

## 寒冷地の高断熱住宅を対象とした維持保全計画に関する研究

—維持管理が再販を考慮したライフサイクルコストに与える影響—

主査 森 太郎\*<sup>1</sup>

委員 中寄 亜衣子\*<sup>2</sup>, 服部 倫史\*<sup>3</sup>, 三木 奎吾\*<sup>4</sup>, 東出 憲明\*<sup>5</sup>,

建物を良質なまま維持し社会のストックとするためには定期的な維持管理計画の立案と実施が必要不可欠である。特に寒冷地において断熱材が用いられた住宅は内外温度差が大きくなるため、湿害が生じやすく、適切な維持管理を行っていないと大きなトラブルとなってしまう。本報告では、高断熱住宅のトラブルやメンテナンスの実態を把握することで、高断熱住宅の劣化のフロー図を作成し、それに対応する点検、メンテナンス手法について整理し、住宅の建設から将来の売却、流通までのライフサイクルコストについて、維持管理がどのような影響を与えるのかについて検討した。

キーワード：1) 高断熱住宅, 2) 維持保全, 3) 劣化, 4) 室内環境, 5) VaR,  
6) ライフサイクルコスト, 7) 再販

### A STUDY ON PLANNING OF INSPECTION AND MAINTENANCE AND FOR ENERGY EFFICIENT HOUSES IN COLD CLIMATE AREA

- Impact of maintenance on lifecycle cost considering resale -

Ch. Taro Mori

Mem. Aiko Nakazaki, Michifumi Hattori, Keigo Miki, Noriaki Higaside

To maintain buildings in good condition and to make them a stock of society, it is essential to plan and implement a regular maintenance management plan. In cold climates, the temperature difference between the inside and outside of a house is large, and moisture damage is likely to occur, which can cause serious problems if proper maintenance and management is not carried out. In this report, we made a flow chart of the deterioration of highly insulated houses by investigating the actual conditions of problems and maintenance and organized the corresponding inspection and maintenance methods. In addition, we examined how maintenance management affects the life cycle cost of a house from construction to sale and distribution.

#### 1. 研究の目的

##### 1.1 研究の目的

建物を良質なまま維持し社会のストックとするためには定期的な維持管理計画の立案と実施が必要不可欠である。例えば、長期修繕計画は、分譲マンションの管理運営上非常に重要な事項であるので、通常は管理規約において長期修繕計画の作成を管理組合に義務付けている場合が多く、計画的に実施されている間は価値が維持されている場合が多い。一方、戸建て住宅ではこのような計画の立案、実施が行われないことが多く、老朽化とともに資産価値を失ってしまうことが多い<sup>文1, 2)</sup>。特に寒冷地において断熱材が用いられた住宅は内外温度差が大きくなるため、湿害が生じやすく、適切な維持管理を行っていないと大きなトラブルとなってしまう<sup>文3)</sup>。人口減少下の社会においては、このような住宅は買い手がつかないため、放置され空き家化し、地域の価値を毀損する

場合もある。そこまでいかなくとも、施主が建設に要した資金（地域に対する投資とも考えられる）は解体によって失われてしまう。我が国の地方の将来を考えた場合、将来的にも十分な性能を持った住宅が建設され、また、それが適切に管理されつつ流通されることは、地域の維持にとって非常に重要である。そこで、本報告では、1) 高断熱住宅のトラブルやメンテナンスの実態を把握することで、2) 高断熱住宅の劣化のフロー図を作成し、また、それに対応する 3) 調査・点検、メンテナンス手法について整理し、そのフロー図を用いることで、4) 住宅の建設から将来の売却、流通までのライフプラン（ライフサイクルコスト）について、維持管理がどのような影響を与えるのかについて検討した。

##### 1.2 「住生活の向上」との関係

地方都市における人口減少に伴った空き家問題は最も

\*<sup>1</sup>北海道大学 准教授 博士 (工学) \*<sup>2</sup>NTT データ 修士 (工学) \*<sup>3</sup>CIS 計画研究所 \*<sup>4</sup>札幌社 \*<sup>5</sup>INDI 株式会社

深刻な都市問題の一つである。しかし、わが国では人口減少率が高いにも関わらず、現在も高い新築率であり、都市域の拡大を伴った新築住宅の建設がつづくインフラの維持域の拡大等、都市経営上の問題も生じてきている。また、欧米各国が中古住宅の流通を活性化させることで、新築住宅建設への投資を住宅資産額として維持している一方で、わが国ではそれを取り壊してしまうことで、先人達の投資を一旦ゼロにしてしまうため、投資と資産の間に大きな差が生じている。この状態の有力な対処方法のひとつが住宅を適正に維持管理して、次の住民に引き継いでいくことである。

本研究では、高断熱住宅のトラブルやメンテナンスの実態を把握することで、高断熱住宅の劣化フロー図を作成し、流通も含めたライフサイクルコストの検討を行った。

## 2. NPO 住宅 110 番データの分析

### 2.1 解析の概要

住宅関連のトラブルの概要を分析するために NPO 住宅 110 番のアーカイブデータの分析を行った。NPO 住宅 110 番は「よりよい住まいづくりのプロセスを提供する」目的で札幌社が平成 12 年から運営しているサイトである。NPO 住宅 110 番へは住宅を建てたり、マンションを購入したりした方、建設、購入を予定している方から長年、疑問や質問が寄せられ、ボランティアとなっている専門家との間で議論が交わされており、購入者が住宅の取得に関して不安や不満に感じる点、また、それに対して専門家がどのように回答を行っているかが蓄積されている。特に、2010 年からは自社のサーバーで運用を行っており、データベースとして利用が可能であった。そこで本節では、そのデータベースに対して形態素解析を行い、名詞を取り出し、どのような項目に対して多くの質問が寄せられているのか分析を行った。

### 2.2 分析手法

図 2-1 に NPO 住宅 110 番へのひと月ごとの投稿数を示す。2011 年の後半には 300 を超える投稿がひと月にあったが、それ以外の時期は 100~200 の投稿が毎月行われており、SNS が全盛期の時代でもこのように投稿数が維持されているのは多数の専門家がボランティアとして協力して回答を行い、運営にあたっていることが要因と考えられる。表 2-1 にデータベースの一例を示す。データベースは sql ファイルとなっており、投稿日時、投稿者 ID、投稿 ID、回答 ID (どの投稿に対する回答かを判別するための ID)、タイトル、本文、その他となっている。表 2.1 の事例では屋根裏の断熱に関する疑問が投稿され、この施工方法に関して、専門家の数人と議論が行われ、全投稿数は 5 件であった。なお、分析を行う前に、あいさつ文、重投稿、空欄、記号等をなるべく取り除い

