

## 北海道の戸建住宅における断熱改修の応用的研究

AN APPLIED STUDY OF THE UPGRADING OF THERMAL INSULATION AND  
WINTER THERMAL COMFORT IN DETACHED HOUSING IN HOKKAIDO

鎌田紀彦\*, 鈴木大隆\*\*, 小笠原一隆\*\*\*, 北谷幸恵\*\*, 本間義規\*\*\*\*

Norihiko KAMATA, Hirotaka SUZUKI, Kazutaka OGASAWARA,

Yukie KITADANI and Yoshinori HONMA

The thermal insulation, heating, and ventilation systems of four typical existing detached houses were upgraded to meet current building standards, Air leakage was reduced to 2 cm<sup>2</sup> per 1 m<sup>2</sup> of floor area and the hygrothermal condition of the crawl space of the vertical edge insulation of the foundation walls was also improved. Thermal comfort in the living areas of the houses and their internal temperature distribution were brought up to Sapporo's new energy conservation code levels. The cost of each upgrading, excluding heating equipment, was found to be approximately 6 million yen per house.

Keywords : *Upgrading of thermal insulation, Thermal comfort, Insulation of the foundation*

断熱改修, 温熱環境, 基礎断熱

## 1. はじめに

環境保全、居住空間の快適性向上に向けて、住宅に係わる負荷低減が求められている。既に新築住宅を対象に、住宅外被の熱性能向上手法や暖冷房・換気手法など、それらを予測・実現するための具体的手段に関して数多くの研究<sup>1-4)</sup>が行われ、いくつかの標準的な仕様については普及の段階に入っている。実際、北海道・東北地方などの寒冷な地域では、新築住宅の熱性能は急速に向上しつつあり、住宅金融公庫の調査等<sup>5)</sup>でもそのことが裏付けられている。更に、地域性や様々な気候条件への適応、一層の性能向上に向けて、多くの研究・技術開発が行われている状況にある。

一方、資源保護や住宅取得コストの低減化の面からは、良質な住宅ストックの形成は急務であり、新築住宅のみならず既存住宅でも暖(冷)房負荷低減・快適・耐震などの住宅基本性能を引き上げていくことが緊急な課題となっている。しかし、既存住宅の改修は、ユーザーニーズが優先され改修費用が限られていることもあって、家族数の変化に伴う間取りの変更や内装改修、劣化部材・部品の更新など、多くは直面する課題への対応に留まっており、基本性能の向上を目的とした改修を行っている例は極めて少ないのが現状である。これは、ユーザーのみならず住宅技術者の意識が低いことも一因であるが、他方、既存住宅の改修手法に関する研究は筆者<sup>6)</sup>らが

行ったものの他の蓄積が少なく、その効果の検証も十分に行われず、報告も極めて少ないため、住宅技術者及びユーザーの意識啓発が行われないことが主因とも思われる。

本報は、より実地的な断熱改修手法の構築に向け、基礎的知見を蓄積することを目的として、新築住宅を対象として培われた各種技術をベースにしながら、まず、北海道における典型的な4つの既存住宅を対象として、住宅外被、暖房・換気性能向上を目的とした改修手法(本報では以下断熱改修と称す)を検討・適用し、その温熱環境面での改善効果について報告するものである。

なお、各住宅の断熱改修に当たり、次の事項を基本方針として改修手法を検討・選択した。

1) 事前実態調査による障害有無の確認と気密性能を把握する。

結露障害、構造材の腐朽被害の発生頻度が多い、北側水廻り土台周辺・床下・小屋裏は床下・小屋裏側から、建物4隅は外装材を剥がし外部から、結露形跡・構造材や断熱材の機能低下の有無を確認する。また、気密性能の把握は、その住宅の断熱性能をある程度推測できるため、事前に測定することが望ましい。

2) その上で機能上支障が無いと判断された部材は、可能な限り再利用し、改修工事に伴う建築廃材を極力抑える。

3) 最近の断熱気密化住宅と同じレベルの居住環境を確保する。

\* 室蘭工業大学建設システム工学科 助教授・工博

\*\* 北海道立寒地住宅都市研究所 工修

\*\*\* 北海道電力(株)総合研究所 研究員・工修

\*\*\*\* 北海道立寒地住宅都市研究所

Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, M. Eng.

Hokkaido Electric Power Co., Inc., Dept. of Research and Development, M. Eng.

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute

4)生活を続けながら改修できるよう手法・工程を工夫する。

5)基礎断熱改修を原則とする。

床での断熱改修は、床面上部からの工事の場合は所有者の生活に著しい支障を与える。また、床下からの工事は作業環境が悪く断熱・地盤防湿等の施工信頼性は低い。また、地盤盤湿・室内水蒸気の浸入に起因する床下結露の防止には、周辺環境の影響を受け易い床下換気(床断熱方式)より、床下温度上昇により低湿度を維持できる基礎断熱工法による方が良く、この手法の有効性は既に報告されている<sup>9)</sup>。この場合、基礎断熱材の施工深さに関しては、新築住宅では通常ベース上端部まで施工されるが、既存住宅では植栽や塀などの外構との係わりの中で根入れ深さを新築住宅並に確保することができないため、熱損失や床下温度の検討を行い、断熱深さを地盤面から100mmとしている<sup>11)</sup>。また、夏期の防露については、北海道の気候条件のもとでは、基礎断熱の場合床下換気口を設けなくとも問題がないことが報じられている<sup>9)</sup>が、既存住宅の改修においては地盤防湿が不十分になり易いことを考慮して、夏期は開放可能な断熱・気密性の高い床下換気口を設置することとする。

