

機場航廈緊急避難之研究 ——以臺北國際航空站第一航廈為例

Analysis of Emergency Evacuation in Airport Terminal Buildings-Terminal 1 of Taipei International Airport

邱晨瑋*、劉秀仁**、陳俊勳***

Chen-Wei Chiu、Hsiu-Jen Liu、Chun-Hsun Chen

摘要

根據交通部觀光局數據顯示，在 2018 年時，國人出境人次創下历史新高，突破 1600 萬人次，在出國人數不斷增加的情況下，造成了機場航廈的人員收容負擔提高，且航廈構造一般皆為挑高型建築物，內部還提供了餐飲、購物、按摩等許多服務設施，收容人員多數為不特定人員，一但發生火災，在火焰及濃煙的產生侵襲下，場面勢必相當混亂。

本研究以臺北國際航空站為例，以 FDS 模擬軟體建置模型，並藉由參考國內外航廈火災案例來假設起火情形，且因航廈內有國境管制之需求，避難動線受到限制，故利用自衛消防編組人員等引導方式來建立不同之避難動線，利用 Pathfinder 模擬得出各情境避難完成時間，彙整情境結果做出結論及建議，期盼可做為未來航廈規劃設計逃生避難動線時之參考。

關鍵字：機場航廈、Pathfinder、避難

Abstract

According to statistics from the Tourism Bureau, MOTC, Taiwan, the number of outboard travelers exceeds 16 million in 2018, which reaches a new high in history. As the number of outboard travelers increases rapidly, the capacity of an airport terminal is almost fully utilized. Typically, an airport terminal is a high-ceiling building. Moreover,

* 臺灣警察專科學校消防安全科教授兼科主任，通訊連絡：eswin.wei@gmail.com

** 國立交通大學產業安全與防災學程碩士班，通訊連絡：hcf243@gmail.com

*** 國立交通大學教授兼副校長，通訊連絡：chchen@mail.nctu.edu.tw

multiple services are provided in an airport terminal, such as food-court, shopping, and massage. In addition, people at the airport are highly varied. Due to the above characteristics in an airport terminal, the scene is chaotic and dangerous when there is a fire.

This research considers Taipei Songshan Airport (TSA). We first construct the interior model of TSA by FDS. Then, we set the origin of fire based on the history of fire cases worldwide. Although the evacuation line is limited by the control zone in airport terminals, the evacuation time can be shortened by constructing diverse evacuation lines. Finally, we conclude the simulation results and then give several suggestions for designing evacuation lines for airport terminals.

Key words : Terminal, Pathfinder, evacuation

壹、前言

一、研究動機

近年來國人搭乘航空出國次數迅速攀升，2018 年國人出國次數已達到 1664 萬人次，再創歷史新高，且自從 2000 年之後，每年都是正成長，在國內旅遊的價格居高不下且品質未有明顯提升的情況下，相信未來國人出國的頻率只會有增無減。國際機場航空站大廈之入出境大廳一般皆為挑高之大型複合式建築，機場建築物內部除了報到通關等出入境流程之外，還提供了餐飲、購物、金融保險、網路電信、按摩、超商等許多服務設施，每日進出人潮眾多，不分老弱婦孺均在機場內部活動，一但機場發生火災，在火焰及濃煙的產生侵襲下，場面勢必相當混亂，勢必延長避難逃生時間，增加避難人員風險，且機場內部面積廣大，動線距離較一般場所來的長，更是大大提高了避難人員得以成功避難之困難度。

本研究嘗試利用逃生避難模擬軟體，來對機場航廈內部建築空間進行相關避難驗證，期望可檢驗機場航廈目前之避難動線規畫是否適當，並將研究結果作為日後機場興建或整建時，其避難動線規劃之參考依據。

二、研究目的

本研究將以美國 Thunderhead engineering 公司發行之動態避難分析模式性能驗證軟體 (Pathfinder) 搭配美國國家標準暨技術研究院 (National Institute of Standard and Technology, NIST) 發行之 Fire Dynamics Simulator (FDS) 火場模擬軟

體進行模擬驗證，並透過不同的情境設定，模擬機場航廈內收容之不特定人員於緊急情況時避難逃生疏散的情形，並達成以下目的：

- (一) 於模擬情境中利用不同的火源地點假設來檢視對於避難人員之影響。
- (二) 探討機場航廈加入自衛消防編組演練人員引導等不同動線方式，比較各種情境疏散時間之不同。

三、研究範圍與限制

(一) 研究範圍

本研究範圍係針對：

1. 臺北國際航空站之國際線出境報到大廳（非管制區）一樓
2. 臺北國際航空站之國際線出境外候機室及證照查驗大廳（非管制區）二樓等區域作為研究空間範圍。

(二) 研究限制

本研究評估之避難人員僅限出境報到大廳、出境外候機室及證照查驗大廳之不特定人員。

四、研究方法

- (一) 文獻回顧探討法。
- (二) 利用 FDS 及 Pathfinder 避難軟體模擬驗證法。

貳、文獻探討

一、國內機場航空站簡介

機場（Aerodrome）¹同民用航空法所稱之「航空站」，劃定之水陸區域，包括相關建築物、設施及裝備，該區域之全部或部分供航空器起飛、降落及地面活動。依據交通部民用航空局所屬航空站組織通則，民航局所屬之航空站依航線種類、航機起降架次、客貨運量等之多寡，分為甲等、乙等、丙等及丁等航空站，臺北國際航空站屬於甲等站，年出入旅客達 400 萬人次以上，頗具研究價值。

¹ 交通部民用航空局，《民用機場設計暨運作規範》，2017 年 3 月。

二、機場航廈之功能及型式介紹²

(一) 機場航廈主要有以下三項功能：

1. 進行旅客及行李之處理。
2. 提供不同運具間之轉乘需要。
3. 簡化運具轉乘作業。

(二) 機場航廈水平分布配置型式：

1. Liner (線式)
2. Satellite (衛星式)
3. Pier/Finger (指狀式)
4. Transporter (接駁式)
5. Compact Module Unit (組合式)

航廈形式與其防災特性，可見下表³：

項目	航站概念形式				
	線式	衛星式	指狀式	接駁式	組合式
步行距離	當航廈大規模時，轉機旅客步行距離容易過長。	較長，旅客藉由長廊、地下道或電車抵達候機室。	較長，旅客藉由長廊、地下道或電步道抵達登機門。	步行距離較短，多數為小型航廈。	視組合單元而異
旅客避難的可行性	航廈路線較長，到離站旅客分離避難較易施行。	主航廈路線較短，到離站旅客分離避難較難施行。	路線較短，航班巔峰時段，到離站旅客較難實行。	路線較長，航班巔峰時段，到離站旅客較易實行。	視組合單元而異

資料來源：相德威，《國際航廈防火避難評估之研究——以桃園國際機場第一航廈為例》，中國科技大學建築研究所碩士論文，2009年

以臺北國際航空站為例，其屬於中小型機場航廈，故航廈採取水平長形建築方式，飛機可直接停靠於航廈前方，可將旅客在機場報到後至登機門之距離縮短，即前文所提之線式水平式配置形式。若未來運量持續增加，線式航廈可往水平兩側繼續擴建航廈，但會造成航廈來往路線延長，而使旅客步行距離過長，增加避難時間。

² 交通部民用航空局，《航空運輸專論》，2012年4月。

³ 相德威，《國際航廈防火避難評估之研究——以桃園國際機場第一航廈為例》，中國科技大學建築研究所碩士論文，2009年。

三、機場航廈火災特性

(一) 機場航廈的火災特性如下：

1. 盧育晟文獻提及⁴因航廈屬大型空間，面積廣大且常為挑高狀態，若挑高處無設置區劃，則造成距離越高越遠處，較易受到濃煙擴張影響。
2. 因航廈內有商業性服務行為，故商店類、美食類等商店繁多，且該類商店可燃物眾多，火載量高，一但完全燃燒，會形成高溫灼熱之狀態，造成搶救不易之情形。
3. 航廈內來往之人員，不僅對於環境不熟悉，還可能是外籍人士，在遭遇火災時，可能因語言不通之故，無法冷靜進行逃生動作，延長避難安全時間，造成增加受困火場的危險性。

(二) 機場航廈火災案例：

針對文獻資料整理國內外航廈火災案例製表如下：

表 2 國內外航廈火災案例一覽表

時間	機場	發生地點	原因	現場狀況
1973/12/3	法國 ORLY 機場	地下 2 樓變電室	電氣因素	濃煙及火焰經維修管進入 1F 及 2F，並因煙囪效應將濃煙散播至 5F
1993	台灣高雄小港機場	餐廳	餐廳起火	大量濃煙
		辦公室	女廁起火	煙味產生
		出境大廳	女廁起火	濃煙密佈
		輸送帶	施工焊接引起垃圾起火	輕微煙霧
		關棧旁	男廁垃圾桶燃燒	輕微煙霧
		免稅商店旁	廁所垃圾桶燃燒	輕微煙霧
1994	台灣桃園國際機場	地下室	空調系統焊接引起	煙味產生
		行政大樓(地下)	電機房焊接不慎	濃煙密佈

⁴ 盧育晟，《大型空間煙控危險模擬研究——以桃園國際機場第一航廈改善工程專案》國立臺北科技大學，2009年6月。

時間	機場	發生地點	原因	現場狀況
		室)		
		管制區北端地下室	電氣因素	輕微煙霧
		三樓咖啡廳	電氣因素	輕微煙霧
1996/4/11	德國 DUSSELDORF 機場	航廈一至二樓間 入境區花店	裝修工程焊接不慎	濃煙及火經通風管路散播 多處，蔓延整座入境大廳
2007	印尼 POLONIA 機場	大廳二樓	電氣因素	大廳遭燒毀
2008	香港 赤臘角機場	客運大樓航天廣場 4 樓	防漏工程不慎引 燃防漏漆油	產生明火及濃煙
2008	越南胡志明市 新山一機場	貴賓候機室	電線短路	大量濃煙且火勢蔓延
2009/1/22	澳洲 PERTH 機場	機場候客大廳	菸蒂引燃堆積雜 物	大量濃煙
2010/9/16	台灣桃園 國際機場	地下 2 樓變電室	電氣因素	大量濃煙
2012/5/9	台灣桃園 國際機場	移民署拘留室	風扇機身過熱	輕微煙霧
2017/11/20	台灣桃園 國際機場	候機室雜物間	電瓶充電走火	大量濃煙
2018/7/31	台灣桃園 國際機場	工程廢棄物暫置 區	菸蒂引燃廢棄雜 物	輕微煙霧
2019/1/31	台灣台北 松山機場	第 2 航廈出口前	人為縱火	機車坐墊遭燒毀

資料來源：本研究整理

從國內外的機場航廈火災案例可得知，以發生地點的部分來分析，在公共空間區域所佔的發生火災比例較高；而以發生原因的部分來分析，電氣因素及施工不慎所佔的比例最高，可以得知除了基礎的電氣設施維護宣導以外，航廈工程施工人員人為因素也是需要特別注意的，應特別注意施工時的防火管理制度，以免因為管理疏失或是人為不慎而造成災害。

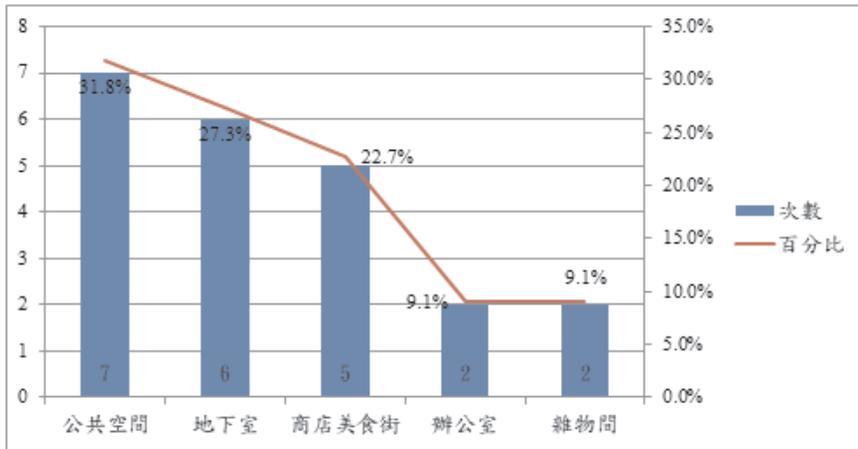


圖 1 航廈火警地點次數長條圖

資料來源：本研究整理

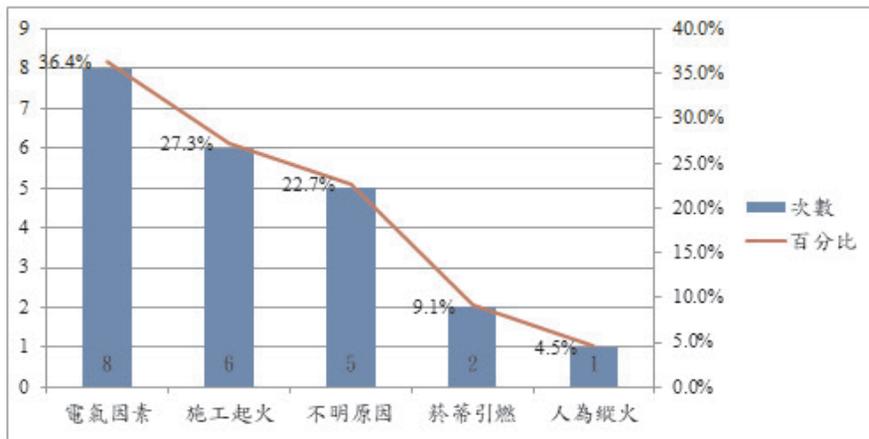


圖 2 航廈火警成因次數長條圖

資料來源：本研究整理

四、機場航廈之防火避難設施及消防設備

⁵國內關於機場航空站防火避難設施及消防設備相關規定與規範：

⁵ 陳瑞陽，《機場航廈建築物防火避難動線規劃之驗證研究——以中部國際機場航廈為例》中華科技大學，2012年。

(一) 建築技術規則部分：

表 3 臺北國際航空站內部設施依建築技術規則檢討表

條號	內容	適用範圍	檢討結果
第 70 條	防火構造之建築物，其主要構造應具規定之防火時效	柱、樑、承重牆壁、樓地板及屋頂	符合規定
第 76 條	防火門窗其構造規定	防火門及防火窗	符合規定
第 79 條	防火構造建築物之防火區劃規定	防火構造建築物總樓地板面積	符合規定
第 79 條之 2	防火構造建築物之垂直防火區劃規定	挑空部分、昇降階梯間、安全梯之樓梯間、昇降機道、垂直貫穿樓板之管道間	符合規定
第 79 條之 3	防火構造建築物之防止延燒上層規定	樓地板突出與樓板交接處	符合規定
第 79 條之 4	防火構造建築物之外牆防火時效規定	防火構造建築物之外牆	符合規定
第 85 條	貫穿防火區劃之防火時效規定	貫穿防火區劃牆壁或樓地板之風管	符合規定
第 87 條	無窗戶居室之防火區劃規定	無窗戶居室	符合規定
第 88 條	建築物之內部裝修材料規定	內部裝修材料	符合規定
第 90 條	直通樓梯於避難層開向屋外之出入口規定	直通樓梯於避難層	符合規定
第 92 條	走廊之設置規定	走廊	符合規定
第 93 條 第 2 款	居室之任一點至樓梯口之步行距離規定	各樓層	性能設計
第 94 條	避難層自樓梯口至屋外出入口之步行距離規定	避難層	性能設計
第 95 條	各該層設置二座以上之直通樓梯達避難層或地面之規定	避難層以外之各樓層	符合規定
第 100 條	排煙設備之設置規定	各樓層	符合規定
第 101 條	排煙設備之構造規定	排煙設備構造	符合規定
第 108 條	緊急進口之設置規定	二層以上第十層以下之各樓層	符合規定
第 109 條	緊急進口之構造規定	緊急進口構造	符合規定