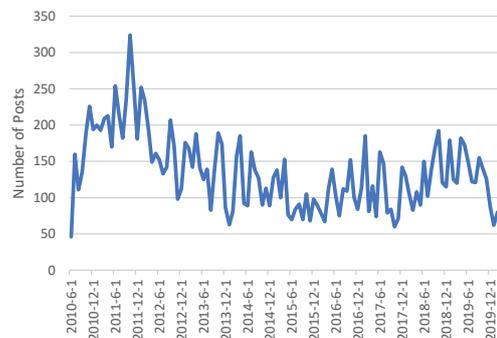


図 2-1 NPO 住宅 110 番の投稿数

表 2-1 データベースの例

日時, 投稿 ID, 回答 ID

2012-05-01 21:34:37,4842,0

タイトル: 屋根裏断熱

本文: 木造軸組の平屋です。屋根裏断熱で断熱材はロックウール 75mm です。ユニットバスの上はユニットバス自体が断熱されているという理由で 50mm のスタイロフォームでポーチと干場は居室ではないということで断熱材はされてません。一応両方とも屋根のしたです。あと玄関部分だけ天井断熱になってます。このような施工で屋根裏断熱は大丈夫なのですか？

回答例 (複数の回答のうちの一つ): 屋根裏断熱の仕様と記述されておりますが、天井裏断熱としっかりとした区別を持って施工すべきです。屋根裏断熱とは、瓦などの屋根材の下に断熱材を施工する方法です。この場合は、屋根材と断熱材との間に最低 6センチ以上の通気層を用いる必要があります。沖縄のように緯度の低い地域では太陽高度が高くなり、屋根材の受熱量が膨大となり (以下、略)

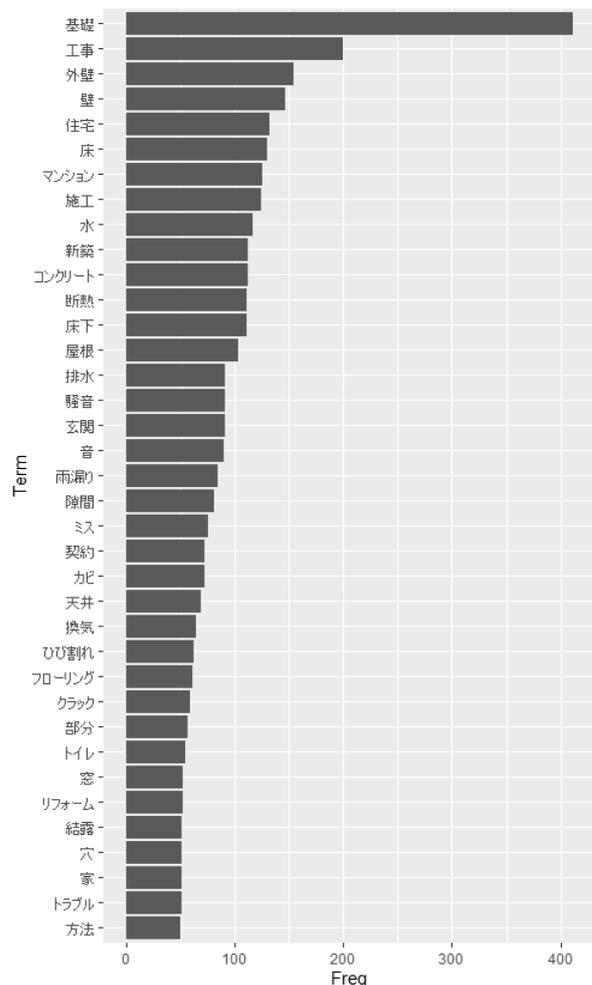


図 2-2 タイトルの形態素解析結果

たうえで、形態素解析を行った。また、研究の趣旨からは寒冷地の住宅に限定したものを取り出すべきであったが、データベースに投稿者の居住地情報を示すものがなかったため両者を分別することは難しかった。多くのデータは Replan の発行地域である寒冷地に偏っていると考えられるが、このデータベースはすでに 10 年以上運用されており、それ以外の地域からの投稿と思われるものも多くあった。形態素解析には R 版の MeCab である RMeCab を用いた。MeCab は 京都大学情報学研究科、NTT コミュニケーション科学基礎研究所共同研究ユニットプロジェクトを通じて開発されたオープンソースの形態素解析エンジンである。

### 2.3 解析結果

図 2-2 にタイトルの形態素解析の結果を示す。全部で 4077 の質問タイトルがあり、そのなかに出現する出現頻度が 50 以上のものを降順で表示した。基礎が最も多く、それ以外でも外壁（壁）、床、屋根というような住宅の部分についての名詞がトップランクに表れている。特に基礎が多く、「基礎の気泡とジェンカ（ジャンカ？）について」、「基礎が途中で途切れています」、「基礎断熱の床下結露」等の施工後のトラブルに関する内容が多くなっている。また、水、雨漏り、音、ビなどの建物に生じたトラブルに関する内容も多くなっている。

図 2-3 に本文の形態素解析の結果を示す。タイトルと同様に 4077 の文章に対して分析を行い 2000 以上の出現頻度がある名詞に関してグラフを作成した。施工、工事、業者、会社等の事業者、施工に関しての名詞が多く表れており、その下に壁、基礎等の建物の部位があらわれており、施工ミスの疑いを質問者が持っていることをきっかけに投稿が行われていることが示唆された。最も多い名詞である、施工に関しては「本当にこんなに目立つ場所にそのような施工をするのでしょうか」、「原因は施工会社のミスなのに床の上の物は保障してくれないのでしょうか」のように施工そのものに対する不信感、施工会社への不信感が投稿の原因となっているものが多く見られた。また、タイトル、本文ともに「断熱」が上位にきており、断熱工法に関しての不安が投稿の原因となっていると考えられる。

今回の解析では投稿のデータ数が非常に多く、それぞれの質問に対する回答について一般的な回答を得るような手法を開発することができなかった。4077 の質問に対して 13182 の発言が専門家と質問者からあり、より深い分析を行えば、例えば、建物の部位ごとにどのような問題が多く起こっているのか、推奨される対処方法はどのようなものなのか等を分析できる。

