臺灣警察專科學校警專學報，民國 108.12
第七卷第二期：101-144 頁

緊急應變人員火場生存條件模擬研究——以高雄市護理之家為例

The Simulation of Life Safety Condition in Fire Scene for Emergency Reaction Staffs－the case of nursing home in KaohSiung City

方庭訓*、林宜君**

Ting-Hsun Fang、Yi-Chun Lin

摘要

護理之家機構中多數為行動不便，甚至是無法行動之避難弱者，當不幸遇到災害發生時容易造成嚴重傷亡。近年來護理之家屢次發生火災重大傷亡案例，突顯出護理之家機構防火避難安全之缺失，因此類似機構的消防安全設備、避難疏散對策及緊急應變人員的配置等作為，已成為社會關注的議題。

平時實施自衛消防編組演練及驗證時，皆以規格式驗證法（Route A）當作標準，在此標準下驗證之界限時間通常在合格範圍中，但當發生傷亡案例時，在第一線執行自衛消防編組任務之緊急應變人員卻又往往成為檢討的對象之一。本研究運用 FDS 及 PyroSim 模擬軟體，以高雄市某護理之家為例，模擬場所發生火災，緊急應變人員所面對的環境條件，以性能式驗證法（Route C）與規格式驗證法（Route A）相比較，並參照災例分析找出現行驗證制度與實際執行間的不足。

關鍵字：護理之家、緊急應變人員、FDS、PyroSim

Abstract

Most of theinhabitants who live in the institution of nursing home arethe weak group of evacuation. When the disasters occur, it will cause severe casualtiesbecause of the limited mobility even inability to move. In recent years, the fire disaster happened in

* 中央警察大學消防科學研究所在職進修研究生、基隆市消防局隊員
** 中央警察大學消防學系暨消防科學研究所教授兼系主任暨所長（通訊作者 Email：una023@mail.cpu.edu. tw）

these kinds of institutions caused many victims over and over again, and it shows that the deficiencies in theplan of fire prevention and evacuation for these kinds of institutionsare conspicuous. Therefore,

it gradually has been one of the social issues of concern that the improved measures ofthese institutions, such as fire safety equipment, evacuation strategy and emergency reaction staffs configuration since the tragedy happened.

The authorities take Route A as the standard when bring the self-defense fire organizationdrill and verification into practice. The boundary time falls within the legal range ordinarily. However, the emergency reaction staffs who are in the front line to carry out the tasks of self-defense fire organization usuallywill be one of the targets that the authorities blame on them for casualties.This research simulated one of the institutions in KaohSiung City, and try to find out the life safety condition in fire scene for emergency reaction staffsby utilizing the numerical simulation softwares, FDS（Fire Dynamics Simulator）and PyroSim. Discovering the insufficient point between verification system and executive field by referring to the analytic cases andcomparing Route A and Route C.

Key words：nursing home、emergency reaction staffs、FDS、PyroSim

壹、前言

一、研究動機

前行政院衛生署新營醫院北門分院於 2012 年 10 月 23 日凌晨發生大火，釀成國內醫療養護機構史上最嚴重致生 13 人死亡、59 人輕重傷之火災慘劇。依監察院第 102 財正 0053 號糾正文[1]：前衛生署新營醫院明知護理之家住院病患皆屬重症且行動不便者，逃生必須仰賴多人協助，避難並應以水平避難為主，卻疏未將此特性督促北門分院及護理之家於平時充分納入消防防護計畫據實規劃逃生路線及值班人力，自衛消防編組演練亦未確實就此特性實施，致系爭火災發生時無以因應，延誤黃金搶救時效，殊有重大違失。

因此事故未依住民特性規劃逃生路線、值班人力及納入消防防護計畫，自衛消防編組演練亦未針對場所特性實施，導致火災發生當下啟動緊急應變編組執行各項任務失敗，延誤救援疏散時效，促使消防與衛生單位加強督導護理之家等長

[1] 林委員鉅鋃、尹委員祚芊、劉委員玉山提，前行政院衛生署新營醫院北門分院糾正案，監察院全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/.。

照機構夜間自衛消防編組演練及驗證。

衛生福利部台北醫院附設護理之家 2018 年 8 月 13 日大火，造成 15 人死亡。依監察院第 108 內正 0005 號糾正文[2]：相關緊急通報及應變作業亦有疏漏與延誤，經核確有違失，臺北醫院顯難辭監督管理不力之責，應予糾正。未依規定於察覺失火後第一時間通報消防機關，致該院火警受信總機作動響起警報逾 7 分鐘後，消防機關始獲該院報案，該院災害緊急應變及通報演練作業亦有欠確實與熟練，肇使值勤人員遇災慌亂失措而誤撥緊急通報專線號碼，相關防災設備啟閉時程復難謂迅速即時，殊有欠當，臺北醫院監督不周，顯有違失。

衛生福利部台北醫院附設護理之家場所消防設備符合消防規定，且火警發生時醫院有疏散病患，但起火病房 7A23 房內的病患疏散過程，人員並沒有立即將門關閉，導致火煙竄出到其他房間；病房內的床鋪下有床墊，火災發生後，床墊的燃燒速度相當快速，導致火勢迅速成長。

監察院針對國內護理之家發生兩例重大傷亡之糾正文提到自衛消防編組演練未確實實施及緊急應變作業有疏漏與延誤，究竟緊急應變人員於實際火災發生時實施自衛消防編組任務的過程中須面臨何種環境，使得執行編組任務內容時難以達成平時自衛消防編組應變能力驗證成效？

台灣接連發生護理之家重大火災案例均有諸多共通性[3]：

（一）均屬大夜班時段有限人力、多人住房起火

（二）初期滅火失敗

（三）延誤通報 119 時機

（四）無法及時關門侷限火災肆虐範圍

（五）就地避難策略仍未被接受

（六）缺乏火災風險辨識與利害關係人溝通作業

（七）自主防減災邏輯思維及緊急應變作業，不符火災境況需求

護理之家發生火災釀成傷亡時，自衛消防編組演練制度及緊急應變人員常被列為缺失檢討的主要項目之一。現行法規制度可能有未盡完善之處造成實際執行人員的困難，本研究以高雄市某護理之家為例，以緊急應變人員生存環境條件，模擬分析執行上的困難，期能將自衛消防編組制度更趨完善。

二、研究目的

[2] 王幼玲委員、張武修委員、尹祚芊委員提，衛生福利部臺北醫院護理之家糾正案，監察院全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/.。

[3] 潘國雄，長照機構情境式火災風險辨識與溝通作業演練，中央警察大學，2018 年。

（一）以火災動態模擬軟體（Fire Dynamics Simulator，FDS）模擬場所發生火災時緊急應變人員所面對的環境條件，分析各項人員生存條件數值是否於建議值範圍內，研究在執行各項自衛消防編組任務時可能遭遇之風險。

（二）設計不同時間關閉起火居室門情境，分析研究關門時間與生存條件間的關係。

（三）以 Route C（性能式）驗證法與 Route A（規格式）驗證法相比較，並參照災例分析找出現行驗證制度與實際執行間的不足。

（四）提出建議期能在緊急應變人員與法規制度間取得平衡，讓平時演練和驗證於發生火災時更能發揮成效。

三、研究範圍與研究限制

（一）研究範圍：

1.收容避難弱者場所類型依其主管機關、適用法規與人員配置各有不同，其差異如圖 1[4]所示。本研究對象範圍為護理之家類型機構，其餘老人長期照顧中心、老人長期照顧型和安養機構則不在本研究範圍內。

2.本研究僅針對起火區劃驗證時間，鄰接區劃及垂直區劃驗證時間不在本研究範圍中。

（二）研究限制：

1.一般護理之家在設置床位或隔間時，為了有效利用空間，常以木板或隔間簾作為房間區隔。而天花板裝置矽酸鈣板則在建物落成之初即設置，其因無法有效阻隔火災產生之濃煙導致煙流向所有隔間流竄。濃煙經由「未到頂」之隔間牆上方天花板空間及房門竄流襲擊後致吸入濃煙奪命，然目前建管法令及相關機構設置標準，對於該等隔間設施之「貼頂密接設計」尚無明確規範[5]。本研究模擬建立之模型則排除此種情況，依消防申報平面圖建立模型，火災產生之濃煙僅在居室內，無法經由天花板流向其他居室作為本模擬研究限制。

2.醫院附設之護理之家皆設有中央空調系統，因其管線配置複雜，貫穿部位難以實地勘查建立模型；大樓外部風之影響因風量及風速不穩定，難以量化做為參數設定，故本研究模擬未考慮中央空調系統（HVAC）及外部風所

[4] 愛長照編輯團隊，網址：http://www.ilong-termcare.com/Article/Detail/93，2016 年。

[5] 監察委員新聞稿，衛福部臺北醫院護理之家大火釀成嚴重傷亡災害監察院提案糾正衛福部臺北醫院，監察院全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/.，2019 年 2 月。

造成之煙流影響。

3.護理之家在制定「消防防護計畫」時內容皆有「滅火班」編組，目的在於使用滅火器、室內消防栓實施初期滅火。本模擬為確保火源穩定，未考慮實施初期滅火行為之火源成長模式。

4.衛福部照護司長蔡淑鳳表示，醫院、護理之家的住房門是防火材質，約可隔絕煙霧五分鐘[6]。本研究建立之場所模型病房門設定為 INERT，關閉後不考慮門縫高度的影響，能完全阻隔煙流蔓延。

5.本研究針對單一病床起火對場所之影響，且實際個案該區域並未擺放多餘可燃物，故火源設計並非採用多數性能式設計之 T 平方成長模式火災，周遭並未設定其他次級燃料，火源並非持續燃燒至模擬結束，延燒情況不在本研究範圍中。

6.模擬結果分析也僅限於起火層。直上及直下層為減少計算時間與起火層採非均勻性網格設定，但因未探討直上層及直下層環境條件，其非均勻性網格模擬結果忽略不計。

類別	護理之家	老人長期照顧中心(長期照顧型)	老人長期照顧中心(養護型)	安養機構
服務對象與內容	● 慢性病等需長期護理的患者。 ● 出院後需要護理的患者 *目前台灣的護理之家主要有兩種型態： 一、醫院附設的護理之家。 二、獨立型態的護理之家。	● 有慢性病且有長期醫療服務需求的長者。 ● 與護理之家不同之處是設立人員之負責人非護理人員。	● 無法自主生活，但不需要專門看護服務的長者。 ● 收容有意識但需要協助生活行為的長者。 *現在也有養護中心會提供場所讓長者做復健活動及休閒康樂。	● 欲自費入住的長者。 ● 有長照必要的獨居長者。 ● 無重大疾病，生活可自理的長者。 ● 提供基本保健服務、運動休閒空間及醫護通報系統的環境。但無法行使醫療行為。
基本人員配置	● 每 15 床至少應有 1 位護理人員。 ● 24 小時均應有護理人員值班。	● 每 15 床至少應有 1 位護理人員。 ● 24 小時均應有護理人員值班。	● 隨時保持至少 1 位護理人員值班。 ● 每 20 位長者應配置 1 位護理人員。	● 隨時保持至少 1 位護理人員值班。
限制條件	可服務至插 3 管的患者，沒使用或只插 1-2 管也可服務。 *3 管指的是鼻胃管、導尿管、氣切管。	可服務至插 3 管的患者，沒使用或只插 1-2 管也可服務。 *3 管指的是鼻胃管、導尿管、氣切管。	無法服務插 3 管的患者，可服務至插 2 管的患者，沒使用或只使用 1 管也可服務。	可生活自理、無插管且沒失智的長輩。
機構類型	護理機構	老人福利機構	老人福利機構	老人福利機構
主管單位	衛生主管機關	社會福利主管機關	社會福利主管機關	社會福利主管機關

圖 1　護理之家、老人長期照顧機構、安養機構差異圖【4】

[6] 網路新聞，聯合新聞網，網址：http://udn.com/news/story/7266/3306846，2018 年 8 月。

貳、文獻回顧

一、國外研究

美國防火協會（National Fire Protection Association,NFPA）對於類護理之家型之規範，主要依據生命安全規範（NFPA 101：Life Safety Code）的規定。NFPA 101 Life Safety Code 有關避難區域（area of refuge）的規定摘敘如下[7]：

（一）避難區域應有出口可到達，避難區域需包含在建築物中的某個樓層，具有自動撒水系統。同時，避難樓層之上或之下的樓層皆可經由出口到達該區，並符合下列規則：

1.每一座電梯的位置，應提供一組雙向通訊系統，連接火災控制中心或相關權責控制中心。

2.方向指引雙向通訊系統的位置，及如何使用的標示，且使用標示應被黏貼在此通訊系統的旁邊。

3.雙向通訊系統應是可聽見和可看見的標示。

（二）向下的樓梯(安全梯)出口，其扶手高度以下的寬度不得少於37in(940mm)，並應符合下列規定：

1.每一層都應提供通過檢證的向下樓梯之設備（安全梯）。

2.附加的向下樓梯（安全梯）是被要求的，當每層樓超過 200 個容留人數時，每 200 個容留人數就應該要有一個向下樓梯之設備（安全梯）。

3.安全梯應設置在每層樓可到達的區域中。

（三）請求協助的指示、雙向通訊系統及避難區域的書面說明，應被貼在緊鄰雙向系統的旁邊。

（四）避難區域的大小，應為 30in*48in（76cm*122cm），以符合每 200 個容留人數，能容納一個輪椅空間或其部分之要求，係根據居住者所需避難區域決定之。此輪椅空間不得影響收容人員應有的避難出口寬度，以及不得少於 37in（940mm）之寬度。

（五）任一個避難區域的面積不得超出 1000 ft^2（$93m^2$），並應經由演算或測試，當暴露的空間處於最大預期的火災狀況下時，隔離側所能容忍的程度狀況，避難區域內應維持 15 分不受影響。

（六）在任何避難區域中，通往避難區域之通道，對於任何設計的輪椅空間來說，

[7] 雷明遠，長照服務機構防火避難改善之調查研究，內政部建築研究所研究報告（編號：PG10505-0076），內政部建築研究所，2016 年。

都不應該超過另一個緊鄰的輪椅空間。

（七）每一個避難區域應與其他樓層以防火構造隔開，同時至少具有一小時防火時效等級，除了有下列標準的適用：

1.在其他章節中，有更大等級的要求。

2.此屏障為既有的，且具有至少 30 分鐘防火等級時效。

（八）各個避難區域應由以下陳述之標示識別：避難區域標示應符合美國國家標準 ICC/ANSI A117.1「可接近和使用的建築物與設施」原則設置，為此識別的要求，應顯示可及性的國際通用標示。

（九）標示應具照明功能，因此出口標示應有照明功能。

（十）有形的標示，根據美國國家標準 ICC/ANSI A117.1「可接近和使用的建築物與設施」之要求，應設置在每一個通往避難區域的門上。

Margrethe Kobes[8]等人指出預先準備時間比避難所需時間來得更為重要。無準備時間造成避難延遲與火場受傷及死亡有關聯。預先準備時間與預先準備行為是避難程序的關鍵面向之一。

XING Zhi-Xiang, ZHAO Xiao-Fang, SONG Hua, GAO Wen-Li 等[9]運用 PyroSim 軟體建立體育館模型後，使用火災模擬軟體（FDS）進行煙層濃度、氧氣濃度、一氧化碳濃度、能見度及溫度變化分析，再使用避難逃生模擬軟體（EXODUS）模擬計算人員逃生所需時間。

二、國內研究

Chi-ming Lai[10]等人以火災模擬軟體 FDS（Fire Dynamics Simulator）、實際燃燒實驗和目視觀察比較，研究火災煙層下降高度與通風的關係。結果發現在有自然通風口的房間比無開口房間對於煙層下降控制較佳，且軟體模擬、實際燃燒實驗與目視數據三者相符。但在實際燃燒實驗中，因熱探測器受直接燃燒與熱輻射影響，煙層高度無法藉由量測溫度測得。然而在此種狀況下，FDS 可補足此部份數據。在無外部風吹進房間的情境下，FDS 提供了可靠地煙層高度數據。當外部風吹進內部時，外部風將造成溫度不穩定，此時溫度下降與高度無關，不建議使用

[8] Margrethe Kobes , Ira Helsloot , Bauke de Vires , Joes G. Post , Building safety and human behaviour in fire : A literature review, Fire Safety Journal 45 (2010) 1-11, The Netherlands.

