

出國報告（出國類別：開會 線上會議）

參加「眼動研究與應用線上研討會」 出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：李苡星/運輸安全組助理研究員

派赴國家：臺灣，中華民國（線上會議）

線上會議期間：民國 111 年 06 月 08 日至 06 月 11 日

報告日期：民國 111 年 09 月 05 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：參加「眼動研究與應用線上研討會」出國報告

頁數：26 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會

聯絡人：郭芷桢

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：李苡星

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸安全組

職稱：助理研究員

電話：(02) 7727-6289

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 視察6 訪問7 開會8 談判9 其他

出國期間：民國 111 年 06 月 08 日至 06 月 11 日

出國地區：臺灣，中華民國（線上會議）

報告日期：民國 111 年 09 月 05 日

分類號/目

關鍵詞：眼球追蹤、視覺凝視、視知覺、疲勞、認知負荷、模擬器（機）

內容摘要：

本研討會為年度國際會議，提供眼動研究者一個技術交流與研究成果發表平台；今年於美國西雅圖舉辦，因應新冠肺炎疫情於線上同步進行，主題涵蓋眼動與認知、眼動技術研發，眼動於虛擬與擴增實境應用等部分，內容相當多元，本報告配合本會業務，內容聚焦在眼動技術於運輸業及運輸安全相關研究應用之說明。

目次

壹、	目的	1
貳、	過程	1
參、	會議摘要與心得	7
肆、	建議	24

壹、 目的

眼動追蹤（eye tracking）是一種使用眼動儀（eye tracker）追蹤人類眼球移動之技術，在心理學及人因工程領域廣為應用。本會於 110 年建置整合式眼動儀系統，以利分析重大運輸事故駕駛員於駕駛或運具操作時之眼動型態，並進一步掌握駕駛員眼動型態背後涉及之知覺、注意力、決策等認知訊息處理歷程與駕駛員不安全行為、運輸事故肇因之間關係。

舉例而言，110 年 4 月 2 日臺鐵一輛太魯閣號自強號列車由樹林開往臺東途中，列車於駛出和仁隧道 252.1 公尺後撞及一輛由施工便道邊坡滑落至軌道之大貨車，造成列車 8 節車廂全部出軌、49 人死亡、213 人受傷之重大鐵道事故。本會執行調查過程因有必要瞭解事故列車離開和仁隧道後駕駛室明暗變化對駕駛員視覺調適時間是否可能影響其偵測滑落至軌道之大貨車，故以實車模擬測試並運用眼動儀，蒐集列車出入隧道過程人員瞳孔數據作為明適應影響之判斷依據。

目前，本系統於建置後已辦理本會人員教育訓練、編撰系統使用手冊與指南，並與國內心理與人因工程學界進行經驗交流與研討；考量未來本會規劃持續將眼動儀應用至運輸安全與人因相關研究，有必要瞭解眼動研究應用並掌握國際眼動研究之最新技術與趨勢，以儲備人員未來在運輸人因領域執行眼動研究與應用之能量。

貳、 過程

1. 行程

本次研討會於美國華盛頓州西雅圖兒童研究機構大樓舉辦（圖 2-1），因應新冠肺

炎疫情採線上、實體會議同步進行；為避免本會人員出入國境增加染疫風險，故本次會議以線上方式參加實體會議各項活動及討論（圖 2-2）。

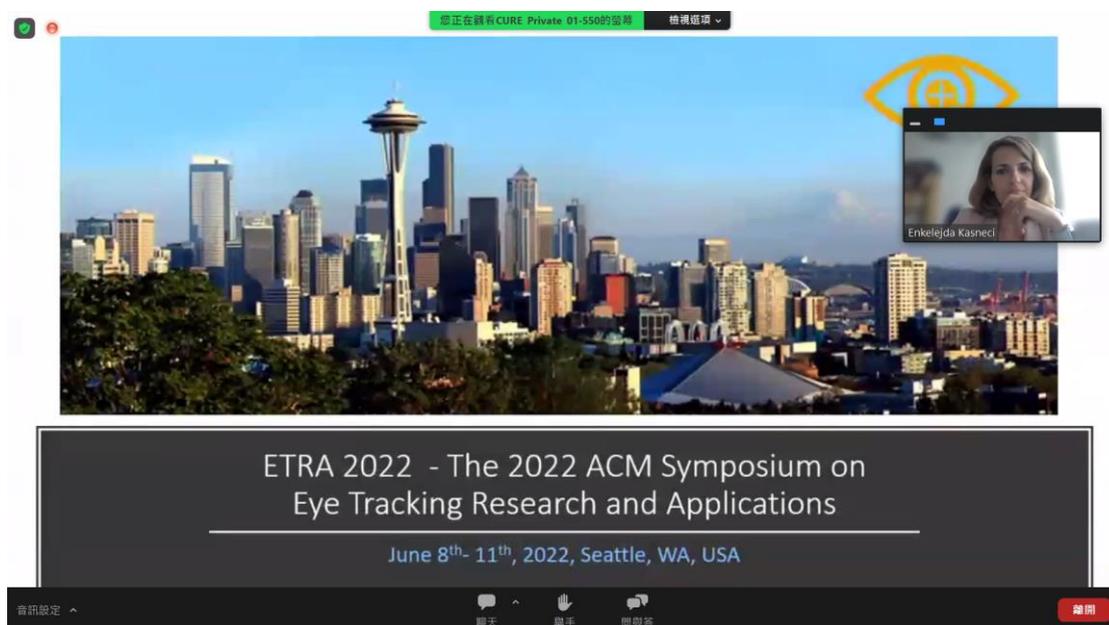


圖 2-1 會議實況

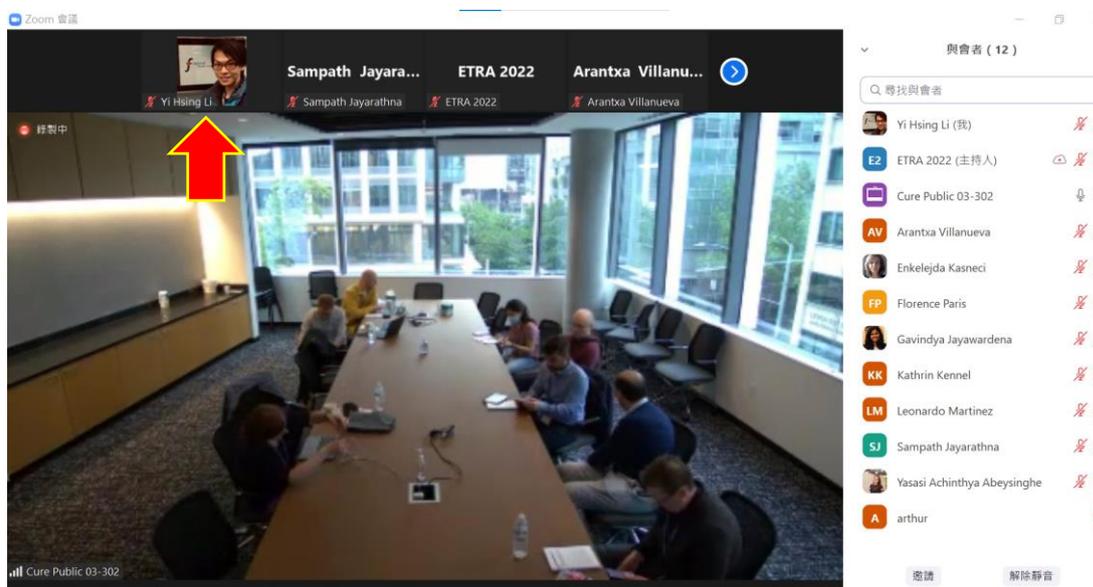


圖 2-2 本會人員於線上參加會議實況

2. 議程

本次議程為期 4 日，安排有 2 場主題演講 (keynote speech)、1 場博士論文討論會 (doctoral symposium)、6 場工作坊 (workshop)、海報發表 (poster) 及 4 場眼動技術教程 (tutorial)。由於大會規畫之主題與內容相當豐富多元，故許多場次在同一時間同步於實體與線上進行。眼動技術教程則安排在大會的一般議程之外，故須事先額外報名付費後始得參加。

