

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻

2007年3月修了

学生証番号：47-56841

氏名：松原 祐美子

論文題目：建築物のライフサイクルにおける改修の環境影響に関する研究

キーワード：建築、ライフサイクル、改修、リノベーション、LCA、環境影響評価

指導教員：清家 剛 助教授

# 建築物のライフサイクルにおける改修の環境影響に関する研究

## Study on the Environmental Impact of Renovation in the Life Cycle of Buildings

学籍番号 56841

氏名 松原 祐美子 (Matsubara, Yumiko)

指導教員 清家 剛 助教授

### 1. 研究の概要

#### 1-1 研究の背景と目的

建築物のストックを活用するサステナブルな手法として「リノベーション」や「省エネ改修」等が認められつつあるが、様々な改修手法や「既存建物の継続使用」「解体・新築」といった選択肢を、環境影響という面から定量的に比較するための一般的な方法は存在していない。

そこで本研究では、様々な改修事例について実態を調査し、その環境影響を評価した上で、「改修」「新築」等の選択と手法の選定が適切に行われるための課題を提起することを目的とする。

#### 1-2 研究の方法

本研究では以下の2つの調査を行った。

①実際の改修事例について、関係者へのヒアリングおよび文献等による調査を行い、現在行われている改修の実態、特に「改修工事の内容」「現在（環境に配慮した）改修が行われている理由/行われていない理由」を明らかにした。

②典型的な5つの改修事例について、LCA（ライフサイクルアセスメント）ツールによる試算、および定性的な比較により、改修が環境に与える影響を評価した。その際、「環境に配慮した改修」「通常の改修」「継続使用」「解体・新築」といった複数のシナリオについて、ライフサイクルの観点からどのように評価されるかを検討した。

### 2. 改修事例に関するヒアリング調査

#### 2-1 調査対象事例の抽出

文献などで「改修」「リノベーション」等として紹介されている事例から、関係者へのヒアリングが可能な事例、およびそれらに含まれない特徴を持つと思われる事例を選択し、計25事例についてヒアリングと文献等による調査を行った。

#### 2-2 ヒアリング調査結果

改修を行う（費用を負担する）主体として、「既存建物（賃貸物件、自社ビル、戸建住宅、分譲住宅）オーナー」「投資家、ディベロッパー」「賃貸入居者」「事業主（企業、行政、NPO等）」が存在した。

これらの主体が改修を選択する動機は多様で、大別すると「建物の保存が目的」である場合と、「機能・美観を回復・変更したいが新築を行わない何らかの理由がある」場合があった。

調査対象のうち、「環境への配慮」を改修のコンセプトに含むものは3事例程度で、行政やエネルギー会社の主導により行われた事例だった。現状では、省エネ化や断熱強化によるランニングコストの削減・快適性の向上等に注目する主体は少なく、環境配慮へのインセンティブが働かないというヒアリング結果となった。

#### 2-3 評価対象事例の選出

調査対象事例における工事内容や、改修の動機・状況は様々だった。よって、環境への影響と、対策として採るべき方法・採れる方法も一様では

表1 改修動機による類型化の定義

類型	改修の動機
保存型	建物自体が持つ価値（歴史的価値、観光資源としての価値）の保存
機能回復型	経済性（資産価値の向上、機能・美観を回復・現代化し、既存建物を新築に近づけることを目指す（物理的・経済的・賃料収入の取得・向上、初法的理由等により改修を選択する、建物の維持管理として改修を行う）
高付加価値型	期コストの安さ） 企画・デザインによる付加価値を新たに与え、高い賃料や競争力を得る
環境配慮型	環境への配慮、省エネ化が改修のコンセプトに含まれる
魅力発見型	その他の動機（建物自体が持つ主観的価値、地域における記憶・役割、既存建物を残すデザイン、使用の自由度、など）

