

1. 研究の背景と目的

近年、低炭素社会・循環型社会の実現が求められているが、その1つの方策として住宅のエコリフォームが注目されている¹⁾。エコリフォームの中でも断熱改修の頻度が高いので、本研究ではエコリフォームとしての断熱改修を対象とする。

これまでもエコリフォームによる生活段階のCO₂排出量の削減効果の推計²⁻³⁾や新築木造住宅の高断熱化のLCCO₂による評価⁴⁻⁵⁾は行われているが、リフォームに伴う資材や施工の負荷も含めたLCCO₂による評価はなく、断熱改修のペイバックタイムも示されていない。ペイバックタイムは断熱改修による追加的CO₂排出量が断熱改修によるCO₂排出削減により相殺できるまでの年数であるので、もしもペイバックタイムがリフォーム後の住宅寿命より長い場合にはCO₂負荷は増加すると容易にわかる。従って断熱改修のCO₂負荷削減効果を判断する上でペイバックタイムは有用である。

そこで本研究では、タイプの異なる断熱改修のCO₂に関するペイバックタイムを明らかにして、CO₂削減に有効な断熱改修を明らかにすることを目的とする。

2. 評価対象

本研究で評価対象とするエコリフォーム事例は、京都市内の木造三階建住宅である。部分断熱改修の対象は2階のLDK(床29.81(m²)、壁47.0(m²)、窓4枚(5.67m²))1部屋とした。断熱材導入に関する評価対象工程は、もとの壁にあったクロス・断熱材・間柱の除去・廃棄、新しい間柱・断熱材・石膏ボードの壁の導入、壁面のパテ処理、クロスによる仕上げとした。断熱材は表1の上から5種を検討した。本研究ではさらに開口部の断熱改修として、窓ガラスにLow-E複層ガラスを、窓サッシに樹脂サッシを使用することとした。ただし表4のように窓ガラスのみ取り替え、窓取り替え、元の窓を残してインナーサッシを追加、の3パターンを検討した。断熱材を使用せず開口部の断熱改修のみの場合は、前述の断熱材導入に関する工程は発生しないものとした。

また本研究では外皮全体の断熱(全体断熱)についても検討した。全体断熱では、家屋全体の開口部にLow-E複層ガラス+樹脂サッシをインナーサッシとして追加する場合と、それに加えて家全体を囲む壁・床・天井の断熱材改修を行ったものを評価対象とした。

3. CO₂排出量の計算方法

3.1 製品のLCCO₂

各断熱材の使用量は断熱性能が熱抵抗R=2.4(m²・k/W)

となるように定め、それぞれのLCCO₂のデータは、文献値⁶⁻⁷⁾を用いた。Low-E複層ガラス⁸⁾、樹脂サッシ⁹⁾、石膏ボード¹⁰⁾、ビニルクロス¹¹⁻¹²⁾もそれぞれ文献値を用いた。木材は防腐処理なしの人工乾燥材のデータ¹³⁾を使用した。パテは充填剤¹¹⁾の値で、ビス・釘・ホッチキス針はめっき鋼¹²⁾の値でそれぞれ代用した。本研究で用いた各製品の製造・廃棄のCO₂排出原単位を表1に示す。

表1 製造時と廃棄時を合わせた原単位

材料	製造時	廃棄時	合計
押出ポリスチレンフォーム	190.67	0.34	191.01 (kg-CO ₂ /m ³)
硬質ウレタン	231.00	0.34	231.34 (kg-CO ₂ /m ³)
高性能ポリフェノール	267.30	0.34	267.64 (kg-CO ₂ /m ³)
グラスウール	35.20	0.34	35.54 (kg-CO ₂ /m ³)
ロックウール	29.33	0.34	29.67 (kg-CO ₂ /m ³)
Low-E複層ガラス	32.26	0.054	32.31 (kg-CO ₂ /m ²)
樹脂窓サッシ	20.57	1.61	22.18 (kg-CO ₂ /枚)
木材	363.43	0	363.43 (kg-CO ₂ /m ³)
石膏ボード	4.40	0.34	4.74 (kg-CO ₂ /m ²)
ビス・釘	0.02	0	0.02 (kg-CO ₂ /本)
ホッチキス針	0.0036	0	0.0036 (kg-CO ₂ /本)
パテ	0.174	0	0.17 (kg-CO ₂ /m ²)
ビニルクロス	0.416	0.879	1.3 (kg-CO ₂ /m ²)

