

第4章 建設コストと省エネ性能の試算

4.1 復興住宅例Aの省エネルギー効果の試算

4.1.1 復興住宅例Aの熱損失係数(Q値)の算出

(1) 熱損失係数(Q値)の定義

熱損失係数は、その取り扱いの容易性と直感的理解が可能なることから、住宅熱性能評価では最も多用されている。温度差があると熱(エネルギー)は移動するが(Fourierの法則)、その熱の移動具合は断熱性能(熱貫流率U値: W/m^2K)、すなわち1の温度差で、部位面積 $1m^2$ あたり何Wの熱が逃げるか、で決まる。この値が大きいほど、熱を逃がす(つまり断熱性能が低い)ことになる。こうした部位は住宅各部位に存在するので(図4.1)、これらを全て足し合わせることで、全体に逃げる熱量(熱損失量)を見積もる。総熱損失量は(1)式になり、これを実質延べ面積 S で割った値(単位床面積あたりの熱損失量)が熱損失係数Q値(W/m^2K)となる((2)式)。

$$\sum Q_n = Q_W + Q_D + Q_R + Q_F + Q_G + Q_V \quad \cdots (1)$$

$$Q = \frac{\sum Q_n}{S} \quad \cdots (2)$$

ただし、 Q : 熱損失係数(W/m^2K)、 Q_W : 壁からの熱損失量(W/K)、 Q_D : 階間部からの熱損失量(W/K)、 Q_R : 天井・屋根からの熱損失量(W/K)、 Q_F : 床まわりからの熱損失量(W/K)、 Q_G : 開口部からの熱損失量(W/K)、 Q_V : 換気熱損失量(W/K)、 S : 延床面積(m^2)

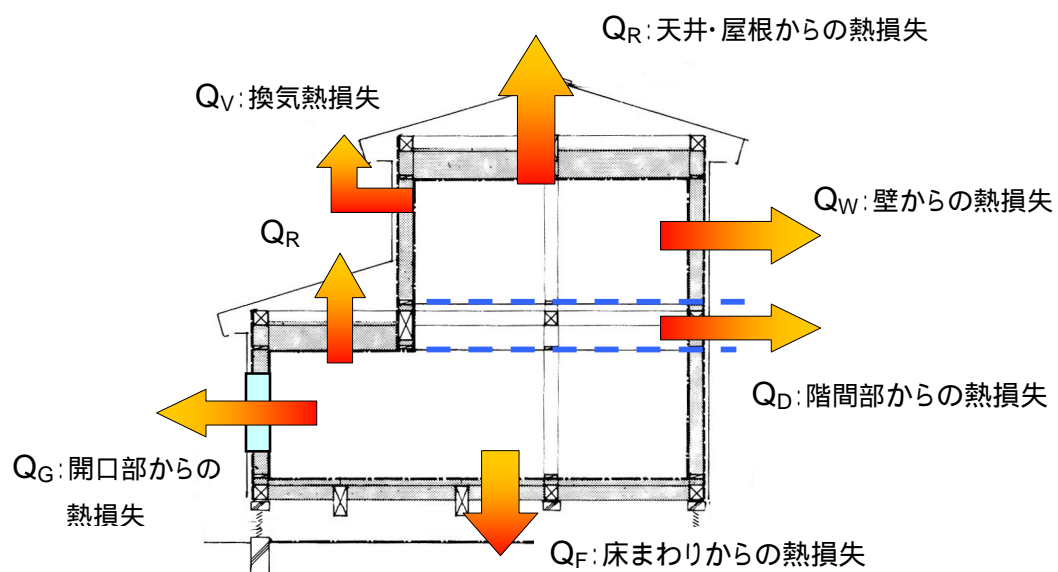


図4.1 住宅の熱損失

(2) 計算条件

「3.1.1 復興住宅例の躯体性能」で示した断熱仕様 a～d に基づき熱損失係数を算出する。各仕様には屋根と天井および基礎断熱工法と床断熱工法とで選択肢があり、そのバリエーションの組み合わせを考えると 1 つの断熱仕様で 12 パターン（4 仕様なので計 48 パターン）になるが、現実的にありうる組み合わせとして表 4.1 のように 3 パターンに設定し、合計 4 仕様で計 12 パターンの計算を行う。

表 4.1 部位仕様の組み合わせ

	天井または屋根	外壁	床まわり
充填 + 基礎断熱	G W 充填	G W 充填	基礎断熱
外張 + 基礎断熱	発泡プラスチック系	発泡プラスチック系	基礎断熱
天井断熱 + 床断熱	G W 天井断熱	G W 充填	G W 床断熱

なお共通条件として、各部位の断熱仕様は 3 章、表 3.3 の値を用いた。換気は第 3 種集中排気システムで算出しており、また基礎断熱の熱貫流率の算出は(3)式に示す簡易岩前式・外断熱の場合の式を利用、土の熱伝導率は 1.0W/mK とした。そのほか各部位は、省エネルギー基準の解説書に準拠した計算を行っている。

