

中小型面積潔淨室最適FFU尺寸研究報告

張耿政 / Ken Chang

中小型面積潔淨室最適FFU尺寸研究報告

前 言

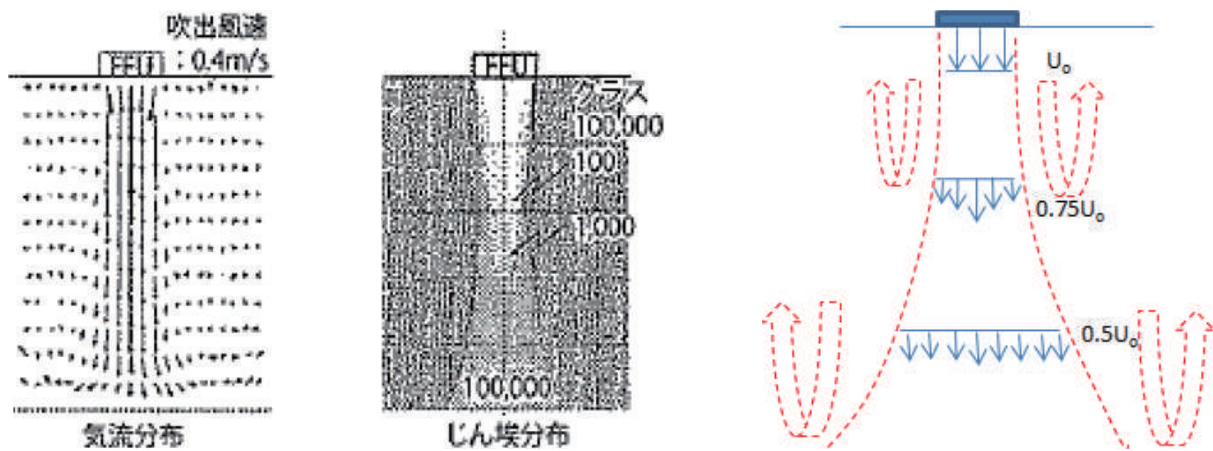
現今無塵室設計建造的最大挑戰就是以更低的初設成本去建造一間可以降低耗能與運轉費用之無塵室。換言之，無塵室設計者要在不增加初設成本建構達成一座高效能廠房，或是在考量邊際效益必須增加初設成本下，也要在短期幾年內可以回收。另則，全球氣候變遷現象也是當今全世界的一項重大議題，企業在投資的過程中，也必須承擔起世界公民的責任，而「節能減碳」正是降低溫室氣體效應的最好手段，由於現今無塵室幾乎都是採取FFU系統設計，而FFU系統不論是在建廠初設成本或空調耗電上皆佔有相當高的比重，因而要以更低的初設成本去建造一間可以降低耗能或其他運轉費用，FFU的設計選用重要性已不容忽視。

潔淨度與FFU設計考量

通常為滿足潔淨等級需求，除了循環風量次數(ACR)要求外還要兼顧考量FFU覆蓋率(Ceiling Coverage)。尤其是針對微小粒徑(0.1um)及其高潔淨等級(ISO 6以上)要求之環境，在較低FFU覆蓋率時容易在無FFU覆蓋之下方形成死角(dead space)，部份橫向移動的氣流誘引微粒至盲板覆蓋的低壓迴流區域(氣袋區)，造成污染物滯留無法排除使得微小粒徑微粒滯留累積，所以在高潔淨等級下，覆蓋率是解決問題的方案。但提高FFU覆蓋率同時也會增加換氣次數；因此在相同換氣次數的條件下，採用較大尺寸FFU也是兼顧初設成本的選擇。

除了前面討論之ACR及Ceiling Coverage 外，維持潔淨度另一要素為風速。另有一名詞“通風效率”(Ventilation Efficiency)乃指過濾乾淨空氣經過無塵室的速度，較高流速下無塵室也更乾淨。如下圖一所示，FFU出口的流場屬於「噴流」(Jet)；當噴流進入空間後，由於流體粘性形成的剪力，動量橫向擴散，氣流立刻擴散。同時中心線速度降低，原本呈現拋物線的速度分布逐漸平均成直線，而噴流內的平均速度降低，並隨著與靜止空氣混合後粘性耗散而趨近零。

圖一 潔淨氣流剖面與機制



從潔淨室設計角度觀點如下：

FFU出口覆蓋投影面，越接近地面氣流平均風速越來越小，換氣次數越來越少。換言之，“通風效率”(Ventilation Efficiency)越低。潔淨室清淨的機制是「迫淨」(Purge)，也就是換氣次數，還有一個是氣流推擠微粒的能力，一般為人所忽略，按某些文獻或教科書的講法在0.15~0.2m/s之間。基於前述的物理現象，FFU覆蓋投影面下越接近地面，由於風速過慢，換氣次數降低，因此潔淨度會降低。FFU覆蓋投影面下越接近地面，氣流雖然越來越平整(均一)，但換氣次數與動能不足，對微粒的移除能力降低。

FFU尺寸之選用考量

FS 209早期建議CLASS 100以上要為層流方式(Laminar Air Flow)，而CLASS 1000以下則只需要紊流方式(Turbulent Air Flow)。上述名詞業界習慣用“層流”“紊流”一詞用來形容潔淨室流場flow pattern，但與流體力學中“層流”“紊流”的定義與描述大不相同，為避免混淆，歐美日等國家早已使用“單一方向流”(Unidirectional Airflow)“非單一方向流”(Non-unidirectional Airflow)來取代。無塵室Unidirectional Airflow設計的優點在於提供一均勻流場環境以防止汙染粒子累積於所謂的氣袋(air pockets)。而FFU尺寸的選用，在非100%覆蓋率下，FFU之間間距大小也直接影響上述汙染粒子累積於所謂的氣袋區域(air pockets)的大小。

縱觀FFU使用尺寸軌跡，從早期2'x4'，隨著風車噪音、振動等性能提升，更大尺寸如3'x4'或2.5'x5'(日系無塵室常用)，甚至4'x4'也在降低初設成本考量下大量被採用。目前台灣市場大致可從產業別來區分使用：

- IC半導體廠晶圓廠、液晶面板廠等無塵室大多採用4'x4'，其無塵室特點為：
 - 1.較高潔淨等級要求(ISO 3~ISO 6)。
 - 2.無塵室天花板高度高且上方回風層空間充裕。
- 半導體封裝測試廠、LED及模組廠等較低潔淨等級無塵室大多採用2'x4'，其無塵室特點為：
 - 1.較低潔淨等級要求(ISO 5~ISO 7)。
 - 2.無塵室天花板高度矮且上方回風層空間窄。