主題演講由兩位來自不同專業領域使用眼動追蹤技術從事研究的專家，分別介紹眼動與當今熱門之混合實境之應用 (more than a look: multimodal gaze-supported interaction in mixed reality) 以及透過眼動追蹤技術揭示自閉症患者早期注意力之生物學指標 (early attentional biomarkers in autism)；博士論文討論會則由 5 位不同國家之博士班研究生提報運用眼動技術於不同領域之研究進展。除博士論文提報，大會另規劃有 7 場次之研究報告與討論，內容皆為獲得大會審查通過之論文發表，包括眼動與擴增、虛擬及混和實境之應用 (AR / VR / MR)、眼動預測技術之優化 (improving gaze estimation)、可視化技術 (visualization)、如何藉由眼動研究來瞭解人類行為 (understanding people through their gaze) 等主題。

工作坊部分，主題則涵蓋眼動與學習 (EduEye, workshop on eye tracking in learning and education)、可視化技術 (ETVIS, workshop on eye tracking and visualization)、虛擬與擴增實境 (eye tracking for AR/VR: sensors and application workshop) 等相關議題之介紹，以及眼動研究涉及之倫理議題的探討 (PrEthics, workshops on privacy and ethics in eye tracking)。

本次眼動研究與應用研討會詳細議程表，如圖 2-3 所示。

8 June 2022

TIME	TRACK I	TRACK II	TRACK III	Virtual only	Virtual only
07:00-05:30	Registration - R				
07:45-08:00	Continental Breakfast - 2				
8:00-10:00	Doctoral Sympos. - 3 ▼	Tutorial 1 - A	Tutorial 3 - B	PLEY Workshop ▼	ETVIS Workshop ▼
10:00-10:30	Coffee break				
10:30-12:30	Doctoral Sympos. - 3 ▼	Tutorial 1 - A	Tutorial 3 - B	PLEY Workshop ▼	ETVIS Workshop ▼
12:30-1:30	Lunch - 2				
1:30-3:30		Tutorial 2 - A	Tutorial 4 - B		
3:30-4:00	Coffee break				
4:00-6:00		Tutorial 2 - A	Tutorial 4 - B		

9 June 2022

TIME	TRACK I	TRACK II	TRACK III	Virtual only	Virtual only
0:00-4:00				EDUEye workshop ▼	
07:00-05:30	Registration - R				
07:45-08:15	Continental Breakfast - 2				
8:15-8:30	Opening Session - A				
8:30-9:30	Keynote 1 - A sponsored by <i>SeattleChildren</i> ▼				
9:30-9:45	Coffee break				
9:45-10:45	Posters 1 - M ▼	PrEthics works. - B ▼	VPS webinar (Hybrid) - A ▼		
10:45-11:00	Coffee break	PrEthics works. - B ▼	Coffee break		
11:00-12:00	Session 1 - A ▼	PrEthics works. - B ▼			

12:00-1:00	Lunch - 2	
1:00-3:00	Session 2 - A ▼	PrEthics works. - B ▼
3:00-3:30	Coffee break	
3:30-4:30	Session 3 - A ▼	
4:30-5:30	Posters 2 - M ▼	
4:30-9:00	Reception - 2nd floor balcony	

10 June 2022

TIME	TRACK I	TRACK II	TRACK III	Virtual only	Virtual only
07:00-05:30	Registration - R				
07:45-08:15	Continental Breakfast - 2				
8:15-8:30	Opening Session - A				
8:30-9:30	Keynote 2 - A <i>sponsored by Meta</i> ▼				
9:30-9:45	Coffee break				
9:45-10:45	Session 4 - A ▼				
10:45-11:00	Coffee break				
11:00-12:00	Posters 3 - A ▼				
12:00-1:00	Lunch - 2				
1:00-3:00	Session 5 - A ▼				
3:00-3:30	Coffee break				
3:30-4:30	Session 6 - A ▼				
4:30-5:30	Posters 4 - A ▼				
6:00-8:30	Banquet - B (Awards 6:30-7:00)				

11 June 2022					
TIME	TRACK I	TRACK II	TRACK III	Virtual only	Virtual only
07:00-12:00	Registration - R				
07:30-08:15	Hot Breakfast - 2				
8:15-8:30	Opening Session - A				
8:30-9:30	Panel Discussion - Eye Tracking in Healthcare and Medicine <i>Sponsored by Google</i>				
9:30-10:00	Coffee break				
10:00-12:00	Session 7 - A ▼	COGAIN worksh. - B ▼			
12:00-1:00	Lunch - 2 / Town Hall - A (12:10-13:00)				
1:00-6:00	OpenEDS worksh. - A ▼				

圖 2-3 本次研討會議程表

3. 參與人員

本次研討會參加人員共計 234 人，其中 127 人於線上參加會議，人員分布於 28 個國家、149 個城市，主要以歐洲與北美州之參加者為主，如圖 2-4 所示。

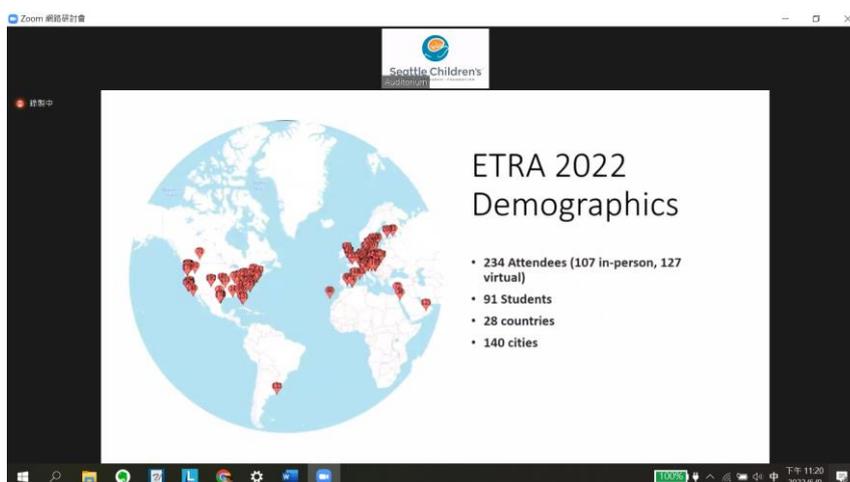


圖 2-4 本次研討會各國參加人員分布圖

參、 會議摘要與心得

本次研討會如上述議程所示，內容相當豐富多元，研究領域橫跨教育、心理、神經科學、消費者與使用者經驗、運輸等方面，探討之主題亦涉及眼動與認知、眼動技術研發成果，眼動與虛擬及擴增實境等多面向。以下摘要本次研討會與本會運輸安全業務較為相關之主題與內容進行說明與分享。

1. 眼動追蹤技術於疲勞偵測之應用

疲勞是一項影響運具駕駛員不安全操作行為之重要因子，美國國家運輸安全委員會（NTSB）、澳洲運輸安全局（ATSB）等調查機關已將駕駛員疲勞列為重要或應關注之議題。有關疲勞評估，業界或實務上常見作法是透過駕駛員自主疲勞報告，或藉由車載疲勞偵測系統來偵測駕駛員眨眼、頭部移動或打鼾次數等數據作為疲勞判斷之基礎，惟這些評估方式與指標常被批評缺乏效度驗證。學界則常用具有實徵研究基礎之評估量表（如 NASA-TLX）或認知心理測驗（如 psychomotor vigilance task, PVT）來評估疲勞或警覺度表現，惟量表與測驗之施測時間長，故實用性較低。