基礎断熱工法の床まわり熱損失量 Q_F

$$Q_F = UL \times L_i + UF \times A \quad \dots(3)$$

基礎外断熱の場合

$$UL = 1.31868 - 0.005D + 0.00152 \quad T1^2 - 0.05363 \quad T1 - 0.001W - 0.014T2 \quad \dots(4)$$

$$UF = 0.075 \quad \dots(5)$$

但し、UL:土間床等の外周 1m あたりの熱貫流率 (W/mK)、UF:土間床等の中央部（外壁の壁芯から 1m の床周辺部を除いた部分）の単位面積あたりの熱貫流率 (W/m²K)、D:断熱埋め込み深さ (cm)、T1:基礎外側の断熱材厚さ (cm)、W:土間 外周の断熱厚さ (cm)、T2:土間外周の断熱材の厚さ (cm)

(3) 算出結果

断熱仕様毎に Q 値と各部位の熱損失を棒グラフ（図 4.2～4.5）で示す。すべての仕様において表 3.1 で示す等級 4 のレベルをクリアしている。内訳をみると、開口部の熱損失比率が断熱仕様 a では 30%程度、断熱仕様 d では 50%弱にものぼる。実際、躯体断熱仕様は性能のバリエーションが小さい一方で、開口部は性能バリエーションが大きいことによる。復興住宅例 A の開口部面積比率は 25.5%であり、寒冷地では比較的大きい割合であるが、それが全体熱性能に大きく影響を及ぼす結果になっており、改善の余地が大きい部位である。また、換気方式は第 3 種集中排気方式を選択しているため暖房負荷に占める割合は大きい、第 1 種熱交換換気システム等が採用できるのであれば、この結果よりも負荷は減るであろう。なお注意点として、床断熱仕様が基礎断熱仕様よりも熱損失が少なくなっているが、これは熱計算上、床断熱が有利になっているからであり、実際の部位仕様選択には定常計算で反映されない性能にも気を配る必要があるだろう。

