HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	札幌市内の分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量削減に関する研究
Author(s)	平川, 秀樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12765号
Issue Date	2017-03-23
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k12765
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65619
Type	doctoral thesis
File Information	Hideki_Hirakawa.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

札幌市内の分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量削減に関する研究

Study on energy saving of space heating in the condominium stocks of Sapporo

2017 年

平 川 秀 樹

目次

第 1 章　序論 1

1.1　研究の背景 1

1.2　研究の目的 6

1.3　既往の研究と本研究の位置付け 7

1.4　論文の構成 9

【第 1 章の参考文献】 10

第 2 章　分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法 12

2.1　本章の背景と目的 12

2.2　外断熱改修効果の分析 13

2.2.1　外断熱改修マンションの概要 13

2.2.2　分析方法の概要 17

2.2.3　マンションの隙間面積の推定 23

2.2.4　自然換気量の推定 27

2.2.5　室内温度に関する効果分析 29

2.2.6　暖房用エネルギー消費量に関する効果分析 35

2.2.7　暖房システム効率 η_H の影響 38

2.3　外断熱改修効果の推定方法 39

2.3.1　暖房用エネルギー消費量の推定式 39

2.3.2　室温変化率 a と間歇暖房補正係数 P との関係 44

2.3.3　暖房システム効率 η_H による E_H の誤差 46

2.3.4　推定値の検証 46

2.3.5　暖房開始・終了時期の日平均外気温度の標準値 49

2.3.6　R マンションにおける推定値の検証 50

2.4　第 2 章のまとめ 53

【第 2 章の参考文献】 53
第 3 章　分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量 55
3.1　本章の背景と目的 55
3.2　マンションデータの調査・推定方法の概要 56
3.2.1　外皮面積推定の概略 56
3.2.2　竣工年代や階数等の調査方法 58
3.2.3　部位の熱貫流率及び線熱橋係数 60
3.3　熱損失係数推定値の算出方法 61
3.3.1　熱損失係数の算出方法 61
3.3.2　延床面積の算出方法 61
3.3.3　屋根及び床の面積と熱損失の算出方法 66
3.3.4　開口部の面積と熱損失の算出方法 67
3.3.5　外皮となる壁の面積と熱損失の算出方法 68
3.3.6　熱橋の長さと熱損失の算出方法 69
3.3.7　マンションの熱損失係数推定値の算出結果 70
3.3.8　熱損失係数推定値の検証 72
3.4　分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量の推定 75
3.4.1　単位床面積当たり暖房用エネルギー消費量の推定 75
3.4.2　単位住戸当たり暖房用エネルギー消費量の推定 76
3.4.3　札幌市内全ストックにおける暖房用エネルギー消費総量 78
3.5　外断熱改修による暖房用エネルギー消費削減総量の推定 80
3.5.1　外断熱改修のシナリオ 80
3.5.2　Case1 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定 80
3.5.3　Case2 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定 82
3.6　第 3 章のまとめ 85

【第 3 章の参考文献】 85
第 4 章　分譲マンションにおける外断熱改修の長期的収支バランス 87
4.1　本章の背景と目的 87
4.2　外断熱改修の資金計画の考え方 88
4.3　外断熱改修マンションの概要と課題の整理 89
4.3.1　外断熱改修マンションの概要 89
4.3.2　マンションが抱えていた課題 92
4.4　外断熱改修の高耐久仕様の検討 94
4.4.1　外装 94
4.4.2　窓 95
4.4.3　屋上 95
4.5　外断熱改修の資金計画の検討 97
4.5.1　長期修繕計画の概要 97
4.5.2　長期修繕計画に基づく資金計画の検討 101
4.5.3　外断熱改修の収支バランス 102
4.6　第 4 章のまとめ 104
【第 4 章の参考文献】 104
第 5 章　総括 106
5.1　本研究のまとめ 106
5.2　今後の課題と展望 108
5.3　終わりに 110
記号表 111

第1章　序論

1.1　研究の背景

札幌市は、2010 年現在で、190 万人を超える人口を擁している [1)]。図 1-1 に、札幌市の人口と、共同住宅居住者および分譲マンション居住者の推移を示したが、共同住宅居住者数は、2010 年には 100 万人に達しており、札幌市民の半数以上が共同住宅に居住している現状がわかる。その内、分譲マンションの居住者に関しては、1985 年には 10 万人ほどであったものが、2010 年には、その 3 倍の 30 万人を超えるまでに増加し、現在では、札幌市民の主要な住居形態の一つになったといえる。

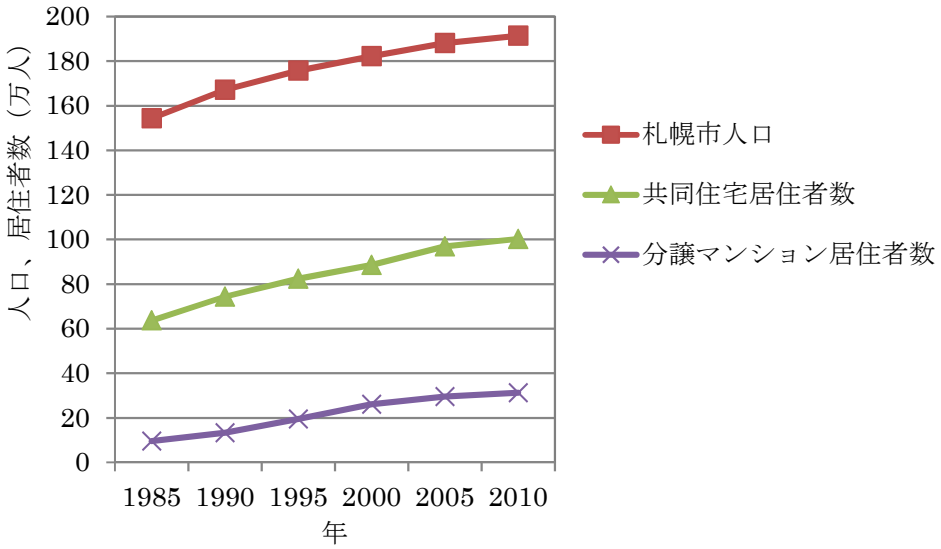


図 1-1　札幌市の人口および共同住宅居住者、分譲マンション居住者の推移

* 昭和 60 年、平成 2 年、平成 7 年、平成 12 年、平成 17 年、平成 22 年の各国勢調査データ [1)]から作成。分譲マンション居住者数は、国勢調査データにおける共同住宅居住者数の内、持ち家の居住者数とした。

図 1-2 に札幌市内分譲マンションの竣工棟数とストック棟数の推移を、図 1-3 に供給住戸数とストック戸数の推移を示す[2]。札幌市内の分譲マンションは 1970 年代から本格的な供給が始まり、2010 年現在で、およそ 3500 棟、16.6 万戸のストック（北海道内のおよそ 8 割[3]）が存在している。

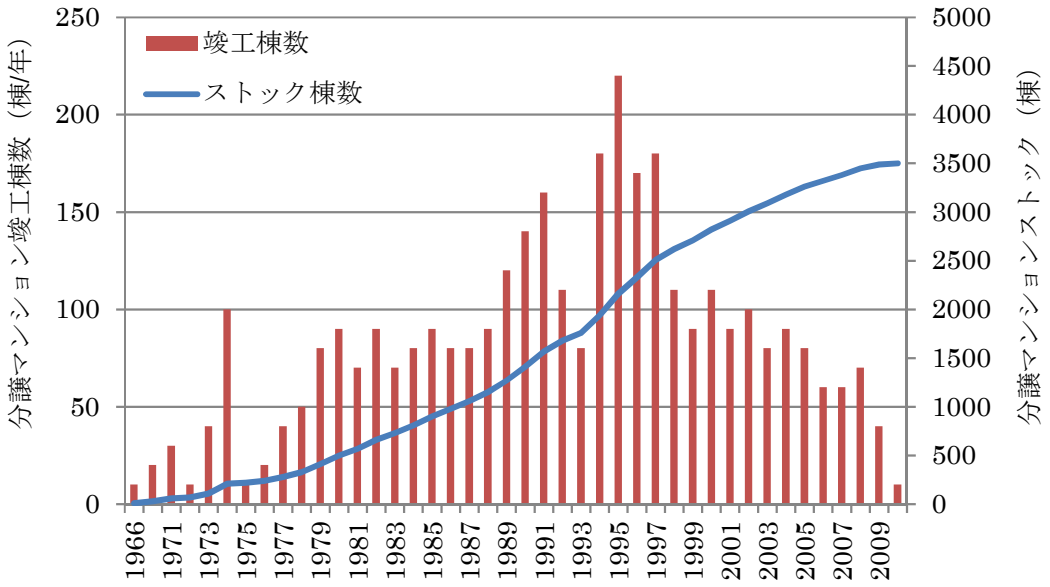


図 1-2　札幌市内分譲マンションの竣工棟数とストック棟数の推移

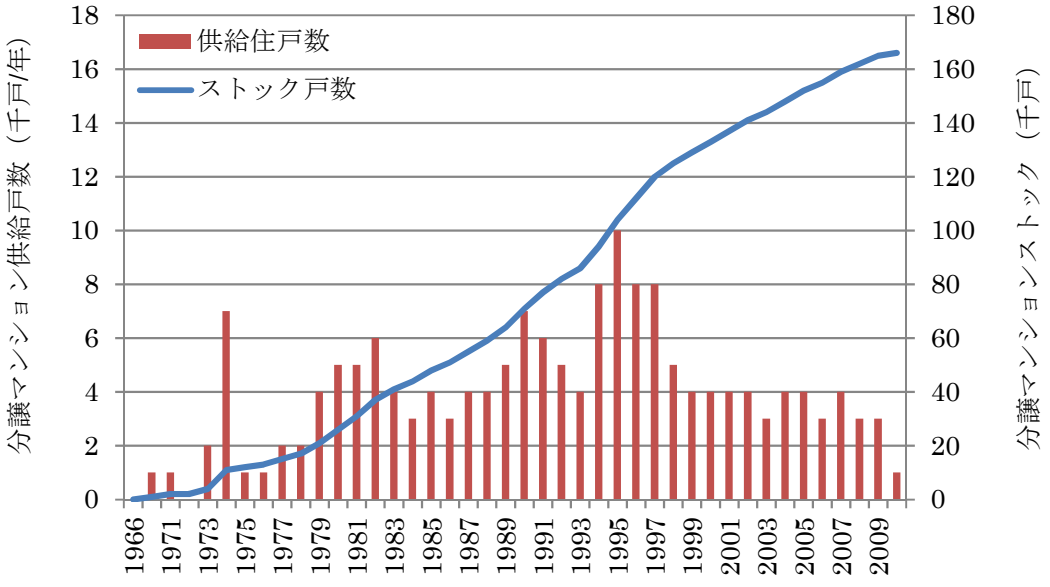


図 1-3　札幌市内分譲マンションの供給住戸数とストック戸数の推移

* 図 1-2、図 1-3 ともに、参考文献[2]のデータから作成。

図 1-4 に、北海道と全国の家庭部門における世帯あたり用途別エネルギー消費量 [4]を示す。これを見ると、北海道の家庭においては暖房用途でのエネルギー消費が半分を占め、全国と比較すると、その割合と消費量が際立って高いことが分かる。そのため、北海道の住宅にとって、暖房用エネルギー消費量の負担の大きさと、その削減に向けた施策の重要性が認識できる。

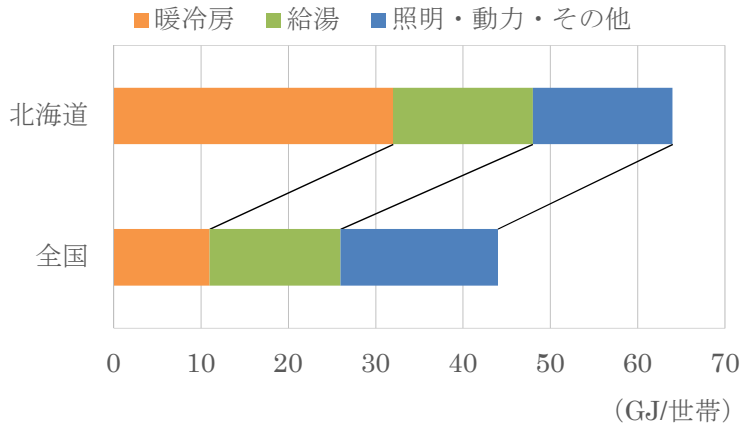


図 1-4　家庭部門における世帯あたり用途別エネルギー消費量比較
*参考文献 [4]のデータから作成。暖冷房用途のうち、北海道においては暖房用途でのエネルギー消費がほとんどを占め、冷房用途はほぼ 0 である。

表 1-1 に、住宅の省エネルギー基準の変遷と、日本住宅性能表示基準の省エネルギー対策等級における年間暖冷房負荷の基準値（札幌：I 地域）[5]を示す。1970 年代のオイルショックをきっかけに「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」が制定され、それに基づいて、住宅の省エネルギー基準（省エネ基準）が 1980 年に施行（S55 年基準）された。その後、現在までに、1992 年（H4 年基準）、1999 年（H11 年基準）、2013 年（H25 年基準）の、3 回の大きな改正が行われている。省エネルギー対策等級との対応は、等級 2 が S55 年基準相当、等級 3 が H4 年基準相当、等級 4 が H11 年以後の基準相当となる。また、「北海道防寒住宅建設等促進法（寒住法）」は、北海道における防寒住宅の建設及び防寒改修を促進することを目的に、1953 年に施行されたが、1969 年の改正時に部位の熱貫流率の基準が示された [6]。

マンションストックの断熱水準を、その竣工当時の省エネ基準に対応した年間暖冷房負荷基準値から推測すると、1992 年以前（S55 年基準以前）に建設されたマンションの断熱性能は、現行基準（H25 年基準）の半分程度の水準と考えられ、居住者の暖房費や寒さに関する負担の大きさが察せられる。

表 1-1　住宅の省エネルギー基準の変遷と暖冷房負荷基準値（Ⅰ地域）

省エネ基準 名称	施行年	省エネルギー 対策等級	暖冷房負荷基準値* (MJ/m²年)
寒住法基準**	1969 年	―	940 以下**
S55 年基準	1980 年	等級 2	840 以下
H4 年基準	1992 年	等級 3	470 以下
H11 年基準	1999 年	等級 4	390 以下
H25 年基準	2013 年	〃	〃 ***

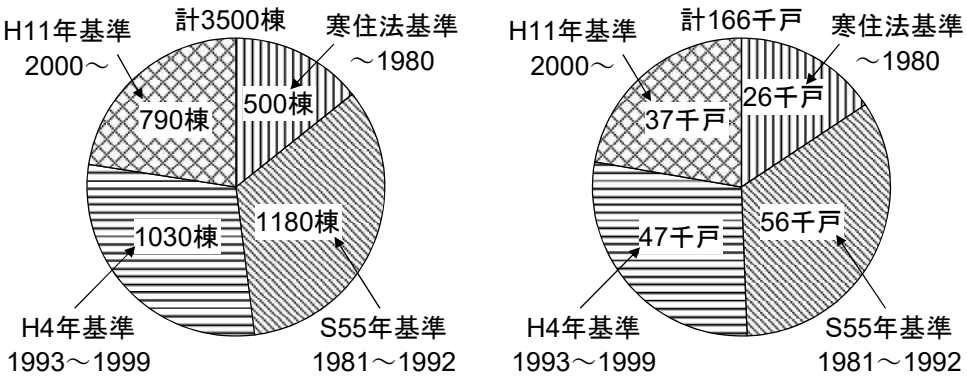
* 札幌（Ⅰ地域）における年間暖冷房負荷のほとんどは暖房負荷によるものとなる[7]。

** 寒住法基準は省エネ法に基づく基準ではないが、便宜上、同一の表に記載した。また、暖冷房負荷基準値は設定されていないが、部位の熱貫流率の基準値から推定すると 940MJ/m² 年程度と考えられる。

*** 暖冷房負荷基準値は設定されていないが、参考文献[8]より、H25 年基準における外皮性能の要求水準は、H11 年基準以上とされることから、暖冷房負荷の基準値も H11 年基準と同等とした。

図 1-2 および図 1-3 から、マンションの竣工年代毎にストック棟数と住戸数を表したものを図 1-5 に示す。竣工年代は、表 1-1 に示した各省エネ基準の施行時期に合わせて、表 1-2 のように設定した。

これらを見ると、札幌市内の分譲マンションストックの約半数が、S55 年基準年代以前（1992 年以前）に竣工したものであることがわかる。つまり、札幌市内の約半数に上る分譲マンションストックが、現在の新築マンションの半分程度の断熱水準しか有していないと推測され、その水準のままでは、現代的で良好な居住環境を望む新たな居住者を獲得できず、共同住宅としての存続が困難な状況に陥っていくことが懸念される。



(a)ストック棟数　　(b)ストック戸数

図 1-5　札幌市内の竣工年代別分譲マンションストック数

* 改正寒住法基準の施行年は 1969 年であるが、それ以前に竣工したマンションも、少数であることから寒住法基準年代に含めた。

表 1-2 マンションの竣工年代と省エネ基準年代の対応

省エネ基準年代	竣工年代
寒住法基準	1980 年以前竣工
S55 年基準	1981 年～1992 年竣工
H4 年基準	1993 年～1999 年竣工
H11 年基準	2000 年以後竣工

* マンションの建設には、1 年程度の期間は必要と考えられるので、各年代の区切りは、各省エネ基準が施行された翌年からとした。

また、耐震性能の面から見ると、1981 年 6 月の新耐震基準以後に建設されたマンションは、現行の建築基準法に即した耐震性能を有する[9]と考えられるので、今後も長期にわたり使用されることが想定される。1992 年以前に建設されたマンションの内、新耐震基準以後に建設されたマンションは 1100 棟に上り、つまり、S55 年基準年代に建設されたマンションのほとんどが、現在の新築マンションと比べても遜色のない耐震性能を有していると考えられる。しかし、先述したように、それらの断熱性能が現在の水準からかなり劣った状態では、良質なストック（中古住宅）として活用されていくことは難しいと思われ、断熱改修によって時代に応じた性能を確保し、より少ないエネルギー消費で、より長く大切に使われ続けることが望まれる。

1.2　研究の目的

外断熱工法は、躯体の外側から断熱を施す断熱工法であり、内断熱工法に比べて熱橋を最小限に抑えられるため、建物の省エネルギー性能が向上することや、断熱によって躯体が保護されるため、その耐久性が向上すること等の優れた特長が知られている[10]。また、建物を使用しながらの工事が可能であるため、既存建物の改修にも適しており、これらの特長から、老朽化しつつあるマンションの性能向上と長寿命化を図る効果的な改修方法のひとつと考えられる。

札幌市を含む北海道内では、公営住宅などを中心に、多くの外断熱改修の事例がみられる。しかし、分譲マンションに限ってみると、計画的に建物の修繕を行う「大規模修繕」の仕組みが比較的整っているにもかかわらず、外断熱改修が実施された事例は僅かといえる状況である[11)12)]。この理由について、実際に外断熱改修が実施された分譲マンションにおける事例から考えると、まず資金面での課題が挙げられる[12)]。外断熱改修は、新たに断熱材や外装材を施す必要があり、外壁塗装の塗り替えや躯体損傷部の補修等の修繕（以後「一般的修繕」[註]と呼ぶ）に比べて導入時の費用負担が大きくなることから、修繕積立金の不足が障害となりやすく、これから外断熱改修を検討するマンションにおいても同様の課題が生じると考えられる。しかし、外断熱化による躯体損傷部の補修費用や、外断熱の外装材を高耐久仕様とすることによる外壁塗り替え費用など、外断熱改修によって大規模修繕の費用軽減が期待できる面もあるため、一般的修繕と比較した外断熱改修の収支は、導入時の支出だけではなく、導入後の支出軽減も含めた長期的な観点からの評価が必要と考えられる。

また、外断熱改修の暖房に関わる主な効果として「室内温熱環境改善」（室内温度の上昇）と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果が期待される。一般的に、暖房用エネルギー消費量の推定は暖房負荷計算によって行われ[13)]、そこで用いる室内温度は設計者等が自ら設定することになるが、室内温度は未知であることから推定値を示すことができない。しかし、それらは、外断熱改修導入の判断材料として重要であることから、定量的な推定値が必要と考えられる。さらに、外断熱改修等による良質ストックの増加は、建設廃棄物削減や省 CO_2 等、地球環境保全の観点からも意義があり、地域社会としての取り組みも望まれることから、札幌市域など、地域単位での暖房用エネルギー消費量削減について把握することにも意義があるといえる。

[註] 改修によるマンションの再生手法に関するマニュアル[14)]で示される定義に従い、劣化した部分を建設当初の仕様に準じて修理し、その性能・機能を当初の水準まで回復させることを修繕とし、既存外装が塗装であるマンションについては、外壁塗装の塗り替えや躯体損傷部の補修などを一般的修繕とした。

本研究は、札幌市内の分譲マンションストックにおいて、外断熱改修等の性能向上改修の普及と良質ストックの増加に寄与することを目指し、以下について示すことを目的とした。

① 外断熱改修に期待される二つの効果、「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」に関する定量的な推定方法
② 札幌市内の分譲マンションストックにおける外断熱改修の暖房用エネルギー消費削減量の推定値
③ 一般的修繕と比較した外断熱改修の長期的収支バランスに関する検討結果

1.3 既往の研究と本研究の位置付け

分譲マンションも含めた既存集合住宅の断熱改修に関する既往の研究を、断熱改修の対象単位でみると、一部住戸のみ対象としたケース（住戸単位）と、集合住宅全体を対象としたケース（住棟単位）に分類できる。さらに、住棟単位での断熱改修は、窓のみを改修対象としたケースと、躯体部分も含めて改修対象としたケースに分類できる。窓のみを改修対象としたケースには山本らの研究[15]があり、実際の分譲マンション（東京）において行われた窓改修の効果を、暖房期の電力消費量の削減率を用いて示している。本研究と同様、住棟単位で躯体部分も含めて断熱改修の対象としたケースには、実際に外断熱改修が実施された住棟と、同プランで未実施の隣接住棟との比較から、外断熱改修の効果について示された研究がある。羽山・絵内らの研究[16]においては、暖房用エネルギー消費量等のアンケート調査結果から外断熱改修の効果が示されているが、室内温度については示されていない。正村・山下らの研究[17]や武井・長谷川らの研究[18]では、それぞれの一部住戸の室内温度測定結果の比較から外断熱改修の効果が示されているが、暖房用エネルギー消費量については示されていない。シミュレーションによる検討では、広瀬・高口の研究[19]や加用・田辺の研究[20]において、各種断熱改修仕様と暖房用エネルギー消費量低減効果との関係が示されているが、室内温度については言及されていない。しかし、断熱改修による「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果は、暖房用エネルギー消費削減効果への配分が大きくなれば、相対的に室内温熱環境改善（室内温度の上昇）効果への配分は小さくなるという関係にあるため、断熱改修の効果を適切に評価するには、双方の効果を併せて示す必要があるといえる。

分譲マンションも含めた既存集合住宅の暖房用エネルギー消費量に関する既往の研究に関してみると、澤地ら[21]や村上ら[22]、鈴木ら[23]、岩舟ら[24]の研究において、札幌市内の集合住宅の、住戸単位での暖房用エネルギー消費量について報告されている。住棟単位での暖房用エネルギー消費量については、湯淺らの研究[25]において報告されているが、

東京に立地する集合住宅をモデルとしており、札幌など、積雪寒冷地の集合住宅については検討されていない。地域単位での暖房用エネルギー消費量の把握を目指す研究として、外岡らによる研究[26]が挙げられるが、集合住宅は 2 種類（家族用と単身者用）の全国一様のモデルで、熱損失係数は地域毎に一律の代表値（Ⅰ地域については 3.32 W/m²K）を設定して暖房用エネルギー消費量等が推定されている。しかし、マンションの熱損失係数はそれぞれの竣工年代（断熱仕様等）や形状（平面プラン、斜線制限等）、規模（住戸数、階数等）によって大きく異なると考えられることから、その実態に即した値を用いることが望ましい。また、住棟単位と地域単位双方でのエネルギー消費量の把握は、例えば、地域の平均値との比較が可能になるなど、個々のマンションの現状がより明確になり、性能向上改修の必要性が広く認識されることが期待される。

分譲マンションの外断熱改修による大規模修繕の事例については、工事の内容や流れ、長期修繕計画等に関して、関連雑誌や研修会資料等での報告[27][28]がある。しかし、それらにおいては、外断熱改修の長期的収支を一般的修繕と比較した検討は行われていない。そのような検討を、学校施設を対象に行われた既往の研究として、平井らの研究[29]が挙げられ、そこでは一般的修繕と外断熱改修の累積工事費の比較や、空調費の削減効果などの検討が行われている。

以上より、本研究の位置付けを示すと、以下のようになる。

① 実際の分譲マンションの事例から、外断熱改修の「室内温熱環境改善効果」と「暖房用エネルギー消費削減効果」に関する結果を示し、さらに、任意の分譲マンションにおける二つの効果の定量的な推定方法を提案する
② 札幌市内の分譲マンションストックを対象に、地理情報システム（GIS）上の建物データ等を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法を示し、その熱損失係数を基にした住棟単位および札幌市域単位での暖房用エネルギー消費量の現状と、外断熱改修を行ったケースを想定した削減量を示す
③ 実際に外断熱改修が行われた分譲マンションの事例から、修繕積立金等の資金面に関して、一般的修繕を続ける場合と外断熱改修を導入した場合の、初期工事費や修繕工事費の長期的収支バランスを比較検討する

なお、外断熱工法による躯体コンクリートの耐久性向上に関する研究については、申らによる押出法ポリスチレンフォーム断熱材を用いた外断熱コンクリート躯体の中性化抑制効果に関する研究[30][31]、山形らによる外断熱コンクリート躯体の温度応力抑制効果に関する研究[32]、平井らによる外断熱コンクリート躯体の温度応力シミュレーションに関する研究[33]などがあり、外断熱工法の躯体保護効果による中性化やクラックの抑制によって躯体コンクリートの耐久性が向上し、建物の長寿命化が期待できることが示されている。

1.4　論文の構成

本論文は、全 5 章より構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、研究の背景と目的を述べ、関連する既往の研究について概説し、本研究の位置付けを示した。

第 2 章「分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法」では、実際に外断熱改修が行われた札幌市内に所在する 3 棟の分譲マンションの事例から、外断熱改修の「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果について分析し、いずれのマンションにおいても、外断熱改修の結果、室内温熱環境が改善（室内温度が暖房期平均で 1.8～3.5℃上昇）し、かつ、暖房用エネルギー消費量が削減（年間で 23～30%減）されたことを明らかにした。次に、それらの分析結果を基に、任意の分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法を提案し、二つの効果について客観的かつ定量的な推定を可能にした。ただし、暖房開始・終了時の日平均外気温度の設定によっては、暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の差が大きくなる場合がある。

第 3 章「分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量」では、札幌市内の分譲マンションストックを対象に、地理情報システム（GIS）上の建物データ等を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法を示し、実用的な熱損失係数の推定値（平均±8%程度の誤差）が得られることを示した。次に、札幌市内約 800 棟の分譲マンションについて熱損失係数を推定し、その平均値等から、札幌市内の全分譲マンションストックを対象に、現状における暖房用エネルギー消費総量を推定した。その結果、その総量は 2.4～4.8PJ /年程度で、北海道内全家庭における暖房用エネルギー消費総量の 3.7～7.4%程度を占めると推定された。さらに、それらのストックが外断熱改修を行ったケースを想定した暖房用エネルギー消費削減量の推定を行った。その結果、1992 年以前竣工のストックを H11 年基準相当まで断熱性能を向上させた場合においては 0.29～0.37PJ /年の削減、2010 年現在の全てのストックを H11 年基準の 2 倍相当まで断熱性能を向上させた場合においては 0.45～0.58PJ /年の削減と推定された。

第 4 章「分譲マンションにおける外断熱改修の長期的収支バランス」では、実際に行われた外断熱改修による大規模修繕において検討された外断熱改修の高耐久技術仕様と、その仕様を導入した外断熱改修後の長期修繕計画、借入金の返済計画も含めた資金計画の重要性を示した。また、高耐久技術仕様とした外断熱改修の長期的収支バランスは、暖房費の節減分を含めなくとも、一般的修繕と比較して大きくは変わらず、一般的修繕と比べて大きくなる外断熱改修導入時の支出増分は、マンションの劣化・陳腐化に対する予防的支出と解釈できることを示した。

第 5 章「総括」では、本研究で得られた知見を総括し、今後の課題について考察した。

【第１章の参考文献】

1) 政府統計の総合窓口 e-Statホームページ http://www.e-stat.go.jp/, 2016.1.30参照

2) 札幌市都市局市街地整備部住宅課：札幌市分譲マンション管理実態調査報告書, 2011.3

3) 馬場麻衣, 松村博文：道内分譲マンションの管理等実態調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.86, p335～340, 2013.06

4) 経済産業省北海道経済産業局：グラフで見る北海道のエネルギー消費2010年度, 2013.1

5) 国土交通省住宅局, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所：日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説（新築住宅）2014, 工学図書株式会社, 2014.5

6) 社団法人北方圏センター：北海道の住宅および住環境のあり方に関する調査報告書, 1982.3

7) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ1981-2000, 2005.8

8) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 Ⅱ住宅, 株式会社連合印刷センター, 2013.5

9) 国土交通省：マンション耐震化マニュアル平成26年7月再改訂版, 2014.7

10) 国土交通省北海道開発局営繕部：外断熱建物に関する性能基準及び同解説　平成15年版、社団法人公共建築協会, 2003

11) 佐藤潤平, 福島明, 奈良謙伸：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第1報, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.79, p203～206, 2006.07

12) 一般社団法人北海道建築技術協会：外断熱改修への手引き2009年改訂版, 2009.3

13) 一般社団法人北海道建築技術協会：北方型住宅の熱環境計画2010年, 2010.1

14) 国土交通省：改修によるマンションの再生手法に関するマニュアル, 2004

15) 山本正顕, 會田祐, 木村健一郎, 西村欣英：既存集合住宅の開口部断熱改修によるエネルギー消費量調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp557~558, 2011

16) 羽山広文, 絵内正道, 森太郎：外断熱RC建築の熱性能評価に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp1317~1320, 2002

17) 正村順子, 丹羽悠介, 岩井一博, 山下恭弘：外断熱改修による集合住宅の温熱環境および結露改善効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp181~182, 2003

18) 武井さやか, 長谷川寿夫, 堀尾泉：富山市内におけるRC造集合住宅の外断熱改修と室温状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp213~214, 2005

19) 広瀬拓哉, 高口洋人：既存集合住宅の断熱性能実態及びその改修による省エネルギー効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 76, No. 664, pp581-586, 2011.6

20) 加用現空, 鈴木信恵, 田辺新一：集合住宅における熱負荷低減と居住性向上を目的とした改修計画の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp27~28, 2002

21) 澤地孝男, 坊垣和明, 吉野博, 鈴木憲三, 赤林伸一, 井上隆, 大野秀夫, 松原斎樹, 林徹夫, 森田大：用途別エネルギー消費量原単位の算出と推定式の作成 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究 第1報, 日本建築学会計画系論文集, No. 462, pp41-48, 1994.8

22) 村上周三，坊垣和明，田中俊彦，羽山広文，吉野博，赤林伸一，井上隆， 飯尾昭彦，鉾井修一，尾崎明仁，石山洋平：全国の住宅80戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量，日本建築学会環境系論文集，No. 603，pp93-100，2006.5

23) 鈴木憲三，松原斎樹，森田大，澤地孝男，坊垣和明：札幌,京都,那覇の公営集合住宅における暖冷房環境の比較分析 暖冷房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究その1，日本建築学会計画系論文集，No. 475，pp17-24，1995.9

24) 岩船由美子，西尾健一郎：住宅における暖房水準とエネルギー消費量の分析，日本建築学会環境系論文集，Vol. 75，No. 650，pp371-379，2010.4

25) 湯淺和博，劉正賢，藤井修二：住棟全体のエネルギー消費量の推定 集合住宅におけるエネルギー消費量の削減に関する研究，日本建築学会環境系論文集，Vol. 74，No. 637，pp397-402，2009.3

26) 外岡豊，深澤大樹，村橋喜満，三浦秀一：都道府県別・建て方別住宅エネルギー消費量とCO2排出実態の詳細推計，日本建築学会環境系論文集，No. 592，pp89-96，2005.6

27) テツアドー出版：月間リフォーム，2007.10

28) 一般社団法人マンション再生協会：平成22年度マンション大規模改修・耐震改修研修会テキスト　マンション大規模改修による再生，2010

29) 平井健嗣，李 祥準，堤 洋樹，小松 幸夫，高口 洋人：既存学校施設の長期使用を視野に入れた改修手法に関する研究，日本建築学会計画系論文集 Vol. 76（2011），No. 664，p1163～1170，2011.6

30) 申雪寒，長谷川寿夫，吉野利幸：外断熱工法の透気性と躯体コンクリートの中性化に関する研究，日本建築学会技術報告集 第18号，p21～24，2003年12月

31) 申雪寒，長谷川寿夫：外断熱建物躯体コンクリートの中性化に関する研究，日本建築学会技術報告集第20号，p59～62，2004年12月

32) 山形英之，堺 孝司，藤田 裕二，真鍋 忠晴：RC造集合住宅の耐久性に対する外断熱の温度応力抑制効果に関する研究，コンクリート工学年次論文集Vol.26 No.2，p1675～1680，2004

33) 平井健嗣，今井 大樹，李 祥準，堤 洋樹，小松 幸夫，新谷 眞人：既存建築物の長寿命化を視野に入れた改修手法に関する研究，日本建築学会計画系論文集 Vol. 76（2011），No. 659，p169～177，2011.1

第2章　分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法

2.1　本章の背景と目的

分譲マンションにおける外断熱改修は、既存躯体の外側、つまり共用部に対して、マンション全体を対象に施工されることから、大規模修繕のタイミングで実施することが基本[1)]といえ、その実施の判断は、マンションの管理組合を中心に行われることになる。このとき、外断熱改修によって得られる効果は、実施の重要な判断材料となるが、外断熱改修の暖房に関わる主な効果として、「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果が期待される。それらは、暖房用エネルギー消費削減効果への配分が大きくなれば、相対的に室内温熱環境改善効果（室内温度の上昇）への配分は小さくなるという関係にあるため、外断熱改修の効果としては、どちらか一方のみではなく、双方を適切に評価する必要があるといえる。また、それら二つの効果は、外断熱改修実施の判断に必要とされることから、改修後の定量的な推定値が求められる。一般的に、暖房用エネルギー消費量の推定は暖房負荷計算によって行われ、そこで用いる室内温度は設計者等が自ら設定することになるが、室内温度は未知であることから、それらの効果を客観的に推定することができない。そのため、外断熱改修後の二つの効果を定量的に示すことができる、客観的で簡便な推定方法が必要と考えられる。

以上より、本章では、実際に外断熱改修が実施された、札幌市内に所在する 3 棟の分譲マンションの事例を基に、以下の点について示す。

① 外断熱改修前後の暖房用エネルギー消費量の実績等から、「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」に関する効果の分析結果
② 上記の分析結果を基にした、任意の分譲マンションにおける「室内温熱環境改善」（室内温度の上昇）と「暖房用エネルギー消費削減」に関する効果の定量的な推定方法

2.2　外断熱改修効果の分析

2.2.1　外断熱改修マンションの概要

外断熱改修が実施された各マンションの概要を表 2-1～表 2-3 に、基準階平面図（K マンションについては 2 階平面図）を図 2-1～図 2-3 に示す。

全てのマンションが、昭和 55 年基準以前に建設されたものである。改修前の断熱仕様は、外壁が押出法ポリスチレンフォーム（XPS）1 種 20～25 ㎜、屋根が同 25～35 ㎜の、いずれも内断熱で、開口部は、O 及び K マンションは複層ガラス入りアルミサッシの一重窓、M マンションが、単板ガラス入りのアルミサッシと木製内窓からなる二重窓仕様であった。外断熱改修の仕様は、外壁がビーズ法ポリスチレンフォーム（EPS）もしくは XPS の 50 ㎜で、窓は、既存の窓の外側から新たに外付アルミサッシを被せる工法とした。屋根は、O 及び K マンションは硬質ウレタンフォーム（PUF）を用いた外断熱露出防水による改修が行われたが、M マンションについては、屋上防水の修繕が行われて間がなかったことから現状のままとされた。

改修前後の外皮平均熱貫流率[2)][註] U_A の全住戸平均を表中に示したが、改修前が 0.68～0.71 W/m²K、改修後が 0.37～0.44 W/m²K で、いずれも 0.3 W/m²K 程度の性能向上であった。各マンションの断熱性能は、改修前後ともに概ね同水準といえる。

暖房設備は、O マンションは重油による住棟セントラル温水暖房で、連続暖房による運用がされていた。M マンションは都市ガスによる戸別セントラル温水暖房、K マンションは灯油による戸別 FF 暖房であったが、どちらも戸別暖房であることから間歇暖房を主とした運用と考えられる。換気は、いずれのマンションも自然換気方式であった。なお、暖房方式および換気方式に関して、改修前後での変更はなかった。

[註] 外皮平均熱貫流率は、平成 25 年省エネルギー基準において定義された、それまでの熱損失係数に変わる、住宅の断熱性能基準である。熱損失係数との主な違いは、住宅各外皮からの熱損失の合計を求めるところまでは同様であるが、熱損失係数の場合は、単位床面積当たりの熱損失量にて表すのに対し、外皮平均熱貫流率の場合は、単位外皮面積当たりの熱損失量にて表す。また、熱損失係数の場合は、外皮熱損失に換気熱損失を加えた値を用いて熱損失量を求めるのに対し、外皮平均熱貫流率の場合は、外皮熱損失のみを用いて熱損失量を求めるので、換気損失は反映されていない。（平成 25 年省エネルギー基準においては、換気損失は別途算入する必要がある。）

