

## 住宅内温度に応じた医療費推定法の提案と 医療費を考慮した経済的な住宅断熱性能の検討

PROPOSAL OF MEDICAL COST ESTIMATION METHOD ACCORDING TO THE THERMAL ENVIRONMENT IN HOUSES AND EXAMINATION OF ECONOMICAL THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF HOUSES IN CONSIDERATION OF MEDICAL COSTS

藤田 浩司\*<sup>1</sup>, 岩前 篤\*<sup>2</sup>, 佐藤 寛\*<sup>3</sup>, 高原 梨沙子\*<sup>3</sup>, 鈴木 曜\*<sup>3</sup>

*Koji FUJITA, Atsushi IWAMAE, Yutaka SATO,  
Risako TAKAHARA and Yo SUZUKI*

We proposed formulas to estimate the medical costs from the thermal environment in houses. Using these formulas, we examined the most economical thermal insulation performance, taking into consideration insulation costs, heating and cooling costs, and medical costs. The  $U_A$  value of a house having this most economical insulation performance is 0.4 to 0.5  $W/m^2K$  for a floor-insulation house, and 0.36 to 0.4  $W/m^2K$  for a foundation-insulation house. We found that by considering not only heating and cooling costs but also medical costs, the cost recovery period for the improvement in the thermal insulation performance was significantly shortened.

**Keywords :** Thermal insulation performance, Economy, Medical cost, Insulation cost, Heating and cooling cost

断熱性能, 経済性, 医療費, 断熱費, 暖冷房費

### 1. はじめに

住宅の断熱に関する基準は、1970年代のオイルショックを契機として昭和55年に制定されて以降、地球温暖化問題の顕在化などを受けて平成4年と平成11年に強化され、平成25年には平成11年基準の断熱水準を維持したまま評価方法が変更されている。また、近年では、HEAT20<sup>1)</sup>やZEH<sup>2)3)</sup>に対応した断熱基準なども示されており、住宅の断熱性能強化のための様々な方策がとられている。これらは、住宅における消費エネルギーの削減を主目的とし、それに付随する形で温熱環境の改善なども目的とされている。しかし、平成25年の断熱基準を満たす住宅の割合は、新築住宅では60%程度、既存住宅では10%程度に留まっているのが現状である<sup>4)</sup>。

断熱性能が高い住宅の普及を妨げている原因のひとつとして、断熱性能の向上には高額な費用が必要となり、その費用を暖冷房費の削減のみによって回収するには長期間を要することが挙げられる。政府は、断熱等級を3から4に上げるために必要な費用を暖冷房費削減で回収できる期間は17~35年と試算している<sup>4)</sup>。また、長谷川らは断熱に要する費用と暖冷房費を考慮して最も経済的な断熱性能を検討しているが、部分間欠暖冷房で30年以内の評価期間の場合の経済的な断熱性能は現状の断熱基準よりも低い断熱性能となり、評価期間を30年より長くした場合に現状の断熱基準よりも高い断熱性能となることを示している<sup>5)</sup>。

このような状況に対し、断熱性能の向上によって様々な疾病が生じにくくなり、暖冷房費だけではなく医療費の削減にもつながると考えられる研究がいくつか報告されている。伊香賀らは、住宅の高断熱・高気密化により寒さに起因する疾病等を予防できるとして、高断熱・高気密住宅への転居者を対象としたアンケート調査の結果を基として高断熱・高気密化によって軽減される医療費を算出している<sup>6)</sup>。岩前は、上記のアンケート調査と追加した調査を基に、転居後の住宅の断熱グレードを3つに分けて各症状の改善率を整理し、断熱グレードの高い住宅の方が様々な症状の改善率が高くなることを示している<sup>7)</sup>。川久保らは、CASBEE健康チェックリストのスコアに応じて住宅の環境性能を3つに分けて各種疾病の有病割合<sup>註1)</sup>を整理し、環境性能の高いグループの方が各種疾病の有病割合が低くなることを示している<sup>8)</sup>。しかし、伊香賀らの研究では平成11年基準以上の断熱水準の住宅をまとめて高断熱・高気密住宅として評価しており、断熱性能に応じた医療費の違いは評価されていない。また、岩前や川久保らの研究では断熱グレードや環境性能を3つに分けて評価しているものの、医療費については評価されていない。

住宅の断熱性能に応じた医療費の違いを定量的に評価できれば、断熱に要する費用（以降、断熱費）と暖冷房費に医療費も加えて最も経済的な断熱性能の検討ができ、また、断熱性能の向上に必要な費用の回収期間を従来の暖冷房費だけではなく医療費の削減も加え

\*<sup>1</sup> 近畿大学生物理工学部人間環境デザイン工学科  
講師・博士(工学)

\*<sup>2</sup> 近畿大学建築学部 教授・博士(工学)

\*<sup>3</sup> パナソニックホームズ(株)

Lect., Dept. of Human Factors Engineering and Environmental Design, Kindai Univ., Dr.Eng.

Prof., Faculty of Architecture, Kindai Univ., Dr.Eng.

Panasonic Homes Co., Ltd.

て検討できる。そこで、本研究では、断熱性能に応じた医療費を推定し、断熱費と暖冷房費、医療費を考慮した最も経済的な断熱性能を明らかにすることを目的とする。なお、各種疾病の医療費には断熱性能が直接影響しているのではなく、断熱性能と暖冷房方法に応じて形成される住宅内温度が影響していると考えて、まず住宅内温度から医療費を推定する方法を提案し、その方法を用いて断熱性能と暖冷房方法に応じた医療費を推定する<sup>注2)</sup>。さらに、平成25年基準の断熱性能から上記の最も経済的な断熱性能に高めるために増加する断熱費の回収期間を、暖冷房費と医療費の削減を考慮して検討する。