[9] XING Zhi-Xiang, ZHAO Xiao-Fang, SONG Hua, GAO Wen-Li(2011). Applied Research of Performance-based Fire Protection Design in a Large Building, Institute of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Chang Zhou, 213164, Jiangsu, China.

[10] Chi-ming Lai , Chien-Jung Chen , Ming-Ju Tsai , Meng-Han Tsai , Ta-Hui Lin, Determinations of the fire smoke layer height in a naturally ventilated room , Fire Safety Journal 58 (2013) 1-14, Taiwan.

NFPA 92B 之 N 百分比法則（N-percentage Rule）來判斷煙層的高度。

蔡綽芳、楊欣潔[11]提出在有兩個前提條件下：

（一）各居室構造具半小時防火時效以上的防火性能且應具氣密性，應注意隔間牆的構造、高度、開口及出入口的防火防煙性等，以於火災初期抵禦火煙的擴散與入侵。

（二）居室設有自動撒水系統滅火設備與排煙機制，火災初期可有效控制火災成長及延長煙層下降之時間，爭取更多的避難容許時間。

建議各階段之火災情境應採取之水平避難策略如下：

1.情境 A：發生火災至初期滅火成功－「火災居室離室避難；非火災居室初期就地避難」：

(1)居室起火：

當居室發生火災時，照護人力可集中於疏散火災居室內之人員，進行離室避難，並於居室人員避難完成後，確實將火災室之門扇關閉，以將火煙控制於火災居室中。其他非火災居室則應關閉門扇，進行就地避難，於居室內等待消防救助抵達。

(2)非居室起火：

當非居室起火時，盡快將火災室的門扇關閉，以將火煙控制於火災室中。而其他非火災居室則可關閉門扇，進行就地避難，於居室內等待消防救助抵達。

2.情境 B：初期滅火失敗－「避難至相對安全區劃」：

上述之「火災居室離室避難；非火災居室初期就地避難」的避難概念僅適用於火災初期控制成功時，若初期滅火失敗，在完成火災居室離室避難後應視狀況撤離較危險居室之人員至相對安全區劃或等待救援空間。

3.情境 C：火煙控制失敗－「避難至等待救援空間」：

若火災規模繼續擴大，則應撤離該樓層所有的居室人員至安全的等待救援空間。

王安強、鍾基強等[12]研究適用於安養及長照服務機構之消防安全設備全尺寸實驗，並依據所得之實驗結果進行整理分析，無論是簡易式自動水滅火設備或是套裝型自動滅火設備，當火勢已延燒至病床邊緣時，由於病床邊緣為垂直面，可能

[11] 蔡綽芳、楊欣潔，老人福利機構防火及避難安全參考手冊精進研究，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，2015 年。

[12] 王安強、鍾基強、雷明遠、胡幃傑、陳又嘉、黃祥志、盧玟廷，適用於安養及長照服務機構之消防安全設備研究，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，2017 年。

無法像床墊上方為水平面較易受滅火設備撒水滅火，故於滅火設備啟動一段時間後，病床邊緣仍有零星火苗，無法完全滅火。由此可證明當火災發生火勢擴大延燒時，不能完全仰賴滅火設備進行滅火，要積極減少火災所帶來的災害，僅能從火災初期早期發現並進行滅火動作著手。

黃譯緯、紀人豪[13]依內政部消防署所頒定「老人及身心障礙社會福利機構等場所自衛消防編組演練暨驗證實施計畫」驗證台中市 4 家長期照顧機構，結果皆符合規定。研究替代式 Route B 以建築物防火避難安全性能驗證技術手冊計算煙層下降至離地面 1.8 公尺所需時間，列為人員避難之時間限制。在 RSET（Required Safe Egress Time，火災發生至所有人員完成避難時間）≦ASET（Available Safe Egress Time，避難危險之時間）成立，才算避難成功的條件下，與法規式 Route A 驗證方式比較其差異性、合理性及可行性。驗證相同 4 家長期照顧機構，結果發現起火居室皆不合格，起火樓層 1 家不合格。研究建議增加 Route C 以火災模擬程式所運算出之界限時間，與 Route A 及 Route B 相互比較。各單位於自衛消防編組演練暨避難驗證時參考之界限時間均以現行實施計劃 Route A 所規範之時間，探討如何建議修正以期更符合真實火場之 ASET。

三、國內護理之家相關法規

長照機構建築物相關法規，依建築技術規則建築設計施工編，整理如表 1。

[13] 黃譯緯，長期照顧機構自衛消防編組演練暨避難驗證之研究——以臺中市為例，吳鳳科技大學消防研究所，碩士論文，2016 年。

表 1　建築技術規則建築設計施工編長照機構相關法規整理表

建　築　技　術　規　則　建　築　設　計　施　工　編			
條文	項目	條文	項目
第33條	建築物樓梯及平臺之寬度、梯級之尺寸	第100條	排煙設備
第34條	平台位置及寬度	第101條	排煙設備之構造
第39條	坡道	第106條	緊急用昇降機之設置標準
第43條	通風	第107條	緊急用昇降機之構造
第44條	自然通風設備之構造	第108條	緊急進口之設置
第55條	昇降機之設置	第109條	緊急進口之構造
第69條	應為防火構造之建築物	第113條	消防設備適用之範圍
第70條	防火構造之建築物防火時效	第114條	滅火設備
第79條	防火區劃	第115條	警報設備
第79-2條	防火區劃-防火構造建築物內之挑空部分及其他類似部分	第232條	出入口緩衝空間
第83條	高層建築物之防火區劃	第233條	緊急進口
第85條	風管之區劃	第241條	特別安全梯
第86條	分戶牆及分間牆	第242條	昇降機道區劃
第88條	內部裝修材料	第243條	燃氣設備
第90條	避難層出入口寬度	第244條	緊急昇降機
第92條	走廊寬度	第247條	配管管材
第93條	直通樓梯之設置	第248條	連結送水管
第95條	應設置二座以上直通樓梯之建築物	第253條	避雷設備
第96條	安全梯或特別安全梯之設置	第257條	火警自動警報設備
第99-1條	應設二個以上區劃之樓層	第258條	火警警鈴鳴動規定

其中第 76 條關於長照機構依台內營字第 1030810059 號令，護理機構、精神復健機構及老人福利機構之「病房」、「臥室」及「寢室」，屬建築技術規則建築設計施工編第七十六條第五款但書所列「供住宅使用及宿舍寢室、旅館客房、醫院病房等」，其連接走廊之防火門得不受同款前段「應朝避難方向開啟」之限制。

第 99-1 條中，規定 F-1、H-1 之護理之家、產後護理機構、老人福利機構及康復之家等場所應以具一小時以上防火時效之牆壁及防火設備分隔為二個以上之區劃，並以走廊連接安全梯或分別連接不同安全梯，不同區劃間的出入口亦須設有兩方向可開啟的防火門。

長照機構消防法相關法規，包括消防法、消防法施行細則與各類場所消防安

全設備設置標準，整理如表 2。

表 2　消防法長照機構相關法規整理表

消防法		消防法施行細則	
條文	項目	條文	項目
第6條	消防安全設備之設置	第6條	定期檢修消防安全設備之方式
第11條	防焰物品之使用	第7條	申請防焰性能認證
第13條	消防防護計畫之製定	第13條	一定規模以上供公眾使用建築物
		第15條	消防防護計畫
各類場所消防安全設備設置標準			
條文	項目	條文	項目
第7條	消防安全設備	第112條	劃定火警分區之規定
第12條	各類場所用途分類	第113條	火警自動警報設備之鳴動方式
第14條	應設置滅火器之場所	第125條	火警受信總機裝置規定
第15條	設置室內消防栓設備之場所	第126條	火警受信總機裝置之位置
第17條	應設置自動撒水設備之場所	第157條	避難器具設置
第19條	應設置火警自動警報設備之場	第158條	避難器具減設條件
第20條	應設置手動報警設備之場所	第159條	避難器具免設條件
第22條	應設置緊急廣播設備之場所	第160條	收容人員之計算
第23條	應設置標示設備之場所	第162條	避難器具裝設之規定
第24條	應設置緊急照明設備之場所	第188條	排煙設備設置規定
第25條	應設置避難器具之場所		免設排煙設備之處所
第26條	應設置連結送水管之場所		
第28條	應設置排煙設備之場所		
第31條	滅火器設置規定		
第46條	撒水頭設置規定		

護理機構設置標準依衛生福利部衛部照字第 1021580033 號令，節錄如下：對於住房空間之規定包含了每一寢室以六床為限（床尾與牆壁間距至少一公尺，床邊與牆壁、床邊與鄰床之距離至少零點八公尺）。收住呼吸器依賴個案達四床以上的機構規定更為嚴格，住房應為獨立隔間或區域有明顯區隔，每一隔間區域不超過六床。每床最小面積（不含浴廁、護理站）至少應有七點五平方公尺（床邊與

鄰床、牆壁之距離至少一公尺)。每床需有中央氣體供應系統(含氧氣、抽吸設備)或每床設置移動式之氧氣、抽吸設備。應有被褥、床單存放櫃及雜物之貯藏設施,並隨時上鎖。

火災初期之火災緊急應變守則為「RACE」,其內容為[14]:

R(Remove, Rescue):救援撤離,將住民移開起火側或移出起火區域。

A(Alarm):立即通報,啟動警報及警示周邊的人,例如啟動警鈴、廣播或是通知其他周邊的人員、通報 119 等。

C(Contain):侷限火煙,人員撤離起火的住房,立即關上房門,將火煙侷限在某一個住房或區域,以利人員就地避難或疏散。

E(Extinguish, Evacuate):初期滅火/疏散,使用滅火器或室內消防栓進行初期滅火。如果火勢過大無法撲滅,則立即進行疏散。

但 R.A.C.E 緊急應變守則只是慣用語,並非均依 R→A→C→E 之順序操作,制約一成不變,必須依照不同時空、不同火災情境、不同的人力設備資源、不同的建築配置、不同的火源位置、火勢大小,調整較合適或同步操作之操作順序,重點在於平時對最不利但可能出現的情境(the worst case)之律定及演練檢討修正。

參、研究方法與研究軟體

一、研究方法

本研究參照沈子勝[15]所採用的研究方法,內容如下:

(一)文獻探討法(Literature Survey Method):蒐集並整理分析有關護理之家災例之相關調查研究及 文獻資料,俾掌握護理之家火災時之火場境況(Scenario),以作為長期照顧機構火災危害評估之依據。

(二)實地調查法(Investigation Method):為取得接近於真實之火災情境,至國內高雄市護理之家調查實體空間尺寸、隔間狀況、員工狀況、床位之分布等事項。

(三)工程分析法(Engineering Analysis Method):用工程分析方法分析護理之家可能之火災情境,並以實證經驗公式建立可能之火災成長模式,以利火災電腦模擬之進行。

[14] 護理之家火災緊急災害應變計畫 2.0,衛生福利部護理及健康照護司,網址:https://dep.mohw.gov.tw/。

[15] 沈子勝,火災危害分析(Fire Hazard Analysis)技術研究,行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告(計畫編號:922001INER004),中央警察大學,2004 年。

（四）電腦模擬驗證法（Computer Simulation Examination Method）：建立長照機構中護理之家實體空間之空間數值資料，加上以相關文獻之推論，建構護理之家火災特性與火災境況分析，並應用 FDS、PyroSim 模擬軟體進行量化評估。

目前常用避難驗證方法依財團法人台灣建築中心選用架構[16]，如圖 2 所示。本研究以 Route C（性能式）驗證法與 Route A（規格式）驗證法相比較，研究法規與實際執行時的差異性、可行性與合理性。

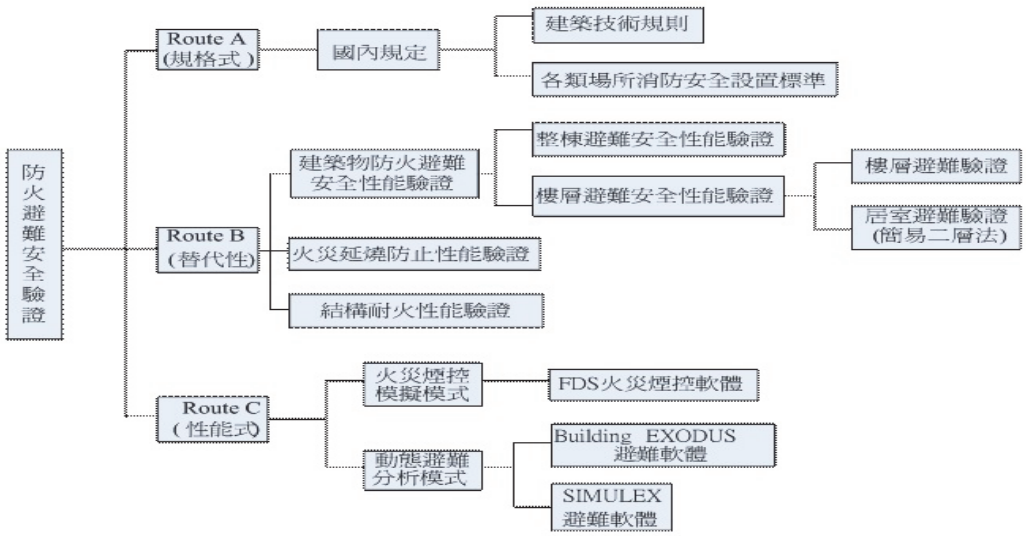


圖 2　防火避難安全驗證方法選用架構圖【16】

二、FDS（Fire Dynamics Simulator）

FDS 為美國國家標準與科技研究所（National Institute of Standard and Technology ,NIST）所開發之模擬火場計算軟體。於 2000 年 2 月發表第一版，目前最新版本為 2019 年 3 月所發表之第六版（6.7.1 版）。

