

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)

052311

工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害
預防平台

學校名稱： 新北市立淡水高級商工職業學校

作者： 職三 李彥亨 職三 李政遠	指導老師： 陳金雄
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 工業廠房、YOLO、LSTM

摘要

本研究旨在開發一套以影像辨識為主、結合生理徵象監測之「工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台」，以實現對作業人員的即時保護與風險預警，成為基層勞工免於職災威脅守護者，保障工作權益的最佳防線。

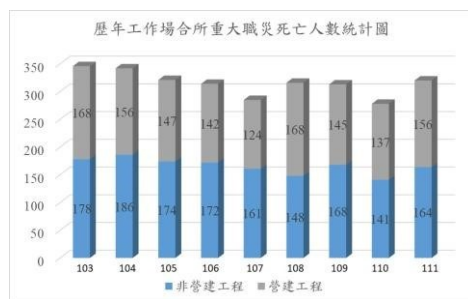
此平台具備多工作場域模組化功能，首先以重電設備場域作為研究起點，透過有限狀態機（FSM）架構，系統性地建立作業流程的狀態圖。平台結合 YOLO 模型於狀態圖之啟始狀態進行防護裝備穿戴辨識，預防狀態之設備通電警示，作業狀態則以長短期記憶神經網路（LSTM），搭配心率與聲音感測器偵測。

此外，本研究亦於車床機械與高處施工場域展現良好的監控預警與可擴性成效。未來期望進一步推廣平台至更多工業環境，提升整體職場安全管理之智慧化。

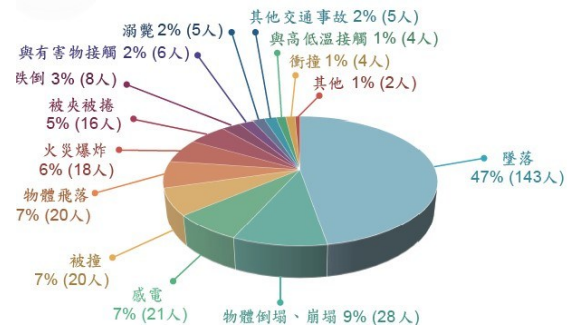
壹、研究動機

由於在學校上課常發生配線觸電與機器操作不當造成心理恐懼，此時讓我們想了解現代化工業建設與維護危安防護至關重要。為了了解從事工業作業人員工安問題，我們查閱了相關工作場所重大職災死亡人數和災害類型的統計資料。從圖 1(a)這些資料中我們可以發現職災的數量明顯增加[1]，其案件數從 107 年度 285 件增加至 111 年 320 件。

因課堂所學，所以我們較關注於感電意外與機器被夾被捲傷害，圖 1(b)顯示感電意外比率為 7%與機器夾捲比率為 5% [2];前者災害類型與高壓電力系統配線施工密切相關，後者則為機器設備操作不當所致。再者，由於墜落是最高比率職災，因此也納入本研究的探討。



(a)

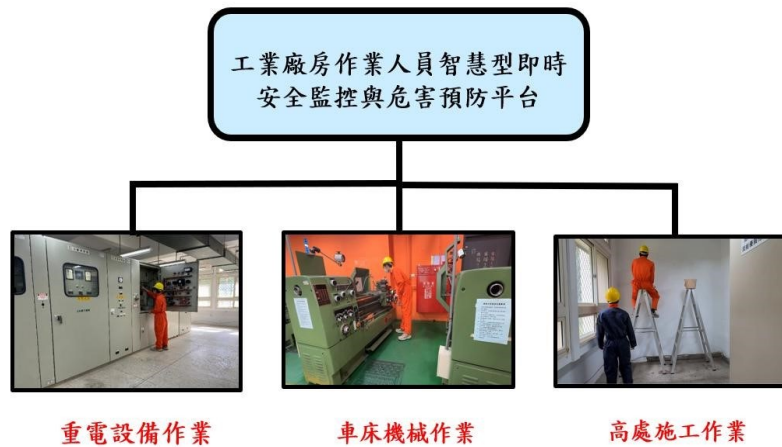


(b)

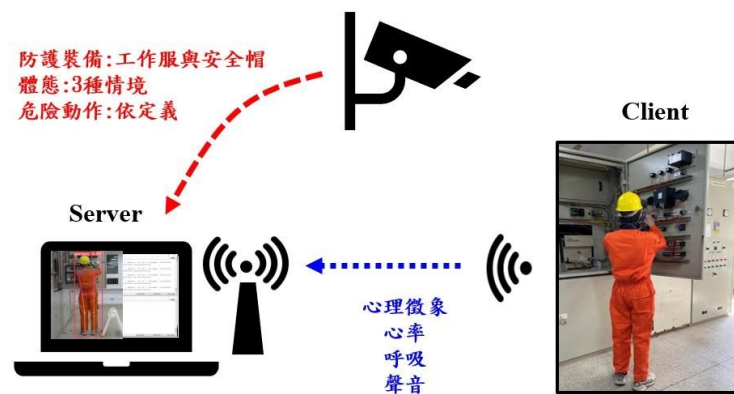
圖 1 (a) 歷年工作場所重大職災死亡人數 引用[1]勞動部職業安全衛生署 111 年，

(b)災害類型的統計資料 引用[2]勞動部職業安全衛生署 112 年。

綜合上述，我們與指導老師討論後，本研究將設計具備多工作場域擴展性功能平台，並以有限狀態機 FSM (Finite State Machine) 架構設計系統性狀態圖[3]，規劃對應的危害預防與處理應變機制。多工作場域先以感電意外之重電設備、車床機器操作與高處施工為研究重點如圖 2(a)所示。以重電設備為例，本次研究首先將狀態圖為設計組態，來規劃影像辨識對作業人員防護裝備(工作服及安全帽)、危險操作與體態辨識如圖 2(b)所示。再者，結合生理徵象與身體姿勢之生理體態辨識，我們設計穿戴式心率感測器和聲音感測器並利用 ESP32 WiFi 傳輸作業人員生理徵象發送訊息給伺服器。因此，當以上偵測到作業人員之防護裝備與生理體態異常時，伺服器即會警示並提醒監管人員。



(a)



(b)

圖 2 工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台。

(a) 架構圖，(b)重電設備平台概念圖 本圖由作者親自製作。

貳、研究目的

本研究目的是建立一個系統性與模組化「工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台」，系統性以有限狀態機 FSM (Finite State Machine) 為核心概念來規劃狀態圖之危害預防與處理機制，而模組化是建立多工作場域之擴展性。

首先建立重電設備作業人員智慧型即時危安防護平台如圖 3 所示，此平台具有即時作業危險預防功能。狀態圖依其狀態事件結合 You Only Look Once (YOLO) 物體偵測、LSTM 危險操作及體態辨識，與生理徵象感測器。YOLO 是一種廣泛用於計算機視覺中的物體檢測方法，其特點在於能夠快速而準確地偵測本研究作業人員之工作服、安全帽等與設備等多個物件，並為每個物件預測出邊界框和類別概率。設計穿戴式人體生理感測與和結合 YOLO-Pose[4-5]與 Long Short-Term Memory (LSTM) 長短期記憶網路 [6-7]做

為危險操作與體態辨識。穿戴式人體生理感測它可量測作業人員心率及呼吸與聲音特徵值並利用 ESP32 WiFi[8]傳送訊息，以了解作業人員活動狀態; YOLO-Pose 可偵測人體關節點，而 LSTM 是一種 RNN (Recurrent Neural Network) 模型，適合於本研究體態長期依賴性之時間序列偵測，所以結合 YOLO-Pose 與 LSTM 二者模型將有助於偵測危險操作與體態。根據以上所述，本研究將實現對施工進度和效率的監控和管理，及時發現和解決施工過程中的問題，從而提高整個施工過程的效率和品質。其研究目的包含如下：

- 一、 建立以影像辨識為主、結合生理徵象監測之「工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台」，成為基層勞工免於職災威脅守護者。
- 二、 建構系統性即時預防危安機制，利用系統性狀態圖呈現影像與穿戴式感測器偵測程序，以實現對作業人員的即時保護與風險預警。
- 三、 將以上基礎應用於車床機器操作與高處施工作業，並建立模組化之多工作場域之擴展性，期望將研究成果廣範應用於工業領域，成為多元化工作之權益最佳防線。
- 四、 利用 YOLO 與 YOLO-Pose 影像辨識，並以 LSTM 即時辨識作業人員工作操作動作與體態，達到智慧化的效果。

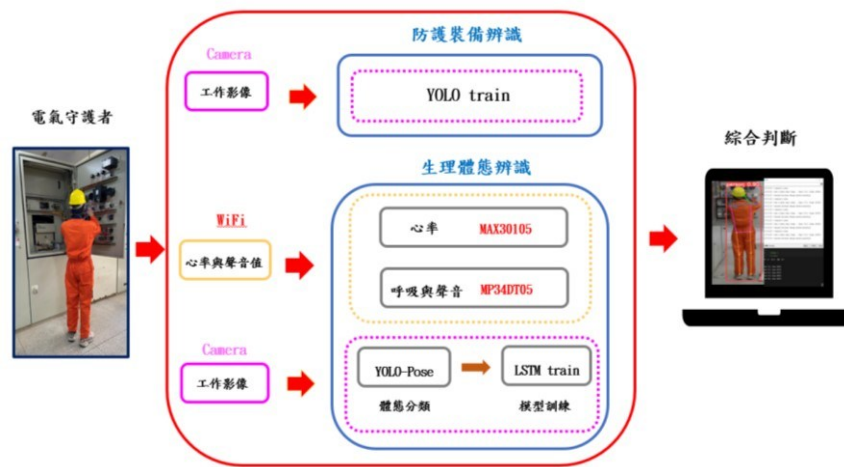


圖 3 重電設備作業人員智慧型即時危安防護平台架構圖

本圖由作者親自製作。

參、研究設備及器材

本研究所使用的研究設備與器材如表 1 與圖 4 所示。本研究之重電設備為高壓 11.4 KV 配電盤 [9] 與立隆機械-禮鑫車床[10]。在作業人員即時防護裝備與危險操作及體態影像辨識部分，使用了 GPU[11]、YOLO[12-13]及 PyTorch[14]等套件。穿戴式心率及呼吸量測系統則採用了嵌入式系統 ESP32[15-16]、心率感測器 MAX30105[17]模組與聲音信號處理器 MP34DT05 模組[18-19]。

表 1 研究設備與器材表

編號	材料名稱	規格	數量	單位
1	GPU	NVIDIA GeForce RTX 4060	1	組
2	高壓配電盤	11.4 KV 配電盤	1	套
3.	車床	立隆機械-禮鑫車床 430x800	1	台
4	工作安全帽	CNS4598	1	頂
5	工作衣	全身式 XL	1	件
6	網路攝影機	Logitech C270 HD WEBCAM	1	個
7	嵌入式系統	ESP32	1	個
8	心率感測器	MAX30105	1	個
9	聲音信號處理器	MP34DT05	1	個
10	YOLO	Version8	1	套
11	Python	Version3.9	1	套
12	PyTorch	Version 1.12.1	1	套



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

圖 4 研究設備與器材圖。(a) 工作服，(b) 工作安全帽，(c)ESP32 微處理器，

(d)心率感測器，(e)聲音信號處理器 本圖由作者親自製作。

肆、研究方法

本研究為因應不同場域之危安事項需先辨識工作環境如圖 2 所示，如此才能建立模組化預防功能如圖 5 所示，圖 5 顯示場域辨識後切換至不同工作模式，Case 1 為重電設備場域(預防身體觸電功能)，Case 2 為車床機械場域(預防手部壓切功能)，Case 3 為高處施工場域(預防身體墜落功能)，以下為各場域研究方法。



圖 5 場域偵測安全監控與主要危害預防功能 本圖由作者親自製作。

一、重電設備場域

重電設備場域之配電盤作業規劃狀態圖如圖 6 所示，狀態 1 為準備進入重電場所，狀態 2 為重電場所中辨識電錶，狀態 3 為工作作業中，狀態 4 為離開。狀態 1 為作業人員於穿戴防護器具正常時，才能進入狀態 2 重電場所中，並於此影像辨識電錶是否通電狀態，若是通電中則警告作業人員勿打開配電盤門板，直至斷電狀態時才進入狀態 3 工作，而狀態 3 將做影像辨識功能與生理徵象信號來處理，發生異常時進入狀態 4 離開。將具有系統性狀態圖予以實現架構如圖 7 所示，其詳細過程與實驗規劃如下說明。

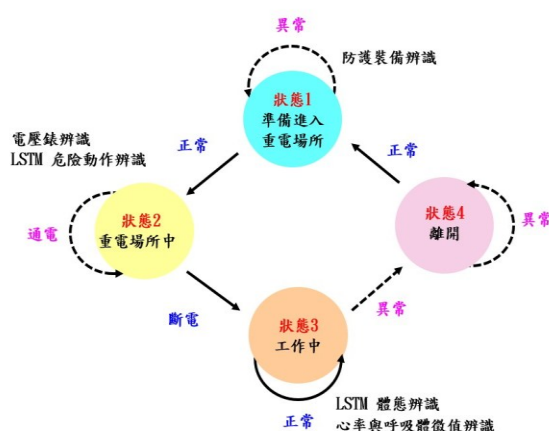


圖 6 重電設備場域之配電盤作業員操作研究規劃狀態圖 本圖由作者親自製作。

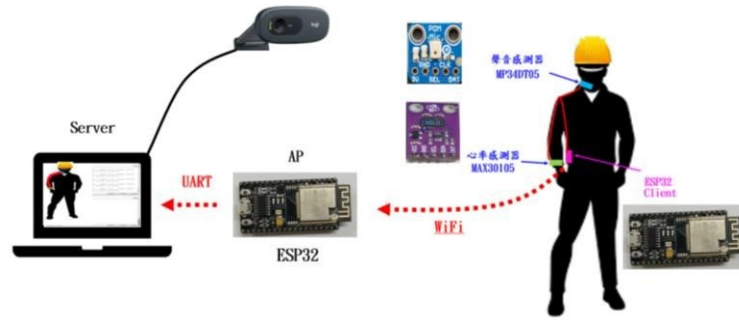


圖 7 研究實驗系統圖 本圖由作者親自製作。

(一)、作業人員防護裝備辨識：

防護裝備與體態影像偵測與辨識是利用 YOLO、YOLO-Pose 及 LSTM 三者架構進行模型訓練及影像預測。將 YOLO (You Only Look Once) 偵測圖像中作業人員之工作服與安全帽，而 YOLO-Pose 是針對人體物件及身體骨架偵測，並配合 LSTM (Long Short-Term Memory) 訓練模型預測作業人員體態。LSTM (Long Short-Term Memory) 是一種時間序列架構[20-21]，由前一時間動作來預測下一時間動作，所以它適合本研究使用的模型。

1.施工過程影像收集

為了獲取完整的實驗數據，我們從高壓配線工廠拍攝了配線的施工過程如圖 8 所示。拍攝過程中，我們設計了各種體態，包括站姿工作、坐姿休息與躺姿異常，如此真實情境設計確保了實驗數據的完備性，有助於系統的訓練和測試。



圖 8 工作情境之體態及物件收集，作業人員防護裝備與體態 本圖由作者親自製作。

2.人體與安全帽物件分類

取得施工過程影像後，對工作服與工作安全帽等物件進行訓練所需的前置作業。標註過程中，我們使用 LabelImg 標註工具[22]，在解析度為 1920x1080 像素的影像中，以矩形框標記目標物件的範圍，並定義對應的標籤名稱。標註完成後，系統會自動生成與影像對應的標註檔案，如圖 9-11 所示。這些標註資料會再轉換為符合 YOLO 模型訓練需求的格式，以進行後續物件偵測模型的訓練作業。

(1).作業人員有穿著工作服與有戴安全帽

作業人員有穿著工作服與有戴安全帽共分為 3 種體態，作業人員站姿、作業人員坐姿與作業人員躺姿，其情境如圖 9 所示。

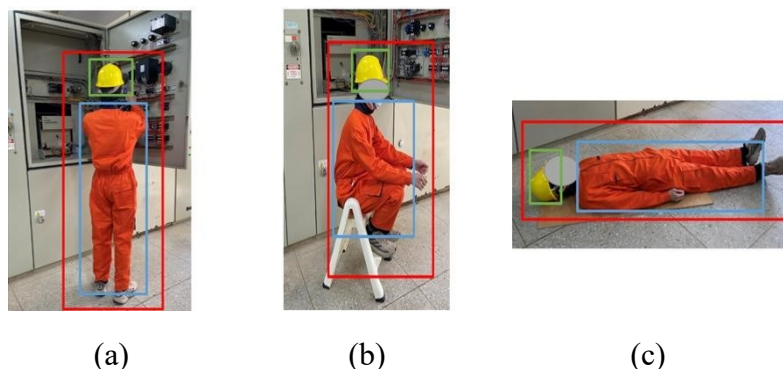


圖 9 作業人員有穿著工作服與有戴安全帽。(a)站姿，(b)坐姿，(c)躺姿

本圖由作者親自製作。

(2).作業人員有穿著工作服與未戴安全帽

作業人員有穿著工作服與未戴安全帽有分為 3 種體態，作業人員站姿、作業人員坐姿與作業人員躺姿，其情境如圖 10 所示。

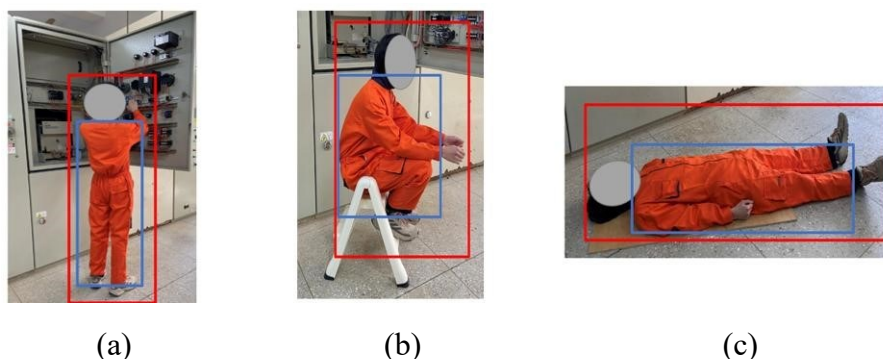


圖 10 作業人員有穿著工作服與未戴安全帽。(a)站姿，(b)坐姿，(c)躺姿

本圖由作者親自製作。

(3).作業人員未著工作服與有戴安全帽

作業人員未著工作服與有戴安全帽共分為 3 種體態，作業人員站姿、作業人員坐姿與作業人員躺姿，其情境如圖 11 所示。

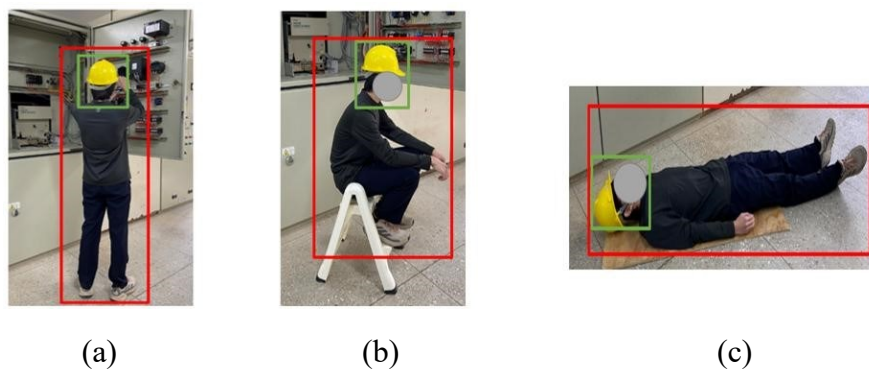


圖 11 作業人員未著工作服與有戴安全帽。(a)站姿，(b)坐姿，(c)躺姿
本圖由作者親自製作。

(4).作業人員未著工作服與未戴安全帽

作業人員未著工作服與未戴安全帽有分為 3 種體態，作業人員站姿、作業人員坐姿與作業人員躺姿，其情境如圖 12 所示。

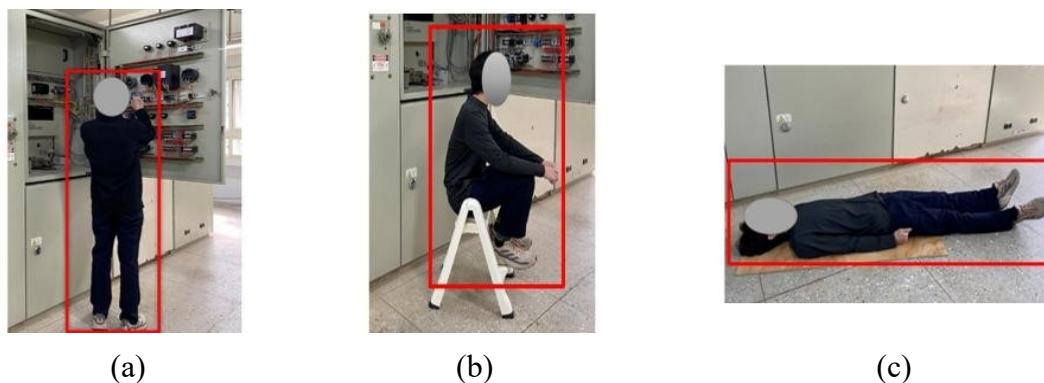


圖 12 作業人員未著工作服與未戴安全帽。(a) 站姿，(b)坐姿，(c)躺姿
本圖由作者親自製作。

將以標註好的圖片檔和標註檔放入訓練集中，而後定義訓練種類及名稱，接下來便可開始進行訓練物件如圖 13 所示內容為工作服與安全帽分類 4 種情境訓練，訓練次數會影響損失函數收斂度，損失函數需收斂至一定程度方可有較好的效果。

