

1. 研究の背景と目的

住生活基本計画で住宅政策はストック活用へと転換がなされてきている。その中で、既存住宅の流通促進も目標とされているが、これは物質の使用量削減にも貢献すると考えられる。既存住宅流通の指標としては既存住宅シェアがしばしば用いられている。この指標の定義や集計方法に関する研究はすでに行われている[1]が、この指標が住宅建設の物質使用量に与える影響について、住宅需要に影響する要因も含めて、住宅の2R方策と関係づけながら評価した研究は見当たらない。

一方、近年ZEHへの転換が推進されており、今後の新築住宅は温室効果ガス(以下、GHG)排出量の少ない住宅になっていく可能性がある。その場合、既存住宅利用が、エコリフォームの実施も含めてGHG排出削減に貢献できるかどうかについて検討する必要がある。エコリフォームの環境負荷評価については細木ら[2]、青山[3]などがあるがZEHと比較した研究は見当たらない。

そこで本研究では、住宅建設に伴う物質使用量の影響要因を既存住宅利用に留意して把握するとともに、既存住宅に省エネルギーを実施して使用する場合の環境負荷をZEHを新築した場合と比較して評価することを目的として研究を行う。

2. 既存住宅利用による物質使用量への影響

2.1 2Rの観点に基づく物質使用量の構造分解式

橋本ら[4]は、2R活動や、物質の利用を減らす脱物質化の類型とそれらの活動の指標例について検討し、以下の物質使用量の構造分解式を提案している。

$$\text{物質使用量} = \text{生活活動量} \times \frac{\text{製品使用量}}{\text{生活活動量}} \times \frac{\text{製品保有量}}{\text{製品使用量}} \times \frac{\text{新規製品生産量}}{\text{製品保有量}} \times \frac{\text{物質使用量}}{\text{新規製品生産量}}$$

管ら[5]はこれを住宅建設に適用しているが、本研究では、既存住宅利用に注目して適用する。

本研究では、住宅建設時の物質使用量の構造分解式を、以下のように設定した(式①)。各項での住宅数、建築数といった数値は単位を戸数とする。また、用いる数値は1年ごとの数値を用い、式や各構造要因の変動を見る。

$$\text{物質使用量} = \text{世帯数} \times \frac{\text{居住世帯あり住宅数}}{\text{世帯数}} \times \frac{\text{総住宅数}}{\text{居住世帯あり住宅数}} \times \frac{\text{新築住宅建築数}}{\text{総住宅数}} \times \frac{\text{物質使用量}}{\text{新築住宅建築数}} \quad (\text{式①})$$

物質使用量は、住宅を新しく建設する時に投入される資源量を示す。世帯数を、住宅ニーズを引き起こす活動

量の指標とした。居住世帯あり住宅数はふだん人が居住している住宅の数であり、「居住世帯あり住宅数/世帯数」は世帯あたりの使用住宅数を示す。総住宅数は、居住世帯の有無に関わらない住宅のストック総数であり「総住宅数/居住世帯あり住宅数」の逆数は住宅の稼働率を表す。「新築住宅建築数/総住宅数」の逆数は、その時の住宅ストック総数が、新しく建設される住宅総数の何倍かという数値になり、住宅の生産量、減失量が定常状態であると仮定したときの住宅の平均使用年数を表す。「物質使用量/新築住宅建築数」は住宅への物質投入原単位であり、資源効率を表している。

2.2 既存住宅利用の構造分解式への導入

既存住宅利用と物質使用量との関係を把握するために、この構造分解式に既存住宅利用の項を導入する。なお本研究では、賃貸住宅利用も、複数の世帯が住み継ぐ点を考慮して既存住宅利用の1つと捉えて導入する。

式①の第4項、「新築住宅建築数/総住宅数」について、この分子の新築住宅建築数(以下、新築建築数)を年間の住宅需要の一部とみなし、項を分解して、年間の既存住宅購入数(以下、既存購入数)や賃貸住宅利用(以下、賃貸入居数)を交えた式で表すと以下のように書ける。

$$\frac{\text{新築建築数}}{\text{総住宅数}} = \frac{\text{住宅需要}}{\text{総住宅数}} \times \frac{\text{新築建築数}}{\text{住宅需要} + \text{既存購入数}} \times \frac{\text{新築住宅数}}{\text{新築建築数} + \text{既存購入数}}$$