表 2-1　外断熱改修マンションの概要　O マンション

概要		鉄筋コンクリート造　地上 11 階建て（基準階型）
		専有部床面積：7,350 ㎡（住戸数：120 戸）
		1974 年竣工(外断熱改修時：築 30 年)
主な断熱仕様等	改修前	屋根：内断熱 XPS1 種 25 ㎜打込 外壁：内断熱 XPS1 種 25 ㎜打込 窓　：引違いアルミサッシ(複層ガラス) 暖房：重油による住棟セントラル温水暖房 U_A 値：0.71 W/㎡ K
	改修後	屋根：外断熱 PUF35 ㎜付加 外壁：外断熱 EPS1 号 50 ㎜付加 窓　：外付アルミサッシ(単板ガラス)付加 暖房：改修前と同じ U_A 値：0.44 W/㎡ K

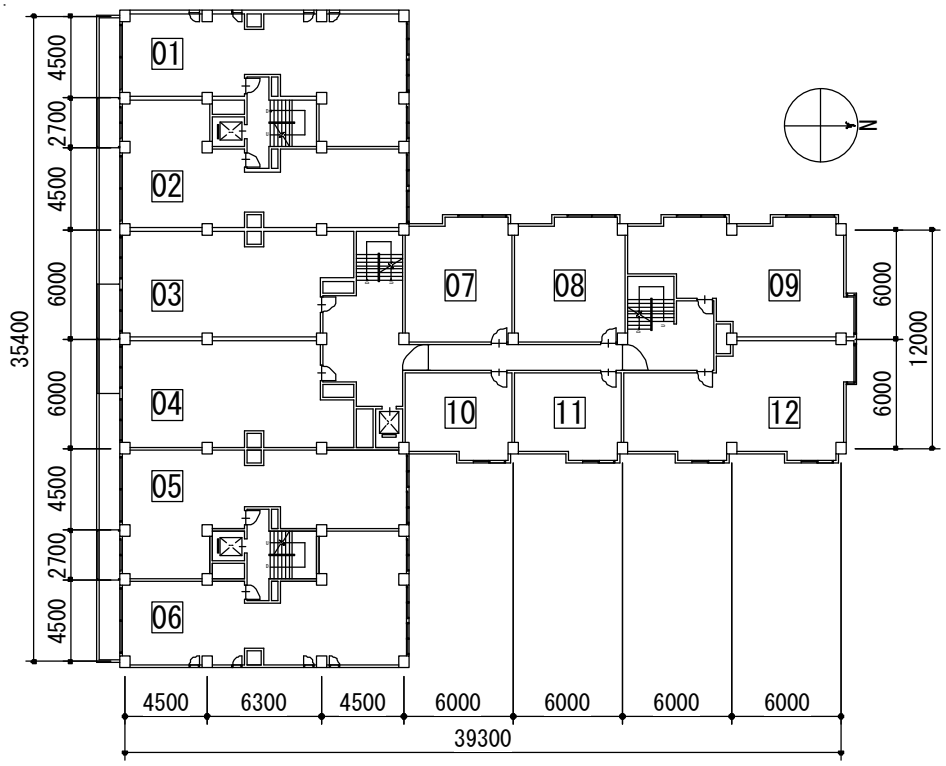


図 2-1　O マンションの基準階平面図

表 2-2　外断熱改修マンションの概要　M マンション

概要		鉄筋コンクリート造　地上 7 階建て（基準階型）
		専有部床面積：3,900 ㎡（住戸数：42 戸）
		1974 年竣工(外断熱改修時：築 34 年)
主な断熱仕様等	改修前	屋根：内断熱 XPS1 種 25 ㎜打込 外壁：内断熱 XPS1 種 20 ㎜打込 窓　：引違いアルミサッシ(単板ガラス)および 室内側に木製内窓(単板ガラス) 暖房：ガスによる戸別セントラル温水暖房 U_A 値：0.68 W/㎡ K
	改修後	屋根：改修前と同じ 外壁：外断熱 XPS3 種 50 ㎜付加 窓　：外付アルミサッシ(単板ガラス)付加 暖房：改修前と同じ U_A 値：0.37 W/㎡ K

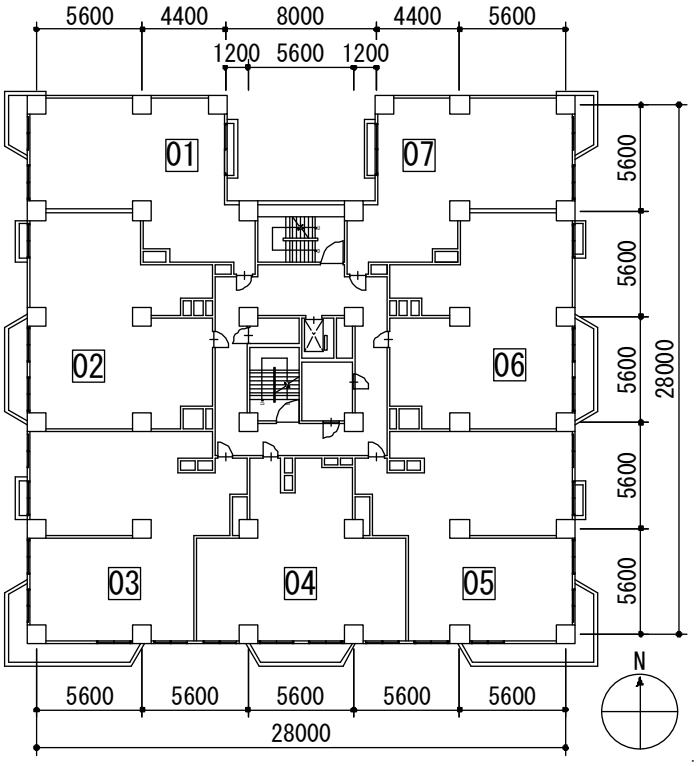


図 2-2　M マンションの基準階平面図

表 2-3　外断熱改修マンションの概要　K マンション

概要		鉄筋コンクリート造　地上 7 階建て（階段型）
		専有部床面積：2,500 ㎡（住戸数：35 戸）
		1980 年竣工(外断熱改修時：築 30 年)
主な断熱仕様等	改修前	屋根：内断熱 XPS1 種 35 ㎜打込 外壁：内断熱 XPS1 種 25 ㎜打込 窓　：引違いアルミサッシ(複層ガラス) 暖房：灯油による戸別 FF 暖房 U_A 値：0.71 W/㎡ K
	改修後	屋根：外断熱 PUF50 ㎜付加 外壁：外断熱 EPS3 号 50 ㎜付加 窓　：外付アルミサッシ(単板ガラス)付加 暖房：改修前と同じ U_A 値：0.43 W/㎡ K

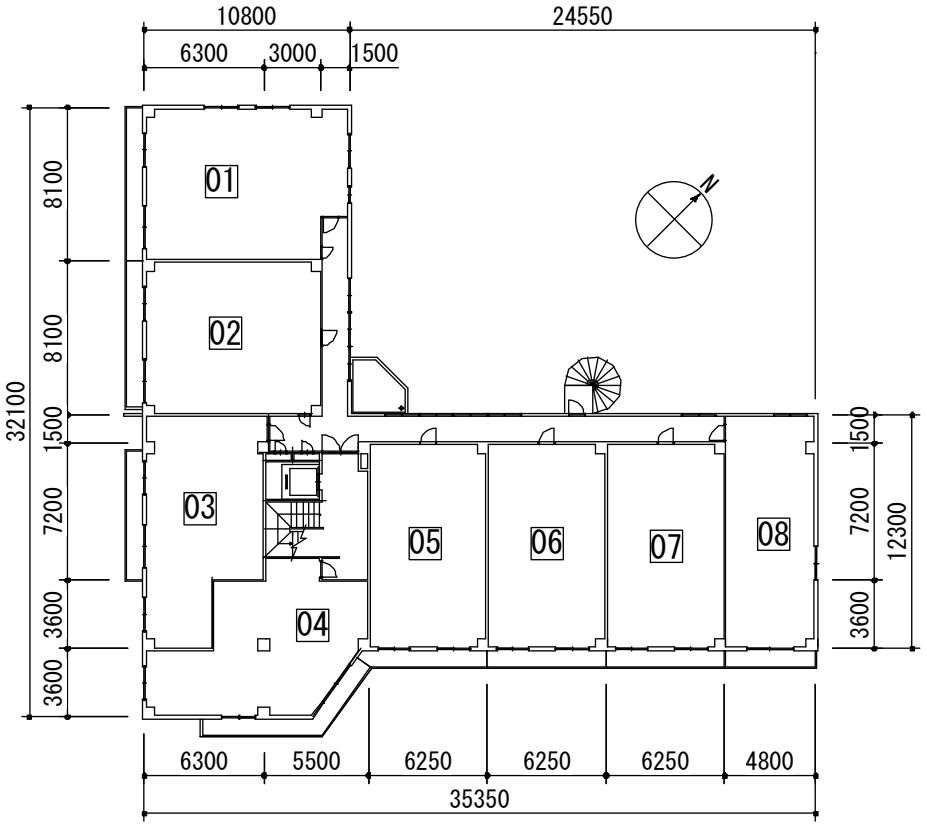


図 2-3　K マンションの 2 階平面図

2.2.2 分析方法の概要

外断熱改修の効果は、室内温度と暖房用エネルギー消費量の改修前後の比較により明らかにするが、改修前後の外気温度は異なるため、それを考慮して比較する必要がある。そこで、室内温度については内外温度差により、暖房用エネルギー消費量については、共通の気象条件（拡張アメダス気象データ[3]の札幌標準年データ）に基づいた値に変換して比較する。

暖房用エネルギー消費量は、各マンションの暖房用燃料使用量が、表 2-4 に示した各年度の暖房期において月度毎に記録されていたことから、それらを表 2-5 に示した各暖房用燃料の換算係数でエネルギー換算して得ることとした。O 及び K マンションの暖房用燃料使用量に関しては、それぞれ専用のメーターが設置されていたことから、その値を用いた。それらの検針は毎年 10 月から翌年 5 月の間に行われていたことから、概ねその 8 ヶ月間が暖房期といえる。M マンションにおいては専用のメーターは設けられていなかったため、非暖房期である 6～9 月度の平均ガス使用量を給湯用とし、それを暖房期各月度のガス使用量から差し引いた値を暖房用ガス使用量とした。図 2-4～図 2-6 に、各月度の平均外気温度と、同月度の暖房用エネルギー消費量実績との関係を示す。なお、O マンションと K マンションの検針日は、各月末の、概ね一定の日に実施されていたことから、改修前後同月度の月度日数は概ね一致しているが、M マンションの検針日に関しては 1 週間前後のばらつきがあり、同月度であっても改修前後の月度日数は異なっている。

表 2-4　各マンションの暖房用燃料使用量記録期間

	改修前	改修後
O マンション	1990-2003 年度(112 ヶ月)	2005-2012 年度(64 ヶ月)
M マンション	2007 年度(8 ヶ月)	2008 年度(8 ヶ月)
K マンション	2009-2010 年度(16 ヶ月)	2011-2012 年度(16 ヶ月)

表 2-5　各暖房用燃料のエネルギー換算係数

暖房用燃料	エネルギー換算係数
A 重油[4]	10.86 kWh/L
灯油[4]	10.19 kWh/L
ガス[5]	12.50 kWh/m^3

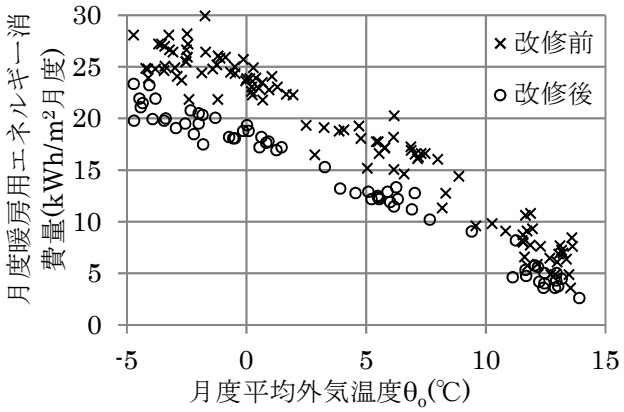


図 2-4　月度平均外気温度と同月度の暖房用エネルギー消費量実績の関係
（O マンション）

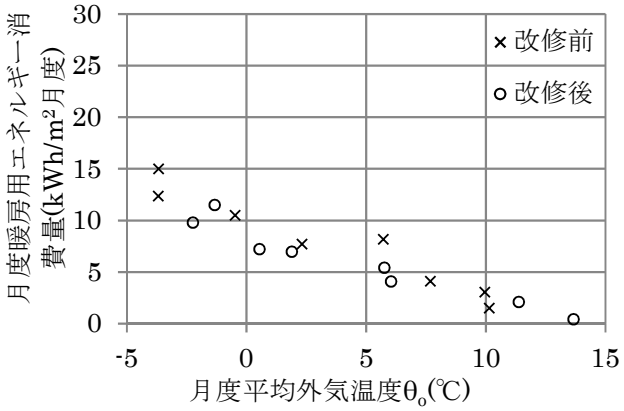


図 2-5　月度平均外気温度と同月度の暖房用エネルギー消費量実績の関係
（M マンション）

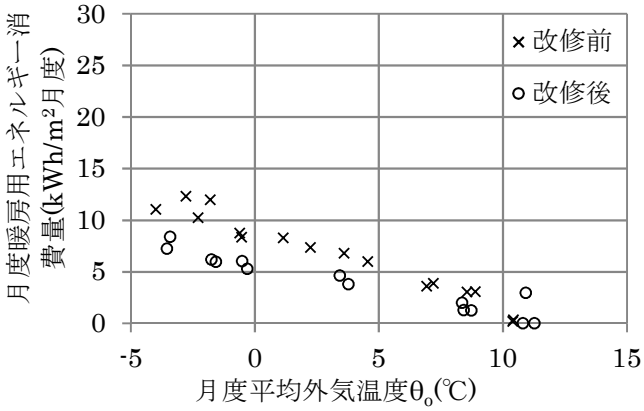


図 2-6　月度平均外気温度と同月度の暖房用エネルギー消費量実績の関係
（K マンション）

室内温度については、暖房用エネルギー消費量を基に、暖房負荷を求める手順から逆算して得ることとした。一般的に、単位床面積当たり期間暖房負荷 ΣL_H は次式で求められる[6)]。

$$\Sigma L_H = \frac{(24 \cdot Q \cdot HDD)}{\eta_H} \quad [Wh/m^2 期間] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}1$$

Q：熱損失係数(W/m²K)
HDD：期間暖房度日数(℃日)
η_H：暖房システム効率(-)

窓からの日射熱や、家電・炊事等の内部発生熱による室内温度の上昇分を $\Delta\theta_n$（以後、自然温度差[6)]と呼ぶ）とすると、HDD は、自然温度差を考慮した日平均内外温度差の期間積算であるので、次式のように表すことができる。

$$HDD = \sum_{day=1}^{days} \left(\theta_{i,day} - \theta_{o,day} - \Delta\theta_{n,day}\right) \quad [℃日] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}2$$

days：期間日数(日)
$\theta_{i,day}$：マンション専有部の各日平均室内温度(℃)
$\theta_{o,day}$：各日平均外気温度(℃)
$\Delta\theta_{n,day}$：各日平均自然温度差(℃)

ここで、$\Delta\theta_{n,day}$ は、次式により求めた。

$$\Delta\theta_{n,day} = \frac{\Sigma(\eta_{win} \cdot I_{s,day} \cdot W_{win}') + G \cdot N_a}{Q \cdot A_m} \quad [℃] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}3$$

η_{win}：窓の日射熱取得率(-)
$I_{s,day}$：各方位の単位窓面積当たり日平均日射量(W/m²)
W_{win}'：各方位の窓面積(m²)
G：単位住戸当たりの内部発生熱(W/戸)
N_a：マンションの全住戸数(戸)
A_m：マンション専有部の延床面積(m²)

η_{win} は、平成 25 年基準[2)]より、S55 年基準年代以前は 0.8（単板ガラス+単板ガラス）、H4 年基準年代以後は 0.72（単板ガラス＋複層ガラス）とした。$I_{s,day}$ は、札幌における日平均日射量（各方位）で、拡張アメダス気象データ[2)]あるいはアメダス観測値[7)]から算出した値を用いた。分子の Σ()は、8 方位の合計を意味する。G は、単位住戸当たりの発生熱量を 350W/戸[6)]、人体発熱量を 60W/人[6)]（顕熱）、単位住戸当たりの平均居住人数を、札幌のマンションの平均居住人数から 2.1 人/戸[8)]として設定した。

今、期間を月度単位に設定し、式 2-1 の ΣL_H を各月度の延べ時間（24･days）で除して単位時間及び単位床面積当たりの月度平均暖房負荷 L_H（W/m²）として表すと、

$$L_H = \frac{\Sigma L_H}{24 \cdot days} = \frac{Q \cdot HDD}{\eta_H \cdot days} \quad [W/m^2] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}4$$

となる。HDD は、

$$HDD = \sum_{day=1}^{days} \left(\theta_{i,day} - \theta_{o,day} - \Delta\theta_{n,day}\right)$$

$$= \left(\theta_{i,1} - \theta_{o,1} - \Delta\theta_{n,1}\right) + \left(\theta_{i,2} - \theta_{o,2} - \Delta\theta_{n,2}\right) + \cdots + \left(\theta_{i,days} - \theta_{o,days} - \Delta\theta_{n,days}\right)$$

$$= \left(\theta_{i,1} + \theta_{i,2} + \cdots + \theta_{i,days}\right) - \left(\theta_{o,1} + \theta_{o,2} + \cdots + \theta_{o,days}\right) - \left(\Delta\theta_{n,1} + \Delta\theta_{n,2} + \cdots + \Delta\theta_{n,days}\right)$$

$$= \sum_{day=1}^{days} \theta_{i,day} - \sum_{day=1}^{days} \theta_{o,day} - \sum_{day=1}^{days} \Delta\theta_{n,day} \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}5$$

となるので、

$$\frac{HDD}{days} = \frac{\sum_{day=1}^{days} \theta_{i,day} - \sum_{day=1}^{days} \theta_{o,day} - \sum_{day=1}^{days} \Delta\theta_{n,day}}{days} = \theta_i - \theta_o - \Delta\theta_n \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}6$$

θ_i：マンション専有部の月度平均室内温度(℃)
θ_o：月度平均外気温度(℃)
$\Delta\theta_n$：月度平均自然温度差(℃)

となる。つまり、期間積算である HDD を、その期間日数で除すことは、各温度の期間平均を求めることと同義になるので、式 2-4 は次のように表すことができる。

$$L_H = \frac{Q(\theta_i - \theta_o - \Delta\theta_n)}{\eta_H} \quad [W/m^2] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}7$$

ここで、各月度の暖房用エネルギー消費量 E_H（W/m²）と L_H を等しいとすると、式 2-7 を変形して θ_i を求める次式が得られる。

$$\theta_i = \frac{\eta_H \cdot E_H}{Q} + \theta_o + \Delta\theta_n \quad [℃] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}8$$

しかし、各マンションは自然換気方式であることから、換気量は風速と内外温度差によって変動し、それに伴って Q や $\Delta\theta_n$ も変動することになるので θ_i を定めることができない。そのため、繰り返し計算によって θ_i の収束値を定めることとした。図 2-7 に、その概要を示す。まず、適当な自然換気回数による Q および $\Delta\theta_n$ から、式 2-8 によって θ_i の初期値を定める。次に、その θ_i と、図 2-8～図 2-10 に示した同月度の平均外気温度 θ_o および平均風速 v（ともに月度毎の平均値）を用いて、図 2-11～図 2-13 に示した各マ

ンションの換気回路網モデルを解き、マンション全体の自然換気量を求める。そして、その自然換気量による Q および $\Delta\theta_n$ から、式 2-8 によって θ_i を再び定める、という繰り返し計算となる。

なお、外気温度や風速等は、札幌の拡張アメダス気象データ[3]、あるいは札幌のアメダス観測値[7]から拡張アメダス気象データと同様の算出方法で求めた値を用いた。図 2-8～図 2-10 に示した θ_o 及び v は、表 2-4 に示した各期間における月度毎の平均値（M マンションについては改修前後それぞれ単年度のみ）である。

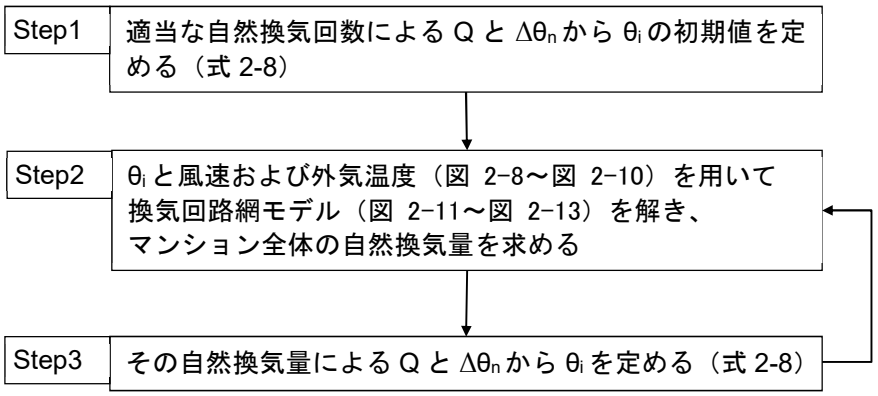


図 2-7　繰り返し計算の概要

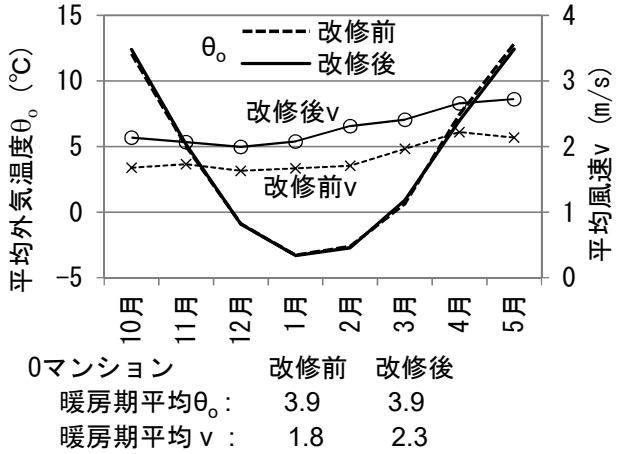
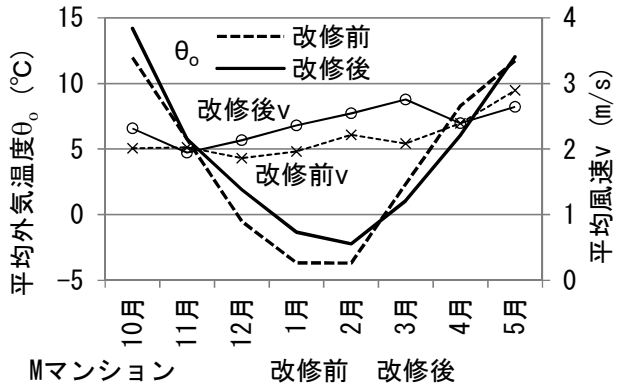
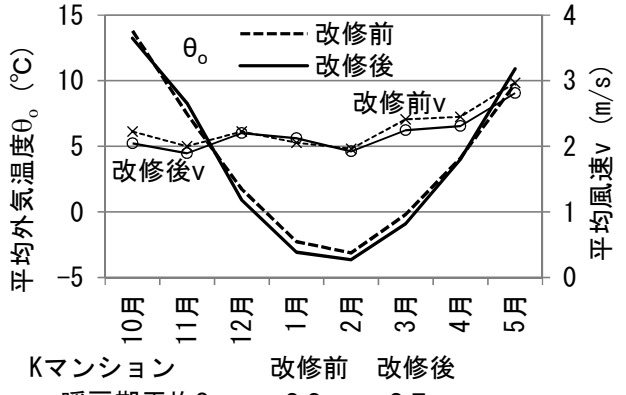


図 2-8　各月度の平均外気温度と平均風速（O マンション）



Mマンション	改修前	改修後
暖房期平均θ_o：	4.0	4.7
暖房期平均ｖ：	2.2	2.4

図 2-9　各月度の平均外気温度と平均風速（M マンション）



Kマンション	改修前	改修後
暖房期平均θ_o：	3.9	3.7
暖房期平均ｖ：	2.3	2.2

図 2-10　各月度の平均外気温度と平均風速（K マンション）

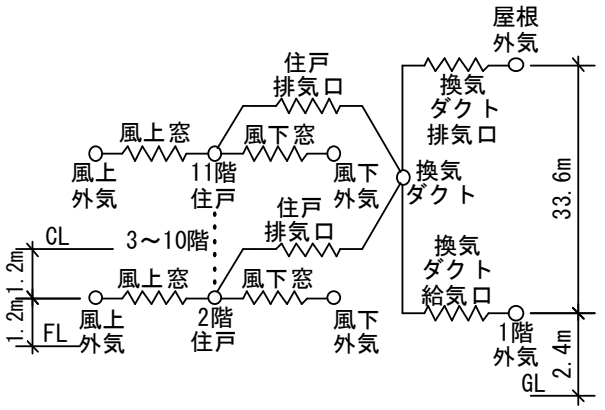


図 2-11　O マンションの換気回路網モデル

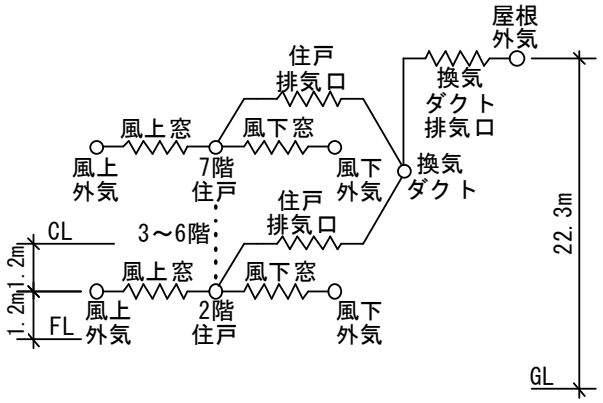


図 2-12　M マンションの換気回路網モデル

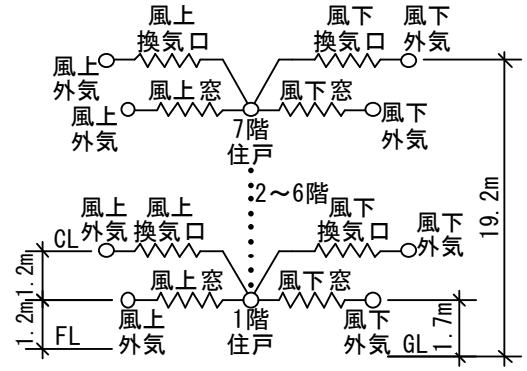


図 2-13　K マンションの換気回路網モデル

2.2.3　マンションの隙間面積の推定

自然換気は風力と温度差による浮力によって、隙間等の前後に生じる圧力差が駆動力となるため、マンション全体の隙間の総量を把握する必要がある。そこで、マンション住戸の気密測定結果から、窓の単位面積当たりの隙間面積（以後、単位窓隙間面積と呼ぶ）と、住戸の相当隙間面積を求め、それを基にマンション全体の隙間面積を推定した。気密測定を行ったマンション住戸は、図 2-1 に基準階平面図を示した O マンションの 6 号室である。

窓の隙間面積は、幅 1.7m×高さ 1.1m の窓（窓面積 1.87 ㎡）に対して気密測定を行うことで得た。その概要を図 2-14 に示す。対象窓を XPS 製の箱を用いて、外壁等との隙間がないように覆い、その箱内を、小型のファンを用いて負圧とし、外気との差圧と、風量（サッシ隙間の通気量）との関係から単位窓隙間面積を求めた。なお、外断熱改修によって、既存の窓（アルミサッシ複層ガラス）の外側に外付サッシ（アルミサッシ単板ガラス）が付加されて二重窓となっているが、改修前の状態として外付サッシを開放、改修後

の状態として両窓を閉鎖して測定を行った。図 2-15 に、その結果を示す。単位窓隙間面積は、改修前 10.2cm²/m²、改修後 7.1cm²/m² であった。

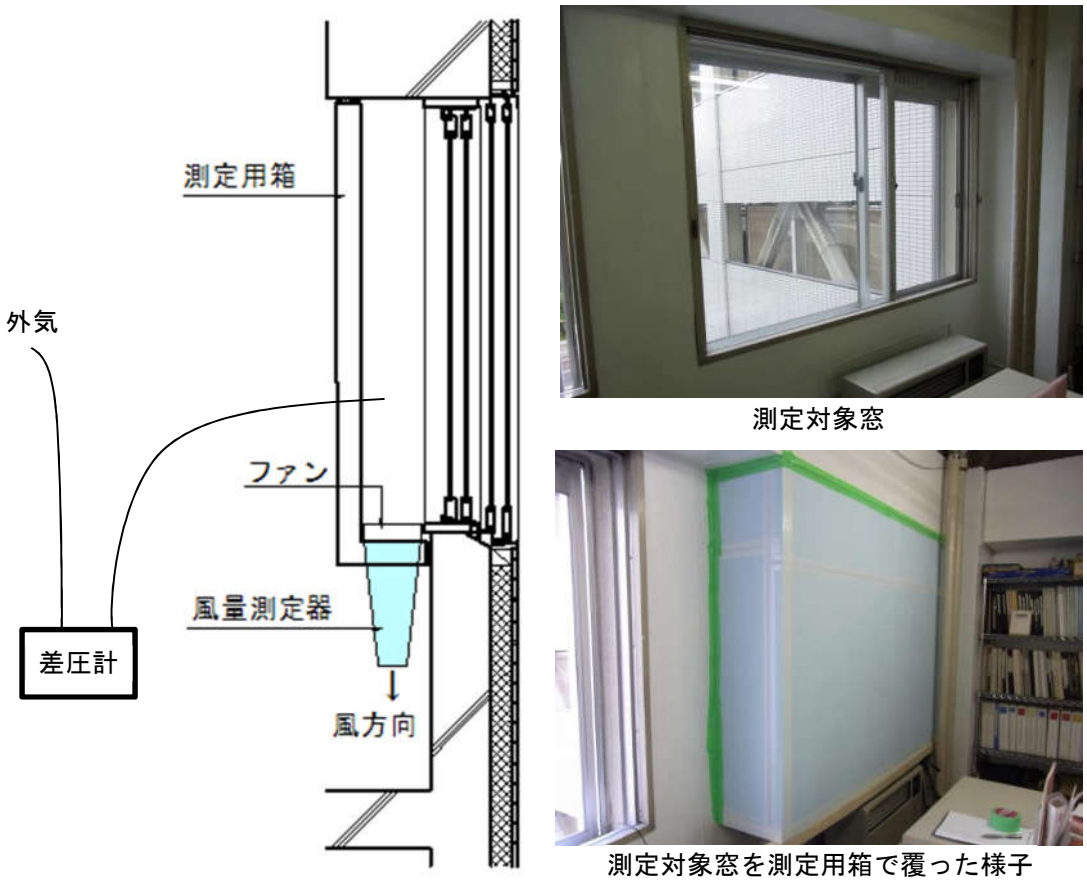


図 2-14　窓の気密測定の概要

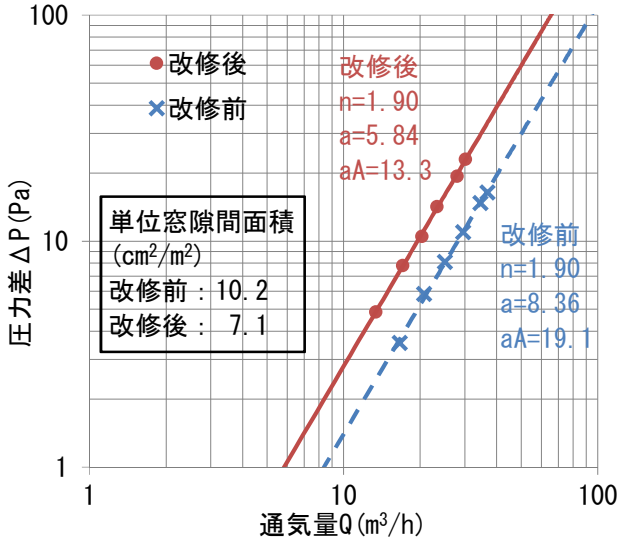


図 2-15　窓の気密測定結果

住戸の隙間面積は、窓の気密測定を行った住戸と同一の住戸（住戸床面積 84.9 ㎡、住戸窓面積 14.9 ㎡）にて行った気密測定の結果から求めた。図 2-16 に、改修後の条件（両窓閉鎖）で気密測定を行った結果（住戸の隙間特性線）を示す。図中には、改修後の単位窓隙間面積（7.1cm²/m²）から住戸窓面積換算（7.1cm²/m²×14.9 ㎡≒106 ㎡）した窓の隙間特性線と、住戸の隙間特性線から、窓の隙間特性線を差し引きして求めた、窓以外の隙間特性線（以後、その他の隙間特性線とする）も示した。単位床面積当たりの隙間面積（相当隙間面積）は、住戸全体で 3.3cm²/m²、その他（窓以外）で 2.1cm²/m² であった。

なお、O マンションにおいては排気用のダクトが設けられており、台所や便所等の排気は、その排気ダクトを通じて屋上から排出される仕組みとなっていたが、気密測定時の調査から、排気ダクト周りに大きな隙間が存在することが確認された。そのため、図 2-11 に示した換気回路網モデルにおいては、その他（窓以外）の隙間は全て排気ダクト周りに存在するものとした。

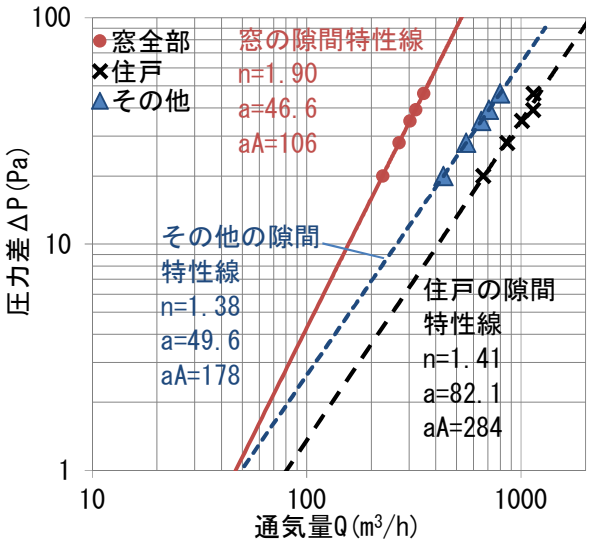


図 2-16　住戸の気密測定結果

単位窓隙間面積およびその他の隙間面積から求めた、O マンション全体の隙間面積等の一覧を表 2-6 に示す。その他の隙間面積は、改修前後で変動する要素がないため共通とした。マンション全体の気密性能は、外付けサッシの効果によって、相当隙間面積で 3.2cm²/m² から 2.8cm²/m² へ、約 12%向上したと推定される。

表 2-6　マンションの隙間面積

	改修前	改修後
単位窓隙間面積:cm²/㎡	10.2	7.1
窓面積(基準階):㎡/階	85.5	
窓の隙間面積(基準階):cm²/階	872	607
窓の隙間面積(全部):cm²/棟	8,720	6,070
その他の隙間面積:cm²/㎡	2.1	
専有部床面積(基準階):㎡/階	760	
その他の隙間面積(基準階):cm²/階	1,544	
その他の隙間面積(全部):cm²/棟	15,440	
総隙間面積:cm²/棟	24,160	21,510
相当隙間面積:cm²/㎡	3.2	2.8

O マンションでの気密測定結果から、次節の自然換気量の推定方法で用いるマンション各部の隙間面積を表 2-7 のように設定する。なお、M マンションも、O マンションと同様、排気用のダクトが設けられており、その周りに大きな隙間が存在することも同様であったことから、その他（窓以外）の隙間は全て排気ダクト周りに存在するものとした。K マンションにおいては、幅 180×高 150 のルーバー付き給気口が各居室に設けられていたが、その隙間面積は、参考文献[9]から、5.0cm²/箇所とした。

表 2-7　マンション各部の隙間面積

部位	隙間面積
窓：単位窓面積当たり(cm²/m²) （改修後は外付サッシ付加）	改修前：10.2 改修後： 7.1
その他：単位床面積当たり(cm²/m²) （窓以外の隙間）	2.1（O、M マンション）
給気口：1 箇所当たり(cm²/箇所) （幅 180×高 150　ルーバー付き）	5.0[9]（K マンション）

2.2.4 自然換気量の推定

各マンションの自然換気量は、図 2-11～図 2-13 に示した各換気回路網モデルを解くことで求めたが、具体的には、各マンションの改修前後について、予め、内外温度差 $\Delta\theta_{io}$ と自然換気回数 n の関係をチャート化しておき、図 2-7 に示した繰り返し計算の Step2 において、θ_i に応じた自然換気量を得るときに利用することとした。図 2-17～図 2-19 に、そのチャートを示す。図中には、マンション専有部全体の相当隙間面積（C 値 cm^2/m^2）も示した。なお、内外温度差 $\Delta\theta_{io}$ は、θ_i と θ_o の差、自然換気回数 n は、マンション専有部全体の自然換気量 V_n を、専有部全体の気積で除して換気回数として表した値である。