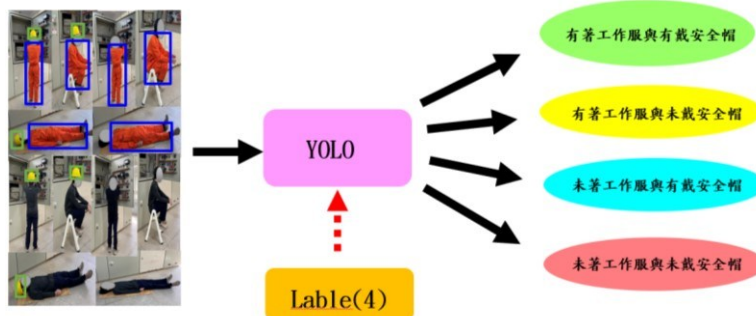


圖 13 YOLO 工作服與戴安全帽分類模型訓練 本圖由作者親自製作。

(二).配電盤電壓錶值與危險操作分類：

1.配電盤電壓錶值分類：為使作業人員於無送電狀態下工作以達到感電預防，在此將針對配電盤上電壓錶數值辨識如圖 14 所示，圖 14 (a)配電盤電壓錶、圖 14 (b)斷電狀態(電壓錶顯示 0 KV)與圖 14 (c)通電狀態(電壓錶顯示為 3.3 KV)，圖 14(d)為電壓錶值 YOLO 分類訓練。

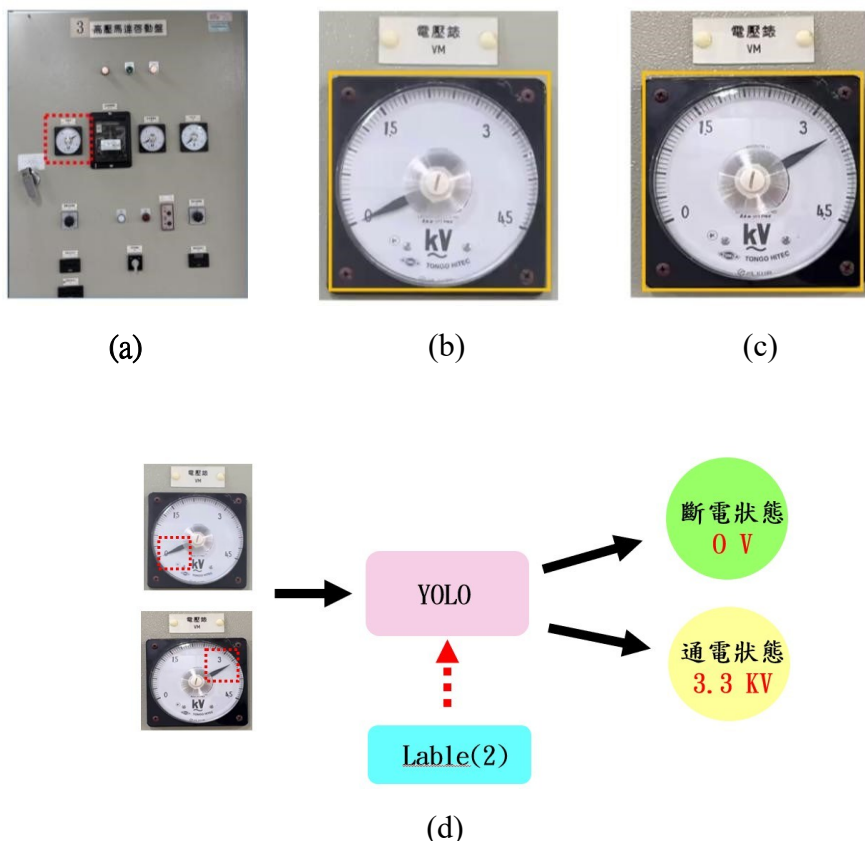


圖 14 YOLO 配電盤電壓錶模型訓練。(a)配電盤電壓錶，(b)斷電狀態，(c)通電狀態，(d)YOLO 電壓錶值分類模型訓練 本圖由作者親自製作。

2.危險操作之通電狀態開啟配電盤門板關節點偵測

危險操作之通電狀態操作配電盤體態之關節點偵測目的主要是預防感電意外。當已著工作服與戴安全帽作業員進入配電裝備場所欲工作而開啟配電盤門板如圖 15 所示，此時需注意配電盤是否通電狀態, 因此結合電壓錶值與手部開啟配電盤門板體態辨識來預防作業員感電。



圖 15 利用 YOLO-Pose 通電狀態開啟配電盤門板關節點偵測

本圖由作者親自製作。

(二)、體態影像辨識與生理徵象偵測：

1. 體態影像辨識

(1).工作休息與異常關節點偵測

為了獲取更加完整的姿勢骨架資料，我們設計了三種體態，包含站姿工作、坐姿休息以及躺姿異常狀況。本研究使用 YOLOv8-Pose 取得影像中身體的關節點，YOLOv8-Pose 是由 COCO 2017 資料集標記 keypoints 的方式，共有 17 個關節點如圖 16 所示，它包含面部 5 個、手臂 4 個、身體 4 個與腳部 4 個。根據這三種工作體態，我們規劃了其對應之信心度及肢體與關節點圖與如圖 17(a)、(b)、(c)所示。圖 17(a)為站姿工作，其作業人員有穿著工作服與有戴安全帽、有穿著工作服與無戴安全帽、無工作服與有戴安全帽、無著工作服與無戴安全帽之信心度分別為 0.89、0.90、0.89 與 0.90；圖 17(b)為坐姿休息，其作業人員有著工作服與有戴安全帽、有穿著工作服與無戴安全帽、作業人員有無工作服與有戴安全帽、無著工作服與無戴安全帽之信心度分別為 0.91、0.90、0.90 與 0.93；圖 17(c)為躺姿危險，其作業人員有穿工作服與有戴安全帽、有穿著工作服與無戴安全帽、作業人員有無工作服與有戴安全帽、無著工作服與無戴安全帽之信心度分別為 0.60、0.67、0.71 與 0.79。將以上各種情境偵測的關節組織成張量（tensor）資料形式，以方便於 PyTorch 框架進行 LSTM 模型的訓練析。

由偵測結果所知，圖 17(a)在站姿工作偵測時其關節點分布相較平均，圖 17(b)為坐姿休息時腳膝蓋的關節點會離身體較遠，圖 17(c)為躺姿危險之關節點分布較為密集，這樣的標記方法能夠較精確地描述人體在不同體態下的骨架結構，有助於提升模型的準確性和可靠性。

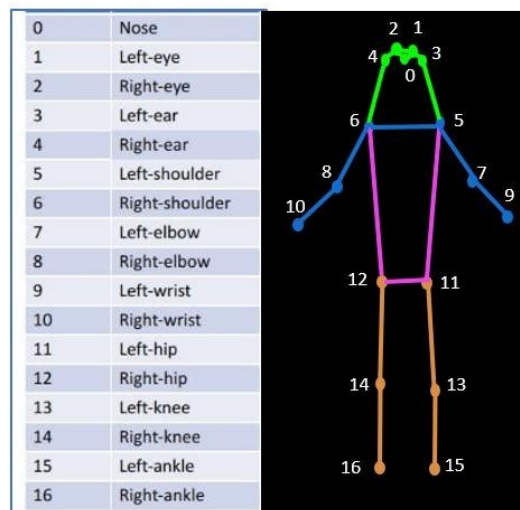
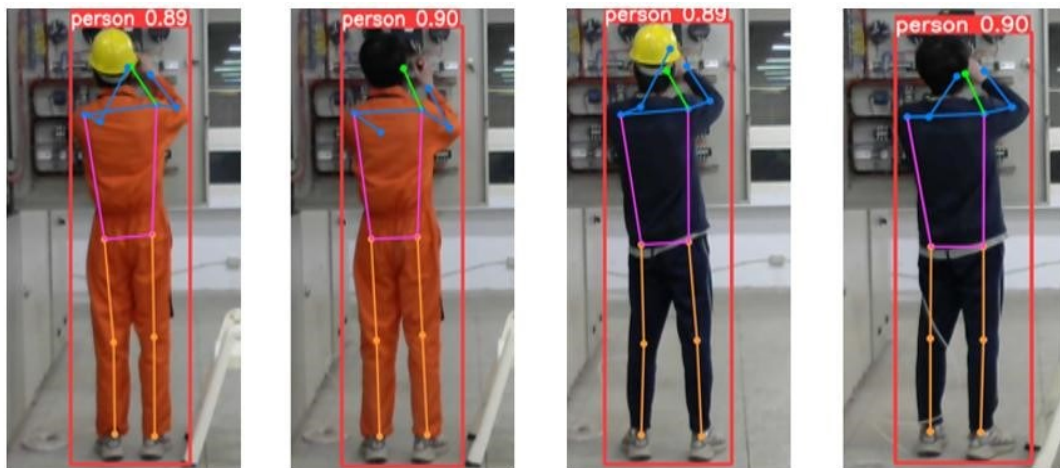


圖 16 COCO 2017 17 個 keypoints 個關節點偵測分布
本圖由作者親自製作。



(a)



(b)



(c)

圖 17 利用 YOLO-Pose 於 3 種情境關節點偵測。(a)站姿，(b)坐姿，(c)躺姿
本圖由作者親自製作。

2.LSTM 體態模型訓練將偵測到的體態包含 x、y 軸一共 34 個座標值，矩陣大小為(1, 34)，即列(Row)為 1，欄(Column)為 34，並將這些數據輸入至 LSTM 模型`num_classes`代表類別數量，最終要分辨三種體態；`num_layer`是 LSTM 隱藏層的層數，此處設為 1，如需提升模型複雜度可以增加層數；`input_size`是輸入的大小，此處設為 34，代表 34 個座標值；`hidden_size`是隱藏層的特徵節點數，將隱藏節點攤平後連接到 Dense 層，其體態訓練參數設定如圖 18 所示。

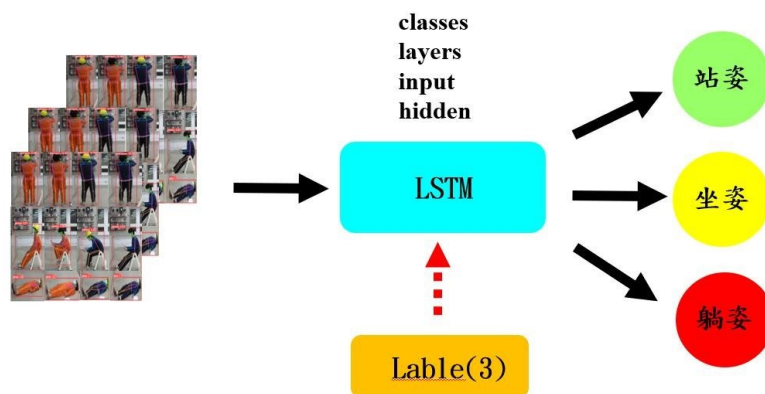


圖 18 LSTM 體態訓練參數設定 本圖由作者親自製作。

完成以上研究後將做影像整合，以 YOLO 物件辨識工作服與安全帽功能及 YOLOPose 與 LSTM 之危險操作與體態辨識予以整合綜合辨識，將其規劃為具有判斷防護裝備之工作服與安全帽與危險操作之工作總人數、正常工作總人數(站姿)、正常休息人數(坐姿)與危險人數(躺姿)功能。

2. 生理徵象偵測功能：

(1). 測試心率與聲音信號感測器：

MAX30105 是基於光電容積脈搏波描記法 (PPG, Photoplethysmogram) 方法做為檢測血流變化的方法，它測量了皮膚組織對不同波長的反射光，並利用這些反射變化來估算心率[23]。MAX30105 光源為兩種不同波長的紅光 (660 nm) 與紅外光 (940 nm)，通過測量血液對紅光 (660 nm) 和紅外光 (940 nm) 的氧合血紅蛋白 (HbO₂) 和脫氧血紅蛋白

(Hb) 在這兩種光波長下的吸收差異如圖 19 所示，可以計算出血氧飽和度 (SpO_2)；根據血氧飽和度 (SpO_2) 變化可以獲得脈搏波形而從中計算出心率 (BPM)。且 MAX30105 具有光電二極體可檢測血液反射光信號，通過這些反射光信號的強度變化轉換為數位信號以觀察心率變化情形，如此可得知檢測每分鐘心跳次數 (BPM)。

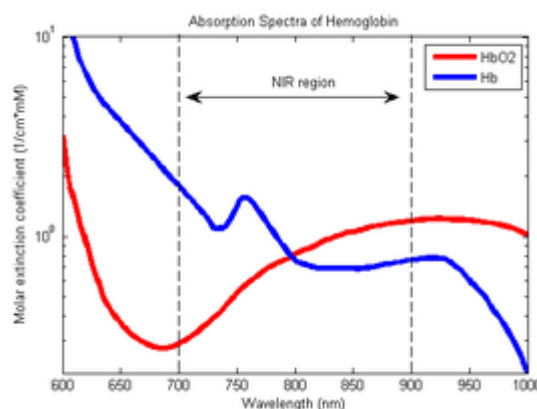


圖 19 MAX30105 於紅光與紅外光吸收光譜系係 引用[23]維基百科。

MP34DT05 是一款支援 PDM (Pulse density modulation, 脈衝密度調變) 的感測器 [24]。它於固定的週期內以傳送”1”或”0”二進制信號，脈衝的頻率和密度代表了音信號的強度如圖 20 所示，MP34DT05 PDM 信號會將捕捉到的聲音信號直接轉換為數位信號，由於 ESP32 具有 I2S 介面功能，所以可用來接收來自 MP34DT05 的 PDM 語音信號。

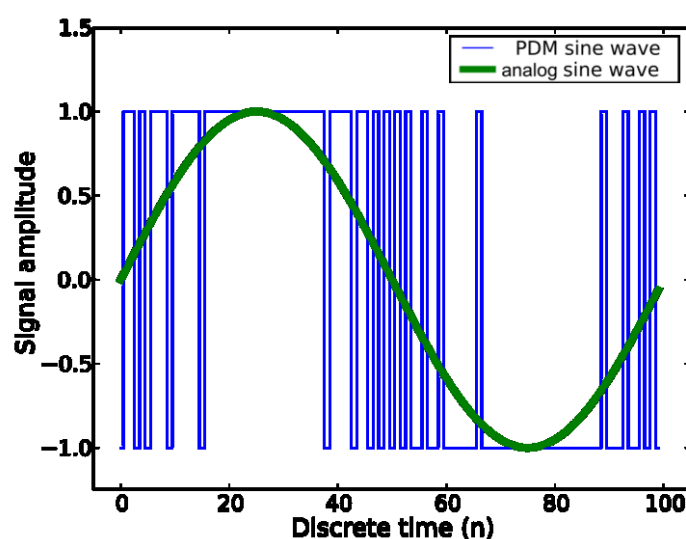


圖 20 PDM 脈衝密度調變信號 引用[24]維基百科。

MAX30105 可透過 I2C 介面與 ESP32 進行信號傳輸，PDM 資料線(DATA)接至 ESP32 之 I2C0 資料接腳 SDA(GPIO 21)，PDM 時脈接腳(CLK)接至 ESP32 之 I2C0 接腳 SCL(GPIO22)，將 MP34DT05 PDM 信號轉換為 ESP32 I2S 介面信號時，需將 MP34DT05 資料線 (DATA)接至 ESP32 之 I2S0 資料接腳 SD(GPIO 25)，MP34DT05 時脈接腳(CLK)接至 ESP32 之 I2S0 接腳 SCK(GPIO 26)，其接線圖如圖 21 所示。

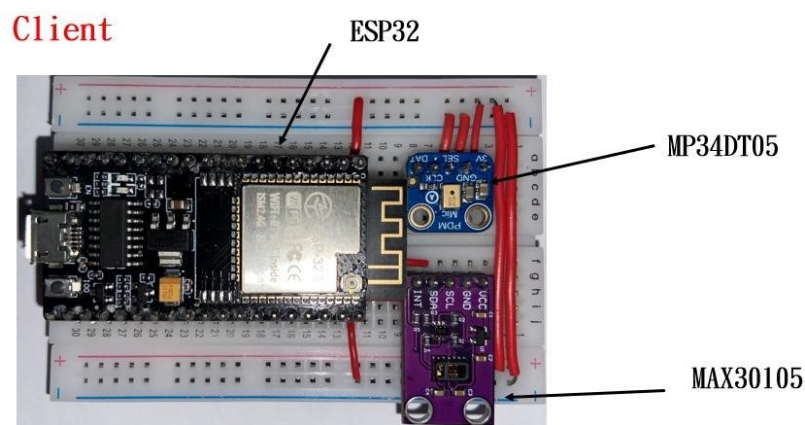


圖 21 MAX30105 及 MP34DT05 與 ESP32 接線圖 本圖由作者親自製作。

(2). 架設與量測心率與聲音信號感測器：

根據圖 21 接線圖，將心率感測器 MAX30105 與聲音信號感測器 MP34DT05 量測值透過 ESP32 Client 之 Wi-Fi 傳輸至 ESP32 AP，並再 ESP32 AP 接收值以 UART 傳送至電腦伺服器如圖 22 所示。

