

聲音照相機對於CDA洩漏偵測與 廠務系統降噪運用

Nov 19, 2019

Noise Outline

- 無塵室噪音說明
- 聲音照相機的原理
- 聲音照相機的介紹
- FAB無塵室噪音改善
- 廠務區環境改善(噪音/洩漏/異常)
- 結果與討論

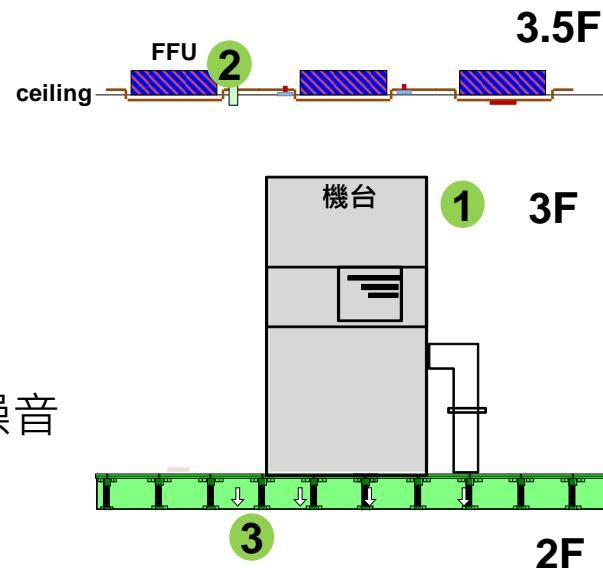
無塵室噪音改善

● 背景

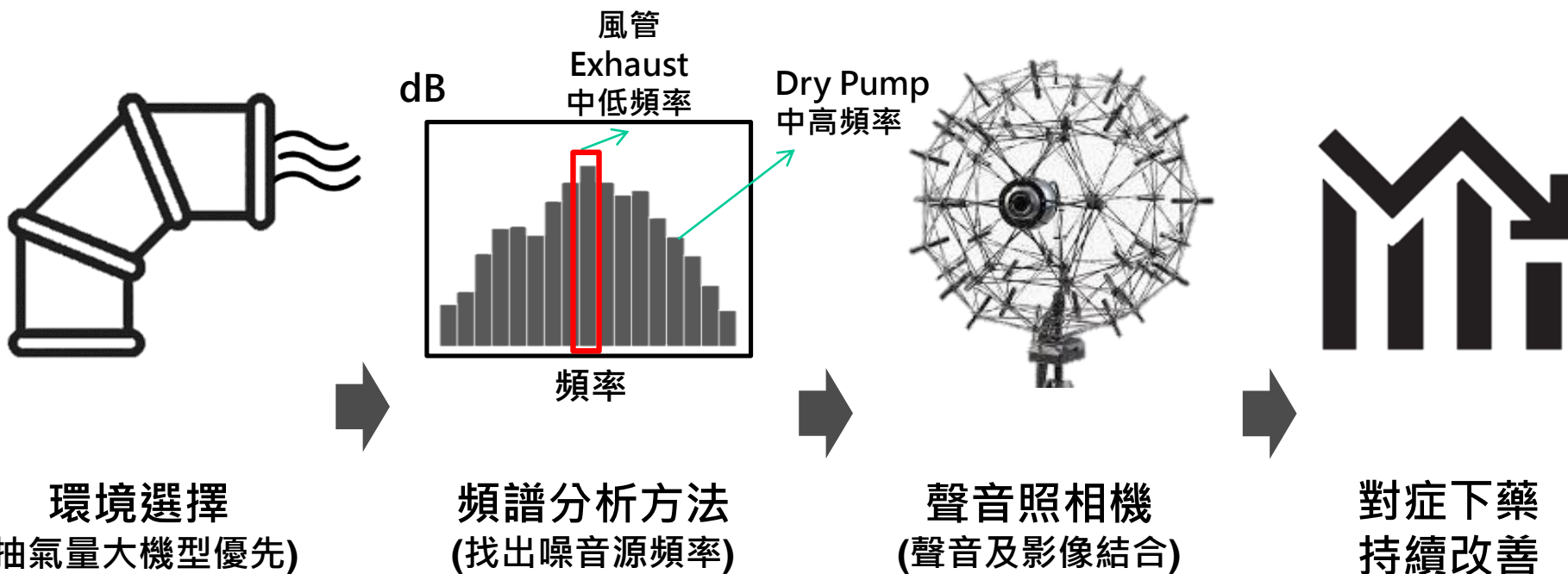
- 新導入陣列式聲音照相機，找出更多噪音源加以改善

● 噪音源分析

- ① 無塵室：機台/ 軌道/ 排氣風管共振噪音
- ② 天花板上：FFU噪音/ 排氣風機傳遞sub-main風管噪音
- ③ 高架地板下：Local Scr./ Dry pump/ Blower



● 量測方式



聲學的指標

噪音分貝組成

- 分貝是以音壓與能量(參照ISO3741~3746)來當做它的單位，其數學計算如下

$$L_p = \text{聲壓位準(Sound Pressure Level)} = 20\log(p/p_0)$$

$$L_w = \text{聲功率位準(Sound Power Level)} = 10\log(W/W_0)$$

$p_0 = 10^{-6}$ Pa (壓力單位)

$W_0 = 10^{-12}$ Watt (能量單位)

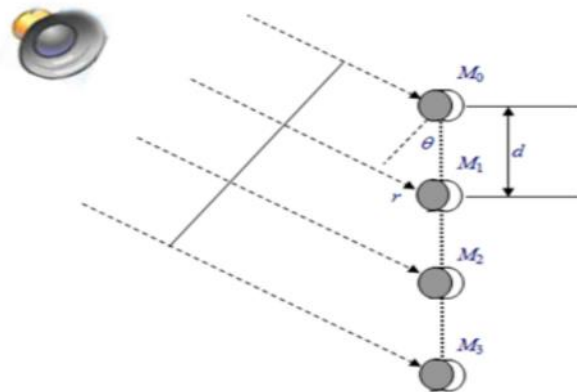
- 人耳可聽聞的壓力大小從 10^{-6} Pa~10Pa之間，以對數做數學計算處理後的噪音值介於0~140 分貝
- 耳朵對不同頻率感受不同，必要對 L_p 聲壓位準(dBL)做一個加權(weighting)動作，才可求得 L_w 聲功率(dBA)

頻率	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
A 加權	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1

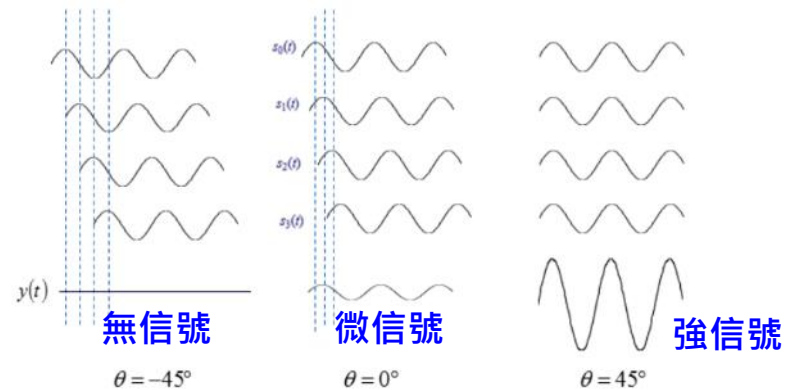
聲音照相機的原理

波束形成(Beamforming)