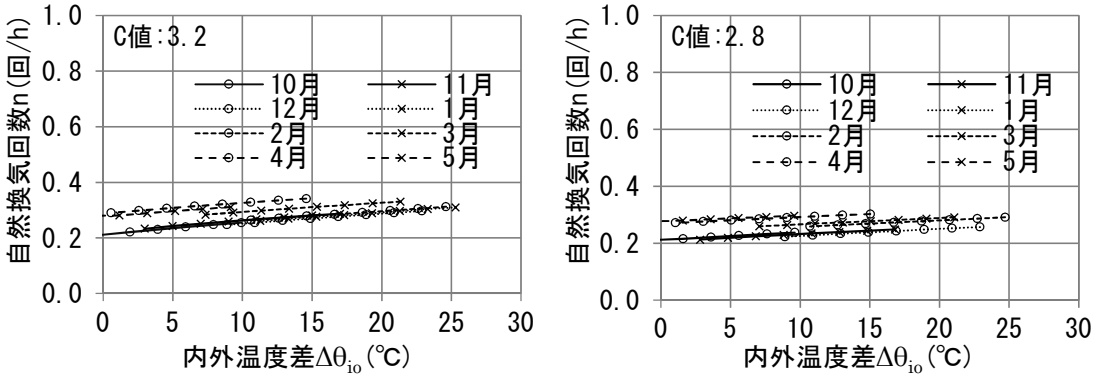
換気回路網モデルを解くときの計算条件を示す。内外差圧は、階毎に一様で住戸間の差は無いものとし、V_n は各階の換気量の合計とした。各接点の温度は、その空間内で一様とし、住戸間や上下の温度差等は無いものとした。風圧係数は、建築基準法施行令第 87 条から、壁面の風上側 0.8、風下側-0.5、屋根面は-1.0 とした。窓の方向は、全て風向きに対して直交とし、風上側および風下側に均等に配置されていると仮定した。風速の高さ補正は、建築基準法施行令第 87 条に基づいた。O 及び M マンションにおいて、排気ダクト内温度 θ_d は、次式により求めた。

$$\theta_d = \frac{V_{in}}{V_{out}}\theta_o + \frac{V_{out}-V_{in}}{V_{out}}\theta_i \quad [℃] \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}9$$

V_{in}：排気ダクト給気口(1 階)からの給気量(m^3/h)
V_{out}：排気ダクト排気口(屋上)からの排気量(m^3/h)

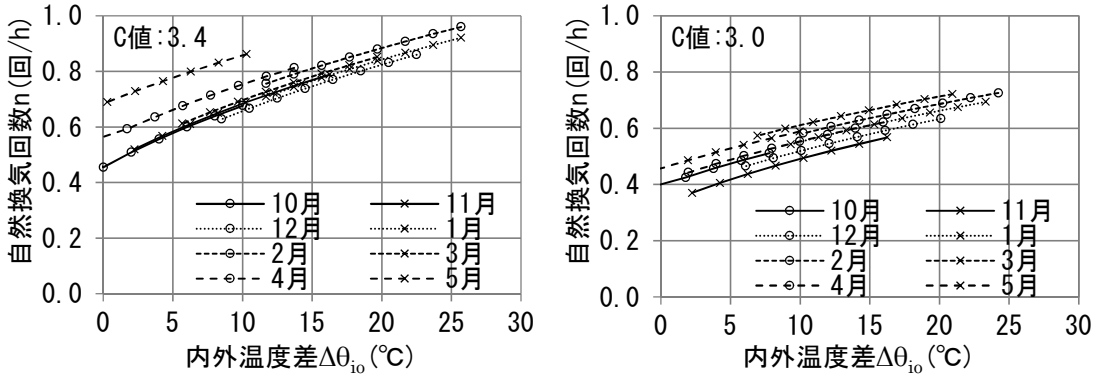
なお、排気ダクト給気口は O マンションのみに存在し、M マンションにおいては V_{in} = 0、即ち $\theta_d = \theta_i$ とした。また、ダクト内の抵抗は無視した。K マンションにおいて、給気口の方向は、窓と同様、全て風向きに対して直交とし、風上側および風下側に均等に配置されていると仮定した。

図 2-17～図 2-19 をみると、O 及び M マンションは、どちらも排気ダクトが設けられたモデルであるが、O マンションは、内外温度差の影響は小さいことがわかる。これは、M マンションの排気ダクトは、煙突と同様の効果を生むため、内外温度差の影響が大きく表れるのに対し、O マンションの排気ダクトにおいては、1 階ピロティ部分に外気からの給気口が設けられていることから、各住戸からの排気によるダクト内温度の上昇が小さくなり、そのため、大きな煙突効果が得られないことが要因である。K マンションにおいては、各階の換気経路は、それぞれの階で独立しており、給排気の高低差が小さいことから、自然換気量における内外温度差の影響はわずかで、ほぼ風圧力のみに依存するといえる。



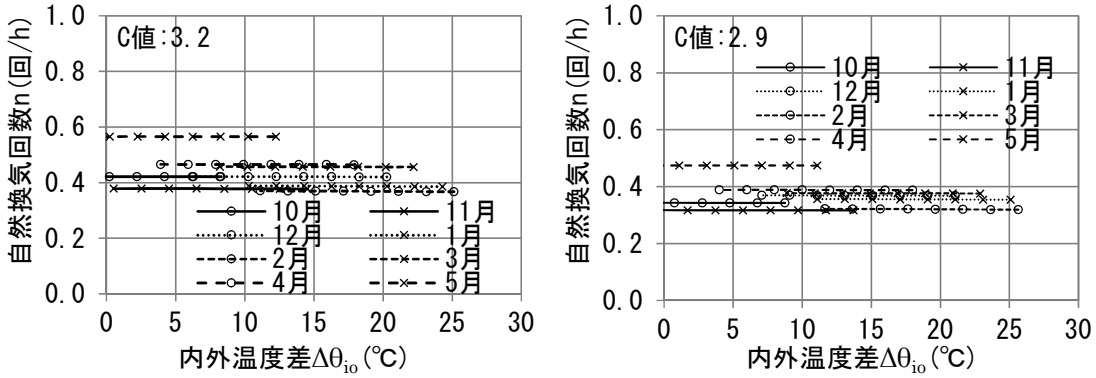
(a)改修前　　(b)改修後

図 2-17　O マンションの内外温度差と自然換気回数の関係



(a)改修前　　(b)改修後

図 2-18　M マンションの内外温度差と自然換気回数の関係



(a)改修前　　(b)改修後

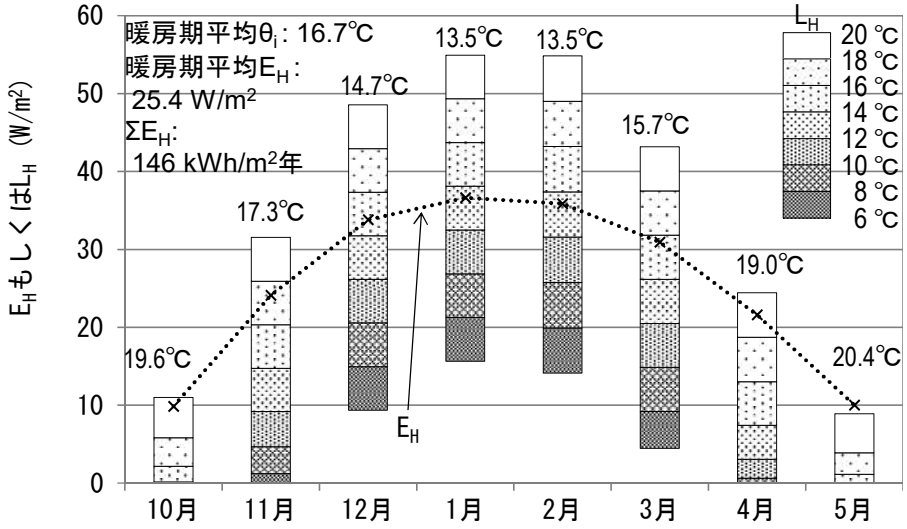
図 2-19　K マンションの内外温度差と自然換気回数の関係

2.2.5 室内温度に関する効果分析

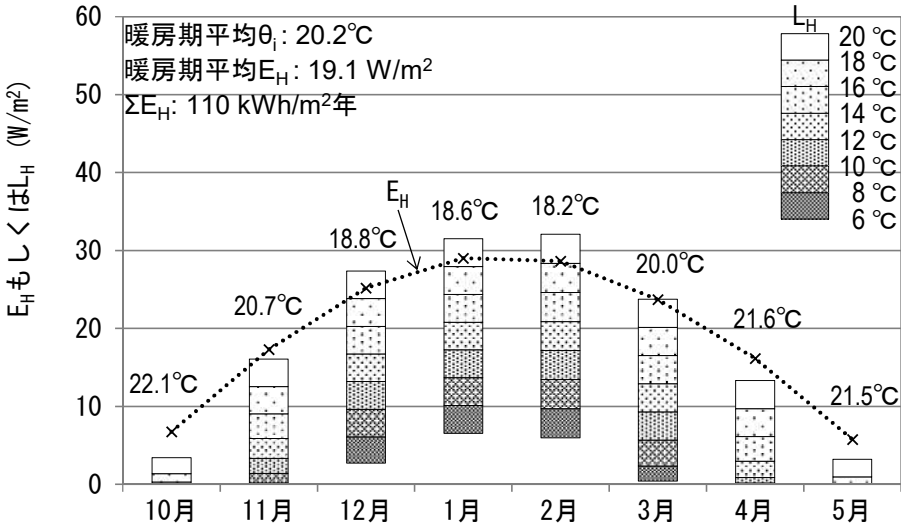
各マンションの月度平均暖房用エネルギー消費量 E_H から、マンション専有部全体の月度平均室内温度 θ_i を求め、外断熱改修の室内温度に関する効果を明らかにする。図 2-20～図 2-22 に、月度平均暖房負荷 L_H と E_H との関係（暖房システム効率 η_H=1.0 とした場合）を示す。図中で、L_H は設定温度 6～20℃までの間を 2℃間隔の温度帯で表した棒グラフとして、E_H は折れ線グラフとして示した。したがって、それら棒グラフと折れ線グラフの交点から、各月度の θ_i（棒グラフ上部に示した）を読み取ることができる。図中には、θ_i および E_H の暖房期平均と、暖房期全体（10 月度～5 月度）における単位床面積当たりの期間暖房用エネルギー消費量 ΣE_H（kWh/m² 年）も示した。また、各設定温度における L_H は、その設定温度時の自然換気回数 n を図 2-17～図 2-19 から読み取り、その n による Q 値及び $\Delta\theta_n$ を用いて式 2-7 から求めた。

図 2-20～図 2-22 を見ると、全てのマンションで、改修前後ともに、最寒期（1、2 月度）に近づくしたがって E_H は最大となり、θ_i は最も低くなる傾向であることがわかる。また、各マンションの改修前後の月度内外温度差 $\Delta\theta_{io}$ の比較を図 2-23 に示したが、$\Delta\theta_{io}$ は、いずれも最寒期に最大となることがわかる。つまり、最寒期は $\Delta\theta_{io}$ が最大となり、それに伴って E_H も最大となるが、θ_i は最も低くなる時期といえる。改修前後の $\Delta\theta_{io}$ の差から、暖房等によって得られた温度の改修前後差がわかるが、図 2-24 に示した $\Delta\theta_{io}$ の暖房期平均について見ると、O マンションが 3.5℃、M マンションが 2.9℃、K マンションが 1.8℃で、いずれも改修後に大きくなっている。同様に最寒期平均について見ると、O マンションが 4.9℃、M マンションが 2.9℃、K マンションが 3.0℃で、いずれも改修後に大きくなっている。以上から、いずれのマンションにおいても、外断熱改修後に室内温度が上昇したということができる。

図 2-20～図 2-22 に示した暖房期平均 θ_i 時における各マンションの自然換気回数 n と、そのときの Q 値及び $\Delta\theta_n$ を図 2-25 に示す。

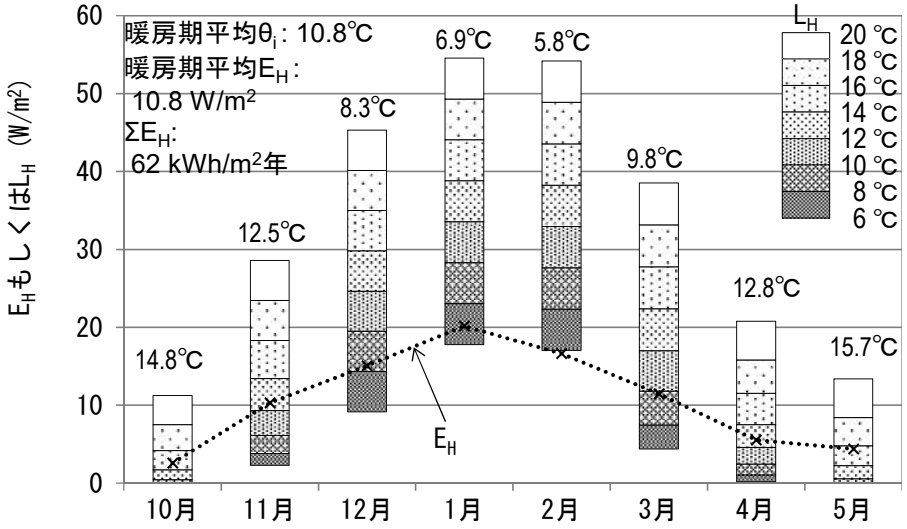


(a)改修前

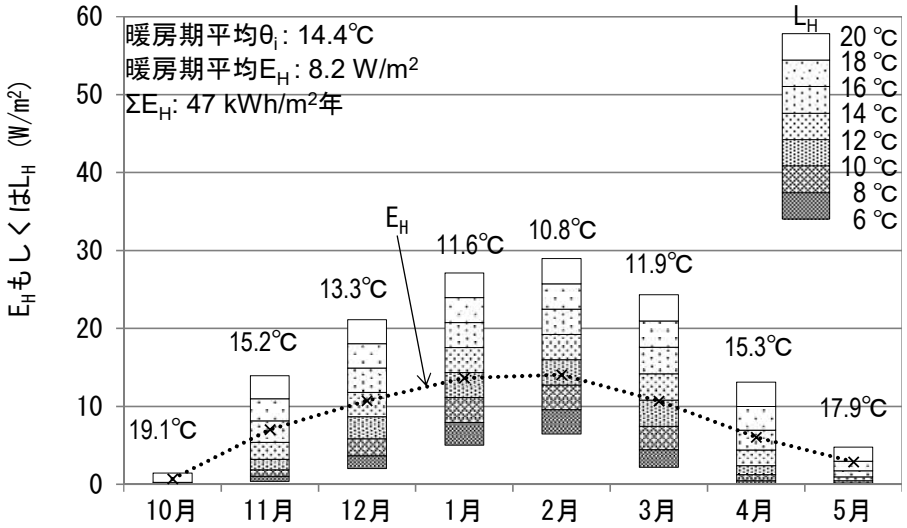


(b)改修後

図 2-20　O マンションの暖房負荷と暖房用エネルギー消費量の関係
*棒グラフ上の温度は各月度の θ_i を示す。

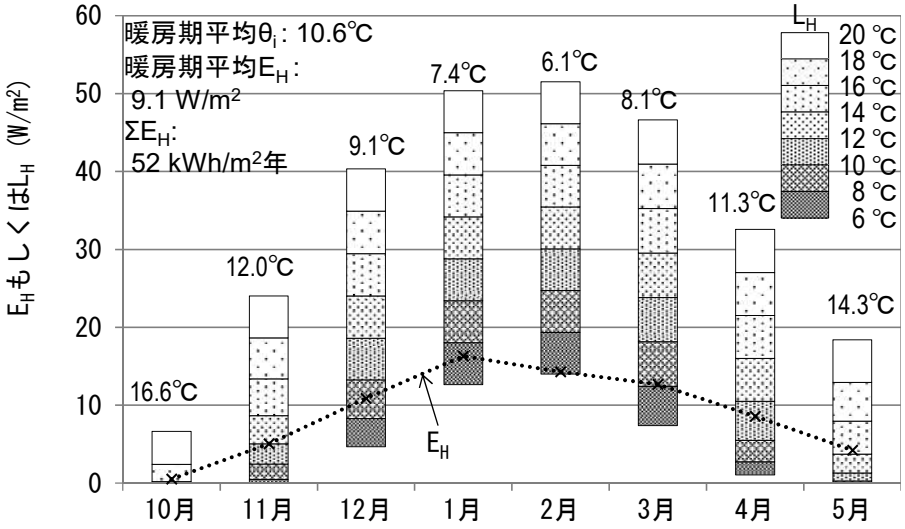


(a)改修前

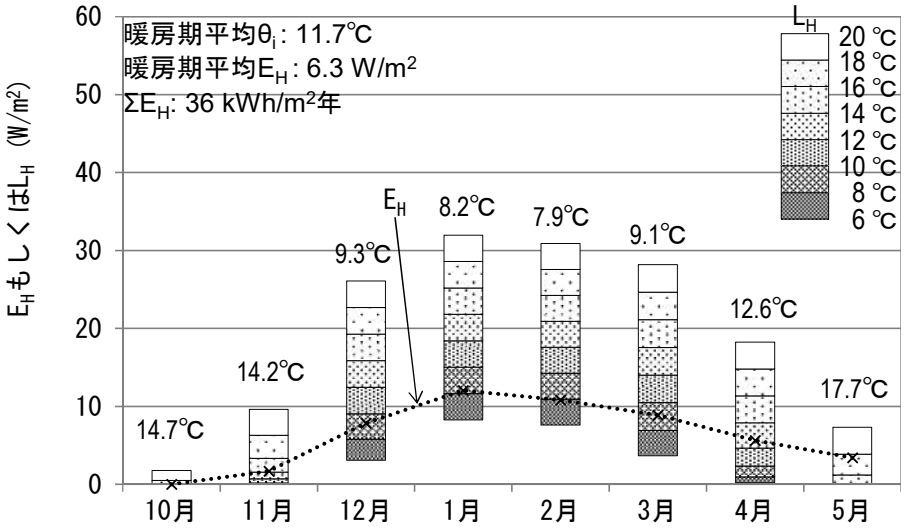


(b)改修後

図 2-21　M マンションの暖房負荷と暖房用エネルギー消費量の関係
*棒グラフ上の温度は各月度の θ_i を示す。



(a)改修前



(b)改修後

図 2-22　K マンションの暖房負荷と暖房用エネルギー消費量の関係
*棒グラフ上の温度は各月度の θ_i を示す。

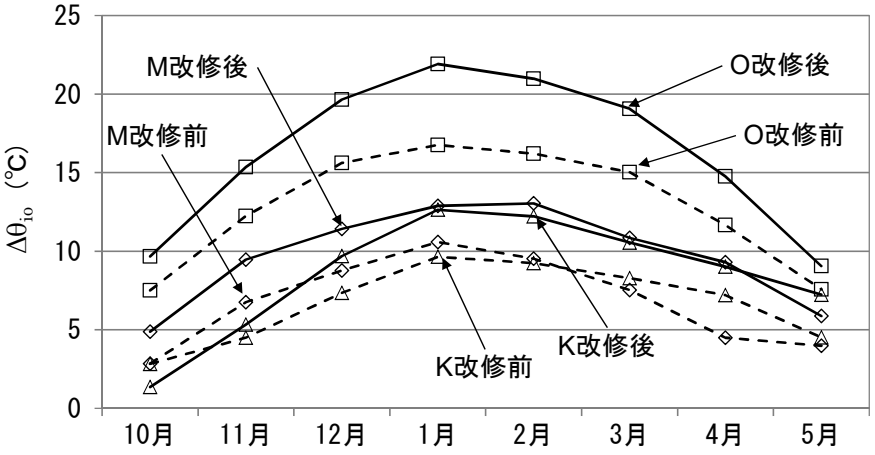


図 2-23　改修前後の内外温度差 $\Delta\theta_{io}$ の比較

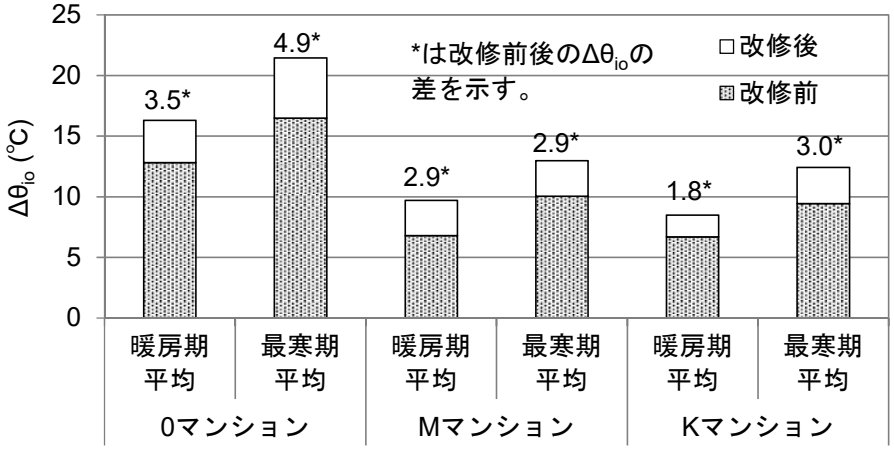


図 2-24　暖房期平均 $\Delta\theta_{io}$ 及び最寒期平均 $\Delta\theta_{io}$

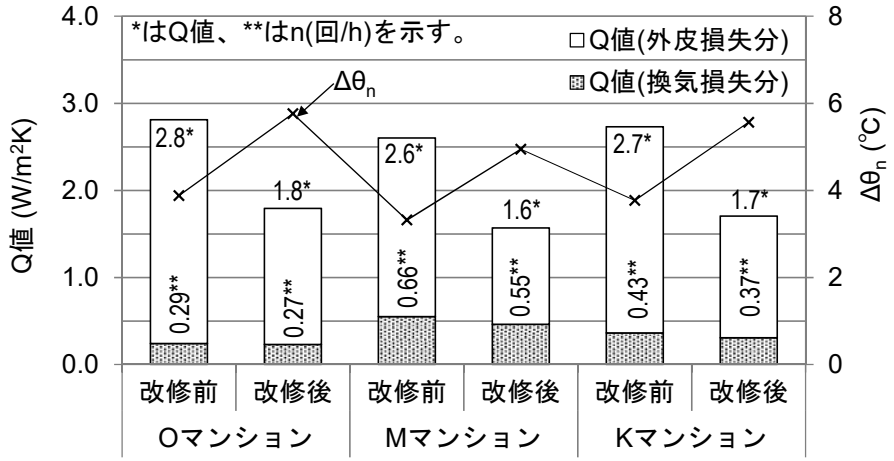
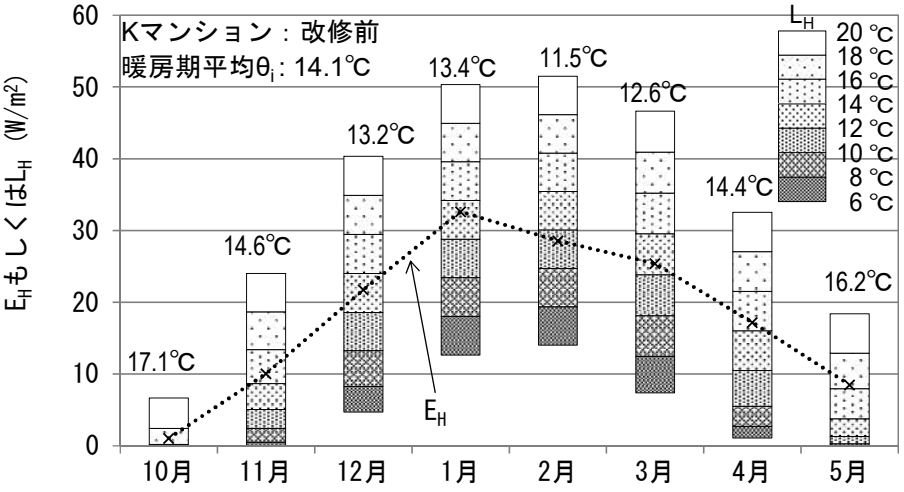
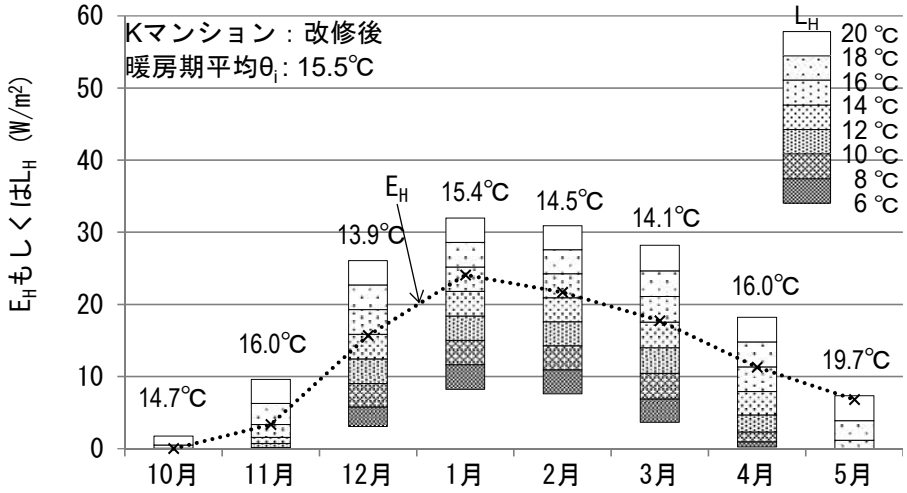


図 2-25　暖房期平均 θ_i 時における n、Q、$\Delta\theta_n$

註 E_H は、各月度におけるマンション全体の暖房用燃料使用量を、マンション専有部全体の床面積および各月度の延べ時間で除し、単位床面積および単位時間当たりの平均暖房用エネルギー消費量に換算した値であることから、間歇暖房においては、暖房が使用されていない時間も含めた平均となり、そのため θ_i は、実際の暖房時の室内温度よりも低く示されることになる。参考として、K マンションの暖房時間を 1 日当たり 12 時間として θ_i を試算（他の計算条件は図 2-22 と同じ）した結果を図 2-26 に示す。図 2-22 に示した K マンションの暖房期平均 θ_i と比較すると、改修前が 10.6℃から 14.1℃、改修後が 11.7℃から 15.5℃となるが、それらは間歇暖房である K マンションの実情に概ね近いものと推察される。



(a)改修前



(b)改修後

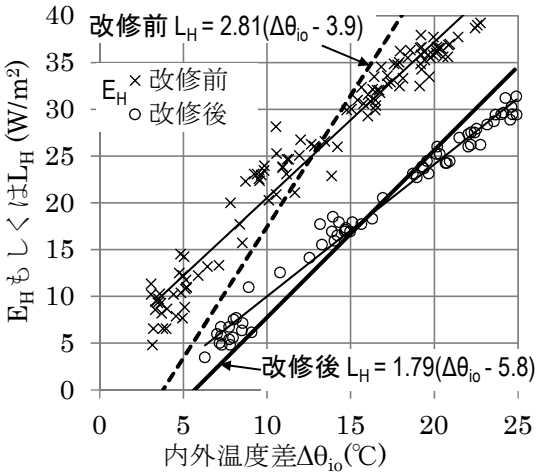
図 2-26　K マンションの暖房時間を 1 日当たり 12 時間とした場合の θ_i 試算値
*棒グラフ上の温度は各月度の θ_i を示す。

2.2.6 暖房用エネルギー消費量に関する効果分析

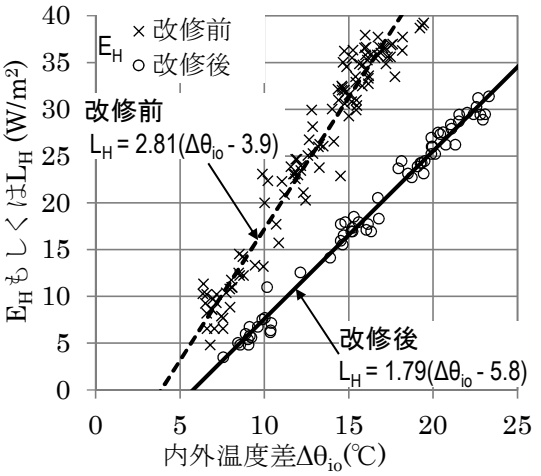
暖房用燃料使用量の改修前後の実績から、外断熱改修の暖房用エネルギー消費量に関する効果を明らかにする。表 2-4 に示した期間全ての各月度 E_H について、同月度の $\Delta\theta_{io}$ との関係を示したものを図 2-27～図 2-29 に示す。(a)は、室内温度設定を、図 2-20～図 2-22 に示した各マンションの暖房期平均 θ_i とし、暖房期を通して一定としたケースで、(b)は、室内温度設定は各月度で変動するものとし、図 2-20～図 2-22 に示した各マンションの月度平均 θ_i としたケースである。各図中には、式 2-7 による改修前後の暖房負荷 L_H の直線も示したが、ここで用いた Q 値及び自然温度差 $\Delta\theta_n$ は、図 2-25 に示した値である。

図 2-27～図 2-29 の各(a)を見ると、L_H の直線と E_H との関係は、いずれのマンションにおいても、$\Delta\theta_{io}$ が小さい時期は E_H が L_H の直線を上回り、逆に、大きい時期は下回る傾向にある。これは、$\Delta\theta_{io}$ が小さい暖房期の初期と末期においては、暖房負荷を上回る暖房エネルギーが供給され、θ_i は設定よりも高くなり、逆に、$\Delta\theta_{io}$ が大きくなる最寒期に近づくにつれ、暖房エネルギーの供給が暖房負荷に対して不足し、θ_i は設定よりも低くなることを示すもので、図 2-20～図 2-22 において示した、$\Delta\theta_{io}$ が大きくなる最寒期ほど θ_i は低下する傾向と同様である。図 2-27～図 2-29 の各(b)は、各月度の $\Delta\theta_{io}$ に応じて室内温度設定を補正したケースといえるが、L_H の直線によって $\Delta\theta_{io}$ と E_H の関係をよく近似できることがわかる。したがって、外断熱改修の暖房用エネルギー消費量に関する効果は、室内温度設定を図 2-20～図 2-22 に示した月度平均 θ_i とし、改修前後で共通の気象条件から求めた L_H の差から表すことができるといえる。

共通の気象条件として拡張アメダス気象データの札幌標準年データを用いて、各マンションの改修前後における暖房用エネルギー消費量を求めた結果を、先述した室内温度に関する効果（$\Delta\theta_{io}$ の改修前後差）と併せて表 2-8 に示す。これを見ると、全てのマンションにおいて外断熱改修後の暖房用エネルギー消費量は減少したことがわかる。つまり、いずれのマンションにおいても、外断熱改修後に室内温度は上昇し、かつ、暖房用エネルギー消費量は減少したということができる。

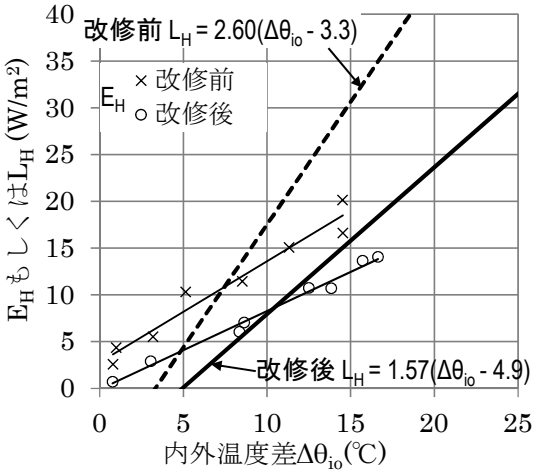


(a)室内設定温度を一定としたケース
室内設定温度：図 2-20 に示した暖房期平均 θ_i

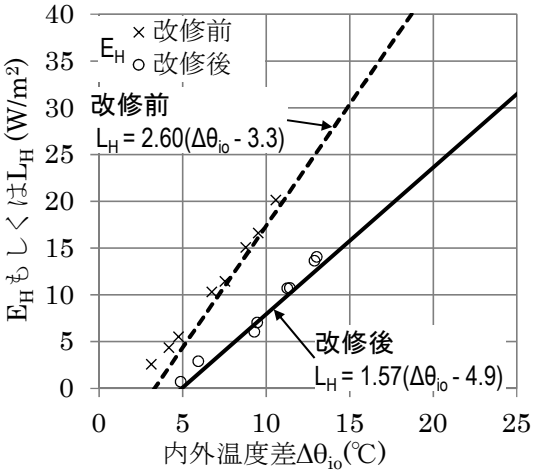


(b)室内設定温度を月度で変動させたケース
室内設定温度：図 2-20 に示した月度平均 θ_i

図 2-27　各月度の $\Delta\theta_{io}$ と E_H との関係（O マンション）

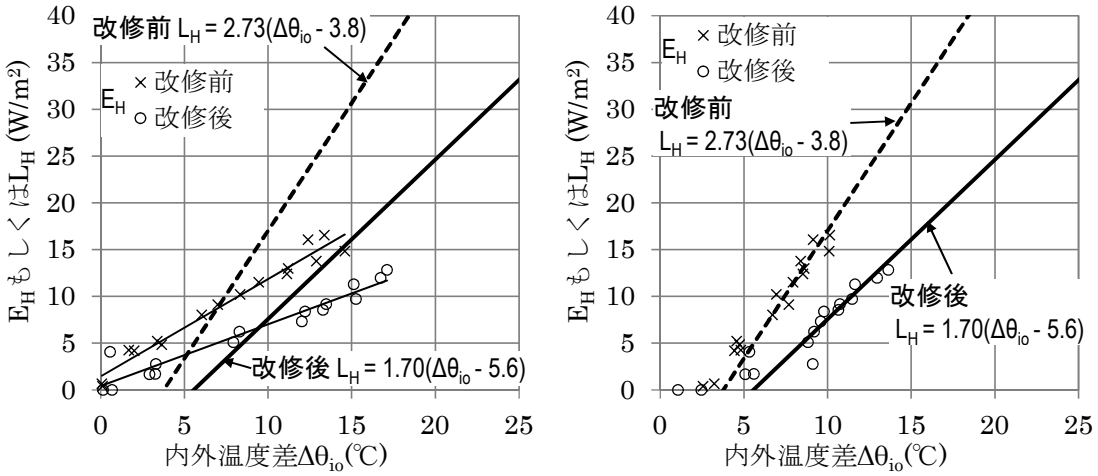


(a)室内設定温度を一定としたケース
室内設定温度：図 2-21 に示した暖房期平均 θ_i



(b)室内設定温度を月度で変動させたケース
室内設定温度：図 2-21 に示した月度平均 θ_i

図 2-28　各月度の $\Delta\theta_{io}$ と E_H との関係（M マンション）



(a)室内設定温度を一定としたケース　(b)室内設定温度を月度で変動させたケース
室内設定温度：図 2-22 に示した暖房期平均 θ_i　室内設定温度：図 2-22 に示した月度平均 θ_i

図 2-29　$\Delta\theta_{io}$ と E_H との関係（K マンション）

表 2-8　各マンションにおける外断熱改修効果の分析結果

	マンション	O		M		K	
		改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後
暖房用エネルギー消費量（札幌標準年気象条件）［kWh/m² 期間］	年間 ΣE_H	151	113	62	48	53	37
	(削減率*)	(25%)		(23%)		(30%)	
	最寒期 ΣE_H**	51	41	26	20	22	16
	(削減率*)	(20%)		(23%)		(27%)	
内外温度差 $\Delta\theta_{io}$［℃］	暖房期平均	12.8	16.3	6.8	9.7	6.7	8.5
	(前後差***)	(3.5)		(2.9)		(1.8)	
	最寒期平均	16.5	21.4	10.1	13.0	9.4	12.4
	(前後差***)	(4.9)		(2.9)		(3.0)	

* 削減率は改修前比で示した。

** 最寒期 ΣE_H は 1、2 月度における暖房用エネルギー消費量を表す。

*** $\Delta\theta_{io}$ 前後差は改修後-改修前で示した。

2.2.7 暖房システム効率 η_H の影響

暖房用エネルギー消費量の削減効果は、改修前後の差から示すこととしたので、その削減率を“削減率 E_H”、改修前の暖房用エネルギー消費量を“前 E_H”、改修後を“後 E_H”とし、暖房機器の変更はなかったので、η_H は改修前後で同様とすると、

$$削減率E_H = \frac{前E_H \cdot \eta_H - 後E_H \cdot \eta_H}{前E_H \cdot \eta_H} = \frac{前E_H - 後E_H}{前E_H} \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}10$$

となるので、η_H は無視できる。

また、室内温度の上昇効果については、内外温度差 $\Delta\theta_{io}$ の改修前後差から示すこととしたが、式 2-8 から、

$$\Delta\theta_{io} = \theta_i - \theta_o = \frac{\eta_H \cdot E_H}{Q} + \Delta\theta_n \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}11$$

となるので、η_H を考慮した $\Delta\theta_{io}$ の改修前後差は、改修前の E_H を“前 E_H”、同じく Q 値を“前 Q”、などとして表すと、

$$\Delta\theta_{io}の改修前後差 = \left(\frac{後E_H \cdot \eta_H}{後Q} + 後\Delta\theta_n\right) - \left(\frac{前E_H \cdot \eta_H}{前Q} + 前\Delta\theta_n\right)$$

$$= \left(\frac{後E_H}{後Q} - \frac{前E_H}{前Q}\right) \cdot \eta_H + \left(後\Delta\theta_n - 前\Delta\theta_n\right) \quad \cdots\cdots 式\ 2\text{-}12$$

となる。ここで、改修前後の各 E_H/Q は、暖房用エネルギー消費による室内温度の上昇分を表すことから、右辺 η_H 項の括弧内は、暖房用エネルギー消費による室内温度上昇の改修前後差を表し、その改修前後の温度差は η_H に応じて小さくなることを意味する。図 2-24 をみると、$\Delta\theta_{io}$ の改修前後差が最も大きいのは、連続暖房である O マンション最寒期の 5℃程度であるが、このうち、θ_o の改修前後差はほぼ 0℃（図 2-8）、$\Delta\theta_n$ の改修前後差は 2℃程度（図 2-25）であるので、暖房用エネルギー消費による室内温度上昇の改修前後差は 3℃程度となる。参考文献[6]から η_H = 0.8（FF ストーブの効率）とすると、暖房用エネルギー消費による室内温度上昇の改修前後差は 2.4℃（= 3℃×0.8）程度となるが、η_H= 1.0 した場合との差は 0.6℃程度であり、$\Delta\theta_{io}$ の改修前後差が小さくなると、η_H の影響はさらに小さくなる。そのため、本章では η_H= 1.0 とした場合についてのみ示した。

