

# 省エネルギー形環境試験装置

## Energy Conservation in Environmental Testing Apparatus

高精度の温湿度制御は、精度を向上させるため大きな消費電力を必要としている。今回、恒温恒湿槽、精密加工室などに使う調温ユニットで、大きな省エネルギーが期待できる製品を完成した。これらの装置はおのこのインバータ制御方式、再熱制御方式といった制御方式を採用しており、それぞれの用途に適した方式となっている。

多賀明義\* Akiyoshi Taga  
尾川健男\* Tatsuo Ogawa

### 1 緒 言

近年、種々の製造分野で信頼性の確保、向上が大きな命題となっている。これを解決する手段の一つとして、環境試験装置を用いた信頼性試験が注目されている。特にエレクトロニクス分野では、初期不良を取り除くための有効な手段と言われている。

本稿では、この環境試験装置の概要および温湿度に関する一般的な制御方式について、またその後に省エネルギーを図った制御方式とその適用装置について述べる。

### 2 環境試験装置

環境試験装置とは、地球上あるいは宇宙空間などの環境を試験室内に再現し、各種の試験・研究・製造を行うためのものである。エレクトロニクスをはじめロボット、精密機械などの産業では、信頼性の向上が大きなテーマの一つになっている。環境試験装置は材料、部品、製品などにストレス(温度、湿度など)を与え、耐久性の試験、不良個所の発見、不良品の選別などに使用される。また、精密加工や半導体製造プロセスでは加工部品の熱変形や設備機械、測定器の熱変位を防ぐために、作業空間を恒温に保つ装置もある。

したがって、環境試験装置は温度、湿度などの環境条件を環境試験装置または作業空間内に人工的に作り出すことが必要である。種々の環境条件とこの条件を作り出すための手段を図1に示す。

環境試験装置の分類を表1に記す。ただし、同表では生物を対象とする装置を除いている。これらの環境試験装置のうち、最も使用されているものは温度や湿度に関係する装置で、その代表的な装置が、恒温恒湿槽、恒温恒湿室である。

