
2012新竹科學園區節能講習講座教育訓練研習會
主辦單位：科學工業園區管理局
執行單位：承研能源科技股份有限公司

第二場 潔淨室系統節能概念與實務應用

胡石政 博士
台北科技大學能源與冷凍空調工程系教授
潔淨技術研發中心主任

Tel:02-27712171~3588 Cellphone:0928300329
email:schu.ntut@gmail.com
<http://www.ntut.edu.tw/~f10870>

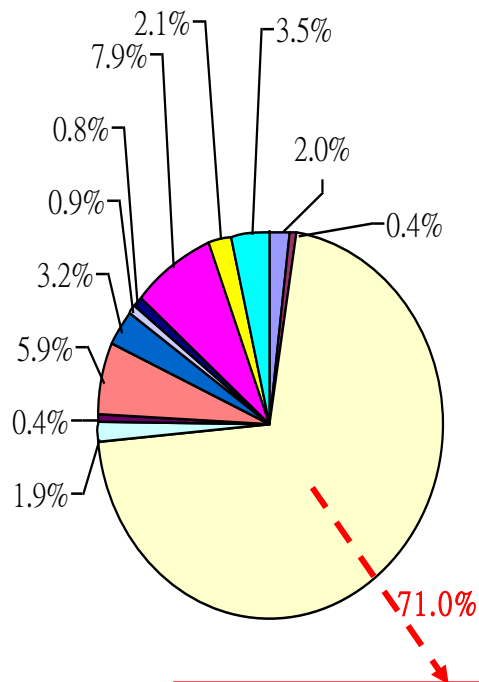
內容大綱

1. 各國潔淨室節能技術比較介紹 (40 mins)
2. 潔淨度指標介紹 (30 mins)
3. FDCU原理及節能應用 (30 mins)
4. 潔淨室節能案例實務介紹 (40 mins)

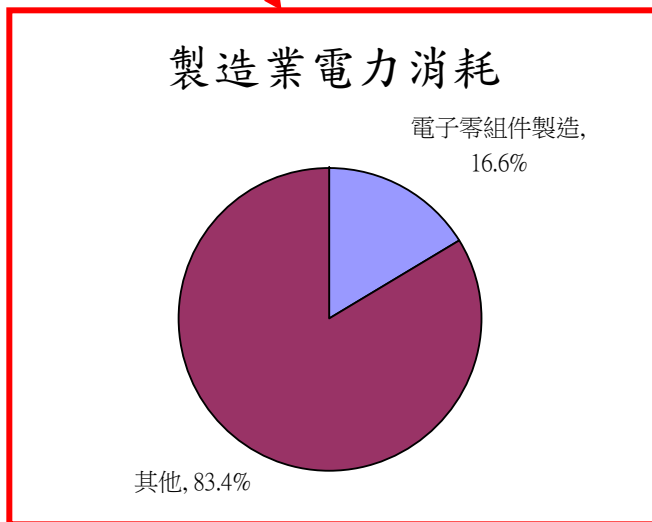
1. 各國潔淨室節能技術比較介紹

- 「高科技產業」為我國重要產業，而電子業（半導體、面板）為高耗能產業
- 「高科技產業」中屬於「消極性」的投入亦即「生產成本」；因此對生產者而言消耗是越少越好以節省成本
- 製造業電力消耗占71%，電子零組件製造業消耗電力占總電力16.6%

96全國能源消耗



- 農、林、漁、牧業
- 礦業及土石採取業
- 製造業
- 水、電、燃氣業
- 營造業
- 批發、零售及餐飲業
- 運輸、倉儲及通信業
- 金融、保險及不動產業
- 工商服務業
- 社會服務及個人服務業
- 公共行政業
- 其他不能歸類之行業



- 台灣地區電子工業企業所有人要的经营型態為代工大量生產，是故如何降低製造成本，是經營團隊與廣大投資者所關心的課題
- SEMATECH便進行相關的半導體工業耗能研究，並根據半導體制程未來的發展趨勢，訂定了相關的進程圖(Roadmap)，使未來在半導體製造之耗能合乎環保及降低成本

前言(續)

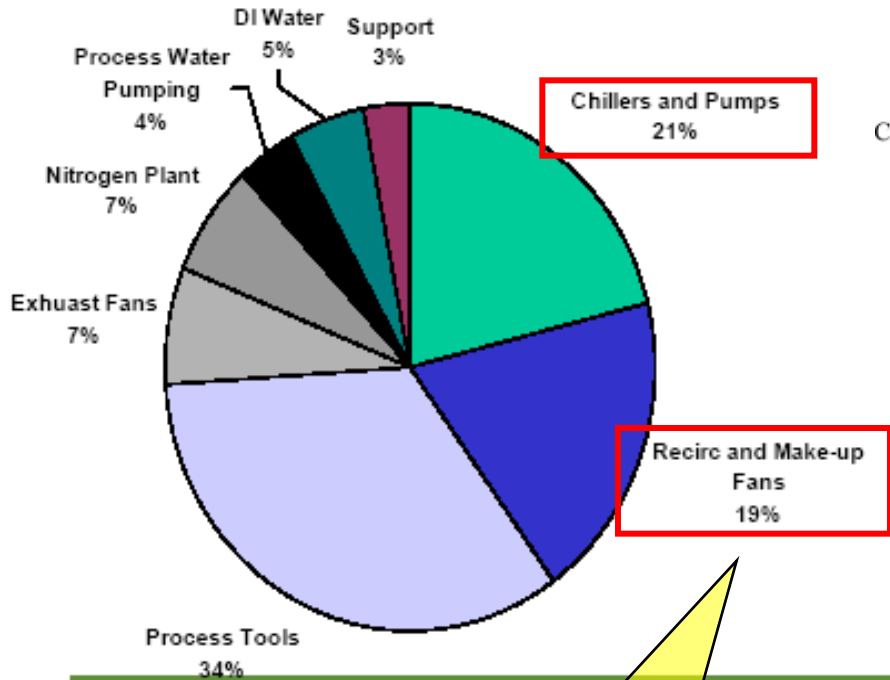
- 自2003年以後之七年內，晶圓尺寸將不像上世紀末，晶圓尺寸在短短十年內由125mm飛躍成長為300mm等級
- 未來潔淨廠房尺寸需求將不像過去有著驚人的成長，連帶的製程設備與周邊的廠務設施需求與發展也逐漸的趨向標準化

半導體設設施耗能指標

<i>Year of Production</i>	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	<i>DRIVER</i>
<i>Technology Node</i>		hp90			hp65			
<i>Dram ½ Pitch (nm)</i>	100	90	80	70	65	57	50	
<i>Chemicals, Materials, and Equipment Management Technology Requirements</i>								
<i>Resource Conservation Technology Requirements</i>								
<i>Energy Consumption</i>								<i>Sustainable growth and cost</i>
Total Fab tools (KWh/cm ²)	0.5–0.7		0.4–0.5		0.3–0.4			
Total Fab support systems (kWh/cm ²)	0.5–0.7		0.4–0.5		0.3–0.4			
Tool energy usage per wafer pass (300mm versus 200mm); baseline 1999	1.5		1					

電子業耗能指標-1

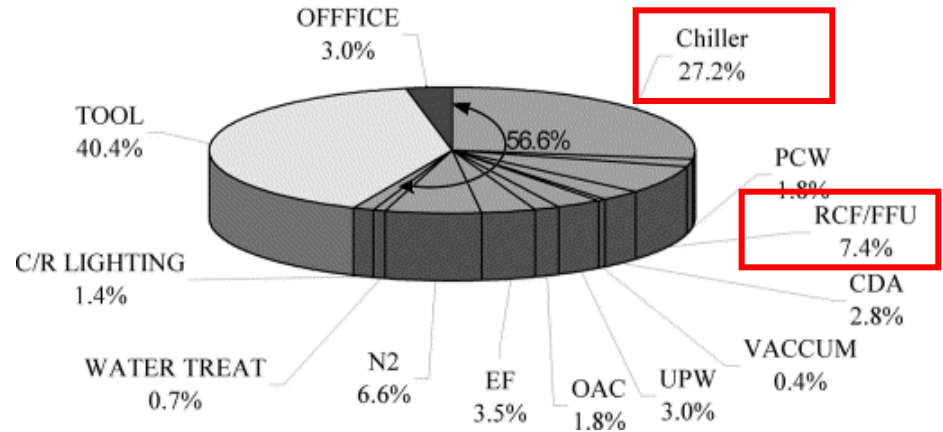
Cleanroom Energy Use



Source: Xu et al. 2002. Lawrence Berkeley National Laboratory

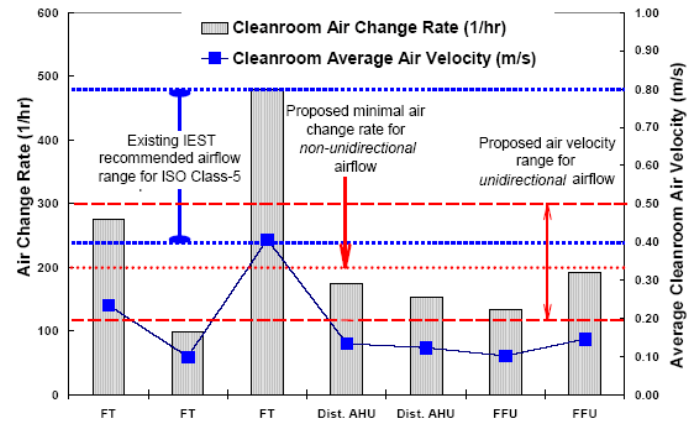
其空調的耗能佔全體的總體能源的35%~45%

Average Fab Electric Load=348,905 kWh/Day



Prof: SC Hu 研究資料

Recirculation Airflow



In-situ ISO Class 5 cleanroom air speeds and air change rates

Source: Xu 2004, Journal of the IEST

設施系統的節能

- 一般提到的廠務設備，包含了潔淨室、外氣空調箱、冰水主機、冷卻水塔、超純水供應系統(UPW)、潔淨壓縮空氣系統(CDA)、製程排氣系統、氣體及化學品供應系統、物料處理系統、大宗氣體制造廠以及照明等設備的統稱
- 廠務系統的耗能即占了六成的耗電量，故全廠節能若由此著手便能發揮立竿見影之效

能源換算係數一覽表 (Energy Conversion Factor, ECF)

項目	前工程	備註
設備發熱 (kW / kW*)	0.43	FFU方式
	-	Axial Fan方式
OA處理 (kW / m ³)	0.0032	
排氣處理 (kW / m ³)	0.0040、0.0012 0.0038、0.0070	一般排氣、溶劑排氣 酸氣排氣、氨氣排氣
製程冷卻水 (kW / m ³)	1.48	冷凍機方式
壓縮空氣 (kW / m ³)	0.145	供給壓力
純水 (kW / m ³)	10.4	假設造水電力 =10 [kWh/m ³]
氨氣設備 (kW / m ³)	0.122	

2. 潔淨度指標介紹

Federal Standard 209 D class limits

Class	Particles / ft ³				
	≥ 0.1 μm	≥ 0.2 μm	≥ 0.3 μm	≥ 0.5 μm	≥ 5.0 μm
1	35	7.5	3	1	NA
10	350	75	30	10	NA
100	NA	750	300	100	NA
1,000	NA	NA	NA	1,000	7
10,000	NA	NA	NA	10,000	70
100,000	NA	NA	NA	100,000	700

ISO Standard – 14644-1

The ISO classification is based on the following equation:

$$C_n = 10^N \times \left[\frac{0.1}{D} \right]^{2.08}$$

where:

C_n is the maximum permitted concentration (in particles/m³ of air) of airborne particles that are equal to, or larger, than the considered particle size.

C_n is rounded to the nearest whole number, using no more than three significant figures.

N is the ISO classification number, which shall not exceed the value of 9. Intermediate ISO classification numbers may be specified, with 0.1 the smallest permitted increment of N .

D is the considered particle size in μm .

0.1 is a constant with a dimension of μm .

ISO Standard – 14644-1

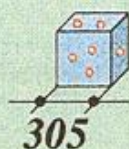
Selected ISO 14644-1 airborne particulate cleanliness classes for cleanrooms and clean zones

ISO Classification number	Maximum concentration limits (particles/m ³ of air) for particles equal to and larger than the considered sizes shown below					
	≥0.1µm	≥0.2µm	≥0.3µm	≥0.5µm	≥1µm	≥5.0µm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Class 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Class 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Class 7				352 000	83 200	2 930
ISO Class 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Class 9				35 200 000	8 320 000	293 000

1. クリーンルームの基礎知識 清浄度の表示

従来 (Fed.std.209D)

$$1 \text{ cf} = 0.028 \text{ m}^3$$



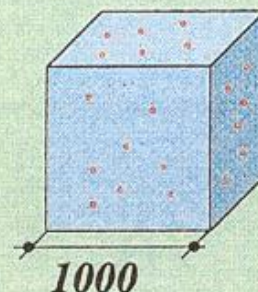
1 feet=30.5cm

1cf中の粒子径**0.5 μm**以上の
粒子の個数でクラス分け

早見表

今後 (ISO)

$$1 \text{ m}^3$$



1m³中の粒子径**0.1 μm**以上の
粒子の個数でクラス分け

10³ 個/m³→クラス**3** (べき乗表示)

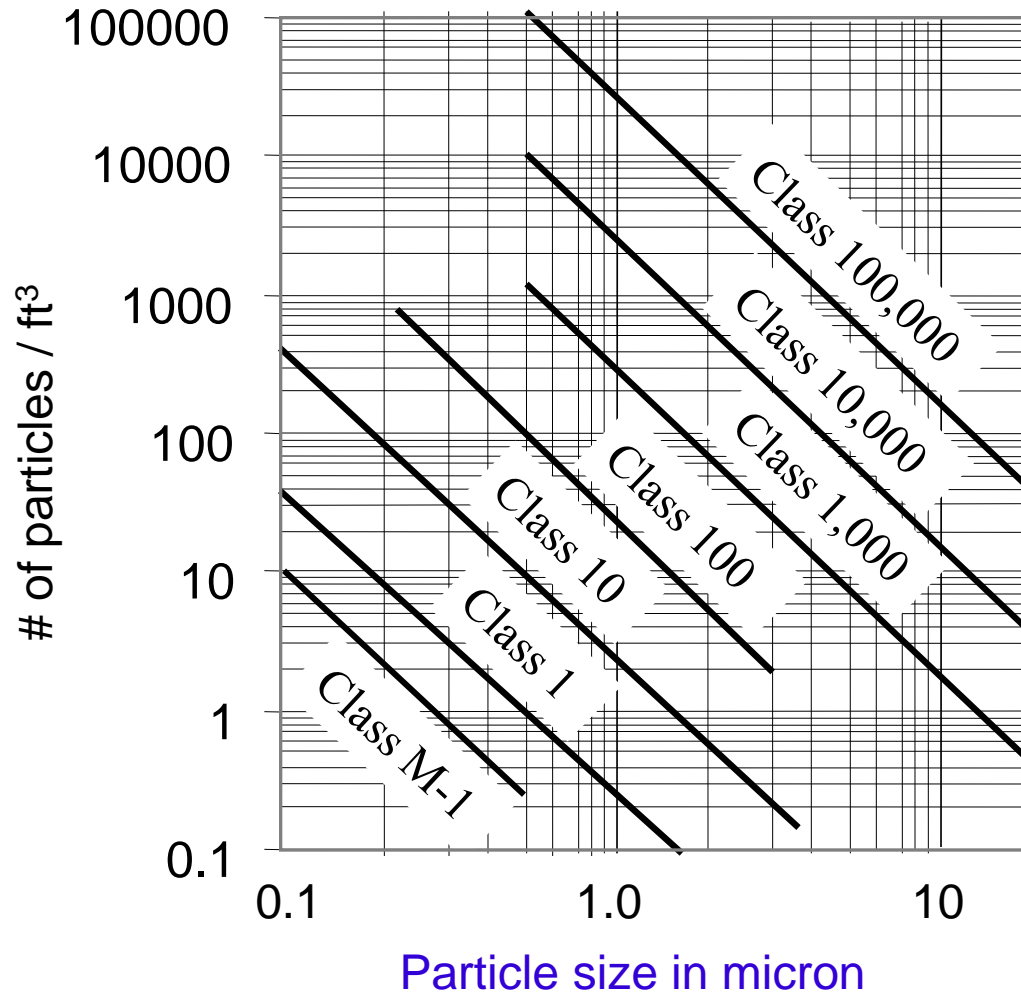
クラス	10	→	クラス	4
クラス	100		クラス	5
クラス	1,000		クラス	6
クラス	10,000		クラス	7

