

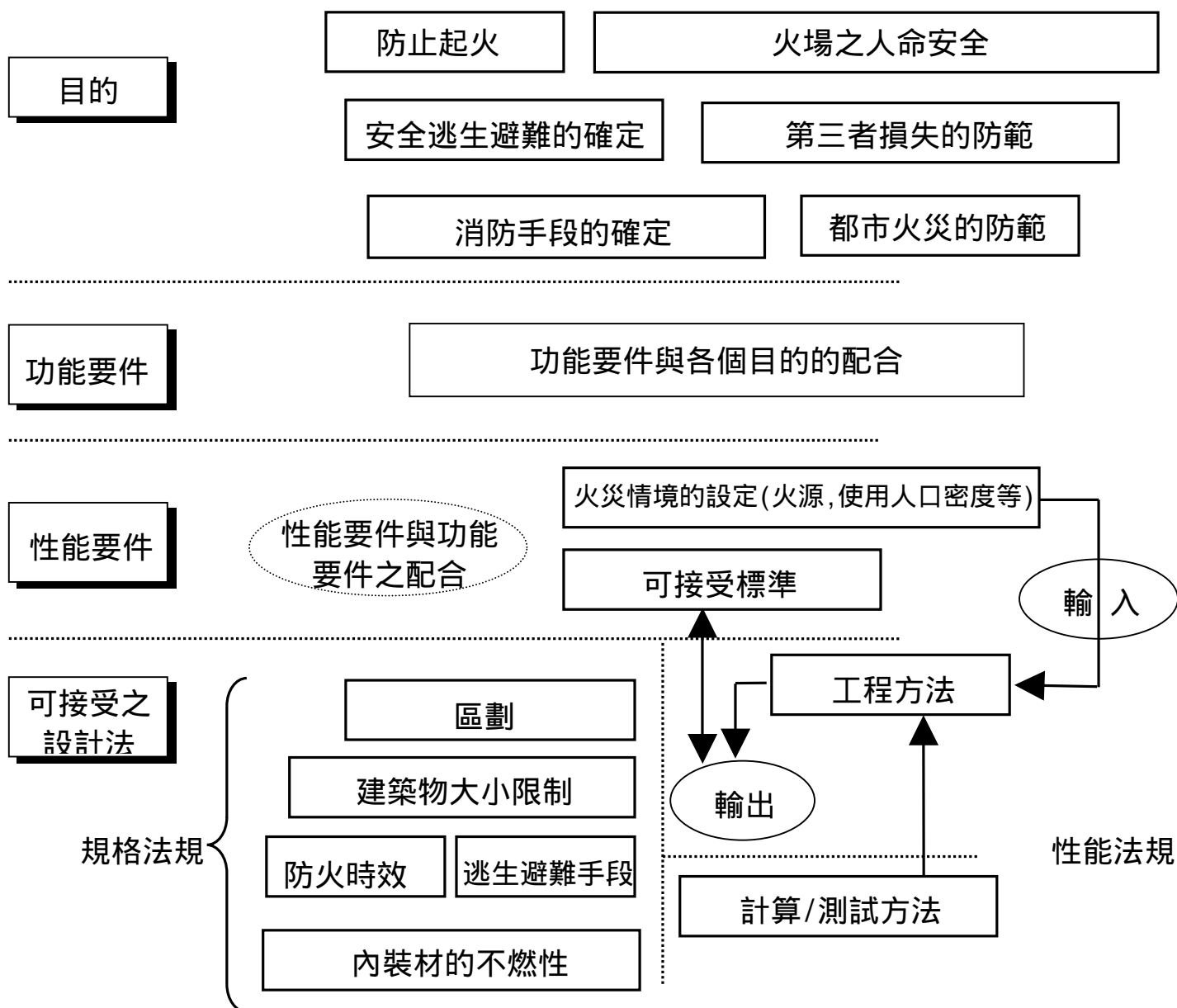
第一章、緒論

(一) 緣起與目的

這些年來，世界各防火研究的先進國家（如：美國、英國、加拿大、日本、澳洲、德國、法國...等），均投入以科學為基礎的「防火工程(Fire Safety Engineering; FSE)」的開發研究工作。何謂防火工程？簡單的說就是應用科學和工程原理，使建築物本身的防火設計，在一旦發生火災時，能達到“保障人身生命安全”，“防止火災延燒擴大”及“減少財產損失”等三大目的的一種手段。其主要目標是希望以科學的方法，來解決現有的法規或標準的僵化之短處，對於不斷創新、改進的防火材料或技術，不會產生不合理的限制或約束，並使得有限的防火資源能有最佳的運用及最有效的使用。在 ISO/TC92/SC4(Fire Safety Engineering)[1]根本就認為防火工程就是性能法規(Performance-based Codes)，只是後者係前者經過立法程序變成法令。

英國是最早提倡防火工程觀念的國家，它於1984年開始正式將性能法規納入建築法中，經過數年的經驗，在1991年開始由英國標準組織(British Standards Institute; BSI)和威靈頓火災研究中心(Warrington Fire Research Center)共同草擬一個施行準則[2](Draft British Standard Code of Practice for The Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Buildings)，該草案於1993年出版，但仍在審查當中。至於防火設計過程可分為四個階段(a)性能設計審查(qualitative design review)；(b)模式數值分析(quantified analysis)；(c)相對於安全標準的評估(assessment against safety criteria)，以及最後的(d)設計總結報告(presentation and reporting)。另外在ISO/TC92/SC4分組的工作簡述如下；WG1：應用於設計目標的防火工程性能觀念，(1)計算模式的評估和驗證(2)建築物特性(3)火災模擬。WG2：火災成長及煙流動。WG3：火災延燒現象。WG4：感測器及灑水頭之偵測、作動和滅火。WG5：生命安全之維護。

若將此兩者防火工或性能法規的概念，以圖示之，則如下表所示：



表一 性能法規防火設計系統之架構

由這個防火工程（或性能法規）的架構中，我們可以看出火災災害及評估分析模式係有效執行防火工程最關鍵的工具。同時我們可以清楚的看出整個火災災害和危險評估分析模式，必須先要有火災模式作為最根本的分析工具，再根據其預測的火害結果來作有關危險(Hazard)以及風險(Risk)之評估分析。

火災本身是一個相當複雜的燃燒現象。它不僅包括了物質因受熱裂解，揮發然後與空氣混合燃燒等的燃燒過程，還包含了因燃燒產生高溫所引起的熱傳（同時包括有傳導、對流及輻射三種熱傳）和質傳以及氣體流動的過程。就是因為它是一個複雜現象，所以人類對火災積極的研究遲至二十世紀才開始。早期的研究也只能以實驗為主，主要是對這一複雜現象的說明，理論分析不是很難就是根本不可能。即使到現在，實驗仍然是研究火災現象最有力的工具。可是實驗的成本很高，尤其是全尺寸的實驗。模型(model)實驗的價格雖然較低，可是模型實驗所得到的數據資料並不能完全應用到全尺寸的房間或建築物上，主因是火災現象包含了許多的物理及化學過程，而這些過程的scaling定理並非一致，所以最多只能作部份模擬而已，因此想從模型實驗所得到的資料來定量的了解全尺寸的火災就有某種程度的困難，也就是說模型實驗並不能完全模擬火災現象。

隨著電腦科技及其計算能力和記憶容量的快速發展，電腦模擬成為研究火災的另一種強而有力的工具，這種工具在流體力學上發展得很快，例如PHOENICS在飛機設計上就扮演著一個相當重要的角色。而在火災的研究上，它可用來彌補模型實驗的缺點，但電腦模式預測的正確性仍須實驗數據的驗證。以電腦來模擬火災現象目前最常用的有二種方式：(一)區域模式(zone model)及(二)場模式(field model)。

區域模式是將房間內的空間劃分成若干區域(通常為二個區域，其示意圖可見圖一)，在每個區域內的流場及物理化學性質假設是均勻的，不同區域的性質則不一樣，區域與區域間的動量、質量以及熱量交換率則由動量通量、質量通量以及熱通量來表示。雖然區域模式在計算上

較簡單，但它需要大量的假設，這些假設則有賴實驗結果來支持，因而它所需的實驗資料很多，所以對實驗的依存性很高。雖然區域模式仍在持續不斷的改進中，例如英國防火研究室所研發之JASMINE[3]，可是仍然存在有很多的困難待解決，例如：使用區域模式時很難將火災現場劃分成一組可真正描述火災現象的區域來，而且區域與區域間的交互作用亦很難真正地加以模擬，另外若是在混合現象十分嚴重的區域，諸如強烈火源附近或抽排風處，則區域模式的假設會背離事實更遠，導致計算結果誤差很大。雖然如此，但目前火災模式的主流仍是以區域模式為主，例如美國國家標準暨技術研究院建築防火實驗室所研發之HAZARD I[4]和加拿大國科會防火研究室所研發之FiRECAM[5]。他們兩者的特色將在下節介紹。

場模式則是利用數值方法去分析描述火災現象的動量，組成以及能量等方程式，它是將空間區分成許多的網格，不同於區域模式，其網路格數往往高達數萬個，其示意圖可見於圖二。因火災通常呈紊流狀態，所以場模式通常需要各式各樣的物理化學模式（如紊流模式、化學反應模式以及熱輻射模式等）去模擬火災中的各種物理化學過程。雖然如此，但這種模式所需要的假設較少，且對火災現象也有較仔細、正確的描述，缺點是計算網格過多導致計算所耗費的時間往往過多。

雖然現在電腦模式仍以區域模式為主流，但近十年來，因電腦的儲存能量和計算能力的大幅進步，場模式的電腦模擬逐漸變成可行，因此近些年來，利用場模式來研究火災現象的研究人員也就愈來愈多了，但由於火災現象過於複雜，所以用場模式模擬的論文並不會太多。Davis等人[6]使用FLOW3D（場模式）的商用軟體來研究單個房間火災以及三個相聯房間的火災，並在美國國家標準暨技術院的建築防火實驗室(NIST/BFRL)中，作相關的實驗驗證，他們發現場模式模擬的結果和實驗結果有“合理”吻合性。Hadjisophocleous and Cacambouras[7]以他們在加拿大國科會防火研究實驗室自行發展的模式來預測在單一房間中火災的行為。所用的統御方程式係暫態、三維及紊流 κ - ϵ 模式，而熱源則假

設為對時間的線性函數，其預測數值結果和相關實驗[8]比較具有不錯的吻合性。Kerrison等人[9]則分別使用了PHOENICS和FLOW3D兩種商業軟體來模擬房間火災，和前述參考文獻相同也和一樣的實驗比較，也有不錯的吻合性，同時他們強調數值模擬的假設必須有相關實驗的驗證。但這兩者的模擬對象都是在沒有抽氣情形下的火災房間實驗[8]，和目前一般常用的大尺寸房間測試方法（必須抽氣以獲得熱釋放率、燃燒產物生成率及煙濃度等參數）的ISO 9705[10]有明顯的差異，因此本人利用國科會計畫，以高速電腦中心的軟體CFX（其前身即為FLOW 3D）和設備來模擬計算ISO 9705房間火災中受抽氣影響所造成的燃燒與流場特性[11]。另外Bilger[12]在他於第四屆國際火災研討會的特約演講(Invited Lecture)中，除了將一般常用暫態、三維和紊流場模式應用至火災模擬所須的次模式，諸如紊流傳輸中之浮力表示方法等，加以介紹外，並強調在五年內，場模式的應用將超過區域模式的應用。在1996年防火研究國際合作會議中，其中有一篇論文[13]係由芬蘭防火研究實驗室針對目前世界常用幾個火災模式來進行對比實驗，雖然區域模式較場模式多，但預測結果和實驗比較，似乎顯示場模式有較佳的表現。

另外除了以上所談論到模式外，其它尚存在許多針對特種用途所研發出的模式，本研究將其整理列表於下頁。

由以上的論文回顧，我們可以了解火災模式包含許多影響因素，所以非常不容易也不可能同時解決。因此一般都將火災模式分成幾個次系統，再按部就班的逐項解決。故本計畫擬在本年度中，擬建立一完整的火災模式系統研發的架構，並提供可能的解決途徑，以作為下一個五年防火研究計畫中火災模式建立的先導性研究。

軟體比較表

Model 名稱	作者	功能	備註
ASCOS	J.H. Klote	1.分析煙控系統能否達到預期效果 2.模擬超高層大樓在極高溫下產生之煙囪效應	假設 steady air flow
ASET-B	W.D. Walton	計算在單一密閉房間內熱煙氣層之位置及溫度	門窗皆緊閉
ASMET	Charles Arnold	分析在大空間建物之煙管系統(中庭,大賣場等)	
BREAK1	A.A. Joshi P.J. Pagni	計算玻璃窗暴露在不同火災情況下,至被破壞前之溫度變化歷程	玻璃窗被破壞即停止執行程式
CCFM	G.P. Forney L.Y. Cooper	模擬不同條件下火災發生情況,包括燃燒產物濃度,熱煙氣層厚度,溫度等等狀態	採用 two zone fire model 最多 9 個房間,20 個通風口,20 個火源,3 種產物
DETECT-QS	D.D. Evans	計算火災發生時,熱感應器和灑水頭作動時間	1.假設熱感應器位於較大之面積,只受到來自 fire ceiling flow 的熱,不考慮來自房間積存熱氣的影響 2.假設為 quasi steady
DETECT-T2	D.W. Stroup	計算火災發生時,熱感應器和灑水頭作動時間	1.假設熱感應器位於較大之面積,只受到來自 fire ceiling flow 的熱,不考慮來自房間積存熱氣的影響 2.假設火災是以時間平方成長
ELVAC	John H. Klote Daniel M. Alvord	估算人員從樓梯及電梯疏散出大樓所需花費時間	可用來作為防火電梯的設計
FIRDEMND		模擬消防隊在閃燃發生後,採用不同流量及液滴大小的水注之滅火效果	
FIRST	H. Mitler H. Emmons	預測在不同氧濃度下火災成長狀態及煙層狀況 預測房間內物體是否會被加熱引燃	最多只能同時預測 3 個物體能否被引燃
LAVENT	W.D. Davis L.Y. Cooper	1.模擬有 draft curtains 及 fusible link operated ceiling vents 的房間發生火災時,灑水頭的反應情況 2.計算 heating of the fusible links,包括 ceiling jet 效應及熱煙氣層在天花板下的累積情況	每個房間最多容許 5 個 ceiling vent 及 10 個 fusible links

(二) 研究方法與進行步驟

(1) 蒐集國外先進國家火災模擬程式之相關資料及研究成果

由本計畫之重點在於架構的規劃，而且我國目前相關研究又不多，因此國外的經驗更顯得重要，而這種經驗的取得，除非和當事人非常熟稔，否則只有藉由資料的蒐集。而蒐集的途徑除本國圖書館之藏書和期刊外，亦常需國際有關防火會議的資料，諸如W14/ISO以及FORUM等第一手最新研究的資訊，這些資訊只有靠建研所積極的參與才能獲得。最後亦可藉由國際學術網路，連接至各國防火研究單位之網址，了解其最新研究動態。