資料來源：建築技術規則

(二) 各類場所消防安全設備設置標準部分：

表 4 臺北國際航空站檢討消防安全設備設置一覽表

條號	內容	適用情形	檢討結果
第 12 條	各類場所用途分類	乙類：飛機場大廈	符合規定
第 14 條	滅火器設置	達應設置標準	符合規定
第 15 條	室內消防栓設備設置	達應設置標準	符合規定
第 16 條	室外消防栓設備設置	達應設置標準	符合規定
第 17 條	自動撒水設備設置	達應設置標準	符合規定
第 18 條	簡易自動滅火設備設置	達應設置標準	符合規定
第 19 條	火警自動警報設備設置	達應設置標準	符合規定
第 20 條	手動報警設備設置	達應設置標準	符合規定
第 21 條	瓦斯漏氣火警自動警報設備設置	達應設置標準	符合規定
第 22 條	緊急廣播設備設置	達應設置標準	符合規定
第 23 條	標示設備設置	達應設置標準	符合規定
第 24 條	緊急照明設備設置	達應設置標準	符合規定
第 25 條	避難器具設備設置	達應設置標準	符合規定
第 27 條	消防專用蓄水池設置	達應設置標準	符合規定
第 28 條	排煙設備設置	達應設置標準	符合規定

資料來源：各類場所消防安全設備設置標準

五、火場人員避難逃生特性

從文獻中得知，國內外學者對於發生災難時人員所進行的各種逃生行為均有些許不同的解析，尤其避難人員在面對從未見過的災難現場時，常會造成心理恐慌，而做出不同於日常之非理性逃生行為，根據文獻指出人員避難時常會出現以下幾點特性⁶：

1. 歸巢特性。
2. 從眾特性。
3. 鴛鳥特性。
4. 向光特性。
5. 左轉特性。

⁶ 黃嵩雲，《可擴充建築物火災避難疏散行為模擬軟體之雛型開發》國立臺北科技大學，2018年8月。

6. 習慣特性。
7. 潛力特性。
8. 從近特性。
9. 開闊特性。
10. 避險特性。
11. 理智特性。

機場內部人員除了工作人員以外，多為旅客、接機親友等不特定人士出入，若在機場航廈內部遭遇災害時，必定會造成心理恐慌和極大壓力，進而可能做出非理性逃生行為，影響逃生行為，增加避難時間。故航廈公共空間內之避難疏散標示應明確易辨識，加上機場工作人員平時即必須熟悉自衛消防編組任務，方能在成災的第一時間進行疏散引導旅客民眾。

因機場內部有管制區與非管制區，旅客於部分區域不得任意行走移動，在發生災害時也可能因管制之原因，延誤避難逃生時機，延長避難時間，其避難動線規畫原則為：

- (一) 管制區域人員避難至避難層後往停機坪方向，俾利航空站國境管制作業。
- (二) 非管制區域人員避難至避難層後則往臺北國際航空站馬路側方向為原則。

此種避難動線規畫方式乃是在證照查驗大廳前後之人員不可跨區避難，以利國境查驗人員控管，但會造成避難動線受到限制，減少人員分流疏散之彈性。

機場航廈中，旅客常使用行李推車、攜帶手提行李，與平常未攜帶行李之人員，其空間之占用與行為模式並不盡相同，因此在進行避難模擬時應考量旅客因攜帶行李時其行走特性之不同。根據盧怡雯在機場旅客大廈人流模式之研究中所觀測資料如下表：

表 5 不同區域旅客密度、速率平均數比較表

區域	平均旅客密度 (人數/平方公尺)	旅客平均速率 (公尺/分鐘)
出境大廳走道	0.0558	0.7852
商業空間走道	0.0480	1.4252
行李提領區走道	0.0542	1.2459
入境大廳走道	0.0356	1.2253

資料來源：盧怡雯，2008

出境報到大廳及出境外候機室等均屬於非特別管制之公共空間，人流複雜，幾乎均是非特定人員，且還包含了送機之親友，人員眾多，發生災害時避難逃生

路線以手扶梯、樓梯、逃生門及電梯等手段，並以航廈戶外馬路、停車場等為避難目標來進行避難。

六、機場管理安全機制

機場出入人員多數屬於非特定人員，對於機場內部構造及動線均不熟悉，一旦發生災難，可能發生擁擠、方向迷失等情形，造成拉長避難時間，擴大人員傷亡的狀況，當災害發生時，若有熟悉現場環境之工作人員(如⁷航空站消防隊)出勤協助不熟悉環境之非特定人員進行引導避難，想必得以減少人潮混亂之情形，並進一步使得避難逃生可順利進行，減少整體避難時間。

各類場所依消防法第 13 條及其施行細則第 15 條有關消防防護計畫中自衛消防編組之規範，應擬定人員自衛消防編組訓練計畫，確保自衛消防編組應變能力，以因應火災危害，強化場所整體安全性，訓練計畫大綱如下：

- (一) 通報訓練：假設災害發生時，應採取之通報連絡作為，包含場所內之人員通報及消防機關之通報等。
- (二) 滅火訓練：火災初期滅火要領，及進行滅火器、室內消防栓等之實際放射操作。
- (三) 避難引導訓練：假設災害發生時，應採取之應變作為，包含避難指示、避難引導人員之配置及疏散內部收容人員等。
- (四) 綜合演練：假設災害發生時，應採取之各項應變作為，包含狀況假設、起火地點之確認、通報連絡、初期滅火、形成區劃、避難引導、緊急救護及指揮聯繫等整體之災害初期應變措施等。

在臺北國際航空站火災緊急應變處理作業程序⁸中規範了以下遭遇火災時航空站作業人員所應實施之程序作為：

- (一) 災情之蒐集
- (二) 通訊之確保
- (三) 災害通報體系之執行
- (四) 災害應變小組之開設
- (五) 搜救
- (六) 滅火
- (七) 緊急醫療救護

⁷ 陳宏任，《交通部機場消防隊人力建置之研究》國立交通大學，2012 年 7 月。

⁸ 交通部民用航空局，《臺北國際航空站火災緊急應變處理作業程序》，2015 年 1 月 26 日。

- (八) 緊急運送
- (九) 避難收容
- (十) 其他之緊急應變
- (十一) 緊急應變後續處置
- (十二) 災後復原重建
- (十三) 建築物消防

七、避難動態引導系統

現行消防設備多以火災發生後的被動式應變為主，且避難標示設備沒有與火警自動警報設備連動，無法更有效率地將人員進行疏散，如果能利用極早期火災預警系統，整合大數據、雲端計算及人工智慧來進行火災的預警、監控及管理，可立即偵測出火源位置，通知相關人員採行應變措施，減少火災發生造成之財物損失及人員傷亡。

另外在瑞德消防雜誌⁹中提出，援引 EU-FP7 研究數據並轉換為火災疏散模擬軟體 PATHFINDER 模擬參數，並運用於大型空間情境模擬驗證下，可得出以下結果：

- (一) 動態導引系統有效引導人員前往安全出口，有效疏散人數較傳統號誌為多。
- (二) 傳統靜態號誌可能導致人員誤闖火場，傷亡數較動態引導系統為多。
- (三) 透過多次模擬累積數據，可建立更加完善的火場避難疏散計畫。

且在 EU-FP7¹⁰中針對大型車站所分別進行之靜態與動態的逃生指示實驗報告中指出，在緊急情況下僅有 38%的民眾會注意到避難逃生標示，但若採用動態引導系統則可有效將注意力提高至 76%，有效提昇一倍注意力。動態引導系統採用閃爍光流設計，讓民眾能快速辨識逃生方向，大幅縮短逃生疏散時間，有效降低人員傷亡情形。舉例來說，當火災發生時火災警報器及受信總機會自動啟動緊急疏散引導模式運算，藉由模擬運算結果進行安全路徑的疏散引導，避免避難人員誤往火場方向，且可藉由封閉部分出口及主機的手動操作模式，協助機場消防編組人員進行機場的避難引導工作。此種智慧避難引導逃生系統，不僅適用於大面積之機場航廈，也非常適於大型公共場所及各種多用途複合性之建築物的緊急避難疏散逃生。

⁹ 瑞德消防雜誌，《逃出生天：大型購物中心地下停車場疏散模擬研究》，2018年3月17日。

¹⁰ 瑞德消防雜誌，《機場緊急疏散危機(下)：動態導引為公共疏散新趨勢》，2018年7月4日。

參、研究工具及方法介紹

一、電腦軟體（FDS）運行說明

本研究所使用之電腦軟體 Fire Dynamics Simulator，簡稱 FDS，為公開免費使用之軟體，因此無授權之疑慮，此軟體係由美國國家標準暨技術研究院（National Institute of Standard and Technology, NIST）所研發，為計算流體力學（Computational Fluid Dynamics, CFD）的一種火災場模式電腦模擬軟體，軟體的核心是 Navier-Stokes 方程組，用於解析熱驅動的低速流場，著重在煙流及熱傳遞的現象，同時也可模擬撒水頭動作，計算撒水後火場的變化。FDS 主要運行方式是以大渦流模擬法（Large Eddy Simulation, LES）為基礎的 CFD 火災模擬軟體，並結合數據後處理軟體 Smokeview 將計算之結果透過 Open GL 繪圖軟體以圖形 2D 或 3D 動畫呈現，軟體架構如圖所示，本研究以 FDS 6 為模擬工具。

二、避難驗證模擬軟體 PATHFINDER¹¹介紹

美國 Thunderhead engineering 公司發行之動態避難分析模式性能驗證軟體 Pathfinder，係基於先進的運動模擬架構並可產出高質量的 3D 動畫效果，軟體內部強大的模擬引擎可對人員及其動態行為進行靈活控制，可以快速提供可靠的運動模擬，以提供更好的模擬避難結果。Pathfinder 包括視窗化的用戶界面和具有強大的導入選項，與其他模擬軟體相比，更加容易使用上手，並可更快地進行評估疏散模型且生成更逼真的動畫 3D 圖形。

Pathfinder 支援兩種主要模擬模式，分成 Steering 模擬模式及 SFPE 模式，在 Steering 模式下，模擬避難人員在前進至目標出入口的過程中，因採用了路徑規畫指引及碰撞閃避機制，人員會避開佔用逃生路線人員及障礙物，不會有人員互相重疊之現象，且若當設定逃生路線上人員流量已超過設定上限時，系統將即時更新逃生路徑，供模擬人員進行避難，此一模式較符合現實災害情境之逃生情況，故目前國內研究常使用此種模式進行模擬，本研究需模擬自編人員引導，故選用此軟體。

三、常用避難驗證模擬軟體比較

文獻研究指出目前國內常用之避難驗證模擬軟體有兩種類型，第一種為模擬火場火焰及煙流軟體，常見使用軟體為美國 NIST 機構所開發之 FDS 軟體；第二

¹¹ Pathfinder 官方網站，<https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>，2019 年 6 月。

種為模擬人員流動避難軟體¹²，常見軟體為 BULIDING EXODUS、SIMULEX、EVAC 及本研究所使用之 PATHFINDER。

張邦立（2012）¹³將上述模擬人員流動避難軟體特點整理如下表：

表 6 避難驗證模擬軟體比較表

軟體名稱	BULIDING EXODUS	SIMULEX	EVAC	PATHFINDER
開發軟體單位	英國 Greenwich 大學之 FSEG 防火安全工程小組	英國愛丁堡大學	美國 NIST (National Institute of Standards and Technology) 機構	美國 Thunderhead engineering 公司
主要特點	<ol style="list-style-type: none"> 1.可模擬避難時人與人之間的互相影響。 2.分析火場空間配置所造成的影響。 3.以 3D 立體畫面呈現人員避難情形。 4.視窗介面，使用簡單易學，模擬速度快。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.避難人員依性別有不同體型區分。 2.可考慮個體之超越或倒退等行為。 3.可模擬出口處人群阻塞的情形。 4.可匯入 AUTOCAD 之圖形檔資料建立模型。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.免費軟體，可於官方網站下載。 2.可搭配 FDS 一併分析火場煙熱流現象。 3.避難速度可分成五類人員（男性、女性、成人、兒童、老人）個別設定步速。 4.可設定避難人員對於開口的熟悉度，或指定開口避難。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.全視窗介面，操作簡單。 2.模擬引擎強大，快速得到成果。 3.可設定模擬人員性別、年紀、速度、密度、逃生路線等。 4.人員配置，可分為指定分配或是均勻分配。 5.可加入電梯作為情境模擬項目。

