

## 針對具高熱負荷、高粒子源之潔淨室的創新回風系統-風機乾盤管冷卻機組應用

### Application of an innovative FDCU local exhaust system for cleanroom with high heat and particle loadings

張振光、胡石政<sup>1\*</sup>、林迪、林成彥、陳彥志<sup>1</sup> 台北科大/潔淨技術中心 \*聯絡人：[schu.ntut@gmail.com](mailto:schu.ntut@gmail.com)

#### 摘要

潔淨室為產生均一化的溫度分佈和稀釋污染源的生產環境，除非是特別需求，大多採用非單一方向流潔淨室系統，但機台本身產生的熱能及製造生產所產生的微粒，因熱浮力上升而與FFU 向下送的氣流衝突擴散使製程污染威脅性提升。為解決此問題，本研究開發獨特的在地化的氣流分佈系統(Local Balance)，來維持潔淨室內清淨度且有效的處理機台所產生的熱負荷，此獨特的在地化的氣流分佈系統有別於傳統一般業界習以為常的設計，將風車 (Fan) 與乾盤管(Dry Coil)結合，吾人稱之 FDCU (Fan Dry Coil Unit)，配置於機台上方的天花板上，FDCU已被證實可有效將機台所產出的污染物排除、有效移除熱負荷，提供高發熱及高產塵機台一個良好的回風路徑。關鍵字：FDCU、廠房可用面積、供風層壓力變化、熱移除

#### Abstract

Air distribution systems in cleanroom are important for providing a clean and comfortable environment for process tools, as well as operators. The mixing air distribution systems used in existing high heat-load/particle source cleanrooms aims to create a uniform air temperature distribution and dilute contaminants in the whole cleanroom, in which the downward cold supply air from filter encounter from the upward air current due to the heat-load from process tools. To solve the dilemma, this study proposed a unique local air distribution system that can significantly improve air cleanliness level and remove dissipated load efficiently.

