

LCCM 住宅デモンストレーション棟における居住実験結果

THE RESULT OF EXPERIMENTAL RESIDENCE IN LCCM DEMONSTRATION HOUSE

高瀬幸造 — * 1 中川あや — * 2
桑沢保夫 — * 3 前 真之 — * 4
村上周三 — * 5

Kozo TAKASE — * 1 Aya NAKAGAWA — * 2
Yasuo KUWASAWA — * 3 Masayuki MAE — * 4
Shuzo MURAKAMI — * 5

キーワード:
LCCM, 居住実験, ランニング CO₂, 戸建住宅, 高効率設備

Keywords:
LCCM, Experimental residence, Running CO₂, Detached house, High efficient equipment

Recently, not only running CO₂ consumption but also initial CO₂ reduction has been important. In Japan, LCCM (Life cycle carbon minus) is a keyword of sustainable buildings. In LCCM buildings, many efforts to reduce CO₂ (such as high thermal insulation, high efficient equipment, and so on) are adopted and Photovoltaic system can return more amount of CO₂ than CO₂ which is consumed in buildings. According to such principal, LCCM demonstration house were built in 2011. We have checking the performance of this house by experimental residence.

1. はじめに

建設・運用・廃棄時に可能な限り省 CO₂化に取り組み、更に太陽光発電を利用したエネルギーの創出により、建設から廃棄までの CO₂ 収支をマイナスにする LCCM 住宅の取り組みが推進されている。こうした中で茨城県つくば市の(独)建築研究所内に、LCCM 住宅デモンストレーション棟(以下、デモ棟)が建設され、その評価が継続的に行われている。本研究では、一般家庭を想定した負荷パターンに従って燃料電池などの高効率機器を使用した際の住宅のトータル性能の把握を目的とし、デモ棟にて居住実験を行うことで、設計時に検討されたランニング CO₂ 排出量の妥当性検討を行った。

夜間にはハニカムスクリーンを閉じると共に、主居室と縁側間のガラス戸を間仕切ることによる断熱強化が意図されている。夏期には屋根が庇として機能し、横ルーバーの併用で南面大開口での日射遮蔽も考慮している。更に通風塔での通風促進・排熱も期待される。

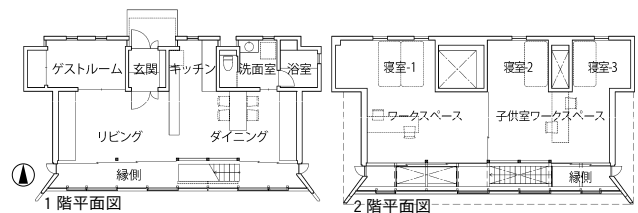


図1 デモ棟平面図

2. LCCM 住宅デモンストレーション棟の概要

デモ棟は 2011 年 3 月に竣工した木造 2 階建て住宅である。図 1 に平面図、表 1 に建物概要を示す。熱損失係数 Q 値 1.98W/m²K (設計時計算値)、相当隙間面積 C 値 1.2cm²/m² (竣工時実測値) と、敷地は次世代省エネ基準の地域区分Ⅳ地域であるのに対し、Ⅱ地域における基準値相当の高い外皮性能を有する。また冬期の日射取得を狙った南面大開口では、木製サッシと真空ガラスを採用している。

次に、設備計画の概要を表 2 に示す。各室の熱負荷に適した負荷率で動作することが想定される小容量の高効率エアコンによる部分間欠暖冷房が採用された。給湯は、太陽熱利用 CO₂ 冷媒ヒートポンプ給湯器または家庭用燃料電池(本居住実験では PEFC を使用した。以下、FC と略す。)を使用できるが、居住実験時では電力負荷を再現可能なため、FC 使用時について評価した。また、節湯型水栓器具・小口径配管の採用など、給湯負荷低減についても考慮した。