6)躯体耐久性の確保のため、外壁、天井又は屋根は断熱層外側に通気層、小屋裏換気・屋根通気を確保する。

7)換気・暖房設備は、新築の熱性能の高い住宅と同じ手法を用い、常時換気・全室暖房の設備を設置する。

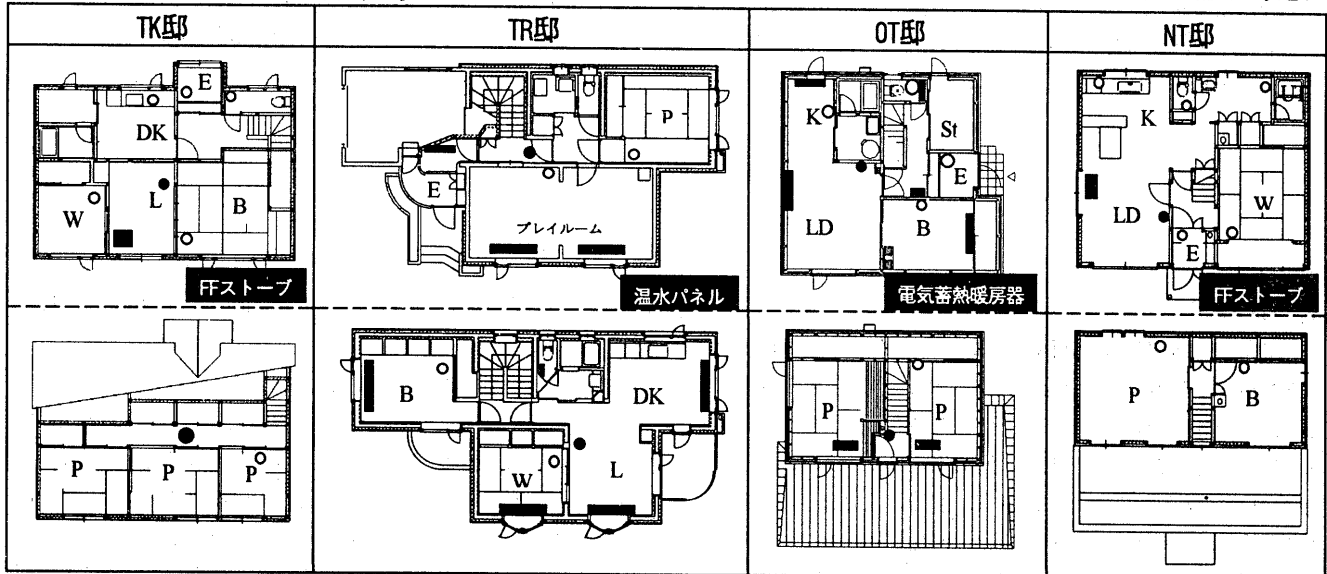
8)昭和55年以前、特に昭和33年以前に建設された住宅については、現行の建築基準法で規定された耐震性を大幅に下回っている建物が殆どであるため<sup>12)</sup>、図面等でチェックして、必要に応じて主に壁量の増加による耐震強化を図る。

2. 改修住宅の属性と改修手法の概要

図1に改修住宅4軒の平面図、写真1~7に住宅外観、表1に住宅概要、改修前後の断熱・暖房・換気仕様と断熱改修に要した費用、図2に断熱改修手法の概略、図3に改修前後の隙間相当面積(以下、 $\alpha A'$ と記す)の測定結果を示す。いずれも所有者は、間取り変更等のニーズが少なく、冬期の暖かさ或いは表面結露の防止を望み、改修か新築かの選択に悩んでいた。

(1)CASE 1 -TK邸の場合-

住宅属性：TK邸の外壁は無断熱、 $\alpha A'$ は大きすぎて実測不能であった。この住宅は、昭和30年代に建設された傾斜屋根の在来木造住宅で、北海道の戸建ストック(約130万戸程度)の約2割がこのタイプに属すると推測される<sup>10)</sup>。所有者は、外装と高齢化に備えた水廻り



室名…L:居間、D:食堂、K:台所、B:主寝室、W:和室、P:個室、UT:ユーティリティ、E:玄関、St:物置 / 温湿度測定点…●: 温湿度、○: 温度

図1 改修住宅平面図(上列：一階 / 下列：二階)

表1 改修住宅概要

住宅名称	TK邸		TR邸		OT邸		NT邸		
	住宅工法(竣工年)	木造在来工法(昭和35年)	セラミックブロック造(昭和60年)	木造在来工法(昭和54年)	木造在来工法(昭和58年)	改修前	改修後		
断熱材	基礎	なし	PF(B3) 50mm	なし	PF(B3) 75mm	なし	+PF(B3) 75mm	なし	PF(B3) 75mm
	床	なし	PF(B3) 76mm	GW10K 150mm	現状	GW10K 100mm	現状	GW16k 100mm	現状
	屋根	なし	PF(B3) 76mm	内側PF 38mm	+GW(16K) 200mm	GW10K 150mm	+BL(CF) 200mm	BL(GW) 300mm	+HGWB(64k) 45mm
	外壁	なし	PF(B3) 50mm	内側PF 38mm	+HGW(24K) 100mm	GW10K 100mm	+PF(B3) 75mm	GW16k 100mm	+GW(32K) 50mm
	下屋	なし	PF(B3) 50mm	内側PF 38mm	+HGW(24K) 100mm	GW10K 100mm	+PF(B3) 75mm	GW16k 50mm	撤去
窓枠部	WD	PVC	AL+PVC	PVC	AL+WD	PVC	AL+PVC+PVC	現状	
	ガラス部	単板	複層(2層)	二重(単板)	低放射複層(2層)	二重(単板)	低放射複層(2層)	三重(単板)	現状
暖房方式	FFストーブ(灯油)	FFストーブ(灯油)	ベチカ(灯油)	温水パネル(灯油)	電気蓄熱暖房器	電気蓄熱暖房器	FFストーブ(灯油)	FFストーブ(灯油)	
換気方式		第3種換気		第3種換気		第3種換気		パッシブ換気	
隙間相当面積(cmf/m <sup>2</sup> )		30.7*以上	1.4	3.7	2.1	15.3	2.8	5.2	3.2
1F面積(m <sup>2</sup> )		65.44		61.18		54.99		54.99	66.25
2F面積(m <sup>2</sup> )		43.89		74.46		28.71		32.85	37.26
断熱改修工事費(円/m <sup>2</sup> )		62,000		42,000		76,000		32,850	52,000
工期		6/11 ~ 9/5 (56日)		6/16 ~ 7/30 (45日)		9/2 ~ 10/18 (46日)		11/16 ~ 12/25 (40日)	

ただし、表中のPFはポリスチレンフォーム、GWはグラスウール、HGWBは高性能グラスウール、BLは繊維系断熱材による吹込工法、CFはセルロースファイバー、HGWBは高性能グラスウールボード、ALはアルミ、WDは木材、PVCは樹脂を表す。

\* 4,800m<sup>3</sup>/hのファンを用いたが、測定に用いた計測装置では、差圧が1mmAqに満たず、4点以上計測できなかった。

最大風量時に1mmAqの差圧が生じたと仮定して、30.7(cmf/m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)=4,800(m<sup>3</sup>/h)×0.7/109.33(m<sup>2</sup>)。したがって表中の表現とした。

部の更新を望み、住宅形状に愛着を感じていた。事前の実態調査では、主要構造木材は十分乾燥し継続使用が可能と判断された。

**断熱・気密改修：**躯体空隙を利用した充填断熱改修を行う場合は、冬期内部結露の防止・漏気負荷の低減から内装材を剥がし断熱層室内側に防湿気密層を施工する必要がある。しかし、内装改修のニーズがなくその手法の適用は合理性に乏しいため、外装更新ニーズに即して外側からの改修を行うこととした。築後相当年数が経過し、壁量の確保が十分ではなかったため、外壁軸組の外側に構造用合板を張ることで耐震強化し、その上面に気密層として防湿フィルム0.2mm厚を施工し、基礎・外壁・屋根面は外張断熱とした。これらの改修によって、改修後の $\alpha A'$ は $1.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ となり、気密性能は大幅に向上した。