2.3　外断熱改修効果の推定方法

外断熱改修効果は、室内温度と暖房用エネルギー消費量の改修前後の比較によることから、月度平均室内温度 θ_i と同月度の暖房用エネルギー消費量 E_H の、改修前後のデータが必要となる。図 2-30 に、外断熱改修効果の推定方法の概要を示す。外断熱改修採用の検討時において考えると、改修前 E_H については記録があり、改修前 θ_i は、その E_H から式 2-8 を用いて求めることができるが、改修後のデータはいずれも未知であるので、その E_H あるいは θ_i を求めるには、どちらか一方の推定値が必要となる。図 2-4～図 2-6 において、各マンションの月度平均外気温度と同月度の暖房用エネルギー消費量の関係を示したが、暖房用エネルギー消費量は月度平均外気温度が低くなるにしたがって概ね直線的に増加する傾向であることがわかる。これら、実際に外断熱改修が行われたマンションにおける、改修前後の異なる熱損失係数による暖房用エネルギー消費量の傾向を基に暖房用エネルギー消費量 E_H の推定式を導き、それを用いた外断熱改修効果の推定結果について検証する。

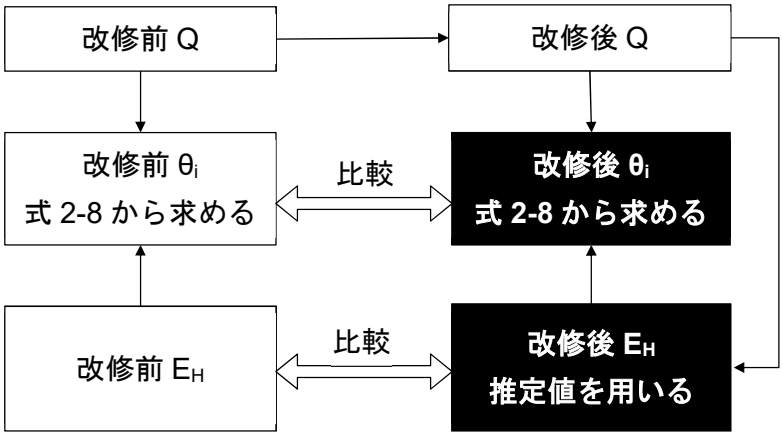


図 2-30　外断熱改修効果の推定方法の概要

2.3.1　暖房用エネルギー消費量の推定式

図 2-4～図 2-6 に示した各マンションの月度平均外気温度と同月度の暖房用エネルギー消費量の関係を、月度毎の平均値に整理したものを図 2-31～図 2-33 に示す。なお、暖房用エネルギー消費量は、各マンションの専有部延床面積及び各月度の延べ時間で除して、単位床面積及び単位時間当たりの月度平均暖房用エネルギー消費量 E_H（W/m^2）として表した。また、各月度の θ_o は、図 2-8～図 2-10 に示したものである。

これらを見ると、θ_o と E_H の間には強い相関があることがわかる。暖房の運用方法は、O マンションが連続暖房、M および K マンションは間歇暖房を主とした運用がされていたため、O マンションの方が、E_H が多くなる傾向を示している。

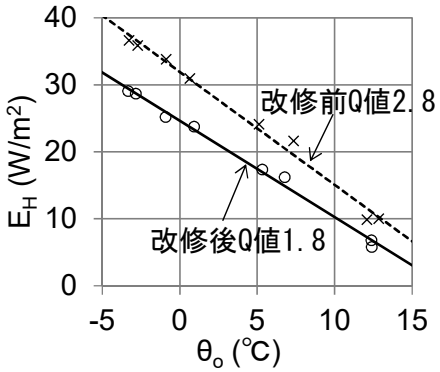


図 2-31　O マンションの θ_o と E_H との関係

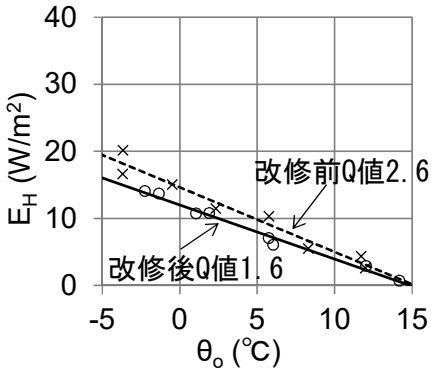


図 2-32　M マンションの θ_o と E_H との関係

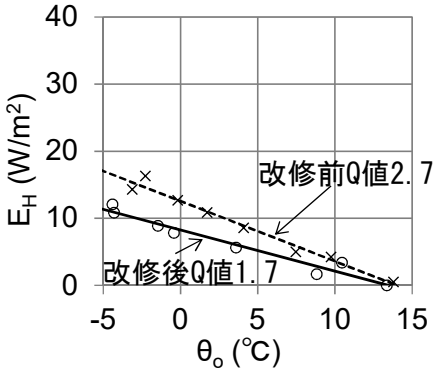
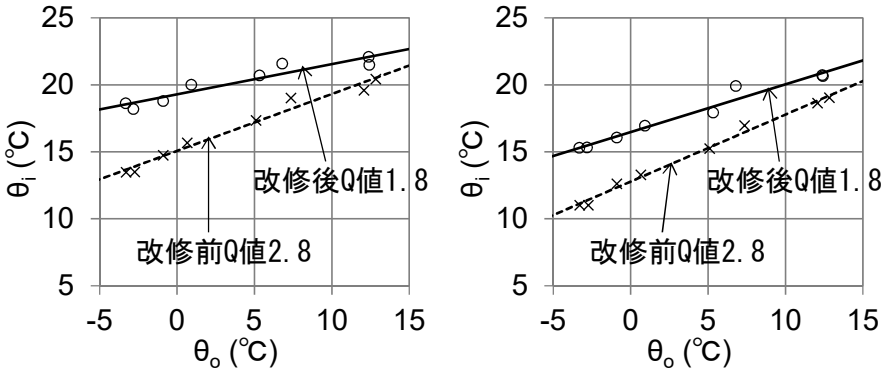


図 2-33　K マンションの θ_o と E_H との関係

図 2-31～図 2-33 に示した E_H を、式 2-8 に代入して θ_i に変換し（η_H=1.0 の場合と η_H=0.8 の場合）、θ_o と θ_i の関係として表したものを図 2-34～図 2-36 に示す。図中には

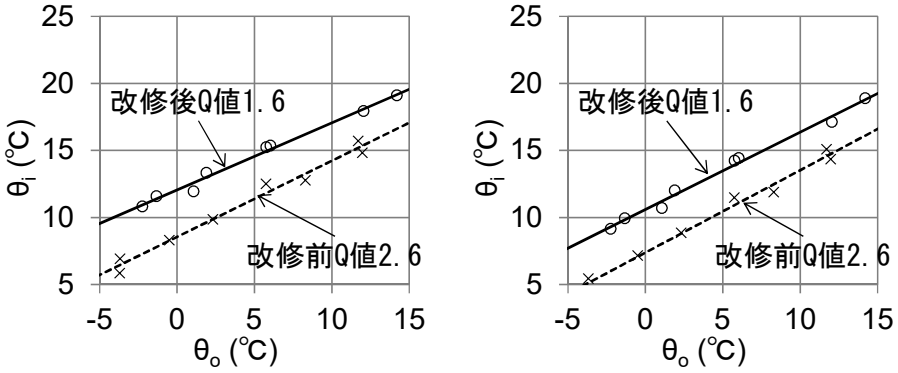
式 2-13 で表される各近似直線も示した。なお、η_H=1.0 の場合の θ_i は、図 2-20～図 2-22 中に示した θ_i と同じ値である。

$$\theta_i = a \cdot \theta_o + b \quad \cdots\cdots \text{式 2-13}$$



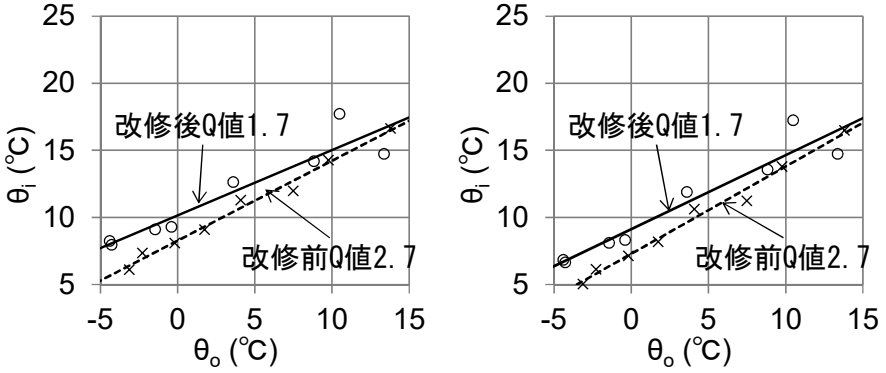
(a) η_H=1.0 として θ_i を算出　　(b) η_H=0.8 として θ_i を算出

図 2-34　O マンションの月度平均外気温度 θ_o と同月度の平均室内温度 θ_i の関係



(a) η_H=1.0 として θ_i を算出　　(b) η_H=0.8 として θ_i を算出

図 2-35　M マンションの月度平均外気温度 θ_o と同月度の平均室内温度 θ_i の関係



(a) η_H=1.0 として θ_i を算出　　(b) η_H=0.8 として θ_i を算出

図 2-36　K マンションの月度平均外気温度 θ_o と同月度の平均室内温度 θ_i の関係

表 2-9 に、各近似直線の係数 a 及び切片 b と、各マンションの改修前後の Q 値及びその逆数である 1/Q を示す。係数 a は、θ_o の単位温度変化における θ_i の変化を表しているといえ、つまり、係数 a が小さいほど、外気温度の低下に対する室内温度の低下が小さくなることを意味する。係数 a を室温変化率と呼ぶこととし、1/Q と a との関係を図 2-37 に示す。連続暖房である O マンションと、間歇暖房である M 及び K マンションの傾向は明らかに異なっており、一定の室内温度を保とうとする連続暖房の方が、間歇暖房よりも a は小さくなる傾向であることが分かる。図中には、それぞれの改修前後を結ぶ直線（M 及び K マンションについては近似直線）も示したが、それらは各暖房運用方法における 1/Q と a との関係を表すものと考えることができる。それぞれの式は以下のように表される。

η_H=1.0 の場合：

連続暖房時：$a = -0.99/Q + 0.78$ …… 式 2-14

間歇暖房時：$a = -0.36/Q + 0.72$ …… 式 2-15

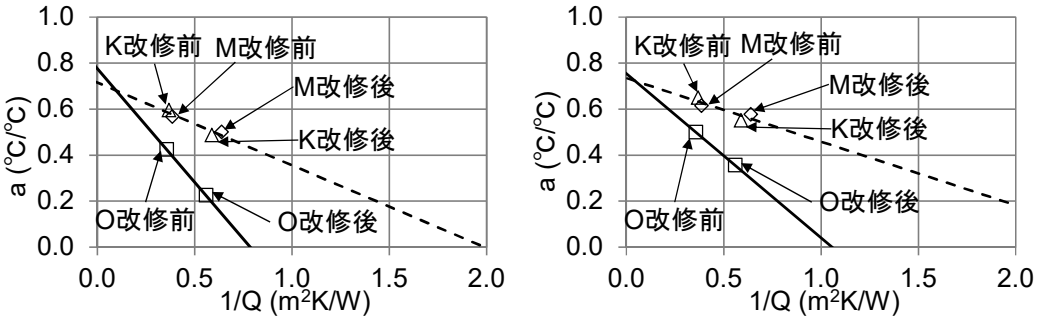
η_H=0.8 の場合：

連続暖房時：$a = -0.71/Q + 0.75$ …… 式 2-16

間歇暖房時：$a = -0.28/Q + 0.73$ …… 式 2-17

表 2-9　各近似直線の係数 a（室温変化率）及び切片 b と各マンションの Q 値等

マンション	改修	η_H=1.0		η_H=0.8		Q 値	1/Q
		a	b	a	b		
O	前	0.42	15.1	0.50	12.8	2.8	0.36
	後	0.23	19.3	0.36	16.5	1.8	0.56
M	前	0.57	8.5	0.61	7.4	2.6	0.38
	後	0.50	12.1	0.58	10.6	1.6	0.64
K	前	0.60	8.3	0.65	7.3	2.7	0.37
	後	0.49	10.2	0.55	9.1	1.7	0.59



(a) η_H=1.0 の場合　　(b) η_H=0.8 の場合

図 2-37　1/Q と室温変化率 a との関係

日平均外気温度 θ_{os}（℃）を境に暖房が開始・終了されるものと想定すると、$\theta_o = \theta_{os}$ のとき暖房用エネルギー消費量 $E_H = 0$ と考えることができる。このとき、式 2-8 から、

$$\theta_i = \theta_{os} + \Delta\theta_n \quad \cdots\cdots \text{式 2-18}$$

が得られるので、この式 2-18 と式 2-13 から b を表すと、以下のようになる。

$$b = (1-a)\theta_{os} + \Delta\theta_n \quad \cdots\cdots \text{式 2-19}$$

従って、式 2-7 において $E_H = L_H$ とし、式 2-13 と式 2-19 を代入することで、E_H を求める次式が得られる。

$$E_H = \frac{Q}{\eta_H}(\theta_i - \theta_o - \Delta\theta_n)$$

$$= \frac{Q}{\eta_H}(a \cdot \theta_o + b - \theta_o - \Delta\theta_n)$$

$$= \frac{Q}{\eta_H}\{a \cdot \theta_o + (1-a)\theta_{os} + \Delta\theta_n - \theta_o - \Delta\theta_n\}$$

$$= \frac{Q}{\eta_H}\{(1-a)\theta_{os} - (1-a)\theta_o\}$$

$$= \frac{Q}{\eta_H}(1-a)(\theta_{os} - \theta_o) \quad [\mathrm{W/m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 2-20}$$

ここで、式 2-14 及び式 2-15、あるいは式 2-16 及び式 2-17 を、式 2-20 に代入することで、各暖房運用方法における E_H の推定式を、以下のように表すことができる。

η_H=1.0 の場合：

連続暖房時：$E_H = (0.22\mathrm{Q} + 0.99)(\theta_{os} - \theta_o)$　［W/m²］ …… 式 2-21

間歇暖房時：$E_H = (0.28\mathrm{Q} + 0.36)(\theta_{os} - \theta_o)$　［W/m²］ …… 式 2-22

η_H=0.8 の場合：

連続暖房時：$E_H = (0.31\mathrm{Q} + 0.89)(\theta_{os} - \theta_o)$　［W/m²］ …… 式 2-23

間歇暖房時：$E_H = (0.33\mathrm{Q} + 0.35)(\theta_{os} - \theta_o)$　［W/m²］ …… 式 2-24

2.3.2 室温変化率 a と間歇暖房補正係数 P との関係

間歇暖房補正係数 P は、参考文献 10)11)から次式で定義される。

$$P = \frac{\theta_i - \theta_o - \Delta\theta_n}{\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n} \quad \cdots\cdots \text{式 2-25}$$

θ_i：マンション専有部の月度平均室内温度(℃)
θ_o：月度平均外気温度(℃)
$\Delta\theta_n$：月度平均自然温度差(℃)
θ_{is}：マンション専有部の設定室内温度(℃)

日平均外気温度 θ_{os} を境に暖房が開始・終了されるものと想定すると、そのときの室内温度（式 2-18）は、目標とされる室内温度と捉えることができ、つまり、

$$\theta_{is} = \theta_{os} + \Delta\theta_n \quad \cdots\cdots \text{式 2-26}$$

と考えることができる。今、室内温度が、常時、設定室内温度の状態を考えると、そのときの単位時間及び単位床面積当たりの月度暖房負荷 L_{24} は、式 2-7 から以下のように表される。（η_H =1.0 とする）

$$L_{24} = \mathrm{Q}(\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n) \quad ［\mathrm{W/m^2}］ \quad \cdots\cdots \text{式 2-27}$$

間歇暖房時の暖房運転時間を T 時間とし、そのときの単位時間及び単位床面積当たりの月度暖房負荷を L_T とすると、参考文献 11)から、

$$L_T = \frac{24}{T} \cdot L_{24} \cdot \mathrm{P} = \frac{24}{T}\mathrm{Q}(\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n)P \quad ［\mathrm{W/m^2}］ \quad \cdots\cdots \text{式 2-28}$$

と表され、これに式 2-26 を代入すると、

$$L_T = \frac{24}{T}\mathrm{Q}(\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n)P = \frac{24}{T}\mathrm{Q}(\theta_{os} - \theta_o)P \quad [\mathrm{W/m^2}] \cdots\cdots \text{式 2-29}$$

となる。ここで、$L_T = E_H$ とすると、式 2-20 から、

$$\frac{24}{T}\mathrm{Q}(\theta_{os} - \theta_o)P = \mathrm{Q}(1-a)(\theta_{os} - \theta_o) \cdots\cdots \text{式 2-30}$$

となり、これを変形することで a と P の関係が次式で表される。

$$a = 1 - \frac{24}{T}P \cdots\cdots \text{式 2-31}$$

また、室温低下率 P_k は、参考文献[10]から次式で定義される。

$$P_k = \frac{\theta_i - \theta_o}{\theta_{is} - \theta_o} \cdots\cdots \text{式 2-32}$$

これを、次のように変形し、

$$\theta_i - \theta_o = P_k(\theta_{is} - \theta_o) \cdots\cdots \text{式 2-33}$$

式 2-25 に代入すると、P は以下のように表される。

$$P = \frac{P_k(\theta_{is} - \theta_o) - \Delta\theta_n}{\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n} \cdots\cdots \text{式 2-34}$$

これに、式 2-26 を代入すると、

$$P = \frac{P_k(\theta_{os} + \Delta\theta_n - \theta_o) - \Delta\theta_n}{\theta_{os} - \theta_o} \cdots\cdots \text{式 2-35}$$

となる。これを式 2-31 に代入することで、a と P_k の関係が次式で表される。

$$a = 1 - \frac{24}{T}\left\{\left(\frac{\theta_{os} - \theta_o + \Delta\theta_n}{\theta_{os} - \theta_o}\right)P_k - \frac{\Delta\theta_n}{\theta_{os} - \theta_o}\right\}$$

$$= 1 - \frac{24}{T}\left\{\left(\frac{\theta_{is} - \theta_o}{\theta_{os} - \theta_o}\right)P_k - \frac{\Delta\theta_n}{\theta_{os} - \theta_o}\right\} \cdots\cdots \text{式 2-36}$$

2.3.3 暖房システム効率 η_H による E_H の誤差

図 2-37 で示したように、a は η_H によって変化することから、a は Q と η_H の関数と考えることができる。式 2-20 から η_H によって変化する要素を抜き出して、Q と η_H の関数 $f(Q, \eta_H)$として表すと、以下のようになる。

$$f(Q,\eta_H) = \frac{(1-a)}{\eta_H} \quad \cdots\cdots \text{式 2-37}$$

ここで式 2-21～式 2-24 を用い、η_H =1.0 と 0.8 の場合について、Q と $f(Q, \eta_H)$の関係を表すと図 2-38 のようになる。η_H =0.8～1.0 間の $f(Q, \eta_H)$の差を見ると、Q=1.0～4.0 の範囲においては、連続暖房の場合は 0.01～0.06（平均で 0.04）程度、間歇暖房の場合は 0.04 前後である。したがって、η_H =0.8～1.0 程度の範囲において、E_H に 4%程度の誤差が生じると考えられるが、比較的小さい誤差であり、Q や θ_o に比べ E_H への影響が小さいことから、本研究においては、η_H =1.0 として暖房用エネルギー消費量の推定を行うこととする。

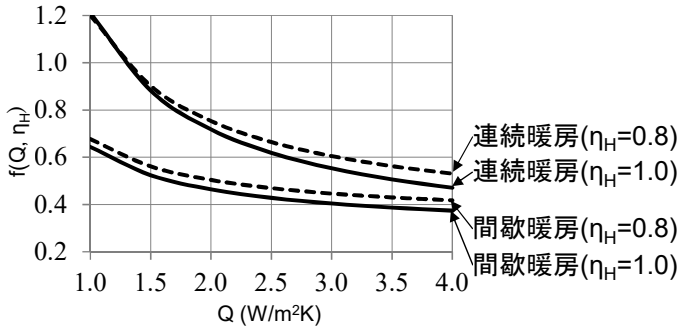


図 2-38　Q と $f(Q, \eta_H)$の関係

2.3.4 推定値の検証

図 2-31～図 2-33 に示した各マンションの月度 E_H の実際値と、式 2-21 及び式 2-22 を用いて求めた推定値との比較を図 2-39～図 2-41 に示す。暖房開始・終了時期の日平均外気温度 θ_{os} の設定は、O マンションが θ_{os}＝18℃、M マンションが θ_{os}＝15℃、K マンションが θ_{os}＝12℃とした。これらを見ると、推定値は実際値と概ね同程度といえるが、θ_{os} の設定によっては、実際値と推定値の差は大きくなる。例えば、θ_{os}＝15℃（3 つのマンションの平均）とすると、O マンションにおいては実際値よりも推定値は小さくなり、K マンションにおいては大きくなる。これは、O マンションにおいては θ_{os}＝18℃程度を境に、K マンションにおいては θ_{os}＝12℃程度を境に暖房が開始・終了されているものと考えられることによる。

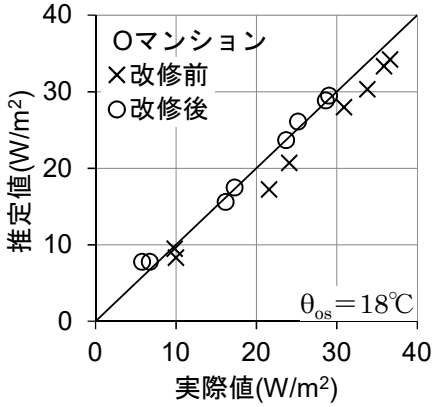


図 2-39　暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の比較（O マンション）

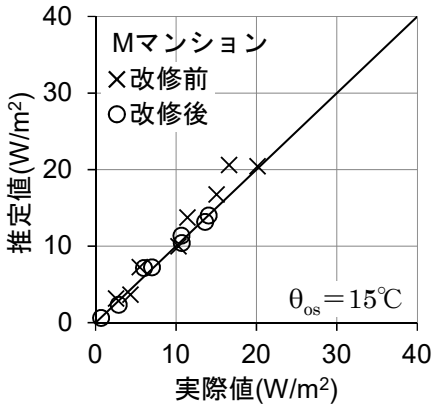


図 2-40　暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の比較（M マンション）

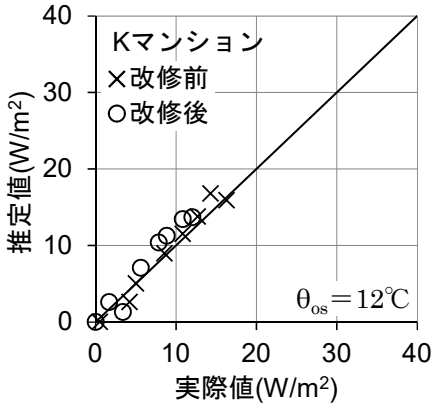


図 2-41　暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の比較（K マンション）

各マンションの年間暖房用エネルギー消費量 ΣE_H と暖房期平均 θ_i について、実際値と推定値との比較を、それぞれ図 2-42、図 2-43 に示す。ΣE_H は、図 2-39～図 2-41 に示した各マンションの月度 E_H から求めたもので、暖房期平均 θ_i は、それら月度 E_H から式

2-8 を用いて求めた θ_i の暖房期平均である。これらを見ると、推定値は実際値と概ね同程度であることから、式 2-21～式 2-24 による E_H の推定値は実用性を有すると考えられる。

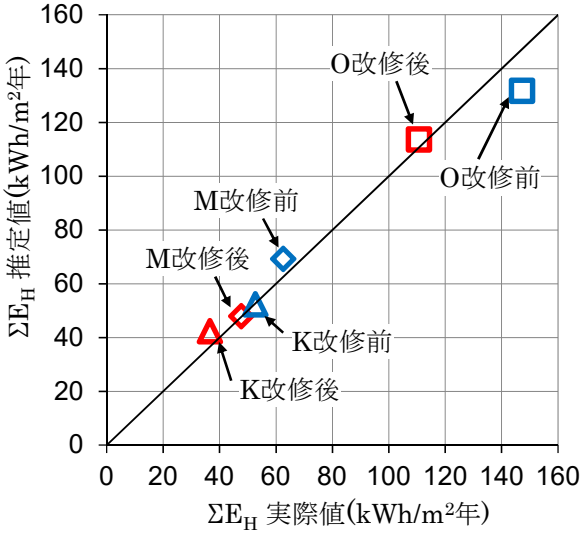


図 2-42　年間暖房用エネルギー消費量 ΣE_H の実際値と推定値の比較

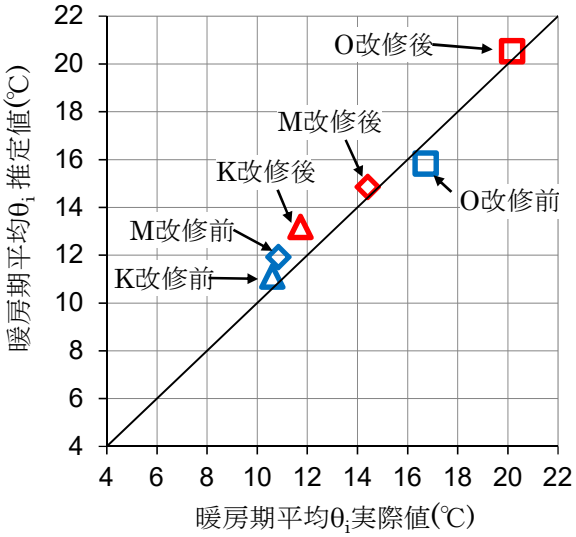
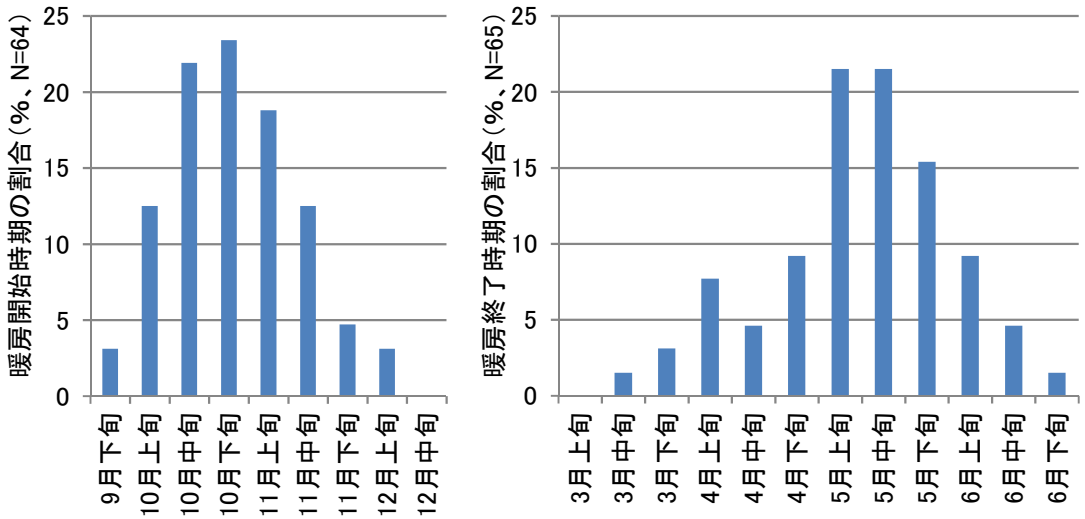


図 2-43　暖房期平均 θ_i の実際値と推定値の比較

2.3.5　暖房開始・終了時期の日平均外気温度の標準値

図 2-44 に、札幌市内の家庭を対象とした暖房開始・終了時期の調査結果[12]を示す。これによると、10 月に暖房を開始し、5 月に終了とする世帯が最も多いことから、一般的な札幌の暖房期は 10 月から 5 月の間と考えられる。また、図 2-45 に札幌の日平均気温の平年値[7]を示したが、これによると、札幌の日平均気温が 15℃を下回る期間は 10 月 1 日から 6 月 3 日までになり、概ね 10 月から 5 月の間となる。以上から、標準的な札幌の暖房期は 10 月から 5 月の間で、日平均外気温度 15℃を境に暖房が開始・終了されるものと想定し、暖房開始・終了時期の日平均外気温度 θ_{os} の標準値を 15℃とする。



(a) 暖房開始時期　　(b) 暖房終了時期

図 2-44　暖房開始時期と終了時期の調査

*参考文献[12]から作成。

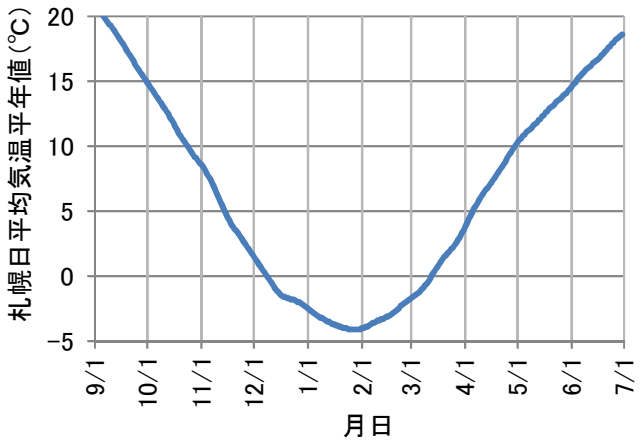


図 2-45　札幌の日平均気温平年値

*気象庁ホームページ[7]掲載のデータから作成。

2.3.6 R マンションにおける推定値の検証

式 2-21 及び式 2-22 の導出元である O、M、K マンション以外のマンションとして、同じく札幌市内に所在し、2010 年に外断熱改修が実施された R マンション（間歇暖房）のデータを用いて、実際値と推定値の比較検証を行う。

R マンションの概要を表 2-10 に、基準階平面図を図 2-46 に示す。Q 値は、改修前が 2.0 W/m²K、改修後が 1.3 W/m²K であり、竣工年代が比較的新しいことから、O、M、K マンションよりも断熱性能が高くなっている。換気は自然換気方式で、K マンションと同様、給気口が各居室に設けられている方式であった。暖房設備は、M マンションと同様、ガスによる戸別セントラル温水暖房であった。ガス使用量は、改修前後ともに 12 月度から 3 月度の 4 ヶ月間のみの記録で、給湯用のガス使用量も含まれていたことから、その給湯用ガス使用量を M マンションにおける給湯用ガス使用量（戸当たり）と同等と想定して、それを差し引いた値を R マンションにおける暖房用ガス使用量とした。図 2-47 に、R マンションの E_H（実際値）を示す。

表 2-10　R マンションの概要

概要		鉄筋コンクリート造　地上 5 階建て（基準階型）
		専有部床面積：1,820 ㎡（住戸数：20 戸）
		1995 年竣工(外断熱改修時：築 15 年)
主な断熱仕様等	改修前	屋根：内断熱 XPS2 種 50 ㎜打込 外壁：内断熱 PUF30 ㎜吹付 窓　：引違いアルミサッシ(単板ガラス)および 　　室内側に樹脂製内窓(単板ガラス) 暖房：ガスによる戸別セントラル温水暖房 Q 値：2.0 W/㎡ K
	改修後	屋根：外断熱 PUF50 ㎜付加 外壁：外断熱 EPS1 号 50 ㎜付加 窓　：外付アルミサッシ(単板ガラス)付加 暖房：改修前と同じ Q 値：1.3 W/㎡ K

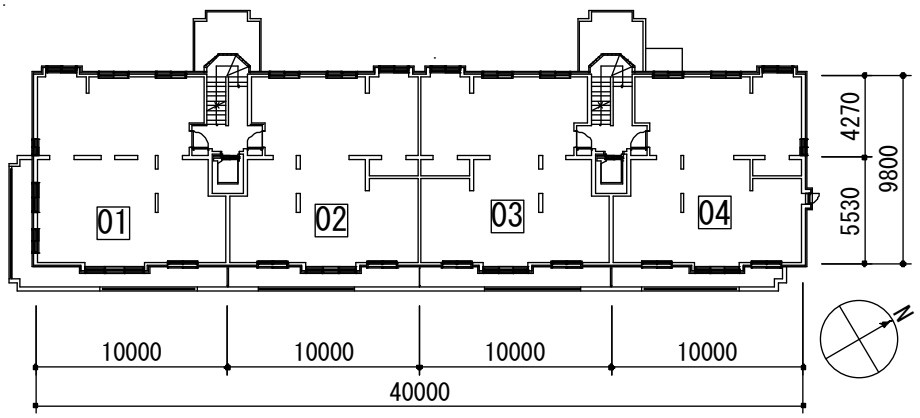


図 2-46　R マンションの基準階平面図

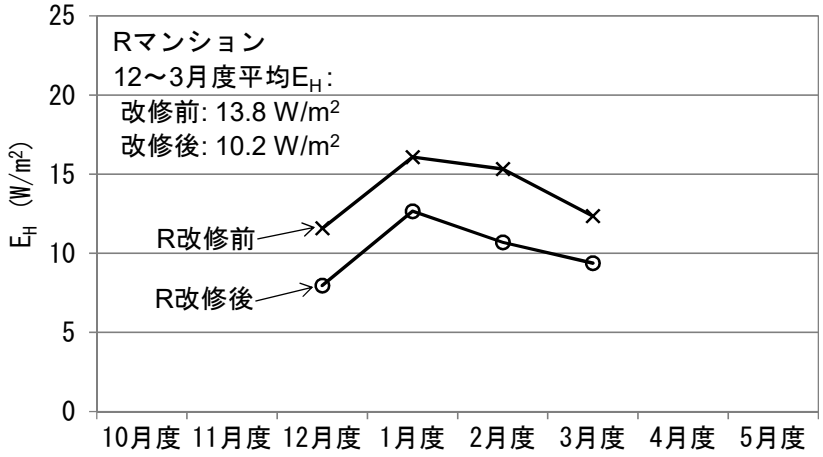


図 2-47　R マンションの E_H（実績値）

R マンションにおける実際値と推定値との比較を、E_H については図 2-48 に、θ_i については図 2-49 示す。E_H の推定値は、実際値よりも 1～2 W/m² ほど大きくなる傾向が見られるが、これは、θ_{os} が 15℃よりも若干低いことによると考えられる。θ_i に関しても、推定値は実際値よりも 1℃ほど高くなる傾向が見られるが、これは、E_H の推定値の傾向を引き継いだものである。E_H および θ_i ともに、実際値と概ね同程度の推定値が得られたことから、本推定方法は、導出元である O、M、K マンション以外のマンションにおいても実用性を有すると考えられる。

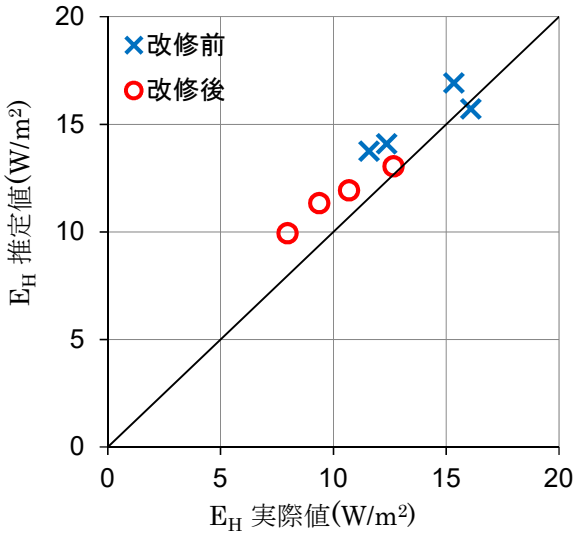


図 2-48　R マンションにおける E_H の実際値と推定値の比較

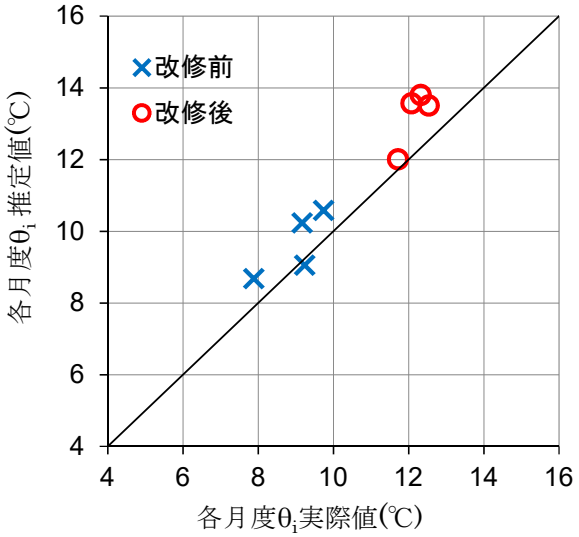


図 2-49　R マンションにおける各月度 θ_i の実際値と推定値の比較

2.4　第 2 章のまとめ

本章では、外断熱改修が実施された札幌市内に所在する 3 棟のマンションについて、「室内温熱環境改善」（室内温度の上昇）と「暖房用エネルギー消費削減」に関する効果を明らかにし、それらの分析結果を基に、任意の分譲マンションにおける二つの効果の定量的な推定方法を示した。以下に、本章の要点をまとめる。

① 外断熱改修が実施されたいずれのマンションにおいても、改修後に室内温熱環境が改善し（暖房期平均で室内温度が 1.8～3.5℃上昇）、暖房用エネルギー消費量が削減（年間で 23～30%）されたことを明らかにした。

② 本章で示した任意の分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法は、マンションの熱損失係数 Q、外気温度 θ_o、暖房開始・終了時期の外気温度 θ_{os} を用いて暖房用エネルギー消費量の実用的な推定値が得られることで、「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」に関する効果について、客観的かつ定量的な推定を可能にした。ただし、暖房開始・終了時の日平均外気温度 θ_{os} の設定によっては、暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の差が大きくなる場合がある。本研究においては、一般的な札幌の暖房期を 10 月から 5 月の間とし、θ_{os}＝15℃に設定することとした。

【第 2 章の参考文献】

1) 国土交通省：改修によるマンションの再生手法に関するマニュアル，2004

2) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 Ⅱ住宅，株式会社連合印刷センター，2013.5

3) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ1981-2000，2005.8

4) 経済産業省：エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則（平成二七年一月一六日経済産業省令第一号） 別表第1

