既存住宅の省エネルギー化手法の開発（その1）

——建物の Energy Audit とアンケート調査——

田中辰明　岡　建雄
小宮英孝　安倍　隆
渡辺真知子

Retrofitting of Existing House for Energy Conservation (Part 1)

——Survey by Home Energy Audit and Questionnaire——

Tatsuaki Tanaka　Tatsuo Oka
Hidetaka Komiya　Takashi Abe
Machiko Watanabe

Abstract

This paper aims to develop means of making energy audits and carrying out retrofitting of existing houses. Auditing with a microcomputer in which the resident can make the input data of the house, as well as auditing by measurements in which a specialist checks the house with measuring instruments and proposes appropriate retrofitting are described. An existing one-unit house and an existing multi-unit house were provided for testing of the auditing and retrofitting measures for energy conservation. In this paper, the structure of audits and the results of application of the audits to the experimental houses are indicated. The results from a questionnaire for a survey of demand and potential expenditures for retrofitting are shown. The execution of retrofitting on the experimental houses and the effects will be described in a paper to follow.

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。省エネルギー診断として計算による Audit と実測による Audit を提案した。計算による Audit は対象住宅のデータを入力し，パソコンによって省エネルギー診断を行なうものである。実測による Audit は実際に各種の計測器で対象住宅の熱性能を測定し，適切な改修手法を示すものである。本報告ではこの Audit 手法を示すと共に，実験住宅として供された戸建住宅と集合住宅に Audit を適用した結果とその手法の妥当性を明らかにしたものである。また既存住宅改修に関するアンケート調査を行ない，改修の需要と期待できる工事費用を一応定量化しておいた。今後は実際に実験住宅を改修した場合の効果について報告していく予定である。

1. はじめに

住宅は全建築物の延面積の60%を占めており，住宅の省エネルギー化はエネルギー需給，電力需給に大きな影響を与えると考えられる。本研究は住宅の中でも既存住宅の省エネルギー化に焦点を当てて研究を行なったもので，既存住宅のエネルギー診断法と，省エネルギー改修後の研究開発を目的としている。省エネルギー診断としては，対象住宅の面積や断熱の有無等基本的なデータをパソコンに入力して，省エネルギー改修を行なった場合の効果を推定する概略の Audit と，実際に対象住宅の熱性能を各種の計測器で測定し，適切な省エネルギー改修法を示し，その効果を正確に予測する詳細な Audit を提案した。

本研究では実験住宅として，戸建住宅，集合住宅を準備して，実際に Audit を適用し，各々の熱性能を測定した。更に Audit 結果に従って省エネルギー改修を行ないその効果を確認しようとするものである。戸建住宅には実際に居住者が入居し，省エネルギー改修前と改修後の室内環境やエネルギー消費量を継続して計測し，総合的

な観点から改修効果を評価することとした。

本報告ではAudit手法と，実験住宅に適用した結果を示すと共に，省エネルギー改修に関する意識調査を行ない，実際の需要と許容し得る工事費支出に関して，定量的に把握しておいた。

2. 実験住宅

戸建住宅および集合住宅の外観を写真―1，2に示す。戸建住宅は東京都清瀬市にある木造平家建てで，延床面積は68.04 m^2，居住者は2名である。この住宅には100点のセンサーが設置されており，パソコンによりデータ収録が行なわれている。暖房エネルギーは，計測を容易にするためにすべて電力とし，系統別に電力計が設置してある。風呂や給湯，厨房はガスを使用している。このようにして省エネルギー改修前の住宅の居住性とエネルギー消費量を継続的に計測している。

集合住宅はRC造4階建てで1戸当りの面積は51.6 m^2である。実験に供した室は4階の西壁に面している。計測は30点で戸建住宅と同様にパソコンによりデータを収録した。集合住宅には居住者がいない。

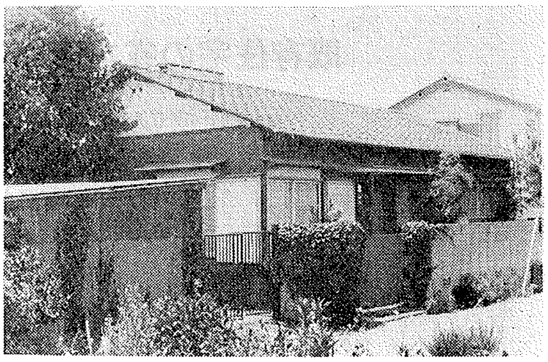
戸建住宅，集合住宅共に建てられてから15年以上経過しており，既存住宅の省エネルギー改修を行なう上で，きわめて好都合であった。