FDS 主要包含兩個部份，一個是 FDS 數值運算程式；另一個則是 Smokeview，將運算出來的數據以動畫的方式呈現，讓使用者能了解在火災中各種流體的運動方向與溫度變化。FDS 是利用數值分析方法將質量、動量、能量及物種守恆方程式、狀態方程式等離散化，並配合初始條件、邊界條件等限制，針對特定空間之流場、溫度場或火災等特性作解析。其統御方程式如下所述。

（一）流體力學之統御方程式：

[16] 財團法人台灣建築中心，網址：http://www.cabc.org.tw/firesafety/4.htm。

1.質量守恆：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (3.1)$$

其中 ρ ：流體密度(kg/m^3)

u：流體速度(m/s)

t：時間(s)

2.動量守恆：

$$\rho\left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u\right] + \nabla p = \rho g + f + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (3.2)$$

其中 p：壓力（nt/m^2）

g：重力加速度（m/s^2）

f：外力（包含撒水頭之拖曳力）（nt/m^3）

τ ：黏滯剪應力張量（nt/m^2）

3.能量守恆：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u - \frac{DP}{Dt} = Q - \nabla \cdot q'' + \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot \sum_\ell h_\ell (\rho D)_\ell \nabla Y_\ell \quad (3.3)$$

其中$\frac{DP}{Dt} = (\frac{\partial}{\partial t} + u \cdot \nabla)P$（質量導數）

h：焓（kJ/kg）

Q：熱釋放率（kw/m^3）

q''：輻射熱通量（kw/m^2）

k：熱傳導係數（kw/m·k）

T：溫度（℃）

h_ℓ：ℓ物種之焓值

D：擴散係數（m^2/s）

Y_ℓ：ℓ物種之質量分率

4.物種守恆：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_\ell) + \nabla \cdot \rho Y_\ell u = \nabla \cdot (\rho D)_\ell \nabla Y_\ell + \dot{W}_\ell''' \quad (3.4)$$

其中$\dot{W}_\ell'''$：ℓ物種之單位體積生成率

火源大小的設計與適當的格點設定對 FDS 模擬評估有關鍵性的影響。由 McCaffery（1989）所提出的火災特徵直徑（characteristic fire diameter）D* 是決定格點大小的一種方式，如公式（3.5）所示。國內學者李訓谷[17]研究，當網格大小約略等於 0.1D*時，火源中心軸流速及溫度與 McCaffery 提出之火源中心軸氣流速度和溫度半經驗公式較為相符。學者柯建明[18]提出分別以 1D*、0.5D*、0.3D*和 0.1D*

[17] 李訓谷，大空間中庭建築性能式煙控系統設計分析，國立中山大學機械工程系，博士論文，2001年。

[18] 柯建明，大型車站建築之火災煙控系統設計與電腦模擬分析，國立中山大學機械與機電工程研究所，碩士論文，2003 年。

之格點尺寸進行測試，將 FDS（LES model）模擬之平均軸心速度與溫度和 McCaffery 的實驗迴歸公式比較，研究發現採用格點尺寸為 0.1D*時 FDS 模擬預測值才與實驗值相吻合，即欲正確模擬單一火災煙流燃燒結果以 0.1D*格點尺寸最為適合。據此，本研究 FDS 格點設定採用 0.1D*公式計算作為格點參數設定依據。

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho_\infty C_p T_\infty \sqrt{g}}\right)^{\frac{2}{5}} \tag{3.5}$$

其中 Q：總熱釋率(kW)
ρ_∞：空氣密度(kg/m^3)
C_p ：空氣比熱(kJ/kg-K)
T_∞：環境溫度(K)
g：重力加速度(m/s^2)

為了避免輸入參數與系統模型輸出失真，常用靈敏度測試作為模型輸出值是否合理的方法之一。美國核子管理委員會（U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S.NRC）針對 FDS 格點靈敏度提出了以下建議[19]：

D^*/x 之值在 4 到 16 之間 (3.6)

其中 x 為格點大小（單位：公尺）

FDS 在動量方程式計算採用大渦流模擬法（Large Eddy Simulation, LES），LES 法是將流體物理量區分為大尺度（grid-scale）及次網格尺度（sub-grid scale, SGS）兩部份。對於大尺度的物理量在 LES 中直接由 Navier-Stokes 方程式求解；而在次格點尺度內的物理量，將小於網格尺寸之漩渦或紊流以次網格紊流模式（Sub-grid Turbulence Model）表示，並直接計算流場暫態變化。另外在燃燒模式計算上亦採用 LES 計算方法，因此本研究採用 FDS 技術手冊上建議使用之 LES 模式作為選定的計算模式。

三、PyroSim 介紹

PyroSim 軟體是由 Thunderhead Engineering Consultants 公司結合 FDS 火場模擬軟體所開發，在使用者的角度上此軟體在建立消防模擬模型、火災中煙氣的運動、溫度和氣體濃度進行預測分析可以作為強大的工具，其視窗圖形用戶界面方便使用者在建立火災模擬場所模型上較 FDS 傳統程式界面有著更直觀的視角，方便使用者快速且精確的建立消防模擬模型。目前此軟體 2019 年最新版所使用的

[19] K. McGrattan(2007).Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications Volume 7： Fire Dynamics Simulator (FDS), U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, DC 20555-0001.

FDS 為 6.7.1 版，Smokeview 為 6.7.5 版。本研究採用 2019 最新版。

肆、火災情境及參數設定

一、危害因子災例分析與火災情境生存指標

（一）危害因子災例分析

近年醫院及長照機構重大火災案例分析整理如表 3[20]：

表 3　近年醫院及長照機構重大火災案例分析整理表

近年類似場所火災案例分析與檢討	
場所	**火災案例分析與檢討**
台南新0醫院北0分院 附設護理之家	時　間：2012年10月23日3點29分 場所空間：面積387m2、兩層樓 燒失面積：約為42m2。 內部人員：員工4名；二樓69名(插三管病患)； 五樓45位(精神病患) 疏散人數：疏散114名 死傷人數：13人死亡和59人輕重傷 死因：吸入性嗆傷導致呼吸衰竭 起火原因：判定係人為縱火
	1.即使通過消防安檢，火災仍造成重大傷亡 2.重症住民在火場中避難與維生之困難性與危險性 3.緊急災害應變計畫與平時教育訓練不符災害境況與目標需求 4.人員不足與夜間消防計畫書內容不符
新北市樂0 老人長期照顧中心	時　間：2016年07月06日07點01分。 機構類型：老人長期照顧中心（養護型及長照型） 燒毀損失：約15㎡，總面積約709 ㎡ 床數：總床數49床，目前收容42名 死傷人數： 6死28傷 值班人力：3外護 起火點：8樓的5號房 起火原因：疑似電器引燃堆積之易燃物品（尿布）
	1.關閉防火區劃防火門，成功就地避難 2.第一通火警通報119，並非由機構內部人員撥出 3.起火點於居室中未及時撤離該住房住民，導致住房內3名住民死亡 4.未進行初期滅火動作 5.起火區劃內起火住房及非起火住房未完全沒有關門 6.消防隊抵達時火警警報仍有鳴動 7.疏散過程機構人員完全無告知住民之需求特性 8.後送登錄管制機構人員完全無作為

[20] 潘國雄，一般護理之家防火安全管理與緊急應變演練，中央警察大學，2018 年。

近年類似場所火災案例分析與檢討	
場所	**火災案例分析與檢討**
桃園市龍潭 私立愛O長照中心	時 間：2017年03月10日05點05分 機構類型：老人長期照顧中心（養護型及長照型） 燒毀損失：約8㎡，2F 樓地板面積： 840 ㎡ 床數：核定床數22床，目前收容人數為37人（1樓 21人、2樓16人），違法超收15人 死傷人數： 4死13傷（含看護） 值班人力：1外護 起火點：2樓的近樓梯側之住房 起火原因：疑似蠟燭照明不慎引發易燃物品
	1.外籍照服人力並未通報119，係為三樓鄰居通報 2.起火點於居室中未及時撤離該住房住民，導致住房內4名住民死亡，及13名輕重傷 3.未使用滅火器或室內消防栓進行初期滅火動作 4.起火區劃內起火住房及非起火住房之房門為塑膠拉門，並無法阻隔濃煙 5.無設置火警探測器及火警受信總機立即偵知火災 6.疏散過程機構人員完全無作為 7.後送登錄管制機構人員完全無作為
屏東縣南O護理之家	時 間：2017年05月19日上午04點55分 機構類型：一般護理之家 地上3層樓 面積:2779㎡ 燒毀損失：約42.8㎡，2F樓地板面積： 926.3 ㎡ 床數：核定床數158床，目前收容人數為153人 死傷人數：4死55傷 值班人力：2名護理、6名外護 支援人力： 2名行政人力，15名宿舍人力 起火點：2樓208住房 起火原因：疑似住民縱火
	1.起火點於住房中未及時撤離該住房住民，導致住房內4名住民死亡，及56名住民輕重傷 2.地區火警警鈴被關閉 3.未使用滅火器或室內消防栓進行初期滅火動作 4.起火區劃內起火住房及非起火住房之房門未關閉，並無法阻隔濃煙 5.住房及走道區之排煙系統未啟動

近年類似場所火災案例分析與檢討	
場所	**火災案例分析與檢討**
南韓慶尚南道世宗醫院火災案例	時 間：2018年01月26日 AM 7：30 機構類型：醫療機構（地上5層） 床數：1-5F，目前收容共100名病患及35名醫護 死傷人數：37人死亡(其中3人為醫護人員)，143人受傷 死亡期間：AM 7點30-35分（消防隊抵達前） 起火點：1樓，急診室更衣室 起火原因：判斷為鍋爐室天花板電線短路
	1.垂直防火區劃失效： 1F急診室之火災濃煙透電梯間及中央樓梯擴散至2～6F 2.初期滅火失敗： 醫院人員並未執行初期滅火且，因面積未達法定規模未設置自動撒水設備 3.未落實侷限火煙之關門動作： 相較於3F之重症病房受損較為輕微，2F及5F罹難病患大多是往中央樓梯倉皇逃生，而未關閉防火門 4.未事先擬定疏散策略： 罹難者大多為高齡且移動不便的病患，未能擬定水平疏散及等待救援空間等規劃（本館與鄰館之安養院中有陽台（3F）及戶外梯相連接）

由前述災例分析發現在新北市樂○老人長期照顧中心及屏東縣南○護理之家發生火災時，起火區劃內起火住房及非起火住房未完全關閉房門導致濃煙在整個場所內蔓延，使得場所內部所有人員之生存時間及空間處於極大風險中，造成大量傷亡的結果機率將大幅提高。此外，初期滅火失敗也是近年來災例分析中常見的檢討項目之一，在實際火災面對初期滅火任務時，場所緊急應變人員於身心處於極度驚慌、恐懼或緊張的狀況下，容易使任務失敗導致場所自衛消防編組任務陷於混亂，失去演練或驗證時的成效，故建議應於是類場所強制設置自動撒水系統，減低緊急應變人員初期滅火壓力，提高初期滅火任務成功率，進而增加每個環節之自衛消防編組任務目標成功率，使傷亡風險降至最低，確保場所內所有人員生命安全。

（二）火災情境生存指標與情境設定

依據經濟部工業局[21]研究整理，NFPA 101 建議逃生路徑上方 1.5 公尺處

[21] 經濟部工業局，工業廠房性能化法規與防火安全設計手冊，2007 年。

之氣體溫度不可超過 93℃。戴皓宇、簡賢文[22]研究整理，NFPA 130 建議火場下層一氧化碳濃度不超過 1150ppm；NFPA 101 建議火場下層溫度不超過 49℃；NFPA 101 建議煙層下降高度不低於 1.8 公尺；對於熟悉場所人員火場能見度不低於 4 公尺。楊智欽、陳俊勳[23]採用火場內能見度避難人員須有 10 公尺的可視距離才能安全離開煙區之生存指標。綜合前述，本研究針對各火場人員生存建議值，以 FDS 模擬火災發生時逃生路徑上的環境條件，在不同關門時間下，對於要求自衛消防編組應變人員將起火房間關門是否在安全合理的範圍內，並分析關門前後對場所的影響。如表 4 所示。

表 4　火災模擬情境生存指標

情境		關門時間（秒）	能見度	煙層下降高度	火場溫度	一氧化碳濃度
I	II	0 90 150 210 270 330 390 450 510	>10公尺（一般人員）【6】 >4公尺（熟悉場所人員）【5】	NFPA 101 >1.8公尺	NFPA 130 <49℃	NFPA 130 <1150ppm

二、火源模擬類型及參數設定

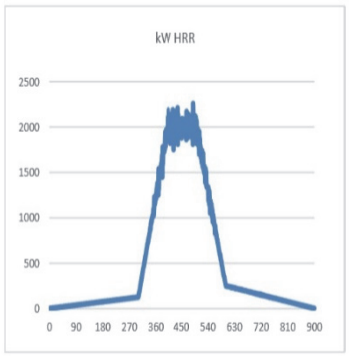
（一）火源模擬類型

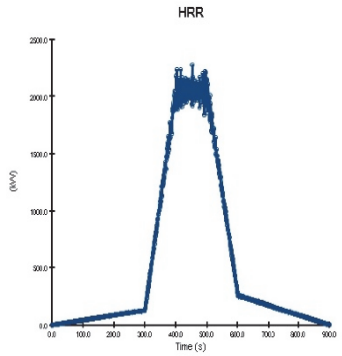
一般病床內層常見材質為聚氨酯（polyurethane），依社團法人美國消防工程師學會（Society of Fire Protection Engineers, SFPE）手冊[24]設定 FDS 反應參數 C=6.3、H=7.1、N=1、O=2.1。由戴皓宇、簡賢文【22】研究，對於電氣火災情境，設定泡棉床褥燃燒如圖，最高熱釋放率為 2MW，並對 D*/x 值分別為 4、6、16 之熱釋率曲線研究收斂最佳值，其研究發現當 D*/x 值為 4 時收斂情形為最佳，其達最大熱釋率時間為 400 秒，本研究依其研究結果設定熱釋率曲線參數。本研究模擬 D*/x 值為 5.08。火源情境模擬結果如圖 3 所示。

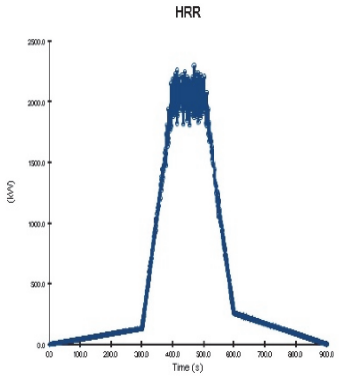
[22] 戴皓宇，區域醫院 RCW 火災初期應變機制檢討，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，2014 年。

[23] 楊智欽，鐵路地下隧道及車站之防火性能設計研究，國立交通大學機械工程研究所，碩士論文，2009 年。

[24] John R. Hall, Jr., PhD (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition：Section 5, Appendix C. Society of Fire Protection Engineers Bethesda, Maryland.