ISO Standard – 14644-1

Comparison between selected equivalent classes of FS 209 and ISO 14644-1

ISO 14644-1 Classes	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
FS 209 Classes	Class 1	Class 10	Class 100	Class 1000	Class 10 000	Class 6 100 000

Cleanroom Classes



Manufacture of sterile medicinal products

	Maximum permitted number of particles per m ³ equal to or greater than the tabulated size			
	At rest		In operation	
Grade	0.5 µm	5.0µm	0.5 µm	5.0µm
A	3 520	20	3 520	20
B	3 520	29	352 000	2 900
C	352 000	2 900	3 520 000	29 000
D	3 520 000	29 000	Not defined	Not defined

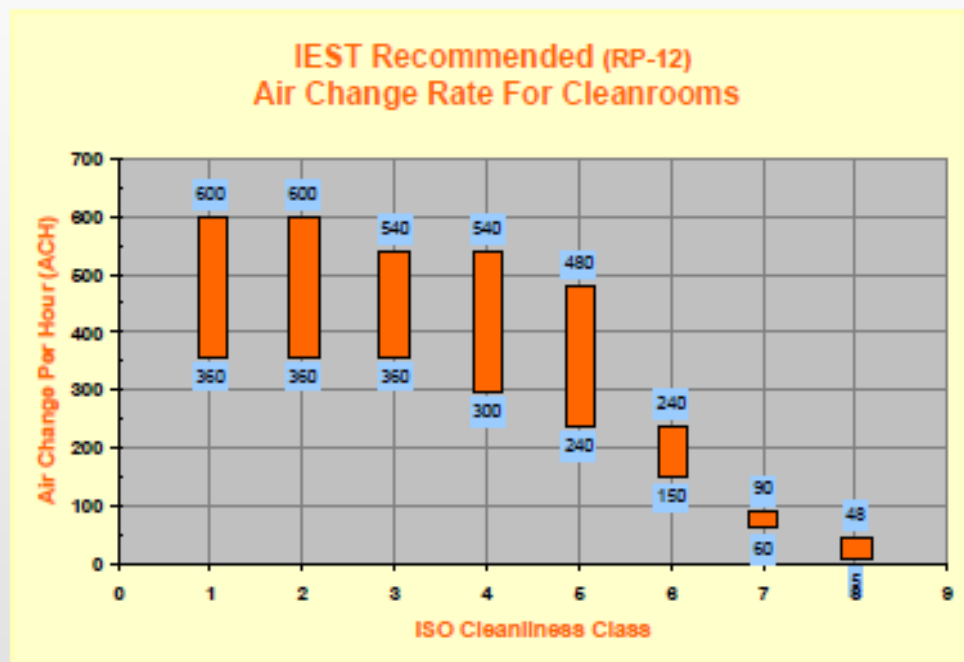
Microbiological monitoring of clean areas during operation

	Recommended limits for microbial contamination (a)			
Grade	air sample cfu/m ³	settle plates (diameter 90 mm) cfu/4 hours (b)	contact plates (diameter 55 mm) cfu/plate	glove print 5 fingers cfu/glove
A	< 1	< 1	< 1	< 1
B	10	5	5	5
C	100	50	25	-
D	200	100	50	-

Cleanroom Air Change Rate- Existing Guidelines

High volume airflows have been utilized to meet FS-209 standard, and IEST (RP) for decades

Classification		Air Change Per Hour Range
ISO Class	FS-209 Class	
8	100,000	5 – 48
7	10,000	60 – 90
6	1,000	150 – 240
5	100	240 – 480
4	10	300 – 540
3	1	360 – 540
2		360 – 600
1		



IEST Recommended Practices RP-12

This practice was based on old experience, in which air change rates were arbitrarily selected Solely based on room cleanliness classes.

1. クリーンルームの基礎知識 (1) 清浄度と換気回数

クラス	換気回数 (回/h)	フィルタ 配置
1~3 (~1)	420	全面
4 (10)	360	全面
5 (100)	200	56%
6 (1,000)	35	10%
7 (10,000)	25	7%
8 (100,000)	15	4%

換気回数とは、
CR内の空気が1時間
に入れ替わる回数

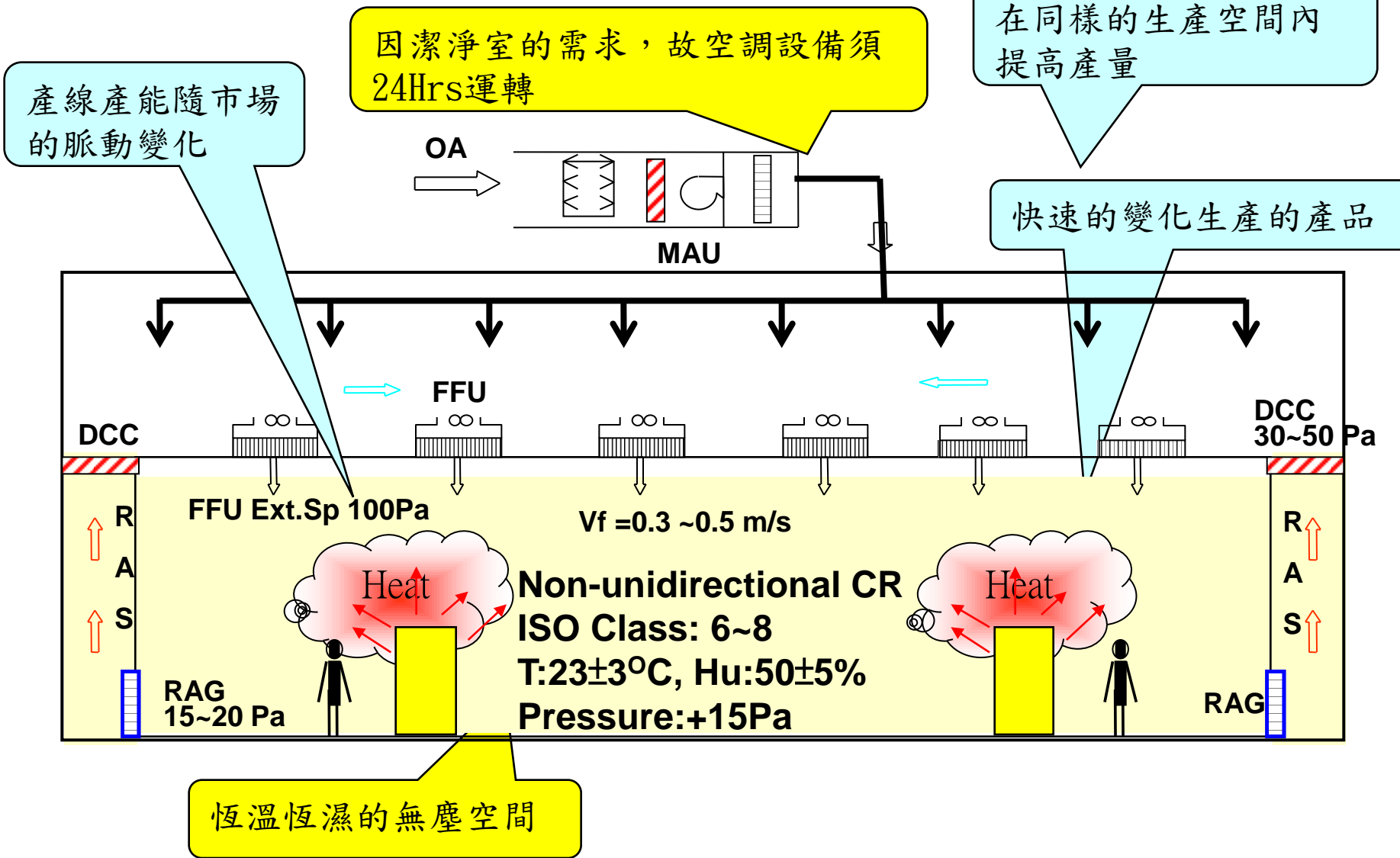
$$= \frac{\text{除じん循環風量}}{\text{CR容積}}$$

経年による
たんだん
減っている

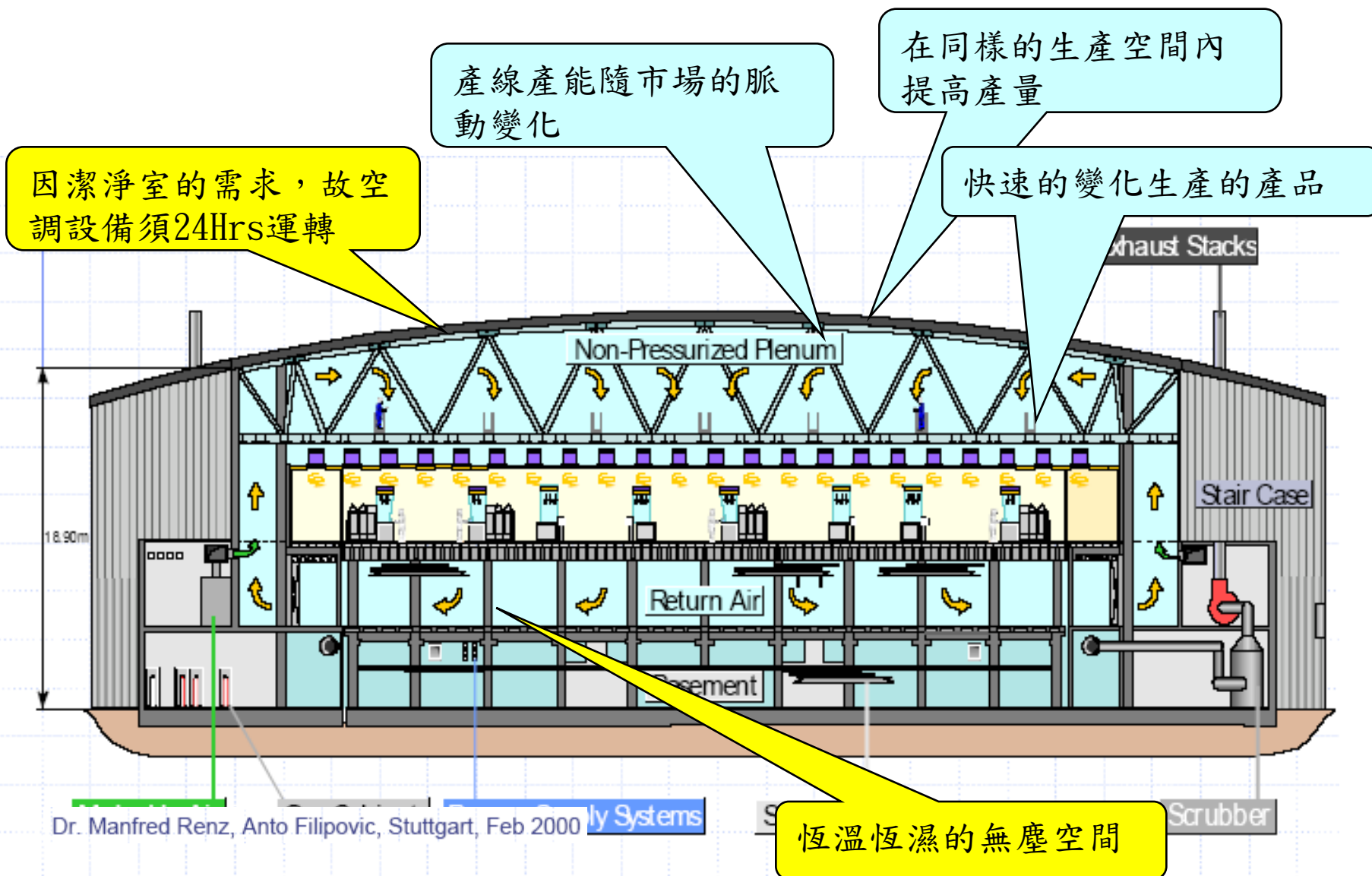
本表は一例、数字は固定されたものではありません
()は従来のFed. Std. 209D表示

3. FDCU原理及節能應用

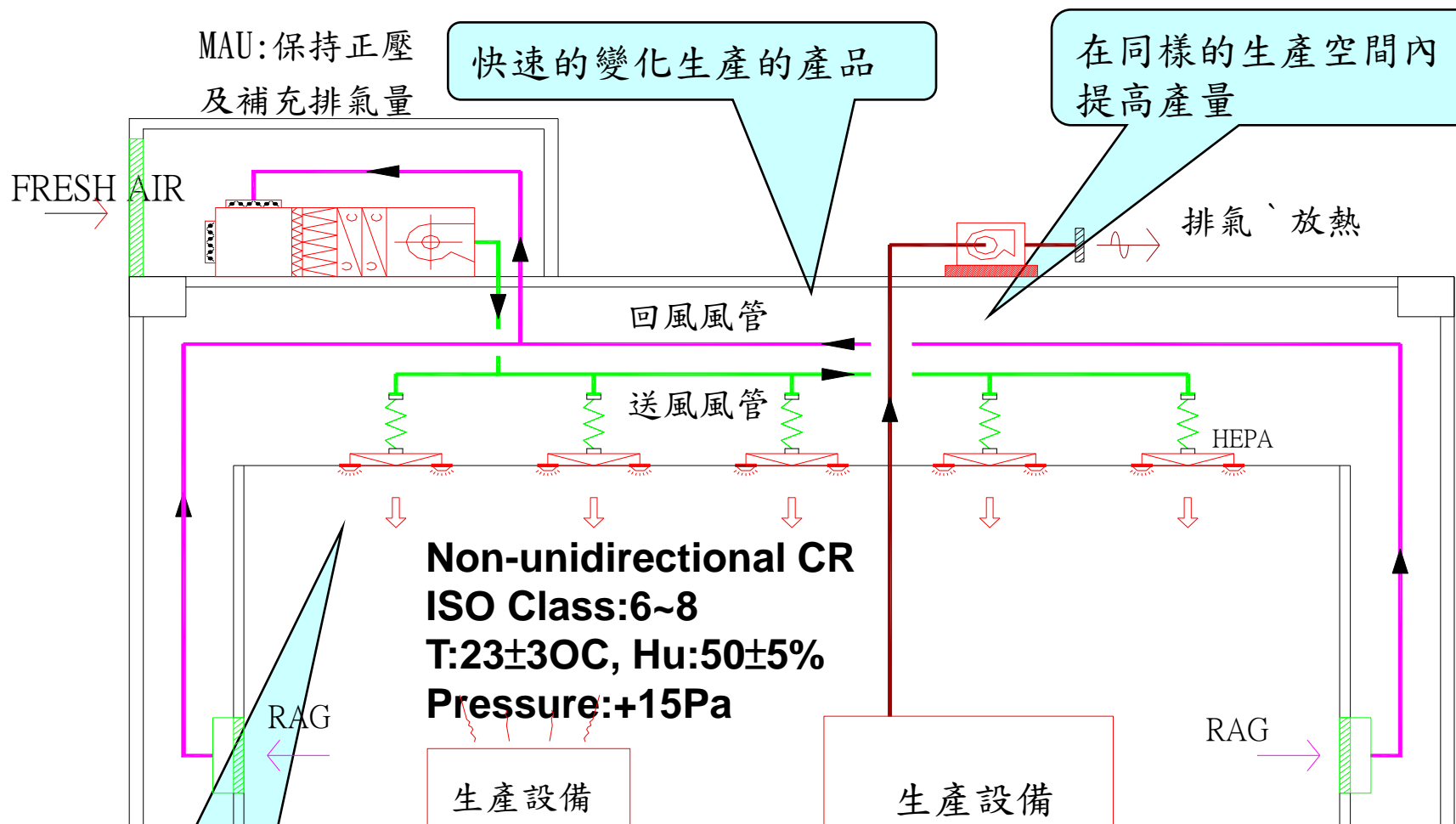
電子業特性(無塵室型式-1)