3. Audit の手法

3.1. 概略 Audit

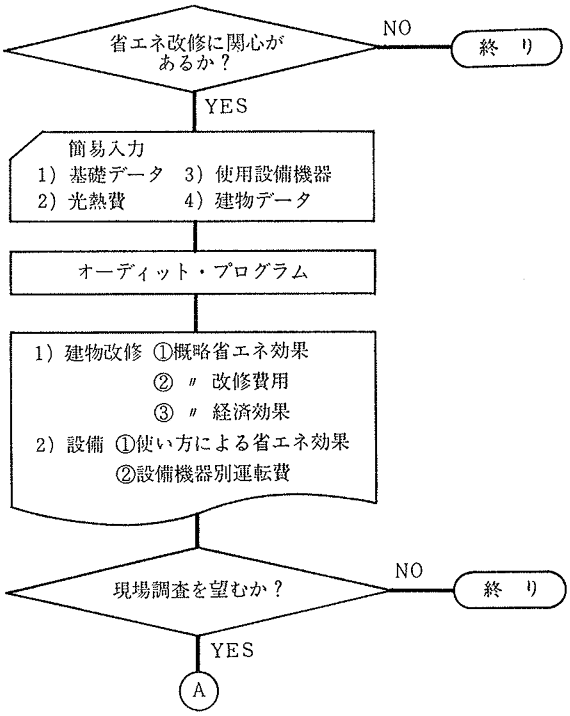
概略Auditのフロー図を図―1に示す。概略Auditは居住者自身が入力フォームを埋めていくことによって，対象住宅を診断することを目的としている。これはパソコン用プログラムで，対話形式によって対象住宅の各種データを入力すればAuditが行なえるものである。この概略Auditにより対象住宅の熱的性能やエネルギー消費量の水準が算出でき，改修によるエネルギー効果やその標準的な改修費用の概算が示される。

コンピュータに入力するデータは，建物面積，年間光熱費，使用設備機器，建物外壁や開口部の熱的性能，居住者の年収等である。計算内容は，対象住宅に相当する標準的な住宅でのエネルギー消費量や暖冷房，給湯，照明などの用途別エネルギー消費量を推定[2]し，入力された対象住宅の光熱費と比較する。建物改修による暖房の省エネルギー効果の予測には，熱損失係数法を使用した。住宅の場合，熱負荷計算による暖房消費エネルギーと実際に消費するエネルギーには相当の差異がある。実際に消費する年間のエネルギー量を熱負荷計算によって算出されたエネルギー量で除し，この比を充足率とすれば一般にその値は20～90%程度になる。充足率は実際的な経済比較の大きな要因となる。



写真―1 戸建住宅外観

写真―2 集合住宅外観



図―1 概略 Audit によるフロー図

概略Auditを，戸建住宅に適用した結果を表―1に示す。実験住宅のエネルギー消費量を平均的な住宅のエネルギー消費量と比較すると，約半分となっており，住い方による相違が大きいことが窺える。暖房は電気ヒータに依っているために，エネルギー消費量が少ないにもか

	エネルギー使用量 (Mcal/年・戸)	節約エネルギー量 (Mcal/年・戸)	暖房費用 (千円)	節約費用 (千円)	改修費用 (千円)	償却年数 (年)
天井断熱	2372 (8179)	670 (2311)	94.6 (330.3)	27.2 (93.8)	151.8	5.5 (1.6)
外壁断熱	2421 (8346)	622 (2144)	96.6 (337.1)	25.2 (87.0)	1124.2	44.5 (12.9)
床断熱	2889 (9960)	154 (531)	115.6 (402.6)	6.2 (21.5)	172.5	27.5 (7.9)
窓の二重化	2577 (8855)	465 (1606)	102.9 (359.0)	18.9 (65.1)	653.2	34.5 (10.0)
すき間風の防止	2813 (9699)	229 (792)	112.5 (392.0)	9.3 (32.1)	26.2	2.8 (0.8)

注
上段は該当住宅の充足率を用いた値，下段は充足率を100%とした場合の値

表―1　概略 Audit 結果（戸建住宅；暖房方式は電気温風暖房）

	エネルギー使用量 (Mcal/年・戸)	節約エネルギー量 (Mcal/年・戸)	暖房費用 (千円)	節約費用 (千円)	改修費用 (千円)	償却年数 (年)
天井断熱	2261 (7491)	760 (2520)	23.4 (77.6)	7.8 (26.1)	670.8	85.0 (25.6)
外壁断熱	1715 (5201)	1452 (4810)	16.2 (53.8)	15.0 (49.8)	993.6	66.0 (19.9)
床断熱	－	－	－	－	－	－
窓の二重化	2779 (9204)	243 (806)	28.7 (95.3)	2.5 (8.3)	199.6	79.0 (23.8)
すきま風の防止	2930 (9705)	92 (305)	30.3 (100.5)	0.9 (3.1)	10.3	10.8 (3.2)