資料來源：張邦立，《大規模地下空間避難弱者之情境模擬及避難疏散策略》內政部建築研究所，2012 年 12 月。

肆、機場航廈避難逃生性能分析

因航廈內部為了有效控管人員進出，故均會有管制區及非管制區的劃分。此種劃分模式，導致臺北國際航空站第一航廈的避難動線受到相當大的限制，但藉由自衛消防編組人員之引導，可將避難疏散人員引導至管制區域之出口，達到有

¹² 陳芳米，《捷運地下交會場站與周邊商業設施火災模擬與避難安全分析——以台北車站為例》中央警察大學，2014 年 6 月。

¹³ 張邦立，《大規模地下空間避難弱者之情境模擬及避難疏散策略》內政部建築研究所，2012 年 12 月。

效分流。

一、建築物概要—以臺北國際航空站為例

臺北國際航空站松山機場 (Taipei Songshan Airport) 之 IATA 代碼：TSA，因其位於臺北市松山區，故較通俗之名稱為松山機場，也稱作臺北機場，於 1936 年啟用，為當時臺灣首座機場，並於民國三十九年正式成立「交通部民用航空局台北航空站」，為民航局在台設立之第一個航站，是我國國內民航的空運樞紐。臺北國際航空站屬於 24 小時作業的機場，機場場區座落於臺北市中心的東北側，南連敦化北路終點、北接基隆河岸，並以民權東路及民族東路與市區相隔，總面積約為 213 公頃左右，設有東西向的跑道一條，可供波音 B777-200 及空中巴士 A333 等機型進行起降。機場內的設施包含長 2,605 公尺公尺的跑道、288,000 平方公尺的停機坪、固定翼 43 個加直昇機 15 個的停機位及航站大廈、8 座供旅客上下機的空橋、4 座維修棚廠。

二、模擬目的及流程

本研究針對臺北國際航空站之國際線出境報到大廳及出境外候機室及證照查驗大廳建置模型，並利用 FDS 搭配 Pathfinder 軟體模擬火災氣流流動與火羽 (Fire Plume) 以及熱煙對人員避難疏散路徑之安全進行評估。

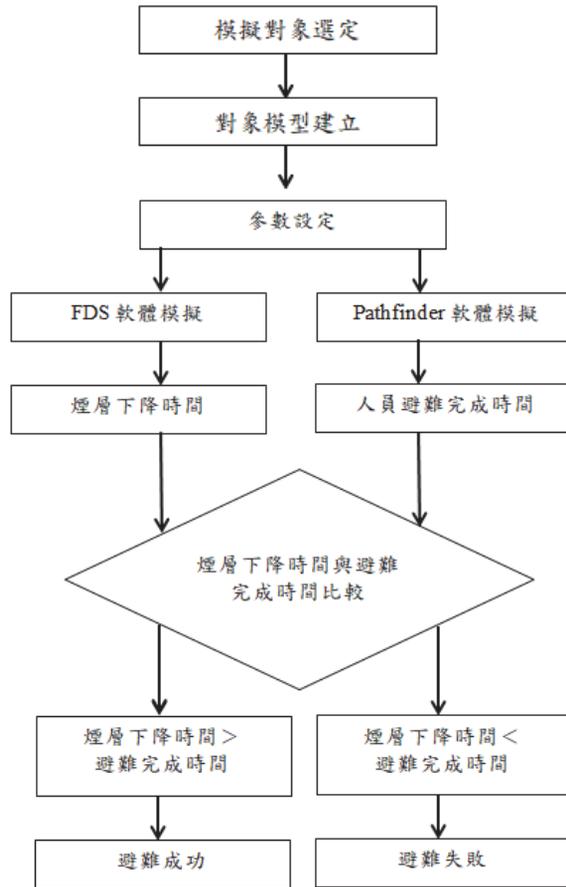


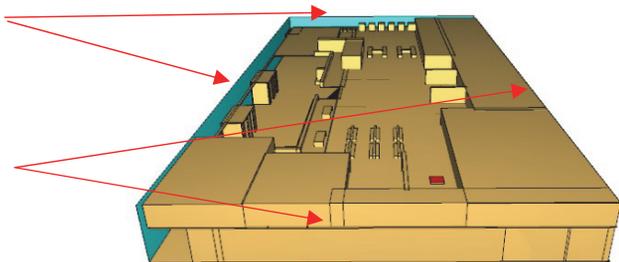
圖 3 FDS 及 PATHFINDER 軟體模擬流程圖

由文獻得知，人員於火災初期時之逃生時間若小於煙層下降時間，則代表人員安全逃生，故在軟體模擬分析過程中，人員是否安全避難逃生之基準，可利用上述兩種時間比較得知。

三、FDS 模型及參數設定說明

本模型建立範圍係針對：臺北國際航空站之國際線出境報到大廳（非管制區）、出境外候機室（非管制區）等區域作為模型空間建立範圍。初步建立模型之大小，約為長 116m x 寬 60m x 高 10m，均勻格點方式，網格尺寸 0.5 m，詳細資料如下表：

表 7 FDS 模擬設定參數

格點說明	模型長寬高：116m×60m×10m 格點大小：0.5m×0.5m×0.5m 格點數目：556,800 個
起始溫度	30°C，模型參數：TMPA=30
燃燒種類	煤油，模型參數：&REAC ID='KEROSENE'
模型邊界	混凝土，模型參數：&MATL ID='CONCRETE'
火源設定	可燃物：沙發起火 火源面積：2m×2m 火源成長係數 α (kW/s ²)：0.04689 (快速) 火源達最大熱釋放率推算時間 T(sec)：136.6s 火載量：3500kW 模型參數：HRRPUA=875, TAU_Q= -136.6
火源材質	ID='KEROSENE' FYI='KEROSENE', C_14 H_30, Tewarson, SFPE Handbook' MW_FUEL=198.0 NU_O2=21.5 NU_CO2=14.0 NU_H2O=15.0 EPUMO2=12700.0 CO_TIELD=0.012 SOOT_TIELD=0.042 /
邊界設定	邊界 OPEN  邊界 CLOES

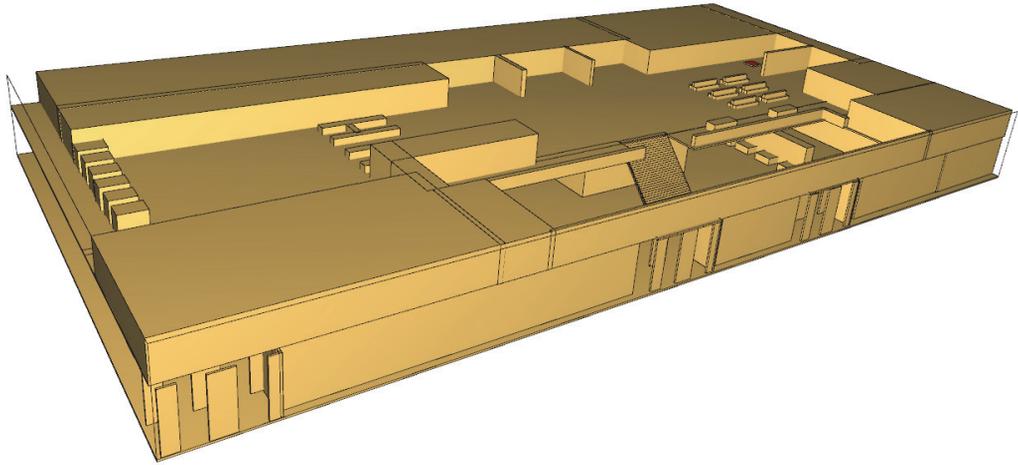


圖 4 FDS 航廈模型建立俯視圖

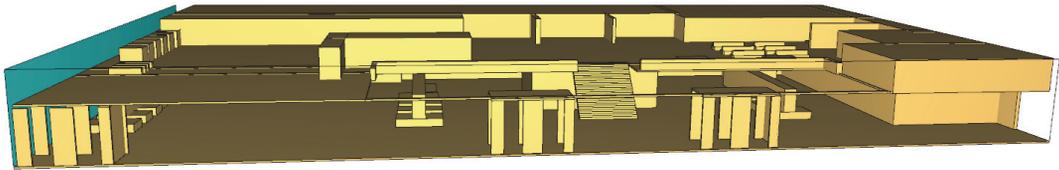


圖 5 FDS 航廈模型建立側視圖

因先前文獻探討時發現，航廈最可能發生火災區域為公共區域，而最可能發生原因以電氣因素及施工不慎最常見，但因機場裝修材料均為耐燃三級以上且使用防焰材質之沙發布等因素，故本研究假設火源在航廈 1 樓出境報到大廳，故選擇引火能量較高之施工不慎方式引發火災，較符合現實情況，並造成火勢快速發展，最大熱釋放率設定為 3.5MW 如圖 6 所示，航廈內部並設有防煙垂壁，研究範圍之航廈 2 樓防煙垂壁設置情形如圖 7。

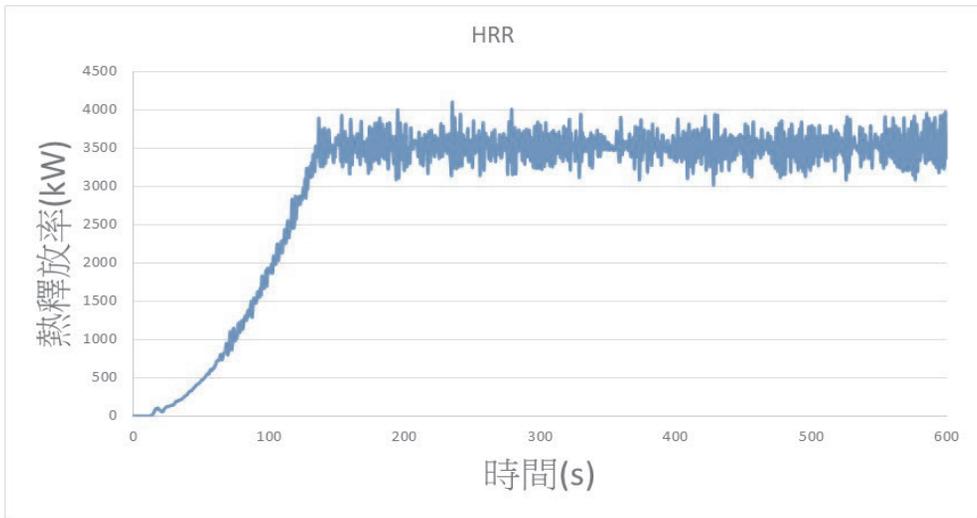


圖 6 熱釋放率曲線圖

資料來源：FDS 軟體

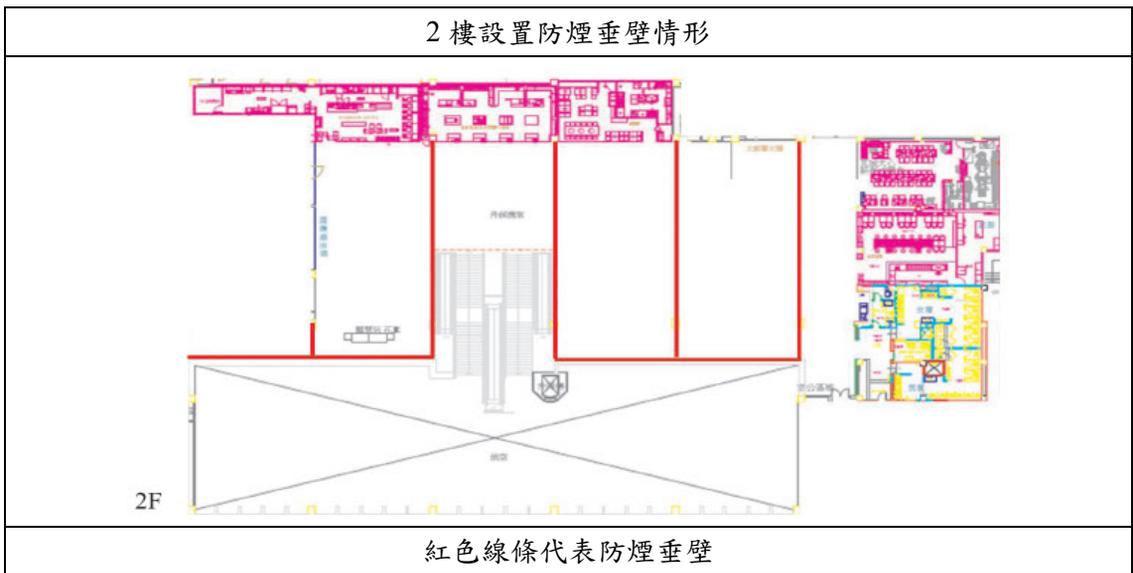


圖 7 防煙垂壁設置情形

資料來源：交通部民用航空局臺北國際航空站特種建築物防災計畫

四、模擬避難情境設定及參數說明

為能夠更為準確的計算航廈內所收容之人數，故整理臺北國際航空站每日平均班次、每日平均人數及一小時內起降最大班次等數據做為基礎，並與文獻數據比較分析，期望可得到與現實情況相近之人員密度數據。

表 8 臺北國際航空站每日平均班次及每日平均人數

松山機場	起降架次		旅客人數		
	年/月	總架次	每日平均	總人數	每日平均
	107/8	5261	170	596852	19253
	107/9	5033	168	514664	17155
	107/10	4808	155	524470	16918
	107/11	4605	154	486709	16224
	107/12	4675	151	470265	15170
	108/1	4796	155	451915	14578
	108/2	4622	165	458726	16383
	108/3	4791	155	492431	15885
	108/4	5314	177	545268	18176
	108/5	5772	186	605622	19536
	108/6	5624	187	607120	20237
	108/7	5854	189	614232	19814