## 2. 住宅内温度と医療費との関係の推定

### 2.1 推定法の概要

岩前の調査結果<sup>7)</sup>を基に、住宅内温度と居住者の医療費との関係を推定する。まず、各種疾病は住宅内温度の影響を受けていると想定し、岩前の調査におけるそれぞれの断熱グレードに対応する住宅内温度を推定する。続いて、岩前の調査における各種疾病の転居前の有感率<sup>注1)</sup>と転居後の改善率から転居後の有訴割合<sup>注1)</sup>を転居後の各断熱グレード別に推定する。なお、有訴割合は年齢によって異なると考えられるため、厚生労働省の患者調査のデータ<sup>9)</sup>を用いて20歳毎の年代別に整理する。さらに、厚生労働省の医療費に関するデータ<sup>10), 11)</sup>を用いて各種疾病の有訴割合を医療費に換算し、各種疾病の医療費を断熱グレードおよび年代毎に合計した値と各断熱グレードに対応する住宅内温度との関係を年代別に整理して、住宅内温度から各種疾病の合計医療費を推定する式を提案する。なお、岩前の調査<sup>7)</sup>で示されている転居後の各種疾病の改善率は、転居による住宅内温度の変化の他、周辺環境や食生活、運動量の変化、また医療機関に通ったことによる治療の効果など、様々な影響を含んだ改善率の平均値と考えられる。そのため、本研究でもこれら様々な影響を含んだ有訴割合や医療費の平均的な値の推定を考える。また、本研究では伊香賀らの研究<sup>6)</sup>と同様に、心疾患、脳血管疾患、高血圧、糖尿病、気管支喘息、アトピー性皮膚炎、肺炎、関節炎、アレルギー性鼻炎、アレルギー性結膜炎の10の疾病を対象とする。

### 2.2 断熱グレードに対応する住宅内温度の推定

岩前の調査<sup>7)</sup>では、アンケート調査で確認した寝室の窓の仕様と

住宅ビルダーが算出した熱損失係数を基に転居後の住宅の断熱グレードを分けており、断熱グレード3は平成4年の省エネ基準、断熱グレード4は平成11年の省エネ基準、断熱グレード5は平成11年の省エネ基準を超える仕様に対応する断熱水準としている。これらの断熱グレードに対応する住宅内温度は実際の調査対象では様々であったと考えられるが、それぞれの断熱グレードに対応する平均的な住宅内温度を推定することを意図して、動的室温・熱負荷計算ソフト<sup>注3)</sup>を用いて以下に示す条件で住宅内温度を計算した。

計算対象とする住宅モデルは自立循環型住宅への設計ガイドライン<sup>12)</sup>の一般モデル、外気条件は東京として、断熱グレード3、4、5それぞれの断熱仕様を上記の断熱水準に対応させてそれぞれ熱損失係数(W/m<sup>2</sup>K)が4.2、2.7、1.9になる仕様とした。それぞれの断熱グレードの天井、外壁、床、開口部各部の断熱性能(U値)をTable1に示す。ここでは、後述する各部の断熱仕様の選定方法と同様に、それぞれの断熱グレードで断熱費用が最も安くなる仕様とした。住宅事業建築主の判断の基準<sup>13)</sup>と同様に夫婦と子供2人の4人家族を想定し、家族それぞれの滞在室は同基準<sup>13)</sup>の表3.1.6(在室者スケジュール)と、図1.3.3(居住家族の生活時間(平日))、図1.3.4(居住家族の生活時間(休日))を参考に、Table2のように1時間単位で想定した。暖冷房は部分間欠空調とし、同基準<sup>13)</sup>の表3.1.13(部分間欠運転スケジュール)と同じスケジュール(Table2のグレーの時間帯)で、暖房は気温20℃、冷房は気温28℃・相対湿度70%以下となるように設定した。日平均外気温が15℃以下となる期間(11/8~4/21)を暖房期間とし、それ以外の期間を冷房期間とした。その他、内部発熱は同基準<sup>13)</sup>の表3.1.7(発熱機器スケジュール)と表3.1.8(照明設備スケジュール)、全般換気と局所換気はそれぞれ同基準<sup>13)</sup>の図3.1.2(全般換気モデル)と表3.1.9(局所換気設備スケジュール)と同じ設定とし、換気は非熱交換換気とした。

心疾患・脳血管疾患に影響する住宅内温度としては「2/1~2/7の住宅内日最低作用温度の平均」を想定した。これは、上述のように

Table1 U-value of each insulation grade

	Insulation grade		
	3	4	5
Ceiling	0.87	0.30	0.16
Floor	1.09	0.50	0.38
Exterior wall	0.93	0.53	0.35
Window and entrance door	6.51	4.65	2.91

Table2 Heating schedule and room the family inhabits

	Hour	Weekday																									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Weekday	Number of staying person	LDK						1	2	1	1				1	1			1	2	2	3	3	2	1	1	
		Bedroom	2	2	2	2	2	2	1																	1	
		Children's room 1	1	1	1	1	1	1	1															1		1	1
		Children's room 2	1	1	1	1	1	1	1																1	1	1
		Bathroom																							1	1	
		Lavatory																									
	Room the family inhabits	Householder	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	L	L	L								L	L	L	L	L	L	L	
		Spouse	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	L	L	L								L	L	L	L	L	L	Ba	
		First child	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1												L	C2	L	L	C2	C1	
		Second child	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2												L	C2	L	L	C2	C2	
LDK										3	2	2	2	2	1					2	3	3	4	2	2	1	
Holiday	Number of staying person	LDK																									
		Bedroom	2	2	2	2	2	2	1																	2	
		Children's room 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										1	1	1	
		Children's room 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										1	1	1	
		Bathroom																								1	
		Lavatory								1																	
	Room the family inhabits	Householder	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	L	L	L	L	L	L					L	L	L	L	L	L	Be	
		Spouse	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	La	L	L	L	L	L					L	L	L	L	L	L	Ba	
		First child	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1					C1	C1	C1	L	C1	C1	C1	
		Second child	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2											C2	
LDK																											

Shaded cells : Heating ON

L : LDK, Be : Bedroom, C1 : Children's room 1, C2 : Children's room 2, Ba : Bathroom, L : Lavatory

Table3 Calculated value of operative temperature

Insulation grade (after moving)	Mean operative temperature of rooms the family inhabits (1/1~2/28) [°C]					Mean daily minimum operative temperature of house (2/1~2/7) [°C]
	Householder	Spouse	First child	Second child	Avg.	
3	13.47	14.32	14.32	14.20	14.08	7.17
4	15.21	15.89	15.95	15.85	15.72	9.30
5	16.35	16.81	17.02	16.96	16.78	10.68

本計算では滞在室を1時間単位で想定しており、数分間のトイレや脱衣所、浴室、廊下などへの移動は表現していないが、実際には部分暖房時に比較的低温となるこれらの空間への移動はあり、その空間と暖房室との温度差に起因する心疾患・脳血管疾患の発症が考えられるためである<sup>14)</sup>。心疾患・脳血管疾患以外の疾患に影響する温度としては、冬期の慢性的な低温が主な原因と考へて<sup>15), 16)</sup>、「1/1~2/28の滞在室作用温度の平均」を想定した。

