

第2章 躯体断熱及び設備改修技術の低コスト化・簡易化技術の開発

既存住宅の断熱性能を強化することは、家庭から排出する二酸化炭素の削減に寄与し、その削減目標を達成する上で不可欠な手段の1つである。しかしながら、断熱改修を普及していくために必要な居住者のライフスタイルやニーズに合った改修計画や改修技術などの情報が、これまでに十分には整備されてこなかった。

本章では、(独)建築研究所敷地内に建設した在来木造住宅を模した実験住宅試験体を使用し、断熱改修手法の施工性検証と断熱改修による性能検証の検討結果を記した。実用性が期待できる種々の断熱改修方法を試験的に適用し、歩掛り、コスト等の観点から評価した。また、冬期夏期における改修前後の室内環境を比較して、断熱改修手法が省エネルギー・温熱環境に及ぼす効果を定量的に把握し、断熱改修の普及に向けて必要となるライフスタイルやニーズに合った改修計画・改修技術に関する実務的な情報を整備した。また、設備改修の事例として換気設備改修事例を取り上げ、換気設備改修における課題の抽出と効果の検証を行っている。

2.1 改修実験用試験体の概要

試験体は、在来軸組みの木造住宅を模したもので概ね20年ほど前の建物仕様（断熱性能、内外仕上げ、基礎形状）を想定し、設計・施工されている。ただし、内装については実験を前提とした状態（合板をビス止め、若しくは、内装下地のまま）であるため、それらを考慮し実際の現場との関係を見据えながら検証を行うものとした。

基礎は、土間コンクリートとまさ土の2種類とした(図2.1.6)。これは、基礎の違いによる施工性、温湿度性状の変化等について検証するためである。そのため基礎の人通口は、異なる基礎が接する部分で押出し法ポリスチレンフォームによって塞ぎそれぞれ区切られた状態とした。

表2.1.1 実験棟の基礎データ

所在地	茨城県つくば市建築研究所内（IV地域）	
建物規模	延床面積：134.98㎡（1階：80.33㎡、2階：54.65㎡）	
仕 上 げ	外装	屋根：和瓦（北側下屋根金）、外壁：ラスモルタル
	主な内装(LDK)	床：フローリング t=12mm 壁：ラワン合板 t=5.5mm 天井：ラワン合板 t=5.5mm (キッチンのみプラスチックボードt=9.5mm)
	基礎	土間コンクリート：LD西側、廊下、水廻り まさ土敷き：LD東側、和室、キッチン
断熱仕様	外 壁：グラスウール10k t=50mm、 サッシ：アルミサッシ・シングルガラス(パッキン加工)	

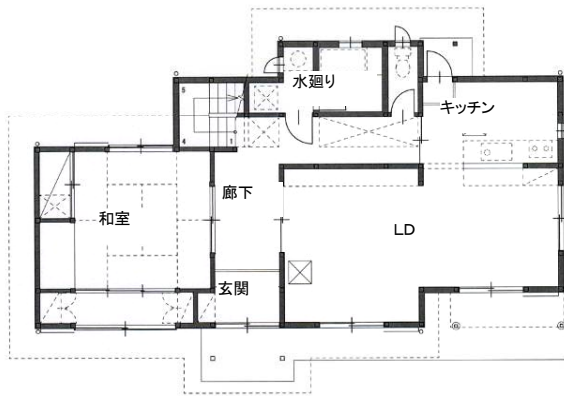


図2.1.1 1階平面図

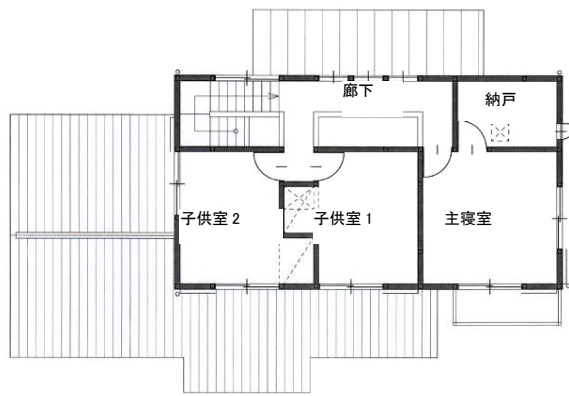


図2.1.2 2階平面図



図2.1.3 外観写真 (南・東面)



図2.1.4 外観写真 (北・西面)



図2.1.5 内観写真 (LD)

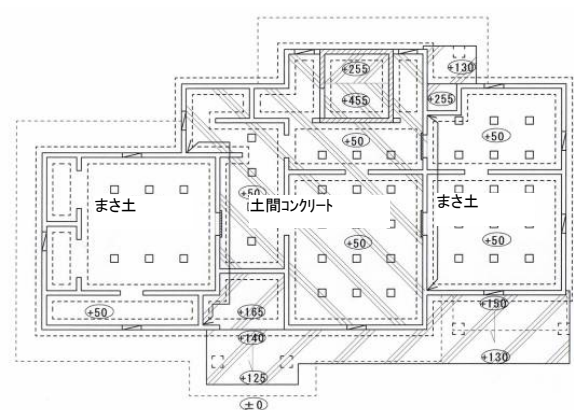


図2.1.6 基礎伏図

2.2 断熱改修手法の施工性検証

2.2.1 実験概要

(1) 施工性検証の視点

施工性検証では、部位毎に異なる改修手法によって断熱材を施工し、それぞれの特徴を把握することを目的とした。また、設計者や施工者がユーザーに対して最適な改修手法を提案するための情報を整理すると共に、性能検証の実施に向けて実験棟に適した手法を調査することとした。

(2) 施工性検証のポイント

実験における主な検証ポイントは、施工手間（作業性、断熱材の設置状況、作業時間と人数、その他）の実態把握と、そこから求められる歩掛りの検討、コスト試算である。

- ①施工手間の検証では、作業状況の確認（搬入の容易性、断熱材の切断や設置の容易性、ズレ・たるみ・隙間の有無、落下防止材・枠廻り材の設置状況など）、作業工程(各工種に要する時間と人工)、専門的な技術・資格等を要するか否かを確認した。
- ②歩掛りの検証では、施工実験における労務量や作業効率を元に各改修手法の参考歩掛りを試算する。また、使用した材料費、施工手間から算出した歩掛り、人工賃等から施工コスト（㎡単価）の試算を行うこととした。
- ③その他として、解体時の分別容易性（復旧する際に確認）、リサイクル性（リサイクル材、リサイクルできる材質、その他）、ノンフロン材、室内空気質関連の表示（F☆☆☆☆）を確認し、また現場の工事進捗に応じて起こる課題を記録した。

(3) 施工者の選択

確実な現場検証を実施するためには、事前に施工の流れや注意点について、ヒアリングによる確認が不可欠である。さらに、手本となる施工現場を収録するため経験が豊富な断熱専門業者による施工を原則とした。ただし、断熱専門業者の施工可能な範囲が限られるため、サッシの枠廻りや木下地などの木工事が発生する改修メニューは工務店による施工とし、現場での作業状況に差が生じないように、施工者は常に同様の業者とした。

(4) 施工時のチェックリスト

施工性検証実験を行う際に、監理者の視点に差異が無く前述の検証ポイントを監理し各手法毎に比較検討するため、チェックリストを作成し必要なデータを現場で記録した。

2.2.2 施工性検証実験

(1) 施工性検証実験のメニュー

施工性検証実験を実施する工法は、既往調査における断熱改修メニューの中から、実験棟で施工可能なメニューを絞り込んだ。その際、基本的な方針として、新築時と同様の施工状況となる改修工法は除外した。また、実務の現場で実績のある工法も考慮に入れ検討を行った。

上記検討により、実験棟での改修メニューを表2.2.1の通りとした。断熱専門業者により①②間仕切壁・外壁の上端部気流止め③床下断熱材充填⑥階間断熱材敷込み工事を、工務店により④外壁・間仕切壁の断熱材張付け⑤階間断熱材張上げを、サッシ業社により⑦開口部ガラス交換の施工

を行った。

施工箇所は、実験棟のLD、及びキッチンを対象とし部分断熱改修の実施とした。気流止めの施工については建物全体を対象とした実験を行った。(図2.2.1、図2.2.2)