A. 兼顧無塵室潔淨環境下之FFU尺寸模擬分析

在黃佳松之“半導體廠潔淨室氣流模擬分析與省能運轉策略”報告裡模擬氣流在25%覆蓋率下，在天花板下方2米處氣流才顯現均勻流場，以此推論，若在無塵室天花板高度較低時，反而要考量提高FFU覆蓋率或在相同覆蓋率下縮短FFU間距。簡言之，FFU尺寸越小，在相同覆蓋率下是可以將均勻流場高度提高。換言之，在配合天花板高度下，是可採用適度較大FFU尺寸設計。甚至是在較大尺寸FFU設計下，適度提高覆蓋率，兼顧初設成本及運轉成本考量下，選擇最佳方案。

- B. 在此本公司也依某封裝廠實例，藉由氣流模擬來探討FFU尺寸(2'x4', 2.5'x5', 4x'4')對氣流分布之影響(詳附件)

模擬條件:

Case 1.Ceiling Height: 3m (高架地板上方)

Case 2.Ceiling Height: 3.5m (無高架地板)

FFU覆蓋率: ~24% (依FFU尺寸大小略有差異)

從模擬流場，在每20cmX20cm格點取樣，依有無高架地板並比較不同高度採取風速數據加以比較其風速分佈比得知模擬分析如下表:

表一: FFU尺寸改變之模擬風速分佈比

離地板面1.2m高程平面風速分佈點數(每20x20 CM2取點)

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	0~0.05 (m/s)	0.05~0.1 (m/s)	0.1~0.15 (m/s)	0.15~0.2 (m/s)	0.2~0.25 (m/s)	0.25~0.3 (m/s)	0.3~0.35 (m/s)	0.35~0.4 (m/s)	0.4~0.45 (m/s)	0.45~0.5 (m/s)
2'x4'	3.5	NO	1.2(m)	333	2010	4567	8049	12603	12983	11601	10379	7598	6666
	3	YES	1.2(m)	879	3485	7821	13477	16612	15820	12452	7924	4619	2331
2.5'x5'	3.5	NO	1.2(m)	359	2133	4830	8098	11702	14269	13040	10043	8333	6558
	3	YES	1.2(m)	1135	4988	8783	12459	14091	14366	13973	9459	4235	2296
4'x4'	3.5	NO	1.2(m)	632	2532	4530	6848	10084	13960	13662	11009	8142	7056
	3	YES	1.2(m)	1634	5719	8345	11453	12845	13388	13173	10719	5882	2726

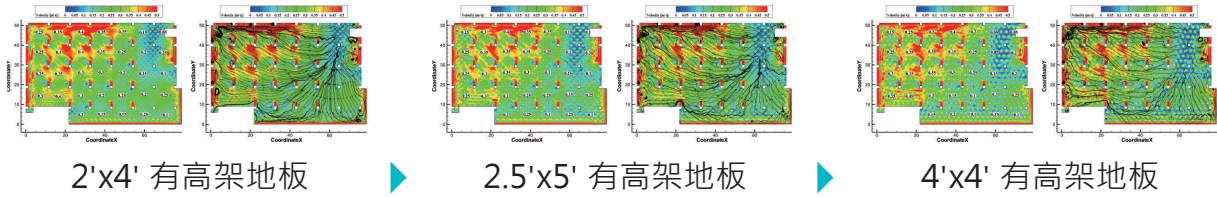
離地板面1.2m高程平面風速分佈比例(每20x20 CM2取點)

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	0~0.05 (m/s)	0.05~0.1 (m/s)	0.1~0.15 (m/s)	0.15~0.2 (m/s)	0.2~0.25 (m/s)	0.25~0.3 (m/s)	0.3~0.35 (m/s)	0.35~0.4 (m/s)	0.4~0.45 (m/s)	0.45~0.5 (m/s)
2'x4'	3.5	NO	1.2(m)	0.4%	2.6%	5.9%	10.5%	16.4%	16.9%	15.1%	13.5%	9.9%	8.7%
	3	YES	1.2(m)	1.0%	4.1%	9.2%	15.8%	19.4%	18.5%	14.6%	9.3%	5.4%	2.7%
2.5'x5'	3.5	NO	1.2(m)	0.5%	2.7%	6.1%	10.2%	14.7%	18.0%	16.4%	12.7%	10.5%	8.3%
	3	YES	1.2(m)	1.3%	5.8%	10.2%	14.5%	16.4%	16.7%	16.3%	11.0%	4.9%	2.7%
4'x4'	3.5	NO	1.2(m)	0.8%	3.2%	5.8%	8.7%	12.9%	17.8%	17.4%	14.0%	10.4%	9.0%
	3	YES	1.2(m)	1.9%	6.7%	9.7%	13.3%	15.0%	15.6%	15.3%	12.5%	6.8%	3.2%

表二:Case.1Ceiling Height: 3 (距離高架地板上方)數據分析:

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	<0.05(m/s)	<0.1(m/s)	<0.15(m/s)	<0.2(m/s)
2'x4'	3	YES	1.2(m)	1%	5%	14%	30%
2.5'x5'	3	YES	1.2(m)	1%	7%	17%	32%
4'x4'	3	YES	1.2(m)	2%	9%	18%	32%

從上表可觀察出，當FFU尺寸變大，其特低風速(<0.1m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，分別提高2%及4%，但若以風速(<0.2m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，分別提高2%及2%。

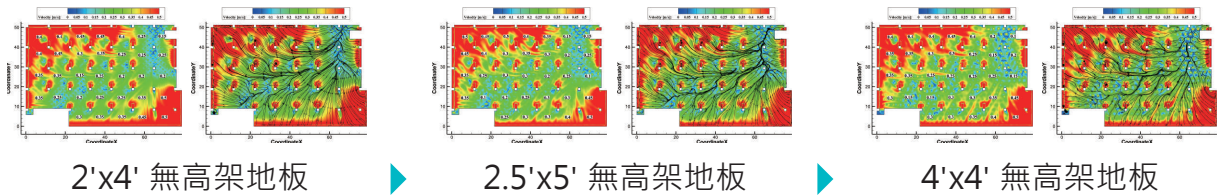


從上圖可觀察出，當FFU尺寸變大，其特低風速(<0.1m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，分別提高之區域是在原低風速區範圍，而原低風速區的產生是因為該區域設置回風道不足或距離較遠，導致該區域風向偏往回風道密集區域。

表三:Case.2Ceiling Height: 3.5m (無高架地板)數據分析:

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	<0.05(m/s)	<0.1(m/s)	<0.15(m/s)	<0.2(m/s)
2'x4'	3	YES	1.2(m)	0%	3%	9%	19%
2.5'x5'	3	YES	1.2(m)	0%	3%	9%	19%
4'x4'	3	YES	1.2(m)	1%	4%	10%	19%