5) 北海道ガスホームページ http://www.hokkaido-gas.co.jp/ ，2015.6.12参照

6) 一般社団法人北海道建築技術協会：北方型住宅の熱環境計画2010年，2010.1

7) 気象庁ホームページ http://www.jma.go.jp/jma/index.html 過去の気象データ検索のページ，2016.11.25参照

8) 札幌市都市局市街地整備部住宅課：札幌市分譲マンション管理実態調査報告書，2011.3

9) 渡辺要：建築計画原論Ⅲ第2版，1976.10

10) 絵内正道：居住室に於ける温度環境の改善と熱対流に関する研究，学位論文，1979.12

11) 荒谷登，鈴木憲三：建築家のための熱環境解析入門，1993.10

12) 札幌市市民まちづくり局市民生活部：家庭用エネルギー消費実態調査報告書，2006.3

【本章に関連する既発表文献】

13) 福島 明，佐藤 潤平，平川 秀樹，舘脇 英，長谷川 寿夫，奈良 謙伸，森 秀樹：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第4報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.82，p221～224，2009.07

14) 平川 秀樹，福島 明，長谷川 寿夫，佐藤 潤平，舘脇 英，森 秀樹，広瀬 茂樹：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第5報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.82，p225～228，2009.07

15) 福島 明，平川 秀樹，佐藤 潤平，大橋 周二，羽山 広文：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第6報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.87，p179～182，2014.06

16) 平川 秀樹，福島 明，佐藤 潤平，大橋 周二，羽山 広文：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第7報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.87，p183～186，2014.06

17) 福島 明，平川 秀樹，佐藤 潤平，大橋 周二，羽山 広文：外断熱改修マンションの暖房エネルギー消費特性と室内温度性状その1，日本建築学会大会学術講演梗概集環境工学Ⅱ，pp129～130，2014.09

18) 平川 秀樹，福島 明，佐藤 潤平，大橋 周二，羽山 広文：外断熱改修マンションの暖房エネルギー消費特性と室内温度性状その2，日本建築学会大会学術講演梗概集環境工学Ⅱ，pp131～132，2014.09

19) 平川秀樹，福島明，佐藤潤平，大橋周二，羽山広文：寒冷地の既存マンションにおける外断熱改修効果の推定方法に関する研究，日本建築学会環境系論文集，Vol.80，No.715，pp711-722，2015.9

第3章　分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量

3.1　本章の背景と目的

既存建物の省エネルギー改修を検討するとき、その現状におけるエネルギー消費量の把握は不可欠である。分譲マンションの外断熱改修においては、その現状における暖房用エネルギー消費量の把握は不可欠であり、それがあることによって、はじめて改修効果の推定や確認を行うことが可能になる。また、外断熱改修等による良質ストックの増加は、地域社会にとっても意義のあることから、札幌市域など、地域単位での暖房用エネルギー消費量の把握にも意義があるといえる。住棟単位と地域単位双方でのエネルギー消費量の把握は、例えば、地域の平均値との比較が可能になるなど、個々のマンションの現状と改修の目標性能がより明確になり、それぞれの実情に応じた柔軟な改修計画立案のためにも有用と考えられる。

2.3「外断熱改修効果の推定方法」の式 2-21 等において、暖房用エネルギー消費量 E_H の推定式を示したが、これを用いて、マンションの暖房用エネルギー消費量を推定することができる。それには、各マンションの熱損失係数が必要になるが、札幌市域などの広範囲を対象とすると、多くの設計図書を入手し、それらから外皮面積等を読み取る必要があるため、現実的な作業とはいえない。

以上より、本章では、札幌市内の分譲マンションストックを対象に、以下の点について示す。

① 地理情報システム（GIS）上の建物データ等を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法
② 札幌市内の全分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量の推定結果
③ 札幌市内の分譲マンションストックが外断熱改修を行ったケースを想定した暖房用エネルギー消費量の削減効果

3.2　マンションデータの調査・推定方法の概要

3.2.1　外皮面積推定の概略

各マンションの熱損失係数を推定するには、外皮からの熱損失量を推定する必要があるので、それら各部位の面積が必要になる。マンションの外皮面積 S_p は、図 3-1 に示すように、マンションの外周長さ L_p と、その内包部分の面積 A_b（建築面積と同等とする）、階数 F_a 及び階高 h から次式で概算できる。

$$S_p = L_p \cdot h \cdot F_a + 2A_b \quad [\mathrm{m}^2] \quad \cdots\cdots \text{式 3-1}$$

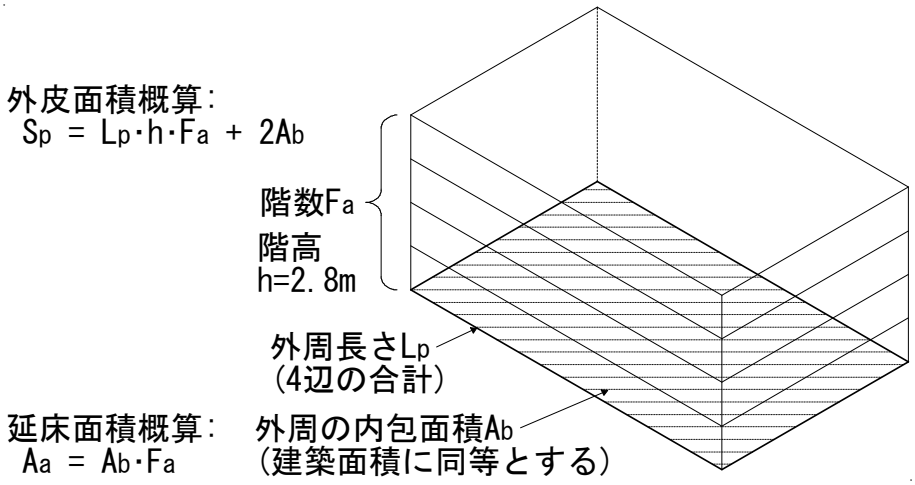


図 3-1　マンション外皮面積の概算方法

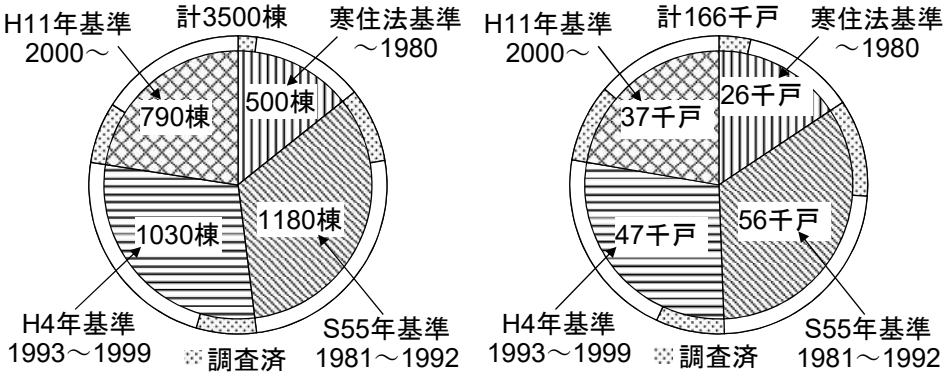
ここで、L_p と A_b は、GIS 上の建物データから得た。具体的には、図 3-2 に示すような Google Earth[1)]等の Virtual Globe 上に展開されている各マンションの 3 次元モデルの外周を、図 3-3 に示すようなアプリケーションの測定ツールを用いて計測することで L_p と A_b を得た。

図 3-2　Google Earth の 3 次元モデルの例

図 3-3　外周長さと建築面積の取得方法

3.2.2 竣工年代や階数等の調査方法

不動産情報 Web サイト[2]等を参照し、マンションの竣工年や総住戸数、階数などの調査を行い、札幌市内 815 棟分のデータを得た。図 3-4 に、各竣工年代における分譲マンションストックの全棟数および全戸数[3]（2010 年現在）と、本研究での調査数を示す。図の竣工年代は、住宅の省エネルギー基準等の施行時期に合わせて設定した。本研究での調査数は、札幌市内の分譲マンションストックの、棟数においては約 23%、戸数においては約 30%となる。



(a) マンションストック棟数　　(b) マンションストック戸数

図 3-4　札幌市内の竣工年代別分譲マンションストック全数と調査数

* 図 1-5 と同様の図に、本研究の調査数を追記した。

また、斜線制限によって、マンションの形状が階段状や高さの異なる部分があるなどする場合、それら形状の外皮面積への影響を反映するため、斜線制限（北側、隣地、道路）の有無についても都市計画図等[4]から調査を行った。

表 3-1 に、本研究におけるマンションデータの調査項目と、それらの調査元を、図 3-5 に、調査済み分譲マンションの分布を示す。

表 3-1　マンションデータの調査項目と調査元

調査元	調査項目
GIS データ	外周長さ（各方位）、建築面積
不動産情報 Web サイト等	所在地、竣工年、階数、住戸数
都市計画図	斜線制限(北側、隣地、道路)

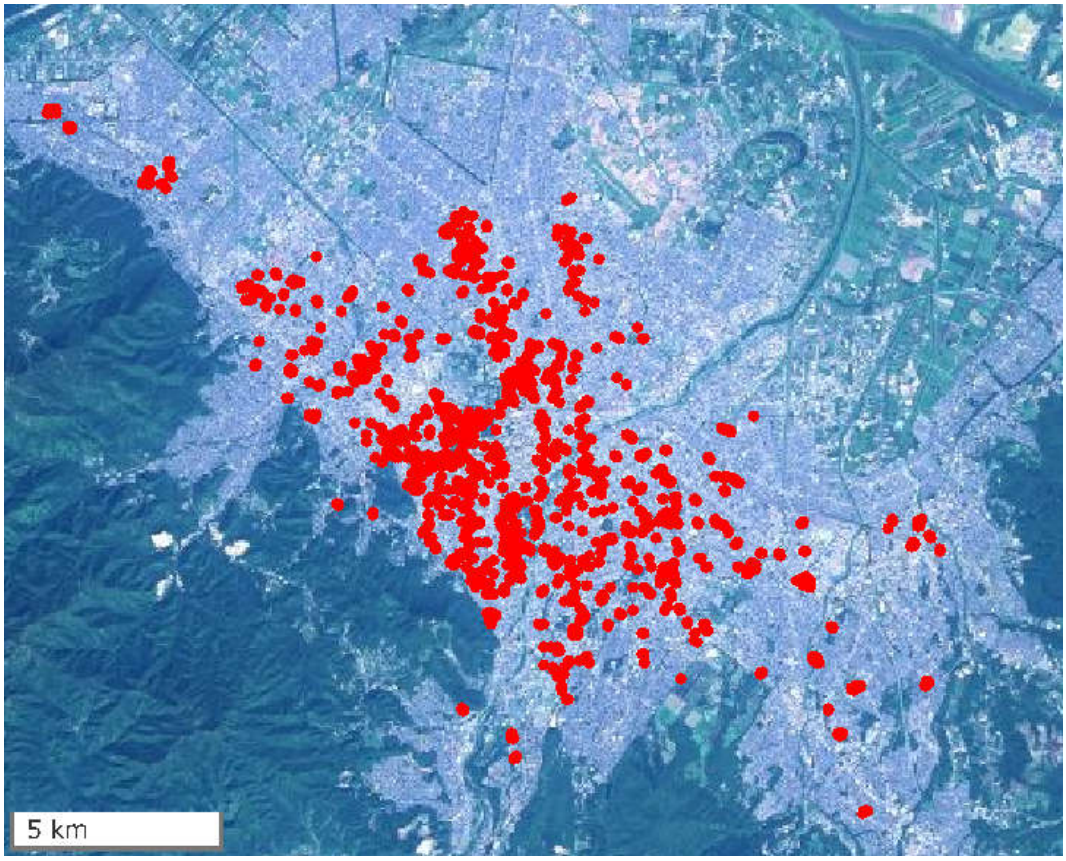


図 3-5　調査済み分譲マンションの分布

* 地理院タイル[5]（写真）に調査マンションの位置をプロットして作成

データソース：Landsat8 画像（GSI,TSIC,GEO Grid/AIST）, Landsat8 画像（courtesy of the U.S. Geological Survey）, 海底地形（GEBCO）

3.2.3 部位の熱貫流率及び線熱橋係数

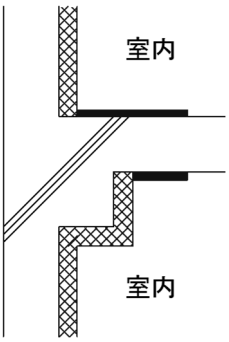
マンション各部位の熱貫流率は、それぞれの竣工年代における住宅の省エネルギー基準等から、表 3-2 のように設定した。熱橋部の線熱橋係数は、バルコニーや床スラブ等の界床、住戸間等の界壁について、表 3-3 のように設定した。

表 3-2　マンション各部位の竣工年代別熱貫流率の基準値

年代／部位	寒住法基準 ～1980	S55 年基準 1981～1992	H4 年基準 1993～1999	H11 年基準 2000～
屋根	1.05	0.70	0.23	0.27
外壁	1.05	0.81	0.42	0.39
その他の床	0.81	0.81	0.36	0.38
開口部	4.07	3.49	2.33	2.33

熱貫流率単位（W/m²K）。各年代の熱貫流率は、1980 年以前が S44 年寒住法基準[6]、その他の年代においては、その当時の住宅の省エネ基準[7]に準じた。断熱工法は、内断熱工法とした。

表 3-3　熱橋仕様と線熱橋係数

熱橋部	熱橋仕様	線熱橋係数
界床と外壁、 屋根スラブと界壁、 床スラブと界壁、 界壁と外壁 の各取り合い		1992 年以前竣工 1.6 W/mK （断熱補強無し） 1993 年以後竣工 0.85 W/mK （断熱補強有り）

線熱橋係数は平成 25 年基準[8]に準じた。

3.3　熱損失係数推定値の算出方法

3.3.1　熱損失係数の算出方法

各マンションの熱損失係数 Q は、外皮からの熱損失 Q_p と換気による熱損失 Q_v（いずれもマンション専有部の単位床面積当たり）の合計としたが、Q_p は次式により求めた。

$$Q_p = Q_s + Q_{hb} = Q_r + Q_w + Q_g + Q_o + Q_{hb} \quad [\mathrm{W/m^2K}] \cdots\cdots \text{式 3-2}$$

Q_s：外皮一般部からの熱損失(W/m²K)
Q_{hb}：熱橋部からの熱損失(W/m²K)
Q_r：屋根からの熱損失(W/m²K)
Q_w：外皮となる壁からの熱損失(W/m²K)
Q_g：外皮となる床からの熱損失(W/m²K)
Q_o：開口部からの熱損失(W/m²K)

また Qv は、空気の容積比熱を 0.35 W/m³K [11]として、次式により求めた。

$$Q_v = 0.35 \cdot n \cdot h_c \quad [\mathrm{W/m^2K}] \cdots\cdots \text{式 3-3}$$

n：換気回数(回/h)
h_c：天井高さ=2.4m

換気回数は、2003 年以後は換気設備の設置が義務付けられたこと、第 2 章において示した自然換気マンションの換気回数が 0.3～0.7 回/h 程度（図 2-25）であり、かつ、総熱損失に対する換気熱損失の割合が比較的小さかったことから、すべてのマンションで 0.5 回/h とした。したがって、Q_v は、次式の通り、一定値となる。

$$Q_v = 0.35 \times 0.5 \times 2.4 = 0.42 \quad [\mathrm{W/m^2K}] \cdots\cdots \text{式 3-4}$$

3.3.2　延床面積の算出方法

マンションの総延床面積 A_a は、単位住戸（一住戸）当たりの床面積 A_{a1}（専有部と共用部を含む）と全住戸数 N_a から次式で求めた。

$$A_a = A_{a1} \cdot N_a \quad [\mathrm{m^2}] \cdots\cdots \text{式 3-5}$$

ここで、A_{a1} は、基準階床面積 A_s（専有部と共用部を含む）と建築面積 A_b は概ね等しいと考えて、次式により求めた。

$$A_{a1} = A_s/N_s = A_b/N_s \quad [\mathrm{m^2}] \cdots\cdots \text{式 3-6}$$

N_s：基準階住戸数(戸)

N_sは、N_aと階数F_aから、次式によって設定した。

$$N_S = \{N_a/F_a \text{を切り上げた整数}\} \quad [戸] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 3-7}$$

このとき、$F_a \cdot N_S \leq N_a$でなければならないので、N_aより超過した住戸数は、図 3-6 に例を示すように、1 階もしくは最上階の住戸数から差し引いて調整した。斜線制限のあるマンションの場合は、図 3-7 に示すように、基準階住戸数を増やし、斜線制限の範囲にかかる住戸を各階へ再配置して調整した。

図 3-6　各階住戸数の配置例

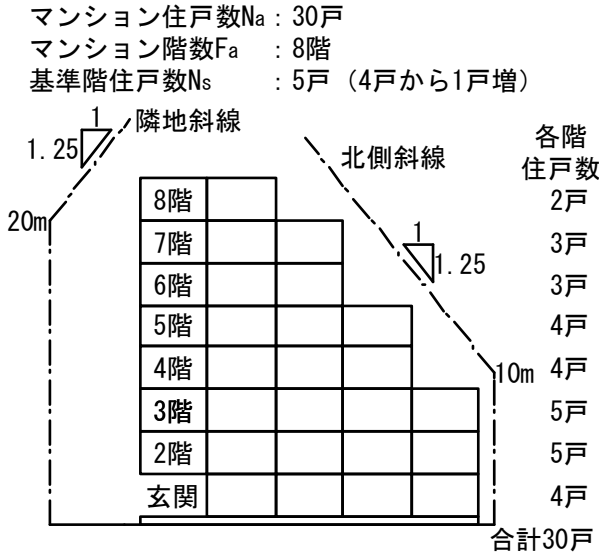


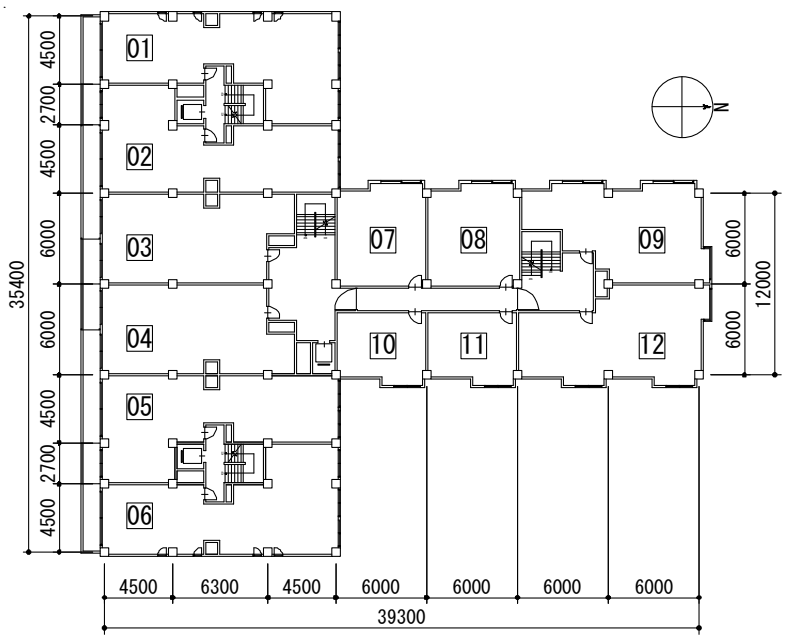
図 3-7　各階住戸数の配置例（斜線制限のある場合）

また、A_a は、専有部延床面積を A_m、共用部延床面積を A_c とすると、次式で表すことができる。

$$A_a = A_m + A_c \quad [\mathrm{m}^2] \cdots\cdots \text{式 3-8}$$

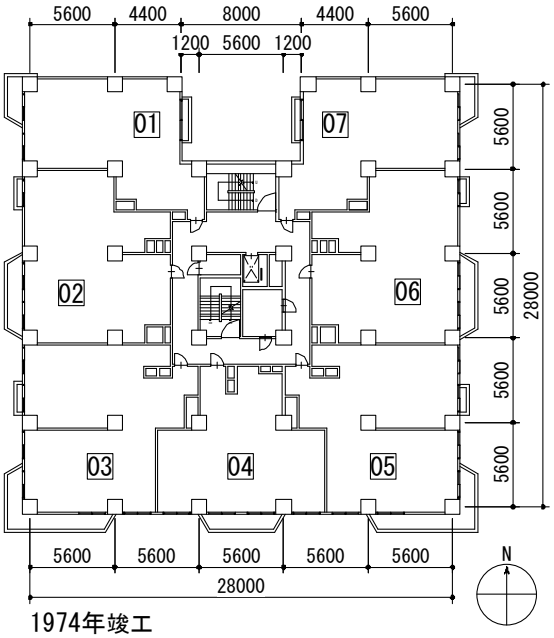
ここで、A_m と A_c の比率は、図 3-8～図 3-15 に基準階平面図（斜線制限によって階段型である K マンションにおいては 2 階平面図）と概要を示した 8 棟の実際のマンションにおける平均値を参考にして、以下のように設定した。

$$A_m : A_c = 0.8 : 0.2 \cdots\cdots \text{式 3-9}$$



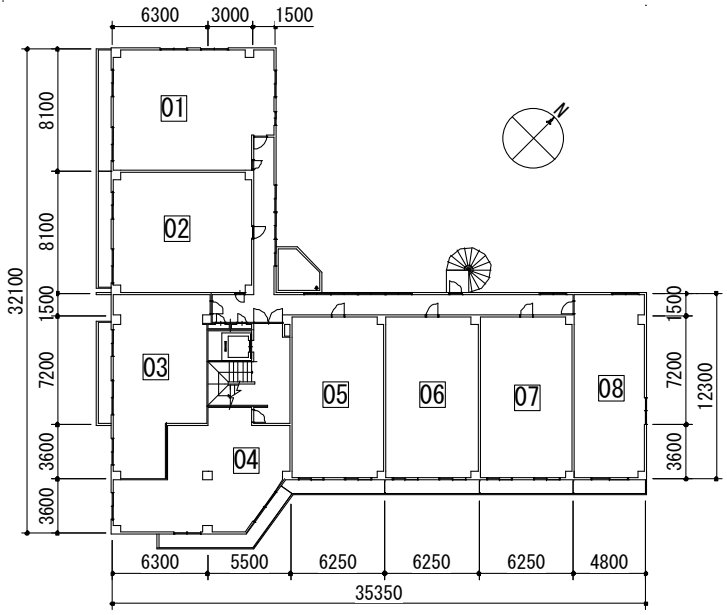
1974年竣工
120戸 11階建て(基準階型)
延床面積:9,600㎡(専有部:7,350㎡)
熱損失係数:2.8W/㎡K

図 3-8　O マンションの基準階平面図



1974年竣工
42戸 7階建て(基準階型)
延床面積:4,800㎡(専有部:3,900㎡)
熱損失係数:2.6W/㎡K

図 3-9　M マンションの基準階平面図



1980年竣工
35戸 7階建て(階段型)
延床面積:3,000㎡(専有部:2,500㎡)
熱損失係数:2.7W/㎡K

図 3-10　K マンションの 2 階平面図

1995年竣工
20戸
5階建て(基準階型)
延床面積:2,100㎡
(専有部:1,820㎡)
熱損失係数:2.0W/㎡K

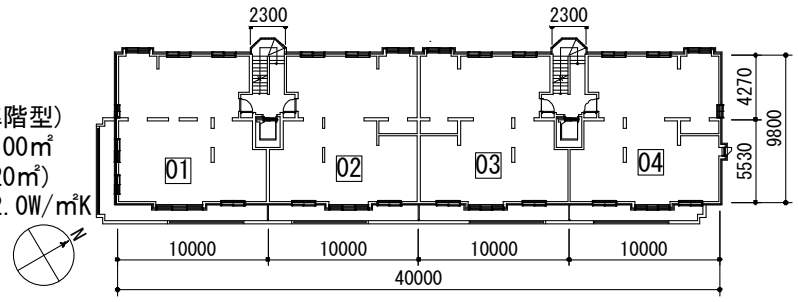


図 3-11　Rマンションの基準階平面図

2004年竣工
82戸
12階建て(基準階型)
延床面積:7,720㎡
(専有部:6,080㎡)
熱損失係数:1.5W/㎡K

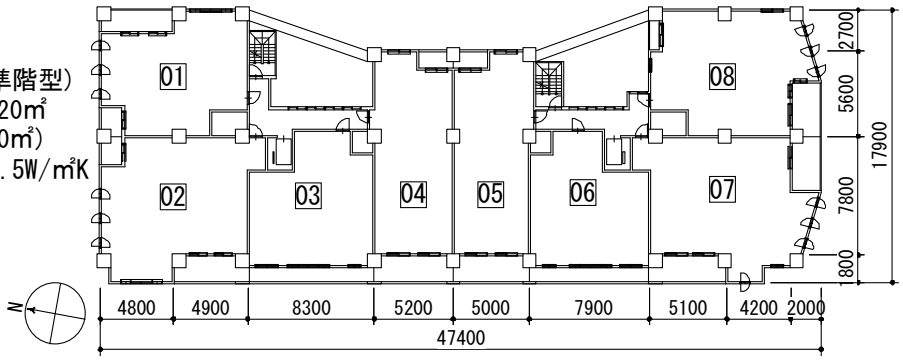


図 3-12　Dマンションの基準階平面図

1997年竣工
61戸
14階建て(基準階型)
延床面積:6,200㎡
(専有部:5,300㎡)
熱損失係数:1.7W/㎡K

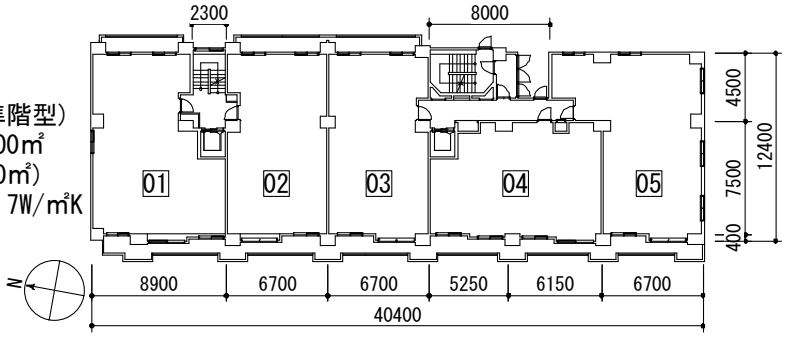


図 3-13　Fマンションの基準階平面図

1978年竣工
32戸
4階建て(基準階型)
延床面積:2,470㎡
(専有部:2,170㎡)
熱損失係数:2.8W/㎡K

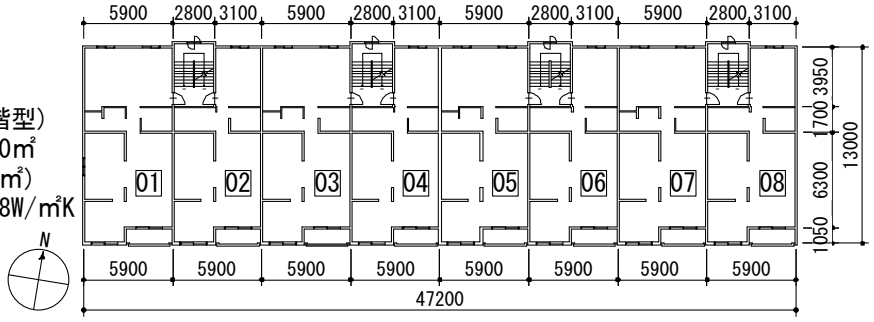
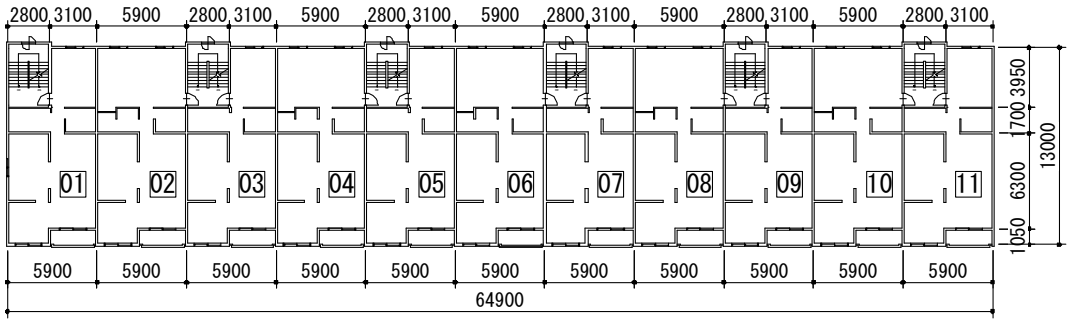


図 3-14　N1マンションの基準階平面図



1978年竣工
42戸
4階建て(基準階型)
延床面積:3,260㎡
(専有部:2,830㎡)
熱損失係数:2.7W/㎡K

図 3-15　N2 マンションの基準階平面図

3.3.3 屋根及び床の面積と熱損失の算出方法

マンション屋根からの熱損失 Q_r は、次式により求めた。

$$Q_r = U_r \cdot A_r / A_m \quad [\mathrm{W/m^2K}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-10}$$

U_r：屋根の熱貫流率(W/m²K)
A_r：外皮となるマンション専有部屋根面積(m²)

一般的なマンションにおいては、屋根面積と建築面積は概ね等しいと考えられるので、A_r は、A_m の比率から、

$$A_r = 0.8 A_b \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-11}$$

とした。さらに、外皮となるマンション専有部床面積 A_g は、住戸がある最下階の床面積に相当し、A_r に等しいと考えられるので、

$$A_g = A_r = 0.8 A_b \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-12}$$

とした。したがって、マンション床からの熱損失 Q_g は、床の熱貫流率を U_g（W/m²K）とすると、次式で表される。

$$Q_g = 0.7 \cdot U_g \cdot A_g / A_m \quad [\mathrm{W/m^2K}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-13}$$

なお、式 3-13 における係数 0.7 は、平成 25 年基準[8]における、外気に通じる床裏と同等の空間である場合の温度差係数であり、本研究においては、住戸がある最下階の床下や共用空間は、すべて外気に通じる床裏と同等の空間として扱い、住戸と共用部間の界壁・界

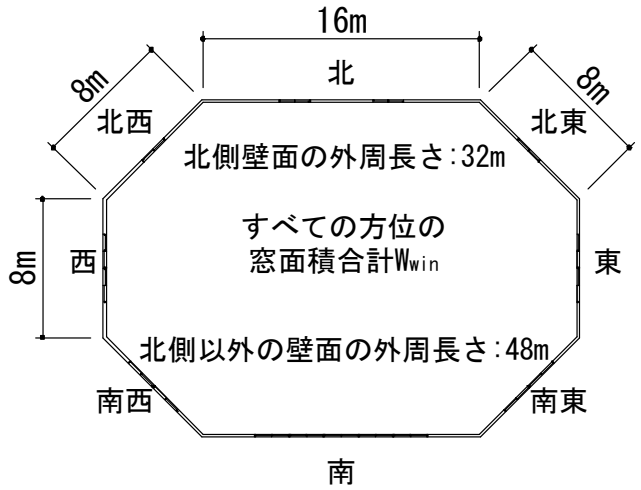
床等の温度差係数は 0.7 とした。これは、札幌市建築基準法施行条例[9]第 13 条（出入口、非常口及び屋外階段）において、「建築物に設ける屋外への出入口、非常口又は屋外階段等の避難施設は、積雪及び凍結等によって避難に支障をきたすことのない構造とし、～以下省略～」とされていることから、札幌市内の分譲マンション各住戸のドアは、構造的に屋内空間となる共用空間に面していることが原則となることによる。

3.3.4 開口部の面積と熱損失の算出方法

窓面積 W_{win} は、建築基準法第 28 条を参考に、A_m の 1/7 として次式により求めた。

$$W_{win} = A_m/7 = 0.8A_a/7 \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-14}$$

W_{win} の各方位への面積配分は、図 3-8～図 3-15 に示した 8 棟の実際のマンションにおける平均値を参考にして、図 3-16 に示した例のように算定した。まず、北側壁面（真北を 0° としたとき、±45° 以北の範囲）への配分を W_{win} の 16%、北側以外の壁面への配分を 84%と大きく振り分け、さらに、その振り分けた面積を、各方位の外壁長さに応じて按分し、8 方位の窓面積とした。



北側壁面の窓面積
「北西＋北＋北東」= 0.16W_{win}
・北面窓面積：
0.16W_{win}×16/32
・他の面の窓面積：
0.16W_{win}×8/32

北側以外の壁面の窓面積：
(1−0.16)W_{win}=0.84W_{win}
・南面窓面積：
0.84W_{win}×16/48
・他の面の窓面積：
0.84W_{win}×8/48

図 3-16　各方位窓面積の算出例

各住戸の玄関ドアは、共用部との界壁に設置されているものとし、ドア面積 W_{door} は、一つのドアの面積を 1.6m²（0.8×2.0）として、次式により求めた。

$$W_{door} = 1.6N_a \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-15}$$

したがって開口部からの熱損失 Q_o は、次式で表される。

$$Q_o = U_o \cdot (W_{win} + 0.7 \cdot W_{door})/A_m \quad [\mathrm{W/m^2K}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-16}$$

U_o：開口部（窓・ドア）の熱貫流率(W/m²K)

3.3.5 外皮となる壁の面積と熱損失の算出方法

外皮となる壁からの熱損失 Q_w は、次式により求めた。

$$Q_w = U_w \cdot (W_a + 0.7 \cdot W_c)/A_m \quad [\mathrm{W/m^2K}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-17}$$

U_w：壁の熱貫流率(W/m²K)
W_a：外気に接する外壁面積(m²)
W_c：共用空間に接する界壁面積(m²)

W_a は、単位住戸当たり外壁面積 W_{a1}（外気に接する外壁）と N_a、及び W_{win} から、次式で求めた。

$$W_a = W_{a1} \cdot N_a - W_{win} \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-18}$$

ここで、W_{a1} は、マンション基準階外壁面積 W_s（開口部含む）と N_s から次式で求めた。

$$W_{a1} = W_s/N_s \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-19}$$

W_s（開口部含む）は、図 3-1 及び式 3-1 から次式となる。

$$W_s = h \cdot L_p \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-20}$$

W_c は、共用部の平面形状を、図 3-17 に示すように、その面積が当該階床面積の 20%（A_c の比率）となるように縮小した形状と想定して求めた。当該階の共用空間に接する界壁面積を W_c’、縮小した平面形状の外周長さを L_p’（共用空間に接する界壁長さ）とすると、W_c は次式で表される。なお、Σ( )は各階の合計を意味する。

$$W_c = \sum W_c' - W_{door} = \sum\left(h \cdot L_p'\right) - 1.6N_a \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-21}$$

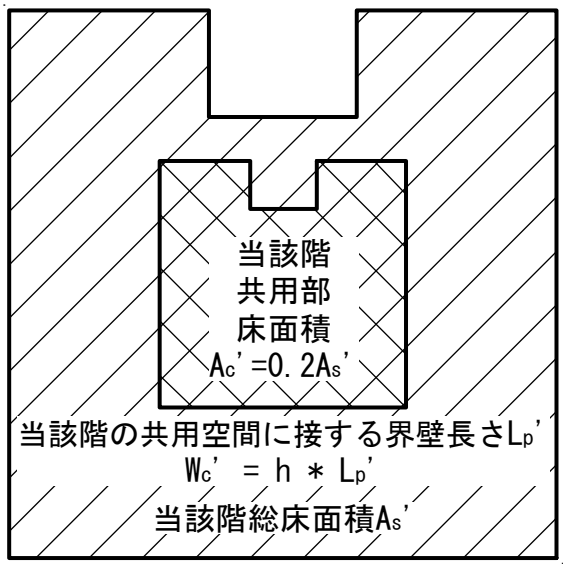


図 3-17　各階 W_c'の算出方法

3.3.6　熱橋の長さと熱損失の算出方法

外気に接する外壁と住戸間の界床や界壁の各取り合いにおける当該階熱橋長さ L_{hba}'は、次式により求めた。

$$L_{hba}' = L_p + h \cdot (N_s' - 1) \quad [\mathrm{m}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-22}$$

N_s'：当該階の住戸数(戸)

同様に、共用空間に接する界壁と住戸間の界床や界壁の各取り合いにおける当該階熱橋長さ L_{hbc}'は、次式により求めた。

$$L_{hbc}' = L_p' + h \cdot (N_s' - 1) \quad [\mathrm{m}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-23}$$

また、屋根と住戸間界壁の取り合いにおける熱橋長さ L_{hbr} と、外皮となる床と住戸間界壁の取り合いにおける熱橋長さ L_{hbg} は、マンションの平面プランを、面積 A_b、外周長さ L_p の長方形に見立て（式 3-24）、

$$X \cdot Y = A_b \ , \ \ 2(X + Y) = L_p \ , \ \ X > Y \quad \cdots\cdots \text{式 3-24}$$

その長方形の短辺長さ Y (m)を用いて次式により求めた。

$$L_{hbr} = L_{hbg} = Y \cdot (N_s' - 1) \quad [\mathrm{m}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-25}$$

したがって、熱橋からの熱損失 Q_{hb} は次式で表される。

$$Q_{hb} = U_{hb} \cdot \frac{\{\sum L_{hba'} + L_{hbr} + 0.7(\sum L_{hbc'} + L_{hbg})\}}{A_m} \quad [\mathrm{W/m^2K}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 3-26}$$

U_{hb}：線熱橋係数(W/mK)

3.3.7 マンションの熱損失係数推定値の算出結果

表 3-1 に示した 815 棟分の調査データを基に、前述した算出方法により各マンションの熱損失係数 Q 値を推定した結果を図 3-18 に、それらの竣工年代別平均$\bar{Q}$と 95%信頼区間を表 3-4 に示す。図 3-18 を見ると、H4 年基準年代以後（1993 年以後）を境に、Q 値とそのばらつきが、大幅に小さくなることが分かる。