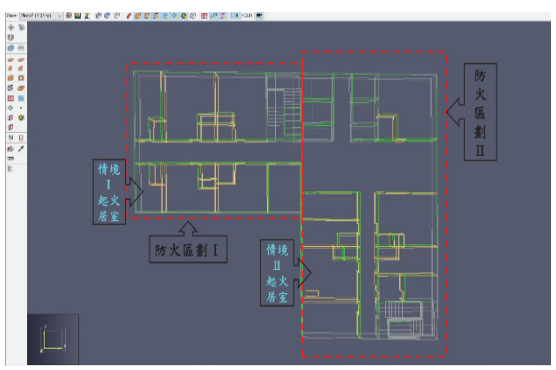


【22】設計火源模擬結果	情境Ⅰ火源模擬結果	情境Ⅱ火源模擬結果

圖 3　火源情境模擬結果

模擬場所實際規劃兩個防火區劃，如圖 4 所示。本研究依場所規劃之防火區劃設定火源位置情境，模擬兩個防火區劃內分別發生火災時，工作人員與住民所面臨的場所環境生存條件與生存指標關係。





場所實際規劃之防火區劃	模擬場所情境設計

圖 4　模擬場所之防火區劃

（二）網格大小設定

為了縮短計算時間，將網格大小分為起火層、直上層、直下層及其他樓層。本研究模擬 0.1D*值為 0.127，在起火層中火源最佳網格大小設定為 0.15x0.15x0.15(m)，總格點數為 4697100，但礙於電腦運算能力及所需時間限制下，本研究網格大小在起火樓層設定為 0.25x0.25x0.25(m)，網格分析數據表如表 5 所示。

表 5　網格分析數據表

Time Step	網格大小（公尺）		0.25公尺誤差值
	0.15	0.25	
	平均溫度（℃）		
350-400秒	32.69	32.73	0.12%
400-450秒	44.61	45.21	1.34%
450-500秒	53.33	53.41	0.15%
500-550秒	52.58	53.85	2.42%

在情境Ⅰ中之關門時間 90 至 210 秒，起火層網格大小設定為 0.25x0.25x0.25(m)，因煙層流至直上層及直下層甚少，為了縮短計算時間故將直上層網格放大至 0.5x0.5x0.5(m)，其他樓層不設置格點計算，總格點數為 638112；關門時間 270 至 510 秒，煙層可能向直上層流動，故將網格設定為起火層與直上層為 0.25 x0.25x0.25(m)，直下層維持 0.5x0.5x0.5(m)設定，其他樓層不設置計算格點，總格點數為 1126080。情境Ⅱ因安全梯位於起火居室附近，煙層不論關門時間為何，皆有可能向安全梯流動，不宜為了縮短計算時間放大網格造成嚴重失真，故將所有情境Ⅱ網格設定為起火層、直上層與直下層 0.25x0.25x0.25(m)，其他樓層 0.5x0.5x0.5(m)，總格點數為 1614048。火災情境參數整理如下表 6。

表 6　火災情境參數整理

情境	關門時間 T(秒)	網格大小設定值(m)	總格點數	D*/x(m) (between 4 and 16)	熱釋率 (MW)	達最大熱釋率時間(秒)
Ⅰ	0	起火樓層(7F):0.25x0.25x0.25 直上層與直下層(6、8F):0.25x0.25x0.25 其他樓層(5F):0.5x0.5x0.5	1614048	5.08	2	Ramp Up Time (400秒)
	90	起火樓層(7F):0.25x0.25x0.25 直上層與直下層(6、8F):0.5x0.5x0.5 其他樓層:無	638112			
	150					
	210					
	270	起火樓層(7F):0.25x0.25x0.25 直上層(8F):0.25x0.25x0.25 直下層(6F):0.5x0.5x0.5 其他樓層:無	1126080			
	330					
	390					
	450					
	510					
Ⅱ	0	起火樓層(7F):0.25x0.25x0.25 直上層與直下層(6、8F):0.25x0.25x0.25 其他樓層(5F):0.5x0.5x0.5	1614048			
	90					
	150					
	210					
	270					
	330					
	390					
	450					
	510					

伍、模擬結果

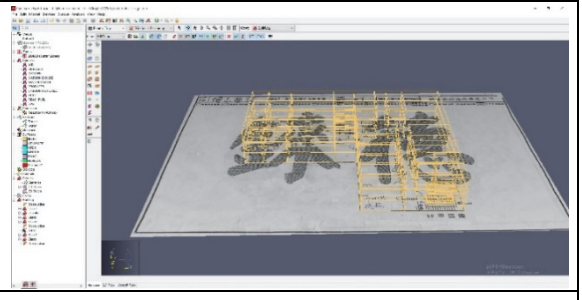
一、建立場所模型

本研究以高雄市某私立護理之家為例，使用 PyroSim 軟體建立模型，模擬發生火災時起火居室關門時間及不同火源位置對是類機構發生火災時人員生存條件的影響。模擬對象為 RC 結構，樓地板面積 1730.52 平方公尺，於民國 86 年許可設立，如圖 5 所示。消防設備設有室內消防栓設備、火警自動警報設備、滅火器、緊急廣播設備、緊急照明設備、標示設備、連結送水管等設備。模擬條件起始溫度 20℃，模擬時間為 900 秒。場所模型建立如圖 5 所示。



消防安全設備檢修報告書

申報場所概要	樓層別		樓地板面積合計	1730.52M²
	使用執照用途	醫院	實際用途	醫院
	場所名稱	護理之家	構造	RC結構造
	地址	高雄市 區 路 號 F		
	使用執照字號	(80)高市工建築使字第 號	營利事業登記證字號	統一編號



模擬對象建築物資料

PyroSim 軟體建立模型

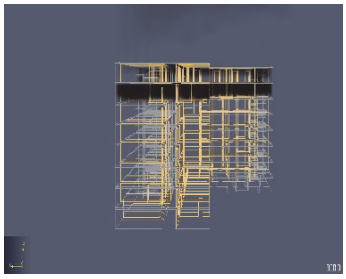
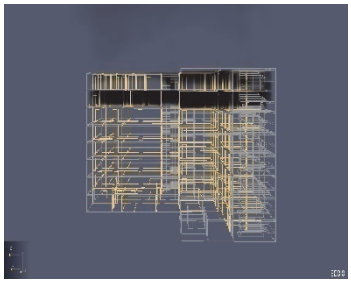
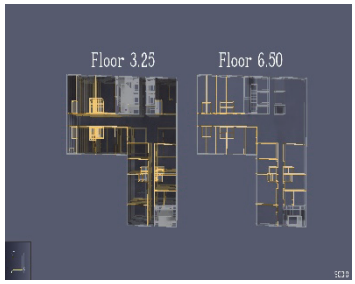
圖 5　場所模型建立

依 NFPA 101 性能評估建議情境，有針對場所特性設計之火災情境、起火居室房門未關之極快速火災、正常經營下引起之最嚴重火災、場所主動及被動火災防護設備皆失去功效、影響人數甚多之大型居室與難以察覺之起火點但可能影響避難逃生路徑和環境人員生存性等模擬建議情境。本研究依 NPFA 101 建議，將模擬場所之安全梯防火門、非起火居室門和防護區劃防火門設定不關閉，藉此模擬研究發生火災時煙層流動狀況，並且所有消防滅火設備（探測器、滅火器和室內消防栓）皆失效，模擬研究是類場所發生火災時，對場所內人員實施自衛消防編組任務或避難逃生行為時所面臨的環境狀況及生存條件。

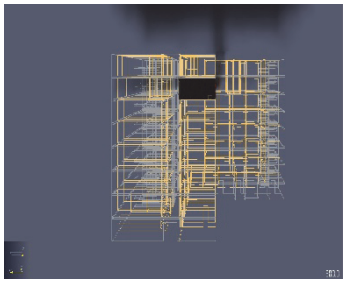
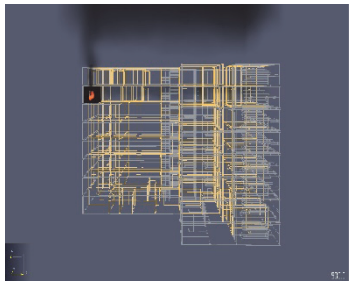
二、模擬結果與分析

（一）情境 I 煙流模擬結果

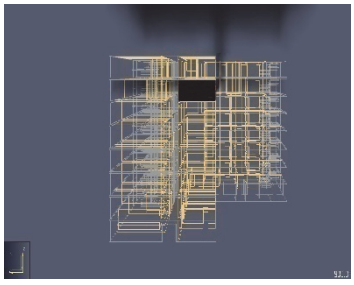
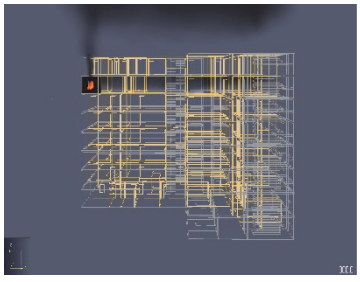
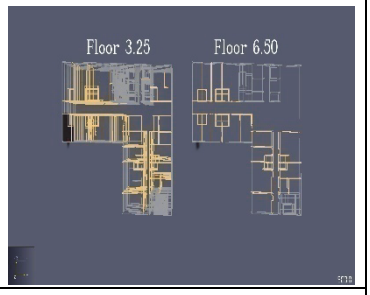
情境 I 煙流模擬結果，如圖 6 所示。

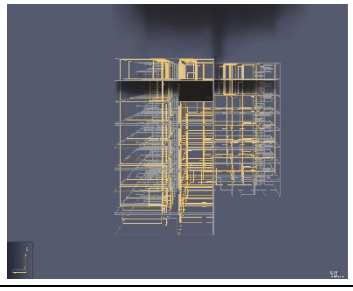
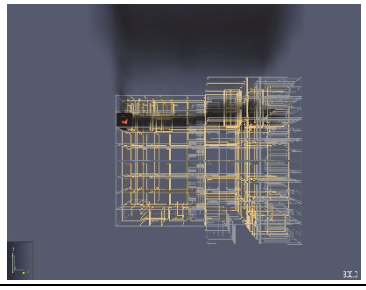
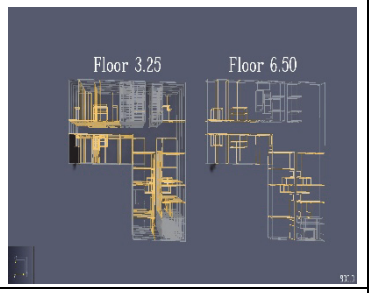
情境 I　T=0 煙流模擬結果

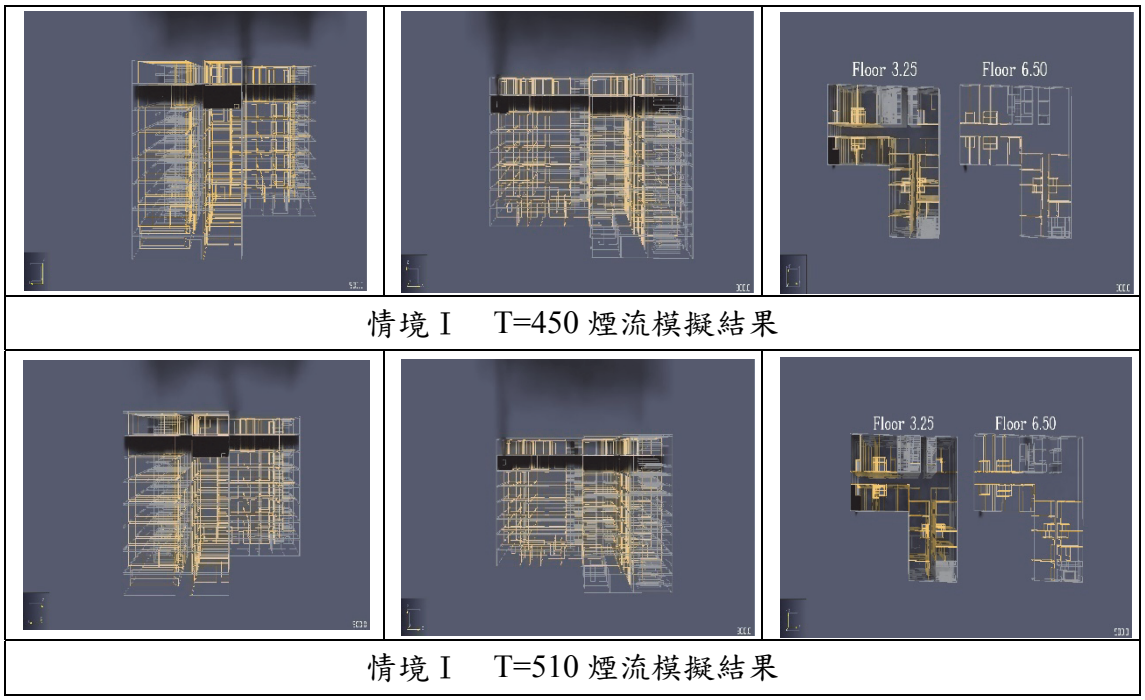

情境 I　T=270 煙流模擬結果

情境 I　T=330 煙流模擬結果

情境 I　T=390 煙流模擬結果



情境Ⅰ　T=450 煙流模擬結果

情境Ⅰ　T=510 煙流模擬結果

圖 6　情境Ⅰ煙流模擬結果圖

在實施自衛消防編組演練時及早將起火居室門關閉對場所避難逃生有正面幫助在學術上與實務上已有共識。火災發生時，燃燒所產生的濃煙為火場中最易致命的一項原因，因此在火場緊急應變策略中，建議將關閉房門的行為內化為每一個火場應變人員之應變動作。照服人員於火災應變時關閉起火住房與其他住房之防火門可有效阻隔火勢蔓延[25]。

由情境Ⅰ煙流模擬結果可發現，在起火居室門完全不關閉（T=0）的情況下，煙流不僅在起火層對環境生存條件造成嚴重危害（於(三)詳述）。在防火區劃門與非起火居室門皆未關閉的情況下，場所原規劃之兩個防火區劃皆失去功能，火災所發生的煙流將會從起火居室流至所有非起火居室，且在安全梯門未關閉的設定條件下，煙流將藉由安全梯蔓延至直上層。在火災發生 900 秒之後，除了防護裝備齊全之專業消防救災人員，場所內所有人員生存條件依生存指標分析皆難以生存，若在火災發生初期無任何防救災設施、設備或搶救疏散行動介入，幫助場所內所有人員增加適合避難之空間與時間，將造成場所內人員大量傷亡。

