

コンクリート建築物における外断熱と内断熱の 屋内環境のシミュレーション

金谷 年展* 江本 央** 菊地 弘明*** 遠藤 順一****

Indoor environment simulations for concrete buildings with external and internal insulation.

T.Kanaya* N.Emoto** H.Kikuti*** J.Endo****

Most of the thermal insulation of building are usually formed interiorside of concrete construction in our country. While in Northern Europe and surrounding countries ,it's common to insulate from exteriorside of skelton, in order to realize energy-saving longlife building and solve such problems as moisture condensation, mold and tick which are damageing to indoor living condition. In this paper,we describe the differential affects between inside and outside insulating building, based on the simulation results applied to apartment house designed in Sapporo.

Results obtained are the following.

1 :Heating energy demand for outside insulating building shows the possibility to be under one third of ordinary buildings demand.

2 :Increased heat capacity is functioning to maintain table indoor temperature.

3 :Harmfull problems, thought to be unavoidable, are disappeared in outside insulating building.

(J. Aomori Univ. Health Welf. 1 : 195-203, 1999)

1 はじめに

1973年の石油ショックは、世界の主要な先進国を恐慌に陥れた。その時、わが国の産業界は大幅な技術革新で危機を乗り越えた。

石油を全面的に輸入に頼る北欧などでは、それを契機として、横断的な研究体制の下で総合的に検討を重ねた結果、建物の省エネルギーと耐久性の観点から、コンクリート建築物の断熱は躯体の外側から施工する外断熱工法とすることに決定した。[※]

その理由は、①省エネルギー（厚い断熱層にすっぽりと包まれた建物）、②室温の安定化（コンクリートの蓄熱性が活かされ外気温に左右されない）、③内部結露の解消（躯体が室温に近いので外壁まわりの高湿度化や結露発生を減少）、④それに伴うカビ・ダニ（アレルギー誘発源）の激減、⑤建物の耐久性の向上（躯体が苛酷な自然から保護されて、正常なコンクリートの理論的寿命

として100年は期待できる）などである。

しかし、いま、わが国のコンクリート建築物の断熱は室内側から施工する内断熱工法が主流であり、石油ショックにもかかわらず、旧態依然のまま今日に至っているのが実態である。近年、地球環境の危機が叫ばれ、省資源・省エネルギー・環境保全が世界の共通の課題となった。わが国でも、コンクリート建築物の屋内環境の根本的な改善と併せて、エネルギーを浪費しながら30年そこそこで廃棄物となってしまう現在の建物（マンションや公営住宅など）^{※6}に代わる新しい生活の器を創造し、時代の要請（地球温暖化防止計画・京都国際会議1997年、日本では2010年までにCO₂を1990年レベルより6%削減）に応えねばならない。^{※6}

本報告は、現在計画中のマンション（鉄骨鉄筋コンクリート造9階建8戸・札幌）の中間階（図1）を対象として、暖房用燃料消費量・室温変動・内部結露の三項目にかかわる諸条件設定に基き、内断熱と外断熱の場合について推計した結果とその比較考察である。

2 設定条件

想定地域 : 札幌・東京

* 青森県立保健大学助教授 理博

** 日本省エネ建築物理総研代表取締役社長

*** 日本省エネ建築物理総研 所長 工博

**** OPS設計代表

対象物件	: 高層集合住宅中間階
対象平面	: 86㎡ 2面(東・南)開口部
外気温湿度	: 気象台データー理科年表
室内温度	: 23℃ ~ 26℃ 暖冷房付
室内湿度	: 相対湿度50%
換気	: 0.5回/時間・熱交換付
熱容量	: 設計図に基づき算出
結露計算	: 定常計算で外気の温湿度は各月の上・中・下旬平均値 : 外装裏面の通気層部分で外気に開放と想定

3 燃料消費量

居住性能評価項目の一つは、瞬房用エネルギーであり、特に寒冷地では、そのウエイトが大きい。しかし南北にひろがる日本列島においては、夏の冷房も無視できない。特に、大都市など、周辺町村よりも相対的に気温が高まりつつある都市域(ヒートアイランド)などでは切実な問題である。さらに近年、地球温暖化防止の動き²⁵もあり、冷房需要への対応もこれからの大きな課題となろう。

わが国の一般的なコンクリート建築物(内断熱)の躯体は、夏は太陽の直射を蓄熱し夜になっても熱気に包まれ、冬は蓄冷の衣に包まれ、快適な室温維持に要するエネルギーは大きい。外断熱の場合には、これらの問題は解決され、むしろコンクリートの大きい熱容量が室温の安定化に寄与する。しかし、高断熱・高気密になるほど、窓などからの直射が室温に与える影響も大きくなる。従って夏は門口部の直射を遮る手段と同時に冷房も不可欠の要素となろう。

表1は、内断熱と外断熱のマンション(中間階 図1参照)について実施した、札幌での月別の瞬房用燃料消費推計結果である。数値は、判断の目安として一般に分かり易い灯油量に換算して示している。

