

# 火災模擬燃燒實驗室之規劃與建置研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 火災模擬燃燒實驗室之規劃與建置研究

研究主持人： 王安強

協同主持人： 蔡匡忠

研 究 員： 李其忠、王天志

雷明遠、蘇鴻奇

研究助理： 曾子彥、吳書軒

## 內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與目的 .....	1
第二節 研究方法與步驟 .....	3
第二章 國內外火災科學模擬實驗中心 .....	7
第一節 我國火災科學相關實驗室 .....	7
第二節 日本火災科學相關實驗室 .....	30
第三節 中國火災科學相關實驗室 .....	50
第四節 美國火災科學相關實驗室 .....	63
第五節 火災模擬實驗室基本配置 .....	83
第三章 火災模擬實驗室設計概念 .....	91
第一節 基地基本資料概述 .....	91
第二節 建築配置計畫建議方案 .....	96
第四章 營運模式及人力成本 .....	134
第一節 未來營運模式及項目 .....	134
第二節 營運人力及成本 .....	137
第五章 結論與建議 .....	142
第一節 結論 .....	142
第二節 建議 .....	144
附錄一 期初會議審查回覆 .....	147
附錄二 第一次工作會議記錄 .....	149
附錄三 第二次工作會議記錄 .....	151
附錄四 第一次專家座談會議記錄 .....	153
附錄五 期中會議審查回覆 .....	157

附錄六	第二次專家座談會議記錄 .....	161
附錄七	期末會議審查回覆 .....	165
附錄八	第三次專家座談會議記錄 .....	171
參考書目	.....	174

## 表次

表 2-1 部材實驗場地之研究實驗設備 .....	14
表 2-2 耐火構造實驗場之研究實驗設備 .....	17
表 2-3 消防用撒水頭研究設備 .....	19
表 2-4 建材耐燃測試實驗設備 .....	22
表 2-5 防火安全研究中心實驗設備 .....	27
表 2-6 人口密集度高之都市火災的安全性相關研究 .....	40
表 2-6 預防及撲滅化學性火災與爆炸之相關研究 .....	43
表 2-8 地震災害與設備老化對油槽保護力相關研究 .....	46
表 2-9 大規模自然災害發生時之消防和防災技術相關研究 .....	48
表 2-10 特殊災害安全應變相關研究 .....	49
表 2-11 火災科學國家重點實驗室研究設備 .....	55
表 2-12 各國火災模擬實驗室建置設備比較表 .....	84
表 2-13 內政部消防署現有之火災試驗設備 .....	85
表 2-14 內政部消防署現有儀器汰換及升級所需經費 .....	90
表 3-1 計畫基地土地使用強度表 .....	95
表 3-2 火災模擬燃燒實驗室面積需求預估表 .....	101
表 3-3 基地卵礫石強度參數建議 .....	109
表 3-4 地震基本設計參數 .....	112
表 3-5 火災模擬燃燒實驗室概估經費表 .....	130
表 3-6 整體計畫期程預估表 .....	132
表 4-1 業務費之二級科目與實驗室營運有關項目 .....	138
表 4-2 業務費之二級科目與實驗室營運項目占比 .....	139
表 4-3 營運人力及成本每年預估費用 .....	140



## 圖次

圖 1-1 研究流程與步驟 .....	5
圖 2-1 建築實驗中心配置圖 .....	8
圖 2-2 綜合實驗場 .....	8
圖 2-3 綜合實驗場執行火災實驗 .....	9
圖 2-4 部材實驗場 .....	9
圖 2-5 部材實驗場火災實驗現況 .....	10
圖 2-6 耐火構造實驗場中耐火樓板複合實驗爐 .....	10
圖 2-7 煙控實驗塔 .....	11
圖 2-8 戶外實驗場 .....	12
圖 2-9 地震與火災結合之多重性災害研究 .....	12
圖 2-10 大空間煙控模擬實驗 .....	13
圖 2-11 10MW 大尺度量熱裝置 .....	13
圖 2-12 NRIFD 之建築物分布圖 .....	30
圖 2-13 (a)消防衣檢測設備(b)消防頭盔檢測設備 .....	31
圖 2-14 電線電纜實驗設備 .....	32
圖 2-15 X 射線透過裝置(X-ray fluoroscope) .....	32
圖 2-16 大型消防研究樓 .....	33
圖 2-17 綜合滅火研究樓之主實驗場 .....	33
圖 2-18 排煙處理設備之外觀 .....	34
圖 2-19 火災體驗模擬軟體 .....	35
圖 2-20 日本消防研究所開發之 CFD 模擬軟體介面 .....	36
圖 2-21 實尺寸火災實驗 .....	36
圖 2-22 小尺寸材料燃燒實驗 .....	37
圖 2-23 消防衣於不同暴露時間下之耐火測試度 .....	38
圖 2-24 火旋風火災實驗 .....	39
圖 2-25 形成火旋風之空氣流向 .....	39
圖 2-26 垃圾處理設施發生爆炸再現性實驗 .....	41
圖 2-27 RDF 發熱速度實驗結果 .....	42
圖 2-28 泡沫滅火之有效性實驗 .....	42
圖 2-29 泡沫放水塔之噴撒距離測試 .....	43
圖 2-30 檢測 AE 波之軟體介面 .....	44
圖 2-31 以電腦模擬因地震晃動所造成之油面傾斜 .....	45
圖 2-32 工廠內儲槽遭受強震後的損壞程度預測 .....	45
圖 2-33 緊急應變支援系統 .....	47
圖 2-34 無線通信設備(FiReCOS)裝置 .....	47
圖 2-35 大空間火災實驗場之外觀 .....	53

圖 2-36	機械排煙系統外觀 .....	53
圖 2-37	自然排煙系統之天窗開口 .....	54
圖 2-38	自動撒水噴頭實際噴灑圖 .....	54
圖 2-39	消防水砲實際施放圖 .....	55
圖 2-40	圓錐量熱儀實驗照片 .....	64
圖 2-41	中型尺寸實驗場實驗照片 .....	64
圖 2-42	大型尺寸實驗場之氣體收集罩 .....	65
圖 2-43	國家火災研究實驗室之外觀 .....	66
圖 2-44	1 MW 量熱裝置 .....	67
圖 2-45	3 MW 量熱裝置 .....	67
圖 2-46	10 MW 量熱裝置 .....	68
圖 2-47	20 MW 量熱裝置、反力牆及橋式吊車 .....	68
圖 2-48	軟式泡棉座椅家具阻燃性測試裝置 .....	69
圖 2-49	地坪材料延燒性測試裝置 .....	69
圖 2-50	壁裝材料延燒性測試裝置 .....	70
圖 2-51	NIST 自製消防人員設備耐高溫性測試裝置 .....	70
圖 2-52	圓錐量熱儀 .....	71
圖 2-53	NIST 自製圓錐量熱儀 .....	71
圖 2-54	FM Global 所屬研究園區 .....	72
圖 2-55	濕度控制系統 .....	73
圖 2-56	倉儲火災於高天花板下之實驗 .....	74
圖 2-57	IBC 火災實驗 .....	74
圖 2-58	適合不同火災尺度之抽氣罩 .....	75
圖 2-59	於 20 MW 之抽氣罩下方進行大型倉儲火災實驗 .....	75
圖 2-60	濕式靜電除塵器排放控制系統 .....	76
圖 2-61	閉環式水處理系統 .....	77
圖 2-62	廢棄物乾燥壓實機 .....	77
圖 2-63	濕式液壓實驗測試區 .....	78
圖 2-64	撒水頭噴撒密度測試 .....	79
圖 2-65	屋頂膜進行起風測試 .....	80
圖 2-66	地震模擬振動平台 .....	80
圖 2-67	冰雹槍實際發射圖 .....	81
圖 2-68	金屬物件進行鹽霧測試 .....	82
圖 2-69	氣相層析質譜儀(GC/MS) .....	87
圖 2-70	實體顯微鏡 .....	87
圖 2-71	微波消化裝置 .....	87
圖 2-72	全自動熱卡計 .....	88
圖 2-73	顯微傅式紅外線光譜儀 .....	88

圖 2-74 熱分析儀(TGA/DTA)/MS .....	89
圖 3-1 內政部消防署訓練中心位置圖 .....	92
圖 3-2 火災模擬實驗室位置圖 .....	92
圖 3-3 火災模擬實驗室空拍圖 .....	93
圖 3-4 計畫基地配置構想圖 .....	94
圖 3-5 計畫基地使用地變更編定計畫圖 .....	95
圖 3-6 40 MW 量熱設備設計圖 .....	96
圖 3-7 10 MW 量熱設備設計圖 .....	97
圖 3-8 火災模擬燃燒實驗室基地配置構想圖 .....	99
圖 3-9 火災模擬燃燒實驗室 1F 平面構想圖 .....	102
圖 3-10 火災模擬燃燒實驗室 2F 平面構想圖 .....	102
圖 3-11 火災模擬燃燒實驗室 3F 平面構想圖 .....	103
圖 3-12 火災模擬燃燒實驗室 4-5F 平面構想圖 .....	103
圖 3-13 火災模擬燃燒實驗室屋頂平面構想圖 .....	104
圖 3-14 火災模擬燃燒實驗室剖面構想圖 .....	104
圖 3-15 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(1).....	105
圖 3-16 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(2).....	105
圖 3-17 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(3).....	106
圖 3-18 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-主入口(1) .....	106
圖 3-19 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-東北側 40 MW 實驗室入口(2).....	107
圖 3-20 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-東南側 40 MW 實驗室入口(3).....	107
圖 3-21 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-鳥瞰圖(4) .....	108
圖 3-22 火災模擬燃燒實驗室 1F 結構構想圖 .....	115
圖 3-23 火災模擬燃燒實驗室 2F 結構構想圖 .....	115
圖 3-24 火災模擬燃燒實驗室 3F 結構構想圖 .....	116
圖 3-25 火災模擬燃燒實驗室 4F、5F 結構構想圖 .....	116
圖 3-26 火災模擬燃燒實驗室 RF 結構構想圖 .....	117
圖 3-27 火災模擬燃燒實驗室屋頂結構構想圖 .....	117
圖 3-28 火災模擬燃燒實驗室桁架結構構想圖 .....	118
圖 3-29 廢氣集塵系統構想圖(正立面圖).....	124
圖 3-30 廢氣集塵系統構想圖(側立面圖).....	125
圖 3-31 廢氣集塵系統構想圖(上視圖).....	125
圖 3-30 一般工程的各階段 .....	131



## 摘要

關鍵字：火災模擬實驗室、40 MW 量熱裝置、建築設計、營運模式

### 一、研究緣起

我國消防署將火災定義為「違反人的意思或縱火而有滅火必要的燃燒現象」，然不論是人為縱火或失火之火災皆屬於偶發性。火災亦具有成長性及不定性等特性，只要可燃物持續存在則火災會持續成長，且其受氣象、燃燒物體、建築物構造及地形等因素影響，因此火災現場為一極不安定之場所。而建築物火災往往造成人員傷亡或財產損失，且又因無法事先預測其發生使得火災現象的危險程度加劇，例如2020年5月4日於台北市林森北路發生之錢櫃 KTV 火災事故，此次事故造成6人罹難，48人輕重傷，並疏散200多人<sup>1</sup>；又2021年10月14日於高雄市鹽埕區之城中城大樓火災，此次事故為我國史上死亡人數第二多之建築物火災，罹難人數共46人且有43人受傷<sup>2</sup>；及2022年3月6日下午於台中市中區興中街一處民宅遭人縱火，造成6人罹難、6人受傷，且此次火災意外事故為台中市近24年來最嚴重之一起事故<sup>3</sup>；2022年3月10日上午10點餘分，位於於桃園市蘆竹區之美福倉儲發生火災，該倉儲為地上7層、樓高36公尺的超大型密閉式結構用於冷凍儲存肉類製品，因滅火不易使得整起火災持續三個禮拜才得以撲滅<sup>4</sup>；又與美福倉儲火災相隔不到五天，位於桃園市楊梅區家樂福楊梅物流中心亦發生火災，此次火災造成2.1萬坪的倉庫付之一炬<sup>5</sup>。當火災意外發生時，若無法及時了解火場情況並執行正確之搶救策略，則會對人員生命及財產造成莫大之損失。因此為降低火災危害及蒐集對於建築物種類、內部結構、裝潢情形、火災處所及火災原因等相關資訊，實有建立科學調查資料之必要。而日本、中國及美國皆有建置國家級火災模擬燃燒實驗室進行大型火災科學研究，更加了解實尺寸火災基本特性及進一步降低火災對人員及財產之危害程度，提升公共防火安全。

有鑒於此，我國內政部消防署針對以下目的提出興建火災模擬燃燒實驗室之需求：

#### 一、特殊火災情境再現分析

消防署雖已建置配合火災調查之材質實驗室(例如晶相分析)，仍需針對特殊空間火災案例(例如：倉儲火災、儲能系統空間火災等)之煙流及火災成長特性進行分析，因此需建置大型火災模擬燃燒實驗室，藉此能夠還原真實特殊火災情境以達建立科學化火災調查及事故再現性之目的。

#### 二、建築材料之基本燃燒性質及發煙特性調查

<sup>1</sup> <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E5%8C%97%E6%9E%97%E6%A3%AE%E9%8C%A2%E6%AB%83%E5%A4%A7%E7%81%AB>, 2020.

<sup>2</sup> <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E9%9B%84%E5%9F%8E%E4%B8%AD%E5%9F%8E%E5%A4%A7%E6%A8%93%E7%81%AB%E7%81%BD>, 2021.

<sup>3</sup> <https://www.ettoday.net/news/20220307/2202593.htm>

<sup>4</sup> <https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/3878901>

<sup>5</sup> <https://udn.com/news/story/7320/6163810>

倘若每一火災事故皆以還原真實情況進行火災事故調查，則將耗費大量人力及物力，且整體火災調查情形依然只能以 case by case 的方式進行。除設計建置大型尺寸之火災模擬燃燒設備及場地外，亦需建置小尺寸火災模擬燃燒設備進行各種材料於不同火場環境下的基本燃燒及發煙特性，藉此可進行數據化及量化分析，用以提供每一火災事故現場具有相同材料時之準確預測結果。

### 三、特殊消防設備之驗證及檢測

火災模擬實驗室亦可協助國內外消防設備廠商進行特殊消防設備之現地性能驗證及檢測(如放水槍、大型倉儲空間不同形式之撒水頭測試)，除協助研訂我國特殊空間消防設備之消防法規外，可提升我國消防驗證及檢測能量，並可引領國內消防設備廠商走向國際化。

### 四、特殊火災之實驗分析

因應科技發展(例如電動車、充電樁、儲能設備等)，火災之型態及消防之挑戰隨之增加，本實驗室可針對大型特殊火災(例如:儲能系統火災)之火災成長特性進行相關分析，提升我國新興產業之消防安全。

### 五、消防安全教育訓練

透過實際火災調查及火災模擬燃燒實驗結果提供給消防人員進行教育訓練，使消防人員面對不同的火災場景時能夠即時做出相對應之搶救策略，降低消防人員傷亡之機率。

然火災模擬實驗室之建置不僅涵蓋建築及消防安全設備等專業領域，亦需排煙、廢氣及廢水處理等環保專業領域人員參與；因火災模擬實驗室為我國首次規劃建置，且牽涉不同專業領域之整合，亟需以研究案方式先行規劃實驗室建置之方式及發掘本土之專業廠商，以評估實驗室建置所需之預算經費，做為後續經費編列之依據，以定期進行重大火災模擬燃燒試驗，建置本土化之燃燒資料庫，提升我國火災防治能力。

## 二、研究方法

本研究以資料蒐集、建築物設計及專家座談諮詢三方式進行：

### 1. 資料蒐集

蒐集國內外火災模擬燃燒實驗室規模、類型及運作概況，及其建置之空間大小、實驗室相關設備種類、配置情形及試驗項目等資料，例如:我國內政部建築研究所、國立成功大學防火安全研究中心、日本消防科學研究所、美國菸酒槍砲及爆裂物管理局防火實驗室、FMGlobal 及中國科學技術大學之火災科學國家重點實驗室。亦蒐集相關火災模擬燃燒實驗室水電、消防安全設備、排氣、廢氣和廢水處理方式等資料，並調查目前國內相關燃燒實驗室之規模、項目與實驗量