### 3 現状の温湿度制御方式と省エネルギーの必要性

環境試験装置では信頼性試験の確実性を確保するため、温湿度精度で一般空調よりもはるかに高い精度が要求される<sup>1)~3)</sup>。

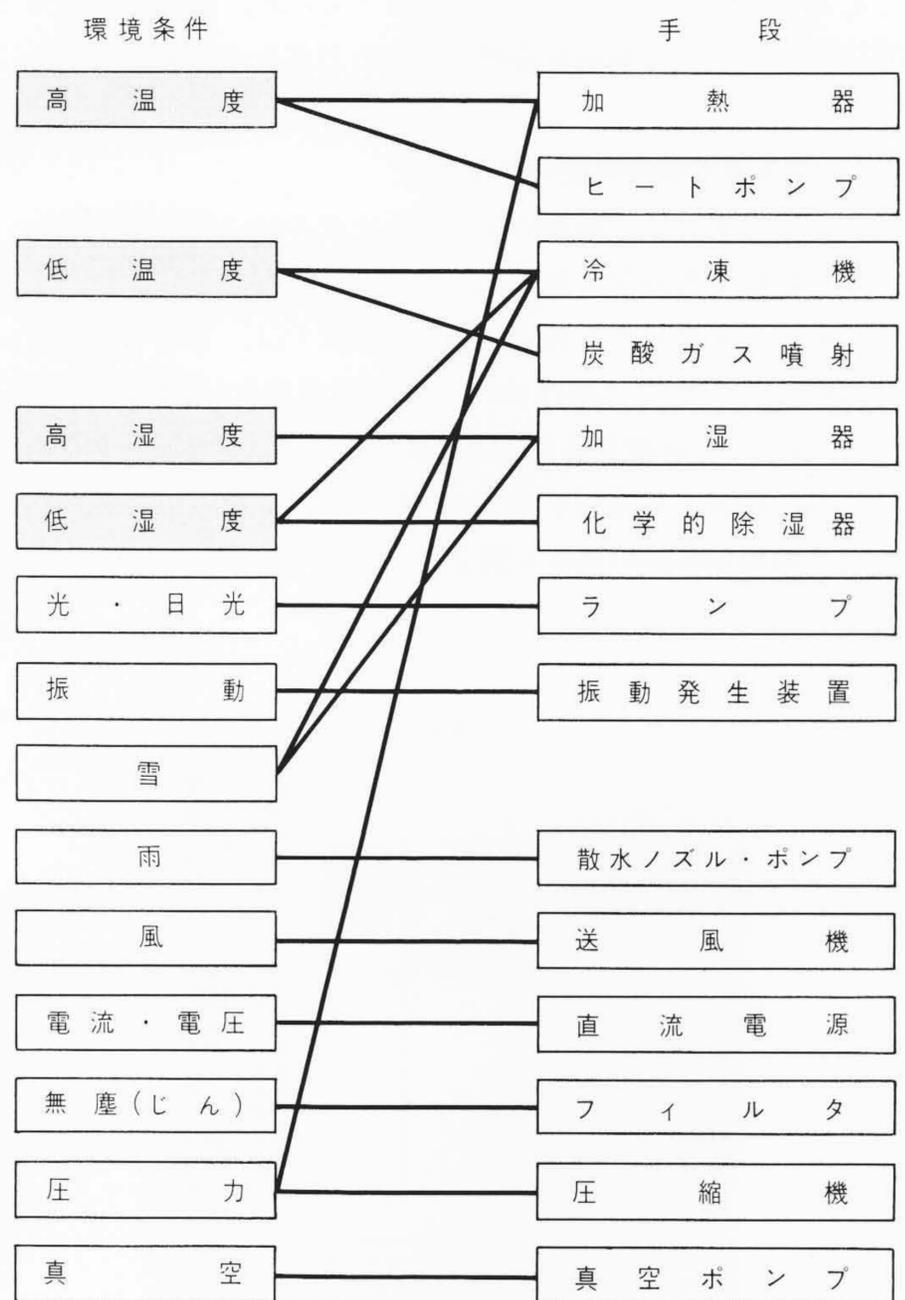


図1 環境条件とその条件を作り出すための手段 環境条件に対して人工的にこの条件を作り出す手段を示す。

\* 日立製作所 清水工場

表1 環境試験装置の分類 生物向けを除く環境試験装置の分類を記す。

装置の種類		環境条件				光・日光	振動	雪	雨	風	電流・電圧	無塵	圧力	真空
		高温度	低温度	高湿度	低湿度									
恒温恒湿	槽	恒温槽	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		恒温恒湿槽	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—
	室	恒温室	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		恒温恒湿室	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—
		全天候試験室	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	—	—
ヒートショック試験装置		○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
エージング装置		○	○	—	—	—	—	—	—	○	—	○	—	
高温槽		○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
振動機付き環境試験装置		○	○	○	○	—	○	—	—	—	—	—	—	
その他		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

また、このことは精密加工や半導体製造プロセスの温度条件についても同様である<sup>4),5)</sup>。

したがって、この高い精度を確保するため、温湿度制御方式は以下に述べる恒温恒湿槽と同一の方式を一般的に採用している。

### 3.1 恒温恒湿槽の概要および外観

恒温恒湿槽とは、槽内の温湿度を任意の値に保つ装置で、この中に電子部品などを入れ、その特性や寿命を試験し、また初期不良を発見する装置である。最近では、単に一定温度や湿度だけでなく、比較的緩やかな温湿度変化(温湿度サイクル)を自動的に試験するため本体にマイクロコンピュータを組み込み、制御する機能を持たせたものが多くなっている。

この恒温恒湿槽の外観を図2に示す。

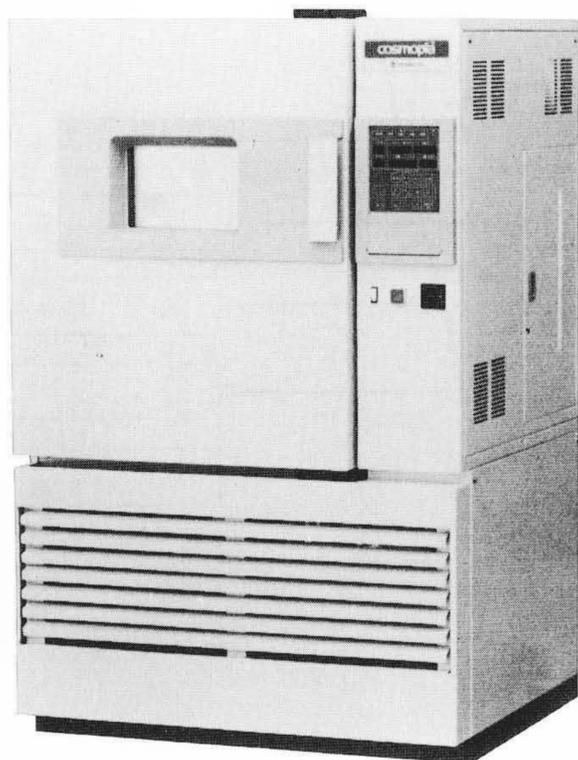


図2 恒温恒湿槽の外観 標準的な恒温恒湿槽(形式: EC-10MHP)の外観を示す。

### 3.2 機器の構成と温湿度制御方式

恒温恒湿槽の機器の構成を図3に示す。同図に示すように、恒温恒湿槽は槽、機械室および制御盤で構成される。槽内に送風機を設け、この送風機で槽内の空気を循環させる。槽内の空気は循環しながら加湿器で加湿され、除湿器、冷却器で除湿、冷却された後に加熱器で所定の温度に加熱される。つまり、容量制御が簡単に行え、応答速度も速い加熱器、および加湿器の能力を温湿度に合わせて制御している。