図2はそれらを棒グラフで示している。外断熱は在来(内断熱)の1/3以下となっていることが分かる。

図3は、木造の在来住宅と最近の高断熱高気密住宅の実例と高層集合住宅(内断熱と外断熱)の推計結果を示す。²⁴

全体的に在来木造の全室暖房、部分暖房、高性能住宅(全室暖房)、在来マンション(内断熱)、そして外断熱マンションの順に燃料消費量が低下する傾向が分る。

単位面積当たり(斜線)についてみると、最近の高性能木造住宅を基準として、在来木造は5~6倍だが、内断熱マンションは1/2、さらに外断熱マンションは1/5~1/6と大きく省エネとなる傾向が分かる。

4 室温変動

コンクリート建築物における外断熱と内断熱の場合、躯体の大きな熱容量は、室温形成に対して、メリットとデメリットの両極に位置付けられることになる。

ここでは、暖(冬)冷(夏)房を停止した場合の室温の動きによって、屋内側に機能する熱容量の大小が室温に与える影響について考察する。外気温は気象台資料の実測値、日射量は、各月(2月と8月)の平均値を使用している。

図4の左側は、冬の札幌で、外気温はマイナス11℃の極寒期であるが、1日目は熱容量の大きい外断熱の場合、窓からの熱取得により室温は若干の上昇傾向を示す。夜は僅かに低下するが、2日目も外気温は依然としてマイナスでも、日中の気温が上がるにつれて室温も上昇傾向を示す。

一方、内断熱では、日射による上昇が認められるが、全体としては減少傾向が基調となっていることが分かる。

図4右側は、夏の東京である。8月の日中の外気温は30℃を超えている。冷房なしで両者とも室温は上昇傾向を持続するが、熱容量の大小が明らかな差となっており、この傾向は、そのまま冷暖房の大小を示唆している。

マンションの場合、内断熱でも上下階や隣接する住戸間のコンクリートの熱容量があるために木造などに比べて、比較的安定した状態を維持する傾向にある。

戸建住宅でも、ブロック造、木造(土間床コンクリート)の、木造在来(高床)と熱容量が小さくなるに従って、室温は外気温の影響を大きくうけるようになる。²⁴

5 内部結露

住居まわりの結露は、冷えたガラスや壁の表面など、目に見える部分に発生する表面結露と断熱材や壁の内部など、表に現れない内部結露とに分けられる。²²

表面結露は、直接に被害として実感するので対策も立てられ易い。一方、内部結露は見えないだけに、気付いた時には深刻な状態に陥った場合が多い。断熱性能の低下はもちろん、腐朽やカビ・ダニの発生など、居住環境に壊滅的な打撃を与え²⁷、機能的耐久性を損うばかりでなく、構造的な耐久性(特に木造などでは)をも大きく損うことになる。

図5~6は、内断熱と外断熱の壁まわりの湿度と結露域推計結果である。右端は外壁の断面図である。

図5は、内断熱の場合で、上段は札幌、下段は東京の場合。

縦軸は壁断面(上が室内側、下が屋外側)を示し、一段が1cmに該当し、左図の数字は湿度(3は30~39%、4は40~49%、白抜きは100%で結露の状態)を示す。

右図のWは湿性カビ（湿度80%以上で発生）、Dは乾性カビの領域（建築気候・斎藤平蔵著による）に属することを示している。

在来の内断熱では、結露の危険性が明らかに知られる。その範囲は、外気温の低下する札幌で10月から4月に及ぶ。東京では、1月前後が結露寸前の状態にある。

カビ発生の可能性について、特にW(湿性カビ湿度80%以上温度10~40℃)²¹に注目すると、札幌では結露発生前後に内装裏とウレタン断熱層部分での危険性が分かる。コンクリート内部では、カビ発生条件の1つである空気(酸素)が欠落した状態でカビの問題はないと思われる。

東京は、明確な結露はみられないが、札幌と類似の傾向を示している。

図6は、外断熱の場合である。札幌・東京ともに結露の問題は解消。同時に湿性カビの危険性もみられない。

以上の結果は、定常計算によるものであり、部材内での結露水の蓄積や水分移動など、非定常での解析は含まれない。

想定した室内湿度は、冬の健康に留意し普通より高目(50%)である。それは、結露やカビなどの危険性を、より高めるものであるが、その状態でも、外断熱の場合には問題のないことが明らかである。

図7は札幌の極寒期(1月)における内断熱・外断熱の場合の壁内温湿度分布図である。内断熱の場合に、実在水蒸気が、室内側ウレタン部からコンクリートにかけて、飽和を上廻る状態(結露)となる傾向が分かる。外断熱では結露の危険は、全くない。

6 総合考察

- 1 省エネルギー効果は、外断熱の瞬房用エネルギーに顕著にあらわれ、従来の3割程度となる。
- 2 木造住宅に比べて、集合住宅の燃料消費量は極めて小さい。在来工法(内断熱)の場合でも最近の木造高性能住宅より省エネとなっているが、外断熱では、さらにその1/3以下となり、遙に優位な状態になることが分かる。
- 3 熱容量が室温の安定化に与える影響は、特に外断熱の場合に効果的に認められる。冬の室内は、内断熱の場合、全体的に低下傾向を示すのに対し、外断熱では逆に窓からの熱取得により日中は上昇傾向を示している。
夏はいずれも上昇傾向を示すが、窓など開口部からの熱取得が、外断熱の場合に室温に与える影響が大きいことが分かる。従って、全国的にみた場合、夏期(冷房)の省エネ対策も重要な課題となろう。
- 4 内部結露は、内断熱の場合、特に寒冷地で顕著となる。東京では、明らかな結露域はみられないが、それ