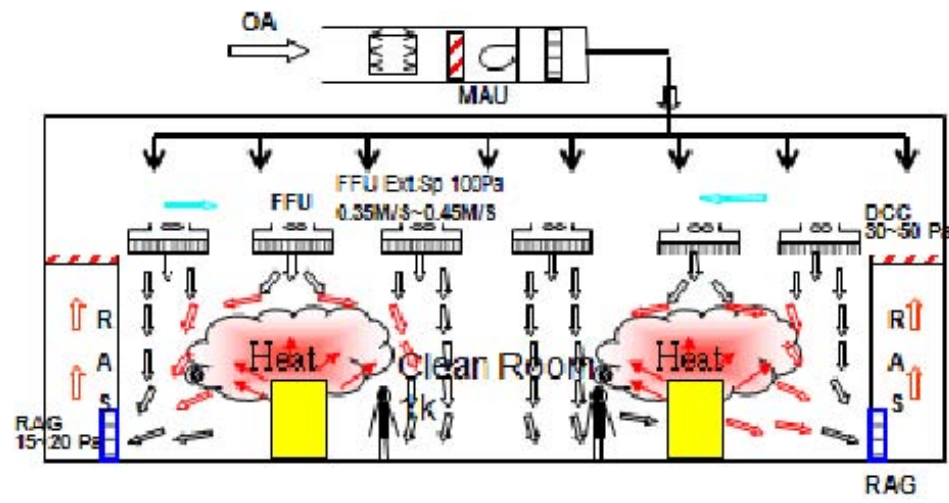


圖 1 牆回風潔淨室

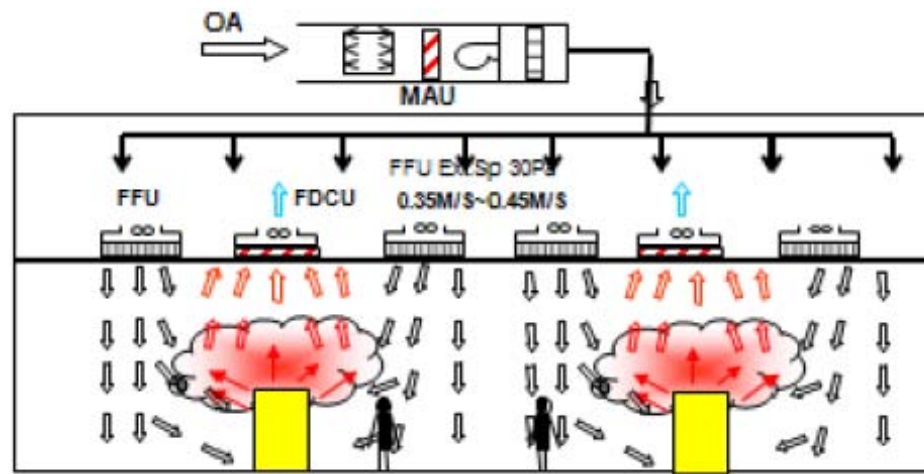


圖 2 FDCU回風潔淨室

介紹

潔淨廠房係由多間的潔淨室所組成，而潔淨室普遍應用在諸如電子，醫療及製藥等需要淨化空氣空間之工業上，在潔淨室的淨化空間內，空氣中的灰塵或飄浮粒子被減少到某種所需要的淨化程度以保護工件或儀器不被灰塵所污染。一般業界習以為常的非單一方向流潔淨室(如圖1)所示，說明如下：室外空氣經由 MAU(外氣空調箱)處理後提供潔淨室內正壓及穩定的露點溫度，再經由 FFU 搭配HEPA(高效率過濾網)或ULPA(超高效過濾網)吹出提供潔淨氣流並於潔淨室內作用，最後由 DCC(乾盤管)移除顯熱。此種回風安排是沿習傳統上送側回的醫院手術房氣流分佈理念，即氣流的分佈儘量向下(即污染粒子的重力沉降方向)，唯對於高科技電子業考慮的污染粒子其粒徑通常是小於或等於 0.3微米，甚至奈米級數(小於或等於0.1微米)，此等大小的粒子，其重力沉降速度是非常小的，

控制此等微粒移動的機制為室內氣流的亂流擴散(turbulent diffusion)。因此維持向下氣流不必是必須的設計。日本東京大學的村上教授[1,2]早在1990年即提出FlowUnit的概念於潔淨室氣流設計，指出只要將污染源包覆於由出/回口形成的Flow Unit內，在相同的送風量下，上送上回的氣流設計，其排污能力可比擬上送側回的氣流設計，而後續的研究亦支持其論點[3,4]。村上教授的研究著重於等溫流場/濃度場，未考慮溫度(即熱負荷)的影響和上送上回氣流設計對於建築和節能的潛在利益。

從建築和耗能的觀點而言，一般潔淨廠房業界習以為常的設計有如下之缺點：

1. FFU提供的動力須克服乾盤管、回風百葉及回風管道的壓損，故習用之 FFU須維持較高的靜壓(約9mmH<sub>2</sub>O)，如此不但增加FFU運轉時的耗電費及噪音，更嚴重的是會造成潔淨室內天花板上氣室的氣壓與外界壓力落差很大，大約 -85Pa，如此一來未經 MAU處理的外氣滲入到潔淨室內，易造成恆溫濕度的失控、灰塵及化合物的侵入、潔淨室內生產良率的降低及耗能的增加，如圖3所示。
2. FFU提供清淨且溫度較低的空氣約18°C左右吹向生產機台，而機台周圍的發熱約在 26°C~30°C，如此一來自然的熱浮力上昇與FFU向下送的冷風且產生交互的影響造成混合的損失，因此離地板上90~150公分處的溫度非常不平均，如圖4所示。
3. 機台產生的熱經由設置在潔淨室生產空間兩側且安裝乾盤管的回風區，來達到處理室內發熱的情況，也因此就必須減少生產廠房的面積，如圖5。