ただし住宅需要=新築建築数+既存購入数+賃貸入居数
ここで第2項を「1-賃貸住宅割合」、第3項を「1-既存住宅シェア」とし、式①は以下のようにする。

$$\text{物質使用量} = \text{世帯数} \times \frac{\text{居住世帯あり住宅数}}{\text{世帯数}} \times \frac{\text{総住宅数}}{\text{居住世帯あり住宅数}} \times \frac{\text{住宅需要}}{\text{総住宅数}} \times (1 - \text{賃貸住宅割合}) \times (1 - \text{既存住宅シェア}) \times \frac{\text{物質使用量}}{\text{新築建築数}}$$

本研究では上記の式に基づき既存住宅利用の物質使用量への影響を分析する。ただしスペースの関係で既存住宅利用の関係のみを検討するため、住宅需要より左の項をキャンセルした下記の式②の分析結果のみ示す。

$$\text{物質使用量} = \text{住宅需要} \times (1 - \text{賃貸住宅割合}) \times (1 - \text{既存住宅シェア}) \times \frac{\text{物質使用量}}{\text{新築建築数}} \quad (\text{式②})$$

2.3 使用するデータ

構造分解式の各項で用いる統計とデータを表1に示す。

表 1 使用する統計とデータ

	利用する統計	利用するデータ
物質使用量	2009年,2011年,2013年,2015年,2017年,2019年の建設資材・労働力需要実態調査	建築着工統計区分(基本層:用途別・構造別)に対応した面積原単位
世帯数	1998年,2003年,2008年,2013年,2018年の「住宅・土地統計調査」	総世帯数
居住世帯あり住宅数		居住世帯のある住宅数
総住宅数		総住宅数
既存購入数*		持ち家として取得した中古住宅数
賃貸入居数*		入居時期別、現在の居住形態
新築建築数	上と同じ年数の住宅着工統計	「工事別、利用関係別、構造別/戸数・件数、床面積」の新設 総計

既存購入数は(独)統計センターのオーダーメード集計より取得した。把握ができない調査年間の数値は線形補間により推計した。また調査年の既存購入数は取得できないため、近似値として調査年の前年の数値を用いた。

2.4 各構造要素の変動に関する考察

構造分解式②について、データの取得が可能な2009年以降の各構造要素の値を2009年を基準とした比の変動として示した結果を図1に示す。なお図1の物質使用量には、統計データのある主要建設資材(セメント、コンクリート二次製品のセメント、骨材・石材、木材、鋼材、生コンクリート)の値を重量換算して推計した総重量(t)を用いている。

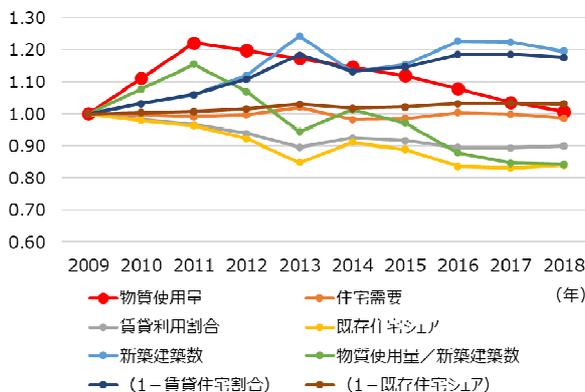


図1 物質使用量の各構造要素の変動(式②)

図1の物質使用量の動向をみると、2009年から2011年にかけて増加したが、その後は減少傾向にある。ただし基準年よりは多い。2011年の増加は物質投入原単位(式②第4項)の増加に「1-賃貸住宅割合」(持ち家需要割合)の増加が加わって起きている。その後の減少は物質投入原単位が概ね1以下になり、その減少傾向によってもたらされているが、「1-賃貸住宅割合」がそれと逆相関の動きをしつつ、物質投入原単位の絶対値より大きな値になっているため、1以上の領域で減少傾向となっている。この期間は既存住宅シェアは比較的大きく減少傾向にあるが、新築建築数に直接影響する「1-既存住宅シェア」は1を若干上回るに過ぎず大きな影響には至っていない。また住宅需要もこの期間中は1前後で変動が小さく、大きな影響を与えていない。