表 1 建物概要

所在地	茨城県つくば市
次世代省エネ基準地域区分	Ⅳ地域
構造	木造 2階建
延床面積	142 m ²
Q値(計算値/基準値)	1.98/2.7 W/m ² K
C値(計算値)	1.2 cm ² /m ²
日射取得係数 μ 値	0.037

表 2 居住実験時の使用設備概要 (コンロは不使用)

暖房	エアコン(1F×1台 暖房定格能力3.2kW、2F×2台 暖房定格能力2.5kW)
冷房	エアコン(1F×1台 冷房定格能力2.8kW、2F×2台 冷房定格能力2.2kW)
給湯	家庭用燃料電池(発電出力250~750W、定格発電効率36%HHV、貯湯タンク200L)
換気	第3種換気(1,2階東西妻面から自然給気。通風塔2箇所機械換気による排気)
照明	LED使用による多灯分散照明
家電	2011年竣工時のトップランナー機種(冷蔵庫、テレビ、洗濯機)、電子レンジ、PC等
太陽光	定格出力8.0kW (南面傾斜角19°)

本稿は既発表論文^{1),2)}の内容を再編成・加筆したものである。

¹⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 特任研究員・博士(工学)
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学部1号館105号室)

²⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程

³⁾ (独)建築研究所環境研究グループ 上席研究員・博士(工学)

⁴⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

⁵⁾ (独)建築環境・省エネルギー機構 理事長・工博

¹⁾ Researcher, Grad. School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

²⁾ Graduate Student, Grad. School of Eng., The Univ. of Tokyo

³⁾ Chief Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.

⁴⁾ Assoc. Prof., Grad. School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

⁵⁾ Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr. Eng.

3. 居住実験概要

3.1 実験スケジュールと実験時の各設備運用条件

冬期(2011年3月1日～7日、2012年1月27日～1月31日)・夏期(2011年8月6日～12日)・中間期(2011年11月2日～8日)の各季節において、約1週間に渡って居住実験を行った。各季節とも、毎日の天候の差の影響を把握するため自立循環住宅開発委員会の平日(湯消費・大)に統一した生活スケジュール³⁾を基本とし、評価を行った。図2に居住実験の生活スケジュールの概要を示す。

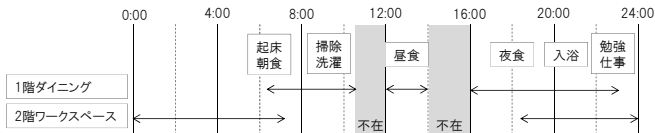


図2 生活スケジュール

給湯は、節湯措置を考慮した湯消費量(40℃、370L/日)とし、出湯時刻を毎日統一した。また、暖冷房は各階にて、図2に示す矢印で就寝中を除く在室時間帯での運転とし、室内温度が28.5℃以上で冷房運転、18℃以下で暖房運転とした。なお、エアコン設定温度は、室温温度状況に応じて適宜調節した。照明使用についても、暖冷房と同様の時間帯を対象とし、昼光利用時に室内の照度が300lx以下の際には点灯した。家電は、1990年比で消費エネルギー3割削減を目標とした使い方とした。厨房についてはガス計測の都合上、給湯とコンロでの使用量が分離不可能等の理由から実験中はコンロを使用せず、4章の居住実験結果および5章の年間展開では自立循環型住宅の実証実験で用いられた値(0.69kg-CO₂/日)を使用した。

3.2 測定概要

室内環境は、各居室の代表点にて室内外温度・照度・床表面温度の測定を1分間隔で行った。測定点位置は図3の通りである。

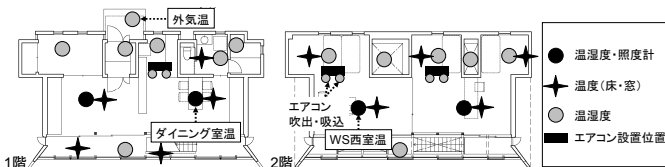


図3 温湿度・照度の測定点

また、電力測定は計25点、1分間隔で測定し、各室コンセント・照明・家電等に加え、太陽光発電量・FC発電量について用途毎に把握した。給湯給水温度・流量、屋根面日射量等は5秒間隔で測定した。また、FCガス消費は発電ユニット(PU)と、貯湯・バックアップボイラーユニット(BB)の双方を5秒間隔で測定した。

