

氏名	高山 あずさ
授与学位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 26 年 3 月 20 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科専攻	秋田県立大学大学院 システム科学技術研究科 博士後期課程 総合システム科学専攻
学位論文題目	戸建住宅の設計初期段階における仕様検討の支援に対する ライフサイクルアセスメントの応用に関する研究
指導教員	准教授 <u>浅野 耕一</u>
論文審査委員	主査 教授 <u>長谷川 兼一</u> 副査 教授 <u>中村 雅英</u> (秋田大学) 教授 <u>松本 真一</u> 准教授 <u>浅野 耕一</u>

## 論文内容要旨

我が国のエネルギー消費量は、1990年代から産業部門と運輸部門での増加率が横ばい傾向にあるが、快適さや利便性を求めるライフスタイルの変化により、民生部門（家庭部門及び業務部門）では増加を続けている。その増加傾向に対して、住宅の影響は非常に大きい。そこで、省エネ住宅、ゼロエミッション住宅、健康維持増進住宅、及び、長寿命住宅（長期優良住宅）のような、環境基本性能の高いサステナブル住宅の普及が重要と考えられる。そのためには、サステナブル住宅のメリットを、設計を依頼するクライアントへ出来るだけ早い段階から伝えることが有効である。

住宅の環境基本性能の向上は、省エネ効果だけでなく、健康性の向上による各種疾病の罹患率の減少等、様々な副次的な効果（Non-Energy Benefit : NEB）をもたらす。住宅の性能向上にあてた投資に対する回収年数は、NEB を考慮すると、光熱費のみの場合よりも確実に短くなり、居住者にとって、より投資効果の高いものとなり得る。

本研究の目的は、戸建住宅の設計初期段階（基本設計より前の段階）を対象に、新たに提案する住宅ライフサイクルデザイン戦略支援システム（HLDSAS）理念の具現化することである。HLDSAS 理念の内容は第 1 章の概要にて述べる。HLDSAS 理念の具現化とは、住宅に対する投資効果や費用便益効果がわかり、専門知識のないクライアントが単独で操作しても活用でき、専門家との共同作業でも使え、且つ多様な価値観や優先順位の違いを反映させた評価が可能となるシステムの構築を意味する。

研究方法は、次の通りである。

- 1) 設計初期段階において評価対象とする環境影響領域の範囲を設定する。
- 2) 入力項目の不足により推定が必要となる場合の具体的方法を提示する。
- 3) ライフサイクルアセスメント (LCA) に必要な入力項目の基本構成を設定する。
- 4) HLDSAS 理念を具現化したツールの機能仕様を作成する。

本論文は、全6章で構成される。

第1章では、上述した社会的背景を述べ、それを踏まえた上で、本研究で提案する HLDSAS 理念を提唱している。建築の設計初期段階で、クライアントと設計者による方針策定を支援するシステムは、以下の条件を満たすべきである。

- 1) 住宅に対する投資効果や費用便益効果がわかること
- 2) 専門知識のない人が単独でも活用でき、専門家との共同作業でも使えること
- 3) 多様な価値観や優先順位の違いを反映させた評価を行えること

これらの条件を満たすシステムに必要な機能は以下の3点と言える。

- 1) LCA のフルコスト評価を行えること
- 2) コミュニケーションツールであること
- 3) 各種シミュレーターと連動できること

本章において、HLDSAS 理念の定義は、上記3つの機能要件を満たすことと結論づけている。続けて、先行している既往研究をレビューし、本研究の意義を述べている。

第2章では、設計初期段階において、評価対象とすべき環境影響領域の範囲（評価対象範囲）を検討し、設定している。保護対象は、「生物多様性」「社会資産」「人間健康」「域内への残留コスト」としている。「人間健康」の評価手法は従来の建築構造分野における地震リスクマネジメントの手法と、世界保健機関（WHO）の障害調整生存年（DALY）に代表される人間健康リスク評価の手法を取り入れている。

保護対象へのインパクトの構成要素となるカテゴリエンドポイントは、建物と敷地による環境への直接的影響が大きいものに限定している。「生物多様性」は、水生生物種を除外し、陸生生物種のみとしている。「社会資産」に関しては、水産物、農作物、ユーザーコスト（将来入手できなくなることの機会費用）、及び、カーボンオフセット（二酸化炭素の排出権取引による金銭的授受）としている。「人間健康」は、熱、空気、力の3つを、基本設計の前段階で考慮すべき、長期的に人間健康とコストに影響を与える要素として選定し、これら3つの要素から影響を受ける人体の症状や事象としている。「域内への残留コスト」に関しては、地域内で生産されたものを地域内で消費している割合としている。

