から検討することで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおける手法の相互関係について考察する。

第4節では本章の小結について述べる。

第2節 ライフサイクルを考慮したパッシブデザイン手法と環境要因

4.2.1 ライフサイクルを考慮したパッシブデザイン手法の定型と代替

第2章、第3章の検討により、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおいては、運用時環境負荷に主眼を置いた従来の定型的な手法に対し、ライフサイクルという長い時間軸で捉えた場合の代替的な手法が生じる可能性が示された。そこで、前章までの各々の住空間モデルに基づき、その手法の定型と代替を位置付ける。

まず、第2章、ダイレクトゲインによる日射熱の利用においては、日射の取得（集熱）、取得熱の有効利用（蓄熱）が重要であり、特に、日射量の豊富な温暖地においては南面に集熱のための大開口を設け、十分な熱容量の確保によって蓄熱し利用する方法が定型として位置付けられる。

例えば、小玉祐一郎設計の「つくばの家Ⅰ」^{注1)}（図4-1）はその定型の実践例といえ、南面に日射取得のための大開口を設け、熱容量の確保のために躯体をRC造とし外断熱を行う仕様としている。



図4-1 ダイレクトゲインの定型の実践例

つくばの家Ⅰ 設計：小玉祐一郎 / エステック計画研究所

引用：住宅建築 2007 年 5 月号，建築資料研究社

本研究においては、第2章の検討モデルのうち、RC造を主体とし、大きな開口を設けたDL「蓄熱特大・開口大」がそれを想定したものといえる。DLは運用時環境負荷が全モデルの中で4番目に小さい（図4-2）。

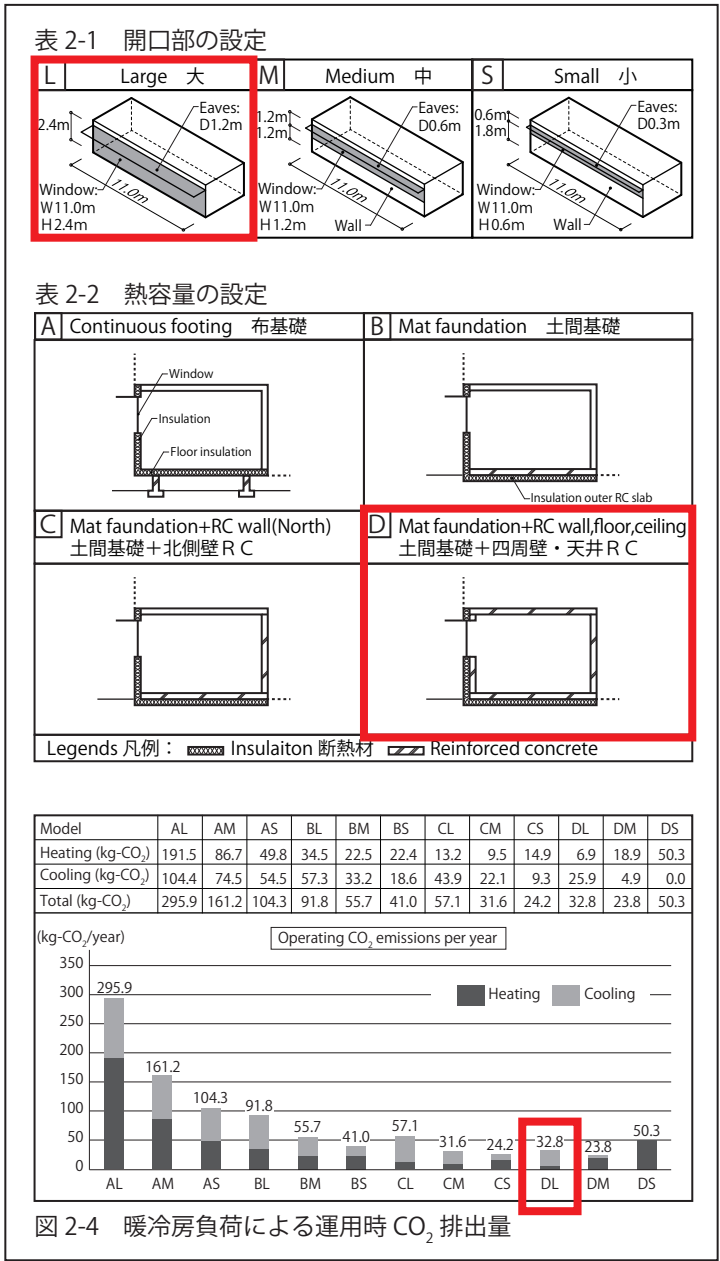


図 4-2 モデル DL の設定と運用時環境負荷

これに対して、ライフサイクルにおける環境負荷をみると、BM「蓄熱中・開口中」という開口の大きさ、熱容量の大きさが中位のモデル、また AS「蓄熱小・開口小」という開口が小さく、熱容量も小さいモデルが、DL と同程度の $LCCO_2$ を示し、温熱環境においても近い特徴を示した。これは、運用時環境負荷に主眼を置いた従来のパッシブデザイン手法の定型に対し、ライフサイクルを考慮した際の環境の負荷と質の両方において、同程度の特徴を示しており、その代替として位置付けることができる。

さらに、環境負荷のみに着目すると、 $LCCO_2$ が最小となる代替としては、モデル BS「蓄熱中・開口小」も挙げられるが、BS は環境の質の面で温熱環境が低温安定寄りである。これら定型と代替の $LCCO_2$ と温熱環境の特徴を図 4-3 に示す。

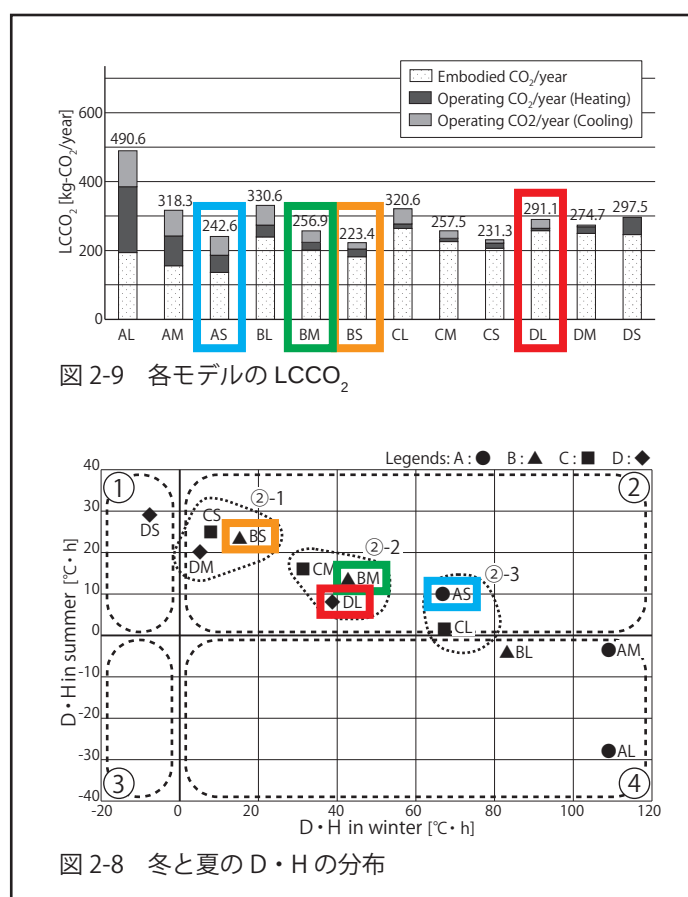


図 4-3 ダイレクトゲインにおける定型と代替

同様に、第3章、水平ルーバーを用いた日射制御においては、特に冷房負荷削減のための夏季の日射遮蔽が重要であり、開口部の室外側に外付とし中間期も考慮したフィン間隔とする方が、遮蔽効果が高いことが知られている。素材については外付とするために部材の耐候性等の面からアルミ製とすることが多い。また、冬季の日射取得、あるいは日常的な光環境の調整の面では季節、時間に応じて開閉できることが望ましいが、開閉を想定した外付ルーバーの既成品は多くない。これらより、水平ルーバーを用いた日射制御における定型として固定式のアルミ製外付けルーバーを位置付けることができる（図4-4）。



図4-4 日射制御ルーバーの定型の実践例^{注2)}

IS邸 設計：設計組織 ADH

写真：小泉アトリエ

本研究においては、第3章の検討モデルのうち、固定式のアルミ製外付ルーバーで春分・秋分の南中高度からルーバーのフィン間隔を設定した⑬A 外密 f のモデルが、定型に相当し、⑬A 外密 f の運用時環境負荷は全モデルの中で2番目に小さい(図4-5)。

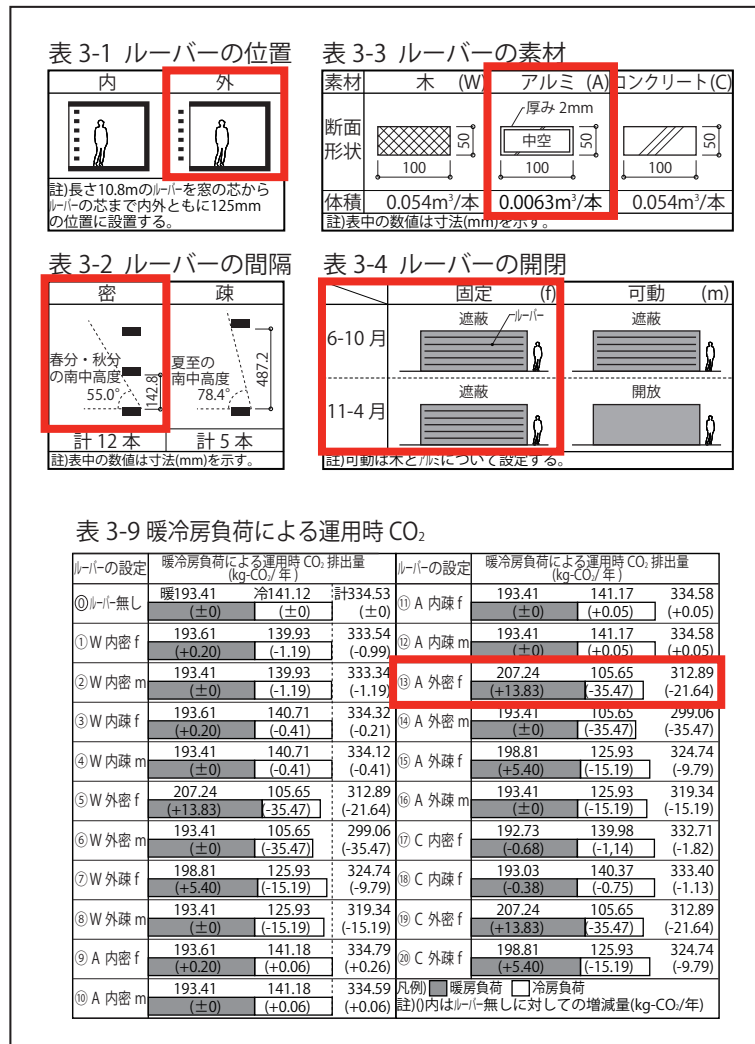


図 4-5 モデル⑬外密 f の設定と運用時環境負荷

対して、ライフサイクルにおける環境負荷をみると、木製外付ルーバーで可動式を想定した⑥W外密m、コンクリート製外付けルーバーで固定式を想定した⑬A外密fは、⑬A外密fよりもLCCO₂が小さく、夏季の光環境においても照度変化の小さい光環境が得られている。このことから、これらはライフサイクルを考慮した際の代替の手法と位置付けることができる（図4-6）。

表 3-11 ルーバーの設定と LCCO₂

ルーバーの設定	暖冷房負荷と建設時による LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)	ルーバーの設定	暖冷房負荷と建設時による LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
⑩ルーバー無し	334.53 (±0)	⑪A 内疎f	352.27 (+17.74)
①W 内密f	338.46 (+3.93)	⑫A 内疎m	352.27 (+17.74)
②W 内密m	338.26 (+3.73)	⑬A 外密f	376.52 (+42.04)
③W 内疎f	336.37 (+1.84)	⑭A 外密m	382.75 (+48.21)
④W 内疎m	336.17 (+1.64)	⑮A 外疎f	351.27 (+16.74)
⑤W 外密f	320.28 (-14.25)	⑯A 外疎m	345.87 (+11.34)
⑥W 外密m	306.45 (-28.08)	⑰C 内密f	334.84 (+0.31)
⑦W 外疎f	327.82 (-6.71)	⑱C 内疎f	334.29 (-0.24)
⑧W 外疎m	322.42 (-12.11)	⑲C 外密f	317.15 (-17.38)
⑨A 内密f	377.24 (+42.71)	⑳C 外疎f	328.52 (-8.01)
⑩A 内密m	377.04 (+42.51)		

凡例: 暖房負荷 □ 冷房負荷 ■ 建設時CO₂排出量
 註) 0内はルーバー無しに対する増減値(kg-CO₂/年)

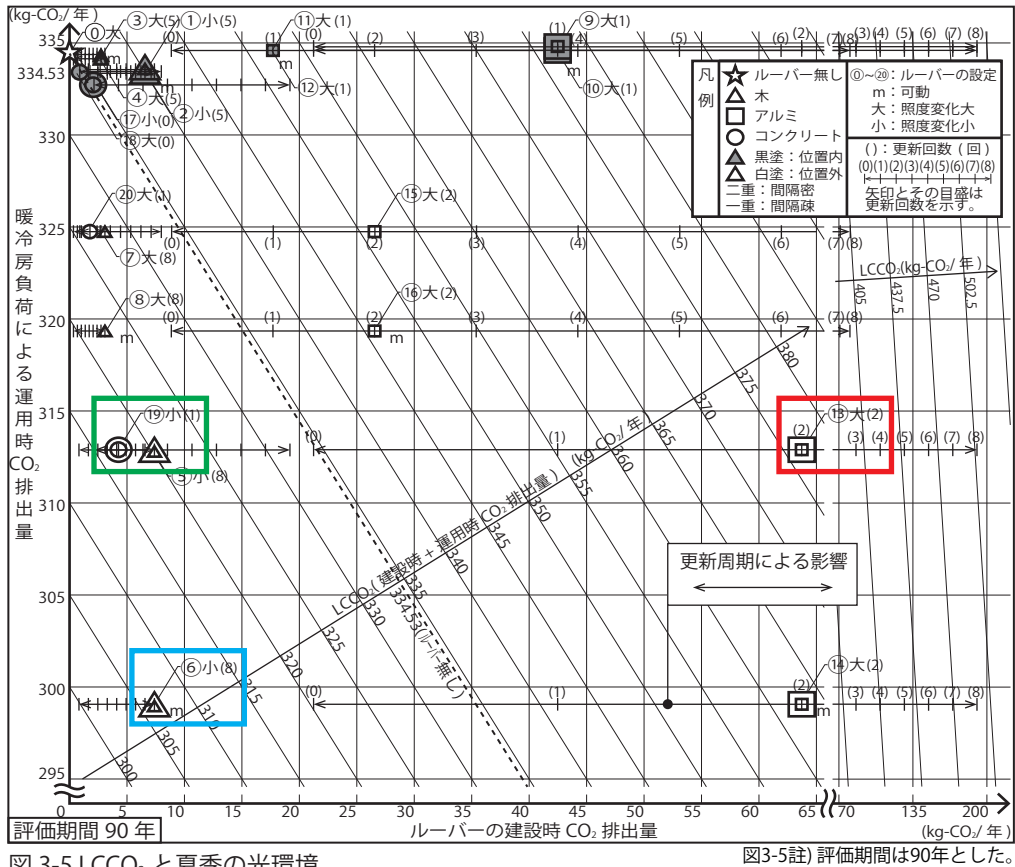


図 4-6 日射制御ルーバーにおける定型と代替

さらに、環境負荷のみに着目すると、第3章6節の検討により、木製、コンクリート製のルーバーはフィン間隔をより密にする程、 $LCCO_2$ が小さくなる結果を示していることから、これらを $LCCO_2$ が最小となる代替として位置付けることができる（図4-7）。

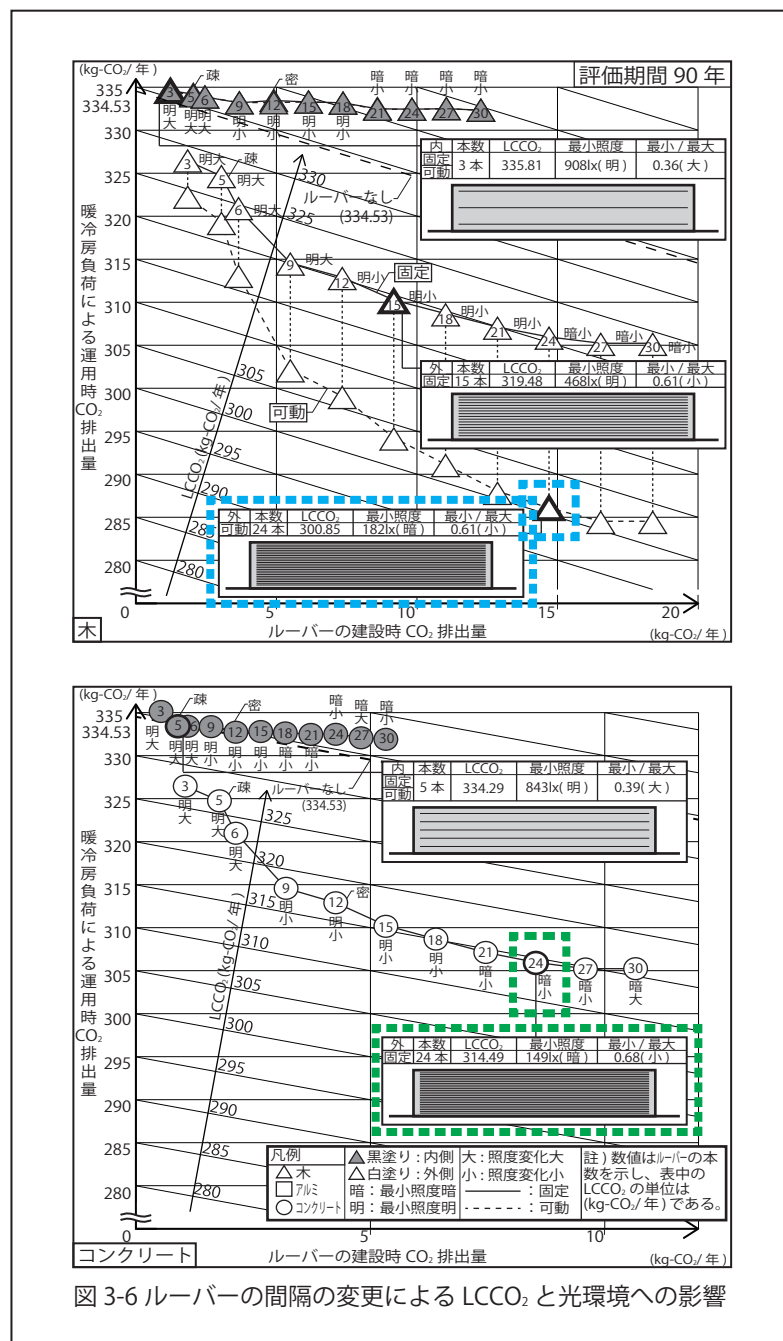


図 4-7 日射制御ルーバーにおける $LCCO_2$ が最小となる代替

これらの検討から、ダイレクトゲインと日射制御ルーバーについて計9つの定型と代替を位置付け、ダイレクトゲインについて、定型をD1、代替をD2～4、日射制御ルーバーにおける定型をL1、代替をL2、L3、L2'、L3'と表す（図4-8）。

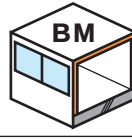
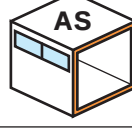
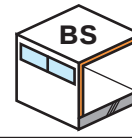
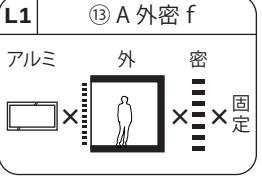
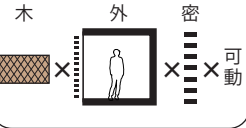
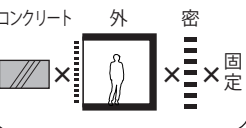
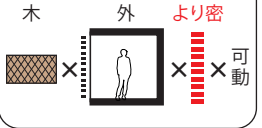
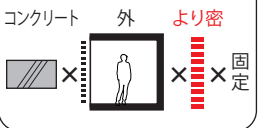
パッシブデザイン手法	定型	代替	
ダイレクトゲイン (D)	D1 蓄熱特大・開口大 	同等 D2 蓄熱中・開口中  D3 蓄熱小・開口小 	
		LCCO₂最小 D4 蓄熱中・開口小 	
日射制御ルーバー (L)	L1 ⑬ A 外密 f 	L2 ⑥ W 外密 m  L3 ⑲ C 外密 f 	
		L2' ⑥よりも間隔密  L3' ⑲よりも間隔密 	

図 4-8 パッシブデザイン手法の定型と代替

4.2.2 ライフサイクルを考慮した環境の総合性能に関わる要因

次に、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおける、環境の総合性能に関わる要因について検討する。

そこで、パッシブデザインの設計思想、手法について総合的にまとめたものとして、小玉らによる「自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典」を参照すると、小玉らは同著において「住まいの熱環境を決める要因」を図4-9のように示しており、その主要因として、「ライフスタイル」、「気候特性」、「建物性能」の3つが挙げられている。ここで強調されているのは特に建物性能における熱的性能であり、それらは主に運用時環境負荷に関わる要因といえる。一方、ライフサイクルを通じた検討においては、建物性能に関わる建材の素材の種類や物量の大きさは運用時環境負荷だけでなく建設時環境負荷にも影響を及ぼす。また、建物を構成する部材の耐用年数や更新周期も建設時環境負荷に大きく関わる。そこで小玉らの示す3つの要因を参照し、さらに「時間」を加えることで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおける環境の総合性能に関わる主要因として「人」、「場所」、「物」、「時間」の4つを設定する（図4-10）。

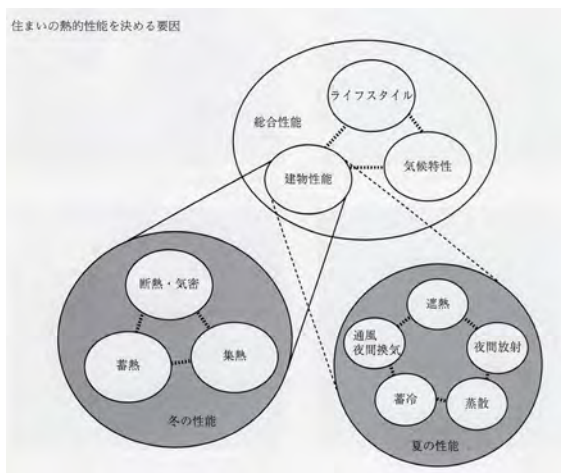


図 4-9 住まいの熱的性能を決める要因

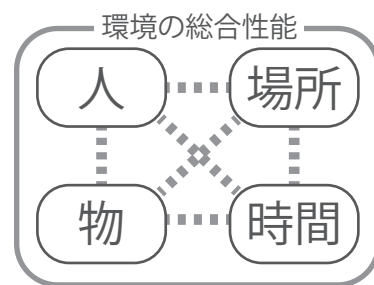


図 4-10
ライフサイクルを考慮した
環境の総合性能に関わる主要因

「人」の要因は、主に居住者に関わるものであり、居住者のライフスタイルによる生活スケジュールや環境調整行動などを指す。

「場所」の要因は、主に建設敷地に関わるものであり、日射、日照、気温などの気候特性に加え、建物の密集度合いといった立地特性などを指す。

「物」の要因は、主に建物もしくは部材の性能に関わるものであり、物理的な建物性能に影響する。主に「形」と「素材」の要因があり、さらに「形」は「躯体」と「開口」、「素材」は「材種」と「物量」から構成される。

「時間」の要因は、主に建物寿命に関わるものであり、建物の使用期間に加え、改修に関わる躯体や仕上げの更新周期などを含む。

上記をふまえ、第2章、第3章におけるモデルと環境シミュレーションの設定に基づき、4つの主要因に含まれる、より詳細な要因について位置付ける（図4-11）。本章ではこれらのライフサイクルを考慮した環境の総合性能に関わるよう要因を総称して「環境要因」と呼ぶものとする。

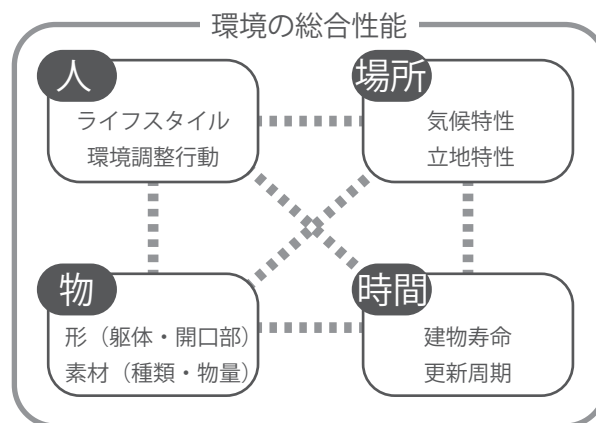


図 4-11 ライフサイクルを考慮した環境の総合性能に関わる要因

4.2.3 パッシブデザイン手法の定型・代替と環境要因

4.2.1 で位置付けたパッシブデザイン手法の定型・代替と 4.2.2 で示した環境要因の関係性について検討する。図 4-8 に示す各手法について、図 4-11 の要因ごとに前章までの検討内容との対応関係を示す（表 4-1）。

表 4-1 ライフサイクルを考慮したパッシブデザインの手法と環境要因

パッシブデザイン 手法 環境要因			ダイレクトゲイン				日射制御ルーバー						
			定型	代替			定型	代替					
				同等		LCCO2 最小		同等		LCCO2 最小			
				D1	D2	D3		D4	L1	L2	L3	L2'	L3'
				蓄熱特大 開口大	蓄熱中 開口中	蓄熱小 開口小		蓄熱中 開口小	アルミ 外付 密 固定	木 外付 密 可動	コンクリート 外付 密 固定	木 外付 より密 可動	コンクリート 外付 より密 固定
人	ライフスタイル	日中外出する生活スケジュール（間欠暖冷房）											
	環境調整行動	なし			ルーバー開閉 なし	ルーバー開閉 あり	ルーバー開閉 なし	ルーバー開閉 あり	ルーバー開閉 なし				
場所	気候特性	温暖地 日射量が多い地域											
	立地特性	遮蔽物の少ない郊外地											
物	形	躯体	東西に長く奥行きの浅い平面形状										
		開口部	掃出し窓	腰窓	頂側窓			室外側に設置、フィンの外形は共通					
	素材	種類	木／コンクリート／アルミ・ガラス				アルミ	木	コンクリート	木	コンクリート		
		物量	小／大／大	中／中／中	大／小／小	中／中／小		密		より密			
時間	建物寿命	評価期間 60 年					評価期間 90 年						
	更新周期	長	中	短	中	長	短	長	短	長			
更新周期をより長くすることで建設時環境負荷が低減される													