本研究將說明新開發之風機乾盤管機組(FDCU)，並針對上述問題提出適當的解決方法。

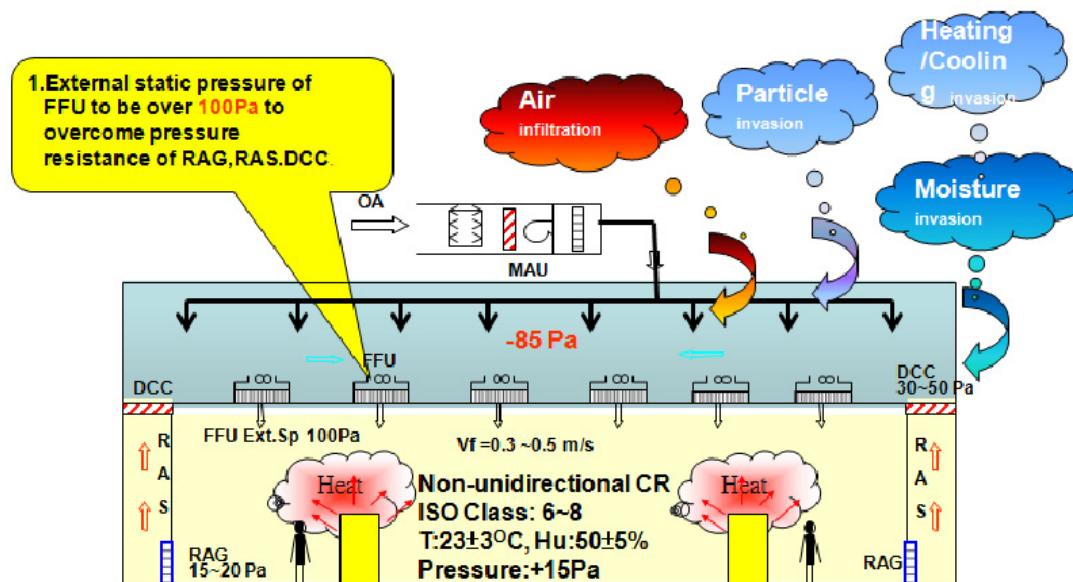


圖3 牆回風負壓嚴重，外氣及污染物易進入供風層

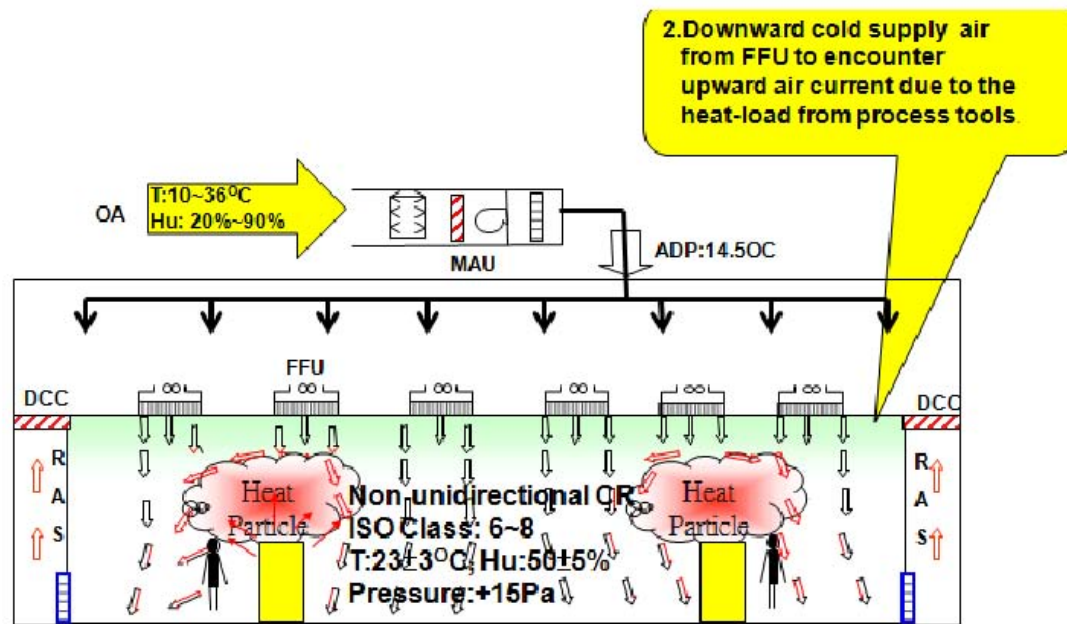


圖4 牆回風送風與機台熱氣流衝突向機台四周擴散

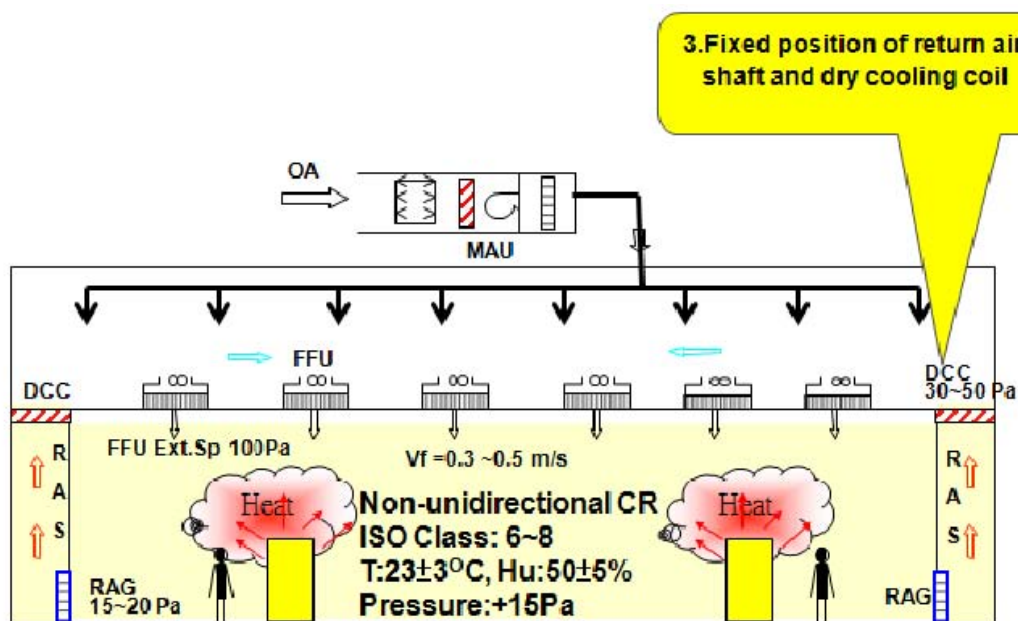


圖5 牆回風使廠房可使用面積受到侷限

### FDCU應用動機

前一節所提出的問題是潔淨廠房長期面對的問題，利用FDCU的創新設計可解決上述的問題且運用的範圍非常廣，尤其是高顯熱及產塵的製程設備，例如 oven區、IC封裝及測試、壓出成型區以及須要大量人員組裝的光電廠 LCM生產線及最近相當熱門的太陽