- 從各陣元採集來的信號進行**加權求和**形成波束，通過搜索聲源的可能位置來引導該波束，修改權值使得傳聲器陣列的輸出信號功率最大
- 在空間內各頻率，陣列信號的處理給出每個空間掃描網格點上或每個信號到此方向的**能量水平**
- 陣列表示一種聲源分布相關聯的**響應求和**後的數量，較適合用於大型麥克風陣列收集類比信號



聲源入射角與麥克風**非平面垂直**

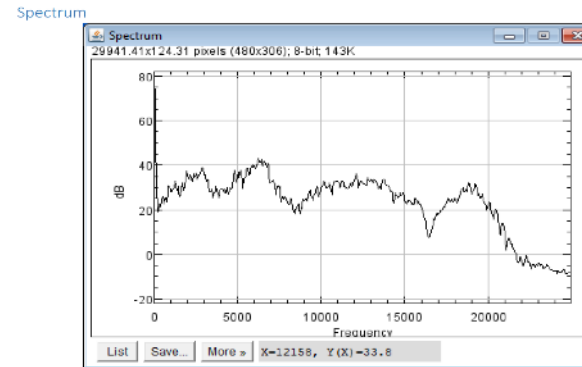


不同入射角度，疊加波形強度不同

聲音照相機的介紹

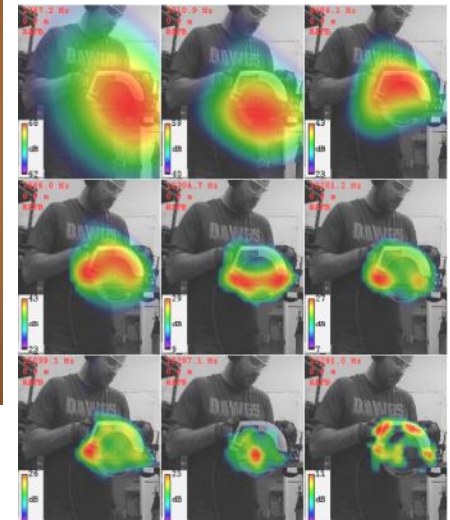
● 使用時機

- 音源太多又無法分別開關或設備
- 找不到音源
- 不同頻率的分別
- 同一個設備的不同零組件



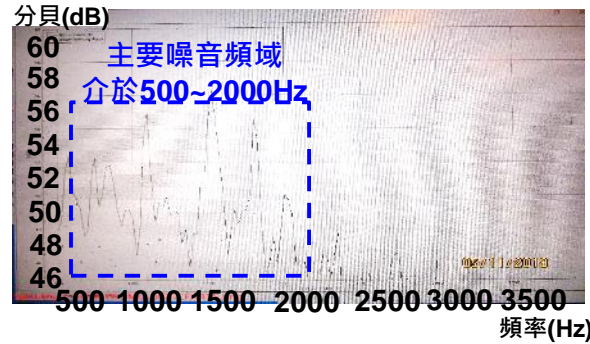
● 聲音照相機的硬體 (看見聲音ACAM120)

- 40*40 cm 平板
- 1個5M攝影機
- 40pc 數位麥克風
- 1條USB連結線
- Win 7 min
- Core i5 min 8G Dram
- 128G SSD (1G 2min raw data)
- 50~20kHz
- Beamform X acoustic imaging s/w



FAB無塵室噪音改善

● 噪音改善流程



高頻噪音

低頻噪音



聲音照相機



AMHS與
機台噪音改善

噪音源
是否降低

列入
高頻噪音
管制表

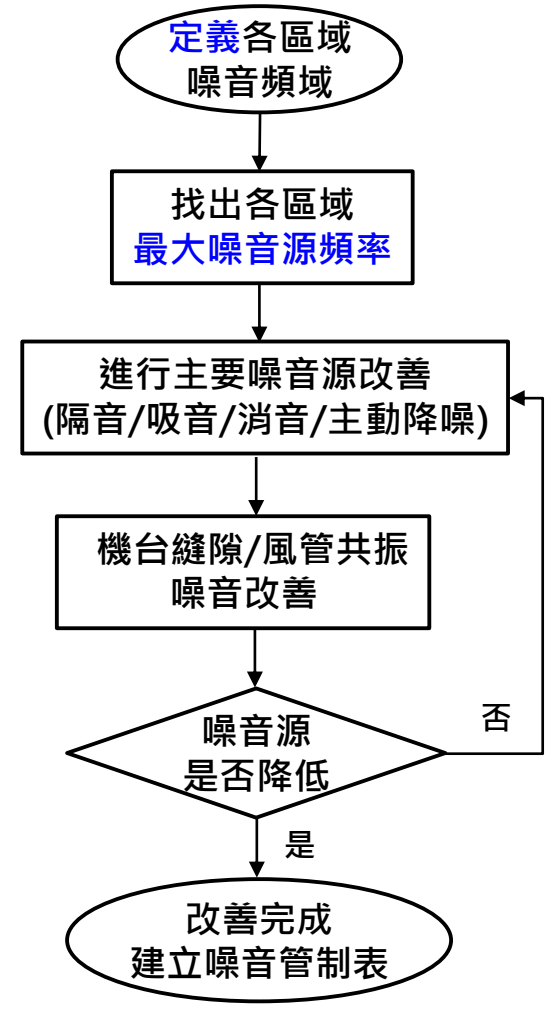


八音頻噪音計

風管氣密與
共振改善

噪音源
是否降低

列入
低頻噪音
管制表



FAB無塵室噪音改善

● 設備噪音改善 (EPI的聲音輻射)

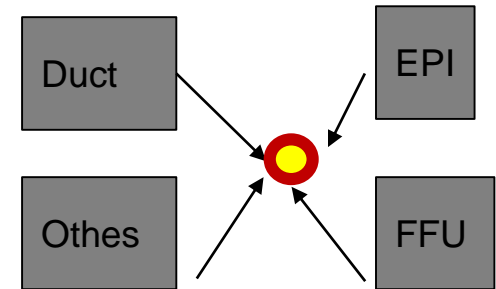
- 殼體出來：聲音小，面積大
- 縫隙出來：聲音大，面積小

$$Lw = Lp + 10 \cdot \log S$$

Lw: 聲功率 · Lp: 音壓 · S: 該類型的面積

位置	Lp (dBL)	S (m2)	Lw (dBA)
縫隙	86	0.1	$86 + 10 \cdot \log 0.1 = 76$
殼體	70	6	$70 + 10 \cdot \log 6 = 77.8$

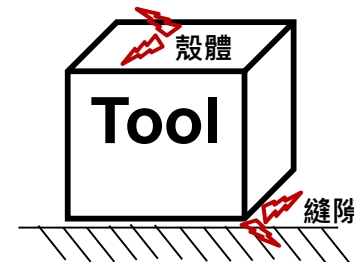
殼體聲功率較大



$$L_{total} = Lp(\text{Duct}) + Lp(\text{EPI}) + Lp(\text{FFU}) + Lp(\text{others})$$

$$78\text{dBA} = 70(\text{duct}) + 76(\text{EPI}) + 70(\text{FFU}) + 65(\text{others})$$