表2.2.1 施工性検証実験のメニュー

部位	実験改修手法	使用した断熱材
間仕切壁、外壁 の上下端部 (小屋裏、床下)	①床下から気流止めを設置する。	①-1:グラスウール 10K 50mm サイズ 430×1370 壁用 →450mm 程度にカットし挿入
	②小屋裏から気流止めを設置する。	②-1:圧縮グラスウール 高性能 16K 150mm サイズ 390×430 →専用のビニル袋に入れて、掃除機で空気を抜き取り圧縮、挿入後にビニル袋を一部カットし膨張させる
床	③床はそのまま、床下から断熱材を充填する。	③-1:グラスウールボード 32K 80mm サイズ 263×910 切欠き 60mm →既製品サイズのまま挿入
		③-2:押出し法ポリスチレンフォーム 30mm(根太間)+30mm(大引間)、サイズ 914×1824 →根太、大引間寸法に現にてカットし設置
		③-3:押出し法ポリスチレンフォーム 30mm + 30mm/2枚重ね(大引間)、サイズ 914×1824/ →大引間寸法に現にてカットし、2枚張り合わせた状態で設置
外壁、間仕切壁	④内装材を下地として、その上から断熱材を張付ける。	④-1:押出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →壁の寸法(割付)に応じてカットし設置
階間	⑤天井材を下地として室内側から断熱材を張上げる。	⑤-1:押出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →天井の寸法(割付)に応じてカットし設置
	⑥天井に開口(450×450)を開け断熱材を挿入し、敷設する。	⑥-1:グラスウール 16K 100mm サイズ 430×1370 壁用 →既成品サイズのまま挿入
開口部	⑦既存ガラスをアタッチメント付きペアガラスに交換する。	⑦-1:アタッチメント付きペアガラス 3mm+A6mm+3mm

外壁・間仕切壁上部:小屋裏からの挿入

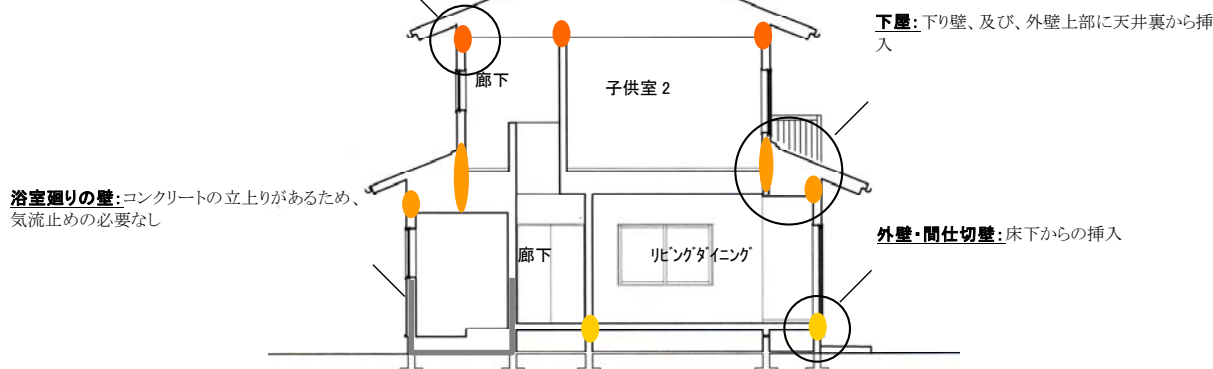


図2.2.1 気流止め施行箇所

階間:室内側からの断熱改修(天井張り上げ、及び、天井裏に充填)

壁:室内側からの断熱改修(壁張付け)

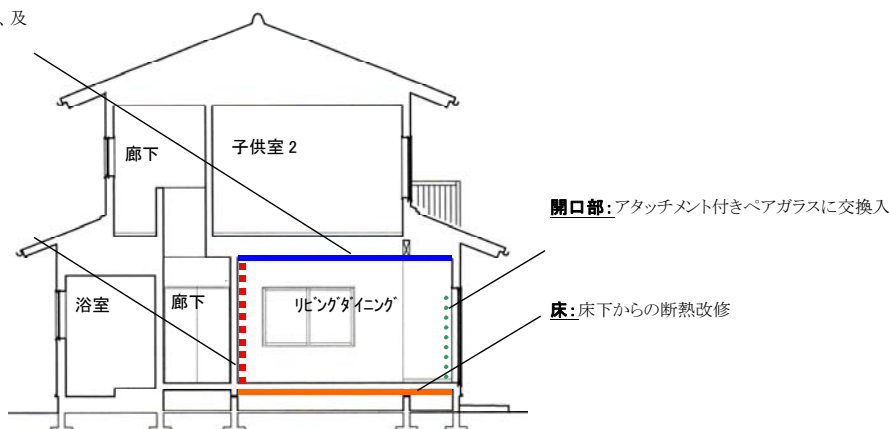


図2.2.2 床・壁・天井・開口部施行箇所

(2) 気流止め施工実験

床下から外壁及び間仕切壁下部にグラスウール（以下GW）10K50mmを450mm程度の長さにカットして挿入した。土台と根太の隙間や根太間の隙間（約50mm）から挿入する際、間柱が障害となり挿入し難い部位があった。特に和室は、畳の厚さ分だけ根太の設置高さが一般のフローリングより下がるため、根太と土台が平行に設置されている壁際は、土台との隙間が15mm程しかなく挿入し難い状況であった。施工が困難な部位は見られたが、予定範囲は全て設置し、延べ人数9人の作業員で総延長69.1mを3時間55分で完了した。机上では予定していなかった施工部位として、和室の畳下地の荒板と敷居下端の隙間（約30mm）や階段の側板と壁の隙間があげられる。

小屋裏から外壁及び間仕切壁上部に挿入した気流止めは、現場製作の圧縮GWである。高性能GW16K150mm（395×430）をビニル袋に詰め、掃除機で袋の中の空気を吸引し作成する製品である。圧縮された状態で間柱間（約420mm）に挿入し、袋に傷を付けて再び膨張し固定される。設置にかかる手間は非常に少なく効率的であったが、一連の製作作業にかかる時間は、小屋裏で挿入する作業よりも手間となった。ただし、実務の現場では、間柱間隔が一定でない可能性があるため、現場で採寸しその場で製作できるメリット（隙間無く挿入できること）は重要であった。小屋裏での作業性は良く施工が困難な部位も無かったため、延べ人数9人の作業員で総延長79.7m

を3時間25分で完了した。

床下の気流止めを挿入する隙間は、根太の設置方向や、根太と間柱の位置関係によって変化するため、柔軟性のあるグラスウールを裁断して丸めた部材は、作業がしやすく、細かな隙間を塞ぐことができた。ただし、指が入らないほど狭い場所には、補助的に現場発泡ウレタン等を充填する必要がある。小屋裏に使用した圧縮GWは、床下よりも施工性が良く短時間で完了したが、製作にかかる時間の短縮が課題となった。

下屋廻りについても施工実験を行ったが、階間に通じる下がり壁部分の封鎖や外壁（桁下）への挿入など、作業空間が狭く非常に困難な施工部位であった。実務の現場では設置できない個所がでてくる可能性が高い。また、床下や小屋裏は、床下収納庫や押入の天井から進入することができるが、下屋廻りは天井に点検口等が無い場合、進入口を開ける必要があるため、断熱工事だけの単独工事ではなくなる。進入口の復旧やクロスの張替えなどが発生するため、水廻りの修繕などとの道連れ工事として実施される部位と考えられる。