ない可能性がある。そこで、改修事例をいくつかの類型に分類し、各類型の特徴と環境影響・対策をあわせて考えてみる。

この際、改修事例の性格を決定する要素として「改修の動機」が重要であると仮定して、調査対象事例を表1に示す5つの類型に分類した。調査対象の中から、定義した各類型の典型的な事例を選択し、環境影響を評価する対象とした。

## 2-4 評価対象事例の特徴

選出した評価対象事例の概要を表2に示す。改修動機と関連して、工事内容等にも事例ごとの特徴がある。以下に各事例の特徴的な点を示す。

### ①機能回復型：I 集合住宅

陳腐化した賃貸集合住宅で内外装・設備など躯体以外の全てを改修し、耐震補強も行って、現在の「新築並」の機能と美観へと向上させた。

### ②環境配慮型：N 事務所ビル

エネルギー会社が多数の環境配慮手法を用いて自社の事務所ビルを改修し、運用エネルギー消費20%削減を達成した。事前にエネルギーと経済性の両面から詳細な検討が行われ、改修前後のエネルギー消費が測定・発表された。

### ③保存型：A 倉庫

地域のシンボルとして親しまれていた倉庫を復元・補強し、老朽化した状態から文化と商業の施設として保存・再生した。

### ④魅力発見型：S 事務所ビル

建築・家具の設計者らが、自ら施主・設計者・

施工者となり、小規模賃貸オフィスビルのリノベーションを行って共同で入居した。

### ⑤高付加価値型：L 集合住宅

事務所ビルをコンバージョン（用途転換）し、企画やデザインに特徴を持たせたSOHO向けの賃貸集合住宅として、事業的にも成功した。

## 3. 改修事例の環境影響評価

### 3-1 環境影響評価の方法

選出した5事例について、ライフサイクルでの環境影響を具体的に評価し、各類型の環境面での特徴を明らかにする。

評価対象の中で「機能回復型」「環境配慮型」の事例については詳しい資料が入手できたため、日本建築学会によるLCAツール「AIJ-LCA&LCW」を用いて環境影響を定量的に評価した。この際、資料から必要なデータを推定し、適切な近似により独自に試算した。以下では入手資料から推定可能な地球環境への影響として、改修工事以降のライフサイクルにおける「エネルギー消費」「資源消費」「廃棄物発生」を主に取り上げる。