另外因為目前各先進國家所發展的火災模式都是針對其本身的火災特性來研發，此點必須事先加以注意。所以我們發展自身的火災模式時，應事先多蒐集我國火災調查資料以了解我們的火災特性。另外，火災特性亦包括了建築物的構成和使用特性，基本上這些資料在建研所或消防署及警察大學都可以找到。

(2) 比較分析國外先進國家已建立火災模擬程式之軟體資料

資料蒐集之後，最重要的工作是消化整理，徹底了解其邏輯思考原理及精華所在，然後再將各個資料的研究心得作交叉評比分析，了解他們優勝劣敗之處，主要是從上述過程中，找出最適合或接近我們國家使用現況者。

從目前了解，FiRECAM的使用，除加拿大本身和澳洲外，並不對外釋出使用，主因是該模式創始者，Dr. David Yung認為模式研發者應對模擬結果負責，因此他國欲要使用，應採用共同合作研究研發的方式的進行，這種會作模式當然也同時考慮到了合作國家的火災特性。相反的HAZARD I的使用，則是任何人肯花250美金即可使用其程式，但已事先聲明算出的結果完全由使用者負責，研發者單位(NIST/BFRL)不對任何計算結果負責。由於計畫主持人曾在1996

年9至11月在NIST研習有關 HAZARD I的使用方式，對其了解已有相當的心得。並發現其中一些問題所在，將在下一節中討論。

- (3) 研擬我國建築物火災模擬程式之整體架構、研發工作時程及相關需求。基於主持人本身已有的經驗，再加上前述兩過程的資料蒐集和分析，本研究將建立該研究架構。而該架構尚須考慮到上游實驗資料的輸入，另外尚須考量到輸出值，而這些輸出值必須能為警察大學所提計畫案“建築物火災人命安全評估電腦化之應用發展”（暫定）所應用而為其輸入值，所以我們兩個計畫在執行完成時，由建研所綜合協調，使兩者可聯合成一體完成整體架構。

第二章、區域及場之火災模式的分析比較與應用實例

本章將分別討論區域模式和場模式的一些應用實例以及他們在使用上之優劣點。

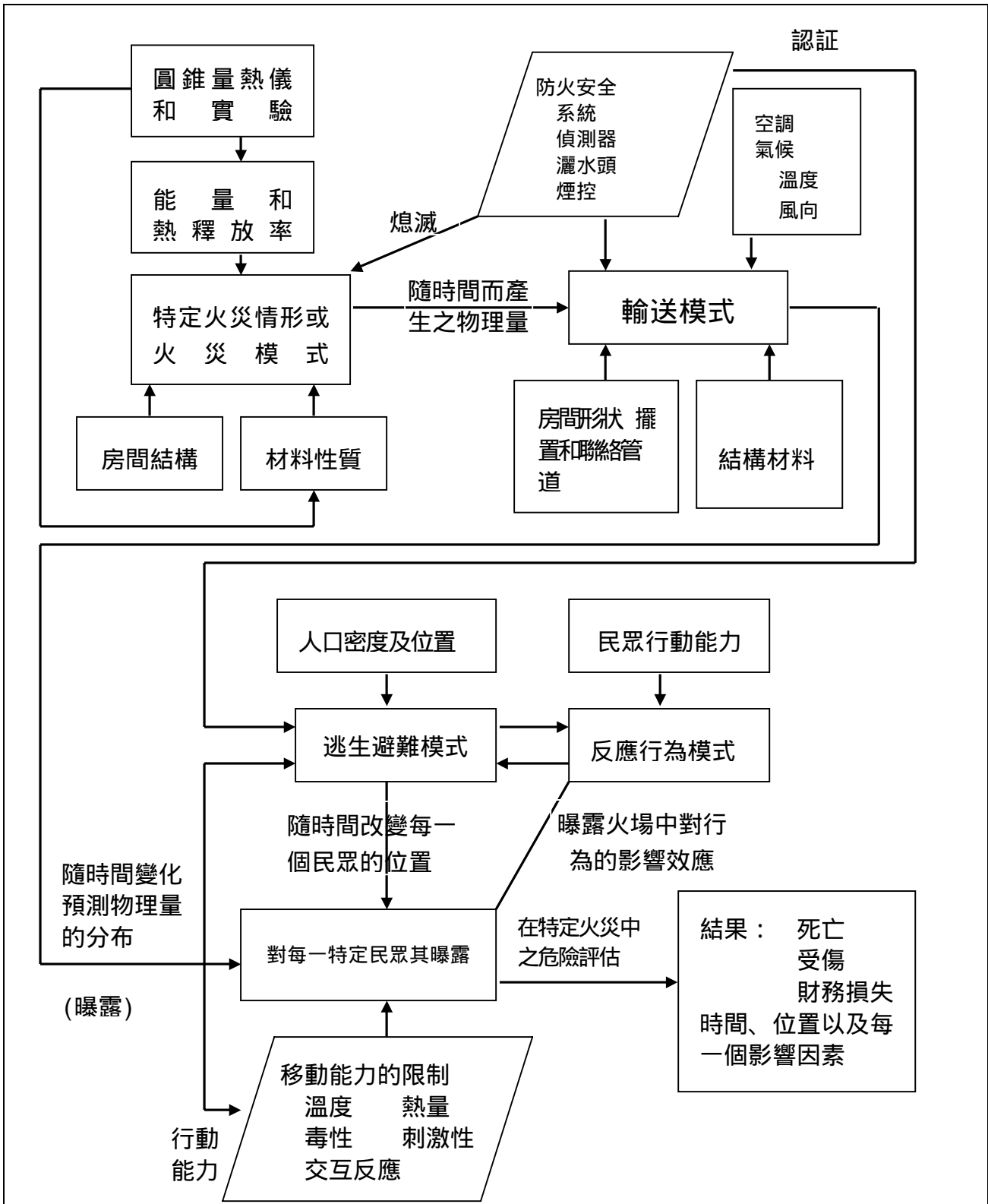
(I) 區域模式

I.1 HAZARD I 及 FASTLite

HAZARD I 軟體係由美國NIST/BFRL花了將近五年時間和數佰萬美元的經費研發而成，其主要係模擬住家環境中的火災動態，其房間總數可達15間。這套軟體價格每套250元美金，迄今在全世界已販售出400多套，其中在美國境外採購者佔了將近四分之一，顯見該套軟體有相當多的使用者。它的結構圖可見於下頁表二，而其主要功能包括下列計算：

- (1) 在單一房間中，一個或多個可燃物燃燒後所釋放出的能量和燃燒產物（包括煙及其它有毒氣體）的質量之計算。
- (2) 通過在房間與房間之間的門、窗或樓層之間，因自然或強制對流所造成的通風流動之計算。
- (3) 經過由接觸面的熱傳和新鮮空氣混合的稀釋等計算後所得之氣體溫度、煙濃度和燃燒產物之濃度之計算。
- (4) 在建築物內的居民因知曉火災發生訊息的遲滯，下意識的反應動作以及他們移動能力（例如老人或殘障者行走速度可能較慢）效應影響下之逃生避難時間之計算。
- (5) 以及這些居民他們在建築物內逃生避難時，遇到高溫、毒氣及煙遮蔽時可能造成的傷害，或死亡的時間及位置之計算。

由上述的功能敘述，可看出此套軟體結構非常複雜，它包括了物理



表二 HAZARD I 結構圖

、化學、流體力學、熱傳、生物、毒性及人類行為等影響因素，而且這些因素會彼此互相影響另外尚須考慮暫態，由於個人背景係燃燒熱流專長，因此本計畫重點在(1)~(3)項之火災模式，包括了燃燒現象及火焰延燒行為的探討。至於(4)和(5)有關生物、毒性及人類行為模式則不在計畫研究範圍內，只是根據火災模式計算結果，再輸入這些模式獲取最後災害評估報告。

由於 HAZARD I 操作程頗為複雜，經過將近佰次的計算練習後，本人發現這套軟體應再改進及增強之處，簡述如下：

- (1) 經運算後，在個人電腦螢幕上顯示的圖示結果，可能不是確實的計算數字結果，例如上層氣體溫度超過某個數值，它會自動轉換成下層溫度，且並無指示，易造成混淆，甚至誤判。
- (2) 在電腦螢幕圖示之熱釋放率會顯示負值，不合物理現象，但計算數值卻是正的，顯現畫圖軟體可能存有錯誤指令。
- (3) 相同可燃物，雖設定不同引燃時間，但獲得熱釋放率卻相同，顯示引燃時間並未在程式中考慮。
- (4) 在利用舊檔案修改某些參數，再儲存新檔時會發生錯誤訊息。
- (5) 在程式中所謂 Modified 之通風口開啟時間不能使用。

由上述缺失看來，整個程式本身架構沒有問題，而出現的問題都是在繪圖軟體及檔案進出界面的控制上，所以還是可以應用此套程序作有關的模擬，只是結果要用印出的 Hardcopy 來閱讀，程序比較繁雜。另外 HAZARD I 最新的 1.2 版欲將其實驗室大尺寸試驗的結果放入該新版中，以解決其事先必須輸入熱釋放率的缺點，目前這項工作正在試車中，而我們已取得相關的實驗數據，正研究如何改良，以改放我們已有的實驗數據。

由於 HAZARD I 使用的案例很多，可參考文獻〔4〕。另外，有關 HARZARD I 該套軟體如何建檔於個人電腦以及如何開機使用及輸入所須之數據，則可參考本人在消防署授課之相關講義，其置於附錄。

“FASTLite” [14] 該套軟體其係由 FPE (計算逃生避難時間及灑水頭作動之軟體) 和 CFAST (火災模式) 等兩套整合而成的軟體，另外該軟體就是 HARZARD II 的研發雛型。它可提供下列防火安全設計的計算工具，其功能包括有(1)三個房間的火災模式(不包括外在環境)、(2)逃生避難時間、(3)熱感應器和煙感應器之作動、(4)灑水頭作動下之火勢、(5)中庭上方煙層之溫度、(6)火焰到達天花板時所造成噴流之溫度、(7)橫向火焰延燒速度、(8)經過通風口(vent)之質量流率、(9)尾燄填充上層熱氣層之速率、(10)周遭燃料之輻射引燃。經過一連串之數值測試及練習後，雖然本人已能利用該套軟體成功的重建一個發生於 1994 年在美國紐約市 Watts 街 62 號所發生使三個消防人員犧牲的回燃(Backdraft)現象，但仍有數點疑問，例如火場所發生之熱釋放率產生的方式以及是否有考慮輻射回饋效應，這些都是原始模式及程式設計者現正努力改進的地方。這套程式目前已作成光碟，在光碟中尚另有其它豐碩的資料，係由 NIST/BFRL 自行製作，並免費贈送有興趣的人使用。

現就使用 FASTLiTE 模擬美國紐約市 Watts 街 62 號所發生的回燃現象，作一個火場重建的工作。

(1) 事件描述

1994 年 3 月 28 日晚 7:36 紐約消防隊接獲一火警報案，有人看見濃煙及火花從曼哈頓島一棟三層樓公寓的煙囪冒出(該樓之示意圖可見圖三)，消防人員到達後分成三組，其中二組分別由公寓的一、二樓進入，另一組則由屋頂打開樓梯間對外的通風管道，當第一組人員打開一樓公寓通向樓梯間的門時，大量的火焰衝出，充滿了整個樓梯間並持續燃燒了 6 分半鐘，而這樓梯間大火也吞噬了由二樓進入的三位消防人員。

事後的調查指出，當晚 6:25 此棟公寓的一樓住戶，將一個垃圾袋

遺留在暖爐上後即出門，調查人員認為很可能暖爐引燃了這個垃圾袋之後，垃圾袋又引燃了其它可燃物，因房間之門窗均緊密，在空氣不足之狀況下，房間內充滿了可燃氣體，當房間的門一被打開，大量空氣流入房間內，且大量可燃氣體衝出，使得一樓房間及樓梯間充滿了空氣及可燃氣體的混合物，當這些混合物一被點燃，即發生了所謂的回燃現象。

(2) 建築物現狀

這場火災發生在一棟磚造的三層樓公寓，這棟公寓的寬度為 6.1m，深度為 14m 有煙囪，且樓梯間有個天窗在火災發生前不久曾重新裝修，包括將牆壁及地板改為木製材料，降低天花板高度至 2.5m 且改善了隔熱性及密封性。

(3) 模擬過程及結果

因在這場火災中，二、三樓受損並不嚴重，所以只模擬一樓房間及樓梯間一樓房間的模型為一個 6.1m x 14m x 2.5m 的矩形房間，而樓梯間為一個 1.2m x 3m x 9.1m 的矩形房間（見圖三），二個房間之間有一個 0.9m x 2.13m x 9.1m 的門，在模擬開始時這個門是緊密的，經過 2250 秒後，（估計由起火至消防人員打開一樓房間的門的時間），將這個門打開。

關於熱釋率的部份，由實驗結果得知，垃圾袋燃燒的熱釋放率為 25kw，所以假設燃燒初期熱釋放率為 25kw，經過 500 秒後，熱釋放率應與時間平方成正比的速度增加。

模擬的結果可見圖四，從模擬結果可看出，火焰在密閉的一樓房間內燃燒一段時間後，雖有壁爐之通風口，但因朝上，充滿高溫燃燒氣體，導致外界空氣不易進入，因氧氣不足，使熱釋放率下降但有許多未燃之可燃性氣體逐漸被裂解產生出來。在 2250 秒時，因一樓房間的門被打開，帶入了大量新鮮空氣，造成閃燃，熱釋放率及溫度因此急遽上升，但因之前在一樓房間內已囤積了大量的可燃氣體，所以燃燒持續了 6 分半鐘之久，這也就是造成三名消防人員喪生的主因。