**換気・暖房設備：**日常は2人家族で1階中心の生活であることを考慮し、換気設備は、排気は1階浴室に付属するファン(常時運転)と2階廊下に設置するパイプファン(適宜運転)、給気は主要居室に専用レジスターを設置する第3種換気方式とした。また、暖房は、居間にFF式ストーブ1台を設置し、間欠運転をしている。

(2)CASE 2 -TR邸の場合-

**住宅属性：**外壁はグラスウール10K-50mm程度の内断熱が施され $\alpha A' = 4$ 程度の気密性を有するTR邸は、昭和40年～石油危機前後に建設された組積造住宅の典型例といえ(ストックの約2割程度がこのタイプに該当<sup>10)</sup>、断熱・換気不足により冬期の室間の温度むらと表面結露等の深刻な問題を抱えていた。実態調査では、外壁ブロック部の汚損、屋根防水層の劣化、表面結露による内装材汚損が著しく、内外装改修が必要と判断された。

**断熱・気密改修：**内断熱改修とした場合の居住面積の減少や建築廃材の発生を勘案し、既存断熱材sはそのままとして基礎・外壁・屋根面で外断熱改修、開口部はPVC断熱サッシ(低放射複層ガラス)に更新した。改修後の $\alpha A'$ は約半分にまで減少したが、これは主に気



写真1 TK邸外観(改修前)

写真2 TK邸外観(改修後)



写真3 TR邸外観(改修前)



写真4 TR邸外観(改修後)



写真5 OT邸外観(改修前)

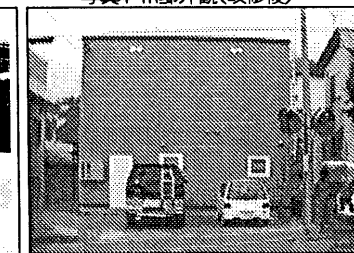


写真6 OT邸外観(改修後)



写真7 NT邸外観(改修後)

密性の高いサッシに更新したことによるものと推測される。

**換気・暖房設備：**2階を主生活空間としているため、換気設備は、排気は2階便所に設置したパイプファンと1階浴室に付属する排気ファンの常時運転、給

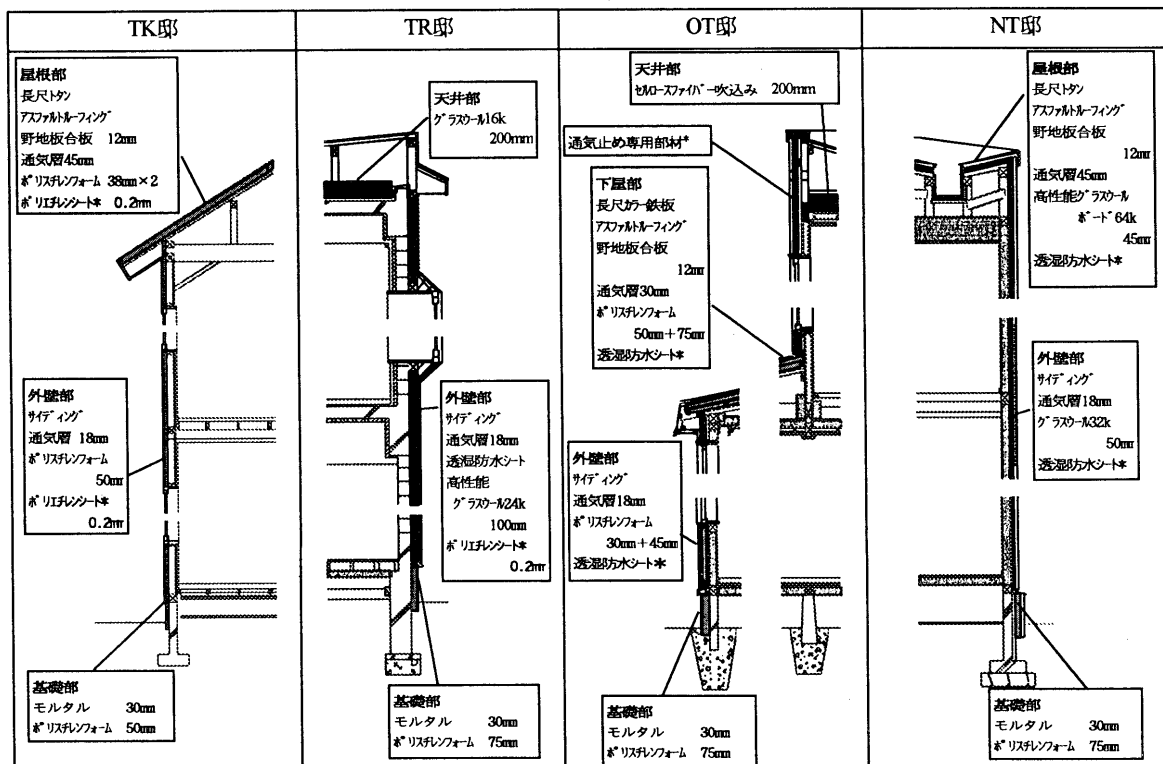


図2 改修手法の概要(\*:気密層)

気は主要居室に専用レジスターを設置する第3種換気方式とした。また、暖房は、内装改修に伴い暖房配管の新設が可能なることから、新たに温水パネルによる全室暖房方式を採用した。

(3) CASE 3 -OT邸の場合-

**住宅属性：**外壁はグラスウール10K-100mm程度の充填断熱で、 $\alpha A'$ が10を越えるOT邸は、石油危機以降から昭和60年頃まで建設された一般的在来木造住宅の典型例で(ストックの約5割程度がこのタイプに該当<sup>10)</sup>、暖房居室の上下温度差、温度むら、漏気による不快感があり、暖房用エネルギー消費量に悩む住宅であった。実態調査では、社有住宅で定期的な維持管理が行われていたため内外装材は比較的良好な状態に保たれていたが、床下や北壁一部で結露の形跡や構造木材腐朽が認められ、構造材更新が必要な箇所も認められた。また、断熱防湿施工の不良箇所が多く、この時代の住宅の特徴を良く表わすものであった。

**断熱・気密改修：**外壁は、低密度な断熱材を使用し、防湿気密層は取合い部を中心に不連続な箇所が多いことから、壁内通気により著しい断熱性能の低下が生じていたと推測される。充填断熱改修は取合い部分も含めて大幅な内装改修が必要で大量の廃材も出ると予想されたため、劣化構造材の更新を除いて既存部分はそのままとして外装材外側で外張断熱、既存外装材とポリスチレンフォームの間に透湿防水シート<sup>註3)</sup>を設け気密層とした。床は1-5)で前述した基礎断熱改修による。2階天井は、室内側防湿層が既設されていたので、既存断熱材を敷き直し、その上に不足分の繊維系断熱材を吹込む天井断熱改修とし、外壁や間仕切壁上部は小屋裏側から繊維系専用部材<sup>註4)</sup>を詰め込むことで通気止めを設置した。また、下屋部分を天井断熱改修することは、2階床ふところと小屋裏の境界部で断熱気密改修が必要となり、この近傍の1階天井と2階床の取外し・更新が必要となること、施工信頼性に乏しいことなどから、これらの施工が不要な屋根面での断熱改修を行った。開口部はPVC断熱サッシ(複層ガラス)に更新した。これらの改修により $\alpha A'$ =3程度まで隙間が減少し、住宅気密性能は大幅に向上した。

