



Title	学校教室の窓ガラス仕様と空調条件が年間熱負荷に与える影響
Author(s)	樋口, 作夫; 羽山, 広文; 絵内, 正道
Citation	日本建築学会環境系論文集, 73(629), 873-879 https://doi.org/10.3130/aije.73.873
Issue Date	2008-07-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50461
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	AIJ.629.873-879.pdf



学校教室の窓ガラス仕様と空調条件が年間熱負荷に与える影響

INFLUENCE OF THE WINDOW-GLASS SPECIFICATION AND AIR-CONDITIONING PRESET TEMPERATURE OF A SCHOOL CLASSROOM ONTO THE ANNUAL HEAT LOAD

樋口 作夫*, 羽山 広文**, 絵内 正道***
Sakuo HIGUCHI, Hirofumi HAYAMA and Masamichi ENAI

It is important to know how to balance the energy saving with the improvement of a learning environment in existing classrooms. This paper shows the influence of window glass specifications (area, U-value and Solar heat gain coefficient) and air-conditioning conditions (preset temperature for heating and cooling) onto the annual heat load of the school classroom.

As a result of numerical calculations applying the Taguchi method, main points and effects to select the window glass and the air conditioning condition are shown as follows. 1) The influence of the preset temperature for heating is the largest in the area north than Osaka. 2) In the selection of glass performance in Sapporo, Morioka, Niigata, Osaka, and Fukuoka, U-value is more important for energy saving than the solar heat gain coefficient. 3) The influence of the window area is smallest in these 5 factors. 4) The low lapse rate of energy consumption would be expected from about 20 to 90% by the best selection of window glass and the air conditioning preset temperature setting. 5) An annual heat load presumed by Taguchi-method using SN ratio considering all 5 factors becomes smaller by about 30% than the load calculated by SMASH in the most suitable conditions.

Keywords: Classroom, Window-glass, U-value, Solar heat gain coefficient,
Air-conditioning preset temperature, Taguchi method

教室 窓ガラス 熱貫流率 日射熱取得率 空調設定温度 タグチメソッド

1. はじめに

二酸化炭素排出低減は地球温暖化抑制のための世界共通の重要課題であり、日本においても京都議定書の目標値を達成するために、あらゆる分野、あらゆる階層での取り組みが進められている。

建築分野における対応策のひとつとしての省エネルギー化については、これまでも熱負荷のシミュレーション計算手法を用いて多くの検討がなされており、例えば建物外皮の日射遮蔽性能と断熱性能を選択するための指針として PAL 線図が示されている¹⁾。建築物の冷暖房エネルギー消費にはこれら 2 つの性能値のほかにも多くの因子が関係するために、それらを効率的、合理的に評価する方法として実験計画法（タグチメソッド、以下品質工学という）は有用な手法であり、住宅²⁾、事務所^{3) 4)}に関する研究がなされている。

しかしながら、これらの研究は主要建築物である住宅、事務所ビルを対象としたものであり、業務用施設面積全体のおよそ 2 割を占める学校建築は対象としていない。学校のエネルギー消費原単位は、稼働時間が短いことなどにより 87.2[kWh/(m²・年)]と事務所ビルの消費原単位 (210.0[kWh/(m²・年)]) の半分以下⁵⁾であるが、日本には小学校約 24,000 校、中学校約 11,000 校、高等学校約 5,000 校、計約 40,000 校 (H15.4.1 現在)⁶⁾の小中高等学校があり、これら

既存の学校においてどのような方策を採ることが、学習環境を向上しながら省エネルギーに有効であるか、を知ることは重要である。

そこで本研究では、学校教室における省エネルギー手法に関する検討として、品質工学の手法⁷⁾を用いて教室モデルの熱負荷計算を行い、窓の面積、使用されるガラス単体の断熱性能、日射遮蔽性能、空調条件としての暖房設定温度、冷房設定温度が、年間熱負荷に与える影響について考察した。尚、換気回数、庇・ベランダ、片廊下・中廊下等の仕様が年間熱負荷、最大熱負荷に与える影響については続報で検討していく計画である。

2. 計算条件と評価方法

2.1 計算条件

熱負荷計算は、SMASH (IBEC)⁸⁾を用いて行った。熱負荷軽減効果に与える窓ガラスの性能、空調条件の影響を評価するための制御因子は窓面積比、熱貫流率、日射熱取得率、暖房設定温度、冷房設定温度の 5 つとし、各因子に 3 つの水準を設定した (表 1)。本研究では熱負荷と窓仕様の関係を検討するために、窓面積の比率は単純化することとし、最小水準 (窓面積比=0.5) において採光、通風に必要な最小窓面積を考慮していない。制御因子と水準を直交表 L₁₈

* 旭硝子 AGC 板ガラスカンパニー CSR 室

** 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士 (工学)

*** 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

CSR Office, AGC Flat Glass Company Japan/Asia

Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

表 1 制御因子と水準

制御因子		第 1 水準	第 2 水準	第 3 水準
A : 面積基準比	[倍]	0.5	1	2
B : 熱貫流率	$[W/(m^2 \cdot K)]$	1.0	3.5	6.0
C : 日射熱取得率	[—]	0.15	0.50	0.85
D : 暖房設定温度	$[^{\circ}C]$	18	20	22
E : 冷房設定温度	$[^{\circ}C]$	28	26	24

表 2 直交表

	面積基準比 (—)	熱貫流率 (W/m^2K)	日射熱取得率 (—)	暖房設定温度 ($^{\circ}C$)	冷房設定温度 ($^{\circ}C$)
単板ガラス	1	5.9	0.85	20	26
複層ガラス	1	2.9	0.75	20	26
ケース 1	0.5	1.0	0.15	18	28
ケース 2	0.5	3.5	0.50	20	26
ケース 3	0.5	6.0	0.85	22	24
ケース 4	0.5	1.0	0.85	22	26
ケース 5	0.5	3.5	0.15	18	24
ケース 6	0.5	6.0	0.50	20	28
ケース 7	1	1.0	0.15	20	26
ケース 8	1	3.5	0.50	22	24
ケース 9	1	6.0	0.85	18	28
ケース 10	1	1.0	0.50	22	28
ケース 11	1	3.5	0.85	18	26
ケース 12	1	6.0	0.15	20	24
ケース 13	2	1.0	0.50	18	24
ケース 14	2	3.5	0.85	20	28
ケース 15	2	6.0	0.15	22	26
ケース 16	2	1.0	0.85	20	24
ケース 17	2	3.5	0.15	22	28
ケース 18	2	6.0	0.50	18	26