### 3.3 省エネルギーの必要性

上述のように、現状の温湿度制御方式では除湿や冷却のために冷凍機を運転するが、通常、この冷凍機は発停させるか、膨張機構を切り換える程度の容量制御しか行っていない。つまり、高精度の温湿度を得るためには冷凍機は連続運転し、

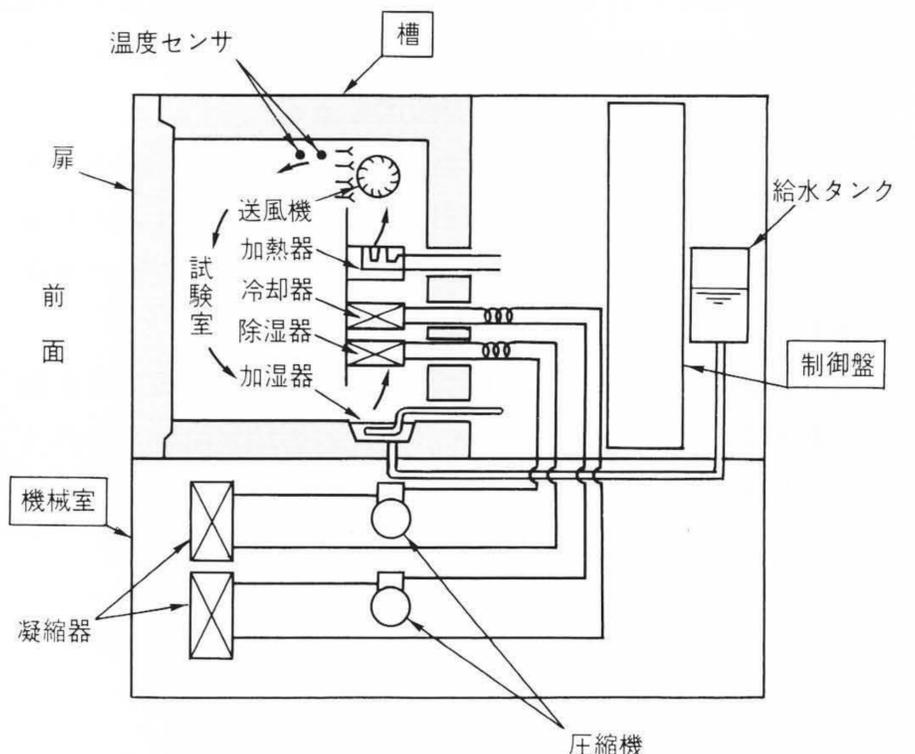


図3 恒温恒湿槽の機器構成例 恒温恒湿槽の機器の構成を概念的に示す。

加熱器および加湿器の容量をSSR(Solid State Relay)などできめ細かく制御している。

したがって、冷凍機は負荷の大小にかかわらず、連続運転し、いったん必要以上に温度を低下させ、加熱器によって所定の精度の温度に再加熱している。つまり、冷却と加熱のどちらでも余分に電力を消費しており、この点を改善する必要がある。

#### 4 省エネルギーとなる制御方式

##### 4.1 インバータ制御方式

現状の温湿度制御方式に対して、冷凍機でいったん必要以上に温度を低下させることを改善すれば、冷凍機での余分な消費電力だけでなく、加熱器での余分な消費電力をも節約できる。これを実現するために、冷凍機にスクロール圧縮機を採用して、その容量をインバータで制御し、細かな温湿度精度は加熱器で行うようにした方式がインバータ制御方式である。この制御方式を適用した製品の例を5章で述べる。

##### 4.2 再熱制御方式

現状の温湿度制御方式に対して、冷凍機の凝縮器側の発熱を加熱器の代わりに利用すれば、加熱器に必要な消費電力を節約することができる。これを実現するために、加熱器の代

わりに再熱器を設け、所定の精度の温度を得るために再熱器への冷媒量を調節する冷媒流量制御弁をPID制御(Proportional, Integrate, Differential Control)する制御方式が再熱制御方式である。この制御方式を適用した製品の例を6章で述べる。

