

除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力評価に関する研究（第3報） - 除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験方法 -

富田 和彦, 白土 博康, 保科 秀夫

Study on Cooling Performance of Radiant Cooling Panel with Condensation (partⅢ) -A Test Method of Cooling Performance for Radiant Cooling Panel with Condensation-

Kazuhiko TOMITA, Hiroyasu SHIRATO, Hideo HOSHINA

抄 録

工業試験場における新たな依頼試験項目の一つとして「除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験方法」を提示するとともに、参照事例として、鋼板製さく形パネルラジエータを用いた冷房能力試験を実施し、本試験方法についての検証を行った。

キーワード：放射冷暖房パネル方式，結露，冷房能力，除湿，評価，試験方法，規格

1. はじめに

除湿型放射冷暖房パネルは、JIS A4004¹⁾「暖房用自然対流・放射形放熱器」に分類される暖房用さく形ラジエータにドレンパンを付加した構造が一般的であり、暖房時には温水を流すことで暖房負荷を処理し、冷房時には冷水を流すことで、パネル表面が露点温度以上では顕熱負荷を、露点温度以下ではこの顕熱負荷にパネル表面で発生する結露水による潜熱負荷を加えた冷房負荷を処理する冷暖兼用の自然対流・放射形放熱器である。この除湿型放射冷暖房パネルの暖房能力試験方法についてはJIS A1400²⁾で詳細に規定されているが、冷房能力の試験方法についての規定はなく、このためメーカは物件毎に設備設計者へ技術情報を提供することで対応している。

本研究は、除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験方法を当工業試験場における依頼試験項目の一つとして新たに開設することを目的としている。これまでに、除湿能力の実験式を示すとともに、結露時の全冷房能力が非結露時の冷房能力と結露時の除湿能力の和として表されること³⁾、またパネル面のぬれ性向上（超親水性の付与）は除湿能力に影響しないが、結露水の落下を助長させ、室外へ速やかに排出させるのに有効であることを明らかにした⁴⁾。本報告ではこれらの成果を踏まえ、除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験方法を提示するとともに、参照事例として、市販の除湿型放射冷暖房パネルを用いた冷房能力試験を実施した。

2. 除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験

2.1 試験室

試験室は、図1に示すように、工業試験場に配備の床面積3,600mm×2,700mm、天井高さ2,200mmの水冷密閉型試験室（外室）内に、床面積2,500mm×1,900mm、天井高さ2,000mmの周囲壁がポリエチレンシート、天井がアルミ製パンチングメタルからなる内室（試験室）を設け、外室を温度制御することで冷房負荷を与え、室温（代表）は中央床上750mmに配置した

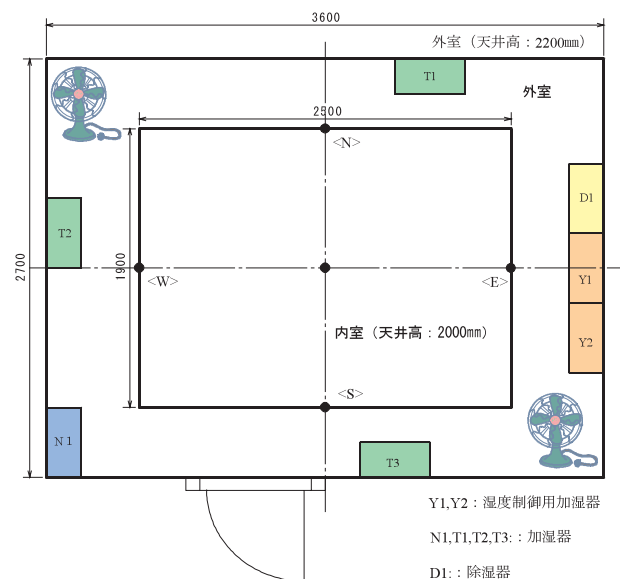


図1 試験室

事業名：経常研究

課題名：除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力評価に関する研究

T熱電対で設定温度に制御される。湿度は、外室に配備した加湿器と除湿器および室温と同一の箇所に配置した湿度センサーにより制御される。

2.2 冷水循環システム

冷水循環システムを図2に示す。冷水は、低温循環装置と投げ込みヒータを用いて冷水タンク内で設定温度に制御される。冷房能力測定用として循環ライン内に制御付き電磁流量計と供試パネル出入口に白金測温抵抗体（JIS A級）を設置した。また、結露を伴う試験では、ドレンパンの下にピーカと台秤を配置し、ドレンパンに溜まる結露水質量を自動計測する。