在起火房間中只單獨考慮加裝灑水頭的結果可見圖（五），首先我

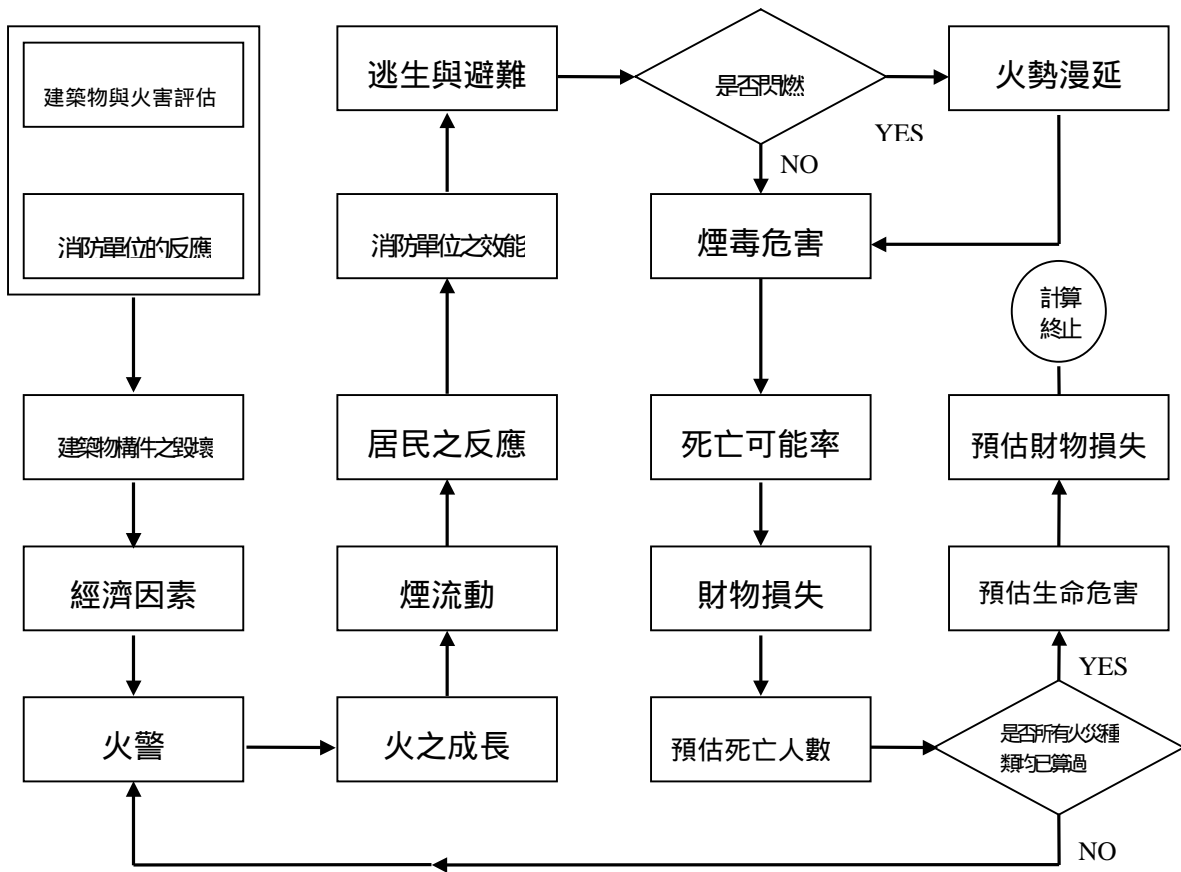
們可以看到在樓梯間在門被打開後，並無回燃的現象發生，而火災房間中的熱釋放峰值約為 380KW，最高溫度為 135℃，遠較回燃發生之 1MW 及 300℃ 小許多。若在起火房間加裝偵煙器聯動灑水頭，其結果可見圖六，則最高熱釋放率大約只有 25KW，即是垃圾袋引燃所釋放出來的熱量，而最高溫度只有在 32℃ 左右，所以總合看來，兩者均可有效的控制火災，不使其達到閃燃發生的境界，當然也不會有回燃的現象。而兩者之中偵煙器聯動灑水頭的效果又遠較只有灑水頭者更有效，因為它在垃圾袋被引燃釋出 25KW 熱量時，其所產生的煙很快的就被偵測到（偵煙器作動溫度約 31℃），可以立刻作動灑水頭作有效的滅火動作。而在只有灑水頭的裝置，則須等到熱氣層累積到其平均溫度超過 60℃ 左右才會作動，反應時間當然較長，且作動時火場強度較前大，滅火的效果當然就會差一點。

I.2 FiRECAM

FiRECAM 係加拿大 NRCC 研究人員經過八年的努力，投入無數人力及經費，開源出來的火災危險評估電腦軟體，它獲得加拿大公共事務與政府服務部及加拿大國防部的支援，同時在研發階段時，也獲得澳洲維多利亞技術大學(Victoria University of Technology in Australia)防火研究專家學者的協助。不同於 HAZARD I, FiRECAM 是不對外公開而且只有加拿大 NRCC 及澳洲政府相關人員有能力而且有權力去使用。很明顯這種現象不適用於鼓勵加拿大各省去規劃性能法規的使用，但根據加拿大 NRCC Richardson 先生的說明，我們大致可以了解到加拿大已決定使用該套軟體當作在西元 2001 年實施目標性法規(Objective-based Codes)的評估工具，所以加拿大政府將採用開訓練班授課的方式教授如何使用此套軟體，合格結訓後再發予證書，以使該學員具有能力評估分析外，亦可對其核可使用該套軟體所作的防火設計有審核認可的簽證權力。如前述，目前該套軟體只有加拿大防火實驗室和澳洲維多利亞大學才能使用，並未對外開放使用，所以我國警察大學消防系與加拿大簽約，在今年至該國防火實驗室了解使用情形，若可能則作一個案例分析該，因為

該計畫係由警察大學消防系負責故不在此多加敘述。該軟體的結構示意圖，可見下頁表三。

至於 HAZARD I 和 FiRECAM 主要不同之處在此稍微簡述一下：HAZARD I 的火災模式係採用兩區域模式(Two - Zone Model)，但目前尚未考慮到有火焰延燒加熱來引燃房間內其它可燃物造成二次燃燒的火災行為（此點他們正在修正改進之中）。另外建築防火實驗室擬發展下一代模式，稱為 HARARD II，目前已開始進行，而其雛型即是前述所謂的 FASTLite，由於經費問題，目前暫時停止 HARARD II 的研發。相對的，FiRECAM 的火災模式只考慮單一區域模式(One - Zone Model)，基本上是不太符合引燃初期和成長階段的火災行為，但它有一個非常簡單的模式來考慮因火焰延燒及輻射效應所造成的二次燃燒，另外最引人注目的是該套軟體有考慮到採用各種設計手段及其潛在風險的經濟效益評估，而 HAZARD I 沒有。

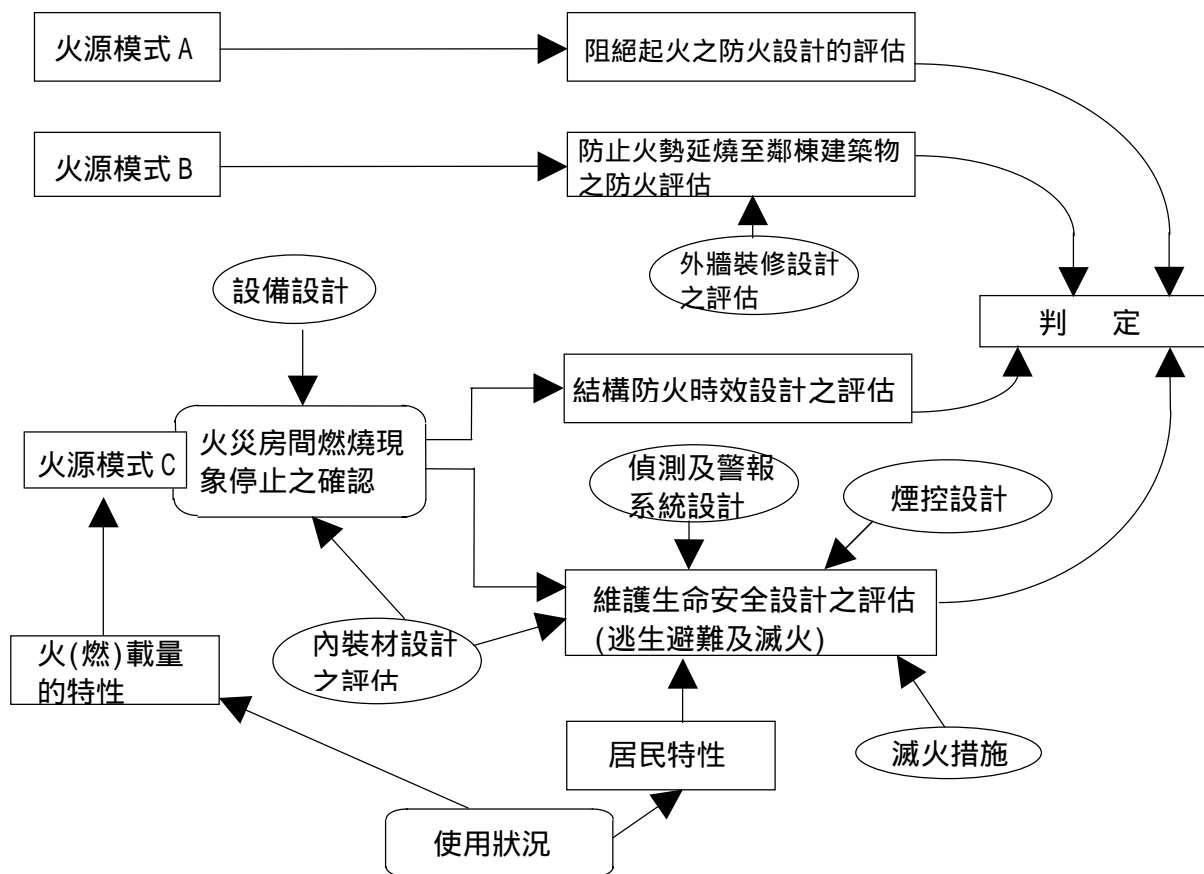


表三 FiRECAM 結構圖

I.3 KARLSSON MODEL

首先介紹日本建研所總合研究計畫 (SO - PRO) 所建議之性能法規防火安全設計評估方法的基本架構。該架構及評估流程如下頁表四所示。

從表四中，我們不難了解模式 A 和模式 B，基本上就是以測試儀器來評估材料之防火性能，它包括了房間中內裝材之防陷性能和耐燃性能。這部份日本為了配合世界貿易組織 (WTO) 的無關稅障礙的精神以及和歐體 (EU) 材料防火性能試驗方法的協合 (Harmonization)，他們將採用圓錐量熱儀 (ISO 5660) 以及大尺寸火災方間測試 (ISO 9705) 兩種方法。但在實施新的測試方法同時仍舊保有舊的測試方法，例如表面試驗和不燃性試驗，因為新的建築法仍將舊有的規格法規視為性能法規的設計方法之一。另外業界對 ISO 9705 的使用，也有相當的保留意見，因為測試費用比較昂貴，或許對內銷無所謂，但對外銷，尤其至歐體國家，則必須要有相關實驗數據的報告，仍無可避免要作。



表四 性能法規防火設計評估方法之架構

至於第三種模式 (Model C) , 很明顯就必須作一個整體的防火設計, 這部份即是防火性能法規的精神所在。這主要原因是配合新材料新工法不斷的推陳出新, 尤其是許多新材料, 它們可能沒有辦法去通過前述模式 A 和模式 B 之防火性能測試, 但他們卻可能具有很好的經濟效益, 例如易大量製造成型, 美觀且成本低, 最顯著的例子就是高分子複合材料, 雖然他們的確具有潛在的危險性 (risk) , 但經由適當的防火設計 (Fire Safety Design) , 則可加以使用, 使總體經濟成本 (cost) 降低, 這已成為目前防火研究的重要趨勢。在該模式中, 我們可看出這整個評估過程中, 須同時考慮到許多子模式 (sub - model) , 例如火災模式, 設備作動模式 (包括有火警探測系統, 灑水頭, 煙控系統等) , 防火區劃設計模式以及逃生避難模式 (包括有居民行為能力和反應特性等) , 然後再綜合評估作為最後判定的基準。

根據這個架構, 日本建研所在平成六年 (1993 年 4 月) 開始進行一個五年的總合研究計畫 (SO - PRO Project) , 除了對模式 A 和 B 再作一次的檢討和修正外, 亦對模式 C 所須的各項子模式 (如前段所述) 進行開發研究。其工作小組選用了瑞典防火工程學者 Lund University 的 Dr. Bjorn Karlsson (Senior Lecturer ; 相當日本系統的副教授) 所研發的火災模式, 所以此次驗證計畫亦邀請 Dr. Karlsson 來日本進行研討。下面將針對 Karlsson 火災模式作一個簡單介紹。

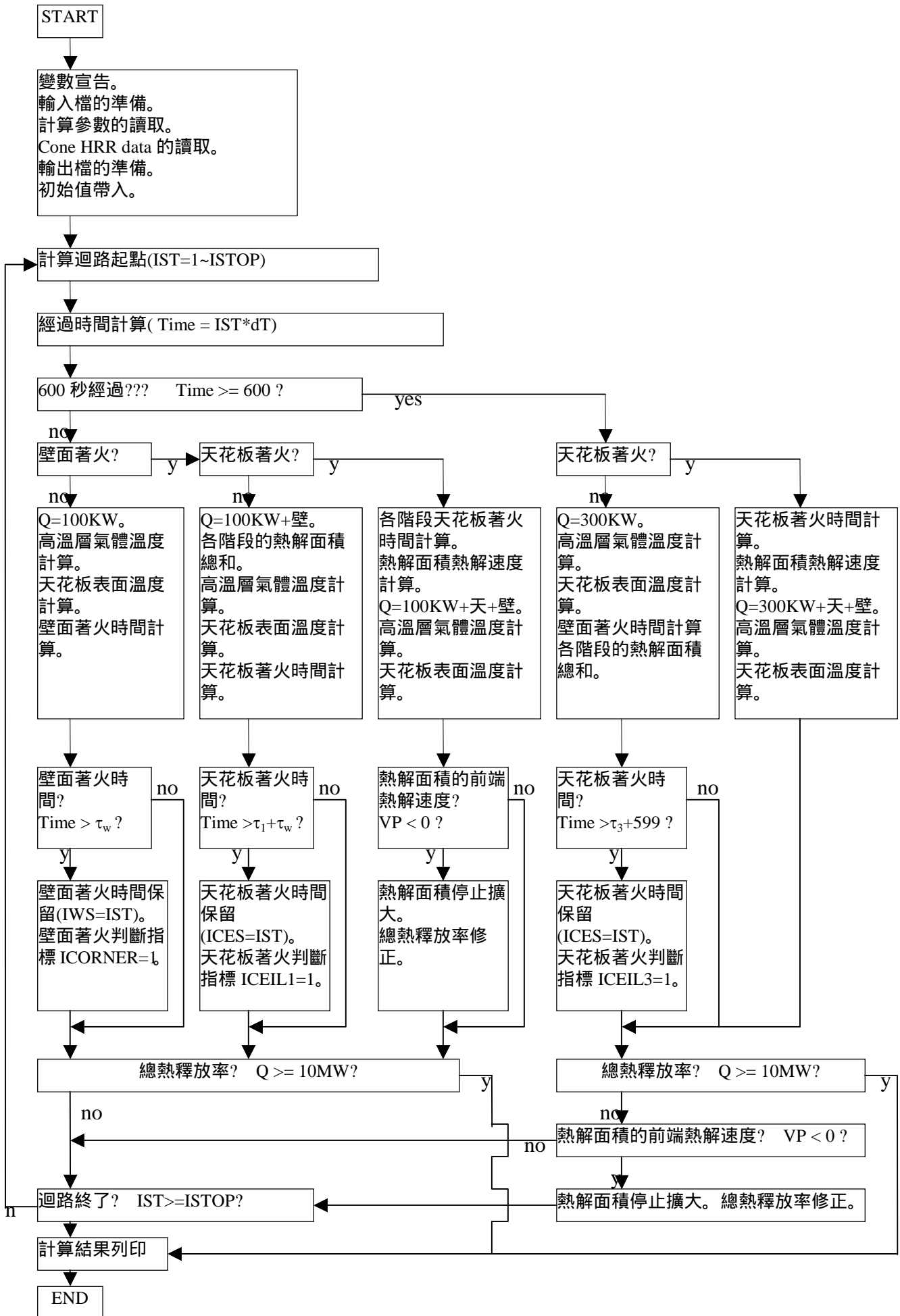
Karlsson 火災模式可為 Model A 和 Model B。其中 Model A 係模擬 ISO 9705 火災房間測試現象, 而 Model B 則是模擬所謂的模型箱測試 (其大小為 ISO9705 房間尺寸的三分之一) 而 Model A 中又可分為 Scenario A 和 Scenario B 兩種火災情境, 其中 Scenario A 係 ISO 9705 房間中, 天花板和三面牆壁均為測試材料, 而 Scenario B 只有三面為測試材料, 天花板面為不燃 (耐燃一級) 材料。Model A 所須的輸入值分別為材料在圓錐量熱儀 (Cone Calorimeter) 所獲得之熱釋放率對時間的關係值 (heat release rate as a function of time) 和測試時間, 以及材料在 LIFT (水平火焰延燒儀) 中所值得之 K_pC 值。Model A 由這些材料的小尺寸 (bench