#### 5 インバータ式恒温恒湿槽

インバータ制御方式を、3章で述べた恒温恒湿槽に適用した例としてインバータ式恒温恒湿槽がある。仕様を表2に記し、外観を図4に示す。また、その特長を以下に述べる。

##### (1) 消費電力の低減

図5に示すように、槽内温度が低温で冷凍機が主に運転する範囲では、日立製作所の従来形に比べ平均約40%の消費電力の低減となっている。

##### (2) 温度降下時間の短縮

恒温恒湿槽では、所定の温度に槽内を低下させる時間が短ければ、それだけ試験時間を短くすることができる。温度降下時にはインバータでスクロール圧縮機への電源周波数を上げ、大きな能力で冷却しているため温度降下時間を50分に短縮できた(日立製作所の従来形は90分、標準形は60分)。

##### (3) 自動プログラム運転

表2 インバータ式恒温恒湿槽標準仕様表 インバータ式恒温恒湿槽の標準仕様表を示す。

項目	形式	恒温恒湿槽	
		EC-80MHV	MC-80MHHV
性能	温度 / 湿度 範囲	-40 ~ +100 °C / 30 ~ 98%RH	-40 ~ +150 °C / 30 ~ 98%RH
	温度 / 湿度 分布	±0.5 °C / ±5 %RH	±0.5 °C (-40 ~ +100 °C) ±1.0 °C (+101 ~ +150 °C) / ±5 %RH
	温度 上昇 時間	-40 ~ +100 °C まで40分以内	-40 ~ +150 °C まで60分以内
	温度 降下 時間	+20 ~ -40 °C まで50分以内	
外装	試験室・制御盤・機械室	シグナスホワイトレザートン仕上げ(マンセル記号4.4Y 7.7/1.1)	
寸法	幅 (mm)	1,000	1,000
	奥行き (mm)	800	800
	高さ (mm)	1,000	1,000
寸法	幅 (mm)	1,400	1,400
	奥行き (mm)	1,170	1,170
	高さ (mm)	1,750	1,750
構成機器	冷凍機 (kW)	3.0	3.0
	加熱器 (kW)	3.5	3.5
	加湿器 (kW)	3.6	3.6
	送風機 (W)	40	
温(湿)度ステッププログラム指示調節器	運転モード：定値 / ステッププログラム運転, ステップ数：640, 繰返し数：98および無限, 制御動作：時分割PID動作		
保安装置	漏電遮断器, ヒューズ, SSR保護ヒューズ, 電動機過負荷保護装置, 高圧遮断装置, 温度過昇防止装置, 空だき防止装置		
装備品	異常・警報表示灯, 状態表示灯, 操作スイッチ, 積算時間計, 外部警報端子, 給水ポンプ, 観測窓, 槽内灯, ケーブル孔, 給水タンク, タイムシグナル出力端子, 試料電源制御端子		
付属品	棚受, 棚板, ウィック, 取扱説明書, ブラシ, ランプ		
電源	交流三相200 V 50/60 Hz		
最大負荷電流 (A)	37	37	
製品質量 (kg)	480	480	

注：

1. 運転可能範囲は周囲温度 0 ~ 40 °C, 電源電圧 定格 ±10% 以内の場合である。
2. 性能は, (1)無負荷, 無試料 (2)電源電圧 定格 ±5 % 以内 (3)周囲温度 5 ~ 35 °C の場合のJTM規格に準拠した値を示す。ただし, (i)温度上昇時間, 温度降下時間は周囲温度 20 °C で加湿皿に水がない場合を示す。(ii)温度降下(上昇)時のこう配は, こう配指定時間が短い場合, 直接的コントロールのできないことがある。(iii)温度範囲下限値は周囲温度 10 ~ 30 °C でも到達可能である。

略語説明

PID (Proportional, Integrate, Differential Control)  
SSR (Solid State Relay)  
JTM (Testing Machinery Association of Japan)