上記の条件で計算した各温度の結果をTable3に示す。それぞれの断熱グレードにおいて、世帯主と配偶者、第一子、第二子の滞在室作用温度の平均の差は大きくないため、それらの平均をその断熱グレードに対応する「1/1~2/28の滞在室作用温度の平均」とした。

### 2.3 各疾病の年代別有訴割合の推定

疾病 $x$ 、断熱グレード $g$ 、年代(20歳毎) $\alpha$ の有訴割合 $R_{x,g,a}$ を以下の式で推定した。

$$R_{x,g,a} = R_{x,g,T} \frac{r_{x,a}}{r_{x,T}} \quad (1)$$

ただし

$$R_{x,g,T} = R_{x,g,T,before} (1 - C_{x,g}) \quad (2)$$

$$r_{x,T} = \frac{n_{x,T}}{p_T} \quad (3)$$

$$r_{x,a} = \frac{n_{x,a}}{p_a} \quad (4)$$

$R_{x,g,T}$  : 疾病 $x$ の断熱グレード $g$ の有訴割合(全年代)

$R_{x,g,T,before}$  : 疾病 $x$ の断熱グレード $g$ の転居前有感率(全年代)<sup>7)</sup>

$C_{x,g}$  : 疾病 $x$ の断熱グレード $g$ の改善率(全年代)<sup>7)</sup>

$p_T$  : 全人口<sup>17)</sup>(人)

$n_{x,T}$  : 疾病 $x$ の患者数(全年代)<sup>9)</sup>

$p_a$  : 年代 $a$ の人口<sup>17)</sup>(人)

$n_{x,a}$  : 疾病 $x$ の患者数(年代 $a$ )<sup>9)</sup>

ここでは、それぞれの疾病について、全年代の有訴割合 $R_{x,g,T}$ に対する各年代の有訴割合 $R_{x,g,a}$ は、断熱グレードによらず全年代の有病率 $r_{x,T}$ に対する各年代の有病率 $r_{x,a}$ に等しいと想定している。また、ここで推定した有訴割合には転居後に新たに症状を自覚した人を含んでいないため、それを含めた有訴割合よりも小さい値になっていると考えられる。

推定に用いた各値をTable4、Table5、推定結果をTable6に示す。概ね、断熱グレードが上がると有訴割合は小さくなる傾向がある。

### 2.4 各疾病の年代別医療費の推定

疾病 $x$ 、断熱グレード $g$ 、年代(20歳毎) $\alpha$ の医療費 $M_{x,g,a}$ (円/年・人)を自己負担3割として次式で推定した。

$$M_{x,g,a} = \frac{R_{x,g,a}}{100} \times \frac{m_{x,T}}{n_{x,T}} \times 0.3 \quad (5)$$

$m_{x,T}$  : 疾病 $x$ の総医療費<sup>10), 11)</sup>(円/年)

$n_{x,T}$  : 疾病 $x$ の総患者数<sup>9)</sup>(人)

各疾病の総医療費をTable7に示す。総医療費については、厚生労働省の平成26年度国民医療費<sup>10)</sup>に掲載されている疾病はその値を

Table4 Prevalence rate before moving and improvement rate after moving of each insulation grade<sup>7)</sup>

	Insulation grade (after moving)	Prevalence rate (before moving)	Improvement rate (after moving)
Heart diseases	3	0.02	0.29
	4	0.02	0.53
	5	0.02	0.58
Vascular brain diseases	3	0.01	0.59
	4	0.01	0.83
	5	0.01	0.66
Hypertensive diseases	3	0.06	0.24
	4	0.07	0.22
	5	0.08	0.25
Diabetes mellitus	3	0.02	0.14
	4	0.02	0.34
	5	0.03	0.33
Asthma	3	0.06	0.56
	4	0.06	0.62
	5	0.08	0.76
Dermatitis and eczema	3	0.08	0.35
	4	0.08	0.47
	5	0.08	0.62
Pneumonia	3	0.03	0.46
	4	0.02	0.61
	5	0.04	0.66
Inflammatory polyarthropathies	3	0.03	0.25
	4	0.03	0.42
	5	0.04	0.52
Allergic rhinitis	3	0.25	0.11
	4	0.24	0.15
	5	0.23	0.32
Conjunctivitis	3	0.13	0.14
	4	0.11	0.21
	5	0.11	0.40

Table5 Population and Number of patients

		Age				
		0-19	20-39	40-59	≥60	All
Population [×10 <sup>3</sup> persons] <sup>17)</sup>		22,238	29,017	33,846	41,979	127,080
Number of patients [×10 <sup>3</sup> persons] <sup>9)</sup>	Heart diseases	4	13	154	1,564	1,735
	Vascular brain diseases	0	7	85	1,089	1,181
	Hypertensive diseases	1	55	1,477	8,682	10,215
	Diabetes mellitus	6	72	572	2,520	3,170
	Asthma	462	137	236	364	1,199
	Dermatitis and eczema	283	238	250	405	1,176
	Pneumonia	8	2	5	54	69
	Inflammatory polyarthropathies	6	26	133	342	507
	Allergic rhinitis	287	91	144	150	672
	Conjunctivitis	41	30	43	173	287

Table6 Estimated prevalence rate of each insulation grade

	Insulation grade	Age				
		0-19	20-39	40-59	≥60	All
Heart diseases	3	0.000	0.000	0.005	0.039	0.014
	4	0.000	0.000	0.003	0.026	0.009
	5	0.000	0.000	0.003	0.023	0.008
Vascular brain diseases	3	0.000	0.000	0.001	0.011	0.004
	4	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002
	5	0.000	0.000	0.001	0.009	0.003
Hypertensive diseases	3	0.000	0.001	0.025	0.117	0.046
	4	0.000	0.001	0.030	0.140	0.055
	5	0.000	0.001	0.033	0.154	0.060
Diabetes mellitus	3	0.000	0.002	0.012	0.041	0.017
	4	0.000	0.001	0.009	0.032	0.013
	5	0.000	0.002	0.014	0.048	0.020
Asthma	3	0.058	0.013	0.020	0.024	0.026
	4	0.050	0.011	0.017	0.021	0.023
	5	0.042	0.010	0.014	0.018	0.019
Dermatitis and eczema	3	0.072	0.046	0.042	0.054	0.052
	4	0.058	0.038	0.034	0.044	0.042
	5	0.042	0.027	0.024	0.032	0.030
Pneumonia	3	0.011	0.002	0.004	0.038	0.016
	4	0.005	0.001	0.002	0.018	0.008
	5	0.009	0.002	0.004	0.032	0.014
Inflammatory polyarthropathies	3	0.002	0.005	0.022	0.046	0.023
	4	0.001	0.004	0.017	0.036	0.017
	5	0.001	0.004	0.019	0.039	0.019
Allergic rhinitis	3	0.543	0.132	0.179	0.150	0.223
	4	0.498	0.121	0.164	0.138	0.204
	5	0.382	0.093	0.126	0.106	0.156
Conjunctivitis	3	0.091	0.051	0.063	0.204	0.112
	4	0.071	0.040	0.049	0.159	0.087
	5	0.054	0.030	0.037	0.120	0.066