從上表可觀察出，當FFU尺寸變大，其特低風速(<0.1m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，分別提高0%及1%，但若以風速(<0.2m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，則無改變。換言之，若天花板高度增加50公分可有效改善因FFU尺寸加大所造成低風速區範圍之增加。



從上圖可觀察出，當FFU尺寸變大，其特低風速(<0.1m/s)區域比例從2'X4'改成2.5'X5'及4'X4'時，分別提高之區域是在原低風速區範圍，而原低風速區的產生是因為該區域設置回風道不足或距離較遠，導致該區域風向偏往回風道密集區域。若天花板高度增加50公分時可有效改善FFU尺寸加大所造成低風速區範圍之增加。尤其時改用2.5'x5'，低風速區域範圍並無增加。

C. FFU尺寸在初設成本與運轉成本之差異

由於現今無塵室幾乎都是採取FFU系統設計，而FFU系統不論是在建廠初設成本或空調耗電上皆佔有相當高的比重，因而要以更低的初設成本去建造一間可以降低耗能或其他運轉費用，FFU的設計選用重要性已不容忽視。

下列二表分別針對不同FFU尺寸，提供無塵室初設成本與FFU運轉成本分析比較：

表四:FFU尺寸與無塵室相關系統初設成本比較

	2'x4' DC FFU			2.5'x5' (or 3'x4') DC FFU			4'x4' DC FFU		
	單價 (NTD)	數量	總價	單價 (NTD)	數量	總價	單價 (NTD)	數量	總價
FFU 設備費用	9,000	4,500	40,500,000	10,600	3,100	32,860,000	12,500	2,300	28,750,000
FFU 電控費用	1,500	4,500	6,750,000	2,000	3,100	6,200,000	2,400	2,300	5,520,000
FFU 安裝費用	300	4,500	1,350,000	400	3,100	1,240,000	500	2,300	1,150,000
Ceiling Grid 費用	1,500	11,000	16,500,000	1,350	11,000	14,850,000	1,200	11,000	13,200,000
TOTAL	65,100,000			55,150,000			48,620,000		
TOTA(%)	100%			85%			75%		
其他優劣	1.重量較輕安裝較容易。 2. 安裝時，ceiling上方需較小空間。 3.風機效率較差(50~55%)。			1.重量略重但安裝不難。 2. 安裝時，ceiling上方需較小空間。 3.風機效率較佳(55~60%)。			1.重量重安裝較難。 2. 安裝時，ceiling上方需較大空間。 3.風機效率最佳(60~66%)。		

首先要注意的是當選擇不同尺寸FFU時，影響初設成本的還有其相關系統包括電力、監控及天花板系統之成本費用，上表顯示相較於2'x4'，若採用較大尺寸FFU 4'x4'設計，單是FFU設備就可省30%，如加上相關系統的初設成本，最高可降低25%，在總節省金額上更是明顯。

表五:FFU尺寸與運轉成本比較

TOPWELL FFU耗電分析運用軟體(DC FFU)											
設備型式		2'x4'	2.5'x5'		4'x4'		循環風量(CMM):22040				
數量		1160	735		580						
FFU設計風量(CMM)		19	30		38						
FFU整機效率(%)		55	60		65						
濾網初始壓損(Pa)		95	95		95						
FFU機外靜壓(Pa)		80	80		80						
濾網年增壓損(Pa)		10	10		10						
電價(NTD/KW-Hr)		2.7	2.7		2.7						
2'x4'	運轉時間	Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	風量	Q(CMM)	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	全靜壓	TSP(Pa)	175	185	195	205	215	225	235	245	255
	單台耗電	W	101	107	112	118	124	130	135	141	147
	年耗電費	新台幣	2,764,417	2,922,384	3,080,350	3,238,317	3,396,284	3,554,251	3,712,217	3,870,184	4,028,151
	累計電費 (NTD)	新台幣	2,764,417	5,686,801	8,767,151	12,005,469	15,401,752	18,956,003	22,668,220	26,538,404	30,566,555
	年碳排量	Kg CO2	563,122	595,300	627,479	659,657	691,836	724,014	756,192	788,371	820,549
	累計碳排量	Kg CO2	563,122	1,158,422	1,785,901	2,445,558	3,137,394	3,861,408	4,617,600	5,405,971	6,226,520
2.5'x5'	運轉時間	Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	風量	Q(CMM)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	全靜壓	TSP(Pa)	175	185	195	205	215	225	235	245	255
	單台耗電	W	146	154	162	171	179	187	196	204	212
	年耗電費	新台幣	2,534,049	2,678,852	2,823,655	2,968,457	3,113,260	3,258,063	3,402,866	3,547,669	3,692,471
	累計電費 (NTD)	新台幣	2,534,049	5,212,901	8,036,555	11,005,013	14,118,273	17,376,336	20,779,202	24,326,870	28,019,342
	年碳排量	Kg CO2	516,195	545,692	575,189	604,686	634,183	663,680	693,176	722,673	752,170
	累計碳排量	Kg CO2	516,195	1,061,887	1,637,076	2,241,762	2,875,945	3,539,624	4,232,800	4,955,474	5,707,644
4'x4'	運轉時間	Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	風量	Q(CMM)	38	38	38	38	38	38	38	38	38
	全靜壓	TSP(Pa)	175	185	195	205	215	225	235	245	255
	單台耗電	W	171	180	190	200	209	219	229	239	248
	年耗電費	新台幣	2,339,122	2,472,786	2,606,450	2,740,115	2,873,779	3,007,443	3,141,107	3,274,771	3,408,435
	累計電費 (NTD)	新台幣	2,339,122	4,811,908	7,418,359	10,158,473	13,032,252	16,039,695	19,180,802	22,455,573	25,864,008
	年碳排量	Kg CO2	476,488	503,716	530,944	558,171	585,399	612,627	639,855	667,083	694,311
	累計碳排量	Kg CO2	476,488	980,204	1,511,147	2,069,319	2,654,718	3,267,345	3,907,200	4,574,283	5,268,594

- 結論: 1. FFU尺寸越大整機效率越高: 55%(2'x4') --> 60%(3'x4') --> 65%(4'x4')
2. FFU尺寸越大總體運轉電費越低: 以十年累計計算，比起選用2'x4' FFU，若使用2.5'x5' FFU運轉成本為92%，若使用4'x4' FFU運轉成本為85%。
3. 碳排量(每1度電會產生0.55公斤的二氧化碳):以十年累計計算，比起選用2'x4' FFU，若使用2.5'x5' FFU碳排量可減少600公噸，若使用4'x4' FFU碳排量可減少1000公噸。