以上の考察から、2009年から2018年の物質使用量の動向は、物質投入原単位と「1-賃貸住宅割合」すなわち持ち家需要割合の増減の影響が大きく、既存住宅シェアの影響は小さかった。物質使用量に直接影響するのは「1-既存住宅シェア」であるため、既存住宅シェアが影響を及ぼすには、新築住宅建築を既存住宅購入が大きく代替する必要がある。今後の資源消費削減のためには、さらに強力な既存住宅利用促進施策が必要だと考えられた。

3. ZEH へのリフォームの環境負荷評価

3では既存住宅にエコリフォームを実施してZEH水準とした場合、何年以上使用すればZEHを新築した場合よりも環境負荷を削減できるかをLCAを用いて明らかにする。

3.1 対象住宅

本研究の対象住宅は「住宅事業主基準におけるモデルプラン」[6]とする(図2)。住宅の仕様を表2に示す。

表2 対象住宅の仕様

延べ床面積 (㎡)	120.08
開口部面積 (㎡)	27.81
構造	木造軸組み工法

表3 推計した主要建築資材

コンクリート(㎡)	3.91
木材(㎡)	9.6
合板(㎡)	5.43
石こうボード(kg)	3479.22
スレート(屋根材)(㎡)	83.67

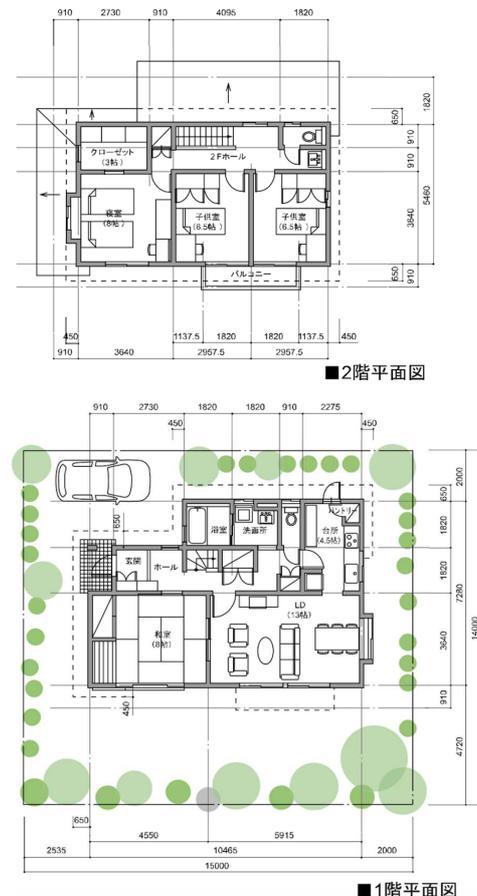


図2 「住宅事業主基準におけるモデルプラン」平面図

[6]から引用

また、プランから推計した建築にかかる主要な資材や投入量を表3に示す。住宅について、階数は2階建てで、4

人暮らしを想定する。また地域区分は6地域と想定する。

3.2 各ケースの設定

本研究で設定したケースの概要を表4に示す。

表4 各ケースの基本的な設定

ケース1	既存住宅をZEHに改修する（以下、改修ZEH）
ケース2	ZEHを新築する（以下、新築ZEH）
ケース3	等級4の住宅に高効率機器と太陽光発電を導入したケース（以下、等級4プラス）
ケース4	等級4の既存住宅をそのまま運用（以下、等級4 BAU）
ケース5	等級3の既存住宅をそのまま運用（以下、等級3 BAU）

