

Nation Cheng Kung University
Institute of Space and Plasma Sciences
113 Annual Report

專題生：高術維

指導教授：張博宇博士

日期：2025/1/27

摘要

此次報告為從 2024 年 4 月至 2025 年 1 月間所做之事項的總整理，其中包含學習放大器放大原理、練習使用 fusion 360 繪圖軟體，而主要是設計 UV ICCD 攝影機及其架設。我們設計了一套用於觀察與拍攝紫外光譜（UV）影像的相機系統。系統配備 78 毫米紫外專用鏡頭，透過直徑 30 毫米的視窗觀察真空腔內的電漿反應。電漿訊號經增強器(Intensifier)放大轉為電信號，並投射至螢光屏，由一般相機拍攝。增強器由具奈秒級閘控能力的微控制器控制，實現奈秒快門速度。相機可藉由兩個單軸移動平台精確調整垂直與水平位置，確保拍攝目標位於視窗中央。為防止電磁脈衝干擾，整套設備置於法拉第籠內。此系統可應用於如 exploding wire 等電漿實驗。

目錄

一、動機與目標

二、放大器(MCP)運作原理

2-1 光電倍增管

2-2 放大器

2-3 增益效果

2-4 離子反饋

2-5 Chevron 結構

三、UV ICCD 攝影機設計

3-1 鏡頭挑選

3-2 攝影機架構

3-3 電路設計

四、UV ICCD 攝影機的工程圖和組裝

4-1 攝影機組裝說明

4-2 Faraday cage 組裝說明

五、Conclusion

六、參考資料

七、附件

附件一：攝影機 CAD 圖

附件二：Faraday cage CAD 圖

一、動機和目標

目前為止，我在脈衝功率系統的實驗平台中，所有觀測的事件會放出 UV-Xray 波段的光，且事件維持的時間大約為 100 ns，因此我開始設計這台 UV ICCD 攝影機。

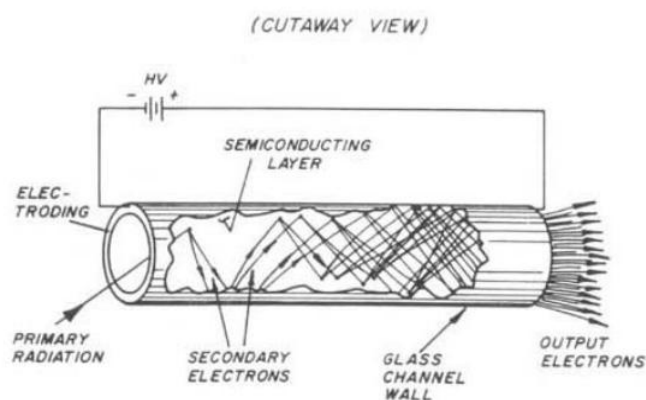
我已經完成了攝影機機構的設計，內容涵蓋支撐結構、組裝方式以及具備鏡頭位置精密調整功能的移動機構。同時，亦設計並製作了用於控制增強器與樹莓派相機的電路板，並挑選適用之鏡頭。最後，我成功將各項零組件完成組裝，並確保 UV-ICCD 相機系統能穩定運作。

二、微通道板運作原理

由於影像的曝光時間很短，使得成像亮度不足，因此需要透過微通道板(Microchannel plate，MCP)將訊號放大以便觀察。微通道板是由多個細小的微通道管所組成的平板，因此本章會先介紹微通道管，再介紹其所組成的微通道板。

2-1 微通道管(Microchannel)

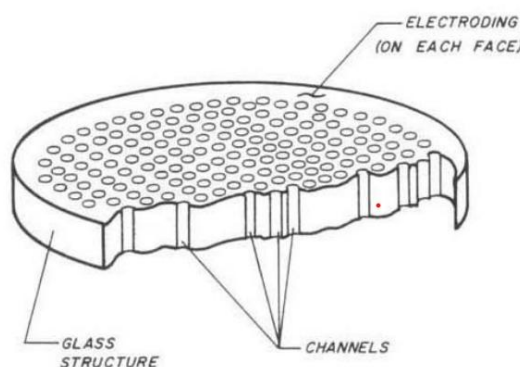
微通道管是內壁塗有特殊材料(通常是半導體材料)的細管，細管的入口及出口間由外部提供偏壓，如圖一所示，當有電子或光子，可以在電子撞擊內壁時產生次級電子。這些次級電子和原本的電子會因為外部偏壓而繼續加速、再次撞擊管壁，由於每次撞擊都會釋放出更多電子，所以電子會在通道內連續碰撞、數量倍增，形成一股放大的電子訊號，最後在出口端集中輸出。



圖一、電子倍增器內部運作圖^[1]。

2-2 微通道板(Microchannel plate, MCP)

微通道板(MCP)如圖二所示，是由多個細小的微通道管所組成的平板，通常是由 $10^4 \sim 10^7$ 個微通道管組成，通道直徑為 $10\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 間，長徑比($\alpha = \frac{\text{微通道管長度}}{\text{微通道管直徑}}$)約為 40~60，此外，通道軸通常與 MCP 輸出表面夾有一個小角度(約 8 度)。因為如果通道是完全垂直的，初級電子進入後容易沿著通道直線前進，與通道內壁接觸的機會較少，造成二次電子發射效率低，降低了放大效果。反之，如果通道有一個小傾角，初級電子在通道中會較容易撞擊到壁面，這樣每次碰撞都能產生新的二次電子，而這些二次電子也會因為傾斜通道繼續碰撞壁面，形成連鎖式的電子倍增。



圖二、微通道板示意圖^[2]。

2-3 增益效果

微通道板的增益效果會受到電壓與和管壁的碰撞次數所影響，經過實驗得出總增益和電壓及碰撞次數的關係式為^{[3][4]}

$$G = \delta^n, \quad [3]$$

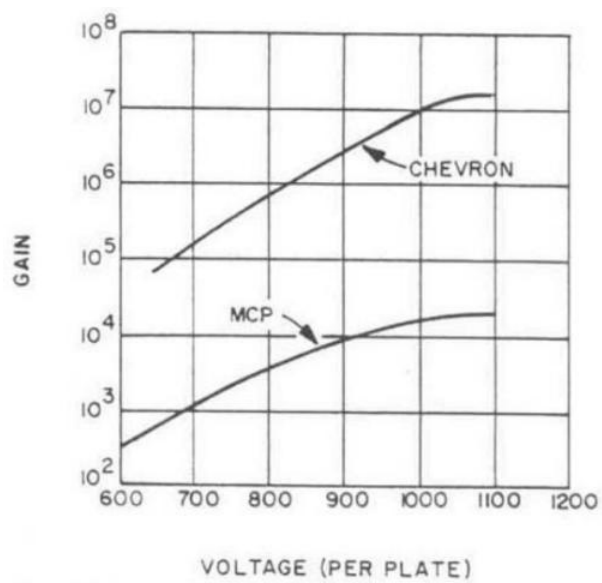
$$G = \left(\frac{VA}{2\alpha V'^{1/2}} \right)^{4Vc^2/V}, \quad [4]$$

其中各符號代表如下：

- G: 總增益。
- δ : 電子碰撞管壁後可產生的二次電子數。
- V: 總通道電壓。
- A: 比例常數，滿足 $\delta = AV_C^{0.5}$ ， $A \sim 0.2$ 。
- V_C : 電子碰撞前能量。
- V' : 被射出的次級電子的能量 $\sim 1\text{eV}$ 。
- n: 碰撞次數。

MCP 的增益曲線如圖三所示，因為 V 上升則 δ 也會上升，但與管壁的碰撞次數(n)卻會減少，所以導致 G 與 V 特性有個極限值，像是圖三中 MCP 大約在偏壓達到 1000 V 時增益

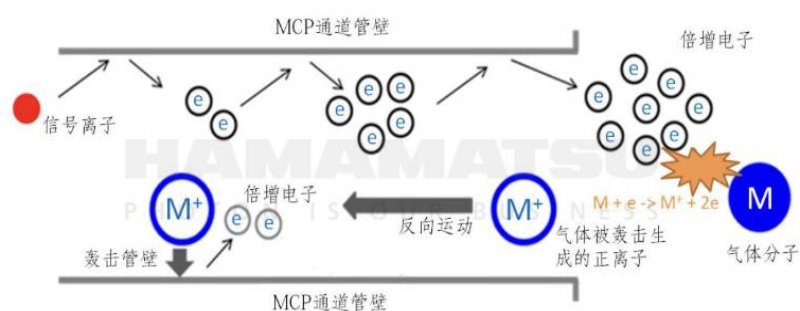
會達到最大值。



圖三、MCP 增益曲線圖^[5]

2-4 離子反饋 (Ion Feedback)

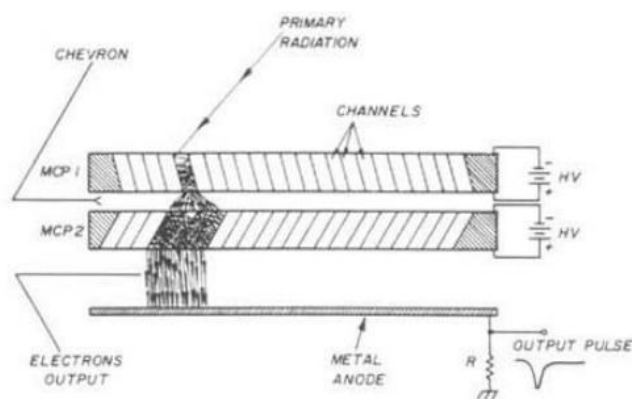
微通道管中可能出現離子反饋現象，屬於一種不利的效應。其成因為電子在通道內與殘留氣體分子碰撞時，可能產生正離子，這些正離子因為外加電場的關係沿著與原始電子相反的方向移動，同樣有機會在撞擊管壁後引發二次電子發射，相關過程如圖四所示。由於離子反饋所產生的二次電子與原始輸入電子在抵達輸出端時存在時間差異，會在觀測影像上產生雜訊（光暈現象），進而影響成像品質。為降低離子反饋對系統性能的影響，可透過採用彎曲型通道與 Chevron 結構設計進行改善。



圖四、離子反饋示意圖^[6]

2-5 Chevron 結構

如圖五所示，Chevron 結構是一種由兩片微通道板（MCP）以特定角度堆疊組成的增益裝置，常用於高時間解析度與高空間解析度的探測系統中。其設計特點為在兩片 MCP 之間施加加速電壓，使初級電子在第一片 MCP 中倍增後，能夠快速且集中地進入第二片 MCP，進一步放大訊號。此排列方式可有效縮短電子雲的徑向擴散時間，降低因離子反饋產生的雜訊，同時提升系統整體的空間解析度與訊噪比。



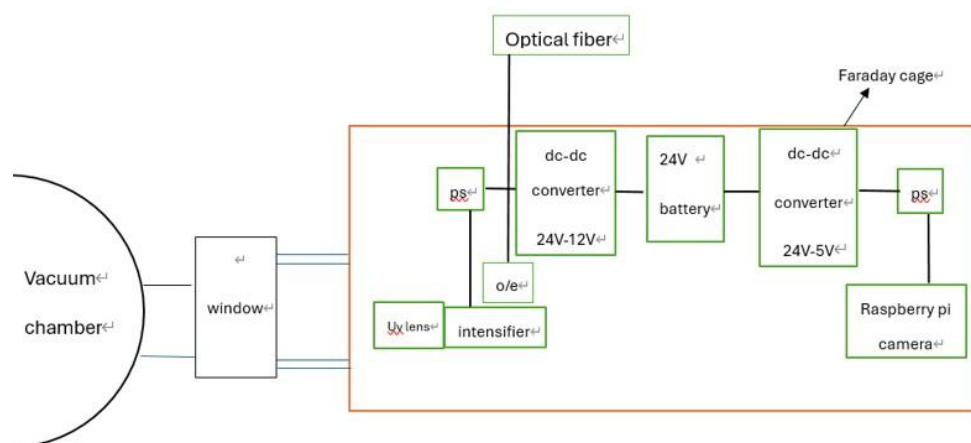
圖五、chevron 結構示意圖^[7]

2-6 增強器(Intensify)