4. 居住実験結果

以下、居住実験時CO₂排出量を示す。電力CO₂排出原単位0.561kg-CO₂/kWh⁴⁾、都市ガスCO₂排出原単位2.21kg-CO₂/m³⁵⁾とした。

2回行った冬期居住実験のうち、真冬の2012年1月の結果を図4に示す。外気温は日平均で0℃程度と低かったが、屋根面日射量は全日で20MJ/m²程度と大きいため太陽光発電量は大きく、一日の収支では11～14kg/日程度のCO₂償還量となった。

図5にて、冬期晴天日を代表日とした室温変動と建具の開閉モードを示す。朝方には室温が約10℃まで下がり、エアコン暖房による

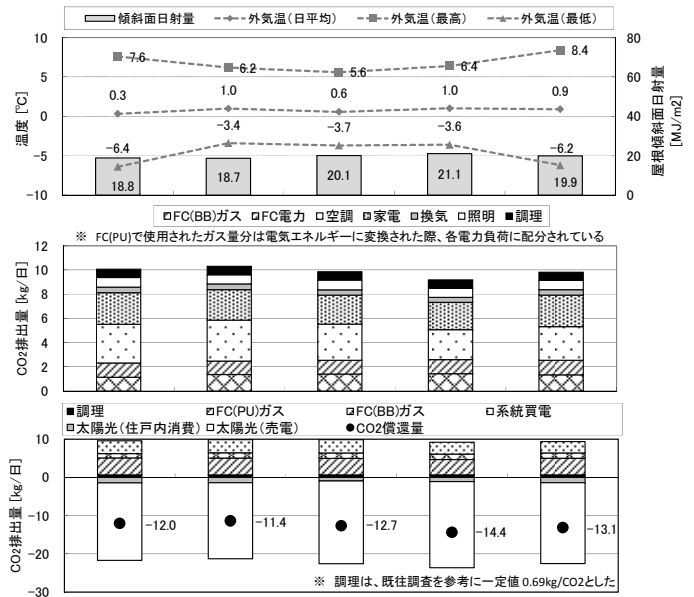


図4 気象条件・用途別CO₂排出量・CO₂収支(冬期)

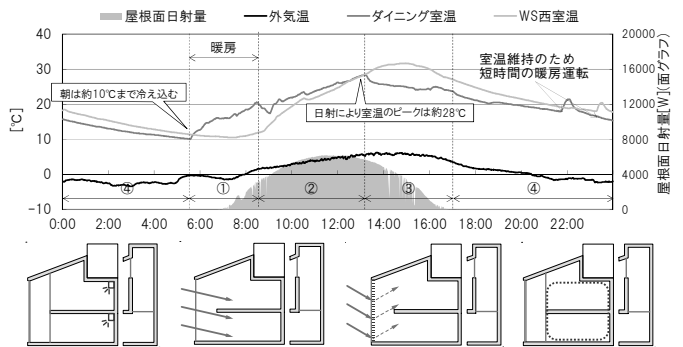


図5 冬期居住実験代表日(2012.1.29)の外気温・室温と居住モード

室温の立ち上げが必要となった(図5-①)。1階エアコンの暖房能力は暖房負荷を満たすものが選定されていたが、気積が大きい空間のために立ち上がりには2～3時間程度を要した。昼間に日射取得が大きくなった際にはエアコン運転を停止し、ダイレクトゲインのみで室温は20℃以上を維持できた(図5-②)。昼過ぎには約27℃にまで上がったためにルーバー等を使用して熱取得を調整することにより、オーバーヒートを防いだ(図5-③)。日没後には、室内の暖気を逃がさないよう窓面のハニカムスクリーンを使用し、縁側とリビング・ダイニングの間の間仕切りも閉じることで断熱強化した(図5-④)。就寝中には外気温が氷点下まで下がったにも関わらず、室温はわずかな暖房運転で18℃以上に保てることが確認された。