能。

## 2. 建築物設計

建築設計程序首先確認研究計畫收集國內外重要燃燒實驗室資料並提出本案建置的主要實驗設備建議，同時進行相關建築法規收集、基地現勘等基本資料分析。後續擬定建築配置計畫建議方案與建置火災模擬燃燒實驗室相關平面圖、剖面圖、電腦透視圖及結構系統等資訊。以及建置實驗室所需預估之經費及建置期程之計畫草案，供未來火災模擬燃燒實驗室設立之參考。

## 3. 專家座談諮詢

提出建置火災模擬燃燒實驗室之相關原則，包含實驗室空間大小、相關實驗設備種類、配置情形及試驗項目，亦提出建置火災模擬燃燒實驗室相關水電、消防安全設備、排氣、廢氣和廢水處理方式等資訊後，將召開專家座談會議，邀請火災專業學者、設備商、營造商及環境保護相關產官學代表出席，彙整各界之意見，以利撰寫建置實驗室所需預估之經費及建置期程之計畫草案，供未來火災模擬燃燒實驗室設立之參考。

## 三、重要發現

1. 火災模擬燃燒實驗室主要以不同量熱尺度之燃燒實驗室與材料分析實驗室為主要設計考量，整體建築物規劃為地上 5 層，實驗室及附屬空間樓地板面積為 14,634 m<sup>2</sup>，建築外配置廢氣處理系統設施一組及滅火用水回收處理系統一組，戶外配置實驗材料準備區 1,980 m<sup>2</sup>、實驗前置處理區 3,910 m<sup>2</sup>、實驗材料處理區 3,910 m<sup>2</sup> 等，整體規畫基地面積約為 28,000 m<sup>2</sup>。
2. 日本、美國及中國所建置之火災模擬燃燒實驗室皆具備不同尺度之量熱分析設備，透過不同尺度之量熱分析及基礎材料性質分析研究設備可完整還原火災事故現場，因此本火災模擬燃燒實驗室規劃建置 40 MW 及 10 MW 的量熱分析裝置、金相顯微鏡、GCMS、FTIR 及圓錐量熱儀等試驗設備。可進行建築物火災、車輛火災、儲能系統火災、大型倉儲火災及油池火災等相關研究。
3. 火災模擬燃燒實驗室之水電工程規劃部分，依現行建築法規與消防法規進行規劃編列預算，並考量火災模擬實驗與材料分析實驗室等相關設備用電需求。

而供水系統因考量實驗室內實驗供水與滅火用水，須額外規劃供水與回收系統，與消防緊急用水區分，避免妨礙建築消防設備功能。另外火災模擬實驗室亦規劃設置有防爆牆及防爆天花板等防護設計。

4. 國外火災模擬燃燒實驗室皆建置廢氣處理設備，而美國 FM Global 公司則另外建置有閉環式水處理系統及廢棄物乾燥壓實機，因此本火災模擬燃燒實驗室為減少火災實驗後相關之廢氣及廢水汙染，規劃排氣量為 40 萬 m<sup>3</sup>/hr 之排氣設備，及設置袋濾除塵式之廢氣除塵系統與廢水回收處理系統。
5. 火災模擬實驗室所需經費概估含「直接工程費」與「間接工程費」合計總工程費用約為新臺幣 15 億 9 仟萬元，「直接工程費」包含依共同性編列基準概估經費，但建議依隨物價調整增加編列預算費用，而「間接工程費」包含設計監造費、工程管理費、專案管理費、與其他法令規定費用（公共藝術費與空氣汙染防制費等）。
6. 火災模擬燃燒實驗室為一大型且機能複雜之公共工程，因此若採傳統一般設計施工二階段招標模式，其中「營建設計階段」預估約需 1 年 6 個月時間、而「營建工程階段」及「移轉設備階段」預估約需 3 年 9 個月時間，含後續「初步規畫」至建置完成合計預估約 6 年時間。
7. 營運方式若採公營模式，相關人力編制參考內政部建築研究所防火實驗中心及日本國家級火災與災害研究所等實驗室，則實驗室中心設一名主管「主任」，五名研究員級人員，五名實驗作業人員，一名行政助理，合計 12 名最少人力編制，而營運人力及成本合計每年預估約為新臺幣 1 仟 6 佰萬元/年。

#### 四、主要建議事項

建議一：

建置火災模擬燃燒實驗室：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：

火災現場為一極不安定之場所，而建築物火災往往造成人員傷亡或財產損失，且又因無法事先預測其發生使得火災現象的危險程度加劇，日本及美國皆建置火災模擬燃燒實驗室透過不同量熱尺度之分析裝置以重現重大及特殊之火災事故現場，並進行相關火災科學研究。然我國僅內政部建築研究所防火實驗中心有建

置可量測達 10 MW 之量熱分析設備，但若欲調查實際火災案例之事故原因，此設備則稍嫌不足。因此為能夠還原真實火場情況以達建立科學化火災調查資料之目的，建議可參照本研究所規劃設計建置不同尺度之火災燃燒模擬實驗室，以進行重大特殊火災模擬燃燒實驗與分析、特殊消防設備之驗證及檢測、建築材料之基本燃燒性質及發煙特性調查等。另外實驗室未來之營運效能，應再進一步完整評估，以完整實驗室建置之計畫，及提供更優質之服務(加入應接續進行評估實驗室未來營運之效能等，以完整建置之效能評估)。

建議二：

配合社經發展持續開拓火災模擬燃燒實驗室營運項目：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：

待火災模擬燃燒實驗室建置完成後，每年須負擔實驗室營運及人力成本，若僅依靠政府預算及產學研究案等經費，恐無能力進行進一步火災科學研究發展，甚至難以永續運營。因此建議俟火災研究設備陸續完成購置後，可參照美國 FM Global 之營運模式進行大型倉儲撤水頭使用之標準驗證實驗，或參照 UL 9540A 之標準驗證儲能系統之大型火災測試。藉此增加實驗室之收入，且可協助我國大型倉儲及儲能系統產業之消防安全發展。



## 第一章 緒論

火災為「違反人的意思或縱火而有滅火必要的燃燒現象」<sup>6</sup>，然不論是人為縱火或失火之火災皆屬於偶發性，因其是不可事先預測。火災亦具有成長性及不定性等特性，只要可燃物持續存在則火災會持續成長，且其受氣象、燃燒物體、建築物構造及地形等因素影響，因此火災現場為一極不安定之場所。建築物火災發生後，常造成民眾之傷亡；故對於建築物種類、內部結構、裝潢情形、火災處所及火災原因等相關資訊，實有建立科學調查資料之必要。而日本、中國及美國皆有建置國家級火災模擬燃燒實驗室進行火災模擬研究，藉此了解火災基本特性並降低火災危害程度，以提升國內建築消防安全。有鑒於此，是以擬規劃建置可以執行相關模擬燃燒之實驗室，以達建立科學化火災調查資料之目的，並可作為火災宣導之參考資料。

### 第一節 研究緣起與目的

#### 一、研究緣起

我國消防署將火災定義為「違反人的意思或縱火而有滅火必要的燃燒現象」，然不論是人為縱火或失火之火災皆屬於偶發性。火災亦具有成長性及不定性等特性，只要可燃物持續存在則火災會持續成長，且其受氣象、燃燒物體、建築物構造及地形等因素影響，因此火災現場為一極不安定之場所。而建築物火災往往造成人員傷亡或財產損失，且又因無法事先預測其發生使得火災現象的危險程度加劇，例如2020年5月4日於台北市林森北路發生之錢櫃 KTV 火災事故，此次事故造成6人罹難，48人輕重傷，並疏散200多人<sup>7</sup>；又2021年10月14日於高雄市鹽埕區之城中城大樓火災，此次事故為我國史上死亡人數第二多之建築物火災，罹難人數共46人且有43人受傷<sup>8</sup>；及2022年3月6日下午於台中市中區興中街一處民宅遭人縱火，造成6人罹難、6人受傷，且此次火災意外事故為台中市近24年來最嚴重之一起事故；2022年3月10日上午10點餘分，位於於桃園市蘆竹區之美福倉儲發生火災，該倉儲為地上7層、樓高36公尺的超大型密閉式結構用於冷凍儲存肉

<sup>6</sup> 吳曉生、連和吉，「火災學大補帖」，大碩教育股份有限公司，民國 108 年

<sup>7</sup> <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E5%8C%97%E6%9E%97%E6%A3%AE%E9%8C%A2%E6%AB%83%E5%A4%A7%E7%81%AB>, 2020.

<sup>8</sup> <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E9%9B%84%E5%9F%8E%E4%B8%AD%E5%9F%8E%E5%A4%A7%E6%A8%93%E7%81%AB%E7%81%BD>, 2021.

類製品，因滅火不易使得整起火災持續三個禮拜才得以撲滅；又與美福倉儲火災相隔不到五天，位於桃園市楊梅區家樂福楊梅物流中心亦發生火災，此次火災造成2.1萬坪的倉庫付之一炬。當火災意外發生時，若無法及時了解火場情況並執行正確之搶救策略，則會對人員生命及財產造成莫大之損失。因此為降低火災危害及蒐集對於建築物種類、內部結構、裝潢情形、火災處所及火災原因等相關資訊，實有建立科學調查資料之必要。而日本、中國及美國皆有建置國家級火災模擬燃燒實驗室進行大型火災科學研究，更加了解實尺寸火災基本特性及進一步降低火災對人員及財產之危害程度，提升公共防火安全。

有鑒於此，我國內政部消防署針對以下目的提出興建火災模擬燃燒實驗室之需求：

### 一、特殊火災情境再現分析

消防署雖已建置配合火災調查之材質實驗室(例如晶相分析)，仍需針對特殊空間火災案例(例如：倉儲火災、儲能系統空間火災等)之煙流及火災成長特性進行分析，因此需建置大型火災模擬燃燒實驗室，藉此能夠還原真實特殊火災情境以達建立科學化火災調查及事故再現性之目的。

### 二、建築材料之基本燃燒性質及發煙特性調查

倘若每一火災事故皆以還原真實情況進行火災事故調查，則將耗費大量人力及物力，且整體火災調查情形依然只能以 case by case 的方式進行。除設計建置大型尺寸之火災模擬燃燒設備及場地外，亦需建置小尺寸火災模擬燃燒設備進行各種材料於不同火場環境下的基本燃燒及發煙特性，藉此可進行數據化及量化分析，用以提供每一火災事故現場具有相同材料時之準確預測結果。

### 三、特殊消防設備之驗證及檢測

火災模擬實驗室亦可協助國內外消防設備廠商進行特殊消防設備之現地性能驗證及檢測(如放水槍、大型倉儲空間不同形式之撒水頭測試)，除協助研訂我國特殊空間消防設備之消防法規外，可提升我國消防驗證及檢測能量，並可引領國內消防設備廠商走向國際化。

### 四、特殊火災之實驗分析

因應科技發展(例如電動車、充電樁、儲能設備等)，火災之型態及消防之挑戰隨之增加，本實驗室可針對大型特殊火災(例如：儲能系統火災)之火災成長特性進行相關分析，提升我國新興產業之消防安全。

### 五、消防安全教育訓練

透過實際火災調查及火災模擬燃燒實驗結果提供給消防人員進行教育訓練，使消防人員面對不同的火災場景時能夠即時做出相對應之搶救策略，降低消防人員傷亡之機率。

然火災模擬實驗室之建置不僅涵蓋建築及消防安全設備等專業領域，亦需排煙、廢氣及廢水處理等環保專業領域人員參與；因火災模擬實驗室為我國首次規劃建置，且牽涉不同專業領域之整合，亟需以研究案方式先行規劃實驗室建置之

方式及發掘本土之專業廠商，以評估實驗室建置所需之預算經費，做為後續經費編列之依據，以定期進行重大火災模擬燃燒試驗，建置本土化之燃燒資料庫，提升我國火災防治能力。

## 二、研究目的

1. 分析國內外火災模擬燃燒實驗室之火災科學研究類型及專業實驗設備資訊。
2. 研提國內外火災模擬燃燒實驗室所建置之場域面積及環境保護設備資訊。
3. 研提預估建置火災模擬燃燒實驗室所需之經費及其建置期程規劃草案。

## 第二節 研究方法與步驟

### 一、研究方法

本研究以資料蒐集、建築物設計及專家座談諮詢之方式進行：

#### 1. 資料蒐集

蒐集國內外火災模擬燃燒實驗室規模、類型及運作概況，及其建置之空間大小、實驗室相關設備種類、配置情形及試驗項目等資料，例如：我國內政部建築研究所、國立成功大學防火安全研究中心、日本消防科學研究所、美國菸酒槍砲及爆裂物管理局防火實驗室、FMGlobal 及中國科學技術大學之火災科學國家重點實驗室。亦蒐集相關火災模擬燃燒實驗室水電、消防安全設備、排氣、廢氣和廢水處理方式等資料，並調查目前國內相關燃燒實驗室之規模、項目與實驗量能。

#### 2. 建築物設計

建築設計程序首先確認研究計畫收集國內外重要燃燒實驗室資料並提出本案建置的主要實驗設備建議，同時進行相關建築法規收集、基地現勘等基本資料分析。後續擬定建築配置計畫建議方案與建置火災模擬燃燒實驗室相關平面圖、剖面圖、電腦透視圖及結構系統等資訊。以及建置實驗室所需預估之經費及建置期程之計畫草案，供未來火災模擬燃燒實驗室設立之參考。

#### 3. 專家座談諮詢

提出建置火災模擬燃燒實驗室之相關原則，包含實驗室空間大小、相關實驗設備種類、配置情形及試驗項目，亦提出建置火災模擬燃燒實驗室相關水電、消

防安全設備、排氣、廢氣和廢水處理方式等資訊後，將召開專家座談會議，邀請火災專業學者、設備商、營造商及環境保護相關產官學代表出席，彙整各界之意見，以利撰寫建置實驗室所需預估之經費及建置期程之計畫草案，供未來火災模擬燃燒實驗室設立之參考。

## 二、研究步驟

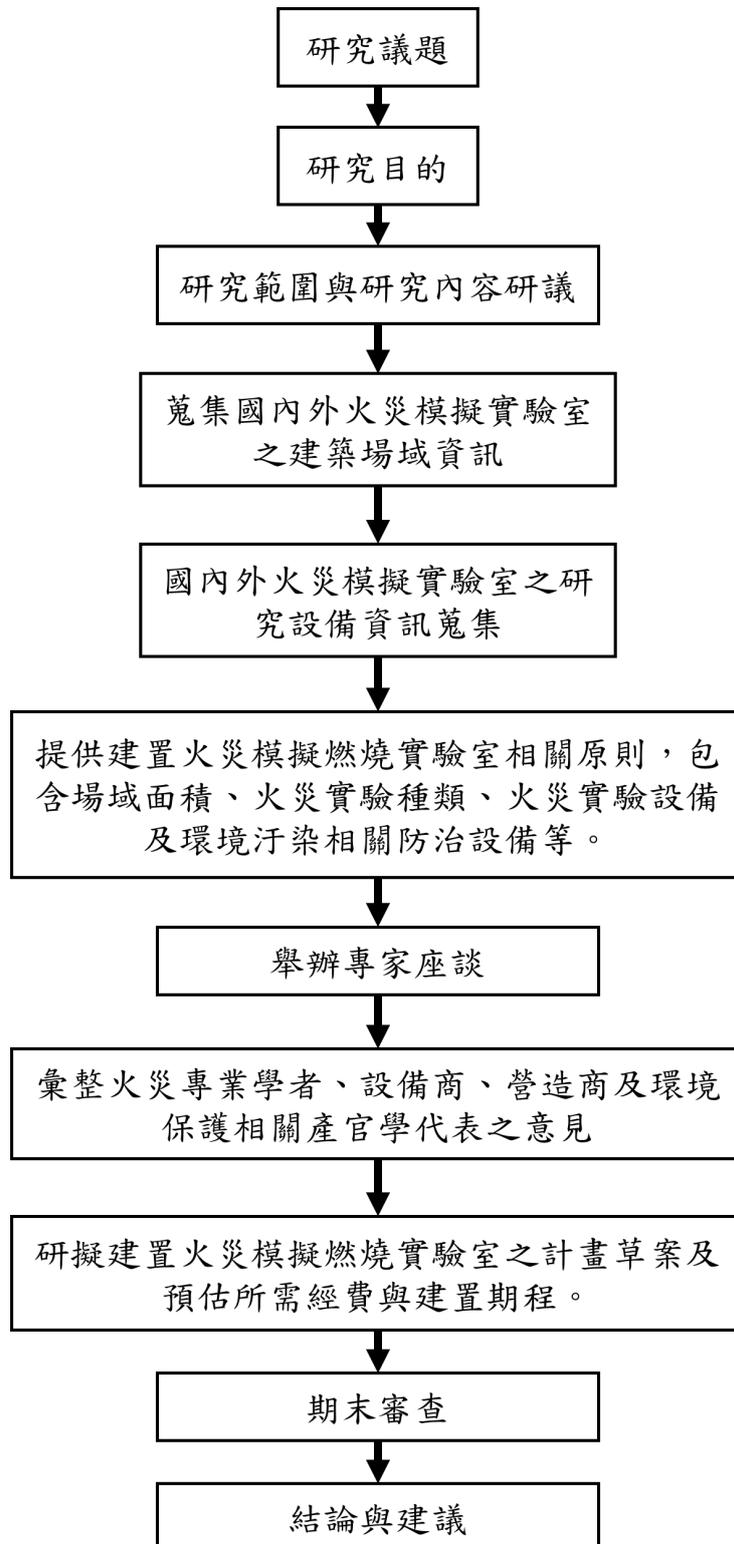


圖 1-1 研究流程與步驟



## 第二章 國內外火災科學模擬實驗中心

本研究蒐集我國內政部建築研究所防火實驗中心及國立成功大學防火安全研究中心之實驗室規模及研究設備，亦蒐集日本與中國火災科學國家重點實驗室之火災科學研究方向、火災模擬燃燒實驗室之基本建築資訊與實驗設備，及蒐集美國火災科學研究實驗室之相關資訊，上述相關彙整內容將於下列各節說明。