に近い状態が極寒期には予想される。その動きに付随して札幌・東京いずれにもカビの発生する条件が、室内側で整う動きが分る。

外断熱の場合には、結露・カビの問題は全く解消される。

以上、計画中のマンションの具体的シミュレーションを通して内断熱と外断熱の屋内環境の動きについて考察して来たが、これらの結果は、社会的要請に応じて、コンクリート建築物の断熱を内から外に切り替えねばならないことを強く示唆するものであり、早急に、産学官一体となった全国的展開を期待するものである。

(受理日：平成11年10月25日)

参考文献

- 文1 斎藤平蔵：建築気候、共立出版、1976
- 文2 山田雅史：建築の結露、井上書院、1979
- 文3 宮野秋彦：建物の断熱と防湿、学芸出版社、1981
- 文4 菊地弘明、飯田雅史：北の佳まいを創る、北海道大学図書刊行会1995
- 文5 気象庁編：地球温暖化監視レポート、1995
- 文6 石塚義高：建築のライフサイクルマネジメント井上書院、1996
- 文7 アトピー環境研究会：アトピー性皮膚炎と住環境
- 文8 金谷年展、江本 央、赤池 学：1997
日本のマンションにひそむ史上最大のミステーク
TBSプリタニカ、1999

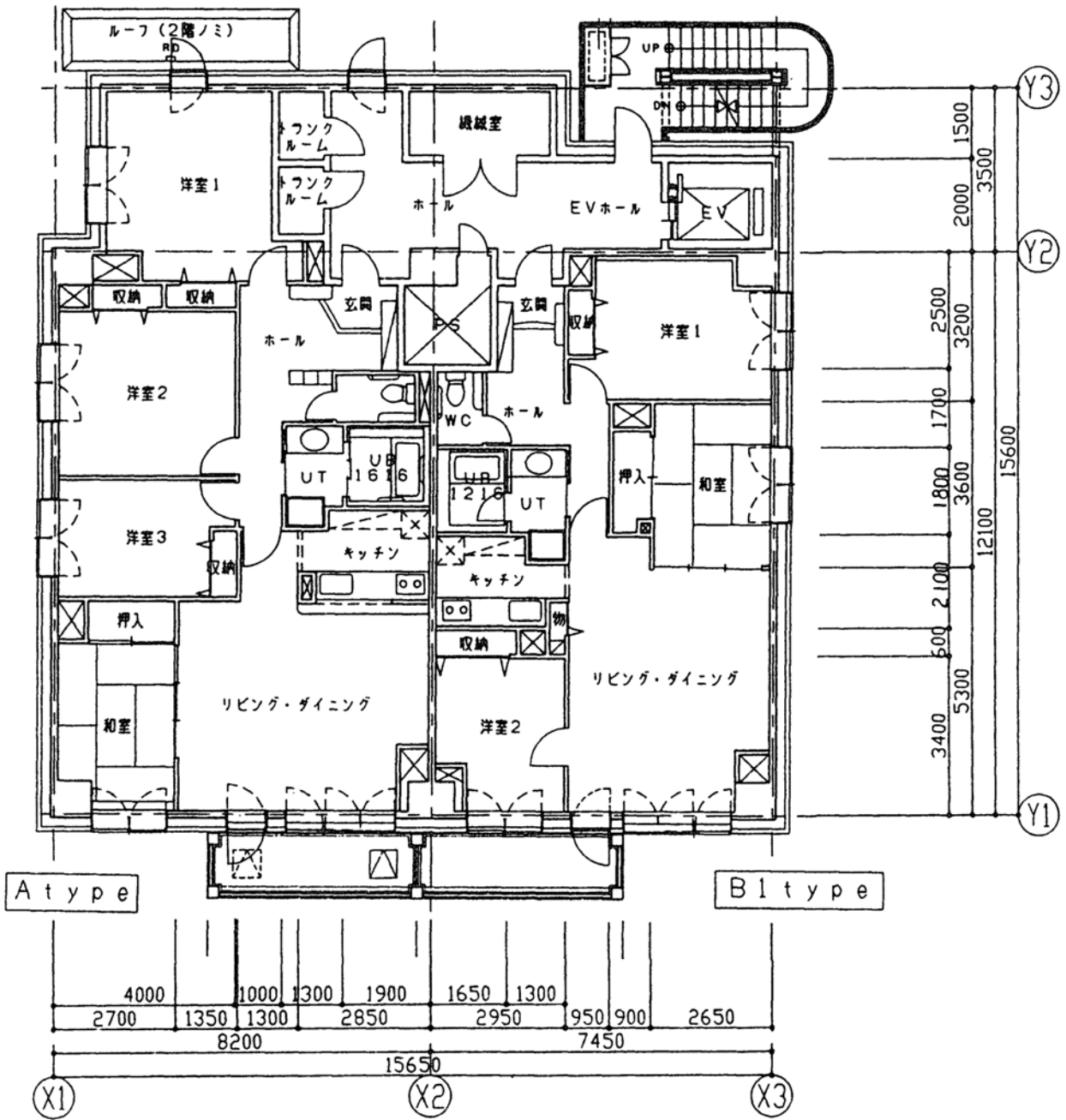


図1 シミュレーション対象の高層集合住宅中間階平面図 (B1タイプについて実施)