電子業特性(無塵室型式-2)



電子業特性(無塵室型式-3)



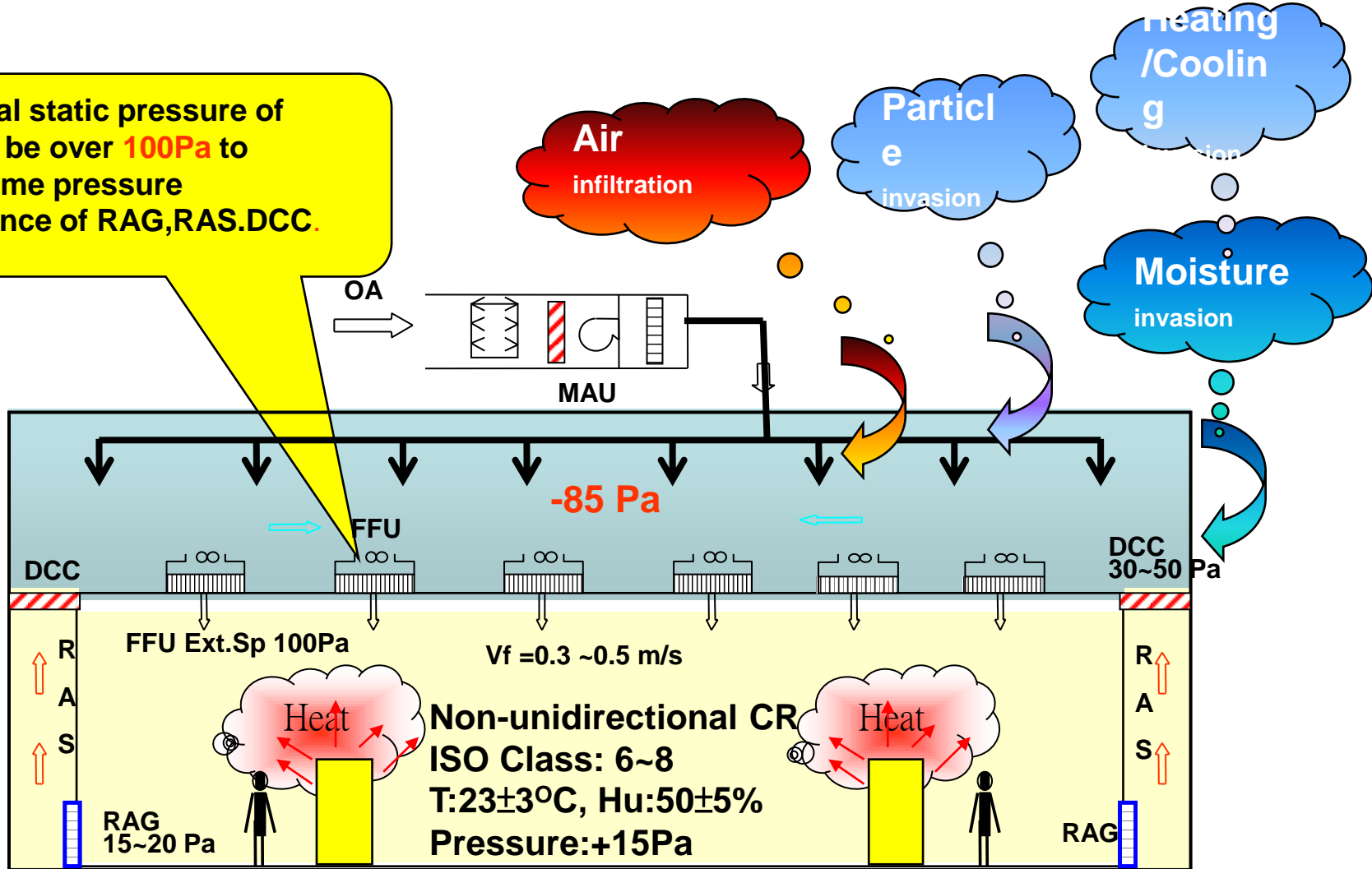
快速的變化生產的產品

在同樣的生產空間內
提高產量

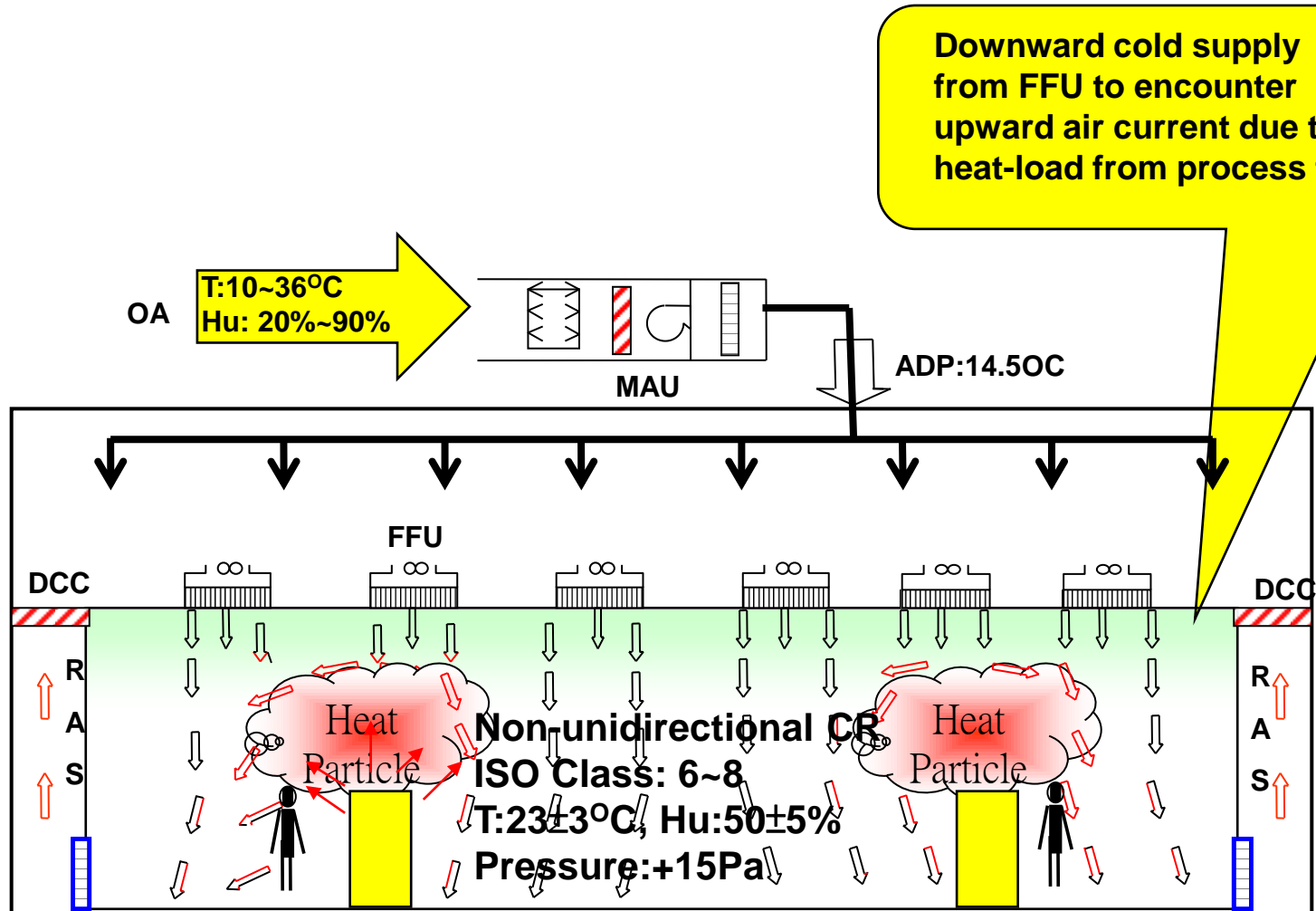
產線產能隨市場的
脈動變化

Problems in existing system - 1

External static pressure of FFU to be over **100Pa** to overcome pressure resistance of RAG,RAS.DCC.

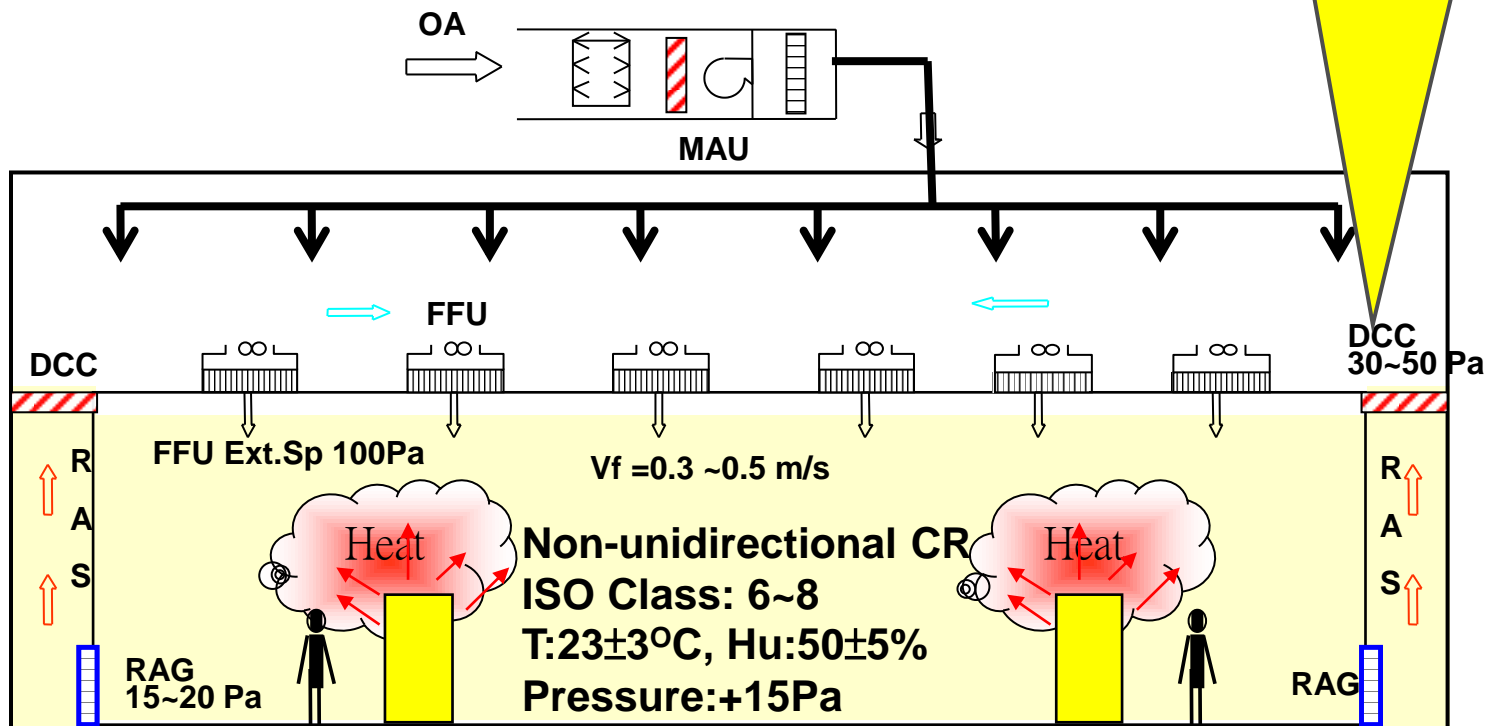


Problems in existing system - 2

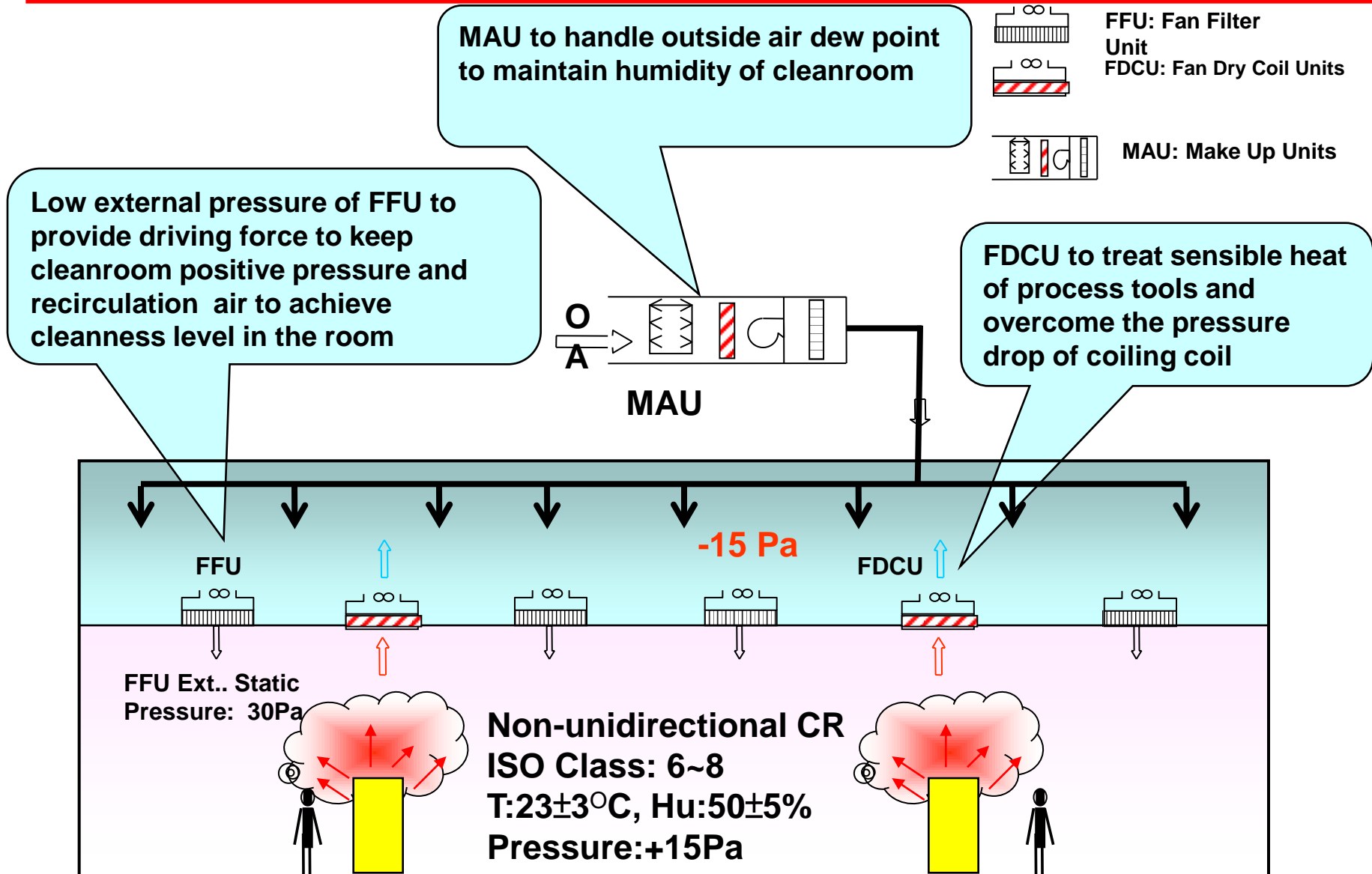


Problems in existing system - 3

Fixed position of return air shaft and dry cooling coil, which limits the space utilization and flexibility.

