

# 火災動態模擬系統與緊急應變 行動於高科技廠商業火險核保 之應用

Application of Fire Dynamic Simulation System and  
Emergency Response Action in Commercial Fire  
Insurance Underwriting for High-Tech  
Manufacturers

撰稿人： 蔡 南 煜

Nan- Yu Tsai



# 火災動態模擬系統與緊急應變行動於高科技 廠商業火險核保之應用

## 摘 要

高科技廠房火災的損失往往不只是火災燒毀的物品，還包含火災煙損、救災過程的水損、營運中斷損失等。由於高科技廠房建築結構特殊，火災持續時間越長則損害範圍倍增，即使火災燒毀的設備不多，但煙害所造成的營運中斷才是保險理賠最主要的項目，所以縮短火災持續時間即可減少火災損失。在論文中會探討高科技廠初期火災發生時緊急應變行動的關鍵時間，藉由吸氣式偵煙探測系統發出警報，再由 24 小時值班緊急應變中心啟動緊急應變，現場緊急應變人員在 120 秒內完成初期火災滅火，並以實際演練及測試歸納出 300 秒作為火災初期應變的關鍵時間。研究內容也以 FDS 軟體作為輔助工具，模擬潔淨室內火災發生時煙流發展的情境，選擇潔淨室內不同位置的 Stocker 起火燃燒，並比對 100 秒~900 秒時間的煙損範圍。

關鍵詞：高科技廠房、潔淨室火災，潔淨室煙損、商業火災保險、火災動態模擬 (FDS)

# Application of fire dynamic simulation system and emergency response action in commercial fire insurance underwriting for high-tech manufacturers

## Summary

The losses of a high-tech manufacturer fire are not only the items damaged by fire, but also includes the damage cause by smoke and water, and the loss due to operation interruption. Because of the special structure of high-tech manufacturers, the loss doubles in a short amount of time. Since the production requires a certain level of cleanliness, the interruption caused by smoke damage happens to cover the majority of insurance. Shortening the time of fire is key. In this paper, I will discuss the critical time of emergency response during the initial phase of a fire. When the aspirating smoke detection system raises an alarm, the 24-hour emergency response center launches an emergency respond. Fire extinguishing should be done within 120 seconds. The first 300 seconds is regarded as the critical time of emergency response during the initial phase of a fire. FDS software was used in this research to simulate the development of smoke flow during a clean room fire. Each stocker located in different spots of the clean room is selected to ignite and burn one by one, then its smoke damage area from 100 to 900 seconds will be compared to one another.

Keywords: High-tech manufacturer, clean room fire, clean room smoke, commercial fire insurance, Fire Dynamics Simulator (FDS)

# 壹、緒論

## 一、研究動機與目的

隨著高科技產業 12 吋晶圓製造廠一座又一座的增加，每座 12 吋晶圓廠的建造成本大約新台幣 1000 億元，如果是 45 奈米或 22 奈米的先進製程，則建造成本將接近 2 倍，且 12 吋晶圓製造所使用的生產機台動則數億或數十億台幣，現在一座 12 吋晶圓製造廠的商業火災險保單，全損理賠金額已經超過 1500 億台幣以上。保險經紀人公司為了順利將客戶的保險安排到國際再保市場，必須運用不同的估算方法及市場經驗，為客戶量身訂做最合適的保險規劃，協助客戶以最精簡的保費預算買到應有的財產保障。

商業火災險的保費制定自由化後便存在很大的自由空間，本研究是依據客戶需求由保險經紀人公司考量市場機制，專案為保戶設計的投保規畫及建議，其目的是為避免保戶購買不足額保障，又可滿足精簡保費的目的。本研究內容是要探討火災發生時緊急應變行動在實務上對於火災損失的影響，由於緊急應變行動降低廠內火災延燒的機率及損失的規模，藉以合理調降保費。

這裡所講的緊急應變行動包含建築物及硬體設施的防火設計、防火區劃、消防滅火設備的設計、人員訓練、緊急應變器材操作等，在火災發生時如何限制火災發展、縮短火災期間及減少煙所產生的汙染範圍。並以 FDS 軟體模擬火災情境，模擬出有緊急應變行動所產生的影響，提供保險公司在保險核保時作為估價參考。

## 二、文獻回顧

### (一) 無塵室煙控

半導體廠房無塵室煙控系統，因為法規沒有潔淨室相關規定而未設置，直到以一般排氣管路排煙的方式替代，再到最新設計使用專用排煙裝置，現在更增加正負壓差原理或修正些軟硬體提升排煙效果。因此在(黃國勇, 2004)的研究中，針對現行半導體廠無塵室煙控系統進行探討，對現有常見各項煙控系統缺失進行探討，並將現行國內外煙控系統相關法規及基準彙整，最後以煙控系統中較常見軟硬體因素進行探討分析，並加入功能性消防防護設計，提出較佳設計方式或規格，作為適合半導體廠房此類特殊建築物進行防煙系統設置時之參考。研究結果將完整的煙控系統與廠區緊急應變進行結合，透過緊急應變演練，將可能事故損失降至最低。從黃國勇的研究中可看出半導體廠房無塵室煙控無法靠單一自動控制系統做有效控制，緊急應變行動及火場狀況的判斷均會影響煙控的結果。

潔淨室排煙設計一直沒有設計標準可以參考，不論上排煙或下排煙均是以功能性設

計做模擬驗證，(邱晨瑋，2005)在其論文中以 SFPE 性能式設計程序來評估設計十二吋晶圓廠無塵室煙控系統，使用 NIST 所發展的 CFD 火災煙控軟體 FDS (Fire Dynamics Simulator)模擬無塵室中火災煙流動情形。分別使用上排煙及下排煙系統結合起火區空調系統降載至 0.1m/s 及關閉，且非起火區空調系統增載至 0.6 m/s 的試驗設計，並針對 3MW 及 800kw 的火源，進行不同案例的模擬分析。結果發現下排煙系統在 3MW 的火源下，無法有效將煙侷限在起火區劃內，無法滿足財產安全標準，但仍可滿足生命安全標準。研究結果發現潔淨室壓差及現有的上排煙與下排煙設計，均無法在 3MW 以上的火災有效控制煙的擴散。

因為潔淨室屬於大空間環境，有許多研究是以環境空調產生壓差，限制煙的擴散。(吳念坤，2013)研究晶圓廠常見之替代方案，探討 FFU(Fan Filter Unit)降載與一般防煙垂壁於煙控上之差異，並驗證其替代方案之可行性。在他的研究中係利用溼式清洗台常用之有機溶劑為燃料，以火災模擬軟體模擬火災發生時煙霧的流向，藉此比較 FFU 降載方案與防煙垂壁方案之功效，並使用性能式煙控設計，探討不同降載幅度及不同火源參數設定比對 FFU 降載之影響。研究結果顯示，FFU 降載方案雖在限制煙霧擴散之功能比設置防煙垂壁來的差，但在減緩煙塵下降速度上的效果則相當顯著。

相同的研究也在(邱民昇，2016)研究報告中可以看出，其利用 FDS 模擬情境中火源設計，對潔淨室內高火載量區域與高風險性物質，包括晶舟盒儲區、聚氯乙烯布所搭建的棚架與消耗低閃火點物質的製程設備等，評估潔淨室差壓煙控策略下的煙損害程度。參考業界採行的差壓煙控手段係透過 FFU 出口風速的調節，建構出差壓環境來侷限煙流後，再輔以排煙機於天花板處抽取煙氣，以達煙損防制目的。經由 FDS 的模擬結果得知，垂直層流式潔淨室採用 FFU 降速或停止運轉之環境差壓控制與上排煙系統，對熱釋放率達 3MW 規模以上的淡煙氣體流場所產生的抑制效果甚為有限。

潔淨室內的煙控必須以時間做考量，當熱釋放率達 3MW 之後，煙損的範圍及速度將倍速成長，越早發現火災並撲滅火災才是最有效的煙控，因此早期火災偵測及成功的緊急應變行動才是減少煙損的首要考量。106 年 1 月 1 日生效的「潔淨區消防安全設備設置要點」，該標準第二十八條規定，檢討設置排煙設備。但符合下列各款規定者，免設排煙設備：

1. 為防火構造建築物。
2. 避難步行距離符合建築技術規則建築設計施工編第九十三條之規定。
3. 設有吸氣式偵煙探測系統。
4. 設置自動撒水設備。

5.潔淨區設置排煙設備，因自動物料搬運系統作業需求，得免設防煙垂壁。

## (二) 緊急應變

如何確保緊急應變有效，高科技廠對緊急應變也投入相當多的研究，(洪傳譜,2005)的論文整合各個不同的系統緊急應變計畫，使應變流程簡化。而且實際演練及應變情境也是以廠區內假日或夜間人員較少之情境為考量，使緊急應變演練更接近實際狀況。如果工廠內發生火災狀況，廠內員工卻沒有任何作為，則可能演變成大型災難，進而導致公司產生重大的損失。因此，工廠內需注重緊急通報及火災監控，縮短現況確認、回報及 ERT 集合時間。各單位值班人員需訓練其如何評估災害狀況，強化緊急應變小組集結速度，定期演練大型災害情境並配合擴大緊急應變組織與人力。對於緊急應變小組的設置、教育、訓練及運作，以及標準作業流程的製定與運用，須以廠內員工為主力，無外力支援情況下即可控制災害。

緊急應變指揮系統(Incident Command System)在經濟部工業局於 1990 年引進與推廣，目前已普遍成為搶救災害的共通應變模式。(馮宣皓, 2006)論文中提到不論是政府機關或工廠皆將這一套指揮模式運用在緊急災害發生時的指揮、通報、緊急處理、災後復原以及訓練。此套系統在臺灣，有幾次重大的災害更證明了這一套模式能防止災情的擴大，能有效地進行災情的防堵與搶救。緊急應變指揮系統能否有效運用，必須依靠對緊急應變團隊 (Emergency Response Team, ERT)成員的常態訓練及實境演練。緊急應變訓練的重點在於如何有效轉移正確的「知識」、「態度」與「技能」予以緊急應變團隊的成員，因為每次面對的緊急狀況都是獨一無二的，有太多不確定的因素使應變人員必須立即反應來處理現場狀況。高科技產業緊急應變人員訓練落實及實用，可以在火災及其他狀況發生時，第一時間發揮其應有功能。

(徐孝璋, 2013)在論文中探討緊急應變計畫中編列之緊急應變小組(Emergency Response Team, ERT)，在發生事故時擔任人員搜救、異常事故處理及設備、物資搶救之重責大任。成員緊急應變的基本能力、安全防護的認知及基礎救災能力，有賴於平時的訓練，訓練的落實度及成效，將直接影響搶救組成員在執行搶救任務時自身的安全保護及救災的能力。訓練及演練之成效是否實用，在歷年實際發生的案例已得到驗證。