3.2 施工によるCO₂排出量

施工時の工程、使用資材とその使用量、工具等の使用量とその消費電力等のデータは、対象事例のエコリフォームの関係者である大工、施工管理者、設計士へのヒアリングと現場調査・図面調査により収集・設定した。各工具等の使用量を表2に、工事の負荷を表3に示す。施工時の電力使用によるCO₂排出量は、関西電力のCO₂排出係数を用いた。その他のデータは3.1で引用した既存研究のデータを使用して計算した。

3.3 生活時のCO₂排出量

冷暖房のエネルギー負荷Hは、H=(総合熱貫流率)×(住宅滞在時間平均)×(デグリーデー)で求め、対応する冷暖房をエアコンで行ったとしてCO₂排出量を算出した。

表2 施工時のプロセスデータ

材料	部分断熱				全体断熱			
	面積	厚さ	投入量	単位	面積	厚さ	投入量	単位
木材	8.88	0.105	0.90	(m ³)	23.7	0.105	8.609	(m ³)
石膏ボード	41.33	-	41.30	(m ²)	154.0	-	154.0	(m ²)
ビス	-	-	600	(本)	-	-	2.902	(本)
釘	-	-	216	(本)	-	-	648.0	(本)
パテ	41.33	-	41.30	(m ²)	154.0	-	154.0	(m ²)
ビニルクロス	41.33	-	41.30	(m ²)	154.0	-	154.0	(m ²)
ホッチキス針	41.33	-	44.00	(枚)	154.0	-	48.0	(枚)

表3 施工時の工具等のCO2排出原単位と使用量

材料	原単位	単位	部分断熱使用		全体断熱使用	
			量	量	量	量
照明	0.204	(kg-CO2/h)	40.00	(h)	120.0	(h)
エアコンプレッサー	0.764	(kg-CO2/h)	0.80	(h)	80.0	(h)
充電式インパクトドライ	0.836	(kg-CO2/h)	0.50	(h)	2.0	(h)
電動ノコギリ	0.585	(kg-CO2/h)	0.00	(h)	0.1	(h)
道具運搬	2.39	(CO2/km)	10.00	(km)	10.0	(km)

そして断熱改修前と各断熱改修後の総合熱貫流率を用いてCO2排出量を計算し、その削減量を求めた。ただし部分断熱時の床・天井のディグリーデーは壁の1/2とした。断熱材改修に関する熱貫流率¹³⁾、開口部断熱に関する熱貫流率¹⁴⁾は文献値より計算した。ディグリーデーは日本ヒーター株式会社の京都のデータ¹⁵⁾を使用して計算した。エアコンは暖房6~8畳 暖房能力2.8(kW) 消費電力635(W)、冷房7~10畳 冷房能力2.5(kW) 消費電力700(W)を想定した。エアコンの使用時間は平均滞在時間とし、部分断熱ではLDKの滞在時間13.72(h/日)を、全体断熱では住宅の滞在時間20.57(h/日)を用いた¹⁶⁾。

3.4 ペイバックタイムの算出方法

エコリフォームによる年間CO2削減量は、断熱改修による生活時の年間CO2排出削減量の値(Re)とする。エコリフォームによる追加的CO2排出量は施工のCO2排出量と断熱改修に用いる製品の製造・廃棄にかかるCO2排出量の総量(Pe)とする。そしてエコリフォームのCO2ペイバックタイムを、Pe/Reで算出する。

4. 分析結果

断熱材の中ではロックウールが最もLCCO2、ペイバックタイムが小さかったため、これを用いた結果を表4に示す。

部分断熱に関する断熱材と開口部断熱の組み合わせのうちCO2のペイバックタイムが最も短かったのはインナーサッシのみの導入で、次いで他の開口部断熱となった。20年間のCO2排出量についてもほぼ同様の結果となった。これは改修前の住宅は省エネ等級2程度の断熱効果を持っていたため、断熱改修の効果が小さくなったためと思われる。なお断熱材改修でロックウールを使う場合、木材、石膏ボードの負荷の方が大きく影響しているため、この点にも注意する必要がある。今回設定した条件の場合、壁面の断熱材の改修工事を含むケースのペイバックタイムは、10~35年程度あるため、残り寿命がそれよりも短い住宅の場合は環境負荷が大きくなると考えられた。