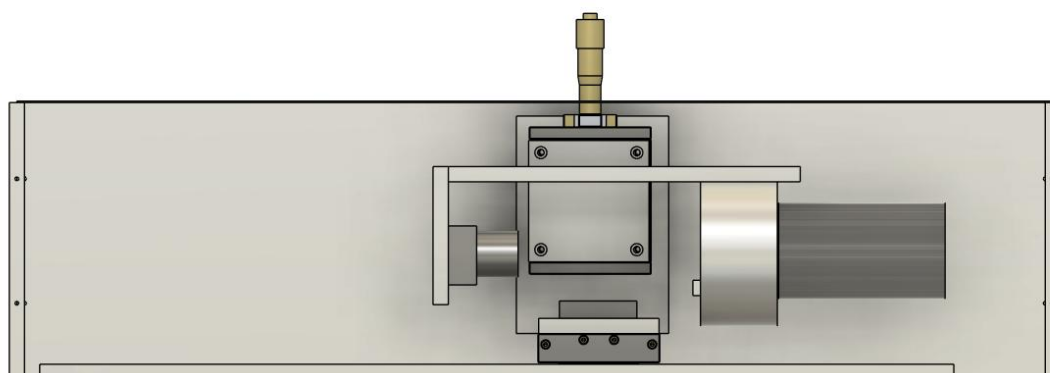
增強器是由 Photocathode、MCP 與電源供應器組成的光電元件，主要功能是微弱的光訊號進入增強器並照射到 Photocathode，光子經光電效應被轉換成電子。這些電子在電場的驅動下進入 MCP，每個微通道內壁在電子撞擊下會釋放多個二次電子，產生連鎖反應，將電子數量大幅倍增。倍增後的電子接著加速撞擊螢光屏，轉換為明亮的可見影像。增強器具備即時影像顯示、高靈敏度與低雜訊等優點。

三、UV ICCD 設計

本相機內部配件如圖六所示，配備了 78 毫米紫外專用鏡頭、增強器(Intensifier)、樹莓派相機、兩個單軸移動平台、兩個穩壓用的 DC-DC 轉換器和一個 24V 電池。因此我設計了一些金屬件來作為支撐，並且能將所有零件組合起來成為完整的相機系統立體圖如圖七所示，每個元件的資訊如表一所示。



圖六、相機系統內部零件圖



圖七、相機系統立體圖

表一：相機系統元件表

元件	廠牌	型號
UV 鏡頭	Edmund	78mm Standard UV Fixed Focal Length Lens
Intensify	Phototek	MCP225/M/S20/P43/GL
單軸線性移動平台	銓州光電	CT10A
Dc-Dc converter 24V → 12V	TRACOPOWER	THN 15WIR
Dc-Dc converter 24V → 5V	TDK-Lambda	PXG-M20-24WS05

3-1 鏡頭挑選

在設計此 UV-ICCD 時，我的第一步是由挑選鏡頭開始。

而挑選鏡頭的條件有以下幾點，(1)要能觀測到波長介於 200 nm 到 1200 nm 的 UV 光，(2) Maximum sensor format 大小要 1 吋，(3) Maximum working distance 至少要超過 350 mm，(4) 對角線視角較小者，而滿足上述條件的只有 AZURE-NV7838UV 和 Edmund 78mm Standard UV Fixed Focal Length Lens 這兩款鏡頭，我將這兩款鏡頭的特點整理成表二來做比較。

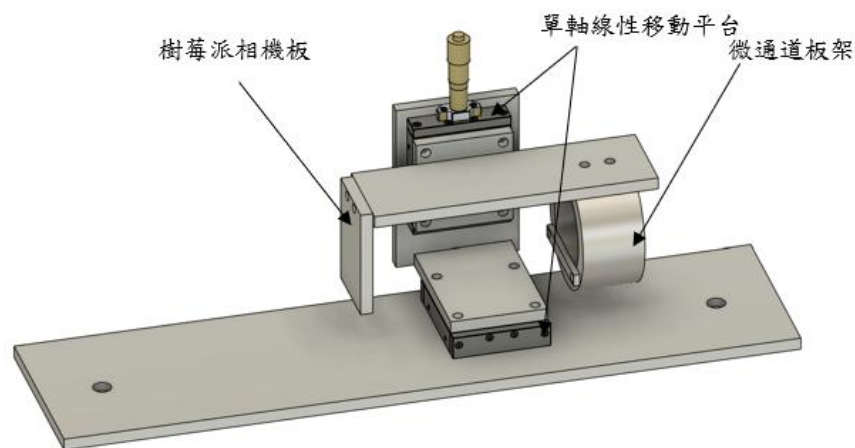
表二、兩款鏡頭的特性比較

鏡頭 重要特性	AZURE-NV7838UV	Edmund
適用物距(mm)	400 以上	440 以上
適用波段	200~1000nm	UV~NIR
對角線視角(mm)	97.2	76.72
價格(NTD)	52,000	155,750

由於 AZURE-NV7838UV 的對角線視角為 97.2 mm，大於 Edmund 78mm Standard UV Fixed Focal Length Lens 的 76.72 mm，使得其解析度低於後者，且其價格過於低廉可能存在品質問題，因此最後選擇 Edmund 78mm Standard UV Fixed Focal Length Lens 作為此相機的鏡頭。

3-2 相機機構設計

相機主要由微通道板架、樹莓派相機版、單軸線性移動平台三個部分構成，其他還有五塊金屬板作為底板和連接件如圖八所示。

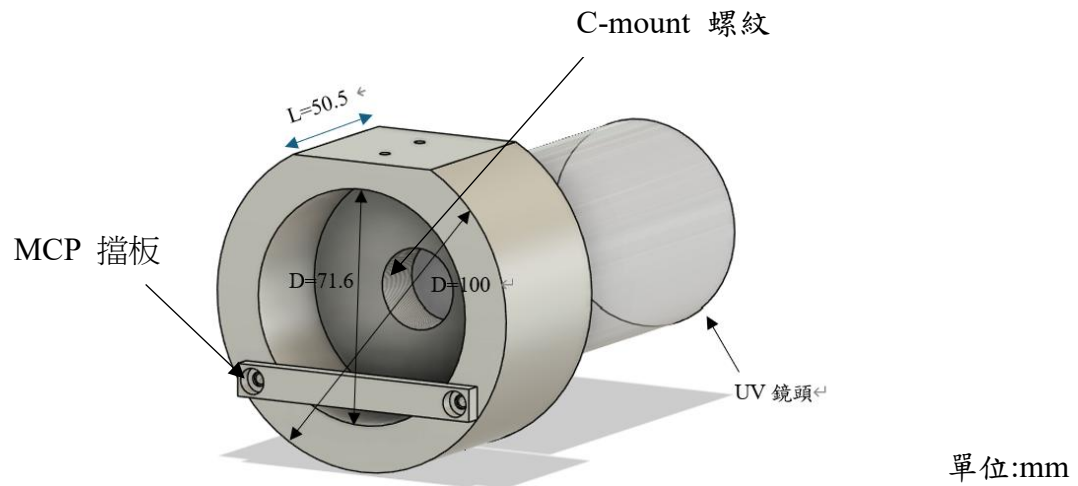


圖八、攝影機主要架構

- 微通道板架

微通道板架是用於放置圓柱形放大器和 UV 鏡頭，因為 UV 鏡頭是使用 C-mount 轉接環，因此在微通道板架前方有加入 C-mount 的螺紋，微通道板架之設計讓 UV 鏡頭的成像面剛好在 Intensify 的進光面。

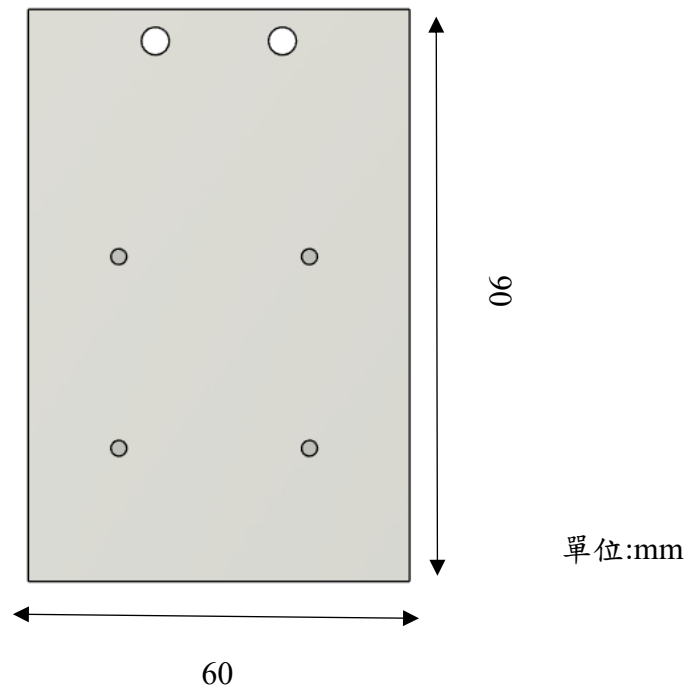
除此之外，我還設計了一塊擋板防止放大器從後方掉落，
整體如圖九所示。



圖九、微通道板架

- 樹莓派相機板

樹莓派相機板是用於放置樹莓派相機的金屬板如，圖十所示。為了避免樹莓派將上的螺絲與金屬板接觸，因此貼了絕緣膠帶進行隔絕如圖十一所示。



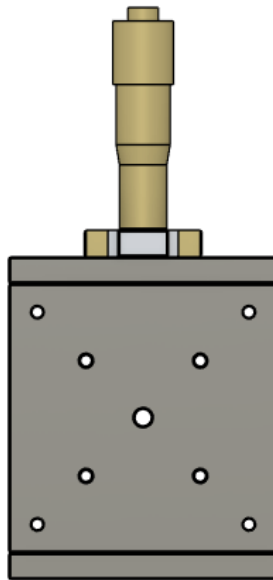
圖十、樹莓派相機板示意圖



圖十一、貼上絕緣膠帶的相機板

- 單軸線性移動平台

單軸線性移動平台可實現相機系統於水平方向與垂直方向的精確調整。該移動平台的最大行程為 25 mm，其外觀如圖十二所示。



圖十二、單軸線性移動平台

3-3 電路設計

由於會使用到 Raspberry Pi 微處理器和增強器，為了避免實驗過程中的電磁脈衝對系統之影響，因此使用 24 V 的電池作為電源。然而電池的輸出電壓會隨著時間降低，因此會需要用到一片 24 V 轉 5 V(圖十三)、一片 24 V 轉 12 V(圖十四)的 DC-DC 轉換器穩壓，另外需要一片使用可變電阻的 5 V 電路板(圖十五)，如圖十三所示，用來控制增強器的增益。

- 24 V 轉 5 V 電路板

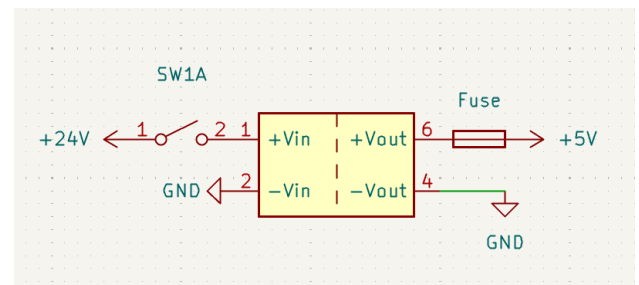
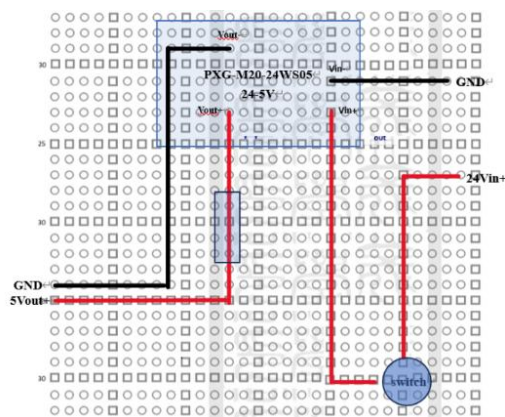
本電路板設計用於提供 Raspberry Pi 相機模組及 WP630-25 微通道板 (MCP) 所需的輸入電壓。於輸出端配置四對排針，能同時為多個電子元件提供 5 V 電源，實現多點供電的功能。

- 24 V 轉 12 V 電路板

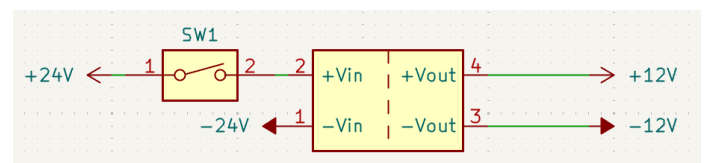
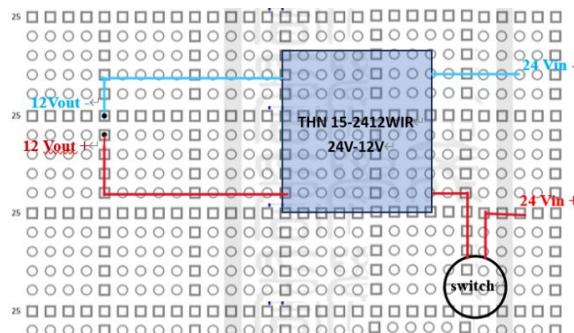
此電路板將作為 250 V 峰對峰值的脈衝放大器 (GM300-3n) 的電源供應。