資料來源：本研究整理

107年8月至108年7月每日平均班次最高189，最低151，差距38班，107年8月至108年7月每日平均旅客人數最高20237，最低14578，差距5659人，增幅大約39%。

表 9 臺北國際航空站每日定期航班次數

	星期日			星期一			星期二			星期三			星期四			星期五			星期六		
	起飛	落地	合計																		
6時			0			0			0			0	1		1			0			0
7時	2		2	1		1	3		3	2		2	1		1	2		2	2		2
8時	1		1	0		0	1		1	0		0	1		1	0		0	0		0
9時	3		3	3		3	2		2	2		2	3		3	3		3	3		3
10時	1	2	3	2	1	3	0	2	2	2	1	3	1	1	2	1	2	3	1	1	2
11時	1	2	3	0	2	2	1	3	4	0	3	3	0	3	3	1	3	4	1	2	3

	星期日			星期一			星期二			星期三			星期四			星期五			星期六		
	起飛	落地	合計																		
12時	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	2	4	1	2	3	2	4	6
13時	2	2	4	4	1	5	2	2	4	4	1	5	3	2	5	2	1	3	4	1	5
14時	2	0	2	2	2	4	2	1	3	2	2	4	2	1	3	2	2	4	2	1	3
15時	0	3	3	0	3	3	1	2	3	1	2	3	1	3	4	1	3	4	1	3	4
16時	3	4	7	2	3	5	2	2	4	2	3	5	3	2	5	2	3	5	2	2	4
17時	2	1	3	2	0	2	1	1	2	2	0	2	1	2	3	3	1	4	1	1	2
18時	2	2	4	1	2	3	2	2	4	1	2	3	2	3	5	2	1	3	1	3	4
19時	1	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	3	1	2	3	1	1	2
20時	2	2	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	4	2	1	3	1	2	3
21時		1	1		1	1		0	0		2	2		1	1		2	2		1	1

資料來源：本研究整理

從上表可知巔峰時間一小時起降為 8 班次航班，以混和艙等座位數計為 1575 個，全經濟艙座位數計為 2015 個，若考量 1 位搭機者有 2 位親友接送機的話，預估人數分別為 $1575 \times 3 = 4725$ ； $2015 \times 3 = 6045$ ，臺北航空站共有 6 個非管制區大廳，面積相加約為 11384m^2 。

而離峰時間一小時起降為 1~2 班次航班，以最大機型 A333 且 2 班次來做計算，混和艙等座位數計為 670 個，全經濟艙座位數計為 800 個，若考量 1 位搭機者有 2 位親友接送機的話，預估人數分別為 $670 \times 3 = 2010$ ； $800 \times 3 = 2400$ ，臺北航空站共有 6 個非管制區大廳，面積相加約為 11384m^2

而在文獻回顧中¹⁴分成三種情況作為 FDS+EVAC 假設之人員密度，

1. 現況：人員密度約為 $0.05 \text{ 人}/\text{m}^2$ 班機一進一出之運量，配上現有空橋數，則為兩台最大型 A333 機型與一台 D 類型機型，其滿載人數為 826 人，總人數除以各大廳面積總和，其人員密度約為 $0.05 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。
2. 極端狀況：人員密度約為 $0.15 \text{ 人}/\text{m}^2$ 空橋數為原則，則為四台最大型 A333 機型與二台 D 類型機型，其滿載人數為 1026 人，總人數除以各大廳面積總和，其人員密度約為 $0.15 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。
3. 模擬最大滿載假設：人員密度約為 $0.26 \text{ 人}/\text{m}^2$ 目前台北航空站可停最大機型 A333 機型，滿載為 313 人，空橋一小時可使用停放之班機為 9 架次，

¹⁴ 交通部民用航空局，《臺北國際航空站特種建築物防災計畫》，2018 年 11 月。

於滿載情境下，總人數除以各大廳面積總和，其人員密度約為 0.26 人/m²。

又根據盧怡雯¹⁵在機場旅客大廈人流模式之研究中所觀測資料中 4 種空間之平均旅客密度加總後再予以平均之密度為 0.0484 人/m²。綜上資料參考，建議可以本研究整理之離峰加入兩名親友，並以最大滿載假設情形之 0.21 人/m² 來作為離峰旅客密度參數假設。

而巔峰旅客密度參數則以本研究整理之巔峰加入兩名親友，並以最大滿載假設情形之 0.53 人/m² 來作為巔峰密度參數假設。

表 10 臺北國際航空站平均旅客密度整理表

(人/m ²)	臺北國際航空站 防災計畫	盧怡雯	離峰加入 2 名 親友計算	巔峰加入 2 名 親友計算
一般狀況	0.05	0.048	0.176 混和艙等	
極端巔峰狀況	0.15			0.415 混和艙等
模擬最大 滿載假設	0.26		0.21 全經濟艙	0.531 全經濟艙

資料來源：本研究整理

避難安全極限設定：

性能式設計近年來多以參考 NFPA 101、SFPE 及紐西蘭設計指南等研究機構所提出之數據，來做為避難人員生命安全之評估基準值，項目包含能見度、溫度、氧氣、一氧化碳等，本研究評估項目如下表：

表 11 避難人員生命安全之評估基準表

類型	安全極限值
煙層高度	不可低於 1.8 公尺
能見度	不能低於 10 公尺
氣體	$O_2 \geq 12\%$ 、 $CO \leq 1400ppm$ 、 $CO_2 \leq 5\%$
熱對流	氣流層溫度 $\leq 60^\circ C$

¹⁵ 同註 7。

(一) 情境設定說明

1. 各情境變數設定：

- (1) 離峰巔峰收容人數改變。
- (2) 動線隨機、動態標誌引導或自編人員引導。
- (3) 火源位置改變 (加入 Worst case)。

依各變數設計之模擬情境流程圖如圖 8。

2. 參數說明：

- (1) 人員分佈：採平均分布；離峰人數 1182 人和巔峰人數 3000 人。
- (2) 人員步行速度：配合航空站為不特定人員，步行速度採 0.8~1.2m/s 隨機分分佈。

航廈內部離峰及巔峰之人員密度及人員移動速度如表 13。

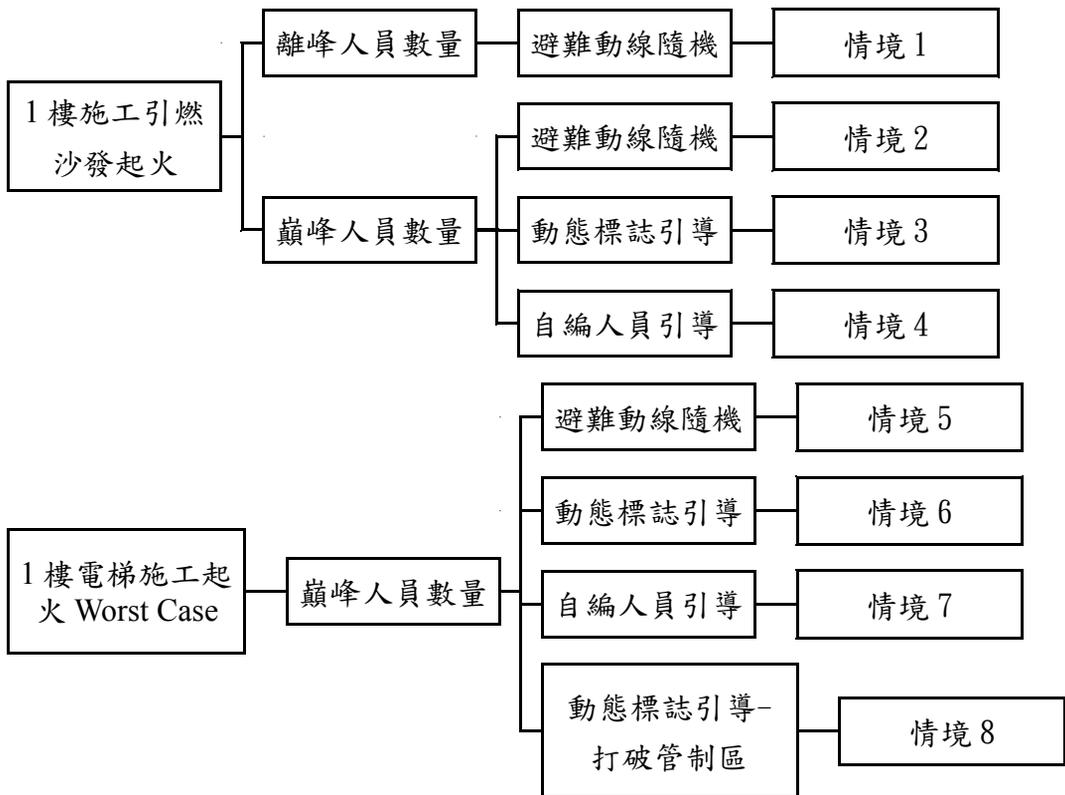


圖 8 模擬情境流程圖

資料來源：本研究整理

表 12 模擬航廈離峰巔峰人數表

模擬範圍	離峰人員密度 0.21(人/m ²)	巔峰人員密度 0.53(人/m ²)	假設步行速度(m/s)
出境報到大廳 (1F)	1182 人	3000 人	0.8~1.2 隨機分佈
外候機室及 證照查驗大廳 (2F)			0.8~1.2 隨機分佈

資料來源：本研究整理

(二) 情境設定避難動線圖

避難動線設定主要分成不特定人員隨機、動態標誌引導或自編人員引導三種模式，且加入離峰、巔峰人員、避難引導方式及火源位置改變等因素，最大差別在於機場航廈有國境管制之特殊考量，造成疏散動線有所限制，在人潮眾多時，如何實施避難引導打破管制區之限制，規劃動線模式如以下情境設定避難動線圖所示：

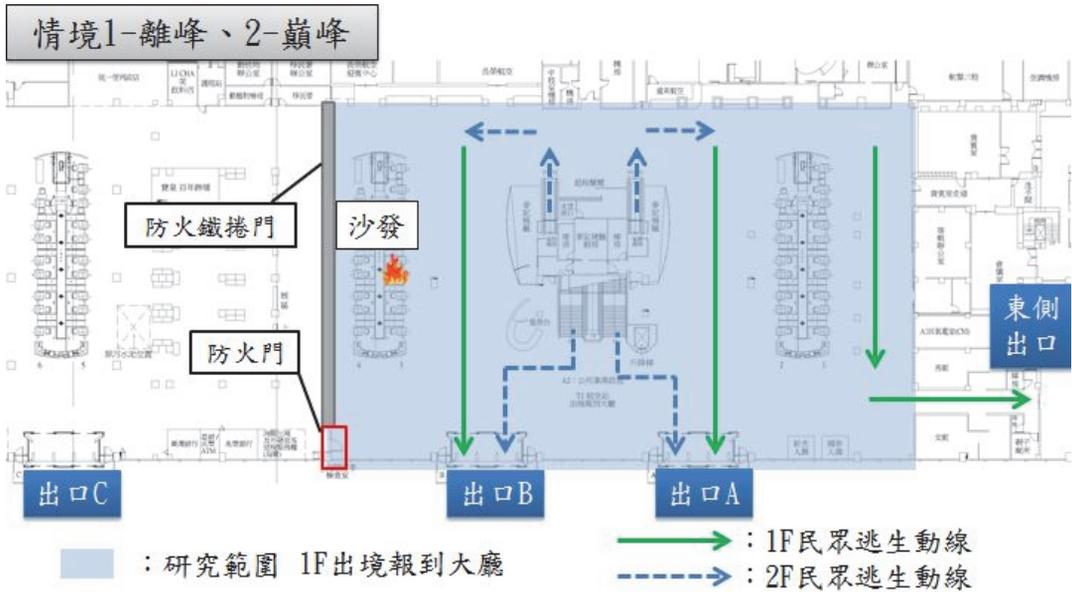
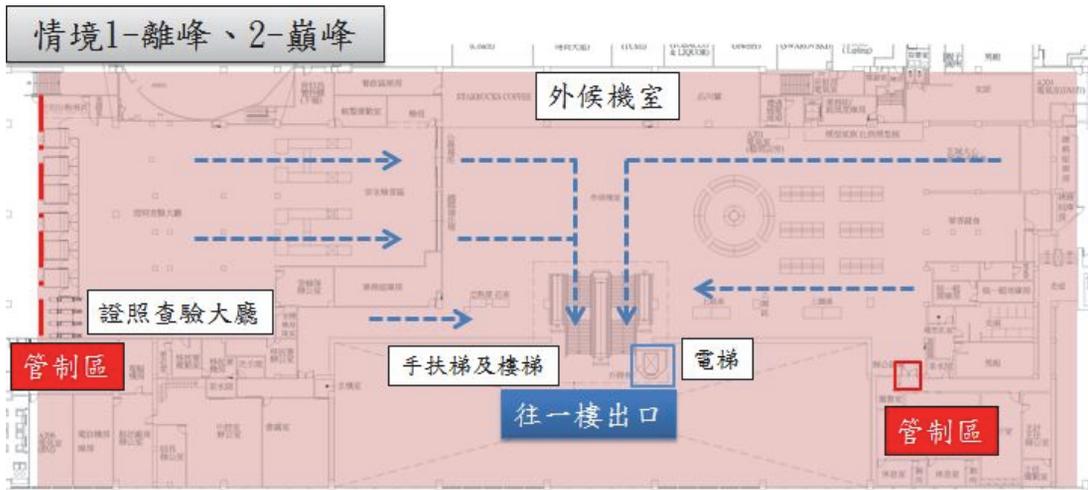


