冷房時における夏型壁体内結露に関する研究

その1 人工気候室における非定常結露実験

STUDY ON CONCEALED CONDENSATION IN WOODEN WALLS DURING
COOLING PERIOD OF SUMMER SEASON

Part 1 Experiment of non-steady state condensation of walls in artificial climate rooms

齋藤 宏昭*, 土屋 喬雄**

Hiroaki SAITO and Takao TUCHIYA

The aim of this paper focuses on explicating phenomena of concealed condensation in wood frame construction walls caused by the undesirable temperature rise due to sun burn. Two types of laboratory experiments were carried out to explicate these phenomena. One was a humidity response test for small specimens of porous material, the other was a wood frame wall model test in which specimens of wall were sandwiched between two test chambers, one representing a room and the other representing the outdoor environment simulated to standardized meteorological data for Tokyo. We conclude that concealed condensation was caused by desorption of moisture which porous materials contain and a vented wall can reduce these condensation. But this paper suggest that more study should be done on the prevention of concealed condensation too.

keywords :concealed condensation in summer season, cooling period, absorption and desorption,
highly insulated and airtight house, laboratory experiment
夏型結露、冷房時、吸放湿、高断熱高気密住宅、実験室実験

1.はじめに

温暖地域においても冷暖房負荷の低減という目的により断熱性能の強化の傾向にあるが、季節蒸暑地域における高断熱高気密住宅においては空調機器による冷房が前提となり、繊維系断熱材を用いた壁体では室内側の防湿層における内部結露発生が危惧される。平成4年に告示された新省エネルギー基準¹⁾では冬期における結露対策について詳しく検討されているが、湿流は室内側から外気側へ向かうと仮定し設計指針が作成されている。しかし温暖地における夏期冷房時の湿流は冬期とは逆になり、透湿抵抗比を室内側が高く外気側を低く定めた冬型の結露対策とは相反するものとなる。鎌田、林ら²⁾は通気層を有した断熱壁体の夏期内部結露について壁体パネルを対象とした数値計算と実験室実験により温暖地における夏型結露について検討している。また須貝、尾崎³⁾らはこの問題について実棟における実測、日射授受を考慮した数値計算を行い、夏型結露は温度上昇に伴う多孔質材の吸放湿が原因となり発生すると述べ、試験家屋においての冷房時の結露発生を報告している。一方、筆者⁴⁾らは多孔質材でも面材として用いられる合板やALC等の持つ水分が日射授受時の湿度上昇に大きく影響することを示唆している。しかしこれらの点を考慮した実証的な研究は少なく、夏型結露発生のメカニズムについてはいまだ未解明な部分が多い。本編では加湿

源と考えられる多孔質材の温度励振による吸放湿性状を把握したうえで、断面構成の異なる壁体モデルについて標準気象データに準拠した外気条件を用いた非定常結露実験を行い、実証的手法により各工法ごとの夏型結露の性状を比較検討することを目的としている。

2.多孔質材の温度励振による吸放湿性状

夏期、温暖地域のピーク時における外気の絶対湿度は18g/kg以上、日射授受面の温度は50℃近くに達し、断熱材より外気側に面する部材はかなりの高温に曝される。また多孔質材は温度上昇に伴い水蒸気を放出する性質があるが、夏型結露を発生させる加湿要因が外気からの透湿によるものか、温度上昇に起因する多孔質材の放湿によるものかは検討されておらず、壁体モデル実験を行う前段でこの点についてスタディーを行う必要がある。本項では多孔質材の温度励振による吸放湿実験および数値計算を行うことによって、壁体構成部材の温度上昇による吸放湿性状を把握する。

2.1 実験概要

実験装置の概要及び試験体設置状況を図-1に示す。断湿箱はステンレス製で一端が開放しており、試験体を取り付けられるようになっている。開口部付近には小型のファンが設置してあり試験体表

* 建材試験センター中央試験所 工修
** 東洋大学工学部建築学科 教授・工博

Japan Testing Center for Construction Material, Central Laboratory, M. Eng.
Prof., Department of Architecture, Faculty of Engineering, Toyo Univ., Dr. Eng.

