顯示與光學 I：顯示源與視覺評價

W6 | 混合實境技術與應用（EE6122）

顯示畫質好壞如何評價？各種顯示源怎麼選？

今天要回答的問題

畫質「好不好」怎麼量化？　各種顯示源怎麼選？

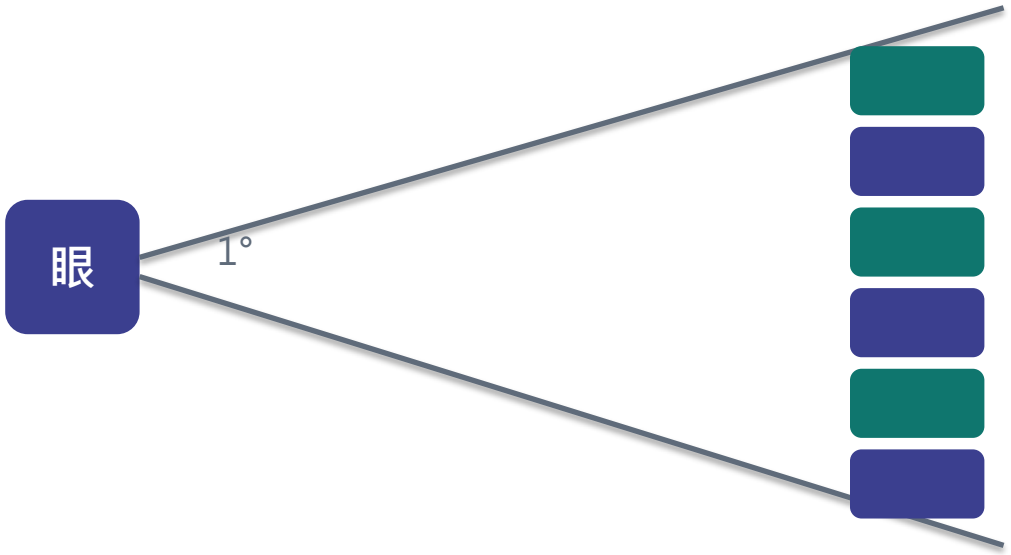
一、人類視覺基礎

我們的眼睛能看多細？

視力 1.0 → 中央解析力約 1 角分（1/60 度）

視力 1.0 的人，中央視野能分辨的最小角度約 1 角分 = 1/60 度。

- 換算到顯示器：每 1 度視角要塞進 60 個畫素（60 PPD），才看不出畫素。
- 人眼水平/垂直視野約 120°。
- **→ 這就是 AR/VR 高畫質目標 60 PPD 的由來。**