表 3 窓以外の部位の断熱性能

		[$K:W/m^2K, Cp:Wh/m^2K$]		
	外壁	間仕切	床・天井	
I 地域 K	0.384	2.441	1.455	
Cp-Out	15.487	3.023	1.918	
Cp-In	3.267	3.023	4.965	
II 地域 K	0.484	2.441	1.455	
Cp-Out	15.266	3.023	1.918	
Cp-In	3.174	3.023	4.965	
III 地域 K	0.739	2.441	1.455	
Cp-Out	15.266	3.023	1.918	
Cp-In	3.174	3.023	4.965	
IV 地域 K	0.739	2.441	1.455	
Cp-Out	15.266	3.023	1.918	
Cp-In	3.174	3.023	4.965	
V 地域 K	0.739	2.441	1.455	
Cp-Out	15.266	3.023	1.918	
Cp-In	3.174	3.023	4.965	
VI 地域 K	0.739	2.441	1.455	
Cp-Out	15.266	3.023	1.918	
Cp-In	3.174	3.023	4.965	

K : 実質熱貫流率⁽²⁾Cp-Out : 室外側の有効熱容量^(注3)

Cp-In : 室内側の有効熱容量

表 4 各都市の空調期間

	暖房期間		冷房期間	
	開始日	終了日	開始日	終了日
札幌	9月25日	6月9日	6月10日	9月24日
盛岡	9月29日	5月24日	5月25日	9月23日
新潟	10月19日	5月10日	5月11日	10月18日
東京	11月2日	4月22日	4月23日	11月1日
大阪	11月4日	4月17日	4月18日	11月3日
福岡	11月3日	4月20日	4月21日	11月2日
鹿児島	11月13日	4月8日	4月9日	11月12日
那覇	12月15日	2月23日	2月24日	12月14日

に割り付け、これらに基準ケースとして透明単板ガラス(5mm)、透明複層ガラス (5mm+空気層 12mm+5mm) を加えて計 20 ケースについて年間熱負荷を求めた (表 2)。

計算対象とした教室モデルを図 1 に示す。教室は 7×9[m]の方形で、正面の黒板に向かって左側に外気に面する窓、右側に廊下がある。廊下の幅は 2[m]、教室および廊下の天井高さは 3[m]、教室外壁、廊下の外窓面積は 7.02[m²]を標準 (面積比 : 1) とした。教室のドアは面積の合計を 7.2[m²]、熱貫流率^{注1)}を 2.86[W/(m²・K)]、教室の廊下に面する窓は面積を 5.7[m²]、熱貫流率を 5.9[W/(m²・K)]とし、教室と廊下の間の窓・ドアともに性能は固定した (内外の表面熱伝達率は 9.3[W/(m²・K)]とした)。照明の点灯条件は一律とし、採光の減少による照明負荷の増大は考慮していない。

教室の窓の面する方位は東西南北の 4 方位とし、計算対象とした地域は I 地域 : 札幌、II 地域 : 盛岡、III 地域 : 新潟、IV 地域 : 東京、大阪、福岡、V 地域 : 鹿児島、VI 地域 : 那覇、の 8 都市である。窓以外の部位の断熱性能は、次世代省エネ基準に基づいて地域毎に設定した(表 3)。都市毎の空調期間を表 4 に示す。廊下の気温は成り行き温度、隣接する教室・上下の教室は対象室と同温設定とし、換気回数は本来窓面積によって変化するが、本論ではガラス単体の性能の影響を明らかにすることを目的としているのでできるだけ小さい一定値として、開口部密閉状況での実測値⁹⁾を参考にして昼夜間を通じて 1.5[回/h]とした。図 1 に一点破線で示した廊下の境界は表面熱伝達率 23[W/(m²・K)]の仮想壁 (熱貫流率 5.9[W/(m²・K)])を設定した。空調時間帯は、学校利用の実態を考慮して平日の 7 時から 17 時までの昼間とした。照明、人体による内部発熱は SMASH の取り扱いに従って条件入力した。照明は 32W 蛍光灯 26 本(計 832W)を 7 時から 10 時および 15 時から 17 時の時間帯に点灯し、在室人数は 7 時および 16 時から 17 時に 18 人、8 時から 15 時の間に 36 人が在室するスケジュールとした。窓の開放は行っていない。尚、

本研究では主に窓ガラスの仕様が熱負荷に与える影響を検討するので潜熱負荷は対象とせず、顕熱負荷のみ求めた。また、直射光が生徒の机の位置まで射し込む時の日射による眩しさは考慮していない。

2.2 評価方法

得られた年間熱負荷から因子・水準毎の平均値、標準偏差を求めた。直交表を使うことにより各因子の水

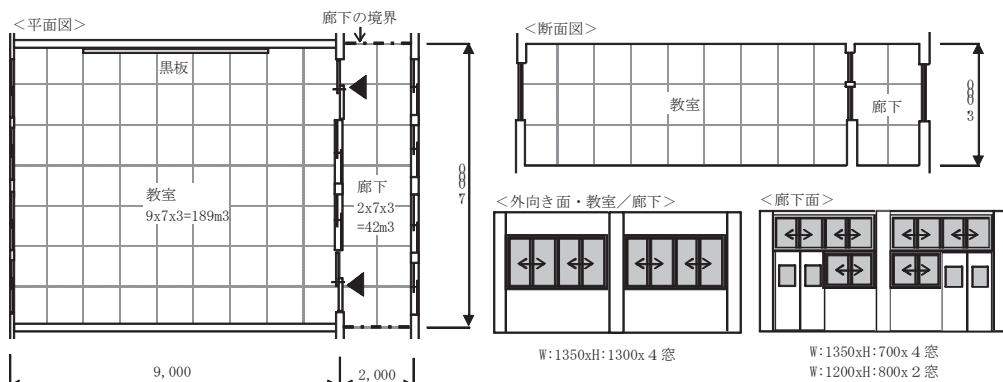


図 1 計算対象教室モデル

表5 年間熱負荷計算結果[kWh/年]