**換気・暖房設備：**換気設備は、排気は1階洗面室天井内に設置したダクトファンで1階浴室・便所及び2階ホールから、給気は主要居室に専用レジスターを設置した。暖房は、改修前から居間・台所・ホール・便所・2階各室に輻射式電気蓄熱暖房放熱器が設置されており、

特に変更しなかった。

(4)CASE 4 -NT邸の場合-

**住宅属性：**外壁はグラスウール16K-100mm程度の充填断熱で通気層が設置され、 $\alpha A'$ が6前後のNT邸は、昭和60年前後より建設普及した比較的断熱性能が高いが通気止めの設置や気密化施工を行っていない在来木造住宅の典型例(ストック

の約1割程度がこのタイプに該当<sup>10)</sup>)である。CASE 3ほどではないが、部分間欠暖房にも助長され同じ問題を抱える住宅であった。実態調査では、外壁には通気層が設けられ、床下・小屋裏換気も十分であるためか、主要構造材や断熱材の結露障害等は無いが、外壁・屋根材等の外装材、外壁付加断熱部の下地の腐朽が目立ち更新が必要なこと、通気止めがなく気密施工の不良箇所が認められ、負荷低減・居住環境向上を図るには気密化が重要と判断した。

**断熱・気密改修：**外壁は、まず壁内通気による影響を防止するため、一部劣化のある既存外装材及び付加断熱材下地を取り除き、軸組外側に気密層として透湿防水シートを連続的に施工し、その上に防露性を勘案して透湿性を有する繊維系断熱ボードによる外張付加断熱を行った。床は1-5)で前述した基礎断熱改修による。2階天井部及び下屋部分は、無落雪屋根のため小屋裏内の作業が難しいことや屋根材を更新する必要があったため、屋根材を除去し、野地板外側に透湿防水シートによる気密層を設置した。開口部は既存性能が高いことから改修は行わなかった。改修後、 $\alpha A'$ は3程度まで減少した。

**換気・暖房設備：**居室の換気設備は、住宅中央部の既設集合煙突を排気筒に利用して隣接居室からの排気口を設け、給気は専用レジスターを設置するパンプ換気方式<sup>11-14)</sup>により、1階浴室・便所等は局所換気とした。また、暖房は、居間に設置していた半密閉型ポット式灯油ストーブを更新し、FF式ストーブ1台によることとした。

(5)改修費用

(1)~(4)に示した改修による工事費用は合計で約530~670万円程度であった。このほかに、TR邸はセントラル暖房設備やそれに係わる内装改修工事費として250万円程度、OT邸は衛生設備工事や屋根形状の無落雪化に伴う工事費として120万円程度かかっている。暖房設備工事を除けば、断熱改修に係わる外装改修等も含めて、概ね600万円前後の費用でここに示した改修工事は可能と考えられる。

3. 測定概要

測定の概要を表2に示す。1996年の冬期に改修工事の実施が決定していたTR邸とOT邸では改修前後の温湿度測定を行なうことができたが(OT邸改修後の床下湿度は計測器故障のためデータは欠損している)、冬期暖房期間が終了してから工事の実施が決定したTK邸とNT邸では、改修後の測定のみとなった。温度・湿度ともに測定間隔は10分であり、湿度較正は行っている。

エネルギー消費量は、TK邸とTR邸では居住者によって毎日刻々にメータの読みを用紙に記入してもらい、OT邸ではロガーを用い10分間隔で計測した。NT邸では配管等の条件からメータの設置が困難であったため、計測を断念した。

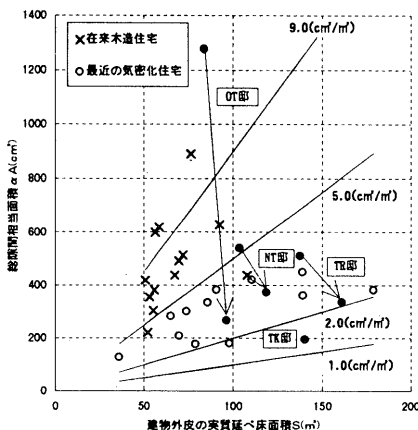


図3 気密性能

参考として、過去に筆者らが新築木造戸建住宅を対象として行った調査結果を図中に示す。

表2 測定概要

測定	TK邸	TR邸	OT邸	NT邸
改修前(1996年)	—	2/22 ~ 3/7	3/7 ~ 3/24	—
改修後(1997年)	2/22 ~ 3/12	2/19 ~ 3/12	2/21 ~ 3/8	2/25 ~ 3/11
測定箇所	床下 居間 2Fホール	床下 居間 1Fホール	床下 居間 2F西室	床下 居間
温度のみ (T&D製:TR-72) サーミスタ	外気 主寝室 居間隣室 台所 便所 玄関 2F東室	外気 主寝室 居間隣室 プレイルーム 1F和室	外気 主寝室 台所 便所 玄関 2F東室	外気 主寝室 1F個室 UT 台所 便所 玄関 2F西室
エネルギー消費量測定器 (メーカー)	除流量燃料油メータ (金門製作所)	除流量燃料油メータ (金門製作所)	電流計TL-3 (JMS)	—

#### 4. 測定結果と考察

図4(a)~(f)に、各住宅毎に主な測定点の温度推移グラフを示す。図中のデータは、10分間隔の計測値を1時間平均した値を用いている。図5に外気温と居間床上1.2mの空気温(以下、居間温度と称す)、図6に暖房時間中の居間温度と居間の上下温度差(居間天井下0.1m-居間床上0.1mの温度差)、図7に外気温と居間床表面温度、図8に居間-主寝室温度(床上1.2m)、図9に外気-玄関またはTR邸では1Fホール温度(床上1.2m)、図10に外気-床下温度、図11に居間と床下空間における温度と湿度の相関を示す。なお、図5~11中のデータは、計測値を6時間平均した値を用いて作成したものである。

また、表3は、各住宅の暖房用エネルギーの実測値と測定期間中の内外温度差を基に、拡張デグリーデイ法によって年間暖房用エネルギー量を推定した値を示している。各住宅の実測期間が3週間~1ヶ月程度と短期間のため、多少の誤差は伴うであろうが、断熱改修による暖房負荷の軽減等に関する概略の把握は可能と考えている。なお、表中A~G邸の値は、札幌市北区の北方型住宅を対象に'95'11'1~'96'4'31までの6ヶ月間、筆者らが実測した結果<sup>15)</sup>を示しており、札幌市に建つ新省エネ基準対応住宅の暖房用エネルギーの概略を把握するため、参考として示したものである。