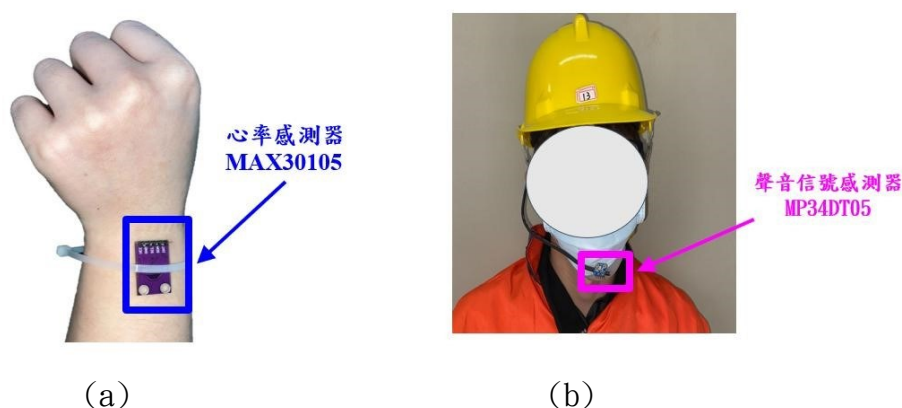


圖 22 生理徵象辨識實驗規畫圖。(a)心率感測器 MAX30105 架設，
(b)聲音信號感測器 MP34DT05 架設 本圖由作者親自製作。

(3). 設定心率與呼吸及聲音異常臨界值

設定心率與呼吸聲音異常臨界值可依醫學上參考值來設定，正常成人在休息狀態每分心跳速率為 60~100 次，大部份的人在 60~80 次之間[24]，本研究所採用感測器量測 MP34DT05 可適用此量測範圍，並以平均值來計算，設定每分心跳速率平均為 60~100 次為正常。另一方面，成年人每分鐘的正常呼吸次數約為 12~20 下左右[25]，音量部分安靜時環境裡音量約有 50 分貝的，而平常講話的聲音之音量約有 60 分貝左右[26]，本研究採取聲音信號感測器 MP34DT05 之量測為 PDM 信號且經過編碼，其信號強度振幅為固定，所以需處理 PDM 信號工作週期對應類比信號強度，且設定呼吸與聲音異常臨界值需背景與規一化校正。

二、機械設備場域

本研究機械設備場域以車床操作為研究目標，其研究方法類似於重電場域配電盤規劃，所以在此我們主要在於車床操作特有危安動作影像辨識，因此需針對車床操作特有危險動作進一步研究。

(一)、手置於機器轉軸與軌道上危險操作

作業人員有穿著工作服與有戴安全帽狀況下操作車床機器如圖 23 所示，一般常發生於車床危安的狀況為手伸入機台與置於機台造成傷害，圖 23(a)為手置於軌道上意外，而圖 23(b)為手伸入機台轉軸意外。

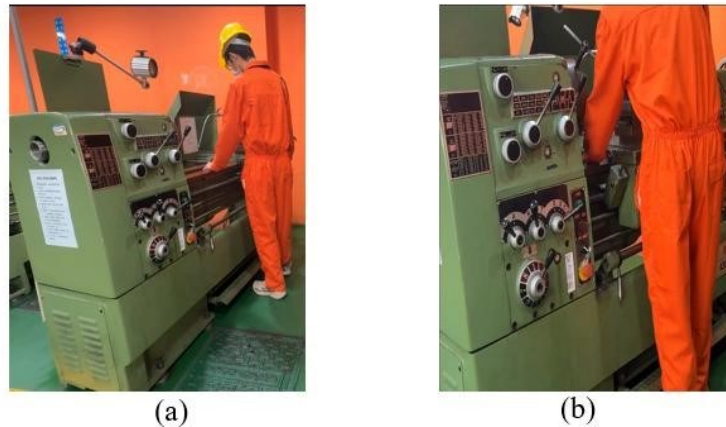


圖 23 手置於車床危險動作。(a)手置於軌道上，(b)手伸入機台轉軸
本圖由作者親自製作。

(二)、工作狀態圖

其機械設備場域之車床作業員操作研究規劃狀態圖如圖 24 所示，狀態 1 為準備進入機械設備場域之車床機器場所，狀態 2 為車床機器場所中危險動作辨識，而狀態 3 為車床機器操作中，狀態 4 為離開。在此設計狀態 1 為作業人員於穿戴防護器具正常時，才能進入狀態 2 車床機器場所中，若發生危險動作時立即斷電車床機器，而無危險動作操作再進入則進入狀態 3 工作，而狀態 3 將做影像辨識功能與生理徵象信號來處理，發生異常時進入狀態 4 離開。

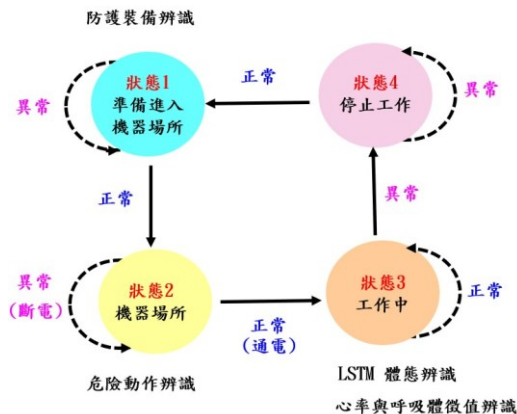


圖 24 機械設備場域之車床作業員操作研究規劃狀態圖 本圖由作者親自製作。

三、高處施工場域

作業人員常於膺架與鋁梯上等高處下工作，於此我們模擬作業人員於鋁梯上作業工作狀態圖同車床作業規劃，工作場所危險辨識改成地面工作人員是否推拉鋁梯動作如圖 25 所示。圖 25(a)為其他人員未碰觸鋁梯安全狀態，而圖 25(b)為其他人員推拉鋁梯可能造成意外。



圖 25 高處施工場域作業。(a)未碰觸鋁梯狀態，(b)推拉鋁梯可能造成墜落意外

本圖由作者親自製作。

伍、研究結果

此平台模組化偵測場域特徵結果如圖 26 所示，圖 26 (a)、(b) 與 (c) 分別為重電設備、車床機械與高處施工環境辨識結果，根據此辨識圖結果，我們將依其場域進行切換對應狀態圖之系統性實驗。

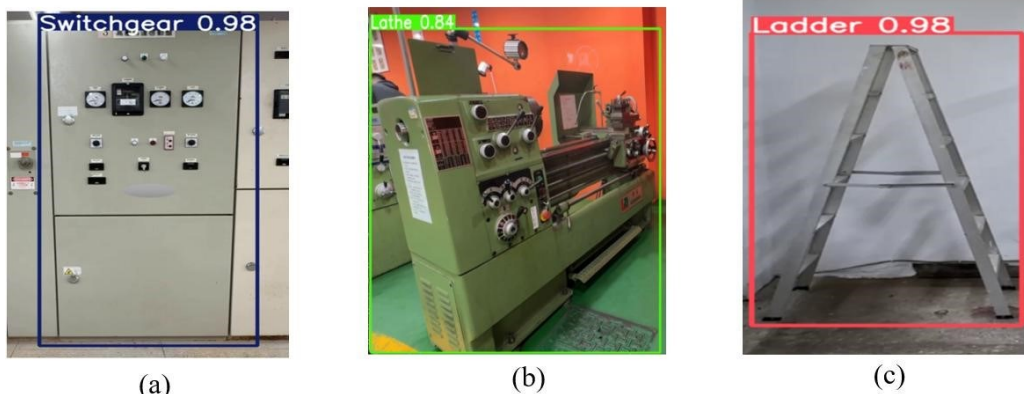


圖 26 場域辨識圖。(a)重電設備，(b) 車床機械，(c) 高處施工作業

本圖由作者親自製作。

一、重電設備場域

(一)、作業人員防護裝備與體態影像偵測與辨識

1. 作業人員防護裝備影像辨識結果

圖 27 為站姿工作服與安全帽辨識結果圖，其圖中都有偵測到作業人員(worker，白色框)。27(a)為站姿穿著工作服與有戴安全帽，其工作服(coverall，藍色框)與安全帽

(helmet, 青色框)辨識信心度各為 0.70 與 0.89;圖 27(b)穿著工作服與未戴安全帽,其工作服辨識信心度為 0.73;圖 27(c)未著工作服與有戴安全帽,其安全帽辨識信心度為 0.90;圖 27(d)由於未著工作服與未戴安全帽,所以無辨識任何防護裝備。

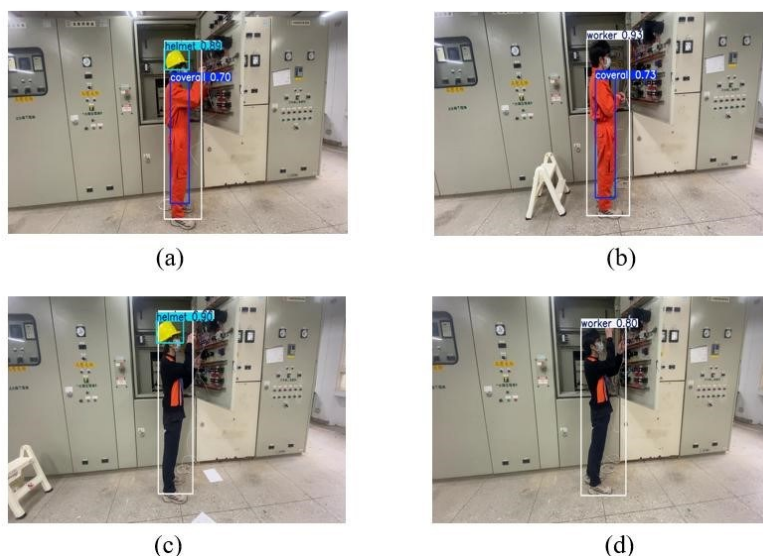


圖 27 站姿防護裝備辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽,(b)穿著工作服與未戴安全帽,(c)未著工作服與有戴安全帽,(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

圖 28 為坐姿工作服與安全帽辨識結果圖,圖 28(a)為坐姿穿著工作服與有戴安全帽,其工作服(coverall)與安全帽(helmet)辨識信心度各為 0.75 與 0.88;圖 28(b)穿著工作服與未戴安全帽,其工作服辨識信心度為 0.77;圖 28(c)未著工作服與有戴安全帽,其安全帽辨識信心度為 0.89;圖 28(d)由於未著工作服與未戴安全帽,所以無辨識任何防護裝備。由以上可知,對於工作者防護裝備辨識有一定效果,但圖 28(a)與(d)產生誤認配電盤器具為工作者現象。

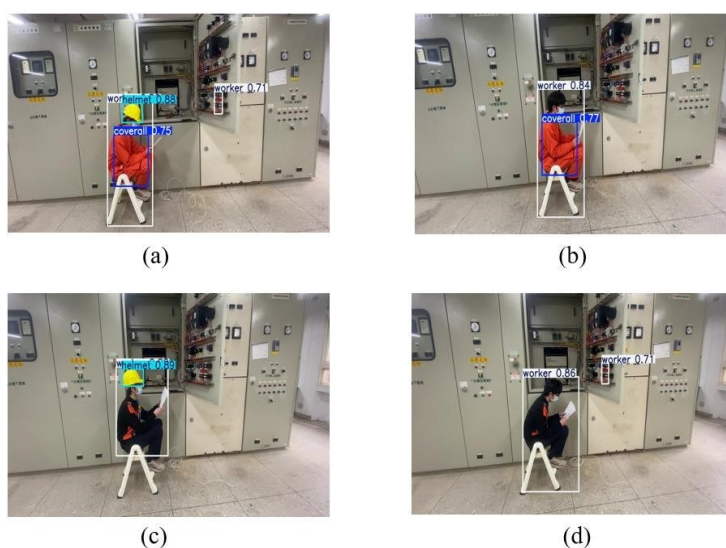


圖 28 坐姿防護裝備辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽,(b)穿著工作服與未戴安全帽,(c)未著工作服與有戴安全帽,(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

圖 29 為躺姿工作服與安全帽辨識結果圖，圖 29(a)為躺姿穿著工作服與有戴安全帽，其工作服(coverall)與安全帽(helmet)辨識信心度各為 0.50 與 0.63。而圖 29(b) 穿著工作服與未戴安全帽與圖 29(b)與(c)未著工作服與有戴安全帽並無各自辨識到工作服與安全帽。

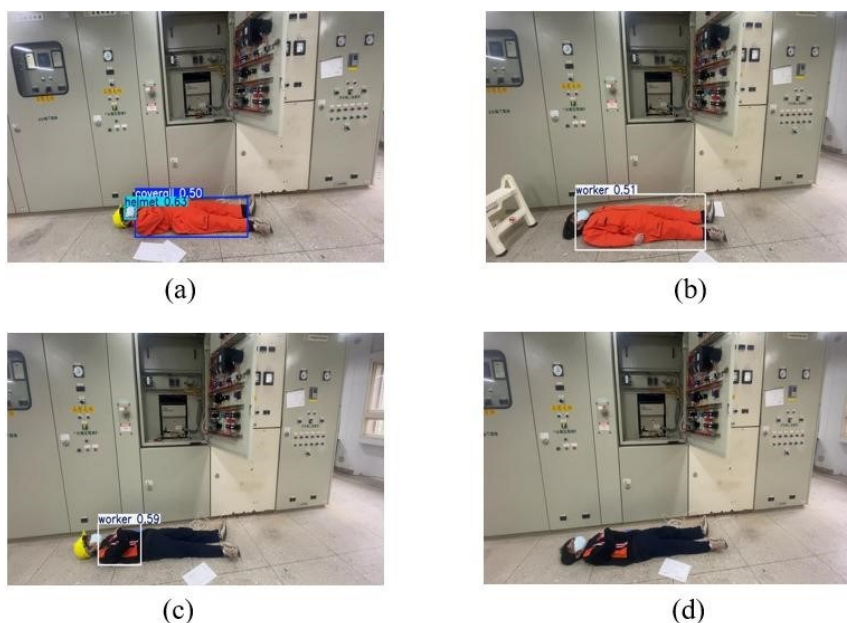


圖 29 躺姿防護裝備辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽，(b)穿著工作服與未戴安全帽，(c)未著工作服與有戴安全帽，(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

2. 系統通電與危險操作辨識結果

另外，針對配電盤通電之電壓錶辨識結果如圖 30(a)所示，通電狀態之電壓錶顯示 3.3 KV 之信心度為 0.98;而圖 30 圖(b)為作業人員於通電時操作辨識，圖中可看出危險行為被偵測結果。



圖 30 配電盤通電辨識。(a)電壓錶 3.3 KV 辨識圖，(b)作業人員於通電時操作辨識 本圖由作者親自製作。

3. 體態辨識結果

圖 31(a)為站姿穿著工作服與有戴安全帽、圖 31(b)穿著工作服與未戴安全帽、圖 31(c)未著工作服與有戴安全帽與圖 31(d)未著工作服與未戴安全帽，4 張圖皆顯示工作人數為 1 人狀態及 Normal operation(工作狀態)為 1，而它們的關節辨識信心度各為 0.90、0.91、0.89 與 0.89。

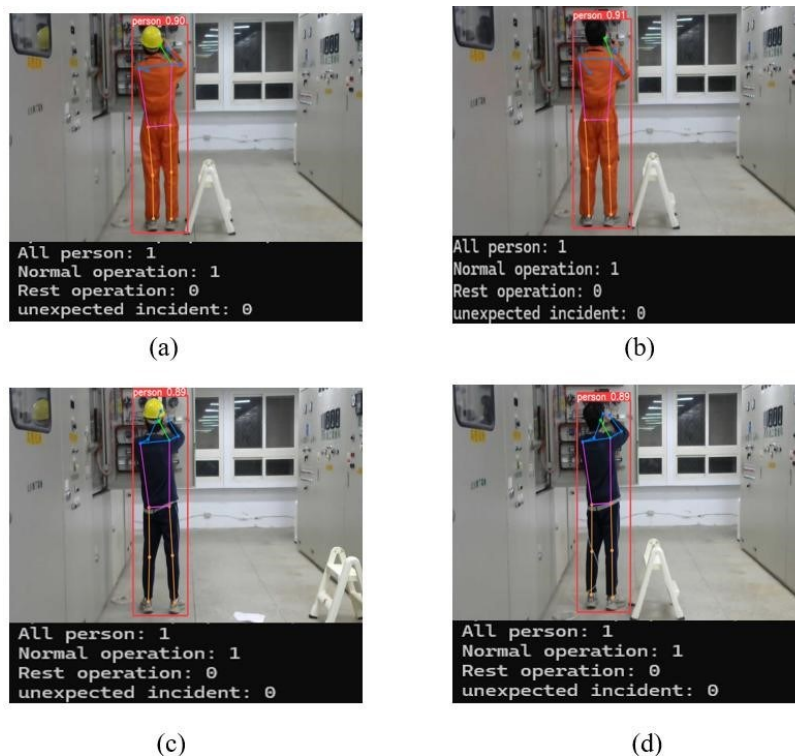
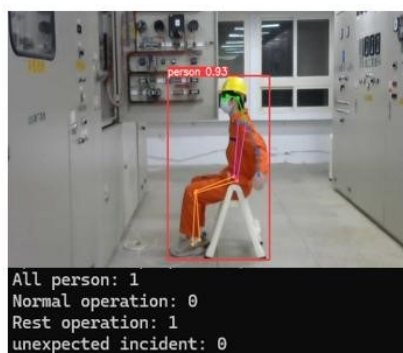


圖 31 站姿體態辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽，(b)穿著工作服與未戴安全帽，(c)未著工作服與有戴安全帽，(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

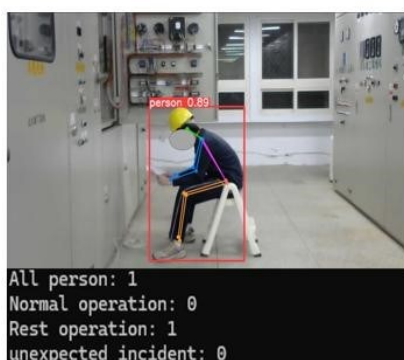
圖 32(a)為坐姿穿著工作服與有戴安全帽、圖 32(b)穿著工作服與未戴安全帽、圖 32(c)未著工作服與有戴安全帽與圖 32(d)未著工作服與未戴安全帽，4 張圖皆顯示工作人數為 1 人狀態及 Rest operation(休息狀態)為 1，而它們的關節辨識信心度各為 0.93、0.91、0.89 與 0.92。



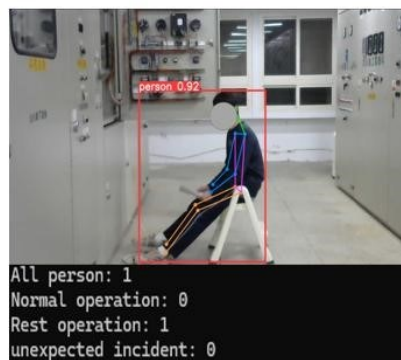
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 32 坐姿體態辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽，(b)穿著工作服與未戴安全帽，(c)未著工作服與有戴安全帽，(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

圖 33(a)為躺姿穿著工作服與有戴安全帽、圖 33(b)穿著工作服與未戴安全帽、圖 33(c)未著工作服與有戴安全帽與圖 33(d)未著工作服與未戴安全帽，4 張圖皆顯示工作人數為 1 人狀態及 Unexpected incident(危險狀態)為 1，而它們的關節辨識信心度各為 0.66、0.66、0.65 與 0.80。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 33 躺姿體態辨識結果。(a)穿著工作服與有戴安全帽，(b)穿著工作服與未戴安全帽，(c)未著工作服與有戴安全帽，(d)未著工作服與未戴安全帽 本圖由作者親自製作。