- 使用可變電阻的 5 V 電路板

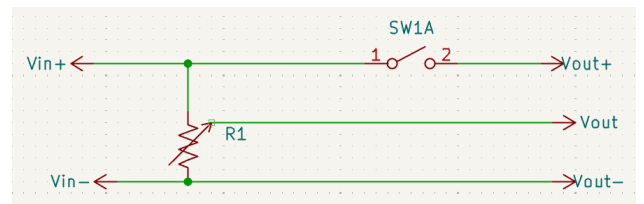
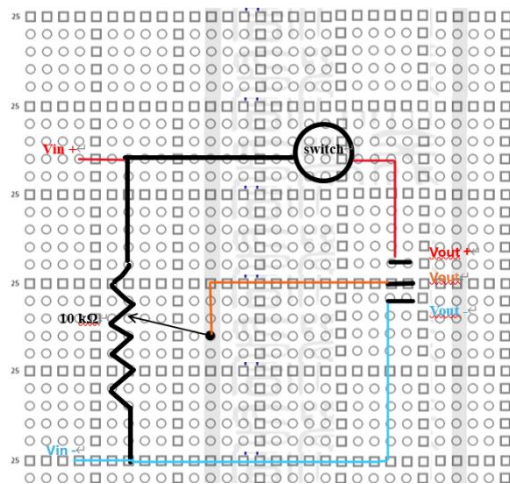
本電路板用於提供 MCP 所需電源，並可以調整其放大倍率。系統自 24 V 轉 5 V 降壓模組取得穩定 5 V 作為 MCP 的工作電壓，並透過一個 10 k Ω 可變電阻調整偏壓，以控制其電子增益，進而依需求調整訊號放大效果。



圖十三、24 V 轉 5 V 佈線圖和電路圖



圖十四、24 V 轉 12 V 佈線圖和電路圖

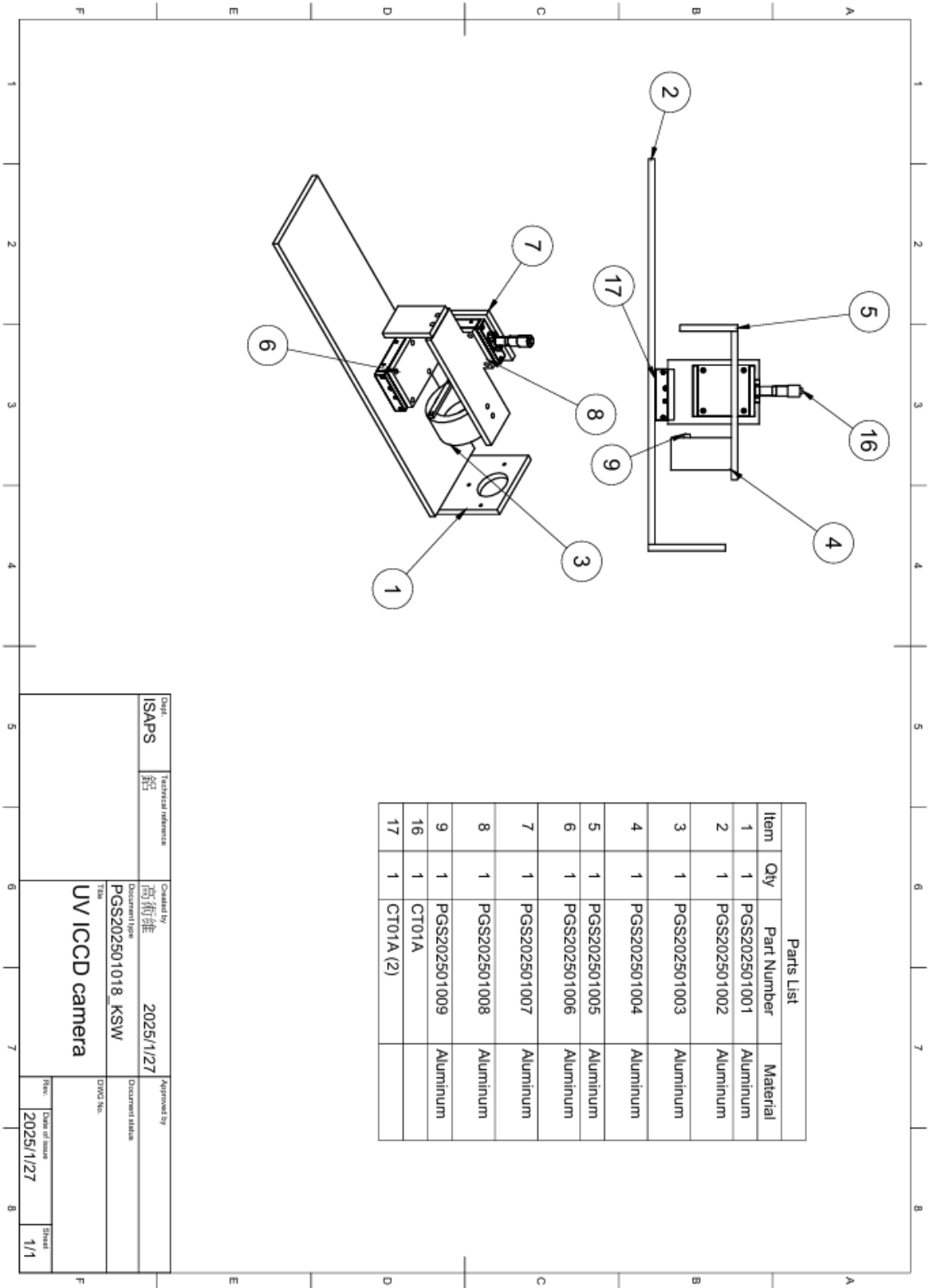


圖十五、使用可變電阻的 5 V 佈線圖和電路圖

四、UV ICCD 攝影機的組裝

4-1 攝影機組裝說明

此頁為攝影機除 Faraday cage 外的總圖，包含了所有的
部件，下面開始會以這頁編號為組裝代號開始組裝教學。



STEP 1:將物件 17 對準物件 2 上面的四個洞，用 M6 螺絲固定。

注 1:17 是用中間九宮格的洞去和 2 連接。

注 2:17 把手的方向要朝相機外。

STEP 2:放入 MCP 後再將物件 9 鎖上物件 3，物件 9 大洞面朝相機內。

STEP 3:將物件 3 對準物件 4 上面兩個洞後用 M4 螺絲固定。

注 1:物件 3 挖空部分朝相機內。

STEP 4:將物件 5 對準物件 4 後方兩個洞後用 M4 螺絲固定。

STEP 5:將物件 8 對準物件 4 側面兩個洞後用 M4 螺絲固定。

注 1:8 是要用 4 大洞 2 小洞那面和 4 連接。

注 2:8 一定要和 4 先固定好後再將 16 鎖上。

STEP 6:將 16 對準 8 後用 M4 螺絲固定。

注 1:16 是要用九宮格外的四個洞和 8 連接。

STEP 7:將 6 對準 17 上九宮格外的四個洞用 M4 螺絲固定。

注 1:6 側面有兩個洞，需朝向相機外。

STEP 8:將 7 全部小洞那面和 6 上用 M4 螺絲固定。

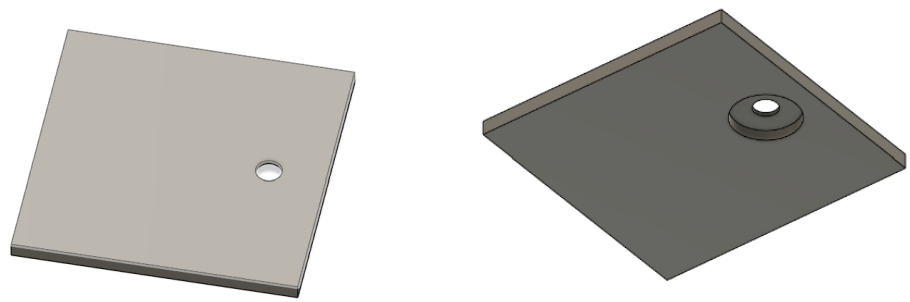
STEP 9:將 3、4、5、8、16 的組套件，用 16 上中間九宮格的洞對準 7 上的四個洞後用 M6 的螺絲固定。