LIME2 の評価対象範囲を用いて被害額を算出し、その結果を分析することで、検討した評価対象範囲の有効性を検討している。保護対象の「生態系」や「社会資産」では、オゾン層破壊や地球温暖化の被害額が小さいことや、「人間健康」では建物の揺れ（家具類転倒）による被害額が大きいこと等を明

らかにした上で、評価対象範囲の検討結果の妥当性を確認している。クライアントが実際に自分で支払う費用（内部費用）と、環境や健康が受ける被害に係る費用（外部費用）の両方を含めたフルコスト評価を行っている。その結果、特に運用段階では、被害額が無視できない比率になることを明らかにしている。

第3章では、設計初期段階における限られた情報からの推定が必要と考えられる、運用時のエネルギー消費量の計算方法を検討している。基礎情報を得るため、一般世帯を対象とした、エネルギー消費量の実態についてのアンケート調査を行っている。まず最初に、秋田県由利本荘市を対象地域とした予備調査を行なっている。予備調査結果から求めたエネルギー消費量の推計値と、既往研究の推定式での値を比較・考察している。その結果、冷房と暖房のエネルギー消費量は予備調査結果の中央値と既往研究の推定値が、概ね一致しているが、照明・家電等のエネルギー消費量では大きな差が生じたことから、新たな推定方法の必要性を提起し、住まい方や地域性にも考慮した推定方法の有効性を論じている。このことを踏まえ、照明・家電等のエネルギー消費量を推定するための変数について分析を行なっている。

予備調査で得た知見を基に、全国を対象としたエネルギー消費量の本調査を行っている。調査対象都市は、都市構造の分類結果から無作為抽出している。調査対象世帯の選出にあたっては、まず対象都市毎に無作為抽出した後、住所から位置を特定して地理情報システム上に配置し、地域性に偏りが無いよう配慮した上で決定している。本調査の回収率が低かったことから、回答者属性の偏りを検定している。その結果、全体としては大きな偏りは見られなかったが、回収数が少ない地域では偏りが見られたことや、省エネ設備を設置している世帯が全体の約4割を占めていたことから、回答者は高い省エネ意識を持っている層に偏っている可能性を指摘している。エネルギー消費量を用途別に分類し、それぞれの傾向を検討した結果、冷房と暖房のエネルギー消費量は地域性があり、給湯と、照明・家電等のエネルギー消費量は、地域性が低いことを明らかにしている。

照明・家電等を始めとする、用途別のエネルギー消費量について、その推定方法を検討している。推定式の説明変数とする項目について検討し、平成11年の省エネ基準の気候区分、エネルギー消費量と家族人数などの居住者自身の情報や、人口分類などの情報を整備し、分析を行なっている。重回帰分析を行った結果、冷房と暖房のエネルギー消費量は省エネ機器の有無と、給湯と照明・家電等のエネルギー消費量は家族人数との相関が高いこと等を明らかにしている。考察結果を踏まえ、地域性と住まい方の考慮や、非線形モデルの使用等、推定式の検討にあたっての課題を示している。

第4章では、HLDSAS 理念を具現化したツールが有すべき、入力項目の基本構成について検討を行なっている。まず、既往のLCA ツールを参考に、網羅すべき入力項目を検討している。クライアントが単独で、もしくは設計者との対話の中で、住宅の仕様を検討するにあたり、LCA を活用しやすいことが求められる。LCA の活用しやすさは、LCA 計算用のデータ入力の行いやすさと、データ出力結果の見やすさや分かりやすさによって決まる。前者のLCA 計算用データ入力の行いやすさは、入力項目の決定しやすさと、画面の操作しやすさにより、決まるものと考えられる。そこで、入力項目の決定しやすさを把握するため、クライアントの立場に近い人たちを対象に意識調査を行なっている。その結果、与条件は概ねクライアント自身が回答できる「単独選択項目」とし、希望条件の設備などの住宅の一部に関する項目は「対話選択項目」、耐震性能等の住宅全体の性能に関する項目が「間接選択項目」となることを明らかにしている。