図2.2.3 床下の気流止め

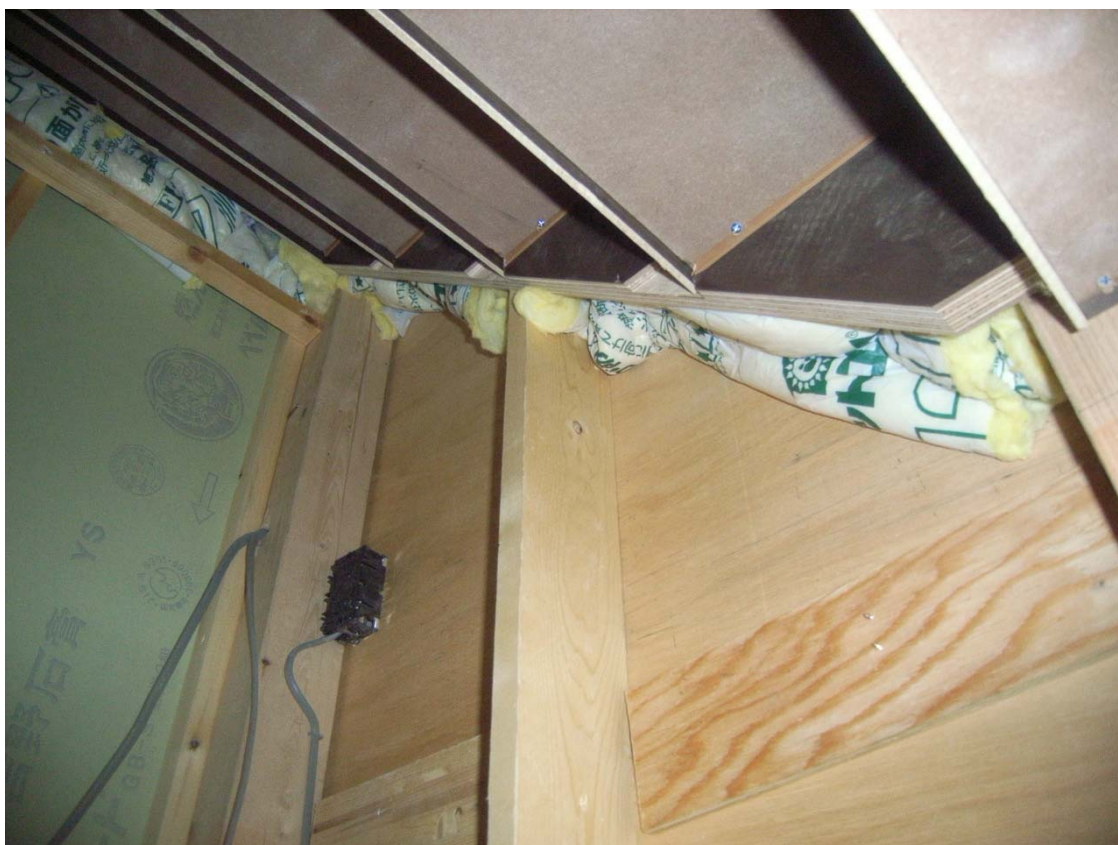


図2.2.4 階段の側板に挿入



図2.2.5 圧縮GWの製作



図2.2.6 小屋裏の気流止め

(3) 床下断熱改修施工実験

床下からGWボードを充填する改修工法は、事例の多い工法である。断熱材の設置状況は、特に隙間等の問題も無く順調に施工することができた。GWボードは、根太間充填用に切欠き付きでプレカットされているため、定尺の部分は、現場での加工が無く、廃棄物の量は最小限に抑えられた。また、柔軟性のある材質のため、少々きつめでも根太間に押し込むことができ、かつ、狭小部や配管廻りなどでも隙間無く充填することが可能であった。

断熱材の支持方法は、新築時に床上から設置する金物を使用したため、現場で二次加工する必要があった。また、金物にビスを通し仰向けの状態で取り付ける作業に問題があり時間のロスに繋がった。そこで、作業時間の短縮と固定の簡略化を考慮して実験の途中から梱包用のPPバンドによる支持を試行した。PPバンドの場合は、タッカーを利用して留めつけるため、仰向けの状態でも作業性は良く一度に複数の根太下に固定することができ効率的であった。床下断熱改修は、延べ人数8人の作業員で総面積34.8㎡を5時間20分で完了した。

床下断熱改修の課題は、断熱材の固定方法であった。通常は支持金物の他、長ビスや釘、栈木を使用するが、今回試行したPPバンドは支持方法のひとつとして有効であることを確認できた。改修専用の部材として、バンド状の製品の検討も必要と考えられる。また、部屋の壁際などで根太の間隔が一定でない場合、床下での採寸と加工場への伝達が行われた。採寸、伝達、加工、搬入の一連の作業で伝達ミスによる寸法間違い等が発生し時間のロスを生じた。そこで、断熱材を設置する前に、作業員全員で床下のサイズを採寸した後、定尺部分を先行的に設置し、その間に

不定形部分の加工を進める手順の方が、より効率的な施工が可能になると考えられる。



図2.2.7 根太間への断熱材挿入



図2.2.8 PPバンドによる支持

(4) 開口部改修施工実験

アタッチメントによるペアガラス化は、通常ガラス交換と同等であるため、施工上の問題は特になかった。ただし、既存サッシの障子にはめ込む際に、溝に入り難い個所があった（採寸した寸法の問題）。また、アタッチメントガラス（FL3+A6+FL3）設置に伴う荷重増加によるサッシへの負荷についても、既存サッシが網入りガラス $t=6.8\text{mm}$ に対応できる製品であったため問題にはならなかった。また、実験ではパッキンの取替えは行わなかった。延べ人数2人の作業員で4ヶ所のガラス交換を2時間で完了した。

アタッチメントガラスを設置する場合、網戸との取り合いを確認する必要がある。実験ではアタッチメントと網戸が干渉しなかったため空気層を 6mm 取れたが、既存サッシに緩衝する場合は空気層を 5mm に変更し設置する必要がある。また、アタッチメント部分によって、上下左右共に 20mm ほど有効開口面積が狭くなることがデメリットであった。



図2.2.9 サッシ障子の分解



図2.2.10 施工後のサッシ

2.2.3 施工コストの試算

(1) 歩掛りの検討

施工性検証実験の結果から手法毎の特徴を把握すると共に、実験における労務量や作業率を元に断熱改修工事の参考歩掛りを検討した（表2.2.2）。歩掛りは、実験の作業人数と労務量から導いた作業率を1日当たり（8時間）の作業量に換算し、その値を施工人数で割り1人当たりの1日の作業量を求め、各単位当たりの値を算出した。この係数を原単位として、施工者は改修工事の工程計画や見積りを行うことができる。例えば、手法毎の参考歩掛りに労務費を掛けることにより、工事単価を簡易的に算出することが可能である。ただし、断熱改修の場合は、根拠となる作業率が、工事の慣れなどによって異なる可能性がある。例えば、経験の少ない工務店が同じ作業をした場合、今回と同様の成果が得られないことは予測できる。また、床下の気流止めの工事からも、作業人数の違いで外壁廻りの方が非効率であることが分かる。従って、今後の課題は、前提条件や係数などが、実務の現場と乖離が無いか、来年度の実験結果も踏まえて、引き続き検証することが不可欠である。

表2.2.2 実験結果による参考歩掛り

	作業人数	延長面積	労務量 作業時間	作業率	参考歩掛り	備考
床下： 気流止め工事	6人	41.9m	2時間25分	17.3m/h	0.043	外壁廻り
	3人	27.2m	1時間30分	18.1m/h	0.021	間仕切壁廻り
小屋裏： 気流止め工事	6人	44.6m	1時間50分	24.3m/h	0.031	外壁廻り
	3人	35.1m	1時間35分	22.1m/h	0.017	間仕切壁廻り
床下： GWボード充填工事	4人	15.0m ²	3時間20分	4.1m ² /h	0.122	金物固定
	4人	19.8m ²	2時間00分	10m ² /h	0.050	PPバンド固定
開口部： アタッチメント工事	2人	4ヶ所	2時間00分	2ヶ所/h	0.125	掃出し2ヶ所， 窓台2ヶ所

2.3 断熱改修による性能検証

2.3.1 実験概要

夏季に初期性能を測定した後、中間期に施工性を検証する実験を実施してから一旦初期状態に復旧、冬季に再び初期性能を測定し、再度各部位の順に改修を行って、そのたびに性能を確認する手順とした。

対象とする改修手法としては、床下からの気流止め（全体）、小屋裏からの気流止め（全体）、床断熱（GW32K80mm（ボード状切欠き加工品）根太間：LDKのみ）、階間空間への断熱材敷設（LDKのみ）、開口部のガラス交換（LDK）と、間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み（LDKのみ）を性能検証のための改修手法として選択し、順に施工していく途中で気密性能、熱性能などについて測定した。また、気密性能に関しては施工性検証実験として実施した気流止め改修の合間にも測定を実施した。