用い、掲載されていない疾病(アトピー性皮膚炎、アレルギー性鼻炎、アレルギー性結膜炎)は厚生労働省の平成26年社会医療診療

行為別調査<sup>11)</sup>の上巻の医科診療第13表に示されている点数と下巻の医科診療第2表に示されている点数の和に10を掛けた値の12倍より推算した。これは、社会医療診療行為別調査の上巻では診療行為に関する点数、下巻では薬剤使用に関する点数が示されており、点数1点は10円に対応し、これらの値は6月一カ月間の全国推計値であるためである。なお、国民医療費と社会医療診療行為別調査の両方に掲載されている疾病について、社会医療診療行為別調査のデータから上記の方法で計算した医療費と国民医療費に掲載されている医療費が概ね一致することを別途確認している。また、平成26年のデータを用いたのは、データによっては毎年発表されていないものもあり、本検討で使用各データの年を揃えるためである。

医療費の推定結果をTable8に示す。0~19歳ではアレルギー性鼻炎、60歳以上ではアレルギー性結膜炎と肺炎の医療費が大きくなっている。

Table7 Total medical cost of each disease

	Total medical cost [ $\times 10^8$ yen/year] <sup>10), 11)</sup>
Heart diseases	18,203
Vascular brain diseases	17,821
Hypertensive diseases	18,513
Diabetes mellitus	12,196
Asthma	3,403
Dermatitis and eczema	4,287
Pneumonia	3,237
Inflammatory polyarthropathies	2,829
Allergic rhinitis	2,382
Conjunctivitis	1,951

Table8 Estimated medical cost [ $\times 10^3$  yen/year/person]

	Insulation grade	Age			
		0-19	20-39	40-59	$\geq 60$
Heart diseases	3	0.1	0.1	1.5	12.2
	4	0.0	0.1	1.0	8.1
	5	0.0	0.1	0.9	7.2
Vascular brain diseases	3	0.0	0.0	0.5	5.2
	4	0.0	0.0	0.2	2.1
	5	0.0	0.0	0.4	4.3
Hypertensive diseases	3	0.0	0.1	1.3	6.4
	4	0.0	0.1	1.6	7.6
	5	0.0	0.1	1.8	8.4
Diabetes mellitus	3	0.0	0.2	1.3	4.8
	4	0.0	0.2	1.0	3.7
	5	0.0	0.2	1.6	5.6
Asthma	3	4.9	1.1	1.7	2.1
	4	4.3	1.0	1.4	1.8
	5	3.6	0.8	1.2	1.5
Dermatitis and eczema	3	7.8	5.0	4.5	5.9
	4	6.4	4.1	3.7	4.8
	5	4.6	2.9	2.7	3.5
Pneumonia	3	15.1	2.9	6.2	54.0
	4	7.3	1.4	3.0	26.0
	5	12.7	2.4	5.2	45.3
Inflammatory polyarthropathies	3	0.3	0.8	3.7	7.7
	4	0.2	0.7	2.9	5.9
	5	0.2	0.7	3.2	6.6
Allergic rhinitis	3	57.7	14.0	19.0	16.0
	4	52.9	12.9	17.5	14.7
	5	40.6	9.9	13.4	11.2
Conjunctivitis	3	18.6	10.4	12.8	41.6
	4	14.5	8.1	10.0	32.3
	5	11.0	6.2	7.6	24.6

## 2.5 住宅内温度と医療費の関係の推定式

それぞれの年代および断熱グレード毎に心疾患・脳血管疾患以外の全ての医療費を足し合わせた値とTable3に示した「1/1~2/28の滞在室作用温度の平均」との関係と、それぞれの年代および断熱グレード毎に心疾患・脳血管疾患の医療費を足し合わせた値とTable3に示した「2/1~2/7の住宅内日最低作用温度の平均」との関係、およびそれらの関係を指数近似した曲線をFig.1に示す。また、指数近似により作成した医療費の推定式を式(6)に示す<sup>注4)</sup>。

$$M = A \cdot \exp(BT) \quad (6)$$

M : 推定医療費(円/年・人)

A, B : Table9に示す値

T : 心疾患・脳血管疾患以外は1/1~2/28の滞在室作用温度の平均(°C)、心疾患・脳血管疾患は2/1~2/7の住宅内日最低作用温度の平均(°C)

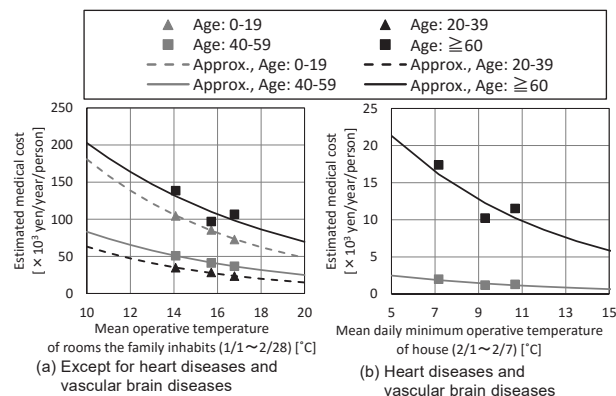


Fig.1 Estimated relationships between indoor thermal environment and medical cost

Table9 Value A and B of equation(6)

		Age			
		0-19	20-39	40-59	$\geq 60$
Except for heart diseases and vascular brain diseases	A	684,161	269,505	279,108	591,753
	B	-0.133	-0.145	-0.121	-0.107
Heart diseases and vascular brain diseases	A	0	0	4,816	40,654
	B	-	-	-0.132	-0.129

## 3. 断熱費の算定方法と算定結果

住宅の断熱に用いる断熱材は、各種メーカーから様々な種類・価格のものが販売されている。本研究では、床断熱と基礎断熱それぞれについて  $U_A$  値 0.3~1.5  $W/m^2K$  程度を検討対象として、その断熱性能を最も安価に満たす天井、外壁、床(基礎断熱は基礎)の断熱材および窓・扉の仕様を調査し、その価格をその断熱性能の断熱費とした。