次に、図6にて夏期居住実験の結果を示す。夏期は日射量が多く外気温も高かったため、冷房負荷が相当に大きかった反面、給湯負荷は小さいために発電時の排熱の貯湯のみでまかなうことが可能であった。晴天時が多く10～19kg/日程度とCO₂償還量は大きかった。

次に、図7にて夏期居住実験時の晴天日を代表日とした室温変動と建具の開閉モードを示す。夜間から朝方に通風を行い、早朝は外気温程度の約26℃までダイニング室温が下がった(図7-⑤)。日中、しだいに外気温が高くなり室温が28.5℃を超えた時点で、冷房運転を行った。この際、縁側を外外部化しルーバーを活用することで、直

達日射の侵入を極力防いだ(図 7-⑥)。居住実験時は最高気温 34℃と猛暑であったことから、設定温度 24℃(風量・強)で運転しても室温を外気温より 5℃下げるのみに留まった。不在時は窓をすべて閉め、縁側の排気と通風塔の 24 時間換気のみを行った(図 7-⑦)。夜間まで外気温が 28℃を下回らなかったために継続して冷房を運転したが、外気温が低くなった日没後においてはエアコン冷房能力が不足せず約 28℃に室温を保つことができた(図 7-⑥,16:00 以降)。夜間遅くには外気温も下がり、室温が 28.5℃を下回ったため、通風を行った(図 7-⑤)。その際、1 階は外気温と同程度の室温まで低下するのに対し、2 階は約 2℃高くなったことから通風性状については 2 階では改善の余地があるものと思われる。このように、夏期晴天日においては、ルーバー等による直射日光の調整や通風の積極利用で、日中以外の冷房運転を抑えた生活が可能であった。

最後に、図 8 にて中間期の結果を示す。建具の調節を行いながら生活を行うことで、暖冷房は使用せずに生活が可能であった。悪天候の場合には太陽光発電量が小さいために CO₂ 収支はマイナスにならない日も見られたが、晴天時には他の季節と同様 10kg/日以上 CO₂ 償還量となった。次に、図 9 にて中間期居住実験時の晴天日を代表日とした室温変動と建具の開閉モードを示す。朝方に縁側部分が室温より約 2℃低くなることから、まずは縁側のみで熱取得を

行うため縁側・主居室間の間仕切りを閉め切った(図 9-⑧)。次第に縁側の温度が上昇し、主居室室温が同程度になった際に間仕切りを開け、室温の低下を防いだ(図 9-②)。ルーバーによる日射制御を行っても室温が約 27℃まで上昇したが、外気温が約 17℃と低く通風するには適していないと判断されたため、まずは縁側間仕切りを閉めて、縁側のみで通風を行った(図 9-⑨)。日中には縁側の排熱を行っても室温は 28℃近くまで上がったため、昼間は通風を行った(図 9-⑤)。この結果、室温は外気温より 2~3℃高く、夕方まで 20~24℃と適切な室温に保つことができた。夕方以降は外気温が下がるため、日没時まで日射の熱取得を積極的に行った(図 9-②)。また、日没後は間仕切りとハニカムスクリーンを全閉し、断熱強化を行うことで、就寝時に外気温が下がっても、室温は 20℃以上を維持可能であり(図 9-④)、モード図は省略、縁側を有効利用することで、非空調で 20~25℃の室温を維持可能であった。

5. 居住実験結果の年間評価

各季節の居住実験結果をもとに、下記の手順で年間 CO₂ 償還量を推定した。年間展開時には、拡張アメダスデータ⁶⁾に収録中で敷地に最も近い「茨城県長峰」のデータを用いた。