面積大小不同
聲功率也不同



FAB無塵室噪音改善

● 風機噪音改善

- 一般輸送空氣的機械，依其輸送空氣壓力大小可分成三種：送風機(Fan) 鼓風機(Blower)、壓縮機(Compressor)
- 一般常用的送風機為離心式送風機，用來估算送風機噪音的公式如下

$$Fn = nBN/60 \text{ (Hz)}$$

$$= (1065 * 12 / 60) + 5 = 218 \text{ (Hz)}$$

Fn：葉片通過頻率 (Hz)
B：轉速(rpm)
N：葉片數目

$$Lw = 10 * \log Q + 20 * \log Pt + K \text{ (dB)}$$

$$= 10 * \log(47,055) + 20 * \log(9.96) + 35 = 101.66 \text{ (dB)}$$

Lw: 聲功率位準 (dB), Q: 風量 (CFM), Pt: 靜壓 (in-H2O)
K: 常數 (前、後傾式風機K=35, 輻射式K=43)

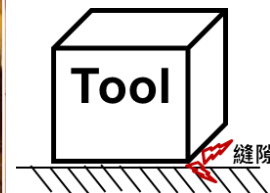
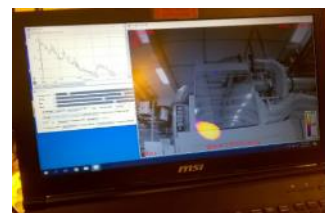
表一、不同離心風機的頻譜修正值

項目	各頻率修正值								
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	BPFI(a)
前傾式	15	10	5	0	-5	-8	-10	-13	3
後傾式	4	4	3	1	0	-5	-13	-20	2

光罩檢測機台FFU噪音改善

● 噪音背景說明

- 機台FFU 噪音透過縫隙傳出
- 可改善數量預計20台，區域性可降噪**0.9dB**



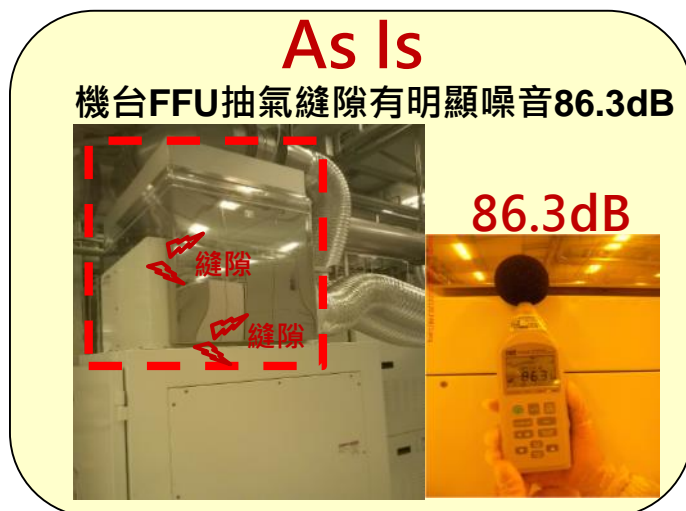
● 檢測與改善方式

- 利用可視化介面找出逸散噪音源
- 將FFU抽氣縫隙貼**鋁箔膠帶**避免噪音擴散

● 噪音改善成果

- 單台噪音改善從**86.3**→**76.5** dB
- LIT2局部噪音改善從76.4→75.5dB (衰減**19%**)

位置	Lp (dBL)	S (m2)	Lw (dBA)
縫隙	86.3	0.07	$87+10*\log 0.07$ = 74.7 > 74.2
殼板	76.3	3.2	$76.3+10*\log 3.2$ = 81.3 > 74.2
總成噪音			82



FAB無塵室噪音改善

管路長度噪音衰減表

Diameter, mm	Insertion Loss, dB/m							
	Octave Band Center Frequency, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
150	1.84	2.62	4.49	7.38	7.12	7.58	6.69	4.13
205	1.67	2.46	4.36	7.32	7.19	7.12	6.00	3.87
255	1.51	2.33	4.23	7.22	7.22	6.69	5.38	3.67
305	1.38	2.20	4.10	7.15	7.15	6.27	4.86	3.44
355	1.25	2.07	3.97	7.05	7.02	5.87	4.40	3.28
405	1.15	1.94	3.84	6.96	6.82	5.48	3.97	3.12
460	1.05	1.84	3.71	6.89	6.59	5.12	3.61	2.95
510	0.95	1.71	3.58	6.79	6.30	4.76	3.28	2.85
560	0.89	1.61	3.44	6.66	5.97	4.40	3.02	2.72
610	0.82	1.51	3.31	6.56	5.61	4.07	2.79	2.62
660	0.79	1.41	3.18	6.43	5.22	3.74	2.59	2.53
710	0.72	1.31	3.05	6.33	4.79	3.41	2.43	2.43
760	0.69	1.21	2.95	6.17	4.36	3.12	2.26	2.33
815	0.66	1.12	2.82	6.04	3.94	2.85	2.17	2.26
865	0.62	1.05	2.69	5.87	3.51	2.59	2.07	2.17
915	0.59	0.95	2.59	5.71	3.05	2.33	1.97	2.10
965	0.56	0.89	2.49	5.54	2.62	2.10	1.90	2.00
1015	0.52	0.79	2.40	5.35	2.23	1.87	1.80	1.90
1070	0.49	0.72	2.30	5.15	1.84	1.64	1.74	1.80
1120	0.43	0.66	2.20	4.92	1.48	1.44	1.67	1.71
1170	0.39	0.56	2.10	4.69	1.15	1.28	1.57	1.57
1220	0.36	0.49	2.03	4.46	0.85	1.12	1.48	1.44
1270	0.30	0.39	1.97	4.20	0.62	0.95	1.35	1.31
1320	0.23	0.33	1.90	3.90	0.43	0.82	1.21	1.12
1370	0.16	0.26	1.84	3.61	0.30	0.72	1.02	0.95
1420	0.07	0.16	1.80	3.28	0.26	0.59	0.82	0.72
1475	0	0.10	1.74	2.95	0.26	0.52	0.59	0.49
1525	0	0	1.74	2.59	0.33	0.46	0.30	0.23
2400			1.24					