凡例： 定型と代替における特徴的な相違点及び共通点を示す。

表 4-1 より、各要因における定型と代替の差異について検討する。

まず、「人」の要因について、ライフスタイルは居住者特有の設計与件にあたる要素であり、本研究においては、一般的な日中外出する生活スケジュールを想定しており定型、代替を通じて共通である。一方で、日射制御ルーバーについて、定型である L1 では居住者の環境調整行動として季節に応じたルーバーの開閉を見込んでいないが、代替においては L2、L2 ‘というルーバーの開閉を見込んだ手法がみられ、居住者の環境調整行動が手法の広がりに関与しているといえる。

次に、「場所」の要因について、気候特性、立地特性は、建設敷地の決定に伴う設計与件にあたる要素であり、本研究においては東京の遮蔽物の少ない郊外地を設定しており、定型、代替を通じて共通である。一方で、ダイレクトゲインの代替である D3「蓄熱小・開口小」は、南面の天井近くに頂側窓を設けるモデルであり、例えば眺望や視線の制御の面で南面に大きな開口を設けにくい立地条件の場合にも適用できる。これは遮蔽物の少ない郊外だけでなく、従来、ダイレクトゲインの手法の適用に不向きと考えられてきた密集した市街地においても、モデルの設定や検討条件が維持できれば、定型と同等の環境の負荷と質が得られる可能性があることを示している。また同様に、日射制御ルーバーの代替である L3、コンクリート製ルーバーは、素材の耐久性が高く、雨掛りのある箇所への設置にも適することから、庇等を設けにくい密集した市街地においても適用できる可能性がある。すなわち「場所」の要因においては、定型に対して代替の存在がパッシブデザインの適用立地を広げる場合がある。

次に、「物」の要因について、素材の種類あるいは物量のバランスの違いが、すべての定型と代替において影響している。ダイレクトゲインにおいては素材の種類の主要素は共通しており、素材の物量のバランスが重要である。一方、日射制御ルーバーにおいてはアルミから木、コンクリートといったように、定型から素材を見直すことによって、ライフサイクル環境負荷がより小さい代替が生じている。このように「物」の要因においては、手法ごとに素材の及ぼす影響の特徴を捉える必要がある。

次に、「時間」の要因について、本研究では建物寿命についてはダイレクトゲイン、日射制御ルーバーの各々において共通の設定としている。また、更新周期については「物」の属性における素材の種類の違いに伴い、定型と代替で更新周期が異なっている。また、第 3 章 6 節の検討において、ルーバーの更新周期を長くすることによりライフサイクル環境負荷が小さくなることが示されており、中でも建設時環境負荷の大きいアルミ製ルーバーはその削減効果大きい。これは従来の運用時環境負荷に主眼をおいた定型的な手法についても、

「時間」の要因の見直しにより、ライフサイクル環境負荷の削減が可能であることを示している。

これらの検討から、パッシブデザイン手法の定型・代替と環境要因の関係性の特徴として、いずれの定型と代替についても、「物」の要素が関わることから、手法の広がりにおいて「物」の要因が主要な役割を果たし、それに加えて、手法の一部においては「人」や「時間」の要因が影響する場合があることが示された。さらに「場所」の要因については、異なる設計与件にも適用可能な代替的な手法の存在がみられ、それらはパッシブデザインの適用立地を広げるものと考えられる。

すなわち、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインの検討においては、その手法の適用あたって、建物や部材における素材の種類や物量バランスの検討に加え、それらの更新周期を延ばすための維持管理の工夫や居住者の環境調整行動を促す工夫について検討することで、手法の定型・代替という設計上の選択肢が生まれ、より柔軟で多様な設計解の模索につながると考えられる。

第3節 ライフサイクルにおけるトレードオフとパッシブデザイン手法

第2節で示したパッシブデザイン手法の定型・代替、及び、環境の総合性能に関わる要因について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面において生じるトレードオフの特徴から検討することで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおける手法間の相互関係について考察する。

4.3.1「建設時と運用時の環境負荷」におけるトレードオフ

まず、「建設時と運用時の環境負荷」という負荷同士のトレードオフについて検討する。ダイレクトゲインにおいては、日射熱取得のための開口の大きさと蓄熱容量の大きさの組合せによって、建設時と運用時の環境負荷のバランスが変化し、その負荷削減効果についてトレードオフが生じている。この時、開口の大きさと蓄熱容量の大きさの組合せによって手法のD1に対するD2、D3が生じるが、それらはライフサイクル環境負荷の点においては互換が可能な関係にあるといえる。一方で、ライフサイクル環境負荷が最小となる場合としてD4があり、D4においては負荷同士のトレードオフは生じていない。

日射制御ルーバーにおいては、ルーバーの素材によらず建設時環境負荷に比べ運用時環境負荷が大きい傾向にあるが、その中でも定型として位置付けたアルミ製外付ルーバー（L1）は、他の素材に比べアルミの建設時環境負荷が特に大きいために負荷同士のトレードオフが生じる。対して、主にルーバーの素材を変更した代替である木製（L2）、コンクリート製（L3）においては運用時、建設時双方での負荷削減を両立する結果を示しており、ここではトレードオフは生じない。この場合、ライフサイクルを通じた検討により、トレードオフの生じる定型に対し、そのトレードオフを解消する形の代替があることを示している。さらに、LCCO₂が最小となる場合として、L2、L3それぞれのフィン間隔をより密に設定した代替L2'、L3'があり、これらにおいても負荷同士のトレードオフは生じていない。

これら手法の定型と代替における負荷同士のトレードオフの有無を図4-12に示す。ここにおいて、ダイレクトゲインと日射制御ルーバーのいずれにおいても、その定型においてトレードオフが生じており、LCCO₂が最小となる代替においてはトレードオフが生じていない。

①「建設時と運用時の環境負荷」の局面におけるトレードオフ

パッシブデザイン手法	定型	代替	
ダイレクトゲイン (D)	D1 蓄熱特大・開口大 DL 運用(小) ↔ 建設(大) トレードオフあり	同等 D2 蓄熱中・開口中 BM 運用(中) ↔ 建設(中) トレードオフあり D3 蓄熱小・開口小 AS 運用(大) ↔ 建設(小) トレードオフあり LCCO₂最小 D4 蓄熱中・開口小 BS 運用(小)かつ建設(小) トレードオフなし	
日射制御ルーバー (L)	L1 ⑬ A 外密 f アルミ 外 密 × × × 固定 運用(小) ↔ 建設(大) トレードオフあり	L2 ⑥ W 外密 m 木 外 密 × × × 可動 運用(小)かつ建設(小) トレードオフなし L3 ⑲ C 外密 f コンクリート 外 密 × × × 固定 運用(小)かつ建設(小) トレードオフなし	
		L2' ⑥よりも間隔密 木 外 より密 × × × 可動 運用(小)かつ建設(小) トレードオフなし L3' ⑲よりも間隔密 コンクリート 外 より密 × × × 固定 運用(小)かつ建設(小) トレードオフなし	

凡例：環境負荷の大きさについては (大) (中) (小) で示す。

図 4-12 「建設時と運用時の環境負荷」のトレードオフとパッシブデザイン手法

4.3.2「環境の負荷と質」におけるトレードオフ

続いて「環境の負荷と質」において生じるトレードオフとパッシブデザイン手法の関係性について検討する。

ダイレクトゲインにおいては、第2章の検討よりD1～3いずれもライフサイクル環境負荷は中程度である。同様に、温熱環境について、いずれも第二章、図8の②の領域に含まれることから、温熱的には適当なバランスを有しているといえる。よってこれらはいずれも環境の負荷と質についてトレードオフの関係は生じていない。

これに対し、LCCO₂が最小となるD4においては、環境負荷の面では最小となるものの、環境の質の面では温熱環境が低温安定寄りとなり、環境の負荷削減と質の確保にトレードオフが生じている。すなわち、環境の質の面で、熱容量の大きさに対し日射取得量（開口の大きさ）が不足するD4に対し、トレードオフを解消する形で熱容量もしくは開口の大きさを調整したものがD2、D3と位置付けることができる（図4-13）。

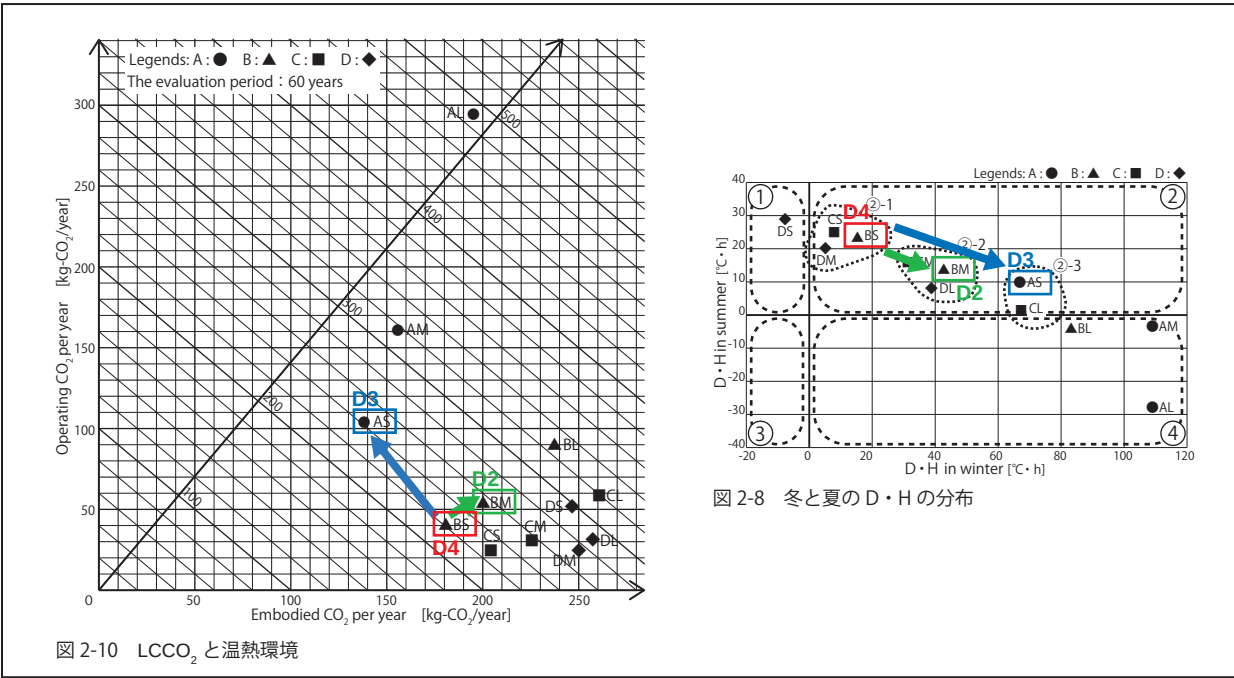


図 4-13 D4 と D2、D3 の関係

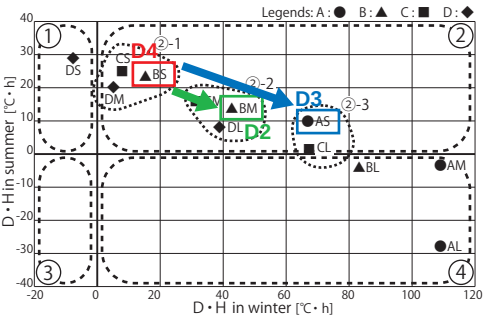


図 2-8 冬と夏の D・H の分布

日射制御ルーバーにおいて、定型であるL1は光環境について明るさを確保できているもののLCCO₂が大きく、負荷と質のトレードオフが生じている。これに対し、L2、L3はいずれも明るさの確保と負荷の削減を両立しており、定型に対してトレードオフを解消する形の代替があることを示している。

さらに、これらのL2、L3について、ルーバーのフィン間隔をさらに密にすることでLCCO₂が最小となる場合をL2'、L3'と位置付けたが、第3章の検討により、LCCO₂が最小となるフィン間隔においては、一定の明るさが確保できないことが示されており、ここでは環境の負荷と質にトレードオフが生じている。このときL2、L3に対し、フィン間隔をより密とするほどLCCO₂が小さくなる傾向があることから、LCCO₂がより小さく、かつ光環境の質を確保できる場合がそれぞれL2とL2'、L3とL3'の間にあり、実際の設計においてはその適当なバランスの模索が必要となるといえる（図4-14）。

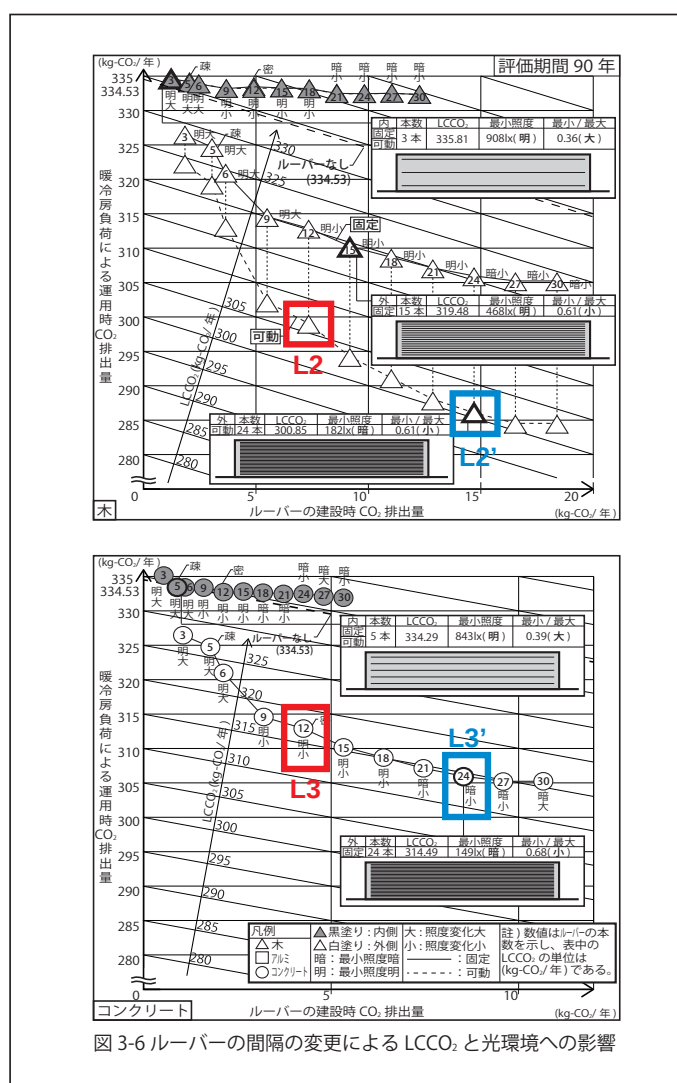


図 4-14 L2 と L2' 及び L3 と L3' の関係

これら手法の定型と代替における負荷と質のトレードオフの有無を図 4-15 に示す。ここにおいて、ダイレクトゲインと日射制御ルーバーのいずれにおいても、LCCO₂ が最小となる代替においてはトレードオフが生じている。

②「環境の負荷と質」の局面におけるトレードオフ

パッシブデザイン手法	定型	代替	
ダイレクトゲイン (D)	D1 蓄熱特大・開口大 DL LCCO₂ (中) かつ 温熱環境 (適) トレードオフなし	同等 D2 蓄熱中・開口中 BM LCCO₂ (中) かつ 温熱環境 (適) トレードオフなし	
		LCCO₂ 最小 D4 蓄熱中・開口小 BS LCCO₂ 最小 ↔ 温熱環境 (寒) トレードオフあり	
日射制御ルーバー (L)	L1 ⑬ A 外密 f アルミ 外 密 LCCO₂ (大) ↔ 光環境 (明) トレードオフあり	同等 L2 ⑥ W 外密 m 木 外 密 LCCO₂ (小) かつ 光環境 (明) トレードオフなし	
		LCCO₂ 最小 L2' ⑥ よりも間隔密 木 外 より密 LCCO₂ 最小 ↔ 光環境 (暗) トレードオフあり	
		L3 ⑲ C 外密 f コンクリート 外 密 LCCO₂ (小) かつ 光環境 (明) トレードオフなし	
		L3' ⑲ よりも間隔密 コンクリート 外 より密 LCCO₂ 最小 ↔ 光環境 (暗) トレードオフあり	

環境負荷の大きさについては (大) (中) (小) (最小) で示す。
 環境の質について、温熱環境は (暑) (適) (寒)、光環境は (明) (暗) で示す。

図 4-15 「環境の負荷と質」のトレードオフとパッシブデザイン手法

4.3.3 トレードオフの特徴からみたパッシブデザイン手法の相互関係

3.1、3.2より、ライフサイクルを考慮したパッシブ手法の定型と代替について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面で生じるトレードオフから検討すると、手法によってトレードオフが生じるものと生じないものがみられた。特に、 $LCCO_2$ が最小となる代替であるD4、L2'、L3'は「建設時環境負荷と運用時環境負荷」という負荷同士の関係においては、いずれもトレードオフが生じないが、「環境負荷と環境の質」という負荷だけでなく質も考慮した関係においては、いずれもトレードオフを生じており、ライフサイクル環境負荷の最小化と環境の質の確保が両立しない結果となった。

さらに、これら各手法におけるトレードオフの有無に着目すると、手法間の相互関係には以下の2つの異なる特徴を見出すことができる。

①互換：トレードオフの有無が共通する組合せ（ありとあり・なしとなし）

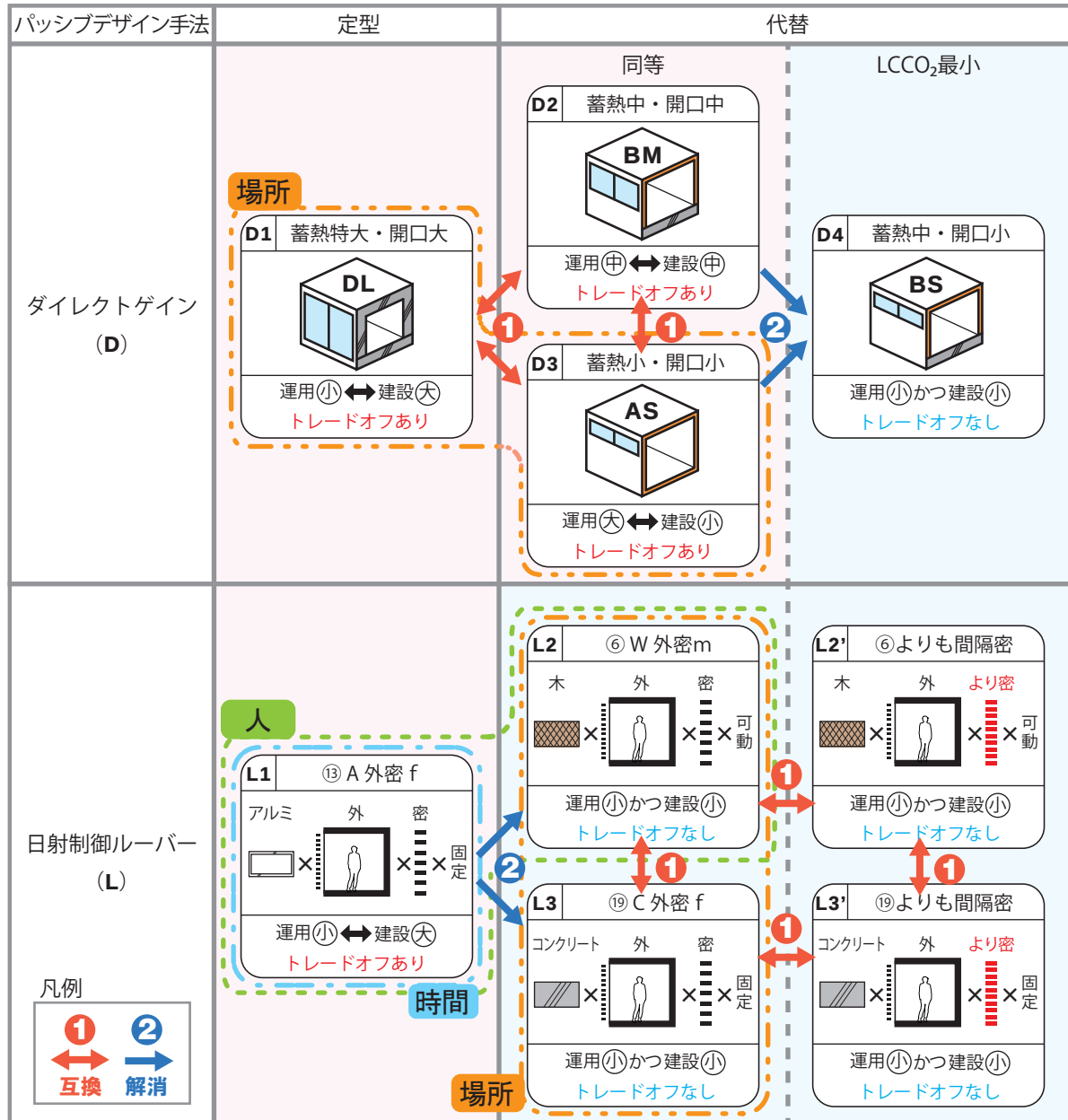
ダイレクトゲインの「建設時と運用時の環境負荷」において、定型と代替はいずれもトレードオフが生じ、 $LCCO_2$ の面では互換可能な関係にある。また、「環境の負荷と質」においては、定型と代替はいずれもトレードオフが生じず、負荷と質のいずれの面からも互換可能な関係にある。同様に、日射制御ルーバーにおいて、「建設時と運用時の環境負荷」の面では全ての代替同士が互換可能な関係にあり、かついずれもトレードオフが生じない。さらに、「環境の負荷と質」の面においては代替L2とL3、L2'とL3'が互換可能な関係にある。これよりトレードオフの有無が共通する場合において、手法の定型と代替、あるいは代替と代替は互換可能な関係にあるといえる。

②解消：トレードオフの有無がありからなしに変化する組合せ

ダイレクトゲインの「環境負荷と環境の質」において、 $LCCO_2$ が最小となるD4はトレードオフが生じるが、熱容量及び開口の大きさのいずれかの変更によって、トレードオフが生じないD2、D3へ調整可能である。また、日射制御ルーバーにおいて「建設時と運用時環境負荷」の面ではL1に、「環境の負荷と質」の面ではL1、L2'、L3'にトレードオフが生じているが、いずれも、それを解消する代替としてL2、L3が存在するという関係にある。

これらの①「互換」と②「解消」という手法間の相互関係と、さらに、2 節で検討した環境要因の関わりを図 4-12 及び図 4-15 上に図示して考察する（図 4-16、図 4-17）。

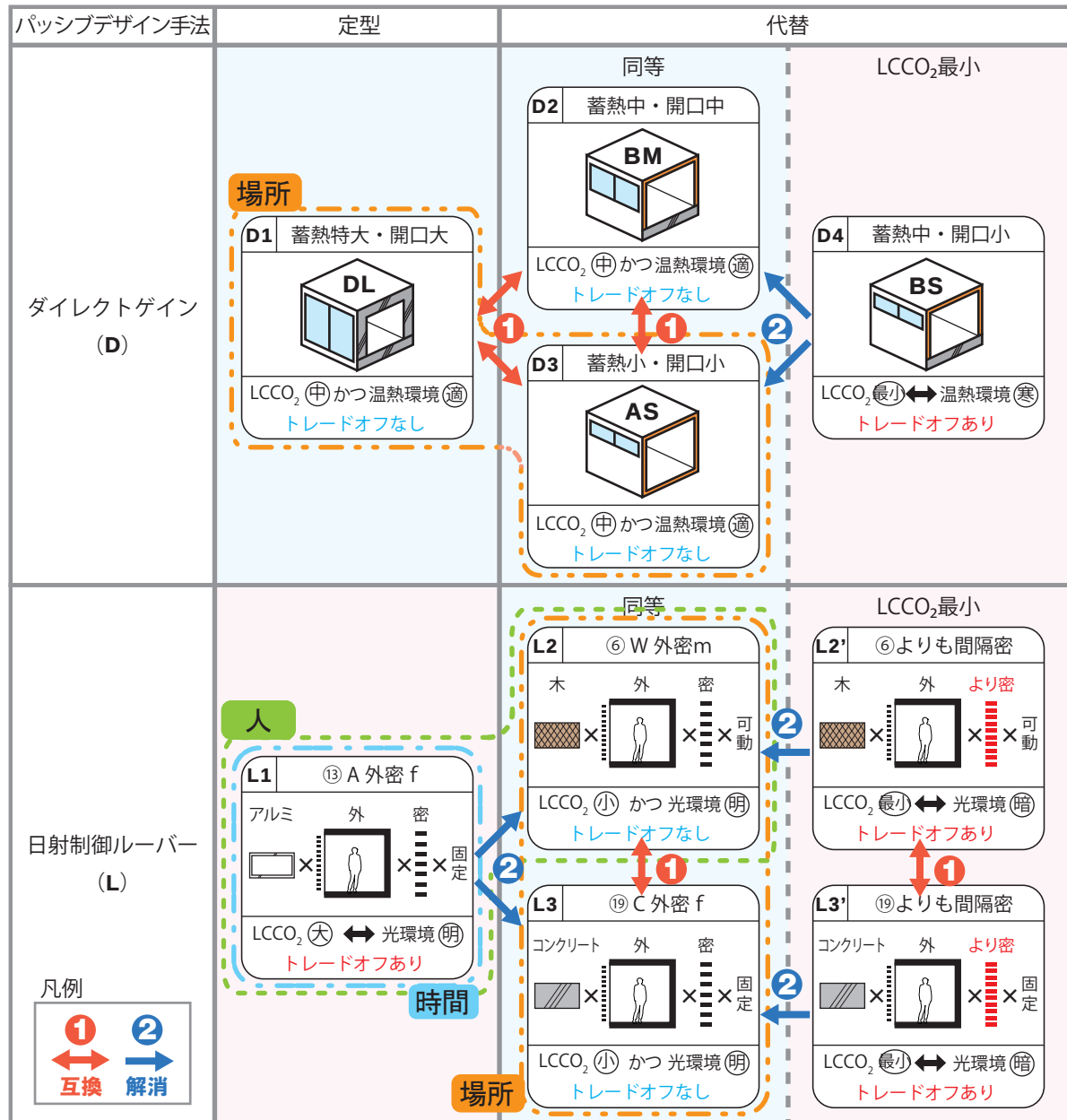
①「建設時と運用時の環境負荷」の局面におけるトレードオフ



凡例：環境負荷の大きさについては ① ② ③ で示す。

図 4-16 「建設時と運用時の環境負荷」のトレードオフと環境要因

②「環境の負荷と質」の局面におけるトレードオフ



環境負荷の大きさについては (大) (中) (小) (最小) で示す。

環境の質について、温熱環境は (暑) (適) (寒)、光環境は (明) (暗) で示す。

図 4-17 「環境の負荷と質」のトレードオフと環境要因

これらの図から、まず、「人」の要因について、いずれの局面においても日射制御ルーバーの手法L 1とL 2がトレードオフを解消する関係にあるが、これは、ルーバーの素材の材種の違いによる建設時負荷の低減に加え、可動式のルーバーを用いて季節に応じた開閉を行うことで、運用時環境負荷が低減されるためである。それはすなわち、「人」の要因における居住者の環境調整行動がトレードオフの解消に関与していることを示している。