以下に、各測定項目毎に測定結果を整理し、考察を加える。

##### (1) 居室温度性状と暖房用エネルギーについて

##### 1) CASE 1 -TK邸の場合-

入居者は、朝起床時から9時頃までと夕方から就寝時まで、居間のみを暖房する部分間欠暖房が慣習化しており、改修前は聞取り調査によると、冬期朝方の各居室温は5~0℃前後まで低下し、暖房室である居間と他室との温度差が非常に大きかった。改修後も生活パターンは同じであるが、図4(a)によれば、居間の朝方温度は10℃を下回することは無く、居間隣室和室も含めて就寝時以外は概ね20℃前後を推移し、暖房設備が設けられていない階主寝室や便所・玄関・2階各室でも10~15℃の範囲を推移していることがわかる。これらのことは各相関図からも読みとれる。改修前の測定結果が無いのは残念だが、聞取り調査から類推すると、断熱改修による室温の上昇効果は大きいと推測される。なお、図6に示す居間の上下温度差が他の住宅と比べて大きい理由としては、ストーブ1台で全室暖房を行っているためと考えられる。暖房エネルギー消費量は、ストーブから離れた部屋の温度が少し低いため、表3の参考値よりは少なくなっている。2階にもストーブを設置すれば、若干エネルギー消費量は増加するであろうが、温度環境は改善されよう。

##### 2) CASE 2 -TR邸の場合-

各室の温度は図4(b・c)や各相関図から、改修前はベチカ暖房によって、暖房室は5℃以下と

極めて低温であった。この住宅は、他の3例とは異なり、ブロック造を外断熱改修したために、室内の熱容量が大きく、また全室温水パネル暖房方式に変更したことによって、外気温の変動に関係なく、全居室が必要な温度を保

表3 年間暖房エネルギー消費量の推定

TK邸	49 ( 6831 )	参考データ A~G邸の 平均値 ( 9360 )
TR邸	47 ( 6414 ) → 81 ( 11736 )	
OT邸	228 ( 19096 ) → 71 ( 6818 )	
A邸*	61 ( 8170 )	
B邸*	91 ( 11390 )	
C邸*	72 ( 10189 )	
D邸*	70 ( 8619 )	
E邸*	70 ( 8667 )	
F邸*	50 ( 6200 )	
G邸*	99 ( 12287 )	

単位: Mcal/m<sup>2</sup>(Mcal)

\*札幌の新省エネ基準対応の北方型住宅を対象に'95.11.1~'96.4.31までの6ヶ月間、筆者らが実測した結果である。

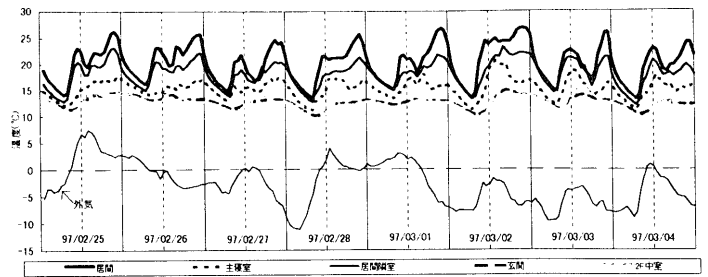


図4 (a) TK邸改修後の温度変動

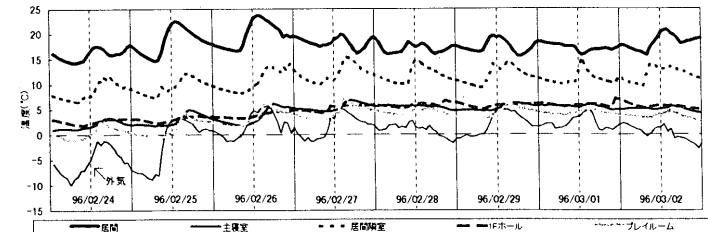


図4 (b) TR邸改修前の温度変動

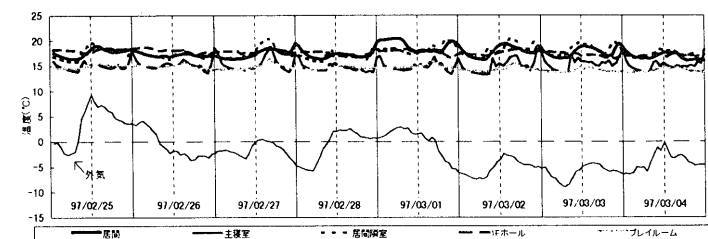


図4 (c) TR邸改修後の温度変動

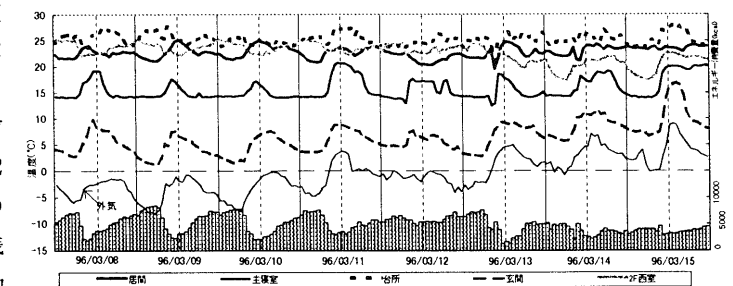


図4 (d) OT邸改修前の温度変動

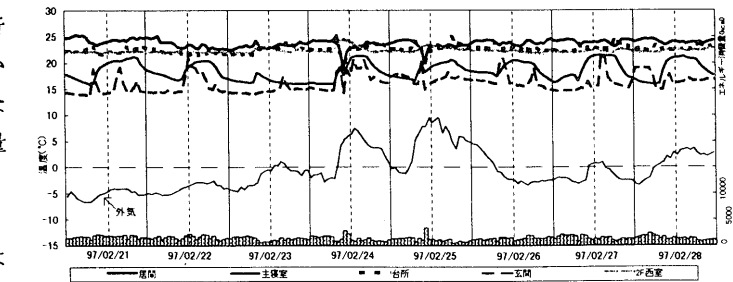


図4 (e) OT邸改修後の温度変動

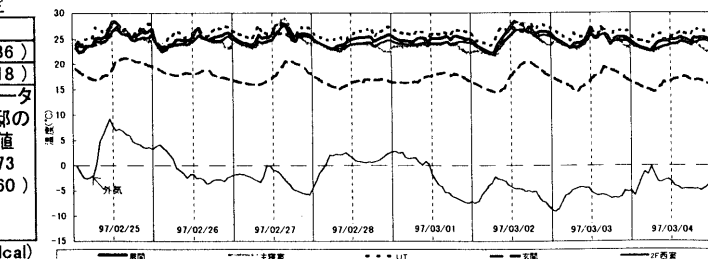


図4 (f) NT邸改修後の温度変動

持できるようになり、表面結露も解消された。さらに、図6によると、改修前は5~10℃あった居間の上下温度差が2~3℃に著しく改善されていることもわかる。また、表3からわかるように、全室暖房化したことにより暖房面積が3倍以上に拡大したにもかかわらず、暖房エネルギー消費量は2倍弱にとどまり、表3の参考値に近い値となっている。この結果から、断熱改修による冬期住宅内の温熱環境改善には、暖房システムの改善も重要であることがわかる。既存ストック住宅が大量に存在することを考えると、温熱環境改善効果の高いローコストな暖房システムの開発が望まれる。