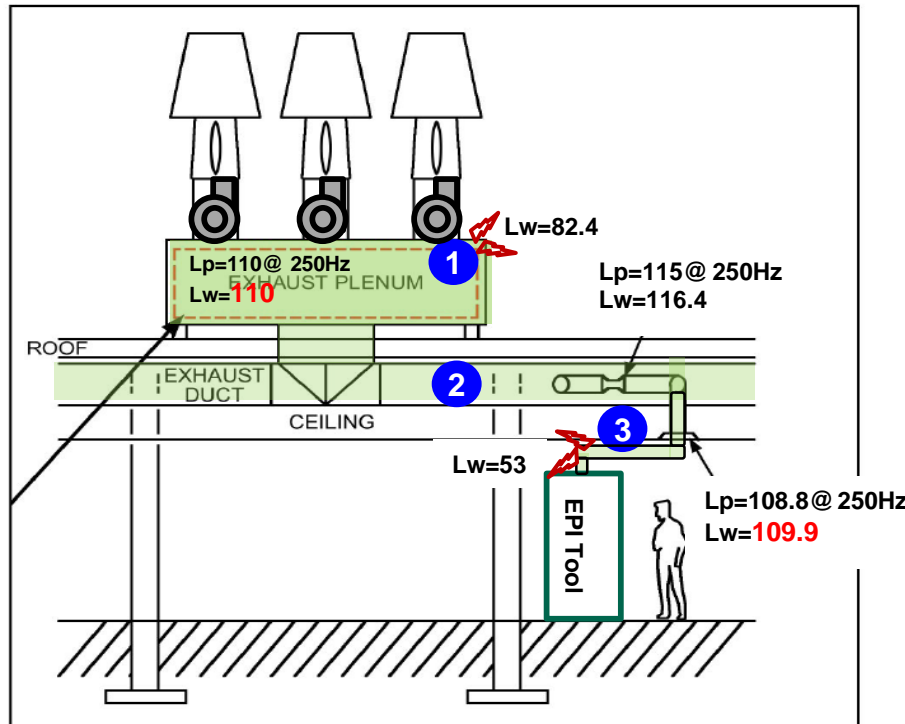
圓形風管噪音傳導損失表

Diameter, mm	Length, m	Gage	Octave Midband Frequency, Hz							
			63	125	250	500	1000	4000		
Long Seam Ducts										
200	4.6	26	>45	(53)	55	52	44	35	34	
350	4.6	24	>50	60	54	36	34	31	25	
560	4.6	22	>47	53	37	33	33	27	25	
810	4.6	22	(51)	46	26	24	22	22	38	
Spiral Wound Ducts										
300	3.6	26*	52	51	53	51	50	46	36	
610	7.3	24	51	53	51	44	36	26	29	
		7.3	24*	51	51	54	44	39	33	47
		3	16	>48	53	36	32	32	28	41
915	7.3	20	51	51	52	46	36	32	55	

*Ducts internally lined with 25 mm thick 24 kg/m³ fiberglass with 24 ga perforated sheet metal inner liner.

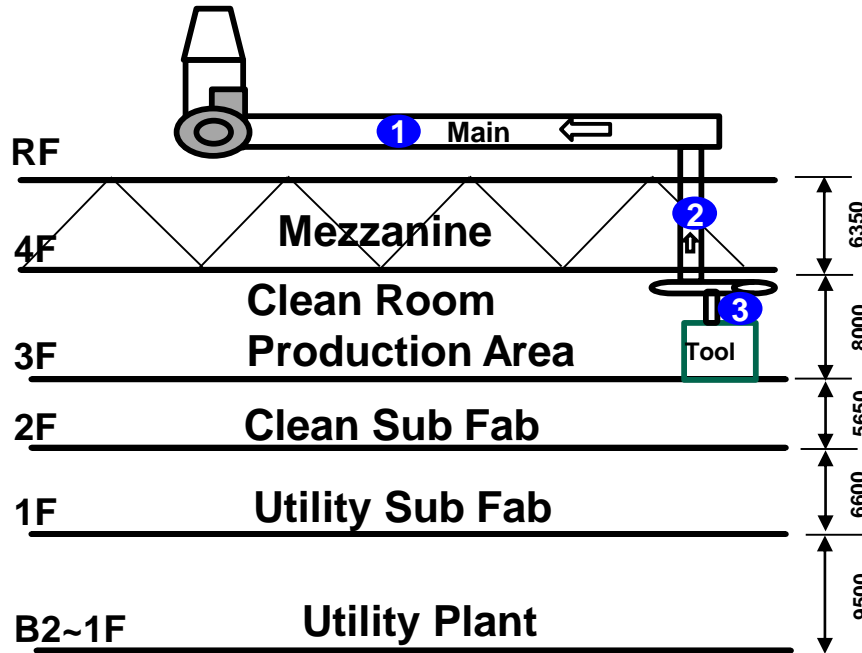
● 風管噪音改善

- 管路愈長，噪音愈小
- 管徑愈小，隔音愈好
- 機台數量愈多，噪音加成愈大



FAB無塵室噪音改善

● 風管噪音分析



單位: dBL

Item	Sound Level (Hz)	1 SEX Fan	2 Sub-main (FSED-L30-201)	3 Branch (EPI Tool)
1	63	107.4	114.6	113.9
2	125	110.1	116	111.9
3	250	105.2	115	112.8
4	500	104.4	112.6	107.3
5	1K	102.6	112.8	106.7
6	2K	95.4	100.2	100.7
7	4K	85.6	86.3	89.1
8	8K	81.5	86.3	77.7
聲功率(dBA)		106.2	116.4	112.9

機台是噪音來源

Item	Sound Level (Hz)	1 GEX Fan	2 Sub-main (FGED-L20-108)	3 Branch (LIT Tool)
1	63	113.6	96.5	107.2
2	125	111.4	94	105.3
3	250	110.3	93.7	101.7
4	500	107.2	92.3	99
5	1K	106.7	84.5	95.2
6	2K	102.2	74.2	87.5
7	4K	90.8	74.2	74.9
8	8K	77.1	63.6	64.9
聲功率(dBA)		110.3	91.6	100

GEX fan是噪音來源

EPI Tool噪音衰減分析

類別	管徑	長度	噪音衰減
SEX	2400	40	49.6
	2000	0	0
	1750	0	0
	800	14	39.4

LIT Tool噪音衰減分析

Item	管徑	長度(m)	噪音衰減
GEX	2800	44.8	55.5
	2250	0	0
	1850	0	0
	1000	14	45.2

廠務區環境改善

● 噪音背景說明

- 針對廠務各區域owner所挑選噪音嚴重且離群(>群組設備噪音baseline) , 進行區域性噪音量測 , 藉此判斷同期設備噪音改善有效性

● 噪音可視化原理

- 傅立葉轉換頻域並可視化噪音 , 用以分離窄頻噪音。聲音照相機針對區域性設備量測全頻之分貝值。

● 檢測方式

- **Stage1(區域診斷)**: 量測出區域環境全頻噪音值 , 找出當區噪音影響最大之設備頻率 , 再執行噪音改善
- **Stage2(設備診斷)**: 針對此設備轉動頻率進行細部噪音診斷 , 找出該設備元件噪音源位置進行有效改善
- **Stage3(包覆最適化)**: 配合轉動頻率選擇適合吸音材質 , 進行降噪改善 , 提升環境噪音改善
- **Stage4(成效確認)**: 改善完之頻率設備降噪 , 確認降低環境噪音之成效