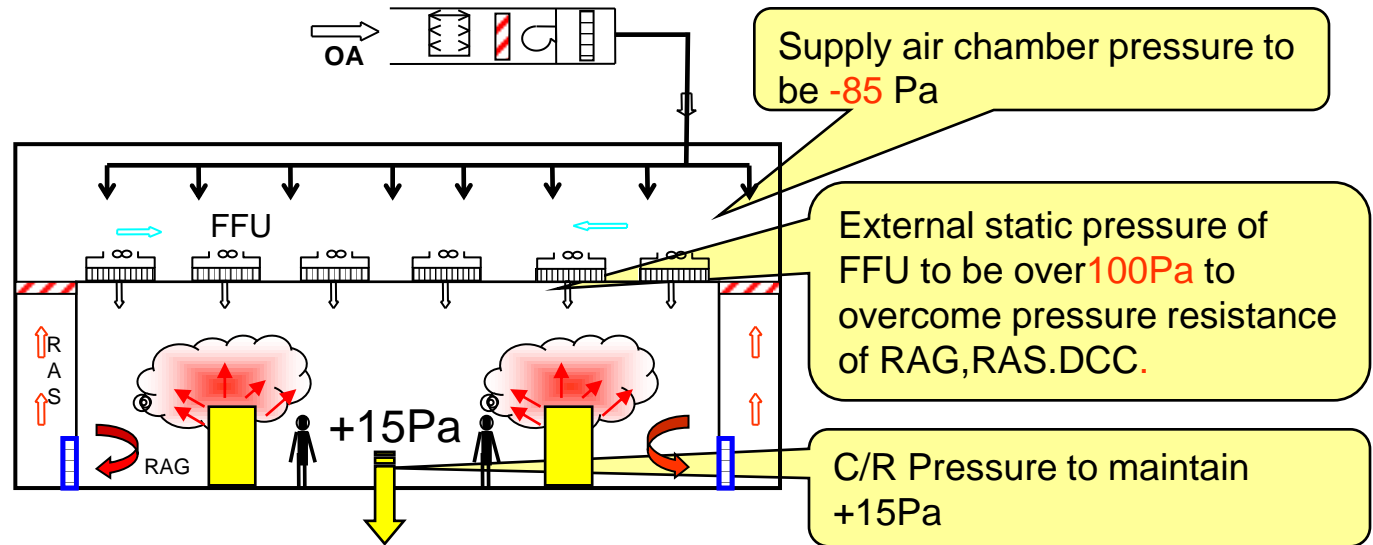


Description of proposed system (Fan Dry Coil Unit, FDCU)

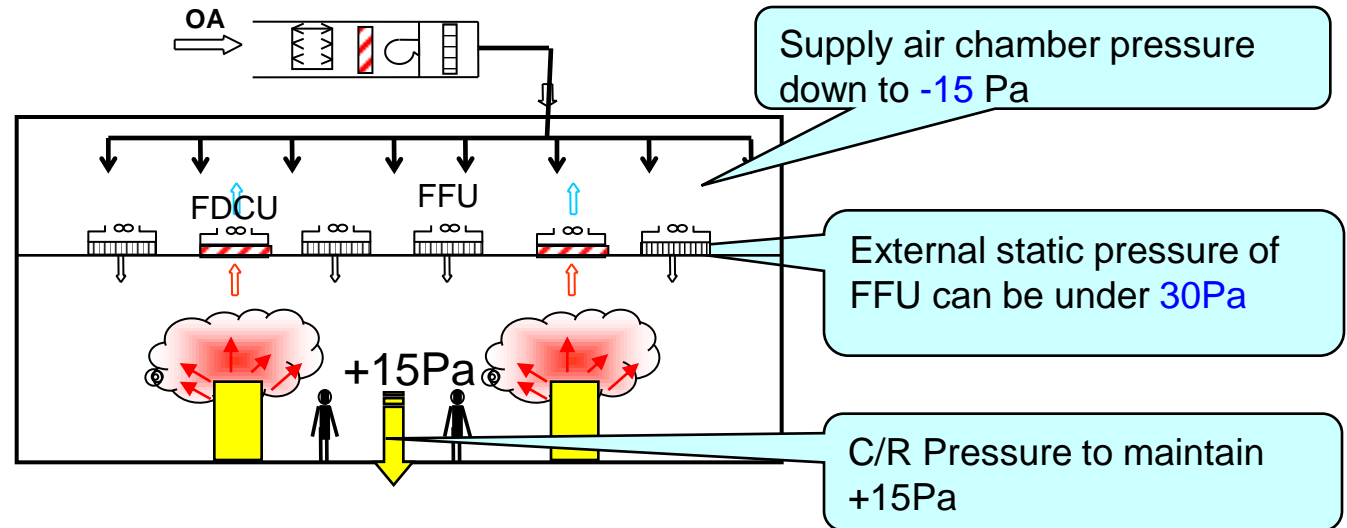


5. Comparison - 1

Existing system

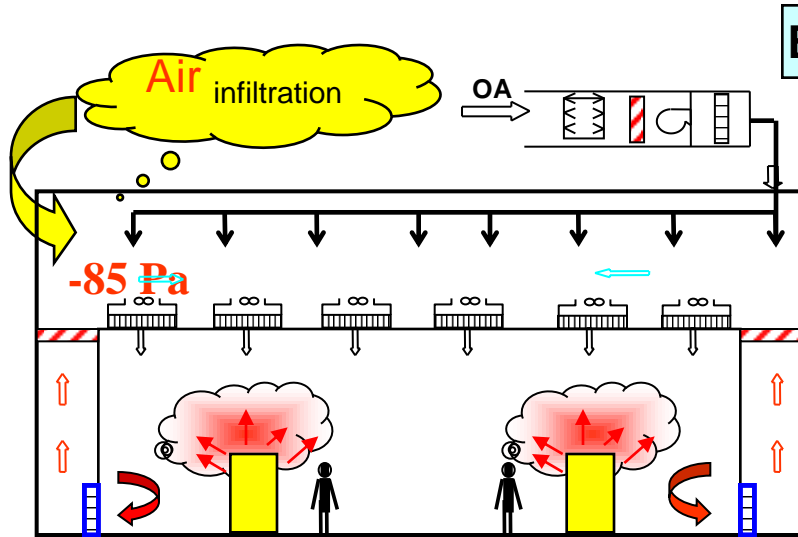


Proposed system



Less negative pressure in the supply air chamber (from -85 Pa to -15 Pa)

5. Comparision - 2



Air infiltration

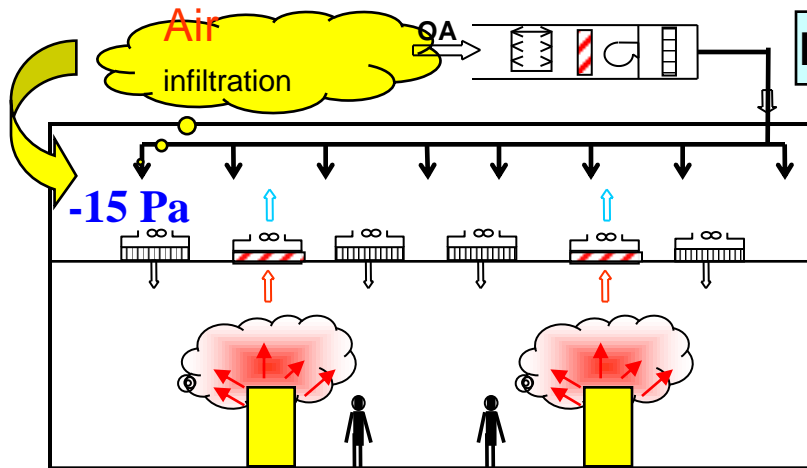
$$=3600 \alpha A \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}$$

$$\alpha=0.8, \rho=1.2\text{kg/m}^3, \Delta P: \text{Pascal}$$

$$\text{IF } A=10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10 = 0.1 \text{ M}^2$$

$$\text{Air infiltration} = 3600 \times 0.8 \times 0.1 \times \sqrt{2 \times 85 / 1.2}$$

$$= 3428 \text{ CMH}$$

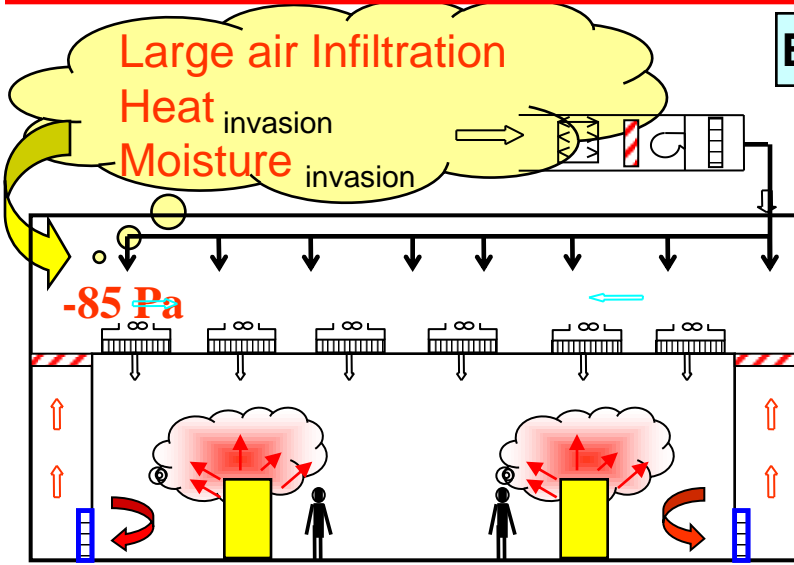


$$\text{Air infiltration} = 3600 \times 0.8 \times 0.1 \times \sqrt{2 \times 15 / 1.2}$$

$$= 1440 \text{ CMH}$$

Reduced air infiltration

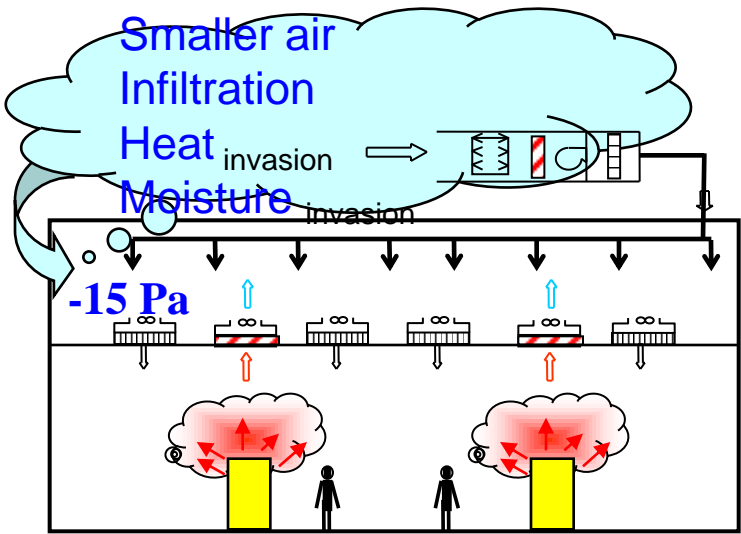
5. Comparision - 3



Existing system

$$\begin{aligned} \text{Heat invasion} &= 3428 \text{cmhx} 1.2 \times \Delta h \text{ (Kcal/kg)} \\ &= 3428 \times 1.2 \times 12 \\ &= 49,363 \text{Kcal/hr} \approx 16.3 \text{USRT} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moisture invasion} &= 3428 \text{cmhx} 1.2 \times \Delta \chi \text{ (kg/kg)} \\ &= 3428 \times 1.2 \times 0.0045 \\ &= 18.5 \text{Kg/h} \end{aligned}$$



Proposed system

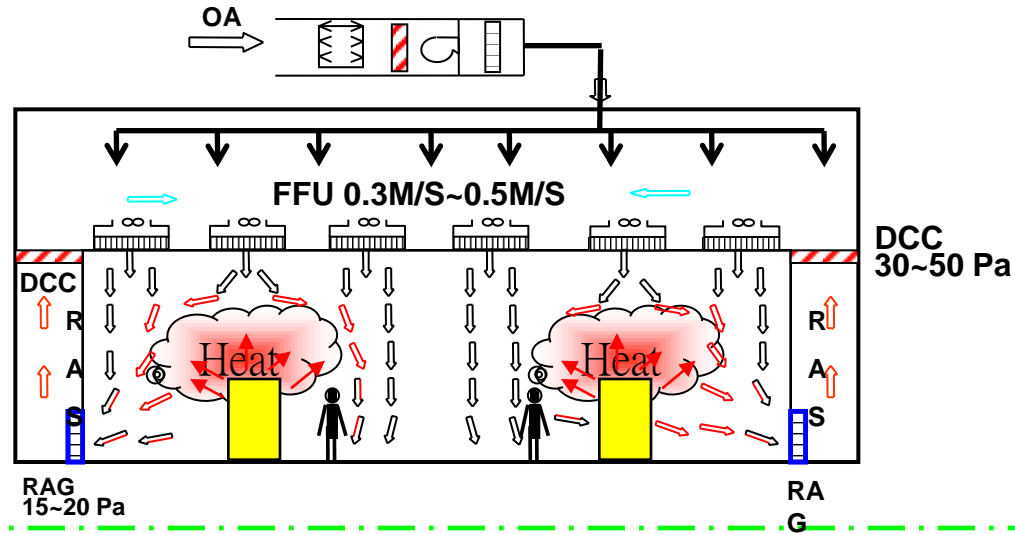
$$\begin{aligned} \text{Heat invasion} &= 1440 \text{cmhx} 1.2 \times \Delta h \text{ (Kcal/kg)} \\ &= 1440 \times 1.2 \times 12 \\ &= 20,736 \text{Kcal/hr} \approx 6.9 \text{USRT} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moisture invasion} &= 1440 \text{cmhx} 1.2 \times \Delta \chi \text{ (kg/kg)} \\ &= 1440 \times 1.2 \times 0.0045 \\ &= 7.8 \text{Kg/h} \end{aligned}$$