### 第一節 我國火災科學相關實驗室

#### 2.1.1 內政部建築研究所防火實驗中心

我國內政部建築研究所為加強建築防火之科學化、系統化實驗研究，並提昇國內建築研究水準，於台南市歸仁區建置一處建築物總樓地板面積為 13900 m<sup>2</sup>之建築火災實驗中心<sup>9</sup>，該實驗中心能結合建築防火理論與實際應用的成果，並可將國際上之相關防火研究資料，進行本土化的驗證與創新之工作，提供我國建築材料、構件結構、防耐火性能檢測基準，及法令規章研修之建議。此外，對於研訂適用國內之建築性能防火法規，建立相關之建築防火設計，防火工程施工規範及使用手冊等，亦能提供相關之工程技術支援，以本土化之研究成果，運用於提昇國內之建築防火性能目標。

##### 一、防火實驗中心場地資訊

建築防火實驗中心包含綜合實驗場、部材防火實驗場、耐火結構實驗場、煙控實驗塔、防火材料實驗室、消防實驗室及戶外火災實驗場，如圖 2-1 之實驗中心配置圖<sup>10</sup>。綜合實驗場實際火災實驗圖，綜合實驗場佔地面積為 14362 m<sup>2</sup>，高度為 29 m，如圖 2-2。其主要針對火災對實際建築物之影響，模擬火災現象及觀察建築物之耐火性能、煙霧控制及逃生避難等，如圖 2-3 所示，該綜合實驗場測試項目包含 10 MW 大尺度量熱測試及大空間煙控測試等。部材防火實驗場佔地面積為 718 m<sup>2</sup>，高度為 12.42 m，如圖 2-4 所示。針對室內容易起火之大型傢俱

<sup>9</sup> <https://www.lab.abri.gov.tw/News.aspx?n=1071&sms=9523>，內政部建研究所

<sup>10</sup> [https://www.lab.abri.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=1071&s=41525](https://www.lab.abri.gov.tw/News_Content.aspx?n=1071&s=41525)，內政部建研究所

物品等裝飾材料進行火災試驗，量測其燃燒後所產生之熱量、煙量、氣體種類及火焰傳播性等，如圖 2-5 之火災實驗所示。測試項目包含 ISO、歐盟、ASTM 中大尺度防火材料燃燒量熱測試、IEEE 電線電纜及變壓器耐燃性測試等。

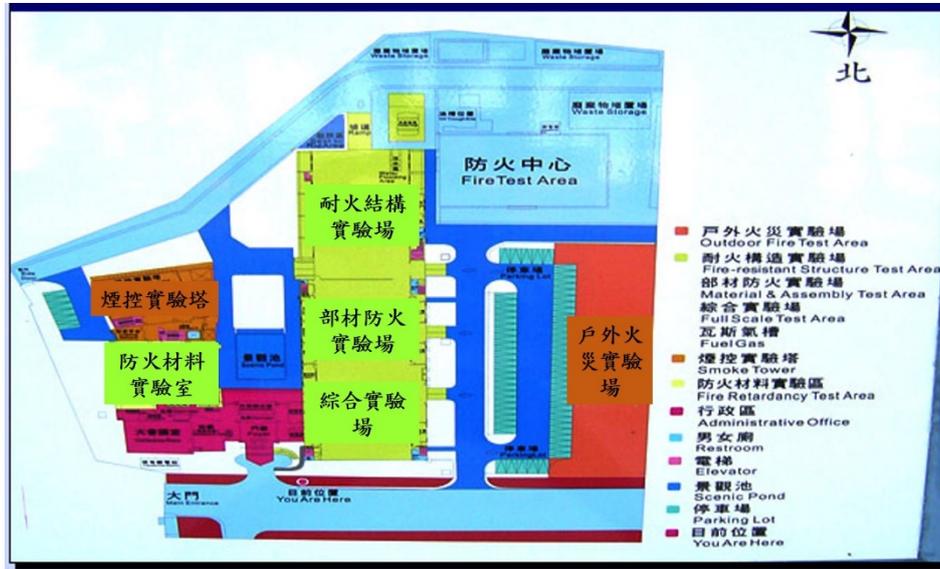


圖 2-1 建築實驗中心配置圖

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-2 綜合實驗場

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-3 綜合實驗場執行火災實驗

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-4 部材實驗場

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-5 部材實驗場火災實驗現況

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)

耐火構造實驗場佔地面積為 1436 m<sup>2</sup>，高度為 12.42 m，如圖 2-6 所示，主要針對建築物防火門牆(承重牆)、防火門之遮煙效果、防火捲門、防火固定窗、匯流排及貫穿部等建築物部件進行試驗，測試該部件是否符合法規或性能式設計等條件。而防火材料實驗室則為測試防火建材之熱釋放率、發熱量及煙毒性等基本材料特性之實驗空間，其主要依據我國經濟部標準檢驗局法定防焰耐燃材料測試進行測試，提供實驗數據已供建築及室內裝修設計參考使用。此實驗中心亦建置消防實驗室，然而該消防實驗室則針對密閉式撒水頭、泡沫噴頭、水霧噴頭等消防設備之性能測試，測試其基本數據供防火性能設計參考使用。



圖 2-6 耐火構造實驗場中耐火樓板複合實驗爐

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)

防火實驗中心所建置之煙控實驗塔，其面積為 2821.94 m<sup>2</sup>，樓層數共有 8 層，如圖 2-7。主要進行避難樓梯、管道間、多室房間之水平及垂直區劃逃生通道等火災煙流測試，亦可進行高層建築火災垂直延燒及煙控實驗。戶外實驗場可提供大型建築物(如二至五層)之火災模擬實驗與研究，如圖 2-8 所示，而圖 2-9 為建築研究所與國立成功大學一同合作執行地震與火災結合之多重災害研究，該建築物為實尺寸鋼構屋基地為 19.35 m×13.35 m，鋼構屋試體尺寸為一層樓的鋼構(面積 12 m×12 m，2 跨×2 跨，計 9 根柱)。可針對不同空間型態與火災情境，進行鋼構造建築多重性災害之行為研究，現階段將以建築物在生命週期中一般較常遭受之多重災害狀況為主軸，即以先火後震的情境進行研究，以所獲得資料為基礎，發展火害後鋼結構健康檢測與診斷技術，並研擬鋼構造建築火害之結構安全評估準則。



圖 2-7 煙控實驗塔

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-8 戶外實驗場

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-9 地震與火災結合之多重性災害研究

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)

## 二、火災研究實驗設備

防火實驗中心之實驗場地會針對不同火災研究建置相關研究實驗設備，例如綜合實驗場可進行大空間煙控模擬研究，其利用整體空間挑高 29 m 之設計並於牆壁標示高度，觀察火災發生時濃煙之流向與高度變化，如圖 2-10 所示。另一部分經由建置最大煙量承載能力為 10 MW 之大型煙罩進行蒐集、量測並記錄待測物之熱釋放率及煙氣組成成分等，如圖 2-11 所示，可於煙罩下方進行大尺度火災燃燒測試，亦可利用升降台進行不同類型之火災燃燒模擬，例如：居室火災、

油類火災及車輛火災等。



圖 2-10 大空間煙控模擬實驗

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)



圖 2-11 10MW 大尺度量熱裝置

(資料來源：內政部建築研究所防火實驗中心)

表 2-1 為部材實驗場地所建置之研究實驗設備，此實驗場地針對建築物中常使用之材料進行火災研究，如居室內傢俱、耐燃建材及電線電纜等。

表 2-1 部材實驗場地之研究實驗設備

房間火災模擬設備	
	針對房間裝修材耐燃測試及中尺度居室火災燃燒模擬，可量測熱釋放率、氣體分析、濃煙產生量及觀察火災成長行為等。
單一燃燒器裝置(SBI)	
	針對測試建築產品(如傢俱等)，受到單一燃燒熱源(丙烷燃燒器)時，對火災行為的反應。測試樣品會被安置於推車上，放置於煙罩系統下方的框架中，監測試樣對燃燒器的反應及測量熱及濃煙的釋放速率。
中尺度量熱裝置(ICAL)	



針對測定建築材料耐燃性能，量測垂直方位上  $1\text{m}^2$  樣本之熱釋放率，樣本暴露於由氣體燃燒之輻射板(最高至  $50\text{KW}/\text{m}^2$ )產生之均勻熱流，且瞬間點火，亦使用氧氣消耗原理來量測材料在模擬之真實火場之放熱、發煙及有毒氣體產生量。

電線電纜燃燒煙產生量試驗箱



此研究設備依據 IEC 61034 標準針對電線電纜燃燒所產生之煙量進行測試，並量測其煙遮蔽率。

垂直電纜線試驗裝置、垂直電線電纜試驗裝置-2



此研究設備依據 IEC 60332-3、IEEE 383、UL 1581 標準進行各式電力或電子傳訊用電線、電纜及光纖線纜之垂直火焰傳播性質進行測試。藉由觀察電線或電纜最下方接焰位置之最上方碳化位置之距離判斷其燃燒之長度。



水平電纜線試驗裝置



依據 CNS 11359、IEC 60331 標準評估電力及通訊用線纜受火燃燒情況下能否維持正常輸電功能。

(資料來源：本研究自行整理)

表 2-2 為防火實驗中心內耐火構造實驗場之研究實驗設備，針對構成建築物本體之構造進行研究測試，如防火門窗、防火捲門、貫穿部及樓地板等。

**表 2-2 耐火構造實驗場之研究實驗設備**

門牆耐火試驗爐	
	<p>此實驗設備依據 CNS 11227、CNS 12514、CNS 14803、CNS 14815 標準進行建築物防火門、捲門、窗、隔間牆及承重牆構件防火時效測試。利用輻射熱對試樣進行單方面加熱模擬火災發生時的情境，觀察試樣暴露於火災情境下是否會被破壞、火焰貫穿及背溫是否過高等。</p>
衝擊實驗裝置	
	<p>此實驗設備依據 CNS 11227、CNS 12514、CNS 14803、CNS 14815 標準進行建築物防火門、捲門、窗、隔間牆及承重牆構件有無顯著破壞脫落測試。</p>
變形量量測裝置	



此實驗設備依據 CNS 11227 標準進行建築物防火門及防火捲門進行其撓度變化。

防火門遮煙實驗裝置



本實驗設備依據 CNS 15038 標準進行建築用門於室溫及中溫狀態下，透過門組件之洩漏量量測，評估其遮煙性能之試驗方法。

樑柱樓板複合實驗爐



本試驗設備依據 CNS 12514 標準進行建築物樑、柱、樓板及屋頂構件之防火時效測定，可藉由觀察及量測其是否結構被破壞、火焰貫穿、撓度變化及背面溫度等數據評估。

小型複合耐火爐



本設備依據 CNS 14514 進行建築物防火區劃貫穿部試驗，判斷貫穿部耐火材料之遮焰及阻熱性能。

(資料來源：本研究自行整理)

除上述介紹之大型研究實驗設備外，防火實驗中心亦針對消防用撒水頭及建材耐燃測試建置小型規模之實驗設備。表 2-3 為消防用撒水頭研究實驗設備，而表 2-4 則為建材耐燃測試實驗設備。

表 2-3 消防用撒水頭研究設備

加熱油槽	
	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以量測撒水頭玻璃球之冷熱衝擊試驗。</p>
高溫油槽	
	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以量測撒水頭玻璃球之冷熱衝擊試驗。</p>
低溫水槽	



依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以量測撒水頭玻璃球之冷熱衝擊試驗。

冷卻水槽



依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以量測撒水頭玻璃球之冷熱衝擊試驗。

水霧撒水頭噴霧粒徑量測儀(Mavern)



依據 NFPA 750 標準進行水霧撒水頭噴霧粒徑大小測定。

相差都卜勒顆粒分析裝置(PDA)

	<p>依據 UL 2167 標準進行水霧顆粒之粒徑、速度及分布檢測。</p>
<p>拉力試驗機</p>	
	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以測試撒水頭框架之變形量及載重。</p>
<p>撒水頭易熔元件耐壓耐久試驗機</p>	
	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以測試易熔元件強度。</p>
<p>放水量試驗裝置</p>	

	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以撒水頭放水量測試。</p>
<p>撒水頭動作功能試驗機</p>	
	<p>依據內政部消防署「密閉式灑水頭認可基準」、CNS 11254 檢測消防用撒水頭性能之試驗方法，本設備用以測試撒水頭壓力功能。</p>

(資料來源：本研究自行整理)

表 2-4 建材耐燃測試實驗設備

<p>垂直抗焰性測試儀</p>	
	<p>依據 CNS 10285 A-5 進行窗簾布及帳幔布之防焰性能測試。</p>
<p>建材著火性試驗裝置</p>	



依據 ISO 5657、BS 476:part 13 進行各類材料表面引燃難易特性測試，量測最小引燃熱通量及最小引燃時間。

地坪材料輻射熱板裝置



依據 ASTM E648、ASTM E970、ISO DIS 9239 進行地坪鋪蓋裝修材料防焰性能測試，量測熄火臨界熱通量、火焰延燒距離，可區分一、二級。

壁材側向延燒性試驗裝置



依據 ISO 5658、IMO Res.A 653(16)、ASTM E1317、ASTM E1321 進行牆面裝修材料水平側向著火及火焰傳播性質測試，量測熄火臨界通量、最大延燒距離、有效燃燒熱、總釋放熱及最大熱釋放率。

材料表面耐燃性測試裝置



依據 ASTM E162、ASTM D3675、CNS 14819 進行延燒速率及發熱量之量測，評估材料表面耐燃性。

表面試驗裝置



依據 CNS 6532、JIS A1321、日本建設省告示進行各類室內裝修材料耐燃性能測試，評估著火性、發熱性、發煙性、餘焰及變形(龜裂、熔化)等燃燒性質，並區分耐燃一、二及三級。

基材試驗裝置(材料不燃性試驗爐)



依據 CNS 6532、JIS A1321 進行各類室內裝修材料不燃性能測試(符合表面試驗耐燃一級材料)，量測其爐內溫度，以判定合格與否。

ISO 材料不燃性試驗爐



依據 ISO 1182 進行建築產品對防火測試的反應-不燃性測試，量測質量損失百分比、持續 5 秒以上的火焰、最高溫度與最終溫度之上升溫度差及加熱 60 分鐘內需達最終溫度平衡狀態。