STEP 10:將增高墊如圖十五所示，置於法拉第籠和 2 間。

STEP 11:將圓柱支撐置於法拉第籠下方，並對準增高墊。

STEP 12:用螺絲從 2 將增高墊和圓柱串起來，並用六角螺帽從圓柱底端固定。

STEP 13:將相機置於支撐架上，將圓柱插入支撐架中心空洞(圖十七)。



圖十五、增高墊正、反面



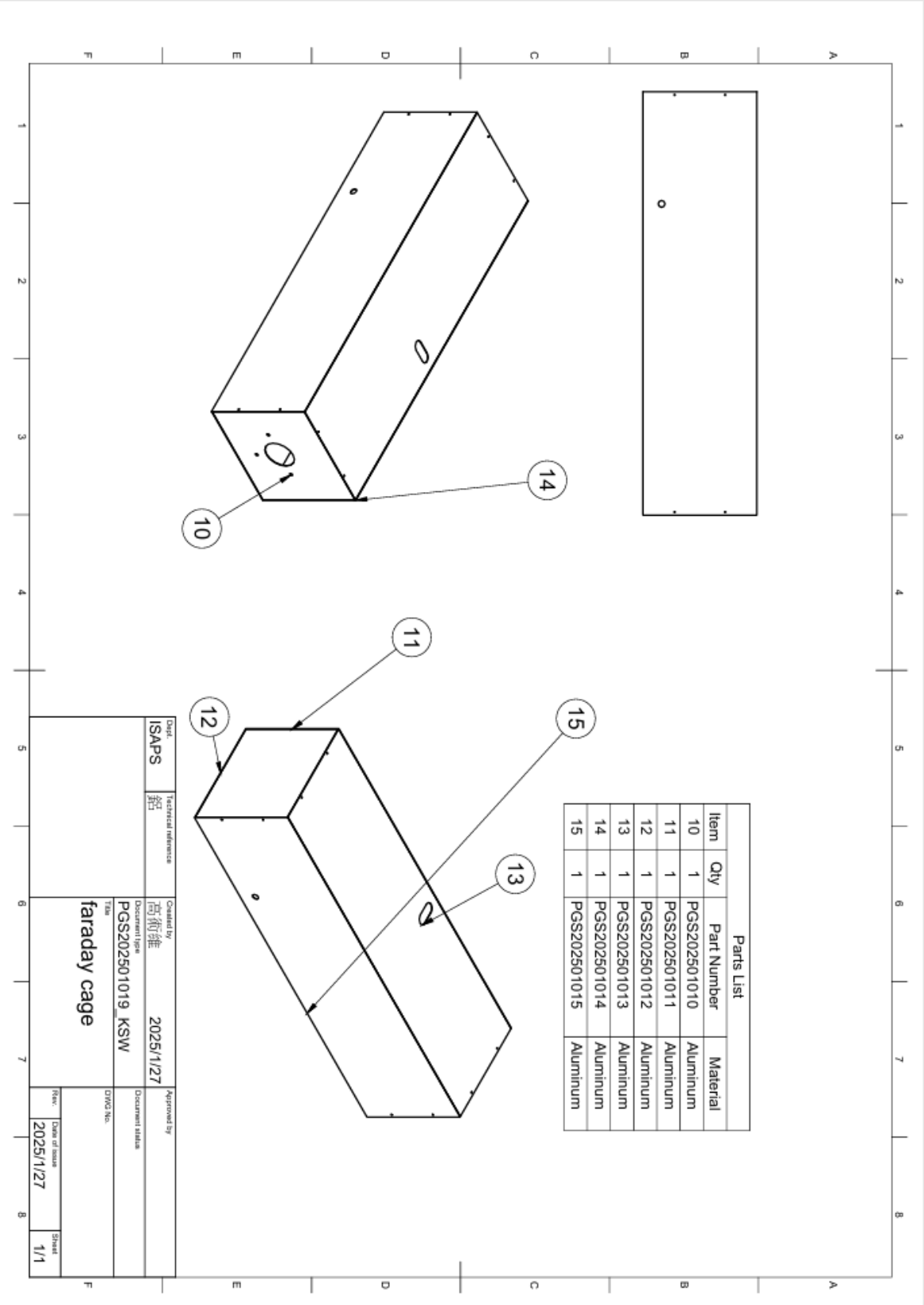
圖十六、圓柱示意圖



圖十七、支撐架示意圖

4-2 Faraday cage 組裝說明

下圖為 faraday cage 的組裝圖及所有的部件，下面開始組裝教學。



STEP 1:將 13 放在 10 上用 M2 的螺絲及螺帽固定。

注 1:13 上方的洞會比較靠近 10，不要裝反。

注 2:10 的長邊是在上下，短邊左右。

STEP 2:將 12 放在 10 下方用 M2 的螺絲及螺帽固定。

STEP 3:將 11 放在 12 上，對齊 12、13 上共四個洞後，

用 M2 的螺絲及螺帽固定。

注 1:11 的長邊是在上下，短邊左右。

STEP 4:面向 10 將 15 放置於左側用 M2 螺絲及螺帽固定。

注 1:15 上的洞要離 12 比較近。

STEP 5:最後再裝上 14，一樣用 M2 固定。

五、Conclusion

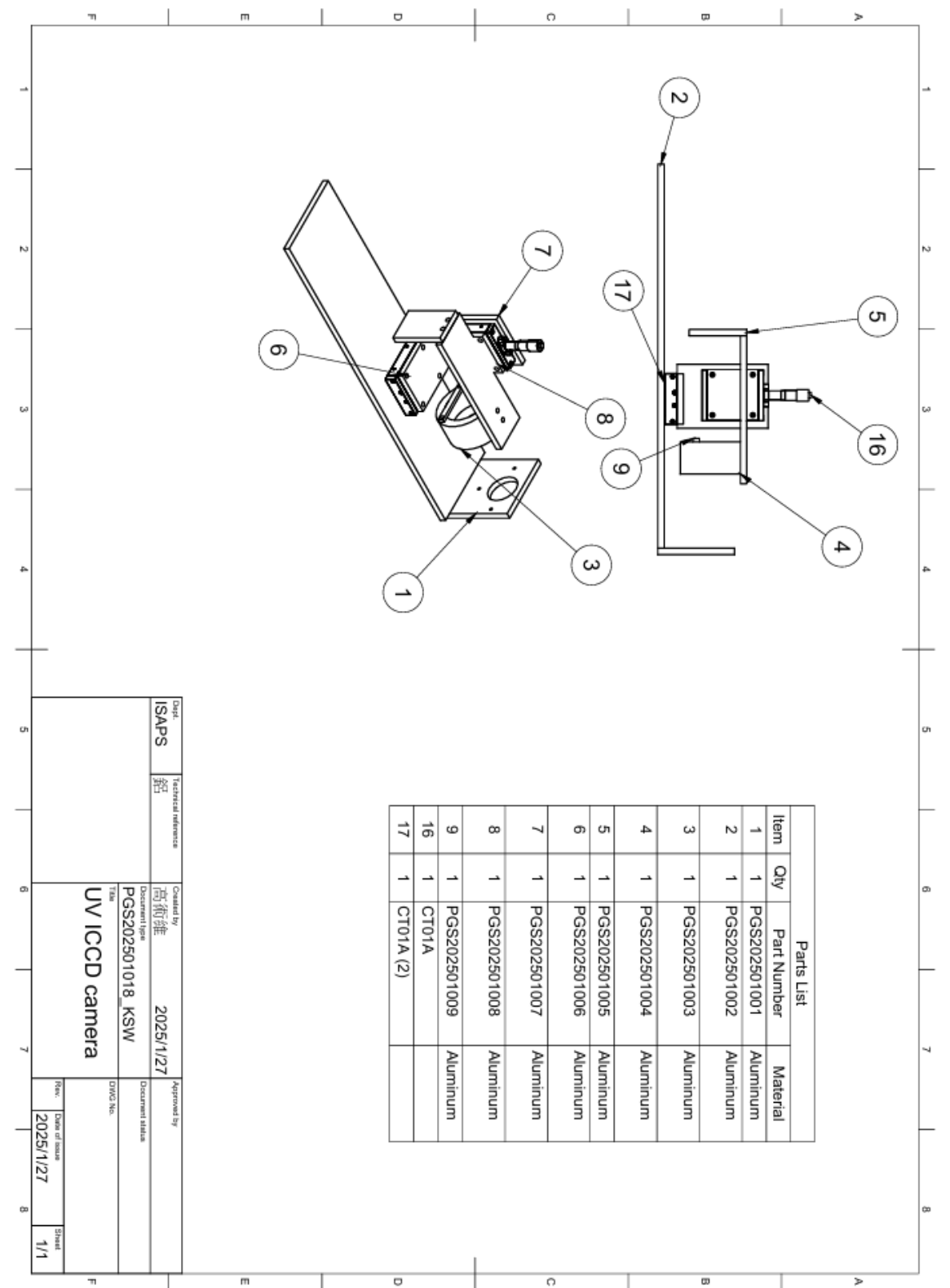
這次的專題我完成了挑選鏡頭、UV ICCD 攝影機的設計及架設和電路版的製作。鏡頭是選用焦距為 78 mm 的定焦 UV 鏡頭。攝影機的部分主要分為微通道板架、樹莓派相機版和單軸線性移動平台三個部分，其他還有一些鋁板作為連接件，微通道板架前端有刻有用來連接 UV 鏡頭的 C-mount 螺紋，在後方有加裝擋板防止 MCP 掉落。電路設計的部分則是包含了三塊電路板，分別是 24 V 轉 5 V 和 24 V 轉 12 V 及使用 10 k Ω 可變電阻的 5 V 電路板。24 V 轉 5 V 電路板將用於 Raspberry Pi camera 和微通道板(WP630-25)，24 V 轉 12 V 電路板是用來作為 250V 峰對峰值的脈衝放大器(GM300-3n)的電源供應，使用 10 k Ω 可變電阻的 5 V 電路板則是用於調整微通板的放大倍率。相機在組裝完成後會放在法拉第籠內防止使用時電子設備遭到 EMP 破壞。

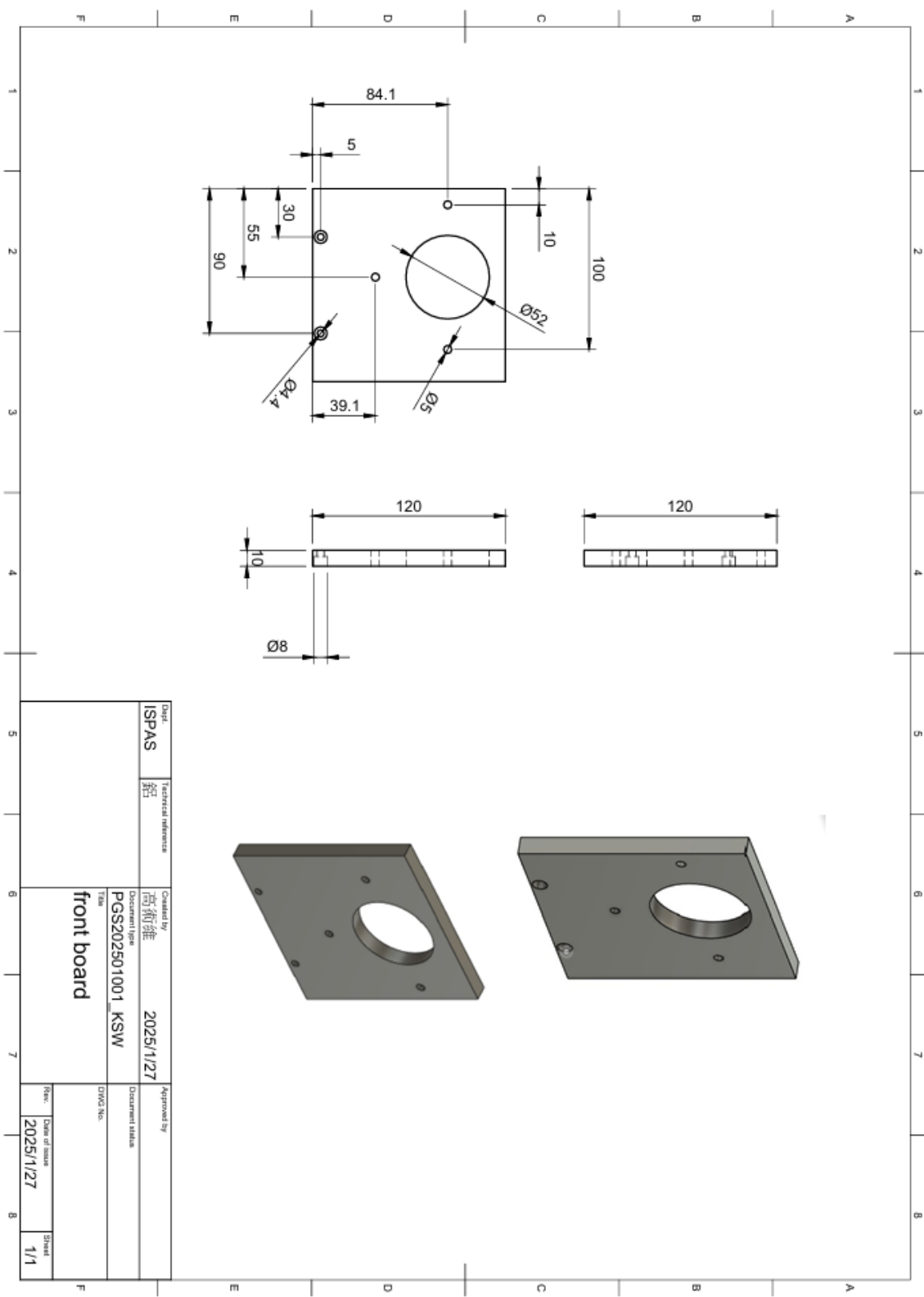
六、參考資料

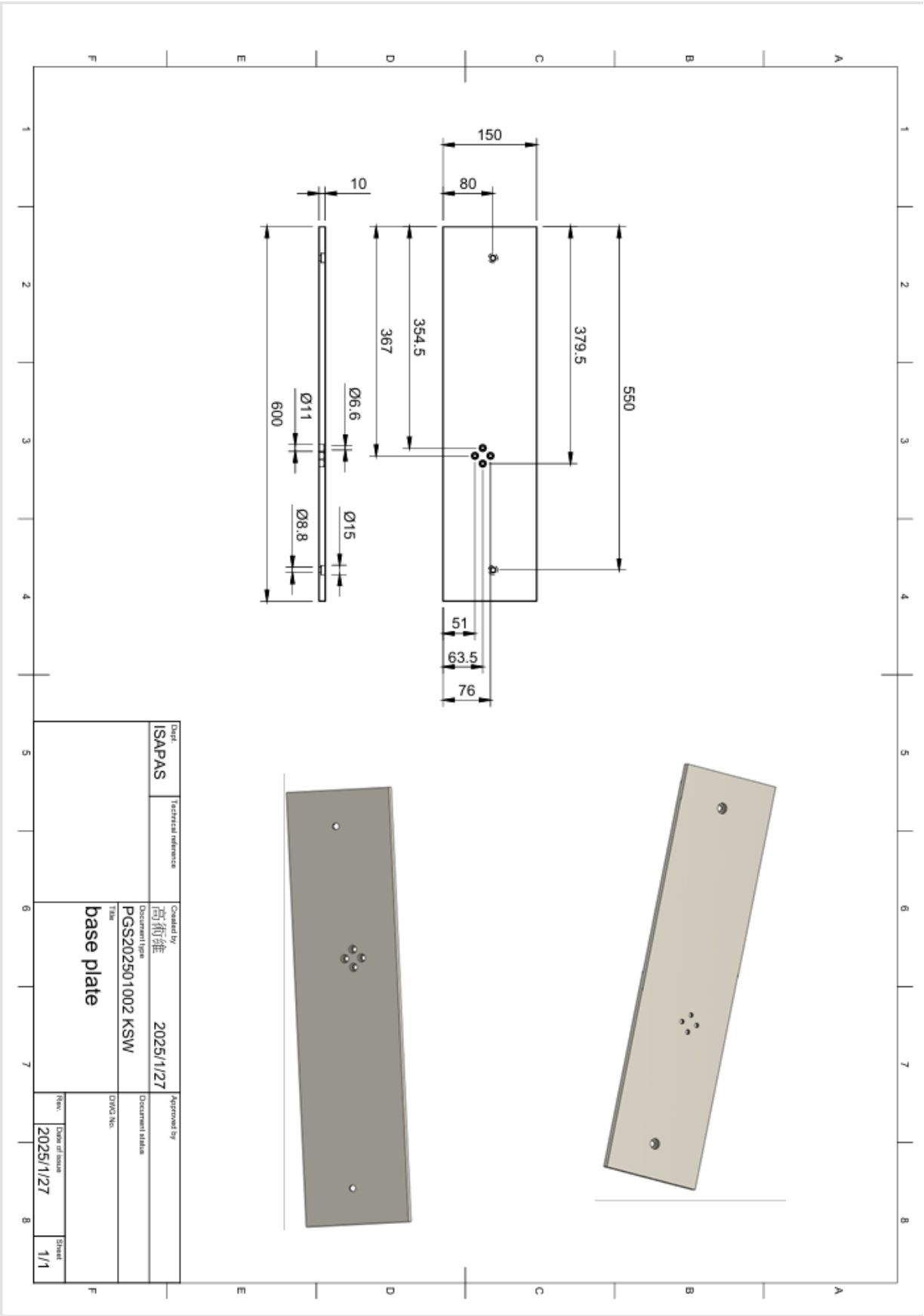
- [1] Joseph Ladislav Wiza , Nuclear Instruments and Methods ,
Vol. 162 , 1979 , p.588 , Fig.2
- [2] Joseph Ladislav Wiza , Nuclear Instruments and Methods ,
Vol. 162 , 1979 , p.587 , Fig.1
- [3] E. Kellogg , P. Henry , S. Murray and L. Van
Speybroeck , Rev. Sci. Instr. 47 (1976) 282.
- [4] M. Lampton. W. Cash , R. F. Malina and S. Bowyer , X-ray
imaging , Proc. SPIE 106 , (1977) p. 93.
- [5] Joseph Ladislav Wiza , Nuclear Instruments and Methods ,
Vol. 162 , 1979 , p.588 , Fig.3
- [6] 濱松光子學株式會社:
<https://www.hamamatsu.com.cn/cn/zh-cn/news/products-and-technologies/2018/201807230000000.html>
- [7] Joseph Ladislav Wiza , Nuclear Instruments and Methods ,
Vol. 162 , 1979 , p.590 , Fig.5