能晶片廠。為改善上述一般業界習以為常設計之缺點，本研究提出之創新設計「潔淨室用風機乾盤管冷卻機組」，其系統為將乾盤管冷卻機組與風機結合，並安置於天花板上如圖6所示。FDCU 結構設計圖如圖7所示。FDCU之風機頻率，可以利用 FDCU變頻器調節，其可調頻率為0Hz至60Hz，可利用調整風機頻率，控制 FDCU上方排風風機之排氣量，亦可控制潔淨室上方供風層之壓力，以達到所需之供風層壓力，詳細關於FDCU機組內部構造將於下節說明。



圖6 FDCU外觀實體圖

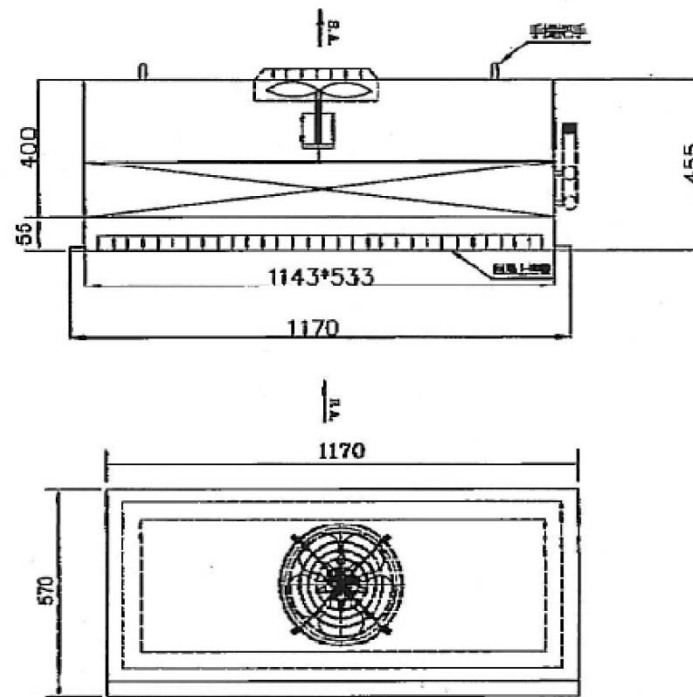


圖7 FDCU設計結構圖

**風機乾盤管機組(Fan Dry Coil Unit, FDCU)**

FDCU詳細構造如圖 8所示。整體尺寸長寬高分別為 117cm×57cm×45cm，入風口設有格匝，空氣流經格匝將與乾盤管進行熱交換作用，乾盤管選用銅管為紫銅管，管徑為  $\Phi 3/4''$ ，管排數 4排，每英寸內平均分配 12道鰭片，管內傳輸介質為冰水，熱交換形式為逆向流，乾盤管移除顯熱氣流後將回至供風層。詳細有關於 FDCU冷卻盤管資訊陳列於表 1。

關於 FDCU風車組係採軸流風車，風扇直徑為 45cm，最大風量為  $4000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，並可由變頻馬達控制轉速，達到轉速越高風量越大之需求，供風層負壓程度也可藉由變頻風扇調整，此外 FDCU機組委外做過風洞試驗並測試其性能，依照 AMCA210-85以標準風道測試機組實體，並繪製其特性曲線如圖 9所示，可發現在流量最小時風機有最高的靜壓 47Pa；機外靜壓最小時風量約  $54 \text{ m}^3/\text{min}$ 。詳細有關於 FDCU風車組資訊陳列於表 1。