NIBS 煙毒性試驗裝置



依據 ASTM E1678 進行各類材料及製品燃燒生成物毒性評估，包括有毒氣體分析及動物曝露試驗。

NES 煙毒性試驗裝置

	<p>依據英國海軍工程標準 NES 713 進行各類材料燃燒生成物毒性濃度評估，並依有毒氣體成分分析決定材料燃燒產生之毒性指數(Toxicity Indexes)</p>
<p>材料發煙濃度測試裝置</p>	
	<p>依據 ASTM E622、ISO 5659: part 2 進行各類材料燃燒所產生的煙造成之光學遮蔽率之評估，其項目包含有焰(Flaming)與悶燒(Smoldering)狀態的測試條件，量測燃燒煙產物之最大煙濃度、最大煙濃度發生時間及煙生成速率。</p>
<p>圓錐量熱儀</p>	
	<p>依據 CNS 14705、ASTM E1354、ISO 5660 標準測試建築物室內裝修材料在其火災初期之耐燃性，量測材料總熱釋放量、最大熱釋放率、防火上有害之貫穿、龜裂及孔穴，以區分耐燃性一、二及三級。</p>

(資料來源：本研究自行整理)

## 2.1.2 國立成功大學防火安全研究中心

為因應建築物朝向大型化、樓層立體化及設備複雜化之發展趨勢，且大量使用易燃性裝修材料，造成火災案件頻傳。國立成功大學集結具防火安全科技專長之教授成立防火安全研究中心，進行各種防火安全研究與測試工作。防火安全研究中心提供具有符合我國 CNS 及國際標準 ISO、UL 及 JIS 檢測設備之試驗機構，並積極與美國 UL 等認證機構合作，成為亞太區防火檢測中心。該中心積極研究防火最新材料與技術，期促進整體防火材料工業之發展，亦研究建築之防火安全技術及加強火災原因鑑定與災後結構鑑定之技術，增加國人生命財產之保障與提升火災防治工作<sup>11</sup>。

國立成功大學防火安全研究中心主要針對建築物中耐火構造進行研究，如防火門窗、防火捲門及貫穿部等建築構造之國家標準測試，因此該中心所建置之實驗設備如表 2-5 所示。

表 2-5 防火安全研究中心實驗設備

門牆構件體耐火測試爐	
	<p>依據 CNS 11227-1、CNS 11227、CNS 12514-1、CNS 12514、CNS 14803、UL10B、UL 10C、UL 263、IMO Res. MSC.61(67), Annex 1, Part 3 (FTP Code)、IMO Resolution A.754 (18)標準進行建築用防火門、防火捲門、防火固定窗及防火區劃貫穿部，包含各種不同材質(木製、石製及礦物製、鋼鐵製、銅製及鋁製)之單開、雙開及防火鐵捲門；建築物中各種室內分間牆與非承重之外牆；船舶檢測(垂直試體)之檢測。</p>

<sup>11</sup> <http://www.fpsrc.ncku.edu.tw/fpsrc/index.asp>，防火安全研究中心，國立成功大學。

### 多功能小型耐火測試爐



依據 CNS 11227-1、CNS 11227、CNS 12514-1、CNS 12514、CNS 15814、CNS 14514、CNS 11227、UL 263、UL 1479、UL 555、UL 10B、UL 10C 進行建築物構造部分之耐火測試，包括：牆壁、樑、柱、樓板、屋頂面及建築物防火區劃貫穿部之耐火測試，包括各種貫穿部防火材料 (Penetration fire stops)、膨脹型填塞、密封材、防火門(小尺寸)、防火五金之測試

### 多功能大型耐火測試爐



可依據前兩項之標準進行大尺度之防火門、防火捲門、防火固定窗及防火區劃貫穿部；建築物中各種室內分間牆與非承重之外牆；船舶檢測(垂直試體)之檢測。

### 遮煙性能測試設備



依據 CNS 15038、ISO/DIS 5925-1 及 UL 1784 進行建築用門於室溫及中溫狀態下，透過門組件之洩漏量量測，評估其遮煙性能之試驗方法。

噴水試驗設備



符合 CNS 及 UL 噴水試驗規範。

垂直式衝擊試驗設備



此實驗設備依據 CNS 11227、CNS 12514、CNS 14803、CNS 14815 標準進行建築物防火門、捲門、窗、隔間牆及承重牆構件有無顯著破壞脫落測試。

(資料來源：本研究自行整理)

## 第二節 日本火災科學相關實驗室

日本總務省於東京都內成立國家級火災與災害研究所(National Research Institute of Fire and Disaster, NRIFD)<sup>12</sup>，其旨為持續進行防火防災科技之研發及對於危險材料洩漏之火災事故原因調查，亦能夠在發生大規模或特大災害時為防災活動提供專業協助，更積極與消防防災科學領域相關人士建立並保持合作關係。

### 一、火災與災害研究所之建築資訊

國家級火災與災害研究所之土地面積為 42,082 m<sup>2</sup>，整體建築物面積為 17,594 m<sup>2</sup>，而火災與災害研究所內針對不同型態之火災科學研究件不同類型之建築物，包含以下:1.主要辦公大樓、2.信息管理大樓、3.消防機械研究大樓、4.材料研究大樓、5.防災實驗樓、6.建築防火研究樓、7.大型消防實驗樓、8.材料安全研究大樓、9.綜合滅火研究樓及 10.燃燒實驗樓，如圖 2-12 所示。



圖 2-12 NRIFD 之建築物分布圖

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

消防機械研究樓主要針對當地震發生時，消防救難設備及災害防止科技之研究，檢測消防衣所能承受之輻射熱能及建置消防頭盔之檢測設備，如圖 2-13 (a) 及(b)所示。而建築防火研究樓則針對火災偵測、煙霧流動、避難引導及電線電

<sup>12</sup> <http://nrifd.fdma.go.jp/english/>. National Research Institute of Fire and Disaster, Japan.

纜等進行研究，圖 2-14 為電線電纜檢測設備，亦利用 X 射線穿透裝置調查火災事故發生之原因，X 射線穿透裝置(X-ray fluoroscope)如圖 2-15 所示。圖 2-16 為大型消防研究樓，樓內主要實驗室尺寸為寬 24 m x 深 24 m x 高 20 m，佔地面積約為 576 m<sup>2</sup>，其主要針對火災發生時煙粒子及煙霧的產生量，可藉由電子集塵器進行收集。綜合滅火研究樓可分為主實驗場地及副實驗場地，尺寸分別為寬 25 m x 深 25 m x 高 22 m、及寬 14 m x 深 14 m x 高 12 m，則兩者佔地面積分別為 625 m<sup>2</sup> 及 196 m<sup>2</sup>，於此實驗場地中可進行火焰於外風環境下燃燒特性之研究，如圖 2-17 所示。然而建築防火研究樓所建置排煙處理設備之排煙處理量為 2,520 m<sup>3</sup>/h；大型消防研究樓則建置四台排煙處理設備，每一台處理量皆為 49,500 m<sup>3</sup>/h；綜合滅火研究樓之主實驗場地建置一台排煙處理量為 90,000 m<sup>3</sup>/h，而副實驗場地則建置一台 30,000 m<sup>3</sup>/h 之排煙處理設備，如圖 2-18 所示。



圖 2-13 (a)消防衣檢測設備(b)消防頭盔檢測設備

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-14 電線電纜實驗設備

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-15 X 射線透過裝置(X-ray fluoroscope)

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-16 大型消防研究樓

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-17 綜合滅火研究樓之主實驗場

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-18 排煙處理設備之外觀

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

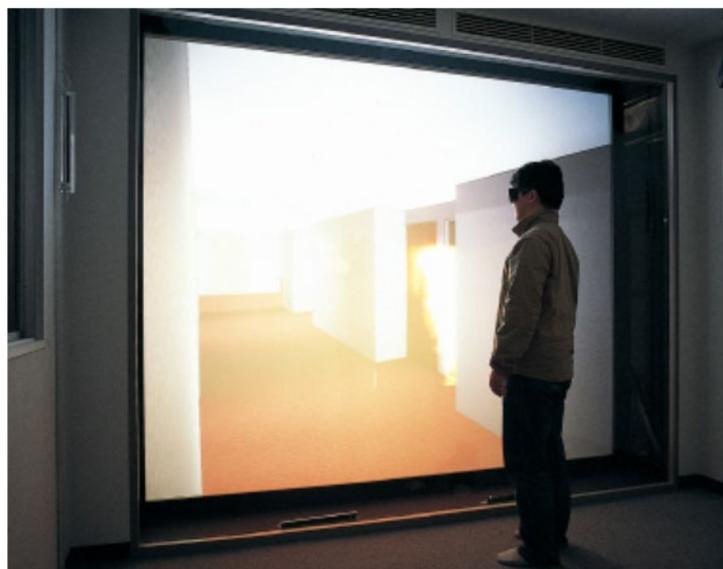
## 二、相關火災科學研究方向

日本國家級火災與災害研究所針對防火與防災之科學進行研究，亦特別針對於特大型災害及複合式災害時之防災搶救設備進行研發。其中相關研究方向可分為 1.確保人口密集度較高之都市的火災安全性；2.預防及撲滅化學性火災與爆炸；3.地震災害與設備老化對油槽保護力之研究；4.大規模災害發生時之消防和防災技術；5.特殊災害之安全應變措施。

### 1. 確保人口密集度較高之都市的火災安全性

近年來發生許多前所未有的規模和種類的災難，包括英國格蘭菲塔火災 (Grenfell Tower fire)及韓國大邱地鐵的縱火案等人為或非人為之重大火災事故，因此研究並預測特殊室內空間之火災發展、煙霧流向和有毒氣體濃度，將能夠有效地支持消防、救援和疏散工作。如地鐵系統綜合體或摩天大樓中之設施，其具有錯綜複雜的連接空間和 HVAC 系統之網絡結構。此類結構中煙霧的蔓延和火災發展明顯與其他一般火災型態不同，例如於 2003 年韓國大邱地鐵火災中的 192 人死亡中，約有 50 名乘客無法及時逃離地鐵車站。因此日本火災與災害研究所開發“火災體驗模擬器”(fire experience simulator)以研究有效的疏散引導方法並模擬火災期間人類之行為模式，該模擬器採用虛擬現實技術，使人們能夠體驗

對實際災難的真實模擬，如圖 2-19。目前日本火災與災害研究所亦正在開發一 CFD 火災模擬軟體，其可利用數字設計數據，如圖 2-20 所示，包括地鐵設施和摩天大樓之 CAD 資料，以預測此類結構中火災的發展及其產生之溫度、煙霧密度和有毒氣體等數據，而該模擬軟體可用於防火措施、消防策略之規劃及消防員之教育和培訓。然而為使火災模擬軟體能夠準確重建實際火災事故，了解燃燒材料的燃燒過程以及它們排放的煙霧和有毒氣體的量如何隨時間變化至關重要，因此創建可燃性測試數據庫亦成為重要之研究項目，藉由蒐集過往所測試過各種材料之基本數據建構整體數據庫，若有未知之材料特性，會進行小尺寸或全尺寸測試以蒐集完整且準確之數據，如圖 2-21 及 2-22 所示。



バーチャルリアリティ技術を使った火災の疑似体験室  
Fire simulator using virtual reality technology

圖 2-19 火災體驗模擬軟體

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

■ 平易な入出力で火災進展を予測できる  
二層ゾーンプログラム  
Two-layer zone model with user-friendly graphical  
interface used to estimate fire/smoke spread

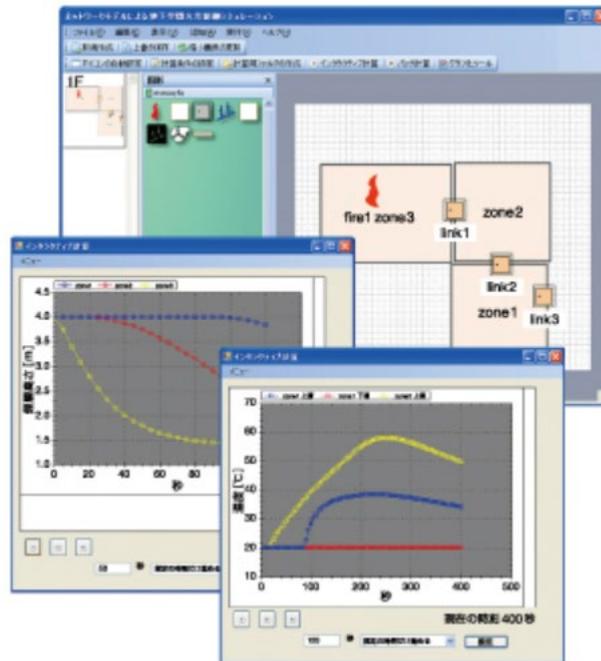


圖 2-20 日本消防研究所開發之 CFD 模擬軟體介面

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-21 實尺寸火災實驗

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

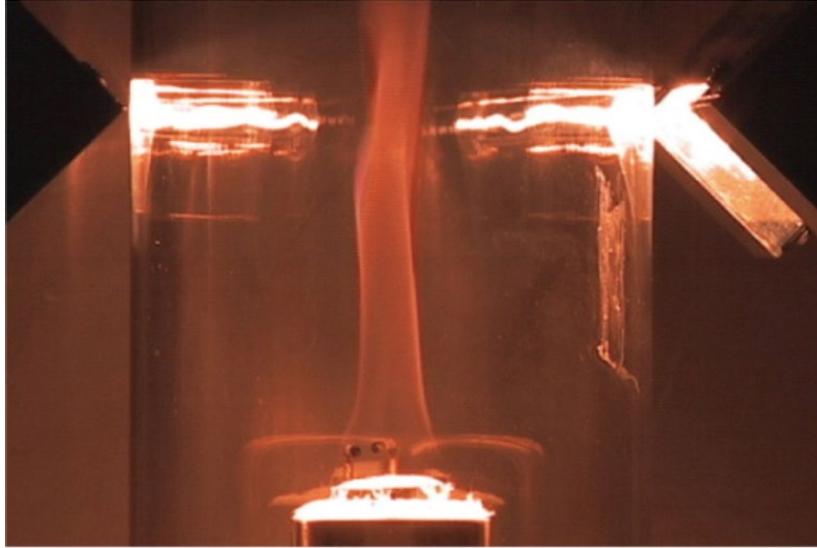


圖 2-22 小尺寸材料燃燒實驗

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

消防員常常處在危險的災難現場工作，促使他們的生命時常處於危害之中，因此對消防員來說，消防衣或防災設備等防護裝備為災害搶救中最重要設備。而由於消防衣所需高耐熱性，所以該衣物之紡織材料非常硬，使得穿著起來較不舒服且較不實用。為提高消防衣之耐熱性、舒適性和功能性能，日本火災與災害研究所嘗試使用各種現有材料開發防護裝備，而新型防護服的開發目前欲使用納米科技進行這一領域之研究，例如納米材料和納米塗層。目前正在評估基於納米技術的防護服所需的耐熱性、舒適性和功能性的新方法和標準，並計劃開發一模擬程軟體，該軟體可通過輸入物理參數來預測防護服之耐熱性，以提升消防員於搶救火災過程中之安全性，

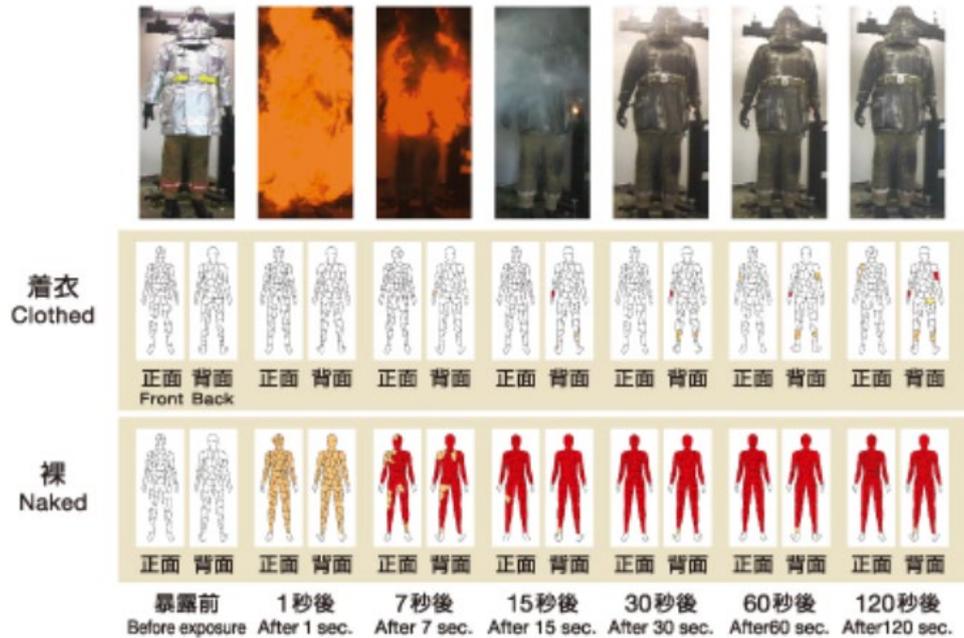


圖 2-23 消防衣於不同暴露時間下之耐火測試度

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

大規模之都市火災可能會引發大量旋轉之氣流而該旋轉的氣團被稱為旋風，不僅會造成重大破壞，亦會將人和物體拋向空中，且由於狂風效應會使得火焰蔓延迅速，甚至可能發展成為火旋風，即火焰成為旋風的一部分。例如 1923 年關東大地震中，因大範圍火災所引起之火旋風席捲一家舊軍隊服裝廠之空地，造成大約 38,000 人死亡。但火旋風形成之條件和機制尚不清楚，因此目前無法有效提供預防之策略，故須進行不同規模之火旋風實驗，以研究火旋風之性質及火旋風在大範圍火災期間發生之條件和機制。圖 2-24 為火旋風形成之火災實驗。而目前可發現發生於地表附近，由火焰順風處移動之複雜氣流及與側風方向相反之氣流，有助於形成火旋風現象，如圖 2-25 所示。