注
上段は該当住宅の充足率を用いた値，下段は充足率を100%とした場合の値

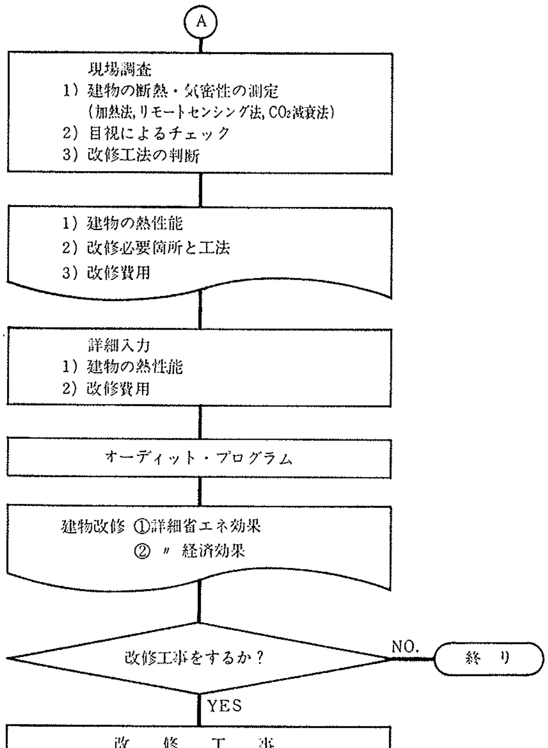
表―2　概略 Audit 結果（集合住宅；暖房方式は灯油ストーブ）

かわらず，光熱費は一般住宅並になっている。建物の熱損失係数は 8.36 KCal/m²h°C となり，基準値 4.8 Kcal/m²h°C と比較して熱損失の多い建物であることが指摘できる。建物の改修によるエネルギー節約効果の最も大きいのは天井断熱で，また費用対効果においても最も高いのは天井断熱であるという計算結果が得られている。天井断熱が有利なのは，改修による省エネルギー効果も多いうえに，改修費用が安価であるためである。外壁断熱，二重窓は，改修費用が高価となり，費用対効果が低い。戸建住宅はその充足率が30%と低く，環境改善効果を考慮しない場合，工事費用の償却年数は長くなる。

集合住宅の概略 Audit 結果を表―2に示す。建物の熱性能を見ると，熱損失係数は 6.2 Kcal/m²h°C であり，基準値 4.4 Kcal/m²h°C よりも多少劣っている。計算に当っては一般の集合住宅の充足率として30%を採用した。建物の改修による省エネルギー効果は，外壁断熱，天井断熱，二重窓化，すき間風対策の順に大きく，費用対効果は，すき間風対策が良く，外壁断熱がこれに続く。しかし充足率が戸建住宅と同様の30%であり，もともと建物の熱性能が良い上改修費用が高いために償却年数は非常に長いものになる。

3.2. 詳細 Audit

詳細 Audit のフロー図を図―2に示す。実測による Audit は対象住宅に専門員が出掛けて簡単に住宅性能を測定することを目的としている。写真―3は戸建住宅の冬季の夜間に撮影された熱写真を示したものである。外気温は4℃程度である。窓ガラスの部分はカーテンも雨戸も開放した状態であるため最も高温で9～10℃に達し



図―2　詳細 Audit のフロー図

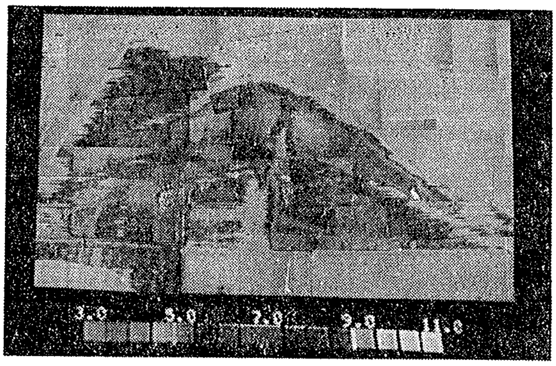
ており，外壁は7～8℃前後と高温で改修の必要性が高い。また，室内の熱が天井裏から軒下を伝わって外部に流出する様子も窺え，天井断熱が必要である。このように熱写真は熱損失の量が明示され，改修すべき箇所を容易に指摘することができるが，装置が大掛りになってし