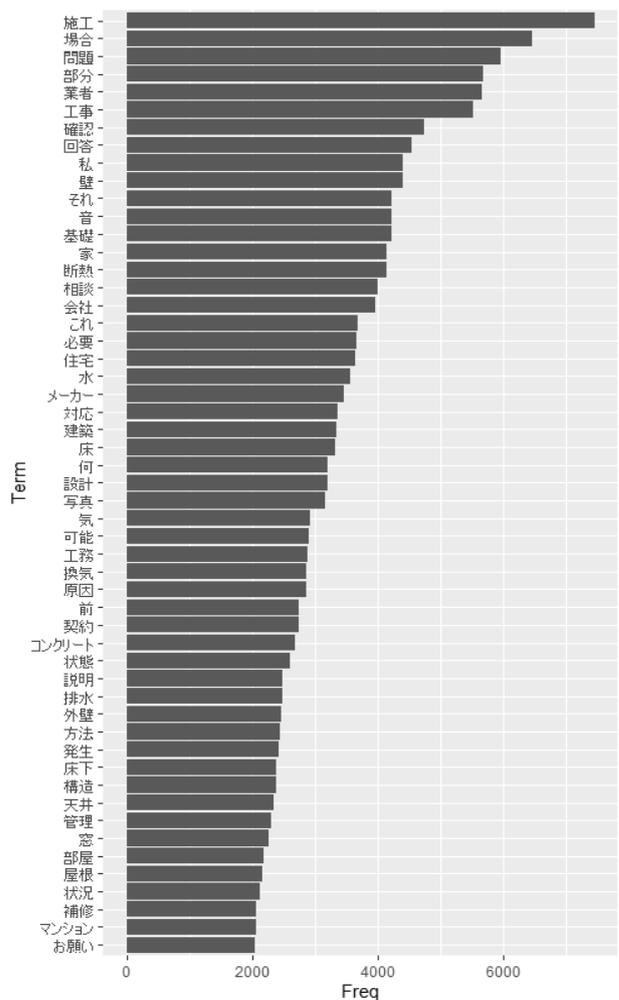


図 2-3

表 3-1 アンケート概要

調査対象	北方型住宅	北海道R住宅	一般住宅	合計
有効配布数	162	133	325	620
配布方法	ポスト投函	郵送配布	ポスト投函	
回収数	20	29	17	66
回収率	12.30%	21.80%	5.20%	10.60%

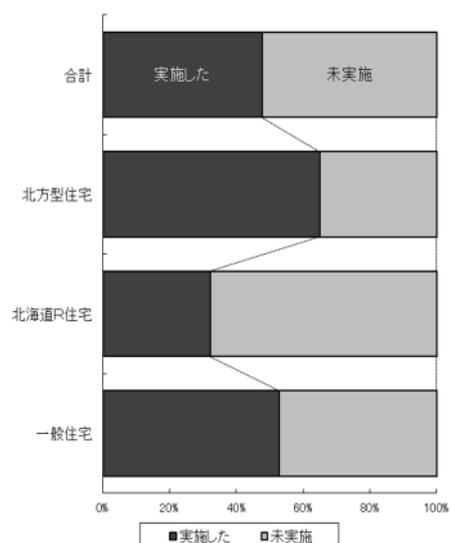


図 3-1 外装点検の状況

### 3. 住宅の維持保全・住まい方に関して居住者の意識調査

#### 3.1 調査の目的

藤平ら<sup>文4)</sup>は木造住宅の維持保全計画やその実施状態について、工務店の現状を把握するとともに、維持管理の基本となる点検の周期、部位や方法のマニュアル化に資する知見を体系化することを目的とした調査を実施している。しかし、対象は工務店であり、維持保全の主体である住宅の所有者に対する調査が実施されていない。そこで、本報告では、住宅の維持保全・住まい方に関して居住者の意識やメンテナンス実態を把握するため、アンケート調査を行った。アンケート概要を表3-1に示す。今回対象としたのは札幌市、旭川市の北方型住宅、北海道R住宅、一般住宅の居住者である。

#### 3.2 調査結果

図3-1に近直10年間の外装点検の実施状況を示す。また、図3-2は外装点検の理由である。外装点検を行った割合が最も高かったのは北方型住宅の65.0%であった。外装点検を実施した動機ではどの住宅でも「劣化や不具合の兆候があったので、修繕等が必要か知りたかった」という回答が多く、それぞれ北方型住宅で53.8%、北海道R住宅、一般住宅で33.3%と比較的多かった。一方で北方型住宅と北海道R住宅では「定期的な点検が必要と考えた」を選択していた方が46.2%、44.4%と多かったのに対し、一般住宅では22.2%と比較的少ない結果が出た。北方型住宅とR住宅には建設後に居住者が利用できるサポートシステムが備わっており、居住者に対し定期的な維持管理の重要性を意識づけていると推察できる。図3-3は住宅の点検及び修繕等の費用として今後10年間でどのくらいの金額であれば準備(支出)可能か示したものである。金額は範囲が広いが、北方型住宅、北海道R住宅の居住者のほうが実際の必要額に近い値を意識しており、居住者が維持、メンテナンスに関するリテラシーが高いことが示唆された。また、「考えていない」、無回答者を除く回答者の平均回答額は159.7万円であった。図3-4はどのようなメリット、サービス若しくはペナルティ等があると、積極的に住宅の点検や修繕等に取り組みたいと思うかについての結果である。どの対象住宅でも「維持保全にかけた費用が所得控除や税額控除を受けられる」、「維持保全にかけた費用が、資産価値評価に反映される(将来的な売却額に反映される)」の選択人数が多かった。