本次研討會 Google 研究團隊最新研究指出，透過以智慧型手機為基礎之眼動追蹤模式（the smartphone-based eye-tracking model），可在 75 秒內自動偵測人員是否疲勞，或於執行作業期間即時偵測疲勞之發生。研究者讓受測者使用手機畫面執行一系列疲勞促發作業，作業內容為追蹤物件或執行文章校對作業，每次持續時間約 1 小時。研究者在受測者執行作業時以手機自拍鏡頭（selfie camera）蒐集其眼動資料，並在作業前、後施以疲勞與警覺度測驗，以蒐集受測者疲勞或警覺度表現資料（圖 3-1）。

有關疲勞狀態的眼動型態分析，研究使用機器學習（machine learning）模式來建構疲勞預測模式，其方式是從每位受測者蒐集之原始眼動數據，將之常態化後輸入模式中進行學習與訓練，得到疲勞預測（有/無）之輸出結果，再用相同模式去分析新的受測者於執行作業時之眼動數據資料。

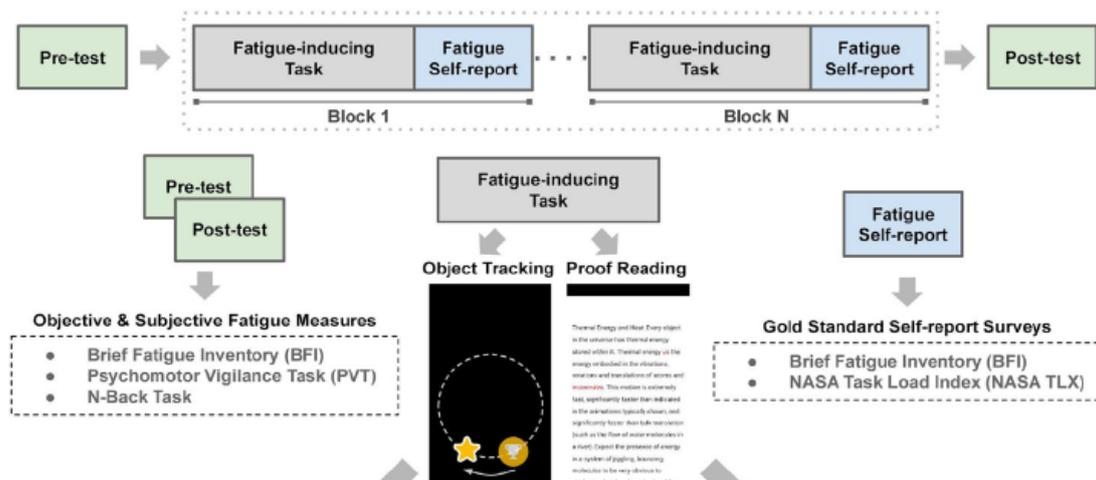


圖 3-1 實驗過程

預測結果如圖 3-2 所示，眼動型態在疲勞與未疲勞人員之間有顯著差異，人員疲勞時會產生所謂疲勞促發之眼動型態受損（fatigue induced gaze impairments），且眼動型態所得結果和學界常用以界定疲勞狀態之警覺度測驗分數趨勢相符，模式預測準確度可達 80%。換言之，該研究指出：使用智慧型手機內建鏡頭（不須額外其他硬體設備）蒐集眼動數據，並搭配所開發之機器學習模式，即可快速有效預測人員於執行作業時是否疲勞。

研究團隊表示未來可應用至運輸領域，於駕駛員報到或執行駕駛勤務前快速執行客觀且具實徵基礎之疲勞評估。不過研究者指出，考量本次研究情境為控制良好之實驗室情境，未來仍需進一步將本次研究發展之模式套用至其他如睡眠剝奪、壓力、缺乏動機等真實情境，以增加研究之外部效度與實用性。



圖 3-2 人員疲勞時之眼動型態

2. 導航日夜間模式顯示對駕駛員知覺影響

近年來有越來越多數位電子產品如手機、平板、筆電等設備配有隨外界光源或環境照明變化而切換不同顯示模式之功能；以運輸領域而言，車用導航設備亦有日、夜間模式，當導航設備上的感測器偵測到駕駛室內為低光源環境或設定之時間為夜晚時段，會自動從日間模式切換為夜間模式，以避免駕駛員視覺系統因導航顯示器光源過強而影響其接收外界重要資訊或對駕駛室外之路況的情境覺察。

然而，過去未有相關研究探討車用導航日夜間模式是否對駕駛員在訊息接收或視知覺系統造成影響，例如夜間模式下，地圖與地標相較日間模式會以不同顏色呈現（如圖 3-3）是否對駕駛員訊息處理與操作表現產生影響。考量感知覺系統為訊息處理歷程之前端，本次研討會有來自捷克團隊透過實驗室駕駛模擬情境，並藉由眼

動儀設備，探究導航設備之日、夜間模式對駕駛員在駕駛過程中之視知覺及訊息處理之影響。

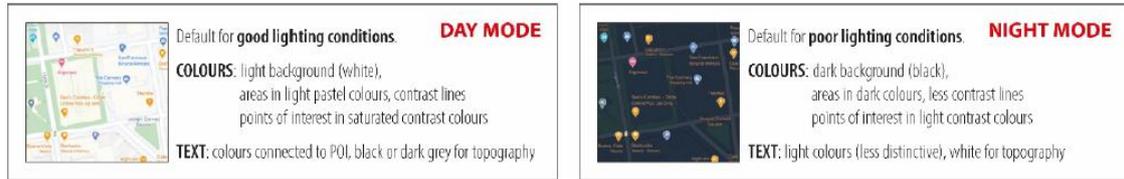


圖 3-3 導航設備之日夜間模式在地圖資訊顯示之差異

研究者招募 43 位受測者進行駕駛模擬器之眼動實驗，眼動儀為外掛於螢幕下方之桌上型眼動儀（SMI RED 250 eye-tracker）（圖 3-4）。研究者首先說明實驗目的與程序、完成受測者眼動校正、蒐集基本資料，如年齡、駕駛經驗、使用導航設備相關經驗等，再讓其熟悉駕駛模擬器之操作環境。研究使用之駕駛模擬器稱之 Euro Truck Simulator，硬體設備包括方向盤、煞車與油門（圖 3-4）。