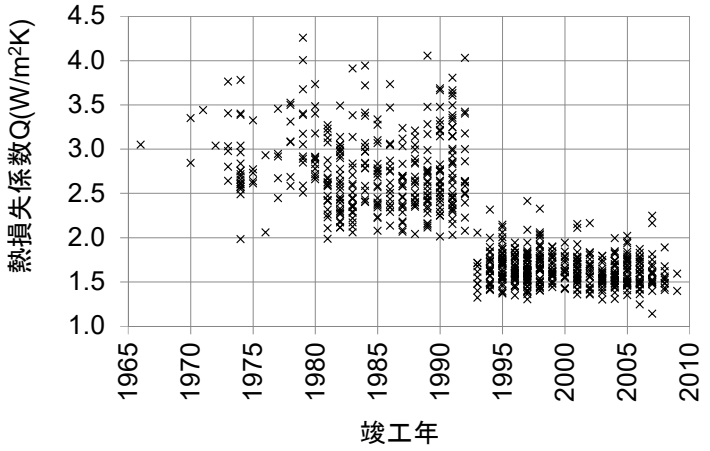


図 3-18　各マンションの熱損失係数 Q 推定値

表 3-4　マンション熱損失係数の竣工年代別平均$\bar{Q}$と 95%信頼区間

	寒住法基準 ～1980	S55 年基準 1981～1992	H4 年基準 1993～1999	H11 年基準 2000～
$\bar{Q}$	2.99	2.70	1.67	1.61
$\bar{Q}$の 95% 信頼区間	2.89 3.09	2.65 2.75	1.64 1.69	1.59 1.63

図 3-19 に、$\bar{Q}$とともに、外皮一般部からの熱損失 Q_s 及び熱橋部からの熱損失 Q_{hb} の竣工年代別平均を示す。なお、各平均値上下の折れ線は、平均値±標準偏差を表す。図 3-20 は、各部位の熱貫流率等を全て H11 年基準相当として求めた各熱損失の平均値及び標準偏差を示したものである。図 3-19 においては、各平均値と標準偏差ともに、S55 年基準年代以前と H4 年基準年代以後で顕著な差が見られるが、熱貫流率等の条件を同じとした図 3-20 においては、竣工年代間の差はわずかとなる。また、図 3-21 に、外皮面積 S_p と熱橋長さ L_{hb} について（いずれも単位床面積当たり）、竣工年代別平均値及び標準偏差を示したが、図 3-20 と同様の傾向で、竣工年代間の差はわずかである。

以上から、図 3-18 に示した Q 値とそのばらつきの、1992 年以前と以後における顕著な差は、マンション各部位の熱貫流率および線熱橋係数が大きく影響して生じたものであり、外皮面積や熱橋長さなど、マンションの形状に関わる要素の、竣工年代の違いによる差は極小さいと考えられる。

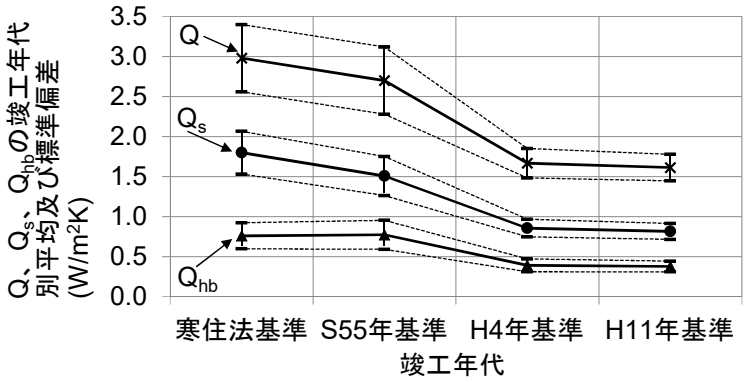


図 3-19　Q、Q_s、Q_{hb} の竣工年代別平均及び標準偏差

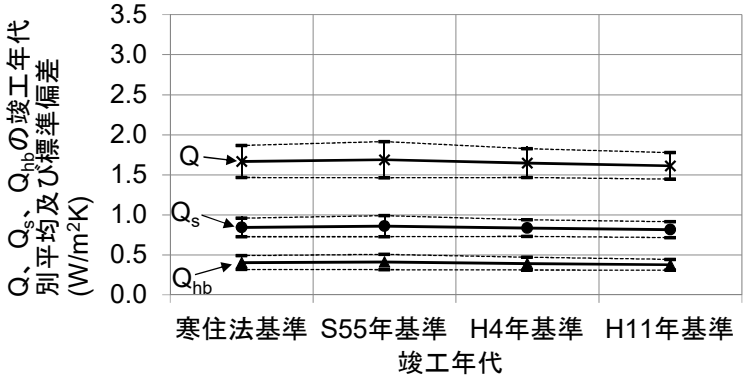


図 3-20　Q、Q_s、Q_{hb} の竣工年代別平均及び標準偏差
（各部位の熱貫流率等を全て H11 年基準相当とした場合）

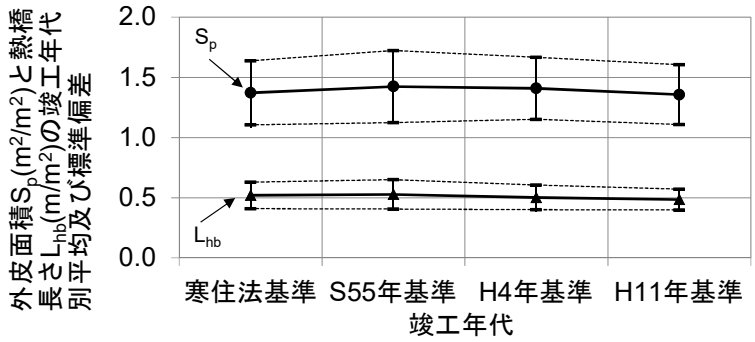


図 3-21　外皮面積と熱橋長さの竣工年代別平均及び標準偏差

3.3.8　熱損失係数推定値の検証

これまでに示した算出方法による外皮面積及び熱損失係数の推定値と、実マンションから求めたそれらの実際値との比較検証を行った。検証に用いた実際のマンションは、図 3-8～図 3-15 に示した 8 棟である。マンションの総延床面積 A_a と外皮面積 S_p（単位：千 m^2）、熱橋長さ L_{hb}（単位：千 m）について、実際値と推定値とを比較したものを図 3-22 に示す。これを見ると、推定値は、概ね実際値に近い値であるといえる。S_p の一部に比較的大きな誤差が生じていることから、S_p の内訳である W_a、W_c、W_{win}、A_r と A_g（A_r+A_g）に分解して、実際値と推定値を比較したものを図 3-23 に示す。これを見ると、誤差が大きいのは W_c であることが分かる。本算出方法では、図 3-17 に示したように共用部を想定したが、実際のマンションにおいては、エレベーターなどのコア部分の数、片廊下型や階段室型などの共用部のプランによって、共用部との界壁面積等が大きく異なることが、誤差が大きくなる要因である。

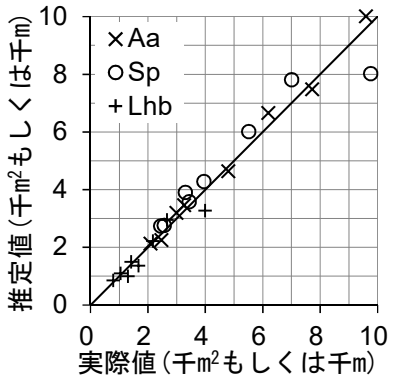


図 3-22　各部面積等の実際値と推定値の比較

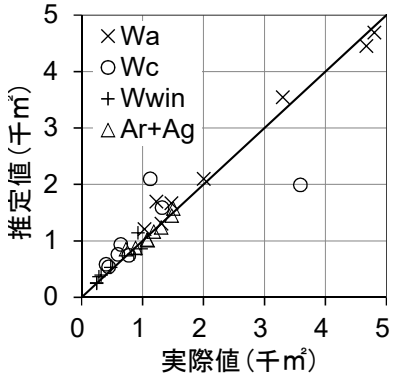


図 3-23　S_p 内訳の実際値と推定値の比較

Q 値の実際値と推定値とを比較したものを図 3-24 に示す。各マンション Q 値の実際値 Q_a に対する推定値 Q_e の誤差 e を、式 3-27 によって求めると、誤差 e の平均は 0.084（95%信頼区間［0.046, 0.123］）となった。したがって、本推定方法により求められる Q 値は、平均で±8.4%前後の誤差を含むと考えられる。

$$e = \frac{|Q_e - Q_a|}{Q_a} \quad \cdots\cdots \text{式 3-27}$$

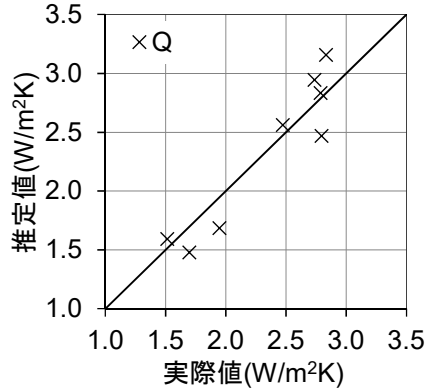


図 3-24　Q 値の実際値と推定値の比較

表 3-4 に示した$\bar{Q}$の 95%信頼区間に 0.084 の誤差を考慮して求めた、札幌市内の分譲マンションの各竣工年代における$\bar{Q}$の推定範囲を図 3-25 に示す。図中には、各年代における熱損失係数の基準値も示したが、$\bar{Q}$の推定範囲は、その当時の熱損失係数基準値の概ね前後ということができる。

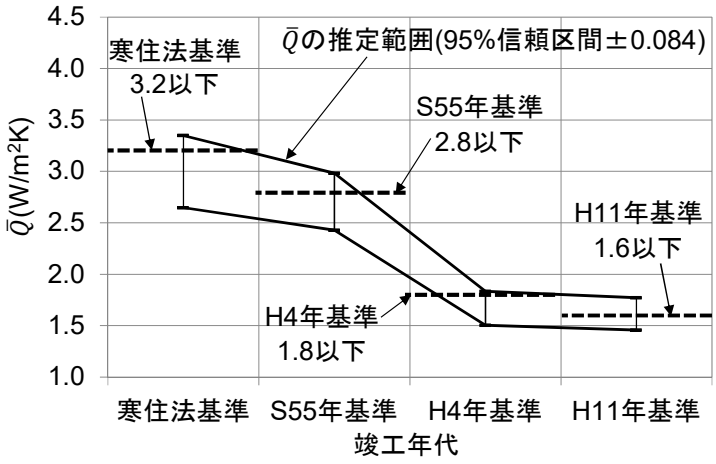


図 3-25　竣工年代別$\bar{Q}$の推定範囲

3.4　分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量の推定

3.4.1　単位床面積当たり暖房用エネルギー消費量の推定

図 3-18 に示した 815 棟分の Q 値の推定値と、拡張アメダス気象データ[10]の札幌標準年による外気温度から、第 2 章において示した式 2-21 及び式 2-22 を用いて算出（η_H=1.0、θ_{os}＝15℃として）した、各マンションの年間暖房用エネルギー消費量 ΣE_H（kWh/m² 年）を図 3-26 に、それら ΣE_H の竣工年代別平均$\overline{\Sigma E_H}$と、その 95%信頼区間を表 3-5 に示す。ΣE_H は H4 年基準以後に大きく減少するという Q 値と同様の傾向を示すことがわかる。表 3-5 に示した$\overline{\Sigma E_H}$の 95%信頼区間に Q 値の誤差である 0.084 を考慮して求めた、札幌市内の分譲マンションにおける、竣工年代別$\overline{\Sigma E_H}$の推定範囲を図 3-27 に示す。

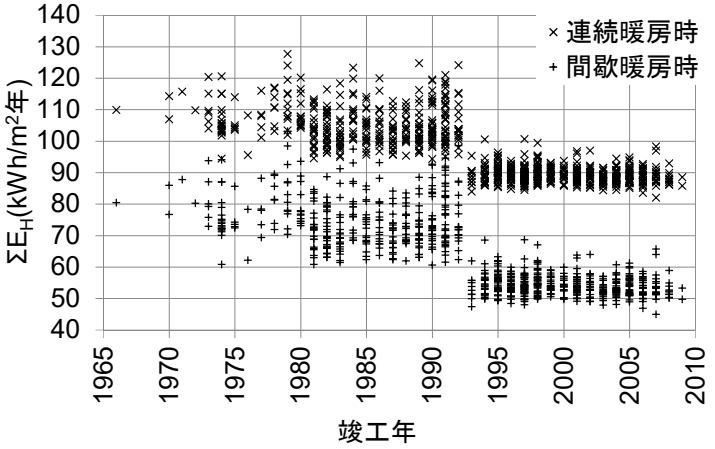


図 3-26　各マンションの ΣE_H（連続暖房時及び間歇暖房時）

表 3-5　ΣE_H の竣工年代別平均$\overline{\Sigma E_H}$と 95%信頼区間

	基準	寒住法	S55 年	H4 年	H11 年
連続暖房時	$\overline{\Sigma E_H}$推定値	109	105	90	89
	$\overline{\Sigma E_H}$の 95%信頼区間	110 107	105 104	90 89	89 89
間歇暖房時	$\overline{\Sigma E_H}$推定値	79	74	55	54
	$\overline{\Sigma E_H}$の 95%信頼区間	81 77	75 73	55 54	54 53

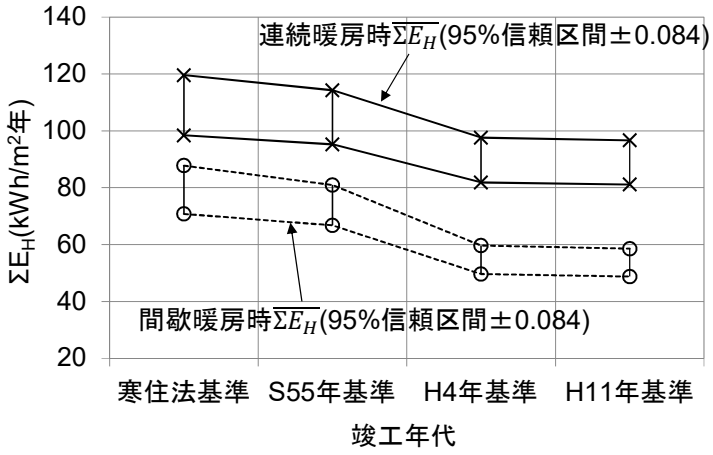


図 3-27　竣工年代別$\overline{\Sigma E_H}$の推定範囲

3.4.2　単位住戸当たり暖房用エネルギー消費量の推定

単位住戸当たりの専有部床面積 A_{m1} は、専有部延床面積 A_m と全住戸数 N_a から、次式によって求めた。

$$A_{m1} = \frac{A_m}{N_a} = \frac{0.8A_a}{N_a} \quad [\mathrm{m^2}] \quad \cdots\cdots \text{式 3-28}$$

815 棟分の A_{m1} を算出した結果を図 3-28 に、それら A_{m1} の竣工年代別平均$\overline{A_{m1}}$とその 95%信頼区間を表 3-6 に示す。これらを見ると、竣工年代が新しくなるにしたがって、A_{m1} は大きくなる傾向であることがわかる。

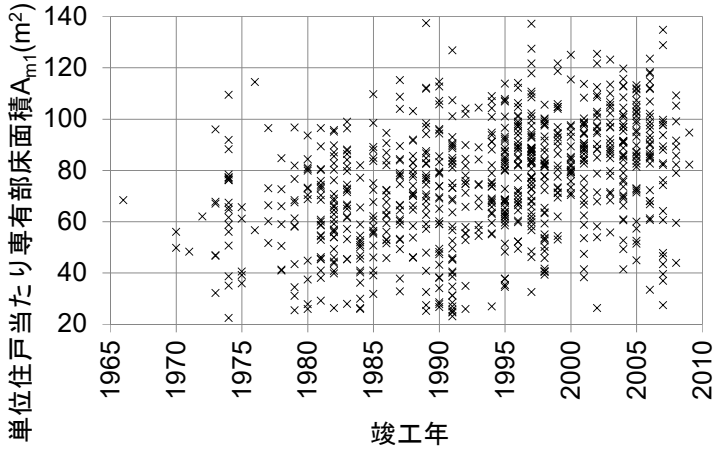


図 3-28　単位住戸当たりの専有部床面積 A_{m1} 算出値

表 3-6　A_{m1}の竣工年代別平均$\overline{A_{m1}}$と 95%信頼区間

	寒住法基準	S55 年基準	H4 年基準	H11 年基準
$\overline{A_{m1}}$	62.6	66.5	79.0	86.1
$\overline{A_{m1}}$の 95%信頼区間	57.9 67.3	64.0 69.1	76.4 81.5	83.5 88.7

図 3-27 に示した竣工年代別$\overline{\Sigma E_H}$の推定範囲と、表 3-6 に示した$\overline{A_{m1}}$の 95%信頼区間から求めた、札幌市内分譲マンションの単位住戸当たり平均暖房用エネルギー消費量$\overline{\Sigma E_{H1}}$（MWh/戸･年）の推定範囲を図 3-29 に示す。これを見ると、$\overline{\Sigma E_{H1}}$は竣工年代によらず概ね同程度である。単位床面積当たり暖房用エネルギー消費量$\overline{\Sigma E_H}$（図 3-27）は、竣工年代が新しくなるに従って減少傾向であったが、単位住戸当たり専有部床面積（表 3-6）は増加傾向であることから、単位住戸当たり換算では横這い傾向になったといえる。

図 3-29 には、参考文献[11]に示された、北海道内の家庭における暖房用エネルギー消費量（各年代における代表値として 1975 年、1985 年、1995 年、2005 年の値）も文献値として示した。なお、文献値は、各年における北海道内全ストックの、戸建住宅や賃貸集合住宅等も含めた全ての住宅の平均値であるのに対し、$\overline{\Sigma E_{H1}}$は、各省エネ基準年代間に竣工した札幌市内の分譲マンションのみの平均値となる。文献値と$\overline{\Sigma E_{H1}}$を比べると、いずれの年代においても、$\overline{\Sigma E_{H1}}$は文献値を下回っていることから、分譲マンションにおける暖房用エネルギー消費量は、その他の各種住宅よりも少なくなる傾向と考えられる。しかし、文献値における暖房用エネルギー消費量は、年代が新しくなるに従って減少しているのに対し、分譲マンションにおいては概ね横這い傾向であることから、分譲マンションとその他の種類の住宅との間の、単位住戸当たり暖房用エネルギー消費量の差は、近年になるにしたがって小さくなってきていると考えられる。

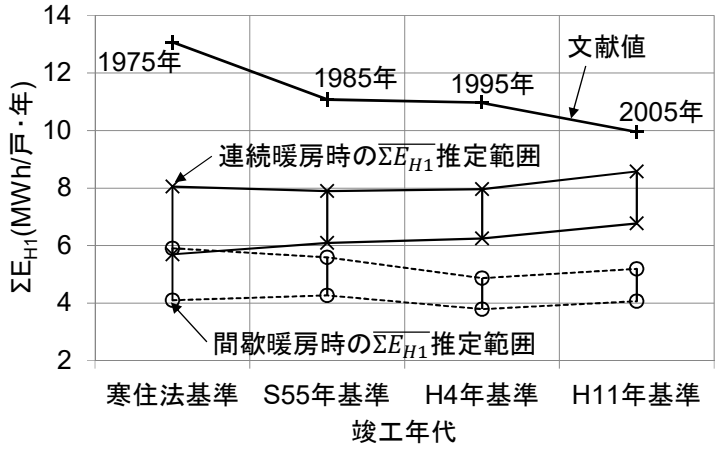


図 3-29　竣工年代別$\overline{\Sigma E_{H1}}$の推定範囲
および北海道内の家庭における暖房用エネルギー消費量[11]

3.4.3 札幌市内全ストックにおける暖房用エネルギー消費総量

図 3-4 (b)に示した札幌市内の全分譲マンションストック戸数と、図 3-29 に示した$\overline{\Sigma E_{H1}}$から、札幌市内分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量の推定範囲（竣工年代別）を算出した。その結果を、図 3-30 に示す。図 3-32 は、図 3-30 に示した各竣工年代推定範囲の中央値を用いて、それらの比率を表したものであり、図 3-4(b)に示した住戸数の比率と合わせて示した。図 3-31 および図 3-33 は、それぞれ PJ/年単位に変換して表示したものである。単位住戸当たり暖房用エネルギー消費量$\overline{\Sigma E_{H1}}$（図 3-29）は、竣工年代によらず概ね同程度であったことから、各竣工年代における暖房用エネルギー消費総量の比率は、各竣工年代の住戸数の比率と同程度になることがわかる。つまり、暖房運用方法が同様であれば、札幌市内の分譲マンションストックにおいて暖房用エネルギー消費量が最も多いのは、ストック戸数が最も多い S55 年基準年代の分譲マンション群であり、全体の 1/3 程度を占めているものと考えられる。

図 3-31 から、札幌市内全分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量（すべての竣工年代の合計）を求めると、全住戸が連続暖房であれば 3.7～4.8PJ/年（1030～1340GWh/年）、間歇暖房であれば 2.4～3.2PJ/年（670～890GWh/年）と推定される。参考文献[12]より、北海道の家庭部門におけるエネルギー消費総量は 130PJ/年程度で、そのうちの約 50%（65PJ/年）が暖房用と推測されていることから、札幌市内の全分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量は、北海道内全家庭における暖房用エネルギー消費総量の 3.7～7.4%（2.4～4.8PJ/年）程度を占めると推定される。

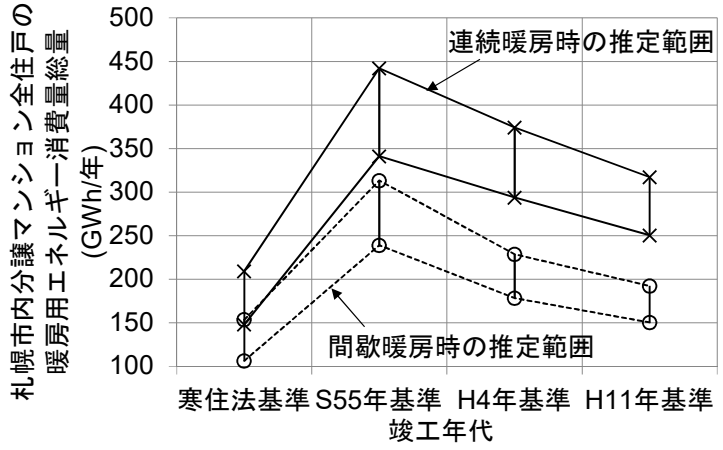


図 3-30　札幌市内全分譲マンションストックにおける
暖房用エネルギー消費総量の推定範囲（竣工年代別：単位 GWh/年）

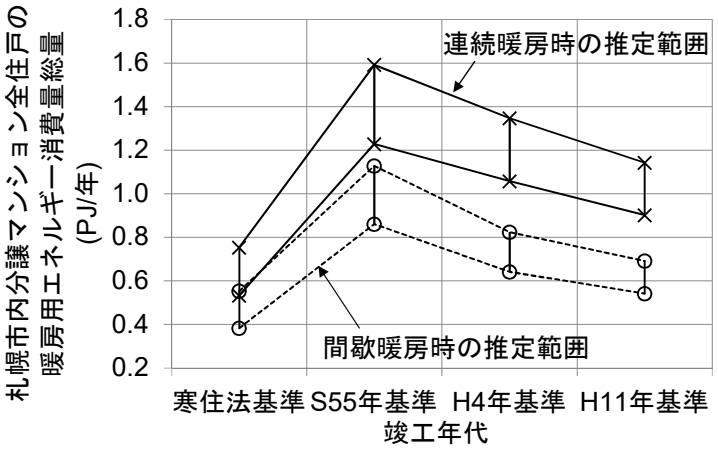


図 3-31　札幌市内全分譲マンションストックにおける
暖房用エネルギー消費総量の推定範囲（竣工年代別：単位 PJ/年）

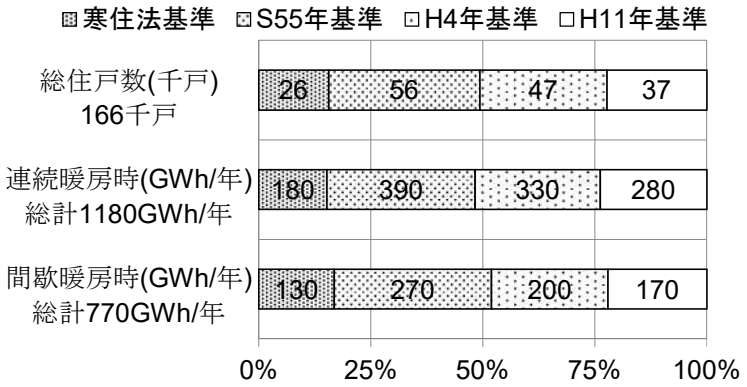


図 3-32　各竣工年代の暖房用エネルギー消費総量（単位：GWh/年）の比率

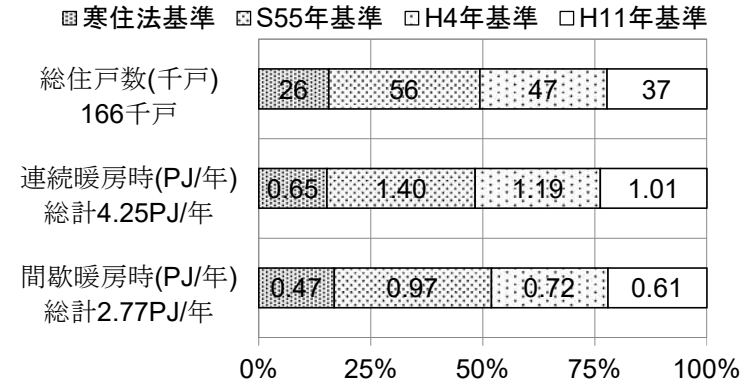


図 3-33　各竣工年代の暖房用エネルギー消費総量（単位：PJ/年）の比率

3.5　外断熱改修による暖房用エネルギー消費削減総量の推定

3.5.1　外断熱改修のシナリオ

外断熱改修によって、札幌市内の分譲マンションストックの断熱性能が向上したケースを想定し、それらで消費される暖房用エネルギーの削減量を推定する。各ケースの断熱改修仕様を表 3-7 に示す。各部位の断熱性能は熱貫流率で示した。Case1 は、1992 年以前竣工のストックを H11 年基準相当まで断熱性能を向上させた場合、Case2 は、2010 年現在の全てのストックを H11 年基準の 2 倍程度まで断熱性能を向上させた場合とした。

表 3-7　マンション各部位の竣工年代別熱貫流率（改修前）及び改修後の熱貫流率

改修前						改修後	
竣工年代 / 部位	～1980 寒住法基準相当	1981～1992 S55 年基準相当	1993～1999 H4 年基準相当	2000～H11 年基準相当		Case1 1992 年以前のストックを、H11 年基準相当まで断熱改修	Case2 全てのストックを、H11 年基準の 2 倍程度まで断熱改修
屋根	1.05	0.70	0.23	0.27		0.27	0.14
外壁	1.05	0.81	0.42	0.39		0.39	0.21
その他の床	0.81	0.81	0.36	0.38		0.38	0.21
開口部	4.07	3.49	2.33	2.33		2.33	1.90

熱貫流率単位（W/m²K）。改修前の熱貫流率は、表 3-2 と同様。Case2 における各部位の熱貫流率は、H11 年基準の各部位における断熱厚を 2 倍として設定し、窓の仕様は、Low-E 複層ガラス（G12 以上）相当とした。熱橋に関しては、屋外に面する熱橋の内、屋根スラブと界壁、界壁と外壁の各取り合いについては、外断熱改修後に熱橋は解消されるものと設定し、それ以外の部分については、改修前のままとした。

3.5.2　Case1 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定

札幌市内の 1992 年以前竣工の分譲マンション 357 棟（寒住法基準年代竣工：74 棟、S55 年基準年代竣工：283 棟）について求めた、各マンション改修前後の ΣE_H の、竣工年代別平均$\overline{\Sigma E_H}$を図 3-34（折れ線グラフ）に示す。図中の棒グラフは、図 2-20 等と同様、室内温度 6～20℃間の暖房負荷を 2℃間隔で示したものであるが、マンションの Q 値は、各竣工年代における平均値を用いた。$\overline{\Sigma E_H}$の削減率は、連続暖房運用の場合が 14～17%、間歇暖房運用の場合が 25～30%と推定された。暖房期平均室内温度は、連続暖房運用の場合が 5～6℃、間歇暖房運用の場合が 4℃程度の上昇と推定された。

単位住戸当たりの専有部床面積 A_{m1} の竣工年代別平均$\overline{A_{m1}}$と図 3-34 の$\overline{\Sigma E_H}$から、単位住戸当たりの竣工年代別平均暖房用エネルギー消費量$\overline{\Sigma E_{H1}}$を求めた結果を図 3-35 に示す。

図 3-4(b)に示した、寒住法基準年代および S55 年基準年代に竣工した分譲マンションの各住戸数と、図 3-35 に示した$\overline{\Sigma E_{H1}}$から求めた、札幌市内分譲マンションストック（1992 年以前竣工）の暖房用エネルギー消費量を図 3-36 に示す。図 3-37 は PJ/年単位に変換して表示したものである。暖房用エネルギー消費削減量は、全ての分譲マンションが連続暖房運用と想定した場合が 0.29PJ/年程度（約 15%削減）、間歇暖房運用と想定した場合が 0.37PJ/年程度（約 26%削減）と推定された。図 1-4 から、北海道の世帯あたり暖房用エネルギー消費量を年間 32GJ/世帯とすると、それらの削減量はおよそ 0.9～1.1 万世帯分に相当する。

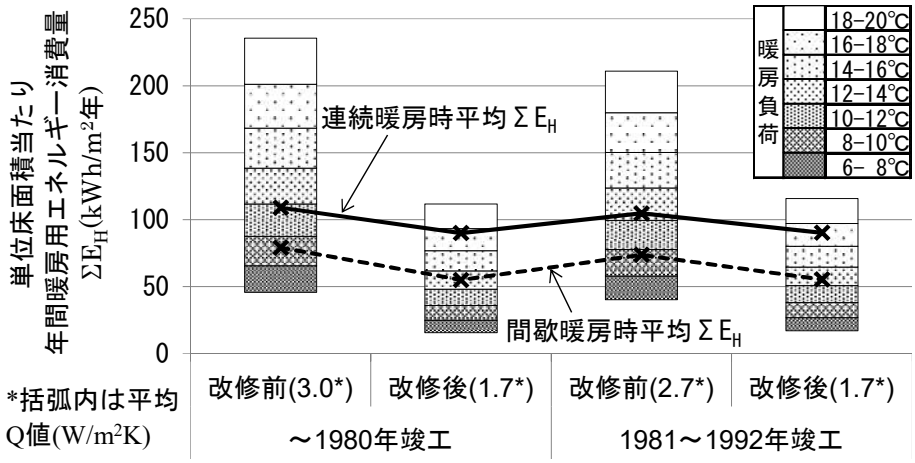


図 3-34　単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量（Case1）

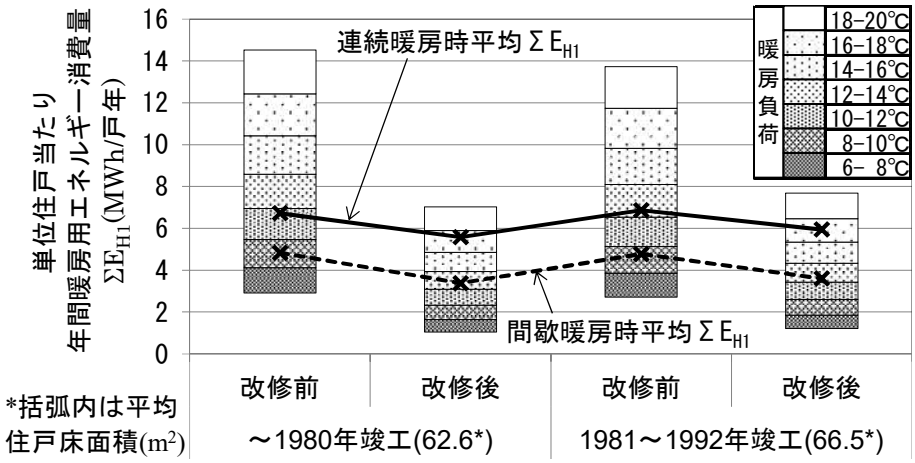


図 3-35　単位住戸当たりの年間暖房用エネルギー消費量（Case1）

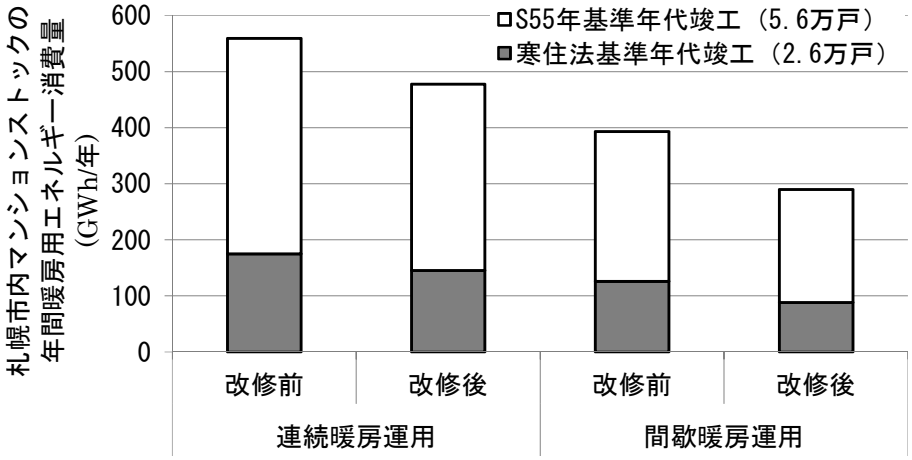


図 3-36　札幌市内分譲マンションストックの年間暖房用エネルギー消費量（Case1）
（単位：GWh/年）

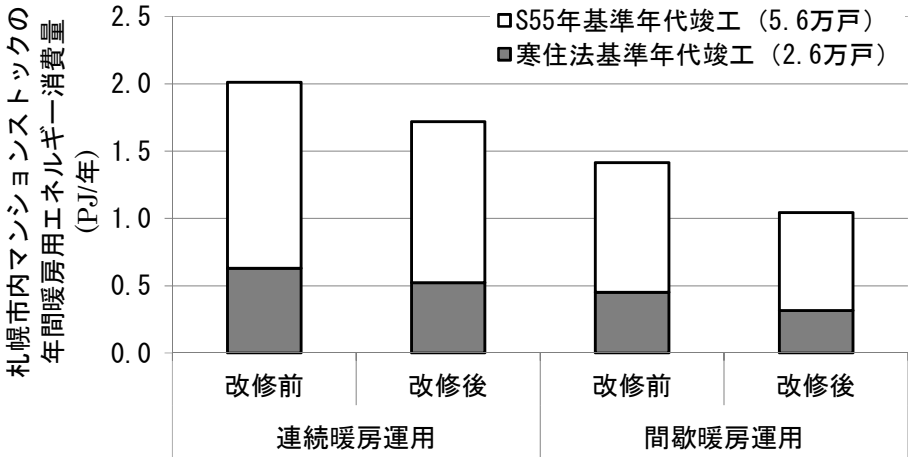


図 3-37　札幌市内分譲マンションストックの年間暖房用エネルギー消費量（Case1）
（単位：PJ/年）

3.5.3　Case2 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定

札幌市内の分譲マンション 817 棟（1992 年以前竣工は Case1 と同様、1993～1999 年竣工：230 棟、2000～年竣工：230 棟）について求めた、各マンション改修前後の ΣE_H の、竣工年代別平均$\overline{\Sigma E_H}$を図 3-38 に示す。$\overline{\Sigma E_H}$の削減率は、1992 年以前竣工においては、連続暖房運用の場合が 17～21%、間歇暖房運用の場合が 31～36%であるが、1993 年以後竣工においては、連続暖房運用の場合が 4%程度、間歇暖房運用の場合が 8～9%と推定された。これは、表 1-1 や図 3-18 を見てもわかるように、H4 年基準以後の断熱水準が、それ以前と比べて 2 倍程度の水準に引き上げられ、改修前の断熱水準が既にある程度の水準に達していたことによるものと考えられる。暖房期平均室内温度では、1992 年

以前竣工においては、連続暖房運用の場合が 7～8℃、間歇暖房運用の場合が 5～6℃、1993 年以後竣工においては、連続暖房運用の場合が 2℃程度、間歇暖房運用の場合が 1～2℃の上昇と推定された。

単位住戸当たりの竣工年代別平均暖房用エネルギー消費量$\overline{\Sigma E_{H1}}$を図 3-39 に示す。平均住戸床面積は、1993 年以後から大きく増加しており、それに伴って$\overline{\Sigma E_{H1}}$も、竣工年代が新しくなるにしたがって大きくなる傾向を示している。

Case1 と同様に求めた、札幌市内分譲マンションストック（2010 年現在）の暖房用エネルギー消費量を図 3-40 に示す。図 3-41 はPJ/年単位に変換して表示したものである。暖房用エネルギー消費削減量は、全ての分譲マンションが連続暖房運用と想定した場合が 0.45PJ/年程度（約 10%削減）、間歇暖房運用と想定した場合が 0.58PJ/年程度（約 20%削減）と推定された。図 1-4 から、北海道の世帯あたり暖房用エネルギー消費量を年間 32GJ/世帯とすると、それらの削減量はおよそ 1.4～1.8 万世帯分に相当する。