断熱費の具体的な算定手順を以下に示す。まず、断熱部位を天井、外壁、床(基礎断熱は基礎)、窓・扉に分け、それぞれの部位に7つの断熱性能(U値)を想定し、各部位のそれぞれの断熱性能(U値)を最も安価に満たす仕様を選定した。天井、外壁、床(基礎断熱は基礎)の各部位は積算ポケット手帳<sup>18)</sup>に掲載されている全ての断熱材を候補とし、窓・扉はサッシメーカー3社とガラスメーカー2社に調査した価格を候補とした。天井は500mm厚まで、床は200mm厚までの重ね張りも候補とし、外壁は充填断熱(上限120mm厚)を基本に外張り(上限30mm厚)を付加する場合も候補とした。このように選定した各部位の断熱仕様候補をTable10に示す。なお、検討する費用は材料費のみとし、工事費等は含まない。

次に、2.2節と同じく自立循環型住宅への設計ガイドライン<sup>12)</sup>の一般モデルを検討対象とし、Table10に示した天井、外壁、床(基礎断熱は基礎)、窓・扉それぞれの断熱仕様候補を全て組み合わせた2401(=7<sup>4</sup>)通りについて住宅全体の断熱性能( $U_A$ 値)と断熱材および窓・扉の合計価格を算出した。 $U_A$ 値と合計価格の関係をFig.2に示す。それぞれの $U_A$ 値で最も合計価格が小さくなるFig.2に白丸で示した仕様について、各部位の断熱仕様の組み合わせと合計価格をTable11に示す。以降ではこの合計価格をその断熱性能に対応



Table10 Candidates for insulation specification

	Insulation material	Thickness [mm]	Thermal conductivity [W/mK]	U-value [W/m <sup>2</sup> K] ※1	Cost [yen/m <sup>2</sup> ] ※2	
Ceiling	c1	Glass wool 10K	50	0.050	0.82	420
	c2	Rock wool	100	0.038	0.35	1,000
	c3	Rock wool	200	0.038	0.18	2,000
	c4	Glass wool 10K	350	0.050	0.14	2,685
	c5	Glass wool 10K	500	0.050	0.10	3,788
	c6	High-performance glass wool 20K	465	0.034	0.07	12,545
	c7	Phenol foam	500	0.019	0.04	39,548
Floor (for floor insulation)	f1	Nothing	0	-	2.22	0
	f2	Glass wool 10K	75	0.050	0.58	585
	f3	Glass wool 10K	100	0.050	0.47	758
	f4	Glass wool 10K	150	0.050	0.37	1,170
	f5	Glass wool 10K	200	0.050	0.32	1,515
	f6	Rock wool	200	0.038	0.27	7,400
	f7	Phenol foam	200	0.019	0.20	15,819
Foundation (for foundation insulation)	fd1	Nothing	0	-	1.80	0
	fd2	Polystyrene foam	15	0.050	0.72	655
	fd3	Polystyrene foam	20	0.050	0.67	830
	fd4	Polystyrene foam	30	0.050	0.61	1,240
	fd5	Polystyrene foam	30	0.050	0.56	1,600
	fd6	Polystyrene foam	45	0.038	0.53	1,860
	fd7	Phenol foam	66	0.019	0.33	4,371
Exterior wall	w1	Glass wool 10K	50	0.050	0.78	420
	w2	Glass wool 10K	75	0.050	0.59	585
	w3	Glass wool 10K	100	0.050	0.48	758
	w4	Rock wool	100	0.038	0.41	1,000
	w5	Rock wool + Polystyrene foam	100+30	0.038+0.036	0.29	2,240
	w6	High-performance glass wool 36K + Phenol foam	105+30	0.032+0.020	0.22	5,402
	w7	Phenol form	120+30	0.019	0.16	12,228
Window and entrance door	wd1	Metallic sash, Single-glazed glass			6.51	749,680
	wd2	Metallic sash, Double-glazed glass (A4 or more and less than A10)			4.65	1,182,580
	wd3	Metallic sash, Double-glazed glass (A10 or more)			4.07	1,239,429
	wd4	Metallic sash, Low-E double-glazed glass (A10 or more) or Metallic and plastic composite sash, Double-glazed glass (A10 or more)			3.49	1,462,089
	wd5	Metallic and plastic composite sash, Low-E double-glazed glass (A10 or more)			2.33	1,495,270
	wd6	Wooden sash or plastic sash, Low-E double-glazed glass (G12 or more)			1.90	1,374,200
	wd7	Wooden sash or plastic sash, Double Low-E triple-glazed glass (G7 or more x2)			1.60	2,337,500

※1 For foundation insulation, [W/mK]

※2 For window and entrance door, [yen/house]

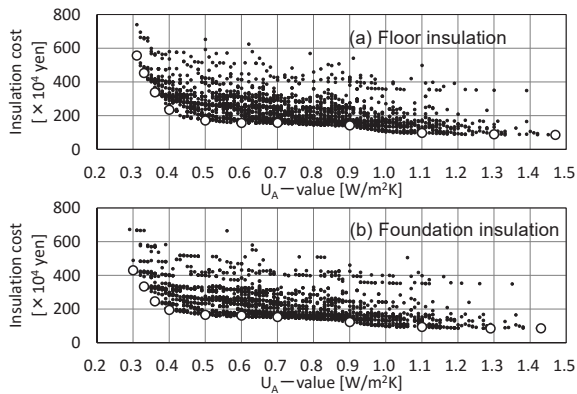


Fig.2 Relationships between U<sub>A</sub>-value and insulation cost

Table11 Combination of insulation specification and insulation cost

U <sub>A</sub> -value [W/m <sup>2</sup> K]	Floor insulation		Foundation insulation		
	Combination of insulation specification	Insulation cost [×10 <sup>4</sup> yen]	U <sub>A</sub> -value [W/m <sup>2</sup> K]	Combination of insulation specification	Insulation cost [×10 <sup>4</sup> yen]
0.31	c6-f7-w7-wd7	557	0.30	c5-fd7-w7-wd7	429
0.33	c5-f6-w7-wd7	453	0.33	c5-fd7-w7-wd6	333
0.36	c5-f5-w6-wd7	338	0.36	c5-fd7-w6-wd6	245
0.40	c4-f5-w6-wd6	234	0.40	c4-fd7-w5-wd6	195
0.50	c3-f5-w4-wd6	171	0.50	c2-fd7-w4-wd6	165
0.60	c2-f2-w3-wd6	157	0.60	c1-fd7-w4-wd6	161
0.70	c2-f5-w1-wd6	157	0.70	c2-fd6-w1-wd6	153
0.90	c3-f2-w2-wd2	142	0.90	c3-fd6-w5-wd1	123
1.10	c2-f5-w2-wd1	97	1.10	c1-fd5-w4-wd1	94
1.30	c1-f4-w1-wd1	89	1.29	c1-fd2-w1-wd1	84
1.47	c1-f1-w2-wd1	85	1.43	c1-fd1-w2-wd1	85