面の気流性状を制御するとともに、箱内の空気を攪拌できるようにになっている。試験体は塩ビ板で断湿し、端部はアルミテープにより封漏し外部からの湿気の侵入を完全に遮断する。加熱源は面状発熱体を用い、塩ビ板の外側に取り付け、試験体と塩ビ板の境界部分の温度を測定し制御を行った。

試験体は壁の断面構成において断熱材より外気側に位置する木質系の面材及び角材として構造用合板（300×300×9mm）、通気胴縁（300×150×45mm）を用いた。通気胴縁については、断熱材の外気側に防風防湿層を用いた在来通気工法において、高温な状態に曝された場合、通気が十分でないときは加湿源となる可能性が憂慮されるためである。なお、試験体、塩ビ板、面状ヒーターは密着させる。試験体表面、箱内空気の温度はT熱電対（2級、径0.2mm）、相対湿度に関しては校正された静電容量型湿度計（精度±2%）を用いた。

実験条件を表-1に示す。実験条件は加熱温度による差を比較するため25℃と30℃の2条件を設けた。実験は含水率を調整した試験体を装置に取り付け、20℃の恒温室に保存し、断湿箱内の水蒸気圧が一定になった後加熱を開始した。

図-1 実験装置の概要及び試験体設置状況

表-1 実験条件

初期含水率	合板 9.6% 胴縁 9.8%
伝達面の風速	0.2m/s
加熱スケジュール (ステップ変化)	0時～7時、25℃ 24時～30時、30℃
恒温室雰囲気	20℃

2.2 計算概要

数値解析は実験結果の理論面からの裏付けを得るとともに応答解析を行い、湿度及び温度ステップに対する吸放湿性状を比較検討することを目的としている。

2.2.1 基礎式

計算対象は試験体内部の含水率、温度及び断湿箱内の絶対湿度とし、材料実質部は簡易化された熱水分同時移動方程式^{8),9)}、空間の絶対湿度に関しては湿度バランス式を用いた。

$$c_p \gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla \theta) \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \nabla \cdot (D_w \nabla w) + \nabla \cdot (D_\theta \nabla \theta) \quad \dots (2)$$

$$G \frac{\partial X_a}{\partial t} = \alpha' A (X_s - X_a) \quad \dots (3)$$

2.2.2 物性値の設定

吸放湿実験に用いる材料の諸物性値についてはできるだけ独自に測定したものを用いるようにした。湿気伝導率に関してはカップ法、平衡含水率に関しては飽和塩類により雰囲気気を制御し重量変化が定常となった時点の試験体の重量より導いた¹⁰⁾。使用材料の諸物性値を表-2に示す。熱水分同時移動方程式に用いる水分拡散係数の水蒸気成分については、平衡含水率曲線と湿気伝導率を用い（4）、（5）式より算出する¹¹⁾。また各物性値の温度及び湿度依存性については計算に与える影響が小さいとみなして無視した。また空気と材料表面との間の伝達率については、一定の総合熱伝達率（8kcal/m²h℃）と湿気伝達率（10kg/m²h(kg/kg)）を与えた¹²⁾。

$$D_{wv} = \lambda' \frac{\partial g}{\partial w} \quad \dots (4)$$

$$D_{\theta v} = \lambda' \frac{\partial g}{\partial \theta} \quad \dots (5)$$

図-2 試験体の水分拡散係数及び水分伝導率

表-2 物性値表

	密度 kg/m ³	熱伝導率 kcal/mh℃	容積比熱 kcal/m ³ ℃	湿気伝導率 kg/mh(kg/kg)
合板	504	0.10	267	0.000524
胴縁	345	0.071	187	0.00107

表-3 記号表

記号	意味	記号	意味
c	比熱 kcal/kg℃	t	時間 h
γ	密度 kg/m ³	λ	湿気伝導率 kg/mh(kg/kg')
θ	温度 ℃	g	平衡含水率 wt%
λ	熱伝導率 kcal/mh℃	添字	意味
w	容積含水率 m ³ /m ³		
D	水分拡散係数	w	含水率
G	断湿箱内の湿気容量 kg'	θ	温度
X	絶対湿度 kg/kg'	v	水蒸気
a'	湿気伝達率 kg/m ² h(kg/kg')	a	空気
A	試験体面積 m ²	s	表面

2.2.3 計算条件

計算値と実測値の比較では試験体加熱側表面温度と箱内空気温度を入力値とし、合板及び胴縁それぞれについて計算を行う。数値計算法は基礎式の後退差分近似によるが、吸放湿材表面の絶対湿度は1step前のものを用い系が線形となるようにしてある^{*)}。