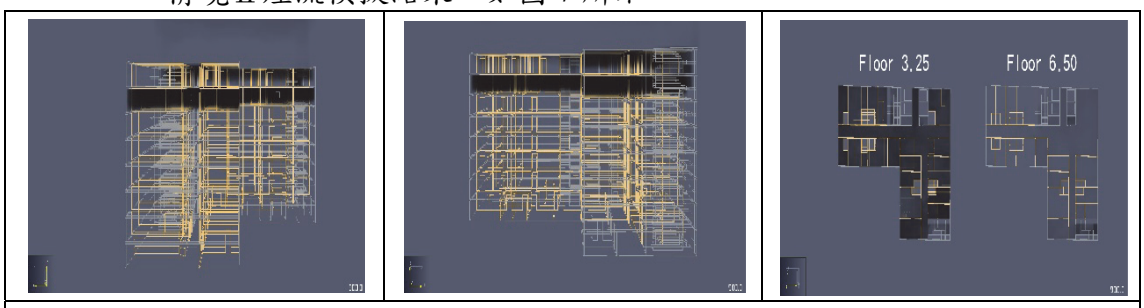
在起火居室門關閉時間由 270 秒至 510 秒情境中，由圖 6 可觀察出及早將起

[25] 一般護理之家防火安全管理指引 2.0，衛生福利部護理及健康照護司，網址：https：//dep.mohw.gov.tw/。

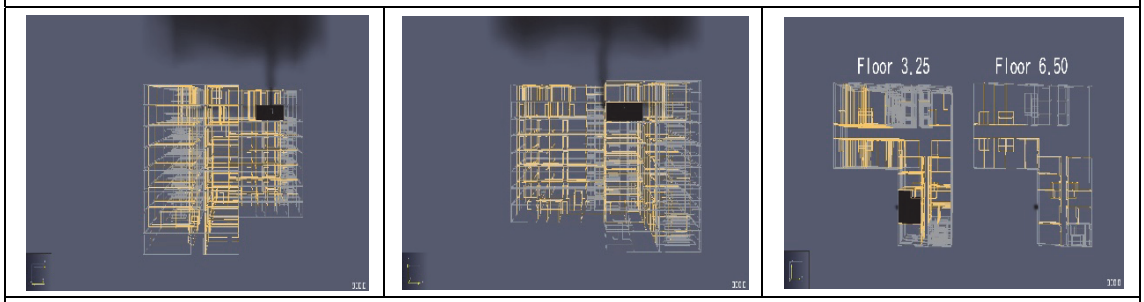
火居室門關閉可有效防止煙流在建築物中流竄，但在本研究模擬結果發現，情境Ⅰ關門時間為 390 秒時達場所緊急應變人員接近起火居室生存指標極限，若場所緊急應變人員遲至 450 秒才將起火居室內住民移至避難區完成並關閉起火居室門，避難逃生路徑溫度將超過生存指標，能見度、煙層下降高度已接近生存指標（10 公尺、1.8 公尺），人體暴露在一氧化碳濃度下的症狀達人體嘔吐、頭痛加劇範圍，實務上已無法接近起火居室執行任何自衛消防編組任務內容。換言之在情境Ⅰ中場所場所緊急應變人員必須在約 6 分 30 秒內完成編組任務內容，不管在日間、夜間對於非專業救災人員都是相當大的挑戰。

（二）情境Ⅱ煙流模擬結果

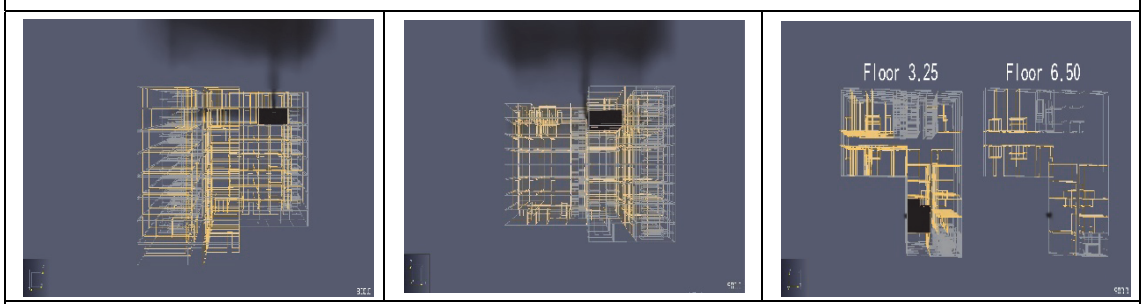
情境Ⅱ煙流模擬結果，如圖 7 所示。



情境Ⅱ　T=0 煙流模擬結果



情境Ⅱ　T=270 煙流模擬結果



情境Ⅱ　T=330 煙流模擬結果

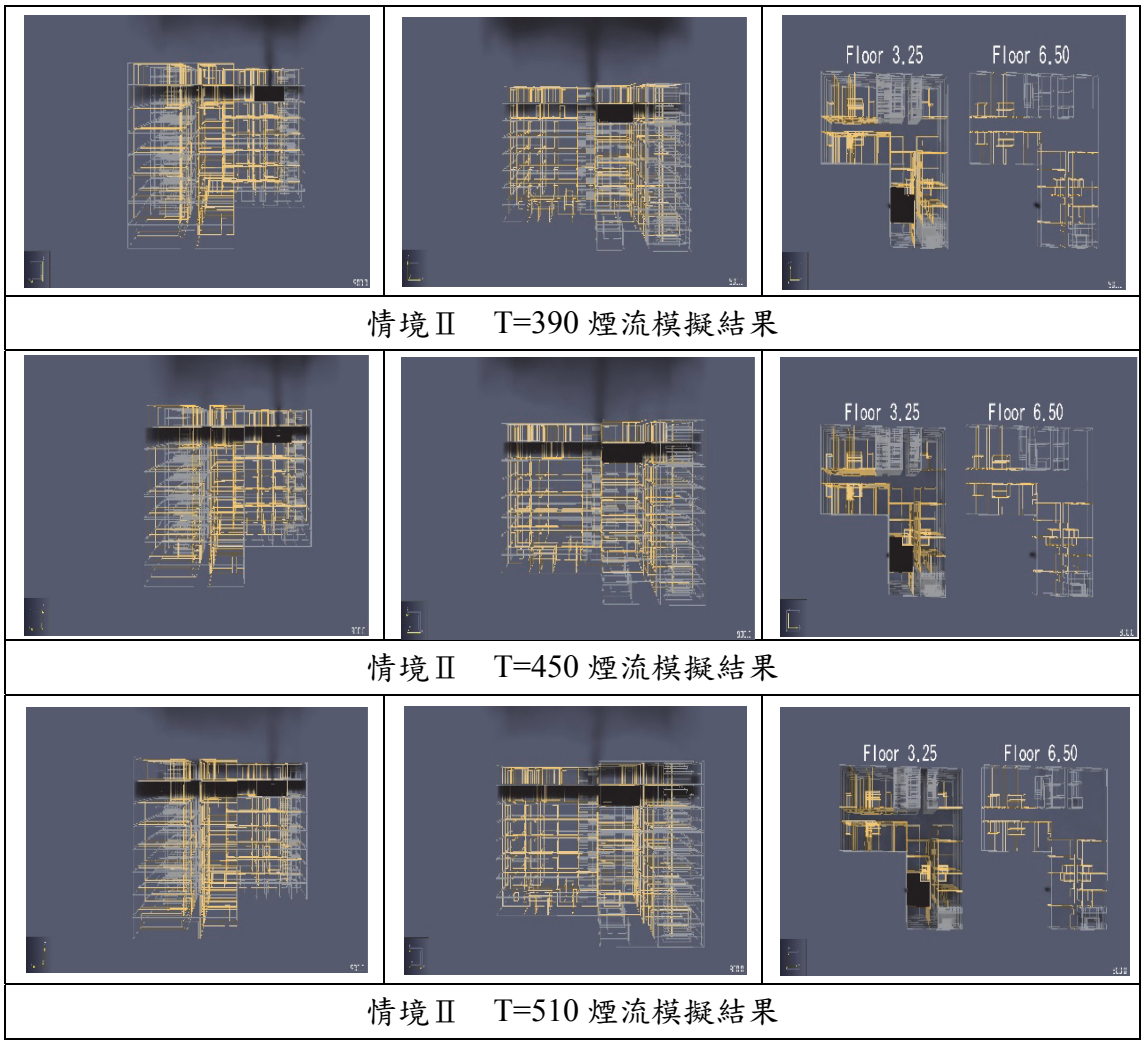


圖 7　情境Ⅱ煙流模擬結果圖

情境Ⅱ煙流模擬結果與情境Ⅰ類似，在起火居室門完全不關閉(T=0）的情況下，煙流起火層對環境生存條件造成嚴重危害。在防火區劃門與非起火居室門皆未關閉的情況下，兩個防火區劃皆失去功能，火災所發生的煙流將會從起火居室流至所有非起火居室，且在安全梯門未關閉的設定條件下，煙流將藉由安全梯蔓延至直上層，增加疏散與救援困難。

情境Ⅰ關門時間為 450 秒時達場所緊急應變人員接近起火居室生存指標極限，若場所緊急應變人員遲至 510 秒才將起火居室內住民移至避難區完成並關閉起火居室門，避難逃生路徑溫度將超過生存指標，能見度接近一般人員生存指標（10 公尺）、煙層下降高度已超過生存指標（1.8 公尺），人體暴露在一氧化碳濃度

下的症狀達人體嘔吐、頭痛加劇範圍，實務上已無法接近起火居室執行任何自衛消防編組任務內容。亦即在情境Ⅱ中場所場所緊急應變人員必須在約 7 分 30 秒內完成編組任務內容，幾無任何延遲與失誤空間，對緊急應變人員將形成莫大的壓力。

（三）起火居室前火場環境生存指標模擬結果

情境Ⅰ、Ⅱ起火居室前量測裝置設置點如圖 8 所示。起火居室前火場環境生存指標模擬結果，如圖 9、圖 10 所示。

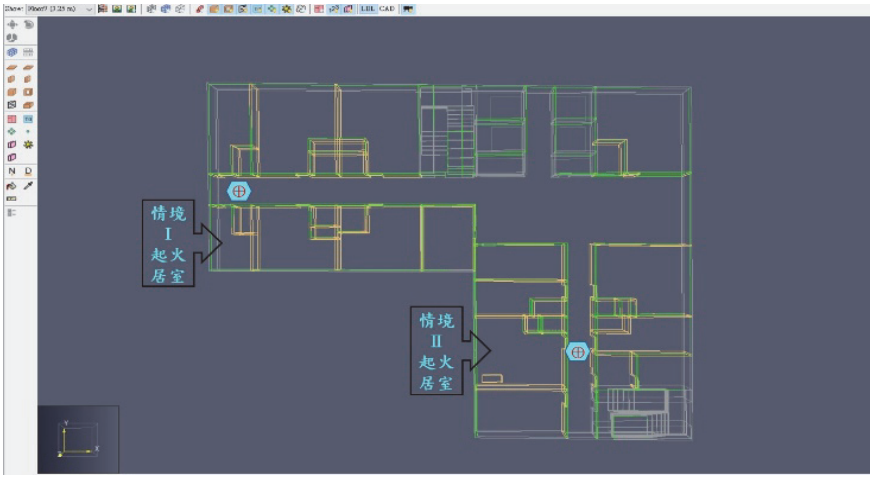
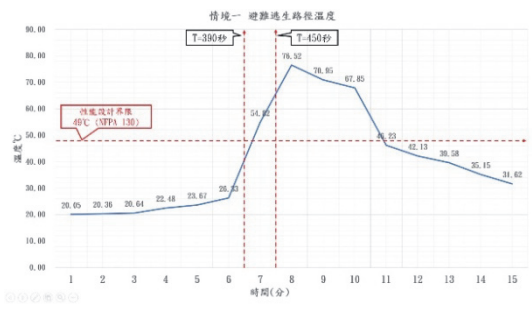
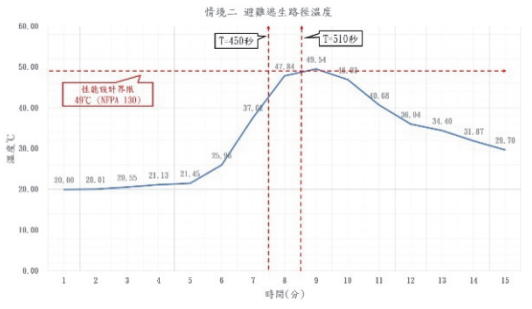
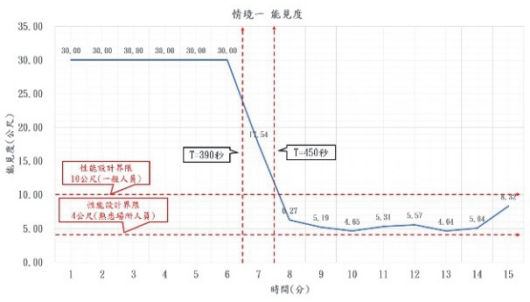
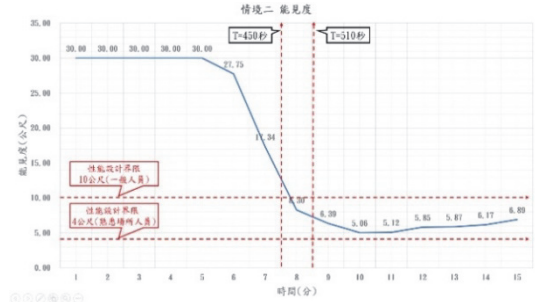