内断熱

暖房負荷計算

暖房負荷計算諸条件

家族数	4.0 (人)
暖房面積	85.9 (m ²)
吹抜部分の面積	0.0 (m ²)
建物の気積	212.0 (m ³)
換気回数	0.50 (回/h)
室内温度	23.0 (°C)
ストーブ効率	90 (%)
断熱効率	90 (%)
換気システム	熱交換換気

各部位の熱貫流率及び面積

		(Kcal/mh°C)(m ²)		カラス	
天井		0.000	0.00		
外壁(基礎等を含む)		0.344	94.11		
床		0.000	0.00		
窓南(天窗)	傾斜角 度	2.700	7.97	2枚	
東		2.700	4.96	2枚	
西		0.000	0.00	2枚	
北		0.000	0.00	2枚	

熱損失係数 109.89 (Kcal/h°C)
 単位面積当りの熱損失係数 1.28 (Kcal/h°C-m²)

気象条件

	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
外気温度(°C)	10.6	4.0	-1.6	-4.9	-4.2	-0.4	6.2	12.0

外断熱

暖房負荷計算

暖房負荷計算諸条件

家族数	4.0 (人)
暖房面積	85.9 (m ²)
吹抜部分の面積	0.0 (m ²)
建物の気積	212.0 (m ³)
換気回数	0.50 (回/h)
室内温度	23.0 (°C)
ストーブ効率	90 (%)
断熱効率	90 (%)
換気システム	熱交換換気

各部位の熱貫流率及び面積

		(Kcal/mh°C)(m ²)		カラス	
天井		0.000	0.00		
外壁(基礎等を含む)		0.128	94.11		
床		0.000	0.00		
窓南(天窗)	傾斜角 度	1.300	7.97	3枚	
東		1.300	4.96	3枚	
西		0.000	0.00	3枚	
北		0.000	0.00	3枚	

熱損失係数 71.46 (Kcal/h°C)
 単位面積当りの熱損失係数 0.83 (Kcal/h°C-m²)

計算結果 (設定室内温度 23°C)の場合

損失分 (単位・1000Kcal)

	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	合計
壁	54	328	658	747	657	626	290	47	3408
窓	52	318	639	725	638	608	282	46	3307
床	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天井	0	0	0	0	0	0	0	0	0
換気	63	389	780	884	779	742	344	56	4036
小計	169	1035	2077	2356	2074	1976	915	150	10751
取得分									
内部発熱	95	379	587	587	531	587	379	95	3240
窓南	118	229	197	237	319	502	555	234	2391
東	54	105	90	108	146	229	253	107	1091
西	0	0	0	0	0	0	0	0	0
北	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	266	713	874	932	995	1318	1188	436	6722
合計	97	-322	-1203	-1423	-1079	-658	273	286	-4029
暖房所必要熱量合計	0	-322	-1203	-1423	-1079	-658	0	0	-4686

灯油消費量(暖房シーズン当り)

4685550.0 (kcal/暖房シーズン)
 2.6本/暖房シーズン(200リットル入りドラム缶)

計算結果 (設定室内温度 23°C)の場合

損失分 (単位・1000Kcal)

	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	合計
壁	20	122	245	278	245	233	108	18	1268
窓	25	153	308	349	307	293	136	22	1592
床	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天井	0	0	0	0	0	0	0	0	0
換気	63	389	780	884	779	742	344	56	4036
小計	108	664	1332	1511	1331	1267	587	96	6896
取得分									
内部発熱	95	379	587	587	531	587	379	95	3240
窓南	106	206	177	213	287	452	500	211	2152
東	49	95	82	98	132	208	230	97	992
西	0	0	0	0	0	0	0	0	0
北	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	250	680	846	899	950	1247	1109	403	6384
合計	141	16	-486	-612	-381	-20	522	307	-513
暖房所必要熱量合計	0	0	-486	-612	-381	-20	0	0	-1499

灯油消費量(暖房シーズン当り)

1499380.0 (kcal/暖房シーズン)
 0.8本/暖房シーズン(200リットル入りドラム缶)