まうために，ここでは輻射量計を用いて各部材の断熱性を測定した。すなわち対象部材の表面温度と周囲空気温度の差と表面熱伝達率から部材を通過する熱量が求められる。このようにして実験住宅で測定された熱貫流率と，設計図書から算出された熱貫流率を比較したところ概ね一致していた。輻射量計で測定する場合，室内外の温度差が小さいと測定誤差が大きくなり，室内外の温度差は10℃以上必要であると思われる。

室全体の断熱性を測定する手法として加熱試験法がある。これはヒーターで室内を加熱し，室温が十分上った時点で加熱量と室温上昇からその室の総括熱貫流率を求めるものである。加熱時間は木造住宅で12時間以上，RC造で48時間以上必要である。計測された熱貫流率を表―3に示す。木造住宅の熱損失係数は 10～15 Kcal/m²h°C 程度の値になっている。概略 Audit より求められた熱損失係数は 8.4 Kcal/m²h°C であるから，隣室への熱損失があることを考慮すると加熱試験法の精度は十分高いと言える。

集合住宅では測定値が 6.8 Kcal/m²h°C, 計算値が 6.2 Kcal/m²h°C であった。基準値は木造住宅 4.8 Kcal/m²h°C 集合住宅 4.4 Kcal/m²h°C であり，実験住宅は相当劣悪な住宅性能である。

室の自然換気回数を CO_2 濃度減衰法で測定した結果を表―3に示す。集合住宅では 0.4回/h, 木造住宅では 1.5～2.6回/h であった。木造住宅の気密性が悪いのは木製サッシという他に，床面積当りの開口部面積が大きく，すき間風が多いためである。断熱性と気密性に関しては夏季及び冬季に測定を行ない，概ね同様の値が得られた。



写真―3　熱写真（写真―1と対比）

	総括熱貫流率 (kcal/m²h°C)	換気回数 (回/h)
戸建住宅	10～15	1.5～2.6
集合住宅	6.8	0.4

表―3　詳細 Audit 結果

実施時期：昭和57年11月	
配布部数：290部	回収部数：239部
居住地：関東地域	所有形態：持ち家
平均年収：647万円	
世帯主年令：～30代 (24%)　40代 (37%)　50代～ (39%)	
集合形態：集合住宅 (18%)　戸建住宅 (82%)	
建設年度：昭和50年以前 (54%)　昭和50年以後 (46%)	

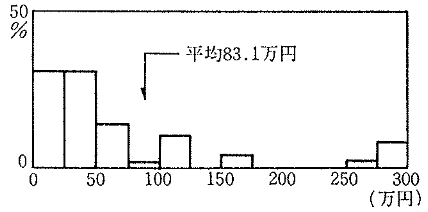
表―4　アンケート概要

4. アンケート

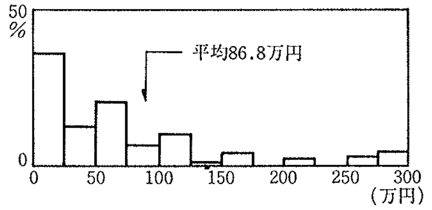
省エネルギー化手法に関する基礎的資料を得るために，アンケート調査を行なった。アンケートは，昭和57年11月に配布し一週間後に回収した。アンケート項目は，省エネルギー意識，居住性に関する意識，光熱費と住宅の熱性能，省エネルギー改修に対する需要，省エネルギー改修費の支払い限度額である。

アンケートの概要を表―4に示す。又改修に関する調査結果を図―3に示す。改修は21%の人が既に実施しており，平均費用は83.1万円で改修対象としては，台所，風呂などの設備および天井・壁等の建築部位が多い。なお，集合住宅では，改修した人が9%，平均改修費用が11.5万円と少なくなる。今後の改修予定者は29%，平均

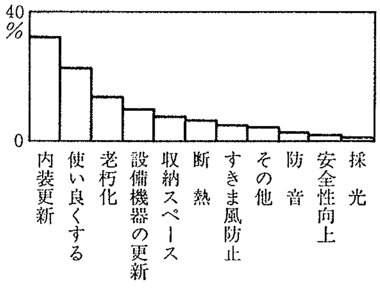
(1) 改修経験
・改修費用分布（全体）



(2) 改修予定
・改修予定額分布（全体）



・目的



図―3　改修一般に関する調査結果

支出予定額は，86.8万円で，台所，風呂などの設備関連が多い。改修の目的としては，「内装更新」「老朽化」「設備更新」が多く，省エネルギー関連の「断熱」「すき間風防止」「採光」は合計しても11％である。集合住宅においては，改修予定者，予定金額ともに少なくなるが，省エネルギー関係を目的とする割合が若干増す。