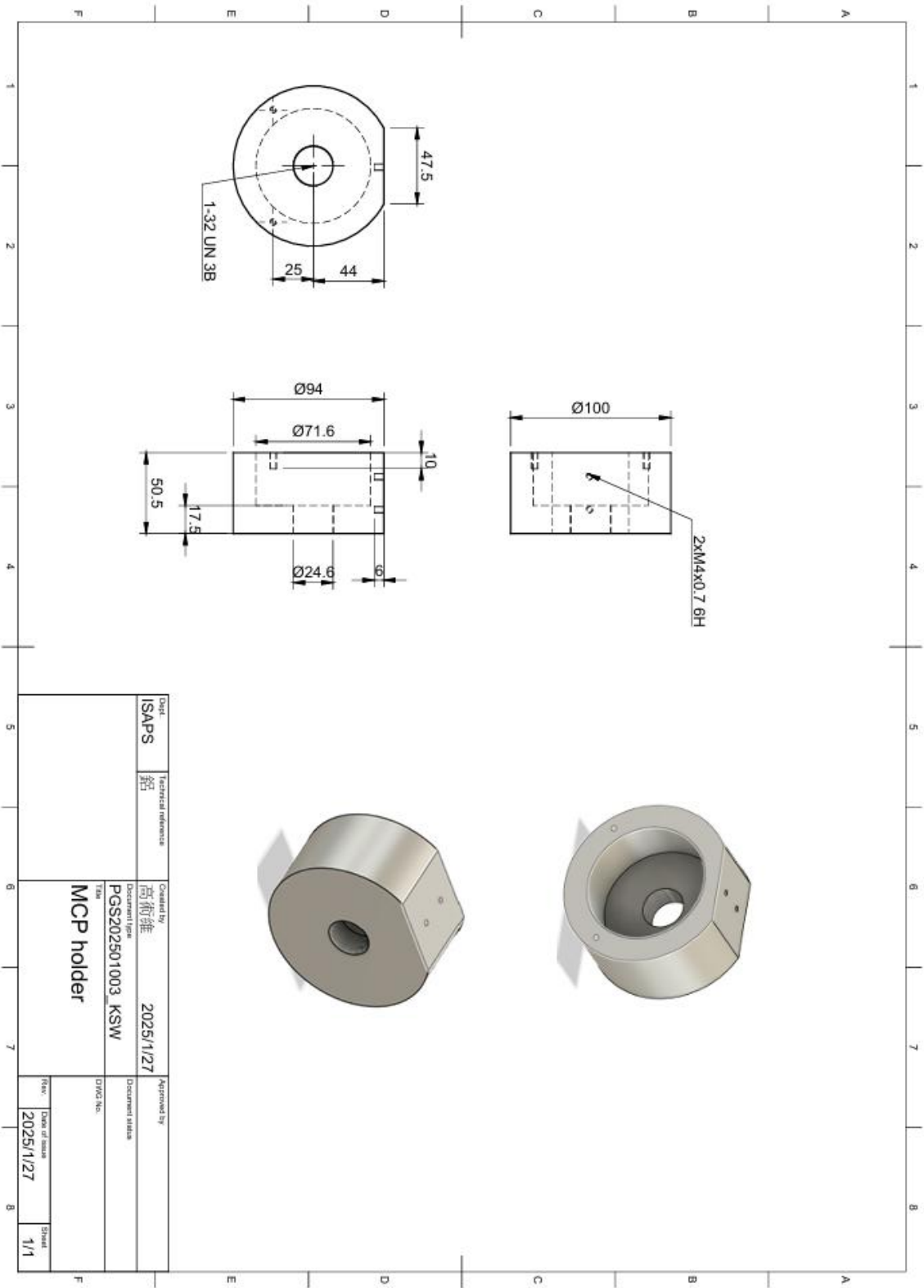
七、附件

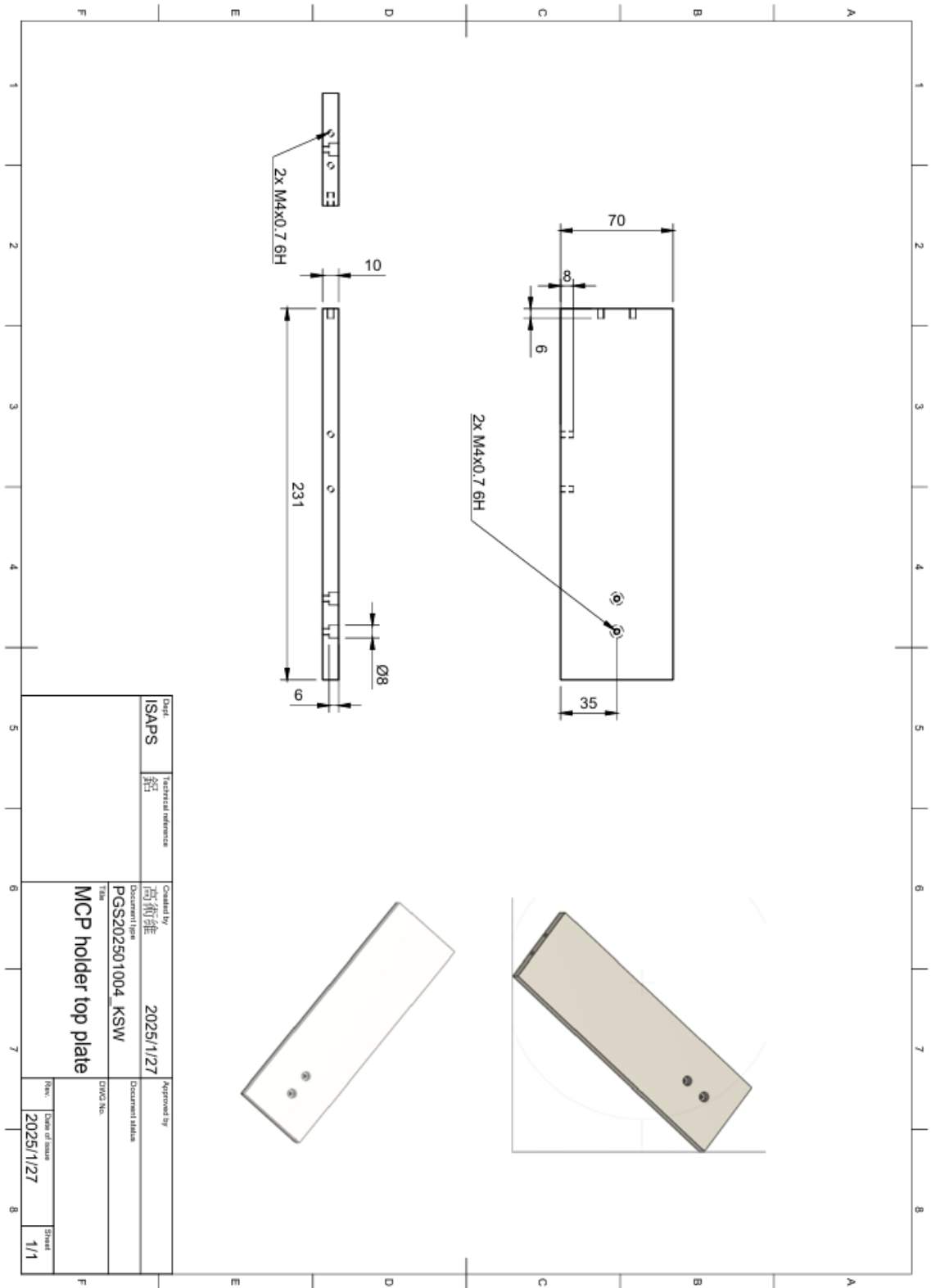
7-1 攝影機的 CAD 圖

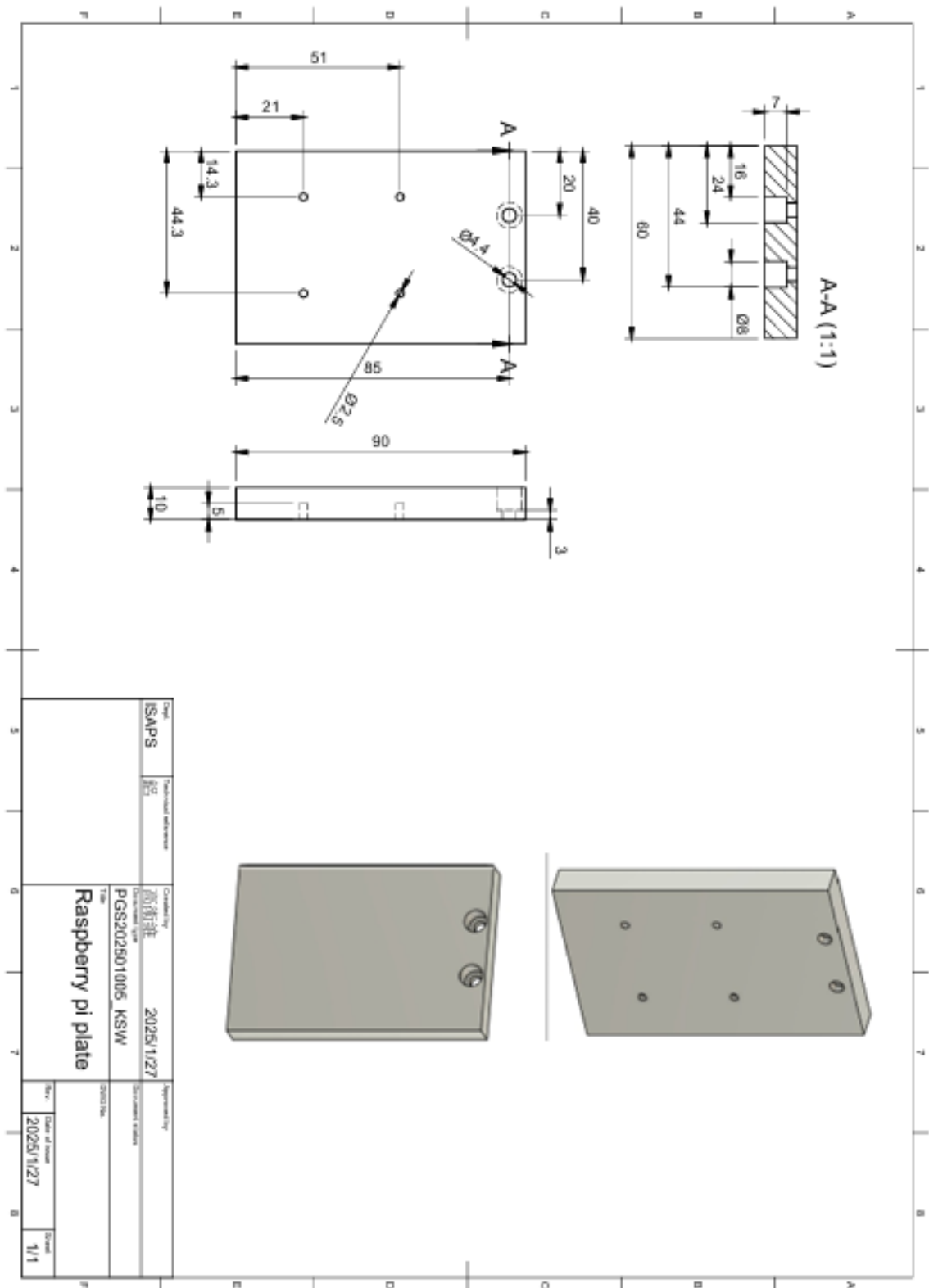


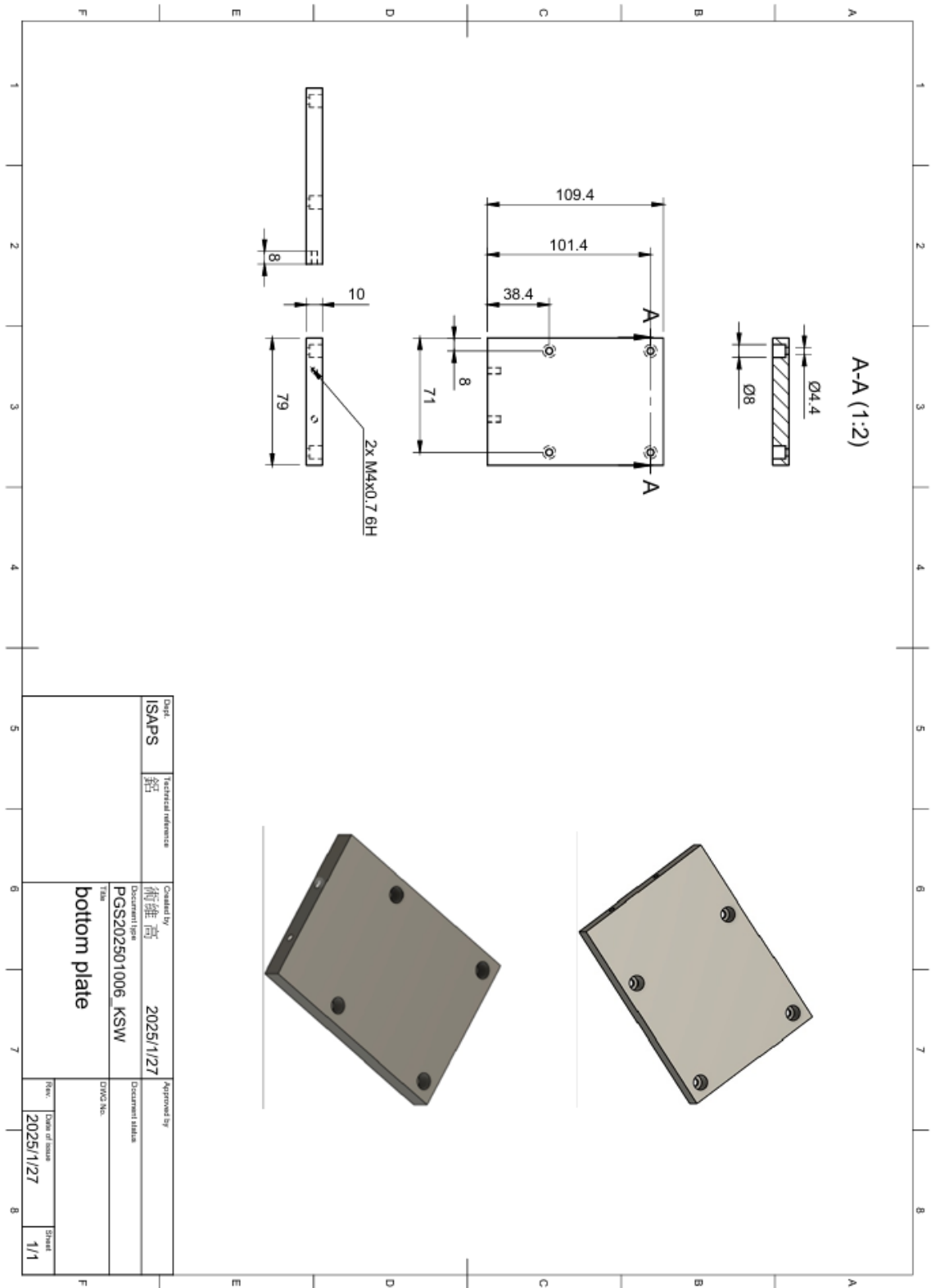