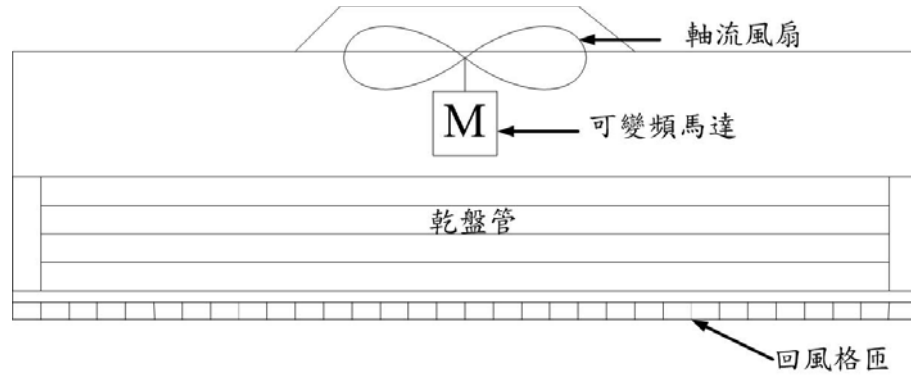
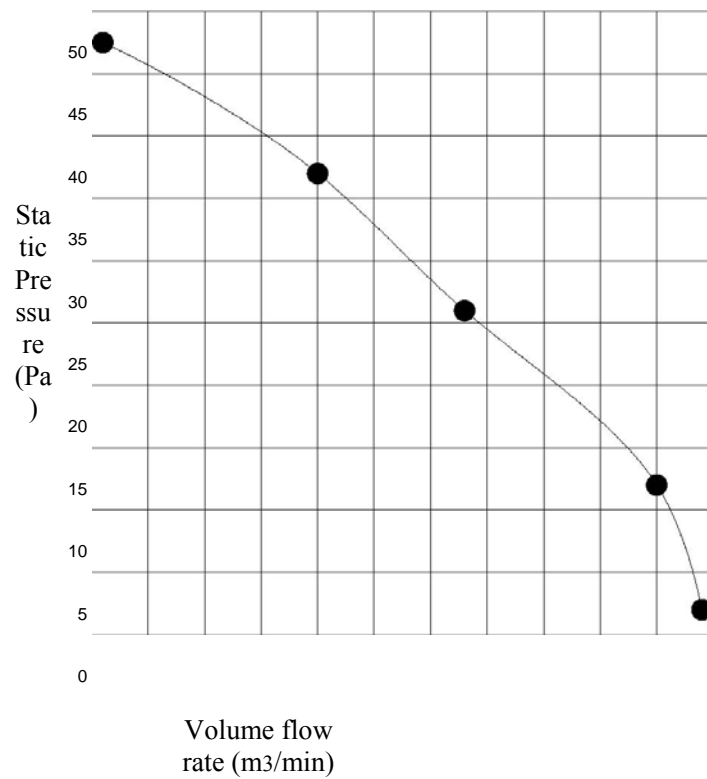


圖 8 FDCU設備說明



FDCU性能曲線

表1 FDCU詳細規格表

機型		FDCU
冷卻盤管	表面積	6.56ft <sup>2</sup>
	管徑	Φ3/4"
	排數*片數	Φ 3/8" 4R*12 F
	支數*有效長	21T*1143L
風車組	尺寸	Φ450
	額定風量	4000 m <sup>3</sup> /hr
	靜壓	50Pa
	馬力	3Φ-V-60Hz-W-6P

FDCU應用特色

本研究提出之創新設計和業界習以為常之設計(existing system)的比較如下：

- 1 裝設於天花板上之風機乾盤管機組，因已配置風機，故原設置之風機濾網機組所需機外靜壓可有效降低(由100Pa降至30 Pa)，進而使得天花板氣室內之負壓值降低至接近外氣壓力(由-85Pa降至-15 Pa)，避免過多未經處理的外氣滲入天花板氣室內，影響潔淨室的恆溫恆濕狀態(詳如圖10)。
- 2 由天花板氣室滲入之冷卻負荷量及濕氣滲入量亦分別由16.3 USRT 降至6.9USRT 及由18.5 kg/h 降至7.8 kg/h(詳如圖11) 本創新的系統可精確及高效率的處理發熱及發塵的機台，且可維持一較低之室內平均溫度，因此可選用較小之冰水機，從而降低能源的損耗。
- 3 此一系統將風機乾盤管冷卻機組改置於無塵室天花板上，省去無塵室兩側之回風區(如圖12)，以增加潔淨室使用面積。
- 4 此一系統可依無塵室內設備之發熱位置，機動調整風機乾盤管組位置，有效解決設備發熱問題(如圖13)。