各ケースの断熱仕様や設定した機器の仕様、年間の消費電力量、ガス消費量とケース1,2,3についてエネルギー消費削減率を表5に示す。ZEHの断熱仕様に関しては文献7、他の断熱仕様は文献8を参考に設定した。年間のエネルギー消費に関しては国交省住宅局のエネルギー消費性能計算プログラム[9]により算出した。なお断熱仕様については、ケース1,2はZEH仕様として、ケース3,4は等級4として断熱仕様は同じにする。

表5 各ケースの設定の詳細と年間エネルギー消費量

	ケース1, 2	ケース3	ケース4	ケース5
η値	ηAC値：1.9 ηAH値：2.9	ηAC値：2.2 ηAH値：3.4		ηAC値：3.1 ηAH値：4.5
UA値	0.59 [W/(m ² ·K)]	0.82 [W/(m ² ·K)]		1.41 [W/(m ² ·K)]
断熱仕様	ロックウール	グラスウール高性能と 押出法ポリスチレンフォーム 3種 bA		グラスウール10K 押出法ポリスチレン フォーム1種
開口部	スチールドア/樹脂サッシ Low-e 複層ガラス (A10) 日射取得型	スチールドア アルミサッシ 二重複層ガラス		アルミサッシ 単層ガラス
冷暖房	ルームエアコン エネルギー消費効率区分 (い)	ルームエアコン	エネルギー消費効率区分 (は)	
換気	第3種換気			
給湯	電気ヒートポンプ給湯機		ガス従来型給湯機	
照明	LED			
太陽光	3.96kw	3.3kw	-	-
消費電力量	4186 kwh	4725 kwh	4944 kwh	5563 kwh
ガス消費量	3852 MJ	3852 MJ	29852 MJ	29853 MJ
エネ削減率*1	53%	27%		
エネ削減率*2	101%	81%		

*1：再生可能エネルギーを除く、*2：再生可能エネルギーを加えて

3.3 GHG 排出量の推定方法

3.3.1 評価期間

日本でカーボンニュートラルの宣言がなされた2020年から目標年の2050年までの30年間を対象とした。

3.3.2 初期排出負荷の評価範囲

各ケースの評価対象で、初期排出負荷（以下、初期負荷）にあたるものを表6に示す。ケース4,5に関しては初期負荷は発生しないものとする。

表6 ケースごとの初期排出負荷の評価範囲

ケース1	ケース2	ケース3
ZEH改修(石膏ボード・開口部)	ZEH住宅新築	
ZEH仕様の断熱材投入		
高効率機器と太陽光発電の導入		

住宅の新築については、基礎、床、柱、外壁（開口部含む）、天井、屋根、および断熱材のみを評価対象とした。

施工、輸送、廃棄は評価の対象としていない。

3.3.3 運用時負荷の評価範囲

運用時の評価対象は、いずれのケースでも年間のエネルギー消費と機器の更新のみとする。年間のエネルギー消費は表5の各値を用いる。機器の更新は各機器の標準使用期間を基に換気設備は15年、それ以外は10年に設定した。標準使用期間が経過すると表5で示した機器についてそれぞれ新しいものにするものとする。太陽光発電は更新はないものとする。

3.3.4 評価に用いるGHG 排出原単位および計算方法

評価に用いるGHG 排出原単位は、別記しない限りIDEAv3.1.0[10]のLCIA原単位を用いる。

ケース1(ZEH改修)では、対象プランを基に、柱の位置や寸法を決め、ZEH基準を満たすように充填するロックウールの厚みを計算した。それに伴い更新を想定した石こうボードの面積も計算した。ロックウールの原単位は文献11より算出した。ケース2(ZEH新築)では表3のプランを基に算出した主要資材の投入量にIDEAの原単位をかけて求めた。ケース1,2のZEH仕様の開口部は表5に示したものをを用いるが、窓のLCIAデータに関しては、文献12のものを用いる。扉はLCIAデータが見当たらなかったため、寸法から鋼板と内部の断熱材(硬質ウレタンフォーム)の投入量を推定し原単位をかけて求めた。