する断熱費とする。U<sub>A</sub> 値 0.4W/m<sup>2</sup>K あたりから断熱性能が高くなると (U<sub>A</sub> 値が小さくなると) 断熱費が急上昇している。これは、U<sub>A</sub> 値が 0.4W/m<sup>2</sup>K あたりから小さくなると、床断熱は窓・扉の仕様が高価な wd7 になり、基礎断熱は外壁の仕様が高価な w6 や w7 になるためである。また、断熱費は基礎断熱の方が床断熱よりも安くなっている。

#### 4. 暖冷房・換気電気代と医療費の推定方法

2.2 節および 3 章と同じく自立循環型住宅への設計ガイドライン<sup>12)</sup>の一般モデルを対象として、Table12 に示す断熱性能 (U<sub>A</sub> 値) と空調方法、地域区分<sup>注5)</sup>の条件を全て組み合わせた条件で暖冷房・換気の電気代と医療費を推定した。それぞれの U<sub>A</sub> 値の断熱仕様は Table11 に示した組み合わせとした。空調方法は「A: 暖房時はベース暖房として住宅全体を気温 15℃以上に保ちつつ Table2 に示した条件で部分間欠空調し、熱交換換気とする方法」と、「B: Table2 に示した条件で部分間欠空調し、熱交換換気とする方法」、「C: Table2 に示した条件で部分間欠空調し、熱交換換気としない方法」の場合を検討した。部分間欠空調の設定は、暖房は気温 20℃、冷房は気温 28℃・相対湿度 70%以下とした。日平均外気温が 15℃以下となる期間を暖房期間とし、それ以外の期間を冷房期間とした。その他、内部発熱、全般換気と局所換気は 2.2 節に示した条件と同じ条件とし、動的室温・熱負荷計算ソフト<sup>注3)</sup>を用いて各室の作用温度と暖冷房の消費電力量を計算した。

電気料金は 27 円/kWh を基本としたが、今後の電気料金の変動の可能性も考慮して 10 年後に 35 円/kWh に上昇する場合も検討した。換気の電気代は、電気料金が 27 円/kWh の場合に非熱交換は 12,000 円/年、熱交換は 27,000 円/年とした<sup>注6)</sup>。

医療費の推定に際し、家族それぞれの 1/1~2/28 の滞在室作用温度の平均と 2/1~2/7 の住宅内日最低作用温度の平均を計算した。Fig.3 に配偶者の 1/1~2/28 の滞在室作用温度の平均と U<sub>A</sub> 値の関係と、2/1~2/7 の住宅内日最低作用温度の平均と U<sub>A</sub> 値の関係を示す。なお、配偶者と世帯主、第一子、第二子の滞在室作用温度の平均の差は 1℃未満であった。上記のように計算した各温度を 2.5 節で示した推定式に代入して医療費を推定した。

Table12 Conditions for estimating electricity cost of heating, cooling and ventilation and medical cost

U <sub>A</sub> -value [W/m <sup>2</sup> K]	Floor insulation : 0.31 / 0.33 / 0.36 / 0.4 / 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.9 / 1.1 / 1.3 / 1.47 Foundation insulation : 0.3 / 0.33 / 0.36 / 0.4 / 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.9 / 1.1 / 1.29 / 1.43
Heating, cooling and ventilation method	A : Heating and cooling : Continuous operation in whole house and intermittent operation in partial space Ventilation : Heat exchange B : Heating and cooling : Intermittent operation in partial space Ventilation : Heat exchange C : Heating and cooling : Intermittent operation in partial space Ventilation : Non-heat exchange
Areas	1-8

#### 5. 断熱性能と断熱費・暖冷房費・医療費の関係

断熱・換気設備費と、居住期間を 30 年として計算した暖冷房・換気電気代と医療費、およびそれらの合計と U<sub>A</sub> 値との関係を Fig.3 に示す。断熱・換気設備費には、3 章で示した断熱費に換気設備代として非熱交換は 172,000 円、熱交換は 680,000 円を含む<sup>注7)</sup>。1 年目に 30 歳の夫婦と 2 歳および 0 歳の子供が住み始めたとして想定し、夫婦と子供の滞在室は Table2 と同じと想定した。