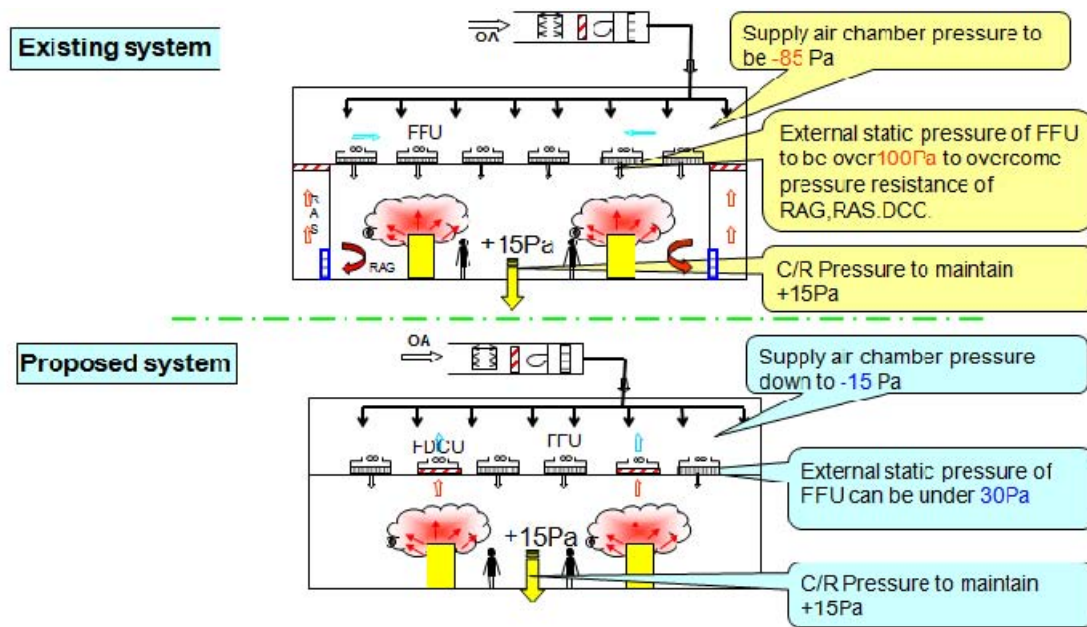


圖10 FDCU應用於潔淨室可大幅減少FFU所需提供靜壓

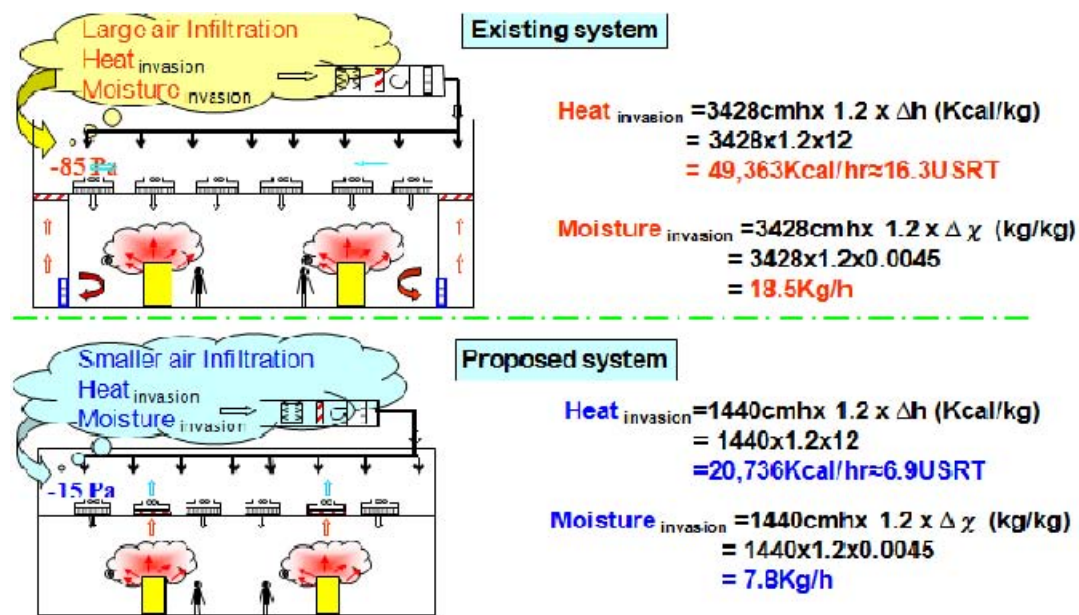


圖11 FDCU應用於潔淨室可減少外氣滲入所造成影響

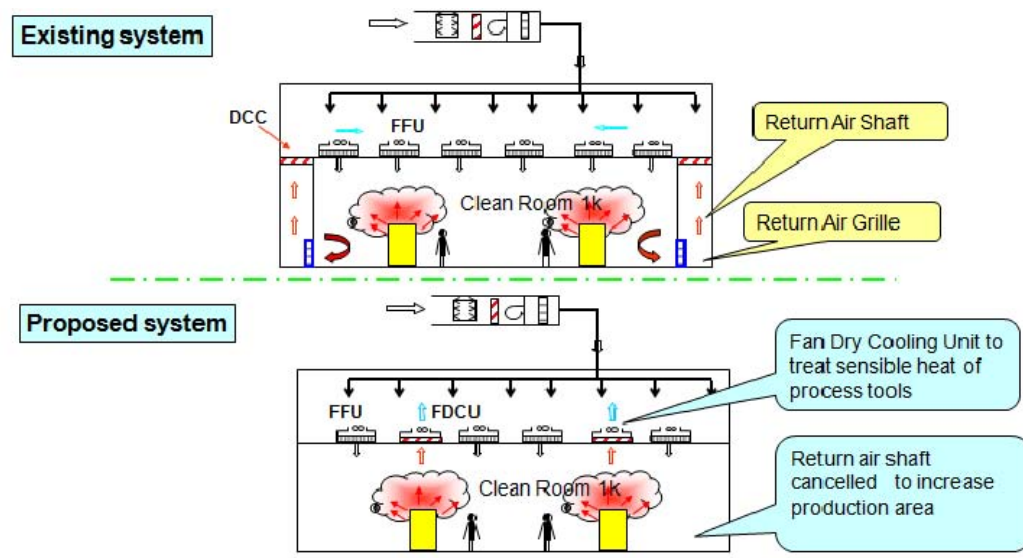


圖12 FDCU應用於潔淨室可增加使用面積

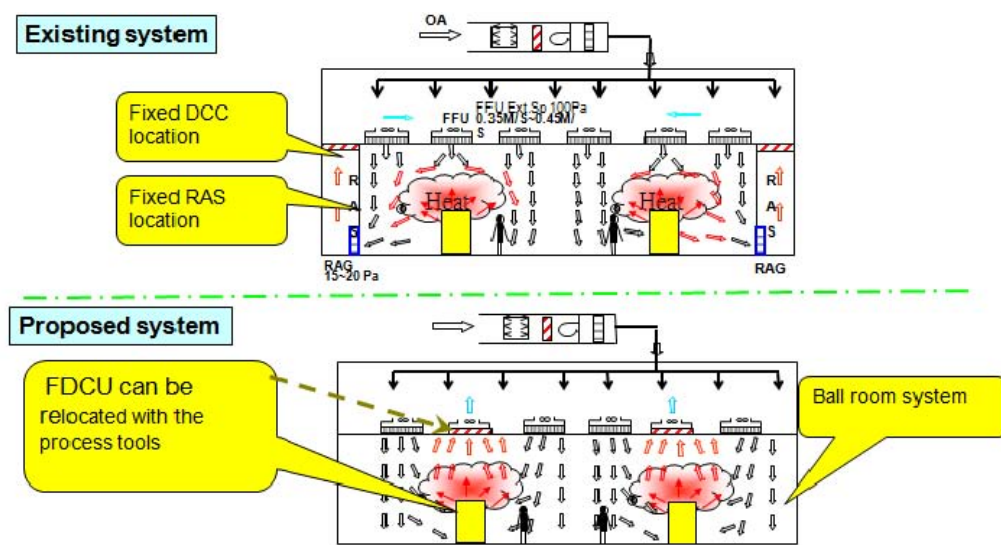