scale) 測試儀器獲得之數據，經由模式計算可以預測出其在 ISO 9705 火災房間中之熱釋放率隨時間的變化值 (若超過 1MW，則表示有閃燃發生)，材料熱解面積 (pyrolysis area) 熱解前鋒 (pyrolysis front)，上層熱氣層之平均溫度和天花板之表面溫度等隨時間的變化量。其模式流程圖可見於下頁表五，至於 Model B 則只須輸入材料在圓錐量熱儀中熱釋放率曲線中之 λ 和 Q''_{\max} 以獲得向上火焰延燒速度 (upward flame spread)。日本建研所目前已用這個程式作了一些模擬結果，但尚未作到和實驗比較部份，因為日本的會計年度是在三月底結束，可能再須一段時間，才有正式的研究報告書出來。但是日本建研相關人員已開始進行對 Karlsson 模式的修改工作，該工作主要配合全尺寸實驗計畫而須對模式固定輸入數據的調整，例如房間尺寸，開口部尺寸，和火源大小等。我們也應用此程式作一些運算，目前已有兩組解答，現分別簡述如下。

圖七為木粒體水泥板在圓錐量熱儀於 50KW/m^2 入射能量下所獲得之熱釋放率，該熱釋放率配合 LIFT 所測得之引燃溫度和 kpc 值(見表六) 代入 Karlsson 模式，即可獲得其所模擬 ISO 9705 房間中之熱釋放率在上層熱氣層之溫度。該模擬結果以及相關實驗結果可見於圖八和圖九。另一組模擬的材料，其相關的資料以及結果亦可見於表六和圖十至圖十二。

由上述相關的實驗結果和模擬的預測比較觀之，我們可以看出 Karlsson Model 的確有很好的預測能力，所以日本建研所對其有很好的評價。另外在今天，歐體 (EU) 大致上已決定使用 ISO 9705 當作統一

表五 Karlsson 火災模式流程圖



的材料測試基準，在此種環境下，若是有圓錐量熱儀的相關實驗數據再配合此模式預測能力，則 ISO 9705 的實驗次數可能可以大幅降低，減少大量的試驗花費。但我們也可由這兩組比較對照中，Karlsson 模式還應有許多可再改進的地方，例如該模式尚未考慮有火焰沿天花板下方水平延燒速度以及沿牆面向下延燒速度的模式，導致可燃材料在房間中遭遇強大火源攻擊時，實驗和數值模擬在試驗後期有頗大的差距（見圖八），其它還有幾組的計算數據和實驗的相關比較，則可參考本人研究生宋茂清的碩士論文（“Karlsson Model 先導性研究”，交通大學機械工程研究所碩士論文，87 年 6 月）另外 Karlsson 模式所模擬的對象固定在 ISO 9705 房間，若房間大小、門的尺寸以及火源有所變化時，則就不能適用，但可進入原始程式進行相關修改，或許可將其變成變化的參數，則不用再擔心此項問題。

表六 材料引燃溫度及 K_pC 值

材料	引燃溫度 T _{ig} [°C]	熱慣性(k _p c) [(KW/m ² K) ² S]
木粒片水泥板	631	0.653
紙面石膏板	560	0.658
聚丙烯	413	0.601

(II) 場模式

II.1 FLOW3D (CFX[15])

在此計算中，我們利用國科會高速電腦中心的軟體（CFX）及設備來模擬 ISO 9705 火災房間的燃燒及流場現象，現簡要說明之。在本數值模擬計算中，我們一共計算了六個案例，流場分別為冷流場(cold flow)、熱流場(thermal flow)以燃燒流場(combustion flow)，而抽氣量分別為 0.5kg/s、1kg/s 以及 2kg/s，詳細的計算結果和說明可參考文獻[11]。而本文只考慮和參考文獻[16]相同的燃燒實驗狀況(抽氣量 2kg/s 之燃燒流場)的量測結果作比較說明。

圖十三係丙烷燃燒器提供 100kW 能量在三種抽氣量下之燃燒器附近牆面溫度分布圖。我們可以很明顯的看出抽氣量增加時，整個高溫區域會向天花板方面收縮，這主要是抽氣量的增加，可使外界冷空氣進入房間的量亦同步增加，而導致這種現象產生。而三種高溫圖的分布皆呈”T”字型，這也是我們從實驗中所觀察到的火焰形狀。圖十四則是模擬實驗狀況下，各個截面的溫度分布圖。在燃燒器邊緣的面上（或者靠近壁面） $y/L=0.016$ ，我們可以看到左上角的較高溫度分布受到一個角落渦流的強烈影響，這渦流主要是由右下角燃燒器向上噴出的氣體動量，再加上高熱導致強烈的浮力效應，造成所謂的天花板噴流(ceiling jet)，該噴流由右上角向各方噴出，在碰到左上牆角，會在當地造成一渦流；另外我們也可以看到離邊角越遠的截面，其溫度呈分層化(stratification)的效應就越明顯，當然整個截面的平均溫度也越低。圖十五是靠門口附近房間內部離牆角 30 公分 × 30 公分之溫度分布圖，其中黑圓點代表量測值，我們可以看出除靠近上牆角處量測值較預測值稍微偏高外，其它位置兩者都呈很好的吻合度。在靠上牆角處所造成偏差，我們認為是在該處流場非常複雜，除了牆角之迴流效應外尚有門口抽氣效應，所以在計算時必須使用非常精細的格點才能確實掌握住當地的流場特性，但本計算在整個計算範圍內所使用格點數已高達 69,759 個（絕大部份係用外面大氣處，房間內只有 7,840 點），若再增加格點，計算時間將變得更長

(目前這個案例須用一個工作站連續執行兩星期才能獲得收斂解，尚未包括計算後之數值處理及畫圖時間)，並非十分有意義。但我們相信若工作站能力更強，能再增加房間內格點數目將使預測值和量測值更形接近。

圖十六為門口介面處速度的分布圖，由於 ISO 9705[10]只規定在門口擺置有三個微壓管(pitot tube)，所以我們只有三個速度的量測值。從本圖中，我們可以發現這三個量測值和預測值吻合情形非常好，表示場模式數值分析的確有其能力不但在趨勢上而且也在數值上可正確的預測出火災現象。再由此圖的預測速度，我們可以明顯的看到在這個介面的上方燃燒氣體是往外排出，而在下半部則是新鮮氣體由外界大氣進入房間以使燃燒持續進行。最後進出氣體的邊界交點(neutral plane or $v=0$)大約在離地 1.3m 處(注意門高 2m)，這主要是抽氣的影響，因為我們可以看到在低抽氣量時(0.5kg/s)，門口介面氣體進出情形變得較為複雜，因此若是完全處於自然對流(無抽氣)，則情況或許變得更加複雜也不一定。

II.2 SOFIE [17]

不同於前面所討論的場模式 CFX [15]，SOFIE 這套軟體並非由商業性公司自行發展而成，而係由八個火災研究單位聯合開發，當然也專門針對火災問題來作模擬；該八個單位分別為 VTT (芬蘭)，SP Boras (瑞典)，FRS (英國)，CSTB (法國)，Lund 大學 (瑞典)，Cranfield 大學 (英國)，HSE (英國)，內政部 (英國)。也由於這個原因，導致該軟體在介面處理上有問題，更嚴重的是程式經計算後發現有瑕疵，但不知錯誤在何處，所以該套軟體仍在測試除錯階段，尚未達到完成階段，也因此該套軟體也可免費獲得來作測試的工作。在日本除了用大實體屋火災實驗來驗證前節所述的 Karlsson Model，亦用來驗證本軟體，但模擬結果並非十分完美，故不在此多作敘述。

第三章、案例分析

本章將介紹前年九月在加拿大舉行的性能法規與防火設計方法國際研討會 (International Conference on Performance-based Codes and Fire Safety Design Methods) 中所作的七個案例分析 (Case Studies) 作一介紹。由於該七個案例是近年來國際首度有計劃作此展示，因此在日本建研所在其總合技術開發今年的報告書中亦將這些案例分析列入其中。現說明如下。

該研討會中共有七個設計案例，分別來自七個國家。當初的設計原則係由主辦單位 (Society of Fire Protection Engineers; SFPE) 指定各設計方案須分三個子題，第一個子題必須符合各所在國家的規格性法規 (Prescriptive code)，第二個子題則是同樣的建築，但採用性能法規 (performance-based Code) 來設計，但不要有灑水頭裝置，第三個子題類似第二個，但以灑水頭為重點。而且後面這兩種設計也必須獲得設計者所在國建管單位的核准。換句話說，這七個國家本身都已准許使用性能法規來代替比較僵化的規格法規。現就七個案例分別作簡要說明。

(一) 英國

建築物的位置 (見圖十七) 係沿河建造，右邊為休閒中心，左邊為停車場，前方為廣場。建築物本身為四層樓，下面兩層為停車場，其中底層係在地下，而上一層則處在地面，上面兩層則作為辦公室用，中間有一中庭，本棟樓共有三個樓梯可以直接連接四層樓，其中第一及第三分別在建築物兩側，同時亦兼逃生通道以及消防人員進入大樓滅火的通道，第二個樓梯則位在中庭，處在五個電梯旁邊，詳細配置圖見圖十八及圖十九。這種設計係符合英國防火安全法規 (Approved Document “B” - Fire Safety) 的要求，這些要求如下：

LDSA guide No.2 - 有中庭建築物的防火安全

BS 476:Parts 3, 6, 7 and 21 -

3. 屋頂的防火測試

4. 火災延燒

7. 火焰延燒

21. 構造物受承載之防火時效

BS5266: Part 1 - 緊急指示燈之標準

BS5306: Part 1 - 消防水系統之標準

BS5499: Part 1 - 出口指標之標準

BS5588: Part 3 - 辦公室建築物之火災預警系統

BS5588: Part 5 - 消防隊之滅火通道

BS5588: Part 8 - 殘障者之避難措施

BRE:外部火災延燒

根據上據規定，中庭必須由不可燃構造圍繞，例如玻璃圍幕，以及中庭裝設有排煙系統，而且中庭處不准有任何可燃物。但業主不希望有玻璃圍幕，而且希望在中庭有餐桌椅（可燃物），在這種要求之下，自動灑水頭的裝置使用成為最佳的設計，不但可達業主要求，而且可使結構的防火時效由 60 分鐘降低為 30 分鐘。可是業主認為此種裝置在經濟效益上划不來，因為如此一來業主必須有 24 小時的警衛以及自動偵測系統，此外保險公司也不會因此而降低保費，所以自動灑水頭系統未被在此建築物考慮使用。

最後，業主只好再回去使用原先直接符合英國規格法規的設計，但是為了使辦公室空間有更多家公司租用，以提昇其使用效率（經濟因素），所以在辦公室使用樓層分成四個封密空間，如此一來，逃生路徑的長度就不符合要求（在防火區劃內若有兩個出口，則逃生路徑為 45m，若只有一個出口，則降為 18m），因為在防火設計上就必須將第二號樓梯變成符合緊急出口的條件，該公司就在連接二號樓梯處設立一個防火時效達一小時的逃生通道（類似防火區劃）來聯接，見圖二十。此種設計使得每個辦公室間皆有兩個逃生出口，也因此符合了要求。

(二) 日本

日本此次的設計方案係由建研所來執行，他們在作性能法規的使用時，係以手用計算機來作相關的計算，而非使用有關的火災來模擬，原因有二，首先建研所本身所發展的火災模式可能還不完備，另一個原因則是他們認為作防火設計也是建築師工作之一，建築師不可能了解及使用火災模式來模擬，因此使用簡單公式再配合手用計算機，可能比較符合現實狀況。但是耗費的人時非常驚人，例如作建築物防火設計花了 225 人天，作驗證是否合乎法規則花了 150 人天，兩者合計共 375 人天。

Case A(符合日本建築法; Building Standards Law)

設計之建築物有四層（為一綜合使用大樓），每層地坪面積為 3,000m²。第一層樓有一進口大廳，銀行和保險公司辦公室，所以可以預期有許多顧客出現。第二至四層則是辦公場所使用。在二樓及四樓有些房間為會議室。本大樓中央有兩個中庭，地表面積分別為 660m² 及 82m²。其中較大的中庭，貫穿地下層至四樓，且在這兩處分別有一個速食店和餐廳也開放給外面民眾使用，較小的中庭則由一樓貫穿至四樓，凡是面對較大中庭的辦公室皆有窗戶向著該中庭，該大樓一面面對 12m 寬之馬路，另外三面則面向其他建築物之間的距離為 4m，本建築物係防火鋼架所構成。

日本建築法規對單棟建築物的要求

(1.1) 防止引燃

1.1.1 危險物品的管制使用

(1.2) 危險區域的隔離

(1.3) 逃生避難的安全

1.3.1 逃生避難計畫

1.3.2 某些材料的限制使用

1.3.3 避難區劃的安全

1.3.4 緊急逃生路徑的安全

- (1.4) 防止火災延燒至其它區域
 - 1.4.1 防止火災延燒至鄰棟建築物
 - 1.4.2 建築物倒塌而不致危及鄰棟建築物
 - 1.4.3 防止火災延燒至其它空間
 - 1.4.4 多重業主建築物的再使用
- (1.5) 消防人員的安全
 - 1.5.1 消防作業的基本要求
 - 1.5.2 消防作業時之使用路徑
 - 1.5.3 火勢的限制
- (2.1) 城市火災的防制
 - 2.1.2 主要道路的通暢
 - 2.1.3 城市避難難場所的安全
- (2.2) 城市火災的防制