同じ断熱改修の組み合わせについて全体改修と部分改修を比較すると、部分断熱の方がペイバックタイムが短く20年間の総CO2排出量も小さかった。今回の設定条件

の下では、LDKのような滞在時間が長い部屋を重点的に部分断熱の方が環境負荷は小さくなると考えられる。

表4 ライフサイクルのCO2排出量とペイバックタイム

	組み合わせ	平均熱貫流率(W/m ³)	冷暖房負荷(W)	CO2削減量(kg-)	LCCO2と施工時の	PBT(年)	20年間の総排出量
部分断熱	断熱材のみ	1.24	479	21	869	40.7	10,031
	断熱材、窓取り替え	0.80	458	83	1,153	14.0	9,089
	断熱材、インナーサッシ	0.71	397	96	1,141	11.8	8,804
	断熱材、ガラスのみ	0.94	383	63	1,052	16.7	9,383
	窓取り替え	0.96	417	61	316	5.2	8,679
	インナーサッシ	0.86	418	75	304	4.1	8,395
	ガラスのみ	1.10	405	42	215	5.2	8,973
全体断熱	インナーサッシ	0.78	438	164	1,108	6.8	20,531
	断熱材+インナーサッシ	0.62	971	539	3,912	7.3	15,838

5. 結論

1) 部分改修については、今回の設定条件の下では、断熱材の改修を含む高断熱化より、開口部断熱のみの方がCO2のペイバックタイムは短かった。断熱材の改修のみの場合、ペイバックタイムが約35年でリフォーム後の住宅寿命を上回る可能性が示唆された。

2) 同じ断熱改修の組み合わせについて全体改修と部分改修を比較すると、全体断熱の方がペイバックタイムが長く20年超となり、今回の設定条件の下では、改修する方が環境負荷が大きくなる可能性も示唆された。

【参考文献】1)国土交通省、住宅ストック循環支援事業について/2)住友林業,Green Smart, <http://sfc.jp/ie/lineup/smart/>/3)積水ハウス,グリーンファーストゼロ, <http://www.sekisuihouse.com/products/greenfirst/zero/>/4)水石仁,村上三,伊香賀俊治,フロム漏洩を考慮した住宅断熱のLCCO2評価—住宅の断熱強化による温室効果ガス削減に関する研究—,日本建築学会環境系論文集,579,89-96,2004/5)柿田秀人・八木田浩史・成田暢彦・加藤晃敏・木村正彦・青木良輔・稲葉敦,木造戸建住宅のインベントリ分析,日本LCA学会誌4(1),51-58,2008/6)岡建雄,断熱材としてのガラス繊維のLCCO2,ニュー・ガラス21(1),28-35,2006/7)H社,ER製断熱材のLCI分析/8)板硝子協会,エコガラスのLCA報告書(平成26年11月)/9)T社,環境活動レポート/10)近田智也,住まいのLCCO2/11)伊坪徳宏,壁紙LCA研究部会の活動成果/12)松井隆博,井上弘一,二川原淳志,中村昇一,森保,坂井広志,鳥海臣吾,山下洋一,中尾亮,松村年郎,伊坪徳宏,山口博司,塩ビ壁紙を対象とした地球温暖化と室内空気室汚染への総合評価,第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集,2012/13)ウッドマイルズ研究会,建設時における木造住宅の二酸化炭素排出量,マイルズ研究ノート(その18),日本LCA学会誌4(1),51-58,2008/12)南齋規介,森口祐一,東野達,産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID),国立環境研究所地球環境センター/13)住宅省エネルギー技術講習会,住宅省エネルギー技術設計者講習テキスト/14)福島県HP別表1,2, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/194851.pdf>/15)日本ヒーター(株), http://www.nippon-heater.co.jp/wp-content/themes/JapaneseHeater/designmaterials/pdf/degree_day.pdf/16) http://ees.ibec.or.jp/documents/img/kaisetsu200903_03_danreibouhuka_200902.pdf