札幌	年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷		
	南向き			北向き			東向き			西向き		
	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房
単板ガラス	10040	9868	172	12117	12094	23	11452	11168	284	11663	11407	256
複層ガラス	8164	8052	112	9948	9948	0	9438	9197	241	9660	9400	200
ケース1	7853	7853	0	8023	8023	0	7993	7993	0	8024	8024	0
ケース2	9777	9777	0	10087	10087	0	10004	10004	0	10050	10050	0
ケース3	11953	11834	119	12397	12313	84	12401	12166	235	12454	12221	234
ケース4	10453	10453	0	10805	10805	0	10734	10734	0	10785	10785	0
ケース5	8400	8400	0	8591	8591	0	8557	8546	11	8590	8579	11
ケース6	10360	10360	0	10706	10706	0	10601	10601	0	10648	10648	0
ケース7	9435	9435	0	9744	9744	0	9645	9645	0	9676	9676	0
ケース8	11702	11579	123	12369	12317	53	12233	12033	200	12303	12095	208
ケース9	7977	7977	0	8977	8977	0	8650	8650	0	8767	8767	0
ケース10	10356	10356	0	11048	11048	0	10792	10792	0	10855	10855	0
ケース11	7088	7088	0	8026	8026	0	7815	7745	70	7935	7859	76
ケース12	11581	11533	48	11902	11880	22	11819	11757	62	11862	11788	73
ケース13	6220	5955	265	7268	7161	107	7132	6735	397	7263	6877	387
ケース14	8095	8095	0	10229	10229	0	9407	9385	22	9679	9617	63
ケース15	15160	15160	0	15749	15749	0	15520	15520	0	15542	15542	0
ケース16	6854	6177	678	8462	8165	297	8371	7434	937	8501	7654	847
ケース17	13067	13067	0	13644	13644	0	13424	13424	0	13446	13446	0
ケース18	9299	9275	24	10616	10616	0	10184	10087	98	10318	10230	88

盛岡	年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷		
	南向き			北向き			東向き			西向き		
	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房
単板ガラス	8808	8268	540	10606	10331	275	10208	9598	610	10470	9869	601
複層ガラス	7126	6728	398	8647	8492	155	8397	7892	505	8612	8124	489
ケース1	6698	6698	0	6857	6857	0	6853	6853	0	6884	6884	0
ケース2	8418	8418	0	8697	8697	0	8679	8679	0	8726	8726	0
ケース3	10721	10267	454	11051	10694	357	11182	10642	541	11237	10705	532
ケース4	9064	9064	0	9381	9381	0	9442	9407	35	9533	9461	72
ケース5	7311	7169	142	7464	7346	117	7479	7328	150	7535	7361	173
ケース6	8923	8923	0	9232	9232	0	9192	9192	0	9242	9242	0
ケース7	8140	8140	0	8415	8415	0	8360	8360	0	8400	8400	0
ケース8	10495	10042	453	11030	10700	330	11038	10518	520	11111	10599	512
ケース9	6648	6648	0	7595	7595	0	7347	7347	0	7478	7478	0
ケース10	8978	8978	0	9598	9598	0	9444	9444	0	9523	9523	0
ケース11	6027	5876	152	6792	6769	24	6782	6558	223	6925	6685	240
ケース12	10240	9950	290	10493	10258	235	10482	10178	304	10528	10220	307
ケース13	5574	4886	687	6477	6026	451	6454	5669	784	6605	5828	777
ケース14	6803	6734	69	8718	8718	0	8143	8034	109	8497	8298	200
ケース15	13172	13172	0	13699	13699	0	13543	13531	12	13635	13577	57
ケース16	6420	5096	1323	7706	6926	780	7846	6312	1534	8079	6573	1507
ケース17	11357	11357	0	11872	11872	0	11714	11714	0	11760	11760	0
ケース18	7995	7750	245	9089	9009	80	8863	8583	279	9075	8748	327

新潟	年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷		
	南向き			北向き			東向き			西向き		
	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房
単板ガラス	8157	6678	1479	8687	7706	981	8920	7290	1630	9172	7393	1780
複層ガラス	6690	5476	1213	7108	6345	763	7391	6005	1386	7655	6095	1561
ケース1	4882	4882	0	4941	4941	0	4943	4943	0	4955	4955	0
ケース2	6508	6407	101	6601	6532	69	6672	6520	152	6738	6536	202
ケース3	9433	8042	1391	9536	8247	1289	9813	8212	1602	9851	8233	1618
ケース4	7378	7133	245	7460	7278	182	7680	7280	401	7761	7299	461
ケース5	6009	5222	787	6047	5291	755	6160	5287	873	6167	5300	867
ケース6	6782	6782	0	6924	6924	0	6901	6901	0	6918	6918	0
ケース7	6195	6182	12	6318	6306	12	6319	6282	36	6352	6294	59
ケース8	9290	7899	1391	9454	8227	1228	9657	8126	1530	9752	8150	1602
ケース9	5049	5025	24	5472	5472	0	5401	5332	70	5538	5382	156
ケース10	7097	7097	0	7402	7402	0	7315	7315	0	7338	7338	0
ケース11	5138	4469	669	5307	4882	425	5588	4763	825	5805	4813	992
ケース12	8570	7527	1043	8661	7671	990	8722	7634	1088	8804	7647	1158
ケース13	5568	3799	1770	5735	4321	1415	6091	4141	1951	6250	4202	2049
ケース14	5936	5533	404	6573	6509	64	6594	6123	471	7032	6227	805
ケース15	10487	10219	267	10687	10479	208	10664	10395	268	10780	10404	376
ケース16	6789	4303	2486	7194	5187	2008	7656	4856	2800	8124	4955	3169
ケース17	8842	8842	0	9095	9095	0	9017	9017	0	9025	9025	0
ケース18	6731	5867	864	7041	6475	565	7146	6245	901	7464	6302	1162

東京	年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷		
	南向き			北向き			東向き			西向き		
	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房
単板ガラス	5419	3869	1549	6562	5373	1188	6654	4890	1764	6833	5079	1754
複層ガラス	4328	3109	1219	5260	4350	910	5448	3965	1483	5572	4131	1441
ケース1	3227	3227	0	3349	3349	0	3361	3361	0	3383	3383	0
ケース2	4639	4390	249	4789	4605	184	4977	4620	357	4991	4651	340
ケース3	7266	5650	1617	7518	5978	1539	7781	5984	1796	7787	6024	1763
ケース4	5304	4942	362	5492	5185	307	5803	5254	549	5802	5288	514
ケース5	4439	3481	958	4550	3617	933	4641	3619	1022	4644	3642	1002
ケース6	4676	4676	0	4915	4915	0	4913	4913	0	4946	4946	0
ケース7	4388	4285	103	4545	4499	46	4611	4477	133	4697	4503	194
ケース8	7077	5502	1576	7461	6010	1451	7652	5916	1736	7667	5967	1700
ケース9	3010	2909	101	3585	3585	0	3662	3444	219	3798	3541	257
ケース10	4880	4880	0	5358	5358	0	5287	5287	0	5365	5337	28
ケース11	3258	2525	732	3694	3131	563	3967	3020	946	4023	3116	907
ケース12	6565	5307	1258	6772	5546	1226	6861	5505	1356	6865	5532	1333
ケース13	3972	2056	1916	4416	2768	1648	4715	2555	2161	4816	2676	2139
ケース14	3525	3082	442	4611	4448	163	4673	4006	667	4814	4196	618
ケース15	7837	7410	427	8192	7821	370	8227	7720	507	8267	7750	517
ケース16	5148	2292	2856	5879	3424	2454	6233	3046	3187	6408	3239	3169
ケース17	6351	6351	0	6752	6752	0	6659	6659	0	6689	6689	0
ケース18	4415	3450	966	5146	4382	764	5215	4104	1111	5347	4223	1125

