

複合式音源分離設備：陣列麥克風、集音筒、指向性噪音計、指向性麥克風四種設備評估

複合性音源分離設備比較

1. 陣列麥克風 Microphone Array	2. 集音筒 Parabolic Reflector	3. 指向性噪音計 Directional Sound Level Meter	4. 指向性麥克風 Directional Mic
<p>原理 多通道同步擷取 +TDOA相位差 +波束成形</p> <p>優點 方向性強 可生成熱圖 可做相對貢獻判斷</p> <p>缺點 須配Class 1 低頻受孔徑限制 旁瓣干擾</p> <p>適用 工程診斷 事件辨識 陳情輔助</p> <p>分離能力 ★★★★★☆</p>	<p>原理 拋物面機械聚焦 單通道被動式</p> <p>優點 成本低 操作簡單 可放大遠方單源</p> <p>缺點 無空間影像 無法量化貢獻 低頻失能 ($f_c \approx c/D$)</p> <p>適用 單一設備診斷 遠距事件佐證</p> <p>分離能力 ★☆☆☆☆☆</p>	<p>原理 陣列+聲強 / 波束 +視覺化+耐候封裝</p> <p>優點 可視化強 行政說理力高 可與Class 1整合</p> <p>缺點 仍受陣列物理限制 不等於法規標準 易被誤用</p> <p>適用 政策說明 長期監測 改善前診斷</p> <p>分離能力 ★★★★★☆</p>	<p>原理 單振膜相位差 (心型 / 超心型 / shotgun干涉管)</p> <p>優點 成本低 體積小</p> <p>缺點 無空間解析 離軸變色 低頻失效 (<400Hz) 不符IEC 61672-1</p> <p>適用 基本收音 事件錄音佐證</p> <p>分離能力 ★☆☆☆☆☆</p>



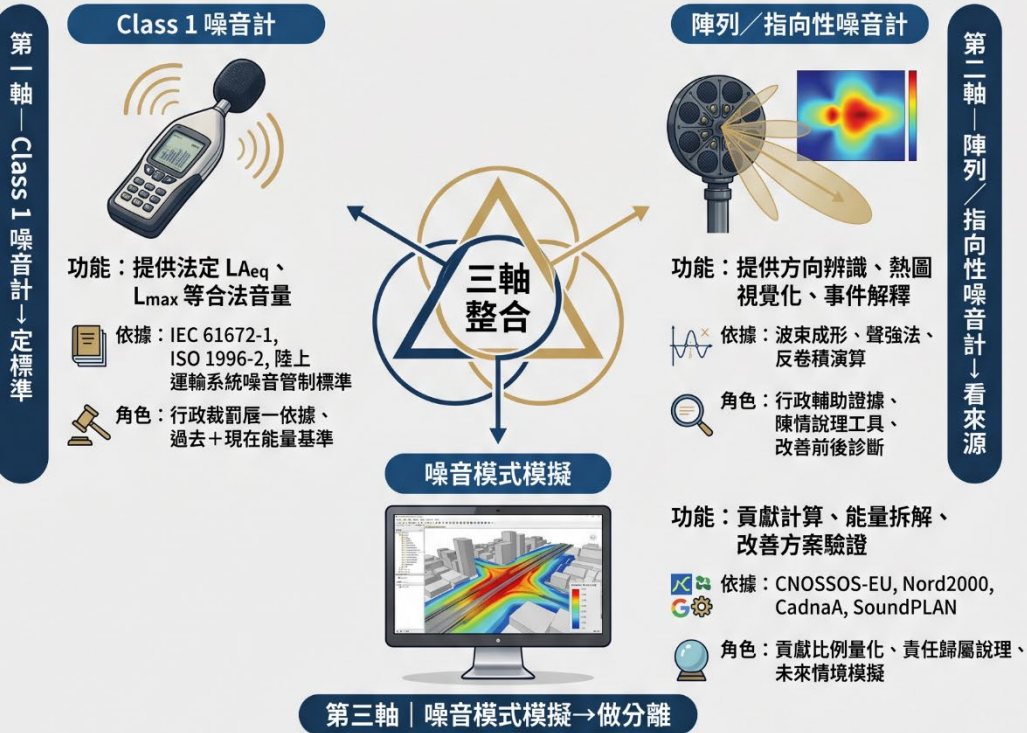
方法學門檻對照	陣列麥克風	其他方法
多通道同步	僅陣列✓	其他方法✗
空間幾何	僅陣列✓	其他方法✗
相位TDOA	僅陣列✓	其他方法✗
頻率響應平坦	僅陣列可達Class 1	其他方法✗