圖13 FDCU應用於潔淨室可快速移除空間中熱負載

本創新系統已展示其在建築及節能上之特色，且已申得國內專利，以實體在良好控制的潔淨環控室內建立系統功能資料庫，目前已對於室內濃度、流場特性、溫度場特徵加以分析(詳見圖14、15)，所得到結果皆驗證FDCU系統能有效達成預設目標。

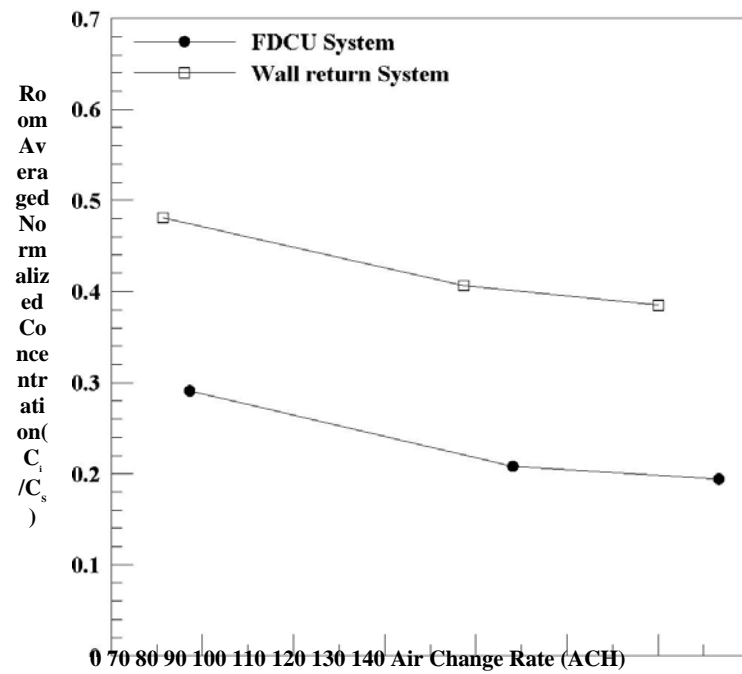
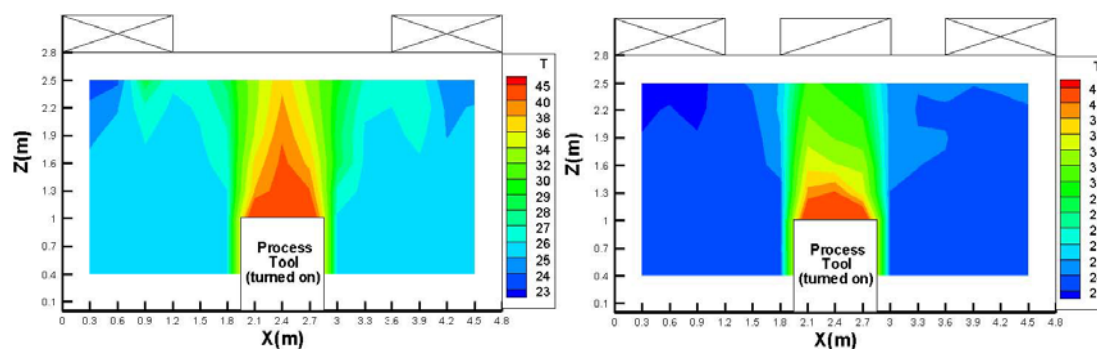