次に、「場所」の要因について、いずれの局面においても、これらの手法の中にはD 1に対するD 3、L 2に対するL 3のように、遮蔽物の少ない郊外だけでなく密集した市街地のような立地特性においても適用可能な特徴を持つものが含まれており、前章までのモデルの設定や検討条件を維持できれば、それらは互換可能な関係にあるといえる。

次に、「物」の要因は、素材の種類や物量に関わるため、いずれの相互関係においても影響しているが、特に、ダイレクトゲインにおいては素材の物量の組合せにより互換の関係が生じており、日射制御ルーバーにおいては、素材の種類の変更によりトレードオフを解消する関係がみられるという異なる特徴がある。

次に、「時間」の要因について、日射制御ルーバーについて、第3章の検討より、いずれの手法においても、ルーバーの更新周期を長くすることでライフサイクル環境負荷が低減されることが示されており、特にL 1のように建設時環境負荷が大きい場合にはその効果がより大きく、トレードオフの解消につながると考えられる。

これらの検討から、ダイレクトゲインでは、定型と代替の手法について、環境の負荷同士、負荷と質のいずれにも互換の関係があるが、LCCO₂最小では温熱環境が低温安定寄りとなり環境の質が低下する関係にある。また、日射制御ルーバーでは、定型に対し代替が、環境の負荷同士、負荷と質のいずれもトレードオフを解消する関係にあるが、LCCO₂最小では明るさが確保できず、光環境の質が低下する関係にある、といった手法間の相互関係を明らかにした。さらに、環境要因との関わりから、定型・代替の手法の選択においては、ダイレクトゲインでは主に建物の立地といった場所の要因が、日射制御ルーバーでは可動性やメンテナンスといった人や時間の要因が関与するといった特徴を明らかにした。

第4節 小結

本章では、前章までの検討をふまえ、温暖地における住宅のパッシブデザインの手法について、ライフサイクルを考慮することで生じる手法の定型・代替と、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面で生じるトレードオフについて、それらの特徴と関係性について横断的な検討を行った。

第2節では、まず、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインの手法について、各章で用いた住空間モデルに基づき、ダイレクトゲインと日射遮蔽ルーバーそれぞれに定型となる手法を位置付け、さらにライフサイクル環境負荷と環境の質において定型と同等以上となる手法とライフサイクル環境負荷が最小となる手法をその代替として位置付けた。次に、ライフサイクルを考慮した環境の総合性能に関わる要因を、「人」、「場所」、「物」、「時間」に分類し、「環境要因」として設定した。さらに、それら手法の定型・代替と環境要因の関係性について考察することで、手法の定型・代替の選択において「物」の要因が主要な役割を果たし、それに加えて、手法の一部においては「人」や「時間」の要因が影響する場合があること、さらに「場所」の要因については、異なる設計与件にも適用可能な代替的な手法がみられること、といった特徴を明らかにした。

第3節では、第2節で位置付けたパッシブデザイン手法の定型・代替及び環境要因について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面におけるトレードオフの特徴から検討した。各手法におけるトレードオフに着目すると、手法によってトレードオフが生じるものと生じないものがみられ、特に、 $LCCO_2$ が最小となる代替であるD4、L2'、L3'は「建設時と運用時の環境負荷」において、いずれもトレードオフが生じないが、「環境の負荷と質」においては、いずれもトレードオフを生じており、ライフサイクル環境負荷の最小化と環境の質の確保が両立しない結果を示した。

さらに、手法間の相互関係について、手法におけるトレードオフの有無の組合せに着目し、有無が共通する組合せによる「互換」と、トレードオフの有無が異なる組合せにおける「解消」という2つの異なる特徴を見出し、ダイレクトゲインでは定型と同等に互換の関係が顕著であるのに対し、日射制御ルーバーでは同等がトレードオフを解消する手法として位置付けられ、またいずれの手法でも $LCCO_2$ が最小となる場合、温熱や明るさの質が必ずしも最良とはならないことを示した。加えて、手法間の相互関係と環境要因の関わりから、各手法の定型と同等のオルタナティブの検討には、ダイレクトゲインでは「場所」が、日射制御ルーバーでは「人」と「時間」が設計上の主要な要因となりうることを示した。

以上より、本章では、温暖地における住宅のパッシブデザインの手法について、ライフサイクルを考慮した場合に生じる2つの局面におけるトレードオフから、その手法の定型と代替における手法間の相互関係を示すことで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおけるトレードオフの特徴の一端を明らかにした。

第4章 注

注1) つくばの家Ⅰ 1984年 / 茨城県つくば市 設計：小玉祐一郎 / エステック計画研究所

日本におけるパッシブデザイン実践の先駆けである建築家小玉祐一郎の設計による自邸である。南面を全面開口とし、コンクリート造の外断熱により熱容量を活かす計画となっている。直射光が差し込む1階床面には蓄熱のための煉瓦タイルを用い、建物南側には夏季の日射遮蔽を意図した植栽が植えるなど、日射の取得と遮蔽の双方から工夫がなされている。(住宅建築 2007年5月号¹⁾ 掲載)

注2) IS邸 2003年 / 北海道札幌市 設計：設計組織 ADH

建物南側に設けられた縁側状の空間に面して外付け固定式のアルミルーバーが設置されている。ルーバーは夏の日差しを遮蔽し、冬の日射を取得する間隔、角度で設置されており、縁側と併せて寒冷地における環境的なバッファの役割を果たしている。(環境のイエ²⁾ 掲載)

第4章 参考文献

1) 建築思想研究所：住宅建築 2007年5月号 第385号，建築資料研究社，2007.5

2) 小泉雅生：環境のイエ フィジックスと住空間デザイン，学芸出版社，2010.11

第 5 章 結論

本章では、各章で示した論旨を総括し、本論文の結論とする。

本研究は、温暖地のパッシブソーラー住宅におけるパッシブデザインの手法を対象に、素材や構法の差異を適用した住空間モデルを用いたシミュレーションにより $LCCO_2$ と温熱・光環境の比較検討を行い、ライフサイクルを考慮した環境の負荷と質にみられるトレードオフの特徴を明らかにしたものである。

第1章「序論」では研究の背景と意義、目的、研究の方法と用語、従来の研究との関係、論文の構成について述べた。日本の住宅設計における環境配慮の取組みについて、これまで主に建物運用時の環境負荷削減を中心として進められてきたが、近年では建設時環境負荷の増加もあり、ライフサイクルを考慮した環境配慮の重要性が高まっていることを述べた。さらに室内環境の制御手法であるパッシブデザインについて、環境の「負荷」と「質」の双方に関わるその総合性について述べると共に、手法の標準化に伴う設計の画一化の懸念について述べた。それらの背景をふまえ、特に温暖地におけるパッシブデザインの手法を対象に、ライフサイクルという長い時間軸で捉えることで生じる「建設時と運用時の環境負荷」及び「環境の負荷と質」という2つの局面でのトレードオフの特性を検証し、住宅のパッシブデザイン手法の相対的な特徴を明らかにするという、本研究の目的と意義を述べた。さらに本研究の方法と用語について示し、本研究と関連する既往研究との比較を通じて本研究の独自性と意義について述べた。

続けて、第2章では日射熱利用に関わる手法としてダイレクトゲインを、第3章では昼光利用に関わる手法として日射制御ルーバーに着目し検討した。さらに第4章ではそれらの検討結果をふまえ、横断的に考察した。

第2章「ダイレクトゲイン型住空間モデルにおけるライフサイクル CO_2 と温熱環境の関係」では、温暖地における住宅のパッシブデザインの日射熱利用に関わる代表的な手法の一つであるダイレクトゲインについて、ライフサイクル環境負荷と環境の質の観点から検討した。まず日射熱利用を意図したダイレクトゲイン型住空間モデルを設定し、蓄熱容量と開口部の組合せに応じて、新築及び改修の際の建設時 CO_2 排出量を算出した。次に環境シミュレーションを用いて、暖冷房負荷による運用時 CO_2 排出量を算出し、さらに室温変動からみた冬と夏の温熱環境について検討した。その結果、ダイレクトゲインの手法における、 $LCCO_2$ にお

ける建設時と運用時の環境負荷の関係、さらに $LCCO_2$ と温熱環境の関係について以下のような特徴があることを明らかにした。

- ・建設時環境負荷について、蓄熱部位としてのコンクリート量の増加に伴い建設時 CO_2 排出量が大きくなる傾向があるが、更新周期によっては木造部を含むモデルの方が建設時 CO_2 排出量が大きくなる場合がある
- ・運用時環境負荷について、総じて蓄熱容量の増加に伴い運用時 CO_2 排出量は小さくなる傾向がみられるが、熱容量に対し開口部が小さいために日射取得量が不足すると運用時 CO_2 排出量が大きくなる場合がある。同様に温熱環境についても、総じて蓄熱容量の増加に伴い室温の変動幅が小さくなる傾向がみられるが、日射取得量が不足すると低温安定の温熱環境となる場合がある。
- ・ $LCCO_2$ について、蓄熱容量が小～大のモデルにおいては、熱容量の増加に伴い建設時 CO_2 排出量が大きくなり、運用時 CO_2 排出量が小さくなる傾向がみられ、建設時と運用時の環境負荷にトレードオフが生じる。
- ・ $LCCO_2$ と温熱環境について、 $LCCO_2$ が最小となるモデルは、冬の $D \cdot H$ が小さく環境の負荷と質にトレードオフが生じる。
- ・ $LCCO_2$ と温熱環境について、蓄熱容量が過大であると $LCCO_2$ と温熱環境のいずれにおいても不利となる場合がある。
- ・木造を主とし小さな窓を設けた軽量・閉鎖系のモデルと RC 造を主とし大きな窓を設けた重量・開放系のモデルがライフサイクル環境負荷と温熱環境において近い性状を示す場合がある。

これらの木造と RC 造、大開口と小開口といった一般的な構法や形式の選択における、環境の負荷と質のトレードオフやオルタナティブの関係を示すことは、ダイレクトゲインの手法の適用において、設計上の有効な知見を与えるものとする。

第3章「日射制御ルーバーを用いた住空間モデルにおけるライフサイクル CO_2 と光環境の関係」では、前章に続き、温暖地における住宅のパッシブデザインの日射熱利用に関わる代表的な手法の一つである水平ルーバーを用いた日射制御について、ライフサイクル環境負荷と環境の質の観点から検討した。まず日射取得のための大開口のある住空間モデルとその開口における日射を制御するルーバーの構成について設定し、それに基づき、ルーバーを新築及び改修する際の建設時 CO_2 排出量を算出した。さらに温熱環境シミュレーションを用いて、

暖冷房負荷による運用時のCO₂排出量を算出すると同時に、室温変動からみた夏と冬の温熱環境について検討した。その結果、日射制御ルーバーの手法における、LCCO₂における建設時と運用時の環境負荷の関係、さらにLCCO₂と温熱環境の関係について以下のような特徴があることを明らかにした。

- ・建設時環境負荷について、素材のCO₂排出量原単位が大きいアルミのルーバーの建設時環境負荷が特に大きい。コンクリートもCO₂排出量原単位が大きい素材であるが、更新周期が長いために木よりも小さな値を示した。
- ・運用時環境負荷について、いずれの素材でも内付よりも外付のルーバーの環境負荷が小さく、木とアルミでは、季節に応じたルーバーの開閉により環境負荷がさらに小さくなる。
- ・光環境について、本研究におけるルーバーの設定ではいずれも十分な照度が確保されており、素材や間隔の設定によって照度変化の大小が異なる結果となった。
- ・LCCO₂について、素材がアルミの場合は、いずれもルーバー無しよりもLCCO₂が大きく、建設時環境負荷と運用時環境負荷にトレードオフが生じる。木とコンクリートの場合は、ルーバー無しよりもLCCO₂が小さくなる場合があり、木の外・密・可動が最も小さい。
- ・LCCO₂について、アルミのルーバーについても、外付とし更新周期を長くするほどLCCO₂削減効果が高い。
- ・LCCO₂と光環境について、ルーバー無しよりもLCCO₂が小さくなるのは主に木とコンクリートの外付であり、特にフィンの間隔がより密の場合にLCCO₂の削減効果が高く照度変化も小さくなるが、フィンの間隔が過度に密になるとLCCO₂の削減と照度の確保が両立せず、環境の負荷と質のトレードオフが生じる。

このようなルーバーの素材や配置、フィンの間隔などの選択における、環境の負荷と質のトレードオフやオルタナティブの関係を示すことは、日射制御ルーバーの手法の適用において、設計上の有効な知見を与えるものとする。

第4章「ライフサイクルを考慮したパッシブデザインのトレードオフ」では、第2章、第3章の検討結果をもとに、ライフサイクルという長い時間軸で捉えた場合の住宅のパッシブデザインについて、定型と代替という手法、及び環境の総合性能に関わる要因を挙げ、これらの相互関係について、「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」の2つの局面におけるトレードオフの特徴から検討した。まず、前章までに検討したダイレクトゲインと日射制御ルーバーというパッシブデザイン手法について、運用時に主眼を置いた場合の定型的

な手法とライフサイクルを考慮した場合の代替的な手法を、各々の住空間モデルの設定を基に位置付けた。次に、ライフサイクルを考慮した場合の住宅における環境の総合性能に関わる要因として「人」、「場所」、「物」、「時間」を提示し、パッシブデザイン手法の定型・代替と、これらの環境要因の関係性について検討した。さらに、2つの局面におけるトレードオフの特徴に着目し、手法間の相互関係について考察することで、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインのトレードオフについて以下のような特徴があることを明らかにした。

- ・ 定型と代替の各手法について、 $LCCO_2$ が最小となる代替の手法はいずれも、建設時と運用時の環境負荷におけるトレードオフは生じないが、環境の負荷と質についてのトレードオフが生じ、ライフサイクル環境負荷の最小化と環境の質の確保が両立しないという結果を示した。
- ・ 定型と代替の手法間の相互関係について、トレードオフの有無の組合せに着目し、トレードオフの有無が共通する組合せによる「互換」と、トレードオフ有から無へ変化する「解消」の2つの異なる特徴がみられる。
- ・ トレードオフの有無と環境要因の関係性について、「互換」と「解消」のいずれの相互関係においても「物」の要因による影響が主であるが、特に「解消」の関係においては「人」や「時間」の要因が影響する場合がある。また「互換」の関係においては立地特性のような「場所」の要因に関わる手法の互換関係がみられる。

このように、ライフサイクルを考慮したパッシブデザインにおけるトレードオフに着目し、定型・代替という手法間の関係を見出し、それらの相互的な特性を位置付けることは、パッシブデザインの視座を広げ、設計上の多様な選択肢を生む知見につながると考えられる。

以上より、温暖地における住宅のパッシブデザインの代表的な手法としてダイレクトゲインによる日射熱利用と水平ルーバーを用いた日射制御を取り上げ、ライフサイクルを考慮することで生じる「建設時と運用時の環境負荷」、「環境の負荷と質」という2つの局面でのトレードオフについてその特徴を明らかにした。さらに、各手法の定型と代替についてトレードオフに着目することで「互換」と「解消」という、手法間の相互関係の特徴を位置付けた。ダイレクトゲインでは定型と同等に互換の関係が顕著であるのに対し、日射制御ルーバーでは同等がトレードオフを解消する手法として位置付けられ、またいずれの手法でも $LCCO_2$ が最小となる場合、温熱や明るさの質が必ずしも最良とはならないことを示した。そして、各手法の定型と同等のオルタナティブの検討には、ダイレクトゲインでは場所が、日射制御ル

ーバーでは人と時間が設計上の主要な要因となりうることを示した。

以上より、現代日本の住宅設計におけるパッシブデザインの展開の可能性として、 $LCCO_2$ と温熱・光環境の相互関係にみられる特徴を示した。これら本研究で得られた成果は、ライフサイクルを考慮した住宅のパッシブデザイン手法の相対的な特徴を示すものであり、従来の運用時環境負荷のみに主眼を置いた環境配慮のあり方から、ライフサイクルを通じたより包括的で、柔軟な環境配慮のあり方へとつながる有用な知見を与えるものとする。

関連論文目録

関係論文目録

<本論に関係する査読論文>

- *ダイレクトゲイン型住空間モデルにおける $LCCO_2$ と温熱環境の関係

唐木研介, 村田涼

日本建築学会計画系論文集, 第 85 巻, 第 776 号, pp. 2065-2074, 2020. 10

(第 2 章に対応)

- *日射制御ルーバーを用いた住空間モデルにおける $LCCO_2$ と光環境の関係

唐木研介, 飯塚麻人, 村田涼, 安田幸一

日本建築学会計画系論文集, 第 81 巻, 第 730 号, pp. 2653-2660, 2016. 12

(第 3 章に対応)

<本論に関係する国際会議口頭発表論文>

- * Life Cycle Carbon Minus House

Kensuke Toki, Tsuyoshi Seike, Masao Koizumi, Ryo Murata

Zero Carbon Buildings 2014 Birmingham

Proceedings of a conference held at Birmingham City University, pp. 15-22, 2014. 9

- * Characteristics of design process in Life Cycle Carbon Minus House

Toki Kensuke, Murata Ryo, Koizumi Masao, Kadowaki Kozo

World Sustainable Building 14 Barcelona

Proceedings of international conference WORLD SB14 Barcelona Spain, pp. 8-14, 2014. 10

<本論に関係する口頭発表論文>

- *水平ルーバーを用いた住空間モデルにおける日射制御と $LCCO_2$ の関係 (1)

唐木研介, 飯塚麻人, 安田幸一, 村田涼, 川島範久, 内藤誠人, 藤原紀沙

日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp. 1089-1090, 2015. 9

- *水平ルーバーを用いた住空間モデルにおける日射制御と $LCCO_2$ の関係 (2)

飯塚麻人, 唐木研介, 安田幸一, 村田涼, 川島範久, 内藤誠人, 藤原紀沙

日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp. 1091-1092, 2015. 9

* 木造住宅における基礎形式と LCCO₂ の関係

藤原紀沙, 唐木研介, 寺本裕

日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp. 951-952, 2017. 8

* LCCM 住宅デモンストレーション棟

小泉雅生, 村田涼, 金子尚志, 唐木研介

日本建築学会大会建築デザイン発表梗概集 (東海), pp. 102-103, 2012. 9

<その他の口頭発表論文>

* 現代日本の海に臨む別荘における眺望と通風からみた開放性 (1)

藤原紀沙, 佐藤芙紀, 安田幸一, 村田涼, 川島範久, 内藤誠人, 平輝, 唐木研介

日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp. 433-434, 2015. 9

* 現代日本の海に臨む別荘における眺望と通風からみた開放性 (2)

佐藤芙紀, 藤原紀沙, 安田幸一, 村田涼, 川島範久, 内藤誠人, 平輝, 唐木研介

日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp. 435-436, 2015. 9

資料編

- ・ 第 2 章（住空間モデル 12 種類）
- ・ 第 3 章（ルーバーの構成 20 種類）

下図の12種類の住空間モデルについて、各モデルごとに各節の検討内容をまとめる。

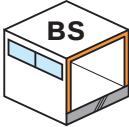
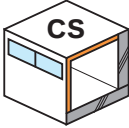
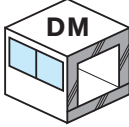
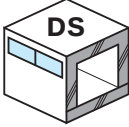
		開口部		
		大 (L)	中 (M)	小 (S)
熱容量	小 (A)	AL  蓄熱小・開口大	AM  蓄熱小・開口中	AS  蓄熱小・開口小
	中 (B)	BL  蓄熱中・開口大	BM  蓄熱中・開口中	BS  蓄熱中・開口小
	大 (C)	CL  蓄熱大・開口大	CM  蓄熱大・開口中	CS  蓄熱大・開口小
	特大 (D)	DL  蓄熱特大・開口大	DM  蓄熱特大・開口中	DS  蓄熱特大・開口小

図 第2章 12種類の住空間モデル

AL「蓄熱小・開口大」

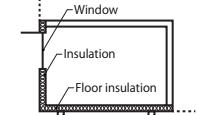
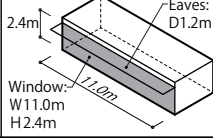
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境		
	熱容量	開口部	194.7	[°C・h]	冬	夏
	A 小 (布基礎)	L 大	単位: Kg-CO ₂ /年	D・H	109.05	-27.79
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量	pD・H	136.14	27.64
			暖房	nD・H	-27.09	-55.43
			冷房	6 節 LCCO ₂	490.6	
			暖冷房	単位: Kg-CO ₂ /年	単位: Kg-CO ₂ /年	

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW①L	EW③					
CO ₂ 排出量 (新築)	3058.1	580.2	254.8	491.4	2913.5	11682.5	194.7
CO ₂ 排出量 (更新)	3058.1	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60年)	6116.2	1160.4	509.6	982.8	2913.5		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	634	596	416	28		0	0	0	0	0	71	336	2081	191.5
冷房負荷	0	0	0	0		0	0	944	0	0	0	0	944	104.4
暖冷房負荷	634	596	416	28		0	0	944	0	0	71	336	3025	295.9

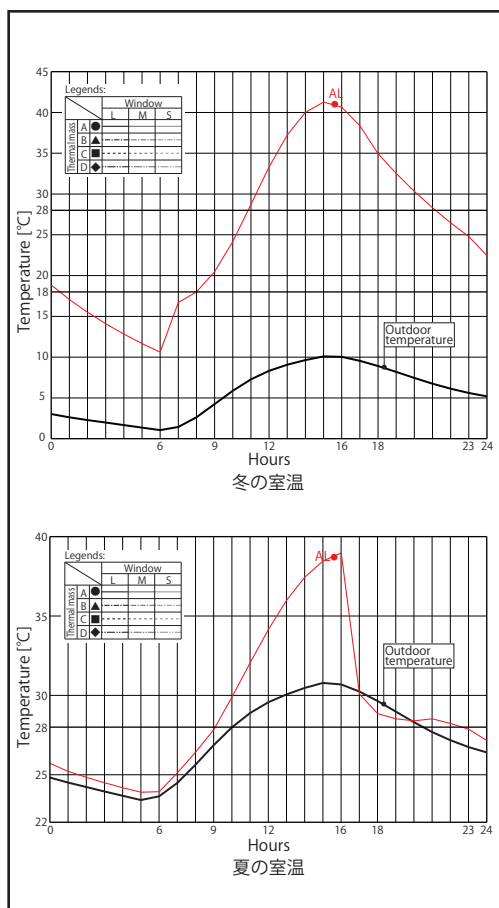


図 5 節 冬と夏の室温

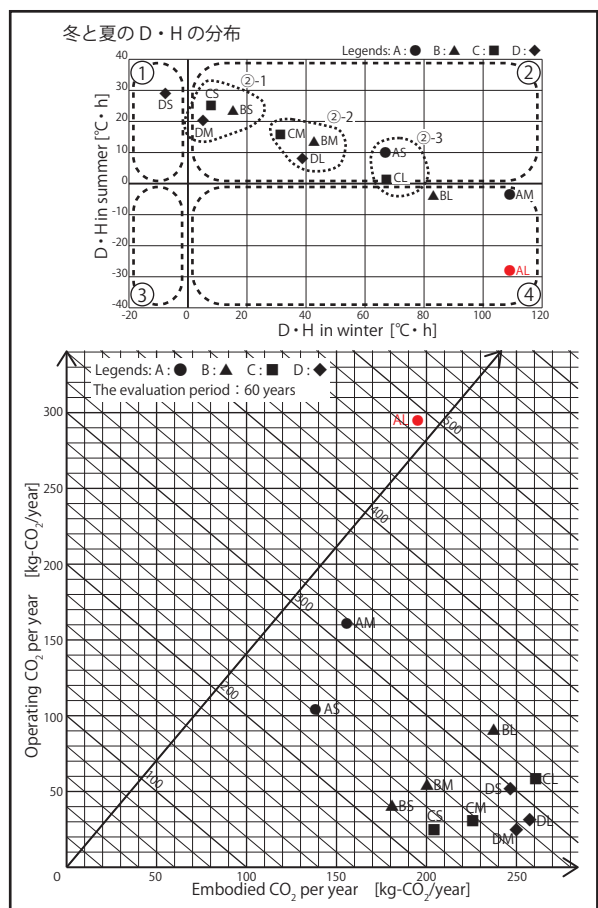


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

AM「蓄熱小・開口中」

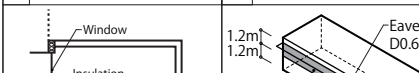
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量		157.1		[℃・h]	冬	夏
	A 小 (布基礎)		単位: Kg-CO ₂ / 年		D・H	109.23	-3.44
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	122.02	28.21
			暖房	86.7	nD・H	-12.79	-31.65
			冷房	74.5	6 節 LCCO ₂		
			暖冷房	161.2	318.3		
			単位: Kg-CO ₂ / 年		単位: Kg-CO ₂ / 年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW①M	EW③		CE①	FL①		
CO ₂ 排出量 (新築)		1930.3	580.2	254.8	491.4	2913.5	9426.9	157.1
CO ₂ 排出量 (更新)		1930.3	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60年)		3860.6	1160.4	509.6	982.8	2913.5		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	309	352	188	0	0	0	0	0	0	0	0	121	942	86.7
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	673	0	0	0	0	0	673	74.5
暖冷房負荷	309	352	188	0	0	0	673	0	0	0	0	121	1615	161.2

