

既存住宅の省エネルギー化手法の開発（その3）

——省エネルギー改修後における住宅性能、室内環境
およびエネルギー消費量の評価——

渡 辺 真知子 田 中 辰 明
岡 建 雄 小 宮 英 孝
石 岡 正 幸

Retrofitting of Existing House for Energy Conservation (Part 3)

——Survey of Room Environment and Energy Consumption
after Retrofitting Existing House——

Machiko Watanabe Tatsuaki Tanaka
Tatsuo Oka Hidetaka Komiya
Masayuki Ishioka

Abstract

This research program aims to develop an energy conservation auditing technique and measures for retrofitting existing one-family and multi-family houses. After retrofitting an existing one-family house and a reinforced concrete multi-family house, effects due to retrofitting were evaluated based on room environment and energy consumption, which showed that reduction of energy consumption as well as a better room environment make a house more comfortable and healthful. However, it is often impossible to recover the investment for retrofitting simply through reduction in energy consumption so that the better environment due to retrofitting must be made the selling point, while measures for lower cost of retrofitting need to be developed.

概 要

本研究は既存住宅の省エネルギー診断手法と省エネルギー改修に必要な各種手法を開発することを目的としている。本報告では戸建住宅、集合住宅の省エネルギー改修を行ない、改修効果を住宅性能、室内環境、エネルギー消費量の面から評価したものである。エネルギー消費量を低減することができるということの他、室内環境が向上し、快適で健康的な住宅にできることを確認した。しかしながら、経済的な観点から捉えてみると、省エネルギー改修は一般に運転費の低減によって投資分を回収できないことが多く、今後は室内環境向上の効果をアピールし、更に安価な改修手法の開発が必要と思われた。

1. はじめに

既存住宅を対象に省エネルギー診断法を確立し、実際に適用できる省エネルギー手法を開発することを目的としている。前報では戸建住宅、集合住宅に対する Audit 結果と省エネルギー改修に関して報告した。本報告は改修後の性能評価として、住宅の熱性能、熱写真による評価エネルギー消費量について報告するものである。さらに室内環境の向上は省エネルギー改修を推進するための

大きな原動力となるので、この点に関しては極力詳細な測定を行なうようにした。省エネルギー改修を実施してから1年が経過したが、施工上の問題点や断熱材の劣化などについても観察した。

2. シミュレーションによる Audit 手法の検証

第一次診断、第二次診断では、いずれもパソコンによる計算 Audit を採用している。計算 Audit の精度や適正さに関しては実験住宅の省エネルギー改修を通して、

十分妥当なものであると確認されている。本研究では、さらに、この計算 Audit の適用範囲および出力された室内環境向上効果の妥当性に関してシミュレーションスタディーによる検討を加えた。シミュレーションは MICRO HASP によって行ない、対象住宅は総計48件に及んだ。

シミュレーションスタディーの結果と計算 Audit の結果を比較すると、省エネルギー改修前後の住宅の熱性能値は両者共良好に一致し、熱性能値に関しては、計算 Audit によって精算法と同程度の精度が得られることが確かめられた。本研究で確立した計算 Audit プログラムは、極く特殊な住宅を除いてあらゆる住宅に適用できると言えよう。しかしながら、省エネルギー改修に伴う室内環境向上の効果に関しては、計算 Audit の出力がシミュレーション結果と常に一致するとは限らず、住宅形

態、構造種類などによって多少異なってくるという結果になった。室内環境向上効果は室の熱容量、間欠運転の時間配分、断熱性、気密性によって決定されるもので、本来は厳密な計算結果によらなければ予測し難く、計算 Audit の結果は一応のガイドラインを与えるものである。精密計算と Audit 計算とによる暖房負荷比較を図-1 に、熱損失係数と室温累積度数との関係を図-2 に示す。

3. モデル住宅の実測と評価

3.1. 測定 Audit 結果

戸建住宅、集合住宅において省エネルギー改修前後の熱性能に関して Audit による予測値と実際の計測値を比較した。結果は表-1, 2 に示すごとくである。

改修後の診断結果は、いずれも日本の基準値以上の性能となっていた。天井、外壁の熱貫流率、換気回数、総括熱貫流率共に計測値と予測値は良好に一致している。しかし畳の床に関しては誤差が大きい。これは床表面の冷気が滞留し、空気塊および部材と複雑に熱交換しており、空気温と床表面の温度差が小さいために誤差が大きくなったものと思われる。開口部では予測値よりも計測値の方が常に小さくなるという結果が得られた。実際の冷気による温度勾配と表面熱伝達率に起因する誤差と考えられる。換気回数は外部風速によって大分異なった値となるが、改修後の換気回数は約1/2になっている。