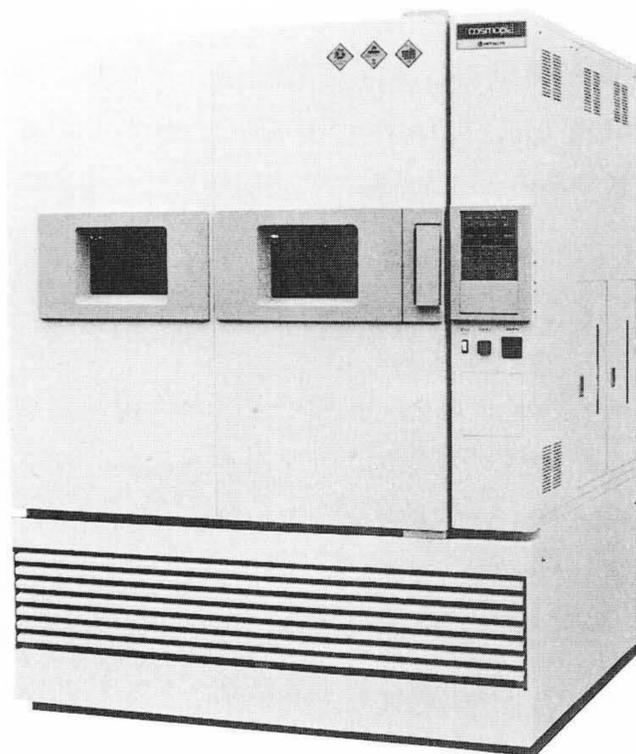


図4 インバータ式恒温恒湿槽の外観 インバータ式恒温恒湿槽(形式: EC-80MHV)の外観を示す。

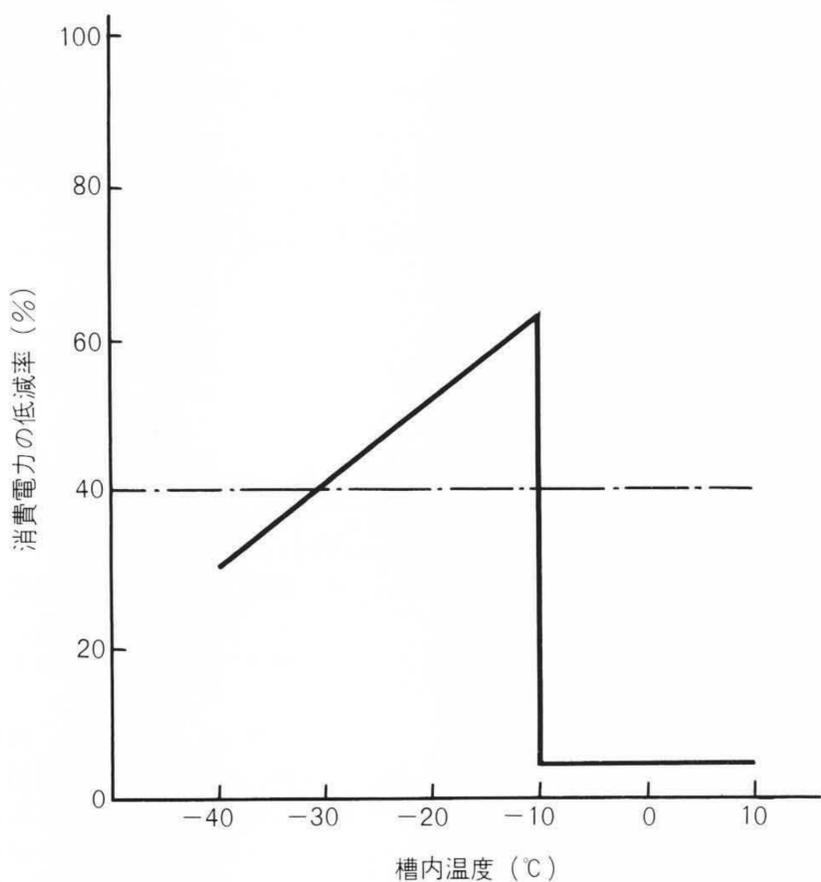


図5 省エネルギー効果 横軸に槽内温度, 縦軸に従来形に比べての消費電力の低減率を示す。

恒温恒湿槽では、要求される試験パターンに従って温湿度を変化させる必要がある。最大32の試験パターンが登録でき、代表的な試験規格13パターンがあらかじめ登録してあるので、希望する試験パターン番号を指定するだけで容易に試験パターンが運転できる。

(4) 曇らない観測窓

恒温恒湿槽内を観察するために扉に観測窓が設けられているが、この観測窓には曇りを防止する熱線入りの窓を採用し

た。これにより従来の煩わしいワイパの操作なしで槽内の観察ができる。

(5) 給水操作が簡単

従来、恒温恒湿槽上に設けたタンクにポンプを使用して、湿度調節に使用する水を給水していた。これに対して、カップラでワンタッチに取り外せる給水タンクを内蔵し、給水タンクを取り外して給水作業ができる方式を採用した。しかも給水タンクの容量は、10 lと軽く持ち運びが容易であり、最大水消費量でも約5日間は給水せずに連続運転ができる。