多く、ストックの維持活用を前提とした維持保全は自宅が次の住まい手にわたるといふ社会の構築が必要不可欠と考えられる。

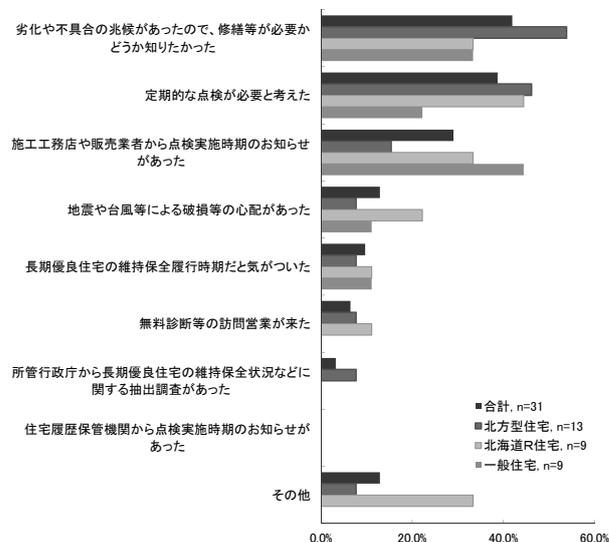


図3-2 外装点検の理由

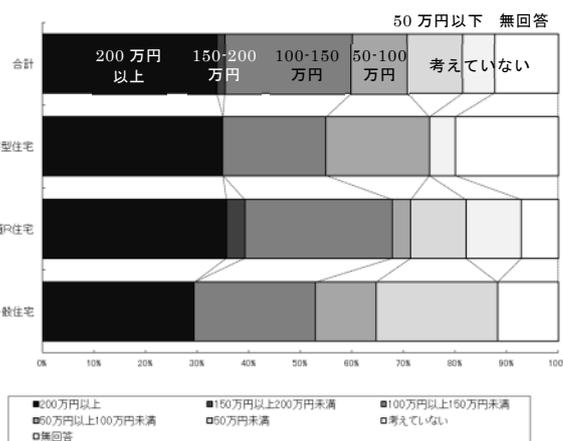


図3-3 点検・修繕に支出可能な金額

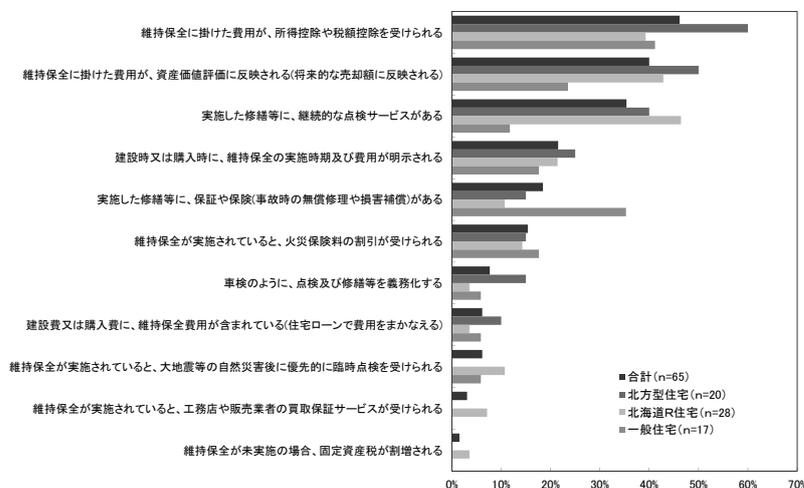


図3-4 点検・修繕のために希望するサポート

#### 4. 劣化深刻度の決定

##### 4.1 判定手法の作成

建物の劣化については、国総研が総合的な調査<sup>文5)</sup>を行い、劣化状況を経過観察、部分補修、部分交換、大規模改修に分類し、マニュアルを整備している。本報告においてもこの手法を踏襲し、また、それぞれの劣化事象について必要な修繕工事と費用について整理を行った。北海道R住宅ストック流通推進協議会の協力のもと、札幌市、江別市、旭川市で点検を行った住宅に実際に見られた劣化を深刻度ごとにまとめた。今回の点検は外装のうち、雨水の侵入を防止する屋根、外壁、開口部とした。住宅点検を行った住宅に見られた劣化事象をまとめ、劣化深刻度に応じた判定区分表を図4-1～4-3に示す。判定区分表は3段階に区分されており、最も軽度である場合は、経過観察、又は洗浄除去等が必要であり、その時点では改修を伴わない劣化とした。まず、図4-1は屋根の判定区分表と劣化事例である。屋根は建物の総合的な劣化に与える影響が非常に大きいため、表面・塗装、母材、目地材の三種類について、それぞれの劣化状態を分類した。第一段階はいずれも深刻な汚れであり、洗浄、除去が必要な段階である。第二段階は材料そのものに何らかの劣化が見られる状態で、表面材は塗装等の劣化が見られる段階、目地材については硬化やひび割れで、いずれも材料に対して直接のメンテナンスが必要な状態と定義した。第三段階は深刻な状態で、早急な修繕がなければ他の部分へ影響が広がってしまうような劣化とした。写真に示しているのは、左側が金属光沢の低下した屋根材であり第二段階である。また、右側は錆が生じている屋根で場所によっては亀裂が生じている可能性もあり、再塗装、交換が必要な状態である。

図4-2は外装材の判定区分表である。外装材も屋根と同様に劣化を放置すると雨水の侵入が起こりやすい場所であり、継続的なメンテナンスが必要な場所である。また、母材が窯業系と金属系では劣化によって生じる事象が異なるためそれぞれについて評価を行うようにした。

中程度である場合は、概ね3年以内(次の点検前)に修繕が必要である劣化とした。最も重度である場合は、材料が機能喪失しており、早急な修繕が必要であり、必要に応じて周辺の詳細調査をする必要がある劣化を示すこととした。写真に示しているのは、左側が窯業系サイディングに生じた換気口周りの苔であり、一部は換気に伴う結露によってサイディングに凍害が生じ、表面塗装の劣化、シーリングの劣化も生じている。右側は金属系サイディングのチョーキングの状況である。チョーキングは塗料に含まれている顔料が熱や紫外線、風雨によって劣化し、壁を触るとチョーク上の粉が付着する現象である。放置すると錆を生じるため、洗浄と再塗装が必要である。

図4-3は目地の劣化に関する判定区分表である。目地はさまざまな場所にあるが、主に窓周辺の目地の劣化を判断するための評価基準となっている。上の写真はシーリング材のひび割れの様子である。雨水の侵入の可能性があるため、早急な補修が必要である。また、下側の写真はシーリングの接着面の剥離が生じている状態である。同様に雨水の侵入の可能性があるため、早急な補修と補修を行う際に周辺の調査が必要な事例である。以上の補修についてはおおよその工事金額が決まっており、6章のライフサイクルコストの分析に利用した。

屋根材 >表面・塗膜	>母材(窯業系)	目地材
苔・藻、カビ、ツタ・枝掛り、汚れ ⇒清掃除去が必要	反り、うねり、 ⇒経過観察し、程度がひどくなっていれば、詳細調査・修繕が必要	汚れ ⇒洗浄が必要
光沢低下、変色、チョーキング、 もらい錆、 ⇒再塗装が必要		硬化、ひび割れ、 ⇒修繕が必要
亀裂、膨れ、剥離、不陸・滞水 ⇒母材に劣化が生じている可能性 ⇒早急な詳細調査・再塗装が必要	発錆、腐食、下地が露出する破損等 ⇒雨水が侵入している可能性 ⇒早急な詳細調査・修繕が必要	接触面剥離、破断、欠損 ⇒雨水が侵入している可能性 ⇒早急な詳細調査・修繕が必要