圖 000 複合性音源分離設備比較與三合一架構示意圖

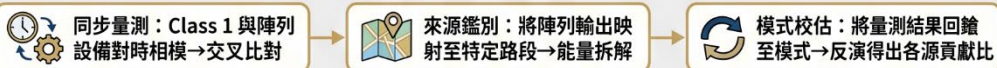
Fig. 000 Comparison of Equipment for Composite Noise Source Separation and the Three-in-One Framework

三合一架構詳解

陸上運輸系統複合性音源治理，須以三軸整合方能成立



【三軸整合機制】



【制度對應】



【一句話總結】 Class 1 定標準，陣列看來源，模式做分離——缺一不可，三者互補。

這是指向性噪音計專書系列插圖的第二張 (圖B：三合一架構詳解圖)，須延續

圖 000 陸上運輸系統複合性音源治理之三合一架構

Fig.000 Three-in-One Framework for Composite Noise Source Governance

一、四類設備優缺點

(一) 陣列麥克風 (Microphone Array | Beamforming / Acoustic Imaging)

原理由多支 (常見 16~112 支) 已知空間座標的麥克風同步收音, 利用各通道之間的「到達時間差 (TDOA)」或「相位差」, 以波束形成 (Delay-and-Sum、MVDR、CLEAN-SC、DAMAS 等反卷積) 重建聲場的空間能量分布, 進一步生成聲源等音線圖、方向圖, 乃至推估各來源對受體端的相對貢獻。

1. 優點

- 可同時解「方向 + 空間分布 + 頻譜 + 時間」四個維度, 是四者中唯一能真正做「分離」的。
- 由「定位」走向「定量」, 可估算各音源對 L_{Aeq} 的貢獻比例。
- 可長時連續監測, 並與 Class 1 噪音計同步使用。

2. 缺點 / 限制

- 硬體較貴、資料量龐大, 需同步取樣記錄器與後處理平台。
- 旁瓣誤判、能量擴散是常態問題, 需以演算法修正。
- 非 IEC 61672-1 Class 1 法定量測設備, 不可直接作為裁罰依據, 須與 Class 1 噪音計一起整合。

(二) 集音筒 (集音器 | Parabolic Reflector)

原理拋物面反射器將「軸向入射」的平行聲波聚焦到焦點的單支麥克風上, 利用反射聚焦獲得方向性增益。屬於單通道、純類比聲學聚焦裝置。

1. 優點

- 結構簡單、價格相對低廉。
- 高頻 (>1 kHz) 方向性增益顯著 (可達 10-15 dB), 適合野外鳥鳴、遠距語音收音。
- 無需複雜演算法, 訊號即可直接聆聽或錄音。

2. 缺點 / 限制

- 強烈頻率相依性: 增益與方向性隨頻率升高而提升, 截止頻率 $f_c \approx c / D$ (碟面直徑 D)。欲對 500 Hz 以下 (低頻) 有效, 集音器碟面需 > 70 cm, 且仍會變形失真。
- 只能「指一個方向」, 無法同時獲得多方向來源資訊, 無分離功能。
- 不符合 IEC 61672-1 噪音計精度要求, 不可作為法規量測。
- 體積龐大、風切干擾嚴重。

結論：不適合作為「分離工具」，僅可作為輔助定向記錄。

(三) 指向性噪音計 (Directional Sound Level Meter)

為一種整合型系統—以陣列麥克風為感測核心、配合聲強法 (NTi NL1 採用) 或波束形成 (SV 200A 採用)、並配合 Class 1 噪音計，輸出同時具備「音壓位準 + 方向資訊 + 來源分類 + 時間序列」的複合儀器。

1. 優點

- 專為環境噪音長期監測設計，具備耐候外殼、遠端傳輸、自動事件觸發。
- 聲強法 (如 NL1 以 8 支麥克風形成 12 組聲強探頭) 可直接獲得聲能流向量，物理意義明確、可自動篩除不可靠方向資料。
- 可與 Class 1 主噪音計同步，滿足「法定量測 + 來源鑑別」雙軌制度。
- 已是商品化產品 (NTi NL1、Svante SV 200A)，可直接部署於陳情熱點。

2. 缺點/限制

- 角度解析度中等，不如陣列細緻。
- 中小型內建陣列孔徑受限，低頻方向性仍受限制。
- 國際上各廠牌規格、演算法黑盒程度不一。
- 價格高 (單站數十萬至百萬台幣等級)。

(四) 指向性麥克風 (Directional Microphone | 含槍型 Shotgun)