また、その他の3事例については、入手資料から環境影響の特徴を定性的に検討した。

さらに、これらの方法によっては評価することができなかった要素についてまとめた。

### 3-2 環境影響の定量的評価

#### LCE：エネルギー消費（図1.2.3）

I 集合住宅とN 事務所ビルについて、20年間のLCE 試算結果を比較すると、I 集合住宅では

表2 評価対象事例の概要

事例名称	I 集合住宅	N 事務所ビル	A 倉庫	S 事務所ビル	L 集合住宅
動機による類型	機能回復型	環境配慮型	保存型	魅力発見型	高付加価値型
用途(改修前)	賃貸集合住宅	自社事務所ビル	倉庫	賃貸事務所ビル	賃貸事務所ビル
用途(改修後)	賃貸集合住宅	自社事務所ビル	店舗、劇場など	シェアオフィス、店舗	賃貸集合住宅、店舗
改修工事規模	大	小	大	大	大
所在地	東京都目黒区	神奈川県川崎市	神奈川県横浜市	東京都港区	東京都港区
延床面積、規模	1539㎡(地下1階、地上5階)	3877㎡(地下1階、地上4階、塔屋1階)	17163㎡(地上3階×2棟)	247㎡(地上3階)	4047㎡(地下2階、地上8階)
構造	RC造	RC造	組構造、一部鉄骨造	RC造	SRC造、7.8階鉄骨造
改修時築年数	築36年	築34年	築90年程度	築30年程度	築38年
改修を行った主体	ディベロッパー(既存賃貸建物オーナー)	エネルギー会社(自社ビルオーナー)	自治体(行政)、第三セクター(事業主)	既存賃貸建物オーナー、改修設計者(賃貸入居者)	ディベロッパー(既存賃貸建物オーナー)
改修の動機	文化的要素		歴史的価値、観光資源	主観的価値	
	物理的要素	建物自体が持つ価値の保存		外観保存、既存建物の雰囲気を活かした内観	既存建物を活かしたデザイン
	環境への配慮	既存建物を残すデザイン		既存建物を活かしたデザイン	既存建物を活かしたデザイン
	経済的要素	使用の自由度		自由な設計	明確なコンセプト
	環境への配慮	機能・美観の回復	内外装一部変更、設備変更	全面的な修復、復元、構造補強、内装・設備付加	内装変更、外装修繕、設備変更
改修の動機	環境への配慮	解体せず改修することを環境負荷削減と捉える	省エネ化、資源・廃棄物・メンテナンスへの配慮(維持管理としての改修)	事後的に環境影響評価を実施	
	経済的要素	資産価値・賃料収入の向上	(使用に耐えなかった既存建物を改修)	(修繕が必要な時期にあった既存建物の改修)	事後的に環境影響評価を実施
	経済的要素	改修後は新築並の賃料・入居率へと向上		(使用に耐えなかった既存建物を改修)	事後的に環境影響評価を実施
経済的要素	(解体・新築を行わない経済的理由)	初期コストの差、容積率の維持、解体困難な擁壁	既存建物の設計寿命を全うさせるという考え方		レントギャップ・付加価値により賃料・入居率向上
経済的要素					事業性で改修が有利、周辺地域の開発計画

「新築」>「改修」>「継続使用」の順に負荷が大きいのに対し、N事務所ビルでは「新築（通常）」>「継続使用」>「改修（実際に行われた環境配慮型改修）」の順となる。これは、「改修による運用エネルギー削減量」および「運用段階がLCEに占める割合（建物用途、使用状況、改修工事規模により変化する）」によって、エネルギー消費の初期負荷が回収できるか否かは別れることを示す。

エネルギー消費の少ない住宅用途の建物を大規模に改修したI集合住宅の場合、運用段階で大幅な省エネ化（17%）を行わなければ、20年間で初期負荷を回収できないという試算結果となった。

また、N事務所ビルのLCEを改修後10～30年の期間で評価した結果を図3に示す。このように、省エネ化と維持管理負荷の影響から、改修後の使用期間によってLCEを最小にするシナリオも異なる可能性がある。

### LCR,LCW：資源消費・廃棄物発生（図4,5）

資源と廃棄物に関しては、新築・改修工事および解体による負荷が大部分を占めるため、「新築」>「改修」>「継続使用」の順に負荷が大幅に削減される。

結果から「改修後何年以上使用した場合に改修で廃棄物量が削減されたと言えるか」を計算すると、I集合住宅では9.7年、N事務所ビルでは2.4年となった。

### 3-3 環境影響の定性的評価（表3）

「保存型」「魅力発見型」「高付加価値型」の改修事例については、ヒアリング調査結果などから、環境面で「機能回復型」と異なる要素を定性的にまとめた。

「保存型」で多く見られた、復元・保存のための特殊な作業やスペース等の制限は、改修工事の負荷を増加させる要素と考えられる。一方、A倉庫で行われたサッシの変更や風除室の付加は、文化的価値のある既存建物のデザインを損なわずに、快適性と気密断熱性を同時に向上させた方法といえる。

「魅力発見型」では古い部材・機器でも気にせず継続使用または放置するケースが多くあり、その分改修工事の負荷は抑えられていると考えられる。また、既存建物に合わせて使用方法を工夫することで、補強を行わずに済ませた例もある。一方で、設備や断熱について、運用段階の省エネ化とは相反する改修内容が見られた。

これに対し特に「高付加価値型」の事例では、既存部分を残すデザインや用途変更のために、改修工事の作業・コストが増加している場合があった。一方、改修予算に比較的余裕がある事例では、断熱強化や低環境負荷材料の使用といった配慮も見られた。