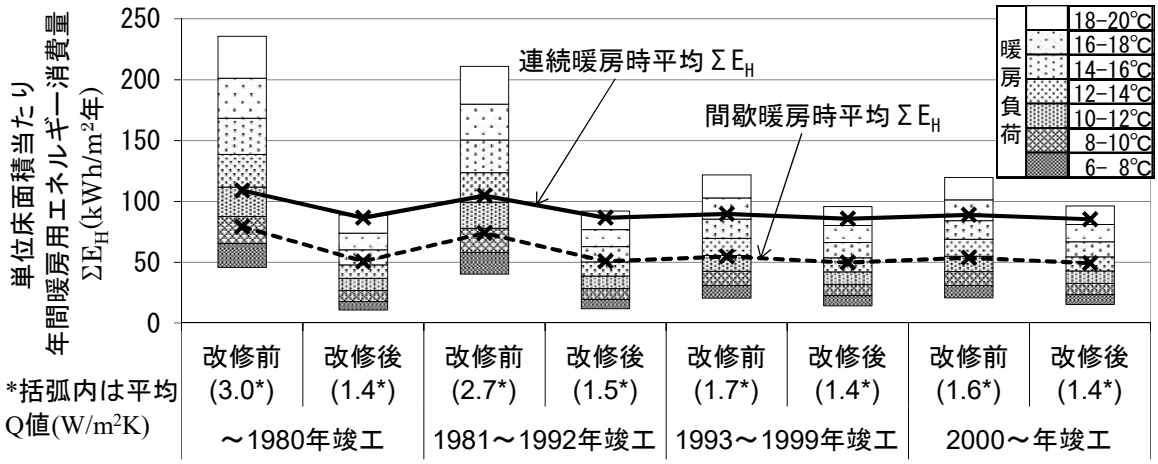


図 3-38　単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量（Case2）

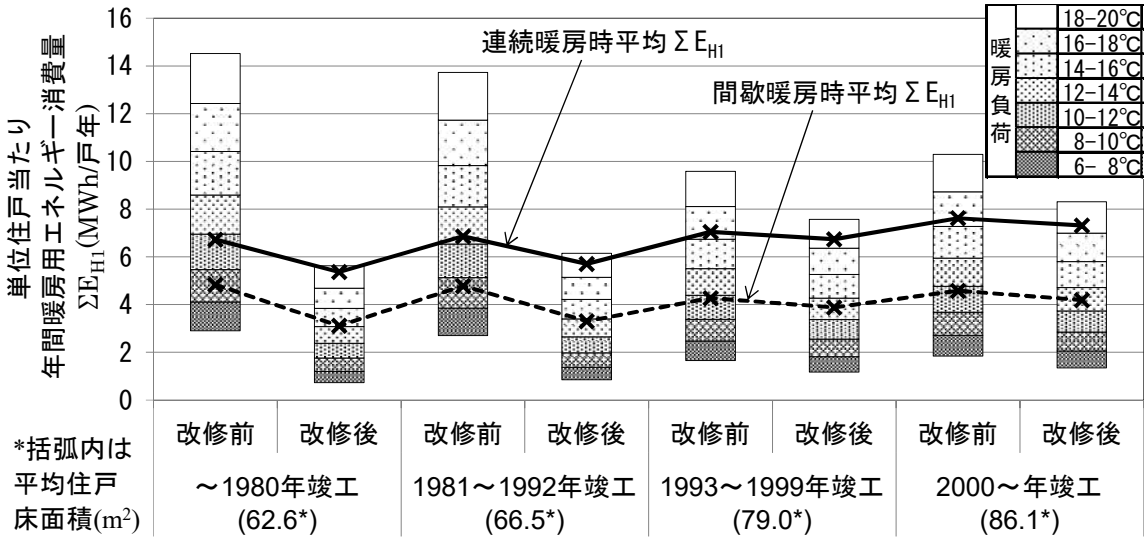


図 3-39　単位住戸当たりの年間暖房用エネルギー消費量（Case2）

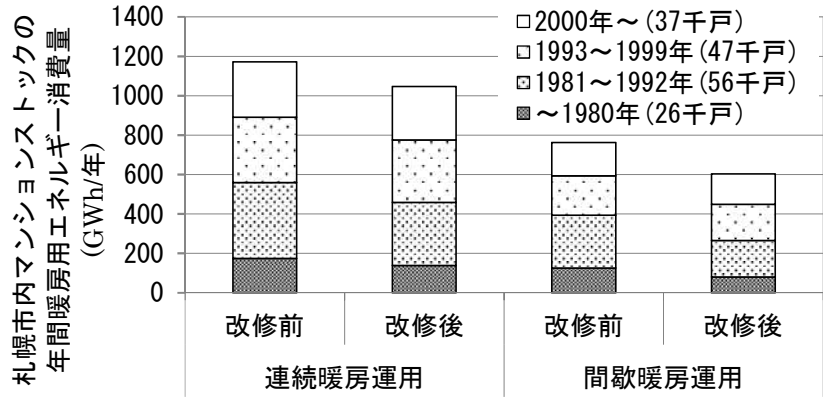


図 3-40　札幌市内分譲マンションストックの年間暖房用エネルギー消費量（Case2）
（単位：GWh/年）

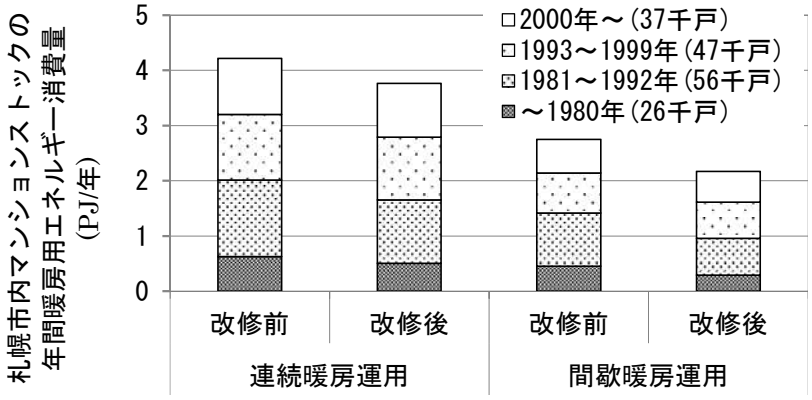


図 3-41　札幌市内分譲マンションストックの年間暖房用エネルギー消費量（Case2）
（単位：PJ/年）

3.6　第 3 章のまとめ

本章では、札幌市内の分譲マンションストックを対象に、地理情報システム（GIS）上の建物データ等を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法を示し、その熱損失係数推定値を基に、札幌市域単位での、現状の暖房用エネルギー消費量と、外断熱改修を行ったケースを想定したその削減量について示した。以下に、本章の要点をまとめる。

① 地理情報システム（GIS）上の建物データや不動産情報 Web サイト等の情報を利用した、マンション外皮面積および熱損失係数の推定方法を示した。その推定値を実際値と比較したところ、熱損失係数の誤差は、平均で±8%程度であった。

② 札幌市内全分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量は、2.4～4.8PJ/年（670～1340GWh/年）と推定され、北海道内全住宅における暖房用エネルギー消費総量の 3.7～7.4%程度を占めると考えられる。

③ 札幌市内の分譲マンションストックの、断熱改修による暖房用エネルギー消費量の削減効果を、Case1（1992 年以前竣工のストックを平成 11 年基準相当まで断熱性能を向上させた場合）と Case2（2010 年現在の全てのストックを平成 11 年基準の 2 倍相当まで断熱性能を向上させた場合）について検討した。その結果、暖房用エネルギー消費削減量は、Case1 においては 0.29～0.37PJ /年、Case2 においては 0.45～0.58PJ /年と推定された。

【第 3 章の参考文献】

1) Google Earthホームページ https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/, 2016.1.30参照

2) SUUUMO物件ライブラリ http://suumo.jp/library/, 2016.1.30参照

3) 札幌市都市局市街地整備部住宅課：札幌市分譲マンション管理実態調査報告書, 2011.3

4) 札幌市まちづくり政策局都市計画部都市計画課：都市計画情報提供サービス
http://www.city.sapporo.jp/keikaku/web-gis/, 2016.1.30参照

5) 国土交通省国土地理院：GIS・国土の情報, 地理院地図ホームページ
http://www.gsi.go.jp/gis.html, 2017.1.8参照

6) 社団法人北方圏センター：北海道の住宅および住環境のあり方に関する調査報告書, 1982.3

7) 国土交通省住宅局, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所：日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説（新築住宅）2014, 工学図書株式会社, 2014.5

8) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 Ⅱ住宅，株式会社連合印刷センター，2013.5

9) 札幌市都市局建築指導部管理課：札幌市建築基準法施行条例
http://www.city.sapporo.jp/toshi/k-shido/jourei/jourei-top.html，2016,11,20参照

10) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ1981-2000，2005.8

11) 株式会社住環境計画研究所：家庭用エネルギーハンドブック（2014年版），一般財団法人省エネルギーセンター，2013.12

12) 北海道経済産業局：グラフで見る北海道のエネルギー消費2010年度版，2010

【本章に関連する既発表文献】

13) 平川秀樹，福島明：札幌市の分譲マンションストックにおける暖房エネルギー消費量の推定，空気調和･衛生工学会北海道支部第48回学術講演論文集 P1-6

14) 平川秀樹，福島明，羽山広文：札幌市の分譲マンションストック全体で消費される暖房エネルギーの推定手法，空気調和･衛生工学会大会学術講演論文集2014.9.3~5(秋田)第5巻 P241-244

15) 平川秀樹，福島明，佐藤潤平，大橋周二，羽山広文：札幌市内の分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量の推定，日本建築学会環境系論文集，Vol.81，No.729，pp939-949，2016.11

第4章　分譲マンションにおける外断熱改修の長期的収支バランス

4.1　本章の背景と目的

建物は、経年による劣化や機能低下などが生じてくるため、その安全性や資産価値を継続的に維持するには修繕が不可欠である。分譲マンションの修繕においては、その区分所有者から徴収される修繕積立金を充当し、それぞれのマンションの長期修繕計画に基づいた大規模修繕として実施されることが標準的[1)2)]となっている。外壁に係わる大規模修繕の内容としては、外壁塗装の塗り替え、躯体損傷部やタイル剥離部の補修等の「一般的修繕」が行われており、その周期は 12 年程度で計画されることが多い。

外断熱工法は、老朽化しつつあるマンションの性能向上と長寿命化を図る効果的な改修方法のひとつと考えられるが、実際に外断熱改修が実施されたマンションは極少ない。その要因として、外断熱改修は、新たに断熱材や外装材を施す必要があり、一般的修繕と比べて導入時の費用負担が大きくなるため、資金面で不利となることが挙げられる[3)]。しかし、外断熱化による躯体損傷部の補修費用や、外断熱の外装材を高耐久仕様とすることによる外壁塗り替え費用など、外断熱改修によって大規模修繕の費用軽減が期待できる部分もあるため、一般的修繕と比較した外断熱改修の収支は、導入時の支出だけではなく、導入後の支出軽減も含めた長期的な観点からの評価が必要と考えられる。

本章では、札幌市内の分譲マンションにおいて実際に行われた外断熱改修による大規模修繕の事例を対象に行われた、長期的な大規模修繕の負担軽減手法と、それによる外断熱改修の長期的収支に関する以下の検討結果について示す。

① 各部位の耐久性の向上等によって修繕費の軽減を図る外断熱改修の高耐久技術仕様、および、その仕様を導入した長期修繕計画
② 区分所有者の経済的負担の増加させることなく実施が可能な、上記の長期修繕計画に基づいた外断熱改修の資金計画
③ 高耐久技術仕様とした外断熱改修の、一般的修繕と比較した長期的な収支バランス（少なくとも 30 年は継続して使用する前提）

4.2　外断熱改修の資金計画の考え方

外断熱改修は、導入時の費用負担が一般的修繕と比べて大きくなるため、その資金計画を実際に検討すると修繕積立金不足の場合が多いと考えられる。これは、実施に向けた合意形成を図る上で極めて大きな障害となる。

図 4-1 に、外断熱改修の資金計画の考え方を示す。外断熱改修は、一般的修繕に比べて導入時の費用負担は大きいが、躯体の保護や外装材の耐久性向上等によって、次回以降の大規模修繕費の削減を図り、長期的に収支バランスを確保することが基本的な考え方となる。つまり、外断熱改修には、マンション各部位の長寿命化を図る技術的検討と、それらの収支バランスや資金的実現性を確保するための経済的検討が不可欠といえる。

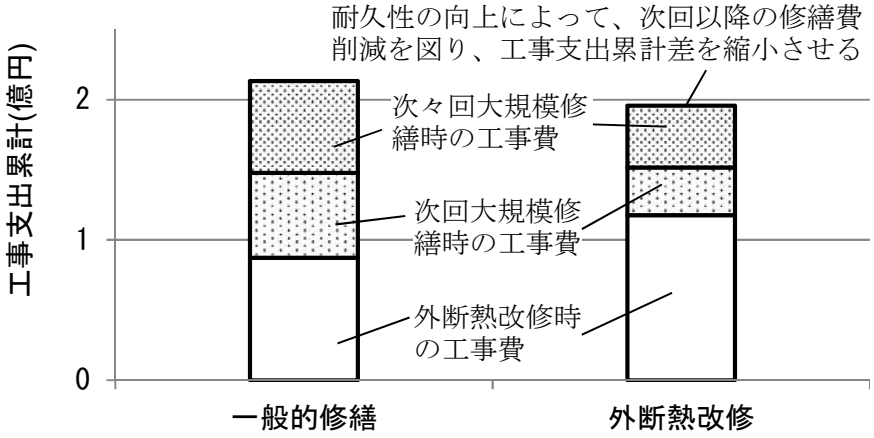


図 4-1　外断熱改修の資金計画の考え方

実際に修繕積立金不足を解消するには、借入金の利用が現実的な手段となるが、これに対する区分所有者の反発は大きい。その大きな理由は、返済のために修繕積立金の増額や一時金の徴収など、経済的負担の増加につながることへの不安によるものである。そのため、借入金に対する理解を得るには、現状の修繕積立金徴収額の範囲内で余裕のある返済が可能であることなど、将来的にも経済的負担の増加や修繕積立金不足を生じない資金計画を示す必要がある。それには、外断熱改修後の長期修繕計画が必須であり、それに基づいた資金計画を、借入金の返済計画も含めて検討する必要がある。

なお、外断熱改修によって暖房費の節減が期待されるが、資金計画には考慮しなかった。暖房費の節減分を修繕積立金に補填するには区分所有者からの徴収が必要になるが、それが修繕積立金の増額と捉えられ、区分所有者に誤解を生じさせる可能性があること、さらに、住戸位置によって暖房費の節減量が異なることから、不満の原因となる恐れがあること、などの理由による。

4.3　外断熱改修マンションの概要と課題の整理

4.3.1　外断熱改修マンションの概要

2008 年に外断熱改修が実施された M マンションは、1974 年竣工の鉄筋コンクリート造で、外壁に関しては過去に 2 度の大規模修繕による塗り替えが行われていた。したがって、外断熱改修は、外壁に関する 3 回目の大規模修繕に当たり、築後 34 年目に実施された。既存の仕様は、外壁の断熱が押出法ポリスチレンフォーム 1 種 20mm 打込による内断熱工法であった。開口部については、単板ガラス入りアルミサッシと木製内窓による二重窓が竣工当時の仕様であった。外装は塗装仕上げであったが、塗膜のひび割れや剥離などのほか、コンクリート躯体のひび割れ等も多くみられた。

M マンションの概要と主な修繕履歴を表 4-1 に、基準階平面図を図 4-2 に、改修前および改修後の外観を写真 4-1、写真 4-2 にそれぞれ示す。また、写真 4-3 にコンクリート躯体ひび割れ部分の補修状況を示す。

表 4-1　M マンションの概要と主な修繕履歴

概要		鉄筋コンクリート造　地上 7 階建て
		延床面積：4,800 ㎡
		住戸数：42 戸
		1974 年竣工(外断熱改修時：築 34 年)
主な断熱仕様等	改修前	外壁：内断熱 XPS1 種 20 ㎜打込(熱貫流率：1.34W/㎡K) 窓　：引違いアルミサッシ(単板ガラス)および 室内側にガラス障子(単板ガラス) (熱貫流率：4.40W/㎡K)
	改修後	外壁：外断熱 XPS3 種 50 ㎜付加(熱貫流率：0.40W/㎡K) 窓　：外付アルミサッシ(単板ガラス)付加 (熱貫流率：2.68W/㎡K)
主な修繕履歴		1974 年：竣工、入居 1987 年：外壁塗り替え、バルコニー防水 1990 年：屋上防水改修 1998 年：外壁塗り替え、排水管更新 2003 年：屋上防水改修、給水管更新 2008 年：外断熱改修

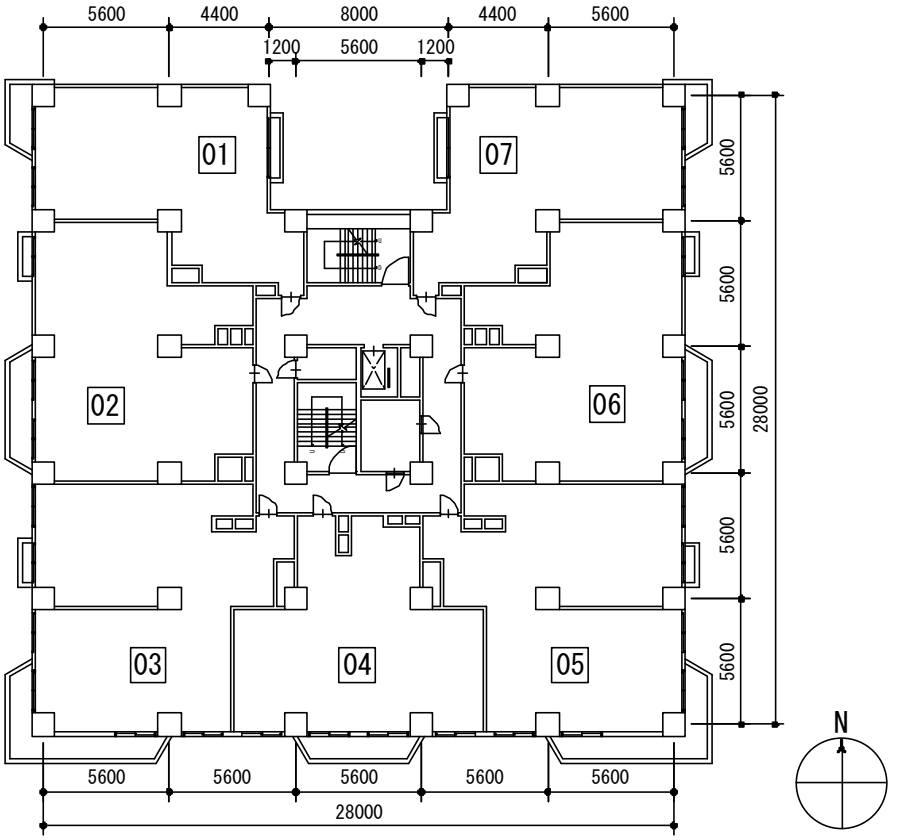


図 4-2　M マンションの基準階平面図

写真 4-1　M マンションの外観（改修前）

写真 4-2　M マンションの外観（改修後）

写真 4-3　コンクリート躯体ひび割れ部分の補修状況

4.3.2 マンションが抱えていた課題

大規模修繕の内容を検討は、管理組合の役員経験者や建築士等により構成された修繕専門委員会を中心に行われた。まず、理事会議事録や居住者ヒアリング等の事前調査から、マンションが抱えていた課題の抽出・整理を行ったが、主な課題は次の三点に集約された。

1) 寒さ・結露に関する課題

理事会議事録によれば、寒さに対する不満はかなり以前からあり、結露に対する不満も多く挙げられていた。結露発生箇所としては、外壁と床の取り合い部分および開口部がほとんどであった。竣工当時の図面によると外壁取り合い部の床面には断熱補強がされておらず熱橋となっており、その部分での結露による内装の汚染や傷みが問題となっていた。開口部においては、ガラス面やアルミ窓枠で発生した結露水が垂れ落ち、木製の額縁を傷めることが問題となっていた。寒さについては、躯体やサッシの断熱不足、サッシの気密性の悪さなどが原因と居住者に認識されていた。

2) 老朽化に関する課題

外装は塗装仕上げで、過去に 2 度の塗り替えが行われていた。しかし、塗り替えを行ってもコンクリートのひび割れや損傷の問題は解消されず、塗膜のひび割れや剥離も、5～6 年程度で再度発生するとの認識を、管理組合は持っていた。そのため、躯体コンクリートの劣化を防止して、かつ大規模修繕のサイクルを延長できる改修工法には大きな関心が持たれた。

3) 大規模修繕に関わる管理組合の負担に関する課題

竣工時からの入居者の高齢化および賃貸率増加による管理組合役員のなり手不足が問題として挙げられていた。大規模修繕時には管理組合役員が中心となって各種の作業や手続きを進めていくことになるが、それらの事務的作業とともに、所有関係や居住関係が複雑化すると、大規模修繕実施のための同意を得る作業が大きな負担になるとの認識を、両管理組合とも過去の大規模修繕実施の経験から抱いていたことがわかった。そのため、大規模修繕のサイクルを延長でき、それに伴う負担を軽減できる改修工法が期待されていた。

上記の三つの課題のうち、「寒さ」への対応は居住者から強く望まれ、その原因と認識されていた躯体やサッシの断熱不足に対して、断熱性能の向上を図ることは不可欠といえた。その方法として「内断熱改修」と「外断熱改修」を比較検討したが、室内工事となる「内断熱改修」は、内装の撤去・修復費用のほか居住者の一時的退去が必要となるなど、費用面以外でも居住者の負担が大きく、実現性に乏しいと早い段階で判断され、「外断熱改修」の採用が基本方針となった。また、外断熱に耐久性の高い外装材を加えることで、「躯体の保護」と「外装材の耐久性向上」による「外壁の老朽化」対策となり、さらに、将来の外壁修繕の費用や頻度の軽減が期待できるため、「管理組合の負担」の軽減対策と

しても有効な対応と捉えることができ、区分所有者から合理的な改修方法であるとの理解が得られた。表 4-2 に、主に修繕専門委員会において検討された各課題への対応策とその長短を示す。

表 4-2　マンションが抱えていた課題への対応策とその長短

課題		対応策	長所	短所
寒さ・結露	躯体の断熱不足および熱橋	内断熱改修	・住戸単位での改修が可能	・内装を一度撤去して修復する必要がある ・居住者の一時的な退去が必要 ・断熱補強が難しく、熱橋が改善されない ・断熱厚を増した分、室内が狭くなる
		外断熱改修	・居住したまま改修可能 ・専有部分での工事は基本的になし	・区分所有者の合意が必要
	サッシの断熱不足および隙間風	断熱内窓取付	・実績多い ・工期が短い	・専有部分での工事が必要
		ガラス取替	・実績多い ・工事費が小さい	・サッシ枠の熱損失および結露は改善されない ・気密性は改善されない
		外付サッシ付加	・専有部分での工事は基本的になし	・一般的に、外断熱工法との併用が前提
老朽化	外装劣化	塗装塗替え	・実績が豊富 ・工事費が小さい	・修繕サイクルが短い ・躯体の劣化防止には効果が少ない
		外装更新	・高耐久外装材を使用することで、修繕サイクルの延長が期待できる	・工事費が大きい ・断熱効果はない
		外断熱改修	・断熱が強化される ・高耐久外装材を使用することで、修繕サイクルの延長が期待できる	・工事費が大きい
	躯体損傷	損傷部補修	・工事費が小さい	・根本的解決にはならない
		外断熱改修	・躯体の保護効果があり、耐久性が向上する	・工事費が大きい

4.4　外断熱改修の高耐久仕様の検討

長期的な費用等の負担軽減と技術的信頼性の確保を念頭に置き、外断熱改修の高耐久仕様の検討を行った。各部の概要を図 4-3～図 4-4 に示す。

4.4.1 外装

耐久性のほか、施工コストや重量等も考慮して、高耐久鋼板外装、塩ビ樹脂サイディング、湿式外断熱の 3 種類の外装を選定した。

高耐久鋼板外装はフッ素コーティングによる退色防止効果、切断面などのめっき剥離部分の自己被覆機能を有するなど、従来の塗装鋼板に比べ、耐久性が大きく向上していると判断した[4)]。

塩ビ樹脂サイディングは、北米で 30 年以上の実績があり、最も一般的な外装材となっている。塩ビ樹脂は化学的に安定した性質を有することもあって、その耐久性は極めて高いとされている[5)6)]。

なお、高耐久鋼板外装および塩ビ樹脂サイディングの下地となる鋼製胴縁材は、切断面の自己被覆機能を有するなど、従来の溶融亜鉛めっき（Zn）に比べ、非常に高い耐久性を有する高耐食性めっき鋼板[7)]（Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Si）を素材としている。鋼製胴縁材を躯体に留め付けるコンクリートビスは、耐電食処理を施したステンレス製のものを用いた。

湿式外断熱は欧州で広く普及しており、最も一般的な外断熱改修工法である。とくに発祥地であるドイツでは、一般的に施工されるようになってから 30 年以上の実績があり、剥落やひび割れ等の耐久性に関わる基本的性能は実証されていると判断した[8)]。なお、湿式外断熱仕上塗材の退色や汚れに関しては、12 年毎の洗浄や重ね塗りによって対応することとした。

以上 3 種類の外断熱外装は、当時、国内での提供がされて間もないものもあったが、国外や国内での類似の工事事例、参考文献[4)~8)]等から、30 年程度は全面的な取り替えなどの大規模な修繕が必要となる可能性は低いと判断した。

各外装は、費用や意匠性、メンテナンス性等を考慮し、部位等によって使い分けを行った。高耐久鋼板外装は、長尺品を用いた大面積の施工が得意であることなどから、開口部の少ない北面に用いた。塩ビ系樹脂サイディングは、開口部の多いその他の三面に用いたが、各種役物が既製部材として揃っていることのほか、色調等が改修前の雰囲気に近いことが理由である。湿式外断熱は、意匠的に単調になることを避けるため、そして 12 年毎のメンテナンス費をできるだけ節減するため 1 階とバルコニー腰壁に用いた。

4.4.2 窓

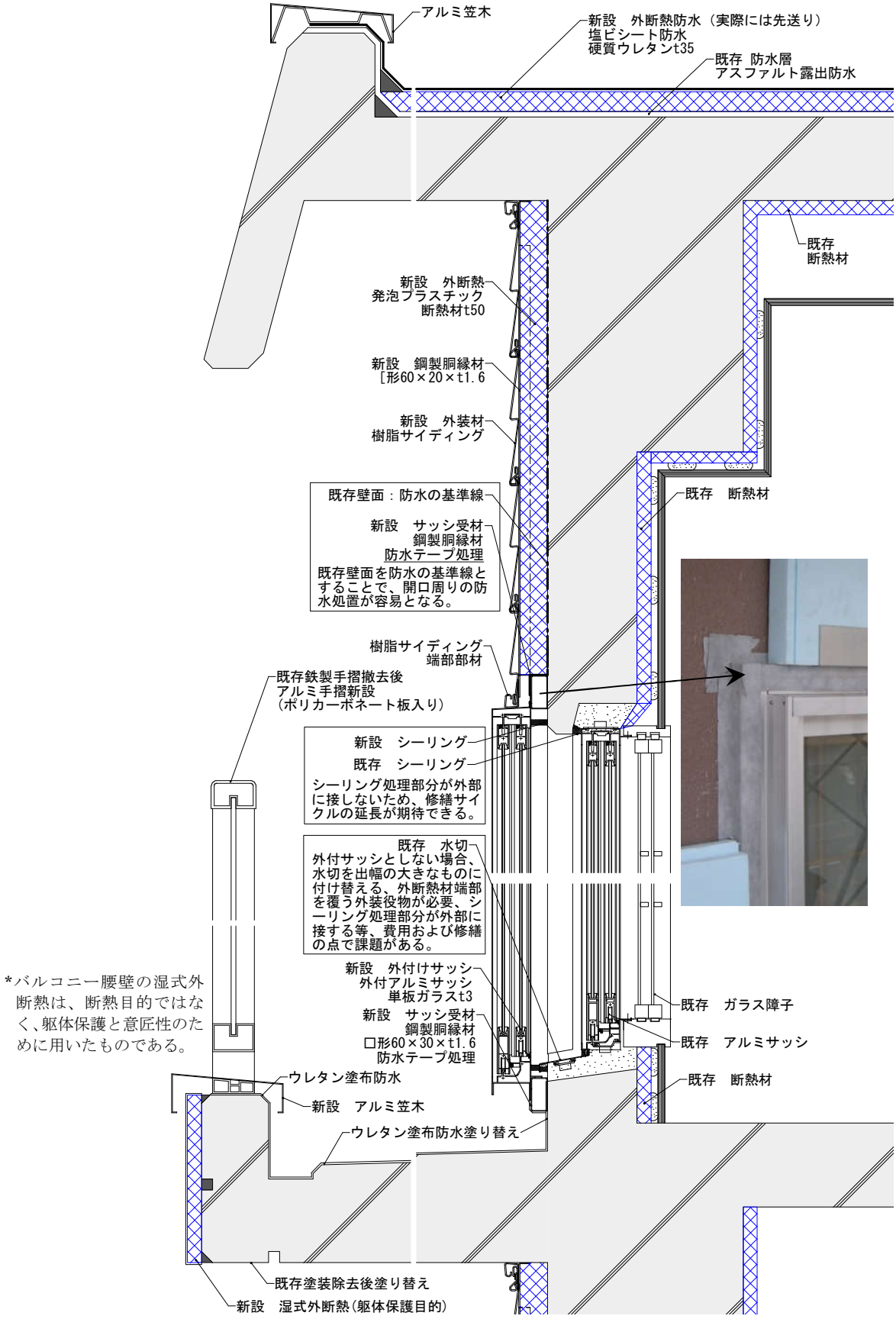
施工コストやメンテナンス性のほか、防水の信頼性も念頭に置き、既存のサッシの外側に単板ガラス入りのアルミサッシを外付けする「外付けサッシ付加」と、室内側に樹脂製内窓を新設する「断熱内窓取付」を比較検討した。

「外付けサッシ付加」は、外部に接するシーリング部分を減らして、それらに関する修繕の負担軽減が期待できるほか、既存の壁面を防水の基準線とした納まりが可能となるので、外壁の防水施工において最も注意を要する開口部周りの防水の信頼性確保が容易になる点が「断熱内窓取付」に対する長所となる。さらに、室内工事を回避できること、水切などの開口部周り役物の費用を節減できること等から「外付けサッシ付加」による改修を選択した。

4.4.3 屋上

とくに、防水の信頼性確保と耐久性の観点から検討を行い、既存のアスファルト露出防水を補修した上から、硬質ウレタンボード 35mm と塩ビシート防水を用いた外断熱防水による改修とした。二重の防水層が形成されることで防水の信頼性が向上するほか、既存のアスファルト防水層は新設された外断熱防水によって、最大の劣化要因である日射熱や紫外線から保護されることになるので、耐久性の向上も期待できる[9]。

なお、実際には、予算の都合等により、屋上の外断熱改修を先送りすることとした。



*バルコニー腰壁の湿式外断熱は、断熱目的ではなく、躯体保護と意匠性のために用いたものである。

図 4-3　外断熱改修の高耐久仕様の概要
屋上および外壁（掃き出し窓）

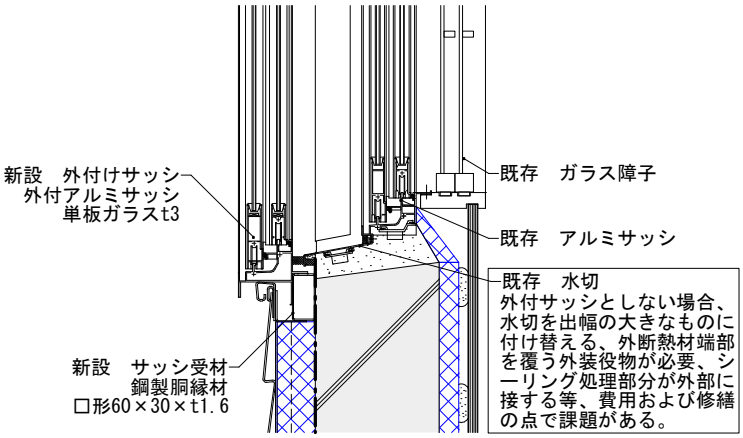


図 4-4　外断熱改修の高耐久仕様の概要
腰窓下部

4.5　外断熱改修の資金計画の検討

4.5.1　長期修繕計画の概要

「一般的修繕」と「外断熱改修」それぞれにおける、長期修繕計画の工事内容と工事費の概要を表 4-3 および表 4-4 に示す。「一般的修繕」には、「寒さ・結露」対策として、比較的工事の容易な断熱内窓取付による窓の改修費用を計上している。また、「外断熱改修」には、実際には先送りされた屋上の外断熱改修工事費を計上している。

外皮に関わる長期修繕計画は、外断熱改修時の築 34 年目を起点(0 年目)として、12 年サイクルで大規模修繕が行われることとした。一般的修繕の工事内容や工事費は参考文献[2)10)]等を基にした。外断熱改修の工事内容は、先述した高耐久仕様とし、工事費は他の外断熱改修マンションでの事例[11)~13)]や参考文献[2)10)]等を基にした。一般的修繕と外断熱改修で差違が生じない部位については、共通の工事内容・工事費とした。内装・設備類に関わる長期修繕計画は、工事内容や修繕周期、工事費については参考文献[2)10)]等を基にし、それまでの改修履歴も考慮して工事年を設定した。工事費の算出は一括発注方式を前提として行った。

なお、36 年目（築 70 年目）の大規模修繕においては、その後 12 年程度は継続して住まい続けることを前提に、外皮に関わる修繕工事費を計上している。

表 4-3　長期修繕計画における工事内容と工事費の概要（外皮に関わる分）

	工事部位	工事面積(㎡)	外皮に関わる工事費(万円) 0年目	12年目	24年目	36年目	外皮に関わる主な工事内容
一般的修繕	仮設	4,800	730	730	730	730	・本足場(60 日間)
	屋上	800	1,100	800	920	980	部位工事費合計
			920		920		・アスファルト露出防水(既存防水撤去後に新設)
				800		800	・アスファルト露出防水(既存防水上に新設)
			180			180	・笠木取替等
	外壁	2,400	2,110	1,830	2,110	1,830	部位工事費合計
			1,560		1,560		・既存塗装全面撤去後に躯体補修および再塗装
				1,440		1,440	・躯体補修後、既存塗装部分撤去後に再塗装
			390	390	390	390	・シーリング取替(開口周り、打ち継ぎ目地等)
			160		160		・換気口取替等
	開口	600	1,800	180	180	180	部位工事費合計
			1,800				・樹脂製内窓取り付け
				180	180	180	・サッシの建付調整等
	共通		1,230	1,230	1,230	1,230	・バルコニー、手摺、塔屋等修繕
	工事諸経費等		1,750	1,290	1,380	1,290	・調査診断費、設計監理費、工事諸経費等
	工事費合計		8,720	6,060	6,550	6,240	
外断熱改修	仮設	4,800	970	300	300	970	部位工事費合計
			970			970	・本足場(90 日間)
				300	300		・部分足場もしくはゴンドラ
	屋上	800	1,370	150	920	330	部位工事費合計
			1,190				・外断熱シート防水(既存防水上に新設)
				150		150	・シート防水の部分補修
					920		・シート防水(既存防水撤去後に新設)
			180			180	・笠木取替等
	外壁	2,400	4,160	780	860	2,440	部位工事費合計
			3,880				・躯体補修後、外断熱改修(既存仕上げ上に新設)
				660	660		・外断熱外装仕上げの部分補修
						2,240	・外断熱外装仕上げの全面張替及び一部下地補強
			120	120	120	120	・シーリング取替(開口周り)
			160		80	80	・換気口取替等
	開口	600	1,800	180	180	180	部位工事費合計
			1,800				・外付けサッシを既存サッシ上に付加(受材含む)
				180	180	180	・サッシの建付調整等
	共通		1,230	1,230	1,230	1,230	・バルコニー、手摺、塔屋等修繕
	工事諸経費等		2,240	750	930	1,270	・調査診断費、設計監理費、工事諸経費等
	工事費合計		11,770	3,390	4,420	6,420	
工事費合計の差*			-3,050	2,670	2,130	-180	*[一般的修繕工事費合計]－[外断熱改修工事費合計]

表 4-4　長期修繕計画における工事内容と工事費の概要（内装・設備類に関わる分）

内装・設備類に関わる工事内容等 （一般的修繕と外断熱改修で共通）		
工事年	工事費(万円)	主な工事内容
2 年目	590	・共用内部修繕 ・鉄部塗装替え等
8 年目	2,800	・EV 更新等
11 年目	2,070	・排水管更新 ・ガス管更新等 ・自火報設備修繕
14 年目	1,370	・共用内部修繕等 ・敷地外構施設 ・外構整備等
20 年目	2,730	・給水管更新 ・受水槽更新等
23 年目	350	・EV 修繕等
26 年目	2,740	・共用内部修繕等 ・電気関係修繕等 ・自火報設備修繕
31 年目	1,220	・排水管等更新

外断熱改修各外装の工事面積および工事費等の詳細を表 4-5 に示す。工事面積および工事費の下段(括弧内)は、補修部分の面積および工事費を表す。

表 4-5　外断熱改修各外装の工事面積および工事費等の詳細

外装種類*	工事面積**：㎡ (下段は補修時の工事面積)	工事費***：万円 (下段は補修部の工事費)			
		0 年目	12 年目	24 年目	36 年目
鋼板 (35%)	850	1,350			660
	(300)		(230)	(230)	(140)
樹脂 (55%)	1,300	2,140			1,000
	(470)		(360)	(360)	(240)
湿式 (10%)	250	390			200
	(90)		(70)	(70)	

* 外装種類は、鋼板：高耐久鋼板外装、樹脂：塩ビ樹脂サイディング、湿式：湿式外断熱を表し、括弧内は各外装の施工面積比である。

** 工事面積の上段は、各外装の全体の施工面積、下段は補修部分の面積で、補修面積率は、各外装とも使用年数を 36 年として年 3%(≒100/36)とした。

*** 工事費は、0 年目が外断熱改修時の工事費（断熱および外装）、12 年目および 24 年目が外装の補修工事費、36 年目は上段が外装の全面張替費、下段が下地の補修費である。高耐久鋼板外装および塩ビ樹脂サイディング下地の補修は、全体の 1/3 程度に下地の補強をすることとした。湿式外断熱は、下地はそのままで、塗材の重ね塗り費用のみを計上した。