單一麥克風透過振膜結構或干涉管 (shotgun 干涉原理，destructive interference)，使側向與後方入射波在到達振膜時相位抵消，形成軸向敏感、側後向抑制的指向圖案。

1. 優點

- 成本低、體積小。
- 高頻方向性不錯，常見於影視收音、會議收音。

2. 缺點/限制

- 干涉管之指向性須 $\lambda \leq 2L$ (L 為干涉管長度)，400 Hz 以下幾乎退化為全向性。
- 單通道、無空間資訊：只能「對準目標收音」，無法同時分離多來源。
- 不符合 IEC 61672-1，不可作為法規量測。
- 風切靈敏，戶外長期監測不適用。

結論：適用於廣電收音、訪談，完全不適合複合性音源分離。

表 000 陣列麥克風、集音筒、指向性噪音計、指向性麥克風四種設備比較總表

設備	原理	優點	缺點	限制	適用性
陣列麥克風	<ul style="list-style-type: none"> ●多顆麥克風 ●利用時間差、相位差 ●波束成形 (Beamforming) 	<ul style="list-style-type: none"> ●可辨識方向 (來向) ●可產生等音線圖、方向圖 ●可結合影像判讀來源 	<ul style="list-style-type: none"> ●無法直接作法規值 ●解析度受頻率與距離限制 ●受反射與干擾影響大 	<ul style="list-style-type: none"> ●多線音源重疊 ●角度接近無法區分 ●不可作唯一裁罰依據 ●橋下與建築反射易誤判 	<ul style="list-style-type: none"> ●政策說明 ●陳情溝通 ●工程改善診斷 ●不可單獨裁罰&輔助工具
集音筒 (集音器)	<ul style="list-style-type: none"> ●機械反射或管道聚焦 ●強化單一方向聲音 	<ul style="list-style-type: none"> ●成本低 ●操作簡單 ●可放大遠距單一聲源 	<ul style="list-style-type: none"> ●無法直接作法規值 ●無空間解析能力 ●無分離能力 ●無量化能力 	<ul style="list-style-type: none"> ●只能收單方向聲音 ●無法處理複合音場 	<ul style="list-style-type: none"> ●單一音源確認 ●設備異音檢查 ●※不適用複合分析
指向性噪音計	<ul style="list-style-type: none"> ●陣列麥克風+影像化 ●波束成形+等音線圖+頻譜 	<ul style="list-style-type: none"> ●視覺化最直觀 ●行政溝通能力強 ●可結合影像判讀來源 	<ul style="list-style-type: none"> ●本質仍為陣列限制 ●無法直接作法規值 	<ul style="list-style-type: none"> ●不可作唯一裁罰依據 ●反射與多源重疊影響大 	<ul style="list-style-type: none"> ●政策說明 ●陳情溝通 ●工程改善診斷 ●不可單獨裁罰&輔助工具
指向性麥克風	<ul style="list-style-type: none"> ●單支麥克風指向性 	<ul style="list-style-type: none"> ●成本低 ●簡單易用 	<ul style="list-style-type: none"> ●無法直接作法規值 ●無空間資訊 ●無分離能力 	<ul style="list-style-type: none"> ●僅偏向收音 ●無法處理複合音場 	<ul style="list-style-type: none"> ●基本收音用途 ●※不適用分析

表 000 陣列麥克風、集音筒、指向性噪音計、指向性麥克風四種設備功能比較表

能力項目	陣列麥克風	集音筒	指向性噪音計	指向性麥克風
1. 方向辨識	✓	△	✓	△
2. 空間影像	✓	✗	✓	✗
3. 貢獻分析	△	✗	△	✗
4. 法規音量	✗	✗	✗	✗
5. 行政適用	△	✗	✓ (溝通)	✗
6. 通道數	多	單	多 (內建陣列)	單
7. 分離能力	★★★★★	★	★★★★★	★
8. 方向解析度	高 (演算法決定)	中 (高頻)	中	低-中
9. 低頻表現	受 D/λ 限制	差	中	差
10. 法規相容性	須配 Class 1	不符	可配 Class 1 整合	不符

三、結論

(一) 三合一架構

組成	功能
Class 1 噪音計	法規音量
陣列麥克風／指向性設備	方向、熱點、事件
噪音模式 (CadaA 等)	音源分離與貢獻計算

(二) 技術分工

1. 陣列／指向性設備 → 「看來源」
2. Class 1 噪音計 → 「量測值」
3. 模式模擬 → 「做分離」

(三) 法規與制度建議

1. 指向性設備：輔助證據
2. 法規判定：仍以 Class 1 為準
3. 分離結果：需搭配模式與多點量測