圖 2-24 火旋風火災實驗

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

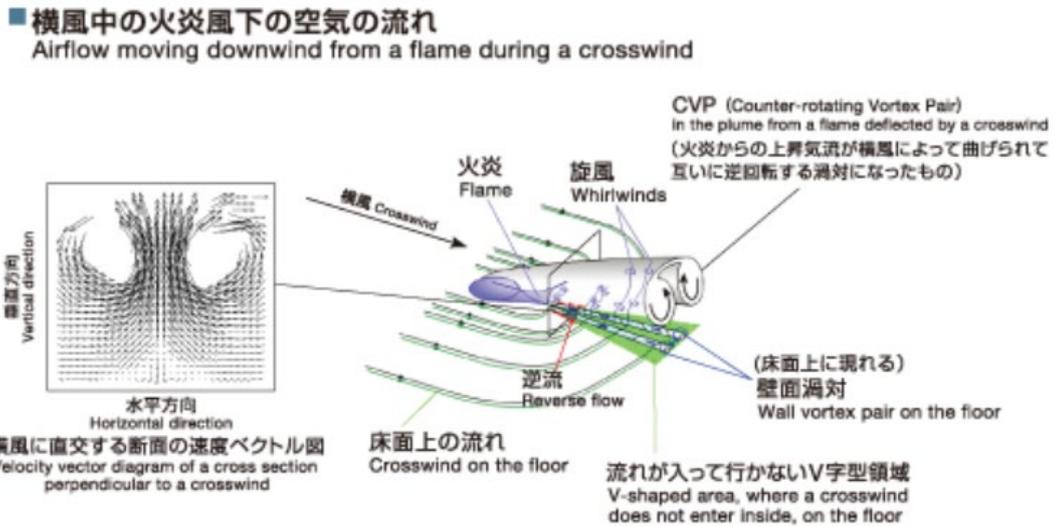


圖 2-25 形成火旋風之空氣流向

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

表 2-6 為近十年內日本國家級火災與災害研究所針對人口密集度高之都市火災的安全性相關研究，表中顯示出主要研究方向著重於消防設備之使用程度及新型防災設備之開發，可提升火災發生時現場狀況之蒐集及投入新開發之防災設備提高整體救災能力。

表 2-6 人口密集度高之都市火災的安全性相關研究

年份	研究主題	主要研究 方向
2012	2010年1月別府市強風下市街地火災の調査—延焼動態、延焼速度および消防活動と、強風による特異な火炎噴出—(Report of the Investigation of Spreading Fire under the Strong Wind in Beppu-city, Oita Prefecture in January 2010— Fire Spread, the Rate of Spread, Fire-fighting Operation, and Peculiar Flame Ejected from Buildings —)	都市火災
2012	火の粉の性状が飛距離に及ぼす影響—2010年1月別府市強風下市街地火災の現地調査に基づいて—(The Influences of Characteristics of Firebrands on the Flight Distance— Based on the Field Survey of the City Fire under the Strong Wind in Beppu-city, Oita, in January 2010 —)	都市火災
2012	2010年1月別府市強風下市街地火災における住民行動に関する調査 (Research on Behavior of Residents in the Large City Fire that Occurred in Beppu-city, Oita, in January 2010)	都市火災
2014	火災の着火源について(Ignition Sources of Fires)	火災調査
2015	シミュレーション技術を火災原因調査に活用するための取り組み (Activity on Application of Simulation Technology to Fire Investigation)	火災調査
2015	現場検知用可搬型赤外分光光度計の物質同定トレーニング用キットの試作(Development on a Training Sample Product for Portable Infrared Spectrometer Using Firefighters in Accident Scene)	消防設備
2015	分析機器の活用による火災原因調査の支援(Support for Fire Cause Investigation Using Analytical Equipment)	火災調査
2016	東日本大震災において津波被害を受けた気仙沼市の市街地で目撃された火災旋風(A Fire Whirl Witnessed in Kesenuma City Struck by a Tsunami Following the 2011 Great East Japan Earthquake)	火旋風現象
2017	熱画像を活用した再燃火災の発生防止に関する研究(A Study on Prevention of Rekindling by Using Thermal Imaging Camera)	消防設備
2018	消防救助活動における無人航空機(UAV)の利活用方法について (Practical Use of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a Fire-Fighting Relief Activity)	消防設備
2018	自律型無人飛行船を用いた災害監視システムとその飛行制御技術の研究開発(Research and Development on Automatic Flight Control Systems of an Autonomous Unmanned Blimp for Disaster Monitoring)	消防設備
2019	水陸両用バギーのパンク対応—ウレタン充填タイヤの開発と実用性評価(A Urethane-filled Puncture-proof Tire for Disaster Rescue Amphibious Vehicles—Reliability Test Results and Usage)	消防設備
2019	住宅火災による死亡率の推移とその変動要因 (A Bayesian Age-Period-Cohort Analysis of Home Fire Fatality Rate in Japan, 1981-2015)	都市火災

(資料來源：本研究自行整理)

## 2. 預防及撲滅化學性火災與爆炸

日本消防法規定容易著火物質和一旦著火後火焰迅速蔓延等難以撲滅的物質定義為危險品，雖傳統上以能採取各種安全措施控制此類危險品。然而隨著工業發展迅速新型工業材料及再生能源等逐漸興起，且其發生火災與爆炸之可能性尚無法完全知曉，因此欲透過危險品風險評估及再生資源與再生能源處理設施之風險評估研究，更加了解新型態災害發生之可能性及危害性並開發有效之滅火策略。圖 2-26 為日本火災與災害研究所測試廢棄物處理設施發生爆炸再現性實驗，實驗中可發現出廢棄物中油跟水的比例可明顯影響廢棄物引燃之時間。而圖 2-27 為廢棄物衍生燃料(Refuse-Derived Fuel, RDF)發熱速度之實驗結果，亦可發現 RDF 中添加水可增加其發熱速度。然而日本火災與災害研究除研究新型態危險物之災害特性，所亦積極進行不同滅火方式之研究，期滅火策略能跟上新穎的工業災害。圖 2-28 及 2-29 分別為泡沫滅火之有效性實驗及泡沫放水塔噴撒距離測試，而表 2-7 則為近十年內日本國家級火災與災害研究所針對預防及撲滅化學性火災與爆炸之相關研究，



圖 2-26 垃圾處理設施發生爆炸再現性實驗

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

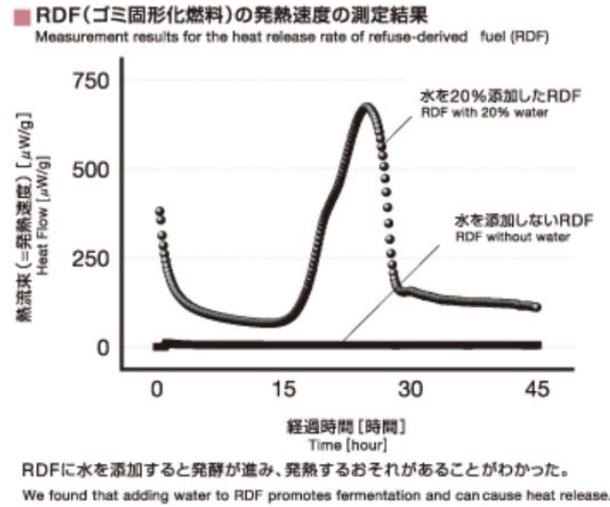


圖 2-27 RDF 發熱速度實驗結果

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

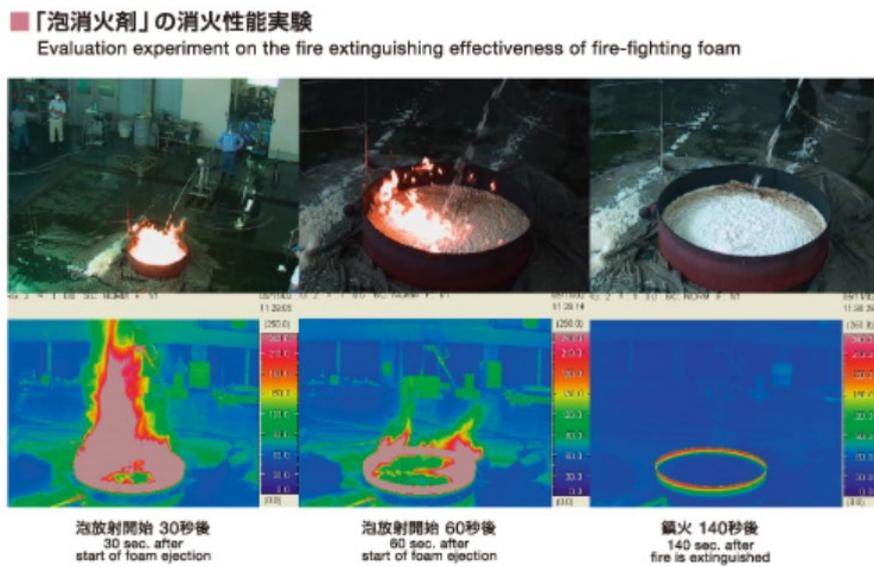


圖 2-28 泡沫滅火之有效性實驗

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

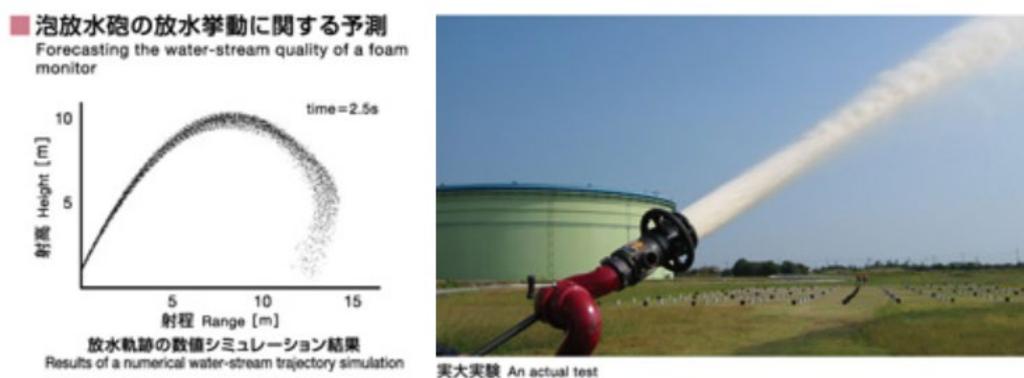


圖 2-29 泡沫放水塔之噴撒距離測試

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

表 2-6 預防及撲滅化學性火災與爆炸之相關研究

年份	研究主題	主要研究方向
2012	金屬粉の微小發熱挙動に与える湿度の影響(Heat Generation Behavior of Metal Particles under Various Humidity Conditions)	化學火災
2012	各種金屬類の事故事例と消防法による危險性評価(Examples of accidents of metals and valuation tests of their dangers)	化學火災
2014	ボイルオーバーの事例と最近の研究(Boilover: Occurrence and Current Research)	油槽火災
2014	火力發電施設の火災事例について(Fires in Thermal Power Generating Plants)	工廠火災
2015	高分子の重合反応と事故事例(Polymerization Reaction and Case History of Accidents)	化學火災
2015	火力發電施設における油類等の漏洩事例について(Oil Spill in Thermal Power Generating Plants)	油類火災
2017	石油タンク火災時のフッ素フリー泡消火薬劑の泡消火効率改善に関する検討(Study on Efficiency Improvement of Foam Extinguishment of Oil Tank Fires)	滅火效果
2017	再生油に關した火災、漏洩について(Accident of Fire, Explosion, and Oil Leak which Occurred in Plants Related with Recycling of Waste Oil)	再生資源
2018	アルカリ金屬火災の消火に關する実験(An Experimental Study on Extinction of Alkaline Metal Fire)	滅火效果
2018	高感度熱量計とガス分析を用いた再生資源燃料等の火災危險性評価方法(Fire Hazard Evaluation Method of Recyclable Resource Fuels and Related Materials using High Sensitive Calorimeter and Gas Analysis)	再生資源
2019	コーンスターチの粉塵爆發実験(Dust Explosion Experiment using Cornstarch)	粉塵爆炸

(資料來源：本研究自行整理)

### 3. 地震災害與設備老化對油槽保護力之研究

日本與我國一樣位處於地震多發之板塊上，且為四周環海之島國型態，因此油槽容易受到地震損害或海風腐蝕造成孔洞發生，則有可能發生大量洩漏使得漏油火災事故頻率呈現上升趨勢。目前油槽腐蝕診斷為每十年進行一次，必須將油槽排空，然後用超聲波測量油槽底部鋼板之厚度。然而此種方法不僅需清空油槽，還需要花費大量精力來尋找所有腐蝕點，而日本火災與災害研究所開發聲發射(AE)波診斷油槽底部腐蝕之方法，AE波是反應腐蝕行為而發出的微弱彈性波，其被認為是由於槽體各個部分腐蝕形成的物質剝落和分裂造成。而AE波可使用連接在槽外的傳感器進行檢測，並利用量測之AE波來估計腐蝕程度，期望後續能於油槽運行時亦能進行底部腐蝕之診斷。圖 2-30 為 AE 波檢測之軟體介面。

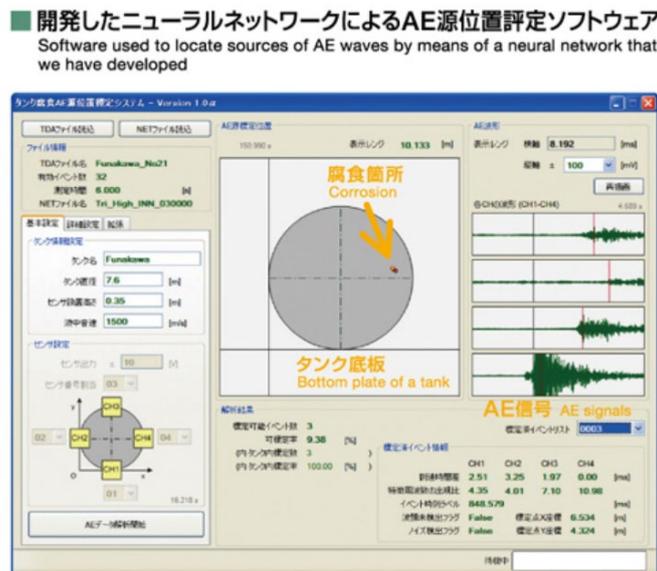


圖 2-30 檢測 AE 波之軟體介面

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

然而頻繁的地震亦容易造成油槽損害亦或是當油槽因長時間(幾秒到十多秒)強烈地面運動而發生震動時，油槽內的油面可能會發生劇烈擺動，如圖 2-31 所示，造成浮頂式油槽的浮頂傾斜並損壞，最終沉入油槽中。為此日本火災與災害研究所積極蒐集地震資訊並加以預測即將發生之地震，提升油槽抗震設計強度，