3) CASE 3 -OT邸の場合-

図4(d.e)から、各室の温度は、改修前と比べて改修後は、やや室温の変動幅が小さくなり玄関が5~10℃程度上昇した他は、差異は少ない。これらのことは、図5・8でも同様の傾向が認められる。これは、改修前後とも終日サーモ制御による全室暖房を行っているた

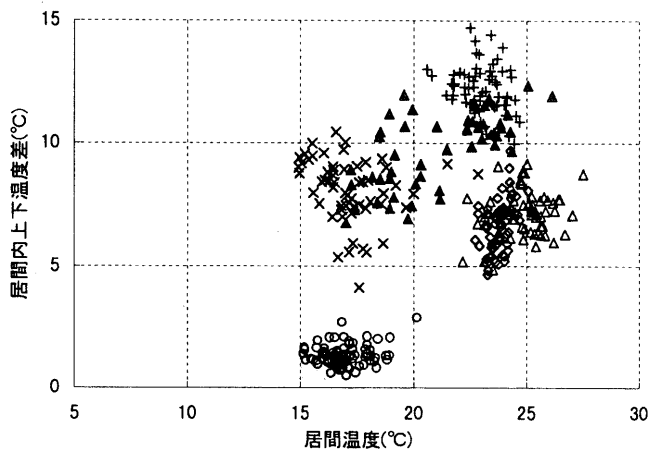


図6 居間温度-居間上下温度差

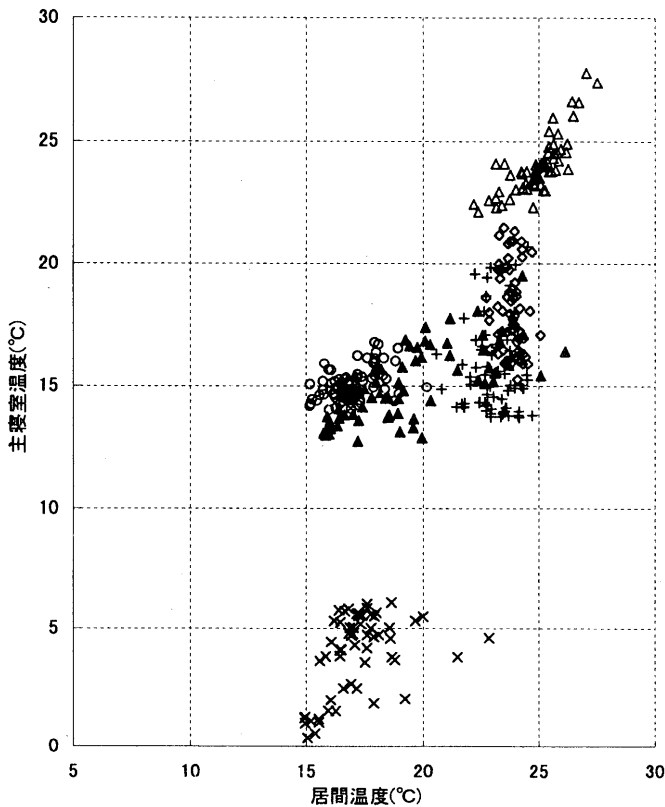


図8 居間温度-主寝室温度

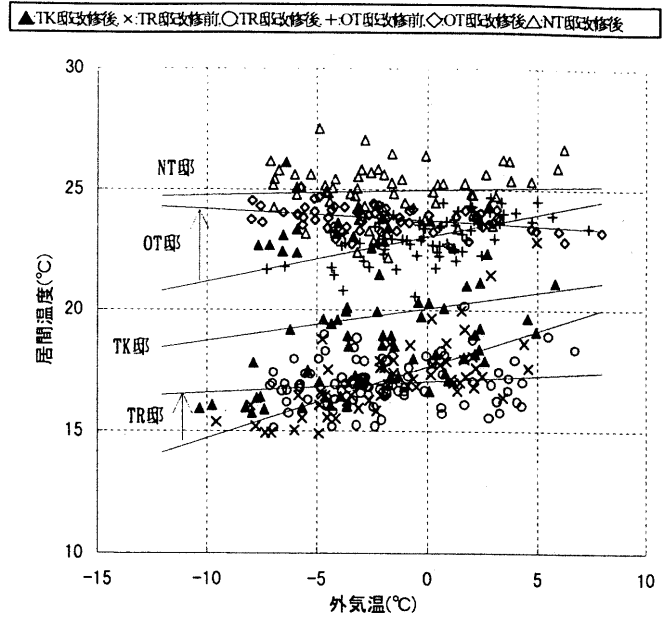


図5 外気温-居間温度

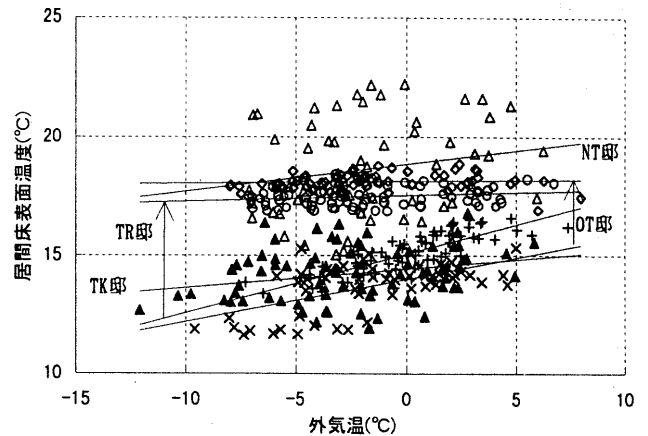


図7 外気温-居間床表面温度

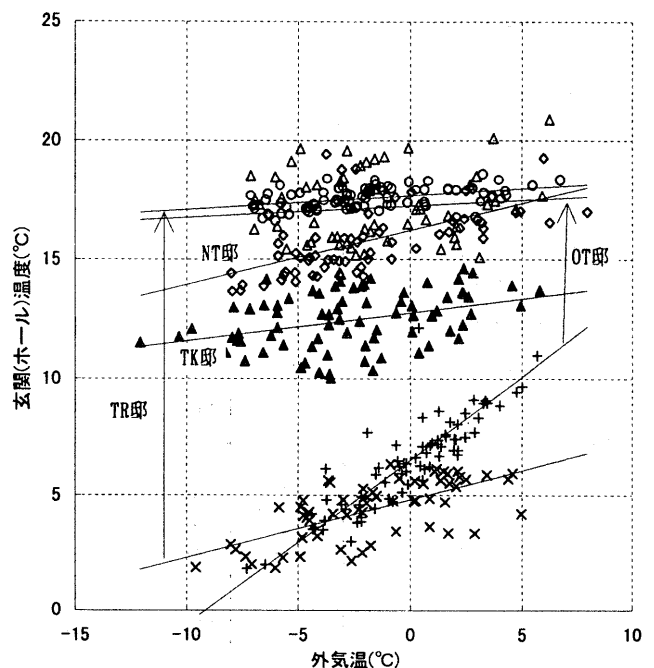


図9 外気温-玄関(ホール)温度

めと推測される。しかし、断熱改修によって、温度環境面では、居間の上下温度差は5℃程度減少し(図6)、基礎断熱の採用により床下温度が5℃程度上昇したこと(図10)に伴い居間床表面温度が3℃程度上昇しており(図7)、輻射環境や体感温度の改善には繋がっているものと考えられる。この住宅で、最も改修効果が顕著に認められたのは暖房用エネルギーであろう。すなわち図4(d, e)下に示す毎時の暖房用エネルギー消費量は、改修前は外気温変動の影響を直接的に受けかつその値も大きかったが、改修後は極端に減少している。表3からもその減少量は約60%程度と推測され、改修を行うことで表3の参考値レベルに低下したことが伺える。

#### 4) CASE 4 -NT邸の場合-

改修前の温度環境は聞き取り調査に依る以外にないが、冬期は居間のストーブを微少燃焼で24時間暖房し、ドアを開放する生活をしてきたため、各居室温は概ね15~20℃前後に保たれていた。しかし、夜間は、1階北側水周りスペースでは隙間風、居間で滞在時には1階和室からの空間対流による冷気を感じていたようである。改修後もストーブを20℃サーモ制御している他は同じ生活を行っているが、図4(f)、図5・8によると、各室温度はいずれも20℃~25℃前後の比較的高い温度で推移・維持されていることがわかる。また、前述したような漏気や対流による冷気感も解消された。居間の上下温度差は5℃以上あるが(図6)、これはストーブ1台による全室暖房によるものと考えられる。この住宅では暖房用エネルギー消費量を把握できなかったが、サーモ制御により暖房が切れている時間も多く、従前よりエネルギーの削減化が図られていると考えている。