註 鉄筋コンクリート造の外壁に、樹脂サイディングや発泡プラスチック系断熱材などの可燃材料を張る場合の取扱については、日本建築行政会議編集：建築物の防火避難規定の解説 2002[14]の「9）耐火構造の外壁に木材、外断熱材等を施す場合の取扱い」に示されており、「告示に例示された耐火構造（～括弧内省略～）の外壁や軒裏に、表面材として木材などの可燃材料を張る場合や、外壁に一定の性能を有する外断熱材を施す場合は、それぞれの構造に必要な性能を損ねないと判断できる。～中略～　また、鉄筋コンクリート造、～中略～の外壁については、有機系の断熱材（JIS 製品である発泡プラスチック～下表省略～）を用いた外断熱を施すことも可能である。」とされている。当該マンションの外断熱材には JIS A 9511「発泡プラスチック保温材」に適合する断熱材が使用されている。また、その断熱材の酸素指数*は 26 以上であり、それに対して樹脂サイディング（塩化ビニル樹脂製）の酸素指数は 45 以上[6]と、さらに非燃焼性が高いことから、構造に必要な性能を損ねないと判断された。

* 消防法に関わる合成樹脂（JIS 製品である発泡プラスチック断熱材、樹脂サイディングも含まれる）の不燃性及び難燃性の判断については、「消防法施行令の一部改正に伴う運用について」（昭和 54 年 10 月 2 日付け消防予第 184 号消防庁予防救急課長通知）により、JIS K 7201「プラスチック―酸素指数による燃焼性の試験方法―」に基づく酸素指数にて判断される。ここで、酸素指数 26 以上のものは不燃性又は難燃性を有するものとして取り扱われる。

4.5.2　長期修繕計画に基づく資金計画の検討

表 4-3 および表 4-4 の長期修繕計画を基に、修繕積立金残高と各工事支出の関係を、外断熱改修時（0 年目）から年度毎に表し、一般的修繕と外断熱改修の資金計画として比較したものを図 4-5 に示す。修繕積立金徴収月額は、専有床面積に対して 200 円/㎡ [15] で、共通である。

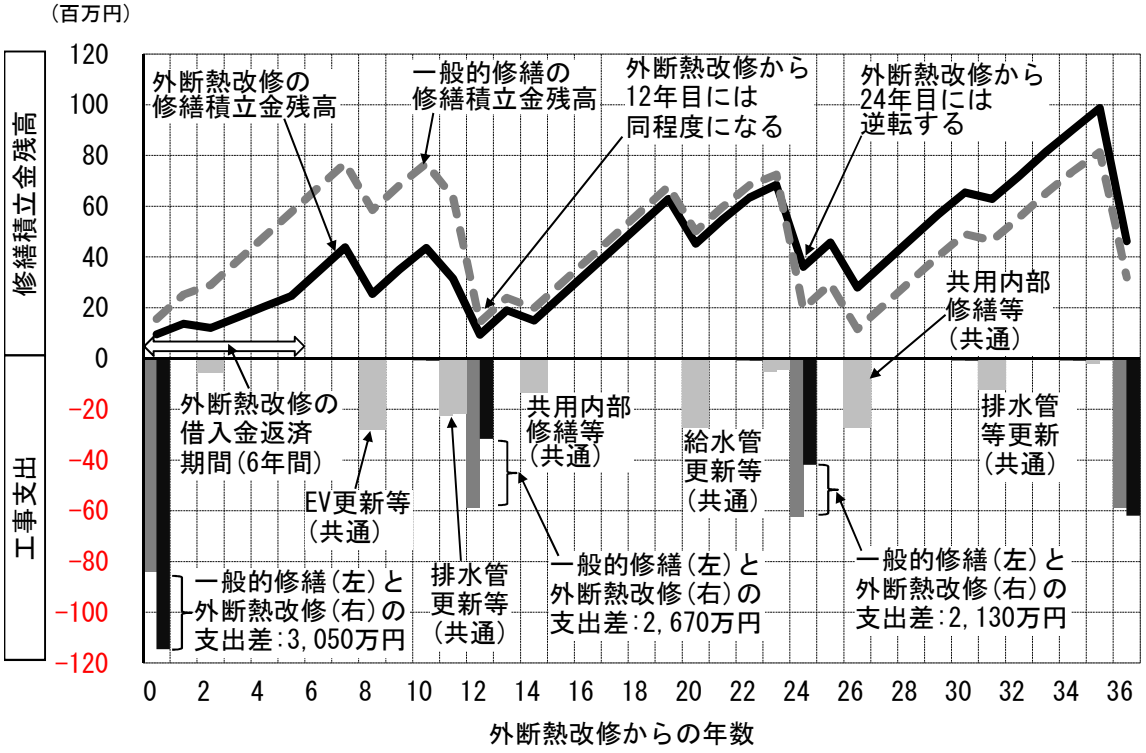


図 4-5　一般的修繕と外断熱改修の資金計画の比較

* 築 70 年目においては「建て替え」に関する検討が重要になると予想されるが、ここでは、暫定的に 12 年程度継続して住まうこととして外皮に係わる修繕工事費を計上した。

外断熱改修には借入金の返済計画を組み込んでいる。借入額は 3,000 万円とし、年率 2.7%の固定金利、元利均等返済の設定で、返済期間および年間返済額は 6 年間、540 万円/年とした。年間返済額の修繕積立金徴収額に対する割合は約 55%で、余裕のある返済計画と考えられるが、返済期間中は修繕積立金収入が大幅に減少することになり、一般的修繕の修繕積立金残高に比較して、その返済期間中である外断熱改修から 6 年の間に大きな差がつくことがわかる。従って、特に返済期間中の修繕費支出に対しては、修繕積立金に破綻を生じさせないよう、十分な配慮が必要となる。M マンションの場合においては、エレベーター(EV)の更新がされていなかったため、近い将来に必須の支出になると考え、長期修繕計画では借入金返済終了後の 8 年目に実施することとして資金計画を立

案した。ただし、実際には、EV 更新が前倒しとなることも考えられたため、5 年前に防水改修が行われたばかりであり、外壁工事との関連が低く、屋根単独での工事が可能な屋上の外断熱防水工事を先送りして、EV 更新に資金的に備える対応を取った。

また、12 年目の次回大規模修繕時前後のように、費用の大きな修繕工事が連続する時期は修繕積立金残高不足に陥りやすい傾向がわかる。初期導入費用が大きくなりがちな外断熱改修においては、それらの資金不足に対する長期修繕計画上の配慮は重要になるといえ、M マンションでの検討から得られた、その要点を以下にまとめる。

① マンションの現状や改修履歴を考慮して、修繕の優先度と次の修繕時期を把握する。
② 施工部位が異なるなど他工事との作業的・費用的関連度の低い工事は、修繕の優先度と次の修繕時期を鑑みて先送りを検討する。
③ 費用の大きな修繕工事については、その工事以後の修繕工事と修繕積立金残高の関係を考慮して、適切な修繕間隔を取るように計画する。
④ 借入金の返済期間中は、修繕積立金残高の増加が少なくなるので、費用の大きな修繕の計画には注意を要する。

4.5.3 外断熱改修の収支バランス

一般的修繕と比較した外断熱改修の収支バランスについて、0 年目以後の修繕工事支出の累計から考察する。図 4-6 に、それぞれの累計工事支出の比較結果を示す。一般的修繕および外断熱改修ケース A は、表 4-3 および表 4-4 に示した各年度における工事費を累計したものである。外断熱改修ケース B は、不測の修繕費支出が生じるケースを想定して、36 年目の修繕を、24 年目に前倒し（屋上に係わる修繕費はそのまま）して計上したものである。なお、外断熱改修の累計工事支出には、借入金の金利負担分も含めている。

一般的修繕と外断熱改修（24 年目まではケース A、B ともに同額）の、0 年目から 12 年目までの累計工事支出の差は、0 年目の工事費の差に金利負担分を含めて、最大 3,300 万円程で推移する。しかし、外断熱改修は、次回大規模修繕（12 年目）の工事支出を 2,670 万円（仮設で 430 万円、屋上で 650 万円、外壁で 1,050 万円など）削減できる見込みであることから、その差は 600 万円程度にまで縮小し、累計額から見ると、わずかな差となる。つまり、一般的修繕と比較した外断熱改修の収支は、次回大規模修繕（12 年目）時において、概ね同程度になる見込みといえる。

また、次々回の大規模修繕後（24 年目）においては、外断熱改修ケース A は工事支出を 2,130 万円（仮設で 430 万円、屋上は同額、外壁で 1,250 万円など）削減でき、一般

的修繕よりも累計支出が 1,600 万円程、抑えられる見込みとなった。これまで実績の少ない外断熱改修の修繕費については、不測の支出も予想されるが、36 年目に計上した外断熱外装仕上げの全面張替および一部下地補強が、24 年目に前倒しになった（外断熱改修ケース B）としても、一般的修繕に対する外断熱改修の支出増分は 1,000 万円程度であり、累計額からみれば小さい。

以上のことから、高耐久仕様とした外断熱改修の長期的収支は、一般的修繕と比較して大きくは変わらないと予想される。つまり、外断熱改修導入時の支出は、一般的修繕の将来の支出を、事前に先行して行うことであり、マンションの劣化・陳腐化に対して予防的に対応するための支出と解釈することができる。

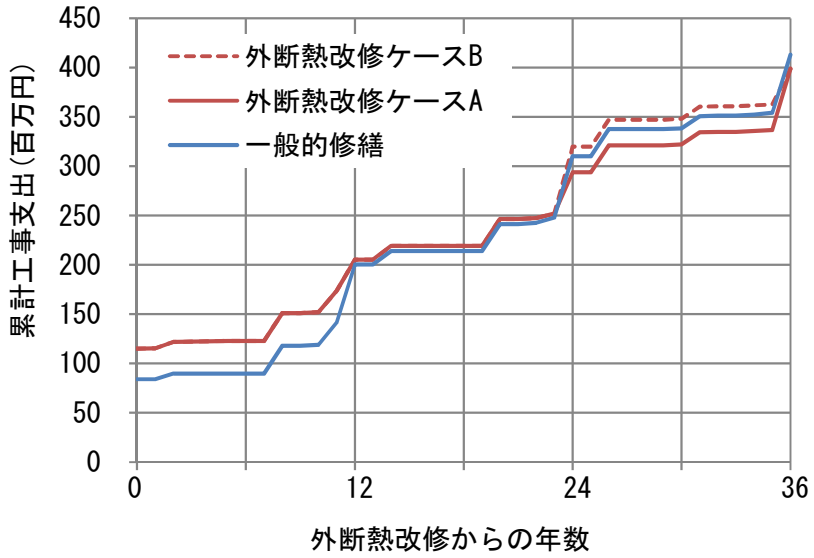


図 4-6　一般的修繕と外断熱改修の累計工事支出の比較

4.6　第 4 章のまとめ

本章では、札幌市内の分譲マンションにおいて実際に行われた外断熱改修による大規模修繕の事例を対象に、外断熱改修の高耐久技術仕様、その仕様を導入した長期修繕計画および資金計画、一般的修繕と比較した外断熱改修の長期的収支を比較検討した。以下に、本章の要点をまとめる。

① 外断熱改修には、マンション各部位の長寿命化を図る技術的検討が、その長期的収支バランスを確保する上で不可欠となる。本章では、耐久性のほか、施工コストや維持・修繕のしやすさなども考慮した、外断熱改修の高耐久技術仕様を示した。

② 外断熱改修は、導入時の支出が大きくなることから、借入金の必要性が高くなる。したがって、その資金計画には、外断熱改修後の維持・修繕に加え、借入金の返済計画も含めた検討が必要であり、それには、外断熱改修後の長期修繕計画が不可欠となる。

③ 高耐久技術仕様とした外断熱改修の長期的収支は、暖房費の節減分を含めなくとも、一般的修繕と比較して大きくは変わらず、長期的な収支バランスの確保が十分可能であることを示した。このことから、一般的修繕と比べて大きくなる外断熱改修導入時の支出増分は、マンションの劣化・陳腐化への事後対応ではなく、予防するための支出と解釈することができる。

【第 4 章の参考文献】

1) 国土交通省：改修によるマンションの再生手法に関するマニュアル，2004

2) 財団法人マンション管理センター：マンションの修繕積立金算出マニュアル，2004

3) 一般社団法人北海道建築技術協会：外断熱改修への手引き2009年改訂版，2009.3

4) 辻本吉寛，池田法民：新規復合サイクル試験機による外装用塗装鋼板の耐久性評価方法に関する研究(その7，その8)，日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，A-1分冊，p479～482，2008.9

5) 樹脂サイディング普及促進委員会：長寿命外装材　樹脂サイディング，2004

6) 樹脂サイディング普及促進委員会：樹脂サイディング資料集，2008

7) 日本規格協会：JIS G 3323 溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板及び鋼帯，2012

8) Helmut Künzel, Hartwig M. Künzel and Klaus Sedlbauer：Long-term Performance of External Thermal Insulation Systems, FRAUNHOFER INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP Report 461, 2005

9) 松村知子ほか4名：屋根断熱防水工法（USD工法）の経年劣化に関する調査研究（その1,そ

の2），日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，p849～852，2005.7

10）財団法人経済調査会：積算資料ポケット版マンションRe2008後期，2008.5

11）佐藤潤平，福島明，奈良謙伸：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第1報，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.79，p203～206，2006.07

12）長谷川寿夫ほか3名：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第2報，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.79，p207～210，2006.07

13）佐藤潤平ほか3名：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第3報，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.80，p369～372，2007.07

14）日本建築行政会議：建築物の防火避難規定の解説2002，2002.10

15）国土交通省：マンションの修繕積立金に関するガイドライン，2011.4

【本章に関連する既発表文献】

16）福島 明，佐藤 潤平，平川 秀樹，舘脇 英，長谷川 寿夫，奈良 謙伸，森 秀樹：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第4報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.82，p221～224，2009.07

17）平川 秀樹，福島 明，長谷川 寿夫，佐藤 潤平，舘脇 英，森 秀樹，広瀬 茂樹：中高層民間分譲マンションの外断熱改修事例研究第5報，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.82，p225～228，2009.07

18）平川秀樹，福島明，佐藤潤平，奈良謙伸：分譲マンションの外断熱改修による大規模修繕の負担軽減手法およびその長期的収支バランス，日本建築学会技術報告集　第21巻　第47号，321-326，2015.2

第5章　総括

5.1　本研究のまとめ

本研究では、札幌市内の分譲マンションストックにおいて、外断熱改修等の性能向上改修の普及に寄与することを目指し、「札幌市内の分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量削減に関する研究」と題して、とくに外断熱改修の断熱性能向上による効果と、その実現に向けた資金面での考え方について示した。

第 1 章「序論」では、札幌市内の分譲マンションストック 3500 棟（2010 年現在）のうち約半数が、現行基準の半分程度の断熱性能しか有していないと考えられ、それらを良質なストックとして活用していくには、断熱改修により時代に応じた性能を確保する必要があること、外断熱工法は建物の省エネルギー性能や耐久性が向上し、さらに改修工法としても適していること、分譲マンションにおける外断熱改修導入の課題として資金面での障害が生じやすいこと等の背景を延べ、本研究の目的として、①外断熱改修の「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果について定量的な推定方法を示すこと、②札幌市内の分譲マンションストックを対象に、外断熱改修による暖房用エネルギー消費削減量を推定すること、③一般的修繕と比較した外断熱改修の長期的収支バランスについて示すことを挙げた。また、関連する既往の研究について概説し、本研究の位置付けとして、①既往の研究においては一方でのみで評価されていた外断熱改修の効果を、「室内温熱環境改善」（室内温度の上昇）と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果について併せて示し、さらに、任意の分譲マンションにおける二つの効果の定量的な推定方法を提案したこと、②地理情報システム（GIS）上の建物データ等を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法を示し、約 800 棟のマンションの調査データを基に、札幌市内の分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量の現状と、外断熱改修を行ったケースを想定した削減量を推定したこと、③実際に外断熱改修が行われた分譲マンションの事例から、修繕積立金等の資金面に関して、一般的修繕と比較した外断熱改修の長期的収支バランスについて示したこと等が挙げられる。

第 2 章「分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法」では、実際に外断熱改修が行われた札幌市内に所在する 3 棟の分譲マンションの事例を基に、外断熱改修前後

の暖房用エネルギー消費量の実績等から、外断熱改修の「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果について分析を行った。その結果、いずれのマンションにおいても、室内温熱環境が改善（室内温度が暖房期平均で 1.8～3.5℃上昇）し、かつ、暖房用エネルギー消費量が削減（年間で 23～30%減）されたことを明らかにした。さらに、上記の分析結果を基にした、任意の分譲マンションにおける外断熱改修効果の推定方法を提案した。この推定方法により、外断熱改修の二つの効果についての客観的かつ定量的な推定を可能にした。ただし、暖房開始・終了時の日平均外気温度 θ_{os} の設定によっては、暖房用エネルギー消費量の実際値と推定値の差が大きくなる場合がある。本研究においては、一般的な札幌の暖房期を 10 月から 5 月の間とし、θ_{os}＝15℃に設定することとした。

第 3 章「分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費量」では、地理情報システム（GIS）上の建物データや不動産情報 Web サイト等の情報を利用したマンション外皮面積や熱損失係数等の推定方法を示した。その推定値を実際値と比較したところ、熱損失係数の誤差は平均で±8%程度であり、実用的な推定値が得られることを確認した。次に、その推定方法を用い、札幌市内の分譲マンションストック約 800 棟を対象にした熱損失係数の統計値を用いて、札幌市内全分譲マンションストックの暖房用エネルギー消費総量を推定した。その結果、その総量は 2.4～4.8PJ/年程度で、北海道内全家庭における暖房用エネルギー消費総量の 3.7～7.4%程度を占めると推定された。さらに、それらのストックが外断熱改修を行ったケースを想定した暖房用エネルギー消費削減量の推定を行った。その結果、1992 年以前竣工のストックを H11 年基準相当まで断熱性能を向上させたケース（Case1）においては 0.29～0.37PJ/年の削減、2010 年現在の全てのストックを H11 年基準の 2 倍相当まで断熱性能を向上させたケース（Case2）においては 0.45～0.58PJ/年の削減と推定された。

第 4 章「分譲マンションにおける外断熱改修の長期的収支バランス」では、札幌市内の分譲マンションにおいて実際に行われた外断熱改修による大規模修繕において検討された、長期的な大規模修繕の負担軽減手法となる外断熱改修の高耐久技術仕様を示した。その仕様は、マンション各部位の長寿命化を図る技術的検討が、その長期的収支バランスを確保する上で不可欠となることを念頭に置き、耐久性のほか、施工コストや維持・修繕のしやすさ等にも配慮した。次に、その仕様を導入した長期修繕計画を立案し、区分所有者の経済的負担の増加させることなく実施が可能な資金計画について示した。外断熱改修は導入時の支出が大きくなることから、借入金の必要性が高くなることから、その資金計画には、外断熱改修後の維持・修繕に加え、借入金の返済計画も含めた検討が必要であり、それには、外断熱改修後の長期修繕計画が重要となる。また、高耐久技術仕様とした外断熱改修の長期的収支バランスは、暖房費の節減分を含めなくとも、一般的修繕と比較して大きくは変わらないことを示した。このことから、一般的修繕と比べて大きくなる外断熱改修導入時の支出増分は、マンションの劣化・陳腐化への事後対応ではなく、予防するための支出と解釈することができる。

以上、本研究では、外断熱改修によって「室内温熱環境改善」と「暖房用エネルギー消費削減」の二つの効果が得られ、札幌市内の分譲マンションストックにおける外断熱改修の普及が進むことにより、大きな暖房用エネルギー消費量の削減が見込めることを示した。また、その実現に向けて最も大きな障害になると考えられる資金面に関して、長期的な工事支出等は一般的修繕と比較して大きく変わらず、収支バランスの確保が十分可能であることを示した。本研究で得られた知見は、札幌市内の分譲マンションストックにおける外断熱改修の普及と、暖房用エネルギー消費量の削減、良質ストックの増加に寄与できるものと考えられる。

5.2 今後の課題と展望

本研究の今後の課題と展望について、以下に示す。

第 2 章に関して：

- 式 2-21～式 2-24 において示した、連続暖房あるいは間歇暖房運用時における暖房用エネルギー消費量推定式は計 3 棟（連続暖房：1 棟、間歇暖房：2 棟）のマンションの実績値から導いたものであるため、さらに多くの実績データを蓄積し、精度の向上を図る必要がある。
- 式 2-1 はデグリーデー法による暖房負荷計算式であるが、ここでは躯体コンクリート等の蓄熱の要素は加味されない。したがって、室内温度 θ_i を求める式 2-8 においても蓄熱の要素は加味されないことになる。しかし、θ_i に蓄熱（とくに躯体コンクリート）の影響は少なからずあると考えられるので、その影響を考慮した θ_i の算出方法を、今後明らかにしたい。

第 3 章に関して：

- 窓面積 W_{win} は、建築基準法第 28 条を参考に、専有部延床面積 A_m の 1/7 として、各方位への窓の配置は図 3-16 に示したように算定したが、衛星写真の画質や建物モデルの精度は日々向上しており、外壁と窓の判別が可能になれば、それを基に、より実態に近い推定値が得られると考えられる。
- また、図 3-23 等において、外皮面積の推定値の内、誤差が大きいのは共用空間に接する界壁面積 W_c であることを示したが、屋上塔屋等の数や配置などが判別できるようになれば、共用空間の推定精度が向上すると考えられる。
- 3.4.3「札幌市内全ストックにおける暖房用エネルギー消費総量」において、札幌市内の全分譲マンションストックにおける暖房用エネルギー消費総量は、北海

道内全家庭における暖房用エネルギー消費総量の 3.7～7.4%程度を占めると推定されることを示したが、その中央値である 5.6%は、北海道の人口約 550 万人（2010 年現在)における札幌市内の分譲マンション居住者数約 31 万人(図 1-1)の割合（約 5.6%）とほぼ一致する。札幌市内の分譲マンションにおける連続暖房運用と間歇暖房運用の割合が同じ（50 : 50）と仮定して、一人当たりの平均暖房用エネルギー消費量を求めると、札幌市内分譲マンション平均では 11.6 MJ/年（2.4～4.8PJ/年の中央値 3.6PJ/年÷31 万人）、北海道内全家庭平均では 11.8 MJ/年（65PJ/年÷550 万人）となり、ともに同程度の値となる。これらのことから、札幌市内分譲マンションと北海道内家庭における一人当たりの平均暖房用エネルギー消費量が比較的近い値であり、また、札幌市内の分譲マンションにおける連続暖房運用と間歇暖房運用の割合が 50:50 に近いことが示唆されるが、それを明らかにするには、さらに詳細な分析が必要である。

- 3.5「外断熱改修による暖房用エネルギー消費削減総量の推定」において、今回は、外断熱改修の二つのシナリオによる暖房用エネルギー消費削減総量の推定値を示したが、今後は、例えば、S55 年基準以前のストックの 10%を、毎年、改修を続けるケースなど、より現実的なシナリオに基づいた暖房用エネルギー消費削減量や CO_2 排出量の削減効果等についても検討を行う予定である。
- 札幌市内の分譲マンションストックは約 3500 棟（図 1-2）であるが、それらのほぼ全棟について GIS データによる外皮面積等の調査を行う予定である。これにより、外皮面積等の算出精度向上を図るとともに、人工知能による外皮面積算出の基礎データとすることができる。近年の人工知能の進化はめざましいものがあり、衛星画像と人工知能による外皮面積等の調査も可能と考えられる。今回は、札幌市内の分譲マンションストックを対象としたが、戸建住宅ストックや全国を対象とした調査を考えると、人工知能を用いた調査手法の開発は不可欠といえる。
- 今回は、GIS データによる外皮面積等の調査から熱損失係数を求めたが、柱や梁の位置も推定されることになるので、簡易的な耐震診断を実施できる可能性がある。とくに、人工知能を用いた調査手法と組み合わせることで、膨大なストックの耐震診断を、短時間・低コストで実施できる可能性がある。

第 4 章に関して：

- 2008 年に外断熱改修が実施された M マンションは、まもなく外断熱改修から 10 年が経過しようとしているが、外断熱改修当時に立案した長期修繕計画と、現状との相違の内容や程度を、収支バランスも含めて確認する必要がある。
- 外断熱改修の高耐久仕様を提案したが、当初の想定通りの性能や美観等が確保されていること、想定外の不具合の有無等を確認する必要がある。

5.3　終わりに

世界各地で頻発する様々な紛争は人類が抱える難問といえるが、日本に暮らす多くの人にとっては、実感として捉え難い、遠い世界の問題のようにも思われてしまう。しかし、それらの問題の多くに貧困が関わり、それが、現在の日本においても拡大していることを考えると、決して遠い世界の問題とはいえない。

人にとって住まいは生活の基盤であり、なくてはならないものである。そのため、多くの住宅が今日までに建てられ、そこには、大きな資本が投入されてきた。それらが、古くなったなどの理由で滅失されてしまうと、そこに投入された資本は失われ、その後の世代は、新たな住まいのために再び大きな資本の投入を迫られることになる。しかし、改修などによって住宅の寿命を延ばし、世代を超えて使われ続けるようになれば、そこに投入された資本は蓄積され、日々の暮らしの中で活かされ続けることになるので、将来世代の住まいに関する負担は小さくなると考えられる。

つまり、住宅を長期にわたって使われ続けるようにする取り組みは、住まいの確保と継承の幅を広げ、将来におよぶ貧困拡大の抑制に大きな意義を持つと考えられる。そのため、分譲マンションだけでなく、その他の住宅・建物においても同様に、“建物は将来に継承されるもの”であるとの認識のもとに設計・建設・運用され、より少ないエネルギー消費で長く大切に使われ続けることは、持続可能な社会の実現に向けた大きな目標であり、最も大切な取り組みのひとつであると思われる。

記号表

第 2 章

2.2　外断熱改修効果の分析

記号	意味	単位
U_A	マンションの外皮平均熱貫流率	W/m²K
ΣL_H	マンション専有部の単位床面積当たり期間暖房負荷	Wh/m² 期間
Q	マンションの熱損失係数	W/m²K
HDD	期間暖房度日数	℃日
η_H	暖房システム効率	-
days	期間日数	日
$\theta_{i,day}$	マンション専有部の日平均室内温度	℃
$\theta_{o,day}$	日平均外気温度	℃
$\Delta\theta_{n,day}$	マンション専有部の日平均自然温度差	℃
η_{win}	窓の日射熱取得率	-
$I_{s,day}$	各方位の単位窓面積当たり日平均日射量	W/m²
W_{win}'	各方位の窓面積	m²
G	単位住戸当たり内部発生熱	W/戸
N_a	マンションの全住戸数	戸
A_m	マンション専有部の延床面積	m²
L_H	マンション専有部の単位時間及び単位床面積当たりの月度平均暖房負荷	W/m²
θ_i	マンション専有部の月度平均室内温度	℃
θ_o	月度平均外気温度	℃
$\Delta\theta_n$	マンション専有部の月度平均自然温度差	℃
E_H	マンション専有部の単位時間及び単位床面積当たりの月度平均暖房用エネルギー消費量	W/m²
v	月度平均風速	m
$\Delta\theta_{io}$	内外温度差	℃
n	マンション専有部全体の自然換気回数	回/h
C	マンション専有部全体の相当隙間面積	cm²/m²
V_n	マンション専有部全体の自然換気量	m³/h
θ_d	排気ダクト内温度	℃
V_{in}	排気ダクト給気口(1 階)からの給気量	m³/h
V_{out}	排気ダクト排気口(屋上)からの排気量	m³/h
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの期間暖房用エネルギー消費量	Wh/m² 期間

2.3　外断熱改修効果の推定方法

記号	意味	単位
θ_i	マンション専有部の月度平均室内温度	℃
E_H	マンション専有部の単位時間及び単位床面積当たりの月度平均暖房用エネルギー消費量	W/m²
Q	マンションの熱損失係数	W/m²K
θ_o	月度平均外気温度	℃
η_H	暖房システム効率	-
a	室温変化率	-(℃/℃)
b	$\theta_i = a \cdot \theta_o + b$（式 2-13）の切片	-
θ_{os}	暖房開始・終了時期の日平均外気温度	℃
$\Delta\theta_n$	マンション専有部の月度平均自然温度差	℃
P	間歇暖房補正係数	-
θ_{is}	設定室内温度	℃
L_{24}	室内温度が常時θ_{is}であるときの、マンション専有部の単位時間及び単位床面積当たりの月度暖房負荷	W/m²
T	間歇暖房時の暖房運転時間	h
L_T	設定室内温度θ_{is}で、暖房運転時間 T のときの、マンション専有部の単位時間及び単位床面積当たりの月度暖房負荷	W/m²
P_k	室温低下率	-
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量	Wh/m² 期間

3.2.1 外皮面積推定の概略

記号	意味	単位
S_p	マンションの外皮面積	m^2
L_p	マンションの外周長さ	m
A_b	マンション外周長さの内包面積（建築面積）	m^2
F_a	マンションの階数	階
h	階高	m
A_a	マンションの総延床面積	m^2

3.3.1 熱損失係数の算出方法

記号	意味	単位
Q	マンションの熱損失係数	W/m^2K
Q_p	マンション外皮からの熱損失	W/m^2K
Q_v	換気による熱損失	W/m^2K
Q_s	外皮一般部からの熱損失	W/m^2K
Q_{hb}	熱橋部からの熱損失	W/m^2K
Q_r	屋根からの熱損失	W/m^2K
Q_w	外皮となる壁からの熱損失	W/m^2K
Q_g	外皮となる床からの熱損失	W/m^2K
Q_o	開口部からの熱損失	W/m^2K
n	換気回数	回/h
h_c	天井高さ	m

3.3.2 延床面積の算出方法

記号	意味	単位
A_a	マンションの総延床面積	m²
A_{a1}	単位住戸当たり床面積（専有部と共用部を含む）	m²
N_a	全住戸数	戸
A_s	基準階床面積（専有部と共用部を含む）	m²
N_s	基準階住戸数	戸
A_b	マンション外周長さの内包面積（建築面積）	m²
F_a	マンションの階数	階
A_m	マンション専有部延床面積	m²
A_c	マンション共用部延床面積	m²

3.3.3 屋根及び床の面積と熱損失の算出方法

記号	意味	単位
Q_r	屋根からの熱損失	W/m²K
U_r	屋根の熱貫流率	W/m²K
A_r	外皮となるマンション専有部屋根面積	m²
A_m	マンション専有部延床面積	m²
A_b	マンション外周長さの内包面積（建築面積）	m²
A_g	外皮となるマンション専有部床面積	m²
Q_g	外皮となる床からの熱損失	W/m²K
U_g	床の熱貫流率	W/m²K

3.3.4 開口部の面積と熱損失の算出方法

記号	意味	単位
W_{win}	窓面積	m²
A_m	マンション専有部延床面積	m²
A_a	マンションの総延床面積	m²
W_{door}	ドア面積	m²
N_a	全住戸数	戸
Q_o	開口部からの熱損失	W/m²K
U_o	開口部（窓・ドア）の熱貫流率	W/m²K

3.3.5 外皮となる壁の面積と熱損失の算出方法

記号	意味	単位
Q_w	外皮となる壁からの熱損失	W/m²K
U_w	壁の熱貫流率	W/m²K
W_a	外気に接する外壁面積	m²
W_c	共用空間に接する界壁面積	m²
A_m	マンション専有部延床面積	m²
W_{a1}	単位住戸当たり外壁面積	m²
N_a	全住戸数	戸
W_{win}	窓面積	m²
W_s	マンション基準階外壁面積（開口部含む）	m²
N_s	基準階住戸数	戸
h	階高	m
L_p	マンションの外周長さ	m
W_c'	当該階の共用空間に接する界壁面積	m²
L_p'	縮小した平面形状の外周長さ	m

3.3.6 熱橋の長さと熱損失の算出方法

記号	意味	単位
L_{hba}'	外気に接する外壁と住戸間の界床や界壁の各取り合いにおける当該階熱橋長さ	m
L_p	マンションの外周長さ	m
h	階高	m
N_s'	当該階の住戸数	戸
L_{hbc}'	共用空間に接する界壁と住戸間の界床や界壁の各取り合いにおける当該階熱橋長さ	m
L_p'	縮小した平面形状の外周長さ	m
L_{hbr}	屋根と住戸間界壁の取り合いにおける熱橋長さ	m
L_{hbg}	外皮となる床と住戸間界壁の取り合いにおける熱橋長さ	m
X	マンションの平面プランを長方形に見立てときの長辺長さ	m
Y	〃　短辺長さ	m
A_b	マンション外周長さの内包面積（建築面積）	m²
Q_{hb}	熱橋からの熱損失	W/m²K
U_{hb}	線熱橋係数	W/mK
A_m	マンション専有部延床面積	m²

3.3.7 マンションの熱損失係数推定値の算出結果

記号	意味	単位
Q	マンションの熱損失係数	W/m²K
$\bar{Q}$	マンション熱損失係数の竣工年代別平均	W/m²K
Q_s	外皮一般部からの熱損失	W/m²K
Q_{hb}	熱橋からの熱損失	W/m²K
S_p	マンションの外皮面積	m²
L_{hb}	マンションの熱橋長さ	m

3.3.8 熱損失係数推定値の検証

記号	意味	単位
A_a	マンションの総延床面積	m²
S_p	マンションの外皮面積	m²
L_{hb}	マンションの熱橋長さ	m
W_a	外気に接する外壁面積	m²
W_c	共用空間に接する界壁面積	m²
W_{win}	窓面積	m²
A_r	外皮となるマンション専有部屋根面積	m²
A_g	外皮となるマンション専有部床面積	m²
Q	マンションの熱損失係数	W/m²K
Q_a	マンション熱損失係数の実際値	W/m²K
Q_e	マンション熱損失係数の推定値	W/m²K
e	マンション熱損失係数推定値の実際値に対する誤差	-
$\bar{Q}$	マンション熱損失係数の竣工年代別平均	W/m²K

3.4.1 単位床面積当たり暖房用エネルギー消費量の推定

記号	意味	単位
Q	マンションの熱損失係数	W/m²K
η_H	暖房システム効率	-
θ_{os}	暖房開始・終了時期の日平均外気温度	℃
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_H}$	ΣE_Hの竣工年代別平均	Wh/m²年

3.4.2　単位住戸当たり暖房用エネルギー消費量の推定

記号	意味	単位
A_{m1}	単位住戸当たりの専有部床面積	m²
A_m	マンション専有部延床面積	m²
N_a	全住戸数	戸
A_a	マンションの総延床面積	m²
$\overline{A_{m1}}$	A_{m1}の竣工年代別平均	m²
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_H}$	ΣE_Hの竣工年代別平均	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_{H1}}$	札幌市内分譲マンションの単位住戸当たり平均暖房用エネルギー消費量	MWh/戸･年

3.5.2　Case1 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定

記号	意味	単位
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_H}$	ΣE_Hの竣工年代別平均	Wh/m²年
A_{m1}	単位住戸当たりの専有部床面積	m²
$\overline{A_{m1}}$	A_{m1}の竣工年代別平均	m²
$\overline{\Sigma E_{H1}}$	札幌市内分譲マンションの単位住戸当たり平均暖房用エネルギー消費量	MWh/戸･年

3.5.3　Case2 のシナリオによる暖房用エネルギー消費削減量の推定

記号	意味	単位
ΣE_H	マンション専有部の単位床面積当たりの年間暖房用エネルギー消費量	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_H}$	ΣE_Hの竣工年代別平均	Wh/m²年
$\overline{\Sigma E_{H1}}$	札幌市内分譲マンションの単位住戸当たり平均暖房用エネルギー消費量	MWh/戸･年

謝辞

本研究をまとめるにあたり、懇切・丁寧にご指導頂きました北海道大学大学院工学院羽山広文教授には深く感謝申し上げます。いろいろとご心配・ご面倒もお掛けしましたが、無事に学位論文をまとめることができました。重ねて御礼申し上げます。

北海道科学大学工学部建築学科　福島明教授には、北海道建築技術協会「中高層分譲マンション外断熱改修・手引書作成委員会」の活動当時から、外断熱改修の普及と良質ストックの増加に向けた取り組みを通し、今日までの長きにわたり多大なるご指導・ご鞭撻をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

北海道大学大学院工学院　長野克則教授、濱田靖弘教授、森太郎准教授には、論文の審査委員として多くの有益かつ貴重なご意見・ご指摘を頂きました。また、森太郎准教授、菊田弘輝助教には、実測調査や論文のまとめ方などで、なにかとご協力・ご助言を頂きました。ここに、厚く御礼申し上げます。

北海道大学大学院工学院　飯場正紀教授、千歩修教授、岡崎太一郎教授、菊地優教授、瀬戸口剛教授、森傑教授、小澤丈夫教授には審議委員として今後の展開を促す貴重なご意見・ご指摘を頂きました。ここに、厚く御礼申し上げます。

本研究の端緒となった北海道建築技術協会「中高層分譲マンション外断熱改修調査研究委員会」の森秀樹委員長を初めとした委員の皆さま、並びに「中高層分譲マンション外断熱改修・手引書作成委員会」の奈良謙伸委員長を初めとした委員の皆さま、そして、各委員会のまとめ役を果たされました故　長谷川寿夫先生には、多大なるご協力とご指導・ご鞭撻をいただきました。また、本研究の共同研究者として、北海道建築技術協会外断熱研究委員会の佐藤潤平氏、大橋周二氏には、実測調査や居住者ヒアリングなど、多大なるご協力とご助言を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

断熱の意義とその普及に努められ、北海道、そして日本全国に建つ建物の断熱性能向上に貢献されたダウ化工株式会社諸先輩の方々には、敬意を表するとともに深く感謝申し上げます。

北海道科学大学工学部建築学科卒論生であった青柳美咲氏、澄川実奈氏、三好宏侑氏には、マンションデータ入力等で多大なるご協力を頂きました。ここに、厚く御礼申し上げます。

最後に、両親と家族には最大の感謝をしなければなりません。ありがとうございました。

2017 年 2 月　　平川　秀樹