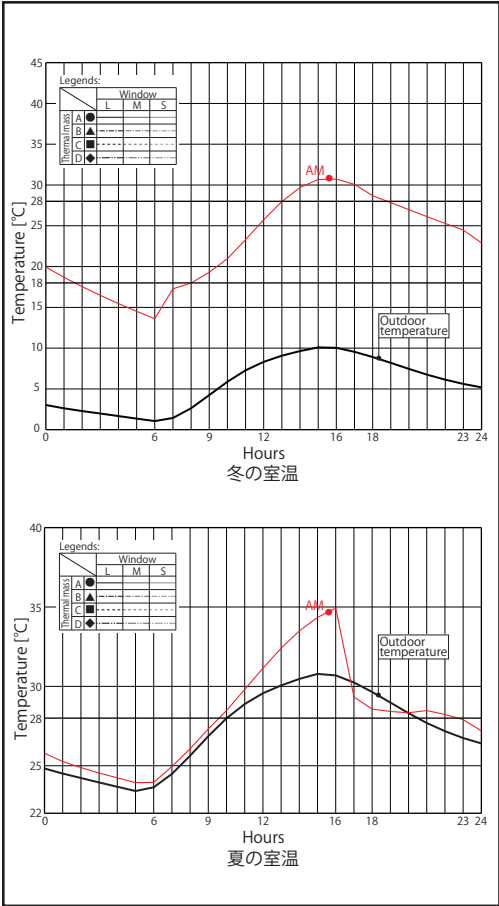


図 5 節 冬と夏の室温

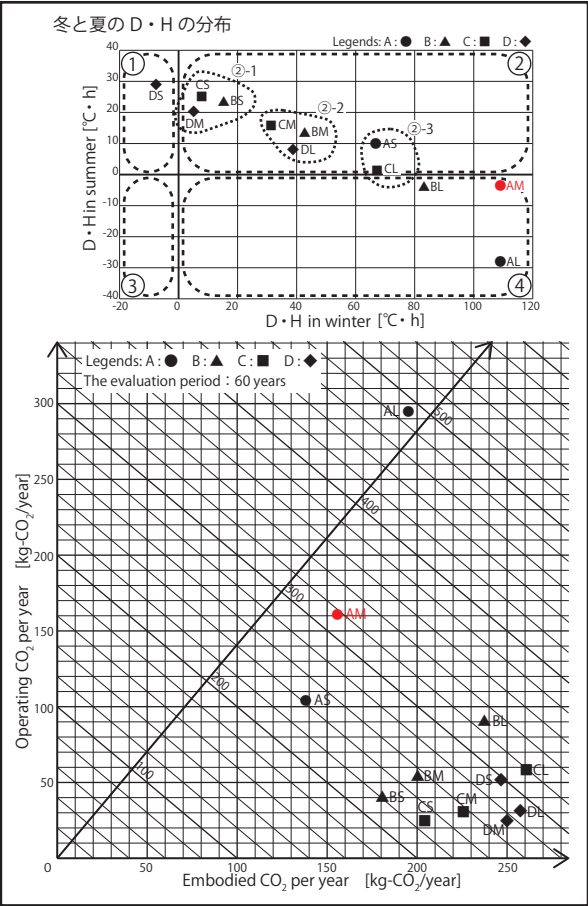


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

AS「蓄熱小・開口小」

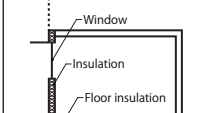
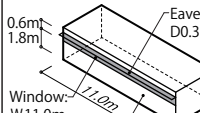
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	138.3		[°C・h]	冬	夏
	A 小 (布基礎)	S 小	単位: Kg-CO ₂ / 年		D・H	66.75	10.09
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	75.78	28.92
			暖房	49.8	nD・H	-9.04	-18.83
			冷房	54.5	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			104.3	242.6			
			単位: Kg-CO ₂ / 年		単位: Kg-CO ₂ / 年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW①S	EW③					
CO ₂ 排出量 (新築)	1366.4	580.2	254.8	491.4	2913.5	8299.1	138.3
CO ₂ 排出量 (更新)	1366.4	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60年)	2732.8	1160.4	509.6	982.8	2913.5		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷 (MJ)	195	212	93	0	0	0	0	0	0	0	0	40	541	49.8
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	493	0	0	0	0	493	54.5
暖冷房負荷	195	212	93	0	0	0	0	493	0	0	0	40	1034	104.3

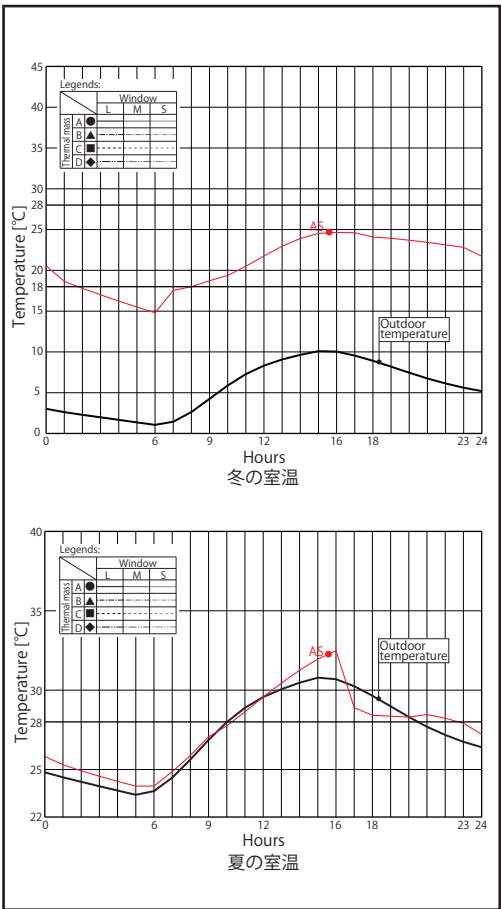


図 5 節 冬と夏の室温

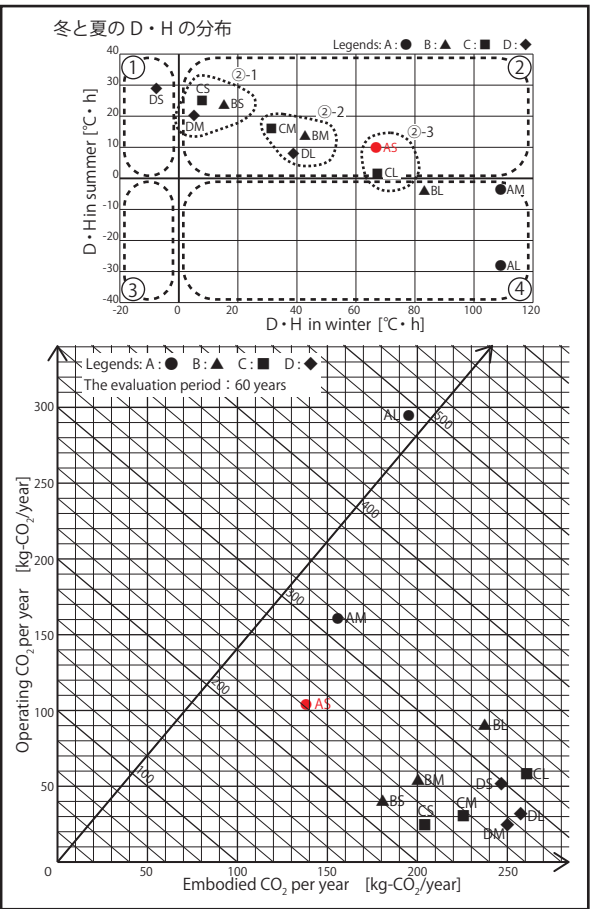


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

BL「蓄熱中・開口大」

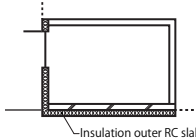
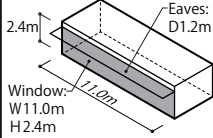
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	238.8		[℃・h]	冬	夏
	B 中 (土間基礎)	L 大	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	83.10	-4.22
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	94.76	22.90
			暖房	34.5	nD・H	-11.67	-27.12
			冷房	57.3	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			91.8	330.6			
			単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW①L	EW③		CE①	FL②		
CO ₂ 排出量 (新築)		3058.1	580.2	254.8	491.4	5558.4	14327.4	238.8
CO ₂ 排出量 (更新)		3058.1	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60年)		6116.2	1160.4	509.6	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	93	156	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	375	34.5
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	518	0	0	0	0	518	57.3
暖冷房負荷	93	156	127	0	0	0	0	518	0	0	0	0	893	91.8

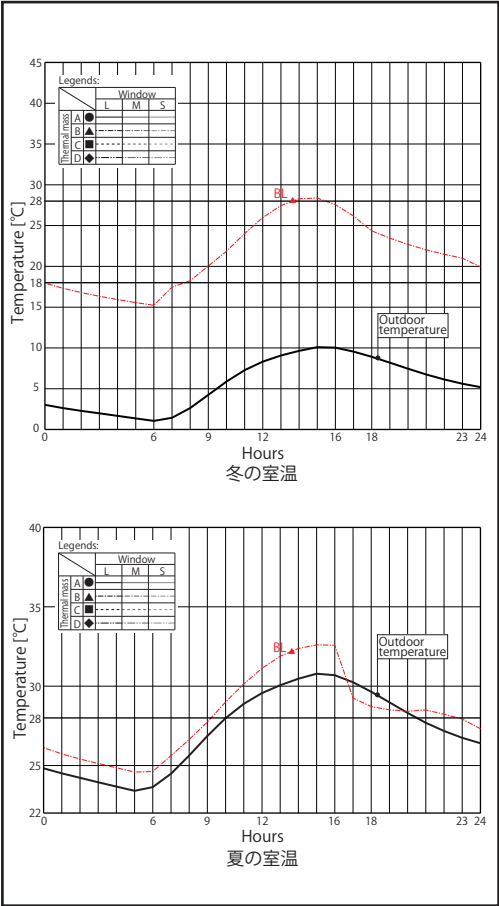


図 5 節 冬と夏の室温

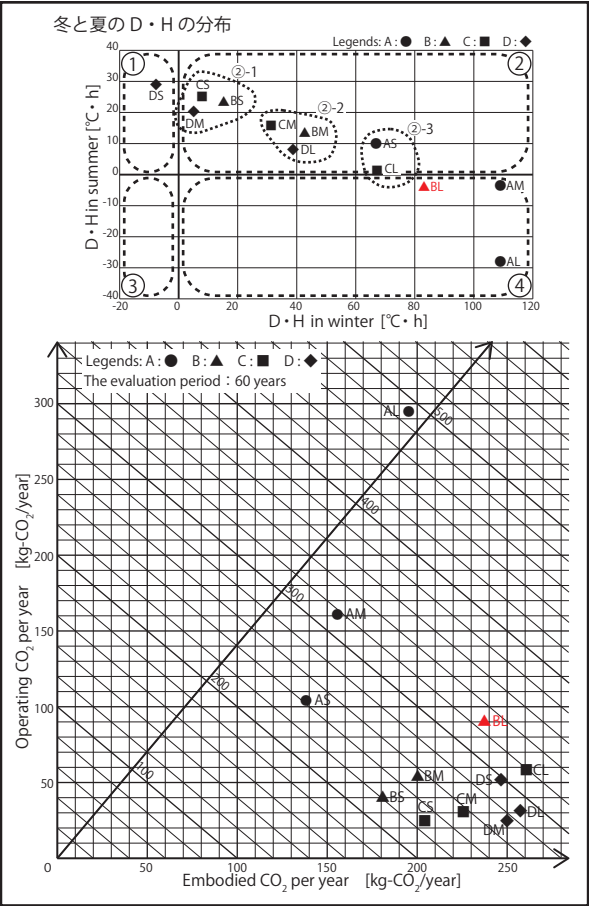


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

BM「蓄熱中・開口中」

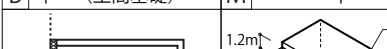
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	201.2		[°C・h]	冬	夏
	B 中 (土間基礎)	M 中	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	42.81	13.43
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量	pD・H	52.15	25.08	
			暖房	22.5	nD・H	-9.35	-11.65
			冷房	33.2	6 節 LCCO ₂		
		暖冷房	55.7	256.9			
			単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW①M	EW③					
CO ₂ 排出量 (新築)	1930.3	580.2	254.8	491.4	5558.4	12071.8	201.2
CO ₂ 排出量 (更新)	1930.3	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60年)	3860.6	1160.4	509.6	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷 (MJ)	65	118	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	245	22.5
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	300	33.2
暖冷房負荷	65	118	62	0	0	0	0	300	0	0	0	0	545	55.7

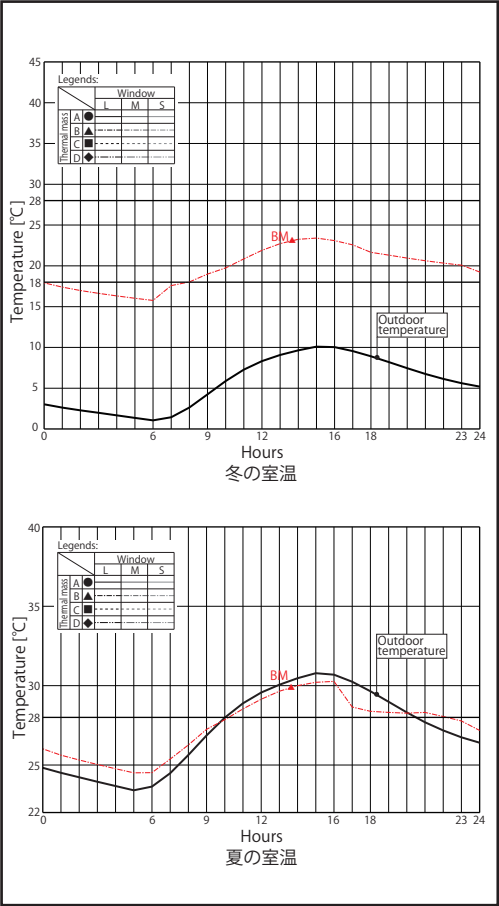


図 5 節 冬と夏の室温

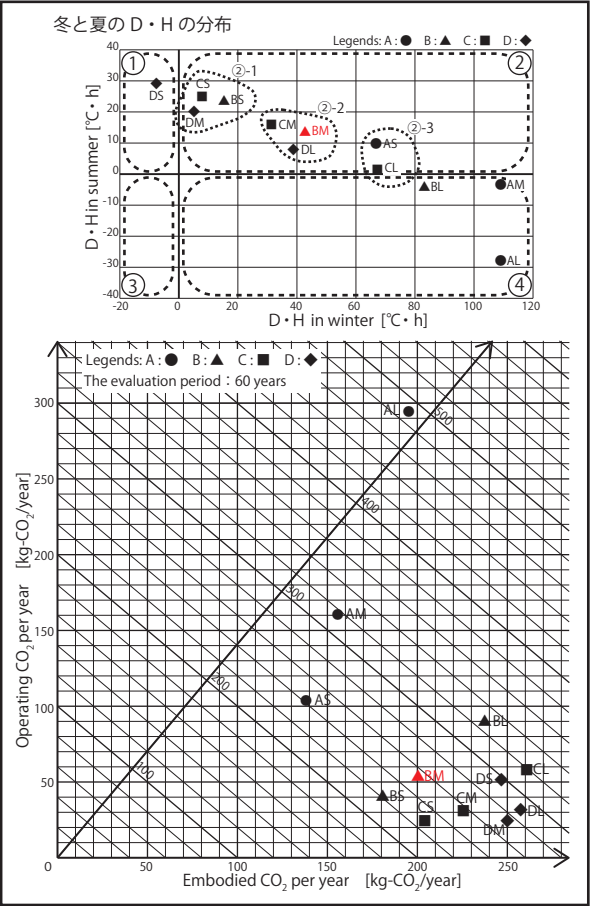


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

BS「蓄熱中・開口小」

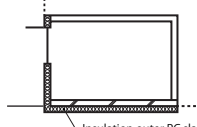
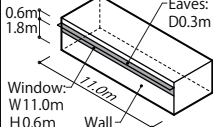
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境		
	熱容量	開口部	182.4	[°C・h]		
	B 中 (土間基礎)	S 小	単位: Kg-CO ₂ /年	D・H	冬	夏
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量	pD・H	24.75	27.23
			暖房	22.4	nD・H	-9.64
			冷房	18.6	6 節 LCCO ₂	
			暖冷房	41.0	223.4	
			単位: Kg-CO ₂ /年	単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60 年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW①S	EW③		CE①	FL②		
CO ₂ 排出量 (新築)		1366.4	580.2	254.8	491.4	5558.4	10944.0	182.4
CO ₂ 排出量 (更新)		1366.4	580.2	254.8	491.4	0		
合計 (60 年)		2732.8	1160.4	509.6	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷 (MJ)	83	125	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	243	22.4
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	168	0	0	0	0	168	18.6
暖冷房負荷	83	125	35	0	0	0	0	168	0	0	0	0	411	41.0

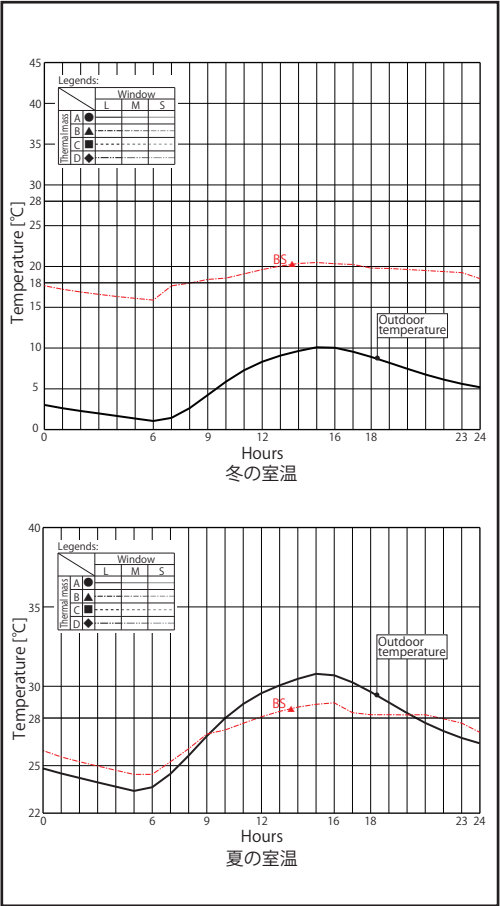


図 5 節 冬と夏の室温

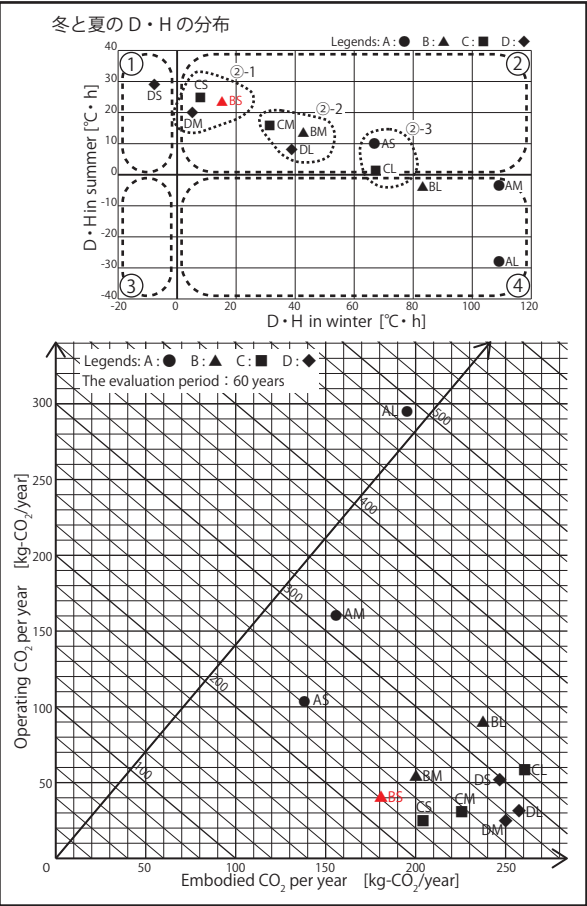


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

CL「蓄熱大・開口大」

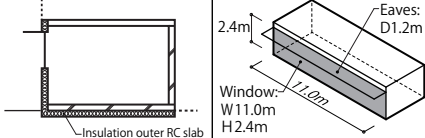
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	263.5		[℃・h]	冬	夏
	C 大 (土間基礎+北側壁 RC)	L 大	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	67.33	1.21
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	73.76	20.36
			暖房	13.2	nD・H	-6.43	-19.15
			冷房	43.9	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			57.1	320.6			
		単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年			

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床+基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW①L	EW③		CE①	FL②		
CO ₂ 排出量(新築)		3058.1	580.2	1991.3	491.4	5558.4	15809.1	263.5
CO ₂ 排出量(更新)		3058.1	580.2	0	491.4	0		
合計(60年)		6116.2	1160.4	1991.3	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	0	79	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	13.2
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	397	0	0	0	0	397	43.9
暖冷房負荷	0	79	64	0	0	0	0	397	0	0	0	0	540	57.1

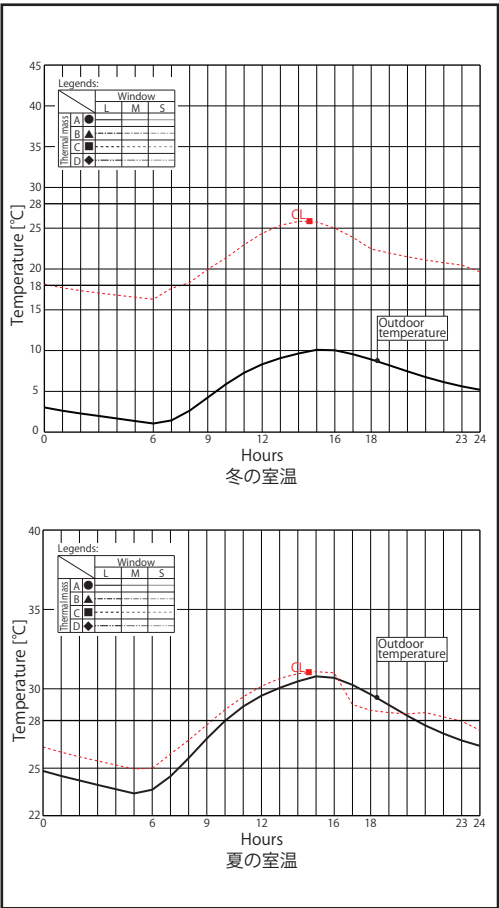


図 5 節 冬と夏の室温

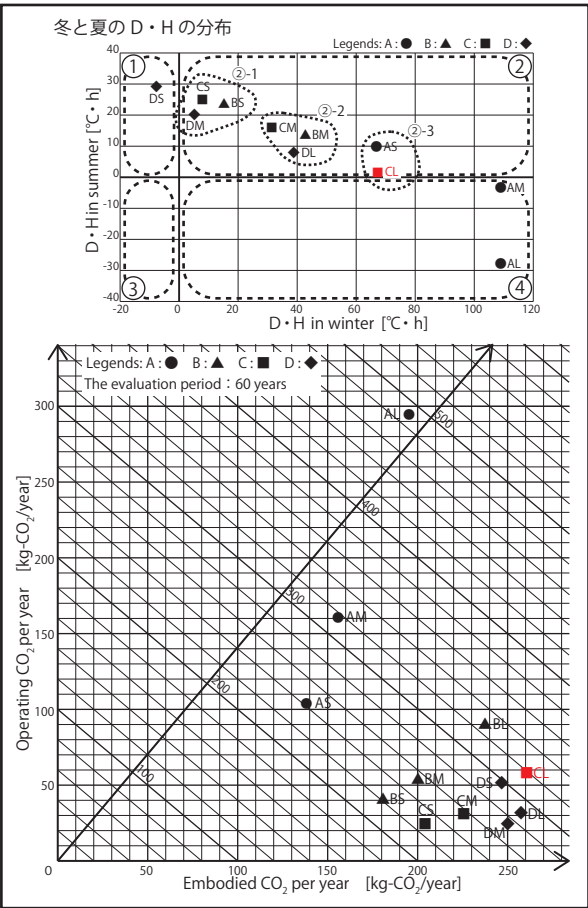


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

CM「蓄熱大・開口中」

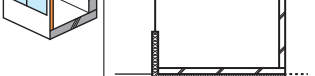
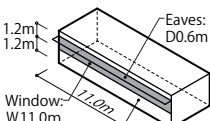
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	225.9		[℃・h]	冬	夏
	C 大 (土間基礎+北側壁RC)	M 中	単位: Kg-CO ₂ / 年		D・H	31.34	16.60
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	38.02	22.56
			暖房	9.5	nD・H	-6.68	-1.10
			冷房	22.1	6 節 LCCO ₂		
			暖冷房	31.6	257.5		
		単位: Kg-CO ₂ / 年		単位: Kg-CO ₂ / 年			

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW①M	EW③					
CO ₂ 排出量 (新築)	1930.3	580.2	1991.3	491.4	5558.4	13553.5	225.9
CO ₂ 排出量 (更新)	1930.3	580.2	0	491.4	0		
合計 (60年)	3860.6	1160.4	1991.3	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	4	72	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	9.5
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	200	22.1
暖冷房負荷	4	72	27	0	0	0	0	200	0	0	0	0	303	31.6

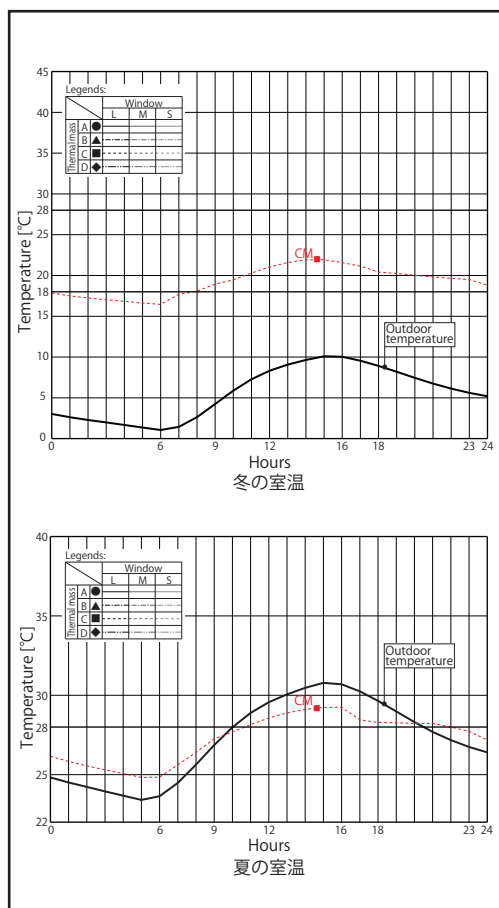


図 5 節 冬と夏の室温

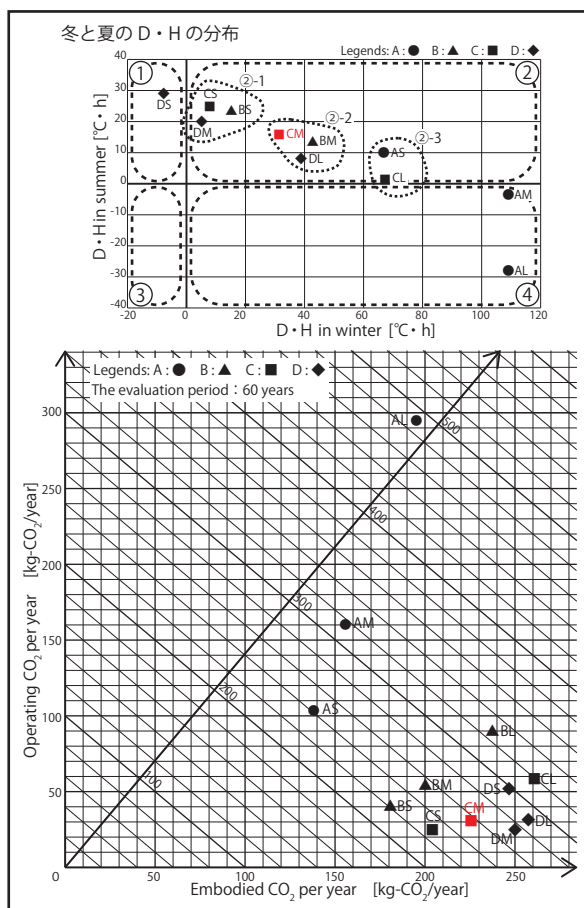


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

CS「蓄熱大・開口小」

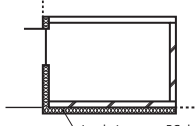
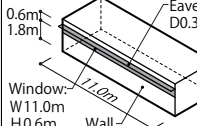
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	207.1		[°C・h]	冬	夏
	C 大 (土間基礎+北側壁 RC)	S 小	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	7.90	24.98
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	15.91	26.08
			暖房	14.9	nD・H	-8.01	-1.10
			冷房	9.3	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			24.2	231.3			
			単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60 年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW①M	EW③		CE①	FL②		
CO ₂ 排出量 (新築)		1366.4	580.2	1991.3	491.4	5558.4	12425.7	207.1
CO ₂ 排出量 (更新)		1366.4	580.2	0	491.4	0		
合計 (60 年)		2732.8	1160.4	1991.3	982.8	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	48	99	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162	14.9
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	84	9.3
暖冷房負荷	48	99	14	0	0	0	0	84	0	0	0	0	246	24.2