2.3.2 気密性能の検証

(1) 測定方法

測定は、表2.3.1に示す改修段階において行った。また、測定部位としては、住宅全体のほか、LDK、和室等の部屋ごと、さらに壁と床もしくは天井の接合部などの個別部位も対象とした。なお、部屋ごとの気密性能測定の際には隣室等への開口部をシールして行い、個別部位の場合には対象部位だけを養生テープで覆って行った。測定では、内部の圧力を外気に対し-10～-50Pa となる様に送風機のファンの回転数をファン用インバーターにて制御し、その時の試験棟内外差圧と通気量等を記録した。測定した各差圧と通気量の対数プロットの最小二乗法により回帰直線を求め、総相当隙間面積 αA （ cm^2 ）と隙間特性値 n を求めた。なお、住宅全体の場合には5回、部屋ごとの場合には3回の測定を行い、その平均値を測定値とした。なお、隙間特性値 n は、いずれも1.5～1.7程度であった。

表 2.3.1 気密性能測定時期

改修段階	測定日
改修前（夏季初期状態）	2006.8.6 - 12
気流止め施工中および施工後	2006.8.22 - 25
復帰後（冬季初期状態）	2007.1.12 - 14
気流止め施工後	2007.1.19 - 22
LDKの床断熱・窓ガラス交換後	2007.3.7 - 9
LDKの間仕切り・天井断熱後	2007.3.10 - 15

(2) 測定結果および考察

1) 性能検証実験時の気密性能の変化（部屋ごと）

図2.3.1に性能検証実験時の各改修段階における、部屋ごとの相当隙間面積の変化を示す。夏季初期状態と冬季初期状態を比較すると一気に相当隙間面積が増加しているが、これは巾木と床の隙間が夏季にはほとんど無かったものが、冬季には大きく広がっているなどの点から、使用され

ていた木材の乾燥による収縮が大きく影響していると考えられる。ほかには、その間に行われた改修施工実験により少しずつ隙間が広げられた可能性もある。

その後の改修では、通気止め実施後にはどの部屋でも相当隙間面積が減少した。特に和室での気密性の変化が大きく、和室の壁と床もしくは天井の接合部位などにすき間の大きかったことがうかがわれる。

床断熱とガラス交換の施工後には、LDKの相当隙間面積の増加がみられるが、これはガラス交換に伴い窓周辺の隙間が増加したことが大きな要因と考えられる。

2) 性能検証実験時の気密性能の変化（LDKの部位ごと）

図2.3.2に性能検証実験時の各改修段階における、LDKの部位ごとの相当隙間面積の変化を示す。外壁および間仕切り壁の廻り縁と天井下地の隙間が特に大きい。床断熱とガラス交換の施工後には、窓の相当隙間面積が増加しており、LDKの相当隙間面積の増加の原因と考えられる。エアコンについては、その取り付けにあたって冷媒管を通すための開口をエアコンの背後の壁面に開けたが2箇所のエアコンのどちらも15～20cm²程度の相当隙間面積であり、無視できない隙間のあることがわかった。

(3) 施工性検証実験時の気密性能の効果

図2.3.3に施工性検証実験の気流止め施工の各段階における住宅全体の相当隙間面積の変化を示す。あらかじめ別に測定した開口部の相当隙間面積、2階の天井や1階和室の畳などの気流止めに影響されない躯体の相当隙間面積、壁目地などの壁仕上げを施すことによって気密化される相当隙間面積も同時に示す。また、床下換気口および土台と基礎の間にある隙間を目張りした結果も同時に示す。図から、気流止め施工の範囲を広げていくに従って、徐々に気密性の高まっていく様子がわかる。特に和室の妻部分への気流止めの効果が最も大きく、次には間仕切り壁への気流止めが効果を有していた。気流止め施工をすべて実施した後には、壁と天井や壁と床の接合部位やコンセントボックスなどの気流止めにより気密化されと考えられる隙間は、残された相当隙間面積の半分以下となっているが、通常は壁紙などで仕上げられた際に気密化される壁目地などを除くと、残された隙間の中で、その比率はまだ大きい。

木造戸建て住宅の断熱改修を実験住宅で実際に実施し、その際の気密性能の変化を測定した。その結果床下と小屋裏からの気流止めによる気密性能向上への効果の度合いを示したほか、乾燥に伴う木材自身の収縮によるとみられる隙間の増大が大きいこと、廻り縁と天井下地の間の隙間が大きいこと、窓ガラスの交換により隙間の増大することがあるといった点などがわかった。

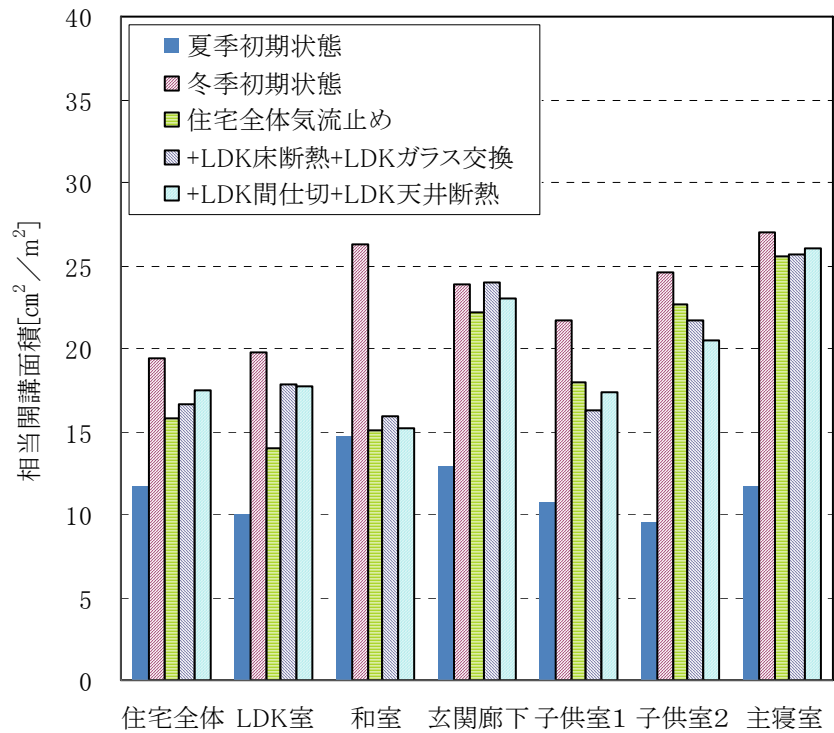


図2.3.1 性能検証実験時の相当隙間面積の変化（部屋ごと）

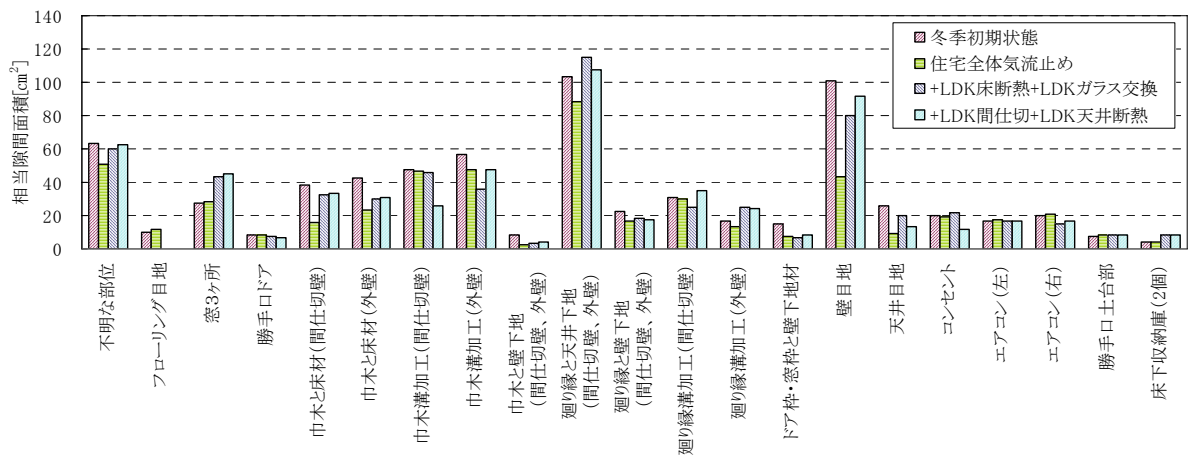


図2.3.2 性能検証実験時の相当隙間面積の変化(LDKの部位ごと)