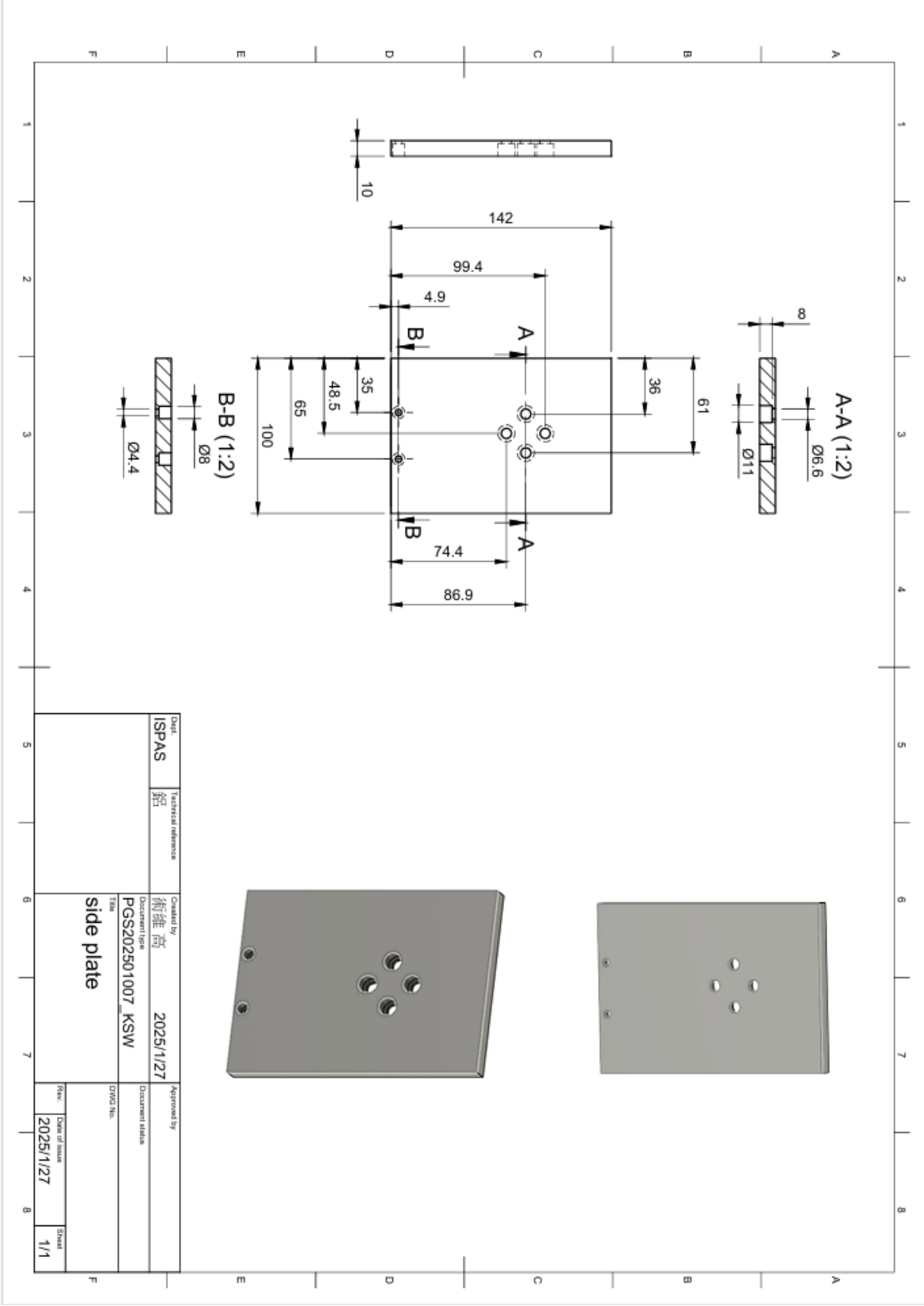


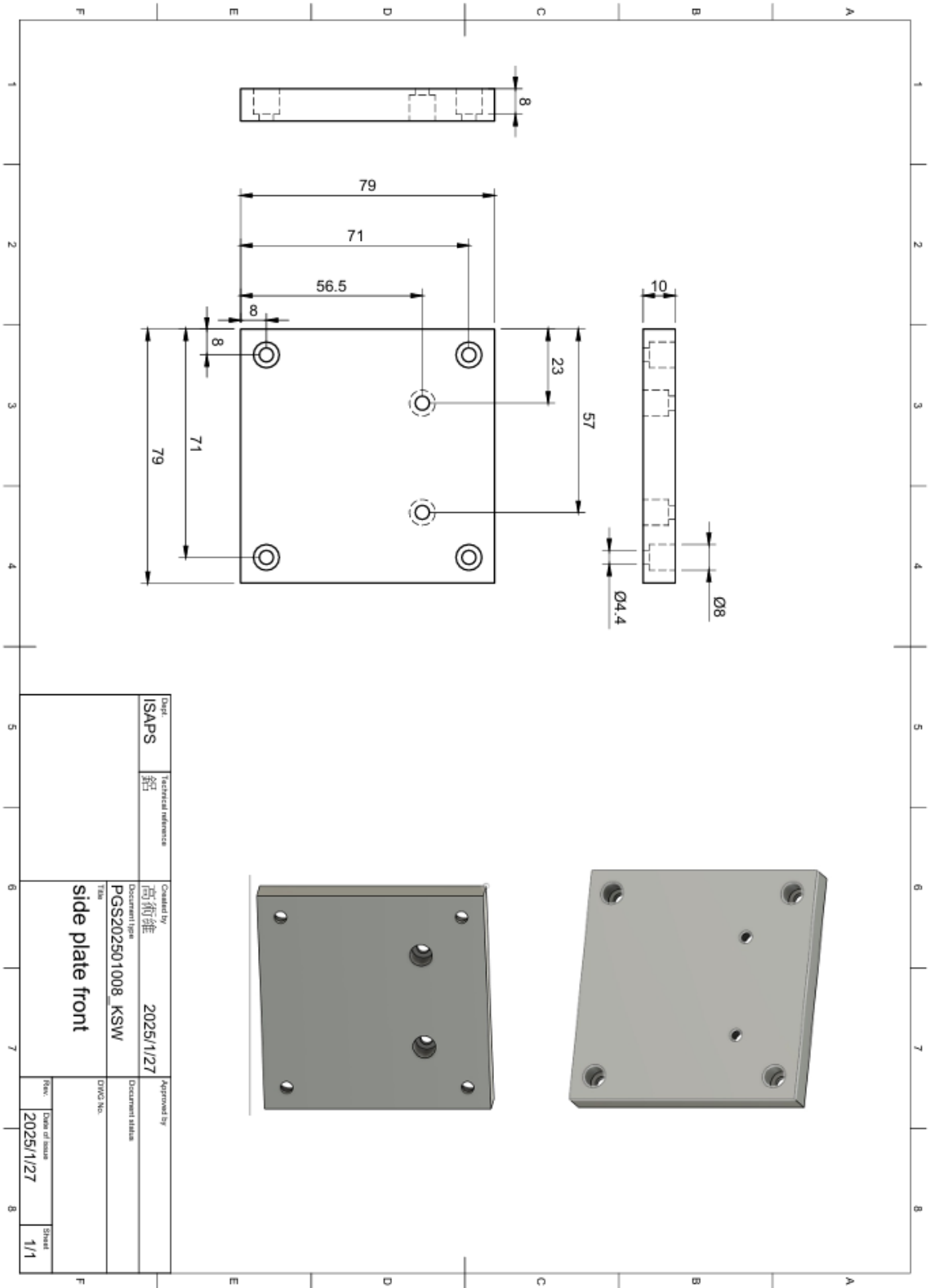


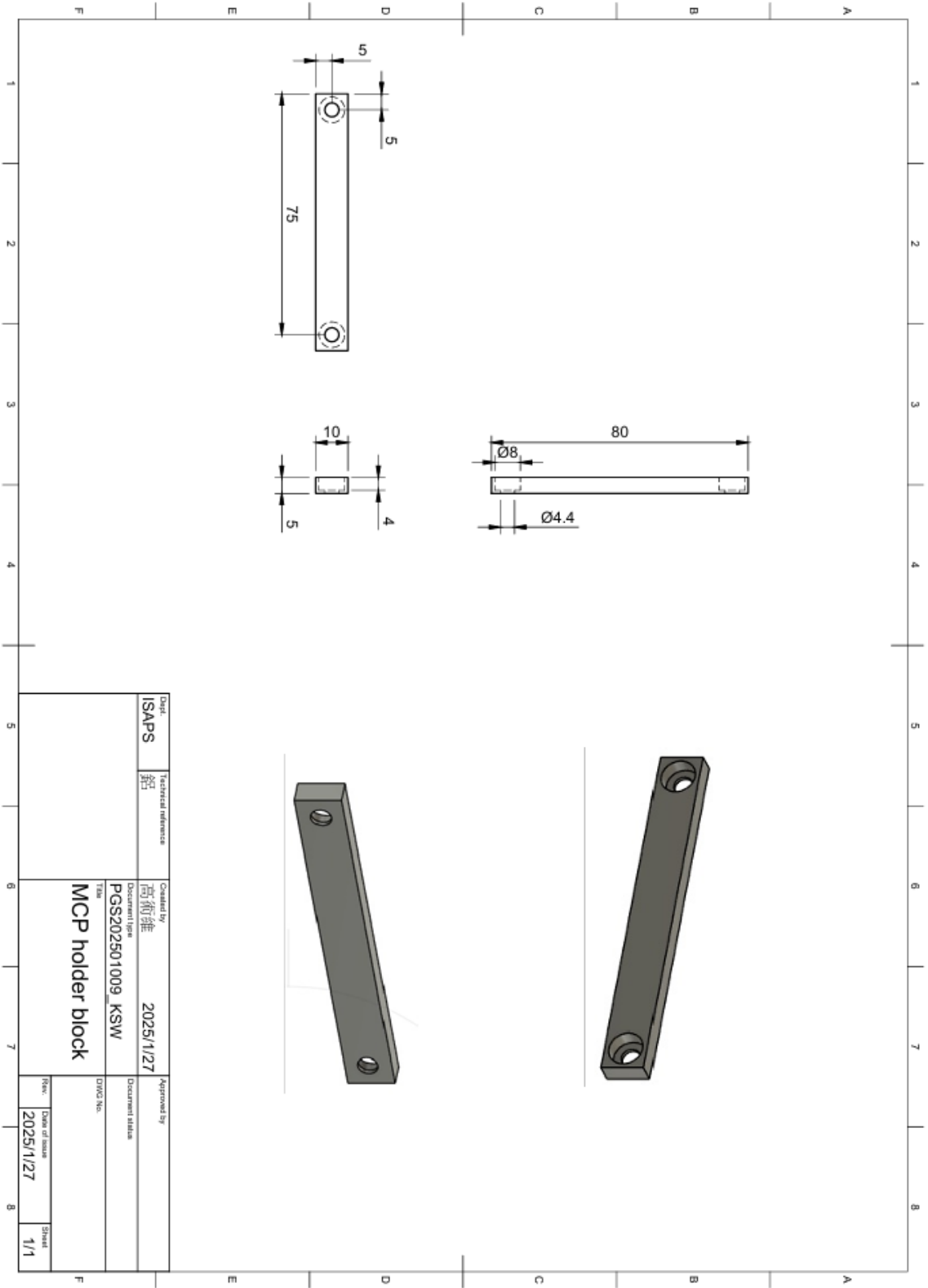




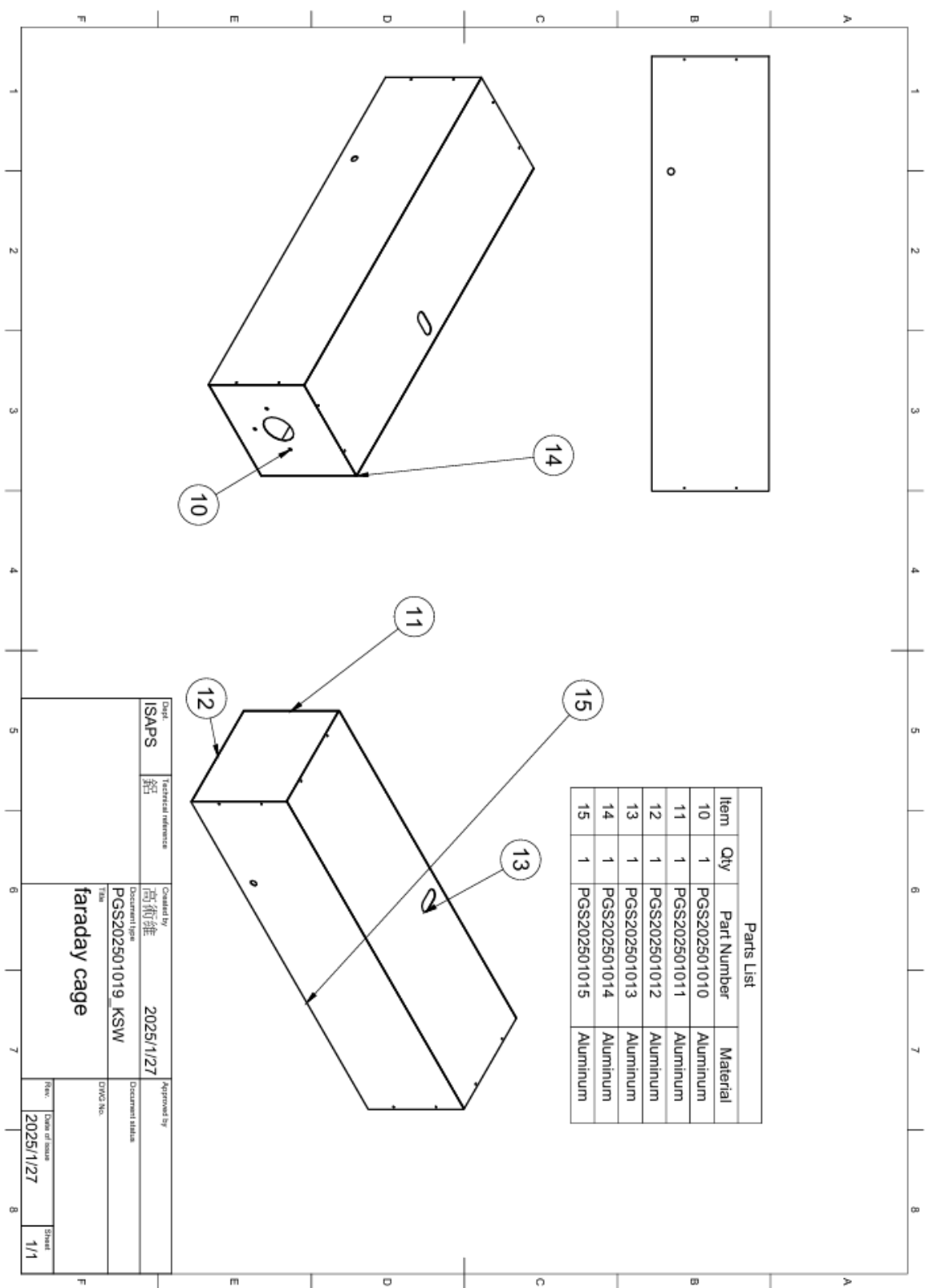


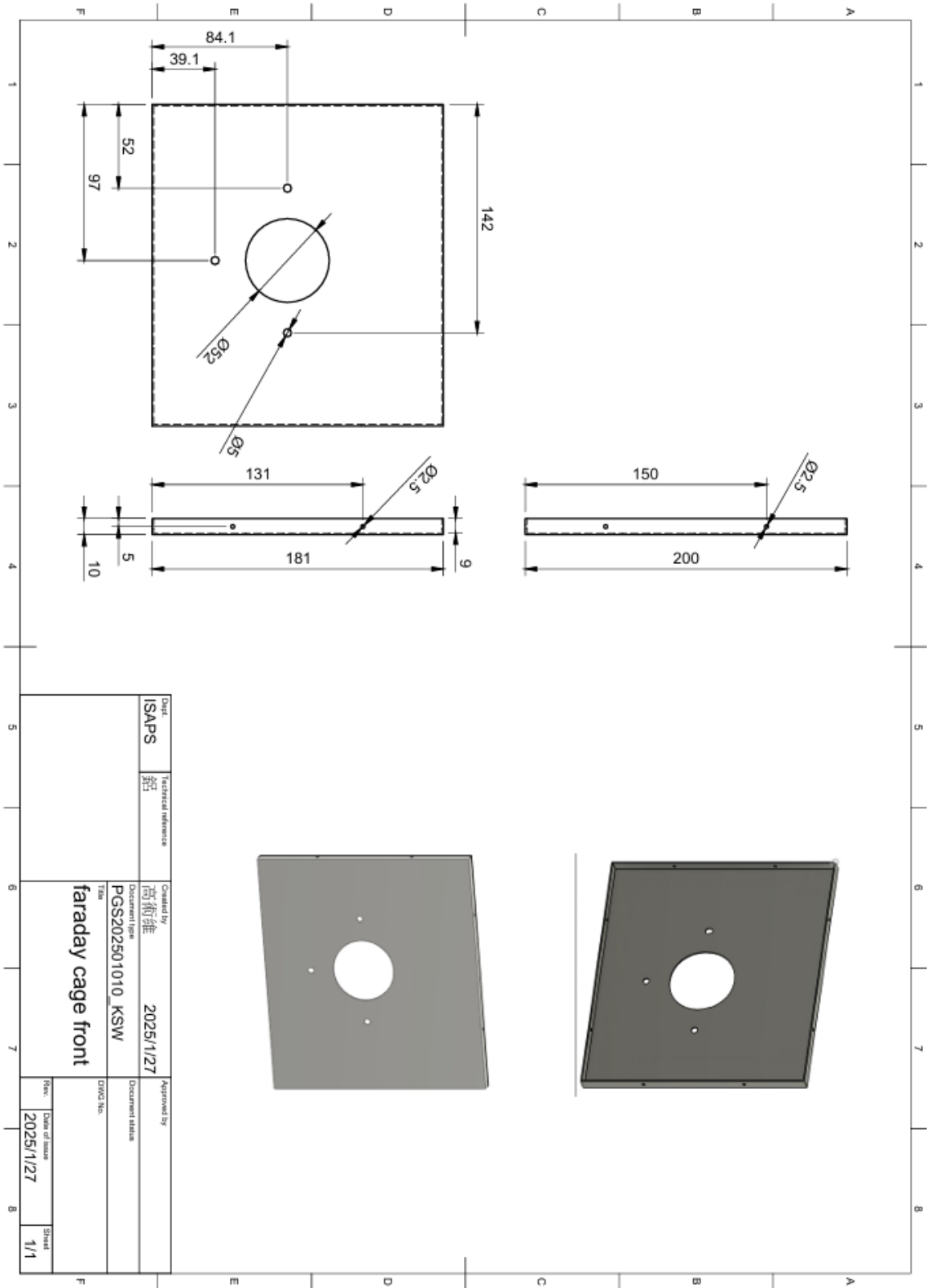