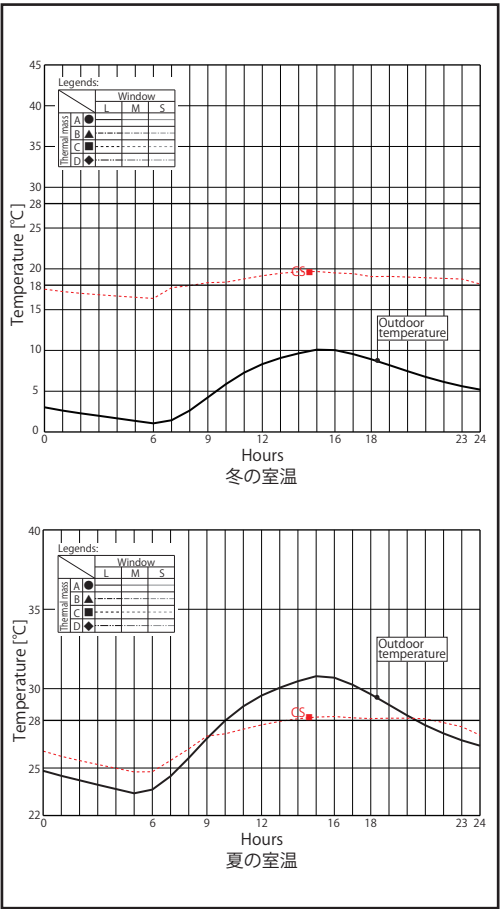


図 5 節 冬と夏の室温

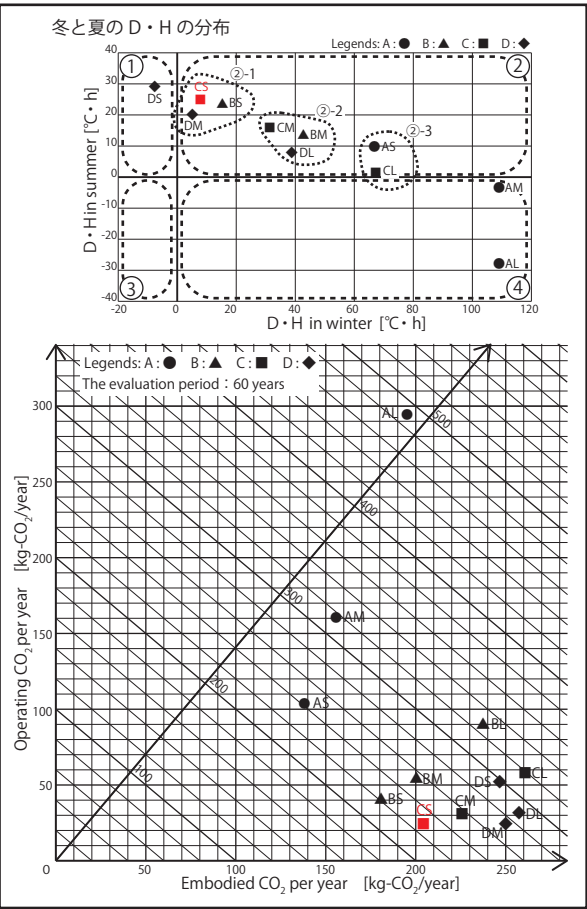


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

DL「蓄熱特大・開口大」

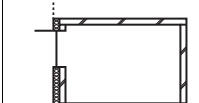
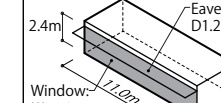
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	258.3		[℃・h]	冬	夏
	D 特大 (土間基礎+四周壁・天井RC)	L 大	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	38.93	7.98
			4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	42.55	16.65
			暖房	6.9	nD・H	-3.62	-8.67
			冷房	25.9	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			32.8	291.1			
			単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW②L	EW④					
CO ₂ 排出量 (新築)	3172.1	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4	15499.5	258.3
CO ₂ 排出量 (更新)	0	0	0	0	0		
合計 (60年)	3172.1	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	0	43	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	6.9
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0	234	25.9
暖冷房負荷	0	43	32	0	0	0	0	234	0	0	0	0	309	32.8

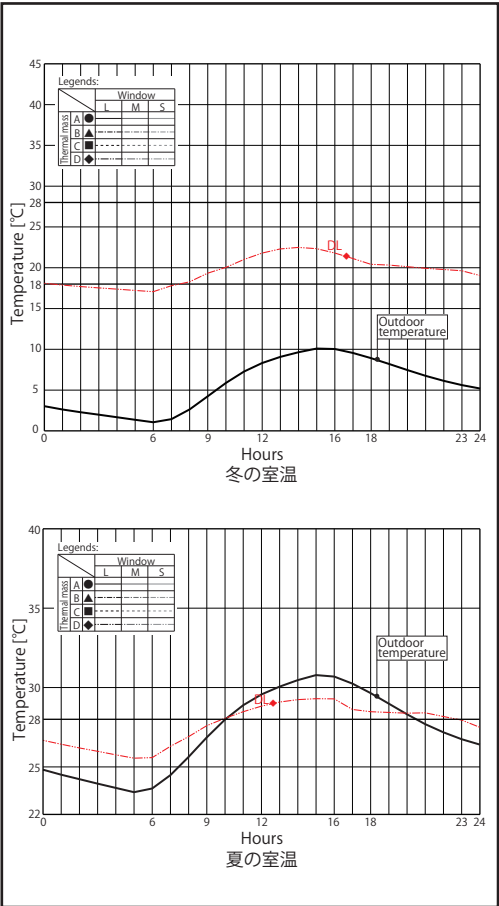


図 5 節 冬と夏の室温

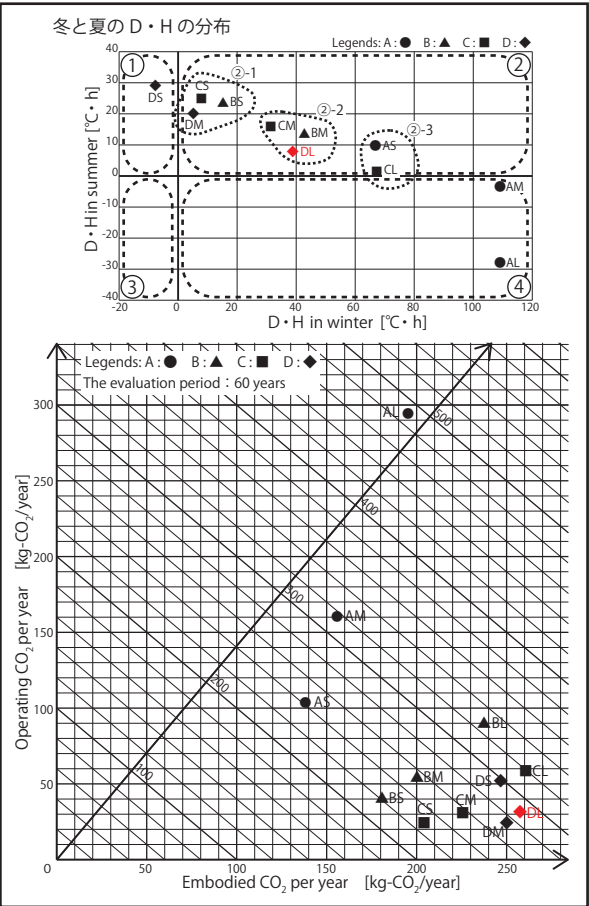


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

DM「蓄熱特大・開口中」

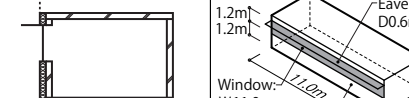
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	250.9		[℃・h]	冬	夏
	D 特大 (土間基礎+四周壁・天井RC)	M 中	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	5.20	20.84
	 1.2m 1.2m Eaves: D0.6m Window: W11.0m H1.2m Wall Insulation outer RC slab 11.0m		4 節 運用時 CO ₂ 排出量	pD・H	11.81	21.17	
			暖房	18.9	nD・H	-6.61	-0.34
			冷房	4.9	6 節 LCCO ₂		
暖冷房			23.8	274.7			
			単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年		

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	外壁		間仕切壁	天井	床 + 基礎	CO ₂ 排出量 (60 年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
	南	東・西					
	EW②M	EW④					
CO ₂ 排出量 (新築)	2728.6	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4	15056.0	250.9
CO ₂ 排出量 (更新)	0	0	0	0	0		
合計 (60 年)	2728.6	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷 (MJ)	19	146	39	0		0	0	0	0	0	0	0	205	18.9
冷房負荷	0	0	0	0		0	0	44	0	0	0	0	44	4.9
暖冷房負荷	19	146	39	0		0	0	44	0	0	0	0	249	23.8

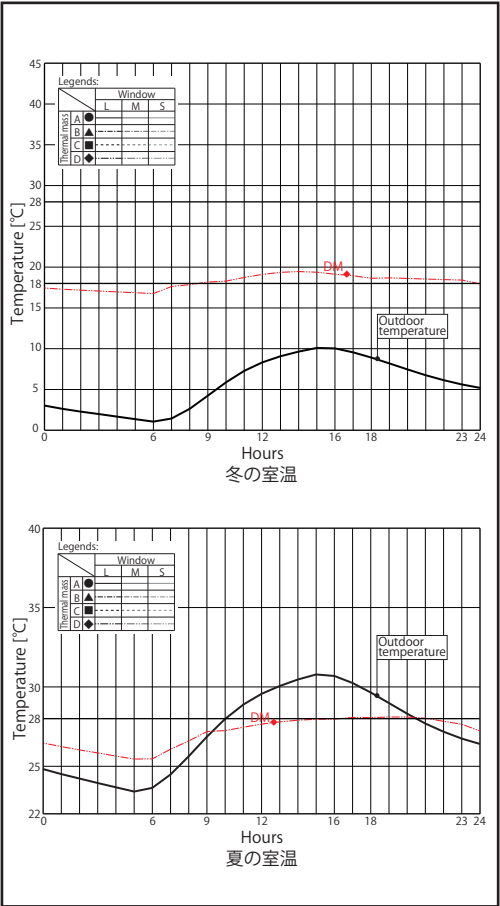


図 5 節 冬と夏の室温

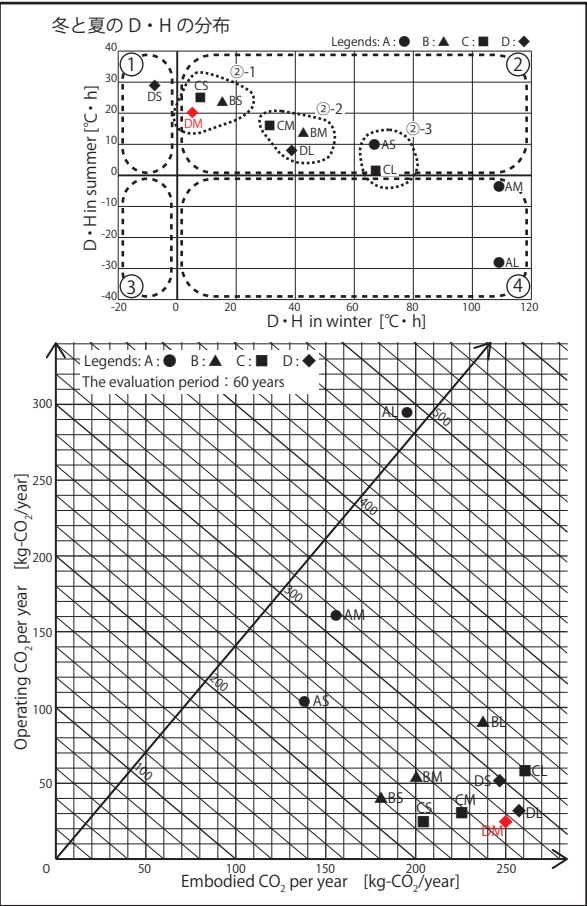


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

DS「蓄熱特大・開口小」

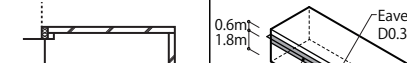
2 節 住空間モデルの設定			3 節 建設時 CO ₂ 排出量	5 節 冬と夏の温熱環境			
	熱容量	開口部	247.2		[℃・h]	冬	夏
	D 特大 (土間基礎+四周壁・天井RC)	S 小	単位: Kg-CO ₂ /年		D・H	-7.61	29.08
	 0.6m 1.8m Eaves: D0.3m Window: W11.0m H0.6m Wall 11.0m Insulation outer RC slab		4 節 運用時 CO ₂ 排出量		pD・H	0.44	29.08
			暖房	50.3	nD・H	-8.05	0.00
			冷房	0.0	6 節 LCCO ₂		
			暖冷房	50.3	297.5		
		単位: Kg-CO ₂ /年		単位: Kg-CO ₂ /年			

表 3 節 建設時 CO₂ 排出量

CO ₂ 排出量	部位	外壁		間仕切壁	天井	床+基礎	CO ₂ 排出量 (60年) (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
		南	東・西					
		EW②S	EW④		CE①	FL②		
CO ₂ 排出量 (新築)		2506.9	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4	14834.3	247.2
CO ₂ 排出量 (更新)		0	0	0	0	0		
合計 (60年)		2506.9	1689.0	1991.3	3088.7	5558.4		

表 4 節 運用時 CO₂ 排出量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計 (年間) (MJ/year)	CO ₂ 排出量 (年間) (kg-CO ₂ /year)
暖房負荷	180	287	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	547	50.3
冷房負荷	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
暖冷房負荷	180	287	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	547	50.3

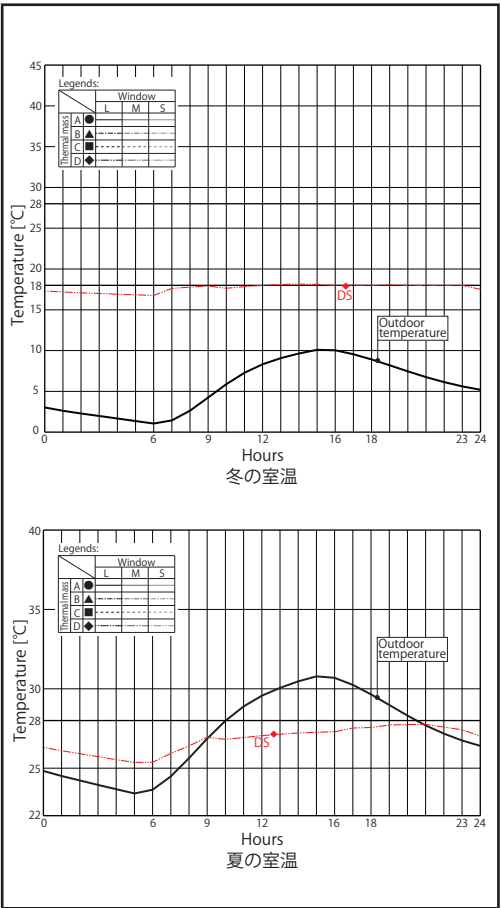


図 5 節 冬と夏の室温

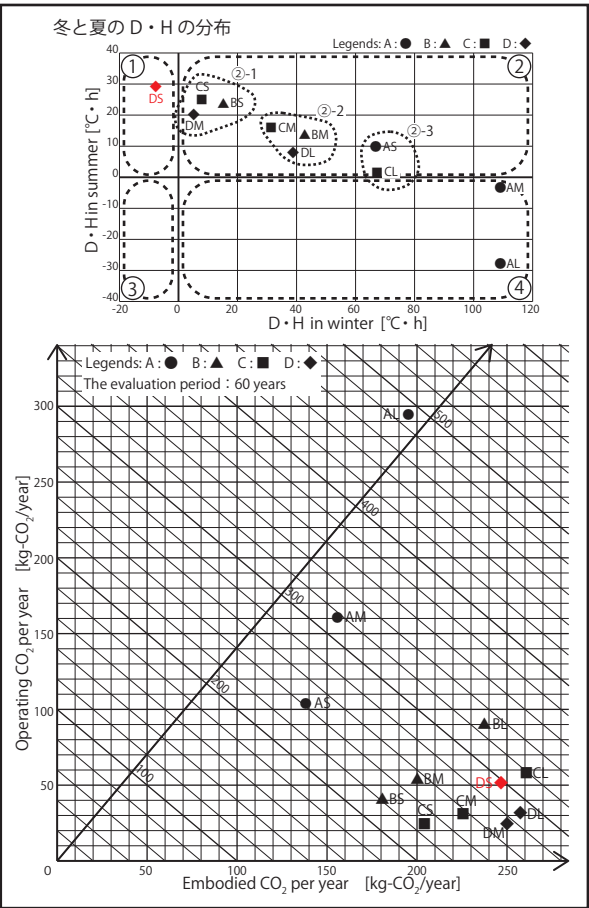


図 6 節 LCCO₂ と温熱環境

資料編 第3章

ルーバーなしと 20 種類のルーバーの構成について、各構成ごとに各節の検討内容をまとめる。

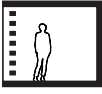
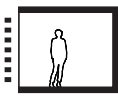
① ルーバー無し			素材	木 (W)	アルミ (A)	コンクリート (C)
位置	間隔		開閉			
内	密		固定 (f)	① W 内密 f	⑨ A 内密 f	⑰ C 内密 f
			可動 (m)	② W 内密 m	⑩ A 内密 m	
	疎		固定 (f)	③ W 内疎 f	⑪ A 内疎 f	⑱ C 内疎 f
			可動 (m)	④ W 内疎 m	⑫ A 内疎 m	
外	密		固定 (f)	⑤ W 外密 f	⑬ A 外密 f	⑲ C 外密 f
			可動 (m)	⑥ W 外密 m	⑭ A 外密 m	
	疎		固定 (f)	⑦ W 外疎 f	⑮ A 外疎 f	⑳ C 外疎 f
			可動 (m)	⑧ W 外疎 m	⑯ A 外疎 m	

図 第3章 20 種類のルーバーの構成

①ルーバー無し

2 節					3 節					4 節					5 節					6 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)	暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度	最小照度	最大照度	LCCO ₂	更新回数	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)	暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度
立面					短手断面					4 節「」内はルーバー無しに対する増減値					5 節					6 節				
										(kg-CO ₂ /年)					(lx)					(kg-CO ₂ /年)				
										193.41 [±0]					3468.5					334.53 [±0]				

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.54	18.24	5.72	0	0	141.12
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.42	39.20	76.54	18.24	5.72	20.39	46.30	334.53

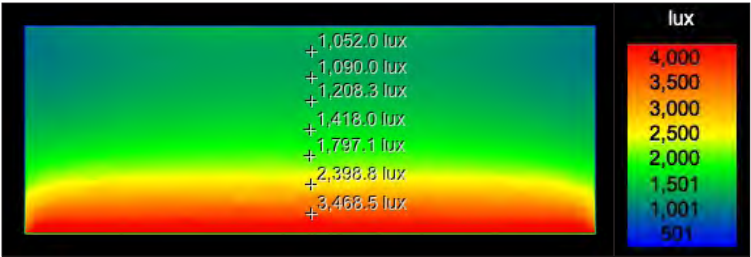


図 5 節 照度分布図

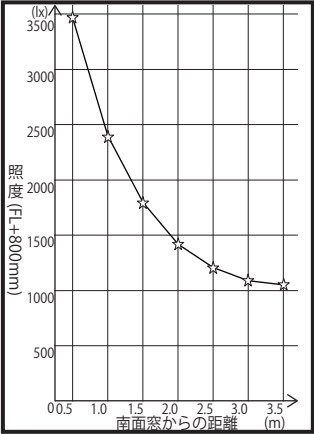


図 5 節 照度分布

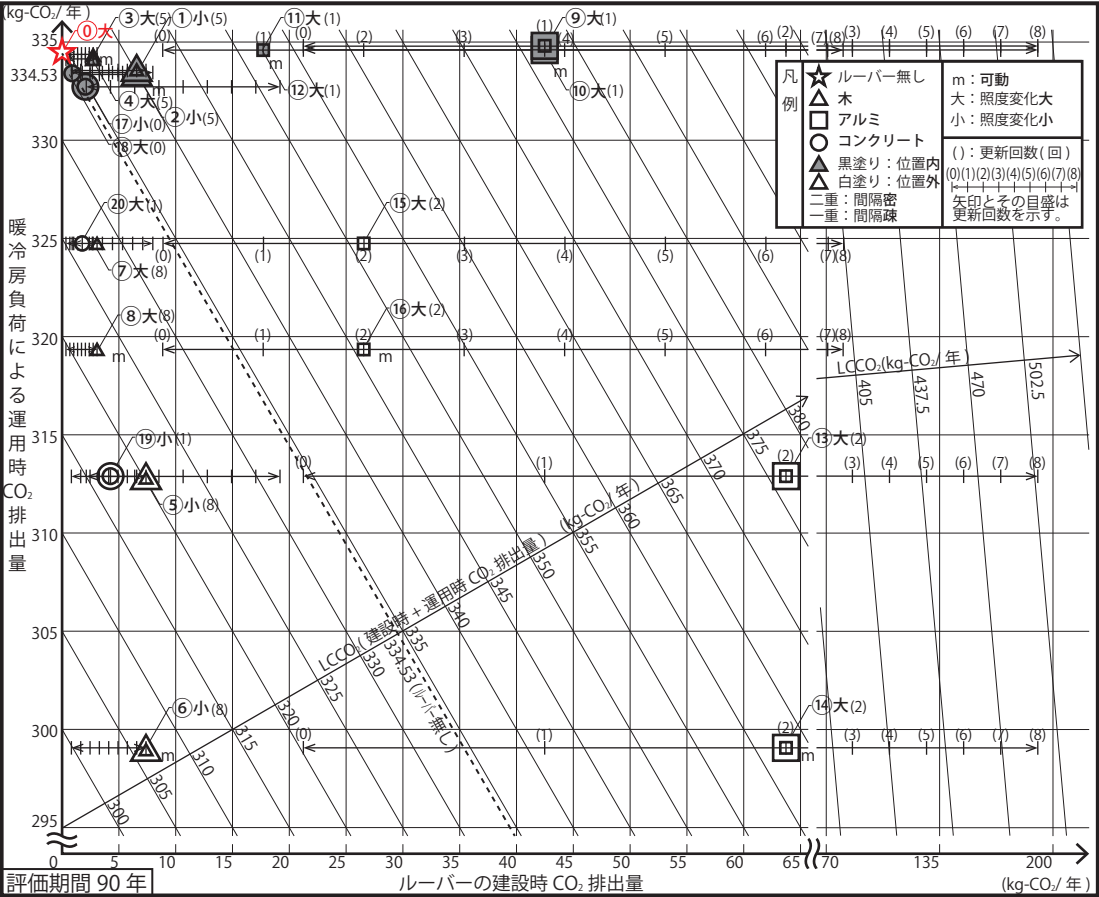


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

① W内密 f

2 節					3 節						
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ / 年)		
内	密(12本)	木	固定	0.648 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂ / 年)		
立面				短手断面	0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	15 年 [5]	3.28	[295.49]	
					4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値			5 節		6 章	
					暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度	最小照度	LCCO ₂
					(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(lx)	(lx)	最大照度	(kg-CO ₂ / 年)
					193.61 [+0.20]	139.93 [-1.19]	333.54 [-0.99]	758.9	566.9(明)	0.69(小)	338.46 [+3.93]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	0	0	0	0	20.42	46.34	193.61	
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.52	18.03	4.76	0	0	139.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	1.42	39.20	76.52	18.03	4.76	20.42	46.34	333.54

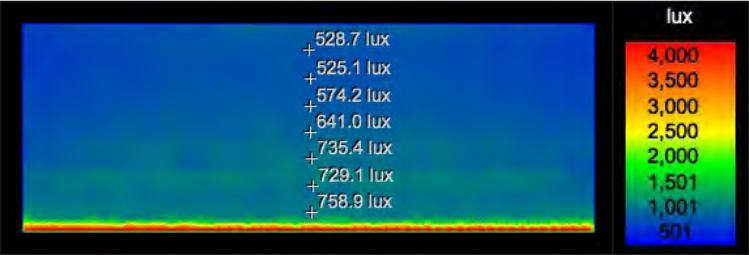


図 5 節 照度分布図

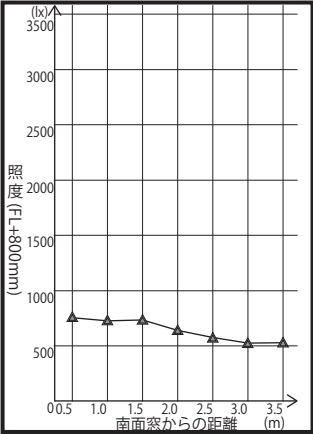


図 5 節 照度分布

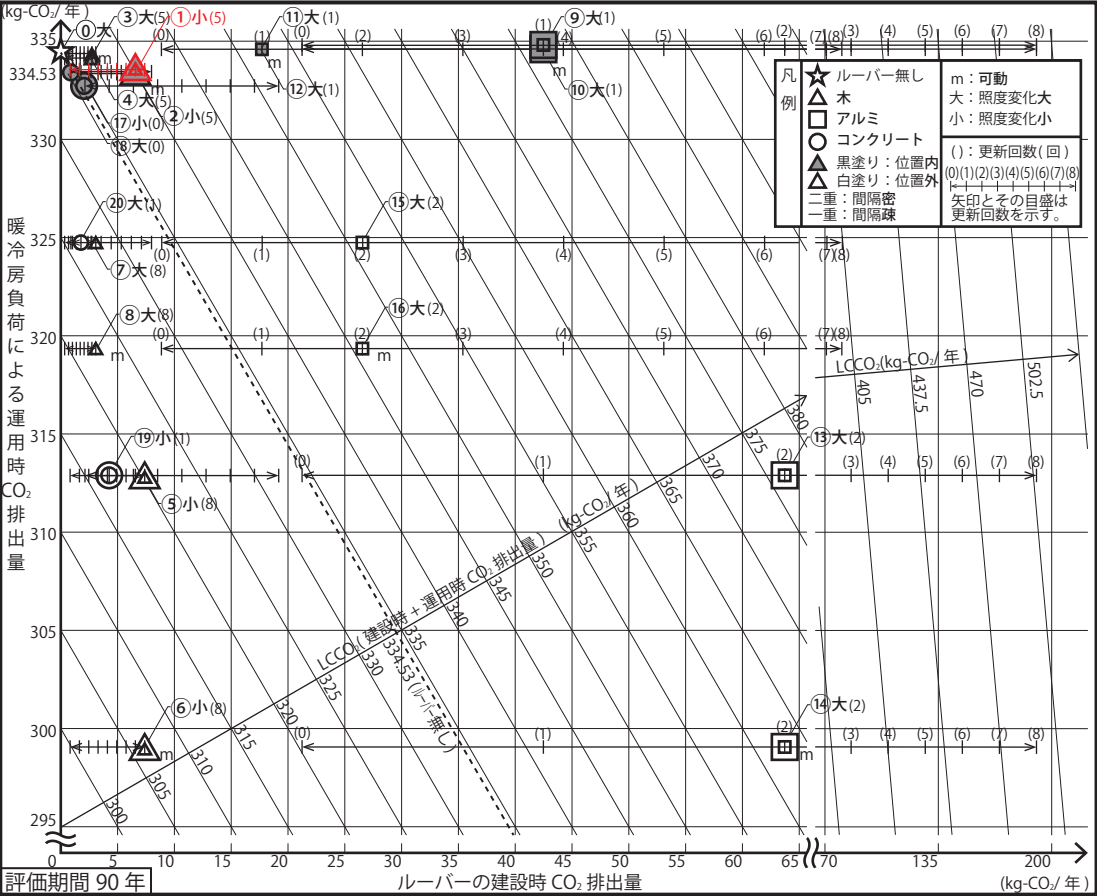


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

② W内密m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内	密(12本)	木	可動	0.648 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	15 年 [5]	3.28 [295.49]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.41 [±0]	139.93 [-1.19]	333.34 [-1.19]	758.9	566.9(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	338.26 [+3.73]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.52	18.03	4.76	0	0	139.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.42	39.20	76.52	18.03	4.76	20.39	46.30	333.34