表1 計画マンション(中間階)の内断熱・外断熱の
 暖房負荷計算(札幌)の設定条件と推計結果

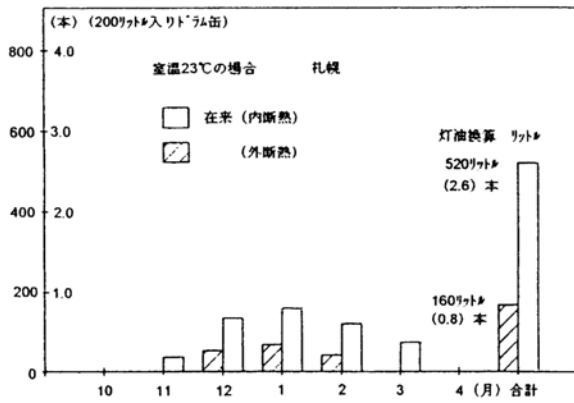


図2 暖房用エネルギー需要推計 (札幌)

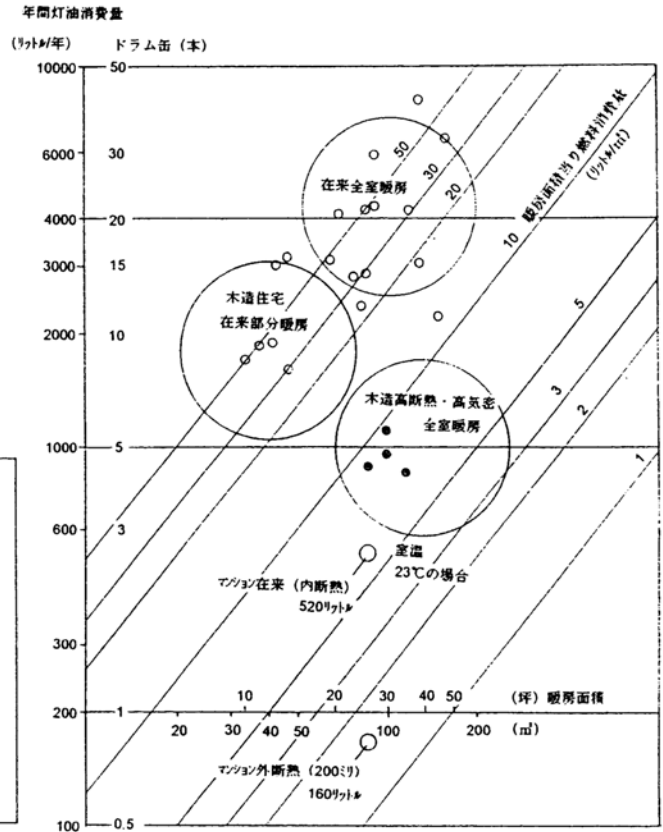


図3 暖房用灯油消費量の比較 (札幌)

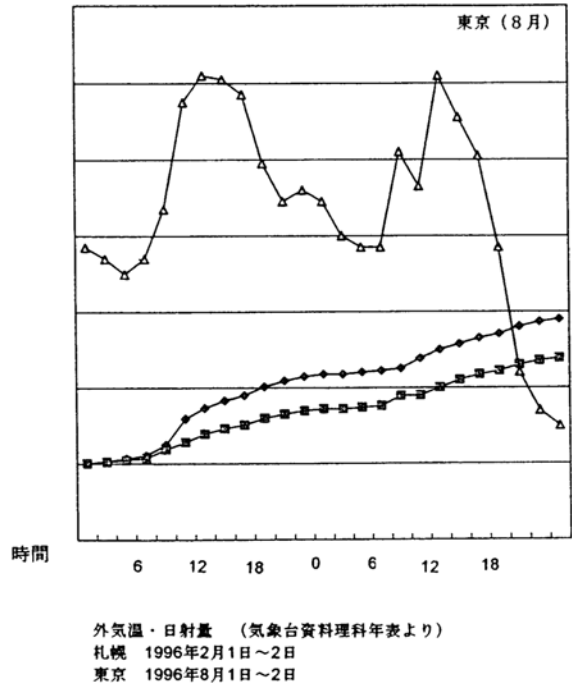
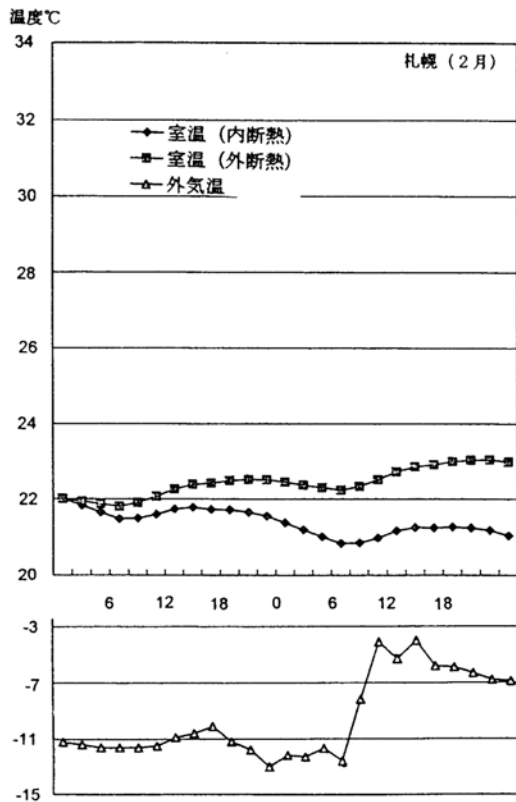
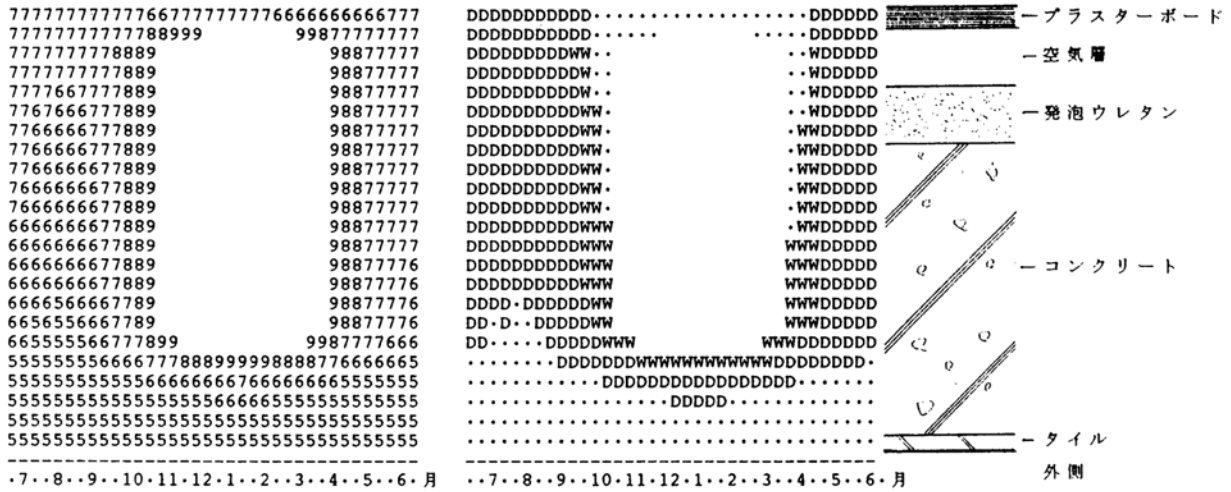