大阪	年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷			年間熱負荷		
	南向き			北向き			東向き			西向き		
	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房	暖冷房	暖房	冷房
単板ガラス	6280	4140	2140	7336	5422	1914	7564	5127	2437	7669	5127	2542
複層ガラス	5069	3339	1730	5915	4425	1490	6283	4193	2090	6307	4195	2113
ケース1	3278	3278	0	3369	3369	0	3396	3396	0	3400	3400	0
ケース2	5087	4427	659	5208	4596	613	5448	4635	814	5421	4635	785
ケース3	8095	5667	2428	8354	5929	2426	8686	5967	2719	8670	5967	2703
ケース4	5807	4990	817	5922	5180	741	6316	5268	1048	6293	5271	1022
ケース5	5456	3525	1932	5564	3628	1935	5683	3647	2037	5690	3650	2040
ケース6	4758	4703	56	494								

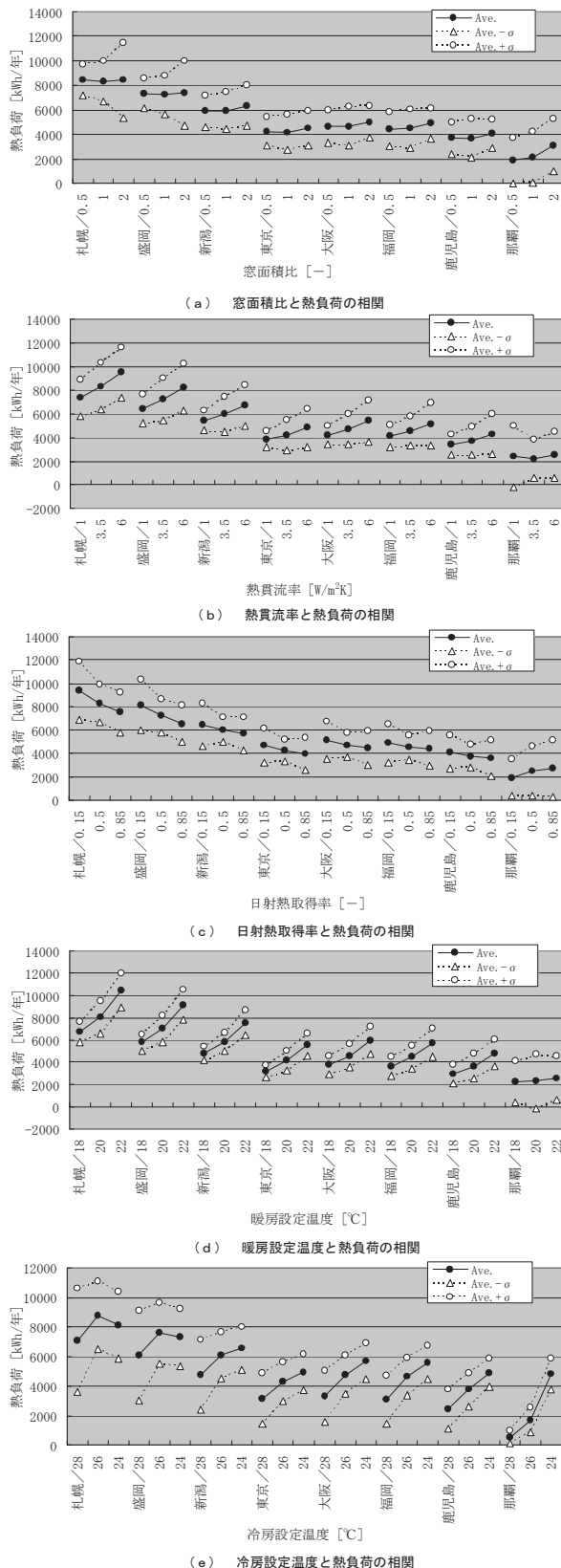


図2 制御因子毎の年間熱負荷の平均値と標準偏差の関係

2乗 (Sr) を算出してデシベル単位 ($\eta = 10 \log(1/Sr)$) に換算し、次に各制御因子の水準毎にデシベル値の和 (SN 比) を算出して、都市毎、方位毎に影響の大きい因子を評価した。各因子で SN 比が最大となる水準の組合せが工程平均 (ここでは、年間熱負荷) の最

小となる組合せになるので、その組合せにおける年間熱負荷を計算し、基準条件 (単板ガラスまたは複層ガラス) に対して期待される軽減率を算出した。

$$\text{SN 比} = \frac{\text{投入されたエネルギーの有効な成分 (信号)}}{\text{投入されたエネルギーのうち、出力として有効に働かなかった有害な成分 (誤差)}} \quad \dots(1)$$

一方、品質工学では SN 比を用いて利得を算出し、最適条件における工程平均を求めることができる。全部の要因を考えた工程平均は一般に良すぎる値になることが知られているが、5 制御因子すべてを考えた時にケース 9 の年間熱負荷を基準として期待される最小年間熱負荷を式(2)~(5)により求め⁷⁾、SN 比を用いて推定した最小熱負荷と最適組合せで求めた年間熱負荷を比較した。式(2)で、 μ : 工程平均、A~E : 因子、max. : SN 比最大の水準、6 : 同一水準のケース数、4 : パラメータ数-1、T : 全データの平均である。

$$\mu_{\text{最適}} = (A_{\text{max}} + B_{\text{max}} + C_{\text{max}} + D_{\text{max}} + E_{\text{max}}) / 6 - 4 \cdot T \quad \dots(2)$$

$$\text{利得} = \mu_{\text{基準}} - \mu_{\text{最適}} \quad \dots(3)$$

$$Sr_{\text{最適}} / Sr_{\text{基準}} = 1 / 10^{\text{利得}/10} \quad \dots(4)$$

$$\text{最小熱負荷} = \sqrt{(Sr_{\text{最適}})} \quad \dots(5)$$

3. 計算結果と考察

年間熱負荷の計算結果を表 5 に示す。福岡以南の都市で、ケース 1、6、9、10、17 など冷房設定温度 28℃時に冷房負荷が 0 となっているが、これは、夜間の換気によって 28℃以下に冷却された熱容量の大きい周壁の保温効果の影響により、昼間の換気や日射による流入熱量、内部発熱が周壁に吸収されるためと考えられる。SMASH の特性上生ずることであることが考えられ、今後は他のプログラムでの確認が必要である。一方、冷房なしで 28℃以下の環境が保たれることの確認には、最上階、最下階、角部屋の成り行き室温が、対象室にどのように影響するかを確認する必要がある。