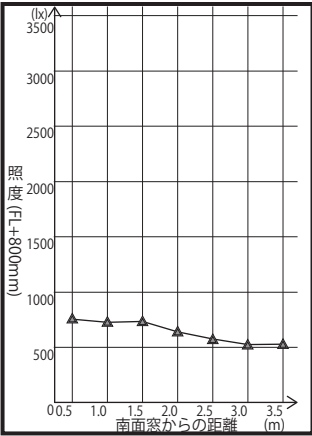


図 5 節 照度分布図

図 5 節 照度分布

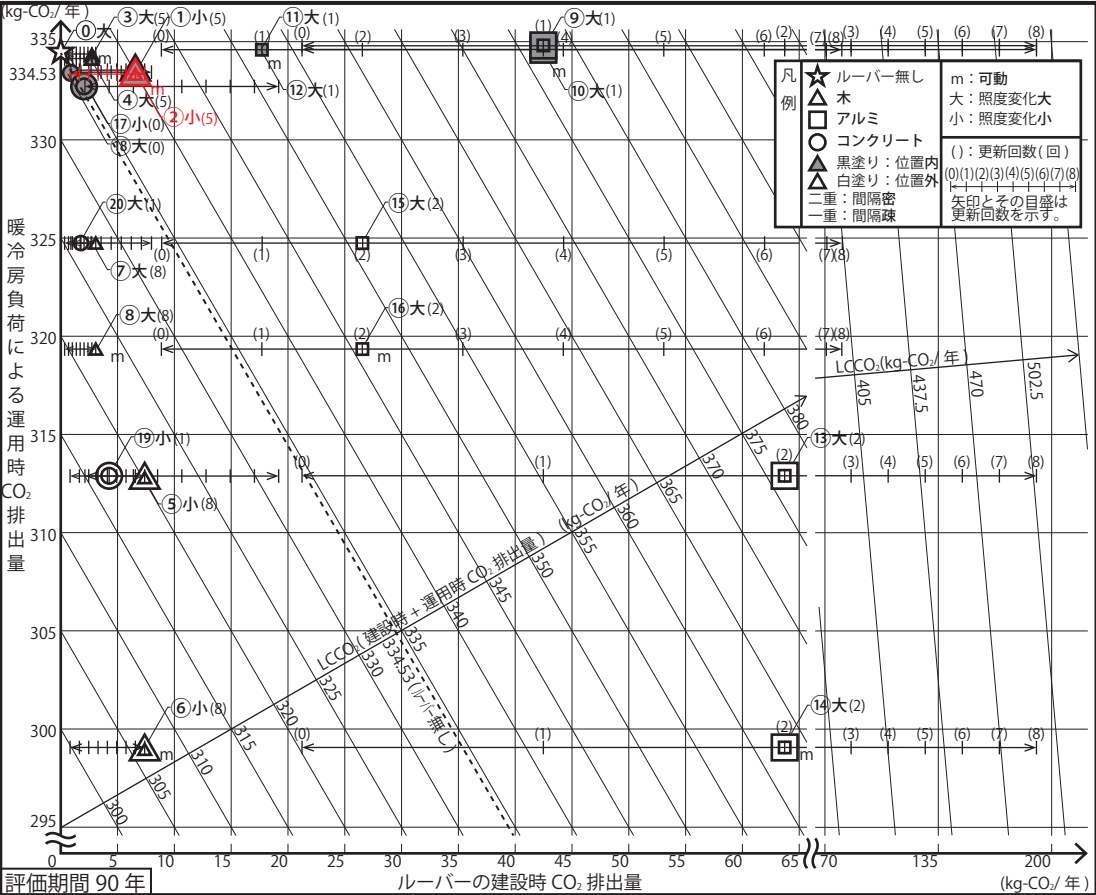


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

③ W内疎 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内 疎 (5本)	木	固定		0.270 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	15 年 [5]	1.37 [123.12]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値		5 節		6 節
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.61 [+0.20]	140.71 [-0.41]	334.32 [-0.21]	2312.7	525.1(明)
							最小照度 最大照度		LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
							0.37(大)		336.37 [+1.84]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	0	0	0	0	0	20.42	46.34	193.61
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.25	0	0	140.71
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.25	20.42	46.34	334.32

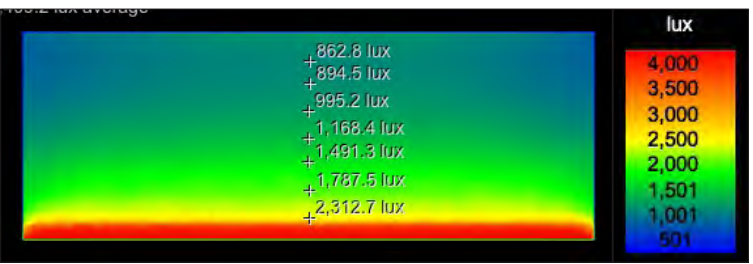


図 5 章 照度分布図

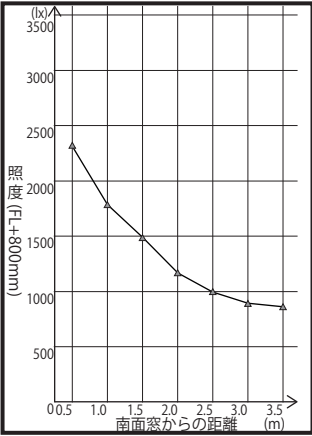


図 5 節 照度分布

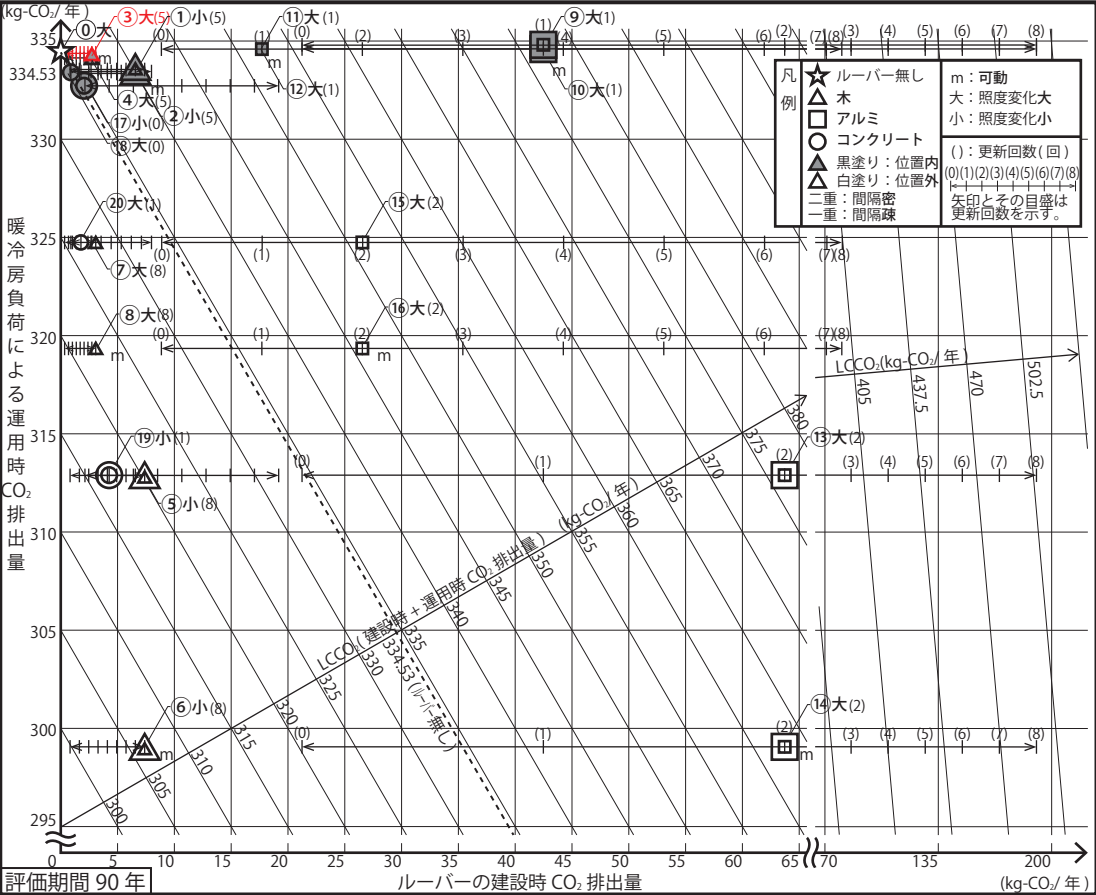


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

④ W内疎m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内 疎 (5本)	木	可動		0.270 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	15 年 [5]	1.37 [123.12]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.41 [±0]	140.71 [-0.41]	334.12 [-0.41]	2312.7	525.1(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	336.17 [+1.64]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.25	0	0	140.71
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.25	20.39	46.30	334.12

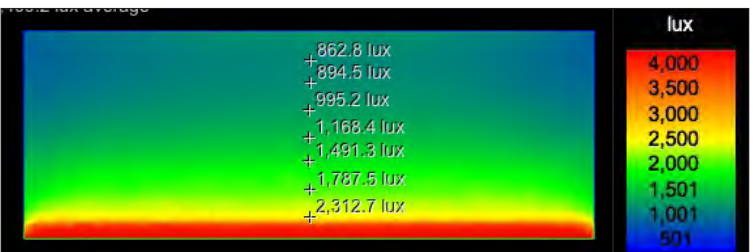


図 5 節 照度分布図

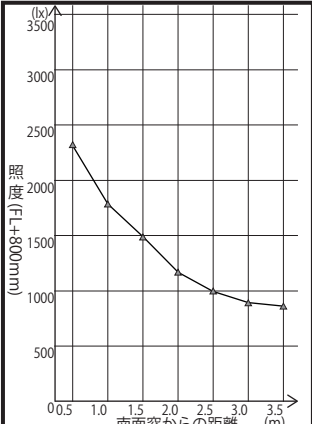


図 5 節 照度分布

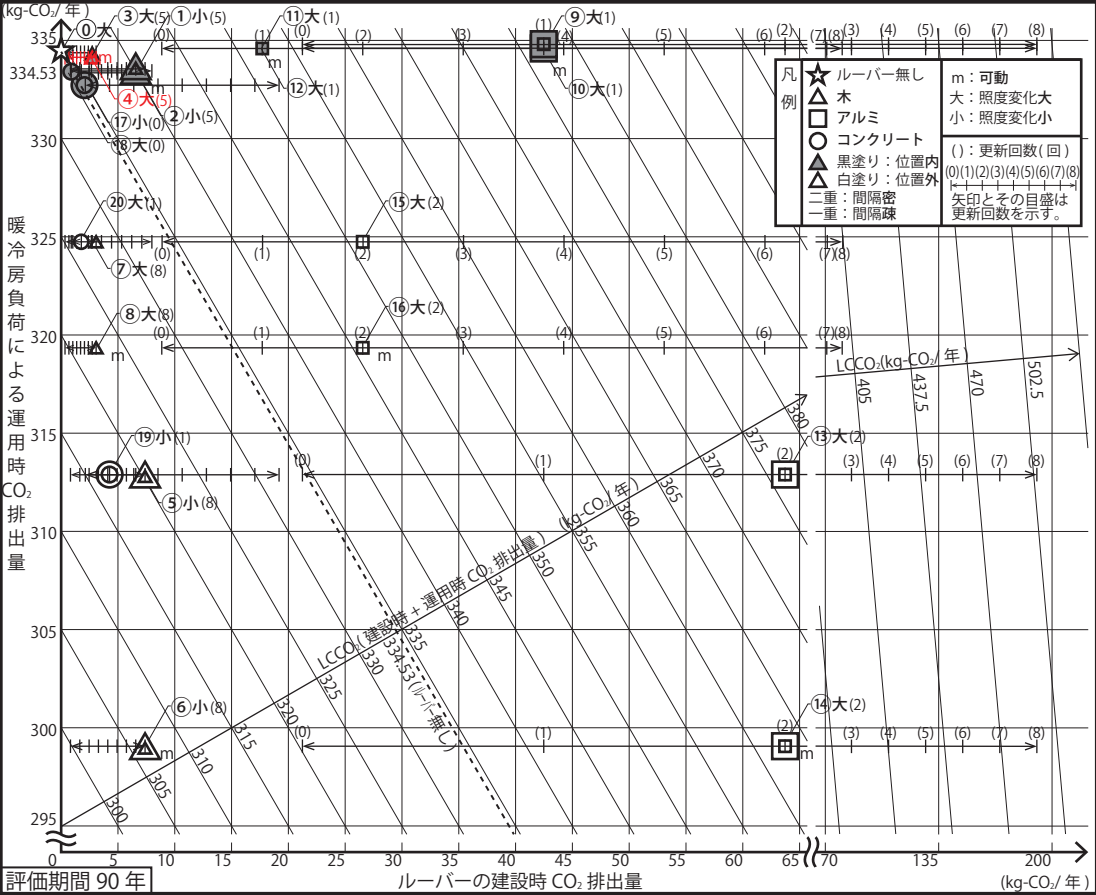


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

⑤ W外密 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外	密(12本)	木	固定	0.648 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	10 年 [8]	4.92
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値	5 節	6 節	LCCO ₂	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					207.24 [+13.83]	105.65 [-35.47]	312.89 [-21.64]	1024.2	607.0(明)
								最小照度 (lx)	最大照度 (lx)
								0.59(小)	320.28 [-14.25]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0	0	0	0	0	21.48	48.62	207.24
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	0	0	105.65
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	21.48	48.62	312.89

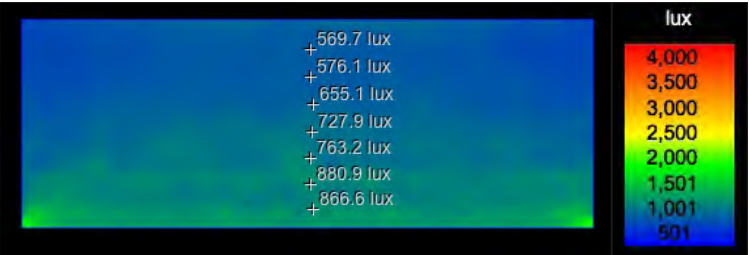


図 5 節 照度分布図

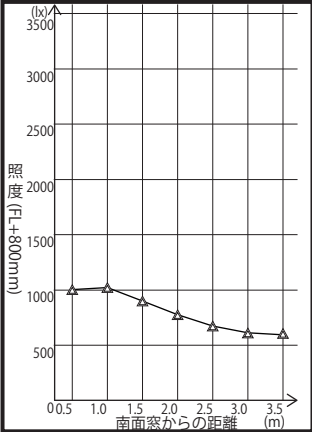


図 5 節 照度分布

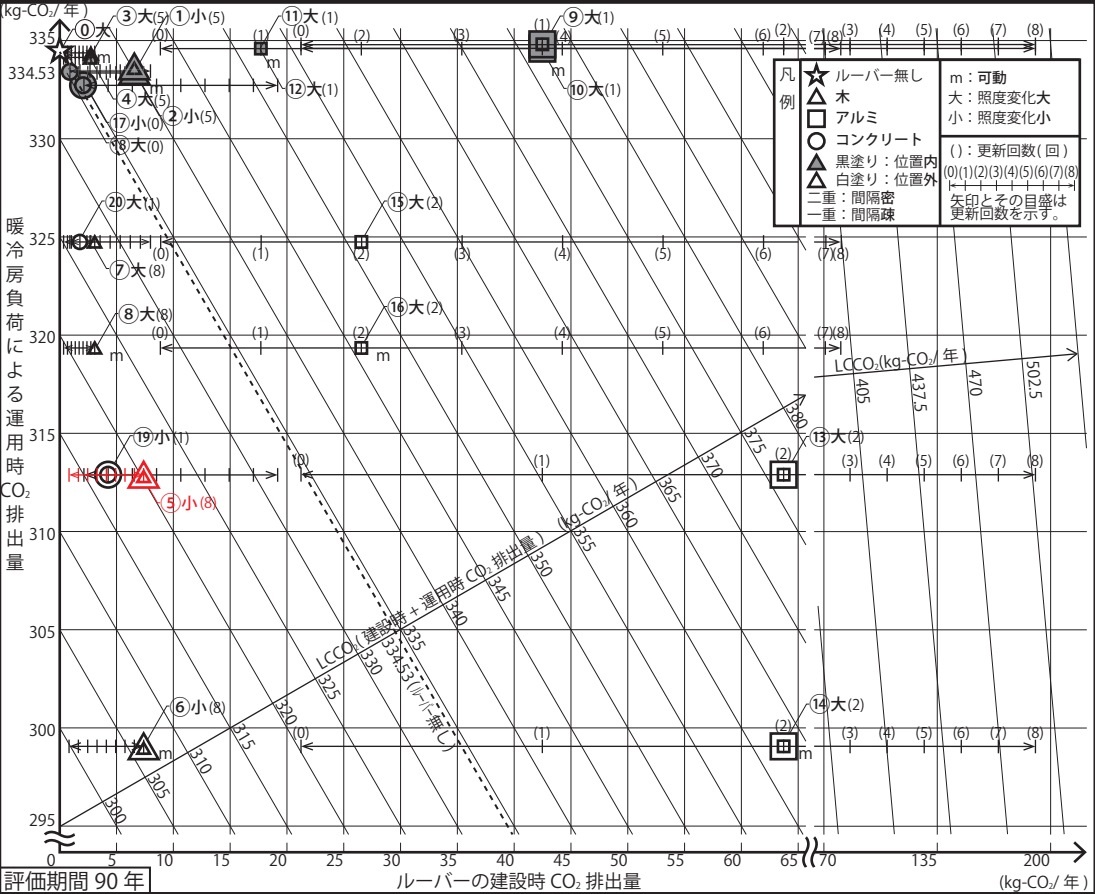


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

⑥ W外密m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外	密(12本)	木	可動	0.648 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	10 年 [8]	4.92 [443.23]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節	6 節
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.41 [±0]	105.65 [-35.47]	299.06 [-35.47]	1024.2	607.0(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	306.45 [-28.08]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	0	0	105.65
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	20.39	46.30	299.06

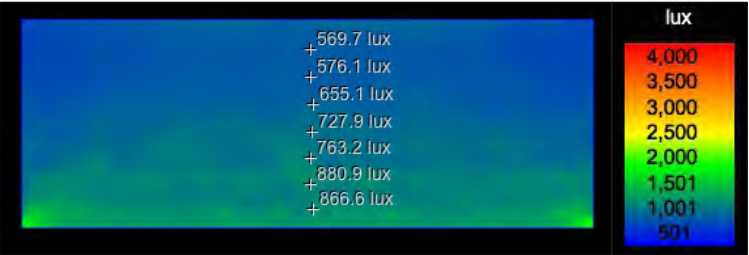


図 5 節 照度分布図

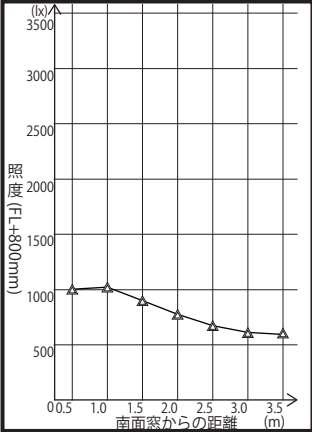


図 5 節 照度分布

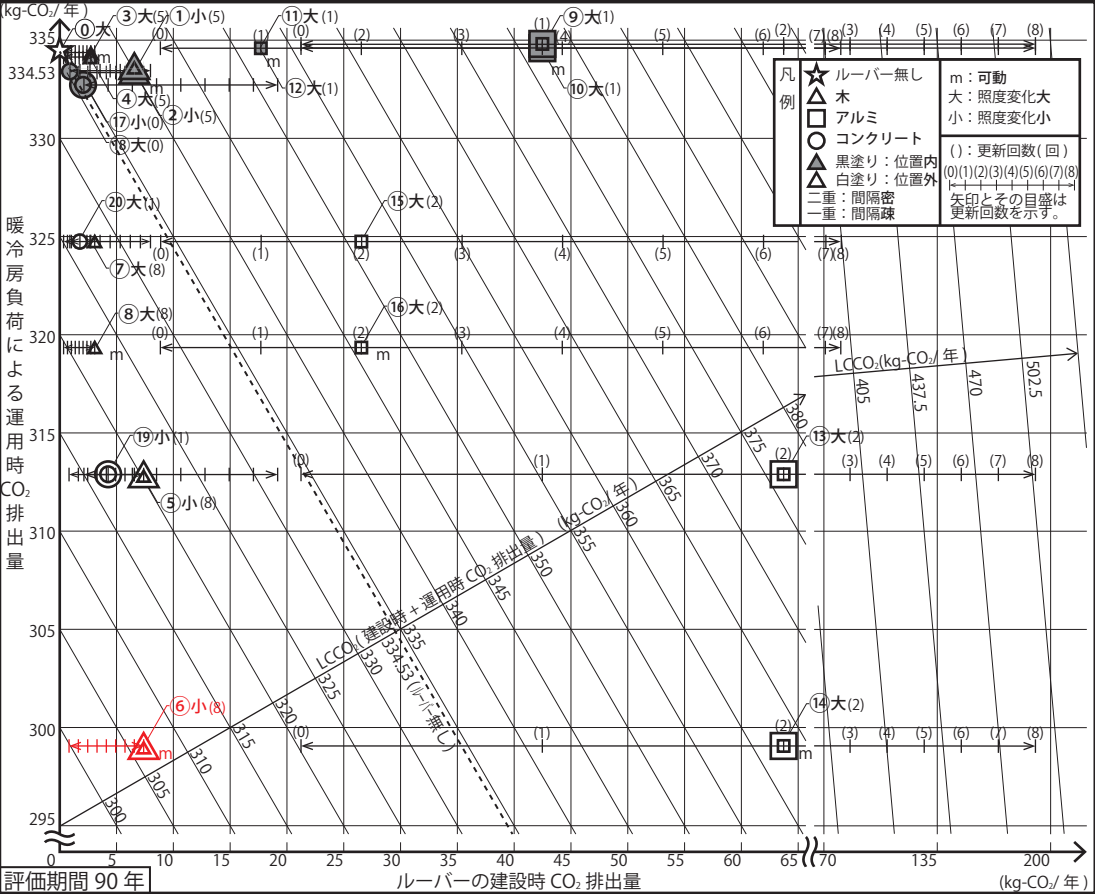


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

⑦ W外疎 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外 疎 (5本)		木	固定	0.270 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	10 年 [8]	2.05 [184.68]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					198.81 [+5.40]	125.93 [-15.19]	324.74 [-9.79]	2525.4	918.6(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	327.83 [-6.70]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	0	0	0	0	0	20.80	47.25	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	0	0	125.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	20.80	47.25	324.74



図 5 節 照度分布図

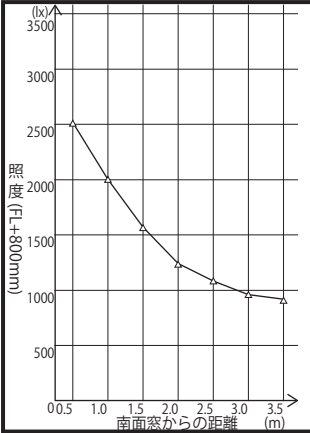


図 5 節 照度分布

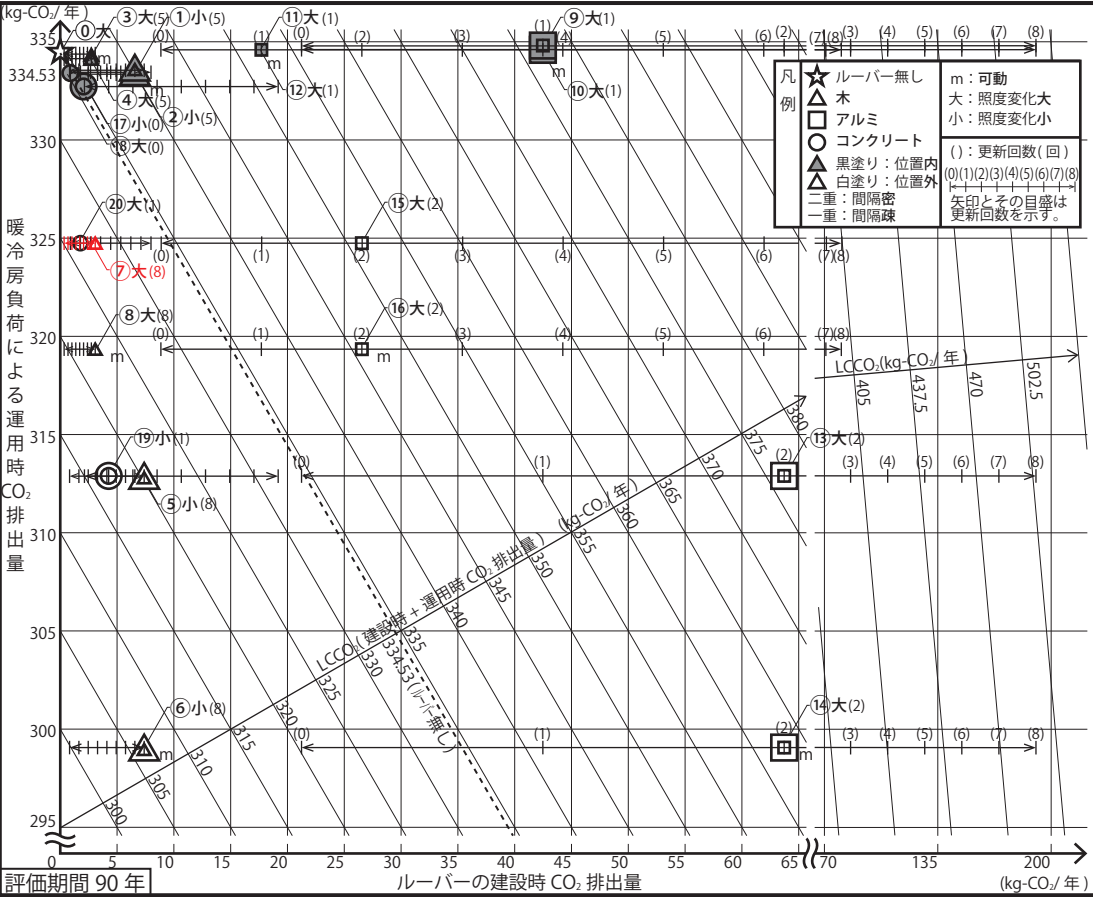


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

⑧ W外疎m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外 疎 (5本)	木	可動		0.270 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					0.3(kg-CO ₂ /kg)	380	114.0	10 年 [8]	2.05 [184.68]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値				5 節
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.41 [±0]	125.93 [-15.19]	319.34 [-15.19]	2525.4	918.6(明)
									6 節
									LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
									322.42 [-12.11]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	0	0	125.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	20.39	46.30	319.34