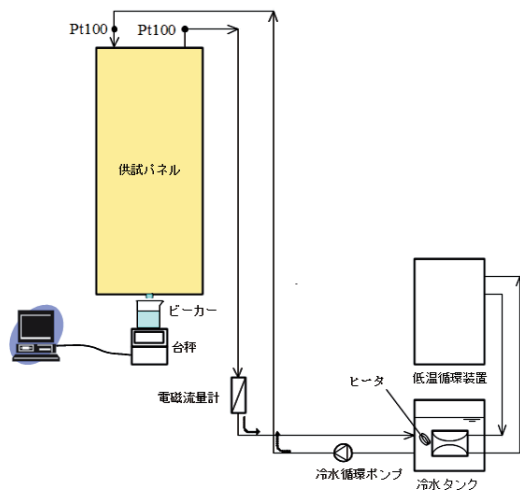


図2 冷水循環システム

2.3 定格冷房能力

除湿型放射冷暖房パネルの定格冷房能力は、非結露時においては表1の条件で測定したときの値とし、結露時には表1の条件に加え、湿度60±5%RHで測定したときの値とする。

表1 定格冷房能力測定条件

代表室温	27°C	
平均冷水温度	9.5°C	
冷水温度上昇	5K	
冷房温度差	17.5K	代表室温－平均冷水温度

2.4 定格通水量

除湿型放射冷暖房パネルの定格通水量は、非結露時の表1に示す定格冷房能力測定時の通水量とする。

2.5 冷房能力の算出式

2.5.1 非結露時の冷房能力算出式

非結露時の冷房能力 Q_c は、式(1)により算出する。

$$Q_c = C_{pw} \times m_w \times (t_{wo} - t_{wi}) \quad \dots \quad (1)$$

ここに、 Q_c : 非結露時の冷房能力 [kW]

C_{pw} : 水の比熱 [kJ/(kg・K)]

m_w : 水の質量流量 [kg/s]

t_{wi} : 入口冷水温度 [°C]

t_{wo} : 出口冷水温度 [°C]

また、冷房温度差 ΔT_c は式(2)により算出する。

$$\Delta T_c = t_a - t_w \quad \dots \quad (2)$$

ここに、 ΔT_c : 冷房温度差 [K]

t_a : 代表室温 [°C]

t_w : 平均冷水温度 [°C]

さらに、冷房能力と冷房温度差には式(3)に示す特性式の関係がある。

$$Q_c = B(\Delta T_c)^n \quad \dots \quad (3)$$

ここに、定数Bと指数nは、 $\log Q_c = \log B + n \log \Delta T_c$ の関数関係を利用し、重み係数を考慮した最小2乗法の適用によって求める²⁾。

2.5.2 結露時の冷房能力算出式

結露時の冷房能力（全冷房能力） Q_{ct} は、JISのエアコンディショナーの試験方法⁵⁾に倣うと、顕熱冷房能力と潜熱冷房能力（除湿能力）の和として式(4)で表される。

$$Q_{ct} = Q_s + Q_l \quad \dots \quad (4)$$

ここに、 Q_{ct} : 結露時の全冷房能力 [kW]

Q_s : 顕熱冷房能力 [kW]

Q_l : 除湿能力 [kW]

ここで、結露時の全冷房能力は、非結露時の冷房能力と同様に式(1)から $Q_c = Q_{ct}$ として求めることができる。また、除湿能力 Q_l は、結露水の質量測定から得られる除湿速度に凝縮潜熱を乗じて求めることができ、式(5)で示される。

$$Q_l = G_w \times r_w \quad \dots \quad (5)$$

ここに、 G_w : 除湿速度 [kg/s]

r_w : 凝縮潜熱 [kJ/kg]