次に、建物による影響を評価すべき保護対象として加えた「人間健康」について、既存の計算方法を整理し、暫定的な計算方法の有効性と、今後の課題について検討している。既往研究との比較により、温熱環境に関する NEB の値は、熱ストレスと寒冷ストレスだけでは不十分であり、熱中症や脳卒中等の疾病による被害を含めないことには、過小評価となることを考察している。家具類転倒、建物の被災、転倒・転落に関しては、逆に過大評価になりやすいと考えられる。現状に近い計算結果が得られるよう、海外の事例からの引用も含め、計算条件を整理・適用していく等、取り組むべき課題を述べている。

第5章では、第2章から4章までの結果を基に HLDSAS 理念を具現化した一例として、ツールの機能仕様を検討している。前章での入力項目の分類に沿い、入力画面をカテゴリ毎に分けている。計算条件の相互矛盾によるエラーを防ぐ為、矛盾チェックの機能を提案し、基本設定を検討している。具体的にクラス図を作ることで、プログラムの構成を検討しており、LCA パッケージと外部プログラムを連動させる方法について提示している。専門知識のないクライアントが入力操作を行いやすくなることを意識した、具体的な操作画面（ペーパープロトタイプ）を試作している。

設計初期段階では、クライアントの与条件や希望条件の構成によっては、互いの条件が矛盾している場合や、全てを最適にした案としては算出できない場合が考えられる。そのため、クライアントの要望に応じた住宅仕様の案を複数提示し、選択してもらう方法について検討している。ケーススタディとして、二酸化炭素排出量、コスト、熱ストレスの3つを評価項目とし、各種与条件を変更させながら LCA 計算を行い、複数解の中から3つの評価項目に対する最適解を探索し、提示する手法を検討している。今後の課題として、ツールのプロトタイプを作成し、実際にユーザーとなるクライアントと設計者を対象としたモニター調査を行ない、ユーザビリティや教育効果について検討を行なっていくことの必要性について述べている。

第6章では、各章の結論と本研究で得られた知見を踏まえ、今後の課題について述べている。

論文提出者氏名	高山 あずさ
論文題目	戸建住宅の設計初期段階における仕様検討の支援に対するライフサイクルアセスメントの応用に関する研究
指導教員	浅野 耕一
論文審査委員	<p>主査 教授 <u>長谷川 兼一</u></p> <p>副査 教授 <u>中村 雅英</u>                      教授 <u>松本 真一</u>  <small>(秋田大学)</small></p> <p>准教授 <u>浅野 耕一</u></p>

### 論文審査結果要旨

低炭素社会へ移行するには、地球環境への負荷低減に加え、住宅の安全性や居住者の健康も考慮に入れた、ライフサイクルアセスメント（LCA）ツールが求められる。本論文は、上記ツールの開発に先立つ基礎的な研究として、戸建住宅の設計初期段階での仕様検討の支援に、LCA を応用させる手法の検討を行なったものである。本論文は全6章より構成される。

第1章では、序論として、まず本研究の背景について述べ、次にLCAを応用した「住宅ライフサイクルデザイン戦略支援システム（HLDSAS）」の理念を提案している。既往研究と比較しながら、本論文の目的を、戸建住宅を対象としたHLDSAS理念に基づく手法の検討と位置付けている。

第2章では、本論文で提案する設計初期段階での評価対象範囲の検討を行なっている。評価対象範囲は、居住者が住宅から受ける影響を包括すべく、地震リスクマネジメントのような、従来の建築LCAには組み込まれていない手法も取り入れている。ケーススタディにより、提案した評価対象範囲の有効性を検討している。

第3章では、全国を対象としたアンケート調査結果をもとに、運用時エネルギー消費量の計算方法を検討している。各種エネルギー消費量に対し、地域性、家族構成等との関連性を明らかにしている。回帰式によるエネルギー消費量の推定方法を検討しており、その有効性と限界について論考している。

第4章では、LCA計算に用いる入力項目の検討を行なっている。専門知識のないクライアントでも行えること、設計者との共同で用いるコミュニケーションツールにもなること、の2条件から、入力項目のあり方を検討している。クライアントの立場に近い被験者を対象とした調査により、検討結果の有効性を確認している。

第5章では、具体的なLCAツールの機能仕様を検討している。クライアントでも理解し易い操作画面や、計算条件同士の矛盾を回避する方法を提案している。クライアントの志向に応じて、最適な住宅仕様を探索する手法についても検討している。

第6章では、結論として、本研究の成果を総括し、今後の課題を述べている。

以上、本論文では、HLDSAS理念を提案し、その理念を具現化するため、具体的なあり方や手法の検討と提案を行なった、新規性・萌芽性・独創性の高い研究論文である。本論文の学術的価値は高く、関連分野の発展に大いに寄与すると期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。