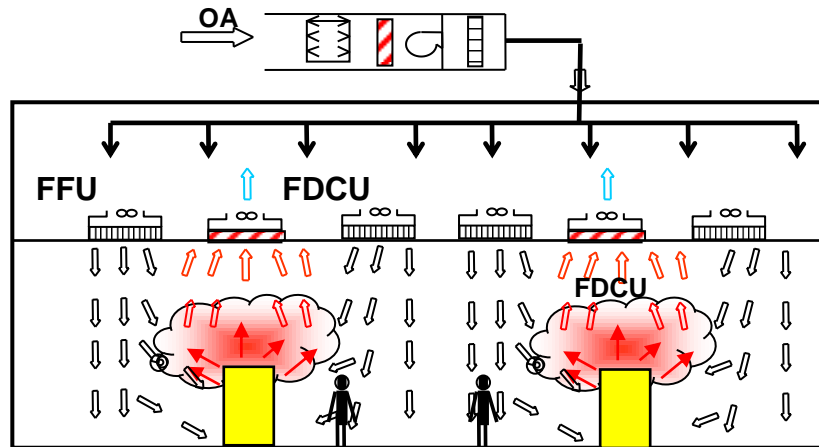
Reduced the energy consumption

5. Comparison - 5

Existing system



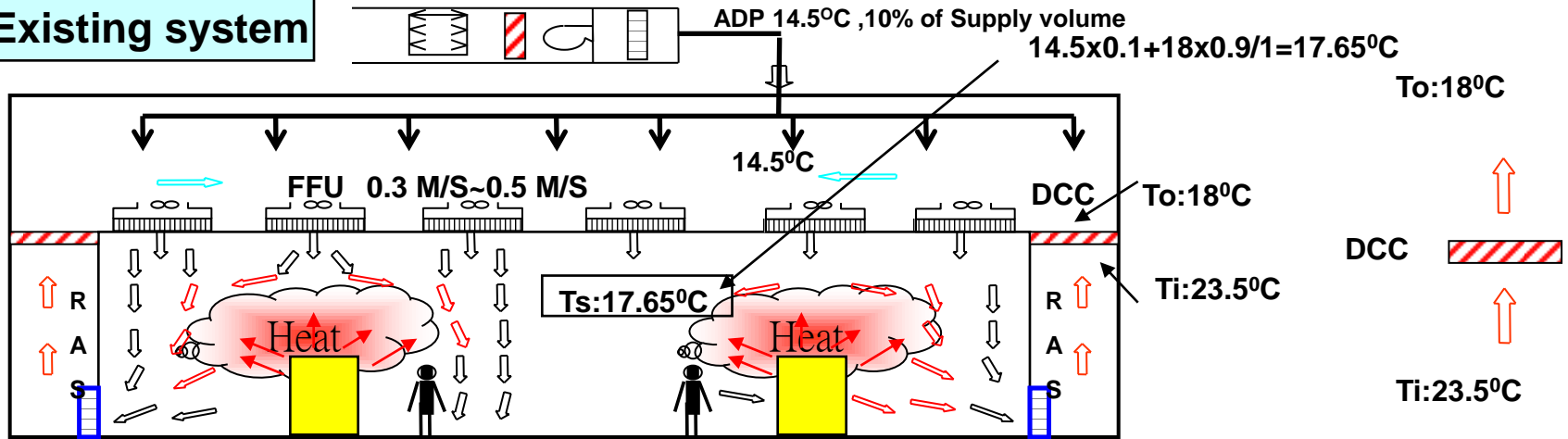
Proposed system



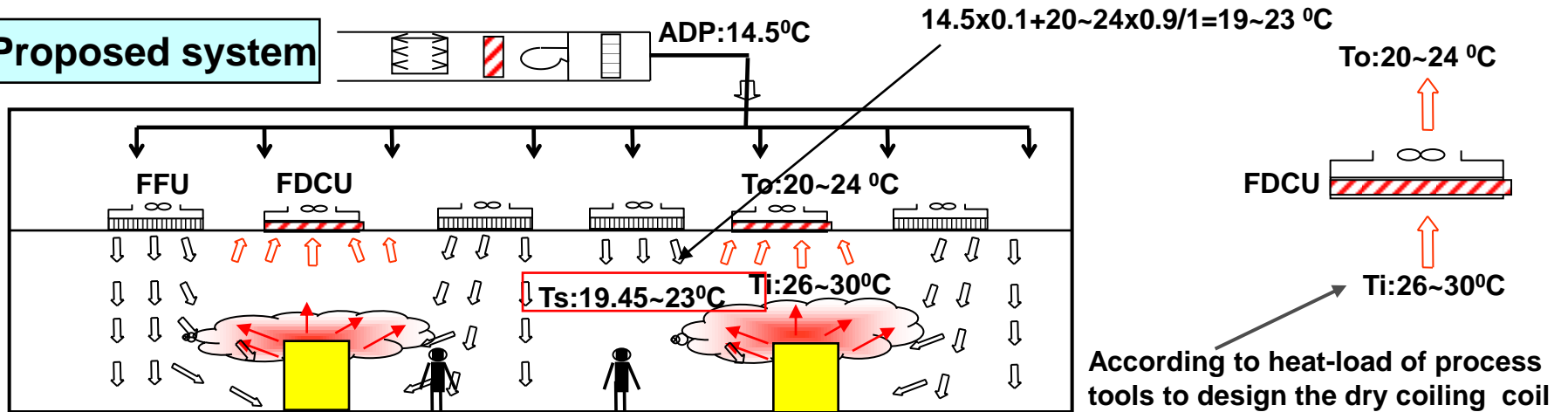
Uniform temperature distribution in the working area (BOF + 0.9m~1.5m)

5. Comparison - 6

Existing system



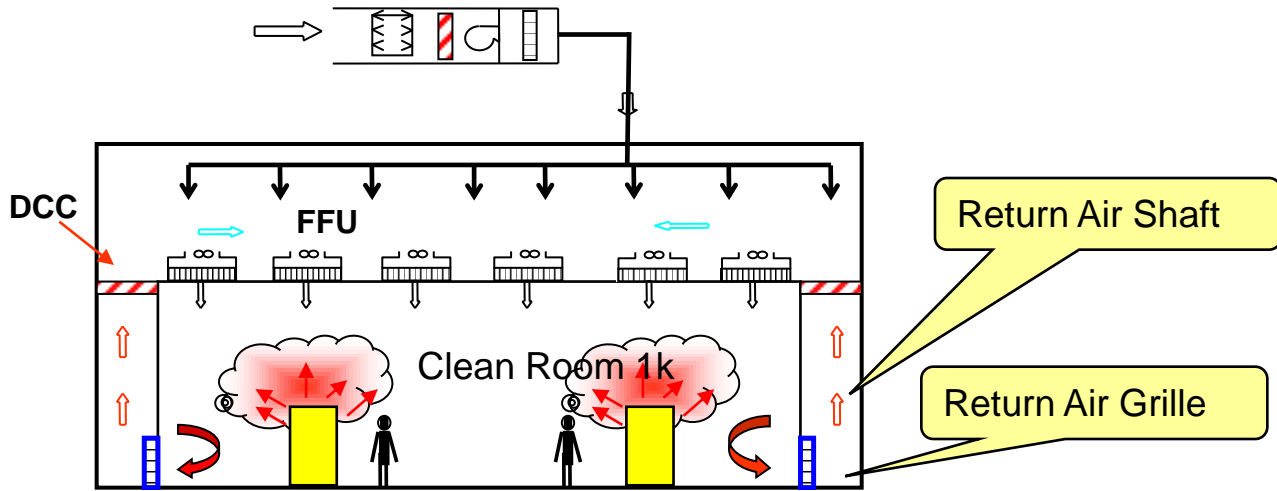
Proposed system



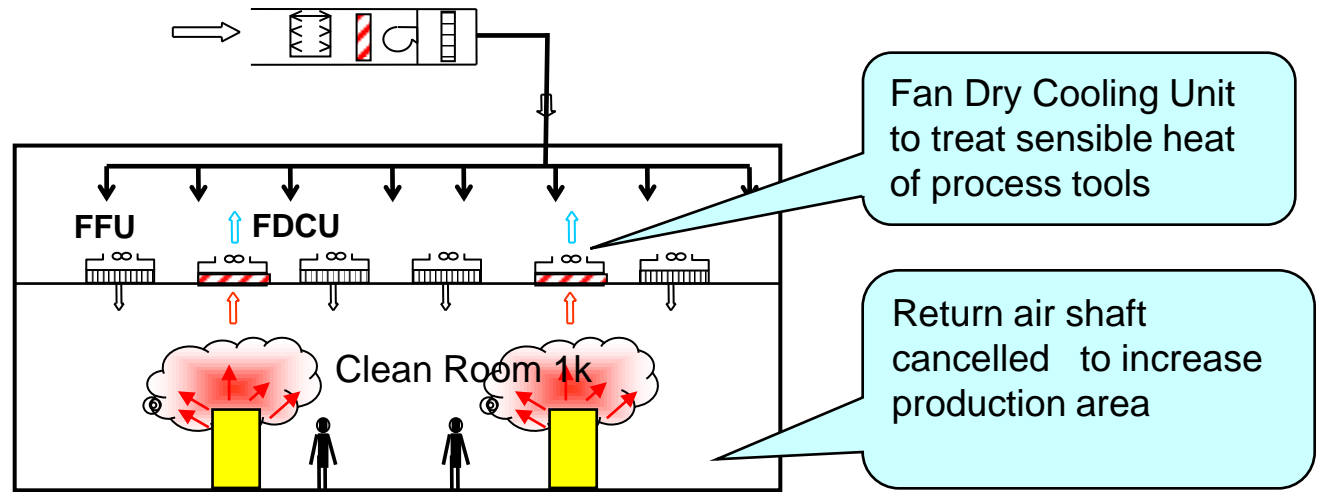
Accuracy and high COP to treat heat of process tools

5. Comparision - 7

Existing system



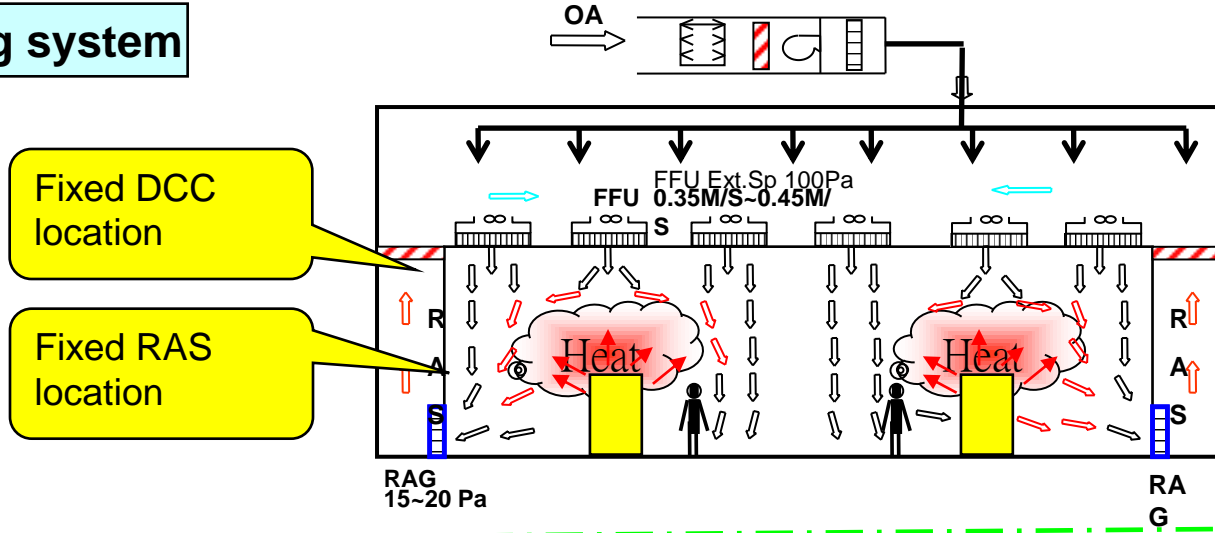
Proposed system



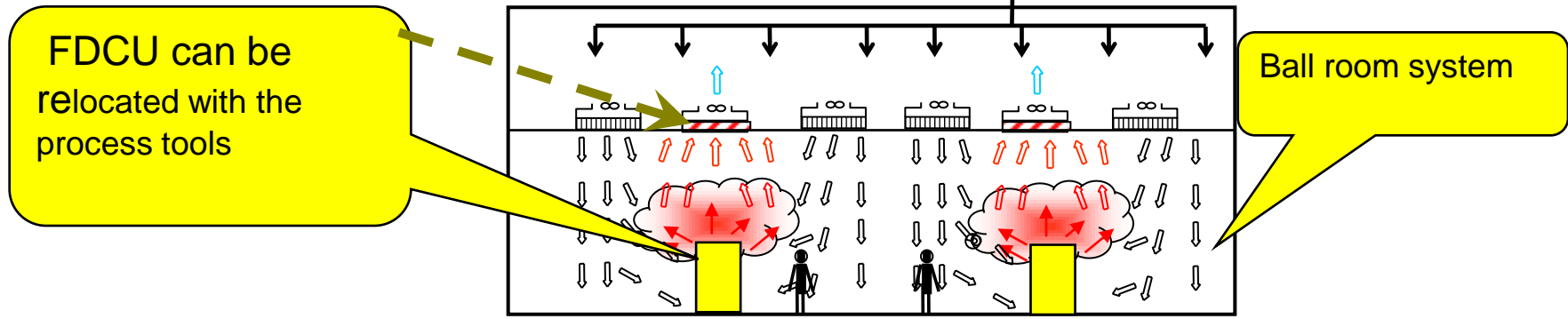
15% increased production area

5. Comparision - 8

Existing system



Proposed system



FDCU can be relocated with the process tools.

FDCU can be relocated with the process tools

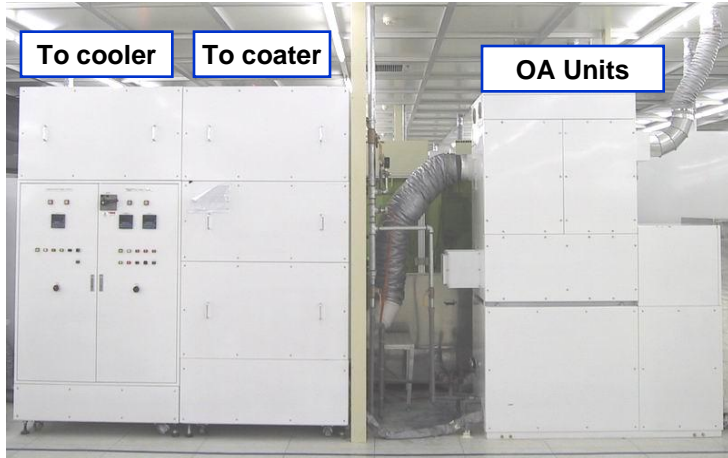
The advantage:

- When AMC released from process tools, the current design of a wall-return recirculation air system could cause AMC disperse to other process tools and eventually to the entire fab through supply plenum chamber.

With a local-return air system and properly installing the FFU with chemical filters, the leaked AMC from the process tools can be isolated within a certain area.