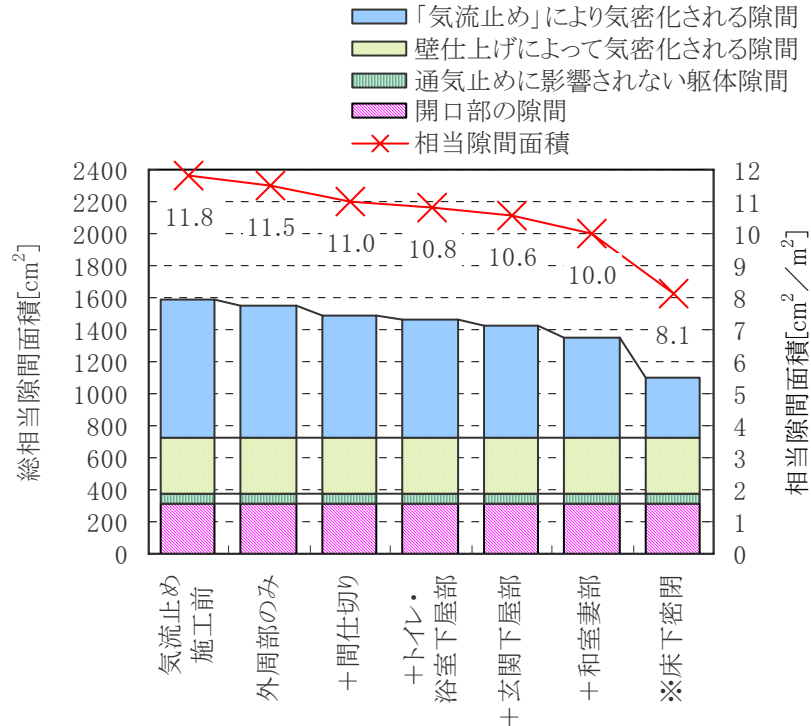


図2.3.3 施工検証実験時の相当隙間面積の変化

2.3.3 断熱性能の検証

(1) 測定対象とする改修手法

表2.2.1 に示した断熱改修手法のうち

- ①-1 (床下からの気流止め：全体)、
- ②-1 (小屋裏からの気流止め：全体)、
- ③-1 (床断熱、GWボード32k80mm根太間：LDKのみ)、
- ⑥-1 (階間空間への断熱材敷設：LDKのみ)、
- ⑦-1 (開口部のガラス交換：3-A6-3)：LDKのみ)

と、そのほかに

間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み (LDKのみ)

を断熱改修手法として選択し、順次施工しながら熱性能 (熱損失係数) について測定した。

(2) 測定概要

Q値の実測評価を表2.3.2に示す改修状況において実施した。本実測評価によるQ値の同定に必要な測定項目は、外気温、水平面SAT温度、室温 (グローブ温度)、消費電力の4項目である。室温は各室で測定し、それらを気積で加重平均し同定用の1個の室温とする。温度データの測定インターバルは10分間隔、消費電力データは1分間隔である。電気ヒーターにより一定熱量の内部発熱を測定期間中継続し、住宅内が均一な温度分布になるように同時にファンで室内空気の攪拌を実施した。なお、開口部のカーテンは閉じた状態である。測定状況を図2.3.4に示す。

表2.3.2 Q値測定時の断熱改修内容

測定No.	断熱改修内容	測定日
測定1	改修前（冬季初期状態）	2006.12/24 - 12/29
測定2	改修前（冬季初期状態）雨戸閉じ	2006.12/19 - 12/23
測定3	気流止め施工後	2006.1/27 - 1/31
測定4	LDK の床断熱	2006.2/6 - 2/10
測定5	LDKの窓ガラス交換後	2006.2/23 - 2/26
測定6	LDKの間仕切り壁・天井断熱施工後	2006.3/29 - 4/2
測定7	測定6の状態です戸閉じ	2006.3/25 - 3/28
測定8	測定7の状態です戸を断熱雨戸に交換	2006.4/3 - 4/9

(3) Q値の同定方法

本実測で用いたQ値の同定方法は、松尾の濾波法^{1), 2)}である。この方法は、(1)式で与えられる予測室温と実測室温の平均誤差が最少になる様に、式中の未定係数を定める方法である。未定係数が定まれば、Q値は(2)式によって与えられる。本同定ではSATは水平面だけを用いたので、(1)式における方位数は1である。

$$\begin{aligned} \theta_{R,n} - r\theta_{R,o} = & \phi_o (\theta_{o,n} - r^n \theta) + \phi_1 \sum \theta_{o,n-j} r^{j-1} \\ & + \sum a_k \left\{ \phi_o (\triangle \theta_{k,n} - r^n \triangle \theta_{k,o}) + \phi_1 \sum \triangle \theta_{k,n-j} r^{j-1} \right\} \\ & + (b_o - br) H_n + br(1-r) \sum H_{n-j} r^{j-1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q = 1 / (b_o \cdot S) \quad (2)$$

記号

θ_{Ri} : i 時の室温 (°C)

r, a_k, b_o, b : 未定係数

θ_{oi} : i 時の外気温 (°C)

$\triangle \theta_{ki}$: 時の(S A T)_k - θ_o (°C) (k が外面方向の場合)

Q : 熱損失係数 (W/m²K)

S : 延床面積 (m²)

$$\phi_o = 1 - \{1/\lambda \triangle t(1-r)\}$$

$$\phi_1 = 1/\lambda \triangle t(1-r)^2$$

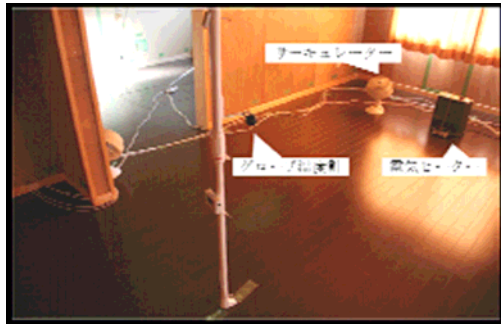


図2.3.4 熱損失係数の測定状況

(4) 測定結果および考察

表2.3.2に示した測定1の測定結果と同定状況を図2.3.5と図2.3.6に示す。図2.3.7と図2.3.8は測定3に対する同様な結果である。図2.3.6と図2.3.8において、 ΔQ は同定したQ値の信頼性に関わる指標であり³⁾、 ΔQ が小さいほど同定値の信頼性が高いことを示している。通気止め施工前冬季初期状態の測定では、 ΔQ は発熱開始後55時間後に最小値 ($0.403\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) を取るので、その時点のQ値 ($3.491\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) を同定値とした。同様に気流止め施工後の測定では ΔQ は発熱開始後32時間後に最小値 ($0.004\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) を取るので、その時点のQ値 ($3.330\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) を同定値とした。表2.3.3に全ての測定結果をまとめて示す。

上記測定1と測定3の結果から気流止めによる実験住宅の断熱性の向上はQ値で $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 、5%向上した。測定1(冬季初期状態)での気密性能C値は19.4、住宅全体気流止め施工後の測定3時点ではC値15.8である。Q値改善量の $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ は気密性向上による漏気低減と、グラスウール断熱材内部の気流低減による断熱性向上の二つの点によると考えられる。金属製雨戸の効果については、雨戸を閉じた測定2は測定1と同値であり、また同様の測定比較となる測定6と測定7でもQ値の値は同等であった。これより金属製雨戸による断熱性能の向上は本実験のような戸建て住宅では効果が見られなかった。測定8の断熱雨戸は厚さ10mm・熱伝導率 $0.0020[\text{W}/\text{mK}]$ の真空断熱材を雨戸に張付けた断熱仕様の雨戸である。測定6と測定8のQ値同定結果から、断熱雨戸によるQ値低減効果は $0.47[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ であり、断熱性能の改善効果が大きい。断熱雨戸の導入は交換作業のみで可能であり、住宅に対する工事が不要なことから、断熱改修手法のひとつとして有効であると考えられる。