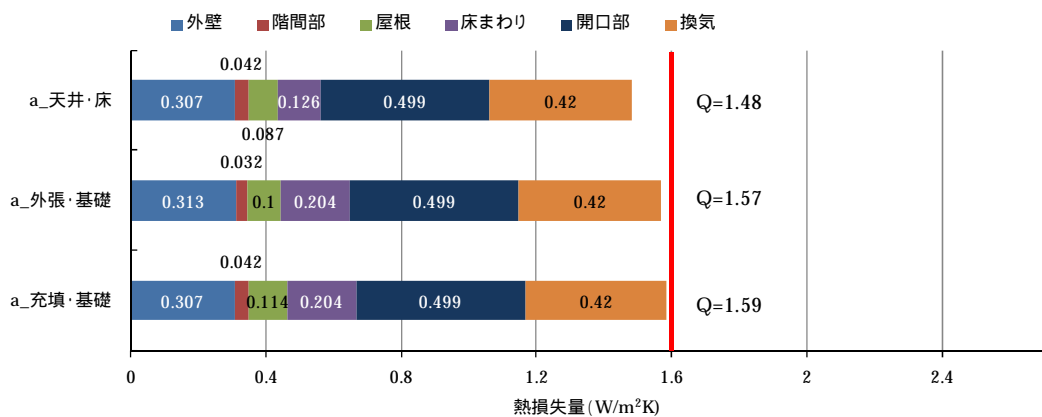


図 4.2 断熱仕様 a (地域・等級 4 超) の熱損失

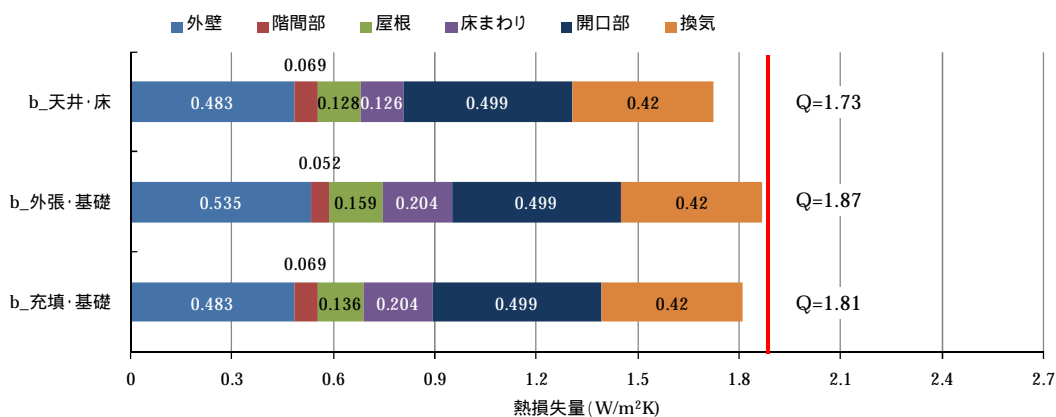


図 4.3 断熱仕様 b (地域・等級 4、 地域・等級 4 超) の熱損失

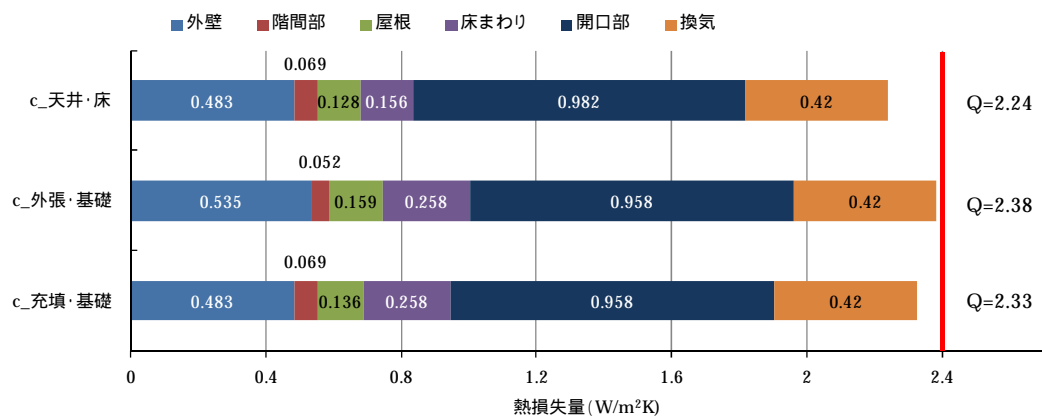


図 4.4 断熱仕様 c (地域・等級 4、 地域・等級 4 超) の熱損失

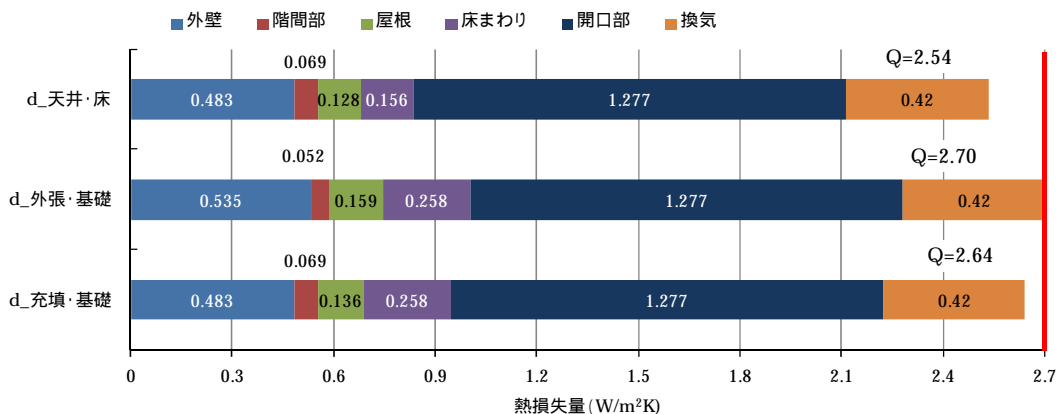


図 4.5 断熱仕様 d (地域・等級 4) の熱損失

4.1.2 HDD 法に基づく復興住宅例 A の年間暖房負荷の算出

(1) HDD 法の概要

復興住宅例 A について、HDD 法に基づく年間暖房負荷の計算を行った。この計算法の概略を説明する。まず、窓種類・方位ごとに開口部面積 (m^2) を算出し、これにガラスの日射透過率と方位ごとの冬期平均日射量を乗じて日射取得熱量 (W) を算出する。また室内における人体・機器発熱は、ここでは省エネルギー基準解説書に準じて床面積 1m^2 あたり $4.65W$ を想定する。これらの取得熱量 (W) を総熱損失率 (Q 値に床面積を乗じたもの; W/K) で除すると、自然温度差 (K) が算出される。

設定した日平均室温 (ここでは 18 に設定) から自然温度差を差し引くことで、暖房設備で供給すべき温度 (K) が決定し、その温度に応じたデGREE- DD から暖房負荷を算出する。例えば平均室温 18 、自然温度差が 8 の場合、デGREE- DD を計算するための温度は $18-8=10$ となる。

なお暖房期間は、外気温度を移動平均して短周期成分を除いた日平均温度が 15 になる時期で判断し、そのときの設定温度と外気温度との差を外気温度 15 以下の期間で積分したものが暖房負荷算定用デGREE- DD (以下、計算 DD と略す) となる。