對於早期火災偵測，(葉書村, 2014)的研究說明高風險設備及機台裝設極早期偵煙系統作為火災警報偵測器，並制定對應之緊急應變程序，可以有效縮短火災狀況緊急應變總時間。(鍾玉慰, 2005)也透過實際放煙測試分析，藉以降低誤報率，確認極早型火警探測器反應時間在可接受範圍內有效偵測，並藉以了解極早型火警探測器有效偵測之距離。從研究結果看出，潔淨室訂定出早期偵測系統適當設計、標準與規格，使系統在火災發生時，能有效發揮最佳的預警功能，也讓緊急應變組織人員得以迅速撲滅火災，

提升無塵室火災防護能力，降低火災發生風險或火災發生之災害損失，確實達到早期發現早期處理的功能。(姚慧玲，2009)的研究，在高科技廠於重要生產區域增設極早期煙霧探測系統以協助或監控火災發生，可以達到極早發現火災之功能並降低火災發生之機率，並於火災初期及時控制及撲滅。

緊急應變行動在高科技廠已經確實印證其實際功能，也確定其存在的必要性，成功的緊急應變行動能大幅降低火災損失，對保險公司核保或承保均有相當之影響力。

### (三) 保險及理賠

緊急應變在狀況解除後，必須讓現場盡速恢復生產，(劉政瑞，2009)在研究裡提到，為了縮短營運中斷時間，由於精密設備的重置或各種重建工程往往曠日廢時，相較之下，系統復原做法可在數日或數週內完成，可顯著限縮營業中斷時間並儘量減少財務損失，而且營業中斷也可能導致鉅額的違約罰款和重要客戶的流失。災後復原有其好處，尤其復原服務的費用通常僅佔財產重置成本的 10-40%，可顯著節省重建成本。受災 72 小時為搶救的最佳時機，要是沒有進行搶救措施，可能會喪失搶救的先機，災後所採取的立即行動會直接影響到復原的時間和成本。因此在火災、洪水和化學品洩漏事故之後，污染會在建築物或機器和設備內部的關鍵零件中迅速擴散，加上惡劣的環境條件(例如：高濕度)，受災財產可能會迅速惡化，尤其是金屬零件的銹蝕。因此完成關鍵的搶救措施，復原工作便可隨即展開，只要災害沒有造成永久性的損害，多數受污染的財產都可被復原，例如建築物和設施、設備和生產線、精密電腦數值控制工具機、發電和配電設備、電子設備，甚至珍貴文件和資訊存取媒體。

高科技產業其財產保險標的物多具有高價值、高精密、多製程等重要單元或價值集中之特性，賠款金額動輒數億甚或數十億或可達上百億元，影響甚巨。對於保險理賠之處理，其中的保險標的物，無論是建築物、機器設備或貨物等，於事故中多會遭受不同程度的損害，如直接之保險事故毀損、消防搶救過程的水損、火災煙燻損失、搶救過程碰撞損失等等，導致保險標的物受到不同程度的損害及影響。

所以保險市場對於損失估算往往趨於保守，(孫其怡，2007)的文章中提到，產險市場發展的趨勢已逐漸走向費率自由化，在產物保險發展的現況中，費率自由化便成為保險監理的既定政策。火災保險因費率自由化，市場將面臨更多的挑戰，尤其是對風險的評估能力更是重要。(楊清榮，2004)的研究中也說明超額賠款再保險費率釐定的方式。超額賠款再保險的費率制定方法，一般分成賠款成本法(Burning cost method)、危險分析法(Exposure rating method)及柏拉圖法(Pareto rating method)等三種，但這些方法還是需要靠再保、核保人的經驗和常識，方法究竟只是一個工具罷了，如果再加上市場的競爭，人的決定會有很大的影響。所以，為減少人為因素的影響，研究使用電腦做模

擬並彙整統計數據，使研究資料能更客觀並且不需人為判斷，可讓核保人員直接採用。

### 三、研究架構

從保險的需求，參考各文獻對積體電路產業潔淨室火災及煙損之研究，以及緊急應變行動與吸氣式偵煙探測系統對火災控制之優點，彙整積體電路產業潔淨室火災及煙損較佳之損害防阻設計。另外在消防安全設計現況，防火建材的使用、防火牆的設計、自動滅火系統設計等，對於火災損失的減緩有何幫助。

緊急應變行動如何在火災時確保其成功，必須從人員組織、人員訓練、應變器材供應、應變器材操作訓練、應變指揮架構、緊急應變流程等，進行探討。

利用 FDS 模擬軟體驗證緊急應變行動對於火災煙損之影響，目前許多研究單位或學術單位，如 FM Global、UL、VTT、NIST、VESDA 皆用此火災模擬軟體進行火災及煙霧相關之評估，我國內政部消防署消防審議委員會也認可 FDS 之公信力，故本研究將 FDS 作為火災鑑定之驗證評估之工具，並提出本研究對保險核保之差異性。

整個研究的架構，如圖 1.1 所示；緊急應變屬於人的行為，不容易量化及印證其有效性，因此對緊急應變行動須單獨作探討，緊急應變行動研究架構，如圖 1.2 所示；FDS 火災電腦模擬可以用作應變結果的差異性比較，火災依照成長曲線來看，其成長與時間平方成正比，FDS 模擬也是以時間因素做主要差異參數設定，其評估流程如圖 1.3 所示。

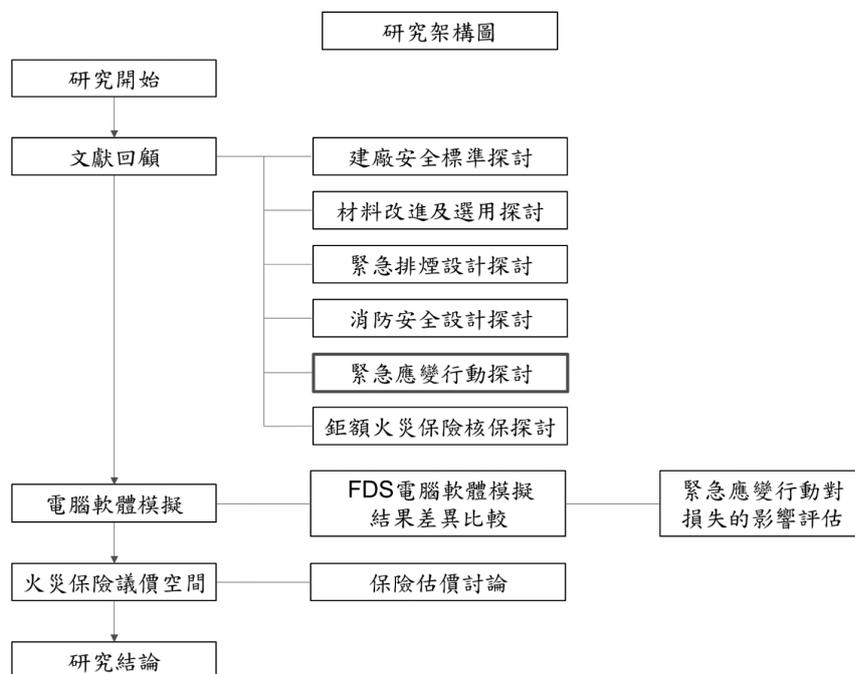


圖 1.1 研究架構圖

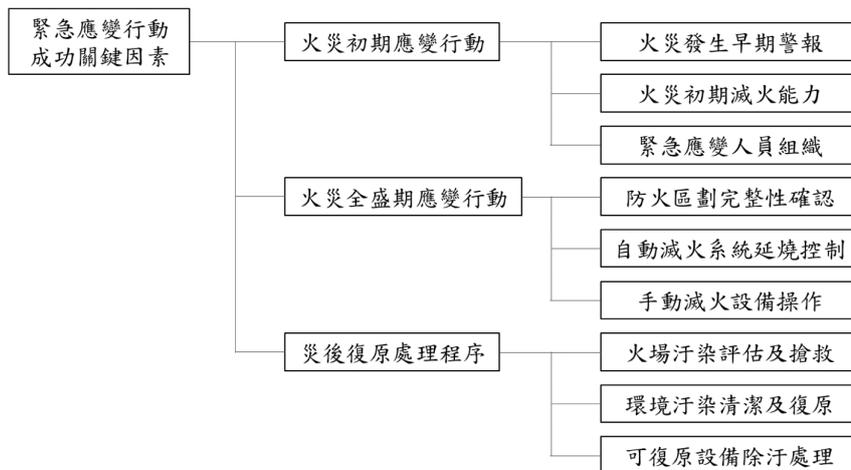


圖 1.2 緊急應變行動探討

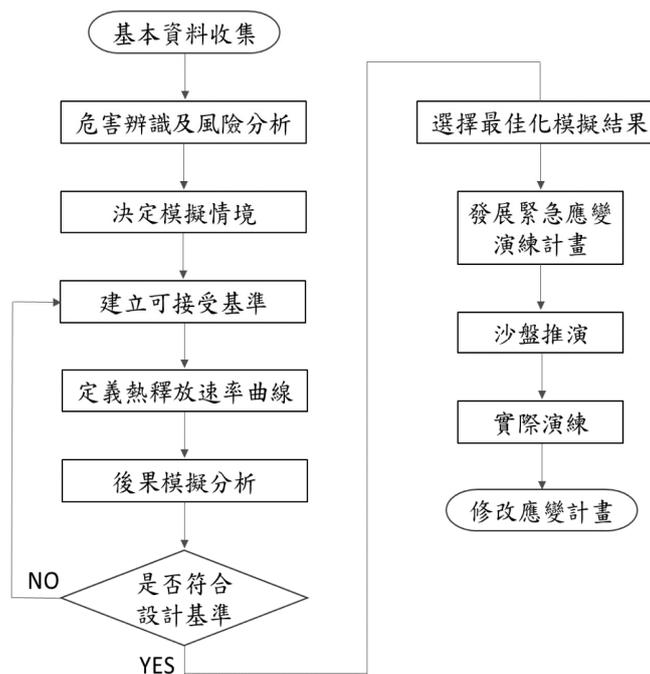


圖 1.3 火災電腦模擬與應變有效性的評估流程

#### 四、研究限制

(一) 人員避難行為不做討論，本論文以商業火災保險核保需求為出發點做研究，人員避難模式及避難時間不在本論文做檢討。且由於無塵室內部人員密度較低、空間開闊視野寬廣、逃生出口及逃生方向選擇多，因此逃生疏散過程並不影響緊急應