図4-1 屋根の劣化判定区分と劣化事例

外装材 >表面・塗装	>母材(窯業系)	>母材(金属系)
苔・藻、カビ、ツタ・枝掛り、汚れ ⇒清掃除去が必要	反り、うねり、 ⇒経過観察し、程度がひどくなっていれば、詳細調査・修繕が必要	反り、うねり、 ⇒経過観察し、程度がひどくなっていれば、詳細調査・修繕が必要
光沢低下、変色、チョーキング、 もらい錆、 ⇒再塗装が必要	釘浮き、ひび割れ、 ⇒修繕が必要	
亀裂、膨れ、剥離 ⇒母材に劣化が生じている可能性 ⇒早急な再塗装が必要	含水膨張、腐食、下地が露出する破損等、 ⇒雨水が侵入している可能性 ⇒早急な詳細調査・修繕が必要	発錆、腐食、下地が露出する破損等 ⇒雨水が侵入している可能性 ⇒早急な詳細調査・修繕が必要

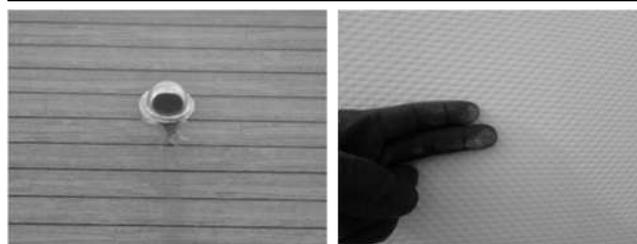


図4-2 外壁の劣化判定区分と劣化事例

目地材	
苔・藻、カビ、ツタ・枝掛り、汚れ ⇒清掃除去が必要	
硬化、ひび割れ、 ⇒修繕が必要	
接触面剥離、破断、欠損 ⇒雨水が侵入している可能性 ⇒早急な詳細調査・修繕が必要	

図4-3 目地の劣化判定区分と劣化事例

## 5. 非暖房室の環境把握

### 5.1 寒冷地の非暖房室の状況

寒冷地では住宅内に非暖房室がある場合、水蒸気が非暖房室に流れ湿害が発生する。湿害が生じると内装材の含水率が上昇し、汚損やひどい場合には構造材の被害が生じるため非暖房室を作らないことが住宅の長寿命化につながる。しかし、断熱が十分ではなかった時代は、高額な暖房費を支払うことが難しかったため、冬季は生活をコンパクトにし、あえて非暖房室を作ることで、目先のコスト優先の生活を行ってきたといえる。昨今は十分な断熱性能を確保できるようになってきたため、建物全体を暖房しつつ、冬季も開放的な生活を行うことができるようになってきたが、一方で、昨今もひきつづき省エネルギー、省コストが意識されるため、高断熱住宅であっても暖房を行わない部屋がある場合もある。高断熱住宅の室内環境を計測した研究は多くある<sup>6, 7, 8, 9)</sup>。しかし、非暖房室の室内環境が劣化に与える影響に注目した研究は多くない。本研究では、高断熱住宅における非暖房室の実態について調査を行ったうえでシミュレーションを行う予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大によって実測が不可能となったため、十分なデータを得ることができなかった。但し、マイクロコンピュータボードを利用した測定システムを開発し、現在測定を実施中である。

### 5.2 マイクロコンピュータボードを利用した測定システム

図 5-1 に開発した測定システムを示す。郵送用の段ボール箱に CO2 センサー (sensirion 社 SCD41)、VOC センサー (sensirion 社 SVM40) を貼り付け、マイクロコンピュータボード (M5stack) を用いてデータ収集を行うシステムを構築した。SCD41 は通常使われている NIR 方式ではなく、光音響センシング原理を用いているため電源の節約ができ、eCO2 よりも圧倒的に精度がよい。また、電源に大容量のバッテリーを用いることで電源がなくても約 1 週間の情報収集が可能である。また、各部屋に設置する電池動作式のセンサー (オムロン社、2JCIE) との間で BLE 通信によってデータを取得するシステムを構築した。また、このシステムの特徴は安価であることである。CO<sub>2</sub>、VOC を 1 点、温湿度 4 点を計測しているが総額 5 万円ほどで測定を行うことが可能である。

### 5.3 測定結果

図 5-2~5-4 に測定結果を示す。図 5-2 はリビングで測定した温度、CO<sub>2</sub>、VOC である。10 月であるためすでに暖房が始まっているが、夜間は暖房を切っているため、温度低下している。しかし、断熱性能が高いため、8 時

間で 4℃程度の低下にとどまっている。また、CO<sub>2</sub> に関しては、リビングに居住者がいるときには 1000ppm 程度であるが、夜間は居住者がリビングから寝室に移動するため、CO<sub>2</sub> 濃度が低下していた。その後、早朝の活動前はほぼ 400ppm まで低下しており、換気が良好に行われ