以上のプロセスを経たのち、下式を用いて、単位床面積あたりの暖房負荷 E (MJ/m^2) を算出する。

$$E = 0.0864 \times Q \times DD \quad \dots(6)$$

E : 単位床面積あたりの暖房用エネルギー消費量 (MJ/m^2)

Q : 熱損失係数 (W/m^2K)

DD : デGREE- DD ($K \cdot \text{day}$)

なお、気象データには拡張アメダス気象データ 1981-2000 の岩手県(13地点)、宮城県(18地点)、福島県(29地点)の標準年データを用いた。

(2) 年間暖房負荷の算出結果

躯体仕様 a~d について、4.1.1 で計算した 3 つのパターン、すなわち『充填断熱 + 基礎断熱』、『外張断熱 + 基礎断熱』、『天井断熱 + 床断熱』について計算を行った (換気仕様として第 3 種換気の場合の Q 値を用いた)。結果の表示は後々利用することを念頭におき、自然温度差によって変化する計算 DD ではなく DD_{18-18} (固定値) とし、南鉛直面期間平均日射量 ($12 \sim 3$ 月) (W/m^2) を X 軸に、暖房負荷算出結果を Y 軸にして表示する。計算地点は省エネルギー基準の地域区分 (地域、地域、地域) に当てはまる地点を対象とするが、「1. 東北地方における気候特性」で設定した、より詳細な気候特性 A~J が識別できるようにマーカーを区別して結果を表示する。なお、定常計算であるので、基礎断熱と床断熱の熱特性の違いなどは基本的に反映できない。したがって、断熱工法の差は、部位に使用する断熱材の種類と厚みの差に集約されることから、基本的にグラフに示される傾向はすべて類似したものとなるため、図示は等級 4 超・充填断熱_基礎

断熱仕様のみとする（図 4.6、4.7）。さて、図 4.6 をみると、 DD_{18-18} と年間暖房負荷はほぼ比例関係にあることがわかる。ただ（C）地域や（F）地域はややばらつきが大きい。気候特性Ⅰに属する（I）（福島県鷲倉）は冬の寒さが極めて厳しく日射熱利用のできない地域であるので、非常に負荷が大きくなる。一方、それ以外の地域は次世代省エネルギー基準の基準値（地域：390MJ/m²、地域：460MJ/m²）をクリアし、地域によってはこれら基準値の 1/3 程度の地点も存在する。図 4.7 では、南鉛直面日射重量（すなわちその地域の日射量）が大きくなると、負荷が小さくなる様子が確認でき、年間暖房負荷の低減に日射熱量が大きく関係することがわかる。

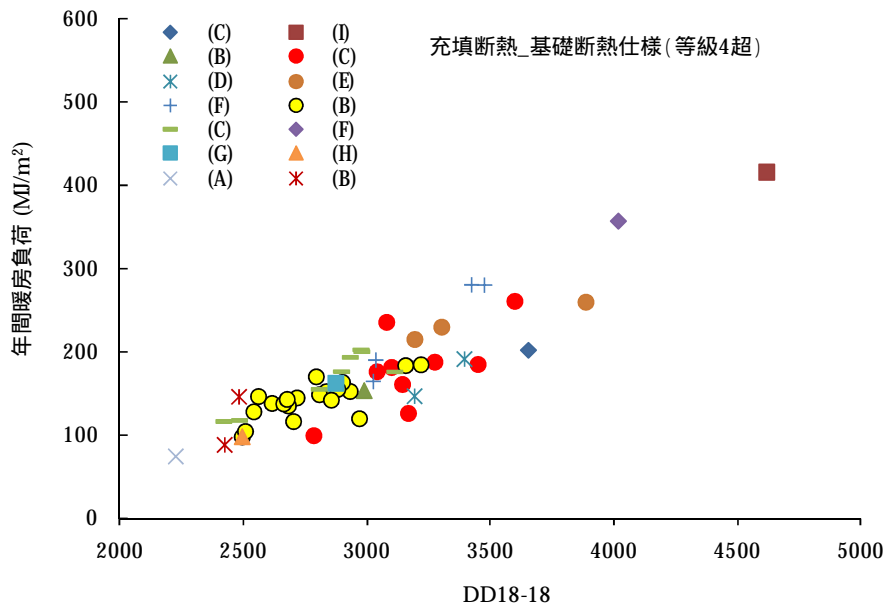


図 4.6 DD_{18-18} と年間暖房負荷の関係(充填断熱+基礎断熱仕様：目標水準 A)