(6) インタフェースにも対応可能

インタフェースとしてGP-IB, RS-232C, RS-422をオプションで準備している。パーソナルコンピュータを介して他の計測器などと一体となったシステムを構築することができる。

6 省エネルギー対応形精密調温ユニット

再熱制御方式を、恒温恒湿室のうち精密加工などの加工室の温度制御を行う調温ユニットに適用した例として、省エネルギー対応形精密調温ユニットがある。これについて以下に述べる。

6.1 精密加工室などの温度制御

工作機械を設置する精密加工室や精密加工部品の計測室あるいは半導体部品の加工室では、精密加工部品の熱変形や設備機械、測定器の熱変位を防ぎ、ミクロン単位の部品精度を保証するために、作業空間を一定温度に保つことが必要である。

この作業空間の温度としては、表3に記す精密機械工場の温度条件<sup>4)</sup>あるいは表4に記す半導体製造プロセスの温度条件<sup>5)</sup>

表3 精密機械工場の温度条件<sup>4)</sup> 文献4)の抜粋を示す。

作業内容	温度(°C)
精密部品機械加工	24
精密測定および検査	24
精密ゲージ製造および検査	20~24
精密歯車駆動組立	22
歯車かみ合わせと特殊組立室	24~27
時計スプリング口径測定	24
精密部品調整	24~27
分光分析	24~27
測定室	25
研磨室	25

表4 半導体製造プロセスの温度条件<sup>5)</sup> 文献5)の抜粋を示す。

室名	温度(°C)
ホットプロセス室	20~23±0.1~1
エッチング室	20~23±1~2
拡散室	20~23±1~2
炉室	20~30
更衣室・前室	23±3

などから、温度制御範囲20~25℃、温度精度±1℃以内が要求される。従来は3章で述べた恒温恒湿槽と同様の制御方式を使用していた。

なお、超精密加工機や超LSIの製造プロセスでは、さらに精密な±0.05~0.1℃の温度精度が必要であるが、この場合は±1℃の温度精度の恒温室の中に、さらに局所的に超精密な温度室間を確保する方法を採用している。

### 6.2 概要と外観

省エネルギー対応形精密調温ユニットの仕様を表5に記し、外観を図6に、機器の構成を図7に示す。図7で精密加工室などの空気は正面中央の矢印から入り、蒸発器、再熱器を通り送風機で送風されて正面上方の矢印のように精密加工室へ戻る。この間に空気は蒸発器で冷却され、再熱器で所定の温度精度に加熱される。再熱器での加熱は圧縮機からの高温の冷媒を必要量だけ再熱器に与え、他は室外ユニットの凝縮器で室外に放熱する。これを精度よく行うために再熱器、凝縮器の冷媒出口に設けた冷媒流量制御弁をPID制御する。