応答解析では合板を計算対象とし表-4に示す条件(case1～case3)を設定し、温度及び湿度励振に対する吸放湿性状を比較する。箱内温度は一定とし、case2、case3では試験体両面の湿度境界を開放とし外気側への吸放湿も考慮した。またcase3では外気側励振を湿度ステップとし温度及び湿度それぞれの励振に対する吸放湿性状を比較する。case3の湿度ステップについては、夏期における絶対湿度の日較差より同程度の励振となるよう条件を設定した。境界条件及び計算パターンを表-4に示す。応答解析における湿気伝達率については中空層等の風量の小さい部位における条件を考慮して設定した^{*)}。

表-4 計算パターン

条件	外気側励振	外気側境界条件	箱内温度
実測値との比較	温度ステップ 20℃→25℃ 20℃→30℃	外気側断湿	測定値
case1	温度ステップ 20℃→30℃	外気側断湿	20℃
case2	温度ステップ ^{*)} 20℃→30℃	開放	一定
case3	湿度ステップ 20℃、60%→90%	開放	

*1 case2における外気側絶対湿度は一定 (8.73g/kg'(20℃,60%相当))

*2 室内側及び外気側開放時湿気伝達率 $a' = 3.0 \text{ kg/m}^2 \text{ h(kg/kg')}$

2.3 結果及び考察

2.3.1 計算値と測定値の比較及び考察

測定値と計算値を時系列で比較したグラフを図-3～図-4に示す。断湿箱内の絶対湿度は加熱と同時に上昇し始め、加熱開始1時間ほどで安定してきており、試験体からの水蒸気の供給が示されている。加熱開始前後の絶対湿度の変化は合板の場合、温度ステップ20→25℃では約0.002 kg/kg'、20→30℃では約0.004 kg/kg'であり、試験体の温度上昇と空間の水蒸気量の増加が比例関係にあることが示されている。計算値でも温度励振に対する箱内の絶対湿度上昇を再現しており、測定値と比較しておおよそ良好な一致が見られている。また、試験体を胴縁としたときの断湿箱内の絶対湿度変化は20→30℃で0.002 kg/kg'と合板の半分程度であるが試験体の質量、空間との接触面積等を考慮に入れると比較的多く、加湿源として壁体内の湿度性状を把握する上で無視できる量ではないと言える。図-3、図-4では断湿箱内の絶対湿度に加え、含水率から換算した材料表面の値(計算値)も示しているが、変動は空間の値に追従しており、熱水分同時移動モデルでは理論上、空隙の絶対湿度が部材の含水率と温度により決定されることを考慮すると、密閉空間の水蒸気量は接する多孔質材表面の含水率および温度に大きく依存して

いることが考えられる。

2.3.2 温度及び湿度励振に対する吸放湿性状比較

図-5、図-6は表-4のcase1～case3に示す、純ステップに対する計算結果である。図-5は合板の断湿箱側表面からの放湿量積算値を示している。外気側のステップ変化後24時間以内ではcase1、case2の温度励振に対する放湿量の方が湿度励振のcase3に比べ明らかに多い。またcase1及びcase2では計算開始後2時間でピーク時の8割以上の値になっており、温度励振に対する放湿速度は湿度励振に比べ早いことが示されている。

図-6は外気側のステップ変化後の箱内の絶対湿度変化である。外気側断湿のcase1は0.011 kg/kg'程度まで上昇しているが、外気側が雰囲気開放しているcase2は10時付近でピーク値0.0103 kg/kg'

図-3 断湿箱内絶対湿度、試験体表面温度(合板)

図-4 断湿箱内絶対湿度、試験体表面温度(胴縁)

図-5 温度及び湿度励振による合板放湿量積算値

図-6 温度及び湿度励振による断湿箱内絶対湿度

に達した後徐々に減少している。しかし24時においてもcase3より高い値を保っており、外気側の境界条件を変化させても、日変動を想定した比較的短時間の励振に対する合板の放湿量は湿度変化よりも温度変化によるもの大きいと考えられる。

3. 人工気候室における夏型結露実験

壁モデルを対象とした人工気候室における夏型結露実験では、各工法ごとの結露性状を比較検討する。また前項における部材単体の吸放湿実験、応答解析の結果を考慮し以下の条件を設定する。

- 1) 壁面の方位を南面と仮定し、日射授受を再現するため壁表面の輻射成分を空気温度とは別に制御する。
- 2) 外乱を実際の気象条件と同様、周期的に変化させ、非定常状態における結露性状を把握できるようにする。
- 3) 通気胴縁からの放湿の影響をみるため、通気工法については通気経路を塞いだ状態についても検討する。