#### (2)床下湿度について

全ての住宅で、1-5)に示す基礎断熱改修を行っている。

図11より、床下の湿度は、改修前後の測定結果のあるTR邸に着目すると、改修前は床下換気口を閉鎖状態において床下温度が5℃以下と低く相対湿度は80%程度であるのに対し、改修後は絶対湿度に差異はないものの、床下温度が10℃まで上昇し、湿度が50%程度まで低下したことがわかる。また、計測器の故障により相対湿度のデータが欠測しているOT邸改修後は、目視確認によると、結露の発生は認められなかった。更に、改修前後で絶対湿度が変化しないと仮定すると、温度が5℃前後上昇したことにより、相対湿度は70~80%で推移していると考えられる。同一住宅での比較ではないものの、OT邸の改修前、TK・NT邸の改修後からもほぼ同じことがいえる。以上のことから、この改修方法は、高湿で耐久上不安のある床下空間を、空気温の上昇によって乾燥状態に維持することができるという耐久上の利点も有していると考えられる。

加えて、図7より、改修前後の測定結果のあるOT邸では、改修によって床表面温度が上昇しており、1階居室の温度環境の改善にも効果があると考えられる。今後、中間期・夏期の測定を行った上で判断すべきであろうが、冬期においてはこの改修方法の温熱環境上の有効性は示し得たと思われる。

#### 5. まとめ

北海道の典型的な既存戸建住宅の断熱改修の実際的なケーススタディと温熱環境調査から、次のことが明らかとなった。

1)本報で示した改修方法は、居住者の生活状態で工事でき、暖房設備を除けば概ね600万円程度の費用で工事可能と推測される。

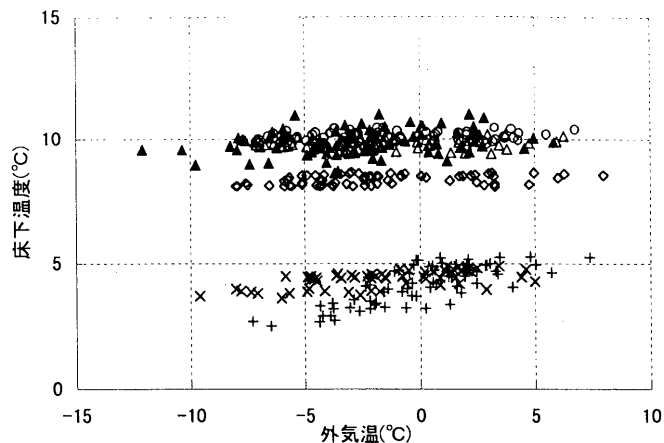


図10 外気温-床下温度

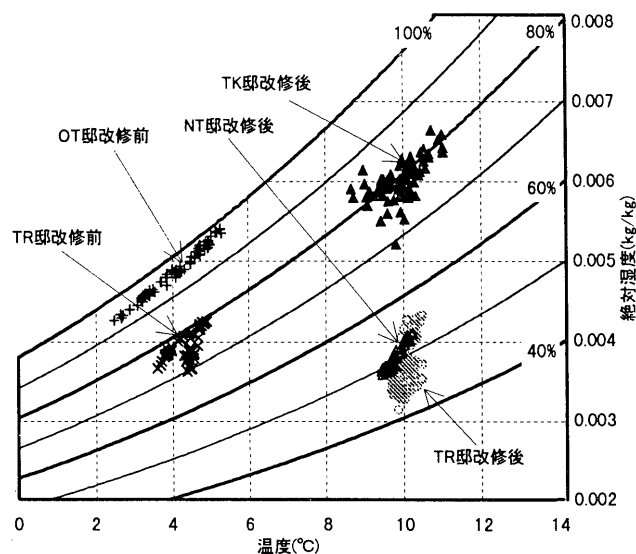


図11 床下空間における温度と湿度の相関

2)改修によって、各住宅の $\alpha A'$ は2~3前後となり、最近の気密化住宅と同程度の気密性を確保することが可能である。

3)断熱改修によって、暖房方式や生活パターンにより多少の差はあるものの、各室の温度は上昇・安定推移し、暖房機器の設置されていない空間の温度上昇に伴って室間の温度むらも減少し、加えて居間の上下温度差が小さくなる等、居室の温度環境が顕著に改善される。