● 改善成效

- 建立優良低噪工廠環境 , 提升員工工作效率
- 改善異常設備元件 , 節省運轉成本支出

廠務區環境改善_冰水主機噪音改善

● 噪音背景說明

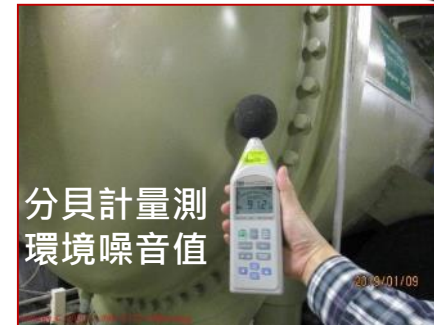
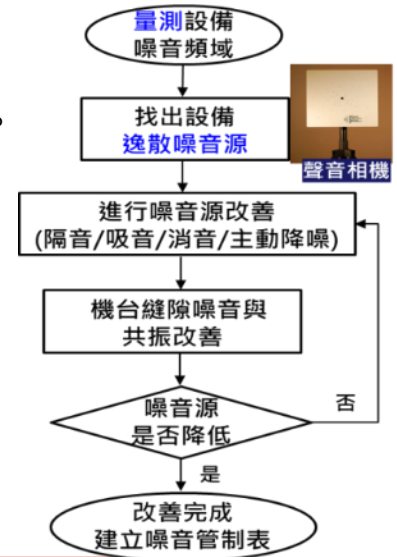
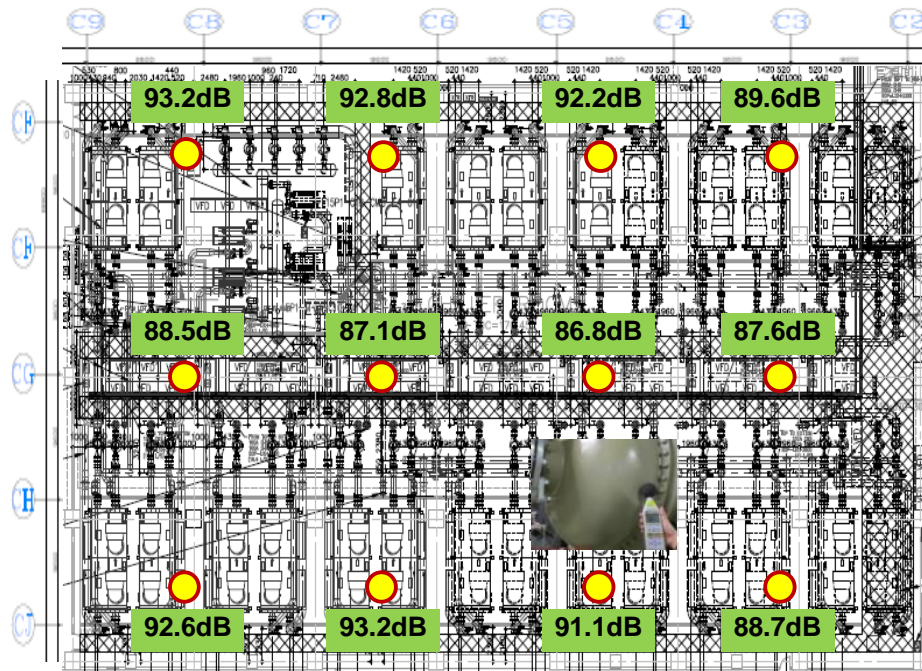
- 冰機房為噪音最嚴重之工作場所，噪音值介於**87~94dB**。

● 噪音可視化原理

- 傅立葉轉換頻域並可視化噪音，用以分離窄頻噪音。

● 檢測方式

- 聲音照相機針對冰機及水泵量測局部的**音頻之分貝值**。



廠務區環境改善_冰水主機噪音改善

● 冰水主機噪音分析

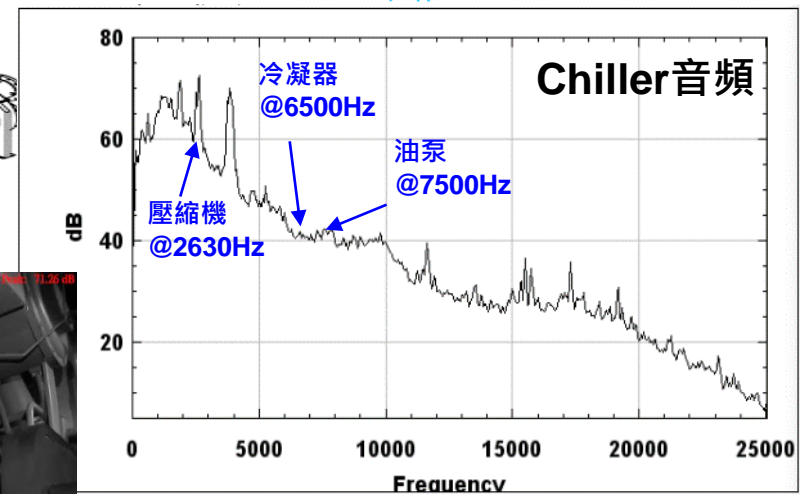
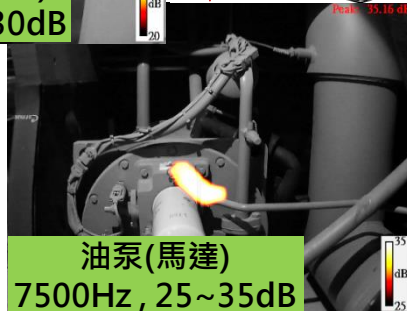
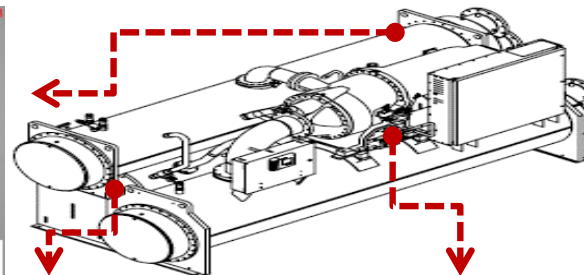
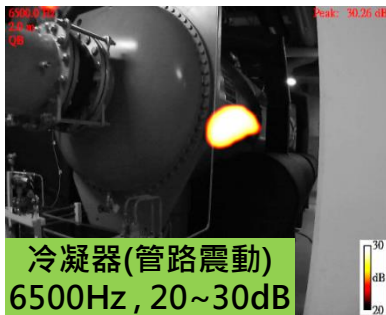
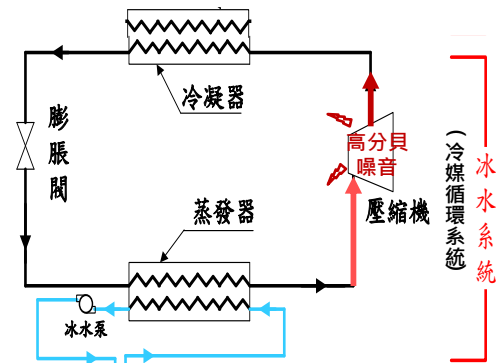
- 離心式冰水主機透過流體冷媒進行壓縮、放熱吸熱等過程，**噪音**會透過冷媒介質**進行傳遞至各元件**(冷凝器/蒸發器)。