機器について太陽光発電の製造負荷は文献13を参考に、太陽電池アレイのシステム容量と年間の発電量を基に算出した。ケース1,2,3で導入する高効率機器に関し、公開されているLCAデータが少ないため、本研究では、IDEAにデータが掲載されている標準的な機器の原単位に高効率化係数として一定の数値をかけたものとする。高効率化係数に関して、1.1倍から2.5倍程度まで検討したが、いずれの結果も住宅のライフサイクルの観点からは影響が少ないと判断し、便宜的に1.3倍とした。

使用時の消費エネルギー由来の負荷は表5のケースごとの消費電力量、ガス消費量に原単位をかけて求めた。

3.4 建て替えがない場合のGHG 排出量の推移

3.4.1 住宅の新築にかかるGHG 排出量

ケース1の新築ZEHの建築にかかる初期負荷を計算したところ、124.92kg-CO₂eq/m²となった。これは主要部材のみを推計して計算した値であったため、例えば小林ら[14]が実施設計段階を想定して検討した木造住宅6事例の平均排出量341.54kg-CO₂eq/m²と比較してやや小さな値となった。そのため、以降の分析では新築住宅の初期負荷として、小林らの6事例の1㎡あたりのGHG排出量の平均値を本研究のプランの床面積に乗じた値に、ZEH仕様の断熱材や開口部の初期負荷を足した値を用いる。また、小林らの値は、本研究で計算した値の約2.7倍であったため、ZEH改修の初期負荷に関しても同様に本研究で計算した値を2.7倍して用いる。

3.4.2 各ケースの30年間のGHG排出量の比較

各ケースの2020年から2050年までのライフサイクルGHG排出量を図3に示す。なおこの図ではすべてのケースで1年目以降の建て替えはないものとしている。

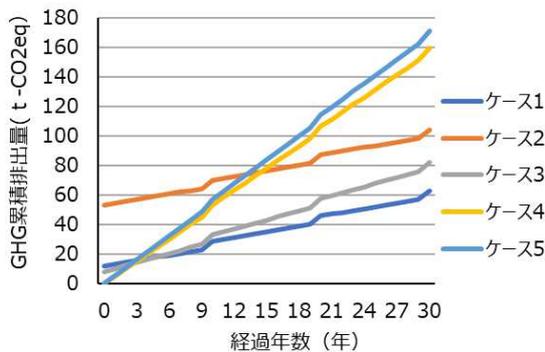


図3 各ケースの30年間のGHG排出量

ZEH水準で設定したケース1,2では、年間の負荷を等しく設定したため、初期負荷の差の41.3 (t-CO2eq) 30年後まで維持されている。しかし設備等の更新のないケース4,5と比較するとケース1は3年目、ケース2は14年目には総排出負荷が下回る。ケース1の改修ZEHは機器を高効率化したケース3に対し、30年目のGHG排出量が24.6%低い。この分が外皮性能と太陽光発電容量の違いの影響である。また機器の更新の影響は本研究の設定においては少ないものと見られた。

3.5 ZEH新築とZEH改修の使用年数の検討

次にZEHにリフォームした後、何年以上使用すればZEHを新築した場合よりも環境負荷を削減できるかを検討する。そのため住宅の評価期間中の総負荷を評価期間で除した、1年あたりのライフサイクル負荷(新築ZEH:Lnzt、改修ZEH:Lrzt)を以下のように定式化する。

$$Lnzt = Lnz0 / Yn + (Lnz1 + \sum Ler / Yt) \quad \dots (式④)$$

$$Lrzt = \{Lrz0 / Yr \times Yr + Lnz0 / Yn \times (Yt - Yr)\} / Yt + (Lrz1 + \sum Ler / Yt) \quad \dots (式⑤)$$

ただし、

Lnz0: ZEH新築にかかる初期負荷 (機器導入の負荷込み)

Lrz0: ZEH改修にかかる初期負荷 (機器導入の負荷込み)

Lnz1: 新築ZEHケースの年間のGHG負荷

Lrz1: 改修ZEHケースの年間のGHG負荷

$\sum Ler$: 評価期間内の機器更新の総負荷

Yn: 新築したZEHの使用年数、Yr: ZEH改修後の使用年数、Yt: 評価期間。ただし $0 < Yr \leq Yn \leq Yt$ 。

なお改修ZEHケースでは、改修してYr年後にZEHを新築するものとし、Yr年後に新築されたZEHの負荷に関しては、残りの評価期間に対応する $Lnz0 / Yn \times (Yt - Yr)$ を計上した。