變行動及火災損失估算。

(二) 緊急排煙有效性不做討論，依據內政部所頒定「潔淨區消防安全設備設置要點」之規定第九條：潔淨區應依各類場所消防安全設備設置標準第二十八條規定，檢討設置排煙設備。但符合下列各款規定者，免設排煙設備：

1. 為防火構造建築物。
2. 避難步行距離符合建築技術規則建築設計施工編第九十三條之規定。
3. 設有吸氣式偵煙探測系統。
4. 設置自動撒水設備。

本研究裡的高科技廠房是防火構造建築物，避難步行距離依建築物用途類組為C類者，不得超過七十公尺，符合建築技術規則建築設計施工編第九十三條之規定，且設有吸氣式偵煙探測系統及自動撒水設備等，可以免設緊急排煙系統，因此不討論緊急排煙系統對本研究之影響。

(三) 自動撒水系統有效性不做討論，本論文以商業火災保險可預見最大損失MFL(Maximum Foreseeable Loss) 的情境做討論，MFL 的情境是假設自我保護之消防安全設施失效情況下，所發生的最大損失，因此不考慮自動撒水系統有效性。

## 貳、研究內容

### 一、潔淨室火災煙流與防火安全設計

本研究之積體電路產業潔淨室構造為上、中、下三層式通風循環架構(圖 2.1)，上層為空調層主要有外氣空調系統(Make Up Air System)及循環空氣系統(Re-Circulation Air System)，室內空氣在空調層進行外氣與內部循環氣體混合，再由循環空氣風機以垂直層流方式向下送入潔淨室。潔淨室位於中間層，潔淨室因為恆溫恆濕及潔淨度的需求，循環空氣風機將空氣送入潔淨室的過程，須經過循環空氣風機的乾式冷盤管(Dry Coil)及風機濾網(Fan Filter Unit: FFU)，如此才能維持恆溫恆濕及潔淨度的需求。潔淨室為主要生產區域，擺放高價值的生產設備及成品、半成品，作業人員及設備維護人員穿梭於潔淨室內，所以也是活動最頻繁的區域，空調層的循環空氣風機以垂直層流方式將空氣向下送入潔淨室後，穿過潔淨室地板的多孔洞高架地板，向下進入到迴風層也就是下層。為了讓潔淨室有穩定氣流及潔淨度，所以氣流主要是以垂直層流穿越潔淨室避免水平層流，而迴風層就是讓穿越潔淨室的空氣在此做水平流動，以維持潔淨室的潔淨度及氣流

穩定。下層除了做迴風層用途之外，附屬機台設備及部分廠務供應設施也會放置於此層，穿越潔淨室的空氣在此做水平流動，方向會向建築物兩側行進再藉由風機及引風道，將循環空氣引流至空調層，完成潔淨室內空氣循環過程。

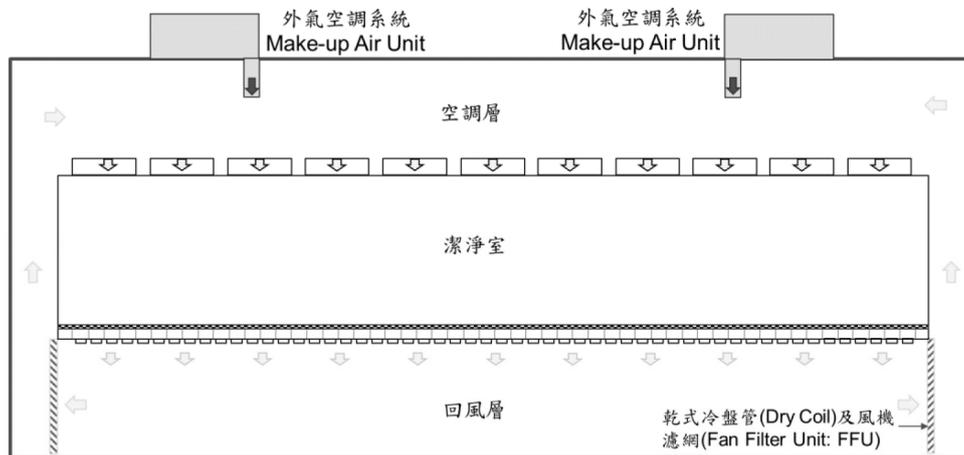


圖 2.1 無塵室側面示意圖(Side view)

積體電路產業潔淨室對潔淨度要求很高，一旦遭遇火災，其建築結構三層樓層之間並無垂直防火區劃，因此煙損及火損往往不容易控制，除了破壞潔淨度之外，火災本身也會造成相關設備的損毀，而且在滅火或搶救過程也會造成水損或其他的損壞，財產損失在保險理賠時往往難以估算。

潔淨室就建築結構特性而言屬於大型無開口樓層，在以往的研究案例裡，其建築結構無法完全符合國內建築技術規則相關規定，因此業者除符合國內法規之安全規範外，也會參考國際安全規範及技術規則，例如 FM 標準(Factory Mutual Data Sheets)及 SEMI 標準(Semiconductor Equipment and Materials International standards)，以提高科技廠房安全標準及降低災害風險。另外，國內消防安全設備設置標準也無對應潔淨室的相關設計標準，依據內政部所頒定「潔淨區消防安全設備設置要點」標準設計，有很多設計細節還需另外檢討。因此高科技產業業者為降低保險費率，必須在通過政府審查之後，執行更嚴謹的國際消防法規設計及消防設備安裝，例如參考 NFPA 國際消防法規(National Fire Protection Association fire codes)設計自動撒水滅火系統、潔淨氣體自動滅火系統、吸氣式偵煙探測系統等，以求降低火災風險及理賠機率。

為了避免火災對潔淨室造成嚴重損失，潔淨室內選用的建築材料、隔間材料、設備、器具等，均以不燃、耐燃、燃燒時低發煙量為首選，目的就是為了達到本質安全，減少可燃物存在潔淨室內，自然就降低了火災的風險。使用於潔淨室內的建築材料及設備物

料除了注意防火外，還有潔淨度的要求，因此在美國保險實驗室公司 UL (Underwriters Laboratories, Inc.)，及美國工廠互保協會 FM (Factory Mutual Insurance Company)也針對潔淨室使用的物料進行各種測試，依據測試的結果提供市場作為選用的標準，像潔淨室內使用的濾網、塑膠材質排氣風管、塑膠材料用於潔淨室就須符合 UL900 或 FM 4910/4922 認證標準等。

本質安全設計是可靠度最高的設計，但是本質安全設計無法做到 100%，因為有材料限制、因為有技術門檻限制、因為有潔淨度問題等等，因此必須有其他預防災害擴大的防護設計，這也就是消防安全設備的需求。消防安全設備在高科技廠房我把它區分為兩大部分，一個是火災偵測，另一個則是火災撲滅或控制。以火災偵測而言，當火災發生時必須被人發現才會採取控制或撲滅的行為，火災發生初期如果能越早採取應變措施，則火災被控制及撲滅的機率越高，因此火災偵測的設計是繼本質安全設計之後另一個重點。在潔淨室的環境氣流流動方向為由天花板到地板方向，而且為維持潔淨度，空氣流速平均維持在 0.25m/s~0.5m/s 之間，在這樣的環境裡，火災初期所產生的煙不容易蓄積，且煙的行進方向會往高架地板向下，經過迴風層快速擴散，但是再 3MW 以上的火災，煙卻會向上往天花板方向擴散。

隔間牆所形成的防煙區劃是另一個本質安全設計的重點，無塵室專用模組化隔間板 (Partition) 其組合單元主要包含 U 字型上下導軌、組合式立柱及金屬隔間板三者。現在所使用的無塵室專用隔間板，均符合 FM 認證標準 4880 要求或是中央標準 CNS 6532 耐熱二級測試，測試在標準火源加熱下的延燒性和助燃性，確認隔間板不會自行傳播火災，可減少火災及煙霧所造成的損失。所以隔間牆材料及施工如果能符合防火 1 小時的標準，加上潔淨室屬於層流式氣流，則可限制火災的煙在潔淨室橫向擴散速度，所以潔淨室的煙損範圍可以相對縮小。

潔淨室為使產能有效利用，建築設計上空間需要越大越好，但缺點是會把所有風險集中於一個潔淨室，因此在防火設計上會將潔淨室用防火牆做切割，以分散風險及減少災害發生時的損失。參考 FM Global 公司所定之標準，最大可預期損失(Maximum Foreseeable Loss)防火牆必須具有 4 小時防火等級。MFL 防火牆在確保火災損失時能局限於工廠內單一潔淨室，避免擴大至另外一個潔淨室，如果潔淨室依照 FM Global 標準設計 MFL 防火牆，則在保險理賠的界定，可以將 MFL 防火牆所切開的兩個潔淨室視為各自獨立建築，對火災全損範圍的界定會以單一潔淨室總損失做計算，相對火災全損理賠保險費用計價也會減少。MFL 防火牆在本研究裡也是影響火災煙損面積大小結果的關鍵因素之一。

潔淨室內空氣是以循環再利用的方式，加入部分新鮮空氣經溫度、濕度調整，然後在空調層混合後，再回到潔淨區內，再循環空氣進入潔淨區之前會有濾網過濾空氣，空

氣濾網早期的製作材料為可燃材料，火災發生時可能被燒破導致煙流向空調層，但是現在已經有耐燃材質的產品可供選擇。美國保險實驗室公司（UL）是依據公共安全標準對各種產品進行測試並發給結果認證的機構，UL 標準測試的目的在確定測試環境下，空氣過濾裝置燃燒所產生的煙霧數量及燃燒性。UL 認證的空氣濾網必須按照規定的方法製造及組裝，並模擬實際粉塵過濾應用，來確定其性能和火焰燃燒測試的準確度。

UL 測試方法是在導管內進行對過濾裝置具衝擊作用的著火測試，測試的過濾裝置安裝在標準尺寸風管內，並有特定氣流通過過濾裝置，測試開始會在過濾裝置的迎風側點燃火焰，這樣會引起直接接觸過濾裝置的火焰，並讓火焰持續三分鐘。然後進行分類，UL 對可能通過過濾裝置的煙量和燃燒性制定了嚴格的標準，結果區分為兩個等級。