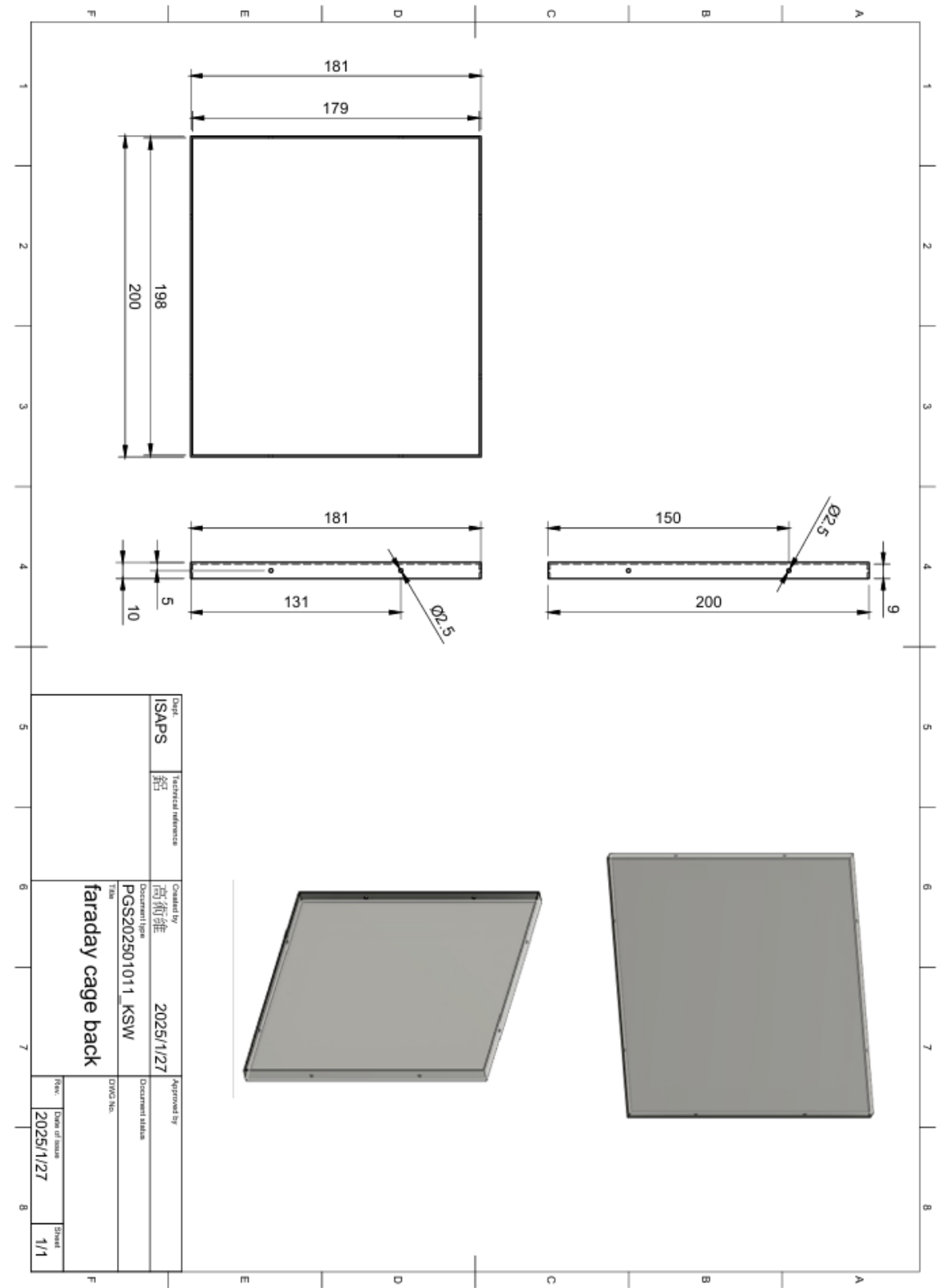


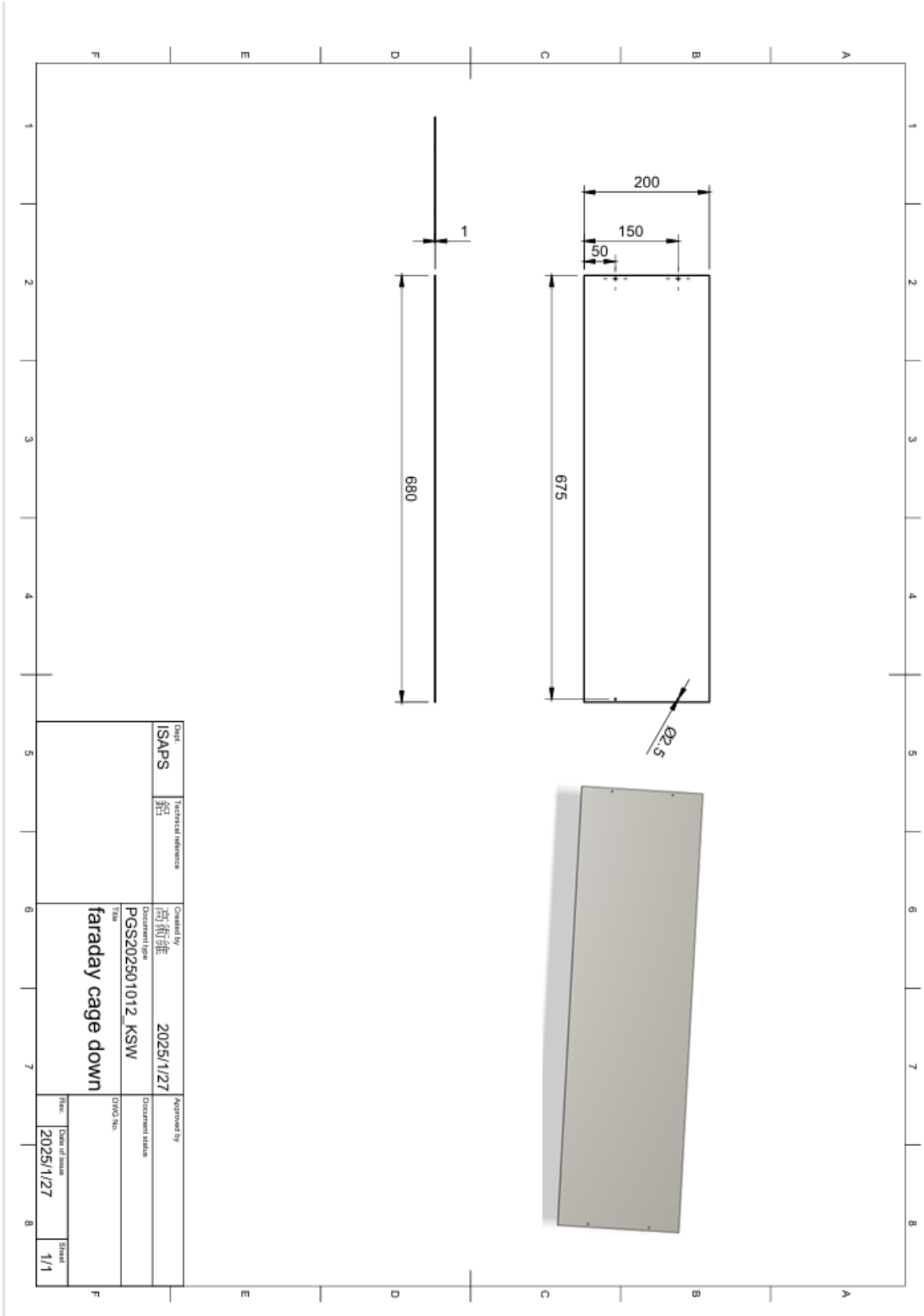


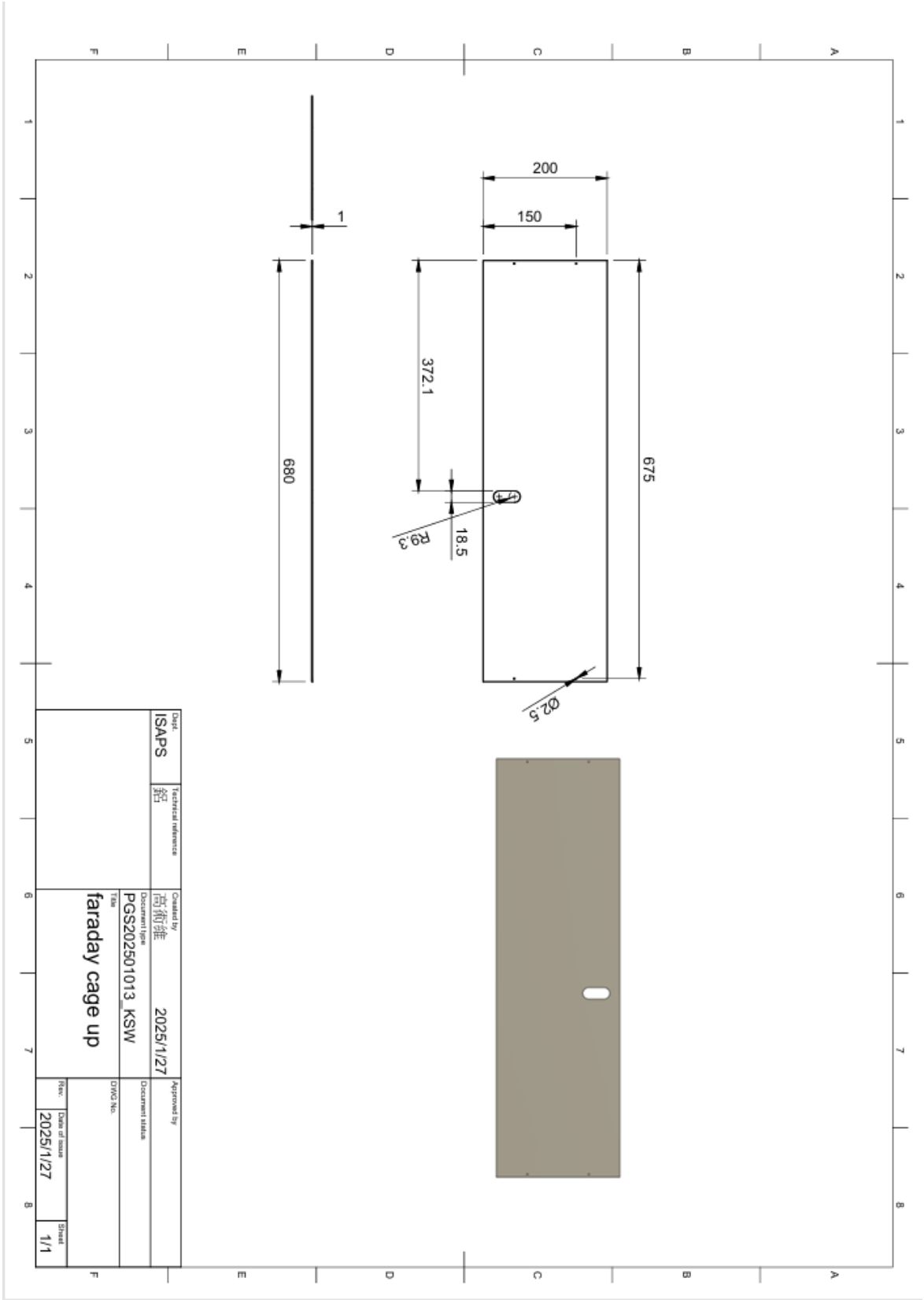
7-2 Faraday cage 的 CAD 圖

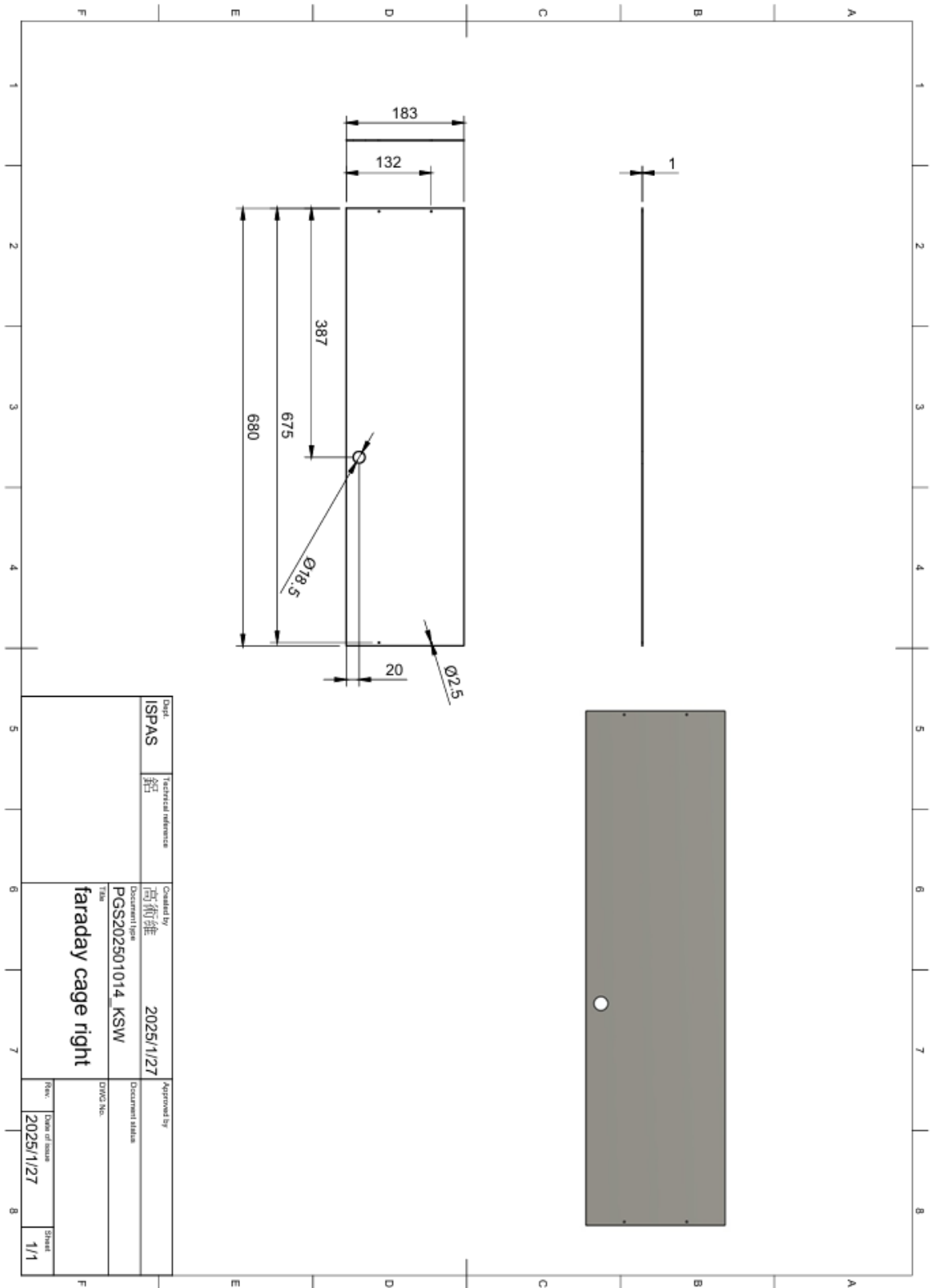












Dept.	ISPAS	Technical reference	铝	Created by	高衡维	2025/1/27	Approved by	
		Document type	铝	Document type	PGSS202501014_KSW		Document status	
		Title	faraday cage right	DWG No.				
		Rev.	2025/1/27	Date of issue	2025/1/27		Sheet	1/1