図4 計画マンションを内断熱・外断熱とした場合の暖(札幌)冷(東京)房停止時の室温変動推計

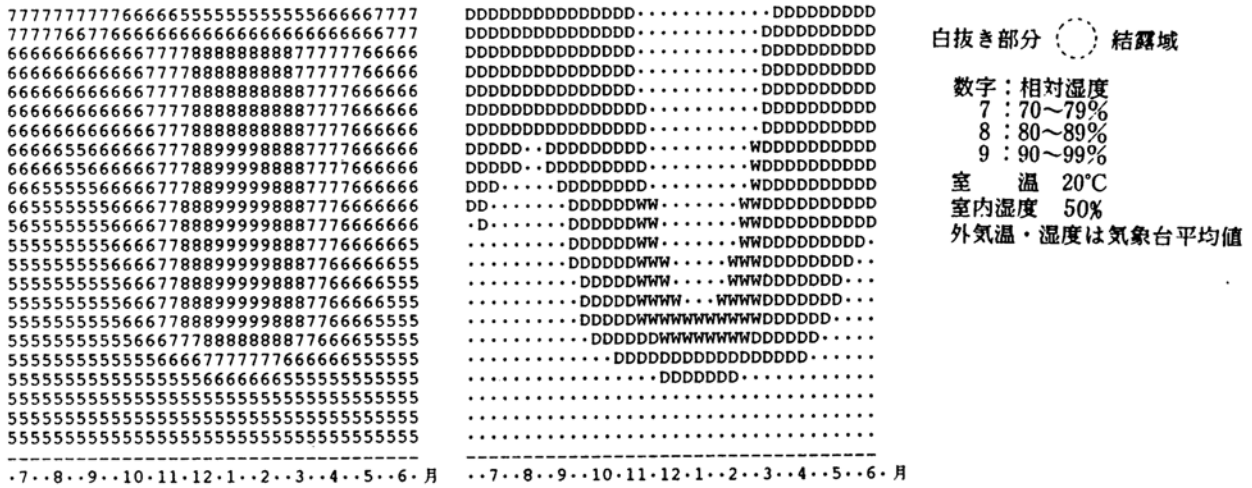
札幌



** 内部結露分布 **

** カビ発生域分布 **

東京



** 内部結露分布 **

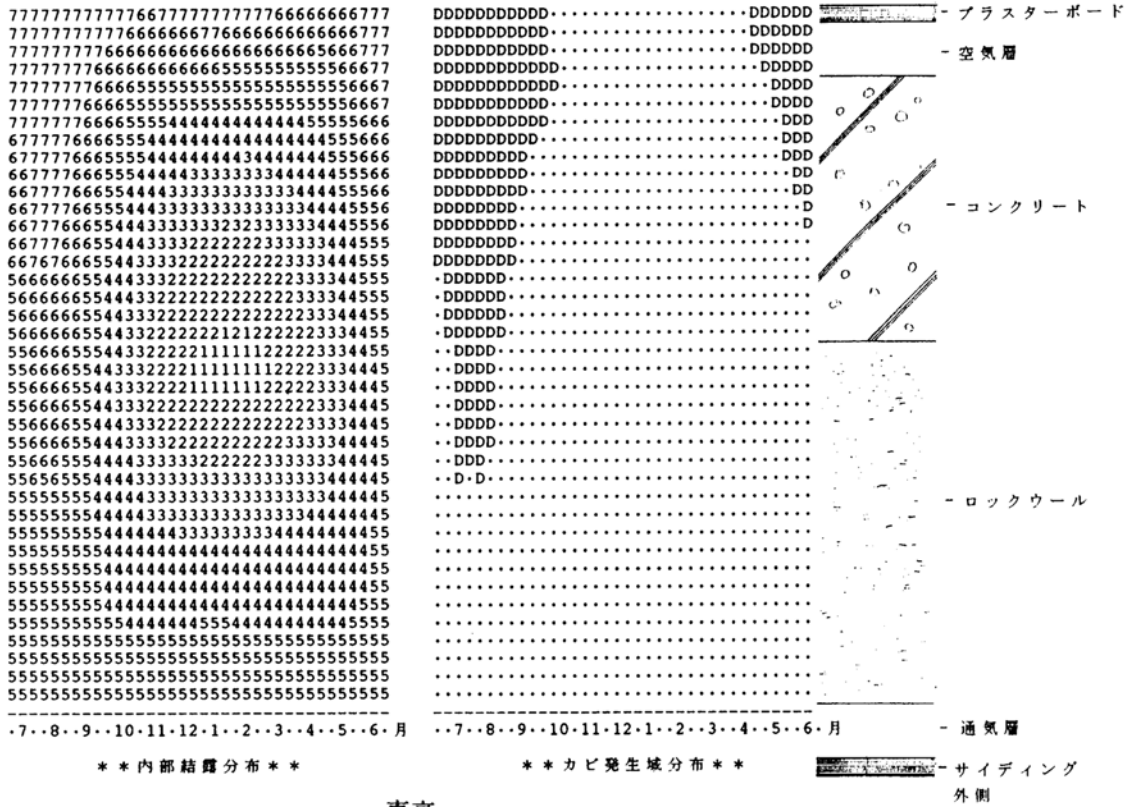
** カビ発生域分布 **

白抜き：結露域(温度10～40℃未満，湿度100%以上)
W：湿性カビ(温度10～40℃未満，湿度80～100%未満)
D：乾性カビ(温度10～40℃未満，湿度60～80%未満)