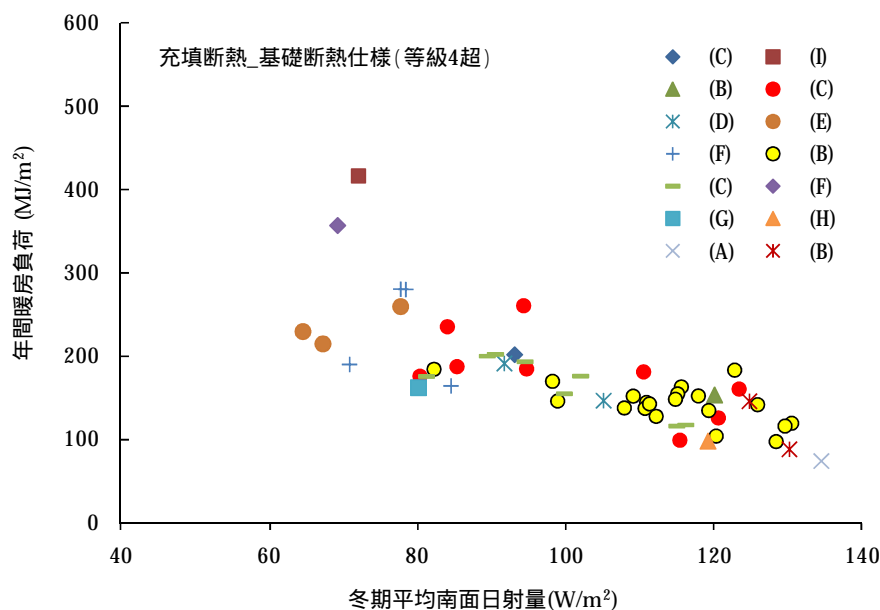


図 4.7 冬期平均南鉛直面日射量と年間暖房負荷の関係(充填+基礎：目標水準 A)

(3) モデルプラン A における年間暖房負荷予測のための重回帰分析

年間暖房負荷は、躯体断熱性能や非定常的な伝熱特性の影響（例えば躯体熱容量）のほかに、外気温、日射量など外部気象要素の影響を受ける。ここでは定常計算上における簡易式を作成することを目的として、HDD 法に基づく暖房負荷計算結果から、デGREEデー、冬期南鉛直面日射量、Q 値をパラメータとする重回帰分析を行い、暖房負荷予測式を作成する。また、この回帰式は線形関数であるので、例えば年間暖房負荷をある値に固定し、その計算地点の DD_{18-18} と冬期期間平均南鉛直面日射量の情報が得られれば、設定した年間暖房負荷を実現するための Q 値を算出することも可能となる。まず、H11 年基準 地域を対象とした重回帰分析結果を(7)式に示す。重相関係数、自由度調整済決定係数ともに非常に高く、当てはまり具合がよい。また、重回帰式による予測値と HDD 法によるシミュレーション値を図 4.8 に示す。リニアではあるものの、回帰式からやや外れるのは (E)（冬の寒さが厳しく、積雪量が極めて多いが、季節風は弱く、日射熱があまり期待できない地域）であるが、全般的によく当てはまっていることがわかる。

H11 年基準 地域を対象とした重回帰式

$$E = 0.094148 \cdot D_{18-18} - 1.6926 \cdot J_{south, average} + 246.835 \cdot Q - 366.551 \quad \dots(7)$$

重相関係数 $R=0.9950$ 、自由度調整済決定係数 $adjusted R^2=0.9898$

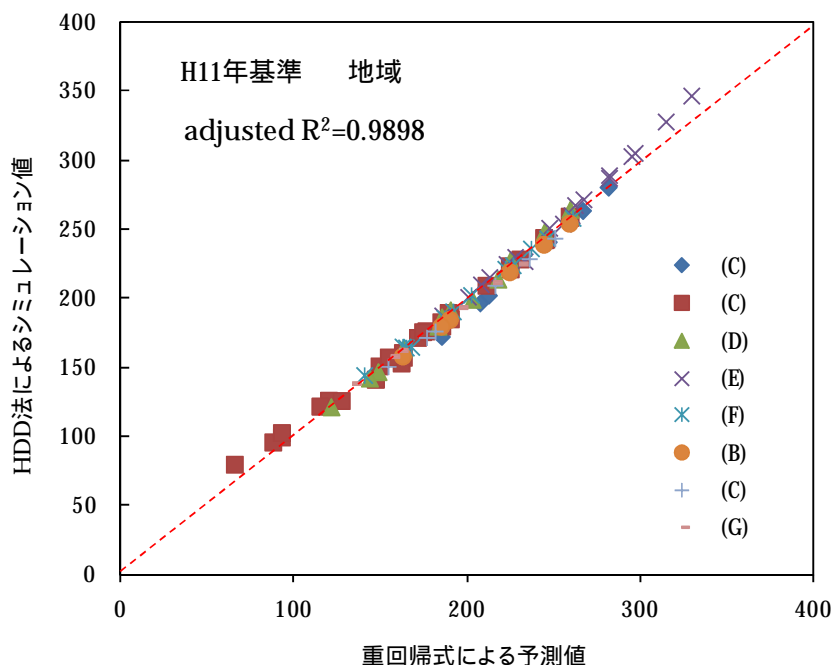


図 4.8 重回帰式による予測値と HDD 法によるシミュレーション値の比較（ 地域）

H11 年基準、地域を対象として重回帰分析を実施した結果を(8)式に示す。また、重回帰式による予測値と HDD 法によるシミュレーション値との比較を図 4.9 に示す。地域に比べるとばらつきが大きくなっており、(B)や (C)はほぼ当てはまり具合はよいものの、(C)や (F)などは、重回帰予測式からはやや外れて勾配が急になっているのがわかる。