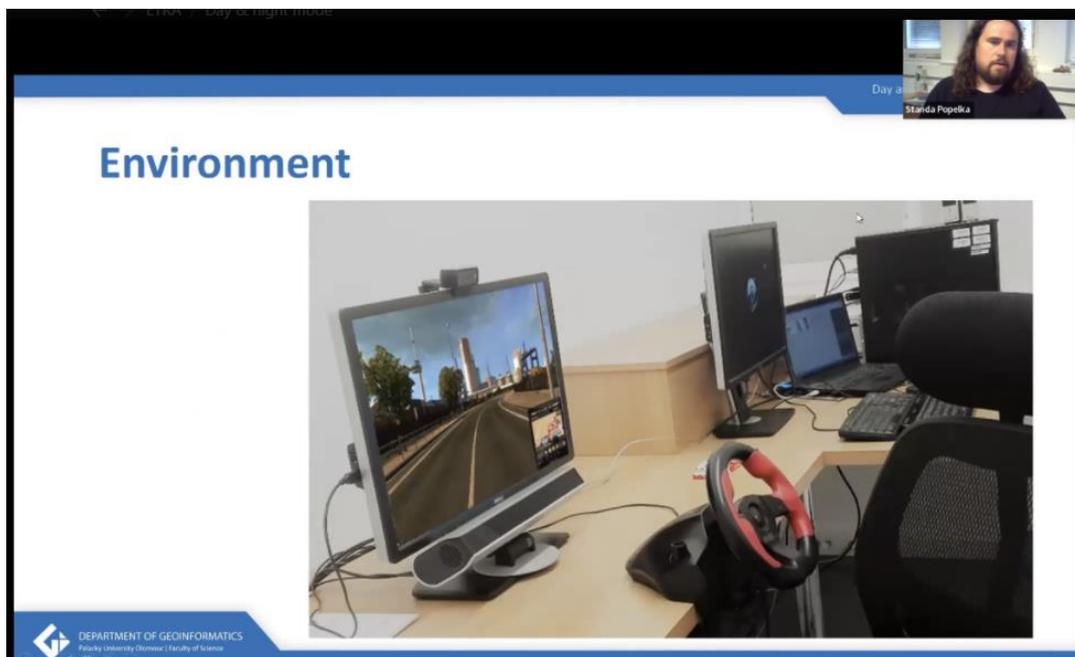


圖 3-4 SMI RED 250 眼動儀與 Euro Truck Simulator 模擬器

接著，研究者讓每位受測者以隨機順序駕駛四種不同情境並同時蒐集眼動資料，每種情境皆由預先設定好之特定路線與日或夜間模式組成（如圖 3-5）。此外，配合導航設備以夜間模式顯示，實驗室環境亦會隨之調整光源強度，以模擬真實夜間駕駛室內之環境照度。另外，受測者於駕駛過程被要求完全依據設置於螢幕右下方之導航指示來駕駛模擬器。研究者於每位受測者完成四種駕駛情境後會安排一個簡短訪談，以了解受測者對於導航顯示模式設定之偏好。

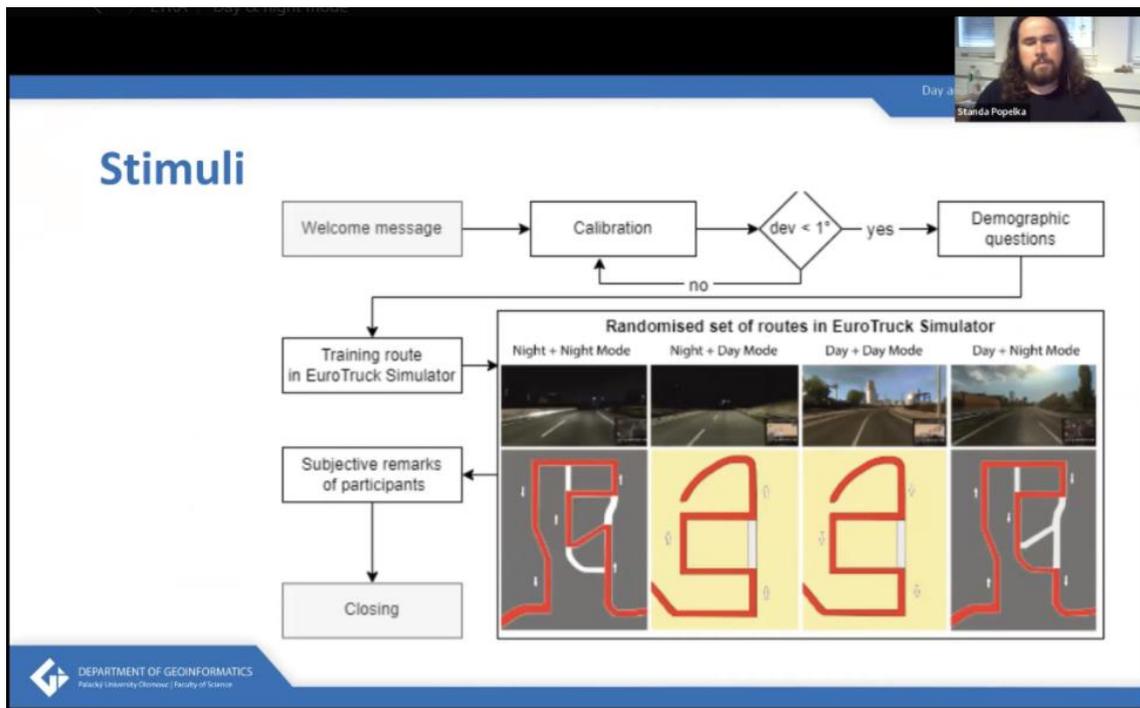


圖 3-5 實驗程序與駕駛情境設定

資料分析上，研究者擷取 43 位受測者於三個相近或相同路段之眼動資料（凝視點次數）進行分析比較（圖 3-6）。結果發現：受測者駕駛期間使用日間與夜間導航模式之間，於凝視點次數上未有顯著差異，但進一步分析發現，受測者於夜間情境但使用日間模式導航，相較其他情境與模式之組合，有最多之凝視次數，顯示受測者於夜間駕駛期間會有更多注視導航顯示之行為（圖 3-7）。不過，相較於日間情境使用日間導航模式，受測者於夜間情境但使用日間模式導航時，持續凝視於導航顯示

之時間則相對較少（圖 3-8），顯示受測者在此情境下不須花費太多時間即可獲取所需資訊。然而，研究者指出，雖其發現夜間駕駛使用日間模式導航對於駕駛者在路線資訊接收與處理有其優勢，但仍約有 11% 的受測者於實驗後提出於夜間使用日間導航模式會讓其經歷空間定向感降低與眩光等問題。因此，研究者於報告時提出，從駕駛安全角度，建議駕駛者須多加考慮於夜間環境下將導航設定為日間模式駕駛，以降低空間定向感喪失或眩光等干擾駕駛者之安全操作行為。