Class 1：不會有火焰或火星通過過濾器，如遇火焰，不會成為助燃的材料，且僅可產生少量的煙霧。

Class 2：可接受有限火焰和火星，會輕度燃燒或散發適量的煙霧，或者兩者都有。

早期研究對於 FFU 的材質並未要求使用 UL 認證之產品，因此忽略 FFU 過濾煙功能，所以對煙在無塵室的擴散速度會很快。目前潔淨室建廠均採用 UL Class 1 認證的產品，如果加上緊急應變行動有效控制火勢成長並撲滅，則煙會擋在 FFU 而不會被燒穿，煙塵就不會再循環而進入潔淨室內。在(陳詠翔，2012)研究報告可以看出 FFU 之濾網於火場中易受高溫影響而產生燒破的現象，並以潔淨室上層的空調層作為蓄煙區。但是 UL900 Class 1 則不會於短時間內燒穿，所以本研究會以 FFU 未燒穿的情況下，作 FDS 煙流擴散模擬。

## 二、緊急應變組織與火災警報系統

高科技廠的緊急應變中心 Emergency Response Center 後面會以 ERC 做簡稱，ERC 為 24 小時值班單位，有固定人員交替輪班，緊急應變組織 Emergency Response Team 後面會以 ERT 做簡稱，ERT 是臨時性的組織，由現場作業人員及工程師所組成，平時各自負責自己的工作，有事故事件發生時才會集結進行緊急狀況處理。在保險規章費率條款第三章商業火災保險費率中，有明定防災中心設備及組織，下面內容即是保險規章內容。

緊急應變中心設備及組織：

(一) 建築物內若裝有下列各項防災設備者，其緊急應變中心應備有相關之監視、控制系統：

1. 室內消防栓設備。

- 2.自動撒水滅火設備。
- 3.自動泡沫滅火設備。
- 4.自動二氧化碳滅火設備。
- 5.火警自動警報器設備。
- 6.瓦斯漏氣自動警報器設備。
- 7.空調設備。
- 8.消防搶救上之必要設施：排煙及防火門設備、緊急廣播設備、火警 119 專用電話、緊急電源設備。
- 9.其他必備設備：地震儀設備。

(二) 緊急應變中心建築構造、設備及面積之設計原則：

- 1.緊急應變中心須設立於防火區域內，其必須具有二小時以上防火時效之防火牆、防火樓地板及甲種防火門，並備有專用的空調設備。
- 2.緊急應變中心內部裝潢必須採用不燃材料，使用之物品須經過防燄處理。
- 3.緊急應變中心內部之照明及緊急電源、專用回路及監視設備等應採用耐火電線。
- 4.緊急應變中心內操作人員的睡眠、休息區域，亦應為獨立防火區劃。

(三) 緊急應變中心之主管人員必須具有消防專業教育訓練合格者，且能訂定消防計畫書並擔任火場指揮、消防安全管理及教導消防訓練者。前項人員資格依消防法第十三條規定辦理。

(四) 緊急應變中心應備有經過消防訓練之消防人員二人以上，日夜二十四小時在緊急應變中心或建築物內執勤。但工廠內之守衛室不得視為緊急應變中心。

(五) 消防安全設備必須維持正常狀態並定期舉行性能測試及操作訓練，其性能測試及操作訓練結果應有記錄，以供查核。

高科技廠緊急應變相關研究文獻可以看出，廠區的安全管理及緊急應變小組的運作不斷在改進，常態性的演練也越來越接近真實狀況。

火災發現時間越早越好，火勢的成長容易被控制，而高科技廠房潔淨室因為環境氣流對流速度快，傳統型火警偵煙器不容易偵測火災發生，因此吸氣式偵煙探測系統的設置，提升了緊急應變小組整體的行動速度及效率，在本研究裡緊急應變小組需在短時間完成防火閘門或防火門關閉。因此，吸氣式偵煙探測系統是不可或缺的輔助工具。

吸氣式偵煙探測系統 Aspiration Smoke Detector System (簡稱 ASD 系統)，是藉由真空泵浦及採樣管路，將環境裡的空氣吸回偵測主機裡的分析室，藉由吸收雷射光被煙粒子遮蔽所造成的散射光，計算煙粒子數量來判斷煙濃度(如圖 2.3)。因為是以吸氣方式採樣，因此較不受潔淨室環境氣流的影響，而且能偵測肉眼所看不見的煙，對於潔淨室而言是靈敏度較高的火警偵測器。

依內政部所頒定“潔淨區消防安全設備設置要點”之規定，吸氣式偵煙探測系統取樣管之取樣孔防護面積，應符合下列規定：

- (一) 裝置於上回風層時，每一取樣孔有效探測範圍以偵煙式探測器之有效探測範圍計算。
- (二) 裝置於潔淨室時，每一取樣孔有效探測範圍不得超過三十六平方公尺。
- (三) 裝置於下回風層時，每一取樣孔有效探測範圍不得超過十平方公尺。
- (四) 裝置於回風豎井或冷卻乾盤管時，每一取樣孔有效探測範圍不得超過一平方公尺。
- (五) 每一取樣管之末端空氣取樣孔，空氣傳送時間不得超過一百二十秒。

偵測位置分部越密集則火災警報發出時間越早，緊急應變行動時間就越寬裕，成功機率相對越高。

## 參、研究步驟與方法

### 一、研究步驟

緊急應變行動因為有“人”的因素，不容易以數據來代表行動的成功與失敗，因此在本研究將火災分為初期及全盛期兩個階段，緊急應變行動注重在火災初期階段，全盛期則是需依賴本質安全的設計，不需考慮“人”的因素。

火災初期搶救之原則(廖茂為，2006)，主要是時效、裝備、技術，緊急應變人員反應時間之掌握如何規劃，救災及支援器材如何配置，人員救災技術之精進及訓練計畫等。火災全盛期之搶救，是確認 MFL 防火牆在火災期間維持其有效性，並由消防隊入廠救災，緊急應變小組轉為支援及引導，讓消防隊員於最短時間內控制火場並撲滅。

研究開始須定義緊急應變行動合理時間，以結果而論緊急應變時間越短則損失越小，因此會以流程圖畫出應變行動各階段所需時間，加總後比對現場實際演練結果以確認時間合理性。緊急應變行動時間確認後，再藉由 FDS 模擬出有無應變行動的差異。

火災初期及全盛期藉由電腦模擬軟體 FDS 進行模擬，分析火災發生時潔淨室內煙的

流向及擴散速度。可藉軟體模擬緊急應變行動成功控制火勢成長後，因為燃燒中止煙不再增加且煙的擴散減緩，此時煙損的面積大小。以及沒有緊急應變行動，讓煙持續擴大到 MFL 防火牆所需時間，評估工廠之最大可預期損失(MFL)範圍。本研究採用美國 NIST(National Institute of Standards and Technology)所開發的 FDS(Fire Dynamics Simulator) 5.5.3 版 火災模擬應用軟體，FDS 是一套計算流體力學的軟體，採用大渦流模擬 (Large Eddy Simulation, LES) 來解 Navier-Stoke 方程組，適用的範圍為火場中由溫度變化所驅動的低速流場，著重在煙流及熱傳遞的現象，可預測模擬環境中的多種火場資訊，目前已經是分析火災現象最主要的軟體。模擬火災情境時可以針對危害因子進行計算，取得量化數據，並且呈現危害因子與時間經歷的曲線關係，因此可應用於高科技廠房的火災煙流預測。這套軟體近年來也已經運用於大型公共建設、機場、商場、大型開放空間廠等設施的火災煙控設計及結果分析，具有國際的公信力。

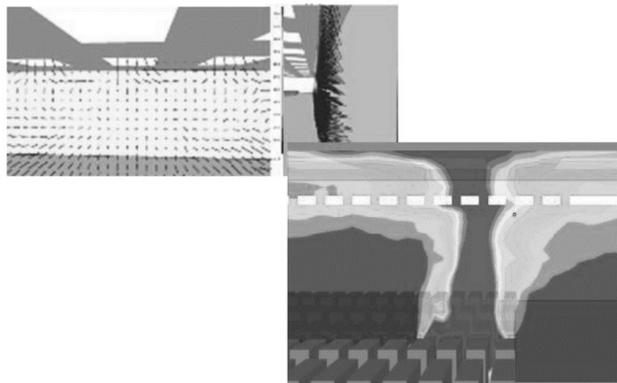


圖 3.1 FDS(Fire Dynamics Simulator)範例

FDS 運算結果的後製處理，是使用 Smokeview 軟體進行，Smokeview 可將 FDS 運算結果繪製成火場佈置圖、格點圖、向量圖、粒子圖、熱流參數之切面圖、等位面圖等(圖 3.1)。將模擬結果圖面化、色彩化、立體化，並可輸出動畫，如：氣流方向、氣流速度、溫度分佈等圖面，讓使用者快速的建立火場影像，更能快速掌握火場資訊，進一步對模擬結果進行分析。

無塵室內火災煙流擴散情形，可以透過繪圖軟體計算出來污染面積，搭配單位面積硬體設備財產價值的計算，可得到總損失金額，並且估算出廠房的最大可預見損失 MFL (Maximum Foreseeable Loss)，或是加入緊急應變行動的改變因子，模擬得到不同的損失程度，以此估算出有緊急應變行動及沒有緊急應變行動的差異。

## 二、研究方法

### (一) 潔淨室煙控

對無塵室而言，火災的損失一部分是來自高溫燃燒對設備與構造的損害，另一大部分則是來自燃燒產生的煙，隨著潔淨室氣流的四處擴散而加重的煙損，因此煙的控制是潔淨室損害防阻的重要課題，對於煙控的方法，歸納如於表 3.1

表 3.1 煙控的方法

方法	手段	使用案例
減少煙的產生	<ul style="list-style-type: none"><li>• 材料選用</li><li>• 火源控制</li><li>• 氧氣供應控制</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• FM4910、FM4920、 FM4911、UL900 認證材料</li><li>• 可燃物減量</li></ul>
有煙盡早發現	<ul style="list-style-type: none"><li>• 吸氣式偵煙探測系統</li><li>• 高靈敏度偵煙</li></ul>	VESDA、HSSD、AVA 等偵測器
發現煙盡速撲滅	<ul style="list-style-type: none"><li>• 有效的滅火設備</li><li>• 人人都是滅火員</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CO2 滅火器、水霧滅火器、自動撒水滅火系統</li><li>• 緊急應變訓練</li></ul>
將煙侷限在小空間	<ul style="list-style-type: none"><li>• 建築設計</li><li>• 環境空調控制</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 防煙垂壁</li><li>• 防火區劃</li><li>• 空調壓差設計</li></ul>
將煙排出室外	排煙設計	<ul style="list-style-type: none"><li>• 排氣系統管路加開排煙口</li><li>• 緊急排煙系統</li></ul>