表-2 から、いずれの部位も改修後は基準値以上に断熱性能が向上していることが示されている。しかし木造住宅の熱性能が飛躍的に向上したのに比較して、集合住宅の場合の効果は大分緩やかである。その理由の一つに RC 造のため、元来の熱性能が比較的良好であったということの他に、RC 造の省エネルギー改修は木造に比べ

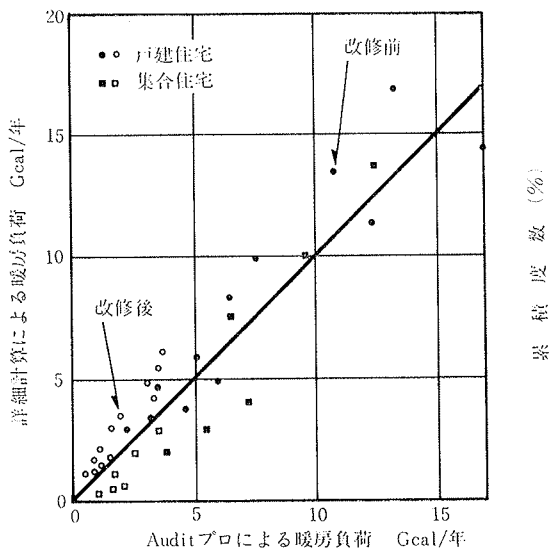


図-1 詳細計算と Audit プロによる暖房負荷比較

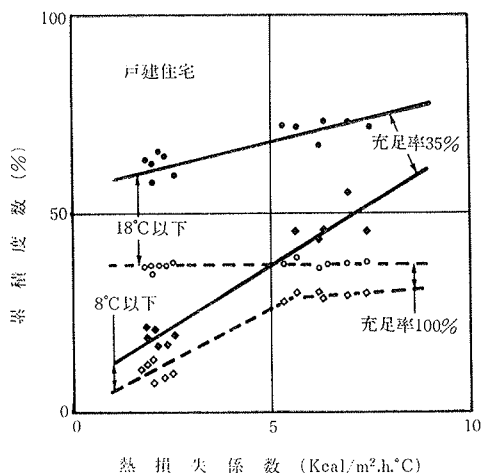


図-2 熱損失係数と室温累積度数との関係

部 位	改 修 前		改 修 後		日本の基準値
	予測値 (kcal/m²·h·°C)	計測値 (kcal/m²·h·°C)	予測値 (kcal/m²·h·°C)	計測値(kcal/m²·h·°C) 冬季測定結果 夏季測定結果	
天井	2.08	2.24	0.17	0.25	0.8
外壁	1.62	1.31	0.72	0.61	0.9
床	0.93	0.57	0.32	0.17	0.9
開口部	5.5	3.4	2.5	1.4	6.0
換気回数	2.3回/h	2.6回/h	1.0回/h	1.6回/h	0.95回/h (2)回/h
総括熱貫流率	7.76	9.48	2.82	2.95	2.94

表-1 戸建住宅を対象とした予測値と測定値の比較

部 位	改 修 前		改 修 後		日本の基準値
	予測値 (kcal/m²·h·°C)	計測値 (kcal/m²·h·°C)	予測値 (kcal/m²·h·°C)	計測値(kcal/m²·h·°C) 冬季測定結果 夏季測定結果	
天井	1.87	1.2	0.45	(0.88) 0.52	1.0
外壁	2.81	1.04	0.43	(0.71) 0.23	1.3
開口部	5.5	3.4	2.5	1.16	6.0
換気回数	0.5回/h	0.5回/h	0.25回/h	0.27回/h	0.19回/h 0.5回/h
総括熱貫流率	6.05	7.23	1.47	(5.12) 1.67	3.8

* () は加熱時間が不十分な場合の測定結果である。

表-2 集合住宅を対象とした予測値と測定値の比較

て制限が多いという点が挙げられる。例えば天井断熱で比較すると木造家屋であれば天井裏に 200 mm のグラスウールを吹き込むことは容易であるが、RC 造の場合、天井裏の空間が少なく、外断熱として 50 mm のグラスウールを施工することに止まるといった点である。この他、本実測では数日間、加熱した後各部位の熱貫流率や総括熱貫流率を測定したが、外断熱のため室熱容量が極端に大きく、十分に定常状態に達していなかったために予測値と異なる値になった。総合的に見ても木造住宅に比べると測定精度は低下するものの、Audit として必要な精度は維持されていると言えよう。