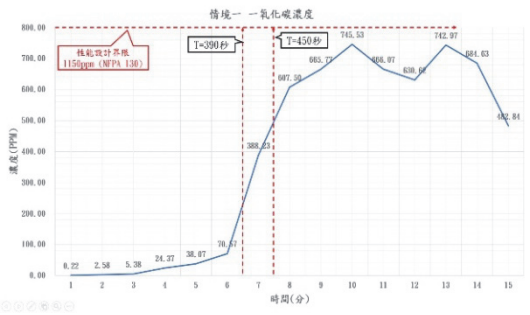
圖 8　情境Ⅰ、Ⅱ起火居室前量測裝置設置點

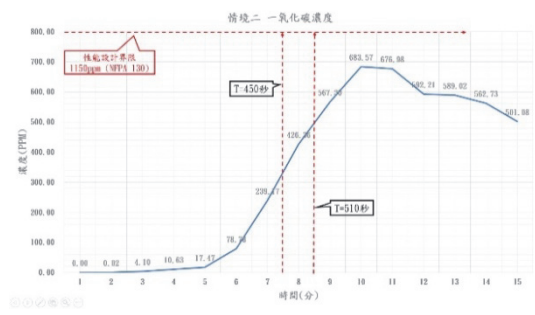
情境Ⅰ	情境Ⅱ
	
起火居室前避難逃生路徑溫度圖	



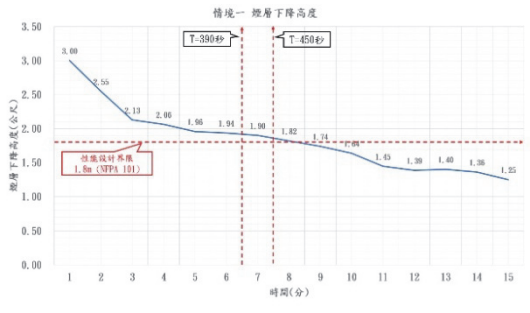


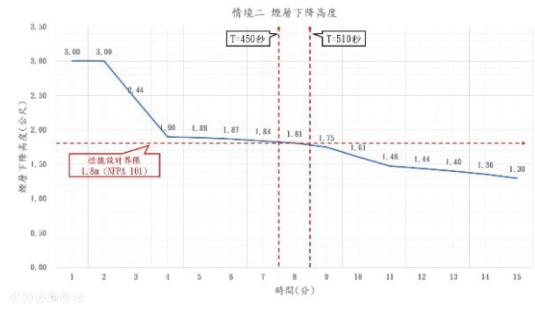
起火居室前能見度圖





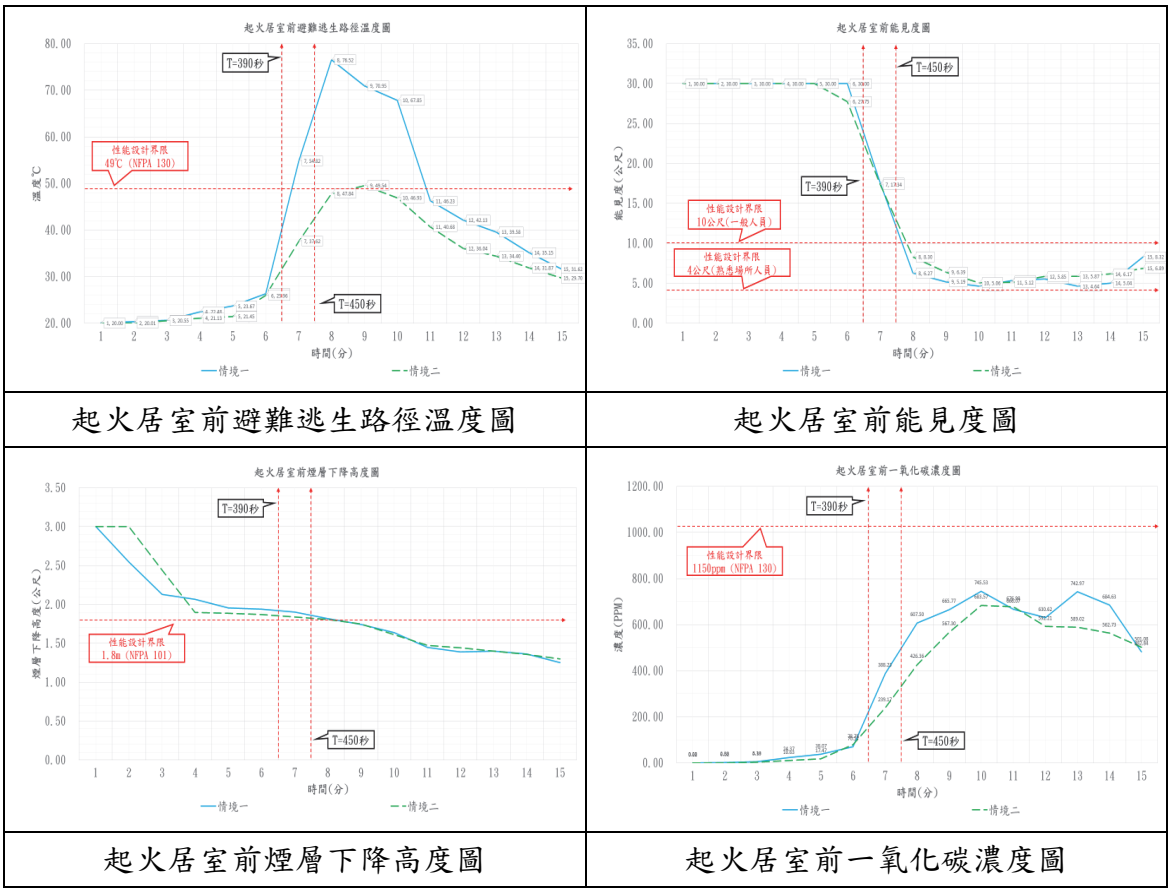
起火居室前一氧化碳濃度圖





起火居室前煙層下降高度圖

圖 9　起火居室前各項環境生存條件模擬結果圖



起火居室前避難逃生路徑溫度圖	起火居室前能見度圖
起火居室前煙層下降高度圖	起火居室前一氧化碳濃度圖

圖 10　起火居室前各項環境生存條件模擬結果圖

1.起火居室前避難逃生路徑溫度

從起火居室前避難逃生路徑溫度圖可知，情境Ⅰ中關門時間為 390 秒時場所緊急應變人員接近起火居室時的溫度約為 40℃，尚未超過 NFPA 101 建議之人員生存生存指標 49℃，場所緊急應變人員尚有機會在處於其環境溫度條件下完成自衛消防編組任務目標，但若是在 450 秒時起火居室前之溫度約為 65.2℃，已超出 NFPA 101 之建議值，在此種環境條件下場所人員將難以接近起火居室執行自衛消防編組任務。

在情境Ⅱ中，因起火居室面積較情境Ⅰ大，起火居室溫度上升幅度較情境Ⅰ來得緩慢，須至 510 秒時起火居室前溫度才上升至接近人員生存指標，此時溫度（約為 48.7℃）已非常接近人員生存指標值 49℃，在此環境溫度條件下場所緊急應變人員也難以執行自衛消防編組任務；而在 450 秒時在起火居室前溫度為約為 41℃，即使對於工作人員來說在處於此一溫度

下執行自衛消防編組任務相當嚴峻，但尚有機會達成任務目標。因此在情境Ⅰ和情境Ⅱ中，場所緊急應變人員必須分別在 390 秒與 450 秒前達成自衛消防編組任務目標，若再延遲將因環境溫度過高難以靠近起火居室執行自衛消防編組任務內容。

2.起火居室前能見度

在能見度方面，情境Ⅰ在關門時間為 390 秒和 450 秒時的能見度分別約為 24 公尺與 12 公尺，在 450 秒時接近一般人員生存指標，而在 510 秒時已超過一般人員能見度標準，接近熟悉場所人員標準，雖皆未超過場所緊急應變人員容許值，但因在 450 秒時場所溫度已超過人體容忍極限，故以 390 秒作為情境Ⅰ臨界時間；而情境Ⅱ關門時間為 450 秒和 510 秒時的能見度分別約為 13 公尺與 6.5 公尺，在 450 秒時接近一般人員生存指標，在 510 秒時已超過一般人員能見度標準，接近熟悉場所人員標準，雖皆未超過場所緊急應變人員容許值，但因在 510 秒時場所溫度已超過人體容忍極限，故以 450 秒作為情境Ⅱ臨界時間。

3.起火居室前一氧化碳濃度

一氧化碳（CO）通過呼吸進入身體。一氧化碳中毒可能與流感症狀，食物中毒和其他疾病混淆。一些症狀包括呼吸短促、噁心、頭暈、頭暈或頭痛。高濃度的一氧化碳可能是致命的，在幾分鐘內就會導致死亡。以百萬分率（ppm）為單位測量的一氧化碳濃度是平均健康成人症狀的決定因素[26]。表 7 為 NFPA 所研究之人體暴露在一氧化碳濃度下的症狀關係。國內行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所對於人體暴露在一氧化碳濃度下的症狀如表 8 所示。由起火居室一氧化碳濃度圖可得在情境Ⅰ中關門時間為 390 秒時一氧化碳濃度為約為 240ppm，而在 450 秒時約 500ppm；在情境Ⅱ中關門時間為 450 秒時一氧化碳濃度為約為 320 ppm，而在 510 秒時約為 500 ppm。依表 7 和 8 分別達到產生頭痛、眩暈和嘔吐等中毒症狀可能等級，暴露時間因人而異，若依NFPA標準500ppm暴露2小時以上即產生不適症狀，需注意避免在實施自衛消防編組完成後尚待在起火層附近，應至有新鮮空氣流通的環境下待命，若有任何身體不適盡速向現場救護人員反應立即就醫。

[26] NFPA's Fire Protection Handbook，20th Edition，2008 年。

表 7　NFPA 所研究之人體暴露在一氧化碳濃度下的症狀關係

CO濃度	暴露時間與症狀
50 ppm	8小時暴露無不良影響
200 ppm	暴露2-3小時後輕度頭痛
400 ppm	暴露1-2小時後出現頭痛和噁心
800 ppm	45分鐘後出現頭痛，噁心和頭暈；暴露1小時後昏迷失去知覺
1,000 ppm	暴露1小時後意識喪失
1,600 ppm	暴露20分鐘後出現頭痛，噁心和頭暈
3,200 ppm	5-10分鐘後出現頭痛，噁心和頭暈；暴露30分鐘昏迷失去知覺
6,400 ppm	1-2分鐘後出現頭痛和頭暈；暴露10-15分鐘後無意識和死亡危險
12,800 ppm	暴露1-3分鐘後立即產生生理影響，意識喪失和死亡危險

表 8　人體暴露在一氧化碳濃度下可能產生之影響[27]

環境中一氧化碳含量(ppm)	暴露時間(小時)	人體中一氧化碳血紅素濃度(%)	出現症狀
<100	-	1~10	短時間暴露對健康不會有不良影響
100~200	-	10~20	呼吸困難、輕微頭痛
200~300	5~6	20~30	明顯頭痛、虛弱、判斷力改變
400~600	4~5	30~40	嚴重頭痛、昏暈、虛弱、視力模糊
700~1,000	3~4	40~50	意識混亂、心跳呼吸加速、昏厥
1,100~1,500	1.5~3	50~60	氣喘、昏迷、痙攣
1,600~3,000	1~1.5	60~70	昏迷、痙攣、呼吸及心衰竭、死亡
>4,000	1~2 分鐘	70~80	喪失意識、死亡

4.起火居室前煙層下降高度

在煙層下降高度方面，情境Ⅰ在關門時間為 390 秒和 450 秒時的煙層高度分別約為 1.92 公尺和 1.84 公尺，皆未達生存指標界限 1.8 公尺，但因在 450 秒時場所溫度已超過人體容忍極限，故以 390 秒作為情境Ⅰ臨界時間。情境Ⅱ在關門時間為 450 秒和 510 秒時的煙層高度分別約為 1.82 公尺和 1.79 公尺，即在 450 秒時接近生存指標值，而在 510 秒時超過生存指標

[27] 張振平，以機械通風方式降低局限空間危害氣體累積之研究——以儲槽一氧化碳累積為例，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究計畫(計畫編號：IOSH95-H304)，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2007 年。

值，經前述火居室前避難逃生路徑溫度可知在情境Ⅱ中環境溫度皆未超過生存指標界限，但關門時間為 510 秒的情況下煙層下降高度已超過生存指標值，故在情境Ⅱ中以 450 秒作為臨界時間。

綜合上述，將起火居室前火場環境生存指標模擬數值結果整理如表 9。由表 9 可得場所緊急應變人員分別須在 6 分 30 秒與 7 分 30 秒前達成自衛消防編組任務目標，若再延遲將因生存條件已達可能嚴重危害生命程度而難以執行消防防護計畫內容。

表 9　起火居室前火場環境生存指標模擬數值結果

情境	關門時間（秒）	火場溫度（℃）	能見度（公尺）	一氧化碳濃度（ppm）	煙層下降高度（公尺）
Ⅰ	390	40	24	240	1.92
	450	65.2	12	500	1.84
Ⅱ	450	41	13	320	1.82
	510	48.7	6.5	500	1.79

註：紅色為超過生存指標。

（四）界限時間

依內政部消防署所頒定內授消字第 1070822953 號之「自衛消防編組應變能力驗證要點」界限時間估算緊急應變人員完成自衛消防編組任務時間，本研究模擬場所為收容避難弱者場所中之大型機構（合計樓地板面積 300 平方公尺以上者），如圖 11 所示。其起火區劃符合內部裝修限制但未設有自動撒水設備，故其基準時間為 5 分鐘；形成各居室不燃化區劃無法藉由有效之陽台避難之情形，故其延長時間為 2 分鐘；形成各居室門戶區劃無法藉由有效之陽台避難之情形，故其延長時間為 1 分鐘；寢具類有使用防焰製品，故延長時間為 1 分鐘；而初期滅火因本模擬並未設計初期滅火情境，故此項延長時間為 0。綜合上述，本模擬場所起火區劃界限時間為 9 分鐘。

與本研究模擬結果比較，情境Ⅰ及情境Ⅱ之生存指標臨界時間皆在此要點規定之界限時間內，實際上每年驗證也都合格，但於發生火災時造成留院觀察有 12 人、住加護病房 6 人，一般病房住院治療 14 人與自動出院 1 人。可推論現行自衛消防編組應變能力驗證制度法規面與實際發生火災時

執行面尚有落差。

大型機構(場所合計樓地板面積三百平方公尺以上者)

1. 起火區劃：

條件				設有自動撒水設備	未設自動撒水設備
基準時間(Tf1)		符合內部裝修限制之場所		9分鐘	5分鐘
		不符內部裝修限制之場所			2分鐘
延長時間	1.確保區劃(Tf2)	形成各居室不燃化區劃（註1）	就寢室能藉由有效之陽台避難之情形（註3）	6分鐘	4分鐘
			上述以外之情形	3分鐘	2分鐘
		形成各居室門戶區劃（註2）	就寢室能藉由有效之陽台避難之情形	4分鐘	2分鐘
			上述以外之情形	2分鐘	1分鐘
	2.寢具類防焰化(Tf3)（註4）	寢具類使用防焰製品之情形		—	1 分鐘
	3.初期滅火(Tf4)	在初期滅火使用室內消防栓之情形		—	1 分鐘
起火區劃之界限時間Tf=Tf1+Tf2+Tf3+Tf4					

註：

1.不燃化區劃：指牆壁、天花板及門窗等使用耐燃材料，而可形成區劃之情形。另有關耐燃材質之定義，可參見建築技術規則「設計施工編」第一章之相關內容。

2.各居室門戶區劃或其它區劃：指牆壁、天花板及門窗等使用紙類等易燃材質以外，而可形成區劃之情形。

3.就寢室能藉由有效之陽台避難之情形，係指起火區劃內人員可藉由陽台通往鄰接區劃或相對安全區劃。

4.寢具等為防焰製品之延長時間，如非屬上述「符合內部裝修限制」之場所，不可加計其延長時間。而「寢具等為防焰製品之延長時間」及「使用室內消防栓進行初期滅火」之延長時間，可分別加計。另上述寢具等為防焰製品，係指供該住房使用之枕頭、棉被、床墊、床罩、被套及枕頭套等寢具類均具有防焰性能之情形。