以上より、戸建て木造住宅の断熱改修を実験住宅で実際に施工し、各段階で熱損失係数の実測による評価を実施した。その結果確認した断熱改修の効果は

- ・気流止めにより実験住宅の熱的性能はQ値で $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 改善される。
- ・金属製雨戸によるQ値の改善効果は認められなかった。
- ・真空断熱材を一体化した断熱雨戸を設置した場合にはQ値は $0.47[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 低減し、断熱性能改善に有効であることがわかった。

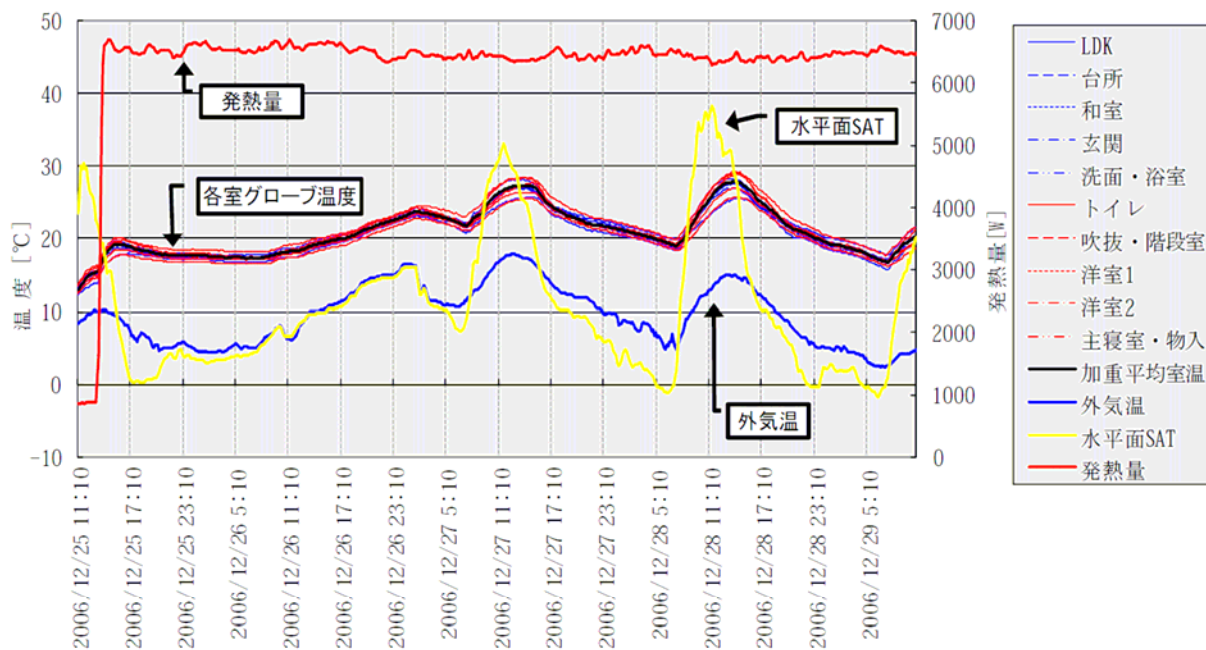


図2.3.5 測定1 改修前の測定データ

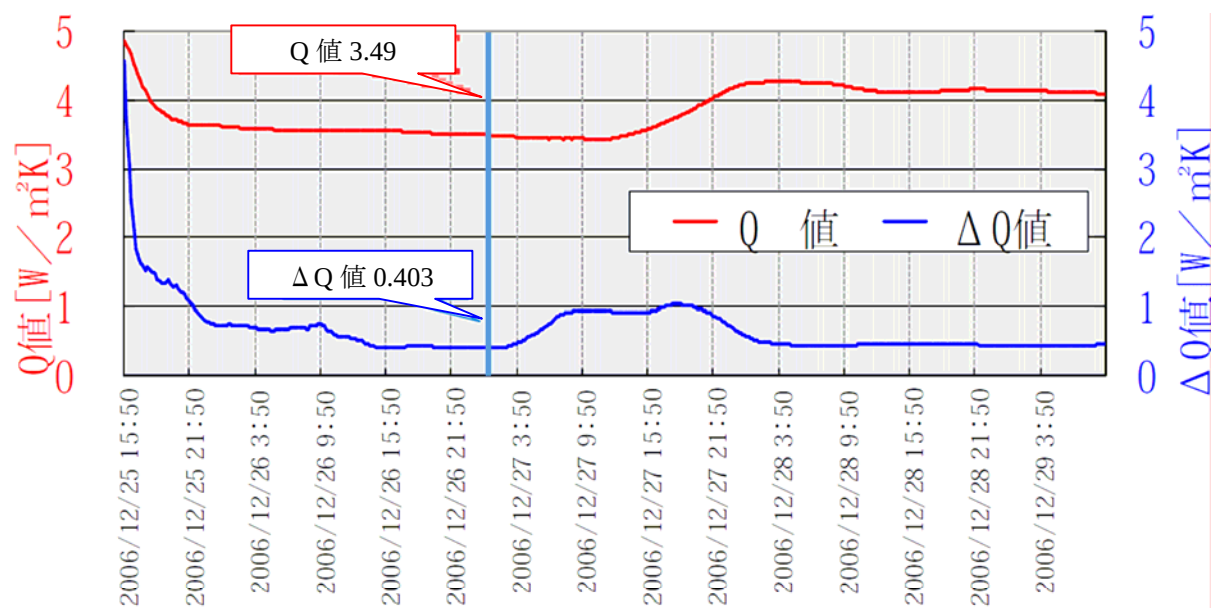


図2.3.6 時系列同定結果

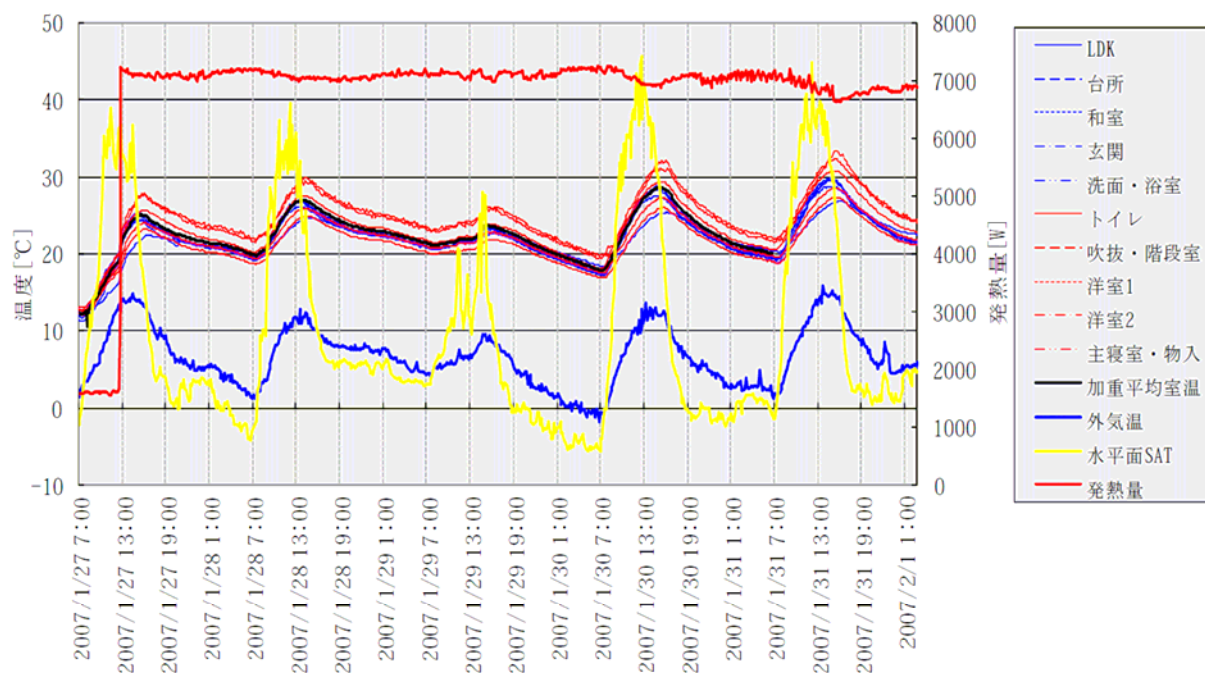


図2.3.7 測定3 気流止め施工後の測定データ

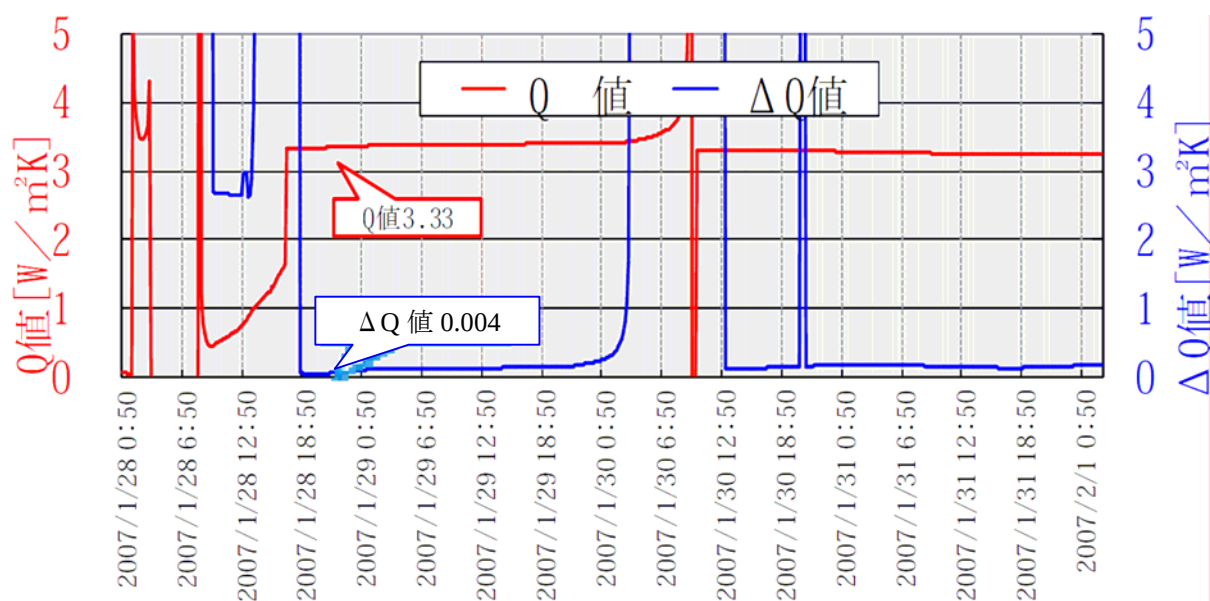


図2.3.8 時系列同定結果

表2.3.3 熱損失係数測定結果

測定No.	測定時の状態	熱損失係数測定値 [W/m ² ・K]	ΔQ値 [W/m ² ・K]
測定1	改修前（冬季初期状態）	3.49	0.403
測定2	改修前（冬季初期状態）雨戸閉	3.49	0.235
測定3	気流止め施工後	3.33	0.004
測定4	LDK の床断熱	3.30	0.546
測定5	LDKの窓ガラス交換後	3.24	0.149
測定6	LDKの間仕切壁・天井断熱施工後	3.12	0.507
測定7	測定6の状態で雨戸閉じ	3.16	0.174
測定8	測定7の雨戸を断熱雨戸に交換	2.65	0.089

参考文献

- 1) 松尾陽・斉藤平蔵：現場測定にもとづく住宅熱特性の推定、日本建築学会環境工学論文集、第3号、pp.13-18,1981
- 2) 永村一雄：熱的作用からみた建物躯体・人的生理の諸特性、東京理科大学博士学位論文、1988
- 3) 阿部尚史：現場実測による建物の熱損失係数の同定法に関する研究、東京大学博士学位論文、2003

2.4 設備改修事例

設備改修の事例として、既存住宅の居抜き工事で、断熱改修と共に換気設備の増設を行った事例を示す。

2.4.1 換気設備改修

(1) はじめに