本建築物完全符合上述日本建築法規定，其設計如圖二十一至二十三，重點如下：其承重之結構和外牆必須有一小時以上之防火時效。防火區劃不可超過 1500m^2 ，所有垂直的管道如中庭、樓梯及電梯間都必須使用防火牆、門或檔板。距離鄰棟建築物五米以內的窗，一律都得使用內有鋼線的玻璃。為防止煙的流動，將建築以阻煙牆或簾分成許多防煙區劃，每個區劃面積不得大於 500m^2 。在每個防煙區劃中必須具有自然排煙或機械排煙裝置。

逃生路徑的樓梯其寬度須大於 1.4m ，每樓每個定點之逃生路徑至樓梯的距離必須小於 60m ，若路徑尚有其它用途（除指定逃生之外），則距離必須小於 30m 。

Case B（沒有灑水頭之性能法規設計）

該方案之建築物和煙控設計可見圖二十一，二十四和二十五。其設計重點如下：

將防火和防煙的區劃面積增加，相對即是減少了具有防火時效隔間

牆及檔板的使用量，另外也可將兩個中庭的部份防火檔板除去不要，但是所有的煙控系統仍維持舊有的設計(如 Case A)，符合日本建築法的要求。

Case C (有灑水頭之性能法規設計)

該設計圖可見圖二十一,二十四和二十五,未出現的部份係因和 Case B 相同,不再重複。在這個方案中,是有灑水頭的裝置,但建築物的基本設計沒有多大改變,主要重點如下:

- (1) 在兩個中庭處,完全不須有防火檔板的設置。
- (2) 在中庭處的煙累積的貯存高度須增加(增加中庭頂層高度)。

最後將三者之重點設計表列如下,以作比較

表七

方案	Case A	Case B	Case C
設計依據	日本規格法規	性能法規	性能法規
灑水頭系統	無	無	有
防火區劃	小於 1500m ²	由火勢大小決定	由火勢大小決定
防煙區劃	小於 500m ²	由所須逃生時間決定	由所須逃生時間決定
煙控系統 (不包括中庭)	在辦公室及走廊須有機械排煙裝置	只須在走廊有排煙裝置	只須在走廊有排煙裝置
中庭防火區劃	防火檔板及玻璃帷幕	防火檔板及玻璃帷幕	玻璃帷幕
中庭煙控系統	自然排煙	自然排煙	自然排煙及增加貯煙空間

最後我們須說明者，日本這個設計方案完全沒有考慮經濟效益，這點和使用性能法規的誘因有點砥觸，建研所也承認此點應列入重點考慮因素尤其是在耗費大量的設計及驗證人力之後。另外在性能法規設計中，有一點非常重要的決定因素，即是火勢發生在何處以及其大小，這是所謂的 Fire Scenario，因為這個 Fire Scenario 的選擇，不管是最常發生或最嚴重者，均會影響到隨後的設計。

(三) 澳洲

本案所選擇之建築物係位在都市中，其位置恰在兩條馬路交會之角落，因此只有兩邊和其它建築物相鄰。本建築物只有二層高，中央有中庭，其符合澳洲建築法規之平面圖可見圖二十六和圖二十七。此中庭最大的作用是採光，可使辦公室背面也能受自然光的照射，在中庭的週圍有陽台式的走道，除了前述作用外，它亦提供了辦公室空間使用的彈性，另外一旦有火災發生時，可以經由這種走道直接往樓梯疏散，而不須再穿過其它辦公室再輾轉到樓梯，可是在規格式法規硬性規定即使這種小建築物，也必須要有三個逃生樓梯同時存在，主要是要符合逃生路徑的長度，而從防火工程的觀點看來，大概兩個就已足夠，這是本文討論的重點，另外規格性法規也不准建築物利用中庭來作室內空氣循環的手段，而本文亦探討利用中庭頂層設有通風口作為空氣循環的可能性。

此外在建築物底層有自助餐廳，其本身面積有 324m²，包含有廚房 (45m²)，在外面台地和中庭處水池邊也安排有餐桌椅，面積各為 100m²。

現將本建築物符合澳洲建築法規的條文臚列於下表。

表八

防火安全系統	項目	規定
防火時效	樓地板 柱 屋頂 分間牆，外牆	2 小時 2 小時 2 小時(若有灑水頭，則不須任何防火時效) 2 小時
逃生避難	樓梯數目 防火區劃 辦公室人數密度 餐廳人數密度 樓梯大小 樓梯總寬度 逃生路徑長度 樓梯之間距離 樓梯的門	每層至少兩個 每個樓梯都須具有 每 10m ² 一人 每 m ² 一人 至少 1m 寬 2m 高 3m 至每個樓梯不得超過 40m 至少 9m 至少和樓梯同寬，且小於 2.5m
消防水栓 消防水管 灑水頭	在中庭建築物 在中庭屋頂 中庭頂樓	必須具備 必須具備 必須具備 必須具備 必須具備
滅火筒 感應器 煙控系統 樓梯增壓系統	由中庭頂層排煙	必須具備 必須具備 在開放空間逃生路徑上，必須有 3m 高度的 可視區域 必須具備

性能法規的設計：可分為下面六個子系統(Sub-system)分別討論

(A) 火災源起及成長子系統

(1) 沒有灑水頭之建築物

假設火災源起於自助餐廳，則建議在餐廳和中庭間有防火隔間牆，且之間的門可以自行關緊，因為沒有灑水頭系統，所以火源只得由裡面人以消防設備自行撲滅，或者等到燃料燒完而火自行熄滅。因為中庭很高，所以不會發生閃燃，但火勢會水平延燒。由於中庭不會提供向下輻射能量，因此該水平延燒速度不會較發生在一個房間者為快。

為了進行計算，我們必須輸入火勢強度，假設在餐廳所使用之桌椅材料為 PE，根據 NFPA 92B，若在半數的傢俱在 9 分鐘內以 t^2 曲線快速的燒光，而當時的熱釋放率為 12MW，並且維持該熱釋放率 10 分鐘，接著再以 t^2 曲線衰減，因此所有傢俱預期在 28 分鐘全部燃燒殆盡。

至於在辦公室發生的火災，我們假設係以中等成長 t^2 曲線發展，直到空間中之空氣供應量受到限制為止，底層辦公室係以玻璃帷幕和中庭隔開，因此火勢若要成長，則門必須打開以提供足夠的空氣。若門寬 1m 高 2.2m，根據 NFPA 92B 的關係式，則釋出能量達 4.1MW，中等發展曲線須時 10 分鐘才能到達該值。

(2) 有灑水頭之建築物

假設灑水頭作用型式係快速反應式，此處使用 DETACT 程式來模擬，該程式係 HAZARD I 之子程式，可單獨使用。

(B) 煙成長及控制子系統

(1) 沒有灑水頭建築物

因為在中庭的方位比(A/H^2 ，A 為地表面積，H 為高度)為 3.16，因此可用 Milke 的關係式來作模擬。假設外界平均溫度為 38，中庭頂層空氣溫度為 25，則煙在火勢為 100kW 強度下，一分鐘內

到達中庭頂層。

(2) 有灑水頭建築物

假設所有門都關住，而且居民離開火災現場門仍保持緊閉狀態，則火災很有機會會被灑水頭熄滅。若通往外界的門打開，則煙和熱氣會經這些打開的門排到外面，而不致威脅到建築物裡面的人。但若火災發生在接近自助餐廳和中庭之間的玻璃帷幕，若火焰碰到玻璃然後灑水頭又隨後作動冷卻，這會使玻璃破裂，而使煙向中庭流動，假設破裂面積為 $2\text{m} \times 3.5\text{m}$ ，在這種情形之下，NFPA 92B 計算出向上煙流量為 $85\text{m}^3/\text{s}$ ，且溫度較外界高 14°C ，則煙不可能往外界擴散而會向下沈積，煙層底層會達底層以上 7.5m 處，煙層平均溫度 41°C ，CO 含量 9ppm ，煙濃度大約為 $0.087/\text{m}$ （相當於 80m 之可見度），較規格性法規要求者還好。以上的計算係根據火災釋放率 1.2MW 強度來計算，但實際上有灑水頭之作用，熱釋放率應較估算者低很多。

(C) 火災延燒及控制子系統（對無和有灑水頭兩種設計）

由上述計算，煙層溫度為 41°C ，因此不會使帷幕玻璃破裂（須 240°C ），由於底層會破，若辦公室門打開，煙會流入，但高溫氣體不會，因為火焰高度只有 0.5m 。

在辦公室中完全發展的火勢(fully-developed fire)可能會使火焰由窗口延燒至外界或者至中庭。但 2m 寬的陽台不致使火焰延燒至中庭，由於規格性建築法規准建築物使用玻璃帷幕，因此在性能法規設計中沒有道理不准使用。

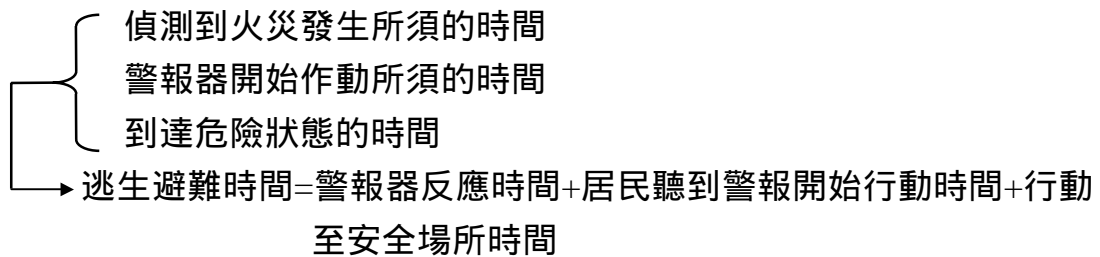
(D) 火災偵測及撲滅子系統

若在中庭頂層 1 米以下處裝有偵煙器，假設其作動之煙濃為 $0.27/\text{m}$ ，則根據 Heskestad's 計算公式在最壞情況下（火災發生於離偵測器最遠處），從火災開始 4 分鐘它就會偵測到。若火災發生於中庭，則它更快偵測到。若是有灑水頭系統，通常係將其設定在熱釋放率達 1MW 才開始作動，對一個快速火災，對一個快速火災，

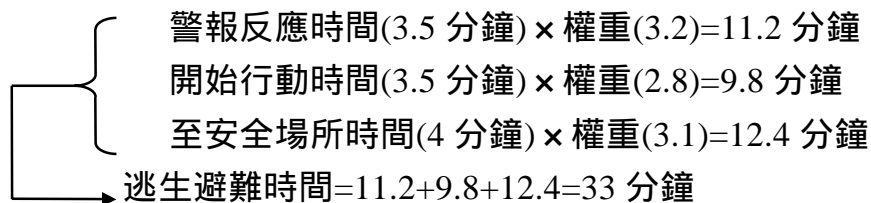
時間約為 150 秒。

(E) 居民逃生避難子系統

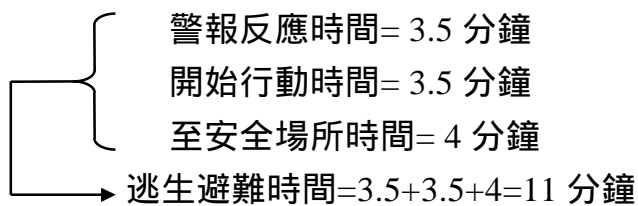
從其它子系統的計算，我們須要下列數值當作逃生避難時間計算的輸入值。



規格法規計算者（非常保守）



性能法規計算者（不計算權重）



(F) 消防隊接獲通知及反應時間

決定於概率分析，不在此討論

(四) 美國 (性能設計之評估)

美國這個設計係由 Worcester Polytechnic Institute 的防火工程系來作。基本上本篇論文只是介紹該系所研發出的方法來評估各種規格法規及性能法規設計的優劣，而本身並非一種設計方法。

建築物基地面積 100m × 30m，共有五層，其中一層係地下室。

目的：完整的風險評估將包括下列項目

- (1) 因火災高溫所造成損失的可接受程度
- (2) 所能接受因災後停止使用的期限
- (3) 在火場中，人所能擁有最少的逃生時間
- (4) 若必要時，火勢延燒造成鄰近區域損失可接受程度
- (5) 環境中可容忍之污染程度

完整建築物防火性能評估包括有

- (1) 火災本身
- (2) 火勢和自動消防系統的互動
- (3) 火勢和消防隊滅火的互動
- (4) 火勢和防火區劃的關係
- (5) 火及煙
- (6) 火勢和構造的互動
- (7) 防火

架構包含項目

- (1) 火災高溫所造成傷害的延伸
- (2) 在煙造成傷害之前的逃生時間
- (3) 建築物倒塌的可能性
- (4) 防火

在性能法規設計中，使用工程計算方法須事先描述起火點 (房間) 及該火勢成長歷程，當然在火災模式中，他們可以當作參數任意更換，但應選擇最具代表性者。另外經火災模式計算後，則是否相信 (或接受) 該答案，則變成機率問題 (可信度)。

在本文中，選擇三樓的二個房間（以 A，B 分別表之），房間 A 是公眾使用空間而房間 B 則屬私人辦公室，如圖二十八所示。

案例 1. 煙流動分析，其過程如下：

- (1) 選擇起火源所在之房間
- (2) 選擇目標房間（即是分析該房間受煙侵襲程度之分析）
- (3) 決定可接受煙侵襲之範圍（足以使人保持清醒及可視程度）
- (4) 選擇設定火源所產生煙之特性
- (5) 分析由起火房間至目標房間之煙流動特性
- (6) 針對目標房間發展出可接受煙侵襲之曲線

採用之火災模式（包含煙流動）為 CFAST，圖二十九(a)為目標房間中受煙侵襲所能接受之曲線（目前只考慮目視能力）。由 a 至 b 表示該房間確定仍很安全，由 c 至 d 則該房間確定不安全，所以由 bc 之間則表示不確定度，藉由圖二十九(a)之結果，專家可以推導出圖二十九(b) 安全之機率圖。

案例 2. 消防隊滅火

- (1) 選擇起火源所在之房間
- (2) 建立火勢延燒之歷程（這包括起火房間及連續延燒房間）
- (3) 建立下列行動之作動時間
 - a. 火災偵測（圖三十(b)中之 d）
 - b. 消防隊接到通知（圖三十(b)中之 n）
 - c. 消防隊抵達現場（圖三十(b)中之 a）
 - d. 開始實施噴灑消化劑（圖三十(b)中之 a^2 ）
- (4) 建立評估所須之火勢強度
- (5) 了解分析中未考慮的因素，並建立可信度
- (6) 分析各種案例，例如因消防人員到達時間，延燒房間的數目可為 $1, 2, \dots, n$ 。