圖 9 情境 1、2 避難疏散 1 樓動線圖

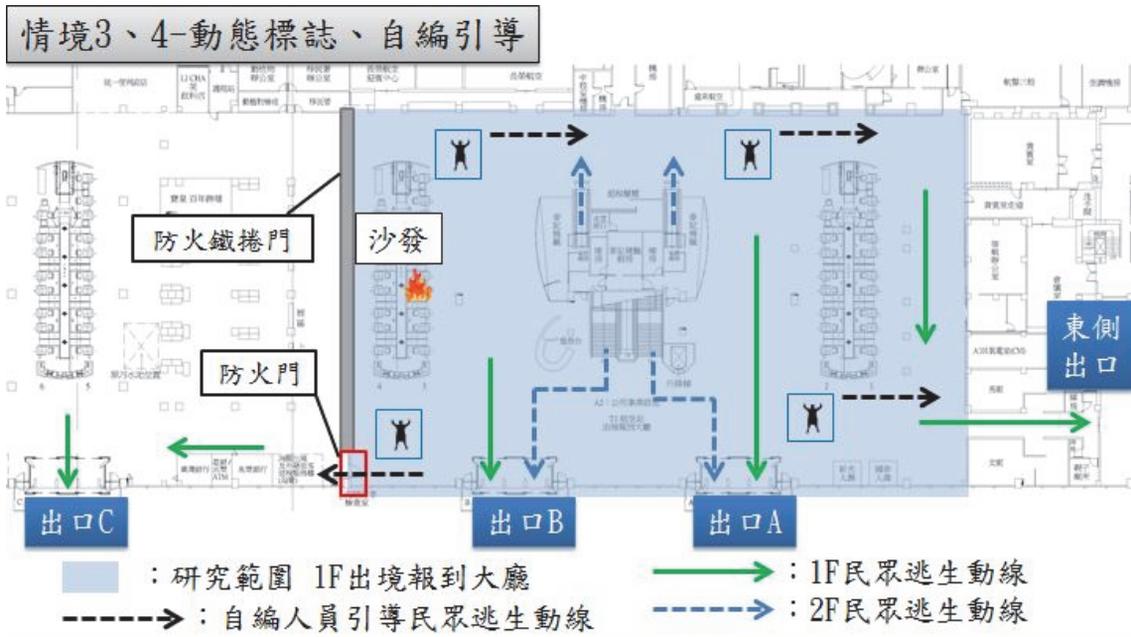
資料來源：本研究整理



■：研究範圍 2F外候機室及證照查驗大廳
 - - - - ->：2F民眾逃生動線

圖 10 情境 1、2 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理



■：研究範圍 1F出境報到大廳
 - - - - ->：自編人員引導民眾逃生動線
 - - - - ->：2F民眾逃生動線
 - - - - ->：1F民眾逃生動線