4. 生理徵象偵測結果

圖 34 為心率值量測，圖中之 BPM 為瞬間心率值，AVG-BPM 為活動時的平均心率值，感測器量測範圍介於 0 到 100 BPM 之間。圖 35 為呼吸與聲音生理徵值量測，圖 35(a)背景噪音信號值，其振幅值約為-30000~30000，圖 35(b)為呼吸與聲音信號，其振幅值約為-30000~ 30000，但信號工作週期變大且具有反相現象。

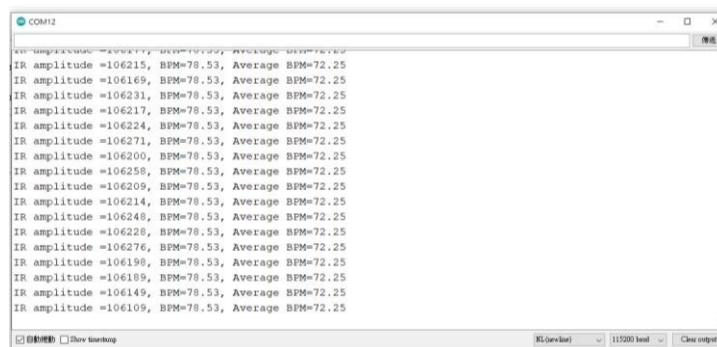
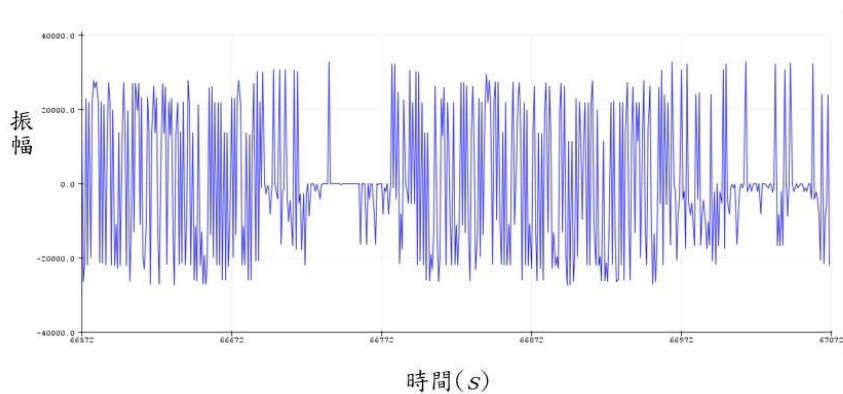


圖 34 心率值量測之瞬間值與平均值 本圖由作者親自製作。



(a)

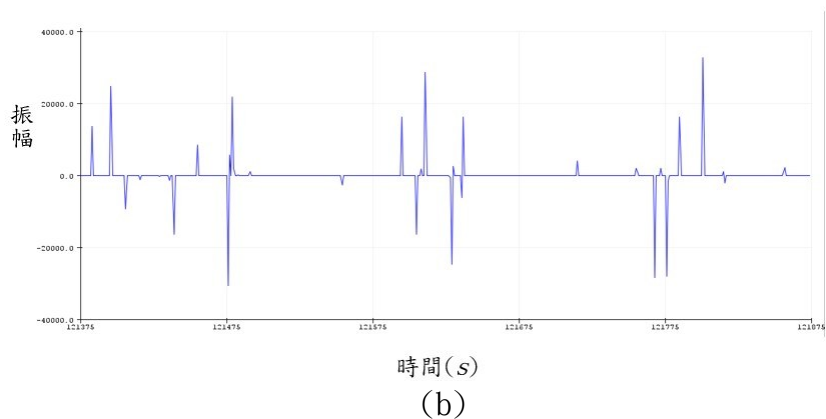


圖 35 呼吸與聲音徵象值量測。(a)背景噪音信號，(b)呼吸與聲音信號
本圖由作者親自製作。

圖 36 為量測傳輸網路 ESP32 AP- Server 間 UART 傳輸測試，由圖中可看出心率值與呼吸及聲音信號於 Client- AP- Server 通訊可正確傳輸。由於聲音信號感測器信號經取絕對值與積累處理，所以與圖 35 量測形態有所不同。

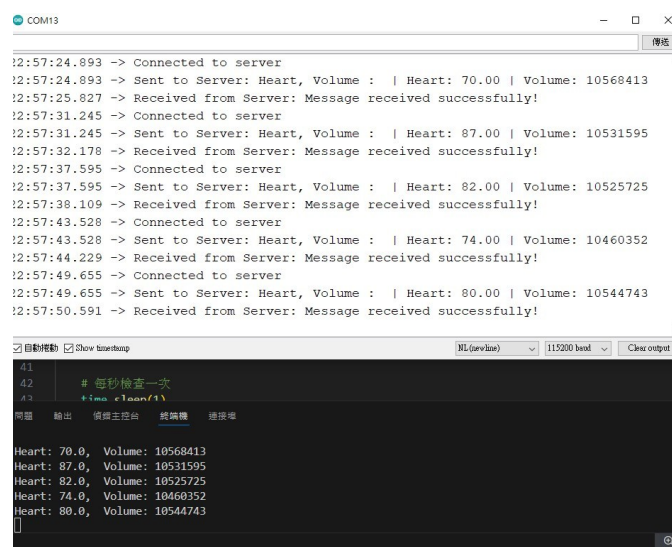


圖 36 ESP32 AP- Server 間 UART 傳輸
本圖由作者親自製作。

二、機械設備場域

機械設備場域之車床危險動作辨識主要分為手置於機器轉軸與軌道上危險偵測，於此本研究是以物件偵測結果如圖 37 所示。圖 37(a)為手置於軌道上辨識之信心度 0.91;而圖 37(b)為伸入機台轉軸辨識之信心度為 0.69。

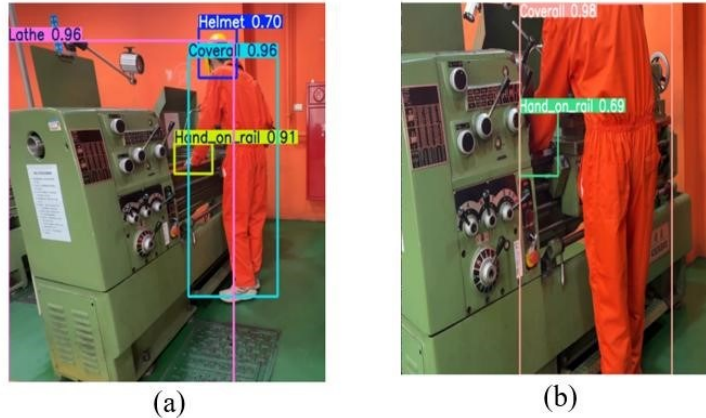


圖 37 手置於車床危險偵測結果。(a)手伸入機台轉軸，(b)手置於機台軌道上
本圖由作者親自製作。

三、高處施工場域

作業人員穿著工作服與戴安全帽於鋁梯上作業偵測結果如圖 38 所示，圖中總人數為 2 人，圖 38(a)為於鋁梯上作業人員 1 之信心度為 0.9，在地面上未碰觸鋁梯之作業人員 2 信心度為 0.92，因此危險人數為 0。而圖 38(b)為於鋁梯上作業人員 1 之信心度為 0.9，在地面上推拉鋁梯之作業人員 2 信心度為 0.9，因此危險人數為 1。

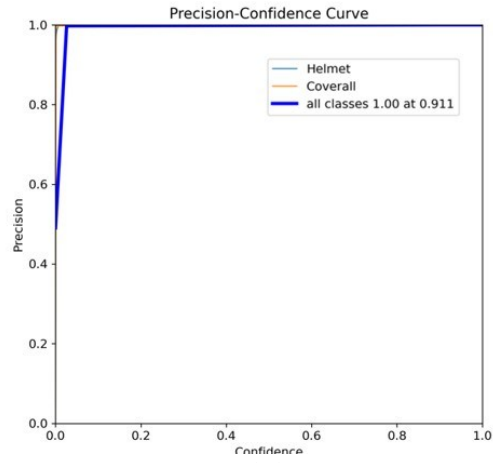


圖 38 高處施工場域作業偵測結果。(a)未碰觸鋁梯，(b)推拉鋁梯 本圖由作者親自製作。

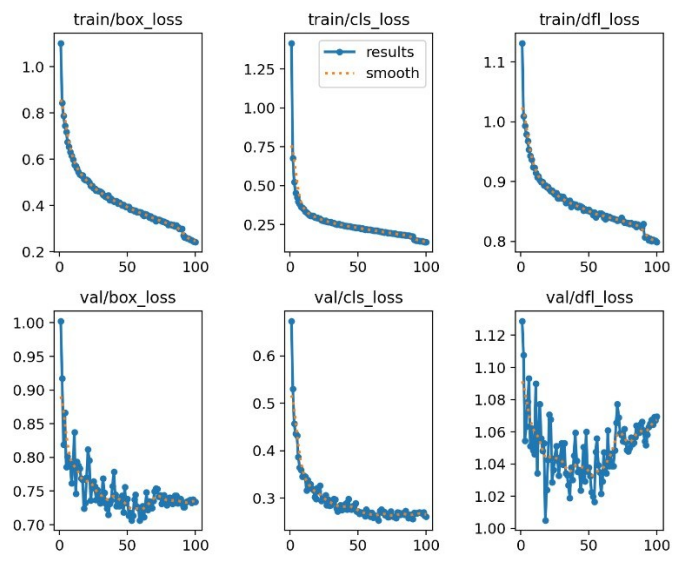
陸、討論

問題一：YOLO 偵測工作服與安全帽物件時，進行訓練與預測結果討論。

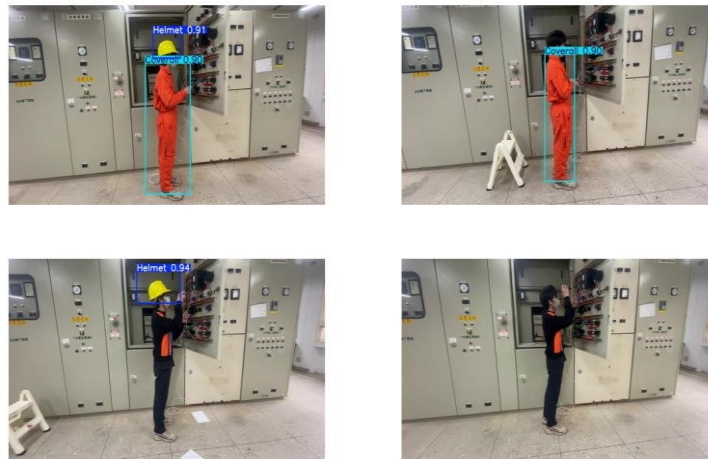
討論：由於圖 28(a)穿著工作服與有戴安全帽與圖 28(d)未著工作服與未戴安全帽，產生誤認配電盤器具為作業人員現象，且圖 29(b)穿著工作服與未戴安全帽與圖 29(c)未著工作服與有戴安全帽並無各自辨識到工作服與安全帽現象，為解決此問題，我們重新收集圖片，且只針對工作服與工作安全帽物件過濾與訓練。圖 39(a) 顯示精確度與信心度曲線，由圖中可看出即使信心度極低之下，其精確度很高。圖 39(b)所示顯示 Box(框)、Cls(分類)、DFL(分佈焦點)損失隨訓練次數收斂情形。而圖 39(c)是站姿預測結果與圖 39(d)是坐姿預測結果，圖中皆顯示作業人員(worker，白色框)並未再出現，且已沒有誤認配電盤器具為工作者現象，偵測工作服與工作安全帽信心度也明顯提高。



(a)



(b)



(c)

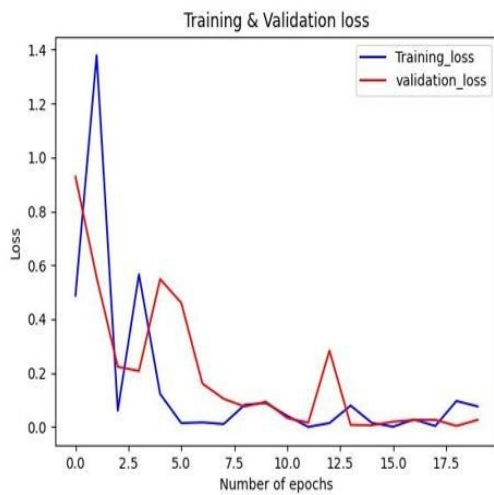


(d)

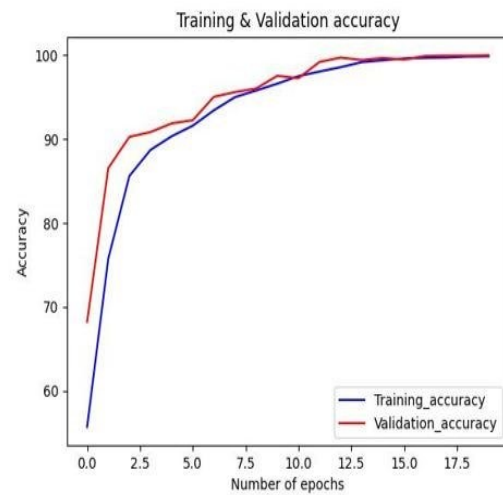
圖 39 YOLO 工作服與安全帽物件訓練結果。(a)精確度 VS.信心度曲線，
(b)物件訓練各損失，(c)站姿預測結果，(d)坐姿預測結果 本圖由作者親自製作。

問題二：YOLO-Pose 模型結合長短期記憶模型類神經網路模型（LSTM）之訓練與預測結果討論。

討論：YOLO-Pose 模型於特別設定的條件下可增加作業人員關節點偵測信心度，如此可將 LSTM 體態模型訓練更加準確。LSTM 訓練次數 20 次時，其訓練結果顯示如圖 40 所示。圖 40(a) 中顯示損失值（Loss）約 0.1 以下，而圖 40(b) 顯示準確率（Accuracy）達到 98%以上。



(a)



(b)

圖 40 LSTM 體態訓練結果。(a)驗證損失函數圖，(b)驗證準確率圖本圖由作者親自製作。

問題三：為找出最佳架設心率感測器 MAX30105 位置，本研究於身體手部位不同位置量測，藉由觀察器 MAX30105 不同位置的量測效果以來決定架設位置。

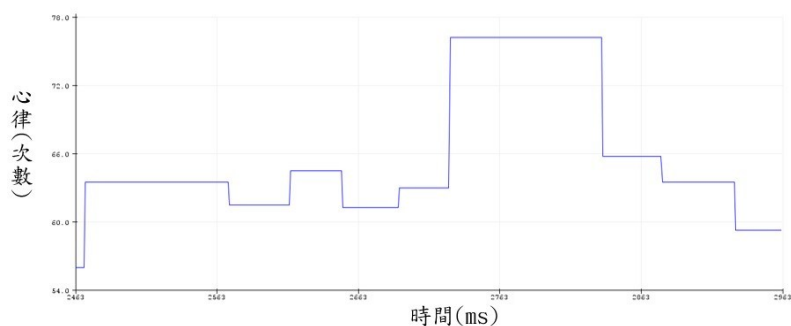
討論：將心率感測器 MAX30105 裝置於手指、小臂與大臂 3 個不同位置如圖 41(a)、(b)與(c)所示，以觀察量測效果以來決定架設位置，其圖 41(d)、(e)與(f)分表示圖 41(a)、(b)與(c)的量測心率平均值結果。從量測結果於手指時量測值較高，但為工作方便架設，本研究將 MAX30105 置於小臂位置為佳。



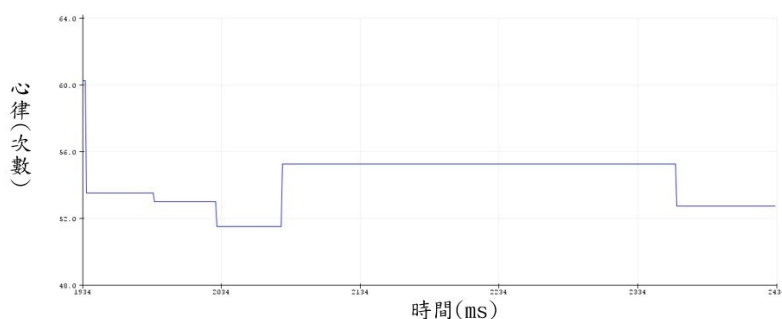
(a)

(b)

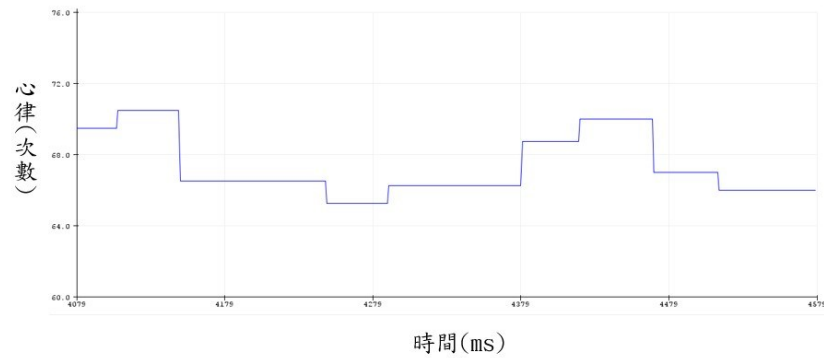
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 41 心率感測器 MAX30105 於手部不同位置量測分析。(a)手指位置，(b)小臂位置，(c)大臂位置，(d)手指位置心率圖，(e)小臂位置心率圖，(f)左大臂位置心率圖
本圖由作者親自製作。

問題四：車床機械場域危險動作測試結果討論

討論：由於 LSTM 無法判斷到手指的關節點，導致測試解果時判斷錯誤如圖 42(a) 所示。因此我們改為使用 YOLO 物件偵測的方式進行判斷，將手與軌道一起標記為 (Hand_on_rail)，藉由物件偵測的形式，來判斷工作人員是否處於危險工作狀態，如圖 42(b)所示。



(a)



(b)

圖 42 車床機械場域中危險動作的判斷。(a)LSTM 預測結果

(b)YOLO 物件偵測結果 本圖由作者親自製作。

問題五：高處施工場域危險動作的姿態預測結果討論。

討論：在訓練高處施工場域時，由於加入有兩人出現在畫面中的情境，因此訓練時關節點會抓取兩人的資料，使鋁梯上的工作人員與推拉鋁梯的工作人員判斷一致性，如圖 38(b)，所以我們將高處施工場域的訓練影像重新進行拍攝，並改為個別單獨拍攝，其結果如圖 43 所示。



圖 43 高處施工場域作業偵測。(a)未碰觸鋁梯，(b)推拉鋁梯 本圖由作者親自製作。

柒、結論

一、結論

本研究針對重電設備、機械設備與高處施工三個工作場域建立安全管理平台，此平台具有多工作場域之作業人員智慧型即時安全監控與危害預防功能，是辛苦作業人員最佳守護者，保障其性命與家人生活，對社會具有重大貢獻。本研究以有限狀態機 (FSM) 為核心概念建構狀態圖，並結合影像辨識與穿戴式人體感測技術實現此平台，其研究具體成果如下：

- (一)、建立符合場域之清晰狀態圖，展現影像與穿戴式感測器偵測邏輯程序，以建構系統性即時預防危安機制。
- (二)、目前已建立 3 個工作場域系統模組化，可利用此擴展性功能應用於多工作場域。
- (三)、完成 YOLO 即時辨識作業人員之防護裝備與特有動作，以利安全監控和管理。
- (四)、建置 YOLO-Pose 偵測與 LSTM 做為即時辨識作業人員危險操作與體態，並結合穿戴式人體感測架構之心律與呼吸及聲音感測信號以追蹤生理行為。

二、未來展望

為作業人員設計「工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台」研究已具有良好系統性與模組化辨識效果，但需考量準確度與穩定性，需加強平台整合與實境測試，所以需繼續努力研究以追求應用性，其未來研究說明如下：