圖三十(a)係表示時間歷程表，其火勢係依 t^2 曲線成長。

R_1, R_2, R_3, R_n 分別代表第一個、第二個、第三個及第 n 個延燒房間，

圖三十(b)則係上述各種行動之作動時間表。

現以圖三十(a) 和圖三十(b)來說明評估設計的方法。首先應了解一旦有火災，建築物內的人最容易疏散的時間在 n 和 a 之間。至於在 a 和 a^2 之時間長短決定於下列因素：人員和裝備到達現場後，可以開始展開滅火的能力，滅火劑的量及持續供應能力，發現火源的能力以及建築物本身設計構造等。另外這個時間（即是 a 和 a^2 之間）可以以等效距離估算。再介紹“建築物阻力因素”對滅火行動的阻礙，他包括有建築物障礙（樓梯、轉角、走廊、大房間、門、鎖等）環境狀況（包括有可見度、熱及疲勞）還有前述消防隊的資源。

從建築設計觀點可以利用上述因素決定出真正展開滅火行動的時間，可以下列公式表之。

$$De = (AT+H)RS$$

De：等效距離

A：實際距離

T：環境可接受之因素

H：水管因素

R：資源因素

S：滅火技術因素

其結果可見圖三十一。圖三十一(a)代表同一路徑，影響因素不同所造成的影響，圖三十一(b)則表示滅火人員因路徑不同所造成的影響。

結論：基本上，本論文係一尚未完整的性能法規設計工作，其重點在於介紹完成各種防火設計，利用其提出的“評估”概念（或者說信心程度）來選擇最佳者。主要該校已擁有各種火災模式，而且以研究案方式已進行多年的設計應用，所以經驗豐富，因此如何選擇最佳設計，現為他們研究重點。

(五) 紐西蘭

紐西蘭是全世界第一個全面採用性能法規的國家，但它還是保有以前規格性法規，當作一種可能的選擇。所以三個設計方案中第一個係採用規格性法規，第二個則是採用含有煙偵測器之性能設計，第三個則是有灑水頭的性能設計。

建築物的敘述：

該建築物地面上有四層，地下一層（停車場）。地面上第一層有接待處，自助餐廳及辦公室，第二、三及四層為辦公室。基地係長方形面積為 75m × 40m。建築物本身是 RC 結構，內部裝修牆係 gypsum 板，每層樓高為 3m，其布置圖可見圖三十二（該圖已符合規格法規）。每層樓必須為防火區劃（60 分鐘防火時效）。

(I) 規格法規設計

在規格法規(Building Industry Authority; BIA) 中規格須考慮下列事項：(A)逃生方法；(B)火災延燒；(C)火災中結構的穩定性。

(A) 逃生方法

- (1) 在每層樓至少要有兩個逃生用樓梯，但是在自助餐廳因過 500 人使用，所以必須要有三個以上逃生樓梯。
- (2) 每層樓逃生樓梯必須是“安全路徑”，而其門必須能防及遮煙。
- (3) 在水平逃生路徑，其尺寸方面要至少 2.1m 高，0.85m 寬。
- (4) 每層樓之逃生路徑至逃生樓梯不得多於 48m，而在第一層樓的自助餐廳，則不可多於 36m。但若有多個出口，該距離為 120m（自助餐廳為 90m）。
- (5) 必須要有逃生路徑指標，且在逃生門（防火門）處必須標明其為逃生樓梯。
- (6) 所有的門必須不用鑰匙即可從裡面開啟。
- (7) 所有的逃生門通往路徑都必須有視覺面板
- (8) 電梯門必須為防火門，若在電梯處有防煙區劃，則其門可以

不用有遮煙作用，以上限制，在裝有自動灑水頭和偵煙裝置的情形下可取消。

(9) 在大廳處的滑動門在沒有電力時（因火災停電），可以手動來打開或關閉。

(10) 逃生門必須有 60 分鐘防火時效，且可向逃生方向開啟。

(B) 火災延燒

(1) 對建築物的穩定性、整體性及隔絕性之防火時效均為 60 分鐘。

(2) 因為本建築物基地至鄰棟或街道的距離均在 10m 以上，所以所有開口處均可不用特別限制。

(3) 表面之火焰延燒

樓梯和大廳接待處之火焰延燒指數(SFI)=0，煙發展指數(SDI)不得超過 3。所有建築物的門 SFI 不得超過 9。對自助餐廳有表面裝修的牆和天花板，SFI 不得大於 2，SDI 不得大於 5。逃生路徑的地坪必須是不可燃。對外牆裝修而言，離鄰棟建築物少於 1m 者，其引燃指數須為 0，若 6m 以上則無限制。

(4) 所有穿牆處之阻材料必須有和該處防火牆或樓板有相同的防火時效。

(5) 防火區劃面積必須小於 2500m²。

(6) 使用石化燃料之暖氣或熱水供應場必須符合相關的法令限制。

(C) 火災中結構的穩定性。

該報告不包含此部份之結構設計

所有性能法規設計必須符合下列基本要求

保障居民之人身安全

保障鄰棟建築物的財產

提供消防人員足夠時間來展開搜救行動

環境保護

雖然性能法規有相當大的彈性設計空間，但下列規格法規仍必須保有：

逃生路徑必須有緊急照明裝置
必須有指標指示逃生出口
火災警報器

另外也要求建築物居民逃生時間(AET)必須超過建築物處於危險狀態所須時間(RTT)和安全係數(SF)的乘積，換句話說

$$(AET) > (RTT) \times SF$$

(II) 性能法規設計（無灑水頭，但有偵煙器）

(1) 使用之火災模式

CFAST 和 FPETOOL（目前兩者均已融合在 HAZARD 1 中）

(2) 兩個評估重點：

在火災中走廊中之情勢

若在火災中，走廊有多久時間仍處在安全狀態以及居民有多少逃生時間

(3) 火勢的設計

使用快速之 t^2 火災成長曲線，主要係根據 NFPA 72E 中傢俱燃燒現象之模擬。當作模式之輸入值。

(4) 火災模擬

假設火源起始於大辦公室處，小辦公室及自助餐廳，注意各房間均有偵煙器，因此只須單獨計算火源房間的火勢成長及其偵煙器互助情形，火災計算時間為十分鐘。

(5) 結果：

火災源起房間計算結果和整體計算結果如表九所示

由這結果可知，在走廊逃生所須的時間，均較其達到危險狀態時間為短，表示逃生路徑十分安全，另外若考慮整棟大樓疏散 1114 人所須時間，並乘上安全係數 1.5，則整個時間須 33 分鐘，因此防火時效可以降低至 30 分鐘。這符合規格法規所作的規定。

(III) 性能法規設計 (有灑水頭)

本案設計討論方前者(II)完全相同，只是加入灑水頭，而灑水頭的規格係採快速作動式(quick response sprinklers)。其火災源起房間計算結果和整體計算結果如表十所示。

依照直覺而言，有灑水頭系統者應較前者有警報為優，但根據計算卻發現只有在地下停車場疏散時間有數秒之差，其它幾乎雷同，甚至連疏散整棟大樓人員(1114 人)時間也是 33 分鐘，當然防火時效也可降低至 30 分鐘。雖然兩個性能法規設計相同，顯然前者建築及維修花費較便宜，但後者在災害損失一定較前者低很多，但他們沒有時間在篇論文中討論。

(六) 加拿大：以 FiRECAM（火災危險評估和經濟效益分析模式）來進行大型四層辦公大樓之防火設計。

建築物構造說明：

本案的建築物在地表面上有四層，地下一層，係鋼構造建築物，其平面圖可見圖三十三。基地面積為 75m × 40m。中央有四個電梯，兩邊各有一個樓梯。第一層有一個自助餐廳及一個大廳（進口處），其它分為五個辦公室，其它樓層的使用可參考圖三十三。

加拿大建築法規（規格性法規）之規定

- (1) 本建築物必須為不燃建築物，防火時效至少一小時。但若有灑水頭裝置，則可為可燃建築物，可是防火時效仍須至少一小時，所有在防火區劃的門必須有自動關上之機構。
- (2) 至少有兩個出口，而且逃生避難路徑不得超過 40m
- (3) 建築物內每人所占的面積至少 9.3m²
- (4) 本建築物必須有火警警報器，在樓梯必須有偵煙測器，在儲藏區域和電梯處必須有火災偵測器。
- (5) 避免火災延燒至鄰棟建築物，其窗口大小必須符合相關規定。

在圖三十三之配置圖，係已符合上述規格性法規的規定。

接下來用 FiRECAM 來作模擬，共有六個方案，其中第一個方案是完全符合加拿大目前的建築法規當作基礎案例，所有方案皆以和它比較。該六案表列如下。

設計案	灑水頭	警報器	防火時效(分)
1(基礎案例)	無	中央系統	60
2	無	加入語音	60
3	無	加入語音	30
4	無	中央系統	120
5	無	中央系統	30
6	無	無	30

這六個方案的結果可分別見於圖三十四及圖三十五。

從圖三十四中我們可以看出方案 2 至方案 5 都較方案 1 安全，只有方案 6 是較方案 1 不安全，但須注意方案 6 本身並不符合建築法規的須求。

若考慮防火設計所須的總經費（包括被動、主動設備費、維修費及災害損失），我們可以看到只有方案 3,5 和 6 較方案 1 的總經費少，但方案 6 係不安全因此不考慮。因此在安全考量範圍內只有方案 3,5 可列入考慮。若併入上圖因素考慮，我們可以看出方案 5 係最佳設計，但須切記有些經費的估計是比較保守，換句話說方案 3 並不見得不好，因為該方案其它經費是很少，只是一旦發生火災，其損失因較方案 5 大很多，所以這應由業主自行決定何者對他最有利。

(七) 瑞典

瑞典從 1985 年在國會中已通過法案要求於規格法規之外應利用科技及工程方法來增加建築法規的彈性，而在 1994 年開始有性能法規的實施。

本案之建築物是四層瑞典典型之建築物，另外地下有一層。在第一層有一可容納 400 人之國際會議廳（兩層），以及中央有一玻璃圍成之中庭（見圖三十六），在地下層包括有國際會議廳的底部，商店、銀行保險庫及建築物服務的房間。通風系統在天花板上層處。一樓有銀行服務處，國際會議廳及其貴賓室、自助餐廳（連接中庭）、保險公司、辦公室管理處等。二至四樓為辦公室，每層樓有兩個共用的會議室。每個辦公場所依法規可有陽光以及間接陽光照射，在每層樓都有樓梯可通至第一層外界，樓梯的數目則依法規規定或防火工程計算所得。

另外，一旦有火警，消防隊可在警報響起後十分鐘開始實施滅火行動。由於該建築物離鄰棟建築物至少 8m 上，所以無須考慮火災延燒因素。

(I) 規格法規設計

(1) 建築物的第三和第四層必須是 Br 1 等級(瑞典最嚴格之要求等級)，每個建築物其內的火災量不得超過 $200\text{MJ}/\text{m}^2$ ，結構和隔間牆材料必須要有 60 分鐘防火時效，但允許有可燃構件，諸如木料。

防火區劃之分間牆兩邊為 $2 \times 13\text{mm}$ gypsum 板及鋼間柱所構成(防火時效 60 分鐘)。防火區劃牆之室內窗及門應有 60 分鐘防火時效，但至樓梯的門可以只須 30 分鐘防火時效。牆面表層必須為最高等級，在本案中至少為 9mm 厚 gypsum plaster sheets。同樣的要求亦使用在樓梯和會議廳之牆，其它地方的牆面可以用第二等級材料，因此薄的壁紙可以使用，但木料類表面裝修不准使用，大部份的塑膠木材及紡織類的地坪材料可以准許使用。外牆和屋頂必須為不燃材料所構成，但遠離屋頂表面的地坪和屋頂表面材料可用可燃物但須不易引燃。基本上，冷暖氣空調通風系統構件必須為不燃材料。樓梯間不准有裝修

材料，會議廳的傢俱應標明其燃燒性等級。

(2) 逃生路徑

- (a) 根據法規，在第 2 至 4 層處必須有四個樓梯
- (b) 逃生出口的門必須容易向逃生方向開啟，通常寬為 0.8m
- (c) 每個辦公室的逃生路徑最長不超過 45m，但若同時有其它出口存在則路徑可加長為 1.5 倍。在會議廳、自助餐廳及公共使用空間逃生距離為 30m，若有兩個出口則為 60m。
- (d) 逃生路徑必須有指標，在會議室、地下室走廊及樓梯間必須有緊急照明燈，另外在國際會議廳及會議室要有緊急疏散警報器。

(3) 防火區域

基本上，樓梯間必須為個別的防火區劃。每個辦公室分為兩個防火區劃，這並非法令要求，而是為減少損失而設計，超過 150 人之會議廳、自助餐廳、垃圾間和大樓服務區必須為個別之防火區劃。

(4) 消防設備

四層樓皆有排煙和排熱之通風系統，直接通往防火區域之電梯在頂層必須有偵煙器自動控制之風扇，在地下層的防火區劃的排煙和排熱通風系統係手動控制。

所有地方均應有消防設備，可由建築物內部居使用作初期之滅火行動，並未有直接通往消防單位之警報器，在會議室中有手按之警報器，在逃生路徑上必須有緊急出口指標及緊急照明設備，其設置係依歐體規定。

(5) 冷暖氣空調通風系統

管道間及裝有風扇之房間必須有 60 分鐘防火時效，在通過防火區劃邊界之管道必須要有防火風門。自助餐廳的排氣通風系統必須和其它通風系統隔離。各個防火區劃若有各自之排煙系統是最有效但也是最昂貴者。因此在共同管道中可考慮使用排煙風門。一般採用方式是利用偵煙器作動時自動關閉風扇並同時打開排煙管道排煙。只要在安全範圍下，少量的煙准許在各防火區劃中擴散。

- (6) 若中庭由玻璃包圍，則須考慮數個防火保護裝置，中庭處的自動餐必須為個別之防火區劃。第一至第四層和中庭連接之辦公室必須有 60 分鐘防火時效之牆或玻璃區隔。在玻璃之頂（60 分鐘防火時效）不能有排煙及排火裝置。在中庭餐廳及會議廳必須有緊急照明裝置、1.2m 寬之逃生門和疏散警報器。