及預測因晃動而造成油面傾斜之數據，評估浮頂式油槽的安全性設計。並積極開發災害信息系統，該系統可以在地震發生前預測儲槽損壞狀況，並通過使用震動信息計算儲槽殼板中的應力和晃蕩波高來快速估計儲槽損壞。圖 2-32 為工廠內儲槽遭受強震後的損壞程度預測圖。而表 2-8 則為地震災害與設備老化對油槽保護力相關研究。

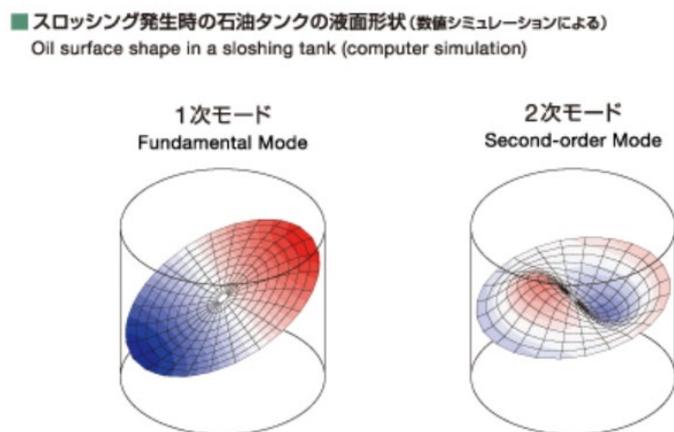


圖 2-31 以電腦模擬因地震晃動所造成之油面傾斜

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-32 工廠內儲槽遭受強震後的損壞程度預測

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

表 2-8 地震災害與設備老化對油槽保護力相關研究

年份	研究主題	主要研究方向
2013	大雨により発生した石油タンク等の事故について(Tank Facilities Accidents Caused by Heavy Rain)	油槽火災
2015	屋外貯蔵タンクの浮き屋根沈没事故への対応及び調査(Emergency Response to the Sunken Floating Roof Accident and Cause Investigation)	浮頂式油槽
2017	石油タンク底板で生じる腐食・劣化及びその評価方法(Corrosion and Degradation of Bottom Plate of Oil Storage Tank and their Evaluation Methods)	油槽腐蝕
2018	ねじの緩みと接触部過熱に関する基礎的研究(Fundamental Study on the Contact Portion Overheating Caused by Screw Loosening)	油槽安全性設計

(資料來源：本研究自行整理)

#### 4. 大規模自然災害發生時之消防和防災技術

自然災害又稱為自然災難，指自然界中所發生之異常現象，該異常現象會給周圍生物及人類社會造成危害，而所有的自然災害有百分之九十跟天氣、水和氣候事件相關<sup>13</sup>。日本位處於板塊交界處且四周環海之島國，因此常有地震及颱風等天然災害，然而當地震及颱風等天然災害發生後可能會引起火災等二次災害，則稱為複合型災害，而消防和防災工作對於保護人民生命和財產免受此類自然災害的影響至關重要。在地震等大規模災害中，受災地區的防災指揮部必須採取極其大量之應急措施，然而，在此情況下，要準確決定何時及如何實施具體措施是極其困難的。日本火災與災害研究所開發一種實時地震損失估計系統，在地震發生後可立即填補實際損失之資訊，如圖 2-33 所示，以及一個使用 PHS 移動通信技術和 TCP/IP 網絡的“FiReCOS”，為消防人員提供一個高效且抗擁塞之通信系統，如圖 2-34 所示，該系統不僅能處理語音及數字數據，亦提供骨導麥克風及免提控制等功能。表 2-9 為大規模自然災害發生時之消防和防災技術相關研究，顯示出近年來日本政府對於大規模複合型災害所造成的危害表現出極高的重視，因複合型災害容易使消防人員搶救負擔加重亦或是於搶救過程中遭遇二次危害而有受傷之可能性。

<sup>13</sup> 施萊茵. 世界气象日关注污染与健康关系. VOA. Mar 24, 2009

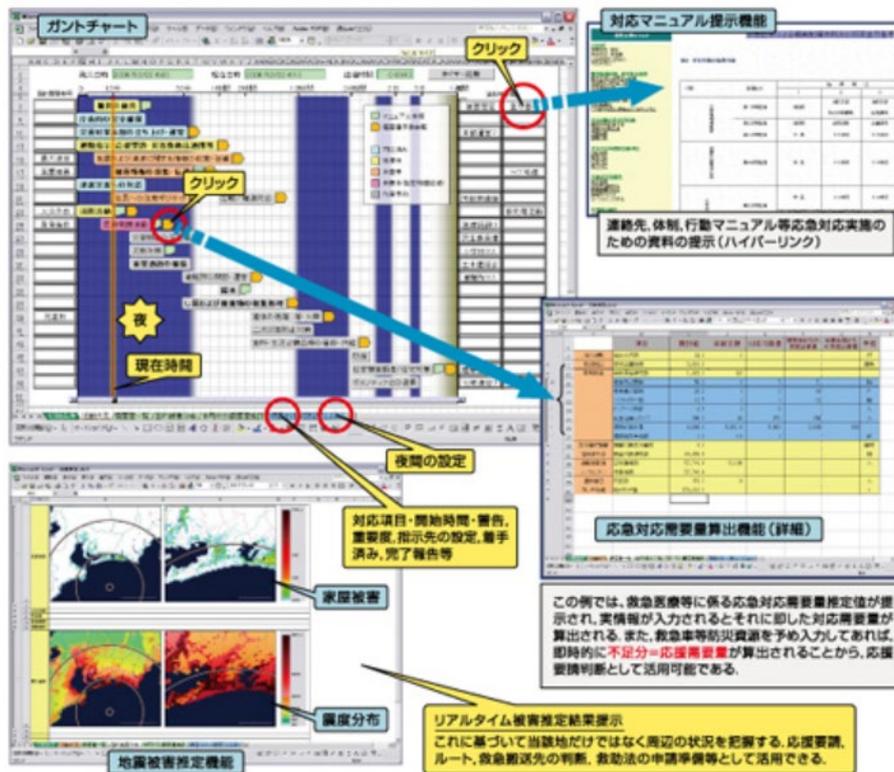


圖 2-33 緊急應變支援系統

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)



圖 2-34 無線通信設備(FiReCOS)裝置

(資料來源：National Research Institute of Fire and Disaster)

表 2-9 大規模自然災害發生時之消防和防災技術相關研究

年份	研究主題	主要研究方向
2012	地図情報を活用した防災情報の収集共有サイクルに関する研究～情報収集方法と EMT 江別体制構築の検証～(A study on Cooperation of Gathering and Sharing the Disaster Information Using Map Information- An Validation of Methods of Gathering Disaster Information and Formulation of the EMT in Ebetsu City-)	地震資訊
2012	平成 23 年台風 12 号による三重県南部及び和歌山県東部における土砂災害の現地調査(Field Investigation of Landslides in Southern Part of Mie Prefecture and Eastern Part of Wakayama Prefecture Caused by Typhoon Talas (1112))	風災資訊
2012	水害時の住民向け防災広報に関する研究(A Study on Flood Disaster Prevention Announcing Sentences to General Public)	防災廣播
2013	東北地方太平洋沖地震時の消防活動に関する調査(Investigation of activities of fire-defences headquartes after the damage of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake)	地震資訊
2016	2014 年 8 月広島市において発生した降雨停止後の土砂災害の要因と土砂災害時の活動の安全確保に関する考察(Factors Affecting Landslides Occurred after Rainfall in Hiroshima City on August 20, 2014, and Safety Management during Emergency Response against Landslide)	複合型災害
2016	2016 年熊本地震時の土砂災害現場における技術支援(Technical Assistance for Search and Rescue Activity in Sites Damaged by Landslides Caused by 2016 Kumamoto Earthquake)	複合型災害
2016	防災対策と「基本的な帰属のエラー」について(The Role of “Fundamental Attribution Error” in Affecting Disaster Prevention Policies)	防災策略
2017	平成 28 年(2016 年)熊本地震後に発生した火災の概要(Sumarry of Fires in the 2016 Kumamoto Earthquake and Countermeasures)	複合型災害
2017	平成 28 年(2016 年)熊本地震での出火件数と出火率(The Number and Rate of Fire Outbreak Following the 2016 Kumamoto Earthquake)	複合型災害

(資料來源：本研究自行整理)

#### 5. 特殊災害之安全應變措施

近年來能源及減碳排放之意識逐漸受到國際間的重視，太陽能光電及風力發電等再生能源興起，太陽能光電為可再生、永續且乾淨的再生能源，不僅可應用於電廠，亦適合用於住宅發電。但目前對於太陽能光電火災並無有效的滅火或是防範策略。因此日本火災與災害研究所特別針對太陽能光電之火災特性及消防人員感電危害進行研究分析，相關研究如表 2-10 所示。

表 2-10 特殊災害安全應變相關研究

年份	研究主題	主要研究方向
2013	火災時における太陽電池モジュールの発電特性(Electricity Generation Characteristic of a Photovoltaic Module in a Fire)	太陽能電池火災
2013	模擬家屋の屋根に設置した太陽電池モジュールの火災時発電特性 (Electricity Generation Characteristic of a Photovoltaic Module Mounted on the Roof of a Mock House in a Fire)	太陽能電池火災
2013	太陽光発電システムの火災と消防活動上の問題点(Photovoltaic Power System Fire and the Issues in Firefighting)	太陽能電池火災
2013	遮光物による太陽電池モジュールの発電抑制効果の検討(Study on Inhibitory Effect on the Photovoltaic Power Generation by Shielding)	太陽能電池火災
2013	種々の火炎光の分光スペクトルと太陽電池モジュールの発電特性 (Electricity Generation Characteristic of a Photovoltaic Module by the Light of Various Flames and Spectrum of the Lights)	太陽能電池火災
2014	太陽電池モジュール燃焼時の生成ガスについて(Degradation Gas at the Time of Combustion of a Photovoltaic Generation Module Constituent Material)	太陽能電池火災
2014	消防活動時の太陽電池モジュールの感電危険性(Electric Shock Danger of a Photovoltaic Module for the Fire Fighting)	太陽能電池火災

(資料來源：本研究自行整理)

### 第三節 中國火災科學相關實驗室

#### 2.3.1 應急管理部天津消防研究所

應急管理部天津消防研究所成立於 1965 年，是中華人民共和國應急管理部直屬之綜合性消防科研機構，位於天津市南開區。應急管理部天津消防研究所本部佔地面積為 24,000 m<sup>2</sup>，而建築面積 20,000 m<sup>2</sup>，其研究領域包括建築防火技術研究、工程消防應用技術研究、火災科學研究、火災原因分析鑑定與相關技術研究、消防標準化技術研究、消防檢測技術研究和消防軟科學技術研究等。應急管理部天津消防研究所下設 6 個所屬研究室、2 個國家級研究中心與 1 個部級研究中心；6 個研究室分別為耐火構件研究室、信息研究室、工程消防研究室、消防規範研究室、火災理論研究室、滅火劑研究室；2 個國家級研究中心為國家消防工程技術研究中心、國家固定滅火系統和耐火構件質量監督檢驗中心；1 個部級研究中心為應急管理部消防救援局天津火災物證鑑定中心<sup>14</sup>。

天津消防研究所下設之機構中則屬國家固定滅火系統和耐火構件質量監督檢驗中心規模最大，其佔地面積為 110,000 m<sup>2</sup>，並建有設施完備之燃燒試驗館、綜合試驗館、建築構件耐火試驗館、氣體滅火試驗館以及其它附屬建築共約 50,000 m<sup>2</sup>。相關實驗設備有柱爐、牆爐、梁板爐、防火閥爐、RTI 風洞試驗裝置、三維激光霧滴直徑測量裝置、消防泵性能測試裝置、水力綜合試驗系統、ADD 試驗裝置、EMC 測試系統、色譜分析儀、微量水分測試儀、氧彈式量熱儀、表面張力儀、激光粒度儀、不燃性測試裝置、1,000 m<sup>2</sup> 垂直升降平台、500W—10MW 量測熱釋放之儀器等大型先進設備<sup>15</sup>。國家固定滅火系統和耐火構件質量監督檢驗中心是經國家質量技術監督檢驗檢疫總局、中國國家認證認可監督管理委員會(CNCA)、中國合格評定國家認可委員會(CNAS)驗收批准並依法授權具有第三方公正地位的國家消防產品質量監督檢驗機構，為第一批 113 個國家級產品質量監督檢驗中心之一。國家固定滅火系統和耐火構件質量監督檢驗中心針對固定滅火

<sup>14</sup> <http://www.tfri-rz.com/html/about/index.html>

<sup>15</sup>

<https://baike.baidu.hk/item/%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E5%9B%BA%E5%AE%9A%E6%BB%85%E7%81%AB%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E5%92%8C%E8%80%90%E7%81%AB%E6%A7%8B%E4%BB%B6%E8%B3%AA%E9%87%8F%E7%9B%A3%E7%9D%A3%E6%AA%A2%E9%A9%97%E4%B8%AD%E5%BF%83/1248947>

系統及零部件、耐火構、配件、防火建築材料和消防藥劑等消防產品的監督抽查檢驗、仲裁檢驗、新產品鑑定檢驗、產品質量認證(發證)檢驗和委託檢驗等各類檢驗。亦按現行國家標準、行業標準和企業標準對承檢產品進行全項檢驗的能力，同時還可提供有關檢驗技術和檢驗設備的技術諮詢和技術服務。國家固定滅火系統和耐火構件質量監督檢驗中心所受理檢查之範圍：

- 1.滅火裝置:自動噴水滅火系統、氣體滅火系統、泡沫滅火系統、乾粉滅火系統、細水霧滅火系統等；自動尋的滅火裝置、乾粉滅火裝置、氣溶膠滅火裝置、懸掛式滅火裝置、櫃式氣體裝置、排油注氮滅火裝置、泡沫噴霧滅火裝置、固定式非電自啓動滅火裝置、注氮控氧防火裝置等；消防給水設備、消防泵組等；室內消火栓、消火栓箱、消防用閘門類、阻火器等。
- 2.建築耐火類:建築耐火牆、梁、樓板、柱、屋面、吊頂等構件；防火門、電梯層門、金庫門、防火捲簾、防火窗、防火玻璃；閉門器、防火鎖等五金件；各種防、排煙閘、消防排煙風機、保險櫃、防火塗料、防火封堵材料；阻燃劑及製品，公共場所阻燃製品及組件、紡織物製品、傢俱及組件、鋪地材料、不燃無機複合板、電線電纜或光纜等。
- 3.滅火藥劑:乾粉滅火劑、泡沫滅火劑、氣體滅火劑、水系滅火劑及氣溶膠滅火劑等。

應急管理部天津消防研究所有事業編制職工 286 餘人，聘用制職工 170 餘人；在事業編制人員中，有專業技術人員 257 餘人，其中高級研究人員 82 餘人，中級研究人員 115 人。擁有碩士及以上學位的人員比例為專業技術人員的三分之一，而擁有享受政府特殊津貼和部級津貼專家 22 人。應急管理部天津消防研究所亦與中國礦業大學、天津大學、天津理工大學合作培養碩士研究生，並成立應急管理部天津消防研究所博士後科研工作站，分批培養在職研究生 41 名及所內擁有博士後研究人員 1 人、博士研究生 6 人、碩士研究生 72 人。

### 2.3.2 中國科學技術大學火災科學國家重點實驗室

中國科學技術大學(以下簡稱中國科大)為中國大陸一所公立研究型大學，校區位於安徽省合肥市，中國科大是中華人民共和國最頂尖的高校之一，現時屬於「QS 世界百強大學」及「泰晤士高等教育世界百強大學」，是「雙一流 A 類」和原「985 工程」、原「211 工程」重點建設大學，隸屬於中國科學院，是一所由中國科學院直屬管理的全國重點大學<sup>16</sup>。而火災科學國家重點實驗室依託中國科大組建之科研機構<sup>17</sup>，為中國大陸唯一研究火災科學基礎研究領域之國家級研究機構。致力於火災動力學理論和火災防治關鍵技術原理的創新，並引領行業技術進步，發揮國家火災安全智庫作用；成為持續科技創新之研究基地，形成以火災理論與防治關鍵技術為主之學科和人才培養體系。