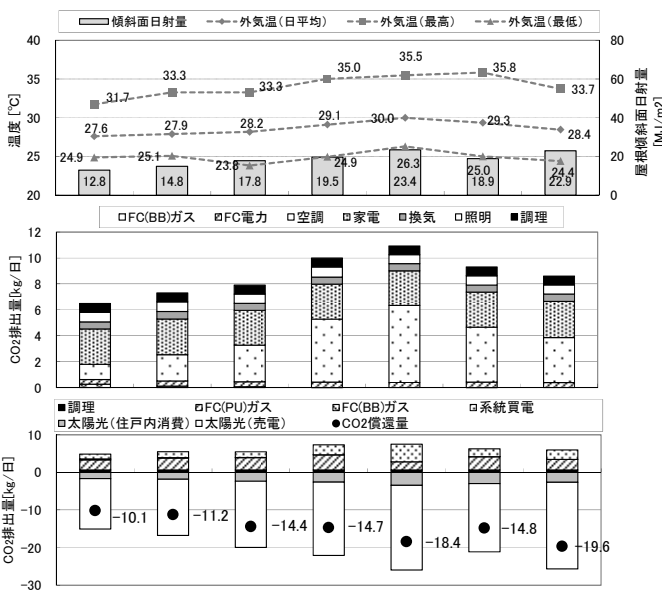


図 6 気象条件・用途別 CO₂ 排出量・CO₂ 収支 (夏期)

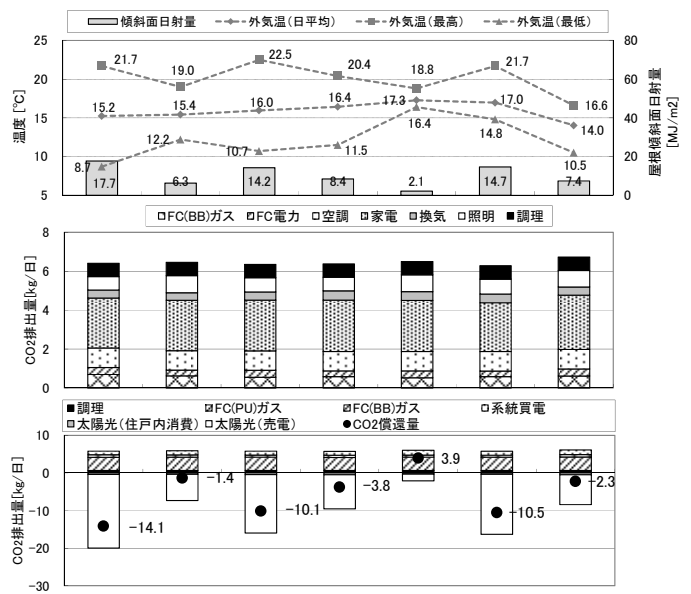


図 8 気象条件・用途別 CO₂ 排出量・CO₂ 収支 (中間期)