これによって、現状の温湿度制御方式に対して加熱器が不要となり、加熱器での消費電力が不要となる。

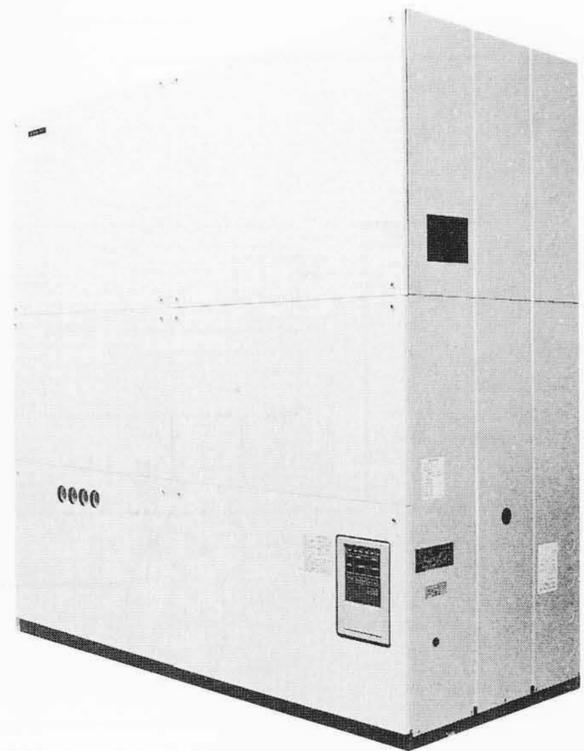


図6 省エネルギー対応形精密調温ユニットの外観 再熱制御方式を採用した省エネルギー対応形精密調温ユニットの外観を示す。

表5 省エネルギー対応形精密調温ユニット標準仕様表 再熱制御方式を採用した省エネルギー対応形精密調温ユニットの標準仕様表を示す。

項目(単位)		形式	EU-20C	EU-30C	
適応室外ユニット形式		—	RCR-10C×2台	RCR-16C×2台	
性能	温度範囲*	℃	(室内乾球温度)20~25		
	温度変動幅**	℃	(室内乾球温度)±1		
性能	冷却能力***	kW	8.60/9.53~43.0/47.7	13.3/14.7~66.3/73.3	
		(kcal/h)	(7,400/8,200~37,000/41,000)	(11,400/12,600~57,000/63,000)	
電気特性	消費電力	kW	18.4/21.5	28.3/33.3	
	運転電流	A	62.5/67.5	96.0/104.5	
	力率	%	85/92	85/92	
	始動電流 始動終了最大	A	269/243	415/370	
配管	冷媒	ガス配管	φ22.2×2(フランジ付き)	φ25.4×2(フランジ付き)	
		液配管	φ15.88×2(フレアナット付き)	φ19.05×2(フレアナット付き)	
	ドレン	—	PT 1/2 めす	—	
	エマージェンシードレン	—	PT 1/2 めす	—	
冷媒		—	フロン22		
室内ユニット	外形寸法(幅×奥行×高さ)		mm	1,700×750×(1,850+30)	2,000×(900+65)×(2,000+30)
	圧縮機	形式×台数	—	1001 FH <sub>4</sub> ×2	1500 FH <sub>4</sub> ×2
		出力	kW	7.5×2	10.8×2
	送風装置	送風機用電動機出力	kW	3.7	5.5
		風量	m <sup>3</sup> /min	195/216	260/286
		機外静圧	Pa(mmAq)	98/157(10/16)	98/176(10/20)
	空気吸込口(ダクト接続口)		—	正面	背面
	空気吹出口(ダクト接続口)		—	上面	上面(前面, 背面)
新鮮空気吸込口		—	側面	—	
製品質量		kg	570	900	
室外ユニット	外形寸法(幅×奥行×高さ)		mm	(940+56)×1,155×1,226	(940+56)×1,850×1,226
	送風機用電動機		kW	0.25×2	0.25×2×2
	製品質量		kg	110×2	170×2
電源		—	交流三相200V 50/60Hz		

注：\* 連続運転は、この表の範囲で使用のこと。なお、湿球温度は14~22.5℃の範囲で使用のこと。

\*\* 変動幅は、センサを取り付けた制御点での負荷変動のない場合の値(空気吸込口)

