特集●戸建て住宅の換気

寒地住宅における換気計画の特徴

佐々木隆*・絵内正道*

北海道という気象条件の厳しい地域にあって，換気が居住環境で占める割合は大きい。

本稿では，既存の本州形住居の冬期における熱および換気性状について述べ，これが断熱気密改修されることによって起こり得る問題点の指摘ならびに解決法を提示し，さらに最近の断熱気密試験住居の測定結果についても概説した。また，今後の寒地住居の換気のあり方は熱回収と除湿にあること，および暖房計画と一体化させて考えなければならないことも示している。

はじめに(寒冷地域での換気の功罪)

寒地だからといって，その他の地域と比べて換気の目的に特徴的な差異があるという訳ではない。例えば新鮮空気の取入れ，汚染空気の排除という衛生面ばかりでなく，低温外気の取入れ，湿気の排出による湿度環境調整の機能や，あるいはその換気で暖房負荷が左右されるなど，その功罪両面においても大きな差はないであろう。ただ，冬期の外気温が −10℃ にも下がる日が幾日も続く地域にあっては，図-1[1]に示すように壁の断熱厚(現在 100 mm 厚が常識化している)を増せば増すほど，換気負荷の占める割合は相対的に増大してくる訳で，換気の衛生面や結露防止にだけ目を奪われて，熱負荷増大要因としての側面を忘れる訳にはいかない。

本稿では，現状の温度環境や換気の状況を紹介するとともに，今後の寒地住居の換気のあり方までを概説してみようと思う。

1. 現状での温度環境の実態

1.1 温度環境から見た住居の開放性と閉鎖性

図-2[2]は，たまたま実測の機会のあった宇都宮・札幌・小樽での冬期の温度環境の推移を示したものである。宇都宮の例は夏期を旨とし，断熱もなく気密性に乏しい場合と判断できるが，温度の内外の区別の難しいこのような例を開放系[3]の住宅とするならば，札幌の例もそれに準ずるものと言えよう。強引にストーブで温度保持に努めているだけで，寒さとの同居は必然のものとなる。ただ，その開放性の故に結露害も少ないと言える。小樽の例のように断熱気密化されてくると，温度の内外が明確になり，住居全体から寒さを取り除くことが可能となってくるが，その閉鎖性[3]の故に，暖房室から遠い納戸のような非暖房室の結露の危険性が増すことに注意する必要があろう。

1.2 非暖房室の存在と結露問題

図-3は，暖房室に隣接する非暖房室温の推移を示したものである。この非暖房室に接続する押入の温度はさらに低下すると考えられるので，暖房室から流入する湿気を極力排出しなければ結露害を見ることになる。今まで湿気は窓開口部のすきまばかりでなく，幅木・回り縁のすきまあるいは間仕切り壁の中空部分を通じて無意識裏に排出されていた訳で，防湿材や気密サッシが普及して建物の気密化が図られるようになると，壁の断熱厚を増しても非暖房室温の上昇には限度があるので，それだけでは結露の防止が難しい場合も生じてくる。

1.3 暖房設備と暖房習慣

図-4[4]は，内外温度差に占める上下温度差の割合 k と，生活時間帯平均暖房室温 $\bar{\theta}_{ia}$ の関係を示したものである。ストーブ暖房住戸はいずれも部分間欠暖房をしているが，最寒期には 15℃ 以下まで下がる住戸もある。部分間欠暖房によって非暖房室温や暖房室の朝方の温度はさらに低下し，結露の危険性は増すことになる。それでいて，非暖房室あるいは夜間の冷却時にその室温で結露害が出ないのは，そのとき，飽和水蒸気圧以下に下げ得るという，その住居の換気量の多さの証明にほかならない。

横軸 k 値は換気を含めた建物の熱損失の多少や暖房器種の特性の反映した指標であるが，住居の断熱気密化が向上してくる，すなわち k 値が減少してくると，最寒期の $\bar{\theta}_{ia}$ が上昇傾向を示すことは注目してよいだろう。外