3.2. 省エネルギー改修工事の評価

(1) サーモカメラによる評価

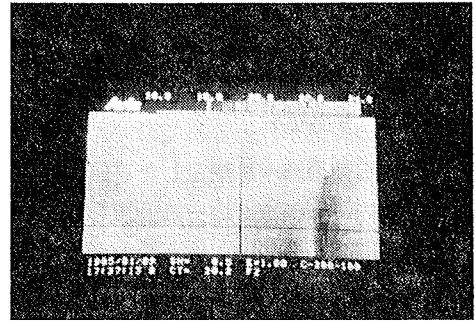
住宅各部の施工状態を検査するために、熱写真の撮影を行なった。戸建、集合住宅の熱写真をそれぞれ写真一1～4に示した。測定中、室内は外気との温度差を 10°C 以上にとるため暖房器で24時間加熱して行なった。

戸建住宅においては、柱や間柱との間にすき間ができないように外断熱工法を採用したり、天井内は粒状グラスウールを使用し、外壁の断熱材と天井の上の断熱材の間にすき間ができないようにグラスウールをつめるなど、極力施工上の問題が熱的な問題を引き起さない様に考慮した。熱写真によると床、壁、天井面においては均一な温度分布となっていた。外壁と天井との隅角部に熱橋が見られたが、それ以外は良好な施工状態である。また廊下と居室の間の襖では、その周囲から熱が流出入するのが観察された。この様な冷気は室内の上下に温度差を生じ、足元を寒くする原因となるので、室内の間仕切部分の断熱化、気密化も必要であると考えられた。

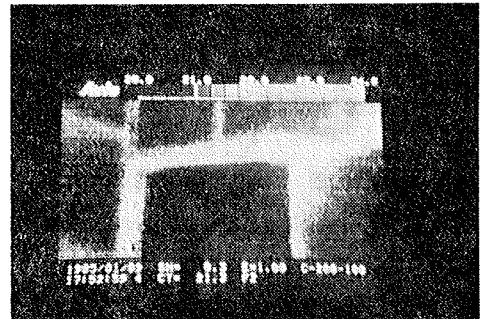
集合住宅では、外部および内部から熱写真によって診断した。加熱試験を行なっている最中なので、熱が室外に流出している模様が明らかになっている。外側から見る限り、外表面温度は均一で良好な施工状態となっている。室内側から観察すると、外壁と天井の間に熱橋が現われている。これは庇と外壁が直交する位置に当り、断熱施工が不可能な箇所である。それ以外には熱橋は見当らず良好な施工であることが確認できた。

(2) 省エネルギー改修による問題点

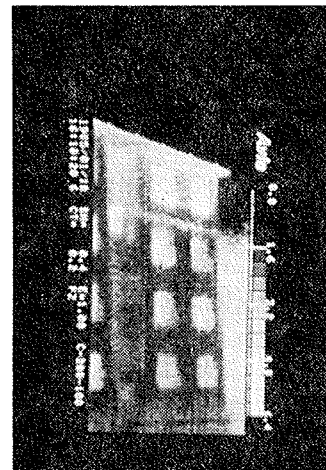
省エネルギー改修が実施されてから、1年が経過している。そこで施工上の問題点や断熱材に変化が無いかどうかを確認するために、天井裏、床下、外壁開口部周囲などの省エネルギー改修箇所を視察した。その結果、いずれの箇所も良好な状態が保たれていることが確認された。また、省エネルギー改修では、断熱層を導入したが、開口部のアルミサッシ二重窓化および外壁、床、天井の断熱化に伴い室の気密性が極めて高くなったことにより、



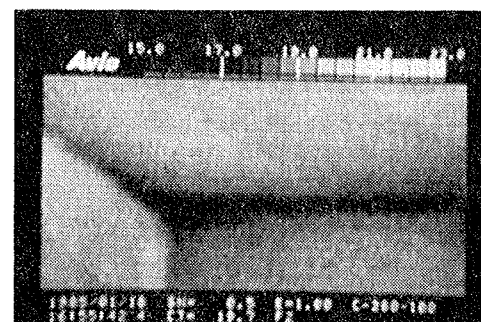
写真一1 戸建住宅の熱橋



写真一2 戸建住宅の襖



写真一3 集合住宅の外観



写真一4 集合住宅の熱橋

かびが発生した。かびを採取、培養した結果、畳の表面部分に好湿性の *Alternaria* や高湿性の *Absidia* が多く繁殖していることが判明した。そこで当建物居住者へのかびの健康面での影響が危惧されたので、当建物内部の落下真菌、浮遊真菌の濃度を測定した。建物内の空気中のかびは、建物内一面にほぼ均一に分布しており、その濃度は一般事務所ビルの10倍、地下鉄のホームと同等程度と比較的高い値を示した。従って断熱量を全て一般の畳に置き換え、畳の下に敷きつめたすき間風除けのストレッチポールも取り除いた。その以後、かびの発生はない。