圖 11　收容避難弱者場所中之大型機構（合計樓地板面積 300 平方公尺以上者）（圖片來源：[28]）

緊急應變人員準備時間如圖 12[29]所示。依圖 12 表列，無行動能力的病患亦無法從病床上移出（需仰賴相關的儀器）最小延遲時間為 180 秒；無行動能力的病患可以從病床上移出，但有相當的困難度及必要的延遲（例如：輪椅）最小延遲時間為 180 秒。以推床疏散方式準備時間為 13 秒；以輪椅疏散方式準備時間為 10 秒。

[28] 內政部主管法規查詢系統，網址：http://glrs.moi.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL001118。

[29] 蕭世弘、顏高山、簡賢文，加護病房避難安全策略及緊急應變作為之研究—以某醫學中心為例。火災科學與消防工程：第四屆消防性能化規範發展研討會論文集，香港城市大學建築系火災安全與災害研究組和中國科學技術大學火災科學國家重點實驗室編。中國合肥：中國科學技術大學出版，2007 年。

研究調查	病患種類		最小延遲(秒)	最大延遲(秒)
英國Glasgow大學 C.Johnson教授	無行動能力的病患，亦無法從病房上移出(需仰賴相關的儀器)。		180	900
	無行動能力的病患，可以從病床上移出，但有相當的困難度及必要的延遲。(例如:輪椅)		180	900
	無行動能力的病患，但可以很容易的以一個或多個員工來協助移動。		60	180
	有行動能力的病患，可以依據員工(負責告訴他們接下來要做什麼)的指示自行移動。		30	90
Fire and human behavior	疏散方式	毛毯	準備時間	38
		推床		13
		輪椅		10
		助手椅(助行器)		11
第六屆SFPE消防安全與性能設計國際研討會老人安養中心設計-日本案例	說明	當緊急應變人員確認火點後，通知管理人員並開始緊急廣播後。	準備時間	300
第六屆SFPE消防安全與性能設計國際研討會老人安養中心設計-美國案例	收容人員於夜間因可能呈睡眠狀態，故增加計算時間。		準備時間	120

圖 12　緊急應變人員準備時間（來源：【29】）

依本場所制定之消防防護計劃中自衛消防編組表，於日間避難引導班（假設無人休假的情況下）共有 22 人於本場所可協助住民疏散。在火災初期無任何消防滅火設施設備動作下，在情境Ⅰ中起火區劃病床收容數為 22 張病床，需移至避難區之病患人數為 22 人，因此推估緊急應變人員將住民移至避難安全區最小延遲時間為 180+13=193 秒（以 1 人協助 1 張病床的情況下估算）；同理，情境Ⅱ中起火區劃病床收容數為 19 張病床，需移至避難區之病床為 19 張病床，需移至避難區之病患人數為 19 人，人力於日間充足的情況下，推估緊急應變人員將住民移至避難安全區最小延遲時間亦同情境Ⅰ（以 1 人協助 1 張病床的情況下估算）。

依本場所制定之消防防護計劃中自衛消防編組表，於夜間、假日避難引導班共有 11 人於本場所可協助住民疏散。在火災初期無任何消防滅火設施設備動作下，在情境Ⅰ中起火區劃病床收容數為 22 張病床，需移至避難區之病患人數為 22 人，在人力減半的情況下，協助病患疏散必需重新返回待救病患處進行第二趟的疏散行動，準備時間粗估在人力充足情況下加倍，即（180+13）*2=386 秒；情境Ⅱ亦同。

就準備時間估算即使於日間人力充足的情形下，兩情境緊急應變人員面臨場所環境接近生存指標臨界時間若加計準備時間，亦會超出法定界限時間，且於實際發生火災時緊急應變人員面臨與平時自衛消防編組演練時截然不同的場所環境，隨時間的增加將大幅提高場所內所有人員受困、受傷甚至死亡的風險。

依消防署「自衛消防編組應變能力驗證要點」附錄三：使用輔具時，

被照護者移至輔具等準備時間，其中輪椅準備避難需花費時間＝30 秒、擔架準備避難需花費時間＝60 秒。在人力充足、不考慮步行往返的狀況下，以擔架做為輔具時準備時間為 60 秒，但在人力不足時，準備時間必將視場所人力增加，與驗證時有所差異。

依消防署「自衛消防編組應變能力驗證要點」注意事項（二）：為模擬夜間人員處於應變能力較差的情境，請演練發現火災信息的人員及各相關應變人員（不論有無就寢）應靜待警報聲響後十五秒後（此十五秒納入應變行動時間計算中），始能開始應變行動。亦即於夜間發生火災時緊急應變人員準備時間為 15 秒，此值與美國案例有相當程度落差，法規與實際執行面的，可能成為每次實際發生火災時傷亡人數居高不下的原因之一。

綜合前述，現行自衛消防編組驗證制度在編組任務準備充分、人力充足與環境生存條件未受威脅的狀況下演練計算界限時間，未將實際發生火災時之病患移動延遲時間、緊急應變人員準備時間和環境生存條件納入考量，導致演練驗證時皆合乎規定但實際發生火災時無法發揮演練時的成果，仍然造成嚴重傷亡。建議在計算驗證界限時間時，應以實際人力並將病患移動延遲時間與案例準備時間列入計算，以符合實際執行時的情境，才能於發生火災時展現平時訓練有素的成效。

（五）非起火居室中環境生存條件與緊急應變人員完成自衛消防編組任務臨界時間

關閉起火居室門對場所內其餘居室皆能增加待救時間與空間，本研究對模擬場所兩個防火區劃中之非起火居室做關門前後比較，將增加之有利條件量化，以彰顯關閉起火居室門的重要性。情境Ⅰ、Ⅱ非起火居室編號如圖 13 所示。

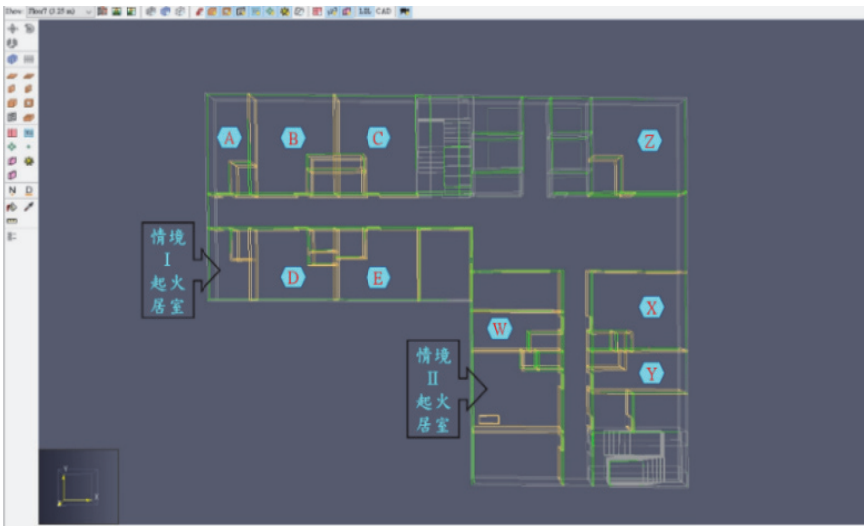
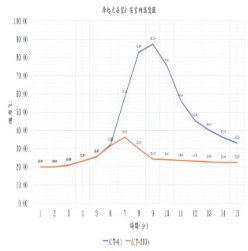
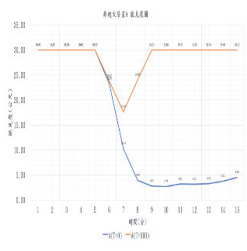
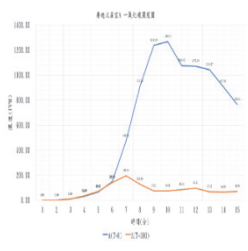
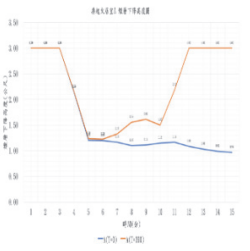
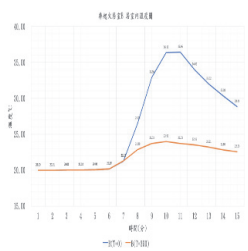
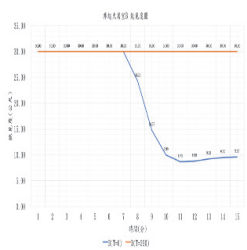
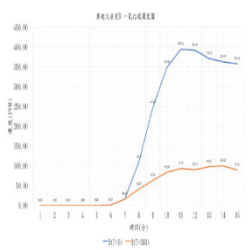
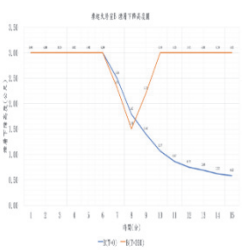
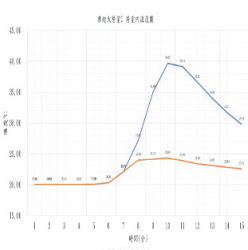
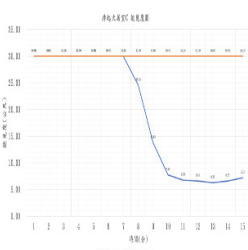
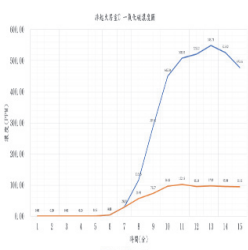
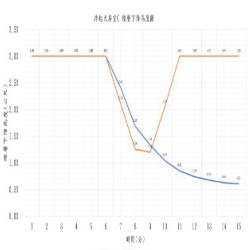
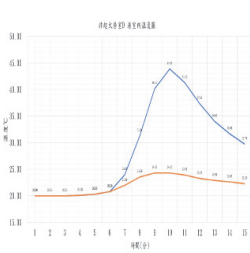
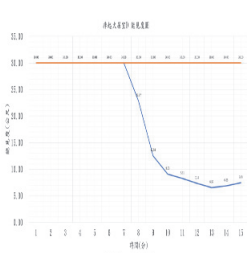
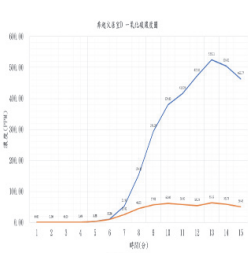
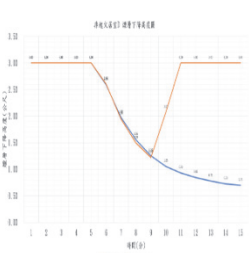


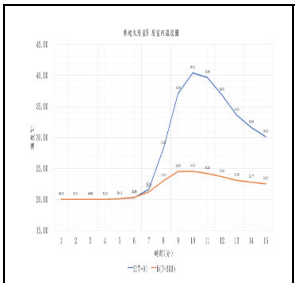
圖 13　情境Ⅰ、Ⅱ非起火居室編號圖

情境 I 非起火居室環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間（390 秒）比較，如圖 14、圖 15 所示：

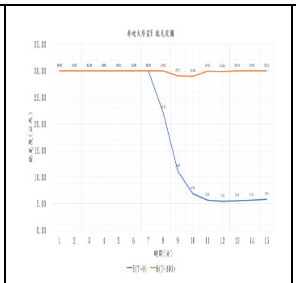
在情境 I 非起火居室環境生存條件比較中，由圖 14 得直接面對起火居室之房間，在火勢持續成長下所造成的危害大於其餘居室，A 居室為起火居室之正對面，關閉起火居室門之助益對其影響最大。在同一時間下，室內溫度由 87.34℃降至 24.29℃（在 9 分鐘時，降低幅度約 72%）；能見度由 10.34 公尺提高至 17.69 公尺（在 7 分鐘時，提升幅度約 41%）；一氧化碳濃度由 1267.02ppm 降至 74.51ppm（在 10 分鐘時，降低幅度約 94%）；煙層下降高度從 1.2 公尺恢復至 3 公尺（由 5 分鐘至 12 分鐘，每分鐘回復 25.71 公分能見度）。

若緊急應變人員未關閉起火居室之門而持續執行避難疏散行動，即使處於非起火居室內不但使環境逐漸惡化至影響自身安全，亦會壓縮其餘居室內人員待救之空間與時間，造成更多傷亡。

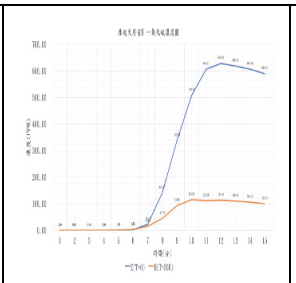
			
居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅰ　非起火居室 A 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			
			
居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅰ　非起火居室 B 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			
			
居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅰ　非起火居室 C 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			
			
居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅰ　非起火居室 D 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			