2.6 試験室内の環境測定

2.6.1 空気温度

空気温度測定は、次の試験室内中央垂直軸上の5点を測定する。

(a) 代表空気温度：床 上 750mm

(b) 他 の 点：床 面 上 50mm, 500mm, 1,500mm

天井面下 50mm

2.6.2 壁表面温度

壁表面の温度測定は、各壁表面の中心4点と、天井面及び床面の中心2点を加えた、計6点とする。

2.6.3 湿度

湿度測定は、代表空気温度と同様、試験室内中央垂直軸の床面上750mmの1点とする。

2.7 冷房能力試験

2.7.1 非結露時の冷房能力試験

非結露時の冷房能力は、パネル面に結露が発生しない低湿度条件で行い、特性式(3)を求める冷房能力変化特性試験により決定する。

2.7.2 冷房能力変化特性試験

試験は、表1の定格冷房能力測定条件(平均冷水温度9.5℃、 $\Delta T_c = 17.5K$)を満たす通水量で冷房能力を測定し、次に、通水量を固定したまま冷水温度を変化させ、平均冷水温度13℃($\Delta T_c = 14K$)及び平均冷水温度8℃($\Delta T_c = 19K$)における冷房能力を測定する(表2)。試験時間は最低10分間とし、この間の平均値を持って測定値とする。またこの間、温度、流量ともに定常状態を維持することとする。

表2 冷房能力変化特性試験の条件

代表室温	27℃
平均冷水温度	8℃
	9.5℃
	13℃
通水量	平均冷水温度9.5℃のときに、冷水温度上昇が5Kとなるときにの水量を通水する。

2.7.3 結露時の冷房能力試験

結露時の冷房能力試験は、湿度 $60 \pm 5\%RH$ 、表1の定格冷房能力測定条件で行う。試験時間は、最低1時間とし、温度と流量はこの間の平均値、除湿速度はこの間の結露水質量変化から求める。またこの間、温度、流量が定常状態を維持することに加え、除湿速度については結露水質量と時間が直線関係にあることとする。

3. 試験事例

3.1 供試除湿型放射冷暖房パネル

供試パネル：鋼板製さく形パネルラジエータ(A社製)
 外形寸法：幅490mm、高さ1,500mm、奥行105mm
 放熱パネル：幅70mm、高さ1,200mm、厚さ8mm、間隔50mm、左右パネルは支持用ダミーパネル
 試験室内の供試パネル設置状態：図3、図4参照

3.2 試験方法

試験方法は、前述の「2. 除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験」による。ただし、温度と流量はデータロガーとパソコンを用いて15sec間隔で計測し、非結露時の試験では定常状態と見なせる10分間の平均値を、結露時の試験では結露水質量測定期間である1時間を、各々測定時間とした。なお、結露水質量の測定間隔は1分間隔とした。

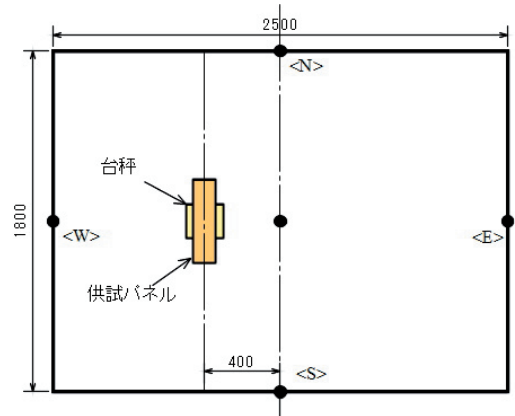


図3 供試パネルの配置図



図4 供試パネルの外観

3.3 試験結果

3.3.1 非結露時の冷房能力

非結露時における冷房能力変化特性を示す冷房温度差(ΔT_c)と冷房能力の関係を図5に、冷房能力試験結果を表3にまとめて示す。供試パネルの非結露時における定格冷房能力は0.169kW、定格通水量は0.484L/minであり、特性式(3)の定数Bは0.00789、指数nは1.07である。