### (二) 火災危害辨識與風險分析

本研究的情境分析如圖 3.2 所示，對象物是以 12 吋晶圓廠裡，火載量較大的晶圓傳送盒(Front Opening Unified Pod 簡稱 FOUP) (如圖 3.3 所示)儲存倉庫 Stocker，作為火災起火點位置。如果以早期潔淨火災事故統計資料來看，Wetbench 濕洗機台火災機率及火載量會是首選，但是現在的 Wetbench 設計均以不燃材料及 FM 4910 認證材料組裝，火災發生的火載量已經不如 Stocker。

因為生產流程及製程潔淨度問題，Stocker 無法設置在潔淨室外，Stocker 內部存放大量 FOUP 且擺放密集，數量約 200 個到 300 個之間。而 FOUP 又是可燃材料，當 Stocker 內部火災發生時，可以產生 16~25MW 之間的釋熱率。因為本研究是以保險最大可預期損失 MFL 做估算，所以選擇起火點時不考慮發生機率，而以嚴重度作為首選。

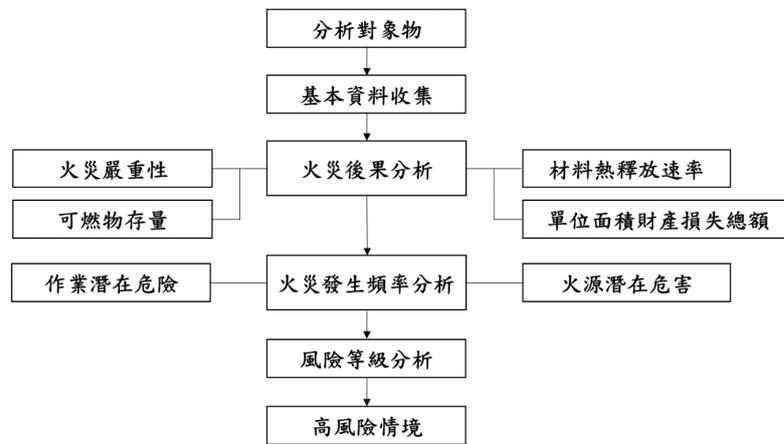


圖 3.2 火災危害辨識與風險分析



圖 3.3 晶圓傳送盒 FOUP



圖 3.4 FOUP 儲存倉庫 Stocker

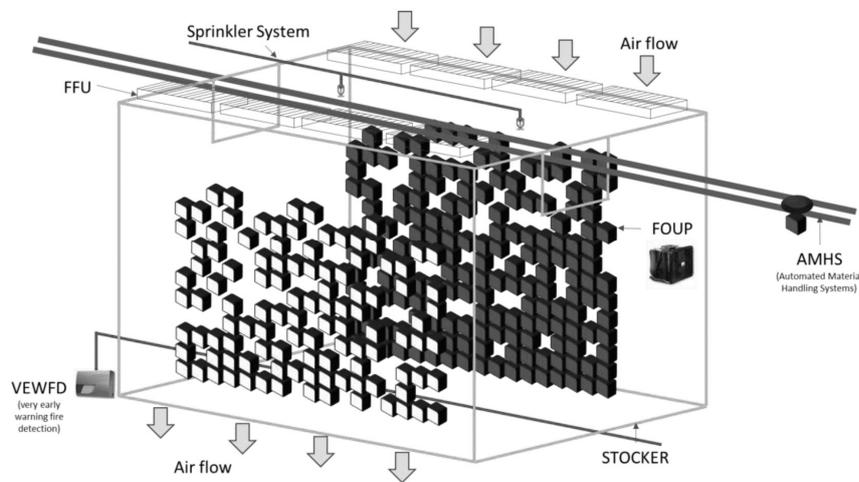


圖 3.5 FOUP 儲存倉庫 Stocker 內部示意圖

FOUP 儲存倉庫 Stocker 是在潔淨內小型倉庫(圖 3.4)，因為生產流程的關係，部分 FOUP 需排隊等待機台設備，因此需有暫存空間。Stoker 內部依靠機械手臂做存取，人員無法任意進入，除了維修口提供維修人員進出，以及 AMHS 系統軌道出入的穿越口，無其他開口(圖 3.5)。人員維修口為常閉，AMHS 系統軌道出入的穿越口為常開且無法關閉。

### (三) 最大可預見損失 MFL 限制因素：防火牆

為了縮小最大可預見損失範圍，在 FM GLOBAL data sheets 1-22 MAXIMUM FORESEEABLE LOSS，提出幾項建議：

1. 設置 4 小時防火時效的防火牆，位置參考圖 3.6~3.7。
2. 安全距離，安全距離是最常見的 MFL 限制因素，MFL 安全距離是阻止火從一個建築物穿過開放空間傳播到另一個建築物。
3. 防止外部垂直燃燒的火蔓延，外部垂直延燒的火可能藉由窗戶、開口、空調管等，延燒至另一樓層。
4. MFL 開口保護，人員、車輛、材料傳送，經過 MFL 防火牆就會形成開口，盡量減少 MFL 防火牆的門口或其他開口的數量，而且盡量減少或縮小開口。

MFL 防火牆在控制火災損失上扮演相當重要角色，FDS 軟體模擬情境中，MFL 防火牆也會一併考量其防煙有效性。

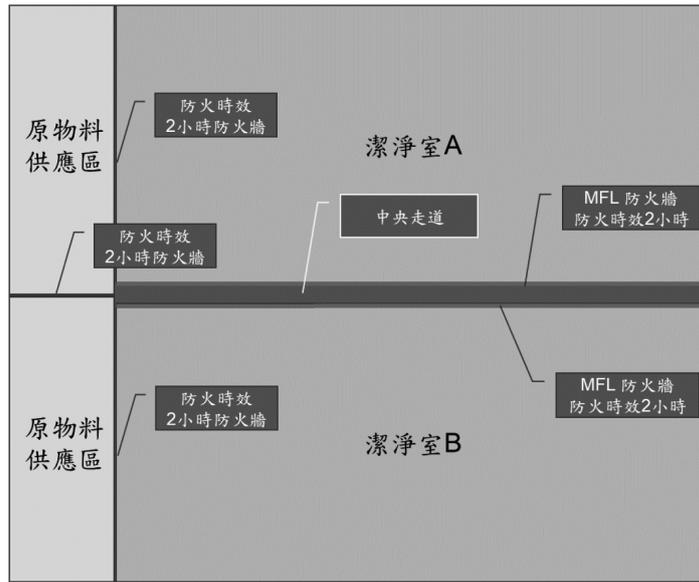


圖 3.6 潔淨室 MFL 防火牆位置俯視圖(Top View)



圖 3.7 潔淨室 MFL 防火牆位置側視圖(Site View)

#### (四) 緊急應變行動時間估算

參考工廠既有緊急應變程序如圖 3.8，加入時間順序並參考現場實際演練紀錄，歸納出合理緊急應變行動時間，作為火災初期緊急應變行動時間限制。

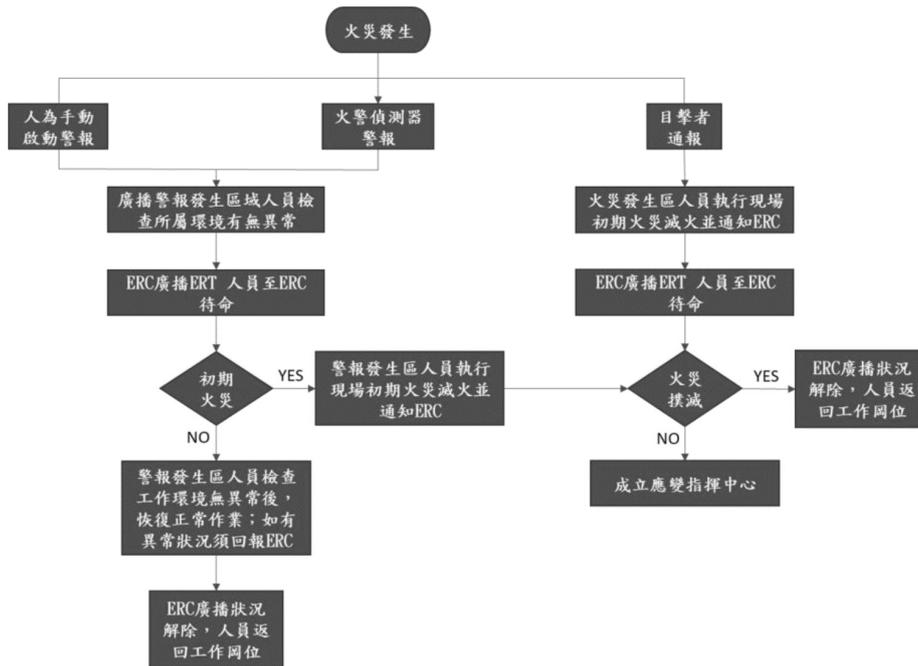


圖 3.8 工廠既有火災緊急應變流程圖

(五) 電腦軟體操作之前模擬目標的火場資料假設條件：

- 1.以潔淨室內 Stocker 火載量最大之可燃物全面燃燒之火災作為情境，Stocker 因為存放大量塑膠晶圓傳送盒(FOUP)，但 Stocker 由金屬及耐燃材料外殼包覆，初期火災不易由現場人員發現異常。
- 2.Stocker 內 FOUP 火災燃燒速度(圖 3.9)參考採用 NFPA 92B 之 t 平方熱釋放率曲線 (t-Squared Fires)，Fast Fire 之係數  $\alpha = 0.04689$

$$\text{FAST time squared fire } Q = \alpha(t-t_0)^2$$

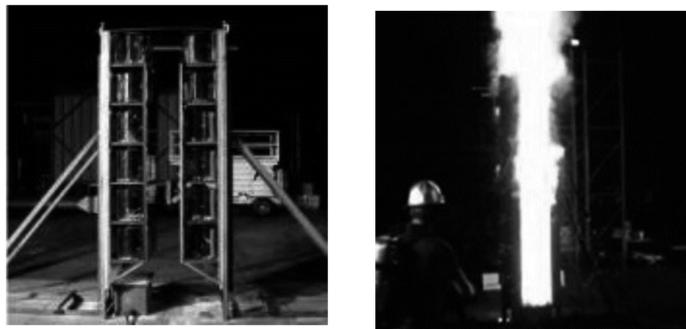


圖 3.9 Full-scale FOUP Testing - FM Global

- 3.火災產生的煙會經由 AMHS 的開口四處擴散。
- 4.Stocker 外殼為不燃材質。
- 5.潔淨室內排氣風管皆為不燃材質。
- 6.潔淨室為不燃材料建構，FDS 模擬環境示意圖如圖 3.10。