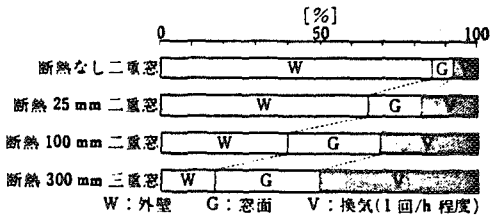

図-1 部位別熱損失の全熱損失に占める割合

* 北海道大学工学部建築工学科　正会員

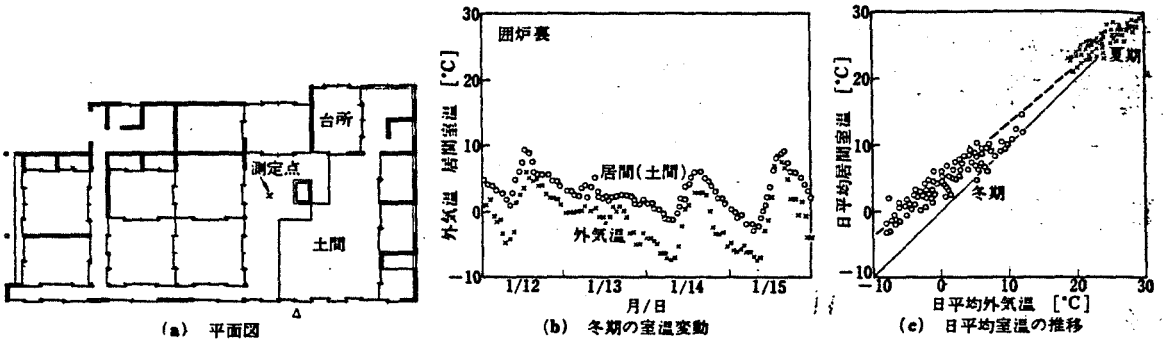

図-2a 宇都宮の民家

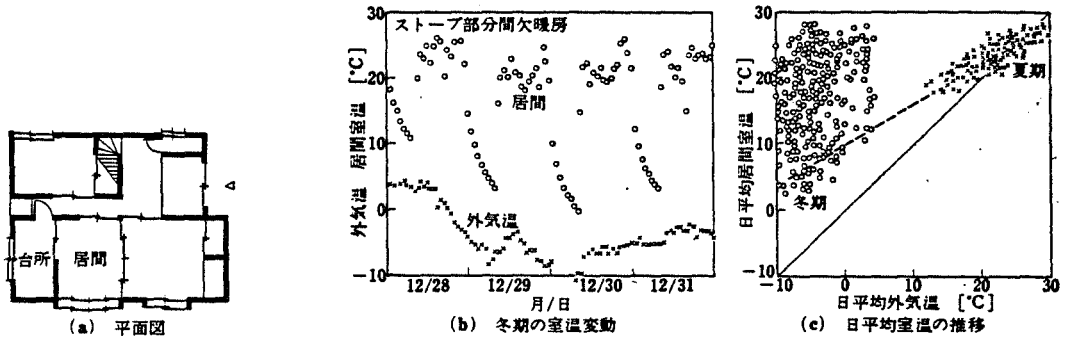

図-2b 札幌の無断熱住宅

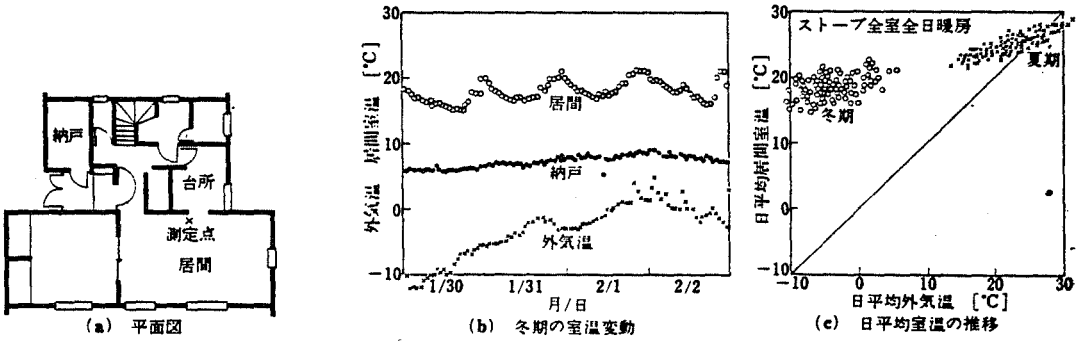

図-2c 小樽の高断熱気密住宅

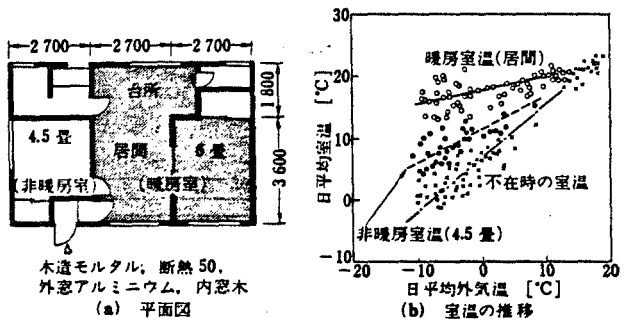

図-3 暖房室と非暖房室

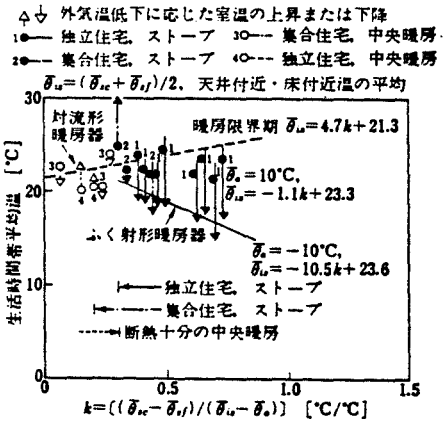

図-4 内外温度差に対する上下温度差の割合 k と暖房器種

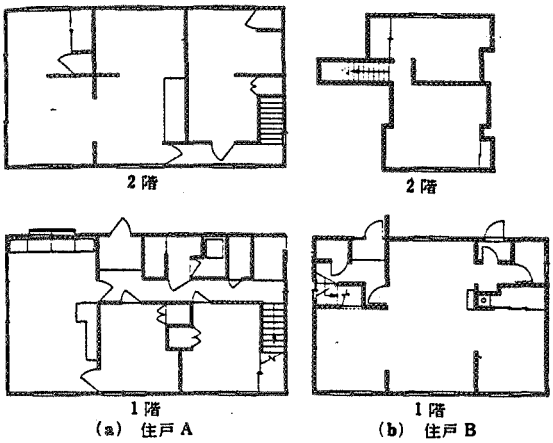

図-5 住宅平面図

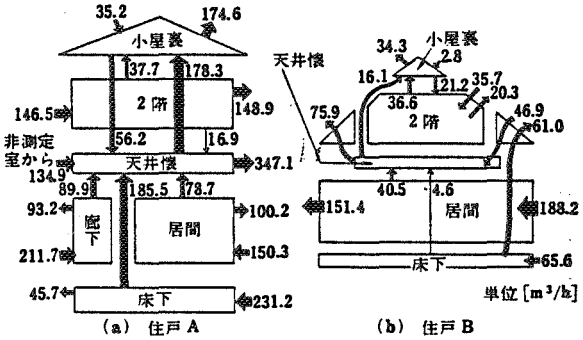

図-6 断熱気密改修前の換気経路と換気量

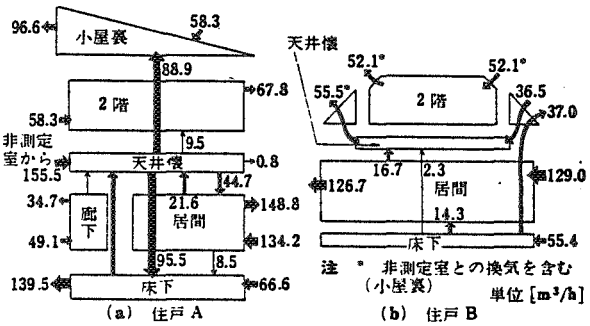

図-7 断熱気密改修後の換気経路と換気量