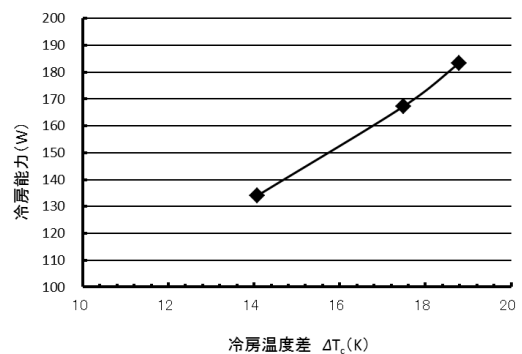


図5 非結露時の冷房温度差と冷房能力の関係

表3 非結露時の冷房能力試験結果

試験 No.		3	1	2
入口冷水温度	°C	5.5	7.0	11.0
出口冷水温度	°C	10.9	12.0	14.9
冷水温度上昇	K	5.4	4.9	3.9
冷水流量	L/min	0.486	0.487	0.493
代表室温	°C	27.0	27.0	27.0
相对湿度	%	19.1	19.1	19.0
平均冷水温度	°C	8.2	9.5	13.0
冷房温度差(ΔT _c)	K	18.8	17.5	14.1
冷房能力	kcal/h	157.7	143.8	115.3
	W	183.4	167.3	134.1
定格冷房能力	kW	0.169		
定格通水量	L/min	0.484		
指数n		1.07		
定数B		0.00789		

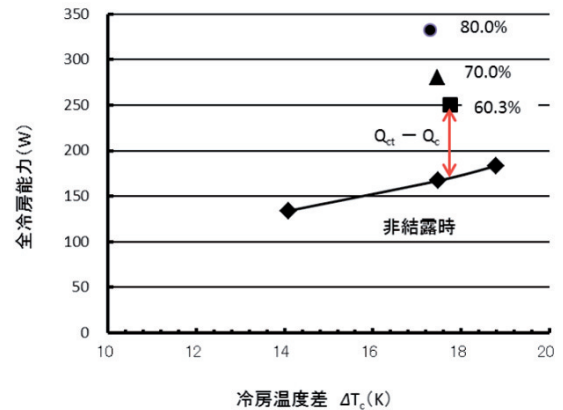


図6 結露時の冷房温度差と全冷房能力の関係

3.3.2 結露時の冷房能力

設定室温27°C，設定湿度60%RHにおける結露時の冷房能力試験結果を表4に示す。なお本研究では，湿度60%RHの他に，湿度70%RHと80%RHについても同様な試験を行ったので，その結果を表4に付記した。

湿度60.3%RHの場合の全冷房能力は0.251kW，除湿能力は0.079kWである。同様に，湿度70.0%RHでは，全冷房能力0.280kW，除湿能力0.117kWであり，湿度80.0%RHでは各々0.333kW，0.151kWである。冷房温度差と全冷房能力の関係を示す，非結露時の試験結果と比較して図6に示す。

非結露時の冷房能力特性式(3)から求まる冷房能力 Q_c (計算値)を用いて算出した($Q_{ct}-Q_c$)の値を，表4に示す。これらの値は，図6から分かるように，結露時の全冷房能力と非結露時の冷房能力の差を示しており，表4の除湿能力 Q_1 にほぼ等しい($Q_{ct}-Q_c \approx Q_1$)ことが分かる。ここで式(4) $Q_{ct} = Q_s + Q_1$ の関係から，結露時の顕熱冷房能力は非結露時の冷房能力にほぼ等しく($Q_s \approx Q_c$)，これまでの結果と同様，結露時の全冷房能力は非結露時の冷房能力と結露時の除湿能力の和($Q_{ct} = Q_c + Q_1$)として表されることが確認される。