圖 11 情境 3、4 避難疏散 1 樓動線圖

資料來源：本研究整理

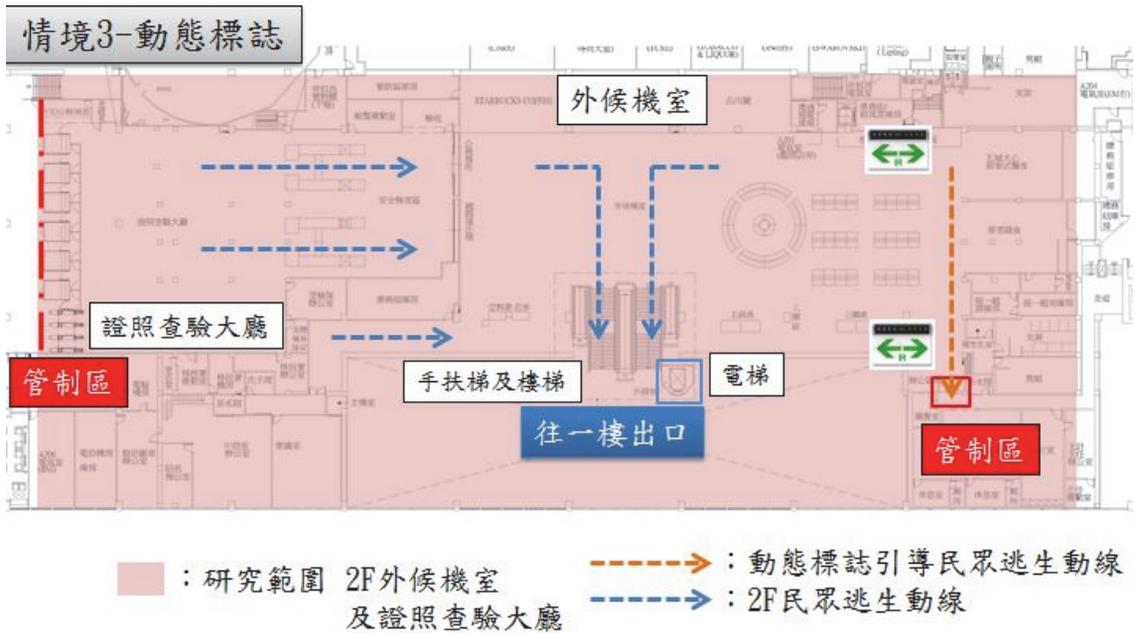


圖 12 情境 3 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理

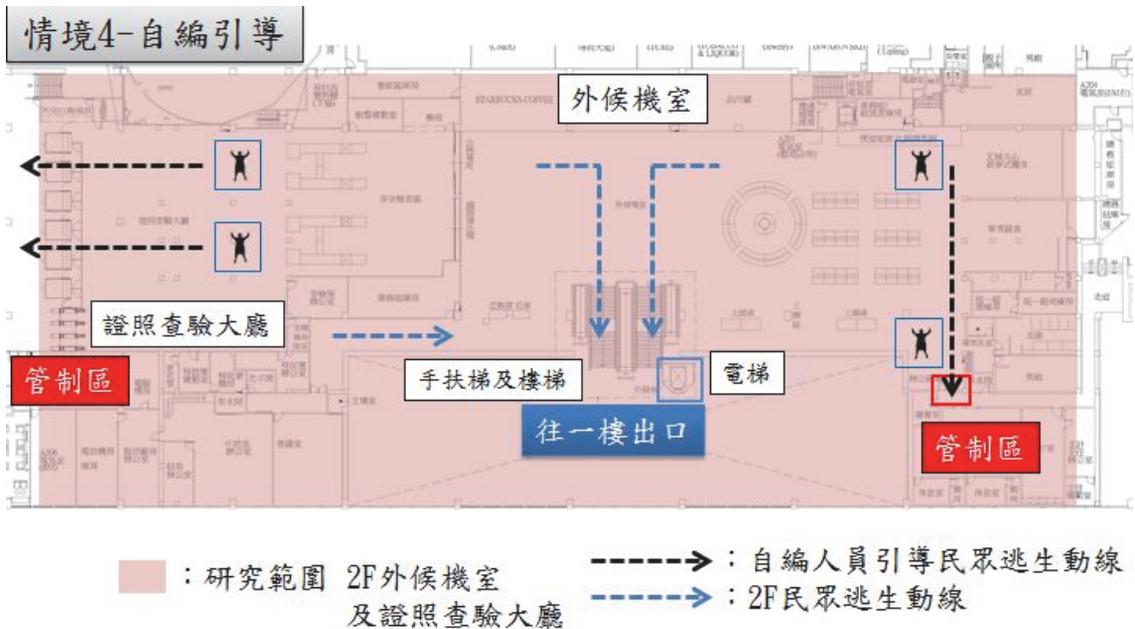


圖 13 情境 4 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理

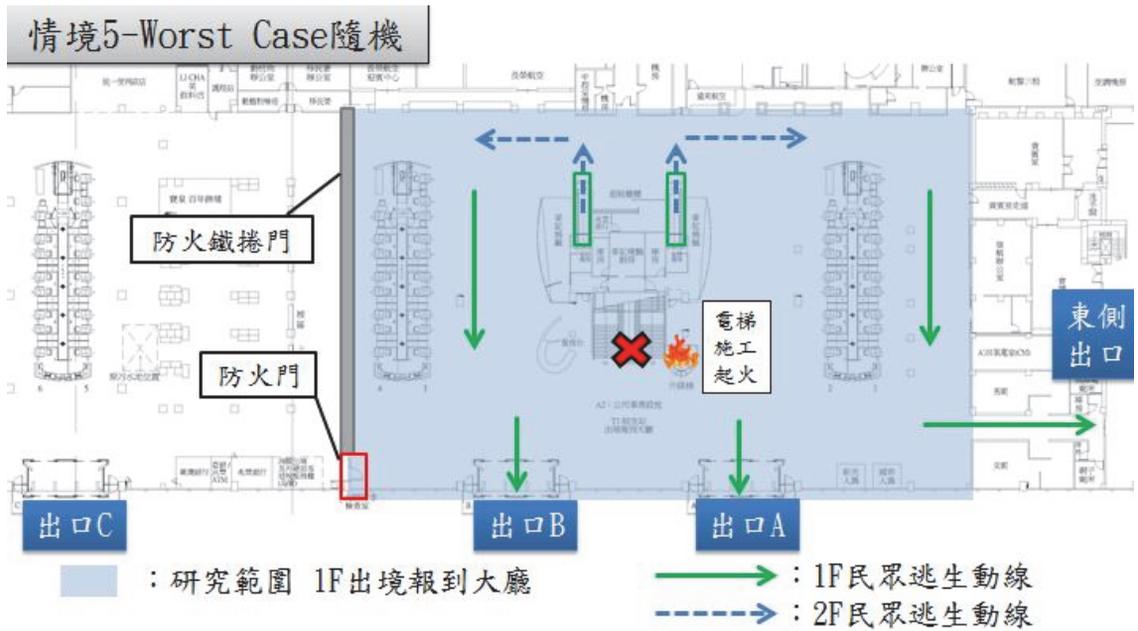


圖 14 情境 5 避難疏散 1 樓動線圖

資料來源：本研究整理

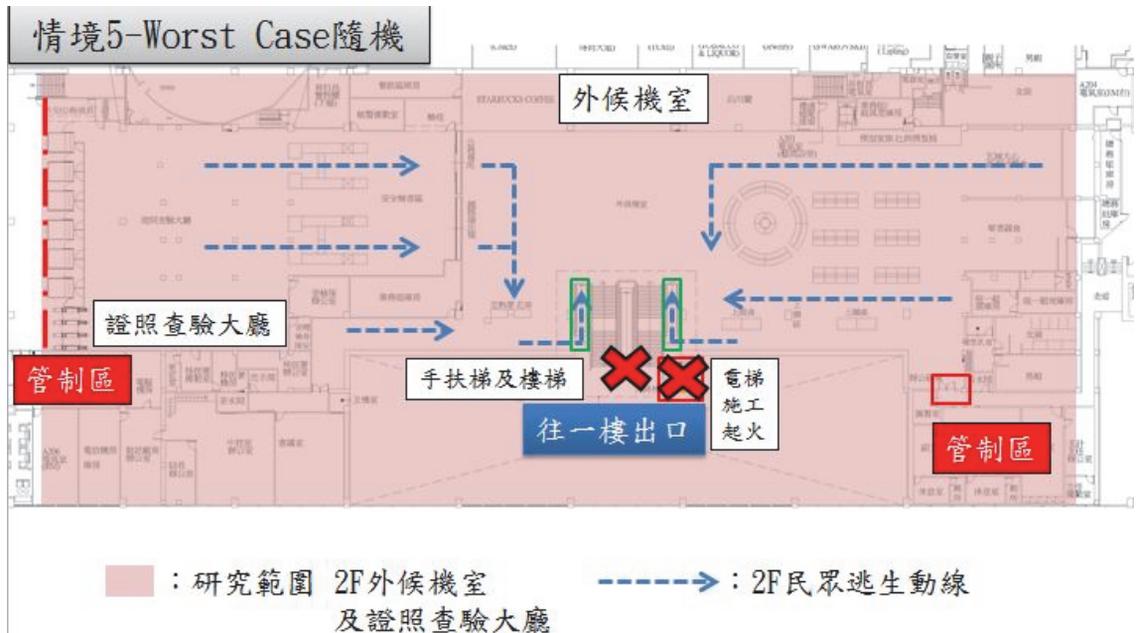


圖 15 情境 5 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理



圖 16 情境 6、7、8 避難疏散 1 樓動線圖

資料來源：本研究整理

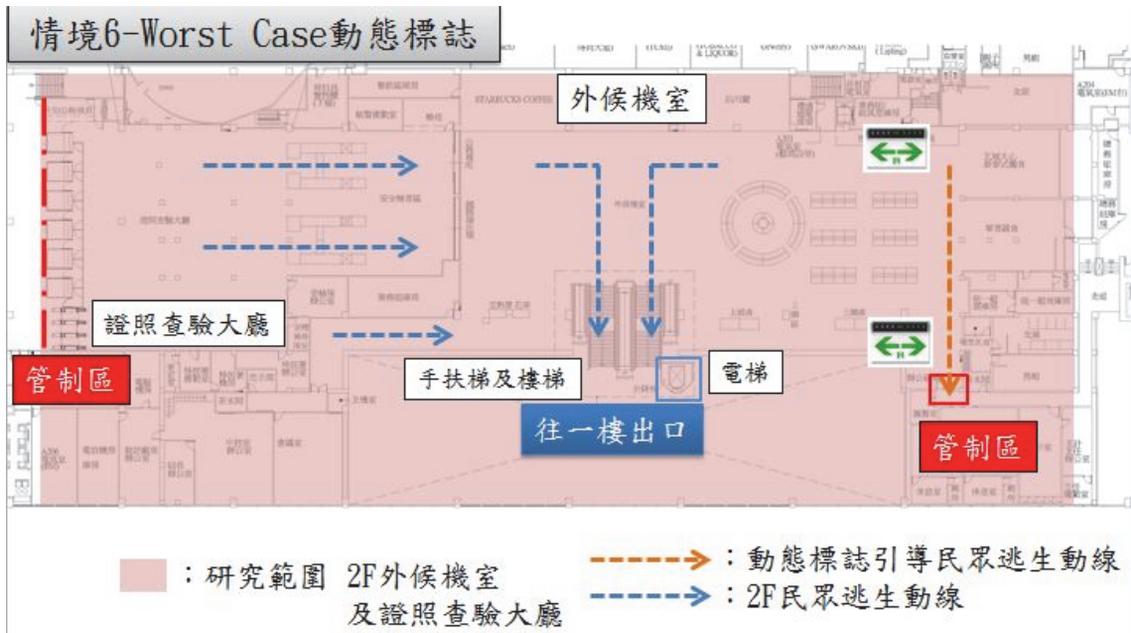


圖 17 情境 6 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理

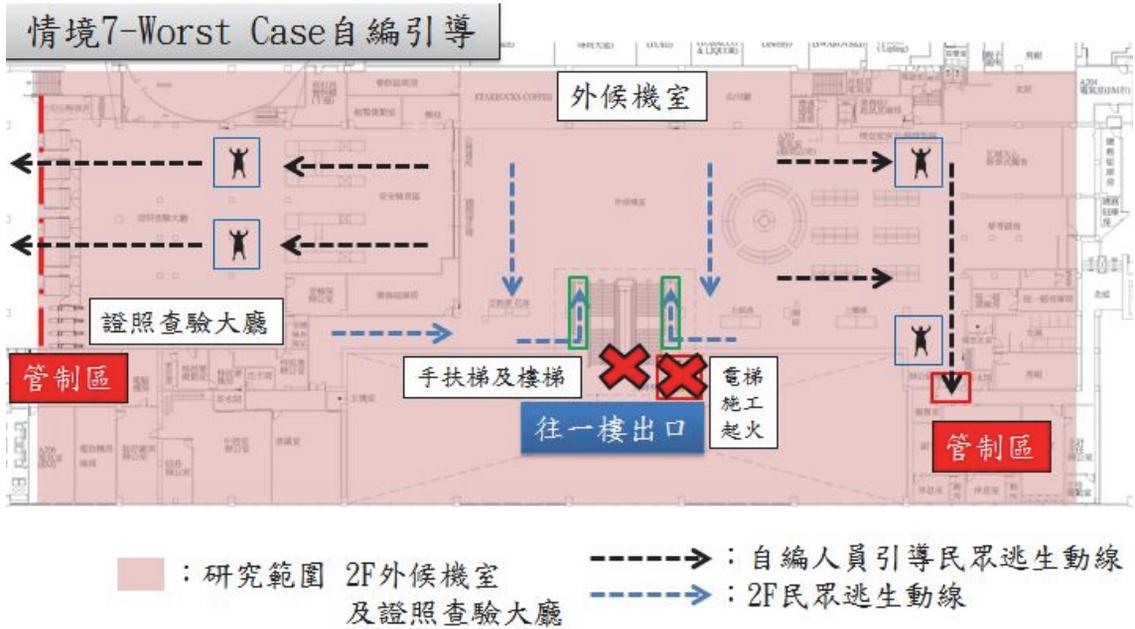


圖 18 情境 7 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理

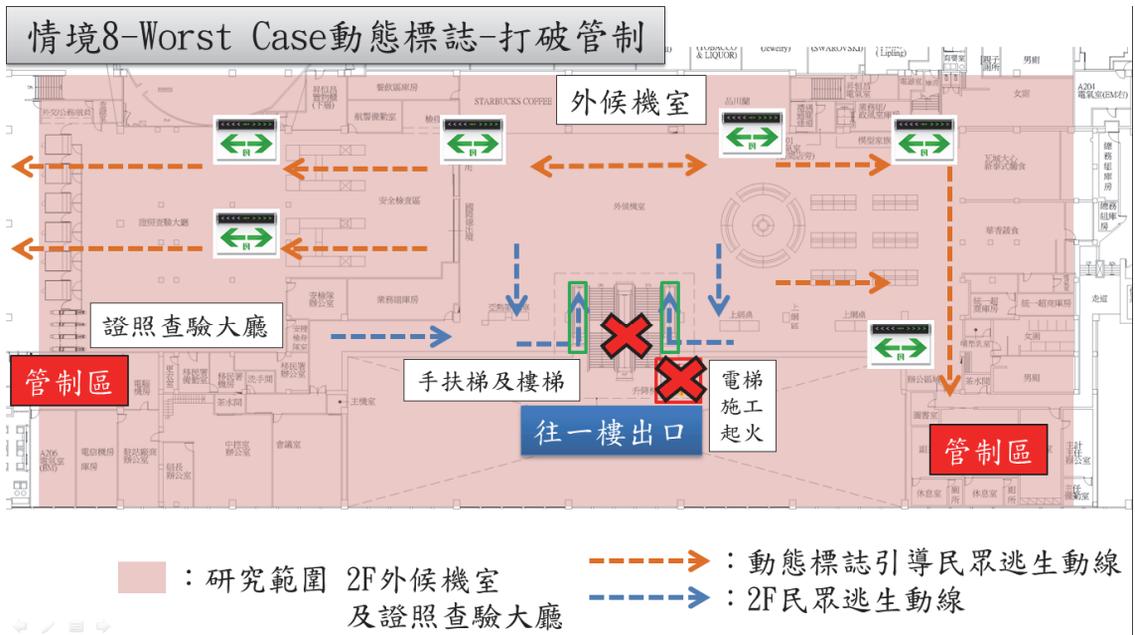


圖 19 情境 8 避難疏散 2 樓動線圖

資料來源：本研究整理

五、模擬結果說明

由 FDS 模擬結果（如圖 21 及 22）可知模擬範圍挑空區之天花板高度約 10 公尺，各區煙層下降至 1.8 公尺時間均超過 800 秒，且能見度及氣流層溫度均高於安全極限值，而本次模擬研究人員避難的最長時間為 731 秒，可了解到本次研究由 FDS 之模擬下，避難逃生人員均尚在安全範圍內，故本研究著重在藉著航廈巔峰及離峰之人數差異性、管制區及非管制區的避難動線限制區分及引入動態引導與自編人員引導等不同之避難引導方式等不同因素影響形成之模擬結果，探討各情境避難完成時間之優劣分析。

並藉由 FDS 模擬動態截圖（如圖 20）可了解到火源熱輻射超過 $1.7\text{kw}/\text{m}^2$ 之影響範圍約為直徑 5 公尺，主要影響之逃生動線為一樓大廳之前側垂直動線，故模擬時將此影響範圍之前側手扶梯 1 座及樓梯 2 座逃生動線均關閉，但此範圍並不影響後側手扶梯避難人員往前方出口 A 的逃生動線。

本次研究利用 Pathfinder 軟體模擬 8 個情境，主要藉由假設巔峰及離峰容留人數的不同，管制區、非管制區避難動線的變化及利用動態引導、自衛消防編組等不同之避難引導方式，使得各模擬情境之避難完成時間有相當大的差異。