4)断熱改修に合わせて、暖房システムも住宅の温熱環境改善に大きな影響を及ぼすため、暖房設備の改修を行うことが重要である。

5)暖房面積当たりのエネルギー消費量の推定では、改修前から全室暖房暖房していたOT邸の低減効果が著しいが、部分間欠暖房を行っていたTR邸では暖房面積の拡大に伴い2倍程度に増加した。しかし、実測したTK邸も含めて、新築の高性能住宅と同程度のレベルのエネルギー量で、3)に示したような温度環境が維持できる。

6)本報で示した基礎断熱改修方法は、冬期間にあっては、床下空間の乾燥維持に有効である他、床表面温度上昇による居室の環境改善が期待できる。

今後は、基礎断熱改修による床下空間の通年測定、各換気手法の評価等を行うと共に、更に実際的な改修を重ね、具体的手法と検証を繰り返しながら既存住宅の断熱改修手法について整理・提案していく予定である。

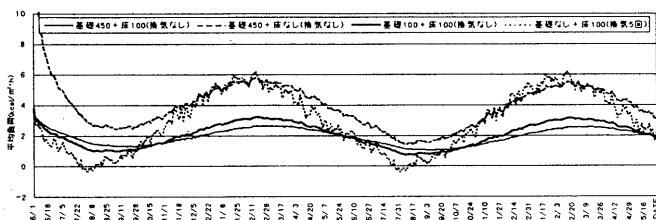
最後に、改修及び評価のため協力して頂いた、入居者・施工者など多くの方々に記して感謝の意を表します。

なお、ここで適用した改修手法は、日本建築学会北海道支部北方系住宅専門委員会(主査：北海道大学 荒谷登教授)に1995年4月から2年間に渡り設置された断熱改修小委員会で検討された結果を基に、更に検討を加えたものである。また、改修の実施と評価は、(財)北海道建築指導センター内北海道住宅環境協議会に設置された断熱改修評価WG(主査：寒研 鈴木大隆)で行ったものである。

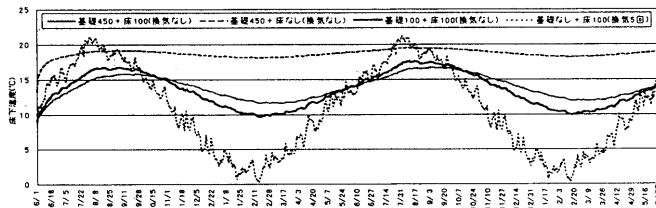
本論文に関連する既往論文  
小笠原一隆、鈴木大隆、北谷幸恵、本間義規、福島明、鎌田紀彦：既存住宅の断熱改修と温熱環境評価、1997年度日本建築大会学術講演梗概集D

註

1) 基礎断熱改修による床廻りの熱損失特性を、基礎周長：40m、室内温度：20℃(一定) 基礎部断熱材：ポリスチレンフォーム(B3)75mm、床断熱材：グラスウール10kとして、2次元の非定常計算により検討した。熱負荷は下図のようになり、床に100mm程度の断熱がある場合、基礎部断熱材の根入深さによる影響はきわめて少ない。



また、年間温度変動は下図のようになる。床断熱と基礎断熱を併用した場合、夏期の床下温度上昇は少ない。冬期を除いて積極的に換気をするのが望ましい。



2) 断熱改修ニーズが高いと思われる昭和55年以前に建てられた住宅では、旧建築基準法に基づいており、壁量の規定が現行法規よりも少なかったため、構造耐力の面でも現行の住宅と比較して劣っていることが予想される。主として通気層を有する断熱外壁の通気層と断熱材の境界面に設置される防風層に使用されているもので、壁面側は透湿性・外気側は気密防水性に優れた材料をいう。JIS A6111/1995で規定。

4) 壁内通気の恐れがある壁体(繊維系断熱材などを充填した外壁や、在来木造工法などの間仕切り壁等)の上下端部を塞ぎ、通気を抑制する建築部材である。規格寸法は430mm(間柱-間柱)×395mm(柱-間柱用)、厚さ75mm。グラスウール10kを片面は有孔、もう一方は無孔のポリエチレンフィルムで梱包しており、床側に使用するときには湿気の侵入を抑えるため室内側に無孔側を、天井側では水蒸気を逃すため有孔側を室内に向ける形で2つ折りにし、軸間に詰込む。

参考文献

- 1) 吉野博、長友宗重ほか4名：カナダR-2000仕様に基づいて建設された高断熱高気密住宅の熱空気環境に関する長期測定、日本建築学会計画論文集 第471号、19-28、1995年5月
- 2) 吉野博、長友宗重ほか2名：戸建住宅8棟の熱損失係数に関する同時測定と設計値との比較、日本建築学会計画論文集 第473号、7-14、1995年7月
- 3) 飯田雅史、菊地弘明、佐久間賢孝：パネル化した外断熱工法とその評価 北海道における木造住宅外断熱工法に関する基礎的研究その5、日本建築学会計画論文集 第479号、117-124、1996年1月
- 4) 福島明、入江雄司：熱交換換気システムを用いた集合住宅の結露防止方法に関する研究、日本建築学会計画論文集 第480号、1-6、1996年2月
- 5) 祝家燕、坂本雄三ほか2名：調湿材を利用した住宅冷房システムに関する基礎研究 その1・基本アイデアと設計手法、1994年度日本建築学会大会学術講演梗概集D、273-274
- 6) 塚本吉宣、坂本雄三ほか2名：調湿材を利用した住宅冷房システムに関する基礎研究 その2・調湿材の吸放湿性能と蓄熱材の蓄冷性能、1994年度日本建築学会大会学術講演梗概集D、275-276
- 7) 住宅金融公庫：住宅・建築主要データ調査報告平成6年度-戸建住宅編-
- 8) 鎌田紀彦、鈴木大隆ほか4名：在来木造住宅の断熱改修工法の測定結果について、日本建築学会北海道支部研究報告集No.59 昭和61年5月
- 9) 福島明、入江雄司：寒冷地における基礎断熱した床下空間の温湿度環境特性、日本建築学会計画論文集 第478号、17-22、1995年12月
- 10) 総務庁統計局：平成5年住宅統計調査報告 第3貫都道府県編 その1 北海道
- 11) 宮浦隆明、絵内正道ほか3名：炭酸ガス定濃度法によるパッシブ換気の変動実測 その2(高気密住宅の換気に対する外部風速及び内外温度差の影響)、1995年度日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、717-718
- 12) 福島明、本間義規、絵内正道：基礎断熱した床下を給気空間とした自然給気方式の特性、1995年度日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、725-726
- 13) 絵内正道、荒谷登：北海道住宅の気密性能の現状とパッシブ換気の可能性、1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、649-650
- 14) 福島明、土井聰、絵内正道：寒冷地のパッシブ換気に関するシミュレーション、1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、653-654
- 15) 細谷俊人、福島明、鈴木大隆ほか3名：新省エネ対応住宅の暖房用エネルギー実態調査、日本建築学会北海道支部研究報告集No.69 1996年3月

(1998年4月7日原稿受理、1998年9月9日採用決定)