・：カビ発生のおそれのない領域

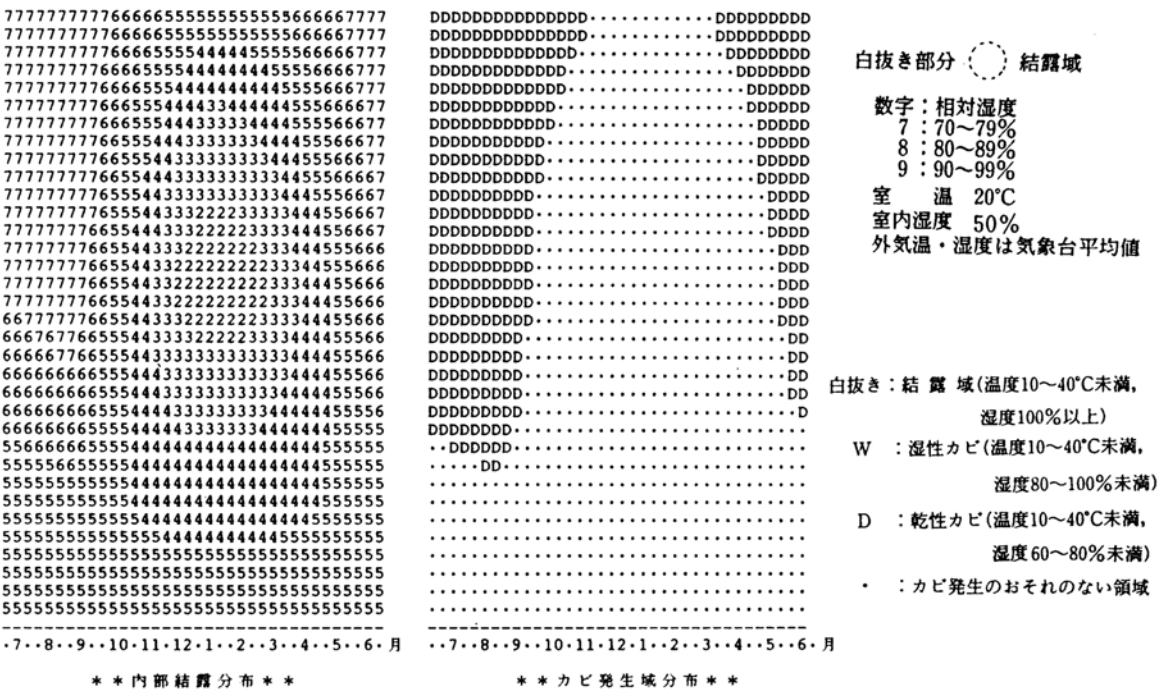
材料名	厚さ(m)	熱抵抗	透湿抵抗
1内側	0.00000	0.14300	0.01070
2「プラスターボード」	0.00950	0.05000	3.20600
3空気層	0.03000	0.20650	0.00000
4発泡ウレタン	0.03000	1.50000	12.00000
5コンクリート	0.15000	0.94600	104.90000
6タイル	0.00600	0.00790	75.00000
7外側	0.00000	0.05000	0.02000