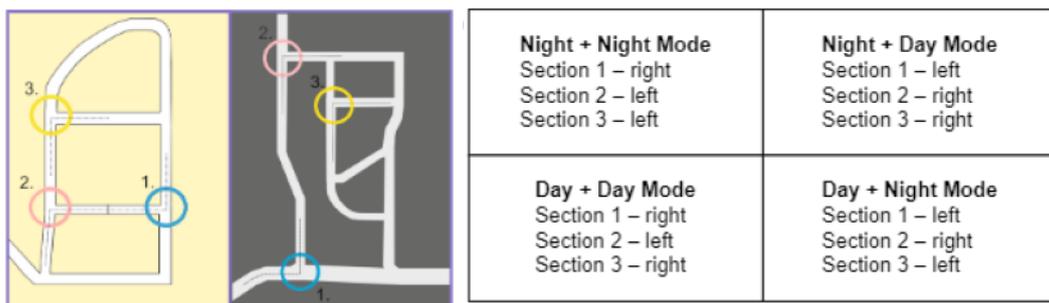


圖 3-6 納入眼動分析之路段

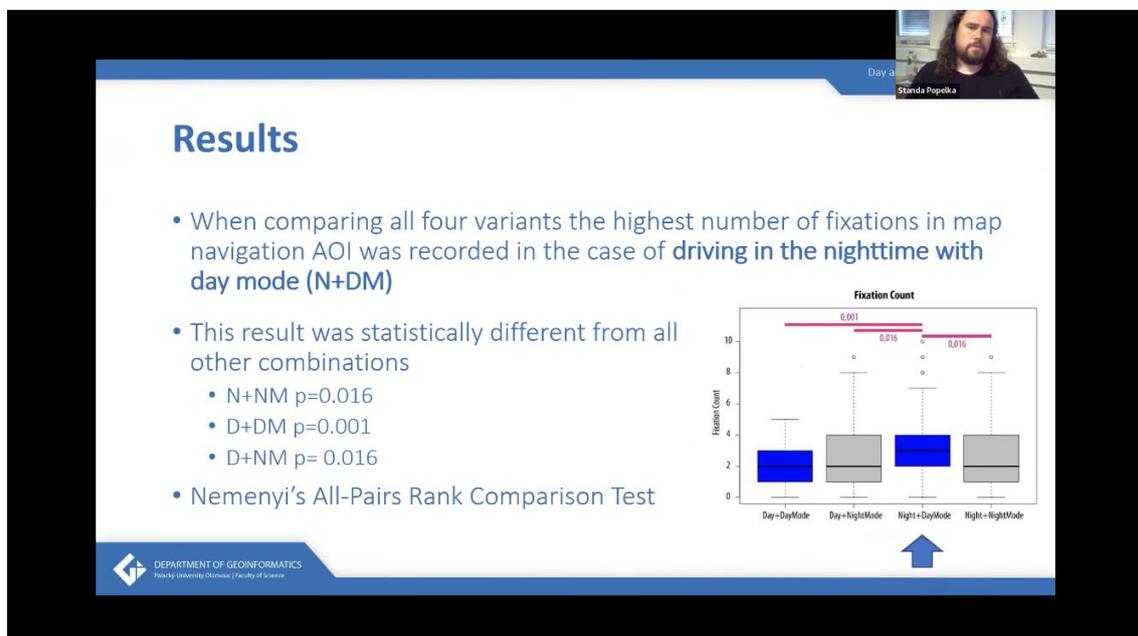


圖 3-7 受測者於不同實驗情境凝視次數之差異

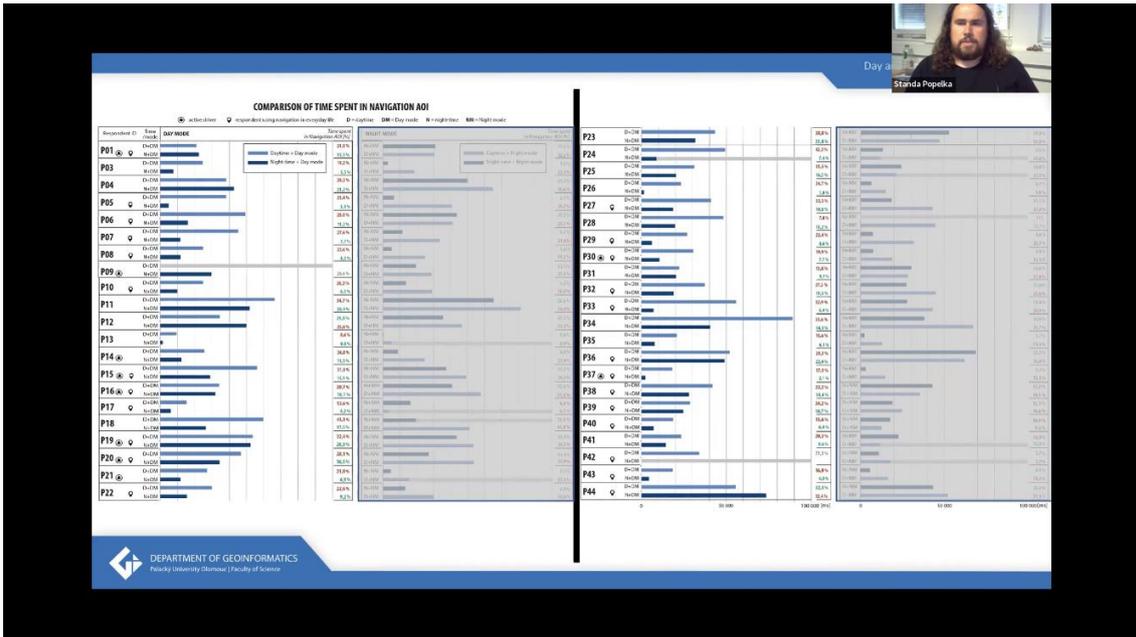


圖 3-8 受測者於不同實驗情境之凝視時間差異

3. 結合眼動、腦波與虛擬實境技術於飛行員認知負荷儀表顯示設計

從飛航安全角度，對飛行員進行認知負荷評估與預測相當重要，因可降低飛行員因心智作業負荷過高而影響飛航決策或不安全操作行為之發生機會。目前業界常以飛行員自主報告或填表等主觀方式評估心智作業負荷，本次研討會則有印度軍方研究團隊試圖發展一套自動化系統，結合眼動與腦波技術，以虛擬實境模擬飛航情境，並透過即時呈現飛行員於飛航作業下之眼動與腦波變化數值作為認知負荷指標，並將數據結果以儀表板之方式顯示，提供一個更為便捷、直觀且符合科學化之方式評估飛行員認知負荷。

研究者招募 6 位受測者進行虛擬實境之飛航模擬情境實驗，其中 2 位受測者為空軍戰鬥機駕駛員，飛行時數 3500 小時。受測者配戴內建有眼動儀之 HTC Vive Pro Eye 及 5 頻道腦波儀，於 Unity 軟體設計之 F16 戰鬥機模擬情境執行飛航操作，同

時記錄眼動與腦波數據如圖 3-9 所示。飛航情境依難易程度分為三種：(1) 起飛後自由飛行 (no tracking)；(2) 以定速與維持不變之高度跟隨前方航空器進行直線飛行 (linear target tracking)；(3) 須即時跟隨前方航空器改變高度、速度與航向進行正弦軌跡飛行 (sinusoidal target tracking)。



圖 3-9 受測者配戴 HTC Vive Pro Eye 與腦波儀執行虛擬飛航操作實驗圖

實驗結果顯示，受測者進行難度較高之飛行（直線與正弦軌跡飛行）且未使用 MFD (multi-function display)顯示器，相較自由飛行情境，受測者有更為明顯之瞳孔直徑 (pupil diameter) 放大率，顯示受測者在難度較高之飛航情境亦經驗較高之認知負荷量 (圖 3-10)；此外，相較於未接受專業飛航訓練之受測者，戰鬥機飛行員在執行模擬飛航操作時，其腦波之 beta 波形 (Beta frequency band) 有更低之 power，顯示其認知負荷較低 (圖 3-11)。