本実験住宅の省エネルギー改修を通して見る限り畳は一般の畳が無難であること、ある程度の外気導入を図っておくことが肝要であること、この他は本研究で開発施工した手法は性能的にも優れたものであることなどを結論として得ることができた。

3.3. 室内環境の評価

一般に断熱性能や気密性能の悪い住宅程、室内上下の温度差が大きい上に、窓や天井などから冬は冷放射、夏は温放射を受け、室内の快適さを損ねると言われている。また我国では間欠暖房が一般的であるために、暖房停止後の室温挙動が居住者の快適性に与える影響が大きく、室の熱容量が大きい程、また室の断熱性、気密性が高い程、暖房停止後の室温降下は小さく、快適性が高まる。省エネルギー改修後の木造戸建住宅においては、図-3に示されるように間欠暖房時においても室内空気温度の変動幅が小さくまた上下温度差も少ない。断熱性、気密性が高いために、小さい熱出力の暖房器でも十分である。これは室内の温度分布もまた均一であることを示しており、快適性が格段に向上したことがうかがえる。

集合住宅は外断熱されたことにより室熱容量が増大し、断熱性、気密性も高まった。したがって、室温変動は極めて小さいものとなっている。自然室温は昼夜で3~4°Cの振幅が見られるだけで、室内の上下温度差は0.5°C程度、加熱試験においても安定した室温に達するまでに2週間程度が必要である。一般住宅であれば間欠運転が多く、暖房を入れたら、なるべく即座に室温を高めたい。このため、室熱容量があまり大きすぎるとかえって室使用に差し障りが生じる可能性がある。

集合住宅は無人で実験を行なっていたが、今後は断熱施工法の開発と共に、室熱容量と室の使い勝手についても明確な結論を得ておく必要があると考えられる。

戸建住宅、集合住宅共に省エネルギー改修によって室内環境が著しく向上し、健康的で快適な室内環境が確認された。

3.4. エネルギー消費量

戸建住宅では実験のために実際の生活が行なわれ、各

種エネルギー消費量が計測されているが、集合住宅には生活者を置いていない。従ってエネルギー消費量は戸建住宅に限る。図-4に省エネルギー改修前後の月別エネルギー消費量を示す。室の総括熱貫流率は、省エネルギー改修により1/3程度に低減しており、暖房用消費エネルギー量も大幅に低減すると予想された。

暖房用エネルギー消費量については、省エネルギー改修によって30~40%削減されている。改修前の冷房用エネルギー消費量については、図中の居室照明・差込の中に含まれており、気象条件が冷夏ということから、冷房の消費量が少なかった。改修後は多少増加しているが、全体のエネルギー消費量の10%程度にすぎない。給湯に関しては、当初のガスによる給湯を電気温水器による給湯に代えたために、直接の比較はできないが、電気温水