このとき $Lnzt = Lrzt$ となるYrは、④・⑤式より $Yr = (Lrz0 / Lnz0) \times Yn \dots (式⑥)$ となる。ただし3.4のケースを想定して、 $Lnz1 = Lnz0$ とした。

この式に3.4で求めたケース1、ケース2の初期負荷の値を入れ、 $Yn = 30$ として計算すると、 $Yr = 6.6$ となった。従ってこの条件の場合、ZEH改修後7年以上使用するとZEH新築ケースよりZEH改修ケースのGHG負荷が小さくなることが明らかとなった。

4. 結論

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

1) 住宅建設の物質使用量は既存住宅利用について(1-賃貸住宅割合)×(1-既存住宅シェア)倍される形で影響を受けること、2009年~2018年の物質使用量の変動には「1-賃貸住宅割合」は大きく影響していたが「1-既存住宅シェア」の影響は小さかったことが示された。

2) エコリフォームや高効率機器導入後、30年間建て替えをしない場合、30年間のGHG総排出量は、既存住宅にZEH改修を施し運用するケースで40%程度、元々が等級4程度の外皮性能を持つ住宅に高効率機器と太陽光発電を導入するケースが24.6%程度、ZEH新築やそのまま既存住宅の使用を続けるケースより少ない結果となった。

3) 今回の条件下では、ZEH改修後7年以上居住した場合、すぐにZEHを新築するよりも30年間の累積GHG負荷は低くなると示された。

なお本研究では評価から外したプロセスもあったこと、高効率機器等のライフサイクル負荷をみなしで計算していることに留意が必要である。

参考文献

[1]原野啓,我が国の既存住宅流通量・既存住宅流通シェアに関する一考察,都市住宅学,85,2014,124-132/[2]細木翼,高井智弘,渡辺俊行,既存住宅のストック活用による環境負荷削減効果に関する研究 福岡県におけるCO2排出量削減対策の検討,日本建築学会環境系論文集,73(625),2008,409-414/[3]青山将平,エコリフォームのCO2に関するベインクタイム,京都府立大学2017年度卒業論文/[4]橋本征二,田崎智弘,山川肇,藤井実,リデュース、リユース活動(脱物質化活動)の類型とその指標,第21回廃棄物資源循環学会研究発表会,2010,doi:10.14912/jsncwm.21.0.1.0/[5]管哲平,橋本征二,居住に関わる3R行動の資源使用量削減効果の評価,第17回LCA学会研究発表会講演要旨集,2022,1-P4-04/[6]令和2年度国土交通省補助事業,住宅省エネルギー技術講習テキスト基準・評価方法, https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/shoenehou_assets/img/library/r2text_standard.pdf/[7](一社)日本建材・住宅設備・産業協会,ZEHのつくりかた 2019年度版/[8](株)野村総合研究所,令和元年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業 既存住宅のZEH化推進に向けた調査 報告書,2020,https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000574.pdf/[9]エネルギー消費性能計算結果プログラム,国土交通省,<https://house.lowerenergy.jp/>/[10]国立研究開発法人産業技術総合研究所 IDEA ラボ,IDEA データベース Excel版 v3.1.0/[11]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),2006,28-35/[12]塩ビ工業・環境協会,樹脂窓に関するライフサイクルアセスメント(LCA)とGHG排出削減貢献量,2018,https://www.vec.gr.jp/kenzai/jnado/performance/pdf/jnado_lca2018.pdf/[13]電力中央研究所報告,日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価,2016,<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.bambooroll.jp/電力中央研究所「日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価」.pdf>/[14]小林謙介,河上慎太郎,石田昌平,田原聖隆,井上隆,建築物のLCAにおける評価制度の検討,日本建築学会系論文集,80(707),91-98,2015 (上記のすべてのWeb上の文献は2023/1/29に最終確認)