- (一)、將本平台用於製造業現場偵測以達到實際應用效果。
- (二)、進一步整合更多工作場域辨識與預防危安，並以達到更廣範應用。。
- (三)、加強防護裝備、危險動作與體態辨識準確度。
- (四)、加強生理徵象辨識之心律與呼吸及聲音感測信號偵測準確度。

捌、參考文獻

- [1]中華民國 111 年勞動檢查統計年報，職業災害篇。
- [2]勞動部職業安全衛生署，112 年勞動檢查統計年報，
<https://www.osha.gov.tw/media/kgsflalq/112年-全一冊.pdf>。

- [3]蕭柱惠，數位邏輯實習，台科大圖書。
- [4]J.R., S.D., R.G., A.F., You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, in Computer Vision and Pattern Recognition, 2015.
- [5]【物件檢測】YOLOv8 詳解，<https://henry870603.medium.com/object-detection-yolov8-詳解-fdf8874e5e99>.
- [6]Ralf C. Staudemeyer, Eric Rothstein Morris, Understanding LSTM -- a tutorial into Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks, 2019.
- [7]Yue Luo, Jimmy Ren, Zhouxia Wang, Wenxiu Sun, Jinshan Pan, Jianbo Liu, Liang Lin, LSTM Pose Machines, 2018.
- [8]IOT 物聯網應用-ESP32 第一篇：認識 ESP32，如何選擇合適的 ESP32。
- [9]黃盛豐，高壓工業配線實習(第三版)，全華圖書。
- [10]https://www.la-machine.com.tw/product_d.php?lang=tw&tb=1&id=126.
- [11]NVIDIA GeForce RTX 2080 super.
- [12]YOLOv8 下載：<https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- [13]Debapriya Maji, Soyeb Nagori, Manu Mathew, YOLO-Pose: Enhancing YOLO for Multi Person Pose Estimation Using Object Keypoint Similarity Loss, 2022.
- [14]Pytorch 下載：<https://pytorch.org/>
- [15]劉政鑫與莊凱喬，ESP32 微處理機實習與物聯網電應用，台科大圖書。
- [16]<https://www.youtube.com/watch?v=ghTtpUTSc4o>.
- [17]<https://shop.playrobot.com/products/biometrics-cso0060>.
- [18]<https://www.st.com/resource/en/datasheet/mp34dt05-a.pdf>.
- [19]<https://learn.adafruit.com/adafruit-pdm-microphone-breakout>.
- [20]Fundamentals of Recurrent Neural Network (RNN) and Long Short-Term Memory (LSTM) Network Alex Sherstinsky, 2023.
- [21]Sohaib Mustafa Saeed, Hassan Akbar, Tahir Nawaz, Hassan Elahi, and Umar Shahbaz Khan, Body-Pose-Guided Action Recognition with Convolutional Long Short-Term Memory (LSTM) in Aerial Videos, 2023.
- [22]<https://github.com/HumanSignal/labelImg>.
- [23]<https://zh.wikipedia.org/wiki/脈搏氧飽和度法>。
- [24]<https://zh.wikipedia.org/wiki/心率>。
- [25]<https://www.garmin.com/zh-TW/blog/healthandnews/新一代的參考指標：呼吸速率知多少>。
- [26]<https://www.596888.com.tw/q1.html>.

【評語】 052311

1. 本研究結合影像辨識與生理感測技術，探討工業廠房安全監控與危害預防，值得鼓勵。
2. 建議應針對影像辨識方式的優點，例如全域監測等，說明與其他相關監控方法的比較。
3. 建議針對實際工廠環境現場進行調查，並應加入較複雜因素，加入如光線變化、多人作業與遮蔽物等較複雜因素的辨識調整，以提升系統的穩定性與實用性。
4. 建議可進一步探討如何強化資料標註，資料增強、特徵優化等，以提升準確率。
5. 建議進一步加入即時回饋機制，協助現場監控人員快速判斷異常狀況，將使系統更完善。

作品海報

工業廠房作業人員智慧型
即時安全監控與危害預防平台

壹、研究動機

由於在學校上課常發生配線觸電與機器操作不當造成心理感懼，此時讓我們想了解現代化工業建設與維護危安防護至關重要。為了了解從事工業作業人員工安問題，我們查閱了相關工作場所重大職災死亡人數和災害類型的統計資料[1]因課堂所學，所以我們關注於感電意外與機器被夾被捲傷害。再者，資料中顯示墜落意外為最高比率職災，因此也納入本研究的探討。

貳、研究目的

- 一. 建立以影像辨識為主、結合生理徵象監測之「工業廠房作業人員智慧型即時安全監控與危害預防平台」，成為基層勞工免於職災威脅守護者。
- 二. 建構系統性即時預防危安機制，利用系統性狀態圖呈現影像與穿戴式感測器偵測程序，以實現對作業人員的即時保護與危害預防。
- 三. 將以上基礎應用於車床機器操作與高處施工作業，並建立模組化之多工作場域之擴展性，期望將研究成果廣範應用於工業領域，成為多元化工作之權益最佳防線。
- 四. 利用YOLO[2]與YOLO-Pose[3]即時影像辨識，並以LSTM[4]辨識作業人員工作操作動作與體態[5]，達到智慧化的效果。

參、研究方法

本研究為因應不同場域之危安事項需先辨識工作環境如圖 1 所示，如此可建立模組化預防功能如圖2所示，圖2為場域之切換工作模式，Case 1 為重電設備場域(預防身體觸電功能)，Case 2 為車床機械場域(預防手部壓切功能)，Case 3 為高處施工場域(預防身體墜落功能)，圖3與圖4為重電場域與車床場域狀態圖，圖5至圖9為為重電場域研究方法與過程。

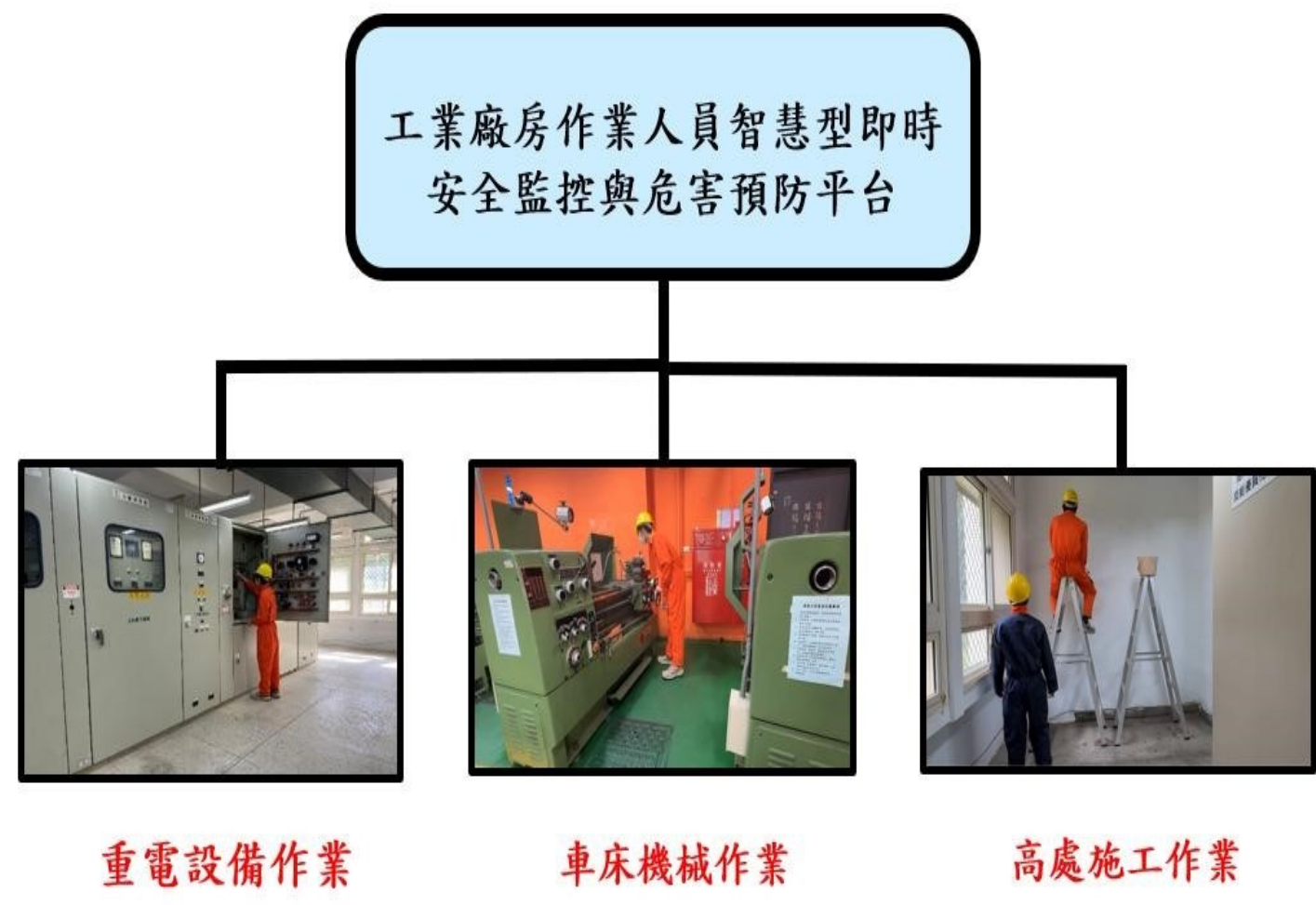


圖1 辨識工作環境架構圖
(本圖由作者親自製作)

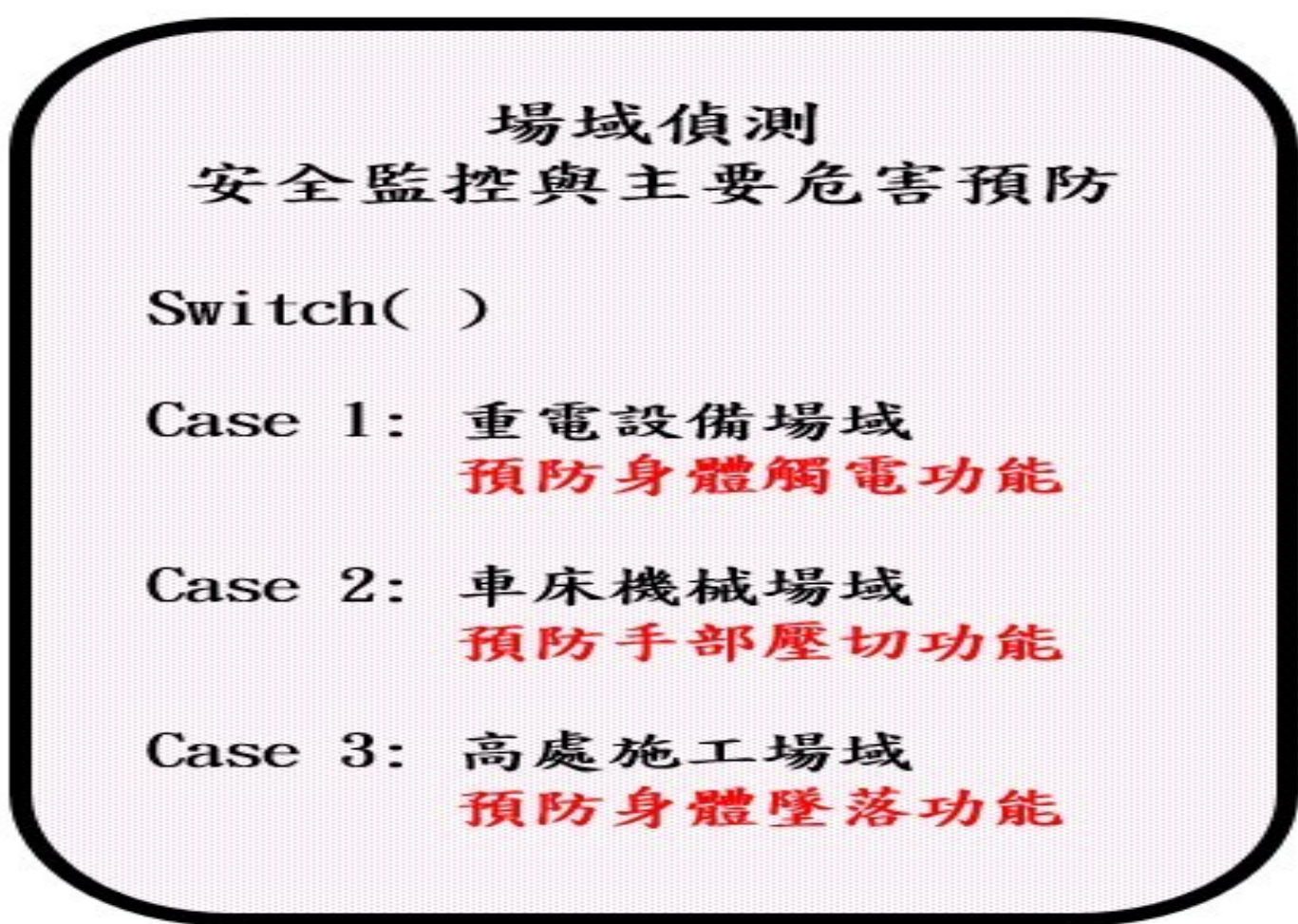


圖2 預防功能系統圖
(本圖由作者親自製作)

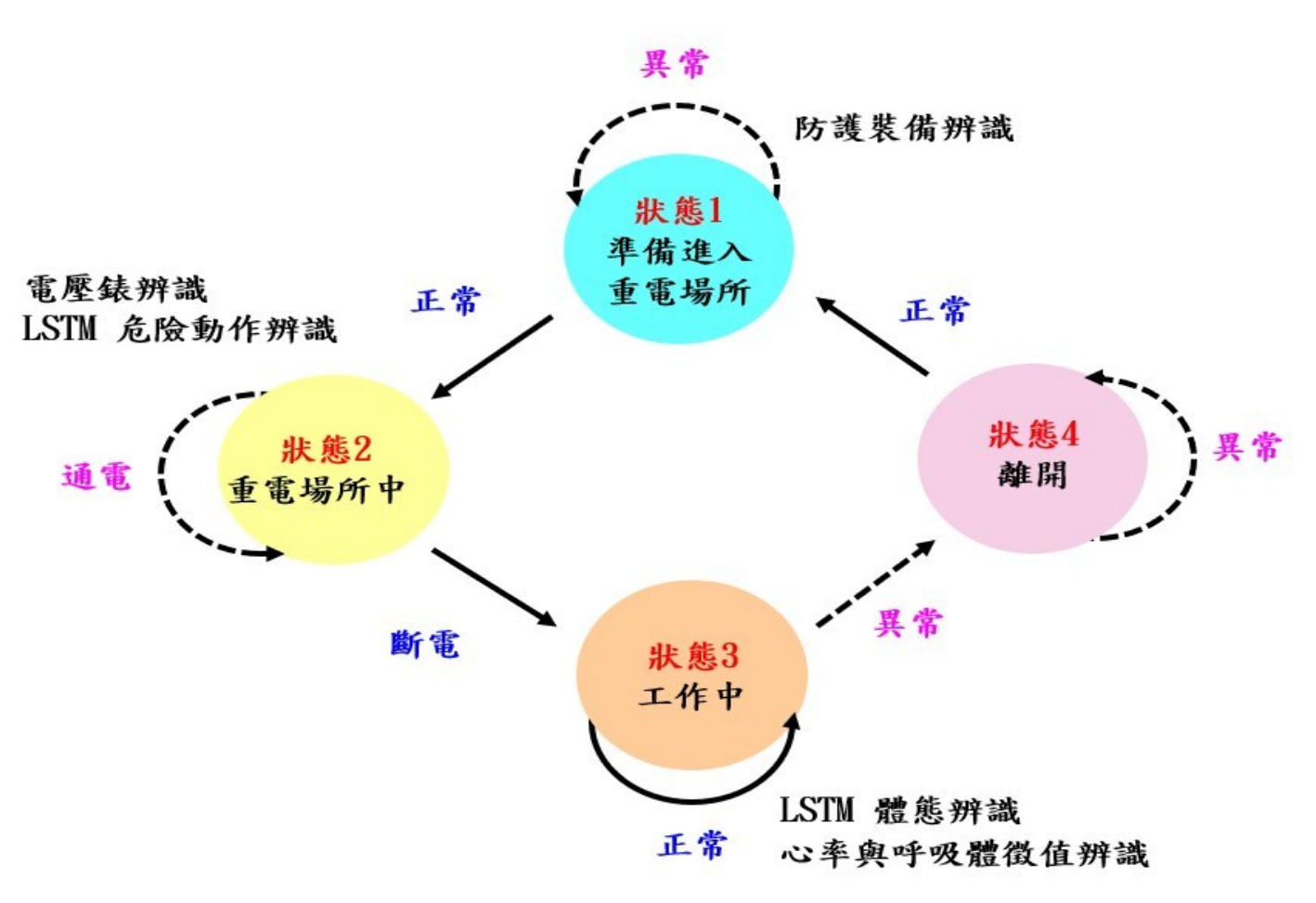


圖3 重電場域規劃狀態圖
(本圖由作者親自製作)

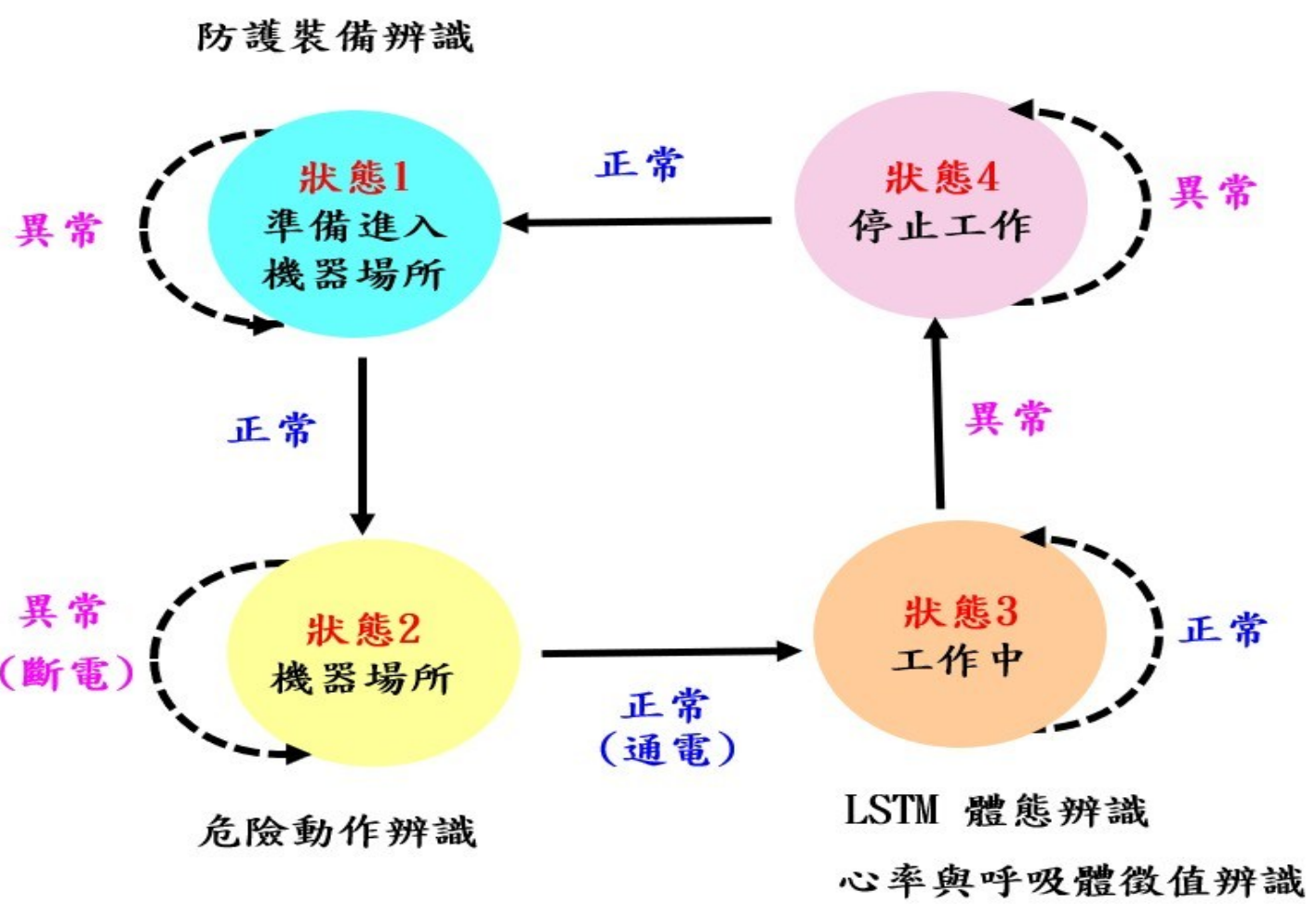


圖4 車床場域規劃狀態圖
(本圖由作者親自製作)