気温の低下に伴って $\bar{\theta}_{is}$ が大きく低下する住居にあっては，室温よりもストーブの暖かさ(ふく射熱)に期待し，k 値が 0.2～0.3 以下の住居にあっては，室温に期待していると言える。

k 値が 0.5 を超える住居で無理に暖房室温を上げようとすれば，さらに熱損失の増大を招く訳で，断熱への配慮のない換気量の多い住居の場合，ふく射形暖房器を用いて部分間欠暖房という暖房習慣を採るのは，故なしとはしない。しかし，断熱気密化が向上してくると対流放熱形暖房器に移行し，全室全日暖房を行い，上下温度差も減少して住居の熱的居住性も向上することが，この図の動きからも予想される。

2. 在来工法による住居の換気の特徴

2.1 在来軸組み工法での換気経路

通風が我が国の換気のいわば眼に見える伝統であるとするならば，通気は眼に触れないもう一つの伝統と言えるかも知れない。在来軸組み工法の特徴は，その開放性によって居住者や構造体を多湿な気候から守るためにあった。北海道の多くの住宅も在来の木造軸組みであってみれば，その伝統に無縁ではなかった。それは温度環境の実態で触れたとおりである。

至る所に開口を有する在来工法の既存住宅の換気の経路は複雑を極め，その性状を知ることは難しいが，トレーサガスを用いた測定法[5]によって，概略的にではあるが，建物の換気性状の把握が可能となっている。図-6(a),(b)は，図-5(a),(b)に示す既存住居の換気経路の測定結果[6]である。