3.1 壁の種類、試験体

壁の種類は繊維系断熱材を用いた壁体で、実際に現場で施工されているタイプのものと結露防止を目的としたものに大別され、夏型結露の現象を工法別に比較するために次の7タイプとした。

TYPE1 在来通気工法壁

TYPE2 枠組壁工法壁（モルタル仕上げ）

TYPE3 枠組壁工法通気層壁（サイディング仕上げ）

TYPE4 枠組壁工法二重防湿層壁（断熱材中間防湿層）

TYPE5 TYPE2の材料変更壁

TYPE6 木ずり壁（小幅板+モルタル仕上げ）

TYPE7 枠組壁工法二重防湿層壁（合板裏面防湿層）

試験体の寸法は、図-7に示すように800×800mmとし、壁の木構造（枠組）としては間柱を2本立てたものとしている。なお、試験体の4周に回した木材は試験体の製作用であるので試験の対象外とし、この部分からの湿気の影響がないようにビニルテープを貼って断湿してある。断熱材は本研究が次世代省エネルギー基準に対応することを主眼としているためグラスウール16K、100mmとしてある。また通気層厚さは文献⁸⁾を参考にして18mmとした。通気層の上端、下端部は開放しており、通気の抵抗となる水切り等は取り付けしていない。

シート類に関してはタッカー止め、石膏ボード、サイディング等の取付けはビス止めとし、中間防湿層に関してはシートの四周をアルミテープで取付け、隙間からの漏気がないようにした。試験体の構成部材を表-5に示す。

試験体は恒温室内で養生し、検針式の含水率計（ケット社製）で合板及び間柱の含水率が10～11%となるようにした。TYPE7に関しては含水率が約13%となるように養生してある。

3.2 実験概要

3.2.1 実験装置

実験装置は、図-8のような外気条件と室内条件をそれぞれ設定できる2つの人工気候室である。試験体は界壁に取付ける。温湿度

等はプログラム制御器により任意に設定できる。

3.2.2 実験条件

外気条件を図-9に示す。これは東京の8月の標準気象データを参考にして、東京の夏季の代表的な晴天日の気象モデルを作成したものである。壁の方位は南とし、壁面における日射授受を再現するため、赤外線ランプを用い輻射成分を空気温度とは独立して制御する。赤外線ランプは試験体面にSAT計を取り付け、SAT計の出力により制御する。室内条件は終日冷房を仮定し、温度26℃、相対湿度60%の一定温湿度とした。

また通気工法については、実際の建物では窓枠、見切り板、断熱材の膨らみ等により通気路が確保されなかったり、通気抵抗が大きくなることも考えられるため、試験体（TYPE1、TYPE3）の上端開口を塞ぐことにより、通気が十分でない場合の知見も得られるように配慮した。

図-7 試験体木枠及び測定ポイント

表-5 壁体構成

壁体モデル	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	外装材	通気層	外装下地材又は防風材	断熱材	内装裏面材	内装材
TYPE1	窯業系サイディング (11mm)	有り (18mm)	透湿防水シート			
TYPE2	モルタル、リシン吹き付け (20mm)	無し	アスファルトフェルト+合板 (9mm)	グラスウール		
TYPE3	窯業系サイディング (11mm)	有り (18mm)	透湿防水シート+合板 (9mm)			
TYPE4			アスファルトフェルト+合板 (9mm)	グラスウール+中間防湿シート (Rv=40m ² hmmHg/g)	防湿シート (0.1mm, Rv=390m ² hmmHg/g)	石膏ボード (12mm)
TYPE5			透湿防水シート+高耐圧シンクボード (9mm)			
TYPE6	モルタル、リシン吹き付け (20mm)	無し	アスファルトフェルト+小幅板 (9mm)	グラスウール		
TYPE7			透湿防水シート+合板 (9mm)	グラスウール+合板裏面防湿シート (Rv=40m ² hmmHg/g)

図-8 実験装置

図-9 外気条件設定値

3.2.3測定方法

本実験では試験体の高さが800mmと短いため、上下方向の温湿度差が生じにくいことと、実験自体の目的が、各断面仕様の結露性状の同時比較を狙ったものであるため、測定位置を試験体の中央部分とした。熱電対は断面方向に。結露センサー及び湿度計は防湿シートと断熱材の境界部に設置した。

試験体は、TYPE1～TYPE6を同時にセットし、初期状態（温度は26℃）として木材を養生した後、外気条件をプログラム制御により1日サイクルで温湿度と日射の条件を設定し、3～4サイクル継続する。TYPE7については別途測定した。測定は10分インターバルでデータロガーにより計測・収録した。