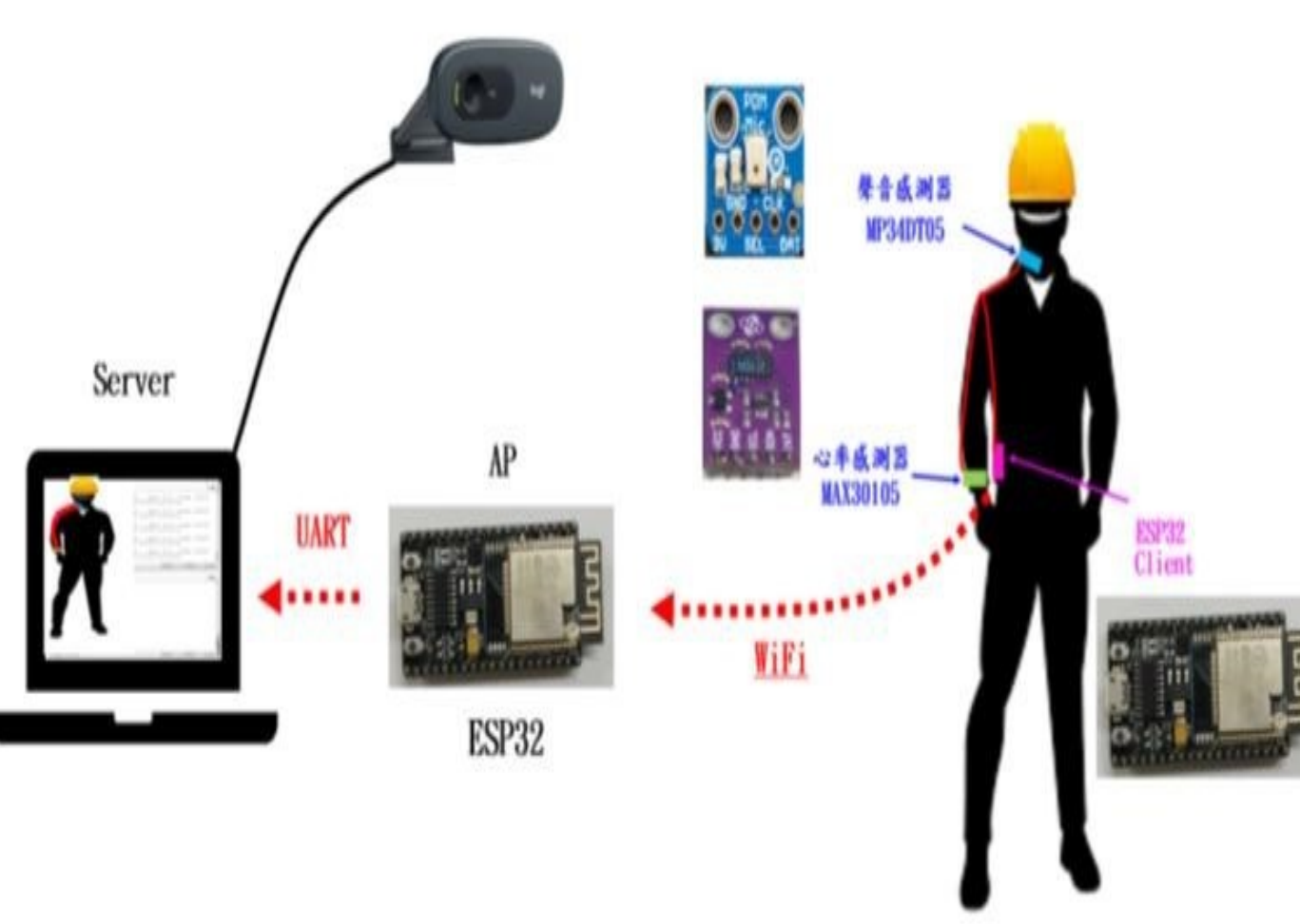


圖5 研究實驗系統圖
(本圖由作者親自製作)

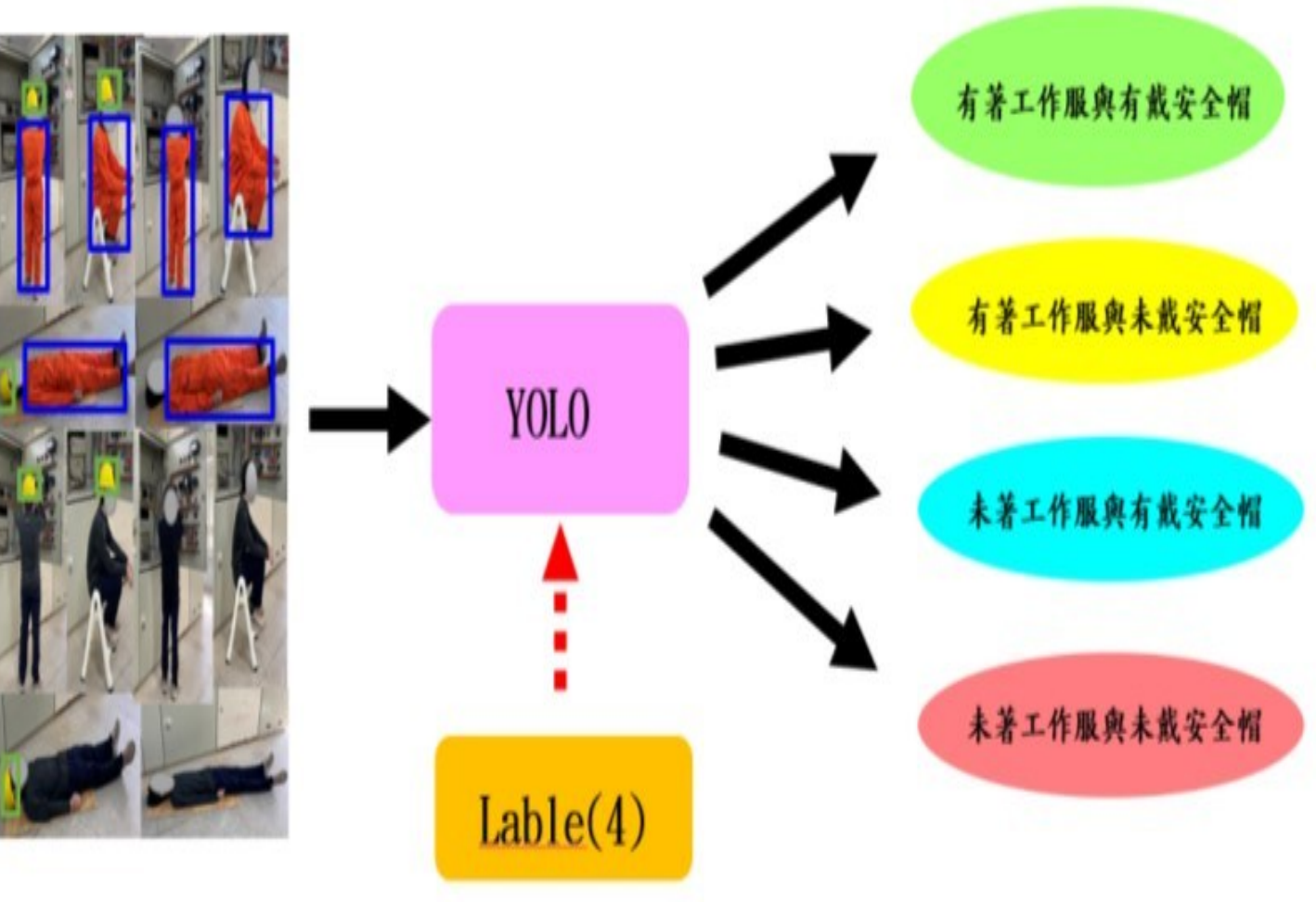


圖6 YOLO防護裝備物件訓練
(本圖由作者親自製作)

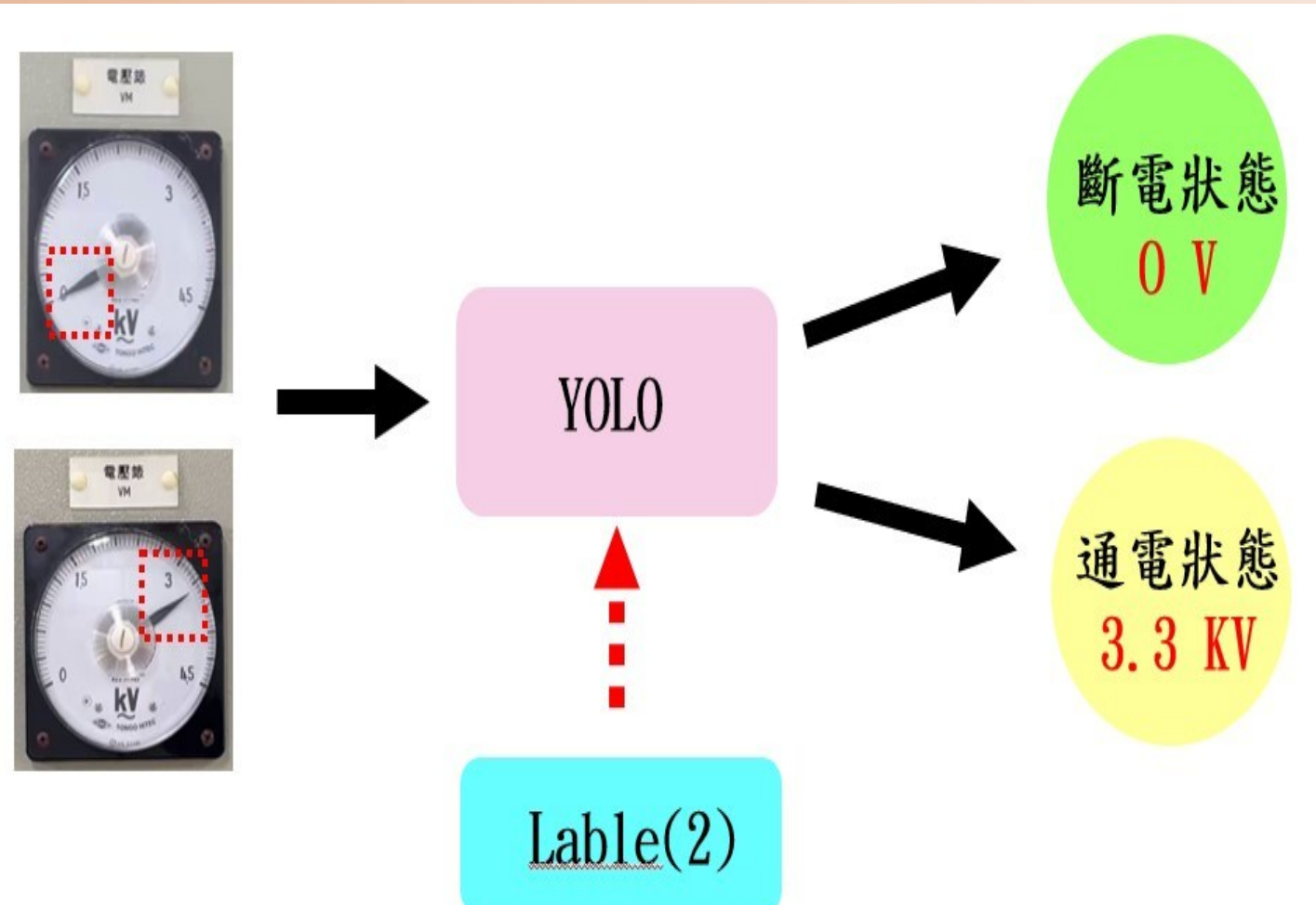


圖7 YOLO電錶狀態物件訓練
(本圖由作者親自製作)

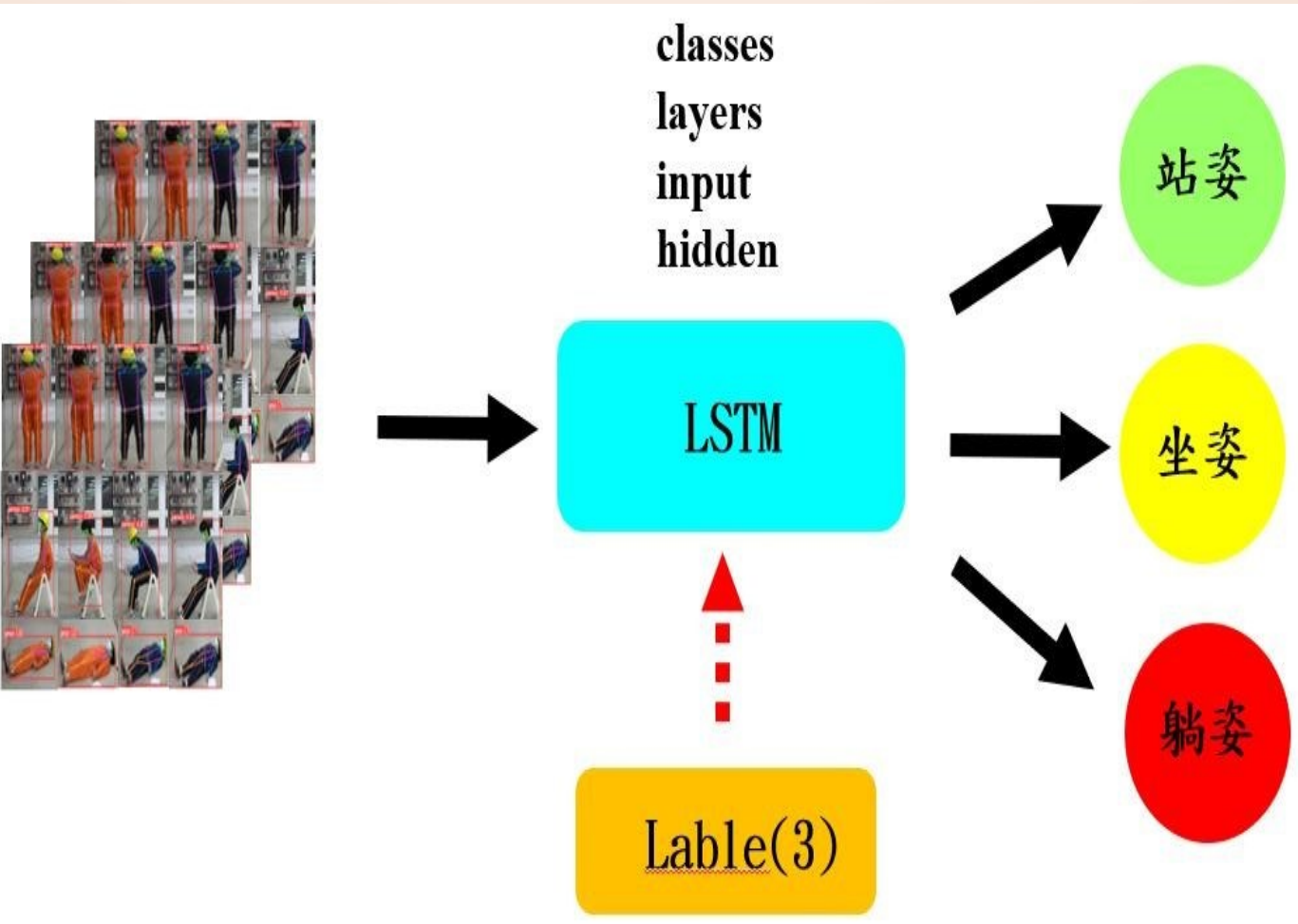


圖8 LSTM體態影像訓練
(本圖由作者親自製作)



圖9 生理徵象辨識
(本圖由作者親自製作)

肆、研究結果

一、重電設備場域即時智能監控與危險預防

- (一)、狀態1(準備進入)，防護裝備工作服與安全帽之影像監控如圖10所示。
- (二)、狀態2(重電場域中)，系統通電與危險操作危險預防結果如圖11所示。
- (三)、狀態3(工作中)，LSTM 體態站姿、坐姿與躺姿影像監控如圖12所示。

二、影像與生理徵象整合辨識:狀態3工作中如圖13-15所示。

三、機械設備場域即時智能危險預防

機械設備場域狀態2(車床場域中)之危險動作即時辨識預防結果，如圖16、17所示。

四、高處施工場域即時智能危險預防

高處施工場域狀態2(鋁梯場域中)之危險動作即時辨識預防結果，如圖18所示。



圖10 防護裝備辨識結果
(本圖為作者親自製作)