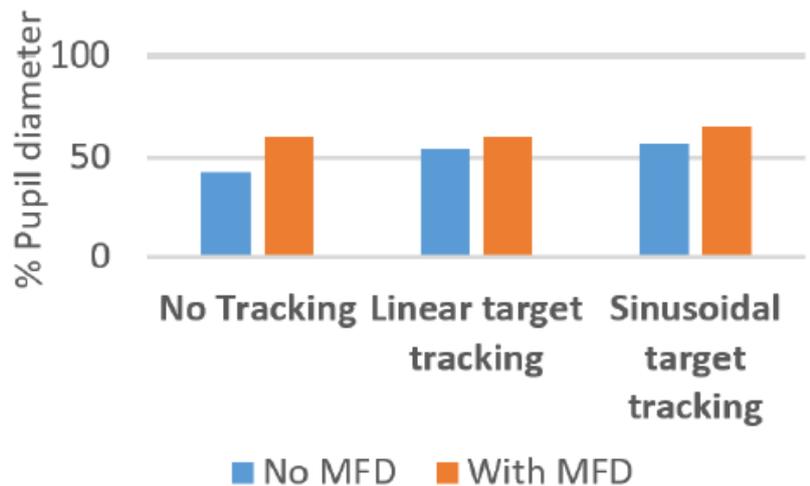


圖 3-10 不同難度之飛航模擬情境受測者瞳孔直徑縮放率

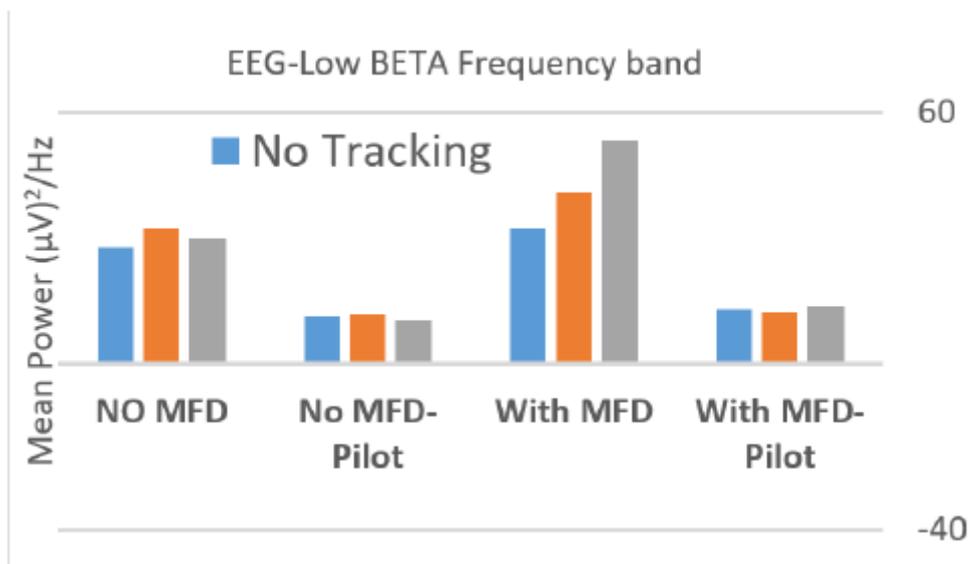


圖 3-11 飛行員與無經驗者於執行模擬飛航操作情境之腦波差異

經虛擬實境之飛航模擬驗證，研究者所設計之實驗架構與程序可反映受測者在執行飛航操作時之認知負荷量，故在該研究最後一部分，根據前述實驗所得數據結果，研發一套三度空間之儀表板顯示介面，即時呈現受測者執行飛航模擬情境之眼動與腦波數據，作為呈現受測者認知負荷量之參考（圖 3-12）。

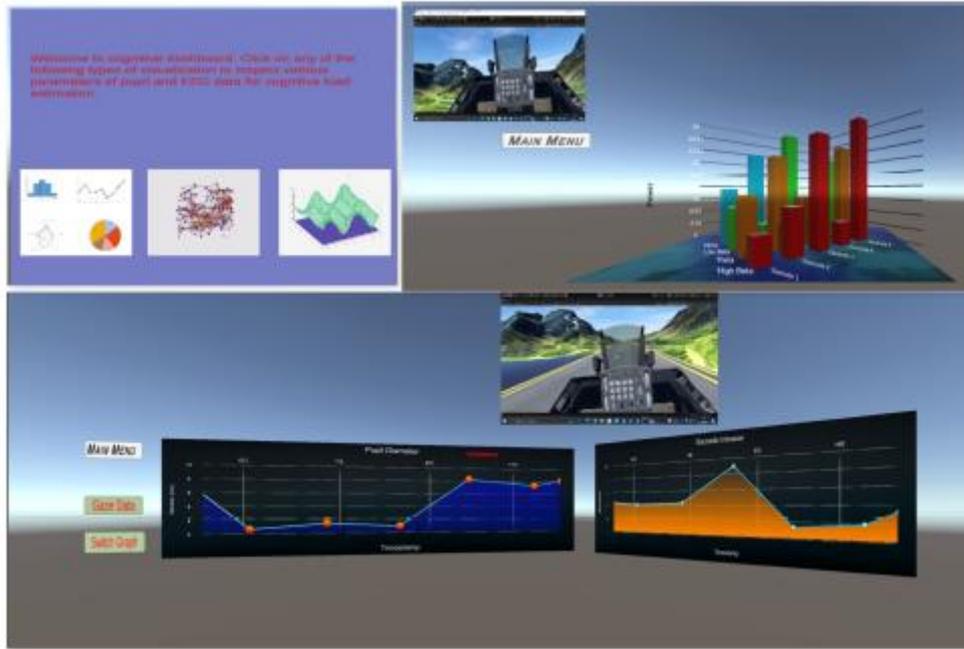


圖 3-12 以 3D 儀表板即時呈現受測者執行飛航模擬情境之認知負荷資訊

4. 飛行員視覺掃視行為分析

飛行員視覺行為議題在航空人因領域被廣泛研究，其原因在可藉此瞭解飛行員眼動行為背後所涉及之認知訊息處理，如決策與判斷、情境覺察維持等，且研究結果可實際應用於飛航訓練中以提升或改善飛行員操作表現。

目前學界使用眼動儀探究飛行員視覺行為，大多以飛行員視覺凝視點 (fixation) 落在感興趣區域 (area of interest, AOI) 之次數或比率來反映視覺行為特性。然而，此法卻未能突顯飛行員於一段連續飛航操作歷程之眼動掃視型態 (scanning patterns)，亦無法區辨不同飛行員在特定感興趣區域中之眼動特性。以圖 3-13 為例，兩位飛行員在 A、B、C 三個感興趣區域內 (AOI)，以凝視點落於 AOI 總比率而言，兩位飛行員之比率皆相同，但若檢視此段時間眼動掃視卻發現，兩位飛行員擁有不同

之眼動掃視型態。鑒於良好之飛航操作表現有一部分係仰賴於特定型態之視覺掃視行為，故視覺掃視型態分析亦應為飛行員視覺行為研究之重要項目之一。

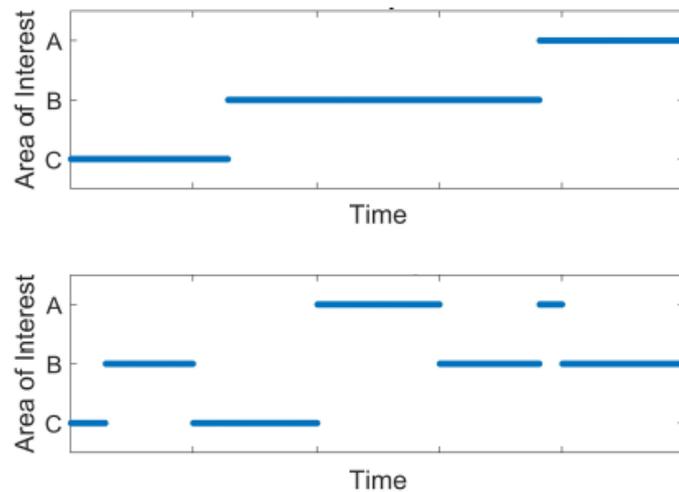


圖 3-13 兩位飛行員眼動資料（相同凝視次數、不同掃視型態）

本次研討會有一法國與荷蘭研究團隊透過眼動研究，分析不同飛行階段空軍飛行員之視覺行為及眼動掃視型態，再以機器學習模式驗證分類之準確性。研究者招募 8 位剛完成 Pilatus PC-7 定翼機訓練的荷蘭空軍飛行員，讓其於 Pilatus PC-7 動態模擬機內執行飛航任務並配戴 Ergoneers Dikablis 頭戴式眼動儀蒐集飛航操作時之眼動資料。資料蒐集完成後，研究者分析受測者執行重飛、目視搜索、平飛轉彎、沿特定軌跡半徑飛行、平飛直行、下降轉彎、儀器進場等飛航操作時，於駕駛艙內共計 9 個感興趣區域 (AOI)¹ 之眼動數據 (圖 3-14)。

¹ 此研究 9 個感興趣區域 (area of interest, AOI) 包括：Attitude Director Indicator (ADI), Air Speed Indicator (Speed), Altimeter (Alt), Horizontal Situation Indicator (HSI), Vertical Velocity Indicator (VVI), Engine torque indicator (Torque), DME distance information (DMEdist), Rate-One-Turn coordinator (ROTcoord) 以及窗外區域 (out-the-window, OTW)