3.1 南向きにおける制御因子毎の熱負荷の平均値と標準偏差

図 2 に制御因子毎の 3 水準と年間熱負荷の平均値、標準偏差の関係を示す。通常品質工学では、縦軸に SN 比をとったグラフで示すのが一般的であるが、本稿では分かりやすさを重視して縦軸を熱負荷とした。値が近い場合あるいは逆転している場合の取り扱い、品質工学で行われている SN 比に基づく事例に照らして判定した。また、東西北向きも南向きと同様の傾向を示したので略した。

図 2(a)から(e)に共通して、札幌から盛岡、東京、鹿児島、那覇と南下するに従い年間熱負荷が減少しており、東京と大阪、福岡はほぼ同様の年間熱負荷、平均値±標準偏差(σ)の傾向を示している。

図 2(a)から、那覇を除く各都市で平均値は水準の違いによる差が小さく、窓面積を大きくすることは必ずしも年間熱負荷の増大にはつながらないことを示している。また、札幌、盛岡で窓面積比の増大にともない平均値+ σ と平均値- σ の格差が拡大する傾向にあり、他の制御因子を適切に選択することにより窓面積を大きくして年間熱負荷を低減できる可能性のあることを示唆している。

図 2(b)から、那覇を除く各都市で右上がりのグラフであり、熱貫流率は小さい値を採ることが年間熱負荷低減に有効である。

図 2(c)から、那覇を除く各都市で右下がりのグラフであり、日射熱取得率は大きい値を採ることが年間熱負荷低減に有効である。これは、年間熱負荷に占める暖房負荷の割合が大きく昼間の日射熱取

表 6 南向きの各水準の SN 比

○補助表 (SN 比: η の合計)

札幌／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-478.43	-477.49	-476.07	-1431.98	-476.07
B: 熱貫流率	-470.68	-477.15	-484.15	-1431.98	-470.68
C: 日射熱取得率	-483.09	-477.02	-471.87	-1431.98	-471.87
D: 暖房設定温度	-466.68	-475.76	-489.54	-1431.98	-466.68
E: 冷房設定温度	-477.04	-479.68	-475.27	-1431.98	-475.27
平均	-475.18	-477.42	-479.38	-1431.98	-472.11
総平均 T (=計/18):					-79.555
盛岡／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-471.07	-469.96	-469.28	-1410.31	-469.28
B: 熱貫流率	-464.02	-469.57	-476.72	-1410.31	-464.02
C: 日射熱取得率	-475.72	-469.98	-464.61	-1410.31	-464.61
D: 暖房設定温度	-458.83	-468.74	-482.73	-1410.31	-458.83
E: 冷房設定温度	-468.81	-471.92	-469.58	-1410.31	-468.81
平均	-467.69	-470.03	-472.59	-1410.31	-465.11
総平均 T (=計/18):					-78.350
新潟／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-459.09	-459.16	-462.93	-1381.18	-459.09
B: 熱貫流率	-455.54	-459.82	-465.82	-1381.18	-455.54
C: 日射熱取得率	-463.19	-460.75	-457.24	-1381.18	-457.24
D: 暖房設定温度	-449.10	-459.50	-472.58	-1381.18	-449.10
E: 冷房設定温度	-455.88	-460.66	-464.64	-1381.18	-455.88
平均	-456.56	-459.98	-464.64	-1381.18	-455.37
総平均 T (=計/18):					-76.732
東京／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-441.57	-439.79	-444.00	-1325.35	-439.79
B: 熱貫流率	-437.60	-440.53	-447.32	-1325.35	-437.60
C: 日射熱取得率	-446.25	-442.37	-436.72	-1325.35	-436.72
D: 暖房設定温度	-427.83	-441.09	-456.43	-1325.35	-427.83
E: 冷房設定温度	-433.92	-441.71	-449.73	-1325.35	-433.92
平均	-437.41	-441.10	-446.84	-1325.35	-435.15
総平均 T (=計/18):					-73.631
大阪／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-446.17	-445.72	-450.40	-1342.29	-445.72
B: 熱貫流率	-441.97	-447.24	-453.09	-1342.29	-441.97
C: 日射熱取得率	-450.69	-447.83	-443.78	-1342.29	-443.78
D: 暖房設定温度	-435.98	-446.28	-460.04	-1342.29	-435.98
E: 冷房設定温度	-436.91	-447.93	-457.45	-1342.29	-436.91
平均	-442.34	-447.00	-452.95	-1342.29	-440.87
総平均 T (=計/18):					-74.572
福岡／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-443.36	-443.33	-449.43	-1336.12	-443.33
B: 熱貫流率	-440.22	-445.52	-450.38	-1336.12	-440.22
C: 日射熱取得率	-447.85	-445.57	-442.70	-1336.12	-442.70
D: 暖房設定温度	-433.57	-444.66	-457.89	-1336.12	-433.57
E: 冷房設定温度	-432.95	-446.53	-456.63	-1336.12	-432.95
平均	-439.59	-445.12	-451.40	-1336.12	-438.55
総平均 T (=計/18):					-74.229
鹿児島／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-433.48	-431.91	-439.24	-1304.63	-431.91
B: 熱貫流率	-430.50	-434.26	-439.86	-1304.63	-430.50
C: 日射熱取得率	-438.59	-435.61	-430.43	-1304.63	-430.43
D: 暖房設定温度	-422.63	-433.65	-448.35	-1304.63	-422.63
E: 冷房設定温度	-419.95	-434.93	-449.74	-1304.63	-419.95
平均	-429.03	-434.07	-441.52	-1304.63	-427.08
総平均 T (=計/18):					-72.479
那覇／南向き	第 1 水準計	第 2 水準計	第 3 水準計	計	max.
A: 窓面積比	-376.57	-379.20	-415.04	-1170.80	-376.57
B: 熱貫流率	-381.64	-398.20	-391.06	-1170.80	-381.64
C: 日射熱取得率	-380.98	-395.70	-394.13	-1170.80	-380.98
D: 暖房設定温度	-380.60	-386.84	-403.35	-1170.80	-380.60
E: 冷房設定温度	-333.55	-388.83	-448.42	-1170.80	-333.55
平均	-370.65	-389.76	-410.40	-1170.80	-370.65
総平均 T (=計/18):					-65.045