住戸Aは木造モルタル，住戸Bは補強コンクリートブロック造で，ともに12年前に建築されたものである。測定結果は，冬期の換気経路の特徴をよく示している。すなわち，床下および1階部分では外気の侵入が明確であり，上階では反対に室内空気の流出側になっている。また，中空壁はいわば床下と天井懐と小屋裏をつなぐダクトになっているが，既存住宅のあるものについては，非暖房居室への流入湿気を減らすという役目を果たしている場合も考えられる。

2.2 断熱気密改修による換気経路の変化と結露問題

上述したような既存住居の熱的居住性の向上を図ろうと，近年，断熱気密改修も行われるようになってきている。図-7(a),(b)[6]は，改修後の換気経路を示したものである。ブロックの外断熱住戸Bは，1階居室の使われ方が改修前後で変わらずワンルームとしているためか，換気経路そのものに大きな変化は現れなかった。しかし，住居Aは改修後も外壁中空は残っているものの，建物全体・小屋裏をも包み込む断熱を採ったためか，気密化されたことによる影響が現れた。例えば，天井懐と床下の間での空気循環に最も顕著な変化を示した。これは，気密化され床下への外気の流入がなくなったため，中空壁体内の上昇気流とそれを補う下降気流によって大循環が形成されたためである。軸組み工法の場合，断熱気密改修によってこのような変化を起こすことを，十分に予想してかかる必要があると思われる。