噪音會隨介質傳遞

● Chiller音頻噪音分析

- 轉速頻率: $F_n = nBN/60$ (Hz) = **2,630 Hz**
- 轉子聲功率: $L_w = L_p + 4.35 * \ln(HP) + A$ = **99.1 dB**

F_n : 葉片通過頻率 (Hz) L_w : 聲功率位準 (dB)
 B : 轉速 (rpm) HP : 馬力數
 N : 葉片數目 A : 常數

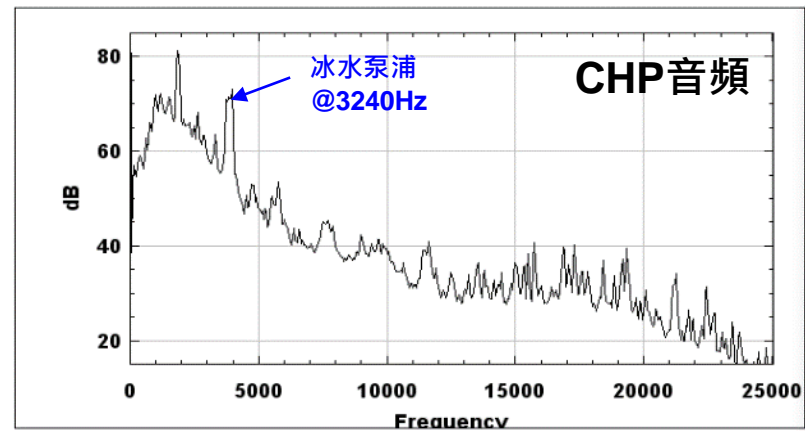
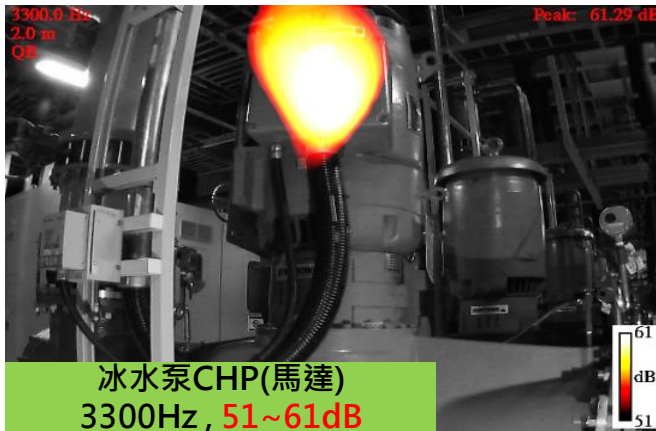


廠務區環境改善_冰水泵/CDA噪音改善

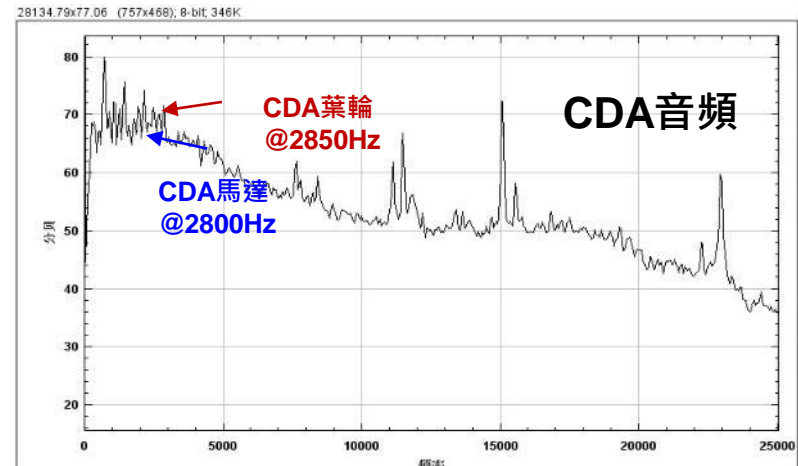
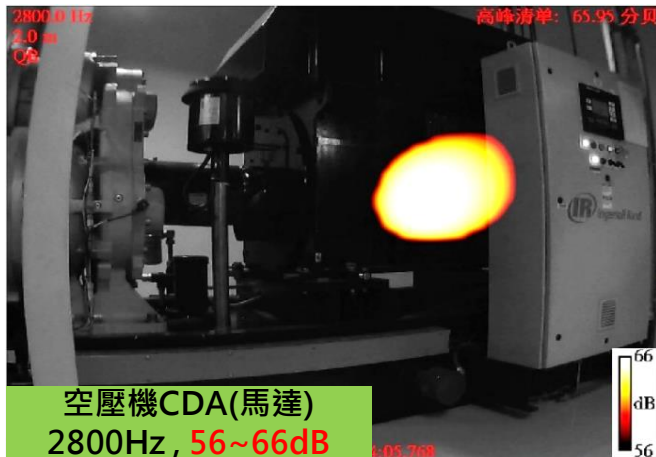
● CHP音頻噪音分析

- 轉速頻率: $F_n(\text{Hz}) = nBN/60$
- 轉子聲功率(dB): $L_w = L_p + 4.35 \ln(\text{HP}) + A$

項目	CHP	CDA
轉速頻率(Hz)	3240	2800
轉子聲功率(dB)	94.8	94



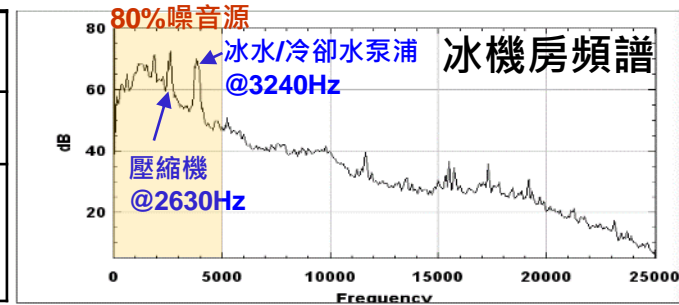
● CDA音頻噪音分析



廠務區環境改善_冰水主機噪音改善

- 盤查噪音嚴重為**冰水機房**，包覆吸音壓縮機降噪**11dB** (降噪率**11.7%**)
- 冰機吸音改善，噪音從**92dB**→**88dB**，已考量設備**PM拆卸**、**散熱**問題

問題	設備項目	數量	噪音值	對策	副作用
冰機房 環境噪音不佳	冰水主機	19	92dB	吸音包覆	PM及維修不易
	冰水/冷卻水泵浦	40	95dB	設備隔音	散熱、打油 震動量測及 維修不易
	溫水泵浦	5	91dB	設備隔音	