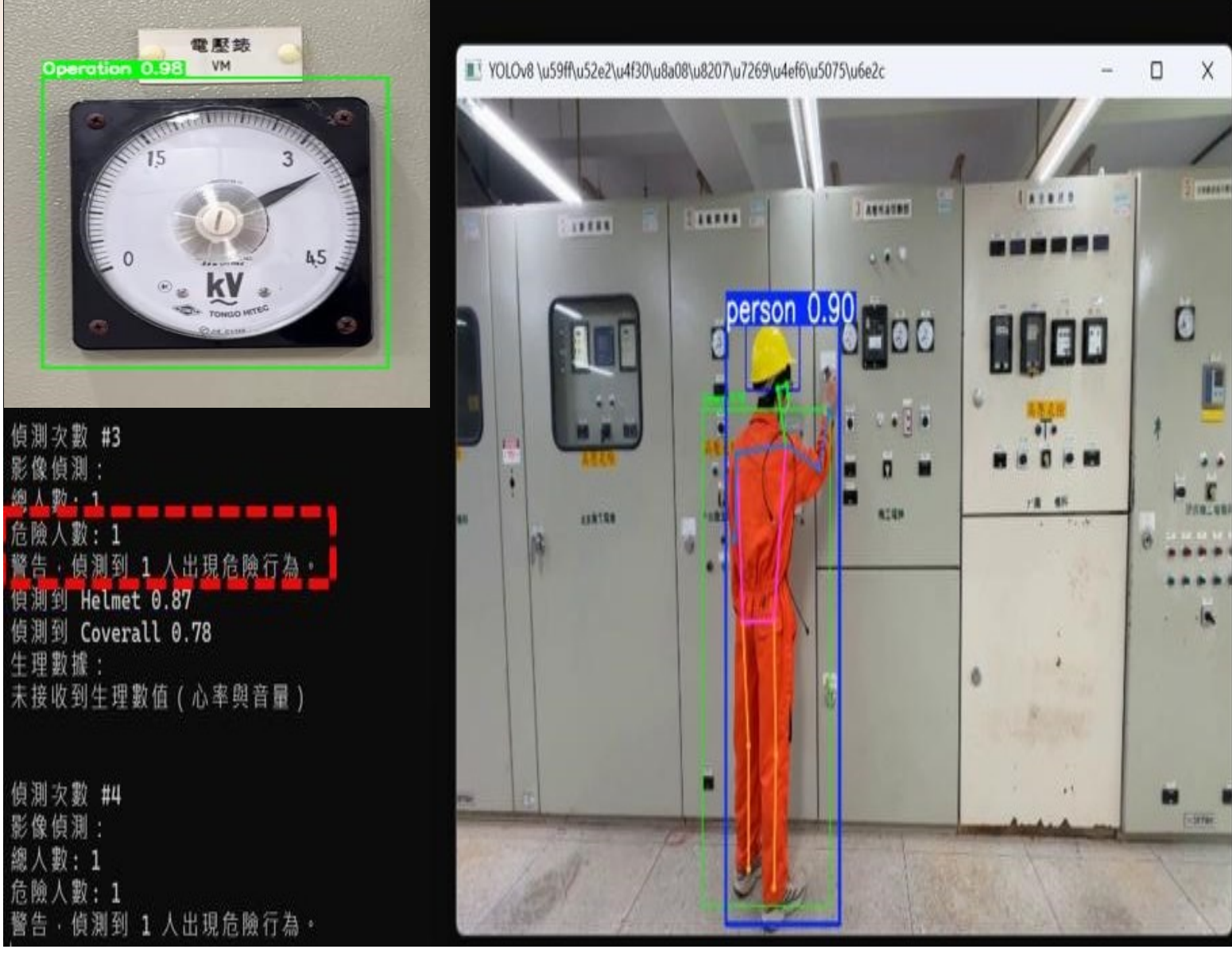


圖11 通電與危險操作辨識結果
(本圖為作者親自製作)

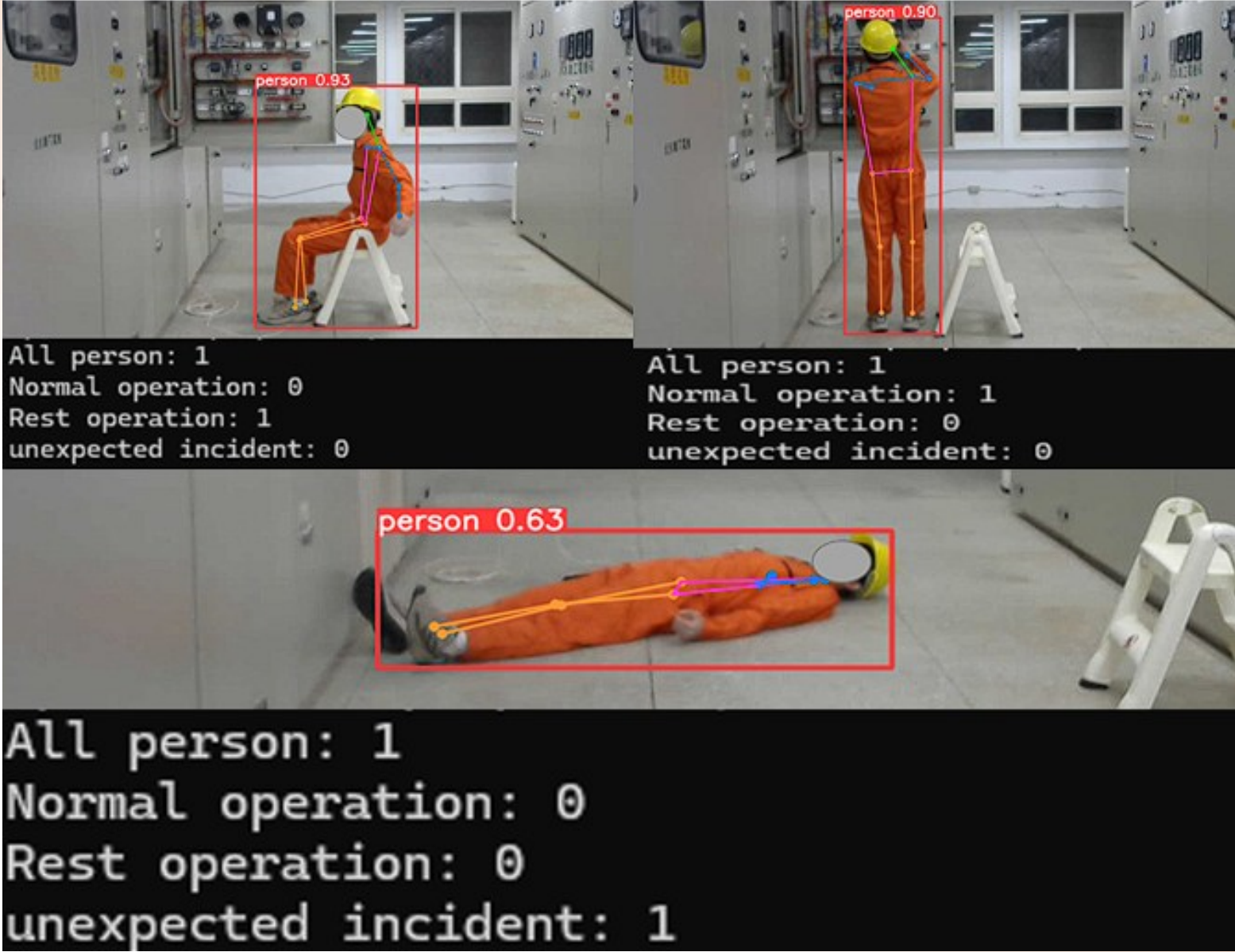


圖12 體態辨識結果
(本圖為作者親自製作)

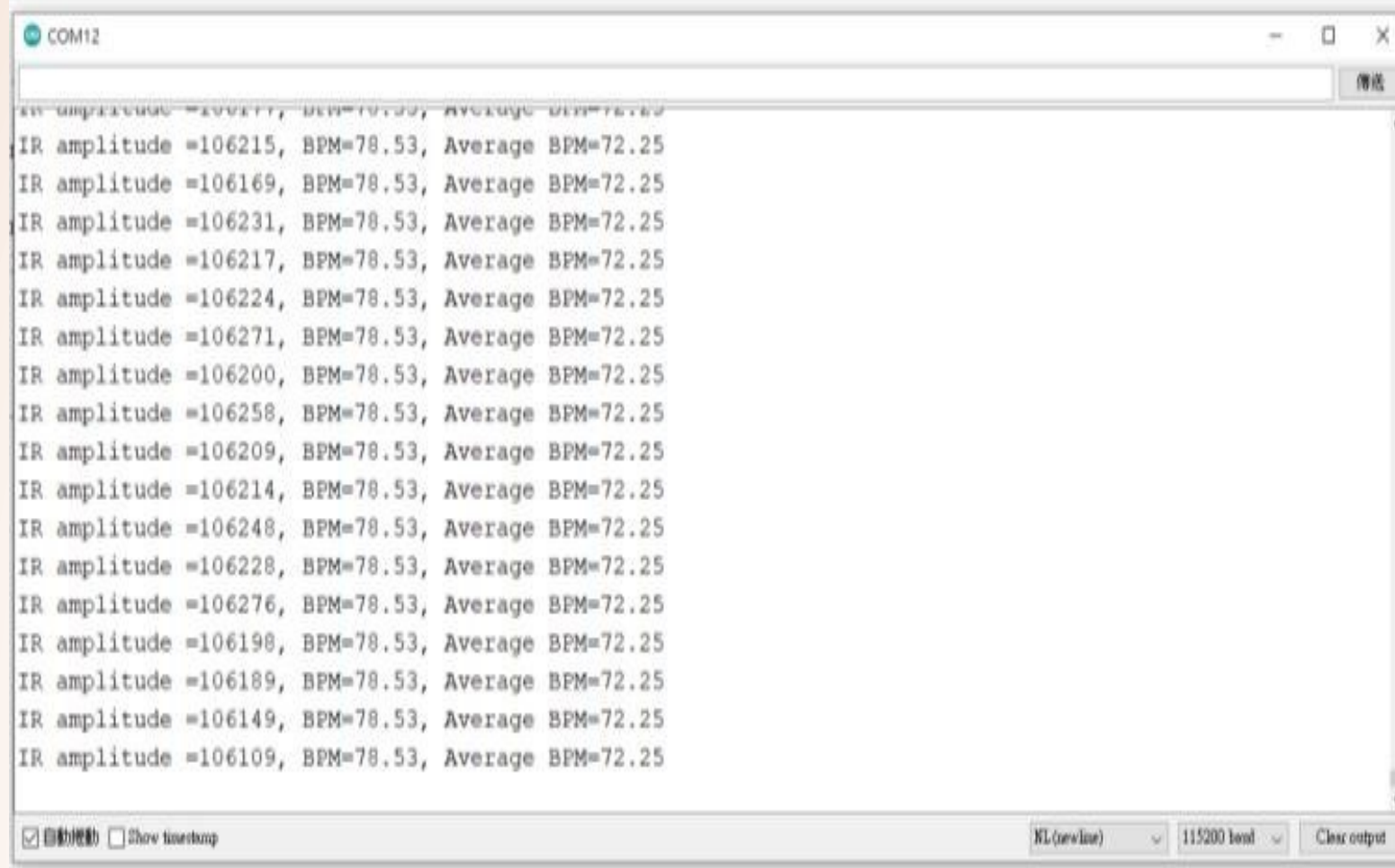


圖13 呼吸徵象值量測
(本圖為作者親自製作)

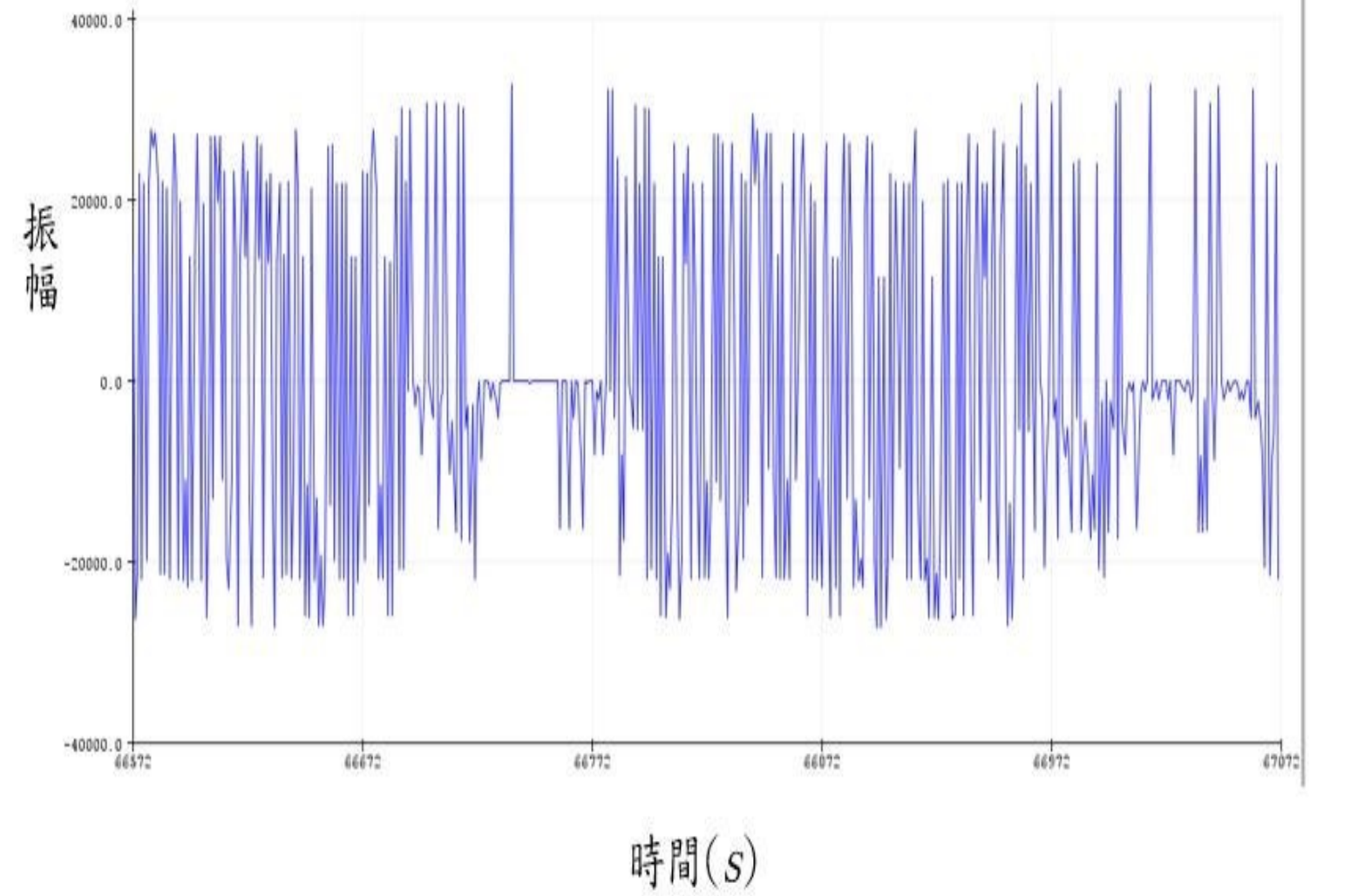


圖14 聲音徵象值量測
(本圖為作者親自製作)

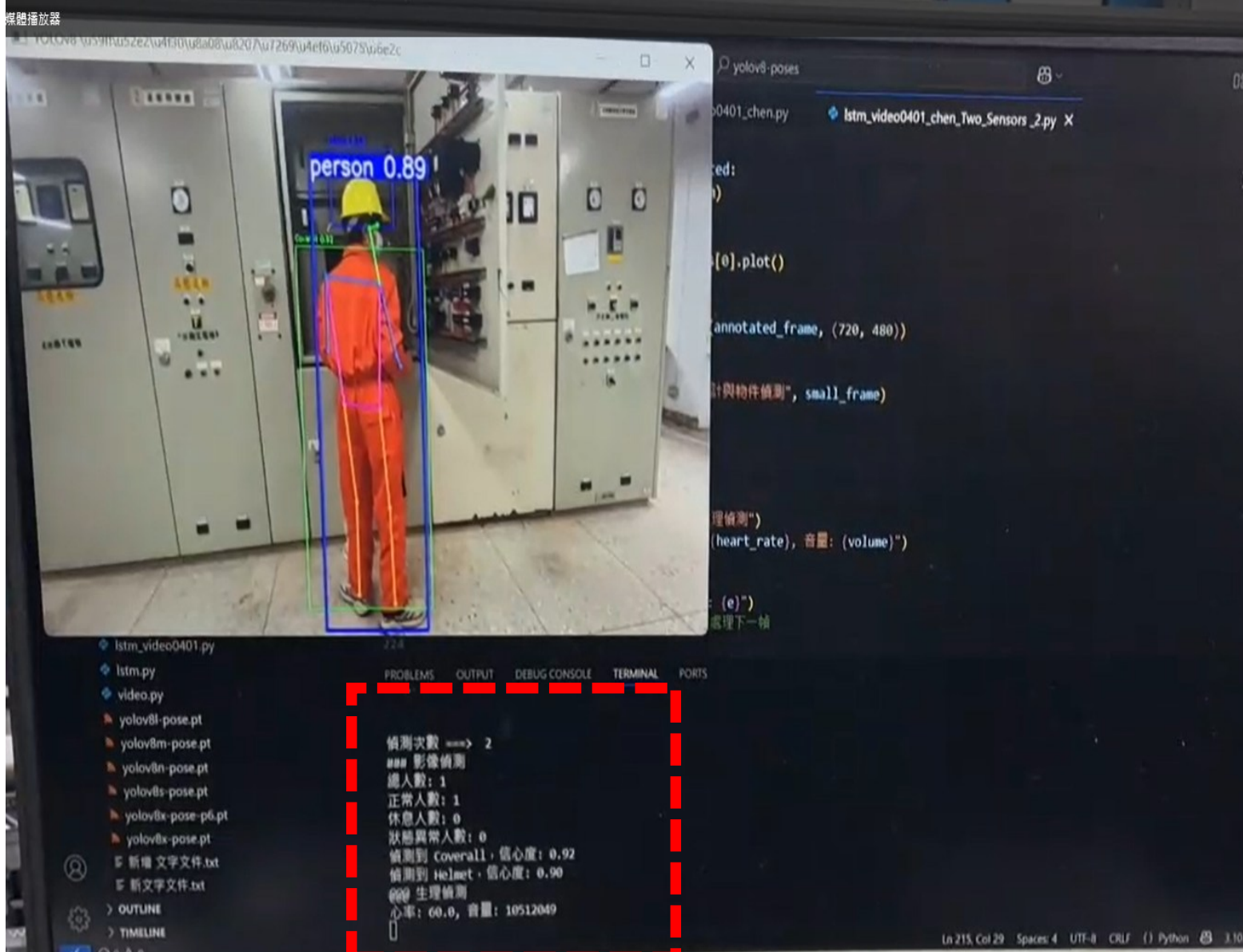


圖15 影像與生理整合辨識
(本圖為作者親自製作)



圖16 機械場域危險動作
(本圖為作者親自製作)



圖17 機械場域危險動作
(本圖為作者親自製作)

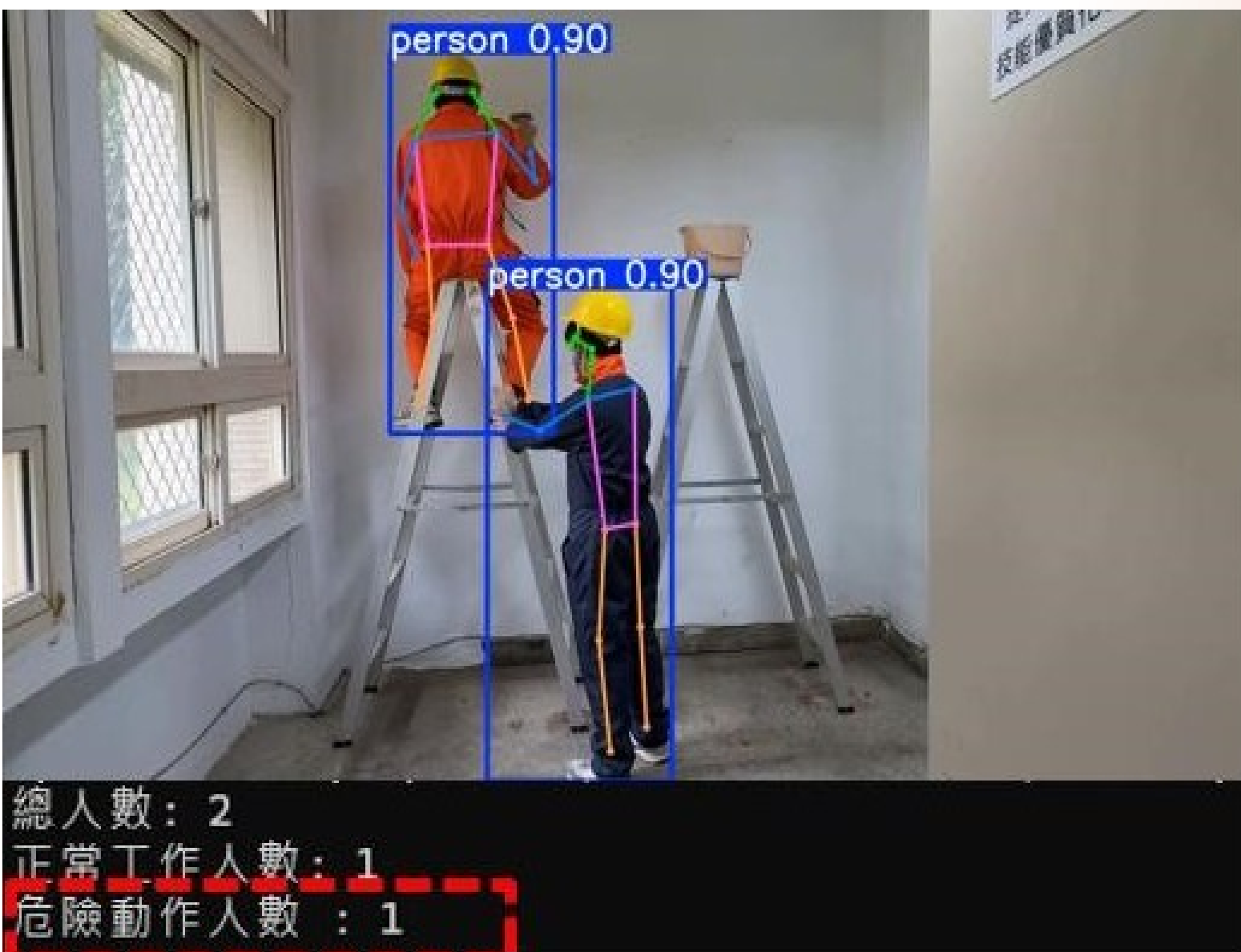


圖18 高處場域中動作(危險)
(本圖為作者親自製作)