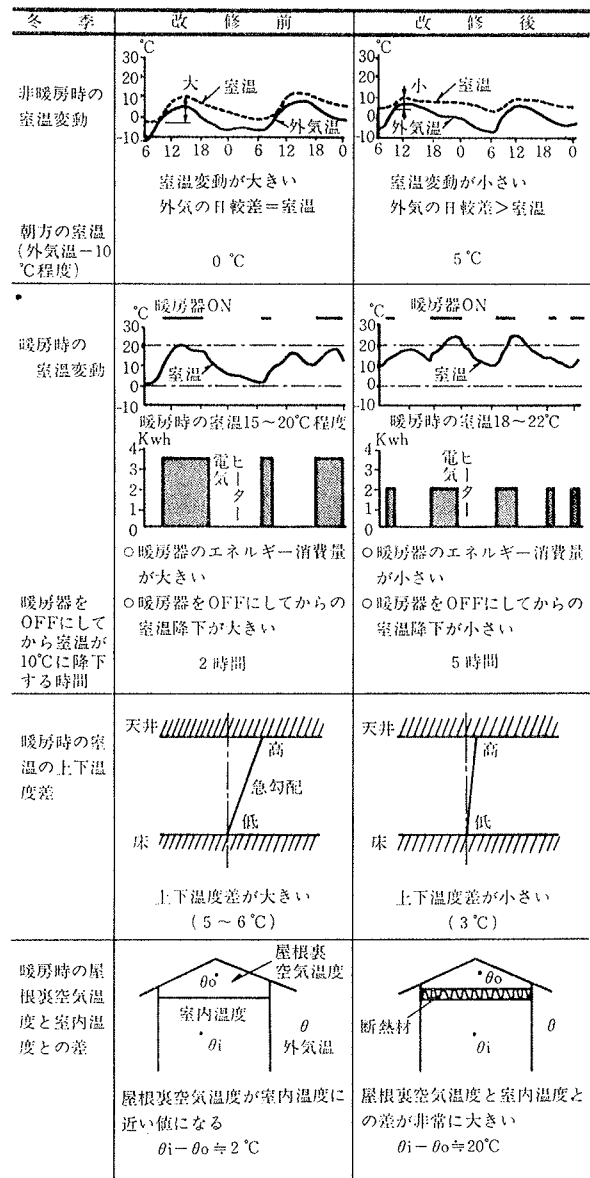


図-3 省エネルギー改修による効果 (戸建住宅)

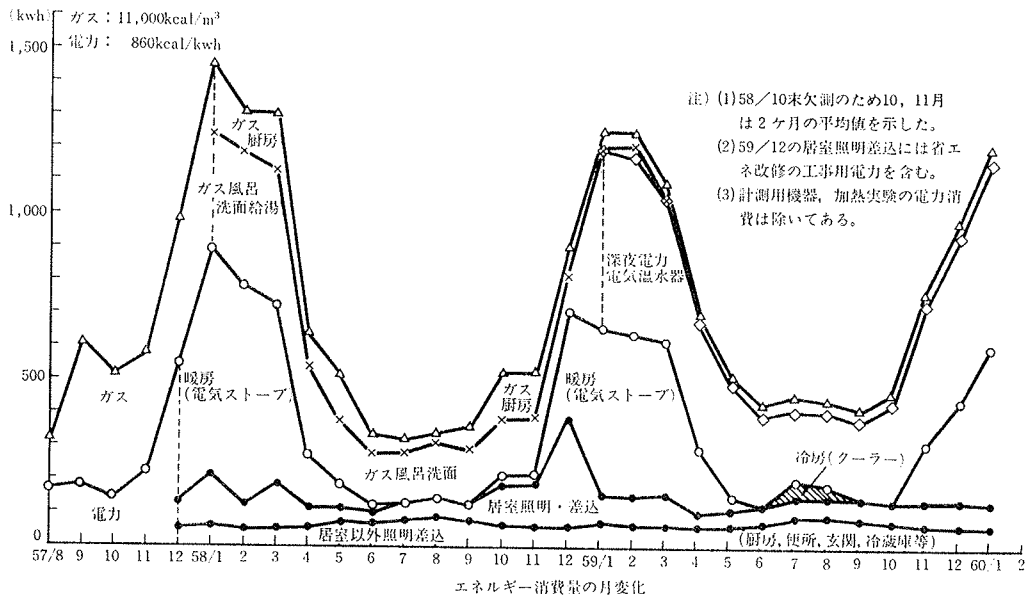


図-4 戸建住宅の月別エネルギー消費量

器の方が多少エネルギー消費量は大きい。電気温水器は、熱損失の他に、便利のためについ余計に使用してしまう傾向が強いためである。住宅全体のエネルギー消費量からすれば、15%削減できたと言え、そのほとんどは暖房用エネルギー消費量の低減によるものである。なお、図-3の中で、昭和59年12月にコンセント用電力消費量が急増したのは、省エネルギー改修工事のためである。

4. おわりに

省エネルギー改修を実施すると、対象住宅のエネルギー消費量を低減することができることその他、室内環境が向上し、快適で健康的な住宅に生まれ変わるという利点がある。しかしながら、これを経済性という観点より捉えてみると、省エネルギー改修は一般に運転費の低減によって投資分を回収できないことが多い。戸建住宅を例にとると改修は総計3,300千円必要であり、給湯

を除く運転費は年間3.4万円/年低減されている。したがって既存住宅の省エネルギー改修を社会的にも推進していくためには、室内環境向上の効果を強調するとともに、さらに安価な改修手法の開発を継続していく必要がある。

謝辞

本研究は東京電力(株)営業開発部による委託研究「既存住宅の省エネルギー化手法の開発」の一環として行なったものであり、関係者各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 成田, 前川, 他: 既存住宅の省エネルギー化手法の開発(その1~3, その4), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, (昭和58.10), pp. 477~488, (昭和59.10), pp. 273~276