8 地域を除く全ての地域において、床断熱では U<sub>A</sub> 値 0.4~0.5

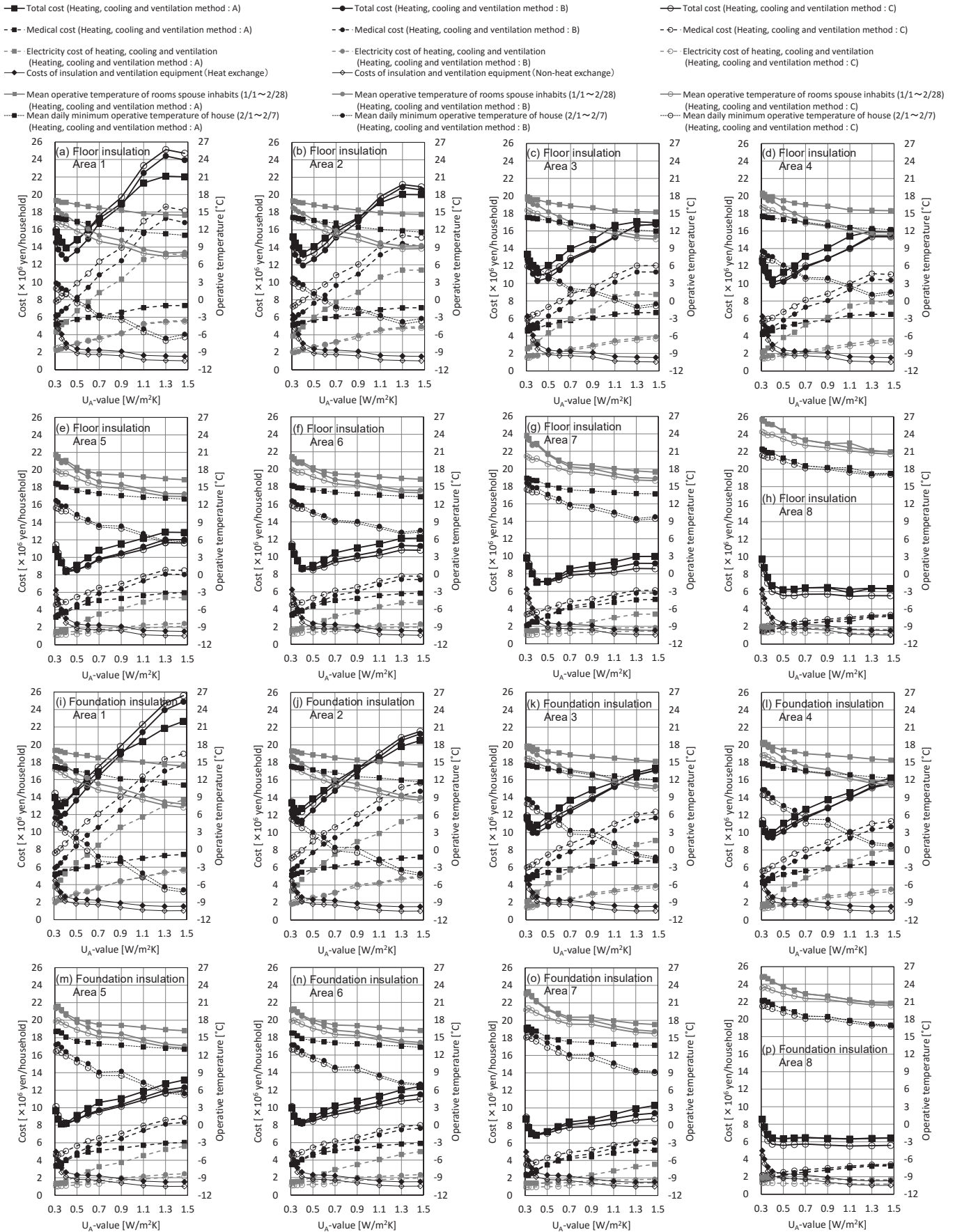


Fig.3 Estimated relationships between  $U_A$ -value and mean operative temperature of rooms spouse inhabits (1/1~2/28), mean daily minimum operative temperature of house (2/1~2/7), costs of insulation and ventilation equipment, electricity cost of heating, cooling and ventilation, medical cost and total cost





とから、今後、高断熱建材の普及促進と低価格化により最も経済的となる U<sub>A</sub> 値をより下方にシフトさせることが求められる。

また、平成 25 年基準の断熱性能から上記の最も経済的な断熱性能に高めるために増加する断熱費の回収期間は、暖冷房換気電気代だけでなく医療費も考慮することにより大幅に短縮され、10 年前後となることを示した。

なお、本研究で示した各疾病の合計医療費（式(6)）は各疾病の一人当たりの平均医療費と推定有訴割合より算出した期待値であることと、推定有訴割合は転居後に新たに症状を自覚した人を含めない値であるためそれを含む推定有訴割合よりも小さな値になっていること、式(6)の近似曲線は外挿していること、本研究で推定した医療費は住宅内温度以外の様々な影響も含んだ医療費の平均的な値であることに注意して、Fig.1 の近似曲線や Fig.3 の医療費の線と合計の線はある程度の幅をもって見る必要がある。

#### 参考文献

- 1) Investigation committee of Hyper Enhanced insulation and Advanced Technique for 2020 houses: HEAT 20 Design guide book + PLUS, Kenchikugijutsu, Inc., 2016.9  
2020 年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会著, HEAT20 設計ガイドブック+PLUS, 株式会社建築技術, 2016.9
- 2) Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Definition of ZEH and future measures proposed by the ZEH Roadmap Examination Committee, Trade and Industry, 2015.12  
経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー対策課: ZEH 普及に向けて～これからの施策展開～ZEH ロードマップ検討委員会における ZEH の定義・今後の施策など, 2015.12
- 3) Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Summary of ZEH Roadmap Examination Committee, Trade and Industry, 2015.12  
経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー対策課: ZEH ロードマップ検討委員会 とりまとめ, 2015.12
- 4) Ministry of Land, Energy saving measures in the future of housing and buildings (Draft second report) (reference materials), 2018.12  
国土交通省: 今後の住宅・建築物の省エネルギー対策のあり方について (第二次報告案) (参考資料), 2018.12
- 5) HASEGAWA, E. et al.: Study on optimal insulation for houses in warm region, No.2 Optimal solution based on life cycle costs, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering II, pp.101-102, 2009.7  
長谷川英司, 岩前篤, 中道潤: 温暖地域における戸建て住宅の断熱手法に関する研究 (その 2) ライフサイクルコストによる最適解の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp.101-102, 2009.7
- 6) IKAGA, T. et al.: Evaluation of investment in residential thermal insulation considering Non-Energy Benefits delivered by health, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 76, No. 666, pp. 735-740, 2011. 8  
伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二, 水石仁, 川久保俊, 奥村公美: 健康維持がもたらす間接的便益 (NEB) を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 76 巻, 第 666 号, pp. 735-740, 2011.8
- 7) IWAMAE, A.: Large Scale Research of Housing Insulation Effect on Human Health, the 43rd Heat Symposium, pp. 87-90, 2013.10  
岩前篤: 住宅断熱性の健康改善効果に関する大規模アンケート調査, 日本建築学会環境工学本委員会熱環境運営委員会, 第 43 回熱シンポジウム, pp. 87-90, 2013.10
- 8) KAWAKUBO, S. et al.: Influence of Residential Performance on Residents' Health Promotion, Nationwide survey of environmental performance of detached houses and residents' health status, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 79, No. 700, pp. 555-561, 2014. 6  
川久保俊, 伊香賀俊治, 村上周三, 星旦二, 安藤真太郎: 住環境が居住