(II) 性能法規設計（沒有灑水頭）

經計算可得下列結論：

- (1) 經由輻射通量計算，防火區劃之分間牆可用較便宜之玻璃取代（即是容許輻射熱通過，但仍維持 60 分鐘防火時效），因此在樓梯間、貴賓廳和展示廳之間用玻璃隔間牆。
- (2)
- (a) 在國際會議廳，最多人數依規定只能有 360 人，但若在會議廳頂層加裝自然或機械排煙排熱裝置，即可增加逃生時間，因此可增加人數至 490 人，但最省錢的方式係增加逃生門的門寬，亦可達到同樣目的。
- (b) 另外若在辦公室加裝自動疏散警報器，則可減少逃生所須時間，因此可以增加逃生路徑長度（原本要求不得超 45m）所以減少逃生樓梯所須數目，經計算後，只須兩個而非法規要求的四個
- (3) 在中庭頂層加裝由偵煙器作動時能自動啟動之排煙裝置，經計算後，煙層溫度會下降，因此不可能有閃燃發生，所以面向中庭的窗戶可以有較 60 分鐘低之防火時效，另外煙層逸出時，消防隊可以發現有火災發生。在煙層下之窗戶不須有防火時效（原本要求 30 分鐘），因為火災最可能發生在餐廳，所以在底層通往二樓中庭處的玻璃仍應維持 60 分鐘防火時效。

(III) 性能法規設計(有灑水頭)

灑水頭係快速反應式，經計算結果，可得下列結論

1. 防火區劃之樓地板、隔間牆及門之防火時效可由 EI60（即是整體和內部之隔熱材均須有 60 分鐘防火時效）降至 E60（只須整體有 60 分鐘

防火時效而不須考內部隔熱材之防火時效)。若該建築被認定“輕微災害”等級，則防火時效 E60 可再降至 E30 (非防火區劃而是防煙區劃)。另外牆面表層裝修材料的限制可以取消。

2. 因為有灑水頭裝置，防火區劃中之溫度不會超過 200 ，因此附近通風管道的隔熱裝置可以取消。在火災中必須仍能作用的風扇、隔絕器和電纜線也因有灑水頭的降溫，可使要求規格由 800 降至 300 。
3. 因為火焰加熱及灑水頭的降溫，所以中庭在煙層區域的玻璃必須能耐溫 300 達半小時以上，這點是安全要求加高。所須的排煙裝置，在樓板以上四米處須有 5m² 排煙面積，七米處須有 10m²，十米處須有 25m²。經過成本分析，採取七米處有 5m² 排煙面積最經濟。

第四章、結論與建議

本研究報告已針對目前世界最常用之火災模式作了一個詳細整理分析，同時也作了幾個案例計算來說明其應用性。另外也針對幾個著名的案例研究作詳細的描述，以期使大眾了解其實用性。而在案例計算當中，限於時限我們並未針對煙流動和逃生避難的過程有所著墨，此點我們深信有能力作到，所以現正進行相關的研究，以期在不久的未來可以作一個完整的計算流程，使火災模式的應用性更趨於完整。

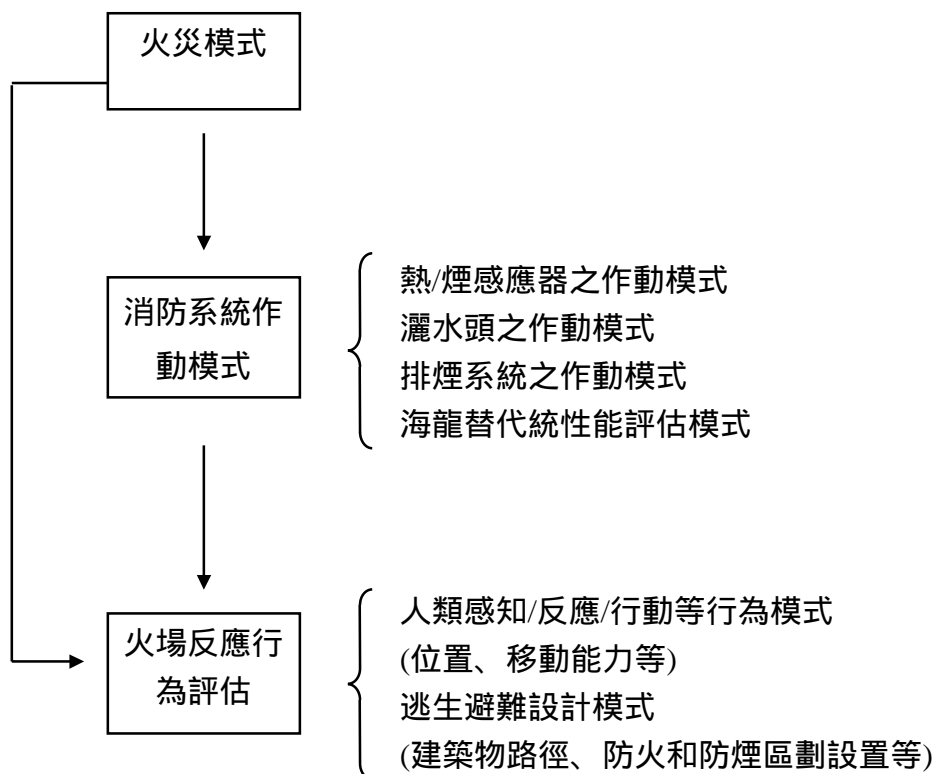
綜合前面的分析，我們了解若要採用性能法規，先決條件是必須有相關的工程計算及設計方法和評估工具來配合，我們可以以一簡單的通稱來表之，即是“防火安全設計”(Fire Safety Engineering Design)，它一般主要的架構(Engineering Modules)有：

- (1) 在火災源起空間中之火災歷程
- (2) 房間至房間的火災延燒過程
- (3) 火災延燒至鄰棟建築物的過程
- (4) 逃生避難方法的設計
- (5) 火災偵知預警、消防手段及撲滅行動
- (6) 防火設計風險因素及經濟效益整體綜合評估
- (7) 防火安全管理制度（包括人員訓練及消防設備維護等）

其中(1)至(3)項，可綜合稱為火災行為，若用數學模式表之則稱為火災模式(Fire Model)。在作建築物整體防火設計安全性評估時，必須針對該建築物中在最可能火災發生(Risk)或最危險火災發生(Hazard)的情形下，可以火災模式來預測火災動態，再根據模擬結果來作第(4)和(5)兩項工作的設計對策（通常應有好幾種不同設計方案）。當然也可藉由實驗及經驗來達成上述目的，但可能受限實際狀況、經費及新觀念而無使執行。再來可由前述幾種完全符合法規要求的方案作第(6)項之評估工作，再配合第(7)項之管理制度，篩選出業主和建管及消防主管機關雙方皆可

接受的方案。在這個過程中，除了第(7)項法有明文的規定外，其餘(1)至(6)項目前皆可由數學模式量化，並可將各種有關參數輸入電腦，再藉由運算獲得相關的數據，作為整體防火安全設計評估的根據，這整套的數學模式稱之為火災災害模式之專家系統。

該套專家系統的架構如下：



上述之專家系統之研發建議採用團隊分工合作的型式，設總計畫主持人，總責該系統之研發。研發方式可分參種，第一為自行研發，優點為能充份掌握本土化的特性，例如建築風格、民情及材料，但可能較耗費時日，短期內較難看出成效，且須冒成敗的風險。第二為直接採用國外已發展完備之專家系統，諸如美國 NIST/BFRL 所研發之 HAZARD I 和加拿大國科會國家防火實驗室之 FIRECAM，但可能因國情背景不同，其所設計之模擬尤其在材料的材質及規格，很有可能會造成偏差的預測結果。第三則擷取兩者之長，即是和國外著名的研究單位合作，例如前

述之美國 NIST/BFRL 和加拿大國科會國家防火實驗室，利用他們已有的專家系統作基礎共同合作開發符合我國國情的火災災害模式專家系統，這種國際合作模式已有先例（加拿大與澳洲曾共同合作開發 FiRECAM 以及日本建研所使用瑞典 Karlsson Model），不妨可和有興趣合作的國家洽談。

研發團隊中，火災模式應由具有燃燒計算流體力學的專家發展；消防系統作動模式可由前述專家和警察大學消防系共同合組一研發小組；火場反應行為評估模式須具有建築、建管及心理專長之專家執行；有關風險評估模式可交由保險公會及心理有關專家共同研究。最後若完成模式組合形成一完整專家系統時，則須有善長個人電腦軟、硬體之專家來協助整合系統，使其能在個人電腦中運算（可能採用 C++ 語言）、劃圖及輸出，以利未來能很容易轉移給業者、建管和消防人員使用。

四、配合措施

在發展過程中所須之儀器設備應包括有軟、硬體，硬體方面有工作站、586 個人電腦（或更高級）、掃描機、雷射印表機、繪圖機等，在軟體方面，可能須要有關文字處理及繪圖功能等軟體等。此外亦須有關的實驗來配合以及驗證火災模式預測的準確性，或者一些有關火災現象的模擬參考。

五、全程計劃分年度究項目規劃

第一年度(民國 87.7.1-88.6.30)

其它國家使用火災模式之現況分析

單一房間火災模式

熱/煙感應器之作動模式

小尺寸試驗材料防火性能數據

大/全尺寸單一火災房間試驗

消防系統設備成本模式

防火系統設備成本模式

重建國內火災現場、評估及分析

第二年度(民國 88.7.1-89.6.30)

多重房間火災延燒模式

樓層間火災延燒模式

灑水頭之作動模式

人類對火災感知/反應/行動等行為模式

直接火災損失評估模式

小尺寸試驗材料防火性能數據

大/全尺寸單一火災房間試驗

重建國內火災現場、評估及分析

與使用本國規格法規案例之比較分析

第三年度(民國 89.7.1-90.6.30)

多重房間火災延燒模式

樓層間火災延燒模式

開口排煙系統作動模式

火/煙/氣與人類行為互動模式

附加價值損失評估模式

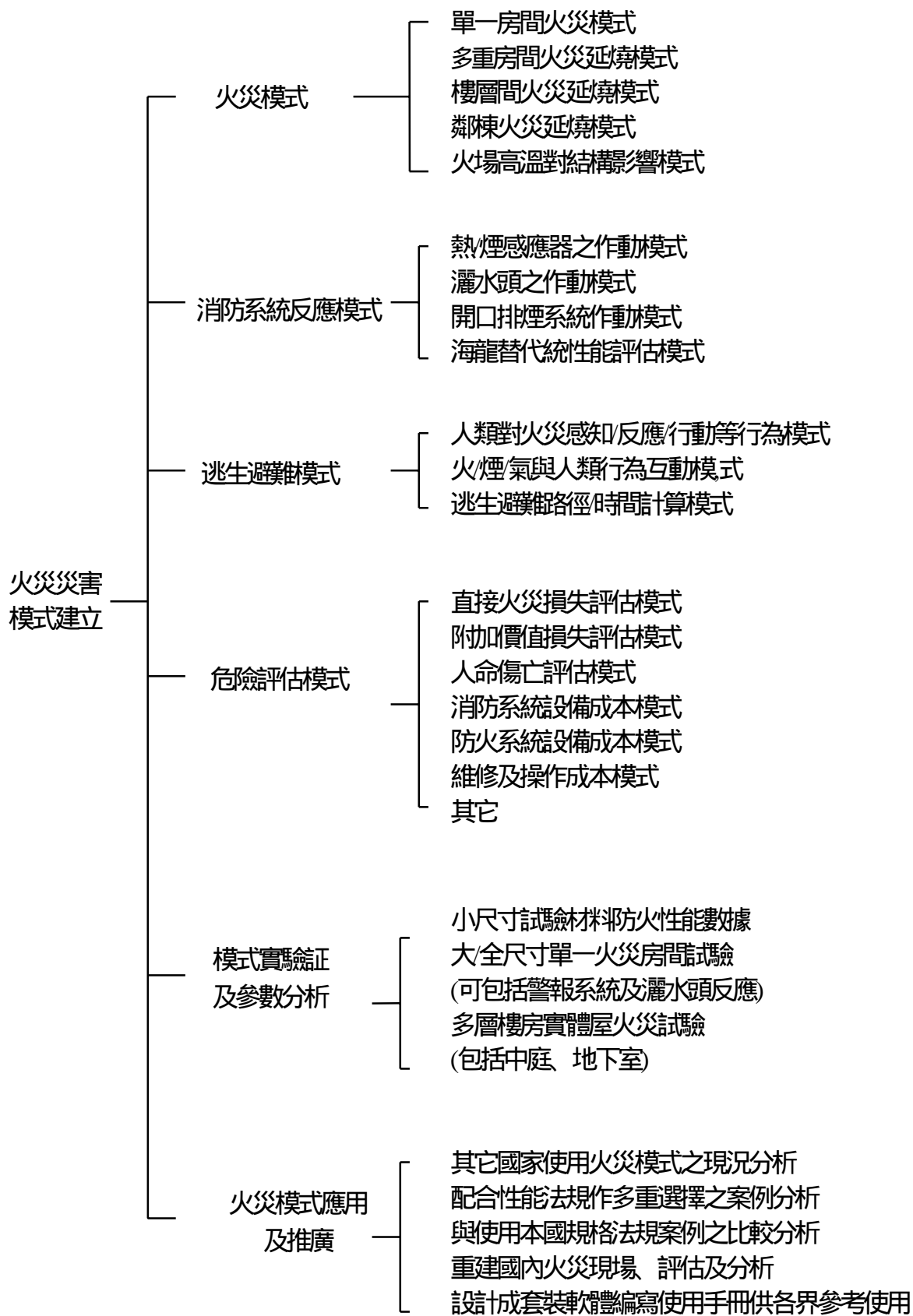
小尺寸試驗材料防火性能數據
大/全尺寸單一火災房間試驗
重建國內火災現場、評估及分析
與使用本國規格法規案例之比較分析
配合性能法規作多重選擇之案例分析