H11 年基準 ・ 地域を対象とした重回帰式

$$E = 0.12067 \cdot D_{18-18} - 1.8518 \cdot J_{south,average} + 109.242 \cdot Q - 175.683 \quad \dots(8)$$

重相関係数 $R=0.9728$ 、自由度調整済決定係数 $adjusted\ R^2=0.9457$

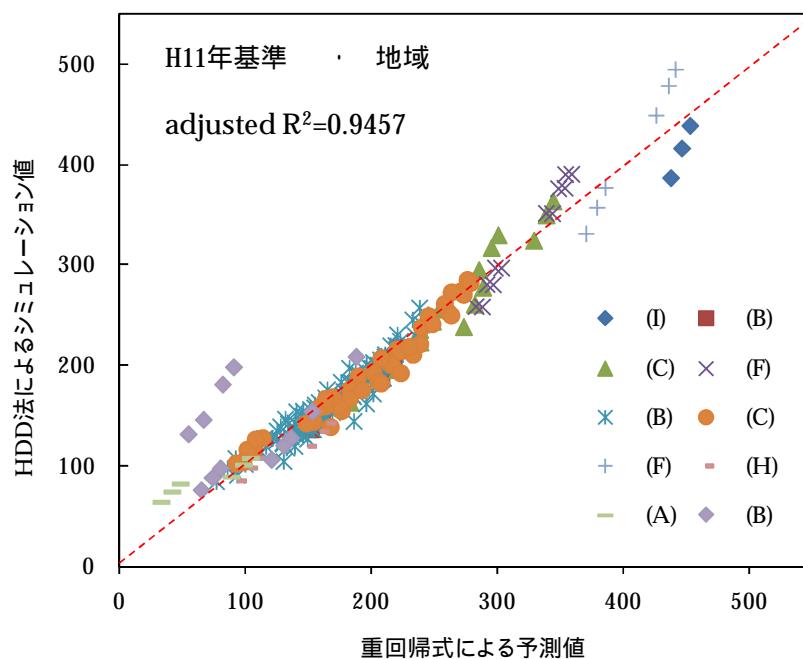


図 4.9 重回帰式による予測値と HDD 法によるシミュレーション値の比較(・ 地域)

(3) 重回帰式を用いた暖房負荷からの Q 値の算出

以上の重回帰式より、暖房負荷を条件として与えて Q 値を算出する式を誘導する(地域 : (9) 式、 ・ 地域、(10)式)

例えば、宮古市は 地域に属し $D_{18-18} = 2966(K \cdot day)$ 、 $J_{south,average} = 130.4(W/m^2)$ であるので、これを入力条件として暖房負荷 E として $E = 80 MJ/m^2$ を目標とすると、Q 値は $1.275 W/m^2K$ にする必要があることがわかる。

$$\text{地域} \quad Q = \frac{E - 0.094148 \cdot D_{18-18} + 1.6926 \cdot J_{south,average} + 366.551}{246.835} \quad \dots(9)$$

$$\cdot \text{地域} \quad Q = \frac{E - 0.12067 \cdot D_{18-18} + 1.8518 \cdot J_{south,average} + 175.683}{109.242} \quad \dots(10)$$

(4) 各計算地点の算出結果

基本的に復興住宅例 A の年間暖房負荷は(7)、(8)式、また、その応用として(9)、(10)式を利用すればよい。その計算根拠として各々の負荷計算結果を以下に示す。

表 4.2 地域の計算地点における年間暖房負荷

	地域・等級 4 超(躯体性能 a)			地域・等級 4(躯体性能 b)			気候特性
	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	
山形	202.43	196.82	172.59	263.74	280.7	241.04	(C)
二戸	188.12	183.11	160.83	244.19	259.63	223.64	(C)
盛岡	147.08	142.32	121.62	199.31	214	180.02	(D)
北上	176.57	171.81	151.25	228.54	242.89	209.59	(C)
遠野	185.37	180.16	157.47	242.65	258.75	221.52	(C)
川渡	176.4	171.85	150.84	228.87	243.63	209.53	(C)
新川	184.94	180.02	158.38	239.29	254.5	219.36	(B)
喜多方	164.94	165.3	144.63	221.63	236.21	202.61	(F)
飯館	126.46	122.1	102.97	175.93	189.9	157.73	(C)
西会津	190.68	185.89	164.58	243.67	258.38	224.11	(F)
猪苗代	191.82	186.64	164.05	248.69	264.66	227.73	(D)
金山	215.46	210.26	187.77	271.8	287.37	251.21	(E)
若松	162.76	158.28	138.76	211.87	225.37	193.79	(G)
只見	230.24	225.01	201.23	289.31	305.37	267.64	(E)
白河	99.68	96.14	80.06	141.57	153.41	126.1	(C)
桧枝岐	260.25	254.24	226.99	328.09	346.93	303.17	(E)
Q value	1.59	1.57	1.48	1.81	1.87	1.73	