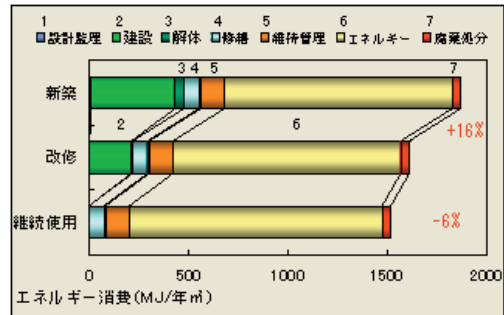


図1 I集合住宅のエネルギー消費

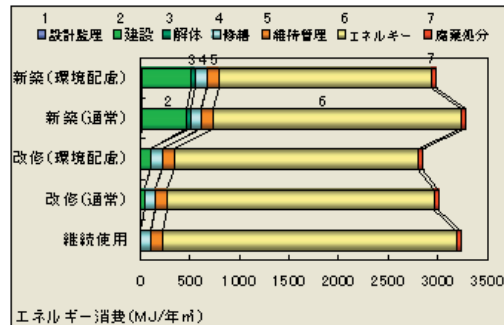


図2 N事務所ビルのエネルギー消費

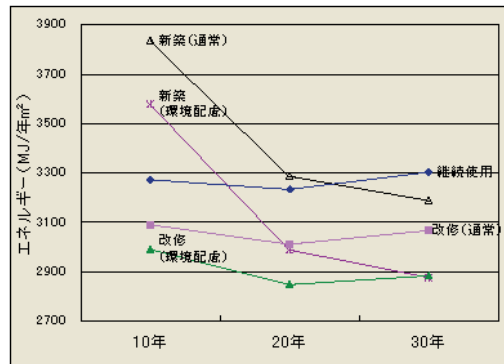


図3 評価期間によるLCE算出結果の比較

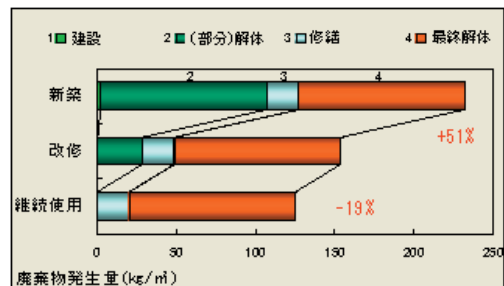


図4 I集合住宅の廃棄物発生

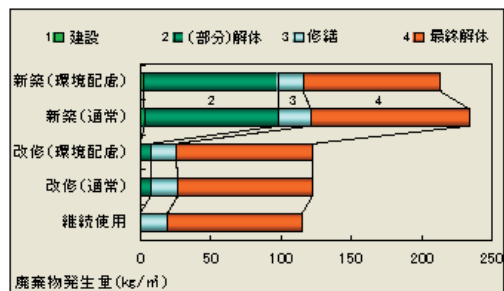


図5 N事務所ビルの廃棄物発生

### 3-4 改修動機以外の要素

改修の動機とは別に、環境面での影響が大きい要素として「改修工事の規模(改修部位、平面変更、構造補強、用途変更)」「建物用途、使い方」「築年数、劣化の状態、既存不適格」「構造種別」「改修後の使用期間」等が挙げられる。

特に「改修工事の規模」は改修動機など他の要素とも関係し、影響が大きい。図1,4のように、I集合住宅の事例では、主に工事段階の負荷の差が各シナリオのLCE,LCWの大小を決定している。(LCRについても同様。)一方、運用段階はLCEに占める割合が大きいとはいえ、改修で約10%省エネ化されると想定した図1の試算でも、改修工事の負荷を20年で回収するには至っていない。よって、エネルギー消費量の少ない建物では特に、改修工事の負荷を小さくすることはLCE,LCR,LCWの削減に効果があると考えられる。