なお、結露現象は結露センサーが反応している時間帯に内装材を取り外して目視により最終的に観察した。

3.3実験結果

実験結果を図-10～図-20に示す。試験は南中時より開始したため時間軸に12時間のズレがある。また通気工法の試験体についてはTYPE1は48時間から、TYPE3は試験開始から48時間まで通気層上端を塞ぐことにより通気を止めている。

3.3.1温度測定結果

日射受受時の外装下地材の温度（図-10～図-12）は42℃～47℃で、通気工法のTYPE1、TYPE3については通気層上端を塞ぐ前後（50時間付近）を境にピーク時の温度が2～3℃低くなっており、通気による排熱効果が示されている。

3.3.2湿度及び結露センサー測定結果

図-13～図-17より中間防湿層を持つTYPE4以外の密閉工法については防湿シート付近の相対湿度が95%以上、結露センサー出力も5Vを越えており測定上は結露がみられる。TYPE6の木ずり

図-10～図-12 外装下地材温度変動

図-13～図-14 防湿シート部結露センサー出力

壁については5日目（96時間付近）より結露センサー出力が下がってきているが、試験体の側面に外気に接する隙間（スリット状の小幅板の端部）が存在しており、水蒸気の漏れがあったものと思われる。通気工法であるTYPE1、TYPE3は通気層上端が塞がれているときの相対湿度が高く、通気の有無により壁体内の湿度変動が大きく異なっている。またTYPE3については結露センサー出力も5Vを

越えており、通気が十分に確保されていないときは通気工法でも室内側防湿シート面での結露発生が危惧される。図-18～図-20に示す絶対湿度変動でも通気を止めることによる湿度上昇が確認でき、特に通気層においてその差が顕著である。またどの壁体も日射受容時は室内側防湿シート付近の絶対湿度が外気より高くなっており、温度上昇に伴う何らかの加湿源の存在が推測される。

図-15～図-17 防湿シート部相対湿度変動

図-18～図-20 防湿シート部、通気層絶対湿度変動

図-21 壁断面の絶対湿度分布

3.3.3 壁断面の絶対湿度分布比較

図-21にはピーク時の壁断面の絶対湿度分布を示してある。昼間、通気がある場合および夜間についてはどの試験体も防湿シート付近の絶対湿度は飽和点を越えていない。しかし日射受受時のTYPE2、通気層を塞いだ場合のTYPE3は防湿シート付近で飽和点を越えており、TYPE1でさえ壁体内の絶対湿度が外気の値より高くなっている。また合板内側と防湿層付近で湿度勾配ができており、合板内側で一番高くなっている。

表-6には目視による結露性状観察結果を示してある。在来通気工法のTYPE1、中間防湿層を用いているTYPE4以外では結露が発生している。

表-6 結露性状観察結果

実験条件	室温、湿度	26℃、60%	
	通気	有	無
壁の種類	TYPE1	1	2
	TYPE2	—	3
	TYPE3	2	3
	TYPE4	—	1
	TYPE5	—	3
	TYPE6	—	3
	TYPE7	—	3

レベル1：結露なし、相対湿度低い

レベル2：結露なし、相対湿度高い

レベル3：結露発生

4. 結論及び考察

多孔質材の単体の吸放湿実験及び応答解析で得られた知見をもとに、人工気候室における夏型結露実験の結果について述べる。

4.1 温度励振による多孔質材の吸放湿

温度励振の大きい部位の多孔質材は、雰囲気温度変動に伴い吸放湿を行うが、夏期における1日の外乱を想定した実験及び応答解析の結果、温度励振に対する吸放湿応答は湿度励振に比べ早く、放出する水蒸気量も多い。また密閉空間においては接する多孔質材の含水率に空間の絶対湿度が大きく依存する傾向が見られた。

4.2 壁体構成材による加湿

日射受受面の壁体内の絶対湿度が外気より高くなる現象は4.1に記した温度励振による多孔質材の吸放湿性に起因するものであり、通気による排湿機構を持たない壁体においてはこのことが顕著に表れており、合板や胴縁等の壁体構成材が主な加湿源となっていることが実験及び計算結果より推測できる。

4.3 通気工法と密閉工法の比較

通気工法と密閉工法について比べると通気が十分確保されてる場合、通気工法は防湿シート付近でも相対湿度60%程度に抑えられており今回の条件においては夏型結露に対して安全側であると言える。特に透湿防水シートを用いたTYPE1は日射受受時でも壁内の絶対湿度はあまり上昇せず、湿度変動は外気に依存した変動となっている。一方、密閉工法であるTYPE2、TYPE5、TYPE6では日射受受時に壁体内の絶対湿度が上昇しており、結露の危険性が憂慮される。