図 5 節 照度分布図

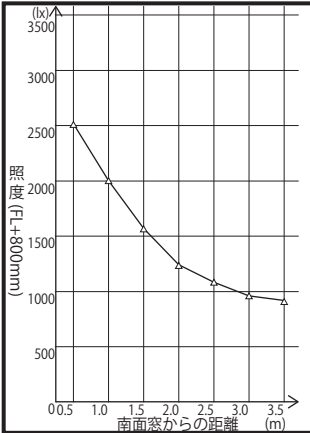


図 5 節 照度分布

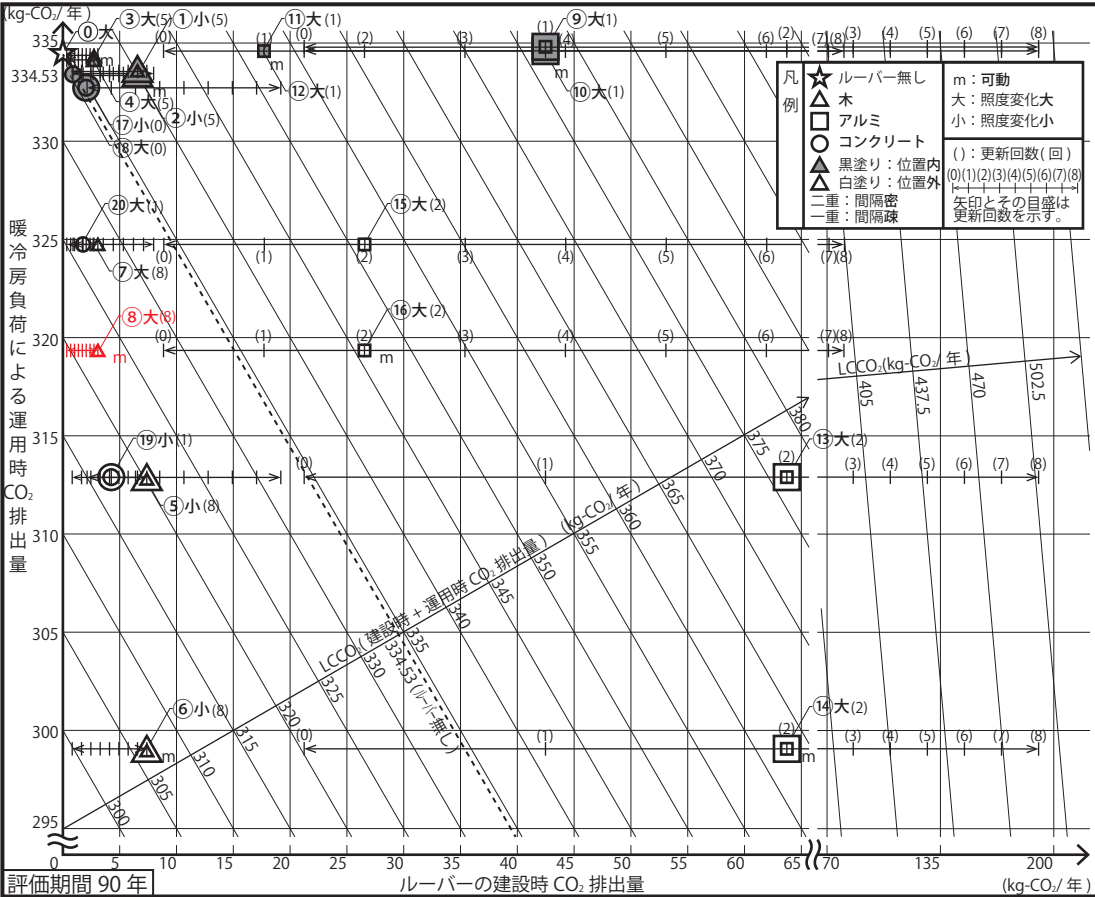


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

⑨ A内密 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内	密(12本)	アルミ	固定	0.0757 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	45 年 [1]	42.50 [3824.88]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節	6 節
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.61 [+0.20]	141.18 [+0.06]	334.79 [+0.26]	1196.5	585.3(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								0.48(大)	377.29 [+42.76]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	0	0	0	0	0	20.42	46.34	193.61
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.72	0	0	141.18
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.52	44.05	18.69	8.59	0	1.42	39.20	76.59	18.25	5.72	20.42	46.34	334.79

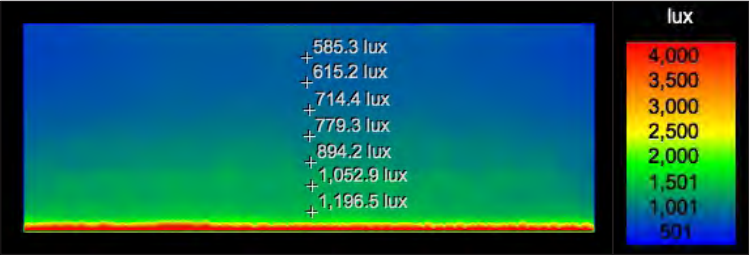


図 5 節 照度分布図

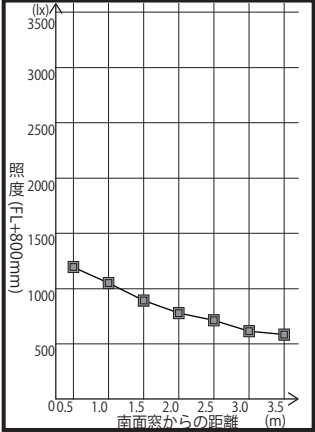


図 5 節 照度分布

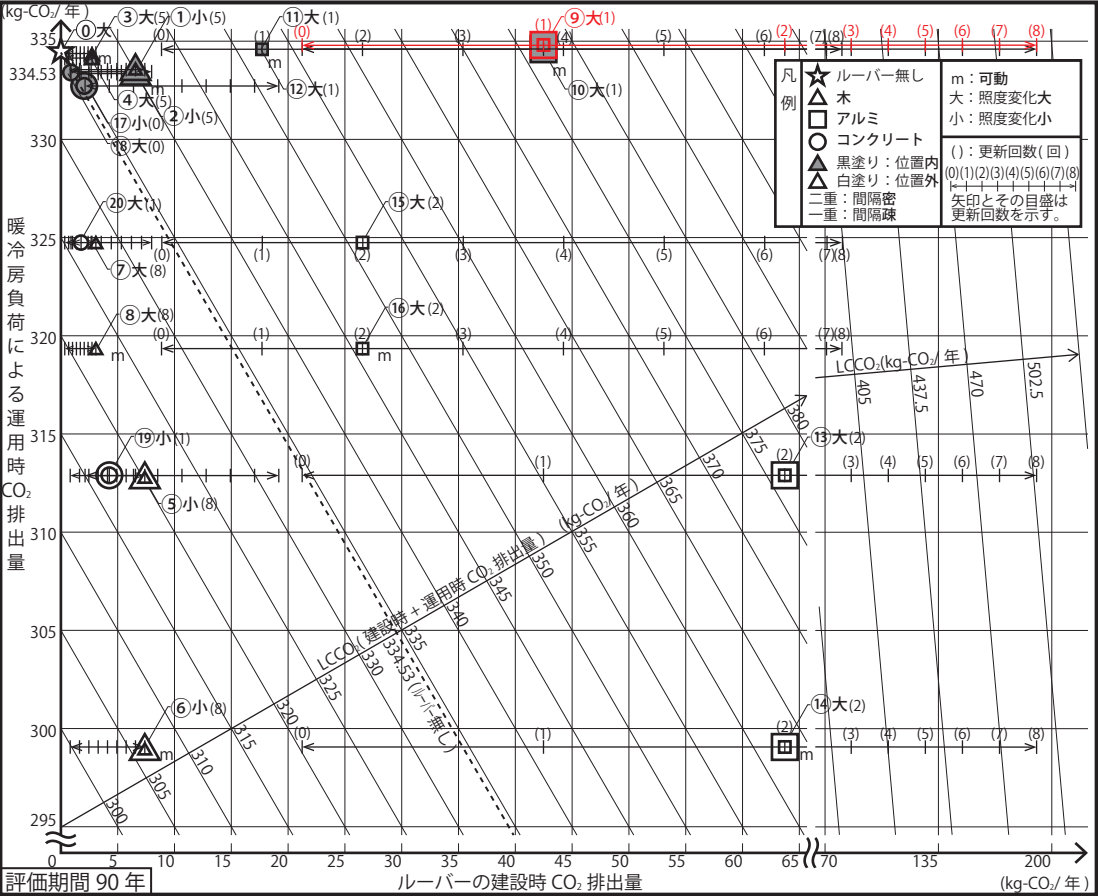


図 6 節 LCCO₂ と夏の光環境

10 A内密m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内	密(12本)	7mm	可動	0.0757 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					短手断面				
					9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	45 年 [1]	42.50 [3824.88]

11 A内疎 f

2 節					3 節					
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)	
内	疎 (5本)	7mm	固定	0.0315 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[] 内は更新回数	[] 内は 90 年合計 (kg-CO ₂)	
立面				短手断面	9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	45 年 [1]	17.71 [1593.70]	
				4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値					5 節	6 節
				暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度	最小照度	LCCO ₂
				(kg-CO ₂ /年)	(kg-CO ₂ /年)	(kg-CO ₂ /年)	(lx)	(lx)	最小照度	(kg-CO ₂ /年)
				193.41 [±0]	141.17 [+0.06]	334.58 [+0.05]	2592.7	909.5(明)	0.35(大)	352.29 [+17.76]

12 A内疎m

2節					3節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /年)
内疎(5本)		アルミ	可動	0.0315 m ³				[]内は更新回数	[]内は90年合計(kg-CO ₂)
立面					9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	45年[1]	17.71
短手断面					4節[]内はルーバー無しに対する増減値			5節	6節
					暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度
					(kg-CO ₂ /年)	(kg-CO ₂ /年)	(kg-CO ₂ /年)	(lx)	(lx)
					193.41 [±0]	141.17 [+0.06]	334.58 [+0.05]	2592.7	909.5(明)
								最小照度	LCCO ₂
								最大照度	(kg-CO ₂ /年)
								0.35(大)	352.29 [+17.76]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.19	76.59	18.25	5.72	0	0	141.17
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.42	39.19	76.59	18.25	5.72	20.39	46.30	334.58

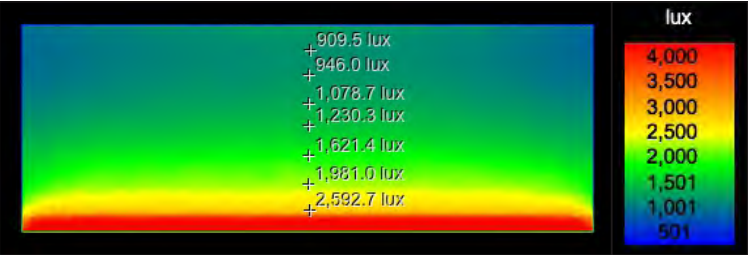


図 5 節 照度分布図

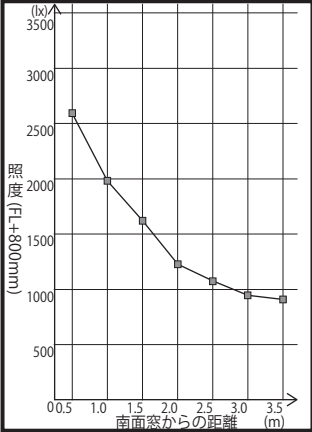


図 5 節 照度分布

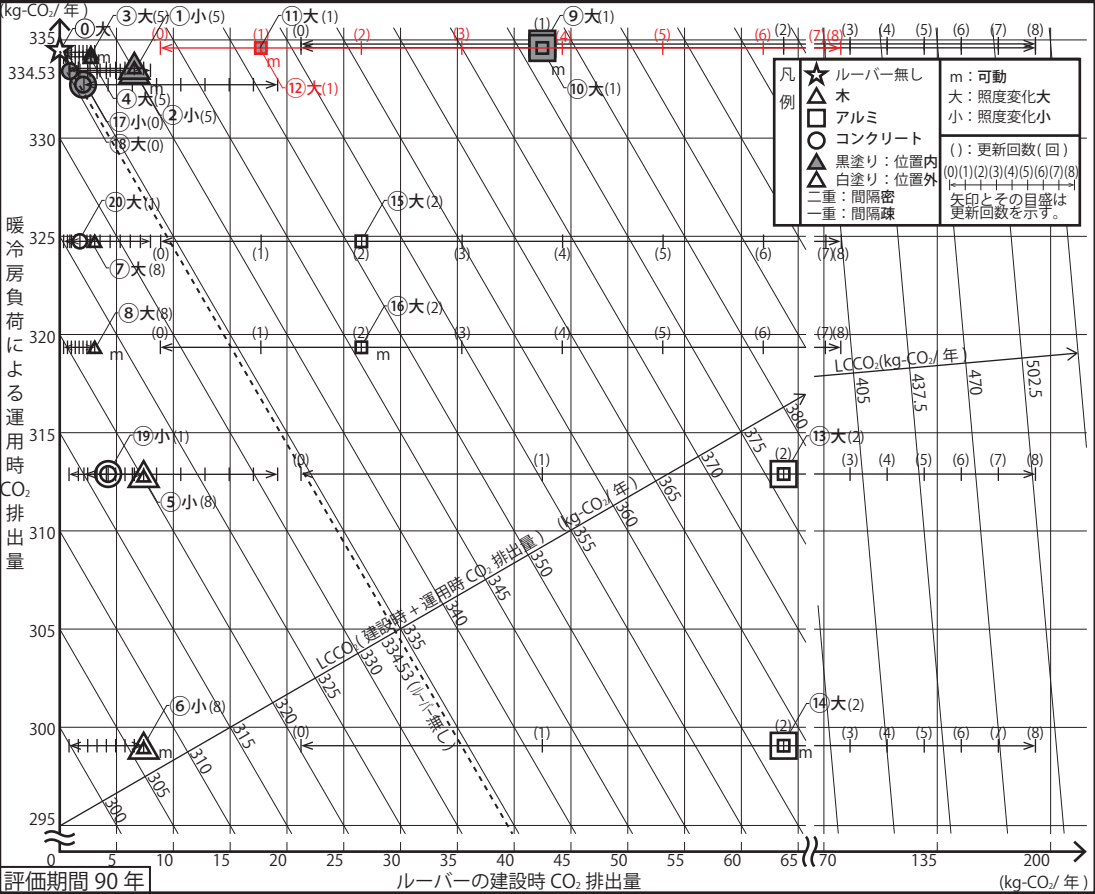


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

13 A 外密 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外	密(12本)	アルミ	固定	0.0757 m ³		(kg/m ²)	(kg-CO ₂ /m ²)	[]内は更新回数 []内は 90 年合計 (kg-CO ₂)	
立面					短手断面				
					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値	5 節		6 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					207.24 [+13.83]	105.65 [-35.47]	312.89 [-21.64]	1762.6	702.9(明)
								最小照度 (lx)	0.40(大)
									LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
									376.64 [+42.11]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0	0	0	0	21.48	48.62	207.24	
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	0	105.65	
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	21.48	48.62	312.89



図 5 節 照度分布図

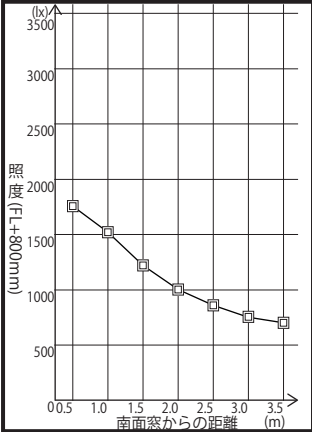


図 5 節 照度分布

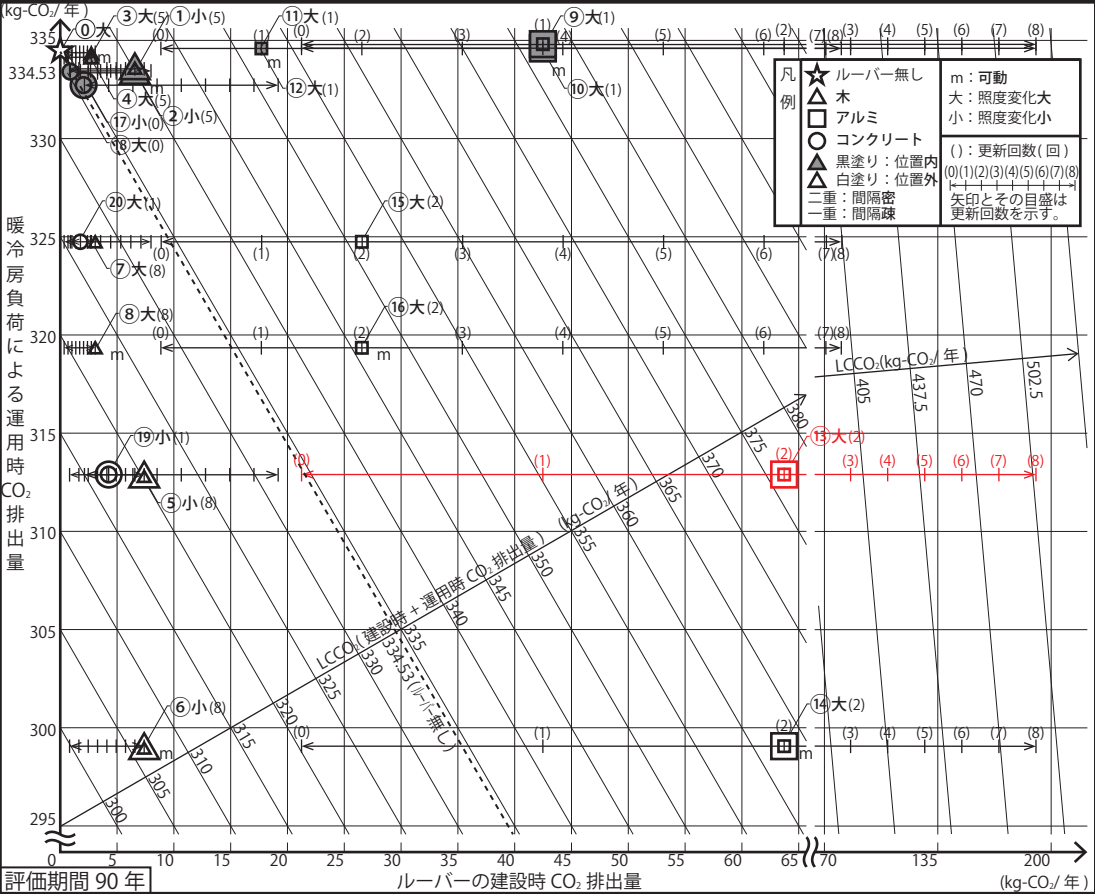


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

14 A 外密 m

2 節					3 節						
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ / 年)		
外	密(12本)	アルミ	可動	0.0757 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)		
立面				短手断面	9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	30 年 [2]	63.75 [5737.31]		
					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値			5 節		6 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ / 年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ / 年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ / 年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)	最小照度最大照度	LCCO ₂ (kg-CO ₂ / 年)
					193.41[+13.83]	105.65[-35.47]	299.06[-35.47]	1762.6	702.9(明)	0.40(大)	362.81 [+28.28]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	0	0	105.65
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	20.39	46.30	299.06



図 5 節 照度分布図

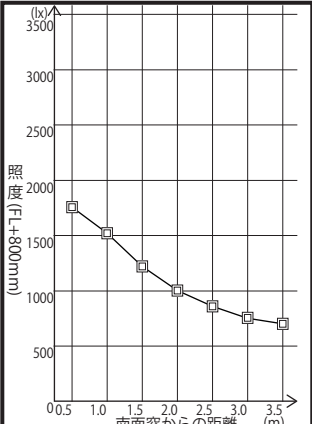


図 5 節 照度分布

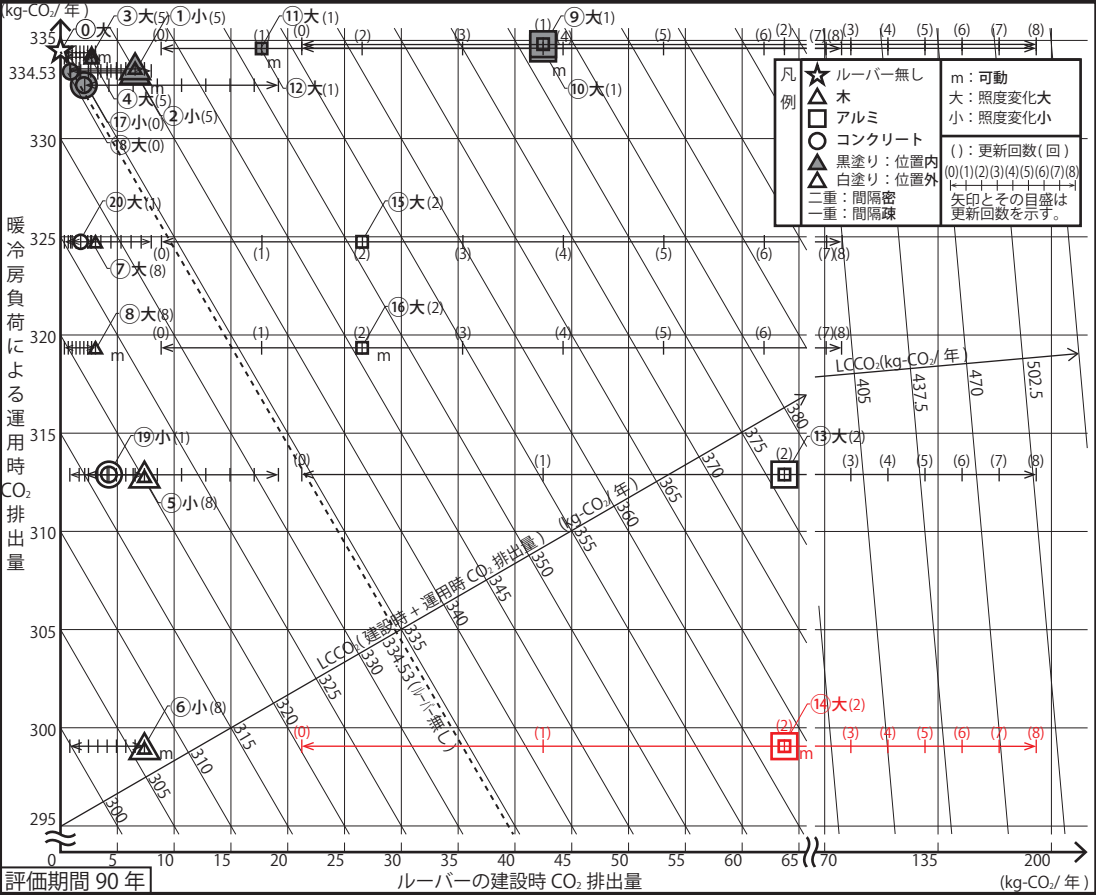


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

15 A 外疎 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外 疎 (5本)		アルミ	固定	0.0315 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					9.4(kg-CO ₂ /kg)	2700	25267.9	30 年 [2]	26.56 [2390.55]
短手断面					4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値			5 節	
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					198.81 [+5.40]	125.93 [-15.19]	324.74 [-9.79]	3334.7	1026.0(明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	351.31 [+16.78]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	0	0	0	0	0	20.80	47.25	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	0	0	125.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	20.80	47.25	324.74

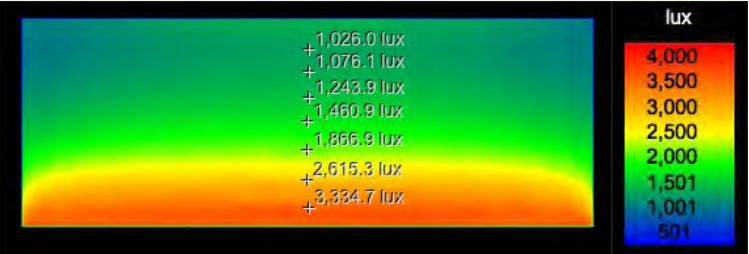


図 5 節 照度分布図

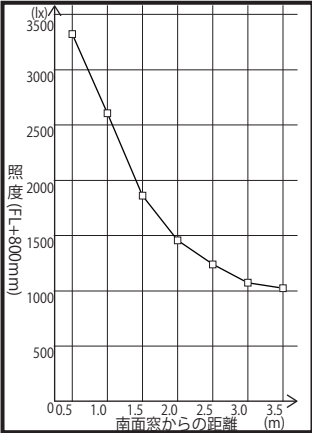


図 5 節 照度分布

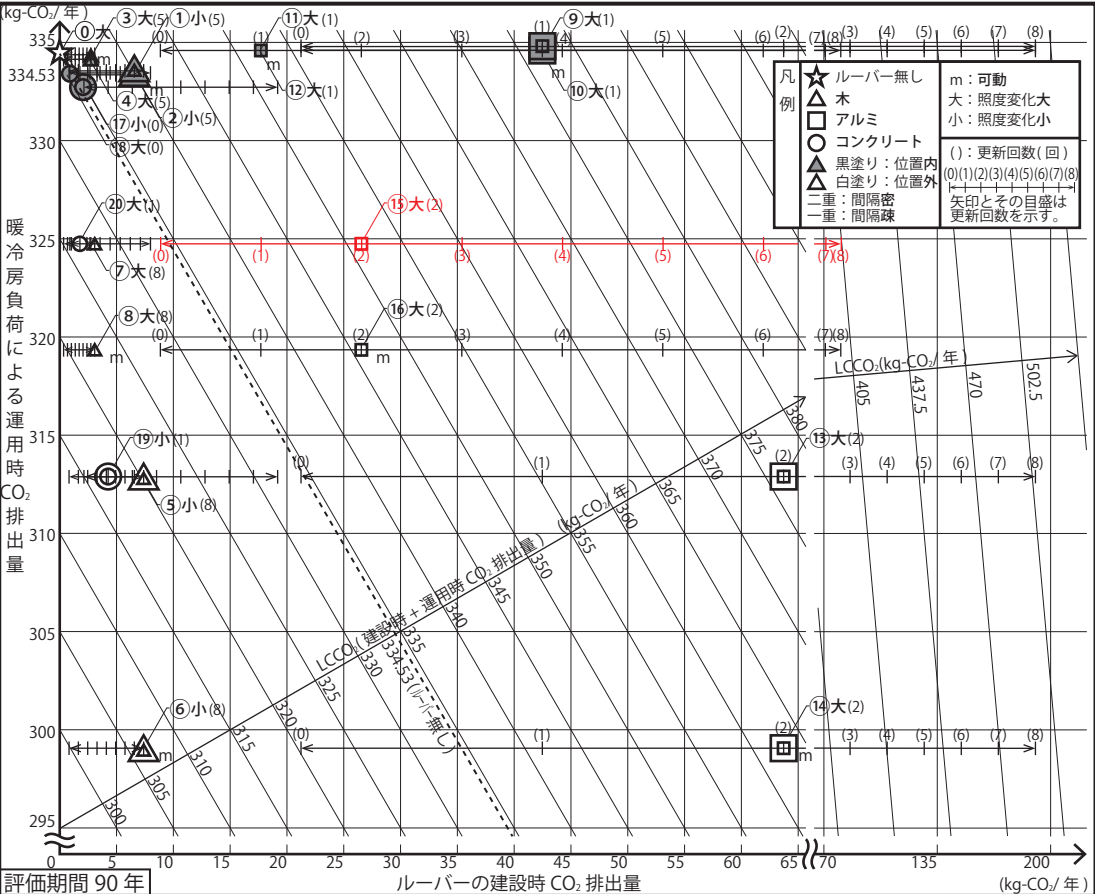


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

16 A 外疎m

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
外 疎 (5本)		アルミ	可動	0.0315 m ³				[] 内は更新回数	[] 内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					短手断面			30 年 [2]	26.56 [2390.55]
					4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値	5 節			6 節
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.41 [±0]	125.93 [-15.19]	319.34 [-15.19]	3334.7	1026.0 (明)
								最小照度 (lx)	LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)
								最大照度 (lx)	345.91 [+11.38]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	0	0	0	0	0	20.39	46.30	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	0	0	125.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.46	44.01	18.67	8.58	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	20.39	46.30	319.34