OD-TYPE

Before



After



R-TYPE

Before



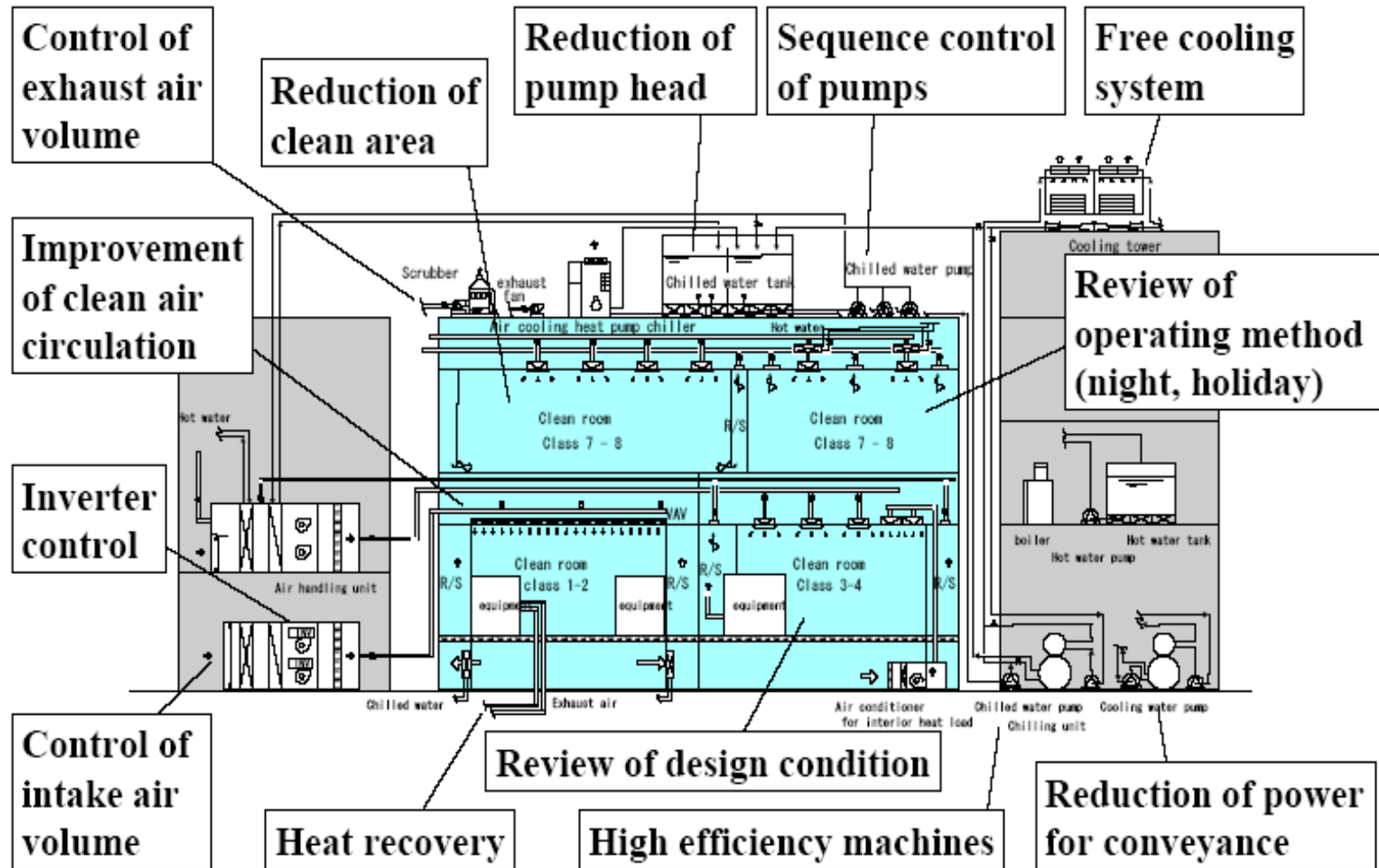
After



	Before	After
Yield	95~98	95.3~98.4
Temperature	±0.28 °C	±0.2 °C
Humidify	±2.66%	±0.2%
Equip. Occupant	4.23m ²	2.16m ² 49% ↓
Power Consump.	439kw.hr/day	20kw.hr/day 95% ↓
Equip. Price		50% ↓

4. 潔淨室即能案例實務介紹

4.1 General Energy Saving Approaches



2007 International Symposium on "Advanced Clean Room Technology"

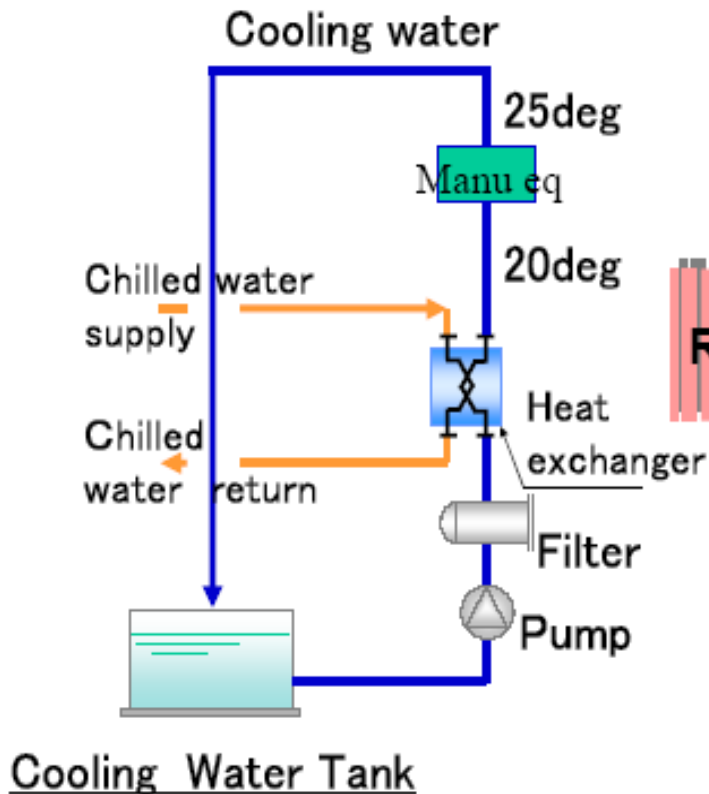
Hitachi Plant Technologies, Ltd.

Challenges

- “Stability” is the 1st concern
- Design criterion (spec)
 - value and fluctuation values
 - ISO class. ACH, Noise, static charge etc.
- Rule of thumb of design
 - eg. For ISO class 6 require 60 ACH 1/h
- The difficulty on evaluation and verification of the effect of energy conservation facilitated. Many factors influence the energy conservation of a fab

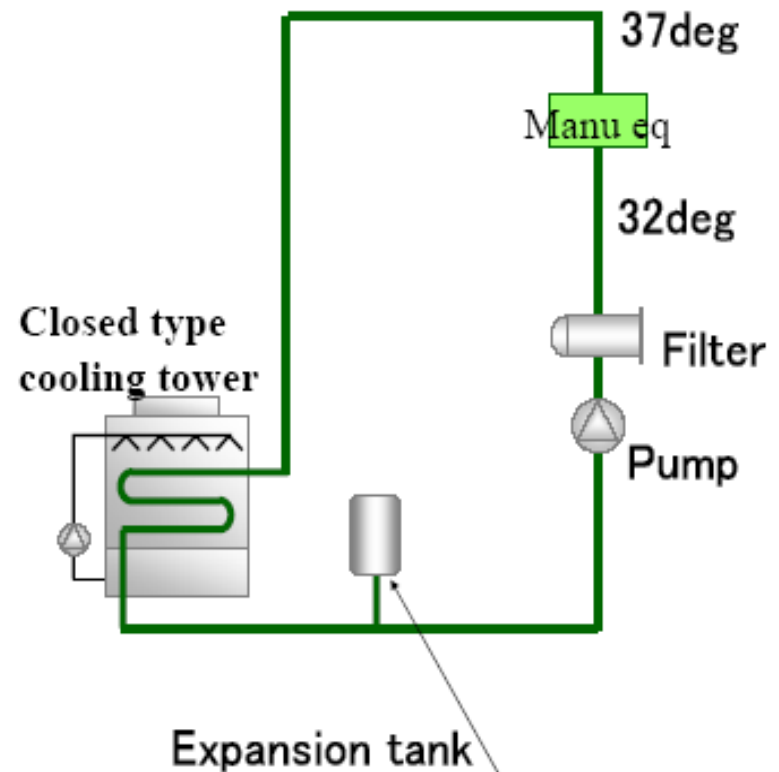
4.2 UPW: Closed Loop VS. Open Loop

General system

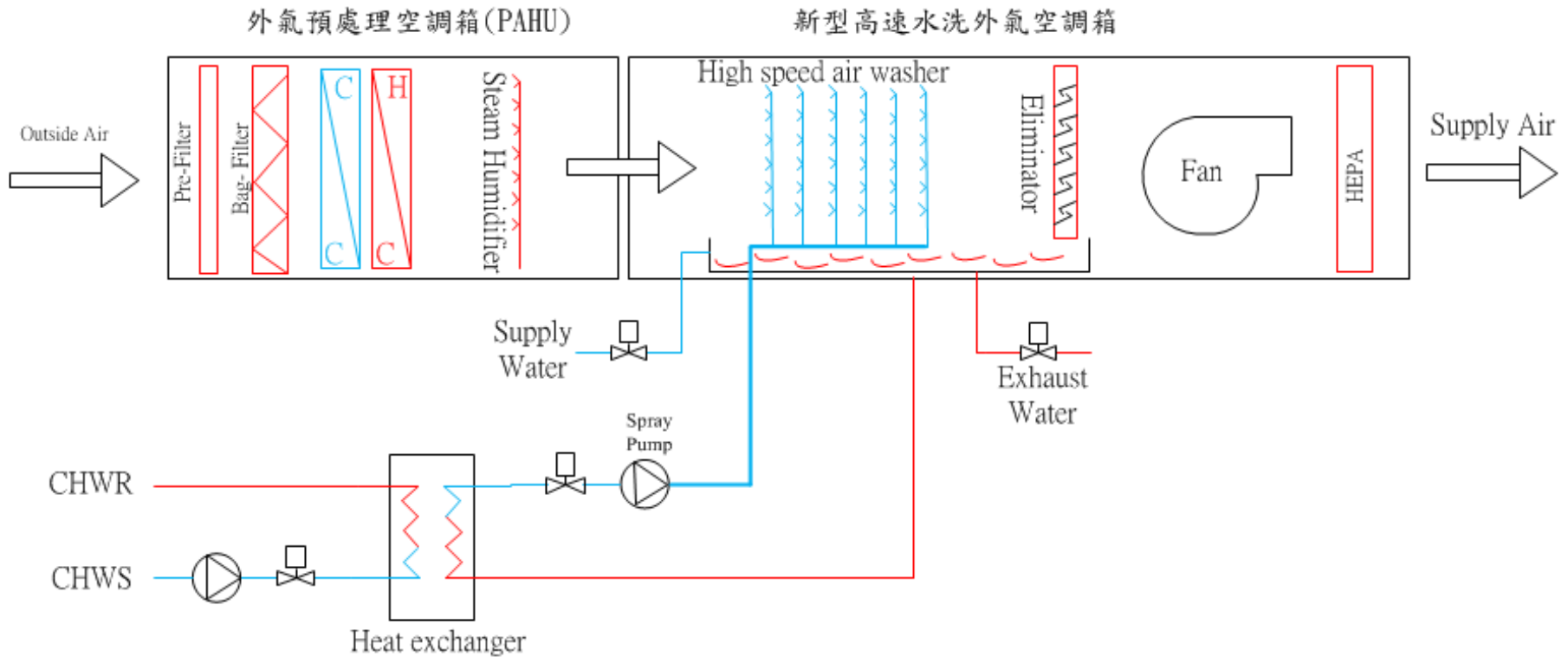


Review

Energy saving system



4.3 高速水洗外氣空調箱



實驗設備

高速型水洗外氣空調箱

風量(最大)	6000m ³ /h
噴霧水量(最大)	4680L/h
噴嘴排列	逆噴
外觀尺寸	6205×1060×1305mm
風車馬力	5hp

高速水洗外氣空調箱規格



高速水洗外氣空調箱外觀

實驗設備

壓力噴嘴

Nozzle Code	Pressure(bar)	Flow rate (L/min)	Spray angle	Droplet size (μm)
RXY 0620 C7	1.5	0.43	135	98
	2.0	0.51	140	91
	2.5	0.57	145	85
	3.0	0.62	145	78
	4.0	0.71	148	66
	5.0	0.80	150	62

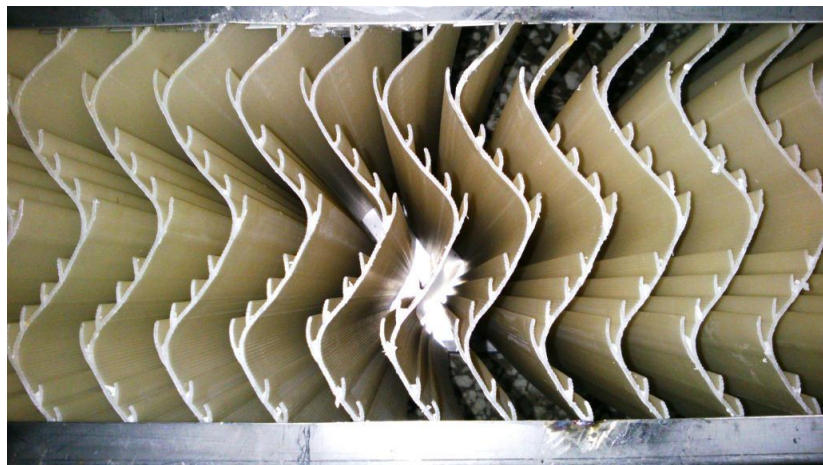
噴嘴流量規格表



噴嘴外觀圖

實驗設備

擋水板



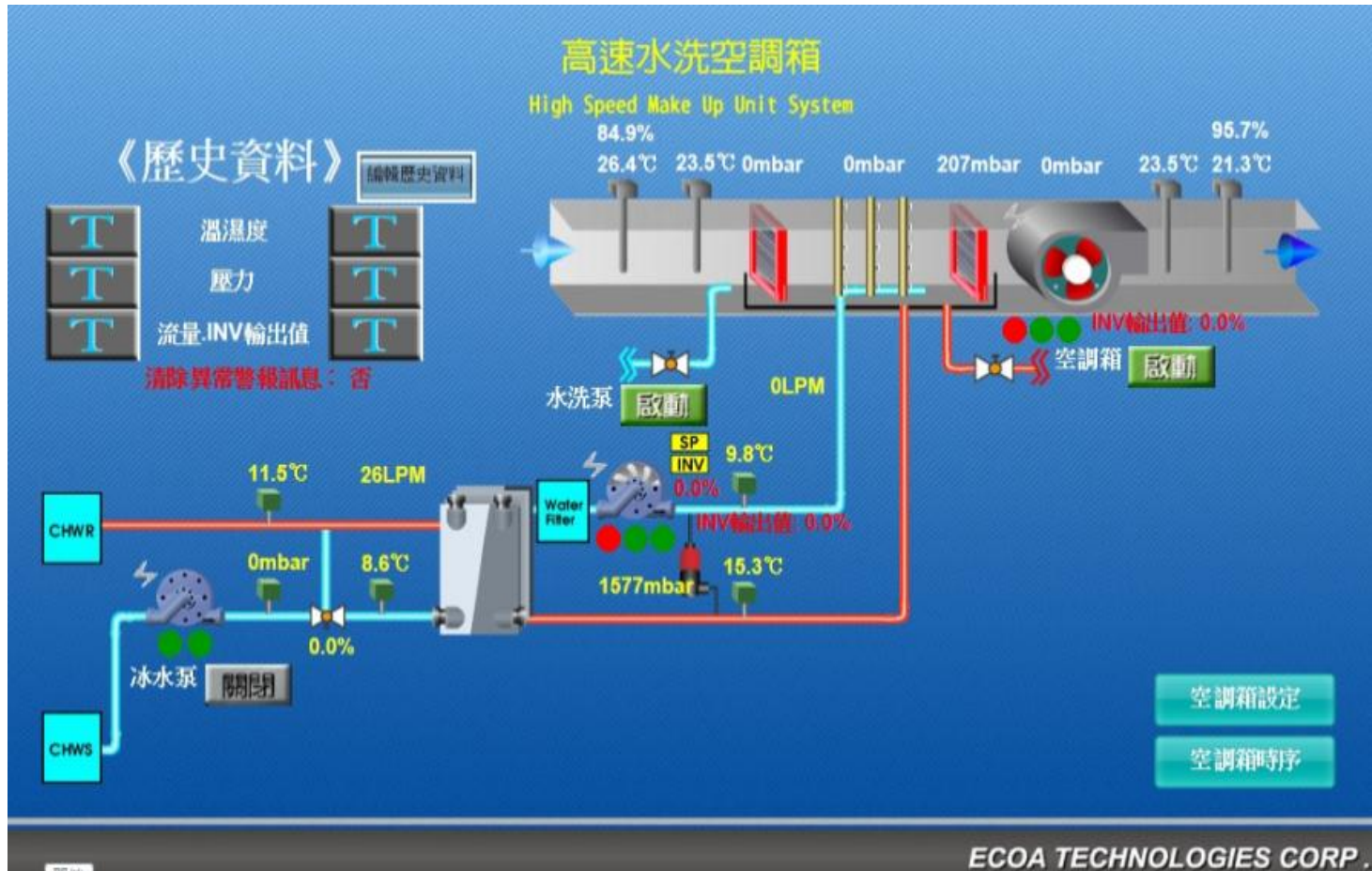
擋水板剖面圖



擋水板正視圖

實驗設備

圖控系統



圖控設備介面圖

- 根據實驗結果顯示噴霧水溫10度， $L/G=0.64$ 時可將露點溫度降低至 14°C ，提升 L/G 比雖然有會將露點溫度降低但卻會使出口相對濕度更趨近於飽和狀態，會影響後端的高效率過濾器。
- 主要原因是因為增加 L/G 比值在空氣線圖顯示出冷卻除濕曲線的斜率是不變的。但由於多數電子廠MAU設備出口露點設定於 10°C 附近若要降低至電子廠定設定的露點則噴霧水溫則需降低至 7°C 或更低才可達到設定的露點。