### 3-5 環境影響評価の限界

以上で行ったようなLCAの手法では、評価に含まれない要素も多く存在する。

「(賃料収入等を含めた)経済性」「利便性・快適性」「安全性」「有害物質」等については、AIJ-LCA&LCWによる評価には含まれない。

また定量的な評価自体が困難な要素として、「歴史的価値」「地域における価値(景観、観光等)」「思い出」「デザイン」「コミュニティの形成」「個性的な企画」等があった。

## 4. 結論

### ①シナリオと手法の適切な選択

3-2の評価結果から、「通常の新規部材・機器

に変更するという以上の環境配慮を特に行わない改修」でも、「解体・新築」するシナリオと比較すれば、多くの場合エネルギー・資源・廃棄物の面でライフサイクルでの負荷削減効果があると考えられる。一方、省エネ化に特に配慮した改修以外では、「継続使用」のシナリオと比較して20年間で改修工事のエネルギー消費を回収することは困難と考えられる。

環境面で望ましいシナリオは建物ごとに異なり、図3のように使用期間によっても変化する。N事務所ビルの事例(2-4②)では綿密な事前の検討により適切な環境配慮手法を選択したが、一般的な改修においても環境面で望ましいシナリオと改修手法、そのコスト等を簡便に認識できるよう、更に情報や手法の整備が必要である。

### ②改修の動機に応じた環境配慮

3-3の分析から、改修の動機によって、環境面で負荷がかかりやすい要素と負荷を削減しやすい要素には差があることが分かる。各種の事例では3-5で挙げたように様々な価値が重視されており、これらを損なわずに環境負荷を削減する方法を工夫し共有していく必要がある。

### ③潜在的な環境配慮の評価

既存の定性的な環境影響評価手法では、環境配慮として「環境配慮型手法の採用」が主に評価されるが、3-4で述べたように、LCA評価では「改修工事段階の負荷」「建物用途、使い方」の影響が大きい。そのため、「既存建物になるべく手を加えない」「設備機器を新設しない」といった内容についても、省エネ化等の積極的な配慮と並んで評価されるべきではないだろうか。

表3 改修の環境影響の定性的評価

▲環境負荷を増加させる要素 ○環境負荷を減少させる要素

	保存型:A 倉庫	魅力発見型:S 事務所ビル	高付加価値型:L 集合住宅
環境影響における特徴的な要素	①改修工事段階(エネルギー消費・資源消費・廃棄物発生)		
	特殊な資材の使用	▲オリジナルに近いレンガを中国の工場で製造し輸送	・家具・什器をデザイン・製作 ○低環境負荷材料の使用
	保存・活用のための大幅な修繕・補強など	▲レンガの目地にエポキシ樹脂を注入して補強、強度検査	(・雨漏りの数回にわたる修繕) ▲用途変更のための平面変更・設備システム変更
	シンプルな内装、古さをアピールする表現	・床下に既存部材を展示 ・外観保存	・間仕切り壁・天井・建具等の除去、躯体の露出 ・共用部に既存建物を一部残す ・配管の露出
資材の継続使用・再利用	○レンガ・トラス・建具等を一部継続使用	○設備機器、建具等を一部継続使用、一部移設して再利用 ・共用部に既存建物を一部残す	
②運用段階(エネルギー消費)			
設備機器・システムの更新・変更	・設備機器を新設 ○高効率な設備システムの採用	▲設備機器(エアコン・蛍光灯等)を一部継続使用	・設備機器の大部分を更新 ・オール電化
断熱・気密性能	○窓に合わせてサッシを製作 ○風除室の付加 ▲レンガ壁の露出	▲スチールサッシュ・ドア等の継続使用 ▲天井・壁などの無断熱化	○外壁に吹き付け断熱処理 ▲サッシの継続使用
③維持管理・廃棄段階(資源消費・廃棄物発生・長寿命化)			
構造補強	○鉄骨等による構造補強	▲行っていない	○用途変更による積載荷重減少