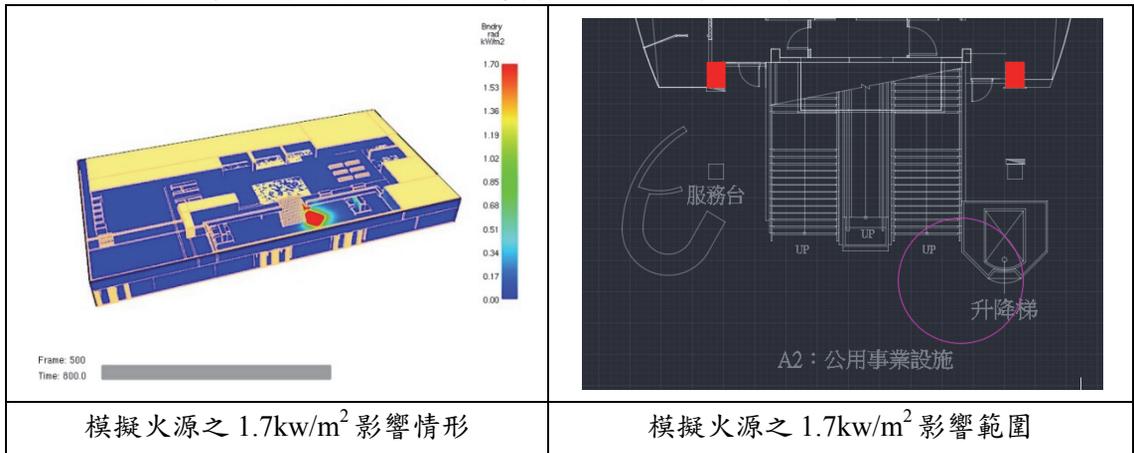


圖 20 模擬火源之 $1.7\text{kw}/\text{m}^2$ 影響情形及範圍

資料來源：本研究整理

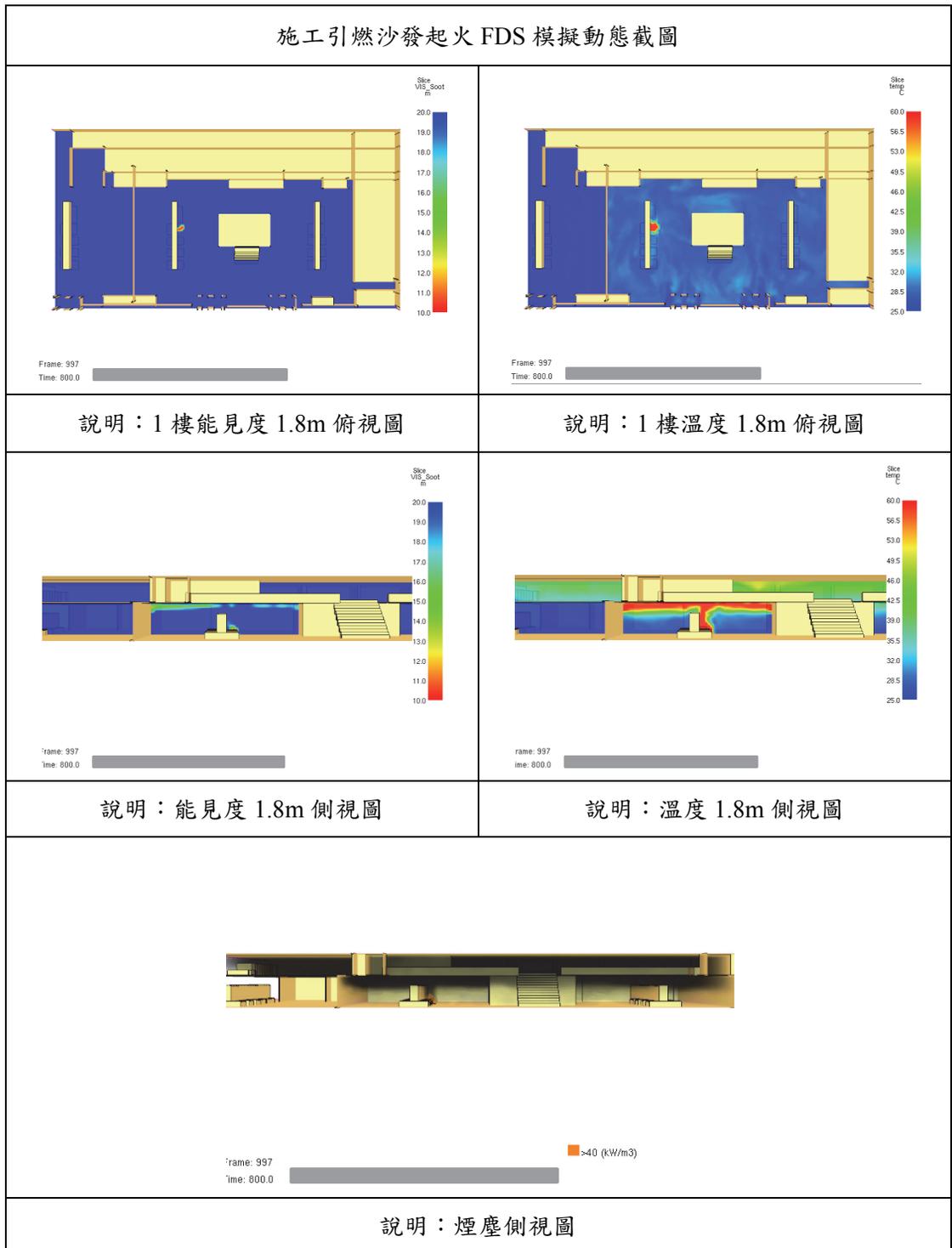


圖 21 施工引燃沙發起火 FDS 模擬動態截圖（800 秒）

資料來源：本研究整理

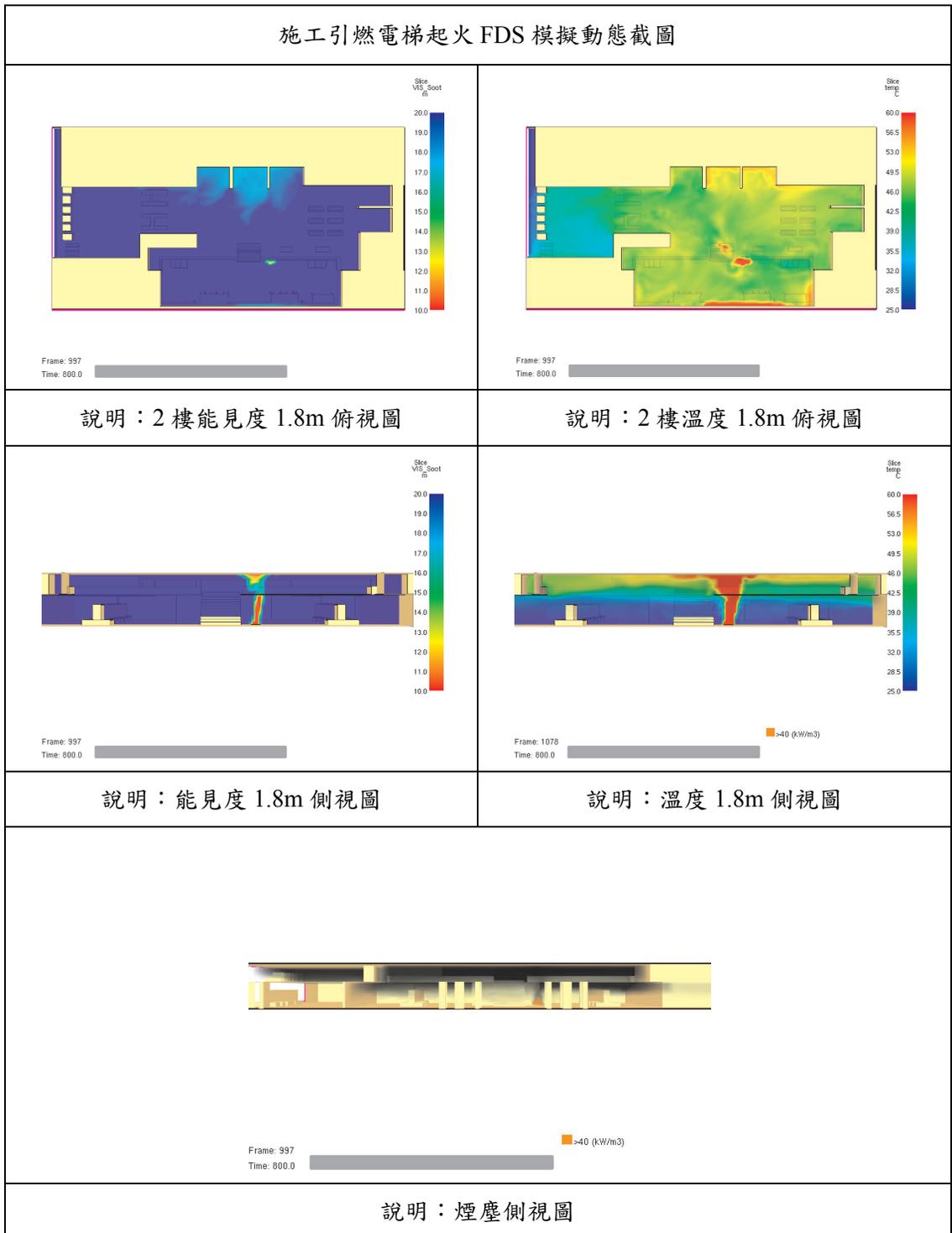


圖 22 施工引燃電梯起火 FDS 模擬動態截圖（800 秒）

資料來源：本研究整理

(一) 情境 1、情境 2 模擬結果比較

初期因為情境 2 的 1 樓不特定人員之人數比較多，且出口數眾多可負荷量較大，所以在進行疏散時會比較快，爾後當人員避難時呈現穩態的情況，其後期疏散量會比較接近。

表 13 情境 1、2 人數差異比較時間表

情境	人數	避難完成時間	時間差異	增減比率	情境差異
情境 1	1182	182 秒	對照組	對照組	離峰人數
情境 2	3000	266.5 秒	+84.5 秒	增加 46%	巔峰人數

資料來源：本研究整理

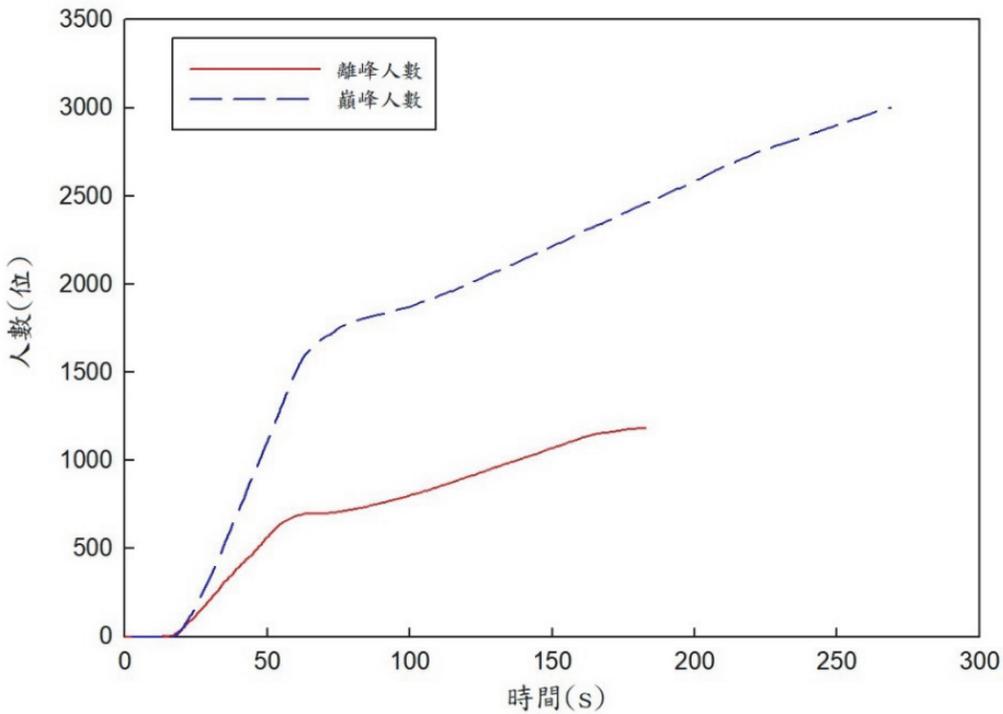


圖 23 情境 1、2 避難人數與時間變化圖

資料來源：本研究整理

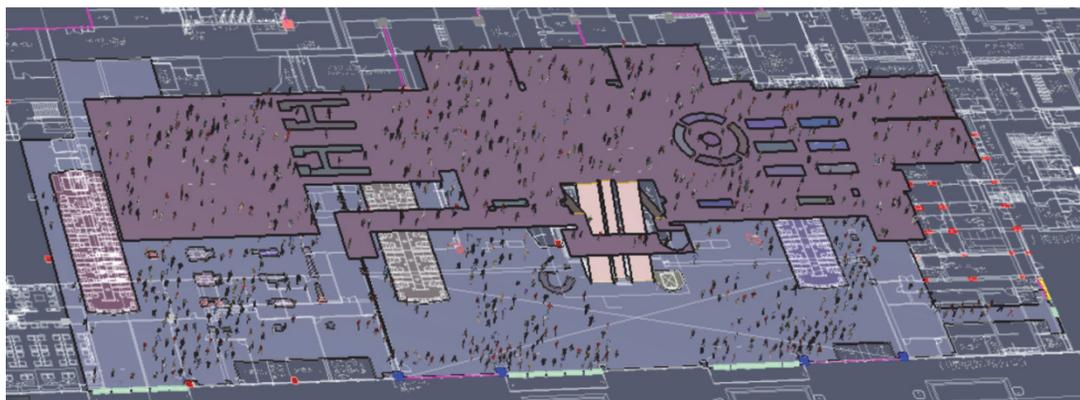


圖 24 情境 1 初期疏散情況



圖 25 情境 2 初期疏散情況

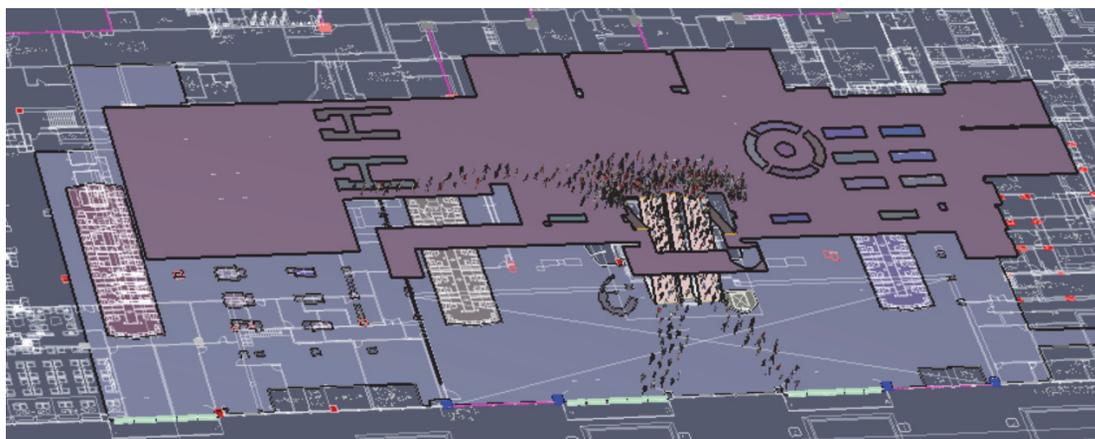


圖 26 情境 1 後期疏散情況

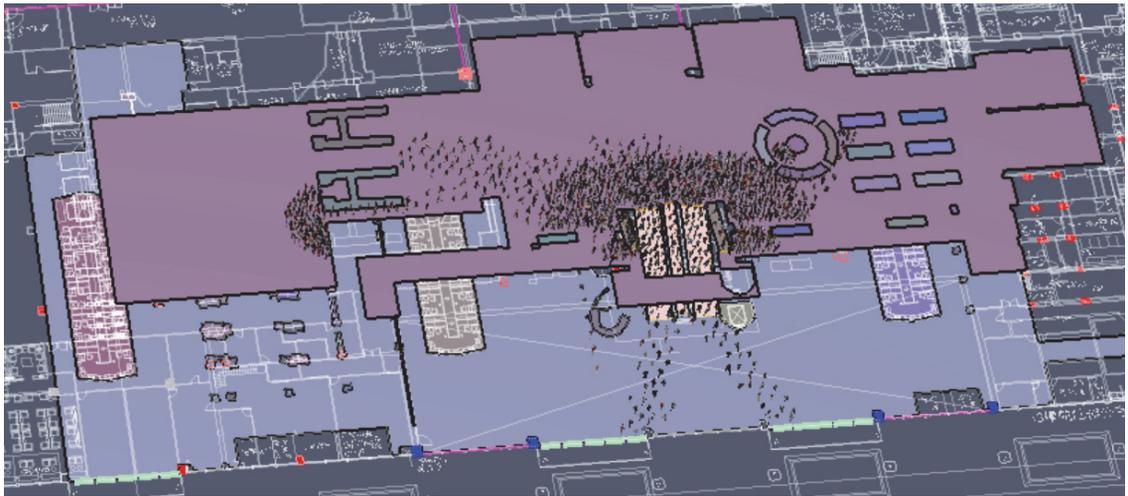


圖 27 情境 2 後期疏散情況

(二) 情境 2、情境 3 和情境 4 模擬結果比較

初期因為情境 2、情境 3 和情境 4 的 1 樓人員先行避難，所以在疏散時的情況會比較一致，爾後當 2 樓的人員也開始避難的時候，其最主要的差異在於 2 樓的不特定人員因為引導方式的改變，造成可以避難的出口變多，故其後期在 2 樓的人員分佈會有比較大的差異，而在不打破國境管制區的區劃下，情境 3 由動態引導方式增加 1 個出口也能增加總體的疏散量，降低避難完成時間；而情境 4 在打破國境管制區的區劃下，由自衛消防編組人員的引導可增加避難動線及出口，更是能夠大幅度縮短避難完成時間。

表 14 情境 2、3、4 引導方式差異比較時間表

情境	人數	避難完成時間	時間差異	增減比率	情境差異
情境 2	3000	266.5 秒	對照組	對照組	隨機避難
情境 3	3000	233.8 秒	-32.7 秒	減少 12%	動態引導
情境 4	3000	209.8 秒	-56.7 秒	減少 21%	自編引導

資料來源：本研究整理

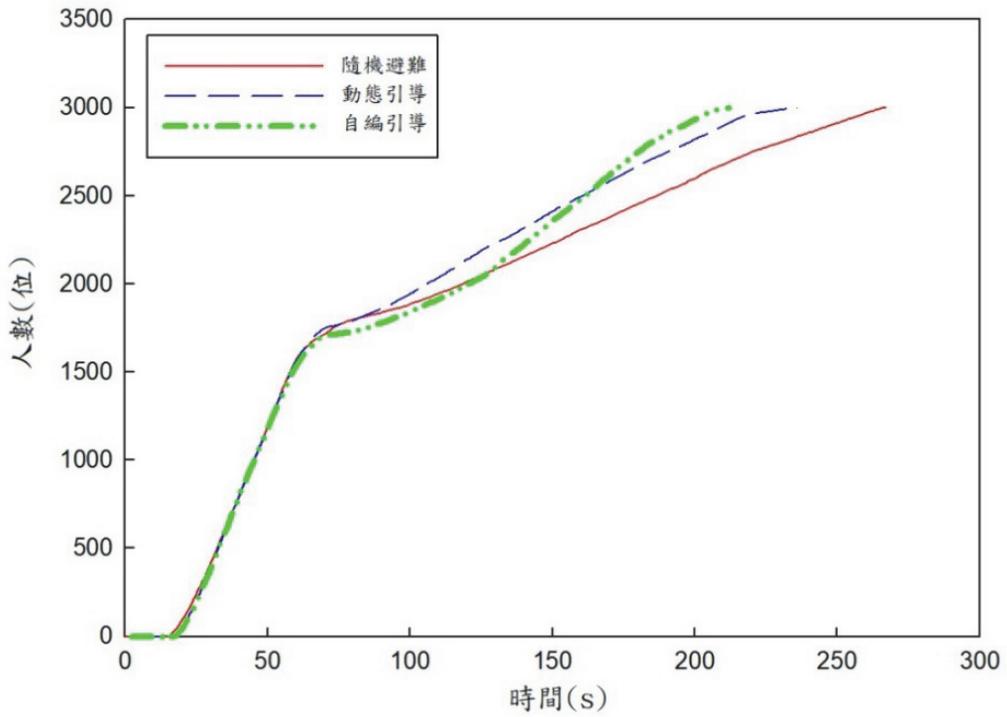


圖 28 情境 2、3、4 避難人數與時間變化圖

資料來源：本研究整理



圖 29 情境 2 後期疏散人員分佈情況



圖 30 情境 3 後期疏散人員分佈情況



圖 31 情境 4 後期疏散人員分佈情況

(三) 情境 2、情境 5 模擬結果比較

情境 5 將起火點改為一樓電梯施工起火，因其火點位置接近主要垂直疏散動線出入口，故以此狀況作為 Worst case 之假定，情境 2、5 結果比對可得知避難完成時間從 266.5 秒變化為 731 秒，大幅增加 174%，可知起火點如果接近往 2 樓之主要途徑時，將會嚴重影響垂直逃生動線，大幅延長避難完成時間，且可能因人群之推擠造成危險。