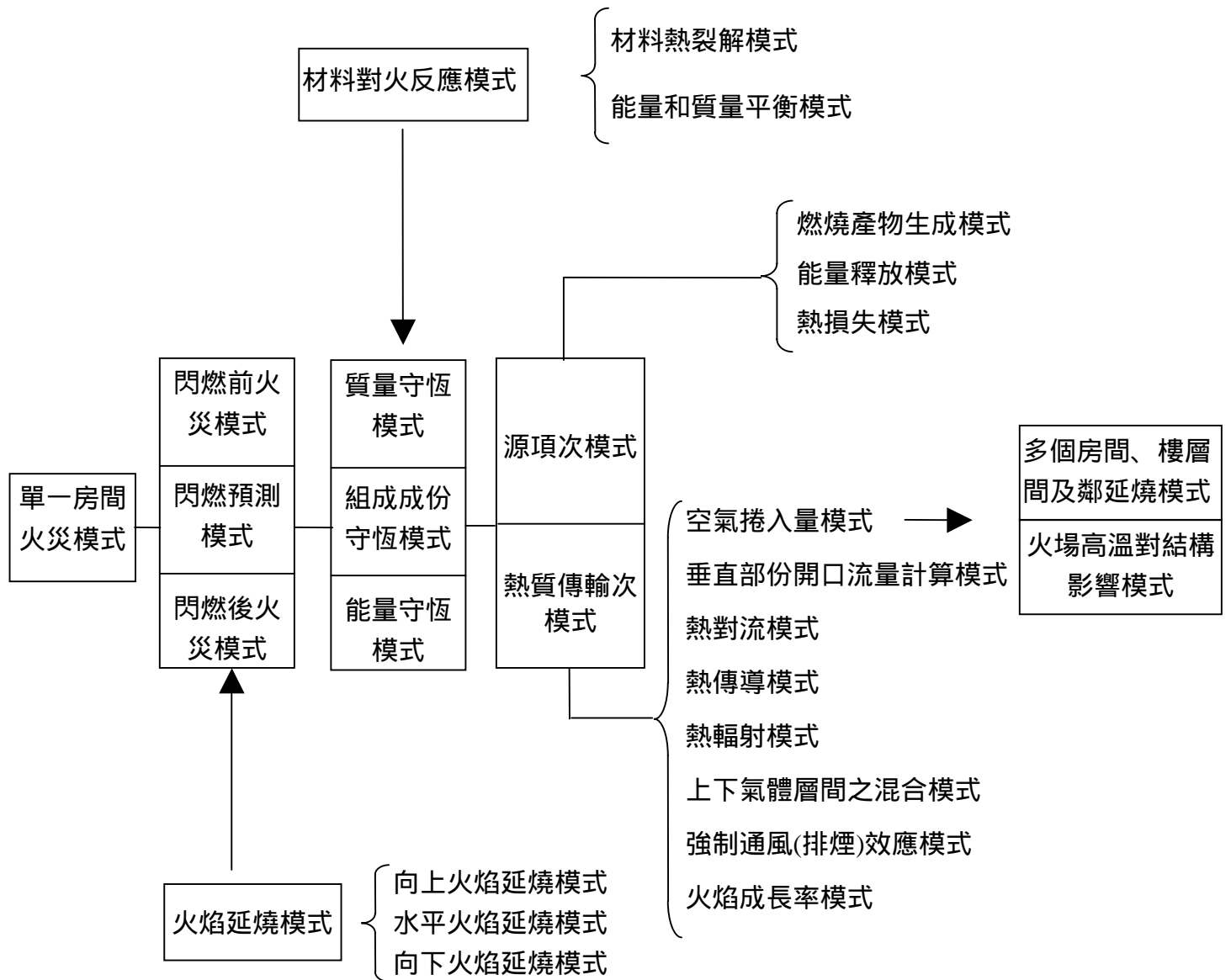
第四年度(民國 90.7.1-91.6.30)

鄰棟火災延燒模式
火場高溫對結構影響模式
開口排煙系統作動模式
逃生避難路徑/時間計算模式
人命傷亡評估模式
維修及操作成本模式
小尺寸試驗材料防火性能數據
大/全尺寸單一火災房間試驗
重建國內火災現場、評估及分析
與使用本國規格法規案例之比較分析
配合性能法規作多重選擇之案例分析

第五年度(民國 91.7.1-92.6.30)

設計成套裝軟體及試車使用
編寫使用手冊
供各界參考使用後根據反應修正套裝軟體
配合性能法規作多重選擇之案例分析
多層樓房實體屋火災試驗
海龍替代統性能評估模式





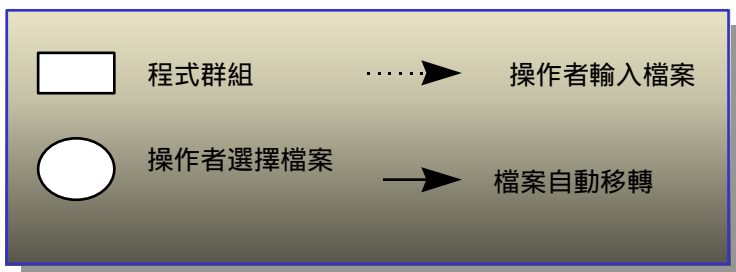
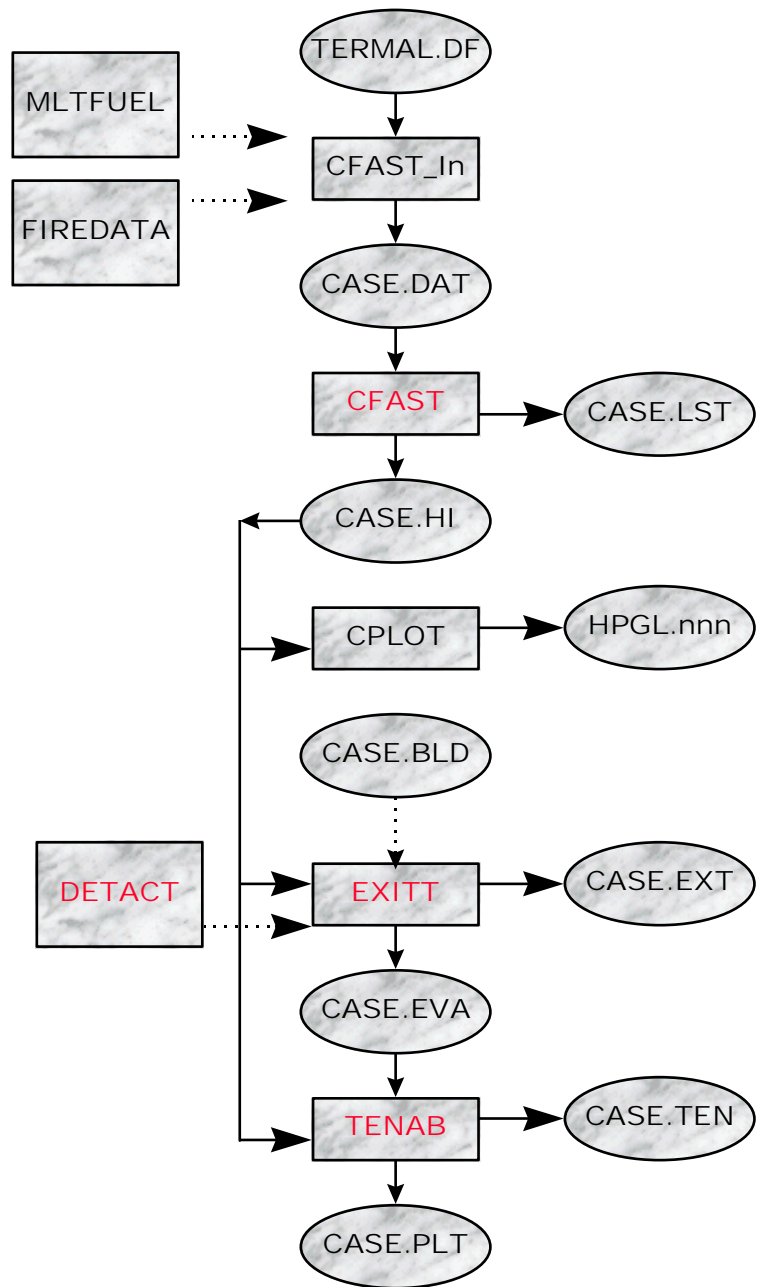
雖然本研究已在前面作了初步的規劃，最重要的觀點是我們應該擁有自己的火災模式和專家系統，以作為實施性能法規最重要的工具。另外也希望藉由建研所 KTV 實體屋的火災實驗所獲得的數據作成資料庫，作為將來我們火災模式研發成功後，能夠有實驗數據驗證的重要依據。考量到國內現有的人力、物力客觀條件下，我們建議不妨先採用國外現有的模式，諸如 HAZARD I，以及和國外合作共同開發的模式，諸如警察大學和加拿大國科會防火實驗室共同開發 FIRECAM，兩者並行的方式同時進行。而且在試用研究過程中，能指定國內一棟建築物來進行有關模擬，分別以符合現行法規以及採用替代方案來進行性能設計方法的測試，除了作為實施性能法規有關評估工具的先導性研究之外，亦可將此案例作為推廣教育訓練課程之實際演算案例。

另外尚有一些建議如下所述。基本上，我國相關的建築及消防法規大都源自於日本，因此日本最近有關實施性能法的走向值我們深加注意。雖然目前日本有性能法規的出現，但如何實施未有確切的定論。但日本設省有兩位主管官員，以不記名的方式寫了以日本政府觀點討論此事的書籍（建築基本法大改正），可供建研所參考。另外我們已應用日本建研所所使用之火災軟體，根據軟體須輸入數據，我們建研所在此方面，由於過去全國材料測試計畫以及 KTV 火災房間計畫，累積相當多的實驗數據，但未能整理成統一的格式，以致想取用時，須費相當大的心力去重新整理。因此建議建研所在下年度自行研究計畫中，能夠將過去所有實驗數據作一個標準化格式的整理，這樣對本土化火災模式的應用研究有莫大的助益。最後本人也建議，我們在未來研發性能法規時，不妨參照日本的實施步驟，尤其在與世界相關防火法規或測試必須要有協合（Harmonization）的先導條件，否則對我國加入 WTO 之後，若發生與國際共通法規有格格不入的現象，則會有非常不利的影響。

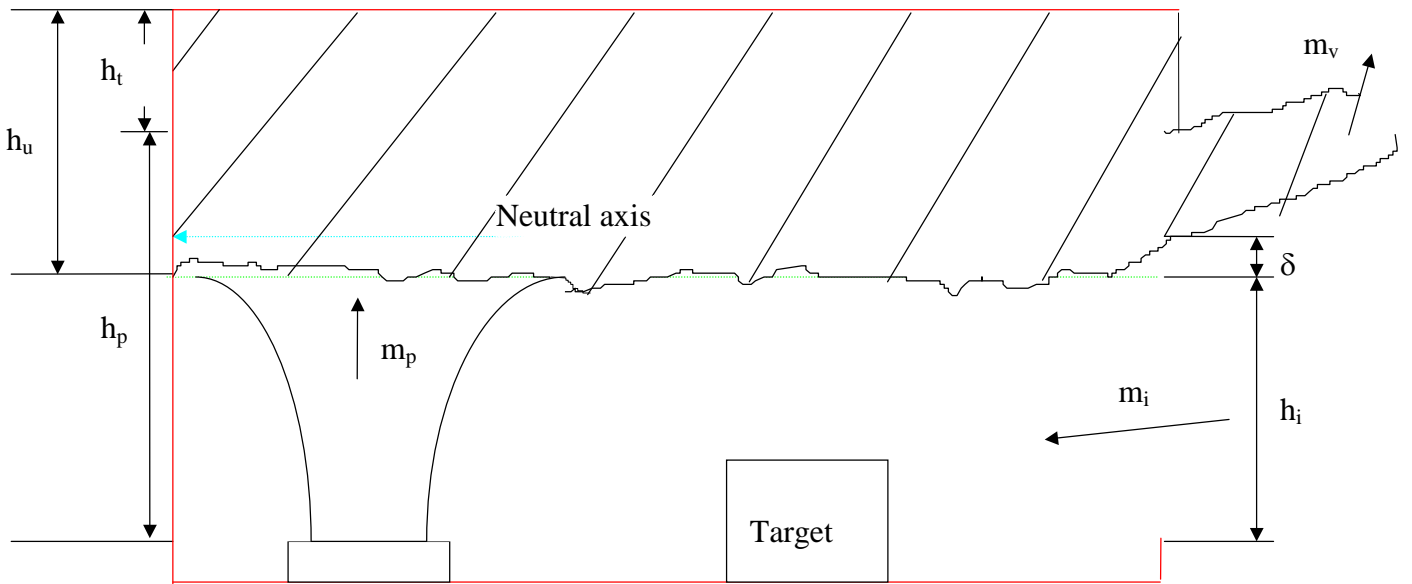
參考文獻

- [1] Markatos N.C. and Cox G., “Hydrodynamics and Heat Transfer in Enclosures Containing a Fire Source in Enclosures Hydrodynamics, 5, No. 1, p.53 1984.
- [2] Becker, B., “ISO/TC92-Subcommittee 4 (SC4) Fire Safety Engineering”, presented in 1996 FORUM meeting, Oslo, Norway, Aug. 19~23, 1996.
- [3] “Draft British Standard Code of Practice for The Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Buildings”, Warrington Fire Research Consultants, 1993. Markatos N.C. and Cox G., “Hydrodynamics and Heat Transfer in Enclosures Containing a Fire Source in Enclosures Hydrodynamics, 5, No. 1, p.53 1984.
- [4] HAZARD I: Fire Hazard Assessment Method, software User’s Guide, Version 1.1, NIST Handbook 146, 1991.
- [5] Takeda, H. and Yung, D., “Simplified Fire Growth Models for Risk-Cost Assessment in Apartment Buildings,” J. of Fire Prot. Engr. 4(2), p.53, 1992.
- [6] Davis, W.D., Forney, G. P. and Klote, J.H., “Field Modeling of Room Fires,” NIST NISTIR 4673, 1991.
- [7] Hadjisophocleous, G. V. and Cacambouras, M, “Computer Modeling of Compartment Fires”, J. of Fire Prot. Engr., 5, 1993, pp. 39-52.
- [8] Steckler K.D., Quintiere J.G., and Rinkinen W.J., “Flow Induced by Fire in a Compartment”, Proceedings of the Nineteenth Symposium (International) on Combustion p.913, 1982.
- [9] Kerrison, L., Mawhinney, E.R., Hoffmann, N. and Patel, M.K., “A Comparison of Two Fire Field Models with Experimental Room Fire Data”, Proceedings of the Fourth International Symposium in Fire Safety Science. Hemisphere Publishing Corp., New York, 1995, pp. 161-172.

- [10] ISO 9705, Room Fire Test in Full Scale for Surface Products.
- [11] W.H. Ho, L.W. Weng and C.H. Chen, 1998, “Ventilation Effects on The Fire Structure in A Compartment,” accepted by *Journal of Fire Protection Engineering* (in revision).
- [12] Bilger, R.W., “Computational Field Models in Fire Research and Engineering”. Fire Safety Science-Proceedings of the Fourth International Symposium, p.95, 1994.
- [13] Keski-Rahhonen, O., “CIB W14 Round Robin for Code Assessment: A Comparison of Fire Simulation Tools”, 1996 FORUM meeting, Oslo, Norway.
- [14] FASTLite: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport, NIST SP 899, 1996.
- [15] AEA Industrial Technology, FLOW3D User Guide, CFD Department, Harwell Laboratory, UK, 1992.
- [16] 陳俊勳, “室內裝修材料大尺寸耐燃性之探討” 內政部建築研究所專題研究計畫成果報告, 計畫編號: MOIS-850002, 1996年。
- [17] SOFIE User Manual, ed. Rubini, P.A., School of Mechanical Engineering, Cranfield University, UK, 1996年。



附錄圖一 HAZARD I 軟體結構與計算流程



圖一 區域模式房間幾何參數及質量流動方向簡圖

附 錄

HAZARD I 操作使用講義