一般而言，越大尺寸FFU之效率越高，表五顯示相較於2'x4'，若採用較大尺寸FFU 4'x4'設計，在運轉成本上，最高可降低17%。

D. FFU尺寸與安裝空間需求

圖二. FFU安裝方式與空間說明

	機款	規格尺寸 L / W / H	安裝需求 高度(H)
2'x4'	DC 1-220V-60	1172x572x265	600 mm
2'x4'	DC 1-220V-60	1172x572x327	600 mm
4'x4'	DC 1-220V-60	1172x1172x368	1250 mm
4'x4'	DC 1-277V-60	1136x1136x400	1210 mm
5'x2.5'	DC 1-220V-60	1472x772x368	810 mm

注意：安裝需求高度依現場狀況會有所不同

由於一般半導體封裝測試廠、LED及模組廠等其無塵室特點為:

1. 較低潔淨等級要求(ISO 5~ISO 7)。
2. 無塵室天花板高度矮且上方回風層空間窄，加上維修時更換濾網或風機時考量，幾乎大多採用2'x4' FFU。然而只要FFU為長方形設計時，即可有效減少安裝空間需求。參考上圖安裝說明，可發現在採用2.5'x5'尺寸時就可兼顧安裝空間需求下(從66cm到81cm)，適當採用加大之FFU尺寸，就可有效降低初設成本及享有較高效風機帶來的較低運轉成本。

結論

簡而言之，首先要降低無塵室FFU相關系統的初設成本最有效方式就是減少FFU安裝數量，而達到降低數量則要透過下列步驟：

1. 適當而不過度的潔淨等級設計要求。
2. 採用無段調速直流無刷(或EC)馬達FFU，可容許即使初始安裝較少數量下，日後實際運轉如有需求，可提高運轉風量以確保循環風量次數(ACR)設計需求。
3. 選用較大尺寸FFU，在相同設計條件下(ACR)，可容許初始安裝較少數量。

接著要降低無塵室FFU運轉成本最有效方式就是：

1. 採用高效無段調速直流無刷(或EC)馬達FFU並搭配中央監控系統，在確保潔淨等級下盡量調降實際運轉循環風量次數(ACR)。
2. 選用較大尺寸FFU，在相同設計風速條件下，較大尺寸FFU可提供較高的運轉效率。
3. 目前採用2'x4'尺寸設計安裝之無塵室，強力建議將尺寸改成2.5'x5'，在滿足設計上之循環風量及覆蓋率並兼顧安裝維修空間限制下，可立即降低初設成本15%及運轉電費8%，並減少總排碳量600公噸CO₂e。

總而言之，為符合潔淨等級，循環風量次數的設計是最主要的考量因素，但各潔淨室的發塵量不同取決於製程設備、人員及操作方式的各有不同。為達到最佳標準，循環風量的決定是要經過長時間的量測驗證。唯有在收集長時間的運轉條件下之FFU風量、靜壓、溫溼度、室壓及潔淨度等數據，同時可比對製程設備相關數據如排氣量、稼動率及良率等，進而找出最佳運轉條件。終究工業4.0的目標就是要將數據透過AI演算法以達智能化，而智能化的目的也就是達成最佳效益化。FFU系統是無塵室內網路系統覆蓋率最高的，先進FFU廠商也提供相關的FFU風量、靜壓、溫溼度、室壓及潔淨度監測模組，可藉由現有FFU網路系統取的數據加以監視分析，接下來的新課題就是在如何建立一套有效且可靠的AI演算法(Algorithm)將這些數據分析反饋成日後運轉條件設定。

附件一：

氣流模擬計畫委託:奇立實業(股)

Cleanroom design with difference size of FFU

Center for Clean Technology Research (CCTR)潔淨技術研發中心

胡石政S.C.Hu、林迪、林群家

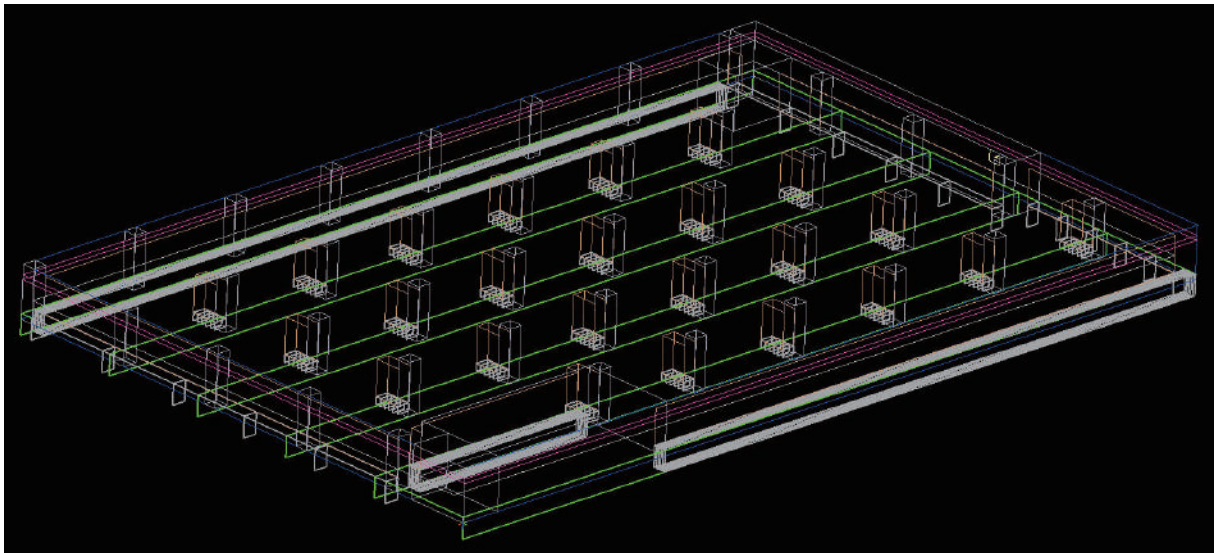
National Taipei University of Technology 1,Section 3 ,Chung-Hsiao E Rd, 106