#### 一、實驗場地及設備之資訊

中國科學技術大學與香港理工大學共同投資建造的一座全尺寸大型實驗設施為大空間火災實驗場，其內部高 27 m，長 22.4 m 及寬 12 m。且根據不同特性之火災科學研究需要，經過不斷完善後已建為一座可開展大空間火災特性、煙氣流動與控制、火災探測與噴水滅火等多種研究的綜合實驗場館。圖 2-35 為大空間火災實驗場之外觀。煙氣流動與控制是大空間火災綜合實驗場的一個重要功能，因此實驗場中設有自然排煙系統及機械排煙系統，機械排煙可實現 210,000 m<sup>3</sup>/h 範圍內的排風量調節，最大換氣率可達每小時 27 次，圖 2-36 為機械排煙系統之外觀圖。此外，設置的天窗及上層迴廊的窗戶可用於自然排煙實驗，如圖 2-37 所示。為探討水系統滅火及控火等相關基礎研究，實驗場中亦設置多種形式之噴水滅火系統，可開展撒水噴頭、水幕及水砲等滅火及控火實驗，圖 2-38 及 2-39 分別為自動撒水噴頭及消防水砲之實際噴撒及施放圖。此外為進行全面性測量和記錄數據，實驗場內安裝有多個不同角度之攝影機，以實現對火災實驗的全方位監控，亦研發製造多點及多參數數據採集系統可進行實時數據採集及處理。

<sup>16</sup>

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%AD%A6%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%A4%A7%E5%AD%A6>

<sup>17</sup> <http://sklfs.ustc.edu.cn/5903/list.htm>



圖 2-35 大空間火災實驗場之外觀

(資料來源：火災科學國家重點實驗室)



圖 2-36 機械排煙系統外觀

(資料來源：火災科學國家重點實驗室)



圖 2-37 自然排煙系統之天窗開口

(資料來源：火災科學國家重點實驗室)



圖 2-38 自動撒水噴頭實際噴灑圖

(資料來源：火災科學國家重點實驗室)



圖 2-39 消防水砲實際施放圖

(資料來源：火災科學國家重點實驗室)

表 2-11 展示出火災科學國家重點實驗室研究設備，可發現針對不同類型之火災，實驗室配置不同功能之研究設備，包括森林火災、材料燃燒基本特性、煙密度及低壓低氧條件下之火災等研究。

表 2-11 火災科學國家重點實驗室研究設備

圓錐量熱儀	
	<p>圓錐量熱儀是目前國際上防火測試領域最重要的試驗測試儀器，可按 ISO 5660 或 ASTM E 1354 標準對原材料進行防火性能測試。測量結果既可直接用於防火研究，又可作為相關性分析的數據導入數學模型預測火災發展。</p> <p>圓錐量熱儀直接獲得以下數據：熱釋放速率、點燃時間、臨界點燃熱量、質量損失速率、煙霧釋放速率及有毒氣體(如碳氧化物)生成速率。其中，熱釋放速率則是可以用來計算火場面積、火災增長率及相關的煙氣毒氣釋放速率，且已成為測量材料和製品防火性能的關鍵評估標準。</p>
拉曼激光氣體分析儀 ARI-RLGA-4800	

拉曼光譜(Raman Spectra)屬於振動(Vibration)光譜的一種，原理在於使用固定波長的雷射光源激發樣品，當激發光與樣品分子作用時，如果光子與分子碰撞后發生了能量交換，光子將一部分能量傳遞給了樣品分子或從樣品分子獲得一部分能量，從而改變了光的頻率，這個變化就稱之為拉曼位移(Raman shift)。而此位移的多寡不因為雷射波長而改變，因此可用來了解分子鍵結與結構，並進一步了解分子所處之環境。

RLGA-4800 是一套完整的集成系統，其配備 RLGA-0800 分析儀、IP66 防護機櫃、精密調節機櫃空調、17 寸液晶觸摸屏、4 通路氣體採樣過濾裝置、PLC 控制電磁閥組、自動循環反吹裝置及自動標定裝置。此系統可獨立運行於各種工況條件下，且能夠支持 4 個不同的採樣點循環檢測。

NBS 煙密度箱

煙密度箱是目前國際上材料防火測試領域重要的儀器，並在工業領域得到廣泛應用，可按 ISO 5659 或 ASTM E662 標準於規定之密閉箱內對單位固體樣品燃燒產生煙霧的濃度。用於煙密度箱測試之固體樣品厚 25 mm，置於輻射強度為 25 kW/m<sup>2</sup> 的熱輻射圓錐下，有無引燃火焰均可。亦可配用 ISO5659 錐形輻射錐，與錐形輻射爐配合使用，使密度室之熱通量高達 50 kW/m<sup>2</sup>，並可進行試樣橫向定位測量和試樣質量損失率測量。

煙顆粒群光散射平台



完整的光散射特性可以通過散射矩陣來描述不同顆粒群的散射特性，本實驗台有連續的顆粒群發生裝置，可實現火災煙霧(棉繩、木材、液體火、檀香等)及干擾性顆粒群(灰塵、水蒸氣等)，在得到穩定的測量段後，入射激光作用於顆粒群，發生光散射後由步進電機控制的光學檢測探頭對不同角度的光學信息進行連續檢測，得到不同顆粒群的光學散射全角度信息，為提高通過光散射信息來分辨不同類型的顆粒群提供依據。

#### 單色儀 340S



該實驗裝置由分光儀、控制器、電腦和標準光源四部分組成，分光儀是單色儀系統的核心部件，採用反射光柵進行分光。單色儀可測量獲取輻射目標在相應波段範圍的單色光強度，用於研究各種火焰輻射的特徵光譜，如在滅火劑存在前後火焰特徵光譜的變化等，從而為滅火機制理論研究提供重要實驗參數。

#### 加速量熱儀



加速量熱儀可用於模擬絕熱條件下物質的放熱反應，準確記錄反應時的溫度、壓力及反應速隨時間的變化。利用專用軟件分析得到測量物之反應熱、活化能及達到最大反應速率的時間，為放大生產提供安全數據。

加速量熱儀是唯一可測試低能量和高能量下化工安全藥品的活性和材料失控潛能之技術儀器。樣品測試範圍包括固體，液體和泥漿，漿糊和混合物，樣品質量範圍從不到 1 克至 100 克。並可測量氣體，液體和固體的反應，不論在高壓下，流動氣體環境下，攪拌情況下和加料的情況下，壓力強度和溫度的信息皆可被測定。

#### 細水霧滅火模擬實驗台



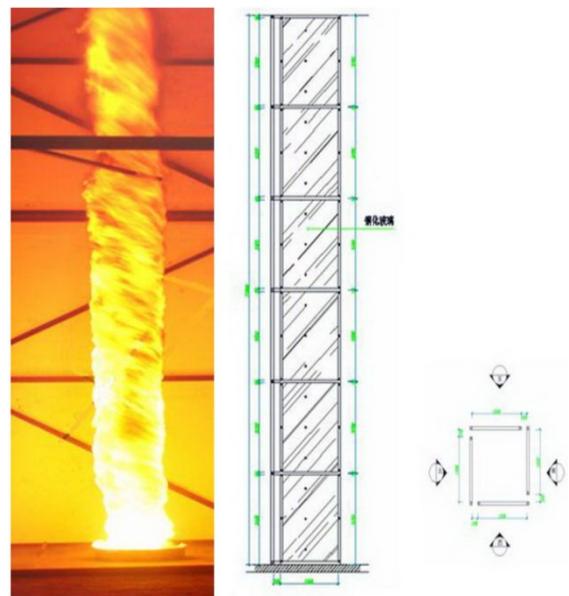
細水霧滅火模擬實驗台採用低壓泵和管網系統，自動化程度高，操作簡便，且能夠開展各種基於細水霧的模擬滅火實驗。可用於研究各種細水霧噴頭之 K 係數、細水霧的特性參數、細水霧對不同類型火災之滅火效能等，可測量細水霧滅火實驗中的火焰溫度、熱輻射通量及特徵氣體濃度變化等多項參數。

步入式低氣壓試驗箱



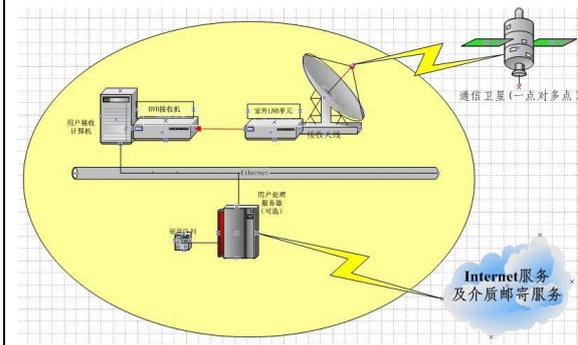
步入式低氣壓試驗箱採用承壓式方型結構，配備自閉式承壓保溫門、雙層鋼化玻璃觀察窗及氧氣、氮氣含量控制系統。自動化程度高，操作簡便，能夠模擬低壓低氧之高原火災環境，可通過有規律的改變低壓艙內的氧濃度和壓力條件研究材料的熱解、火蔓延規律、煙氣特性及探測報警器的響應機制等。

火旋風模擬實驗台



火旋風模擬實驗台為豎形槽道結構，以方管為支撐框架，頂端開口，四面外掛鋼化玻璃，外形尺寸為 2 m × 2 m × 15 m，每邊留有 20 cm 寬的氣流通道，以使進入槽道的空氣產生一個旋轉環量，並與燃燒火焰相互作用誘發火旋風。槽道底端為一個松木板實驗桌面，其尺寸為 2 m × 2 m × 1.5 m，中心有一個直徑 60 cm，深 10 cm 的圓洞，以放置不同尺寸的油盤。該實驗台為國際上最大尺寸的火旋風模擬實驗裝置，且可通過改變燃料和油盤尺寸，從而誘發不同的旋轉環量，並對不同旋轉環量下的火旋風形成、發展和消失現象進行觀察研究，可獲得火旋風的形成機理。

森林火災衛星遙感實驗台



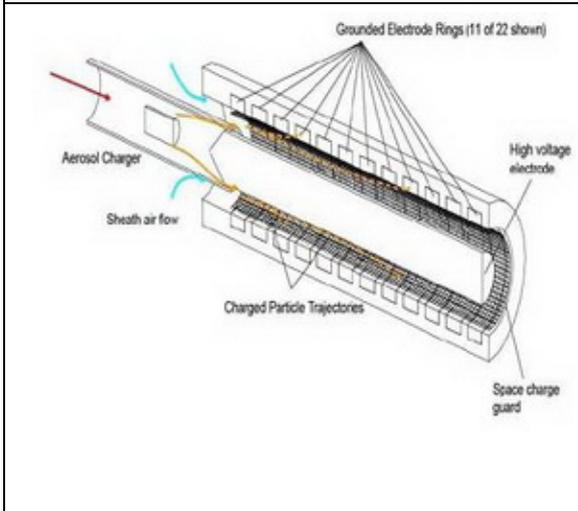
森林火災衛星遙感實驗台主要有兩部分組成：

1. 接收系統:接收天線、室外高頻頭單元、DVBS 接收機和用戶接收機等
2. 處理系統:數據預處理軟件、數據處理和應用軟件、磁盤工作站及圖形工作站等。

該實驗台亦可呈現兩種功能特色:

1. 大尺度熱災害研究平台:基於衛星遙感的森林與城市熱災害探測和監測研究；綜合氣象、可燃物和火災信息，開展火災預測預報研究；利用遙感信息，開展重大熱災害重構研究
2. 多功能社會服務平台:發展熱災害探測、預測、輔助決策技術，直接應用於災害防治領域。

### 快速粒譜儀 DMS500



本儀器採用電暈放電原理使每個粒子帶上預定電荷，然後將帶電粒子導入一個內部存在強電場的分級器圓柱中，粒子在該電場的作用下進行漂移，穿過一個罩子後流至靜電檢測器。於整個圓柱的不同點均對粒子進行檢測，此決定於電子的銅阻力或充電比，最後對 22 個靜電檢測器的輸出進行實時處理，提供光譜數據和其他所需數據，最終得到測量樣本的粒譜分佈，可應用於氣溶膠科學研究領域。

(資料來源：本研究自行整理)

## 二、火災科學相關研究方向

火災科學國家重點實驗室下設有火災科學編輯部，實驗條件部以及綜合辦公室，並設立有 8 個研究室：建築火災研究室、森林與城市火災安全研究室、工業火災研究室、火災風險評估研究室、火災化學研究室、火災監測監控研究室、清潔高效滅火研究室、計算機模擬研究室，及 3 個研究所：安全材料研究所、能源火災安全研究所、航空航天火災安全研究所。

### 1. 建築火災研究室

該研究室以受限空間火災為研究重點，探索火災演化機制與理論、煙氣流動之規律及緊急條件下人群疏散特徵，藉此發展先進火災風險評估方法和智慧應急技術，為建築火災防止與控制提供科學依據。編制內研究室人員包含教授級人員 6 名、副教授級人員 4 名、5 名博士後研究員及 1 名技術工程師。

### 2. 工業火災研究室

針對能源、化工等行業，該研究室探討清潔高效能源利用中的安全科學問題，揭示典型工業場所火災發生的動力學演化機理及其次生災害的誘發機制，發展相應的防治關鍵技術，亦針對危險化學品火災爆炸動力機理及防治技術進行研究。編制內研究室人員包含教授級人員 7 名、副教授級人員 4 名及 5 名博士後研究員。

### 3. 森林與城市火災安全研究室

探討森林與城市及其交界域 (WUI) 開放環境火災之動力學演化機制理論和宏觀複雜性規律，揭示森林與城市火災對建築結構安全和人群疏散的影響機制，發展火災預測預報方法和應急決策技術，為森林與城市火災防治提供科技支撐。主要針對開放環境下火災的形成與蔓延、開放環境下火災的突變機制和特殊火行為、森林與城市火災風險分析與監測預警、森林與城市火災中的結構安全和人群疏散及森林與城市火災的預測預報與應急決策。編制內研究室人員包含教授級人員 8 名、副教授級人員 5 名、4 名博士後研究員及 1 名博士級技術工程師。

### 4. 火災風險評估研究室

發展基於火災動力學和小樣本統計理論耦合的火災風險評估方法學，推動性能化防火設計技術之發展，亦研究封閉空間火災動力學，建立船舶火災安全理論，發展船舶消防安全新技術。主要研究開放環境下火災的形成與蔓延、火災風險評估基本理論、火災統計與風險決策方法、建築火災風險評估方法、建築物防火性能化設計方法、城市區域火災風險評估方法、封閉空間火災動力學、船舶火災安全工程與技術及氣雲火災動力學機理與防治技術研究。編制內研究室人員包含教授級人員 1 名、副教授級人員 1 名及 3 名博士後研究員。

#### 5. 計算機模擬研究室

針對火災動力學演化過程，探討燃燒機制與理論，及研究和發展反應流預測模型、數值方法和計算機數值模擬與仿真技術。主要開發火災與燃燒的計算機高性能數值模擬、火焰結構的實驗診斷技術、反應動力學及熱安全中的人工智能技術。編制內研究室人員包含教授級人員 4 名、副教授級人員 4 名、1 名博士後研究員及 1 名學士級助教。

#### 6. 火災化學研究室

針對火災早期發現與識別的關鍵難題，揭示火災早期標誌性特徵參量的變化規律，研究各種複雜背景干擾下早期火災的識別方法，發展火災早期探測報警、智能安全監控和火災信息場測量等技術，如新型阻燃劑和阻燃聚合物材料、先進聚合物納米複合材料和無機納米功能材料、環境友好阻燃可生物降解聚合物材料、材料火災安全性評價方法和技術、危險化學品事故應急及環境恢復關鍵技術及火災調查關鍵技術。編制內研究室人員包含教授級人員 5 名、副教授級人員 8 名、1 名博士級講師及 8 名博士後研究員。

#### 7. 火災監測監控研究室

針對火災早期發現與識別的關鍵難題，揭示火災早期標誌性特徵參量的變化規律，研究各種複雜背景干擾下早期火災的識別方法，發展火災早期探測報警、智能安全監控和火災信息場測量等技術，如火災過程標誌性參量變化規律、多尺度及特殊環境下火災識別方法、火災探測新技術及應用、智能安全監控技術及其應用及火災信息場測量及重建技術。編制內研究室人員包含教授級人員 1 名、副教授級人員 2 名及 1 名碩士級技術工程師。