快適性の向上と暖冷房にかかるエネルギー消費量の低減を目的とした「省エネ改修」では、改修後に住宅の気密性が高くなることが多く、内装に大きな変更がなかった場合においても局所換気設備の連続的稼働や、あらたな換気設備の導入による全般換気が望ましいと考えられる。しかしながら、既築住宅に新たな換気設備を設置することは、新築時に比べ難しく、かつ事例も多くはない。ここでは、省エネ改修の実施に併せて、ダクト式第三種換気システムの導入を行った事例にもとづいて、その施工手順や課題および施工後の風量検証について実施結果を示す。

(2) 改修概要

1) 改修の概要

図2.4.1に省エネ改修を行った在来軸組工法による住宅の平面図を示す。当該住宅は、竣工後1年半の新しい住宅であったが、断熱性向上と施工性確認を目的として屋根の断熱強化（既存のグラスウールを撤去しセルロースファイバーの施工）と換気設備の新設（H18.8/17～18実施）および、1F床の断熱強化（既存のプラスチック系断熱材上にセルロースファイバーを付加施工）とUB部の通気止め改修（H19.1/12～13実施）を行った。改修前後の気密性の変化を表2.4.1に示す。屋根の断熱施工時点では気密性は殆ど変化がなく、1Fの断熱施工及びUB部の通気止め施工後に気密性の改善が見られた。しかしUBの気密処理では手の入らない部分が多く施工不可能な箇所は可能な限りの施工となった。UBの気密処理を後から行う事が難しい事と気密性に与える影響が大きい事がわかった。

2) 全般換気設備新設の概要

新設換気設備の概要を表2.4.2に示す。このシステムは100mm径のフレキシブルダクトを用い、天井裏等に埋設するタイプで、本体ユニットが小型のものを選定した。新設した換気設備の施工手順とその工事区分を表2.4.3に示す。新築時の施工と異なり工数が多くなっているが、前述のように省エネ改修と同時に導入施工が出来たため、大工工事や電気工事など、もともと躯体の工事に従事している作業者が躯体側施工の合間に行うことが出来、効率的作業となった。また前述のように新設換気設備は、施工性の確認がひとつの目的であるが、既設の外壁設置型のパイプ用ファン（図2.4.1参照）は屋外フードに防虫網が設置され、かつ日常清掃が困難な位置に配置されていることから、風量低下に関しても確認することとした。

3) ダクト式全般換気設備の新設にあたっての課題

新設換気設備は、フレキシブルダクトを用いることでその施工性が高く、屋外側へのダクト用貫通孔は1箇所済む。また清掃も本体ユニット一箇所で行えることから施工性、維持管理の点から優位性が認められる。しかし既築住宅への設置では、以下の課題が確認された。

- ①ダクトが梁下などを通過する場合は、ダクトが天井より下側に露出してしまい、ダクトを隠すための下がり天井などの工夫と施工が必要
- ②ダクト施工作業や確認のため、天井等に穴を空けることが必要になる場合がある
- ③他の施工と同時に行えない場合は、大工工事、電気工事などが特別に発生する