Taipei , TAIWAN ROC

Phone: (886)02-27712171~3512

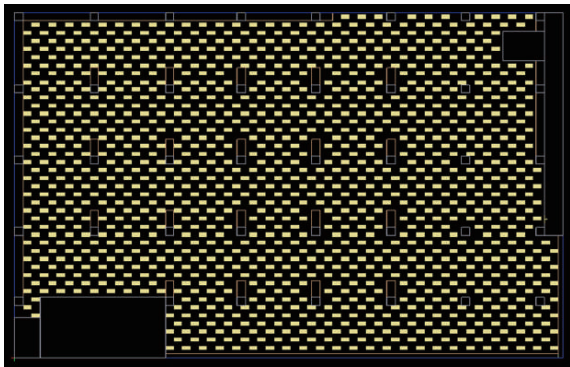
Fax: (886)02-27314919

潔淨室內之氣流模擬分析

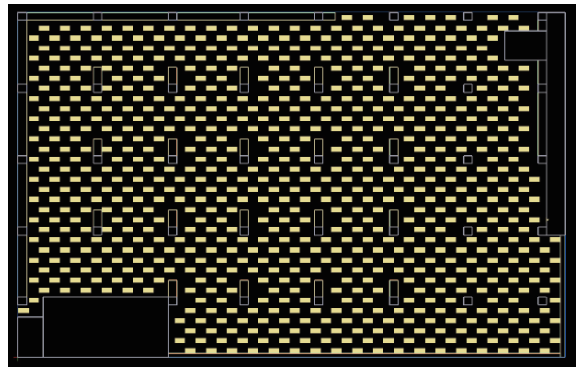


在本研究中，使用套裝軟體ANSYS FLUENT 19.0，透過其中的Icepak進行無塵室模型建立，其後利用適當網格大小以利後續分析無塵室內部物理現象。網格建立完成後，進入Fluent輸入各項業主提供之邊界條件，以及基本假設如空氣密度為定值、壁面無滑移等條件進行流場走勢模擬。藉由所得之結果，套入Tecplot建立業主欲見之切面，用圖像之方式顯示速度分布與流線，更清楚了解無塵室內各個物理現象。

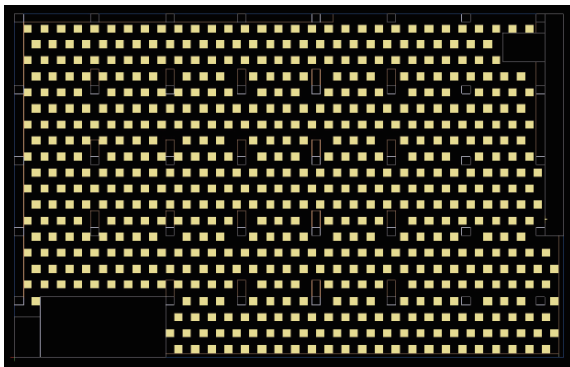
FFU位置圖(2'x4')



FFU位置圖(2.5'x5')

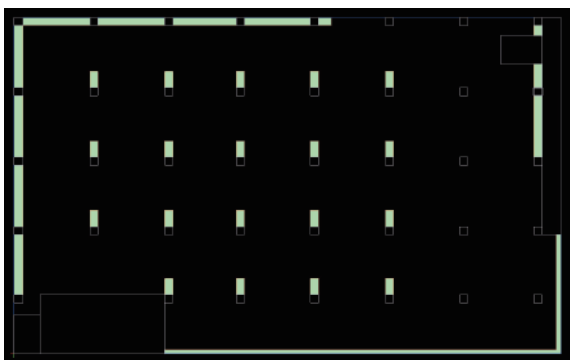
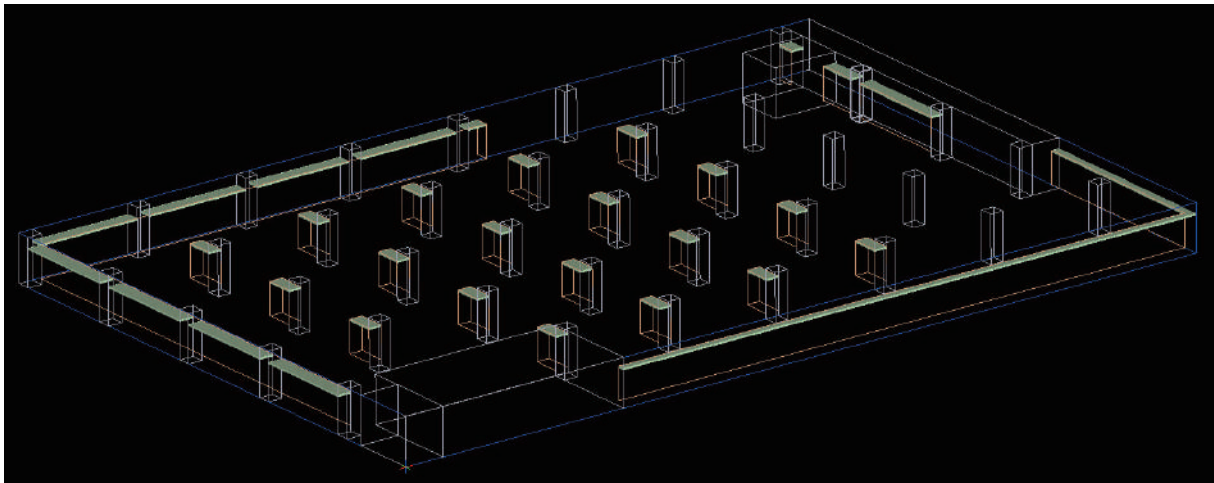


FFU位置圖(4'x4')



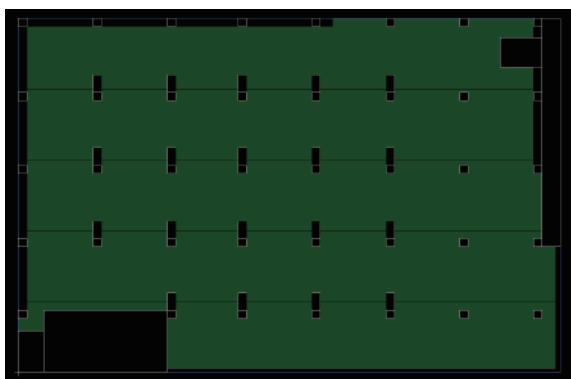
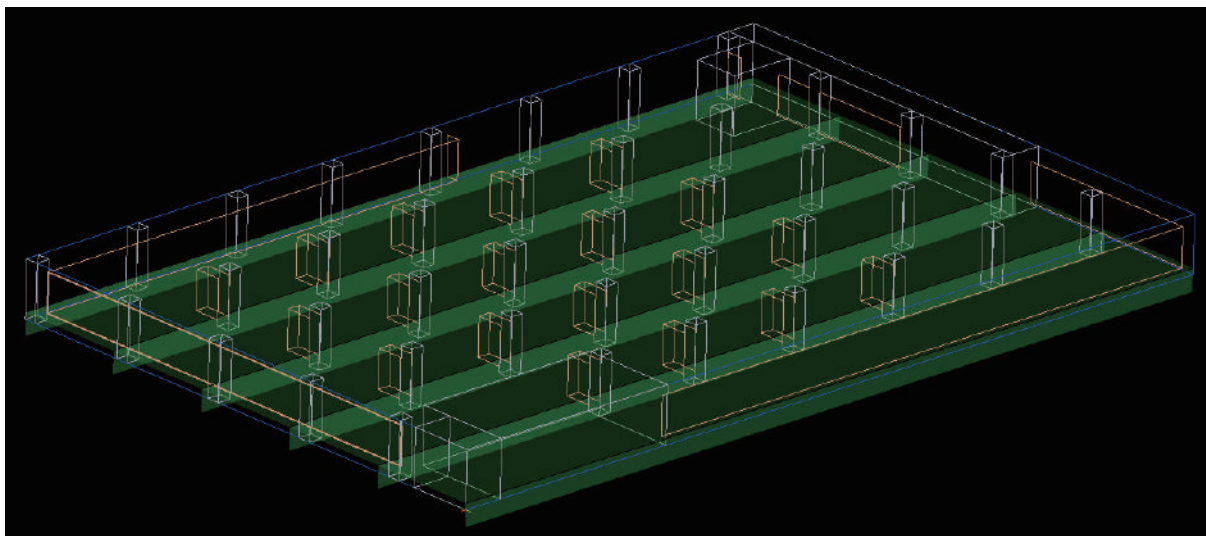
- FFU
- Wall
- Partition