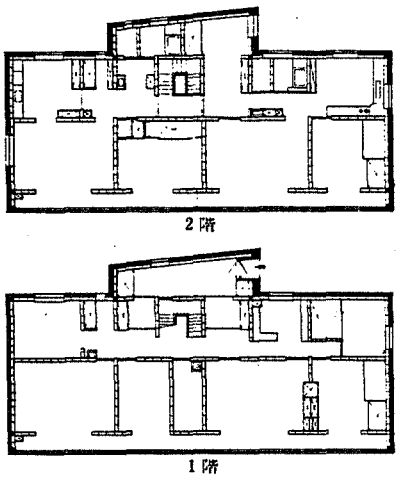

図-8 断熱気密実験住居の平面図

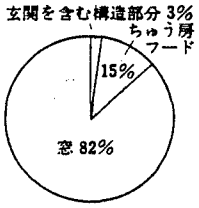

図-9 断熱気密試験住居のすきま割合

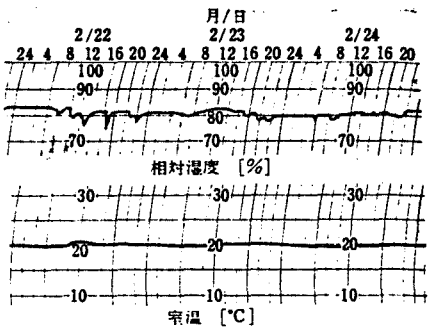

図-10 居間の湿度と室温

この例のように屋根断熱とし，非居室の小屋裏をも含めて気密化し，小屋裏⇌床下の空気循環があると，小屋裏や外壁中空での結露の可能性は強くなる。事実，この例では小屋裏に結露を見た。それゆえ，断熱気密改修に際しては，むやみな気密化ではなく，空間機能と温度の内外の関係，暖房方法を考慮に入れた計画が必要になるであろう。

2.3 在来軸組み工法住居の今後

北海道のような寒地では，在来軸組み工法は防湿層に断点が生じやすいこともあって最善とは言えないが，例えば天井・床の施工後に間仕切り壁を後付け施工するなど，気密化の努力をしている。ここ数年，2×4工法による木造住居の普及も盛んになってきたが，その特徴は在来軸組み工法に比べて気密性の高いところにあると言われている。

その意味でも，在来工法の住居がそのままの形で将来建てられ続けることはあり得ず，何らかの改良を加えて生きていくことと思われる。ただこの場合，単に断熱ばかりでなく，構造部位までを含めた気密化を常に念頭に置くことが必要で，その結果として熱的居住性の向上や省エネルギ住居を得ることができると思われる。

3. 最近の気密断熱住居における換気の特徴

3.1 構造・窓回り開口部の気密性能

図-8に示す住居は，外壁や屋根と天井の取合いなど構造部，および窓回りの気密化に留意した高断熱気密の実験住居[7]である。表-1は，内外差圧と通気量から求めた住居全体の通気率，および窓面積あたりの通気率を示したものである。いくら気密化に努力しても完全な気密状態にするには無理が多く，実際には部分的に弱い所が残る。その気密の部分的な弱点となりやすい箇所は，

表-1 住居全体と窓の通気率

住居全体 [m³/mmAq·h]		窓 [m³/mmAq·m²·h]	
ちゅう房フードに目張り	850	北窓	22.9
ちゅう房フードに目張りなし	1 000	南窓	10.7

玄関の開口部周辺，ちゅう房の換気口，窓，構造部の取合い部分であろう。

これらのすきまが住居全体のすきまに占める割合は，図-9に示すとおりである。窓すきまの占める割合はかなり大きいが，居住域のCO_2濃度の減衰から得た換気回数は0.33回/hと小さいので，一般住居の窓よりも気密ではある。ただ窓の気密化はさらに可能と考えられるところから，気密化に際して今後取り上げられる部分として，常時使用する玄関扉のすきまやちゅう房の換気口を挙げることができる。