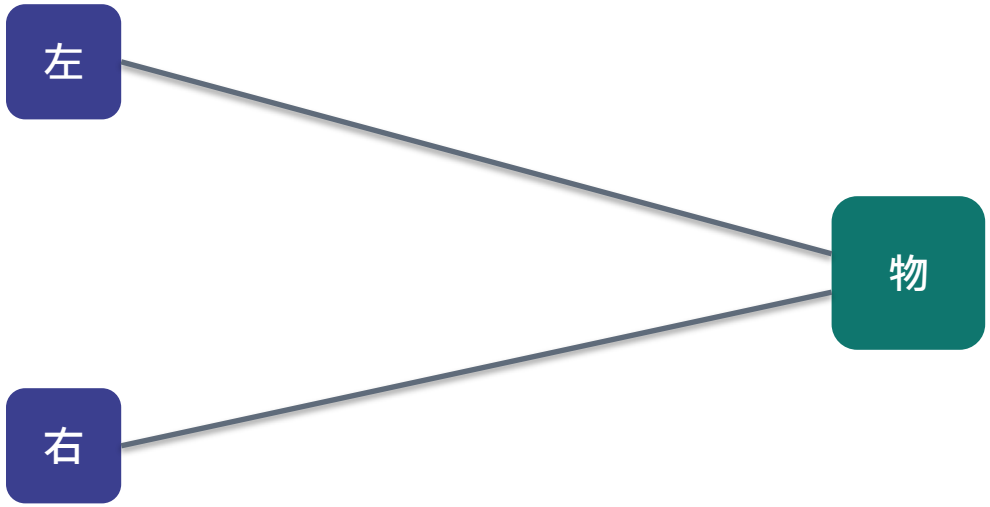
1° 內排入 N 個畫素 = N PPD

立體視覺從哪來？

雙眼視差 → VR 用左右各一螢幕

雙眼視差：左右眼對同一物體有不同視角。

- 大腦依視差判斷遠近，形成立體感。
- VR 因此用左右分開的兩個螢幕，分別呈現左/右眼畫面。



二、視覺評價指標

解析度 · PPI · PPD · FOV · 輝度 · 對比 · ACR · eyebox

解析度 vs 畫素密度

解析度 = 橫向 × 縱向畫素數（1920×1080、4K…）——只講「總量」。

- 畫素密度 PPI = 每英吋畫素數——把「尺寸」考慮進去，較客觀。
- **同解析度在大螢幕上更不精細 → 近眼顯示要看 PPI / PPD。**

[圖] 同解析度、不同尺寸的精細度對比圖

角解析度 PPD

最貼近人眼感受的畫質指標

PPD（Pixels Per Degree）= 每 1 度視角的畫素數。

- 目標 60 PPD（視力 1.0）；目前 AR 產品約 40–60 PPD。
- 計算：微顯示器水平畫素數 ÷ 影像在眼前所佔的水平視角。

視野角 FOV

FOV = 顯示影像涵蓋人眼的視角範圍。

- VR 追求沉浸 → 需 ≥ 120°；AR 著重資訊輔助 → 十幾～五十幾度即可。
- **不是越大越好：過大帶來運算負擔與認知負荷。**

輝度、對比、環境對比 ACR

指標	意義	重點數值
輝度 (Nit)	單位面積發光強度	AR 戶外 ~10,000；室內 ~500
對比	最亮 / 最暗（暗室量測）	越高暗部細節越好
環境對比 ACR	把環境光反射算進去	建議 > 5:1 才好讀