\*\*\* この表の冷却能力は、室内乾球温度20℃、湿球温度14℃、室外温度35℃、標準風量、冷媒配管長さ水平片道5mでの値

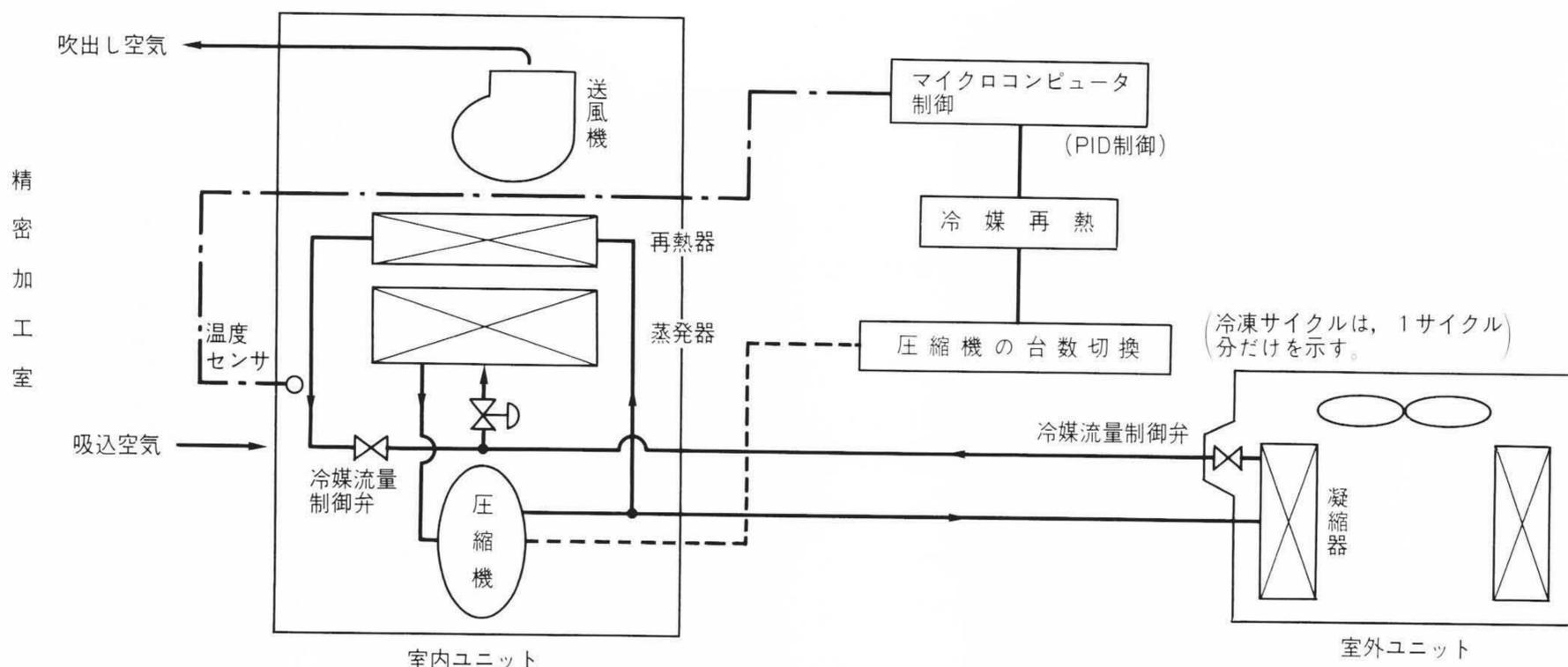


図7 省エネルギー対応形精密調温ユニットの機器構成 再熱制御方式の機器構成を概念的に示す。

表6 試算例 現状の温湿度制御方式と再熱制御方式の比較を示す。

		現状の温湿度制御方式	再熱制御方式
消費電力量	MWh/年 (J/年)	421 ( $1.52 \times 10^{12}$ )	210 ( $0.76 \times 10^{12}$ )
配電設備容量	kVA	110	60

注：1. 調温ユニット容量(22 kW機種)  
 2. 室内制御温度(1~5月, 10~12月……20℃)  
 (6~9月……23℃)  
 3. 恒温室大きさ(約幅24 m×奥行12 m×高さ4 m)  
 4. 運転状態(年間連続運転)

### 6.3 特長

省エネルギー対応形精密調温ユニットの特長を以下に述べる。

(1) 省エネルギー50%を実現(当社比)

6.2節で述べた方式によって、加熱器での消費電力を不要とした。表6に記す試算例のとおり約50%の省エネルギーを実現した。

(2) 配電設備容量を50%に低減(当社比)

加熱器を不要としたことで、表6に記す試算例のとおり約50%に配電設備容量を低減した。

(3) 制御盤不要

現状の温湿度制御方式では、加熱器の制御のためサイリスタまたはステップコントローラ、電磁開閉器などを収容するための制御盤を別途に設けていたが、このユニットの場合、再熱器への冷媒制御の機能は本体に組み込み済みのため不要である。一次側の漏電遮断器だけを準備すればよい。

(4) クリーンルームへの適用

送風装置の機外静圧を235~392 Pa {24~40 mmAq} まで

オプションで追加できるため、HEPAフィルタを組み込んだフィルタユニットとの組み合わせによってクリーンルームへの対応ができる。

(5) 室温を20~25℃, ±1℃と高精度に制御

制御点(調温ユニット空気吸込口)での温度制御精度を±1℃以内に高精度に制御できる(負荷変動のない場合)。

## 7 結 言

以上、温湿度に関して高精度に制御する場合のエネルギーに関する問題点とその改善方法2例について述べた。これらはそれぞれ温度変化のある場合、および温度変化が小さく負荷変動も小さい場合に適した方法である。この方法を適用することにより、インバータ式恒温恒湿槽で約40%、省エネルギー対応形精密調温ユニットで約50%もの省エネルギーを実現した。今後さらに個々の用途に対して最も適合した方式を検討し、ますます高まる省エネルギーのニーズに対応していく考えである。

### 参考文献

- 1) IEC: Publication 68-2-1 Basic Environmental Testing Procedures Part 2: Tests, Tests A: Cold(1974)
- 2) IEC: Publication 68-2-2 Basic Environmental Testing Procedures Part 2: Tests, Tests B: Dry Heat(1974)
- 3) IEC: Publication 68-2-3 Basic Environmental Testing Procedures Part 2: Tests, Tests Ca: Damp Heat, Steady State(1969)
- 4) 社団法人日本冷凍協会: 冷凍空調便覧応用編, 改訂第3版, II-193(1971)
- 5) 中島: IC工場のクリーンルーム設備, 日立評論, 64, 2, 111~114(昭57-2)