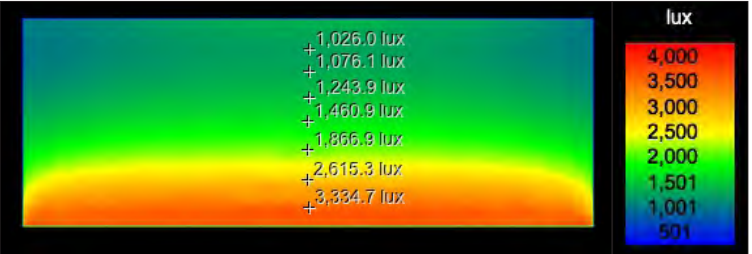


図 5 節 照度分布図

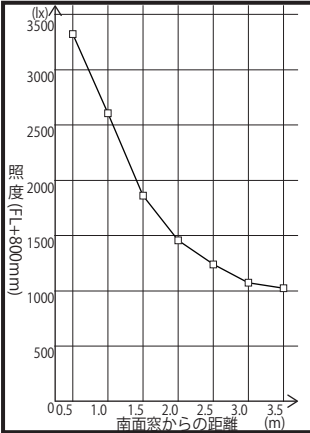


図 5 節 照度分布

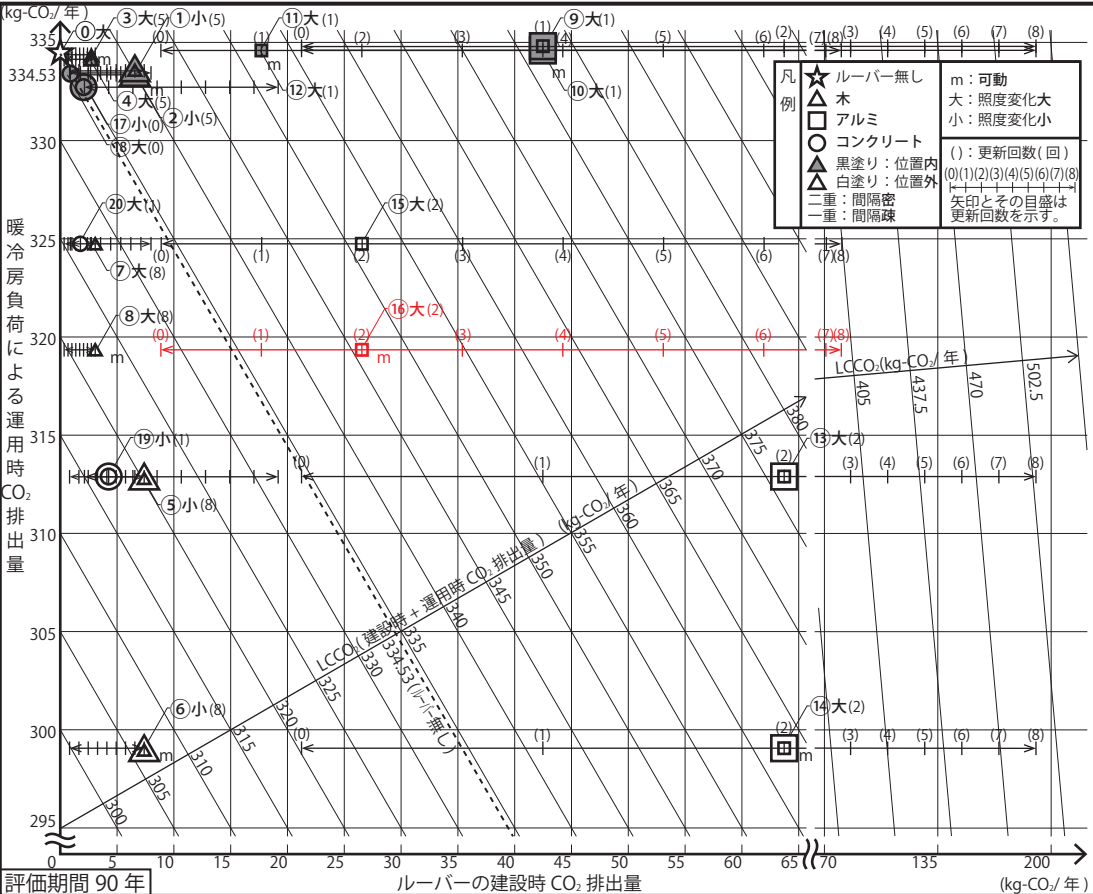


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

17 C内密 f

2 節					3 節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内	密(12本)	コンクリート	固定	0.648 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					296.1(kg-CO ₂ /kg)		296.1	90 年 [0]	2.13 [191.87]
短手断面					4 節 []内はルーバー無しに対する増減値				
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					192.73 [-0.68]	139.98 [-1.14]	332.71 [-1.82]	682.6	516.8(明)
					5 節				
					6 節				
					LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)				
					334.84 [+0.31]				

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.31	43.88	18.58	8.52	0	0	0	0	0	0	20.29	46.15	192.73
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.43	39.16	77.06	18.12	4.21	0	0	139.98
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.31	43.88	18.58	8.52	0	1.43	39.16	77.06	18.12	4.21	20.29	46.15	332.71



図 5 節 照度分布図

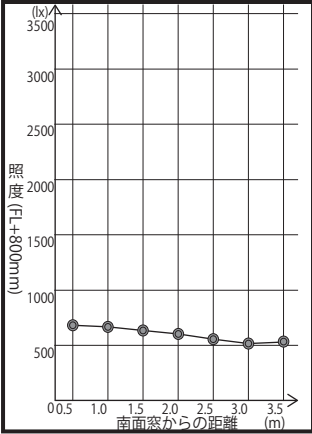


図 5 節 照度分布

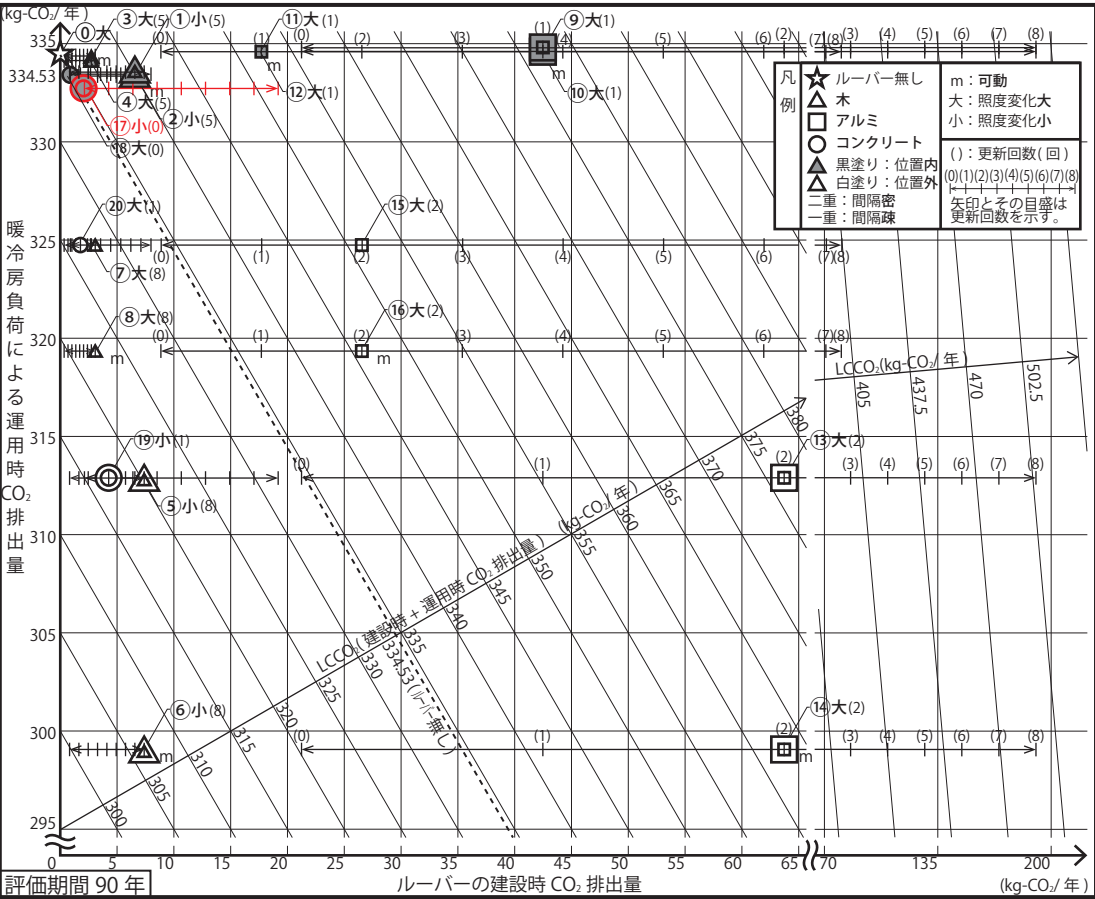


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

18 C内疎 f

2節					3節				
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)
内 疎 (5本)	コンクリート	固定		0.270 m ³				[]内は更新回数	[]内は 90 年合計 (kg-CO ₂)
立面					296.1 (kg-CO ₂ /kg)		296.1	90 年 [0]	0.89 [79.95]
短手断面					4節 []内はルーバー無しに対する増減値				
					暖房負荷 (kg-CO ₂ /年)	冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	暖冷房負荷 (kg-CO ₂ /年)	最大照度 (lx)	最小照度 (lx)
					193.03 [-0.38]	140.37 [-0.75]	333.40 [-1.13]	2142.2	843.4 (明)
					5節				
					6節				
					LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年)				
					334.29 [-0.24]				

表 4節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.38	43.93	18.62	8.55	0	0	0	0	0	0	20.34	46.21	193.03
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.42	39.33	76.77	18.08	4.77	0	0	140.37
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.38	43.93	18.62	8.55	0	1.42	39.33	76.77	18.08	4.77	20.34	46.21	333.40

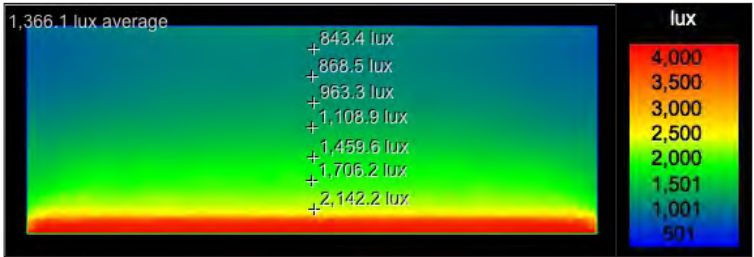


図 5節 照度分布図

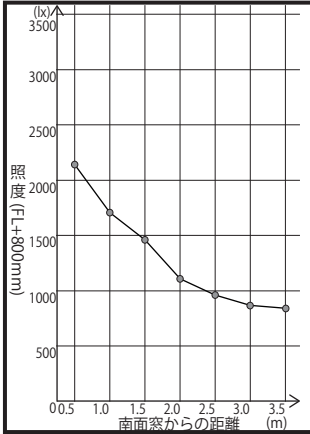


図 5節 照度分布

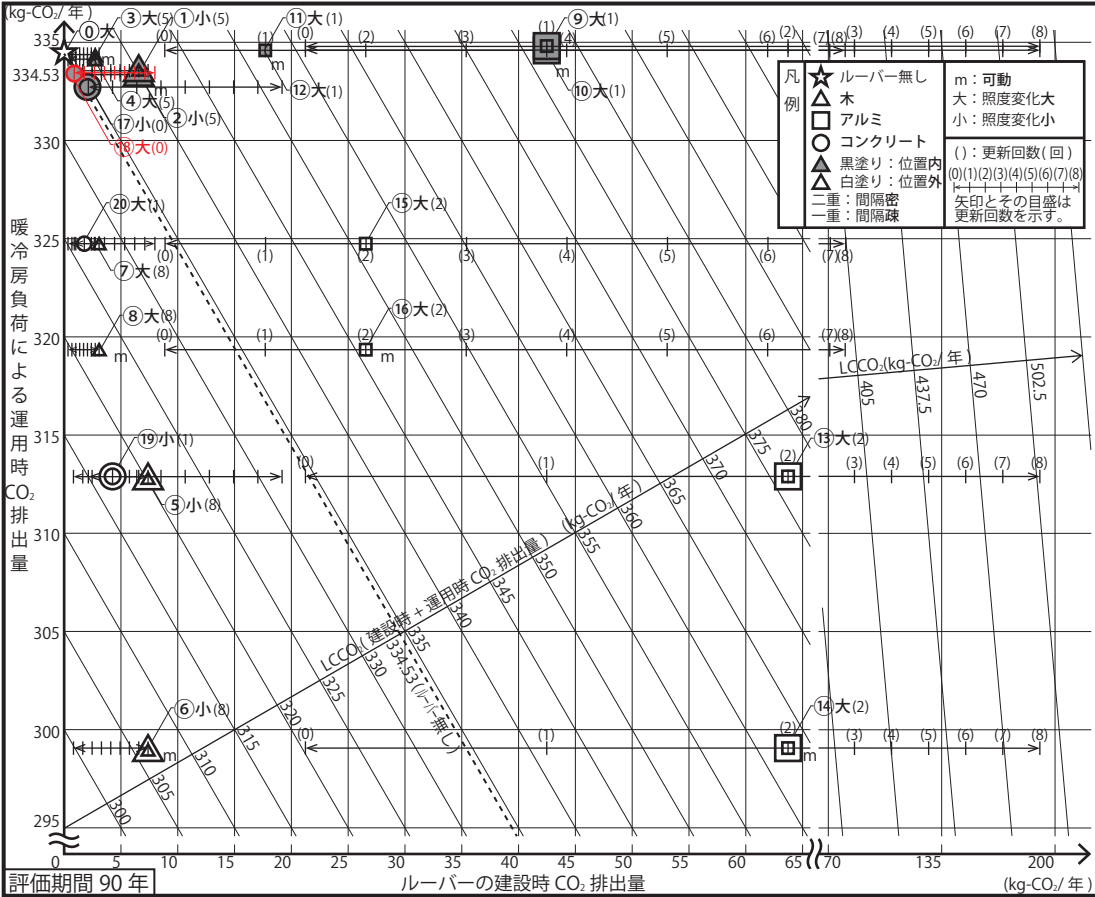


図 6節 LCCO₂ と夏季の光環境

①9 C 外密 f

2 節				3 節						
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ / 年)	
外	密(12本)	コンクリート	固定	0.648 m ³		(kg/m ³)	(kg-CO ₂ /m ³)	[] 内は更新回数	[] 内は 90 年合計 (kg-CO ₂)	
立面				短手断面	296.1(kg-CO ₂ /kg)		296.1	60 年 [1]	4.26	[383.75]
				4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値				5 節		6 節
				暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度	最小照度	LCCO ₂
				(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(lx)	(lx)	(lx)	(kg-CO ₂ / 年)
				207.24 [+13.83]	105.65 [-35.47]	312.89 [-21.64]	880.9	569.7(明)	0.65(小)	317.16 [-17.37]

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0	0	0	0	0	21.48	48.62	207.24
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	0	0	105.65
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	58.67	47.35	21.06	10.06	0	0.84	27.66	57.81	14.06	5.28	21.48	48.62	312.89

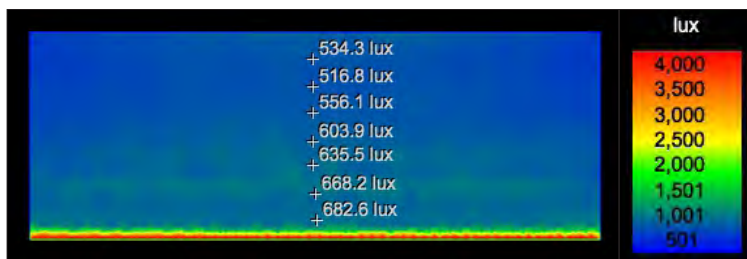


図 5 節 照度分布図

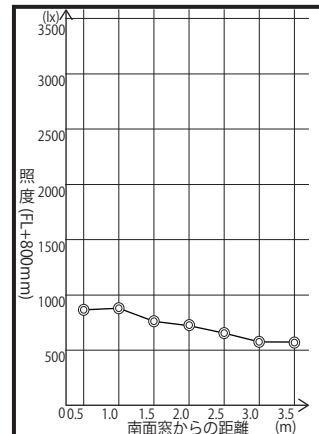


図 5 節 照度分布

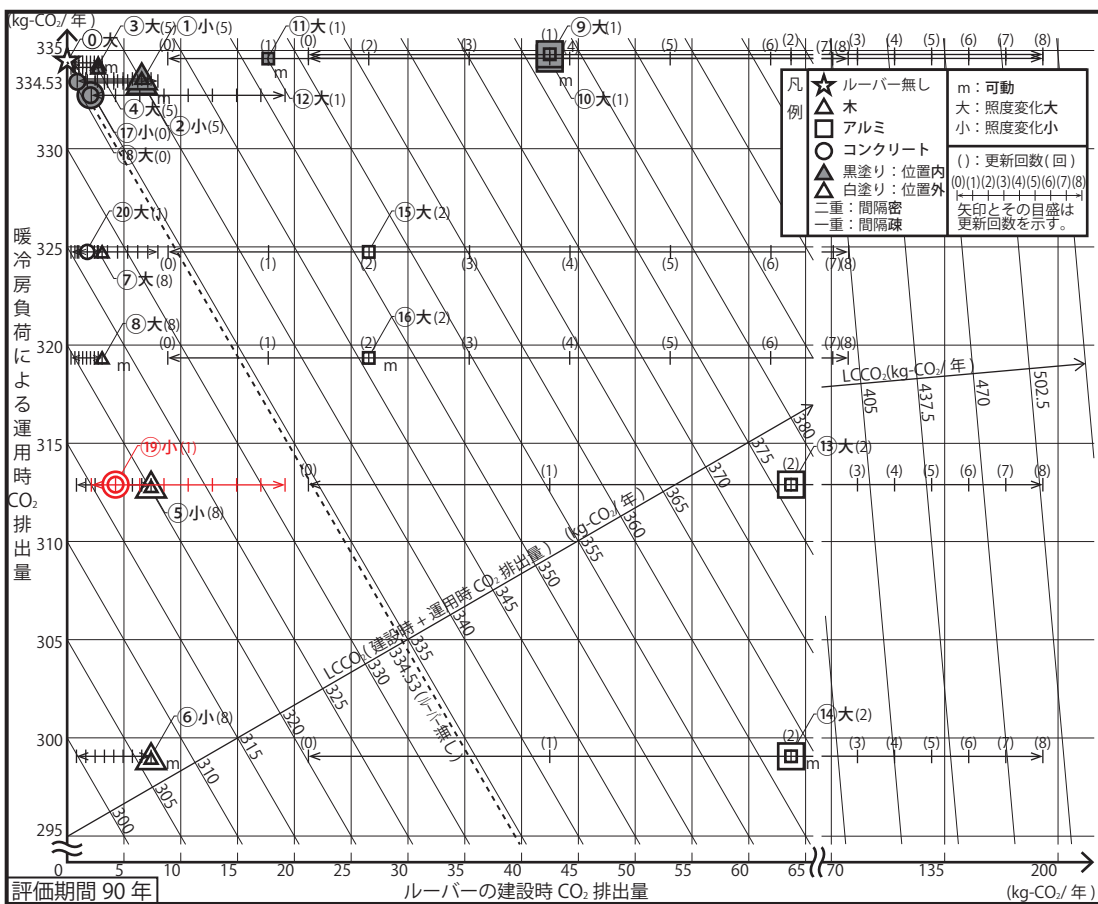


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境

20 C 外疎 f

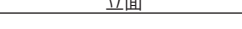
2 節					3 節									
位置	間隔	素材	開閉	ルーバーの総容積	複合原単位	密度	換算した原単位	更新周期	建設時 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ / 年)					
外 疎 (5本)	コンクリート	固定		0.270 m ³		(kg/m ²)	(kg-CO ₂ /m ²)	[] 内は更新回数	[] 内は 90 年合計 (kg-CO ₂)					
立面				短手断面	296.1(kg-CO ₂ /kg)		296.1	60 年 [1]	1.78	[159.89]				
					4 節 [] 内はルーバー無しに対する増減値							5 節		6 節
					暖房負荷	冷房負荷	暖冷房負荷	最大照度	最小照度	最小照度	LCCO ₂			
					(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(kg-CO ₂ / 年)	(lx)	(lx)	最大照度	(kg-CO ₂ / 年)			
					198.81 [+5.40]	125.93 [-15.19]	324.74 [-9.79]	2338.4	902.1(明)	0.39(大)	326.52 [-8.01]			

表 4 節 暖冷房負荷

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
暖房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	0	0	0	0	0	20.80	47.25	193.41
冷房負荷 (kg-CO ₂)	0	0	0	0	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	0	0	125.93
暖冷房負荷 (kg-CO ₂)	55.72	45.30	19.58	9.16	0	1.17	34.26	68.47	16.50	5.53	20.80	47.25	324.74

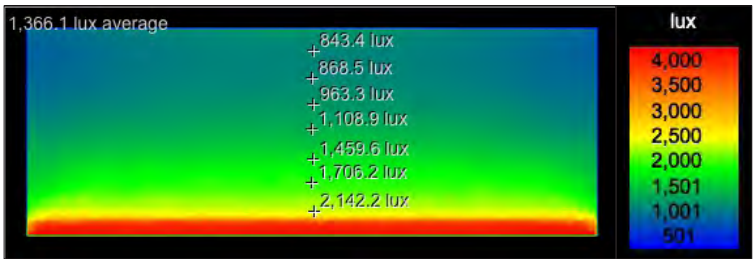


図 5 節 照度分布図

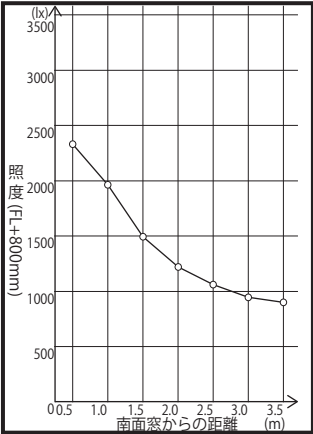


図 5 節 照度分布

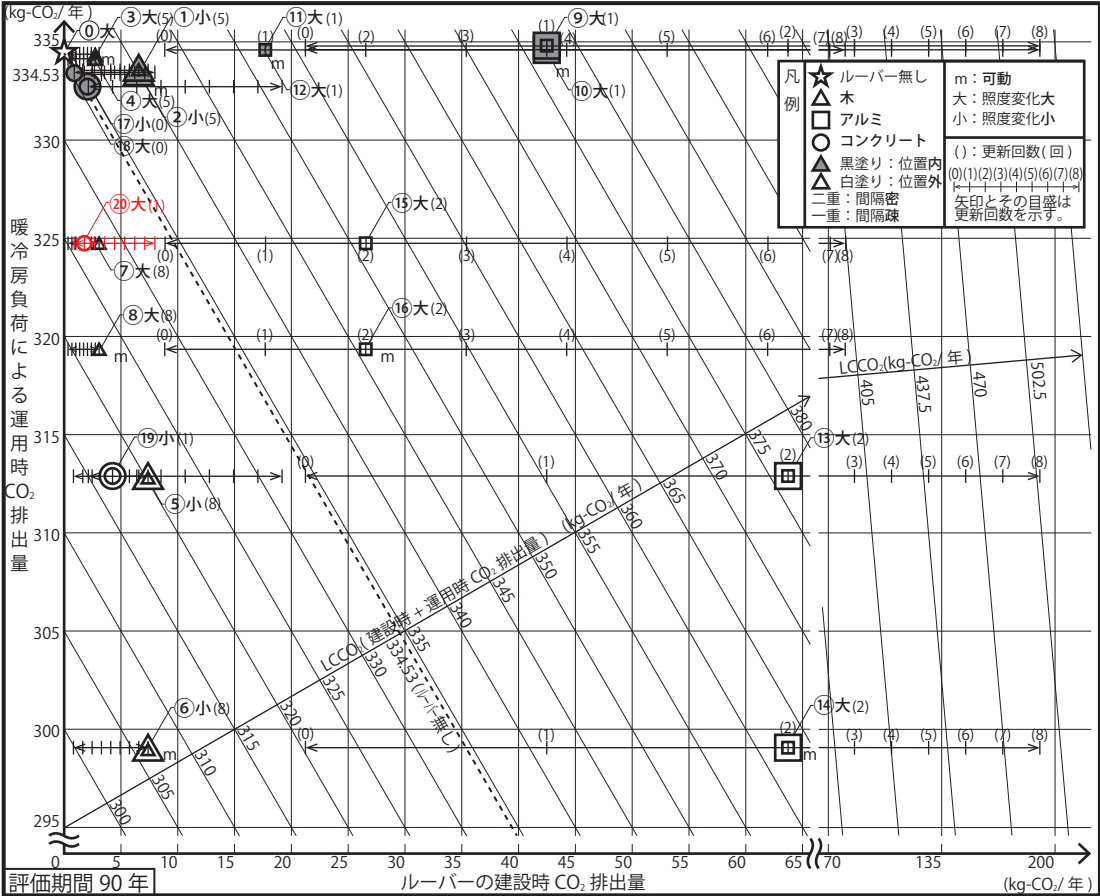


図 6 節 LCCO₂ と夏季の光環境