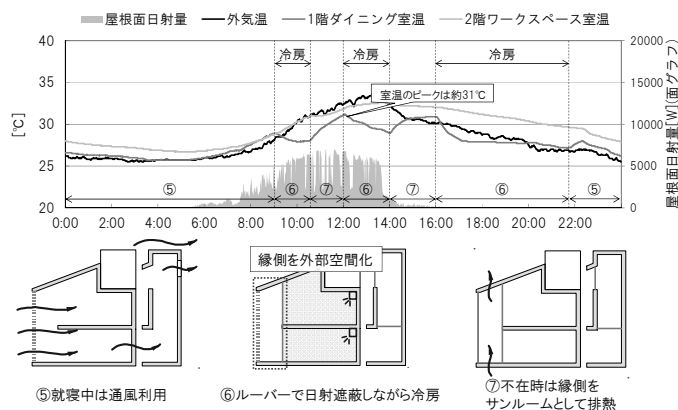


図 7 夏期居住実験代表日の外気温・室温と居住モード

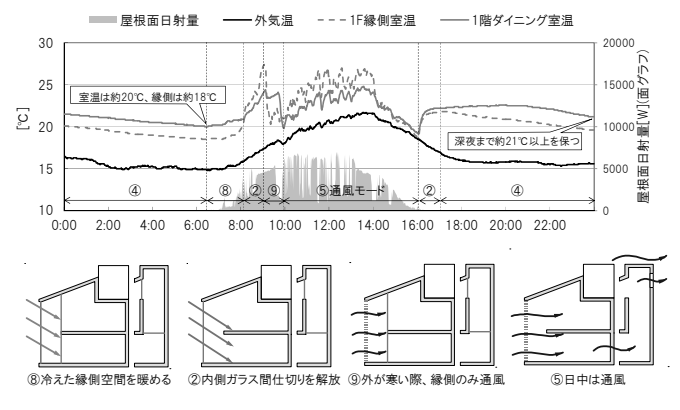


図 9 中間期居住実験代表日の外気温・室温と居住モード

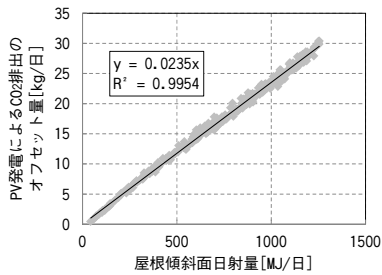


図10 傾斜面日射量と太陽光発電によるCO₂償還量

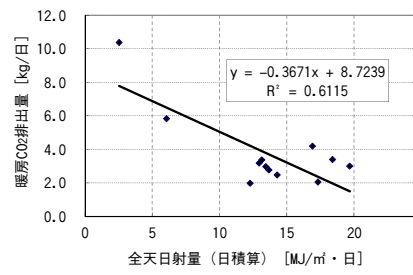


図11 日射量と暖房CO₂排出量

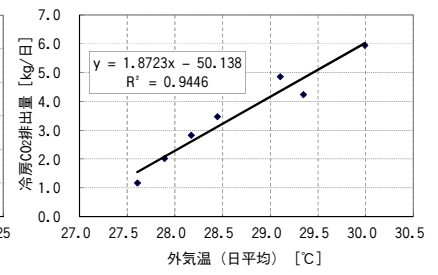


図12 外気温と冷房CO₂排出量

●太陽光発電によるCO₂排出のオフセット量

LCCM デモ棟における長期実測データ(2011年2月24日~2012年2月13日)から、日積算日射量に対する発電によるCO₂排出のオフセット量は、図10の通りであった(実測発電効率は15.09%)。この結果と、365日分の屋根傾斜面日射量より、太陽光発電によって運用時に6585.2kg/年のCO₂排出量削減となることが示された。

●暖房によるCO₂排出量

2011年3月および2012年1月の2回の冬期居住実験結果から、目的変数をCO_{2heat}(暖房時CO₂排出量[kg/日])、説明変数をJ(アメダスで観測された全天日射量[MJ/m²・日])およびT_{out}(日平均外気温の実測値[°C])とした重回帰分析を行ったところ、T_{out}のp値=0.6841、Jのp値=0.0048となったことからCO_{2heat}はJの1次式で表わすものとし(図11)、CO_{2heat}=997.6kg/年であった。

●冷房によるCO₂排出量

夏期居住実験結果より、冷房のCO₂排出量CO_{2cool}は、日平均外気温で表せるものとし(図12)、CO_{2cool}=27.3kg/年であった。

●給湯によるCO₂排出量

FCによる給湯1次エネルギー消費量Q_{hw}は文献⁷⁾に準じ、(1)式より計算した。なお、出湯温度40°Cとした際の給湯負荷L_wは、各日給水温度T_wをCEC/HWの給水温度推定式・係数を使用して求めた。Q_{hw}を求めた後、FC自己電力消費量を0.6GJ/年としてCO₂排出量CO_{2hw}を計算したところCO_{2hw}=899.3kg/年となった。

$$Q_{hw} = E_c \times C1 + L_w \times C2 + C3 \quad \dots (1)$$

E_c:年間全電力負荷[MWh/年]