表 4.3-1 地域の計算地点における年間暖房負荷 その 1

	地域・等級 4 超(躯体性能 b)			地域・等級 4(躯体性能 c)			気候特性
	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	
宮古	120.06	131.82	104.92	162.46	172.37	145	(B)
釜石	155.34	167.72	139.3	211.34	221.8	192.88	(C)
大船渡	183.92	197.9	165.1	245.92	257.96	224.82	(B)
一関	236.04	250.85	216.58	317.69	330.16	295.59	(C)
気仙沼	152.86	165.45	136.4	206.14	216.74	187.4	(B)
築館	193.97	207.69	175.97	261.96	273.39	241.72	(C)
米山	163.76	176.52	146.69	220.26	231.19	200.87	(B)
志津川	152.66	165.06	136.58	206.62	216.96	188.03	(B)
古川	170.46	183.13	153.76	230.46	241.13	211.27	(B)
大衡	176.78	189.8	159.61	238.49	249.78	219.09	(C)
鹿島台	155.37	168.21	138.53	209.58	220.37	190.45	(B)
石巻	116.66	127.94	102.24	157.72	167.21	141.2	(B)
塩釜	145.07	156.88	129.53	196.07	206.33	178.39	(B)
江ノ島	98.55	108.45	85.83	134.86	143.06	120.21	(H)
仙台	117.96	128.27	104.22	160.1	168.98	144.41	(C)
川崎	202.94	216.77	184.68	274.39	285.8	253.52	(C)

表 4.3-2 地域の計算地点における年間暖房負荷 その2

	地域・等級 4 超(躯体性能 b)			地域・等級 4(躯体性能 c)			気候特性
	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	充填 + 基礎断熱	外張 + 基礎断熱	天井 + 床断熱	
白石	138.45	149.8	123.39	187.87	197.54	170.77	(B)
亘理	128.35	139.42	114	174.6	183.84	158.01	(B)
丸森	135.4	147.06	120.15	183.23	193.04	165.87	(B)
茂庭	200.7	214.67	182.62	271.03	282.69	250.39	(C)
梁川	146.74	158.43	131.65	199.24	208.89	181.89	(B)
桧原	357.68	377.44	331.7	478.88	495.21	449.53	(F)
福島	116.77	126.98	103.15	158.49	167.27	142.97	(C)
相馬	98.04	108.03	85.05	133.28	141.87	118.36	(B)
鷲倉	416.67	439.1	387.18	556.5	575.05	552.68	(I)
二本松	137.91	149.75	122.62	186.9	196.87	169.52	(B)
船引	153.98	166.83	137.05	206.92	217.82	187.61	(B)
浪江	104.64	114.84	91.28	142.54	150.96	127.2	(B)
郡山	143.29	155.22	127.88	194.01	203.76	176.19	(B)
川内	161.21	174.66	143.86	216.34	227.53	196.23	(C)
南郷	281.16	297.59	259.16	376.62	390.71	352.01	(F)
湯本	261.29	278.11	238.92	350.07	364.08	324.86	(C)
小野新町	181.76	195.59	163.51	244.38	256.24	223.67	(C)
田島	280.86	297.52	258.84	377.13	391.02	351.78	(F)
石川	148.88	161.25	132.69	200.91	211.31	182.5	(B)
上遠野	88.67	98.08	76.57	120.73	128.67	106.75	(B)
東白川	142.36	154.57	126.18	191.12	201.27	172.87	(B)
小名浜	74.63	82.72	64.37	101.39	108.09	89.48	(A)
Q value	1.81	1.87	1.73	2.33	2.38	2.24	

表 4.4 地域の計算地点における年間暖房負荷

	地域・等級 4 超(躯体性能 c)			地域・等級 4(躯体性能 d)			気候特性
	充填基礎断熱	外張基礎断熱	天井床断熱	充填基礎断熱	外張基礎断熱	天井床断熱	
広野	146.49	154.79	132.11	198.85	209.3	181.58	(B)
Q value	1.59	2.38	1.48	1.81	2.7	1.73	