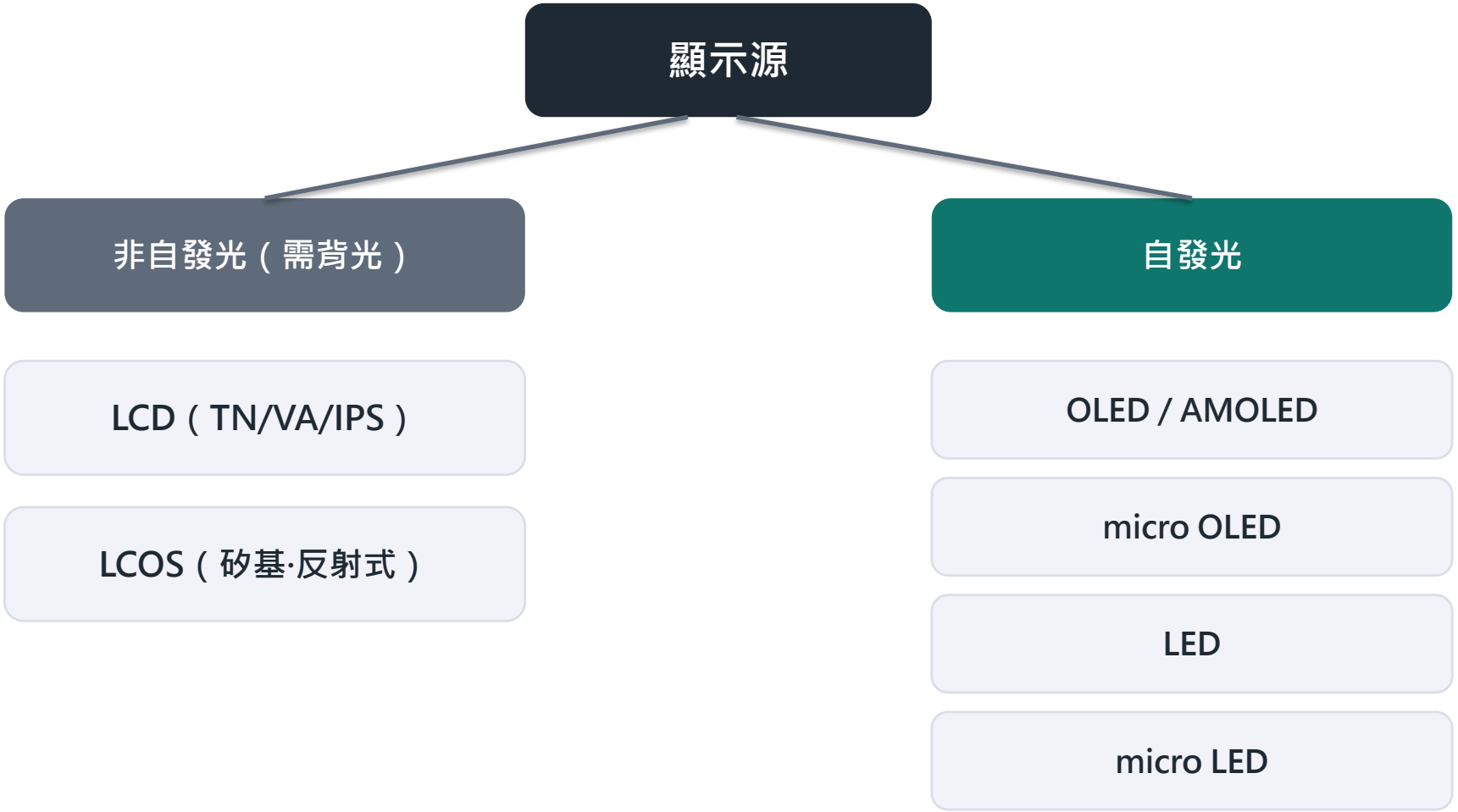
眼盒 Eyebox 與視眼距

Eyebox：能清晰成像的空間區域；需 > 瞳孔（約 4 mm）且再往外延展。
- 視眼距 Eye Relief：鏡片到眼睛能看清的容許距離。
- 加大 Eyebox 會讓機構變大、成本上升、FOV 改變——互相制衡。

三、顯示源技術

自發光 vs 非自發光

顯示源分類


顯示源
非自發光（需背光）
LCD（TN/VA/IPS）
LCOS（矽基·反射式）
自發光
OLED / AMOLED
micro OLED
LED
micro LED

LCD：液晶顯示

液晶不發光，靠背光 + 偏光片 + 彩色濾光片



兩大特性：折射率異向性、介電係數異向性。

- 電場控制液晶轉向 → 調整通光量。
- 配向模式：TN（成本低視角窄）、VA（高對比）、IPS（廣視角）。

LCOS：矽基液晶

以單晶矽基板作驅動電路 → 高速、體積小、反射式高開口率。

- **已廣泛用於 AR 頭戴顯示器的微顯示器。**

[圖] LCOS 反射式光路示意圖

OLED：自發光

電流驅動、自發光 → 暗態極暗、高對比、可撓。

- 驅動：PMOLED（被動、不利高解析）vs AMOLED（主動 2T1C、高效省電）。
- 全彩化：RGB 三色 / 白光+濾光片 / 藍光+色轉換，各有取捨。

micro OLED：OLED on Silicon

VR/AR 微顯示器主力

矽基背板 + 上發光白光 OLED + 彩色濾光片。

- **開口率近 100%、> 3000 PPI、高對比、體積小。**
- 例：Apple Vision Pro。

[圖] micro OLED 上發光結構示意圖

LED 與 micro LED

LED：自發光、高亮度、長壽命、色純度高。
- micro LED：晶粒微米級 → 超高 PPI、超高亮度、自發光高對比。
- **挑戰：巨量轉移、尺寸縮小的側壁缺陷降效率、紅光效率、量子點色轉換。**

顯示源比較

技術	自發光	高PPI	對比	亮度	AR/VR 用途
LCD	否	中	中	中	入門 / 一般面板
LCOS	否(反射)	高	中	高	AR 微顯示
OLED	是	中	高	中	VR 面板 / 手機
micro OLED	是	很高	很高	高	VR/AR 微顯示
LED	是	低	高	很高	大型顯示
micro LED	是	很高	很高	很高	次世代 AR/VR

AR/VR 顯示器怎麼選？

AR 微顯示器：LCOS、micro OLED（要高 PPI、夠亮對抗環境光）。
- VR：需單眼接近 8K、高更新率 → micro OLED / 高 PPI 面板。
- **顯示源要與光學架構匹配（下週：AR 波導 vs VR Pancake）。**

本週結論

用視覺評價指標量化畫質（PPD / FOV / eyebox / 輝度 / ACR）。

- 用自發光 vs 非自發光理解顯示源；高 PPI 微顯示走 LCOS / micro OLED / micro LED。
- **下週：把顯示源裝進 AR 波導 / VR Pancake 光學架構。**