図 5-1 開発した測定システム

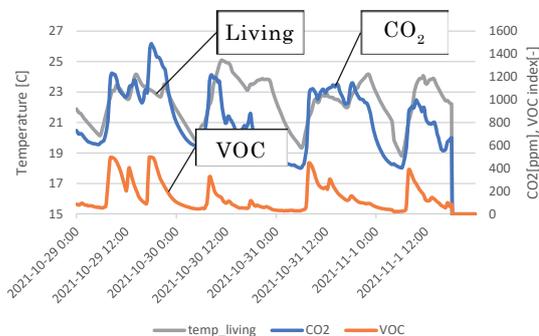


図 5-2 CO<sub>2</sub>、VOC の測定結果

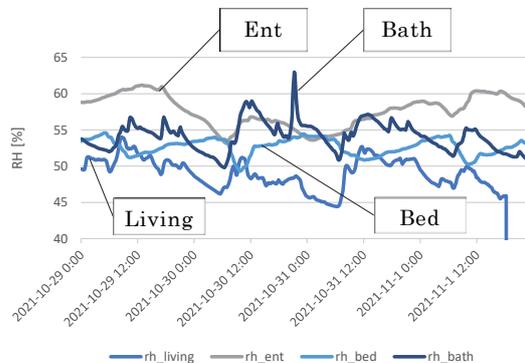


図 5-3 室温の測定結果

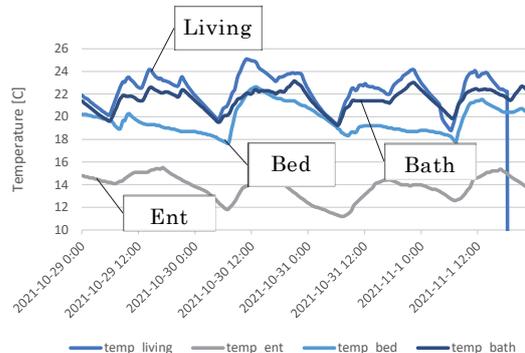


図 5-4 相対湿度の測定結果

ていると考えられる。VOCはVOC index<sup>文10)</sup>を測定した。VOC indexは100をアベレージとした1-500の間で変化するVOCの指標で100-500は空気質の悪化を意味している。高い値は朝と昼に発現されており、調理に関係していると推測している。

図5-3はリビング(living)、玄関(ent)、寝室.bed)、脱衣室(bath)の室温である。リビングと脱衣室はほぼ同様の変動となっており、良好な室内環境となっている。寝室はリビング、脱衣室よりも低いものの18℃以上となっており、良好である。玄関は他の個所と比べると10℃以上低くなっており、この住宅の場合、暖房されていないことがわかった。

図5-4はそれぞれの相対湿度である。温度と同様にリビングと脱衣室が同様の変化であり、温度の低い玄関の湿度が高くなっている。玄関の温度と湿度は5℃ほど低下すると結露が生じる状態であり、窓の性能が十分でない場合は結露が生じ、周辺で劣化が生じる可能性がある。

現在、本システムを20セットほど作成しており、今後は郵送による測定を実施する予定である。

## 6. ライフサイクルコストの分析

### 6.1 VaRによるリスク管理手法

図6-1にVaRのコンセプトを示す。VaRは現在所有している資産を一定期間保有し続けた場合に被る損失の可能性を過去のデータをもとに計測する手法である。数学的には現時点 $t$ のポートフォリオの価値を $P(t)$ として、将来の時点 $\tau$ までに生じる損失額 $\Delta P (= P(\tau) - P(t))$ に対して

$$Pr[\Delta P \leq -X] = \alpha \quad (1)$$

が成立するとき、損失額 $X$ を、保有期間 $\tau-t$ 、信頼水準 $100(1-\alpha)\%$ のVaRと呼ぶ。VaRを求めることは、損益 $\Delta P$ の分布の $100\alpha\%$ 点を求めることである<sup>文11)</sup>。

### 6.2 シミュレーションによる点検・改修費の算出

本報告では都市計画基礎調査を用いて札幌市に実在する戸建住宅35549戸(全ての建物情報から木造専用住宅、延床面積90m<sup>2</sup>以上、2000年以降)のデータから延べ床面積、壁面積、窓面積、屋根面積を推定した。北海道R住宅ストック流通推進協議会における北方型住宅、北海道R住宅の調査結果から、良質な住宅では経年による断熱・気密性能の劣化や構造躯体の痛みは総じて少ないことがわかっている。したがって改修対象を屋根、外壁、開口部の3か所に限定し、ワイブル分布に基づく故障率を発生させたモンテカルロシミュレーションを行って解析した。ワイブル分布の累積分布関数(CDF) $F(t)$ と確率密度関数(PDF) $f(t)$ は(2)、(3)式に示す。

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

外壁に利用される材料は約10年をピークに劣化が発生し、25年以上の外装材については交換の必要がある場合が多いという住宅検査人の意見を参考に、形状パラメータと縮尺パラメータに下記の値を与え、CDF、PDFに関して、図6-2、図6-3に示す2つのグラフを得た。

$$\alpha = 10, \beta = 3 \quad (4)$$

今回のシミュレーションでは、35549件の対象住宅を点検スケジュールに関して表6-1示すようにランダムに9つのパターンを与えた。シミュレーションの概要を図

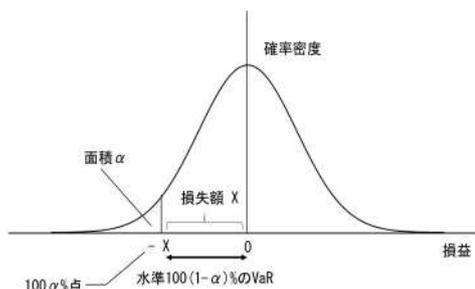


図6-1 VaRの概要

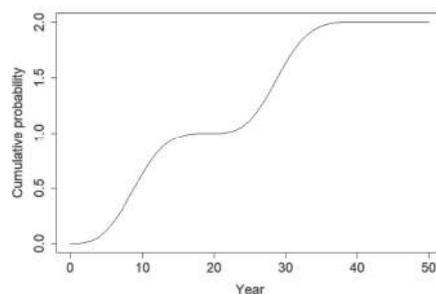


図6-2 累積分布関数

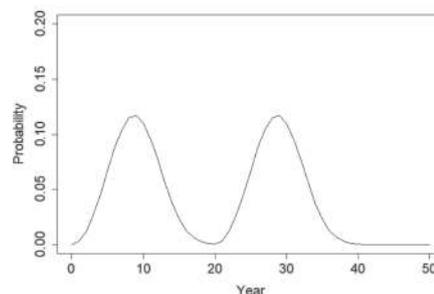


図6-3 確率密度関数

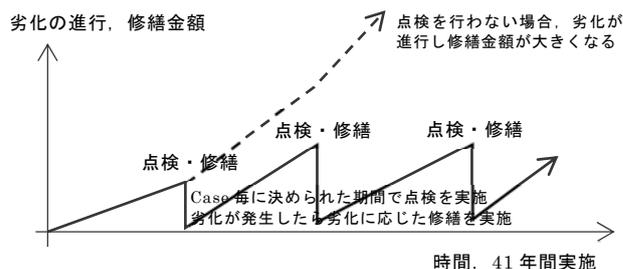


図6-4 シミュレーションの概要

6-4 に示す。計算は 1 年ごとに 41 年間実施し、スケジュールで決められた点検時に、劣化が生じていた場合は、前章で定めた劣化深刻度に応じた改修を行うとし、改修の程度に応じて改修金額を積算した<sup>文 12)</sup>。また、住宅の品質確保の促進等に関する法律に基づき、住宅の主要構造部分の瑕疵について住宅の引き渡しから 10 年間の瑕疵保証責任が義務付けられている。したがって、建設後 10 年以内の改修に対しては保険で賄われるとしてその改修費がかからないこととした。