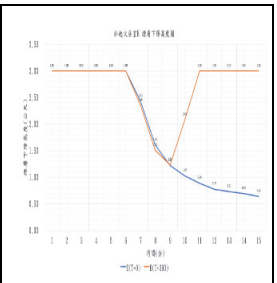
居室內溫度圖



能見度圖



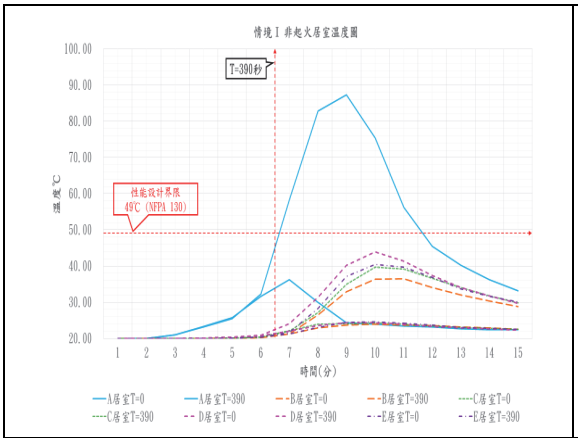
一氧化碳濃度圖



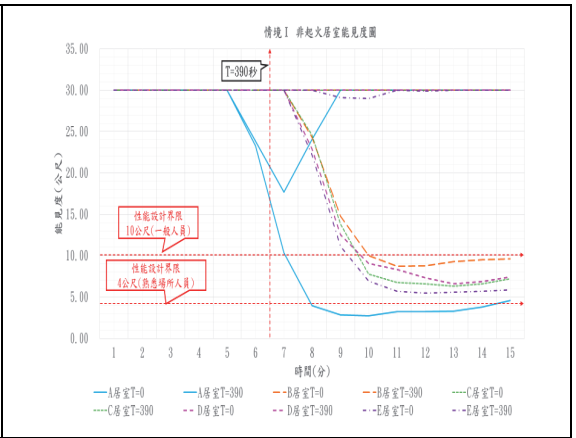
煙層下降高度圖

情境Ⅰ　非起火居室Ｅ環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較

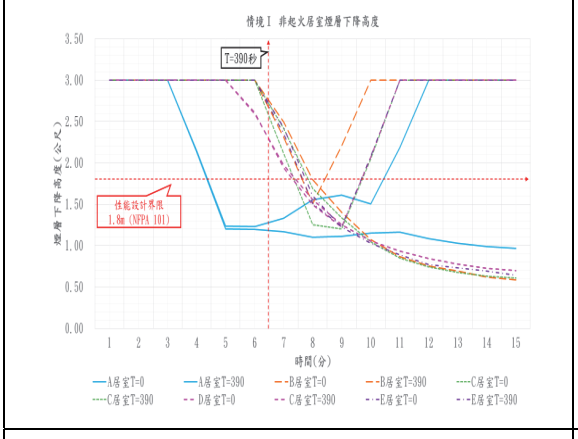
圖 14　情境Ⅰ非起火居室環境生存條件比較圖（各居室）



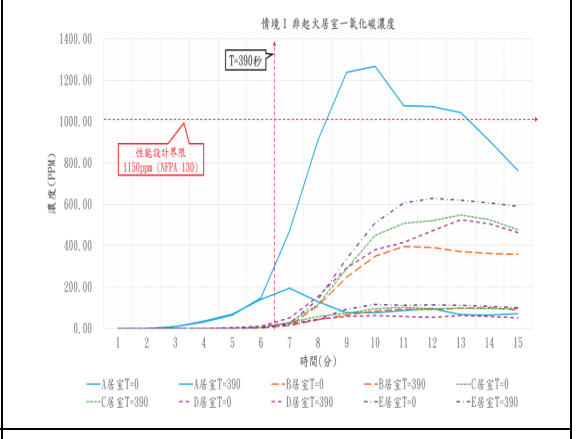
情境Ⅰ　非起火居室溫度圖



情境Ⅰ　能見度圖



情境Ⅰ　非起火居室煙層下降高度圖



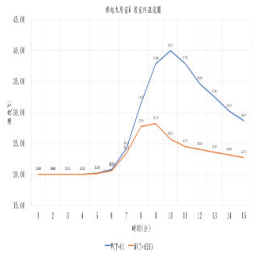
情境Ⅰ　非起火居室一氧化碳濃度圖

圖 15　情境Ⅰ非起火居室環境生存條件比較圖（防火區劃Ⅰ）

情境Ⅱ非起火居室環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間（450

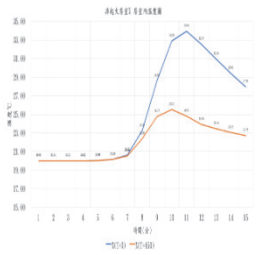
秒）比較，如圖 16、圖 17 所示：

在情境Ⅱ非起火居室環境生存條件比較中，Y 居室為起火居室之正對面，關閉起火居室門之助益亦對其影響最大。在同一時間下，室內溫度由 68.1℃降至 28.42℃（在 9 分鐘時，降低幅度約 58%）；能見度由 6.35 公尺提高至 14.84 公尺（在 8 分鐘時，提升幅度約 57%）；一氧化碳濃度由 1047.95ppm 降至 88.75ppm（在 10 分鐘時，降低幅度約 91.5%）；煙層下降高度從 1.66 公尺恢復至 3 公尺（由 5 分鐘至 13 分鐘，每分鐘回復 16.75 公分能見度），若緊急應變人員未將起火居室門關閉，對於正對面之居室將造成環境生存條件降至生存指標以下，內部人員將面臨急迫的生命威脅，建議應特別教育緊急應變人員在人員疏散完畢時務必將門關閉才算完成任務。



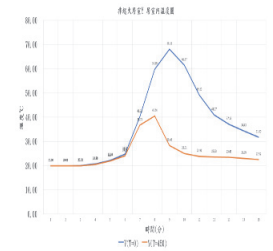
居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖

情境Ⅱ　非起火居室 W 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較

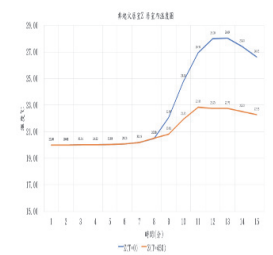


居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖

情境Ⅱ　非起火居室 X 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較

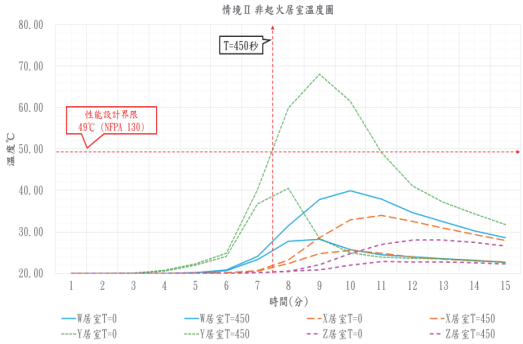


居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅱ　非起火居室 Y 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			

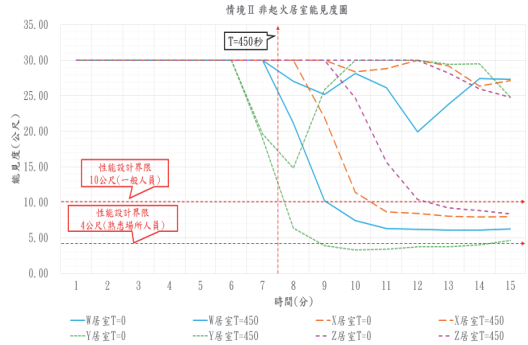


居室內溫度圖	能見度圖	一氧化碳濃度圖	煙層下降高度圖
情境Ⅱ　非起火居室 Z 環境生存條件與應變人員完成任務臨界時間比較			

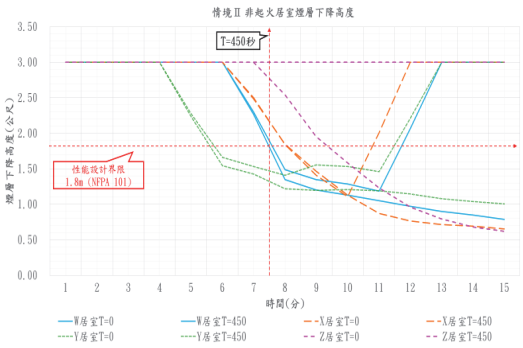
圖 16　情境 II 非起火居室環境生存條件比較圖（各居室）



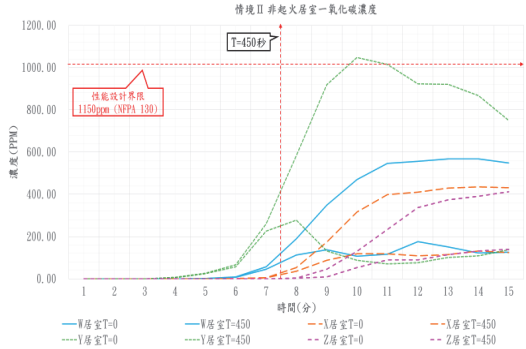
情境Ⅱ　非起火居室溫度圖



情境Ⅱ　能見度圖



情境Ⅱ　非起火居室煙層下降高度圖



情境Ⅱ　非起火居室一氧化碳濃度圖

圖 17　情境Ⅰ非起火居室環境生存條件比較圖（防火區劃Ⅱ）

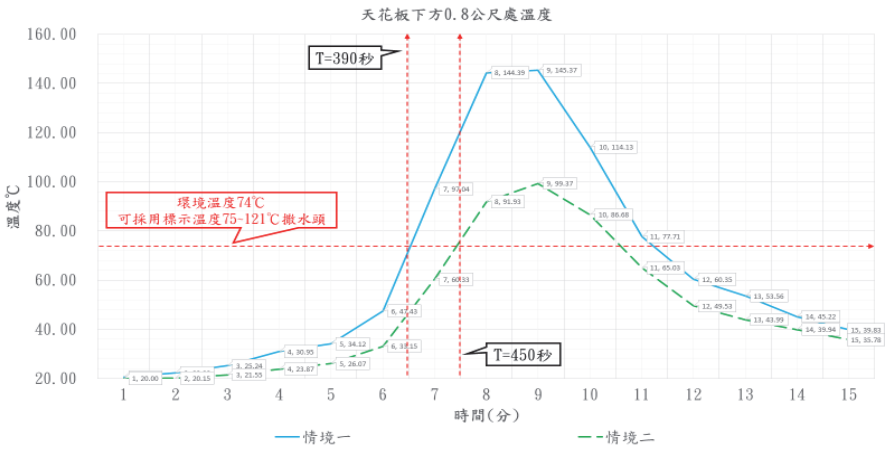
其餘非起火居室之居室內溫度、能見度和一氧化碳濃度皆未超過生存指標，但煙層下降高度皆超過生存指標範圍，因此在臨界時間內完成避難並將起火居室門關閉的任務對整個場所人員安全有最直接且關鍵的影響，不僅能爭取更多時間疏散所有居室人員，也能為執行緊急應變人員提供更佳的場所環境完成任務。

陸、結論與後續研究建議

本研究以模擬軟體 PyroSim 建立場所模型後模擬護理之家床墊起火情境，找出緊急應變人員生存安全的臨界時間並與消防署所頒「自衛消防編組應變能力驗證要點」驗證界限時間比較，發現性能式驗證法（Route C）符合規格式驗證法（Route A）的標準，但以實際場所災例結果分析，推論現行法規與執行面尚有改善空間，建議應將國內外災例中緊急應變人員實際準備時間納入考量，修正現行法規界限時間，使驗證演練與實際執行自衛消防編組任務時更趨一致，以期是類場所發生火災時達成零傷亡的目標。

本研究並未模擬場所設置自動撒水系統所造成之影響，但模擬結果亦發現在情境Ⅰ和情境Ⅱ中應變人員完成任務之臨界時間，其起火居室天花板下方 0.8 公尺處之溫度可採用同一標示溫度範圍 75~121℃之撒水頭，如圖 18 所示。於是類火源下裝設撒水頭在火災發生初期可抑制火勢成長，不僅為緊急應變人員在執行避難疏散任務過程中，環境生存指標接近容許極限時提供及時幫助，也能為住民創造更多待救的時間及空間，降低受傷甚至死亡的機率。惟裝設種類、方式、條件或規格等，需後續研究找出對業者、緊急應變人員及住民三贏的方案，尚待政府與

民間朝此一方向共同邁進。



起火居室天花板下方 0.8 公尺處之溫度

圖 18　起火居室天花板下方 0.8 公尺處之溫度與撒水頭動作溫度

影響護理之家收容人員生存因子眾多，除了起火居室前避難逃生路徑溫度、能見度、一氧化碳濃度和煙層下降速度外，尚有氧氣濃度、二氧化碳濃度、有毒氣體濃度、熱幅射量及熱通量等因子，僅靠場所緊急應變人員無法完全確保所有住民生存的時間與空間，還須配合其他消防設施設備及完善的場所規劃才能有效降低是類機構傷亡程度。本研究僅以起火居室關門時間模擬分析對緊急應變人員生存指標的影響，未來將加入自動撒水系統、排煙系統及 t^2 火源成長情境進行研究，期能減低緊急應變人員負擔和增加收容人員安全，在法規與實際執行面間取得最佳平衡點。

參考資料

林委員鉅錕、尹委員祚芊、劉委員玉山提，前行政院衛生署新營醫院北門分院糾正案，監察院全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/。

王幼玲委員、張武修委員、尹祚芊委員提，衛生福利部臺北醫院護理之家糾正案，監察院全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/。

潘國雄，長照機構情境式火災風險辨識與溝通作業演練，中央警察大學，2018 年。

愛長照編輯團隊，網址：http://www.ilong-termcare.com/Article/Detail/93，2016 年。

監察委員新聞稿，衛福部臺北醫院護理之家大火釀成嚴重傷亡災害監察院提案糾正衛福部臺北醫院，監察全球資訊網，網址：http://www.cy.gov.tw/，2019

年 2 月。

網路新聞，聯合新聞網，網址：http://udn.com/news/story/7266/3306846，2018 年 8 月。

雷明遠，長照服務機構防火避難改善之調查研究，內政部建築研究所研究報告（編號：PG10505-0076），內政部建築研究所，2016 年。

Margrethe Kobes , Ira Helsloot , Bauke de Vires , Joes G. Post , Building safety and human behaviour in fire ： A literature review, Fire Safety Journal 45 (2010) 1-11, The Netherlands.

XING Zhi-Xiang , ZHAO Xiao-Fang , SONG Hua , GAO Wen-Li(2011). Applied Research of Performance-based Fire Protection Design in a Large Building, Institute of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Jiangsu, China.

Chi-ming Lai , Chien-Jung Chen , Ming-Ju Tsai , Meng-Han Tsai , Ta-Hui Lin, Determinations of the fire smoke layer height in a naturally ventilated room , Fire Safety Journal 58 (2013) 1-14, Taiwan.

蔡綽芳、楊欣潔，老人福利機構防火及避難安全參考手冊精進研究，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，2015 年。

王安強、鍾基強、雷明遠、胡幃傑、陳又嘉、黃祥志、盧玟廷，適用於安養及長照服務機構之消防安全設備研究，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，2017 年。

黃譯緯，長期照顧機構自衛消防編組演練暨避難驗證之研究——以臺中市為例，吳鳳科技大學消防研究所，碩士論文，2016 年。

護理之家火災緊急災害應變計畫 2.0，衛生福利部護理及健康照護司，網址：https://dep.mohw.gov.tw/。

沈子勝，火災危害分析（Fire Hazard Analysis）技術研究，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告（計畫編號：922001INER004)，中央警察大學，2004 年。

財團法人台灣建築中心，網址：http://www.cabc.org.tw/firesafety/4.htm。

李訓谷，大空間中庭建築性能式煙控系統設計分析，國立中山大學機械工程系，博士論文，2001 年。

柯建明，大型車站建築之火災煙控系統設計與電腦模擬分析，國立中山大學機械與機電工程研究所，碩士論文，2003 年。

K. McGrattan (2007).Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear

Power Plant Applications Volume 7： Fire Dynamics Simulator (FDS), U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, DC 20555-0001.

潘國雄，一般護理之家防火安全管理與緊急應變演練，中央警察大學，2018 年。

經濟部工業局，工業廠房性能化法規與防火安全設計手冊，2007 年。

戴皓宇，區域醫院 RCW 火災初期應變機制檢討，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，2014 年。

楊智欽，鐵路地下隧道及車站之防火性能設計研究，國立交通大學機械工程研究所，碩士論文，2009 年。

John R. Hall,PhD（2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition ： Section 5, Appendix C. Society of Fire Protection Engineers Bethesda, Maryland.

一般護理之家防火安全管理指引 2.0，衛生福利部護理及健康照護司，網址：http://dep.mohw.gov.tw/。

NFPA's Fire Protection Handbook，20th Edition，2008 年。

張振平，以機械通風方式降低局限空間危害氣體累積之研究——以儲槽一氧化碳累積為例，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究計畫（計畫編號：IOSH95-H304），行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2007 年。

內政部主管法規查詢系統，網址：http://glrs.moi.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL001118。

蕭世弘、顏高山、簡賢文，加護病房避難安全策略及緊急應變作為之研究——以某醫學中心為例。火災科學與消防工程：第四屆消防性能化規範發展研討會論文集，香港城市大學建築系火災安全與災害研究組和中國科學技術大學火災科學國家重點實驗室編。中國合肥：中國科學技術大學出版，2007 年。