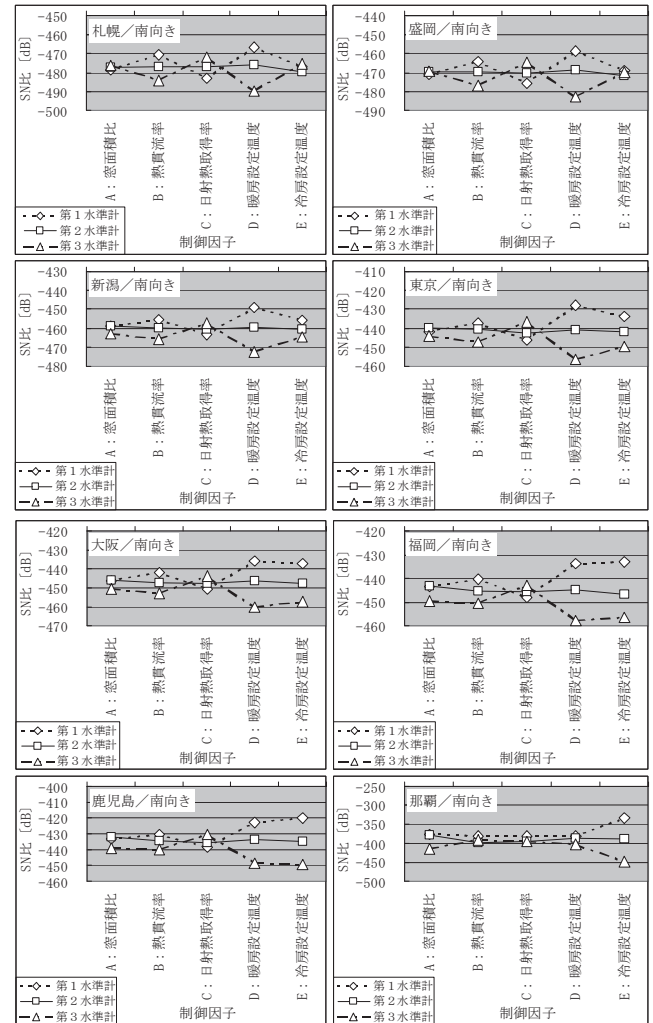


図 3 各都市の制御因子と SN 比

せから導かれる最適条件と最悪条件について、SN 比の合計値（以下、推定）と、同じ組合せで熱負荷計算を実施した結果として得られた熱負荷の SN 比（以下、確認）を比較した。その結果、那覇では推定と確認の利得の差が 8.8～7.1[dB]と大きいために交互作用が小さいとはいえず、SN 比を用いて熱負荷を推定することの妥当性に疑問があるので、以下の SN 比を用いる検討では那覇については値のみ参考として記載するが考察の対象としないこととした。

那覇を除いた地域では、推定による最悪条件の SN 比は-75.2～-82.3[dB]、同じ組合せで熱負荷から求めた SN 比は-74.4～-82.4[dB]、同様に最適条件の推定による SN 比は-61.0～-74.8[dB]、確認は-63.9～-77.5[dB]であり、推定と確認はよい一致を示した。推定による利得は-7.5～-25.3[dB]、確認による利得は-4.6～-26.7[dB]で、推定と確認の利得の差は 0.1～-4.6[dB]となっており、交互作用は小さいとみなすことができる。

SN 比の算出例として南向きの補助表 (SN 比の算出表) を表 6 (表中太字数値は最大値) に、都市毎の制御因子と SN 比の関係を図 3 に示す。図から、各都市で SN 比の大きい（即ち年間熱負荷の低減に寄与する）上位 3 つの制御因子は、以下の通りである。

札幌 : 暖房設定温度 > 熱貫流率 ≥ 日射熱取得率

盛岡 : 暖房設定温度 > 熱貫流率 ≥ 日射熱取得率

新潟 : 暖房設定温度 > 熱貫流率 ≧ 冷房設定温度

得が大きいほど暖房負荷が低減されることによる。

図 2(d)から、那覇を除く各都市で顕著な右上がりのグラフであり、暖房設定温度は低い値ほど年間熱負荷低減に有効である。

図 2(e)から、新潟、東京、大阪、福岡、鹿児島、那覇と南に向かうほど右上がり傾向が強くなり、冷房設定温度の影響が大きくなる。札幌、盛岡で 24℃の熱負荷が 26℃の熱負荷よりも小さくなっているのは、24℃の条件を含む 6 つのケースに暖房負荷が最小となるケース 13 が、26℃の条件を含む 6 ケースに暖房熱負荷が最大となるケース 15 が含まれるためであるが、SN 比で比較すると、札幌、盛岡における 24℃の場合と 26℃の場合の差は 2dB 以下であり、両者の結果はほぼ同等であるとみなすことができる。