- 者の健康維持増進に与える影響に関する研究 全国の戸建住宅の環境性能と居住者の健康状態に関する実態調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻, 第 700 号, pp. 555-561, 2014.6
- 9) Ministry of Health, Labor and Welfare, Patient Survey 2014, 2016.12  
厚生労働省: 平成 26 年患者調査, 2016.12
  - 10) Ministry of Health, Estimates of National Medical Care Expenditure 2014, 2016.9  
厚生労働省: 平成 26 年国民医療費, 2016.9
  - 11) Ministry of Health, Statistics of Medical Care Activities in Public Health Insurance 2014, 2015.6  
厚生労働省: 平成 26 年社会医療診療行為別調査, 2015.6
  - 12) Design Guidelines for Low Energy Housing with Validated Effectiveness, Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2005.6  
自立循環型住宅への設計ガイドライン, 建築環境・省エネルギー機構, 2005.6
  - 13) Calculation method of primary energy consumption in standards of judgment for residential construction clients, Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2009.3  
住宅事業主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 建築環境・省エネルギー機構, 2009.3
  - 14) HAYAMA, H. et al.: Study on disease occurrence based on Population Survey Report, Part3 Cerebrovascular and cardiovascular disease, Proceedings of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Technical papers of annual meeting, No. 2, pp. 1419-1422, 2010.9  
羽山広文, 釜澤由紀, 菊田弘輝: 人口動態統計を用いた疾病発生に関する研究 その 3 脳血管疾患と心疾患について, 空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻, pp. 1419-1422, 2010.9
  - 15) Philippa Howden-Chapman et al.: Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomized study in the community, British Medical Journal, Vol. 334, No. 7591, pp. 460-464, 2007.3
  - 16) Philippa Howden-Chapman et al.: Effect of Improved Home Heating on Asthma in Community Dwelling Children: Randomised Controlled Trial, British Medical Journal, Vol. 337, No. 7674, pp. 852-855, 2008.10
  - 17) Ministry of Internal Affairs and Communications, Population Estimates 2014.10, 2015.4  
総務省: 人口推計 (平成 26 年 10 月 1 日現在), 2015.4
  - 18) Estimation Pocket Book, for Architects 2018, KENCHIKUSHIRYO KENKYUSHA, 2017.12  
積算ポケット手帳 建築編 2018 建築材料・施工全般, 建築資料研究社, 2017.12

#### 注

- 注 1) 自己申告による各種疾病の自覚症状所有者の割合について、伊香賀<sup>6)</sup>は「有病率」、岩前<sup>7)</sup>は「有感率」、川久保<sup>8)</sup>は「有病割合」と表現している。本研究ではこれを「有訴割合」と表現する。
- 注 2) 各種疾病の医療費には住宅内温度だけではなく生活習慣など様々な要因が関係していると考えられるが、本研究では住宅内温度と各種疾病の医療費との関係に着目する。
- 注 3) 計算には動的室温・熱負荷計算ソフト「ホームズ君「省エネ診断エキスパート」+パッシブ設計オプション Ver4.14」(閉インテグラル)を用いた。同ソフトにおいて、気象データは拡張アメダス気象データ(標準年 EA 気象データ 2010 年版)を用いている。
- 注 4) 温度が高くなったときに医療費は単調減少となり、負の値にはならないと考え、指数近似とした。
- 注 5) 1 地域は北見、2 地域は岩見沢、3 地域は盛岡、4 地域は長野、5 地域は宇都宮、6 地域は岡山、7 地域は宮崎、8 地域は那覇の気象条件とした<sup>13)</sup>。
- 注 6) 換気の電気代は、計算ソフトによる換気の一次エネルギー消費量の計算値と電力の一次エネルギー換算係数 (9.76MJ/kWh) より計算した換気の消費電力量に電気料金を掛けて求めた。
- 注 7) 換気設備代は、計算対象とした住宅と同規模の住宅に用いる機器を想定して設定した。



# PROPOSAL OF MEDICAL COST ESTIMATION METHOD ACCORDING TO THE THERMAL ENVIRONMENT IN HOUSES AND EXAMINATION OF ECONOMICAL THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF HOUSES IN CONSIDERATION OF MEDICAL COSTS

*Koji FUJITA* <sup>\*1</sup>, *Atsushi IWAMAE* <sup>\*2</sup>, *Yutaka SATO* <sup>\*3</sup>,  
*Risako TAKAHARA* <sup>\*3</sup> and *Yo SUZUKI* <sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Lect., Dept. of Human Factors Engineering and Environmental Design, Kindai Univ., Dr.Eng.

<sup>\*2</sup> Prof., Faculty of Architecture, Kindai Univ., Dr.Eng.

<sup>\*3</sup> Panasonic Homes Co., Ltd.

The high cost of improving thermal insulation performance in houses is one of the hindrances to the spread of the improvement in thermal insulation performance, and it takes a long time to recover these costs through reduction of heating and cooling costs alone. Under such circumstances, in recent years, it has been reported that improvement in thermal insulation performance reduces the likelihood of various diseases among people inhabiting these houses, and this reduces medical costs. However, the relationship between thermal insulation performance and medical costs has not been quantitatively evaluated. If medical costs in relation to the thermal insulation performance of a house can be evaluated quantitatively, they can be taken into consideration in the recovery period of the costs of the improvement of the thermal insulation performance. Furthermore, it is possible to examine the most economical thermal insulation performance when considering the costs for thermal insulation, heating and cooling costs, and medical costs together.

Therefore, in this study, we estimated the medical costs in relation to the thermal insulation performance of the house, and examined the thermal insulation performance that is most economical when the costs for thermal insulation, heating and cooling costs, and medical costs are considered. Furthermore, we examined the cost recovery period for the improvement in the thermal insulation performance from that which satisfied the 2013 standard to the above-mentioned most economical thermal insulation performance, taking into consideration the reduction in heating and cooling costs and medical costs.

We assumed that the onset of various diseases is not directly affected by the thermal insulation performance of the house, but is affected by the thermal environment in the house, which is formed according to the thermal insulation performance of the house and the heating and cooling method. On the basis of the relationships between insulation levels of various houses and improvement rates in various diseases shown in the previous research, we estimated the thermal environments in houses in correspondence to each level of insulation and estimated medical costs from improvement rates in various diseases. We proposed formulas to estimate the medical costs for heart diseases and vascular brain diseases from the mean daily minimum operative temperature of the house from February 1 to February 7 and formulas to estimate the medical costs for diseases, excluding heart diseases and vascular brain diseases, from the mean operative temperature of the rooms the family inhabits from January 1 to February 28. We proposed these formulas separately for the age groups 0 to 19, 20 to 39, 40 to 59, and 60 and older.

Furthermore, using these formulas, we examined the most economical insulation performance, including insulation costs, heating and cooling costs, and medical costs. The average heat transmission coefficient of the envelope ( $U_A$  value) of a house having this most economical insulation performance is 0.4 to 0.5 W/m<sup>2</sup>K for a floor-insulation house, and 0.36 to 0.4 W/m<sup>2</sup>K for a foundation-insulation house. We found that by considering not only heating and cooling costs but also medical costs, the cost recovery period for the improvement in the thermal insulation performance from that which satisfied the 2013 standard to the above-mentioned most economical thermal insulation performance was significantly shortened, to around ten years.

(2019年4月10日原稿受理, 2019年10月21日採用決定)