表 15 情境 2、5 火源位置差異比較時間表

情境	人數	避難完成時間	時間差異	增減比率	情境差異
情境 2	3000	266.5 秒	對照組	對照組	施工引燃 沙發起火
情境 5	3000	731 秒	+465 秒	增加 174.8%	Worst-case 施工不慎 電梯起火

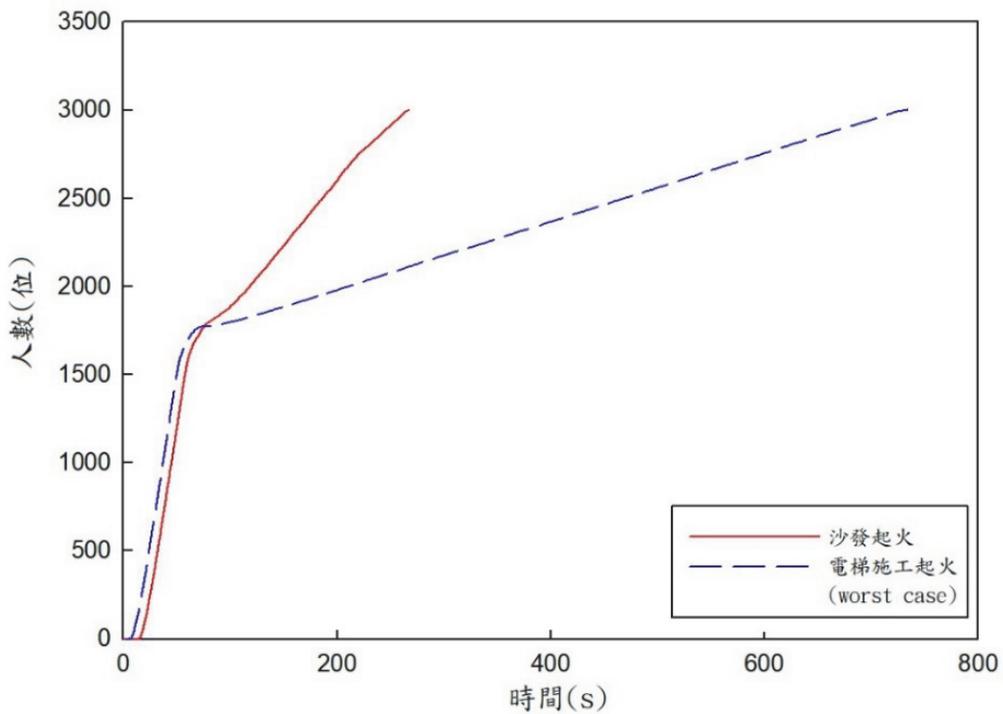


圖 32 情境 2、5 避難人數與時間變化圖

資料來源：本研究整理

(四) 情境 5、情境 6、情境 7 和情境 8 模擬結果比較

初期因為情境 5、情境 6 和情境 7 的 1 樓人員先行避難，所以在疏散時的情況會比較一致，爾後當 2 樓的人員也開始避難的時候，2 樓往 1 樓的主要樓梯已因火煙而不能進行避難，所以情境 6 和情境 7 的出口增加便為最大的差異，而在不打破國境管制區的區劃下，情境 6 由動態引導方式連動東側管制區的電子門鎖，增加 1 個出口得以增加 2 樓的疏散量；而情境 7

及 8 則藉由自衛消防編組人員或動態引導方式的引導，可由西側國境管制區逃生，故加上原本增加之東側逃生出口，共增加兩條逃生路徑，有效分流為數眾多之避難人員，大幅度縮短避難完成時間，其中情境 8 之動態引導方式可減少人員到場引導之延遲時間，避難完成時間可更進一步縮短。

表 16 情境 5、6、7、8 引導方式差異比較時間表

情境	人數	避難完成時間	時間差異	增減比率	情境差異
情境 5	3000	731 秒	對照組	對照組	隨機避難
情境 6	3000	408.8 秒	-322.2 秒	減少 44%	動態引導
情境 7	3000	271 秒	-460 秒	減少 63%	自編引導
情境 8	3000	189 秒	-542 秒	減少 74%	動態引導 - 打破管制區

資料來源：本研究整理

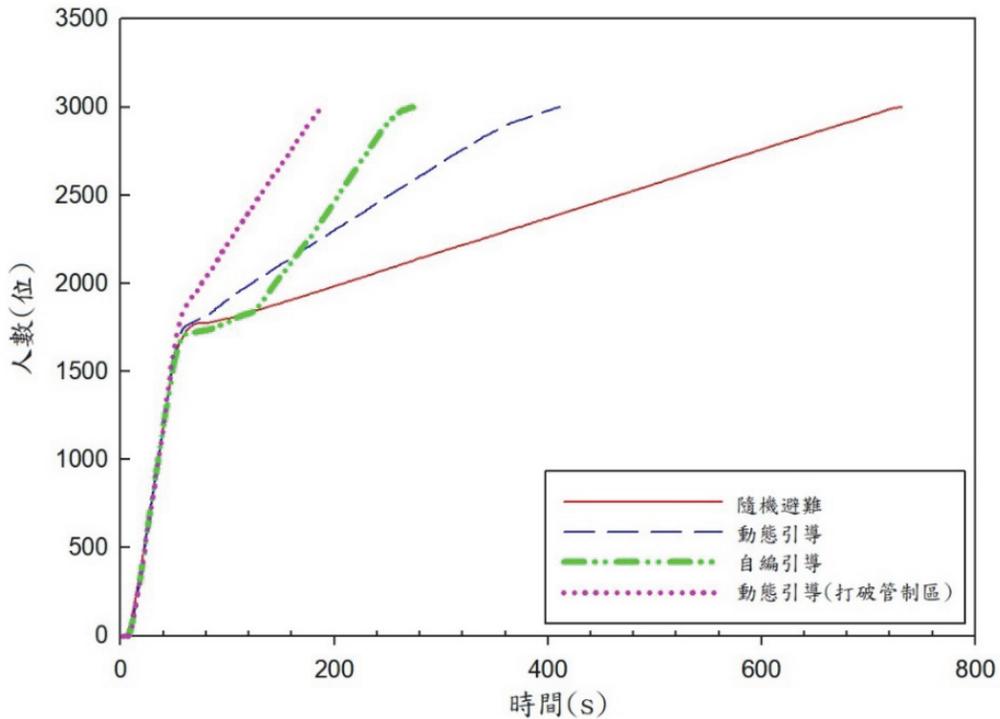


圖 33 情境 5、6、7、8 避難人數與時間變化圖

資料來源：本研究整理



圖 34 情境 5、6、7 初期疏散情況

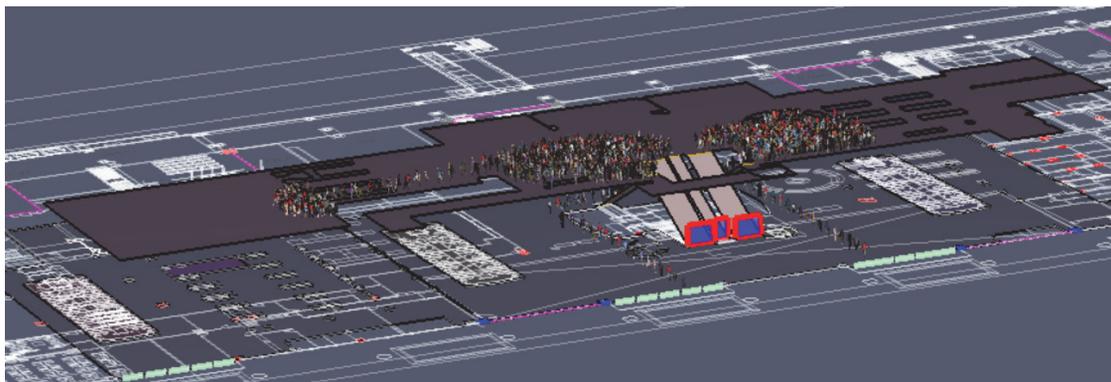


圖 35 情境 5 後期疏散人員分佈情況



圖 36 情境 6 後期疏散人員分佈情況



圖 37 情境 7 及 8 後期疏散人員分佈情況

伍、結論與建議

一、結論

- (一) 以本次研究之臺北國際航空站國際線航廈為例，利用離峰及巔峰時之人數差異，且均以航廈所規劃之非管制區避難路線進行隨機避難時，於情境 1、2 結果可得知避難完成時間增加 46%。
- (二) 利用起火點設定差異，提高模擬情境困難度，將起火點改為接近主要疏散動線出入口時，於情境 2、5 結果比對可得知避難完成時間大幅增加 174%，因為 2 樓往 1 樓之垂直區劃疏散動線均集中在 2 樓外候機室中間區域，故如果起火點接近主要疏散動線出入口時，其燃燒情形嚴重影響垂直疏散動線，將大幅度增加避難完成時間。
- (三) 航廈內部因出入境人員國境管制原因，故分為管制區及非管制區，如未經過證照查驗人員不得進入管制區內，而形成管制區及非管制區之疏散動線規劃方向不同，造成各區動線變化較少，情境 2、3、4 係利用避難引導方式差異來做模擬比較，利用動態標誌引導增加一出口方式可減少 12.3% 避難完成時間，由自衛消防編組人員增加引導至內候機室疏散方式可減少 21.3% 避難完成時間，改善效果顯著。
- (四) 情境 5、6、7、8 係於 Worst case 情境並利用避難引導方式差異模擬比較時間，情境 6 利用動態標誌引導時可減少避難完成時間 44%，情境 7 由自衛消防編組人員引導時可減少避難完成時間 63%，情境 8 由動態標誌引導並打破管制區時可減少避難完成時間 74%，大大降低避難完成時間，使避難人員有效率地進行分流。
- (五) 國際航空站之航廈為特殊建築物，防火區劃及最大步行距離均採性能式檢討，故搭配引導式之疏散方式有其必要性，不論是經由自衛消防編組人員或是動態避難引導標誌的協助引導，均能使航廈內之不特定人員於緊急避難時有所依循，進而有效降低避難完成時間，提高避難人員的安全性。

二、建議

- (一) 臺北國際航空站之國際線航廈 2 樓管制區域有分為證照查驗後管制區域(西側)及航廈公務區域(東側)，因航廈公務區域可直接下至避難層到達航廈馬路側，且無國境管制之疑慮，如由火警自動警報設備連動電子門鎖，於火災發生偵知時第一時間解除管制，可增加避難疏散動線，達到人員分流避難疏散之成效。

- (二) 目前國內航空站之消防防護計畫、火災緊急應變處理作業程序等均尚未明訂火災時如何將非管制區人員疏散引導至管制區進行逃生避難之說明及動線規劃，且因航廈有國境管制之需求，故應預先規劃如何開放管制區逃生動線，並一併考慮如何進行未完成證照查驗人員之分流管控，建議未來可加入國境管制區進行評估研究。
- (三) 本次研究並未加入避難弱者進行考量，以臺北國際航空站國際線航廈出境大廳為例，非管制區針對避難弱者所使用之無障礙電梯僅一座，建議未來研究可加入避難弱者於火災時之模擬疏散情形。
- (四) 動態引導方式非常多元，未來可利用人流識別、光流引導等方式針對航廈管制區及非管制區整合規劃應用，研究避難效益提升情形。

參考文獻

- 交通部民用航空局，《民用機場設計暨運作規範》，2017年3月。
- 交通部民用航空局，《航空運輸專論》，2012年4月。
- 交通部民用航空局，《臺北國際航空站火災緊急應變處理作業程序》，2015年1月26日。
- 交通部民用航空局，《臺北國際航空站特種建築物防災計畫》，2018年11月。
- 相德威，《國際航廈防火避難評估之研究——以桃園國際機場第一航廈為例》，中國科技大學建築研究所碩士論文，2009年。
- 盧育晟，《大型空間煙控危險模擬研究——以桃園國際機場第一航廈改善工程專案》，國立臺北科技大學，2009年6月。
- 陳瑞陽，《機場航廈建築物防火避難動線規劃之驗證研究——以中部國際機場航廈為例》，中華科技大學，2012年。
- 黃嵩雲，《可擴充建築物火災避難疏散行為模擬軟體之雛型開發》，國立臺北科技大學，2018年8月。
- 盧怡雯，《機場旅客大廈人流模式之研究》，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文，2008年。
- 陳宏任，《交通部機場消防隊人力建置之研究》，國立交通大學，2012年7月。
- 瑞德消防雜誌，〈逃出生天：大型購物中心地下停車場疏散模擬研究〉，2018年3月17日。
- 瑞德消防雜誌，〈機場緊急疏散危機（下）：動態導引為公共疏散新趨勢〉，2018年7月4日。

Pathfinder 官方網站，<https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>，2019 年 6 月。

陳芳米，《捷運地下交會場站與周邊商業設施火災模擬與避難安全分析——以台北車站為例》，中央警察大學，2014 年 6 月。

張邦立，《大規模地下空間避難弱者之情境模擬及避難疏散策略》，內政部建築研究所，2012 年 12 月。

內政部，《各類場所消防安全設備設置標準》，2018 年 10 月 17 日。

內政部，《建築技術規則建築設計施工編》，2019 年 11 月 4 日。

內政部建築研究所，《建築物防火避難安全性能驗證技術手冊》，2016 年 6 月。

行政院主計總處綜合統計處，《國情統計通報第 111 號》，2018 年 6 月 14 日。

SFPE Design Guide, “Human Behavior in Fire”, 2007。

National Fire Prevention Association (NFPA), “NFPA130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems”, 2019。

Kevin McGrattan, SimoHostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Craig Weinschenk, Kristopher Overholt, “Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide, ” National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1018, 2013。

Kevin McGrattan, SimoHostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Marcos Vanella, Craig Weinschenk, Kristopher Overholt, “Fire Dynamics Simulator (Version 6) User, s Guide”. NIST Special Publication 1019. National Institute of Standards and Technology, 2017。