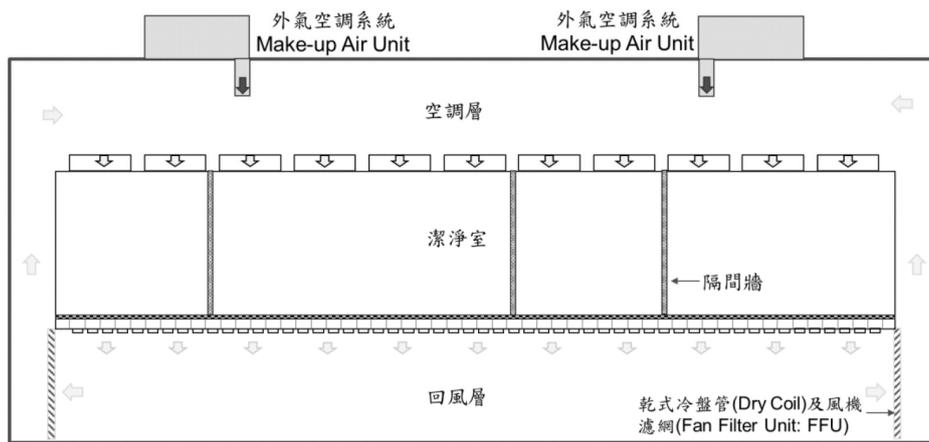


圖 3.10 潔淨室 FDS 模擬環境側視圖 (Side View)

## 肆、緊急應變行動探討及 FDS 模擬結果

### 一、緊急應變行動探討

緊急應變計畫是在事前預測可能的事故及發展情境，並制定該事故情境下為達到設定的目的，而必須進行的作業程序(姚大鈞、單信瑜，2005)。以本研究對象之某高科技廠對火災的緊急應變計畫為例，火災初期搶救的原則是以「時間第一」，強調應變過程的時效，再者強化人員裝備操作熟練度，熟練的裝備操作更能發揮應有的時效性，其次要求救災技術能到位，目的就是為減少火災損失。不只讓員工知道什麼是緊急應變，更要訓練到非常熟練，進一步更要求做到精實，其做法說明如下。

#### (一) 緊急應變組織：

- 1.潔淨室是 24 小時有人工作的場所，生產線上每個人的工作範圍如有異常煙味或火災發生，可以早期發現並立即通報緊急應變中心，現場人員也會做緊急停機、斷電或初期滅火。

2. 建立人人都是 ERT 的觀念，潔淨室內的作業員只要工作滿 3 個月，就會完成緊急應變基礎訓練，包括火災通報、手提滅火器操作、避難引導等。在火災初期現場作業人員的即時救災行為，往往是緊急應變行動成功之關鍵，不但爭取了時效，而且火災控制及撲滅機率相當高。
3. 設備值班工程師就是 ERT 成員，所以火災發生時往往最早到達現場，發現火災狀況就由工程師直接執行滅火處理，再回報處理結果給 ERC，如果火勢較大需要支援則先通報 ERC，並由 ERC 集結生產線上其他區域工程師組成 ERT，依照任務編組進行救災。
4. 緊急應變小組指揮官，第一時間由 ERT 成員當中挑選資深工程師擔任，並由 ERC 值班人員輔助，當主管或廠區最高階指揮官到達 ERC 後，再將指揮權轉移由高階指揮官接手。年資兩年以上工程以上主管，每年須接受指揮官訓練或是複訓。
5. 如果廠內火災無法由 ERT 進行控制時，則由指揮官下令請 ERC 通報地區消防隊支援。

#### (二) 緊急應變訓練：

1. 工廠每年舉辦實際滅火訓練，以油盆火災讓員工持滅火器撲滅，訓練現場人員面對真實火災時不會有恐懼感，且生產線上員工每年需複訓。
2. 常駐於工廠內的廠商或外聘人員，必須接受廠內每年舉辦的滅火訓練，在火災事故發生時也能發揮應有應變能力，落實人人都是 ERT 的政策。
3. ERT 進階訓練，針對 ERT 成員會由公司安排外訓，至消防隊專業訓練場地接受進階訓練，包括消防衣及 SCBA 熟悉及運用、水帶及瞄子進階練習、真實火場滅火及閃燃體驗等。
4. 工廠內每個月進行全套消防衣著裝訓練，各單位 ERT 成員需在 150 秒內完成著裝，不合格需重複測驗。
5. 每季會以模擬情境作救災演練，各單位輪流擔任事故單位，並由其他單位成員配合執行聯合救災，以無劇本無預警的情況進行練習。
6. 年度演練則是配合廠內緊急疏散演練一同辦理，例如 5 級地震發生，廠內人員緊急疏散，同時發生震後火災，第二 ERC 便開始集結 ERT 成員進入工廠進行救災。演練情境及過程會邀請外部評審，依據 ISO 22301 以 BCM 標準作評比，並依據缺失或建議進行調整或改善。

#### (三) 緊急應變器材：

- 1.即使人人都是 ERT，如果沒有適當的緊急應變器材，也無法發揮應有成效。應變器材依內政部所頒定潔淨區消防安全設備設置要點第四條及第五條之規定，潔淨室應設置二氧化碳滅火器及室內消防栓。並依潔淨區消防安全設備設置要點第十條，潔淨區內之公共危險物品一般處理場所，依各類場所消防安全設備設置標準第二百零一條規定檢討設置大型滅火設備。
- 2.潔淨室內初期火災滅火選用的是二氧化碳滅火器，主要是為減少滅火過程所產生的汙染，二氧化碳滅火器設置類型包含 10 型、20 型及大型輪架式滅火器 50 型、100 型，設置數量則依照各類場所消防安全設備設置標準第 31 條及第 34 條標準設置，自樓面居室任一點至滅火器之步行距離在 20 公尺以下。
- 3.滅火器滅火效能值計算除滿足各類場所消防安全設備設置標準第 31 條第一款之規定，樓地板面積每二百平方公尺(含未滿)有一滅火效能值，並參考 NFPA 10 中度危險場所(Ordinary Hazard)選用 20-B 滅火器，依照 Class B / Class C 火災類型，在主要走道位置縮短任一點至滅火器步行距離為 15 公尺內。
- 4.滅火器的放置位置，除了法規所規定的距離內必定有滅火器外，狹小空間或維修區會增設，出入不方便的通道也會依需求增設滅火器。工廠自主管理也會要求生產線上作業人員，從任何位置都要在 10 秒內取得滅火器並回到原點，訓練人員對環境的熟悉度，也確保滅火器設置數量足夠。
- 5.室內消防栓依各類場所消防安全設備設置標準第 34 條標準設置，各層任一點至消防栓接頭之水平距離在二十五公尺以下，消防栓瞄子放水壓力在每平方公分一點七公斤以上，放水量在每分鐘一百三十公升以上。
- 6.消防栓及供水系統維護保養，參考 NFPA 25 Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection System 於每月、每季、每年依照不同保養頻率及保養項目進行檢查及測試，確保系統及設備隨時保持在警戒狀態。

#### (四) 火場燃料燃燒特性：

- 1.本研究的對象是採用 PC (Polycarbonate) 聚碳酸酯材料的 FOUP，其特性耐衝擊不易變形、使用溫度範圍廣、電器絕緣特性良好等。日常常見的應用有 CD/VCD 光碟，桶裝水瓶，嬰兒奶瓶，樹脂鏡片、銀行防子彈之玻璃、車頭燈罩等。
- 2.PC 塑膠燃燒時會發出熱解氣體，塑料燒焦起泡，但不著火，離火源即熄滅，FOUP 材料密度  $1200 \text{ kg/m}^3$ ，溫度達  $140^\circ\text{C}$  開始軟化， $220^\circ\text{C}$  開始熔解，著火溫度  $497^\circ\text{C}$ ，燃燒熱(Combustion Heats)  $29.72 \text{ kJ/g}$ (Philip J., DiNenno,P.E., et al., 2002)，峰值熱釋放率(Peak Heat Release Rate) $420 \text{ kW/m}^2$  (NFPA 1 Fire Code)。

3.對應 1 個 FOUP(PC)著火溫度 497oC，因為著火溫度高，在潔淨室內常溫 23oC 環境內，火災初期延燒速度慢，因此火災初期容易被吸氣式偵煙探測系統所偵測。

4.1 個 FOUP(PC)峰值熱釋放率(Peak Heat Release Rate) 420 kW/m<sup>2</sup>，對照 NFPA 92B 附錄 B 使用直徑 0.45m(面積 0.16m<sup>2</sup>)火盤汽油燃燒，其熱釋放率相當於 5.347g/sec x 44.27kJ/g = 236.7Kw(邱晨瑋，2009)，1 個 FOUP(PC)峰值熱釋放率大約是兩個火盤同時燃燒的熱釋放率。

5.20 型(滅火效能值 B-6,C)二氧化碳手提式滅火器，依照 CNS 195 認可基準，B 類火災滅火效能值之試驗模型，火盤面積為 1.2m<sup>2</sup>，所以確定可以立即撲滅 FOUP 燃燒初期火災，而且 100 型(滅火效能值 B-20,C)也可以隨時於現場支援。

檢討緊急應變行動合理時間，是為區別有緊急應變及緊急應變失敗之結果差異性。緊急應變時序流程整理如圖 4.1，依內政部所頒定「潔淨區消防安全設備設置要點」之規定，火災發生後吸氣式偵煙探測器應於 120 秒內發出火警警報，ERC 值班台火警警報圖控電腦可以立即顯示火警警報區域。ERC 值班人員接收警報後，依緊急應變流程程序進行廣播，廣播台詞常備於 ERC 值班台，值班人員 60 秒內可以廣播完成。警報發生區域作業人員及工程師執行搜索，發現起火原因之後立即執行初期火災滅火，除取用現場滅火器滅火之外，並由現場人員協助收集其他區域滅火器備用，確認火災撲滅。

初期火災無法由滅火器撲滅時，會由穿著消防衣的現場處理小組接手，確認廠務小組人員完成區域斷電後，以消防栓進行滅火。因為 Stocker 外殼是以不燃材質製成，所以延燒速度不快，如果火勢未燒穿 FFU 則現場處理小組可以 1 或 2 支消防栓控制火勢並撲滅。如果燒穿 FFU 之後火災可能延燒至空調層，就需由指揮官下令請求消防隊支援。