4.4 通気工法における通気の有無による比較

通気層内の通気が確保されない場合、下地合板を用いていないTYPE1でも通気層及び防湿シート付近の絶対湿度は上昇しており、

通気の条件により大きな差が出ている。また今回の試験体では通気経路が短く、実際の施工ではサッシュ枠、水切り等により通気抵抗が大きくなることを考慮すれば本試験の結果だけで通気工法の安全性が確認できたとは言いがたい。ゆえに通気工法については今後検討していく必要があると考えられる。

4.5 中間防湿層の効果

中間防湿層がある場合、合板から放湿された水分が内装材裏面の防湿シートまで到達せず、湿度の上昇が抑えられていることが推測される。位置としては合板と断熱材の境界部よりも、断熱材内部の方が効果が高い。本実験では断面方向に対する中間防湿層の効果を把握するため四周をアルミテープで止め、隙間からの水蒸気侵入を防止している。しかし実際には隙間からの透湿は無視できないため施工性を考慮したモデルにより評価を行うことが必要と考えられる。また中間防湿層の使用にあたっては冬型結露対策についてもあわせて検討する必要がある。

5. むすび

断湿箱における吸放湿実験および人工気候室における夏型結露実験により、日射受受時の多孔質材の吸放湿性状および、断面構成の違いによる壁体内の湿度性状について大略を得ることができた。しかし実状を考慮した通気工法の湿度性状や外装下地材以外の吸放湿の影響については更に詳細な検討が必要と考えられる。今後は本実験で得られた結果を基に理論的検証を行い、現象を把握したうえで年間を通した防露設計指針作成に有用な知見を得ることを主眼に研究を進める予定である。

謝辞

この実験は、IBECの次世代省エネ技術基準、設計・施工部会において実施したものである。関係各位に記して敬意を表する。

参考文献

- 1)建設省住宅局住宅生産課監修：住宅の新省エネルギー基準と指針、(財)住宅・建築省エネルギー機構、1992年
- 2)鎌田紀彦、林康治、浅野聡、石渡修：温暖地における断熱壁体の内部結露に関する研究、日本建築学会北海道支部研究報告集第65号、pp.261～264、1992年3月
- 3)渡辺康徳、藤田協二、渡辺俊行、須貝高、尾崎明仁他：高断熱高気密住宅の夏季壁体内結露に関する研究、その5、その6 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp1255～pp1258、1993年9月
- 4)佐藤章造、石田卓、渡辺俊行、須貝高、尾崎明仁他：断熱壁体内の内部結露とその防止に関する研究、その1、その2 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp337～pp340、1995年8月
- 5)蔵重裕行、尾崎明仁、渡辺俊行、須貝高他：季節蒸暑地域における壁体の防露設計指針、その1、その2 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp271～pp274、1996年9月
- 6)齋藤宏昭、土屋喬雄：自然空気循環式パッシブ住宅における湿度性状解析 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp891～pp892、1992年8月
- 7)土屋喬雄、市川大介：ALC板を用いた通気工法に関するシミュレーション計算 日本建築学会大会学術講演梗概集 1995年8月
- 8)松本衛：新建築学大系10・環境物理、3・湿気、彰国社 1984年
- 9)土屋喬雄：熱水分同時移動方程式の簡略化について 日本建築学会大会学術講演梗概集 1990年10月 pp1107～pp1108
- 10)黒木勝一：平衡含水率測定 「建築材料吸放湿特性委員会」資料 (財)住宅・建築省エネルギー機構 1990年
- 11)鈴井修一：建築環境学2、12・熱水分同時移動、丸善
- 12)水谷章夫、土川忠浩、大滝泰、大澤徹夫、宮野秋彦：強制対流時における濡れ表面材の湿気伝達率に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp247～pp248、1994年9月
- 13)大滝泰、土川忠浩、水谷章夫、大澤徹夫、宮野秋彦：自然対流時における濡れ表面材の湿気伝達率に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp245～pp246、1994年9月
- 14)土屋喬雄、黒木勝一、齋藤宏昭：冷房時の夏型壁体内結露に関する研究、その1、その2、その3 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp265～pp270、1996年9月

(1998年5月8日原稿受理、1998年11月27日採用決定)