図 6-5 に、各 case の 41 年間のメンテナンス総額をヒストグラムにて表した。case9 は住宅を手放すまで一度も点検・改修を行わない設定としているので、メンテナンスコストは 0 円となり、グラフは省略した。結果を見ると、最もコスト分布が高くなっていたのは case8 であった。case8 は今回のシミュレーション期間 41 年間の中で点検・修繕を一度しか行わなかった場合である。メンテナンスの間隔が長くなると、劣化が進み一度の改修工事が高額となってしまったためであった。また、毎年点検を行っている case3 よりも 3 年または 5 年おきに点検を行っている場合のほうが総額の低い割合が多くなっていた。この結果からメンテナンスの頻度により 41 年間のメンテナンスコストに生じる違いを把握することはできるが、41 年間が経過したときの住宅の劣化状況までは考慮することができない。そこで次節にて、住宅のメンテナンスによる売却までのライフサイクルコストへの影響を検討した。

### 6.3 ライフサイクルコストの算出

売却価格は、北海道 R 住宅ネットワークで検討中である「北方型住宅流通価格見積システム」を活用し設定した。図 6-6 に再販を考慮したライフサイクルコストの計算手法を示す。この手法は住宅の資産価値評価にあたり、住宅の良質性及び住宅の維持保全履行状況を反映した評価手法である。中古住宅の建物再販価格は建築基準価格(新築の相場価格)の 80%と仮定し、そのうち中古住宅として再販するための必要な工事費、工務店の利益、管理費などの諸経費を差し引いたものを売却価格と設定した。再販するための必要な工事費は、今回のシミュレーションの対象である屋根、外壁、開口部に関して、41 年目の劣化状況に応じて適した改修を行うこととした。また、case1 から case6 までは

表 6-1 シミュレーションのケース

	until the 10th year	After the 11th year
case1	every 3 years	every 5 years
case2	every 5 years	every 10 years
case3	every year	
case4	every 3 years	
case5	every 5 years	
case6	every 10 years	
case7	every 15 years	
case8	every 30 years	
case9	not performed	

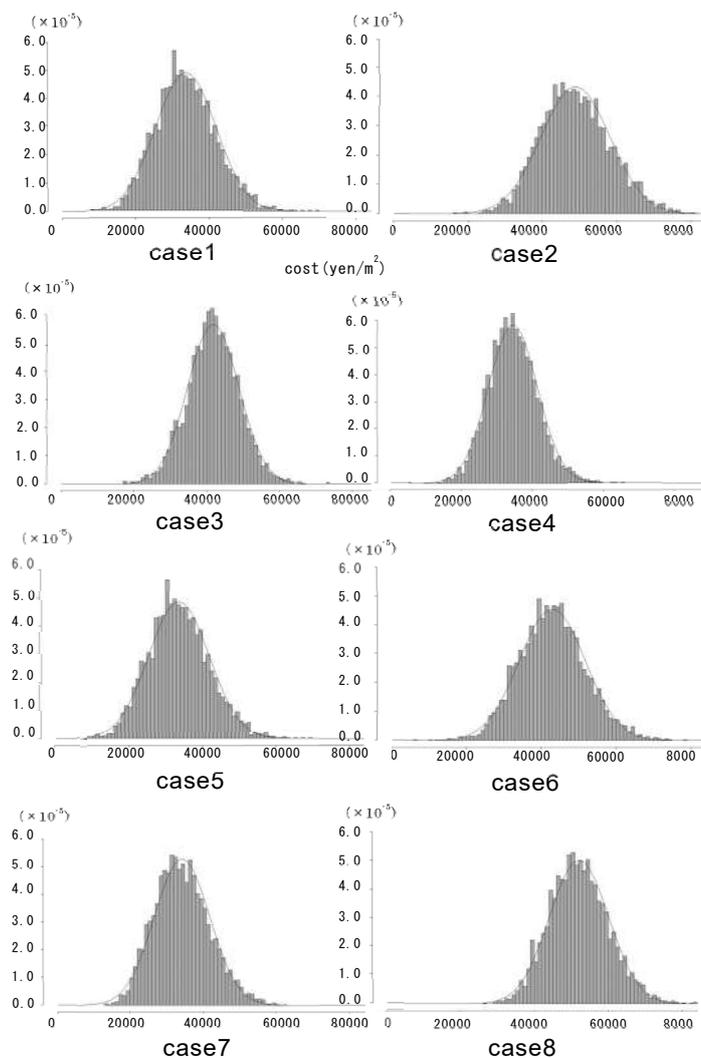


図 6-5 計算結果の頻度分布

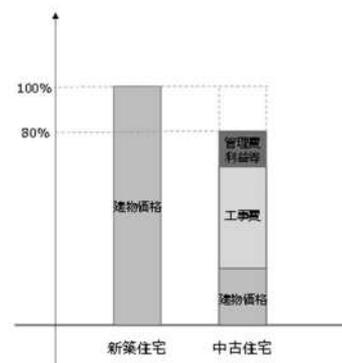


図 6-6 再販を考慮したライフサイクルコストの計算手法

10年以内の間隔でメンテナンスを行っているため、ある程度の住宅の性能は保たれていると考えられる。したがって中古住宅として再販するために必要な追加の工事として「水廻り(キッチン、トイレ、洗面)交換」,「リフォームフロア施工,幅木交換」,「内装クロス,クッションフロア張替え」,「設備工事」とした。また、case7ではそこに「既存断熱材全交換」を追加し、case8, case9では住宅をスケルトン状態にまでばらすこととした。