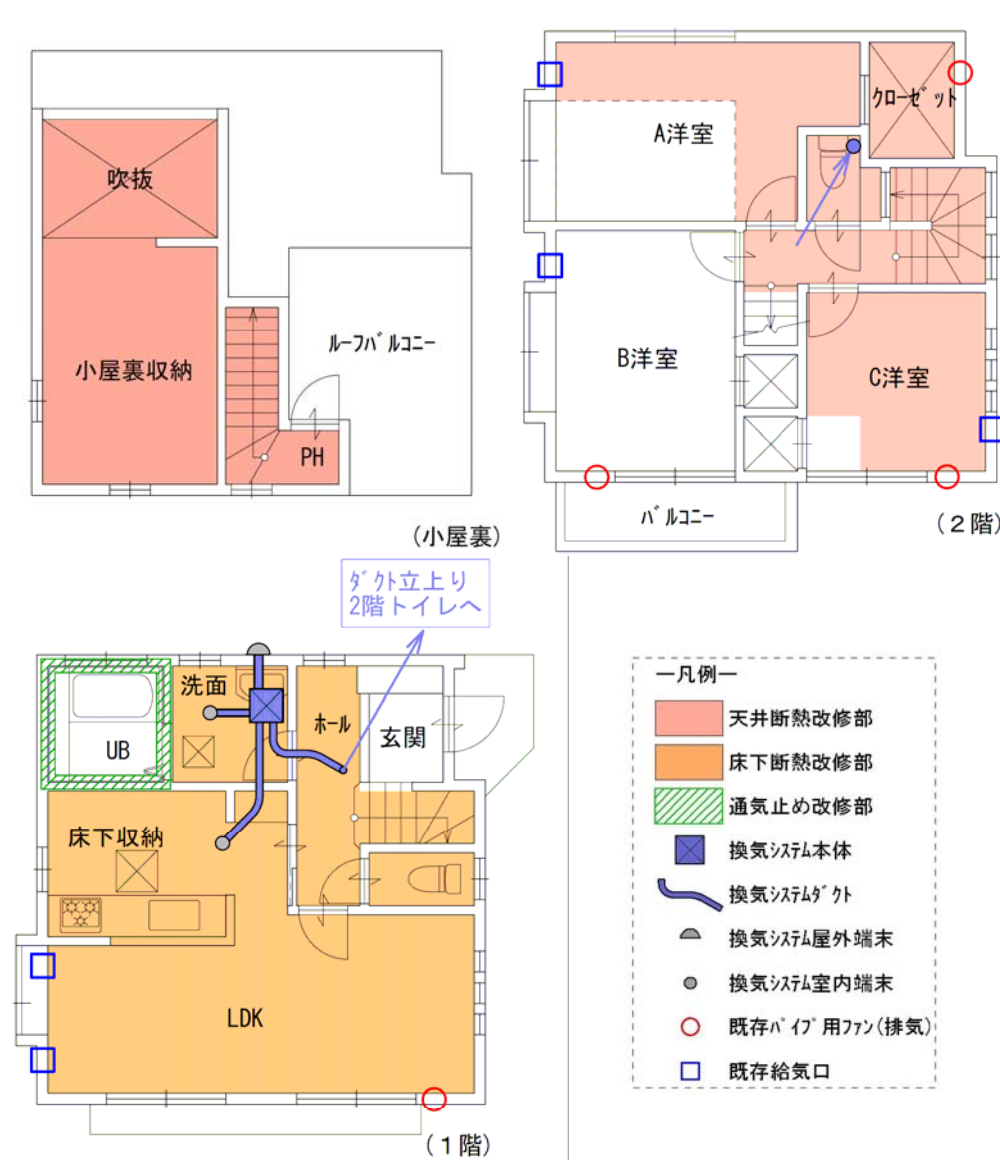


図2.4.1 改修実施住宅平面図

表2.4.1 改修施工前後の気密性

	αA [cm ²]	n値	C値 [cm ² /m ²]
施工前	464	1.77	5.5
屋根断熱/換気設備施工後	466	1.70	5.5
床断熱施工後	373	1.57	4.8

表2.4.2 新設換気設備の概要

整流モーター式排気型換気ユニット
最大換気量80m ³ /h（機外静圧80Pa時）
消費電力5～13W
大きさ390×390×176（mm）

表2.4.3 ダクト式換気設備新設の施工手順

手順	施工内容	施工箇所	区分
①	換気システム設置用の天井開口作成	洗面所	大工
②*	換気システム本体位置決め	天井裏	換気
③	換気システム用電線の設置	天井裏	電気
④	屋外側ダクト用貫通孔開口	外壁	換気
⑤	屋外側ダクトおよび屋外端末設置	外壁/天井裏	換気
⑥	本体の設置	天井裏	換気
⑦	室内端末側フレキシブルダクトの設置	天井裏	換気
⑧	室内端末の位置決め及び天井開口	各室	換気
⑨*	室内ダクト梁下貫通孔施工	洗面所/ホール	換気
⑩*	ダクトおよび本体埋設用の下がり天井の木枠作成	洗面所	大工
⑪	1F→2Fへのダクト及び貫通孔施工	ホール/2FWC	換気
⑫	下がり天井のプラスターボード取り付け	洗面所	大工
⑬	ダクト長調整と室内端末部材設置	各室	換気
⑭	風量測定（既存換気設備の清掃）	各室	換気
⑮+*	ダクト隠し用下がり天井施工	ホール	大工
⑯+	壁紙の施工	各室	クロス

*は写真参照 +は断熱・換気設備施工の数日後に実施



写真2.4.1 ファン本体設置状況



写真2.4.2 ダクト外梁下通過部処理



写真2.4.3 本体埋設用下がり天井



写真2.4.4 ダクト隠し用下がり天井

(3) 換気設備の清掃と風量測定

1) 既設換気設備の清掃と風量測定

既設換気設備は、設置位置の問題等から入居後、一度も清掃が実施されておらず、室の使用頻度が高いLDKおよびB洋室は防虫網（写真2.4.5）を中心に目詰まりを起こしていた。本体は分解清掃等が容易な工夫がなされているが、屋外フードの防虫網は、掃除機を用いた程度の清掃では、蓄積された埃の除去は出来なかった。そのため工事用のエアコンプレッサーを用いて、その風圧により埃の除去を行った（写真2.4.6）。清掃前後の風量測定結果を図2.4.2に示す。使用頻度の高い室に設置されたファンの風量は減少していた結果となり、清掃後は住宅全体で、清掃前の倍以上の風量となった。なお風量測定はフード式風量計を使用し、風量測定マニュアル²⁾に従って実施した。



写真2.4.5 防虫網付外部フード



写真2.4.6 圧縮空気による掃除状況

2) 新設換気設備の風量測定

新設換気設備も、施工後に室内端末において風量測定を行った（図2.4.2）。また既設換気設備の風量減少が認められたことから、居住者にお願ひし、新設、既設とも6ヶ月ほど同時に稼働させて風量低下の経過を一月ごとに測定した。測定結果を図2.4.3に示す。既設換気設備は毎月風量が減少し、5ヶ月ほどで図2.4.2に示した清掃前の風量と同程度となった。一方、新設換気設備は施工後一週間で若干風量が増加した後、大きな風量減少は起きていない結果となった。

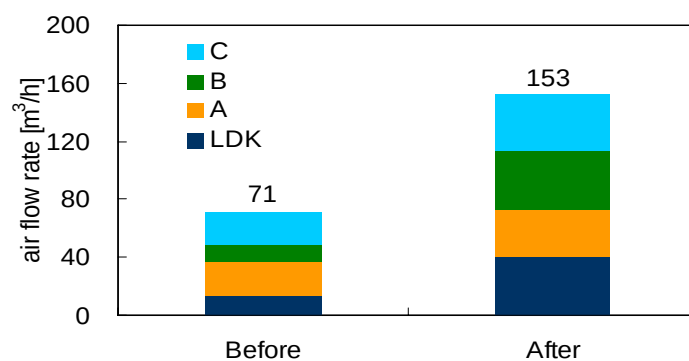


図2.4.2 既設換気設備（パイプ用ファン）清掃前後の風量

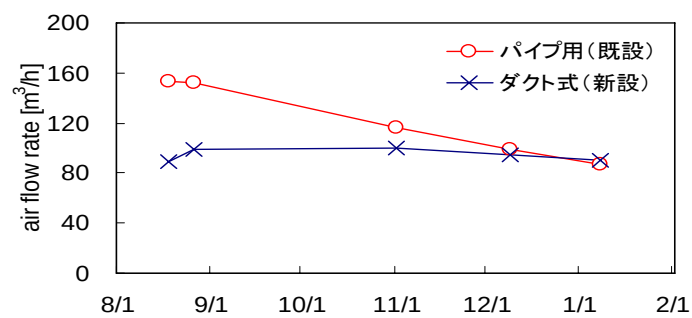


図2.4.3 換気設備の風量推移（新設と既設の比較）

(4) おわりに

本項では、既築住宅の省エネ改修時にダクト式第三種換気設備を新設する場合の施工手順やその課題および、清掃や風量測定の結果について記した。

参考文献

- 1) (財) 建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅への設計ガイドライン, 2005.6
- 2) (財) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター：住宅の現場における風量測定マニュアル,
http://www.chord.or.jp/shienc/houkoku/houkoku/h17_index.html