表4 結露時の冷房能力試験結果

設定湿度			60%	70%	80%
冷水温度	入口	t _{wi} °C	7.0	7.2	6.9
	出口	t _{wO} °C	12.0	12.1	12.1
	平均	t _w °C	9.5	9.6	9.5
代表室温	t _a °C	27.2	27.1	26.8	
相对湿度	H %	60.3	70.0	80.0	
露点温度	t _d °C	18.8	21.2	23.1	
流量	W L/min	0.725	0.807	0.917	
冷房温度差	ΔT _c K	17.7	17.5	17.3	
全冷房能力	Q _{ct} kW	0.251	0.280	0.333	
除湿速度	G _w kg/h	0.115	0.172	0.223	
除湿能力	Q ₁ kW	0.079	0.117	0.151	
非結露時冷房能力(計算値)	Q _c kW	0.171	0.168	0.167	
	Q _{ct} -Q _c kW	0.079	0.112	0.166	

3.4 附属(参考データ)

本文に記載していない主な試験データを，参考まで，図7～図9に示す。

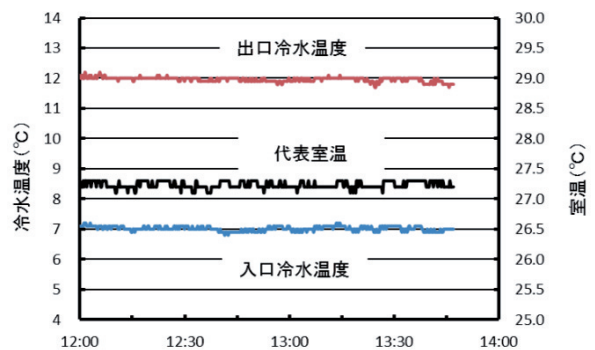


図7 結露試験(No.1)時の冷水温度・室温状態

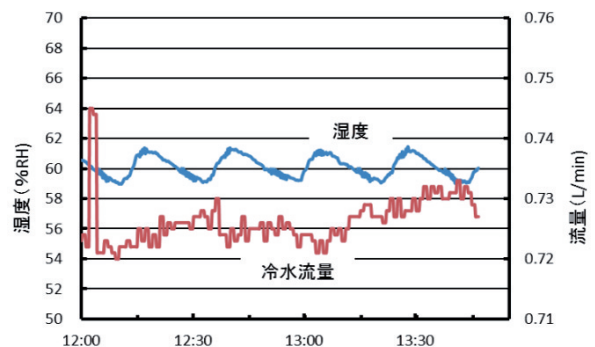


図8 結露試験(No.1)時の湿度・流量状態

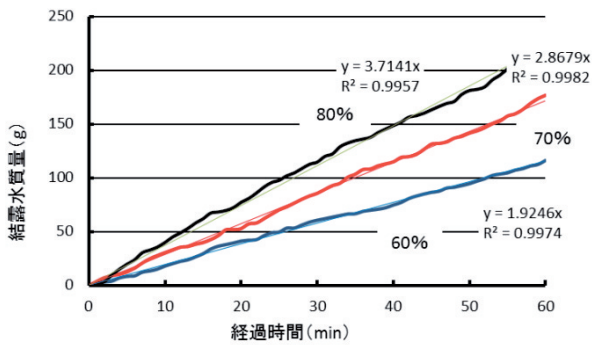


図9 結露水の質量変化

4. まとめ

本研究では、工業試験場における新たな依頼試験項目の一つとして「除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力試験方法」を提示するとともに、参照事例として、鋼板製さく形パネルラジエータを用いた冷房能力試験を実施し、本試験方法についての検証を行った。

引用文献

- 1) JIS A4004-2007 暖房用自然対流・放射形放熱器－種類及び要求項目
- 2) JIS A1400-2007 暖房用自然対流・放射形放熱器－性能試験方法
- 3) 富田和彦, 白土博康, 保科秀夫: 除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力評価に関する研究, 北海道立工業試験場報告, No.308, pp.15-21, (2009)
- 4) 富田和彦, 白土博康, 保科秀夫: 除湿型放射冷暖房パネルの冷房能力評価に関する研究 (第2報), 北海道立工業試験場報告, No.309, pp.31-35, (2010)
- 5) JIS B8615-2 -1999 エアコンディショナー第2部: ダクト接続形エアコンディショナーと空気対空気ヒートポンプ定格性能及び運転性能試験