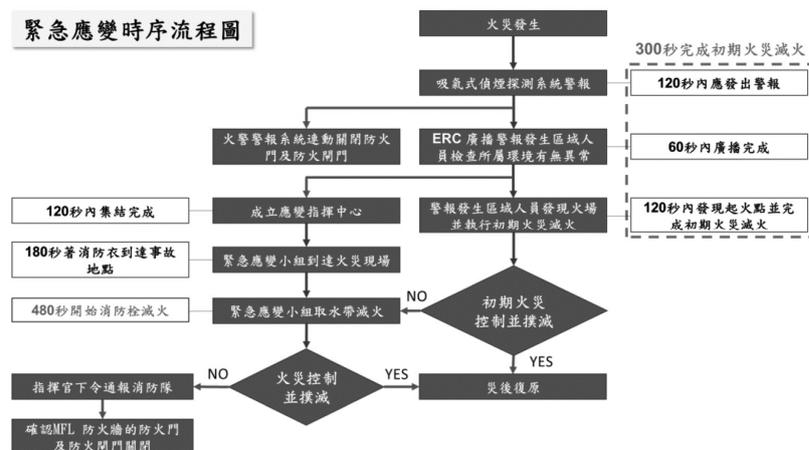


圖 4.1 火災緊急應變流程時序圖

吸氣式偵煙探測器裝設於下回風層時，每一取樣孔有效探測範圍不得超過十平方公尺。依目前所採用之偵測器性能為單一台最多可使用 25 個取樣孔，單一偵測器所涵蓋範圍約 250 平方公尺，在該範圍內不會超過 2 座 Stocker，吸氣式偵煙探測器防護區也會設置警報輸出裝置，因此搜索時間及滅火過程可於 120 秒內完成。

對於高科技廠房火災而言，成功的緊急應變對廠房安全相當的重要，因為在初期火災有效控制下，火災的煙損顯得微乎其微，而且小型火災在發展的初期很容易被控制及撲滅，所以工廠裡的作業人員每年都需要接受實際滅火訓練，訓練內容包含火災通報、火盆滅火、避難疏散等，而且訓練紀錄會列入個人年終考績評量，因此完訓率相當高且執行得相當落實，工廠內的初期火災均可以由生產線上員工自行控制及撲滅。進階的 ERT 訓練則是挑選男性員工，依照作業區域及輪值班別組成，訓練及演練會依照不同頻率區分每月、每季、每年，及不同的規模大小區分為小部門演練、跨部門演練、整廠區聯合演練等，而且 ERT 人員不只在廠區內進行訓練，每年會依照工作年資分梯次由公司指派前往內政部消防署竹山訓練中心及新竹市消防教育訓練基地，進行專業火場搜索及進階滅火訓練，並由資深消防人員擔任教官進行各項教學及指導，讓 ERT 人員具有實際火場滅火經驗，增加救災成功率並保護自身安全。

後續 FDS 模擬就會以 300 秒做為緊急應變行動成功的時間點，用於區隔 MFL+ERT 與 MFL 的區別。但是模擬開始的發煙量會以 FOUP 完全燃燒的相同條件做模擬，此條件相對於 MFL+ERT 是比較嚴苛，因為真實情境的初期火災發煙量幾乎不易觀察，但其目的是為了緊急應變如果延誤時，可能造成的煙損會變得較嚴重，因此採取較為嚴苛的條件做模擬。

## 二、潔淨室火災 FDS 模擬結果

模擬的目的是為看出 Stocker 火災煙流擴散的方向，用來觀察 MFL 防火牆及防火閘門的防煙效果，以及潔淨室內煙損範圍與經過時間，區別緊急應變行動所造成的結果。軟體開始模擬的前 100 秒為流場穩定時間，在後面的結果切圖顯示會比實際時間多 100 秒，模擬結果如圖 4.2~圖 4.11。

Scenarios 1 :

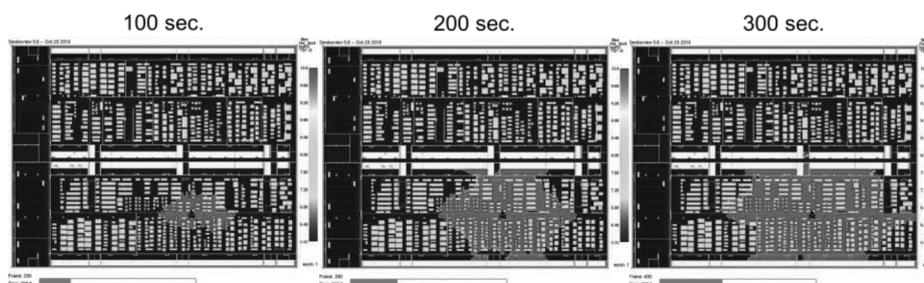


圖 4.2 FDS 情境 1 100-300 秒 MFL+ERT 模擬結果

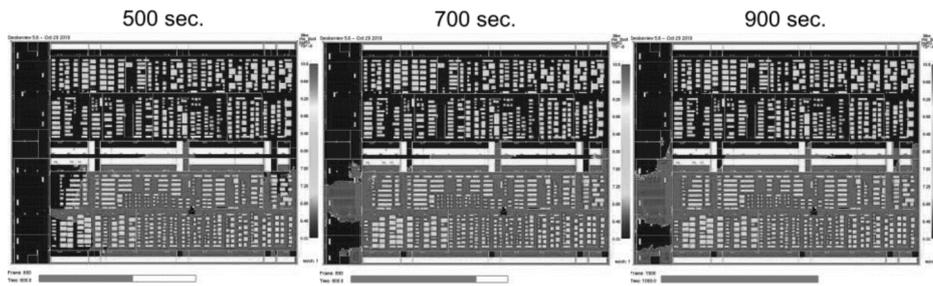


圖 4.3 FDS 情境 1 MFL 模擬結果

Scenarios 2 :

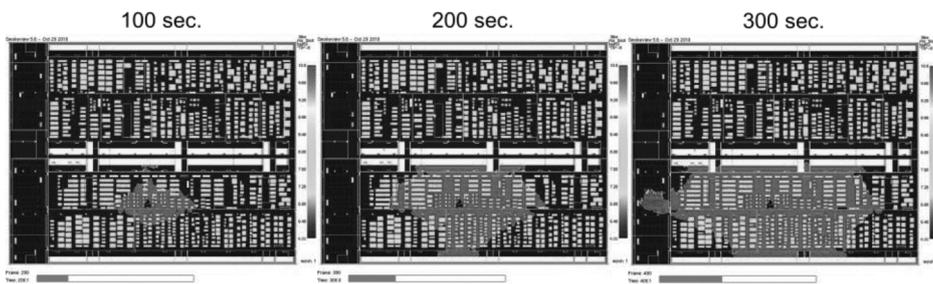


圖 4.4 FDS 情境 2 100-300 秒 MFL+ERT 模擬結果

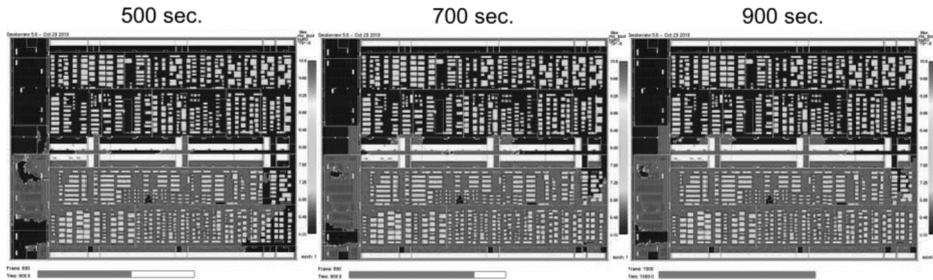


圖 4.5 FDS 情境 2 MFL 模擬結果

Scenarios 3 :

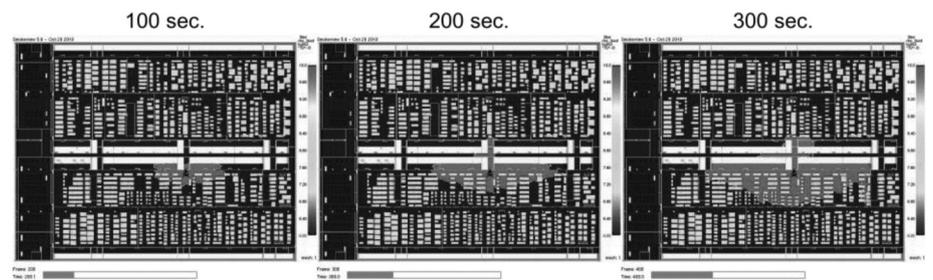


圖 4.6 FDS 情境 3 100-300 秒 MFL+ERT 模擬結果

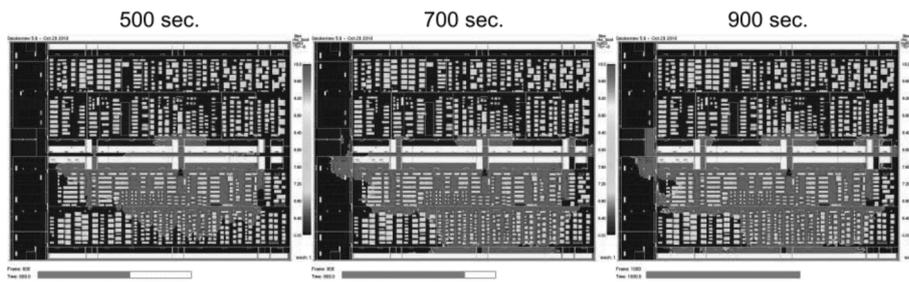


圖 4.7 FDS 情境 3 MFL 模擬結果

Scenarios 4 :

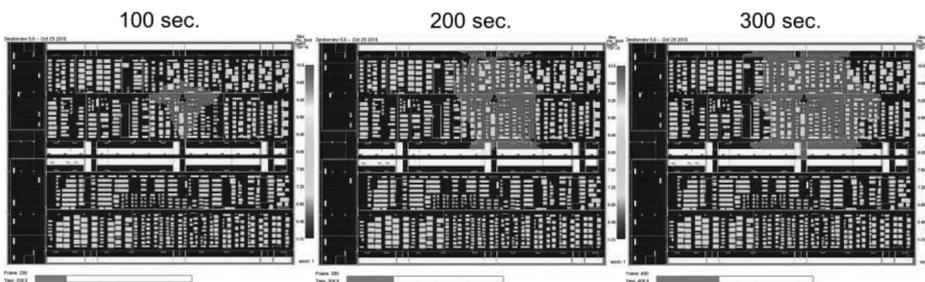


圖 4.8 FDS 情境 4 100-300 秒 MFL+ERT 模擬結果

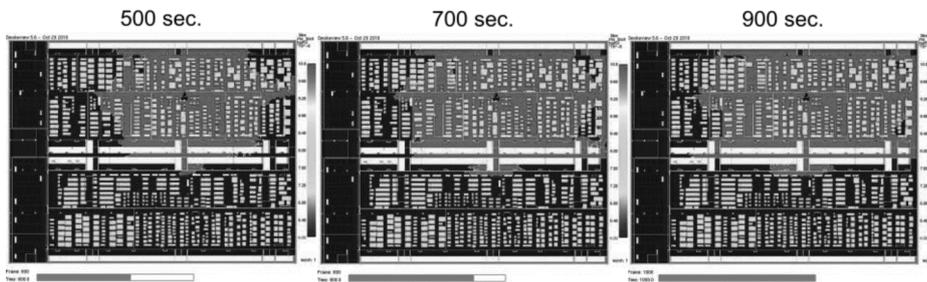


圖 4.9 FDS 情境 4 MFL 模擬結果

Scenarios 5 :