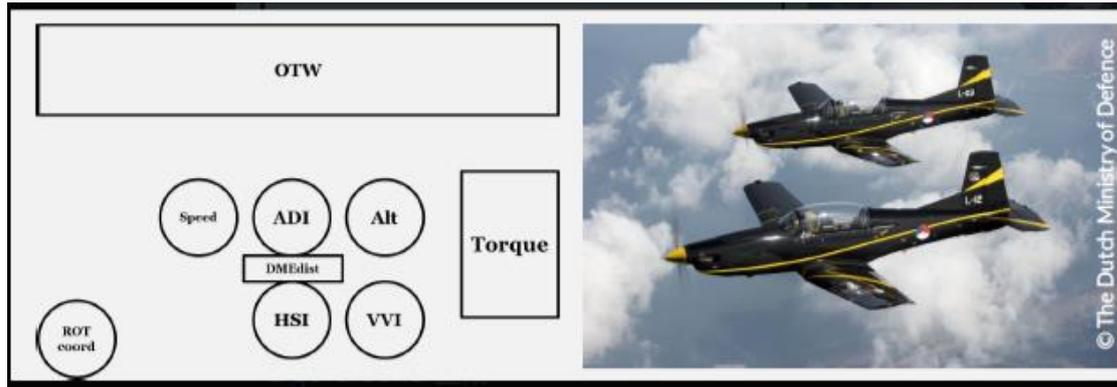


圖 3-14 Pilatus PC-7 動態模擬機之感興趣區域分布圖

有關眼動資料處理與分析，研究者先以傳統方式，排除凝視時間少於 100 毫秒之眼動資料，再分析不同飛航階段飛行員於每個 AOI 凝視點所占比率（此研究稱之 attention ratio）。研究結果顯示：飛行員在多個飛航階段，其對姿態儀(attitude director indicator, ADI) 之視覺凝視時間比例最高，占比介於 31.2%~58.2%。不過，在少數飛航階段如目視搜尋階段，飛行員視覺凝視點則多在窗外區域；另於儀器進場階段，飛行員由於需要持續監控定位台 (localizer) 與下滑道 (glideslope) 儀表數據變化，其凝視點則多在水平位置指示器 (horizontal situation indicator, HSI) 上。相關分析結果如圖 3-15。

	ADI	Alt	DMEdist	Torque	HSI	OTW	ROTcoord	Speed	VVI
Go-around	55.0	9.8	1.9	3.3	14.7	0.8	0.1	13.4	1.0
Visual search	31.2	9.6	3.1	4.8	10.9	33.1	0.0	5.7	1.4
Level turn	58.2	12.7	3.0	1.4	16.0	0.8	1.3	3.7	2.8
Orbit	53.2	14.8	2.5	2.5	16.7	1.0	1.2	5.1	3.1
Straight-and-level	48.8	14.8	3.4	5.0	19.9	0.9	0.2	4.6	2.4
Descending turn	52.4	11.8	2.4	9.1	14.9	0.2	0.4	8.4	0.5
ILS intercept	46.9	11.2	0.6	3.7	29.6	0.9	0.1	5.8	1.1
ILS approach	40.3	7.0	1.0	9.9	32.5	0.8	0.0	6.8	1.8

圖 3-15 不同飛航階段飛行員於不同 AOI 之視覺凝視比率

關於視覺掃視型態分析，研究者以飛行員眼動掃視於不同 AOI 之組合（pattern of size n）為基礎，識別出本研究受測者出現頻率最高之兩種視覺掃視特徵組合數：patterns of size 2 與 patterns of size 3。其中，patterns of size 2 包括 ADI→Alt、Alt→HIS 等 8 種組合，patterns of size 3 則包括 ADI→Alt→ADI、ADI→Speed→HIS 等 22 種組合，共計 30 種組合。接著，研究者檢視這 30 種視覺掃視組合，剔除組合內眼動資料點過少（低於中數）之組合，得出本研究之 15 種視覺掃視形態組合（圖 3-16）。

- | | | |
|--------------|------------------|-----------------|
| • ADI→Alt | • Alt→HSI | • ADI→HSI→Alt |
| • ADI→Torque | • ADI→Alt→ADI | • ADI→Speed→ADI |
| • ADI→HSI | • ADI→Alt→Torque | • ADI→Speed→HSI |
| • ADI→OTW | • ADI→Alt→HSI | • Alt→ADI→Alt |
| • ADI→Speed | • ADI→HSI→ADI | • HSI→ADI→HSI |

圖 3-16 飛行員視覺掃視駕駛艙不同 AOI 儀表之特徵組合

最後，研究者使用機器學習模式中之「線性支援向量機²」，將本研究蒐集之眼動資料輸入，嘗試以不同線性組合來驗證飛行員眼動掃視行為於不同飛行階段之分類準確性，訓練結果顯示，相較僅用 AOI 凝視比率，眼動掃視行為於不同飛航階段之分類準確度約為 51.6%，但若於模式中再加入其他視覺掃視型態組合，分類準確度最高可達 64.1%。各種線性特徵組合之訓練結果如圖 3-17。

本研究之價值在於發現飛行員 15 種基本且關鍵的視覺掃視型態，並呈現不同飛航階段之視覺掃視型態變化，未來可將研究成果應用於飛航訓練課程設計，以提升飛訓品質與飛行員飛航操作表現。

² 線性支援向量機模型（linear Support Vector Machine, SVM model），是一種基於統計學習的監督式演算法，透過找出一個超平面，將不同之集合分開，亦即找出在不同資料類別中之分隔線。

	Attention ratios	Patt. of size 2	Patt. of size 3	Reduced patt. of size 3*	Patt. of size 2 & reduced patt. of size 3	Patt. of size 2 & reduced patt. of size 3 & attention ratios	Reduced patt. ^{*,*} and attention ratios
Go-around	88	38	38	63	38	75	75
Visual search	50	63	38	50	38	50	75
Level turn	50	50	38	50	75	50	75
Orbit	25	63	50	38	63	50	38
Straight-and-level	13	13	25	50	38	63	25
Descending turn	63	38	0	0	25	50	63
ILS intercept	50	38	50	63	63	88	88
ILS approach	75	63	63	63	63	75	75
Overall	51.6	45.3	37.5	46.9	50	62.5	64.1

圖 3-17 眼動行為於不同飛航階段之分類準確度結果

5. 眼動追蹤技術於航空維修作業之應用

從訊息處理觀點，航空器維修工作可粗略分為資訊接收與處理（information intake），以及動作執行（motor action）等兩部分。資訊接收係指對維修與作業手冊以及航空器各系統當前狀態之資訊蒐集與瞭解，動作執行則是可依標準作業程序做出精確、符合規定之維修操作，如依手冊規定選取並使用特定工具進行特定物件之拆除、組裝，或清理等作業項目。

為維持良好、高度一致性之維修品質，維修工程師在執行維修作業時必須從手冊等文件中獲取相當且足夠之資訊，以掌握每項操作程序與步驟。航空維修工程師之維修工作情境示意圖如圖 3-18 所示。



圖 3-18 眼動追蹤技術應用於航空維修作業研究示意圖

本次研討會有法國博士班學生提報論文研究計畫，將眼動追蹤技術應用於航空維修作業，其假設為：維修工作表現良窳，除了與工程師本身專業（*expertise*）有關，亦和其是否能依照手冊規定之依序執行維修步驟（*sequential ordering*），亦即是否能參照航空維修手冊（*aircraft maintenance manual, AMM*）中之文字說明、圖表及照片等內容依序執行維修作業。

因此，研究者邀請空中巴士航空維修工程師擔任受測者，於實際執行維修作業時配戴眼動儀，以蒐集執行旋翼機起落架系統之卸除、拆解、重組、安裝等步驟，以及檢視維修手冊時之眼動數據與影像（圖 3-19）。取得眼動數據與影像後，研究者以質性分析取向，將工程師執行起落架維修作業過程拆解成更細緻之步驟，並以量化分析工程師於執行這些步驟時，其檢視或閱讀相關維修文件之比率，作為訊息接收與處理之指標。初步研究結果如下：