DCC位置圖



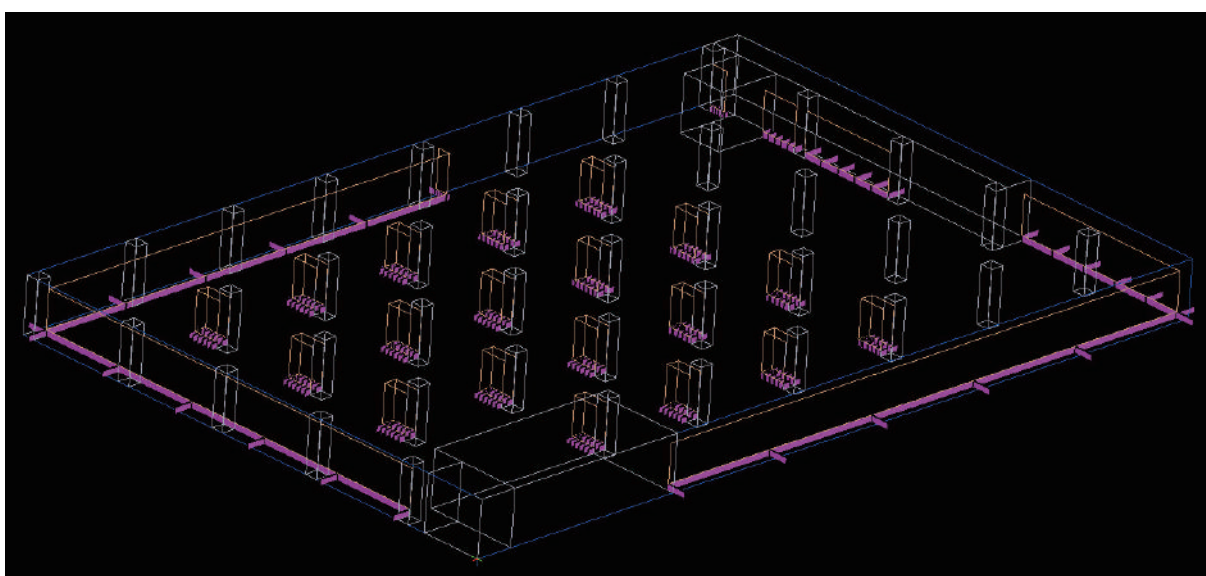
- DCC
- Wall
- Partition

Raised Floor位置圖



- Raised Floor
- Wall
- Partition

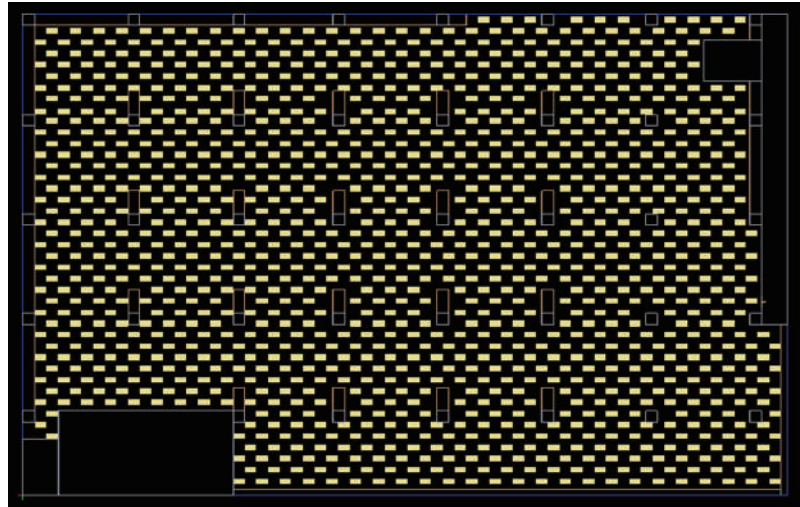
格柵位置圖



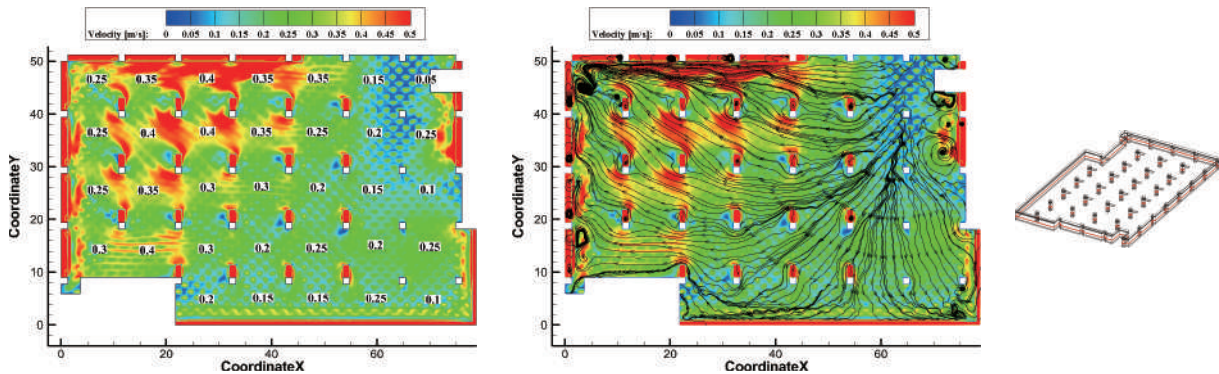
- 格柵
- Wall
- Partition

2'x4' Boundary

- Dimension:
 - Size: 78.8m x 51.3m x 4.7m
- FFU:
 - FFU amount: 1160
 - Velocity: 0.45 m/s
 - Coverage: 24.1%
- Raised floor:
 - Location: 0.5m
 - Coverage: 48.2%
 - Opening rate: 17%
- 格柵開口率: 25%
- DCC:
 - Surface velocity: 2.5 m/s
 - Pressure drop: 40 Pa