C1: 0.981 GJ/MWh, C2: 1.128 GJ/GJ, C3: -4.061 GJ

●家電・照明・調理・換気によるCO₂排出量

2011年居住実験結果の各日平均値を用い、年間での排出量を推定した。家電は2.62kg/日、照明は0.76kg/日であった。また、換気については7~9月には不在時間帯の通風塔の排熱換気モードを考慮して0.56kg/日(夏期居住実験の平均値)、その他の月は0.44kg/日(冬期・中間期居住実験の平均値)とした。なお、調理は3.1で示した0.69kg/日を使用した。

上記のように各用途での年間CO₂排出量を推定したところ、太陽光発電による償還分込みで、デモ棟のCO₂償還量は年間で3000kg程度となった(図13)。これは、文献⁸⁾において基本設計時に事前検討された値である、3.4ton/年と比較しても妥当な結果であった。

6. まとめ

LCCM住宅デモ棟での居住実験結果から、以下の知見を得た。
・日射取得や遮蔽、通風のために建具等の開閉を居住者が工夫する

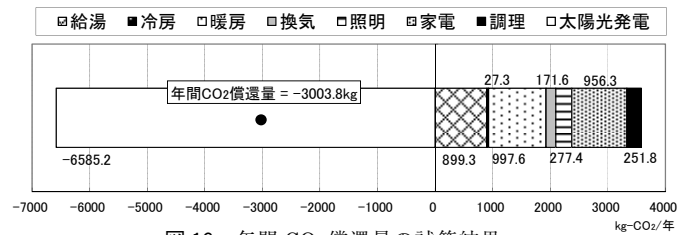


図13 年間CO₂償還量の試算結果

ことで、暖冷房の使用を抑えた生活を実現していた。

・各季節の居住実験においてCO₂排出量は全体にマイナスとなり、年間試算の結果ではCO₂償還量の推定値は3000kg程度となった。

また、今後の課題としては以下のことが挙げられる。

- ・開口部での細かい調整は居住者への負担も相応であり、より操作が容易な開口部の設計が求められる。また、オーバーヒートや夜間の室温低下防止のための室内の熱容量の増加なども課題である。
- ・今回の居住実験とは異なるライフスタイルや設備機器の運用方法改善等によるLCCMの検討を行う必要がある。開口部周りの制御に重点を置いていたが、今後は改修によってSOFCや蓄電池といったエネルギーシステムとの連携も検討予定である。

本研究は日本サステナブル建築協会「ライフサイクルカーボンマイナス住宅研究開発委員会(村上周三委員長)」の研究成果による。実験被験者、建築研究所、サステナブル建築協会各位に感謝します。

参考文献

- 1)高瀬ら:LCCM住宅デモンストレーション棟における居住実験結果 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1103~1104, 2012
- 2)中川ら:LCCM住宅デモンストレーション棟における居住実験結果 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1105~1106, 2012
- 3)宇梶ら:自立循環型住宅システムに関する実証的研究(第六報), 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2, pp.159~160, 2004
- 4)環境省ホームページ(H20年度におけるCO₂排出原単位の代替値)
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956>
- 5)東京ガスホームページ(家庭等におけるCO₂排出係数)
<http://www.tokyo-gas.co.jp/env/gas/category10.html>
- 6)拡張アメダス気象データ1981-2000, 社団法人日本建築学会:編, 2005
- 7)住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説・8章コージェネレーション設備採用時におけるエネルギー消費量の評価方法, (財)建築環境・省エネルギー機構:編, 2009
- 8)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, LCCM住宅研究・開発委員会:編, pp.128, 2012

[2012年10月17日原稿受理 2012年12月25日採用決定]