- 由於國內光電廠房cleanroom設計室內溼度與電子廠房有所不同，一般而言光電廠設計濕度較高約14~15度若用本文研究之高速水洗系統來處理熱負荷是可行的。
- 噴水管排的壓阻在5m/s風速下僅40Pa，相對於一般外氣空調箱的濕冷卻盤管的壓阻200~300Pa，多排盤管加總的機內壓阻達到600~1000Pa則可減少相當多的風車能耗。

4.4 潔淨室外氣空調箱節能水洗裝置研發計畫 (SBIR Awarded Project)



• 舊有廠房全外氣空調箱的改善需求

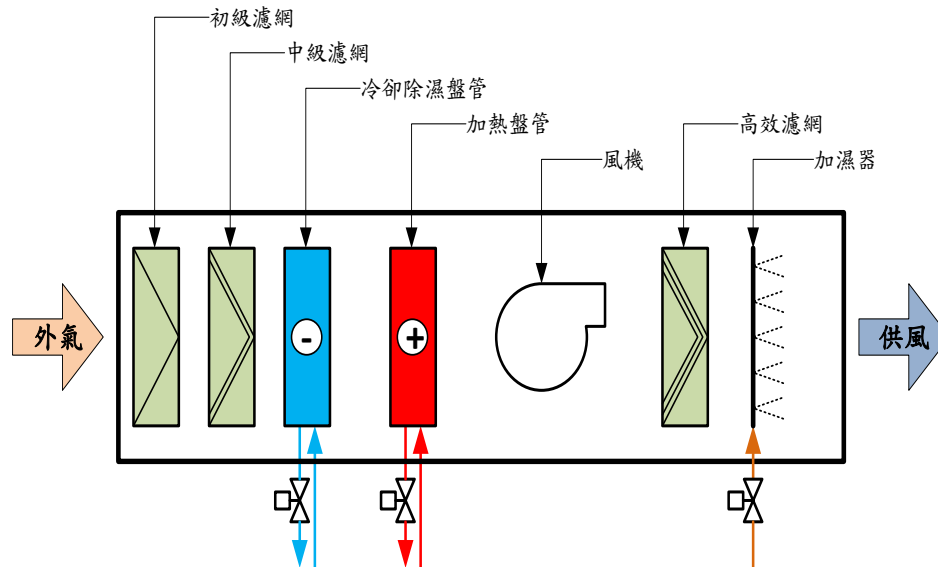
一、節約能源以降低CO₂排放，同時也降低廠內的營運成本。

改善方式：雙冰水系統、熱回收系統(冰水主機、加熱鍋爐)、MAU內部熱回收系統、

降低出風溫度等.....

二、排除氣體分子污染物(Airborne Molecular Contaminant, 簡稱AMC)問題對製程的影響，以提高產品製程良率。

改善方式：化學濾網、空氣水洗機等.....

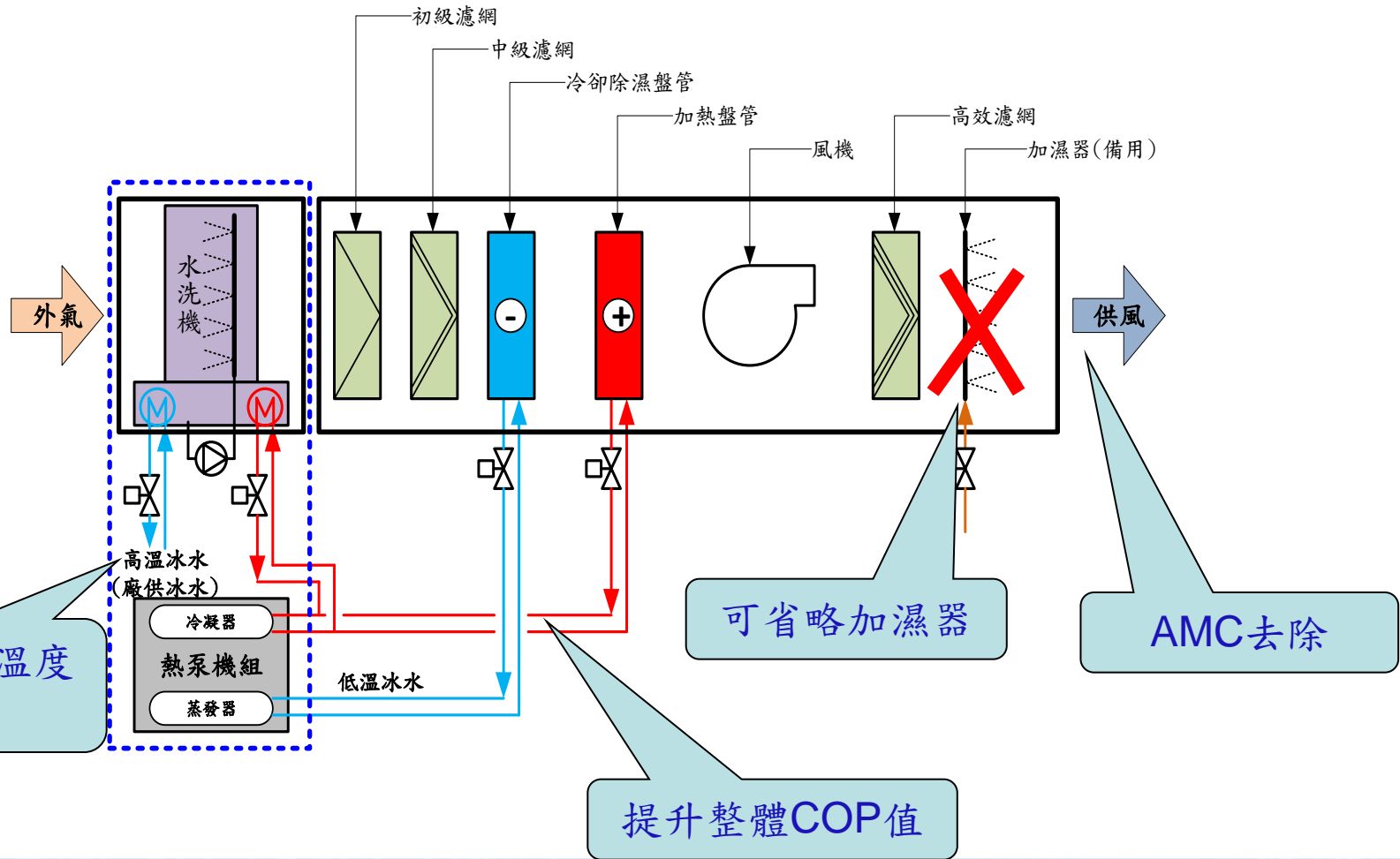


傳統舊有廠房MAU設計方式示意圖

- 舊廠全外氣空調箱(Make up Air Unit, 簡稱MAU)節能方式之差異性比較：

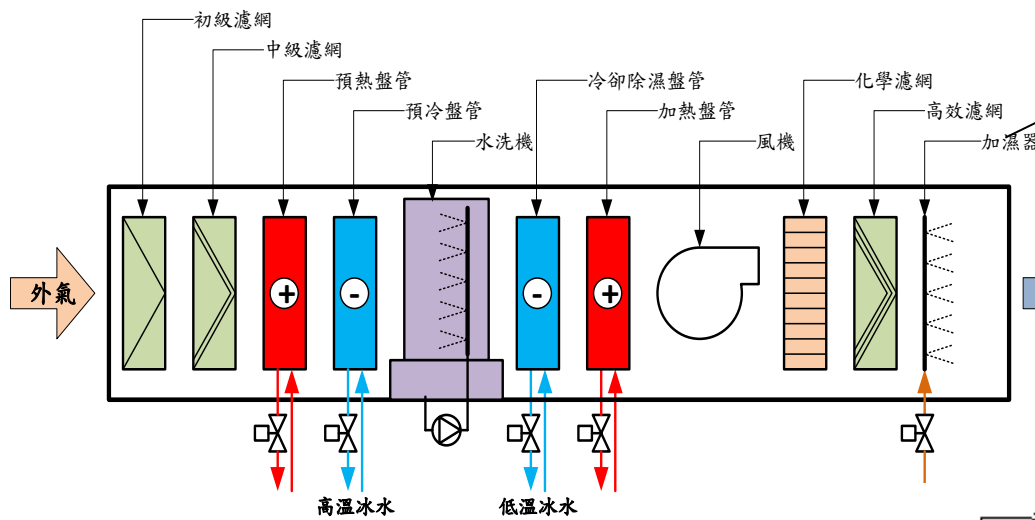
	冰水主機熱回收系統	MAU內部熱回收系統 (Run Around系統)	雙冰水溫度系統
使用率	目前已普遍使用於各廠。	此種方式已使用在力晶半導體等廠。	此種方式以普遍使用在各大廠。
優勢	可減少或取代加熱器或鍋爐之耗能。	安裝成本較小，可大量減少電熱器或鍋爐之耗能。	可降低冰水主機之負荷，並可提升冰水主機之效能。
劣勢	安裝成本較高，需搭配熱回收式冰水主機。	全外氣空調箱內部如無預留空間，需將整體MAU空間重新配置。	安裝成本較高，除了修改費用外，工程施作生產線停產所造成的損失將難以估計。

•舊廠全外氣空調箱設計搭配熱泵機組：



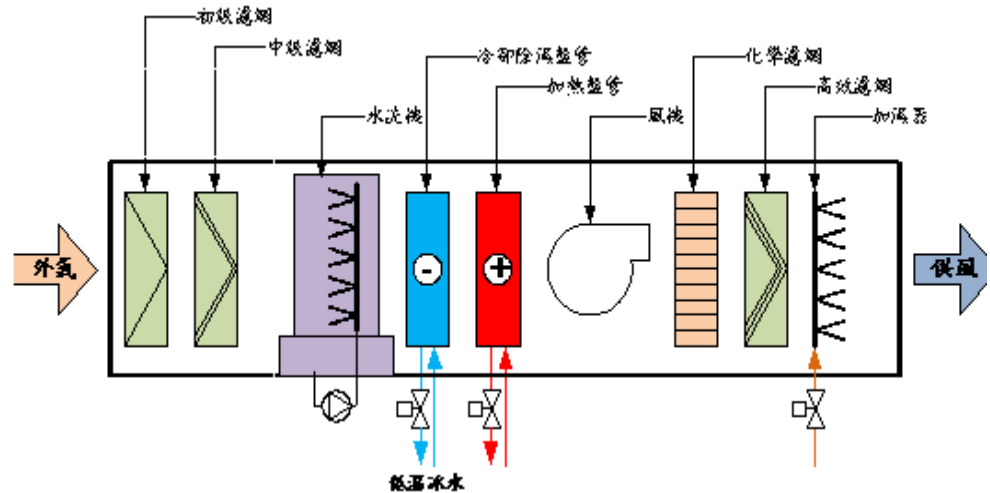
背景與說明

- 大型新建廠全外氣空調箱(MAU)設計方式：



此種設計模式通常為大型面板廠或晶圓廠，目前台灣已漸漸無此需求，因此本計畫還是著重於中小型廠房舊廠改善及新建廠。

大型新建廠房MAU系統示意圖

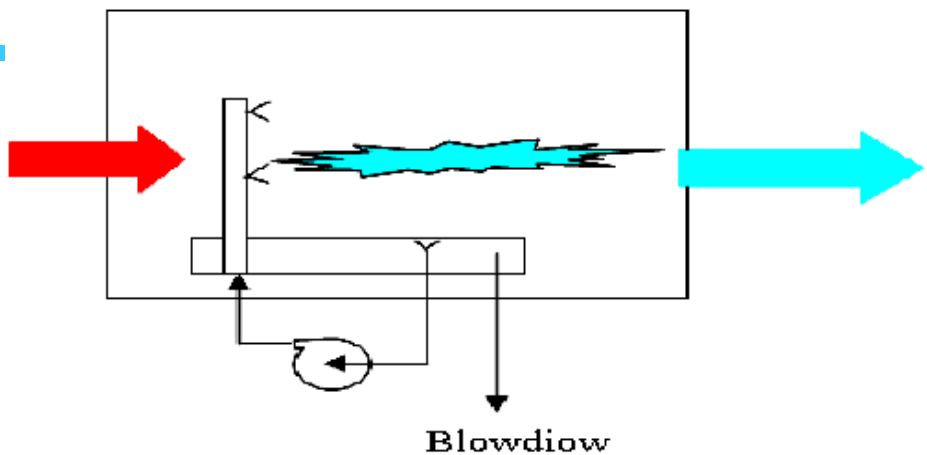


中小型新建廠房MAU系統示意圖
奇鼎科技股份有限公司
CHD TECH CO., LTD.