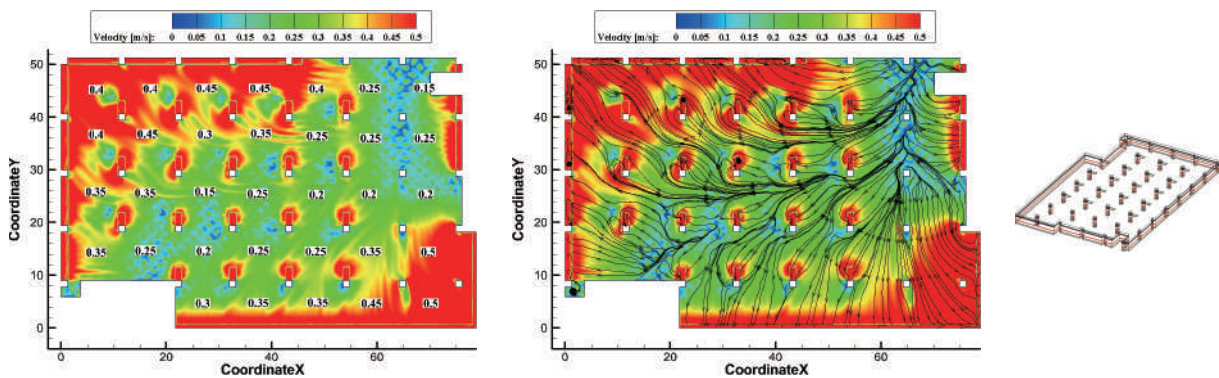


W/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above RF



最小風速為0.0057m/s，最大風速為0.5m/s，平均風速0.27m/s，相對標準差38%。

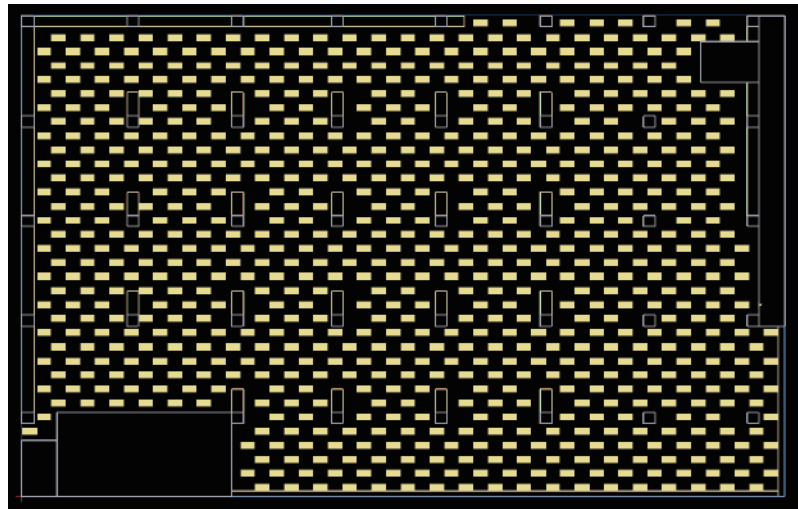
WO/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above Floor



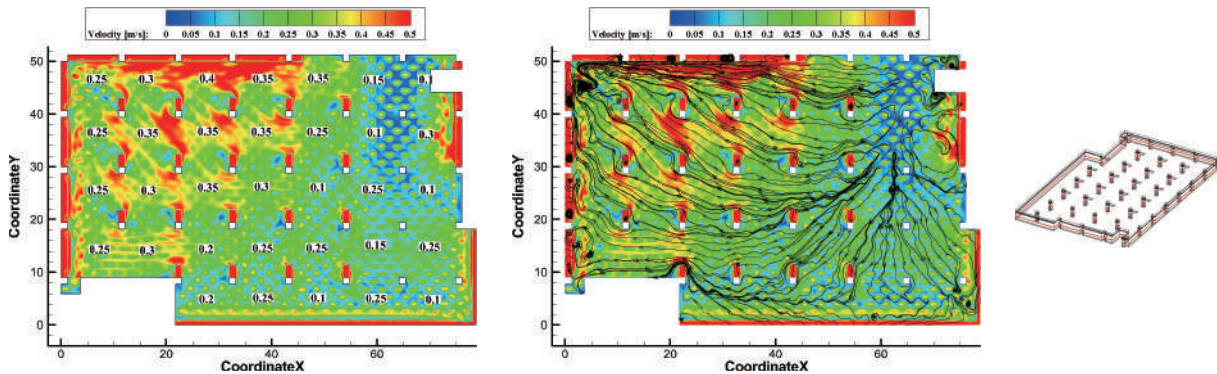
最小風速為0.0026m/s，最大風速為0.5m/s，平均風速0.33m/s，相對標準差36%。

2.5'x5' Boundary

- Dimension:
 - Size: 78.8m x 51.3m x 4.7m
- FFU:
 - FFU amount: 719
 - Velocity: 0.45 m/s
 - Coverage: 23.3%
- Raised floor:
 - Location: 0.5m
 - Coverage: 46.6%
 - Opening rate: 17%
- 格柵開口率: 25%
- DCC:
 - Surface velocity: 2.5 m/s
 - Pressure drop: 40 Pa