このうち、代表的な地点の相互比較を行いやすくするため、岩手県、宮城県、福島県の県庁所在地（盛岡、仙台、福島）および沿岸地域（宮古、大船渡、釜石、気仙沼、志津川、石巻、塩釜、亘理、相馬、浪江、小名浜、広野）の計 15 地点の充填断熱 + 基礎断熱仕様プラン（復興住宅例 A）の年間暖房負荷を図 4.10 に示す。なお、各地域に 2 本の棒グラフが表示されているのは、各々の地点における等級 4 超、等級 4 の 2 種類を示していることによる。等級 4 超は等級 4 と比べて、地域に寄らず約 25～26%の負荷削減になることがわかる。

なお参考までに、重回帰分析に用いた各地点のデグリーデー DD_{18-18} の値および南鉛直面冬期平均日射量（ W/m^2 ）を表 4.5 に示す。

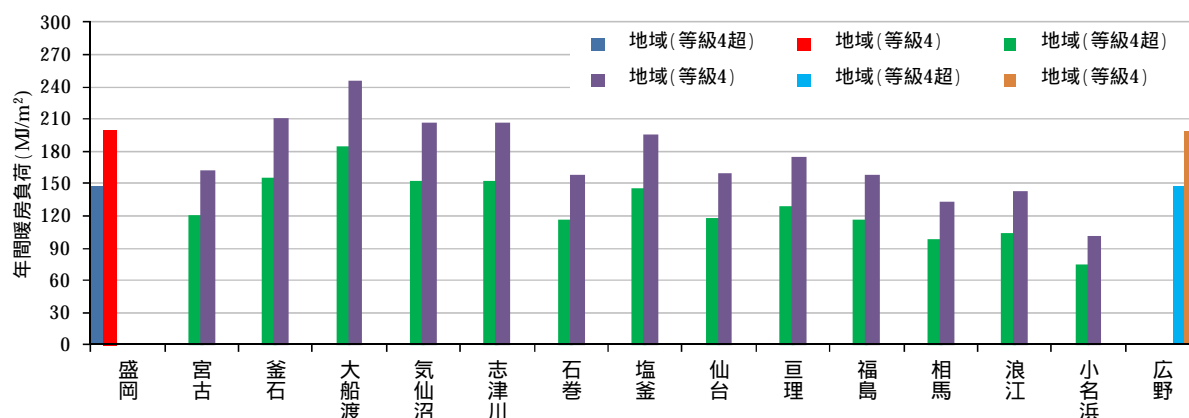


図 4.10 代表的な地点の年間暖房負荷比較

表 4.5 各地点のデグリーデー DD_{18-18} および南鉛直面冬期平均日射量 (W/m^2)

岩手県			宮城県					
地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)	地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)	地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)
山形	3650	93.0	川渡	3109	81.1	石巻	2699	129.5
二戸	3271	85.2	新川	3215	82.1	塩釜	2713	110.8
盛岡	3189	105.0	気仙沼	2928	117.8	江ノ島	2491	119.1
北上	3037	80.2	築館	2929	94.4	仙台	2480	116.1
遠野	3446	94.6	米山	2897	115.5	川崎	2972	90.4
宮古	2966	130.4	志津川	2832	109.0	白石	2612	107.8
釜石	2803	99.7	古川	2791	98.1	亶理	2538	112.1
大船渡	3153	122.7	大衡	2893	101.9	丸森	2678	119.2
一関	3076	83.9	鹿島台	2878	115.0			
福島県								
地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)	地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)	地点	DD ₁₈₋₁₈	南面日射量 (W/m ²)
喜多方	3022	84.4	梁川	2557	98.8	南郷	3420	77.6
飯館	3164	120.5	桧原	4014	69.1	湯本	3595	94.2
西会津	3032	70.7	福島	2416	114.9	小野新町	3096	110.4
猪苗代	3391	91.6	相馬	2491	128.3	田島	3472	78.3
金山	3190	67.1	鷺倉	4615	71.9	石川	2804	114.7
若松	2870	80	二本松	2659	110.6	上遠野	2420	130.1
只見	3299	64.4	船引	2985	120	東白川	2852	125.8
白河	2781	115.3	浪江	2504	120.2	小名浜	2222	134.4
桧枝岐	3883	77.6	郡山	2673	111.2	広野	2478	124.7
茂庭	2975	89.3	川内	3140	123.3			

4.1.3 まとめ

復興住宅モデルプラン A の省エネルギー効果の試算を行った。3.1.1 で設定した部位仕様のもとでは、熱損失係数 Q 値は目標（等級 4）を達成することがわかった。また、年間暖房負荷の試算について行い、復興住宅例 A に限定して、地域条件（ DD_{18-18} 、南鉛直面冬期平均日射量）と Q 値、年間暖房負荷の関係を明らかにした。この方法によれば、気候特性に応じた熱性能設計にも対応できるため、年間暖房負荷を指標とする復興住宅例 A の性能・仕様検討も可能である。