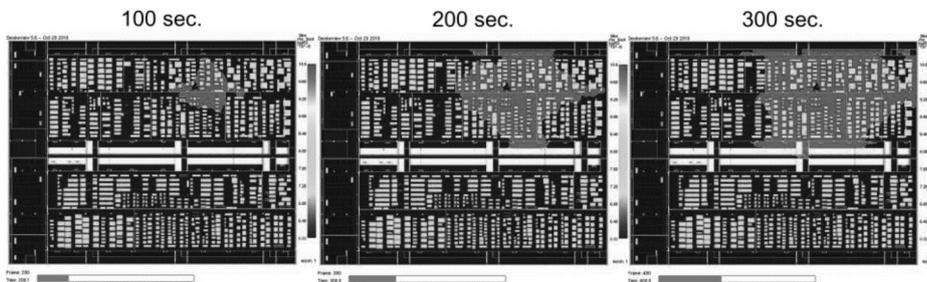


圖 4.10 FDS 情境 5 100-300 秒 MFL+ERT 模擬結果

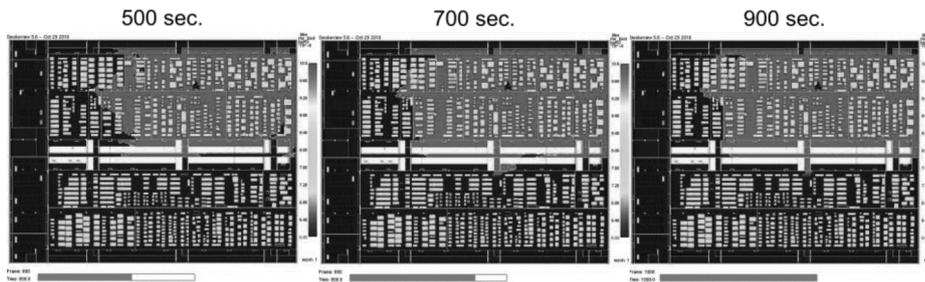


圖 4.11 FDS 情境 5 MFL 模擬結果

各情境模擬結果其損失面積統計如附表 4.1，從火載量與損失面積做比較，可以確定較小的火載量損失面積相對會比較小。而 Scenarios 2 因為該區風速 0.5m/s 相較於旁邊區域只有 0.3m/s 要來的高，因此會有相對正壓的推力會將煙快速往旁邊區域推，導致煙損情況較為嚴重。

表 4.1 損失面積統計表

情境	Scenarios 1 HRR 18.8 MW	Scenarios 2 HRR 12.3 MW	Scenarios 3 HRR 9.3 MW	Scenarios 4 HRR 17.2 MW	Scenarios 5 HRR 16.4 MW
PML(100秒)	2.91%	2.39%	1.20%	2.84%	2.68%
MFL+ERT(200秒)	10.38%	10.25%	2.69%	7.41%	9.21%
MFL+ERT(300秒)	11.57%	18.33%	10.02%	11.66%	13.90%
MFL(900秒)	34.46%	36.33%	23.09%	28.74%	26.03%

## 伍、結論

本研究的研究發現整理如下：

### (一) 確定緊急應變成功的關鍵

- 1.Stocker 回風處設有吸氣式偵煙探測系統，警報訊號回傳 ERC 值班中心，火災發生初期在不可見煙階段，ERC 已經通知現場人員進行搜尋。
- 2.潔淨室 24 小時有作業人員在工作現場，當環境或設備有異常時，作業人員會進行通報，請相關設備、廠務、主管或 ERC 值班人員確認，且作業人員每年會進行滅火訓練及通報訓練，可協助 ERT 人員處理火災初期狀況。
- 3.ERT 為線上值班工程師，在第一時間應變人員距離事故位置相當接近，初期火災不須集結組織 ERT 即可先行滅火，同一時間再由其他人進行通報及組織 ERT 支援，如果火災已經控制，後續只需清理火場即可。

- 4.潔淨室內滅火器設置密度高，滅火器設置標準除參考法規標準之外，會依實際需求於任何位置點發生火災時，人員取得滅火器回到事故地點，時間不得超過 10 秒之標準，增加設置密度。另外還有 100 型大型滅火器，在初期火災滅火有足夠設備確定能撲滅火災。
- 5.大量使用不燃或耐燃材料，現在的 12 吋晶圓製造廠排氣風管均選用不燃材質、排氣風管尾氣處理的水洗塔也設計有自動撒水滅火系統，蝕刻製程所使用的機台外殼均使用不燃及低發煙量的材質，防火區劃及防火阻隔工程均採用內政部建築研究所認證之工法及材料，或是國外 UL / FM 認證之產品等，火災事故發生時不易延燒。這對緊急應變而言相對爭取了較長的時間，讓滅火工作變得更容易，這也是緊急應變行動容易成功的原因。
- 6.每年會由保險公司派稽核人員入廠稽核，對緊急應變程序、訓練計畫、訓練紀錄、現場實測等，進行驗證。

## (二) MFL 有效阻隔煙的主要因素

### 1.中央走道兩側防火門及 AMHS 防火閘門須同時關閉

由情境 3 的模擬結果可以看出，模擬的結果是防火門及防火閘門已經關閉的情況，中央走道可當成蓄煙區延緩煙擴散至另一潔淨室，如果防火門關閉的時間越慢或未關閉，則煙擴散至另一潔淨室的速度越快。

### 2.中央走道有較大的回風風速可減少煙透過通道進入另一潔淨室

由相關的模擬發現，臨中央走道區域若能提供較大的回風風速(FFU 速度大於 0.5m/s)，抵銷/減弱由 MFL 穿越後侵入的煙行進力道，提供較長的阻煙時間，同時迫使由 MFL 穿越後侵入的煙流往回風豎井。煙的流佈受局部流場的牽引較小，但受大環境(FFU)流場的帶動較大，故較高的 FFU 風速可以導引煙流往回風豎井，減少煙透過通道進入另一潔淨室。如果可以在火災發生時對中央走道的 MAU 進行加載，增加 FFU 流速到 0.5m/s 以上，就可達到此目的。

### 3.中央走道天花板等高並設計由側牆下方回風

中央走道等高的天花板 FFU 及側牆下方回風，除了提供煙往中央走道兩側流動的機制外，同時流場在水平與垂直到向的改變，形成煙流動的阻力。

### 4.減少或分散火載量

產能許可情況下 FOUP 數限制儲存數量(200 個以下)，或是均勻儲存於不同 Stocker 以分散火載量，減少煙流驅動力及其對機台的煙害。

#### 5.兩扇隔間牆如中間有走道，牆與牆應避免過於靠近

兩扇隔間牆中間走道距離如果太窄，尤其靠近中央走道有防火門的位置，會形成氣流的導引牆，加速煙往另一個潔淨室擴散。如果相隔距離越寬，則可延長煙跨越 MFL 牆到對向的時間。

就損失經驗而言，由 FDS 模擬結果顯示，高科技廠房潔淨室火災情境，藉由 ERT 的緊急應變行動，可以將廠房煙損降低 15~20% 以上。就危險暴露經驗而言，MFL 防火牆確實可以降低火災損失，由 FDS 模擬 Stocker 的 MFL 火災情境來看，廠房火災煙損可控制在 36~40% 以下，這與過去高科技廠火災歷史紀錄的資料比對，確實有相當大的改善。

## 參考文獻

- 1.黃國勇，半導體廠煙控系統設計及動作程序之有效性研究，國立交通大學，碩士論文，民國 93 年
- 2.邱晨璋，區劃空間火災閃燃及回燃現象實驗及十二吋晶圓廠防火性能設計之研究，國立交通大學，博士論文，民國 94 年
- 3.吳念坤，晶圓廠無塵室之性能式煙控設計功效評估，國立成功大學，碩士論文，民國 102 年
- 4.邱民昇，差壓煙控應用於潔淨室煙損防制效益之研究，國立成功大學，博士論文，民國 105 年
- 5.洪傳譜，高科技廠房先進救災設備配合緊急應變程序之研究，國立交通大學，碩士論文，民國 94 年
- 6.馮宣皓，緊急應變人員訓練落實度調查-以半導體廠為例，長榮大學，碩士論文，民國 95 年
- 7.徐孝璋，緊急應變訓練模式設計與探討，國立交通大學，碩士論文，民國 102 年
- 8.葉書村，科技廠房無塵區域外極早期偵煙系統設置最佳化研究，長榮大學，碩士論文，民國 103 年
- 9.鍾玉慰，高科技廠房無塵室極早型火警偵測器佈點，國立交通大學，碩士論文，民國 94 年
- 10.姚慧玲，TFT-LCD 廠火災預防管理之研究，國立雲林科技大學，碩士論文，民國 98 年
- 11.劉玫瑞，損害搶救與損害鑑定爭議問題之研究~以火災保險理賠為例，淡江大學，碩士論文，民國 98 年
- 12.孫其怡，應用類神經網路探討火災保險風險評估之研究--以 T 公司工商火災保險為例，國立交通大學，碩士論文，民國 96 年
- 13.楊清榮，超額賠款再保險運用與財產保險經營實務之研究，國立政治大學，碩士論文，民國 93 年
- 14.陳詠翔，半導體廠房無塵室煙控系統設計，國立交通大學，碩士論文，民國 101 年
- 15.廖茂為，新竹市火災搶救之研究，國立交通大學，碩士論文，民國 95 年

16. 姚大鈞、單信瑜，緊急應變計畫原則與實務，台灣防災產業協會，台北，民國 104 年。
17. 邱晨瑋，高科技廠無塵室防火工程性能式設計，鼎茂圖書出版股份有限公司，台北，民國 98 年。
18. Philip J., DiNunno, P.E., et al. SFPE handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, National Fire Protection Association, Inc., Massachusetts, 2002