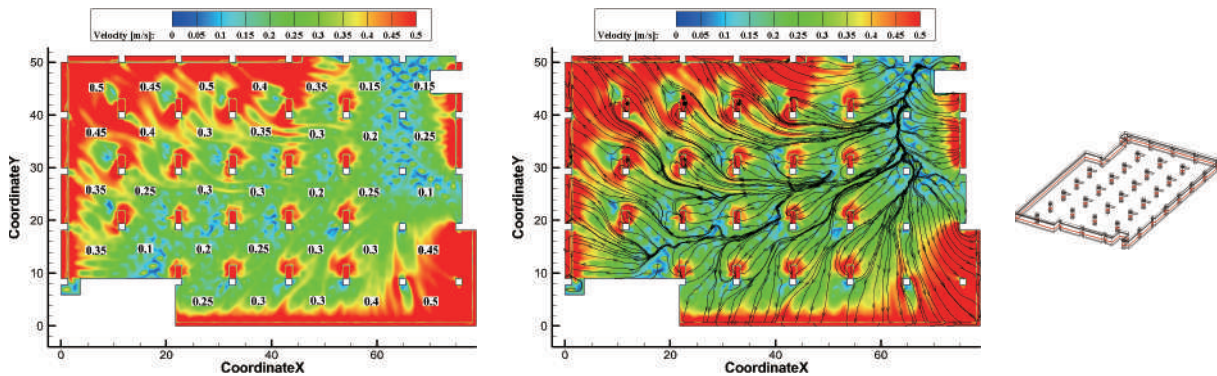


W/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above Floor



最小風速為0.0046m/s，最大風速為0.5m/s，平均風速0.27m/s，相對標準差40%。

WO/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above Floor



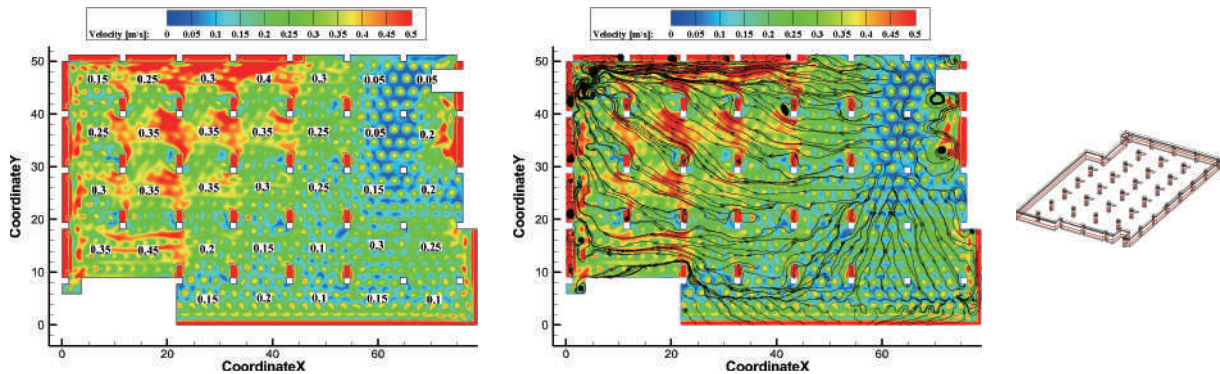
最小風速為0.0049m/s，最大風速為0.5m/s，平均風速0.33m/s，相對標準差36%。

4'x4' Boundary

- Dimension:
 - Size: 78.8m x 51.3m x 4.7m
- FFU:
 - FFU amount: 580
 - Velocity: 0.45 m/s
 - Coverage: 24.1%
- Raised floor:
 - Location: 0.5m
 - Coverage: 48.2%
 - Opening rate: 17%
- 格柵開口率: 25%
- DCC:
 - Surface velocity: 2.5 m/s
 - Pressure drop: 40 Pa

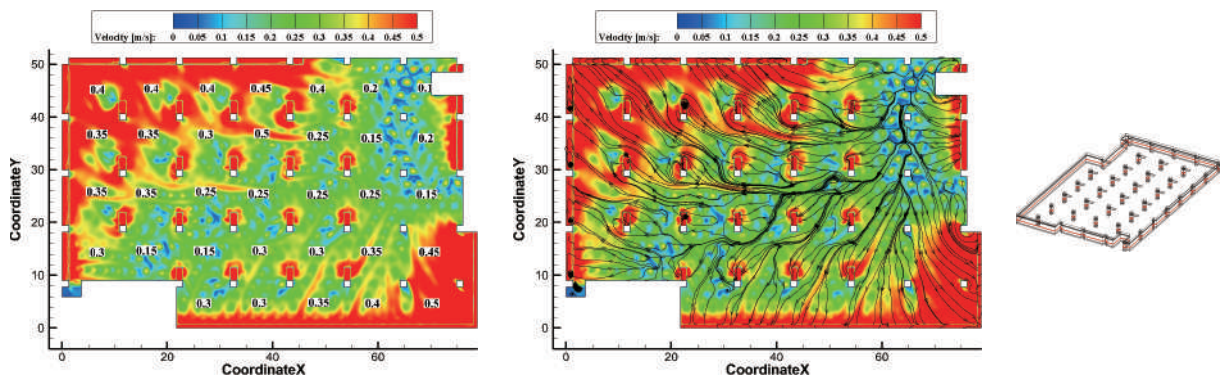


W/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above RF



最小風速為0.0021m/s · 最大風速為0.5m/s · 平均風速0.27m/s · 相對標準差42%。

WO/Raised Floor: Velocity at Z= 1.2m above Floor



最小風速為0.05m/s · 最大風速為0.5m/s · 平均風速0.33m/s · 相對標準差36%。

Result(全區風速分佈比例)

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	0~0.05 (m/s)	0.05~0.1 (m/s)	0.1~0.15 (m/s)	0.15~0.2 (m/s)	0.2~0.25 (m/s)	0.25~0.3 (m/s)	0.3~0.35 (m/s)	0.35~0.4 (m/s)	0.4~0.45 (m/s)	0.45~0.5 (m/s)
2'x4'	3.5	NO	1.2(m)	333	2010	4567	8049	12603	12983	11601	10379	7598	6666
	3	YES	1.2(m)	879	3485	7821	13477	16612	15820	12452	7924	4619	2331
2.5'x5'	3.5	NO	1.2(m)	359	2133	4830	8098	11702	14269	13040	10043	8333	6558
	3	YES	1.2(m)	1135	4988	8783	12459	14091	14366	13973	9459	4235	2296
4'x4'	3.5	NO	1.2(m)	632	2532	4530	6848	10084	13960	13662	11009	8142	7056
	3	YES	1.2(m)	1634	5719	8345	11453	12845	13388	13173	10719	5882	2726

*每一平面風速取樣點數約8000筆

FFU尺寸	Ceiling Height(m)	有無RF	離地板高	0~0.05 (m/s)	0.05~0.1 (m/s)	0.1~0.15 (m/s)	0.15~0.2 (m/s)	0.2~0.25 (m/s)	0.25~0.3 (m/s)	0.3~0.35 (m/s)	0.35~0.4 (m/s)	0.4~0.45 (m/s)	0.45~0.5 (m/s)
2'x4'	3.5	NO	1.2(m)	0.4%	2.6%	5.9%	10.5%	16.4%	16.9%	15.1%	13.5%	9.9%	8.7%
	3	YES	1.2(m)	1.0%	4.1%	9.2%	15.8%	19.4%	18.5%	14.6%	9.3%	5.4%	2.7%
2.5'x5'	3.5	NO	1.2(m)	0.5%	2.7%	6.1%	10.2%	14.7%	18.0%	16.4%	12.7%	10.5%	8.3%
	3	YES	1.2(m)	1.3%	5.8%	10.2%	14.5%	16.4%	16.7%	16.3%	11.0%	4.9%	2.7%
4'x4'	3.5	NO	1.2(m)	0.8%	3.2%	5.8%	8.7%	12.9%	17.8%	17.4%	14.0%	10.4%	9.0%
	3	YES	1.2(m)	1.9%	6.7%	9.7%	13.3%	15.0%	15.6%	15.3%	12.5%	6.8%	3.2%