- 本計畫創新部份重點如下：
 - 單體設備—具有污染物去除功能與溫、濕度調節功能。
 - 水霧粒徑—較市售產品小，液氣接觸面積↑，液氣比↓。
 - 親水性離水板—於水洗裝置內部設置，使洗滌水於填充材表面形成水薄膜，增加氣液接觸面積及時間，
 - AMC及微塵污染物移除效率↑。
 - 洗滌水—1.恆溫控制，可提供水洗裝置溫、濕度調節功能。
冷卻除
提
2.產生約7°C之低溫冰水，可對外氣預先進行濕(夏季)及之效果，可提高冰水主機供應溫度，
升冰水主機之使用效率。
3.產生約35°C之熱水，可對外氣進行加熱加濕(冬季)，並可供加熱般管佳用亦可減少加熱設備

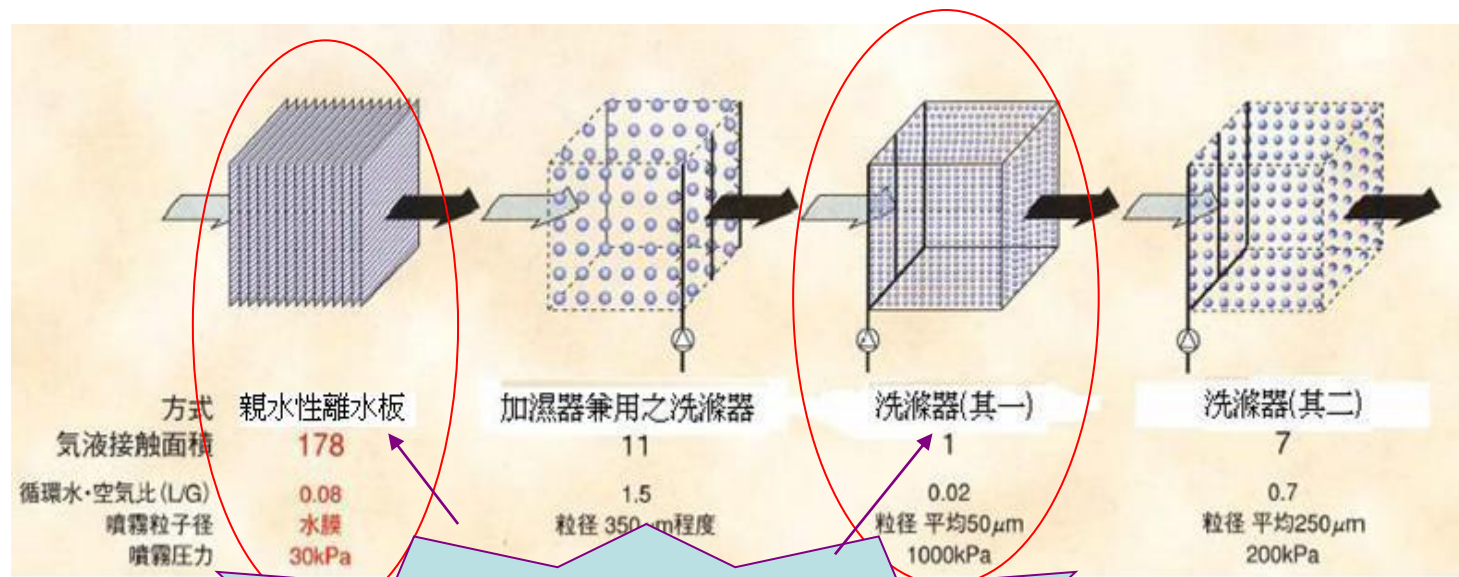
• 技術創新性比較

項目	指標或規格	功能與應用	國內外既有水準	競爭優勢比較
外氣空調箱節能水洗裝置	<p>(1)水洗機出口： -乾球溫度：15~20 °C -飽和加濕效率： ≥90% -微塵污染物移除效率：≥80%@0.5 μm -NH₃移除效率： ≥85% -SO₂移除效率： ≥85%</p> <p>(2)熱泵機組(製冷量及製熱量需依造客戶需求) -熱泵冰水供應溫度： 7±1 °C -熱泵熱水供應溫度： 35±1 °C</p>	<p>(1)可有效移除MA及MB類之污染物，對於NH₃及SO₂之去除效率可達到85%以上之效果。</p> <p>(2)能夠控制洗滌水之溫度，於夏季中可減少前端冷卻盤管冰水之使用量，於冬季時可對外氣進行加熱加濕作用，可取代原本耗電之加熱及加濕裝置。</p>	<p>進口產品對於去除MA、MB類污染物之效率可達到80%。 國產品可達到95%之效果。</p> <p>市售產品無此功能</p>	<p>國內市場需求以提升AMC去除性能為主，若能附加節能的效果，整體價值性加大。針對舊廠改善方面，提供一個空調節能與移除AMC污染的整合裝置，將可與傳統水洗裝置僅強調污染物的移除有所區隔。</p>



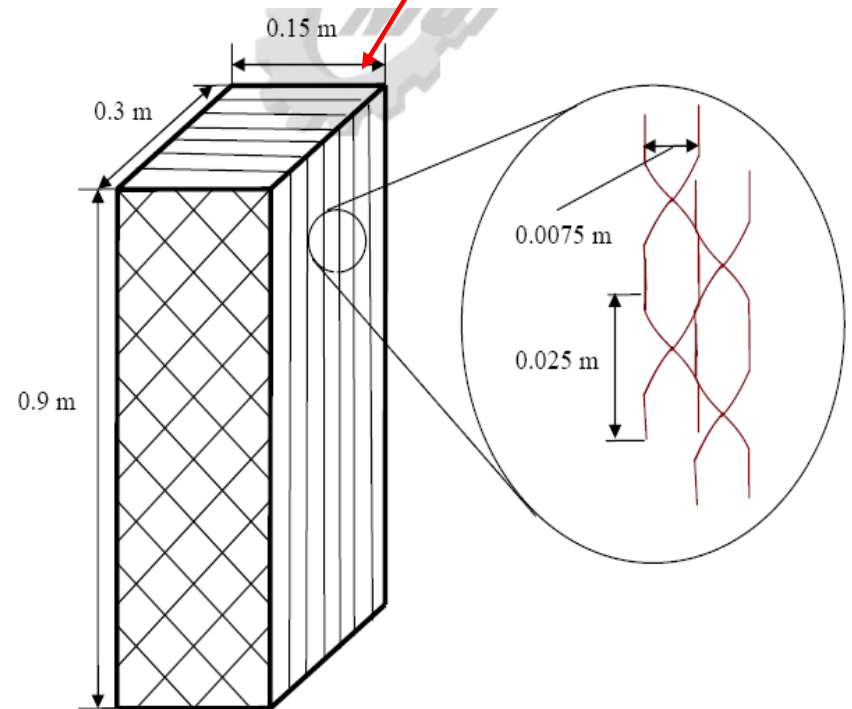
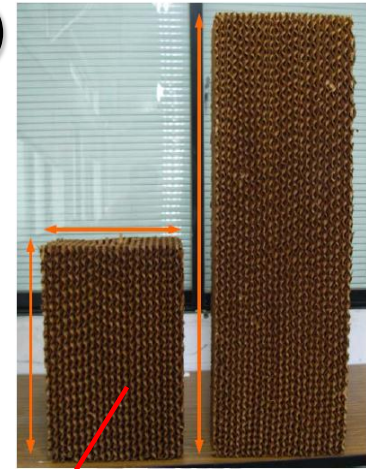
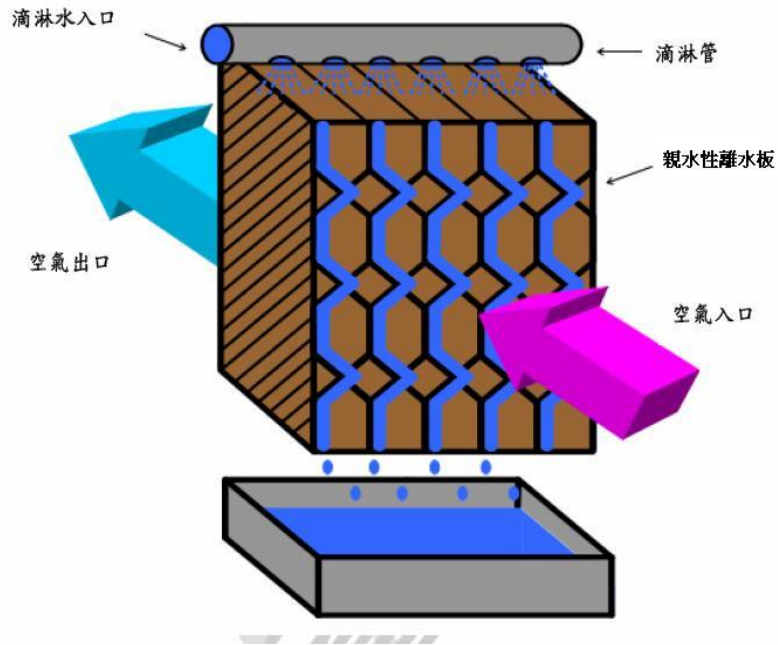
影響空氣水洗機去除性能之因素：

1. 水霧液滴粒徑
2. 氣液接觸距離或時間
3. 液氣比 Liquid volume/gas volume
4. 噴霧之水溫
5. 是/否裝設強化質傳之媒介(如親水性離水板)
6. 噴管排列方式及方向，噴頭分布狀況
7. 導電度或pH值控制

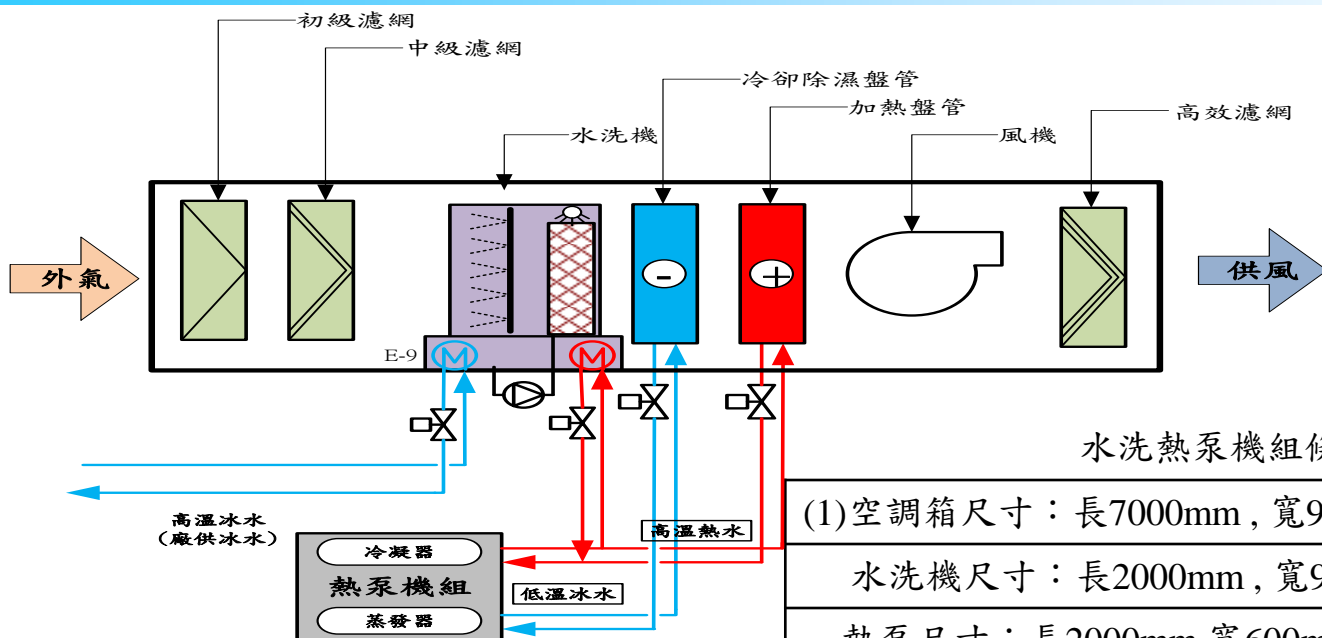


本計劃整合微水霧水洗+親水性離水板可獲得最佳化去除性能

加濕器/親水性離水板(台北科大)



熱泵水洗機組與傳統設計耗能比較



水洗熱泵機組條件：(離型機)

(1) 空調箱尺寸：長7000mm，寬900mm，高900mm

水洗機尺寸：長2000mm，寬900mm，高900mm

熱泵尺寸：長2000mm，寬600mm 高2013mm

(2) 水霧粒徑： $\leq 150 \mu\text{m}$ 液氣比： ≤ 0.75

(3) 水溫控制範圍：15~20 °C

(4) 水洗機補充水：去離子水 (De-ionized Water)

(5) 洗滌水循環泵：水量90 l/min，揚程：0.70 MPa，馬達：5 HP

(6) 熱泵製冷量：62 kW (7) 熱泵製熱量：80 kW

(7) 熱泵冰水供應溫度、水量：7 \pm 1 °C、178 l/min

(8) 熱泵熱水供應溫度、水量：35 \pm 1 °C、230 l/min

(9) 壓縮機輸入功率：18 kW (3 ϕ /380V/83A)

(10) 熱泵冷媒種類：R-134a 或 R22

熱泵水洗機組與傳統設計耗能比較

➤外氣預冷部分

外氣條件	34°C / RH=80%
水洗條件	Tw=20°C 水氣比 $\mu=0.75$
出風條件	23°C、RH=95%
風機馬達耗能	3.75kW
循環泵耗能	3.75kW
傳統預冷盤管耗能	約19.8kW
採用熱泵水洗機組	約17.15kW
可節省電力	13.4%

➤廠供冰水溫度—溫度提升1°C，冰水主機約可節省約6%電力。

➤熱泵 V.S 電熱器(or鍋爐)

熱泵—每耗1kW電力約可產生3~4kW熱能。

電熱器(or鍋爐)—每耗1kW電力只能產生0.9~1kW熱能。

References

- T. Lin, Y-C Tung, S. C. Hu*, C-Y Lin. (2010) Effects of the Removal of 0.1 μm Particles in Industrial Cleanrooms with Fan Dry Coil Unit (FDCU) Return Systems Aerosol and Air Quality Research. 10:571-580.
- T. Lin, Y-C Tung, S-C Hu*, Y-J Chen. Experimental study on airflow characteristics and temperature distribution in non-unidirectional cleanrooms for electronic industry. Building and Environment. In press.
- T. Lin, S-C Hu*, T. Xu. Developing an innovative Fan Dry Coil Unit (FDCU) return system for i . C. Hu,*, J-S Wu, D. Y-L Chan, R T-C Hsu.(2008) “ Power consumption benchmark and its application for the facility system of a semiconductor factory”. Energy and Buildings. 40(9)1765–1770.(SCI) ndustrial cleanrooms to improve energy efficiency. Energy and Buildings . Submitted.
- W. Sun, J. Mitchell, K. Flyzik, S-C Hu, J. Liu, R. Vijayakumar, H. Fukuda. (2009) Development of cleanroom required airflow rate model based on establishment of theoretical basis and lab validation. ASHRAE Transaction. (OR-10-011)
- S. C. Hu*, T. Xu , T. Chuang. Y-L Chan. (2010) Characterization of Energy Use in Typical 300 mm Dynamic Random Access Memory Wafer Fabrication Plants in Taiwan. Energy- The International Journal.In press.
- J-M Tsao, S-C Hu*, R Chien, J. W. Wu. (2010) Experimental Study on the Flow and Particle Transport Induced by the Interaction Between Downwash Airflow and a Moving Object in cleanrooms. ASHRAE Transactions. I
- Y-C Tung, S-C Hu*, *, T. Xu, R-H Wang. (2010) Influence of Ventilation Arrangements on Particle Removal in Industrial Cleanrooms with Various Tool Coverage. Building Simulation Journal. 3(1) 2010, 3-13.
- J. Chen, S. C. Hu*, J. M. Tsao, L-H Chien, T. Lin. (2009) Humidify large-scale cleanrooms by adiabatic humidification method in subtropical areas. ASHRAE Transaction. LO-09-026.
- S. C. Hu,*, J-S Wu, D. Y-L Chan, R T-C Hsu.(2008) “ Power consumption benchmark and its application for the facility system of a semiconductor factory”. Energy and Buildings. 40(9)1765–1770.

Acknowledgements

國立台北科技大學潔淨技術研發中心同仁
奇鼎科技股份有限公司
台灣三賀工程顧問股份有限公司
益昇科技股份有限公司