次にメンテナンスの頻度による売却価格への影響を図るため、caseごとに[41年間のメンテナンスコスト]と売却価格を定める[中古住宅として再販するために必要な工事費]の合計値を求め、ヒストグラムを作成した。結果を正規分布曲線として表したものを図6-7に示す。この正規分布曲線から信頼水準95%のVaRを求めた。caseごとの平均値,標準偏差,信頼水準95%のVaRを表6-2に示す。Caseごとの信頼水準95%のVaRを用いて、延べ床面積100m<sup>2</sup>の住宅におけるライフサイクルコストの比較を行った。その他考慮すべき住宅関連費用として①住宅ローン支払い金額,②光熱費,③税金を算出し、41年間のライフサイクルコスト求めた結果を図6-8に示す。41年間のライフサイクルコストが最も低額となったのはcase4の3年おきに住宅を点検した場合であり、次に僅差でcase5の5年おきに改修を行った場合が低くなっていた。この結果から、本シミュレーションの条件下では適切な点検,メンテナンスの頻度は3年から5年であった。また、最も高額となったのはcase8の30年目で一度だけ点検・改修工事を行った場合であった。case4と比較するとその差はおおよそ15,70万円であり、大きな金額差が生まれることがわかった。case8とcase9を比較した場合、case8のほうが高額という結果が出ていることから、メンテナンスの頻度が、一定以下である住宅では、売却価格が0となってしまうため、メンテナンスによる資産価値向上の効果を得ることができないことがわかった。

## 7. 総括

本報告では、高断熱住宅のトラブルやメンテナンスの実態を把握することで、高断熱住宅の劣化のフロー図を作成し、それに対応する点検,メンテナンス手法について整理し、住宅の建設から将来の売却,流通までのライフサイクルコストについて、維持管理がどのような影響を与えるのかについて検討した。得られた知見を以下に示す。

1) NPO住宅110番データの分析から居住者が不安と考えている部位(基礎,断熱)を明らかにした。また、施工について不信感を持っていることが多いことが明らかになった。

- 2) 維持管理に関するアンケート調査から、居住者の住宅の維持保全に対する意識・実態を明らかにした。一般住宅に比べて、履歴保存を行っている北方型住宅, R住宅では維持保全に対する意識が高かった。
- 3) 住宅の劣化事例から住宅によくみられる劣化やその深刻度について整理した。
- 4) 非暖房室の室内環境を安価に計測する機器を開発し計測を実施した。
- 5) VaRを利用した住宅のメンテナンス頻度によるライフサイクルコストの比較を行い、住宅の適切な点検,メンテナンス頻度がこのシミュレーションの範囲では3~5年であることがわかった。

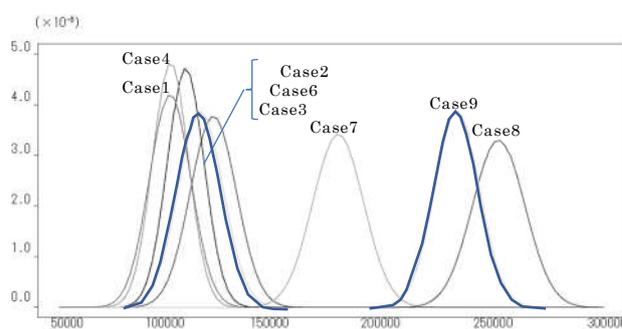


図6-7 メンテナンスコストと再販に必要なコストの合計値の正規分布曲線

表6-2 平均値,標準偏差,信頼水準95%

	average ( $\times 10^3$ yen/m <sup>2</sup> )	standard deviation ( $\times 10^3$ )	95% confidence interval VaR ( $\times 10^3$ yen/m <sup>2</sup> )
case1	101	9.5	116
case2	121	10.6	138
case3	108	8.4	122
case4	101	8.3	115
case5	101	9.4	116
case6	115	10.3	132
case7	178	11.7	197
case8	252	12.1	271
case9	233	10.3	249

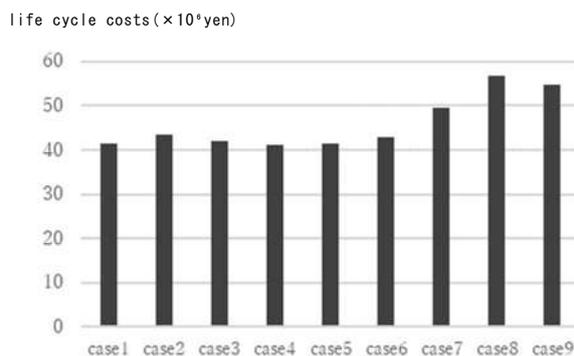


図6-8 40年間のライフサイクルコスト

## <謝辞>

データの取得に際して北海道 R 住宅、北方型住宅の居住者の皆様にアンケートの協力をいただいた。また、劣化事象に関する調査に対するご協力もいただいた。感謝します。

## <参考文献>

- 1) 飯田恭一, 吉田倬郎: 建物の取壊し理由とその存続期間等に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第 75 巻 第 662 号 2010.6
- 2) 前田拓生ら: 日本における住宅の経年減価についての考察 民営借家の家賃統計からの推計: 日本建築学会計画系論文集 第 81 巻 第 722 号 2016.4
- 3) 海川拓也ら: 気候条件に配慮した住宅維持保全コストに関する研究, 日本建築学会技術報告集 第 19 巻 第 43 号 2013.10
- 4) 藤平眞紀子: 木造住宅の維持保全計画のあり方に関する研究, 一工務店を対象としたアンケート調査より一, 日本家政学会誌 Vol.67 No.9 2016
- 5) 木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究,  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn0975.htm>
- 6) 丸山 翔永, 森 太郎, 高断熱住宅群の設計手法の分析とエネルギー消費実態に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 83(748) 515-521 2018年6月
- 7) 丸山 翔永, 森 太郎, 大柳 佳紀, 北海道における木造高断熱住宅の断熱性能の劣化に関する研究
- 8) 日本建築学会環境系論文集 (764) 911-918 2019年10月
- 9) Analysis on design method and energy consumption for high thermal performance housings, Japan Architecture Review 2(4) 603-609 2019年10月
- 10)  
[https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/9\\_Gas\\_Sensors/Datasheets/Sensirion\\_Gas\\_Sensors\\_Datasheet\\_SGP40.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9_Gas_Sensors/Datasheets/Sensirion_Gas_Sensors_Datasheet_SGP40.pdf)
- 11) 安藤美孝. (2004). ヒストリカル法によるバリュー・アット・リスクの計測—市場価格変動の非正常性への実務的対応—. 日本銀行金融研究所
- 12) 建築工事研究会. (2020). 積算資料ポケット版 リフォーム編 2021. 一般財団法人経済調査会.
  - ・三浦良造. (2012). 金融(計量)リスク管理の数理と統計学. 数理ファイナンス.
  - ・涌井良幸・涌井貞美. (2015). まなびのずかん統計学の図鑑. 技術評論社.
  - ・馬場真哉. (2019年). R と Stan ではじめるベイズ統計モデリングによるデータ分析入門.