省エネルギー改修に関する調査結果を表—6に示す。省エネルギー改修だけでも改修を行なうとした人は，わずか12％であったが，他の改修と同時であれば省エネルギー改修を行なってもよいとする人を含めると53％となる。以上の結果から省エネルギー改修の潜在的希望者が以外に多いと考えられる。なお「戸建住宅」ではこの傾向が強くなる。さらに「室内環境が向上すれば，改修費用が回収できなくても良い」とする人が45％おり，また断熱改修，気密化改修の希望者は，室内環境向上に約47％，エネルギー節約に約43％の割合で期待している。この両者の結果から，建物の省エネルギー改修が経済的効果と直接結びつかない快適性の向上という結果になっても，居住者に納得してもらえる可能性があると思われる。しかし，今後は室内環境向上を，経済的な見地から定量化する必要がある。

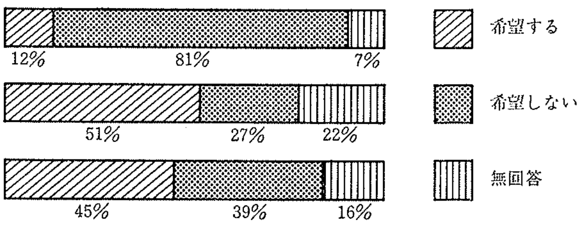
次に断熱化，気密化などに関する工事費用の資料を示した上で，実際にどの程度の人が省エネ改修を希望しているのかを調査した。（表—5）断熱改修に関しては，全体の28％の人が希望しており，その平均許容支出額は23.8万円で，気密化は13％の人が希望しており平均許容支出額は27万円であった。さらに屋根換気は9.7％で6.1万円，太陽熱給湯は11.4％で30.6万円であった。一方，省エネルギー工事費用を分割払いにする場合や数年に渡って省エネルギー改修工事を行なう場合，省エネルギー工事のために，毎年継続して支出できる許容額は平均11万円/年であった。なお集合住宅では全体的に，希望率，平均許容支出額ともに，かなり少なくなる。これは，もともと建物の熱性能が良い上に省エネ改修工事費も高く，さらに現実的に改修工事が困難な場合が多い為であろう。

(1) 省エネ改修一般について

・省エネルギーのためだけの改修を希望する人

・内装更新等他の改修と同時期であれば省エネルギー改修を希望する人

・室内環境が向上すれば改修費用をエネルギー節約費で回収できなくても省エネルギー改修を希望する人



(2) 断熱改修について

・希望する人（％）

全　体	集　合	戸　建
28.0	9.1	32.8

・平均許容価格（万円）

全　体	集　合	戸　建
23.8	6.3	25.5

・目的の割合（％）

	全　体	集　合	戸　建
エネルギー節約	40.3	27.8	41.4
室内環境向上	46.2	72.2	41.4
そ　の　他	7.3	0	7.9
一部無回答	6.2	0	9.3

(3) 気密性改良について

・希望する人（％）

全　体	集　合	戸　建
13.0	6.8	14.1

・平均許容価格（万円）

全　体	集　合	戸　建
27.0	8.8	30.4

・目的の割合（％）

	全　体	集　合	戸　建
エネルギー節約	43.2	25	46.1
室内環境向上	47.0	70	43.4
そ　の　他	5.2	5	5.3
一部無回答	4.6	0	5.2

表—5　省エネ改修に関する調査結果

5. まとめ

既存住宅の省エネルギー化を計るために，その診断手法として Audit を開発した。本報告では実験住宅である木造住宅，集合住宅の概要とパソコンによる概略 Audit，そして現場実測による詳細 Audit について記述し，実験住宅に適用した結果を示した。また，アンケート調査によって省エネルギー改修に対する需要，省エネルギー改修工事費の支払い限度額が明らかになった。今後は Audit 結果と測定結果を検討し，Audit に従って実験住宅の省エネルギー改修を行なう予定である。

6. 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，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

2) 尾島，増田：住宅におけるエネルギー消費の実態調査　第2～4報，空気調和・衛生工学会論文集，（1977．2），pp．11～25，（1980．2），pp．53～80