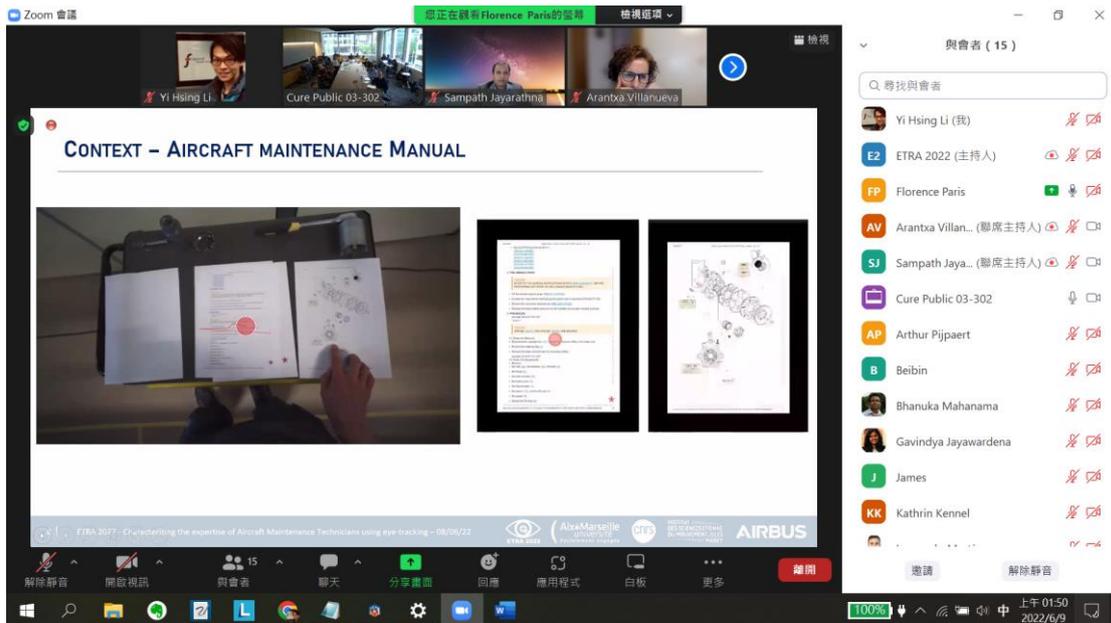


圖 3-19 航空維修工程師配戴眼動儀閱讀航空維修手冊實況

- 以起落架拆裝為例，研究者依所蒐集之眼動影像，將工程師執行維修作業內容分成拆卸、檢查及組裝等三大階段（phases），再依作業性質區分為八項作業（該研究稱之 milestones），自 Jack installed 至 Jack removed，並在項目之間劃分為 9 個子階段（stages），自 stage I 至 stage IX，如圖 3-20。

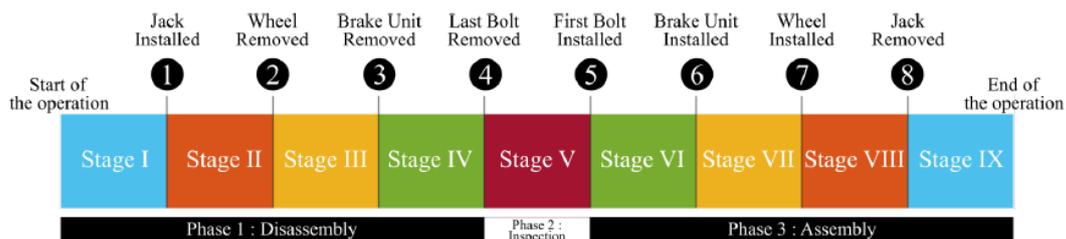


圖 3-20 以眼動影像資料界定維修作業項目

- 經量化分析結果發現，維修工程師在執行各作業項目所須時間有明顯差異，如圖 3-21 各子階段（stage）顏色分配比例所示。舉例而言，相對於執行定翼機

輪子與剎車單元卸除作業時間，工程師需花費較多時間在如何將輪子與剎車單元於檢查完畢後重新安裝回去。

- 另外，該研究發現，工程師在執行起落架維修作業時，共計約有 60%之凝視維修手冊時間（圖 3-21 灰色區域）集中於整個維修作業之前 21%時間，顯示工程師在實際執行維修作業前，會先花費相當時間在閱讀維修手冊內相關重要資訊；換言之，其會先花較多時間在資訊之蒐集與處理（**information intake**），以對當前維修作業與航空器狀態建構相當之情境覺察（**situation awareness**）後再執行維修作業，並於執行過程依需要再參照手冊相關內容。

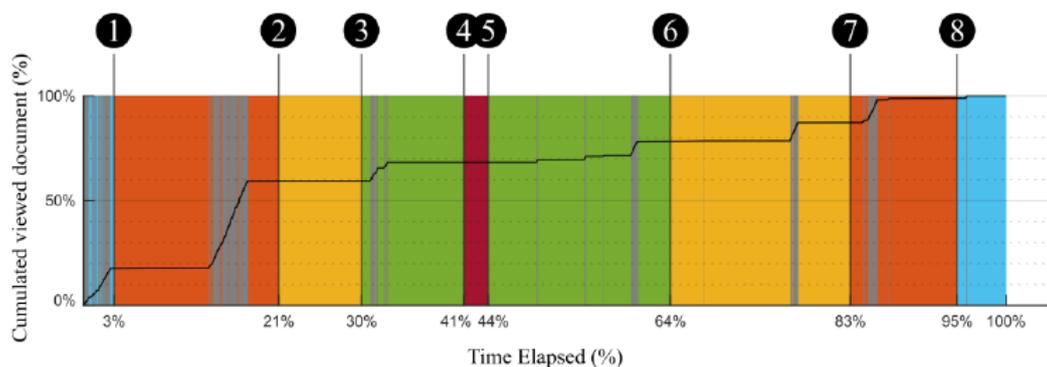


圖 3-21 各項維修作業執行時間比例及工程師凝視手冊之累積時間比

研究者提出，未來將擴大收案樣本數，以更具代表性掌握旋翼機航空維修工程師執行維修工作時之眼動型態與訊息處理特性，並將維修經驗（**expertise**）等變項納入分析範圍。此外，有關本次研究發現維修工程師於執行維修工作前會先花費較多時間進行手冊之資訊蒐集與處理，未來亦可進一步分析工程師在特定頁面檢視與維修行為之間的關聯性，以掌握航空維修工程師於整個維修作業流程，自資訊接收到動作執行之完整訊息處理情況。

肆、 建議

- 考量本會將持續應用眼動儀於運輸事故調查及運安相關研究，為精進同仁在眼動追蹤技術之應用的專業知能，建議日後可再派員參加國際眼動研究與應用研討會或其他國內、外眼動於運輸領域應用之研討會。
- 本次研討會有多位研究團隊使用駕駛模擬器或模擬機進行眼動與認知實驗；相較過去傳統上多使用控制良好之實驗室情境，駕駛模擬器（機）實驗情境可更貼近駕駛員實際運具操作環境，故研究結果有亦更好之外部效度與可推論性。因此，建議未來本會執行運輸事故之眼動測試或運安相關研究時，可考慮和建置有駕駛模擬器之學界教師或業界專業人士合作，以提升運輸人因之研究水準與價值。
- 除運用駕駛模擬器或模擬機進行眼動與認知實驗，本次研討會發現許多研究團隊在資料分析上，除了使用傳統之統計數據分析，亦開始導入不同的機器學習模式，以對蒐集之大量眼動數據進行分析、分類或預測。因此，建議後續可派員參加資料科學、人工智慧或機器學習等相關領域之研討會或教育訓練，以提升本會未來在眼動數據分析之技術與能量。

參加「眼動研究與應用線上研討會」出國報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：運輸安全組助理研究員

姓 名：李苡星

出 國 地 區：臺灣，中華民國（線上會議）

出 國 期 間：民國 111 年 06 月 08 日至 06 月 11 日

報 告 日 期：民國 111 年 09 月 05 日

建議事項：

	建議項目	處理
1	建議日後再派員參加國際眼動研究與應用研討會或其他國內、外眼動於運輸領域應用之研討會。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	建議未來本會執行運輸事故有關眼動測試或運輸安全研究時，可考慮和建置有駕駛模擬器之學界教師或業界專業人士合作，以提升運輸人因之研究水準與價值。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行

3	建議後續可派員參加資料科學、人工智慧或機器學習等相關領域之研討會或教育訓練，以提升本會未來在眼動數據分析之技術與能量。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
---	---	---