3.2 都市別の影響の大きい制御因子

SN 比を用いて評価を行うために、はじめに制御因子間の交互作用について確認した。各制御因子の SN 比の最大値と最小値の組合

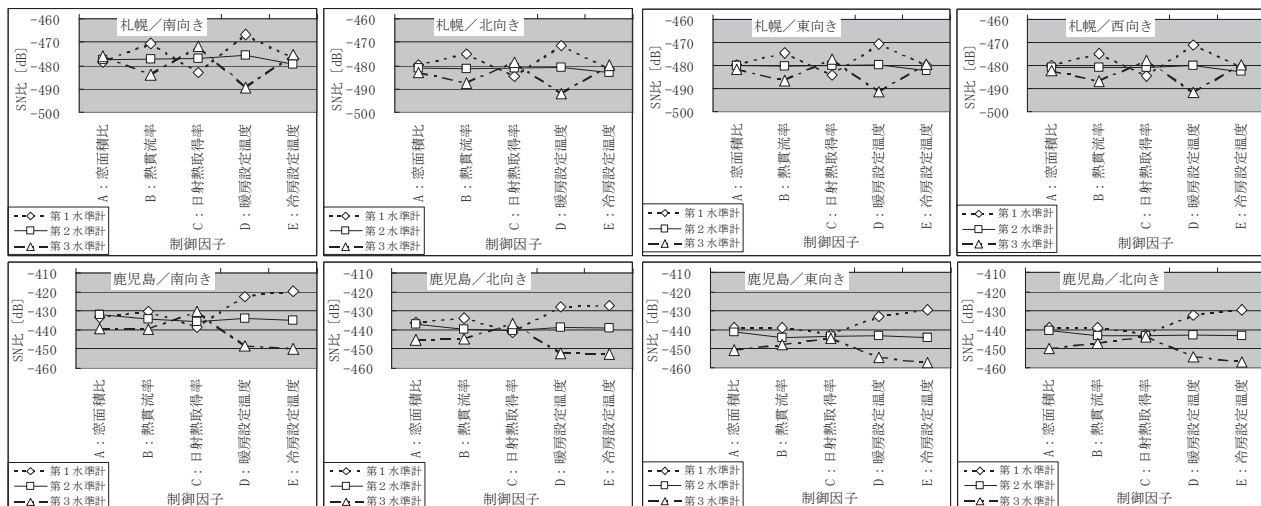


図 4 札幌と鹿児島における方位別の制御因子と SN 比

表 7 最適組合せの年間熱負荷と基準ケースに対する軽減率

南向き	最適水準 A-B-C-D-E	最適組合せの熱負荷 [kWh/年]	基準熱負荷 [kWh/年]	軽減率
札幌	3-1-3-1-3	5,449	8,164	33%
盛岡	3-1-3-1-1	3,883	7,126	46%
新潟	1-1-3-1-1	4,336	8,157	47%
東京	2-1-3-1-1	2,184	5,419	60%
大阪	2-1-3-1-1	2,491	6,280	60%
福岡	2-1-3-1-1	2,333	6,222	63%
鹿児島	2-1-3-1-1	1,573	5,032	69%
那覇	1-1-1-1-1	287	4,949	94%
北向き	最適水準 A-B-C-D-E	最適組合せの熱負荷 [kWh/年]	基準熱負荷 [kWh/年]	軽減率
札幌	1-1-3-1-3	7,312	9,948	26%
盛岡	1-1-3-1-3	6,466	8,647	25%
新潟	1-1-3-1-1	4,452	8,687	49%
東京	1-1-3-1-1	2,808	6,562	57%
大阪	1-1-3-1-1	2,972	7,336	59%
福岡	1-1-3-1-1	2,582	7,062	63%
鹿児島	1-1-3-1-1	2,058	6,041	66%
那覇	1-1-1-1-1	298	4,090	93%
東向き	最適水準 A-B-C-D-E	最適組合せの熱負荷 [kWh/年]	基準熱負荷 [kWh/年]	軽減率
札幌	1-1-3-1-3	7,488	9,438	21%
盛岡	1-1-3-1-1	6,187	8,397	26%
新潟	1-1-3-1-1	4,468	8,920	50%
東京	1-1-3-1-1	2,912	5,448	47%
大阪	1-1-3-1-1	3,142	7,564	58%
福岡	1-1-1-1-1	3,069	7,675	60%
鹿児島	1-1-1-1-1	2,567	6,712	62%
那覇	1-1-1-1-1	306	6,469	95%
西向き	最適水準 A-B-C-D-E	最適組合せの熱負荷 [kWh/年]	基準熱負荷 [kWh/年]	軽減率
札幌	1-1-3-1-3	7,494	9,600	22%
盛岡	1-1-3-1-1	6,239	8,612	28%
新潟	1-1-3-1-1	4,493	9,172	51%
東京	1-1-3-1-1	2,972	5,572	47%
大阪	1-1-3-1-1	3,154	7,669	59%
福岡	1-1-1-1-1	3,077	7,647	60%
鹿児島	1-1-1-1-1	2,578	6,618	61%
那覇	1-1-1-1-1	308	6,065	95%

東京：暖房設定温度 > 冷房設定温度 ≧ 日射熱取得率

大阪：暖房設定温度 ≡ 冷房設定温度 > 熱貫流率

福岡：冷房設定温度 ≡ 暖房設定温度 > 熱貫流率

鹿児島：冷房設定温度 ≧ 暖房設定温度 > 日射熱取得率

大阪以北の地域では暖房負荷設定温度が第 1 因子となっており、第 1 水準(18℃設定)を選択することによる熱負荷軽減効果が高い。第 2, 3 因子は熱貫流率、日射熱取得率、冷房設定温度のいずれかであり、北から南に向かうに従って冷房設定温度の順位が上がり、

年間熱負荷における冷房の影響が大きくなる傾向がわかる。福岡、鹿児島では冷房負荷設定温度の SN 比が最も大きい。窓面積の大きさは、その他の因子よりも熱負荷に与える影響は小さい。熱貫流率 ($K=1.0\sim6.0$) と日射熱取得率 ($\eta=0.15\sim0.85$) とでは熱貫流率の方が年間熱負荷に与える影響がやや大きい。窓ガラスの日射熱取得率は、鹿児島以北で第 3 水準 ($\eta=0.85$) の SN 比がもっとも大きい。日射熱取得率が大きいほど熱負荷軽減に効果があるのは、年間熱負荷に占める暖房負荷の割合が大きく、日射熱取得量の大きいことが暖房負荷軽減に寄与するためである。

3.3 影響の大きい制御因子の方位別比較

図 4 に札幌と鹿児島における東西南北の方位別の制御因子と SN 比の関係を示す。図から札幌、鹿児島ともに、南向きで日射熱取得率の SN 比が他の方位に比べてやや大きくなっているものの、各方位における上位 3 因子には方位による順位の違いは見られない。

このことから、札幌から鹿児島の地域では、方位によらず、窓ガラスの性能選択の際に、まず熱貫流率、次に日射熱取得率を重視して設計するのがよい。

3.4 最適組合せから推定される熱負荷軽減効果

5 制御因子の最適組合せでの年間熱負荷の計算結果と基準ケース(札幌・盛岡：複層ガラス、新潟～那覇：単板ガラス)に対する熱負荷の軽減率を表 7 (下線太字は影響の大きい因子) に示す。

表から、地域毎の最適な窓ガラス選定と空調設定温度の管理を実施することにより、今回の検討条件の範囲においては、札幌・盛岡で透明複層ガラスに比べておよそ 20%、新潟から鹿児島で透明単板ガラスに比べておよそ 50%、那覇でおよそ 90%の熱負荷軽減効果が期待できる。図 2 に示した各制御因子の水準毎の、平均熱負荷の最大値と最小値の比率をみると、窓面積比、熱貫流率、日射熱取得率、暖房設定温度の min./max.比率には都市間の差はほとんど見られず、冷房設定温度の min./max.比率のみ南にいくほど小さくなる。このことから、南にいくほど熱負荷の低減率が大きくなるのは、冷房設定温度が大きく影響するためである。この結果から、新たに空調設備を設置する場合であっても、窓ガラスの仕様も併せて変更するという比較的簡易な方法により、エネルギー消費を抑える可能性のあることが示唆された。