伍、問題與討論

問題一:重電設備場域狀態2(高壓場域)危險動作的姿態預測結果討論。

討論:為了達到危害預防的效果，我們先利用YOLO偵測高壓場所的通斷電狀態，再利用LSTM判斷通電狀態下開門的動作，並觀察重電設備場域中通電狀態及危險動作偵測下召回率皆達到80%，如圖19、20所示。

重電設備場域		預測結果	
		通電ON (99)	斷電OFF (101)
實際樣本	通電ON (100)	80	20
	斷電OFF (100)	19	81

圖19 重電設備場域中電源通斷電的判斷
(本圖為作者親自製作)

重電設備場域		預測結果	
		危險動作 (80)	正常動作 (120)
實際樣本	危險動作 (100)	80	20
	正常動作 (100)	0	100

圖20 重電設備場域中危險動作的判斷
(本圖為作者親自製作)

問題二:車床機械場域狀態2(車床場域中)危險動作的姿態預測結果討論。
討論:由於YOLO-Pose沒有手指的關節點，使程式無法判斷。因此我們使用YOLO物件偵測的方式進行判斷，將手與軌道一起標記，來預防危險如圖16-17所示，本模型在危險動作偵測下召回率達90%，如圖21所示。

問題三:高處施工場域狀態2（鋁梯場域中)危險動作的姿態預測結果討論。
討論:因為我們收集有關高處施工時，有人推拉鋁梯的危險動作，資料不夠完整，導致危險動作召回率只有64%，如圖22所示，之後我們將收集更多的作業視角，讓高處施工的危害預防更全面。

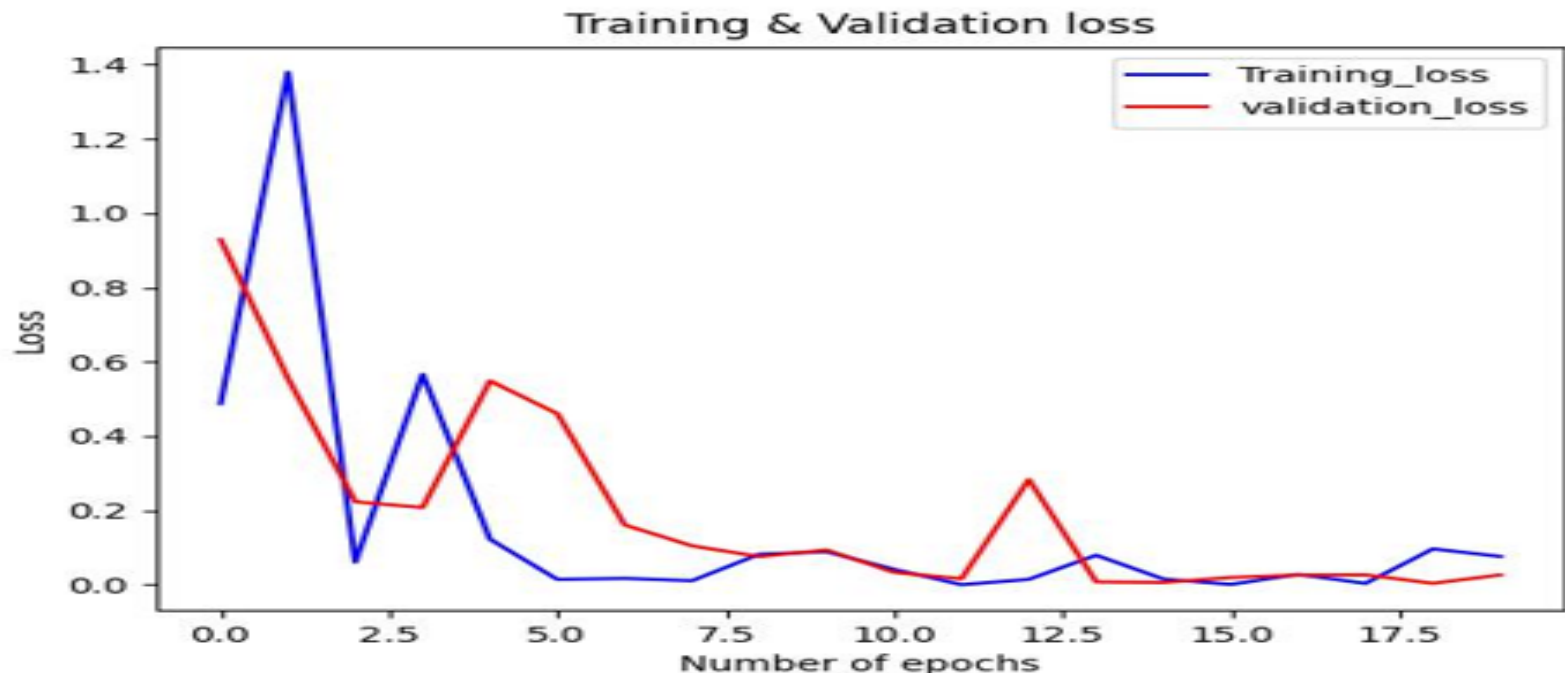
車床危險動作		預測結果	
		危險動作 (90)	正常動作 (110)
實際樣本	危險動作 (100)	90	10
	正常動作 (100)	0	100

圖21 車床機械場域中危險動作的判斷
(本圖為作者親自製作)

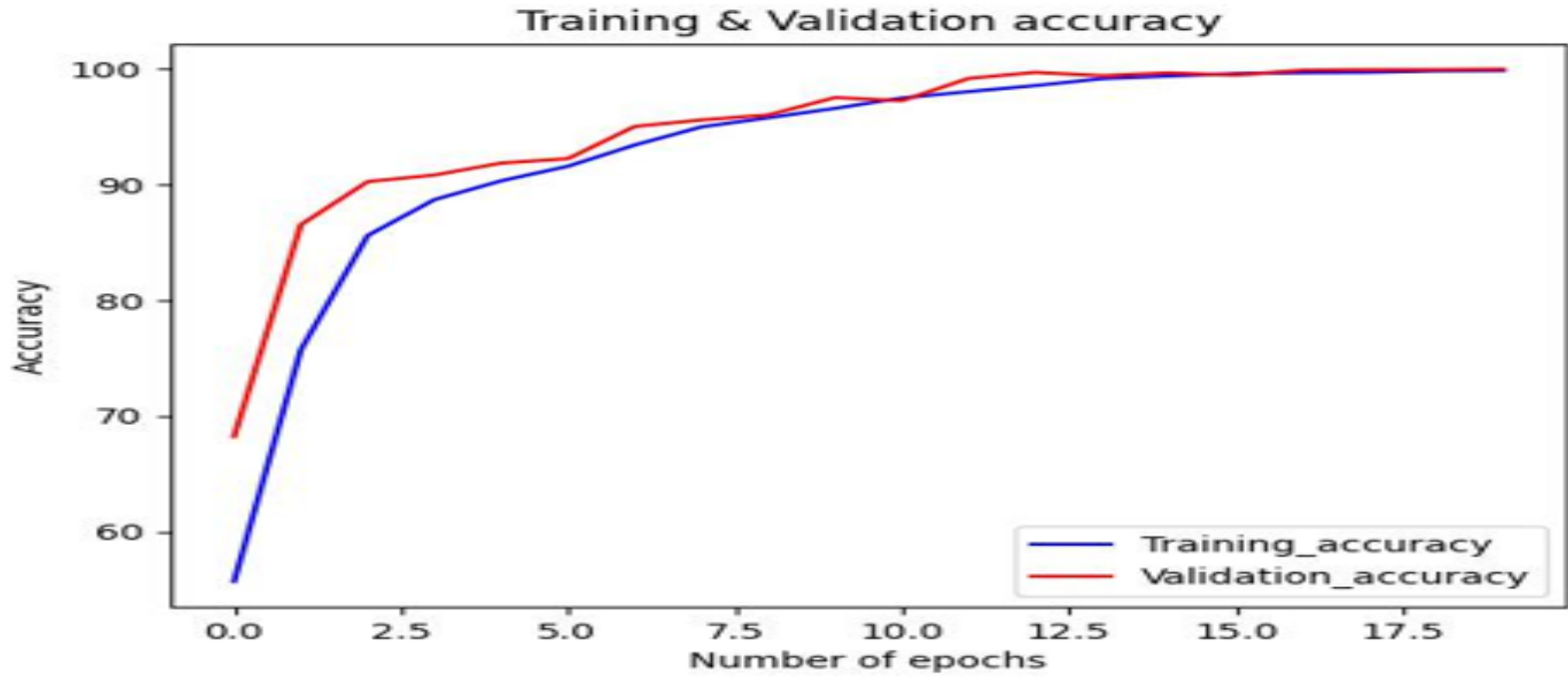
高處危險動作		預測結果	
		危險(64)	正常(136)
實際樣本	危險(100)	64	36
	正常(100)	0	100

圖22 高處施工場域危險動作判斷
(本圖為作者親自製作)

問題四：三種場域狀態3(工作中)之體態即時辨識，其YOLO-Pose模型結合長短期記憶模型類神經網路模型（LSTM）之訓練與預測結果討論。
討論：LSTM訓練次數20次時LSTM體態模型訓練更加準確，其訓練結果顯示如圖12所示。圖23(a)損失函數圖顯示損失值（Loss）約0.1以下，而圖23(b)驗證準確率顯示準確率（Accuracy）達到98%以上。

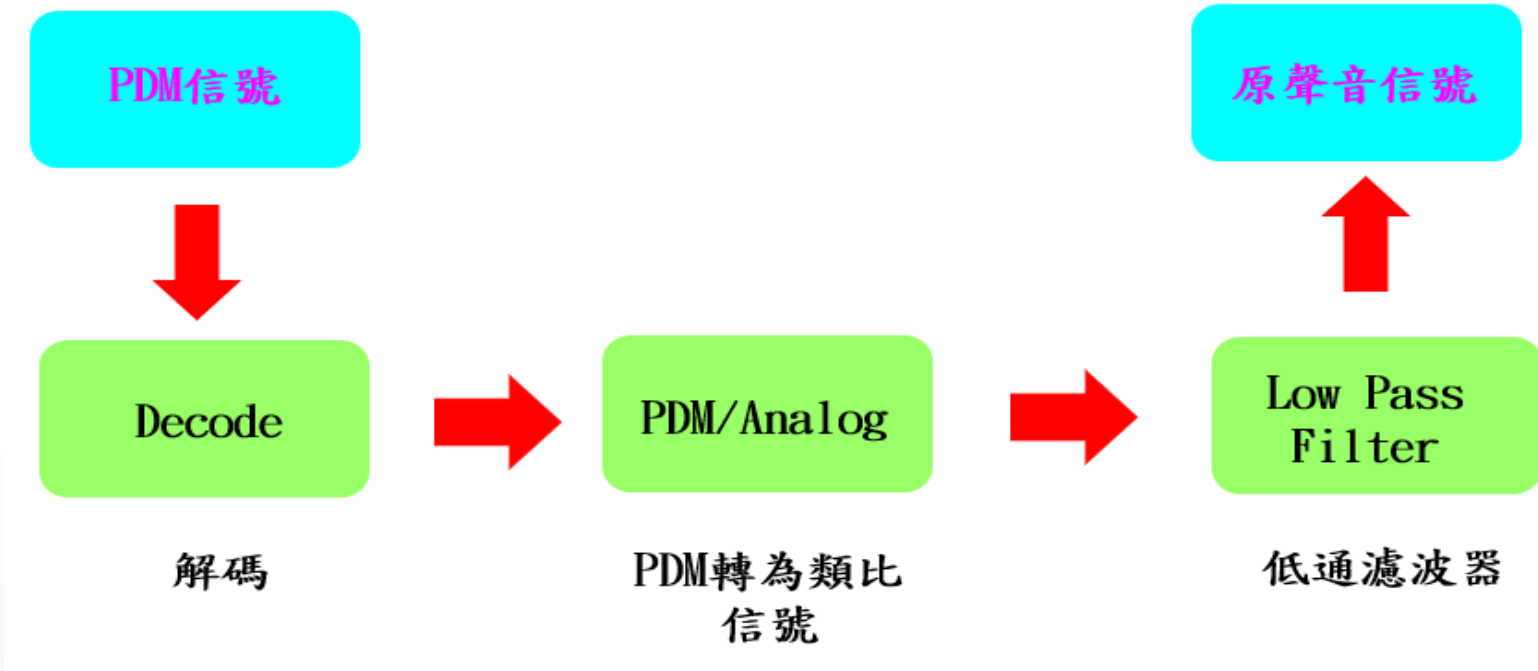


(a) 圖23 LSTM體態訓練結果
(本圖為作者親自製作)

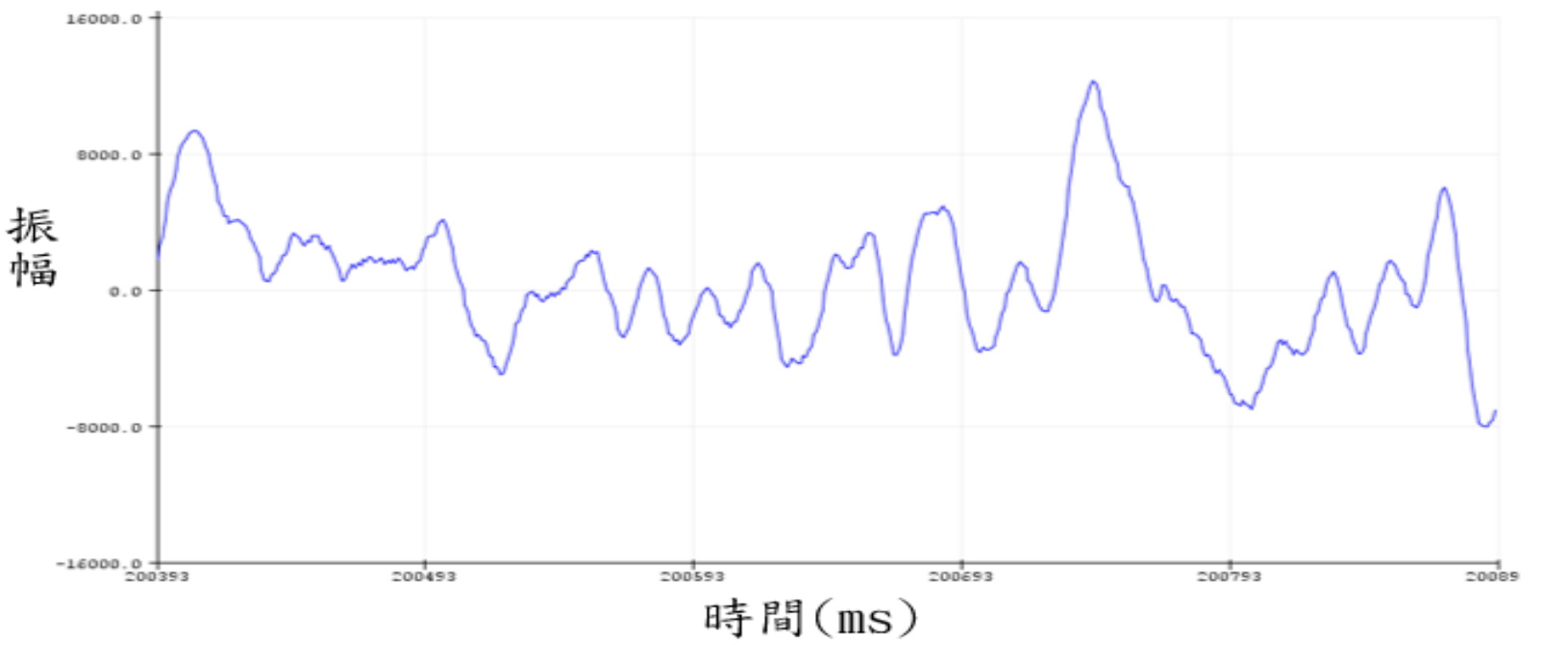


(b)

問題五:三種場域狀態3(工作中)聲音信號處理器(MP34DT05)量測信號如何處理以利偵測與辨識？
討論：可將MP34DT05量測PMD信號還原類比聲音信號做為偵測與辨識。其聲音信號處理過程如圖24(a)所示，先將PMD信號解碼後再轉為類比信號，並經過低通濾波器過濾高頻信號，其處理後結果如圖24(b)所示。



(a) 圖24 感測器(MP34DT05)量測PMD信號還原聲音信號
(本圖為作者親自製作)



陸、結論
(一)、建立符合場域之清晰狀態圖，展現影像與穿戴式感測器偵測邏輯程序，以建構系統性智能之即時預防維安機制。
(二)、目前已建立 3 個工作場域系統模組化，可利用此擴展性功能應用於多工作場域。
(三)、完成 YOLO 即時辨識作業人員之防護裝備與特有動作，以利安全監控和管理。
(四)、建置 YOLO-Pose 偵測與 LSTM 做為即時辨識作業人員危險操作與體態，並結合穿戴人體感測架構之心律與呼吸及聲音感測信號以追蹤生理行為。

柒、參考文獻

[1] 勞動部職業安全衛生署，112年勞動檢查統計年報全一冊。

[2] J.R., S.D., R.G., A.F., You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, in Computer Vision and Pattern Recognition,2015.

[3] Debapriya Maji, Soyeab Nagori, and Manu Mathew, YOLO-Pose: Enhancing YOLO for Multi Person Pose Estimation Using Object Keypoint Similarity Loss, 2022.

[4] Sohaib Mustafa Saeed, Hassan Akbar, Tahir Nawaz, Hassan Elahi, and Umar Shahbaz Khan, Body-Pose-Guided Action Recognition with Convolutional Long Short-Term Memory (LSTM) in Aerial Videos, 2023.

[5] Shang-Te Tsai, Zong-Rong Wu, Pin-Hsuan Lin,Chin-Hsiung Chen,Wei Chien and Yu-Cheng Chang, Comparative Analysis of Real-Time Multi-Person Pose Detection in Electrical Industrial Safety Scenarios Using YOLOv8-Pose and OpenPose, IEEE 4th International Conference on Electronic Communications, Internet of Things and Big Data, 2024.