3.2 気密化による高湿環境と結露問題

上述の実験住居のように高気密性の建物になると，生活に伴って発生する水蒸気の逃げ道が失われ，高湿度の環境になる。図-10は相対湿度記録であるが，80%に達している。気密性が悪いため加湿器をわざわざ使用していた従来の住居が，いかに潜熱損失や居住面で不利であったかが，改めて思い知らされよう。しかし，こうした高湿環境になると，断熱の弱い所，例えば施工の不備な所やガラス面で結露の発生を見る。室温19～20°Cで湿度80%になると，露点温度は15～16°Cに上昇する。この実験住宅では，窓面下部に結露を生じていた。

図-11は，同住居の各種別ごとの窓面下部の温度変動である。三重窓に反射透過膜を張ったものだけが露点温度近辺にあるが，その他はすべてそれを下回っていた。このことから，気密化された住居で部分暖房を行い，その隣接空間に15～16°C以下の寒さを残すような場合，

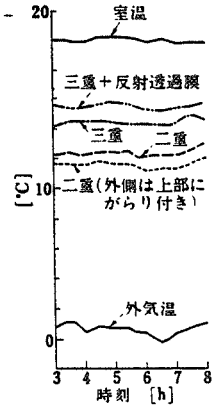

図-11 断熱実験住居の各種窓面下部表面温度変動

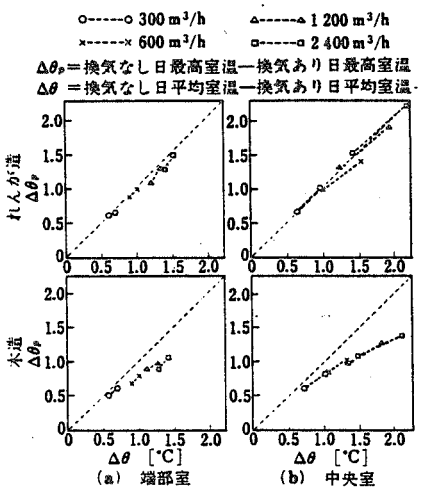

図-12 夜間換気シミュレーション結果

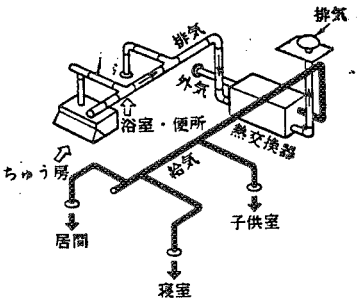

図-13 西ドイツの熱交換換気による換気経路設定例

その結露防止は極めて困難になるものと考えられる。

3.3 高断熱からくる夏期の問題

断熱厚を増せば増すほど，熱の流出入は小さくなる訳で，ルーバや樹木で日射の遮へいを積極的に行っても，生活に伴う住居の内部発生熱による室温の上昇は避けられない。したがって，高断熱住居で考慮すべき問題の二つ目は，夏期の温度調整をどうするかにあるだろう。

夜間になっても，外気温の高い地域に比べて北海道は昼夜の日較差が大きく，10℃ 以上の差ができる。この夜間の冷外気は，高断熱住居の温度調整に利用できる。夏期の温度調整の要てい(諦)は，もちろん通風にあると言えるが，閉鎖系の寒地住居の場合，風道まで考えた自然通風計画は困難であることが多い。むしろ，高断熱を逆手にとった夜間の換気のほうが，温度環境調整としての可能性があろう。

図-12は，夜間の外気による調整を想定したシミュレーションの結果[8]である。外気で構造体を冷却し，それを日中に持ち越すことができれば，日中の温度環境は改善される。その建物の熱容量が期待できる場合，日平均室温の降下した分だけ日中のピークも下がっているので，防暑方法の一つとして夜間換気は検討の価値があると思う。

高断熱住居の夏期の課題は，住居に熱を入れないこととともに，内部取得熱をいかに排出するかにかかってくるが，寒地の地域特性を生かすことで望ましい解決法が見いだされてくるものと思われる。