圖14 FDCU回風較牆回風系統能有效降低室內濃度33%[5]



傳統牆回風系統 FDCU回風系統  
圖 製程機台運作時FDCU回風系統較牆  
15 回風系統能有效移除室內熱負載 [6]  
結  
論

本創新設計曾在美國冷凍空調師協會(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE))及日本空氣清淨協會(Japan Air Cleaning Association (JACA))發表得到好評與共鳴，並有廠商洽詢合作意願[10,11]。

此外吾人曾針對國內9座半導體廠商之能源消耗作研究，顯示國內9座半導體廠商之平均單位潔淨室生產面積電力消耗為2.18 kW/m<sup>2</sup> [5,6]，美國1997年的資料為1.86~2.26 kW/m<sup>2</sup> [7,8]，而日本一般約為1.2~1.5 kW/m<sup>2</sup> [9]。以上數據顯示國內半導體廠商之潔淨室生產面積電力消耗確實較美日為高。較高的通風量及陳舊的設計與管理理念為可能之原

因，經由本系統功能資料庫之建立，期望推廣至全國業界，對潔淨室生產面積電力消耗，建設成本，以及空間的利用都會有非常重大之影響。

針對具高熱負荷、高粒子源之潔淨室，此機組可自由應用於潔淨室高產塵、高熱負載機台上方，達到快速移除污染物及降低熱源擴散至全場的優勢，此元件開發提升潔淨室在實務應用上靈活度，提供使用者一個新的選擇。

#### 參考文獻

- [1] Murakami, S., Kato, S., and Nagano, S. (1992). "Numerical Study on Diffusion in a Room with a Locally Balanced Supply-exhaust Airflow Rate System," ASHRAE Transactions, pp. 218-238.
- [2] Murakami, S., Kato, S., and Suyama, Y. (1989). "Numerical Study of Diffusion Field as Affected by Arrangement of Supply and Exhaust Openings in Conventional Flow-type Clean Room," ASHRAE Transactions, Vol.95, part 2, pp. 113-127.
- [3] Hu, S-C and Tung, Y. C. Performance assessment for locally balanced and wall-return turbulent clean rooms by the Stochastic Particle Tracking Model, International Journal on Architectural Science, Vol. 3, Number 4, 1, 2002.
- [4] Shimada, M., Okuyama, K., Okazaki, S., Asai, T., Matsukura, M., and Ishizu, Y. (1996). "Numerical Simulation and Experiment on the Transport of Fine Particles in a Ventilated Room," Aerosol Science and Technology, Vol. 25, pp.242-255.
- [5] 林成彥，非單向流型潔淨室之室內懸浮微粒濃度與耗能特性分析，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士班碩士論文，民98。
- [6] 陳彥志，不同回風方式對潔淨室流場及溫度分佈影響，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士班碩士論文，民99。
- [7] Williamson, M. C. Energy efficiency in semiconductor manufacturing: a tool for cost savings and pollution prevention, Semiconductor Fabtech – 8th edition 1999.
- [8] Naughton, P. Energy Challenges in Meeting the International Roadmap for Semiconductors, 2003 TX. USA.
- [9] Chang, A. Hu, S-C. Toda, K. and Lin, D. (2008) Novel air distribution systems for cleanrooms with high heat-load and high particle sources. Seminar session in ASHRAE winter meeting, New York City USA. January 21, 2008.
- [10] Chang, A. Hu, S-C. Toda, K. and Lin, D. (2008) A novel air recirculation system for cleanrooms with high heat-load and Airborne Molecular Contaminant (AMC) sources. Proceedings of the 25th annual technical meeting of Japan Air Cleaning Technology Association (JACA). Tokyo Japan, April 17-18, 2008.