図5 コンクリート内断熱壁まわりの湿度と結露域の分布予測
室温は、既存住宅実測値より想定
湿度は、50%（健康に配慮し高目に）想定

札幌



東京



材料名	厚さ(m)	熱抵抗	透湿抵抗
1内側	0.00000	0.14300	0.01070
2' プラスターボード'	0.00950	0.05000	3.20600
3空気層	0.02500	0.20200	0.00000
4コンクリート	0.15000	0.94600	104.90000
5ロックウール	0.20000 (0.15000)	6.45200 (4.83800)	0.48800 (0.36600)
6外側	0.00000	0.05000	0.02000

図6 コンクリート外断熱壁まわりの湿度と結露域の分布予測
東京の断熱材の厚さは150ミリ、物性値は下表()内に示す。

----- 材料の特性 -----

材料名	厚さ(mm)	熱抵抗	透湿抵抗
1 内側			
2 プラスターボード	0.0	0.143	0.011
3 空気層	9.5	0.050	3.206
4 発泡ウレタン	30.0	0.207	0.000
5 コンクリート	30.0	1.500	12.000
6 ロックウール	150.0	0.946	104.900
7 タイル	6.0	0.008	75.000
8 外側	0.0	0.050	0.020

----- 材料の特性 -----

材料名	厚さ(mm)	熱抵抗	透湿抵抗
1 内側			
2 プラスターボード	0.0	0.143	0.011
3 空気層	9.5	0.050	3.206
4 空気層	25.0	0.202	0.000
5 コンクリート	150.0	0.946	104.900
6 ロックウール	200.0	6.452	0.488
7 外側	0.0	0.050	0.020

----- 計算 結果 -----

	温度	飽和水蒸気圧	実在水蒸気圧
0	22.0	19.82	9.91
1	20.3	17.91	9.91
2	19.8	17.28	9.77
3	17.4	14.88	9.77
4	0.0	4.59	9.22
5	-10.9	1.99	4.49
6	-11.0	1.98	1.10
7	-11.6	1.89	1.10

----- 計算 結果 -----

	温度	飽和水蒸気圧	実在水蒸気圧
0	22.0	19.82	9.91
1	21.4	19.10	9.91
2	21.2	18.85	9.65
3	20.3	17.87	9.65
4	16.3	13.85	1.14
5	-11.4	1.92	1.10
6	-11.6	1.89	1.10

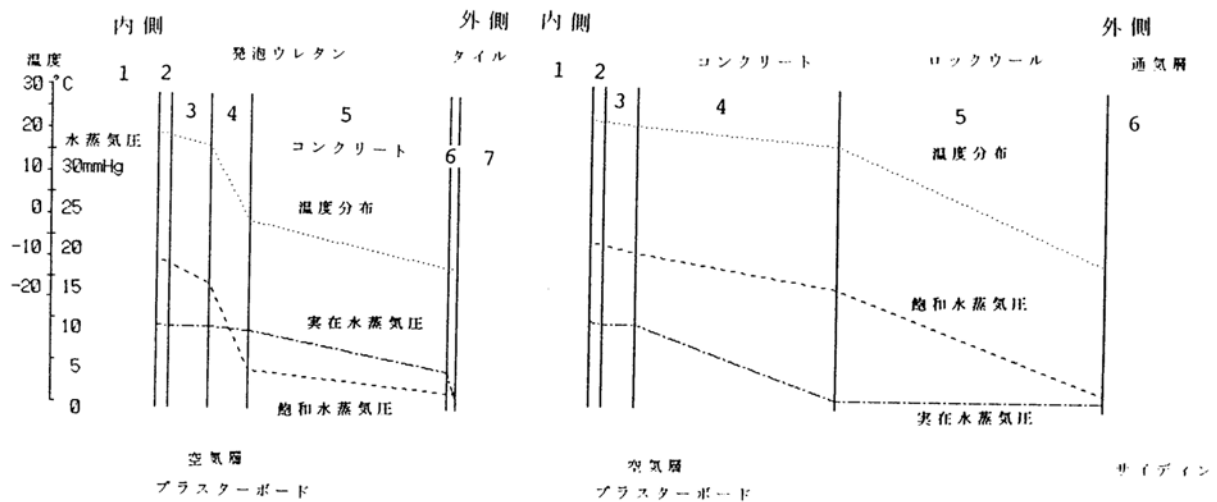


図7 札幌(冬)における内断熱・外断熱の壁まわりの温湿度(推計)分布
(室内温湿度22℃・50% 外気温湿度-11.6℃・58%の場合)