4. 今後の寒地の住居のあり方

今後の寒地の住居のあり方について取りまとめてみると，つぎのようになろう。

4.1 全室暖房の必要性

上述したように，高断熱気密住居ではちょっとした所で結露の危険性が増してくる。温度の面からこれを極力防止するには，全室暖房を行って居室部分に低温な所を残さないということが必要である。非居室の場合，小屋裏・床下などを居室部分に取り込むならば温度の“内”，取り込まないのならば温度の“外”という計画が必要であろう。

4.2 熱回収と除湿を生かした換気

住居の気密性が増すと，換気の熱交換による熱回収が可能となる。外気との給排気口が明確化し，必要換気量の供給が集中的になるため，その部分で熱交換が行えるからである。それによって，排気からの顕熱回収のほかに，結露水の凝結熱の回収[1]と除湿効果も期待できる。この熱交換換気の場合，換気量の増大が熱負荷の増加とはならないので，思いどおりの換気量を確保して除湿と衛生面の保持の双方を満たすことが可能となる。

4.3 計画的な換気経路(新鮮空気取入れ口の明確化)

図-13[9]は，熱交換換気による気密化住居の換気経路設定の一例である。新鮮空気の取入れ口が明確化されていくと，このような換気経路の自由な設定ができ，従来の複雑を極めていた換気経路，なすがままの換気量にある状態を卒業することができるものと思われる。

今後の寒地の住居の努力目標は，換気をどのように集約するかにかかっていると思うが，ただ，ちゅう房の換気については我が国の食生活と密接に関係しているので，一括排出が可能か，あるいは局所給排気にすべきかも含めて，多くの問題を抱えていることを指摘しておきたい。

参考文献

1) 白鳥・荒谷：向流型熱回収換気装置の性能実験，日本建築学会大会講演論文梗概集，(昭54)
2) 石田・荒谷・絵内：開放系住居と閉鎖系住居の夏・冬温度特性，日本建築学会北海道支部，52(昭55)
3) 荒谷：開放系住居と閉鎖系住居の発想上の特質，日本建築学会北海道支部，52(昭55)
4) 絵内・荒谷：居住室の温度環境の実態(その2)，日本建築学会論文報告集，264(昭53)
5) 佐々木・荒谷：断熱住宅の空気循環性状について(その2)，日本建築学会大会講演論文梗概集，(昭52)
6) 佐々木・荒谷ほか：住居の断熱改修について(その2)，日本建築学会大会講演論文梗概集，(昭54)
7) 荒谷・佐々木：気密化住宅の計画，日本建築学会北海道支部，52(昭55)
8) 宮下・荒谷・絵内：夜間換気の室温冷却効果についての計算例，日本建築学会北海道支部，35(昭46)
9) Krüger, Hausladen : Zum Problem der Wohnungslüftung, HLH, 30(1979)

(昭和55. 6. 23 原稿受理)

The Thermal and Ventilative Properties of Dwellings in Hokkaido

Takashi Sasaki*
Masamichi Enai*

Synopsis This paper describes the thermal and ventilative properties of some older dwellings and the latest test-dwelling in Hokkaido.

As the result of many investgations, we obtained the following;

1) The above-mentioned older dwellings suffer a great heatloss by ventilation and conduction. Therefore, such dwellings must be retrofitted.
2) The airtight dwelling is in danger of condensation due to high humidity.
3) In the future, the heat recovery system should be used in the airtight dwelling to get rid of high humidity and to increase supplying of fresh air.

(Received June 23, 1980)

* Faculty of Engineering, Hokkaido University, Member

"空気調和・衛生工学"の保存整理に

"合本用ファイル"をご利用下さい

■体　　裁　B5判　クロス製あずき色
止め方はクリップ式。会誌の保存整理が一段と簡単になりました。
■6冊つづり　1年分を2冊(1セット)に整理できます。
■定　　価　1セット(2冊入)　1000円　送料300円　分冊　600円　送料250円
■申込方法　現金書留または郵便振替にて代金・送料をご確認のうえ，学会事務局までお申し込み下さい。