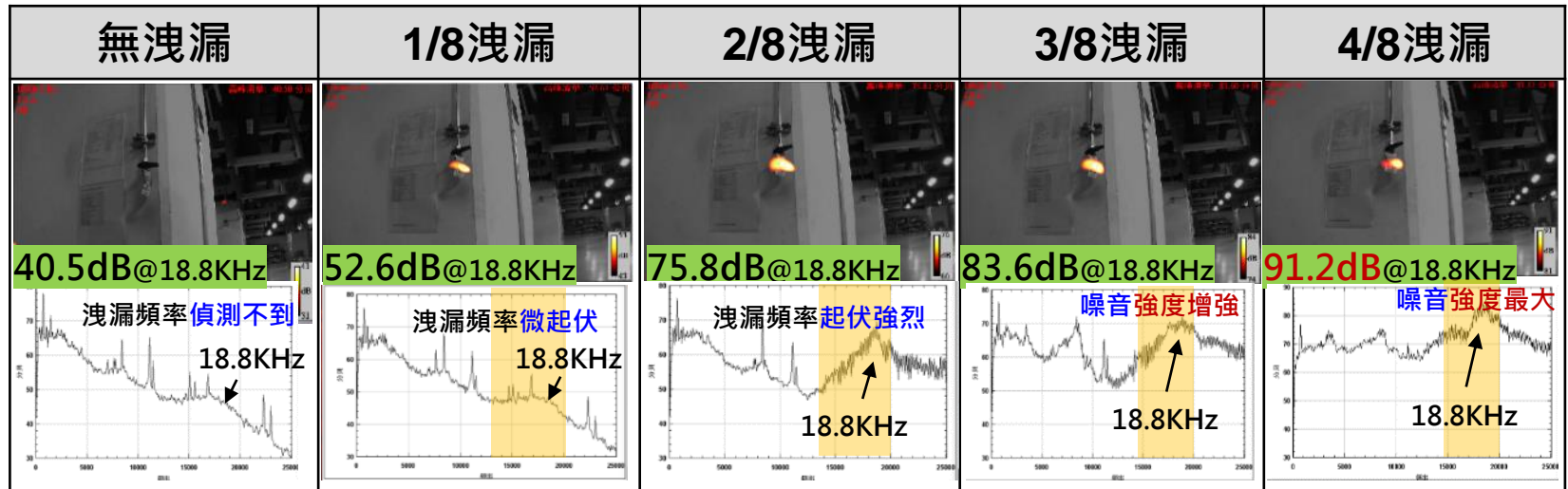
目標	改善前 壓縮機 噪音值(dB)	改善後 壓縮機 噪音值(dB)	改善前 頻譜	改善後 頻譜
冰水主機 降噪隔音 改善 噪音點@ 2630Hz	71dB 壓縮機(馬達) 2630Hz, 61~71dB	60dB 壓縮機(馬達) 2630Hz, 50~60dB	78 壓縮機 @2600Hz 冷凝器 @6500Hz 高頻共振噪音	67 壓縮機 降噪率11.7% 38 高頻共振 降噪率13.6%

環境噪音改善前 環境噪音改善後



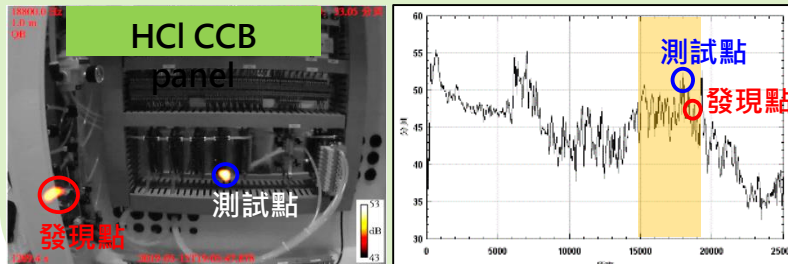
廠務區環境改善_CDA洩漏改善

- 超音波傳播方向性非常好(相當於22GHz的電波)，可快速找到洩漏源
- CDA洩漏就屬超音波範圍，調整洩漏頻率(@15K~18.8KHz)發現洩漏大小與噪音分貝成正比，可利用此方法找出細微CDA氣體洩漏



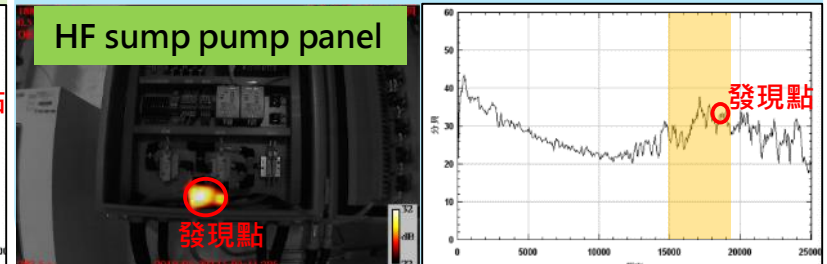
[範例一] CDA洩漏可能造成供酸異常

洩漏噪音**47dB @18.8KHz**
仍可以發現漏源



[範例二] CDA洩漏可能造成 sump pump 異常

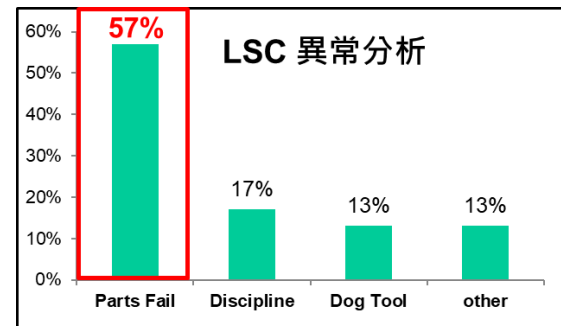
洩漏噪音**32dB @18.8KHz**
仍可以發現漏源



廠務區環境改善_現址式(LSC)異常改善

● 背景說明

- LSC PM中依時間作元件更換或人員巡檢發覺異常，其中parts fail佔整體LSC異常**57%**為最多
- 現利用音頻可視化及早發現LSC異常元件，可降低異常次數與提升預知維護



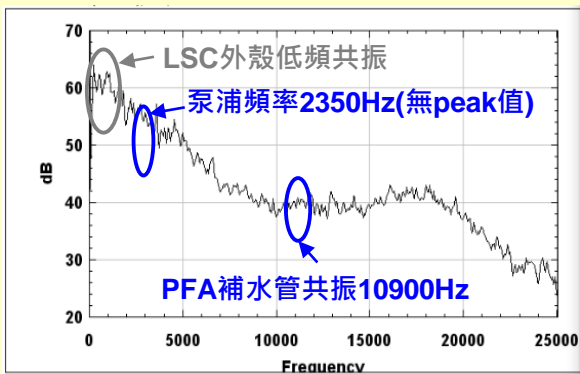
● 實驗方法

- 針對同型IPI LSC(Thermal type)作音頻量測，發現異常泵浦會造成流量計高頻共振漏水；正常泵浦僅有殼體與PFA軟管震動，不易造成元件損壞

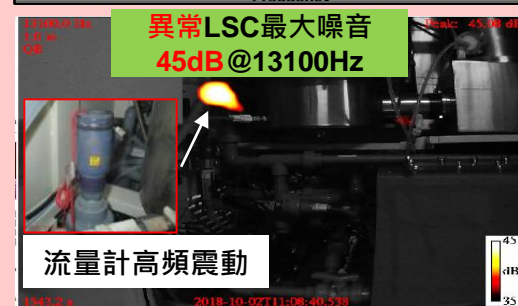
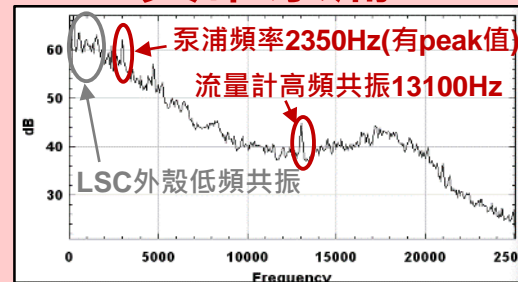
● 改善方式