表 8 SN 比から推計した最小年間熱負荷と最適組合せ熱負荷の比較

南向き	A: SN比から推計した最小熱負荷	B: 最適組合せから求めた熱負荷	A/B比	東向き	A: SN比から推計した最小熱負荷	B: 最適組合せから求めた熱負荷	A/B比
札幌	4,733	5,449	0.87	札幌	5,678	7,488	0.76
盛岡	4,052	3,883	1.04	盛岡	4,843	6,187	0.78
新潟	3,197	4,336	0.74	新潟	3,524	4,468	0.79
東京	1,640	2,184	0.75	東京	2,197	2,912	0.75
大阪	1,909	2,491	0.77	大阪	2,395	3,142	0.76
福岡	1,697	2,333	0.73	福岡	2,157	3,069	0.70
鹿児島	1,125	1,573	0.72	鹿児島	1,660	2,567	0.65
那覇	42	287	0.15	那覇	107	306	0.35
北向き	A: SN比から推計した最小熱負荷	B: 最適組合せから求めた熱負荷	A/B比	西向き	A: SN比から推計した最小熱負荷	B: 最適組合せから求めた熱負荷	A/B比
札幌	5,812	7,312	0.79	札幌	5,790	7,494	0.77
盛岡	5,026	6,466	0.78	盛岡	4,973	6,239	0.80
新潟	3,526	4,452	0.79	新潟	3,620	4,493	0.81
東京	2,130	2,808	0.76	東京	2,285	2,972	0.77
大阪	2,262	2,972	0.76	大阪	2,441	3,154	0.77
福岡	1,960	2,582	0.76	福岡	2,172	3,077	0.71
鹿児島	1,485	2,058	0.72	鹿児島	1,683	2,578	0.65
那覇	62	298	0.21	那覇	99	308	0.32

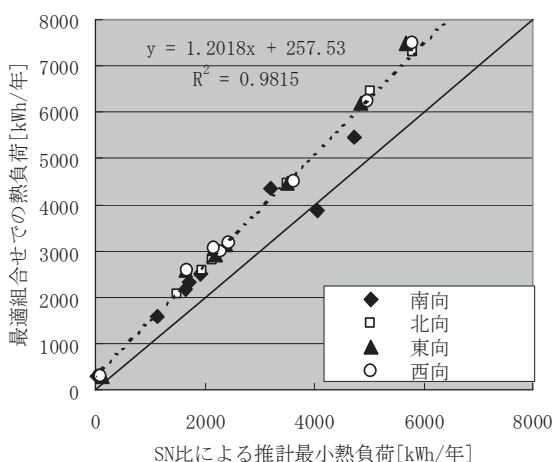


図 5 SN 比により求めた最小熱負荷と最適組合せの熱負荷の比較

3.5 SN 比から推定される最小熱負荷

式(2)～(5)によって算出した SN 比を基にする最小年間熱負荷を最適組合せにおける熱負荷と比較して表 8、図 5 に示す。表からわかるように、最適組合せによる年間熱負荷に比べて SN 比から推計した最小熱負荷が 30%程度小さく、年間熱負荷の小さい都市ほどその傾向は強い。図 5 に、両者の近似式と相関係数を併記した。図から、SN 比から求める最小熱負荷は、方位によらず、最適組合せで求めた年間熱負荷と高い相関を示している。

SN 比を用いた推定の利得と確認の利得は交互作用のない場合に一致しやすくなるが、本研究で選定した制御因子の交互作用は前述の通り小さいとはいえるが皆無ではない。この場合、5 制御因子のすべての最適値を合計すると、組合せの効果を過剰に評価することになるために、SN 比を基に求めた最小熱負荷が小さめに算出されたと考えられ、予測精度の最適化は今後の課題である。

4. まとめ

学校教室における空調設備の設置による学習環境の向上と省エネルギーの並立の可能性を検討するために、品質工学の手法を使って 8 都市の気象条件で年間熱負荷を計算し、窓の①面積、使用する

ガラスの②断熱性能（熱貫流率）、③日射遮蔽性能（日射熱取得率）、および室温制御の④暖房設定温度、⑤冷房設定温度の 5 つの因子が年間熱負荷に与える影響について考察した。

その結果から、

- 1) 大阪以北では暖房設定温度の影響が最も大きい。
- 2) 札幌、盛岡、新潟、大阪、福岡、鹿児島では、熱貫流率、日射熱取得率の順序で窓ガラス性能を選定するのがよい。
- 3) 窓面積の大小は年間熱負荷に与える影響は小さいが、札幌、盛岡などの寒冷地では他の制御因子の適切な選択により窓面積の大きくすることで熱負荷を低減できる可能性がある。

- 4) 今回の検討条件の範囲においては、最適な窓ガラスの選定と空調設定温度の設定により、およそ 20%から 90%の熱負荷軽減効果が期待できる。
- 5) 5 制御因子すべての SN 比を考慮した品質工学の方法による最小熱負荷は、最適組合せで SMASH により算出した年間熱負荷に比べて 30%程度小さめに推計される。

ことを明らかにし、地域に応じた学校教室の窓ガラス選定時の要点、空調制御時の注意点と効果を示した。

注

- 注 1) SMASH では、熱貫流率と表面熱伝達率を個々に入力する。記載した熱貫流率は、屋外側表面熱伝達率 $23[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、室内側表面熱伝達率 $9.3[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ における値である。
- 注 2) SMASH では、熱貫流率から表面熱伝達率を除いた値を実質熱貫流率と呼称している。
- 注 3) SMASH では、壁体各部位の伝熱特性値を 2 つの有効熱容量と 1 つの熱伝達抵抗に置き換えることによって形成される熱回路網を解析する手法が採用されている。この場合の 2 つの有効熱容量は、壁体の全熱容量を熱伝達抵抗の中心を境界として 2 分割した時に各々与えられる熱容量と定義されている。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：建築外皮の計画 1、2、建築設計資料集成 10 技術、pp.81-82、丸善、1983.7
- 2) 松尾陽、荒井良延、熊野直人：住宅の期間熱負荷の簡易計算法に関する研究（その 2）実験計画法による各種計算ケースの検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.721-722、1982.9
- 3) 横山浩一、牧英二、石野久彌：省エネルギー設計の為に熱負荷簡易計算法、日本建築学会論文報告集、pp.113-119、1979.4
- 4) 横山浩一、牧英二、石野久彌：建築における省エネルギー手法とその効果（建築手法）、日本建築学会、建築雑誌 Vol.93, No.1132、pp.13-20、1978.2
- 5) 今枝寿哉、柳美樹：民生部門のエネルギー実態調査について、IEEJ（日本エネルギー研究所）、pp.12、2004.1
- 6) 環境省地球環境局：民生（業務）分野における温暖化対策技術導入マニュアル、pp.10、2004.2
- 7) 田口玄一：品質工学講座 [1] 開発・設計段階の品質工学、(財)日本規格協会、pp.73-81、1988.8.25
- 8) 坂本雄三：暖冷房消費エネルギー評価プログラム・SMASH、IBEC、pp.25-29、1988.11
- 9) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測（その 2）小学校高学年教室における二酸化炭素濃度と開口部開閉状況）、日本建築学会計画系論文集 第 559 号、pp.29-36、2002.9
- 10) 樋口作夫、羽山広文、絵内正道：学校教室の窓ガラス性能・面積・空調設定温度が年間熱負荷に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、D-2、pp.5-6、2007.8

(2007 年 9 月 7 日原稿受理、2008 年 4 月 11 日採用決定)