- 泵浦出口端加裝防震接頭，並於基座安裝避震墊
- 流量計接頭修改以PFA管連接，可避免震動傳導

正常泵浦



異常泵浦



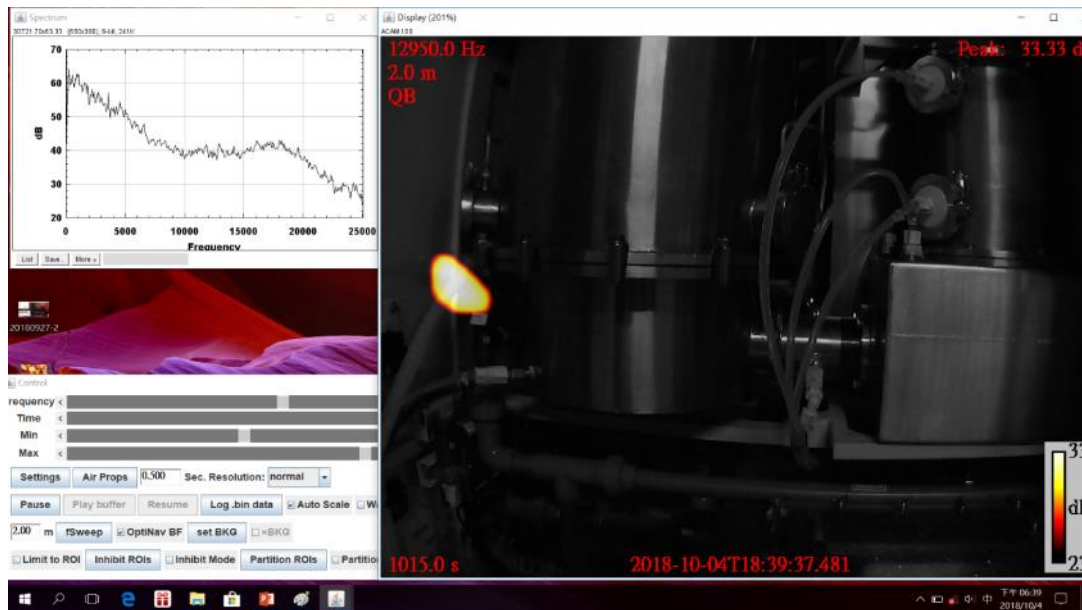
結果與討論

- 聲音頻譜分析設備，可快速解決噪音、CDA洩漏及元件異常問題
- tsmc每半年委託第三單位工安協會統一量測，F15A從**76dB** → **73dB**的意義是我們把工廠無塵室噪音能量降低了**50%**，認證為**300mm**最安靜無塵室區域
- 廠務區域針對噪音最大冰水主機做改善，冰水主機經吸音包覆壓縮機噪音改善**11.7%**，環境噪音從**92dB**降低至**88dB**。
- **CDA洩漏**頻率約在**15K~18.8KHz**，利用此法找出細微**CDA氣體洩漏**，進而**避免氣源盤漏氣影響供酸異常**。
- 透過**LSC**頻譜分析，可預先發覺異常元件加以改善，來達成**降低設備異常次數**與提升預知維護

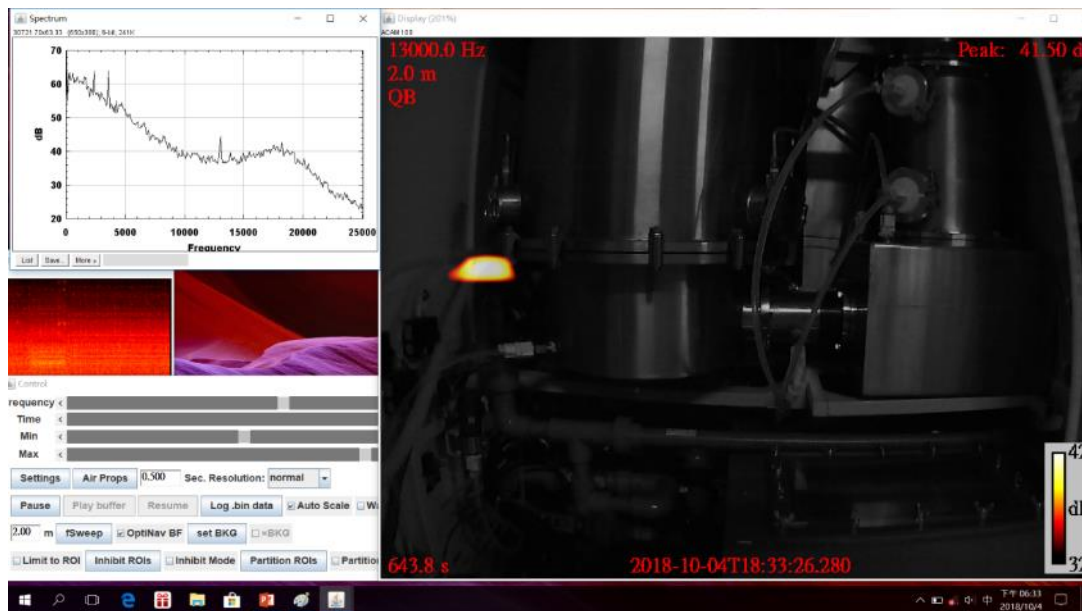
Backup

照片

正常機台



異常機台



FAB無塵室噪音改善

- 不同馬達級數噪音值列表

框架 標牌	1200 rpm				1800 rpm				3600 rpm			
	ODP		TEFC		ODP		TEFC		ODP		TEFC	
	hp	dB-A	hp	dB-A	hp	dB-A	hp	dB-A	hp	dB-A	hp	dB-A
140	0.75 - 1	65	0.75 - 1	64	1 - 3	70	1 - 2	70	1.5 - 3	76	1.5 - 2	85
180	1.5 - 2	67	1.5 - 2	67	3 - 5	72	3 - 5	74	5 - 7.5	80	3 - 5	88
210	3 - 5	72	3 - 5	71	7.5 - 10	76	7.5 - 10	79	10 - 15	82	7.5 - 10	91
250	7.5 - 10	76	7.5 - 10	75	15 - 20	80	15 - 20	84	20 - 25	84	15 - 20	94
280	15 - 20	81	15 - 20	80	25 - 30	80	25 - 30	88	30 - 40	86	25 - 30	95
320	25 - 30	83	25 - 30	83	40 - 50	84	40 - 50	89	50 - 60	89	40 - 50	100
360	40 - 50	86	40 - 50	86	60 - 75	86	60 - 75	95	75 - 100	94	60 - 75	101
400	60 - 75	88	60 - 75	90	100 - 125	89	100	98	125 - 150	98	100	102
440	100 - 125	91	100 - 125	94	150 - 200	93	125 - 150	102	200 - 250	101	125 - 150	104