#### 8. 清潔高效滅火研究室

針對火災、爆炸及毒物洩漏等災害事故防治的重大需求，研究高效及對環境友好之新型防治技術原理及其方法，並發展具有自主知識產權的火災、爆炸及毒物洩漏事故防治關鍵技術和應急處置技術，藉此培養高層次專業人才。主要研究內容包含清潔高效細水霧滅火技術原理及應用、潔淨高效混合氣體滅火技術原理及應用、潔淨粉基滅火技術原理及應用、清潔高效抑爆技術原理及應用、清潔高效危化品洗消技術原理及應用及多參數激光聯合診斷方法與技術。編制內研究室

人員包含教授級人員 1 名及副教授級人員 2 名。

#### 9. 安全材料研究所

研究災害事故過程中的相關化學問題，發展材料安全設計新方法和新工藝，及研發災害事故預防和安全防護技術和材料。主要研發新型安全功能材料(綠色阻燃劑與阻燃材料，以及防滅火、熱防護、安全儲能、核安全、防腐和抑煙減毒材料等)的研發與工程化應用、材料安全性評估方法與技術、火災物證鑑定方法與技術及危險化學品事故應急處置及環境修復關鍵技術與材料。編制內研究室人員包含教授級人員 1 名。

#### 10. 能源火災安全研究所

針對我國能源行業火災安全的重大需求，發展能源開發和利用中清潔高效的火災防治技術，主要研究項目包含常規能源開發和利用過程中的火災風險評估、安全設計及防控技術、清潔能源開發和利用過程中火災爆炸安全設計及防控技術、鋰離子電池及鋰電儲能系統的消防安全設計技術。編制內研究室人員包含教授級人員 1 名。

#### 11. 航空航天火災安全研究所

針對航空和航天行業中的火災防治問題，研究航空航天器火災孕育、發生、發展的動力學演化機理及其次生災害的誘發機制，發展相應的防治關鍵技術，研發試驗與適航儀器設備。主要開發方向為飛機動力艙和貨艙火蔓延與煙氣輸運規律及火災防控技術、飛機燃油艙、幹艙、彈艙的防火抑爆關鍵技術、飛機防火系統滅火劑濃度測試設備、設計輔助仿真軟件、試驗與適航儀器設備及空間站微重力環境下的火災動力學演化規律與防治關鍵技術。編制內研究室人員包含教授級人員 1 名。

## 第四節 美國火災科學相關實驗室

### 2.4.1 美國菸酒槍砲及爆裂物管理局-火災科學研究實驗室(FRL)

美國菸酒槍砲及爆裂物管理局(Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, ATF) 原隸屬於美國財政部，目前則隸屬於美國司法部、負責對於酒槍砲徵稅、執法和釋法之機構<sup>18</sup>。ATF 於美國馬里蘭州建置美國唯一一個致力於火災和縱火犯罪調查的大型火災科學研究實驗室(Fire Research Laboratory, FRL)<sup>19</sup>，FRL 是美國第一家為火災調查提供現場支持和遠程技術援助等服務的實驗室，獲得 ANSI 國家認證委員會之認證開展火災現場重建相關的分析測試和機電證據檢查。ATF 採用尖端的科學方法測量火災行為之特定數據，包括熱釋放率、燃燒率和煙霧產生量。佔地面積 1570.06 m<sup>2</sup> 之燃燒室，樓高三層樓，旨在幫助調查人員安全地研究大規模火災行為、進行工程分析和改進計算機模型，該研究空間亦允許 ATF 之刑事調查人員進行實際火災現場分析和測試驗證。

FRL 包括高溫實驗室、中型尺寸燃燒實驗場及大型尺寸燃燒實驗場。高溫實驗室主要針對材料本身對於火焰之反應特性，量測儀器包含圓錐量熱儀、質量損失率、火焰延燒測試(Lateral Ignition and Flame Spread Tests, LIFT)及熱重分析法(TGA/DSC)等設備，圖 2-40 為圓錐量熱儀實驗照片。而中型尺寸燃燒實驗場佔地面積為 1114.8 m<sup>2</sup>，實驗場可承受之最大熱釋放率約為 4 MW，並架設有五組氣體收集罩可分別進行五組測試，另利用天然氣燃燒器進行實驗校正，圖 2-41 為中型尺寸燃燒實驗室之實驗照片。大型尺寸燃燒實驗場佔地面積為 1393.5 m<sup>2</sup>，高度為 15.24 m。其設置一方形氣體收集罩，長、寬皆為 18.3 m，如圖 2-42 所示，氣體收集罩下方可容納一棟兩層樓高之建築物，且此實驗場所能承受之最大熱釋放率為 40 MW，而能承受之持續熱釋放率為 14 MW。

<sup>18</sup>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E8%8F%B8%E9%85%92%E6%A7%8D%E7%82%AE%E5%8F%8A%E7%88%86%E8%A3%82%E7%89%A9%E7%AE%A1%E7%90%86%E5%B1%80>.

<sup>19</sup> <https://www.atf.gov/laboratories/fire-research-laboratory>. Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, United States.



圖 2-40 圓錐量熱儀實驗照片

(資料來源：Fire Research Laboratory, FRL)



圖 2-41 中型尺寸實驗場實驗照片

(資料來源：Fire Research Laboratory, FRL)



圖 2-42 大型尺寸實驗場之氣體收集罩

(資料來源：Fire Research Laboratory, FRL)

#### 2.4.2 國家標準暨技術研究院(NIST)-火災研究部門-國家火災研究實驗室

美國 NIST 的位址於美國馬里蘭州，其前身為國家標準局且隸屬於美國商務部的非監管機構之一，目的為促進美國的創新和產業競爭力，並推進度量衡學、標準、技術以強化經濟安全，為改善人類的生活品質<sup>20</sup>。NIST 的研究中心內分別包含有工程實驗室(Engineering Laboratory)、資訊科技實驗室(Information Technology Laboratory)、材料測量實驗室(Material Measurement Laboratory)、物理測量實驗室(Physical Measurement Laboratory)、奈米科技中心(NIST Center for Neuron Research)及通信技術研究中心(Communications Technology Laboratory)<sup>21</sup>。火災研究部門(Fire Research Division)的國家火災研究實驗室(National Fire Research Laboratory)隸屬於工程實驗室<sup>22</sup>，其透過開發、驗證、測量及預測方法來量化火災行為，進一步降低火災對人員、財產和環境的影響方法。需整合實驗

<sup>20</sup>

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E6%A8%99%E6%BA%96%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80>

<sup>21</sup> <https://www.nist.gov/>

<sup>22</sup> <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300>

室測量並利用經過驗證的預測方法及大尺寸火災模擬燃燒實驗，以證明研究用途和價值。圖 2-43 為國家火災研究實驗室之外觀。



圖 2-43 國家火災研究實驗室之外觀

(資料來源：National Institute of Standards and Technology, NIST)

國家火災研究實驗室占地 3000 m<sup>2</sup>，包含有四組 1 MW、3 MW、10 MW 及 20 MW 可量測不同熱釋放率之裝置，圖 2-44、2-45 及 2-46 分別為 1 MW、3 MW 及 10 MW 量熱裝置。該研究實驗室於 2015 年擴建實驗場地並構建強力地板、反力牆及 20 MW 量熱裝置，可進行實尺寸及實場火災試驗，而新建置之強力地板尺寸為寬 18.3 m x 長 27.4 m x 厚 1.07 m 及反力牆尺寸為高 9.1 m x 寬 18.3 m x 厚 1.2 m。20 MW 量熱裝置之集氣罩尺寸為 13.7 m x 15.2 m，離地高 12.5 m，最大集氣流率為 5100 m<sup>3</sup>/min，另加裝兩部 20 噸橋式吊車可供懸吊大型試體使用，如圖 2-47 所示。該研究實驗室除建置大型量熱裝置外，亦建置小型材料或器具實驗室，且均與研究人員研究室相鄰接，而主要實驗設施包含有軟式泡棉座椅家具阻燃性測試裝置、地坪材料及壁裝材料延燒性測試裝置、NIST 自製消防人員設備耐高溫測試裝置、圓錐量熱儀及 NIST 自製圓錐量熱儀，如圖 2-48 至 2-53 所示。



圖 2-44 1 MW 量熱裝置<sup>23</sup>

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-45 3 MW 量熱裝置

(資料來源：內政部建築研究所)

<sup>23</sup> 王天志，考察實大規模建築複合災害驗證技術及實驗設施，內政部建築研究所，2015。



圖 2-46 10 MW 量熱裝置

(資料來源：內政部建築研究所)

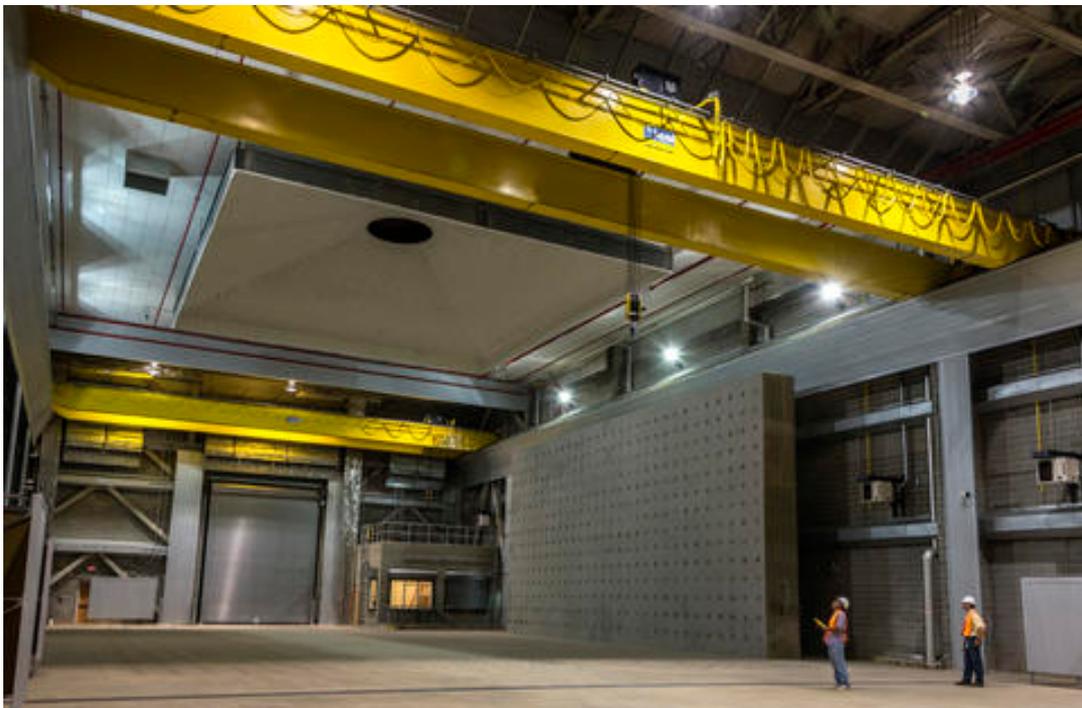


圖 2-47 20 MW 量熱裝置、反力牆及橋式吊車

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-48 軟式泡棉座椅家具阻燃性測試裝置

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-49 地坪材料延燒性測試裝置

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-50 壁裝材料延燒性測試裝置

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-51 NIST 自製消防人員設備耐高溫性測試裝置

(資料來源：內政部建築研究所)



圖 2-52 圓錐量熱儀

(資料來源：內政部建築研究所)

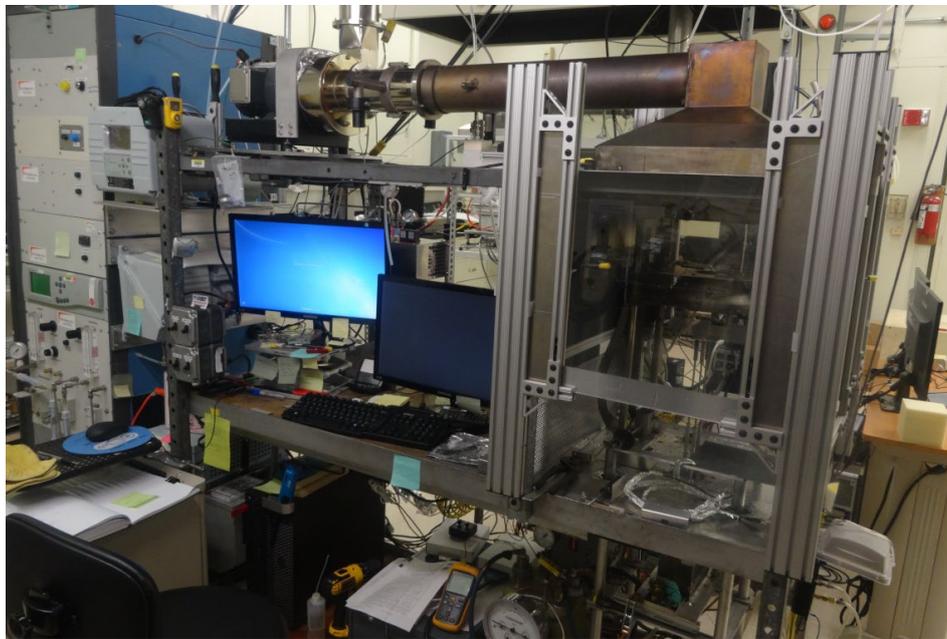


圖 2-53 NIST 自製圓錐量熱儀

(資料來源：內政部建築研究所)

### 2.4.3 FM Global 火災研究中心

Factory Mutual Insurance Company (FM Global) 是一家美國互助保險公司，總部位於美國羅德島州約翰斯頓，在世界各地設有辦事處，專門為全球高風險(HPR)財產保險市場領域的大公司提供損失預防服務。該公司採用非傳統的商業模式，風險和保費由工程分析確定，而非基於歷史的精算計算。此種商業方法之核心是相信可以防止或減輕財產損失，而 FM Global 工程人員亦定期訪問受保地點以評估危險並建議改進其財產或工作實踐，減少發生損失時的物理和財務風險<sup>24</sup>。為精準分析風險危害，FM Global 於美國羅德島州西格洛斯特興建一處佔地約為 648 公頃之研究園區，如圖 2-54 所示，主要所做的研究工作有助於防止和減少全世界之財產損失，並提供產品公正之第三方認證。



圖 2-54 FM Global 所屬研究園區

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

FM Global 研究園區主要可分為四種不同研究實驗室，分別有 1.消防技術實驗室；2.液壓實驗室；3.天然災害實驗室；4.電氣危害實驗室。每個實驗室皆配備最先進之技術，並於設計時考慮業主、產品製造商和不斷發展的行業趨勢，使研究單位能夠應對新建倉庫更高天花板，可減少設置和拆除測試所需的時間，並更真實地模擬自然災害的影響。

<sup>24</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/FM\\_Global](https://en.wikipedia.org/wiki/FM_Global)

### 1. 消防技術實驗室

消防技術實驗室是該研究園區之核心，探討火災及其對不同類型材料之影響，並測量不同材料配置之熱釋放率，評估委託單位所生產和使用之不同產品的可燃性和防護要求。該消防技術實驗室亦是世界上同類型研究設施中最大的，其建築物面積為 10,000 m<sup>2</sup>，並建置一面積為 3,120 m<sup>2</sup> 之大型燃燒實驗室及五個建築材料防火測試實驗室。建置濕度控制系統期能於火災實驗前有效地控制室內溼度及產品和材料之水分調節，並確保測試之一致性。濕度控制系統的空氣循環速度高達 49 m<sup>3</sup>/s，每小時可去除多達 900 公斤的水，如圖 2-55 所示。然而大型燃燒實驗室中為模擬不同儲存高度或不同類型之倉庫火災，該實驗室中建有兩個 24 x 24 m 之活動式天花板，其高度最高可調至 18.3 m，因此可允許調整倉儲貨架高度由 1.5 m 至 16.8 m。圖 2-56 及 2-57 分別為倉儲火災於高天花板下之實驗及 Intermediate bulk containers (IBC) 火災實驗。然而針對不同尺寸之火災設置不同大小之氣體抽氣罩，藉由蒐集氣體並進行分析，可量測熱釋放率、煙濃度及氣體濃度等燃燒基本數據。該實驗室中建置 4 個適合不同火災尺度之抽氣罩，如圖 2-58 所示，其中包含有目前國際間所使用最大測量尺度之氣體抽氣罩，其直徑為 11 m，可量測最大之火源熱釋放率達 20 MW，如圖 2-59。



圖 2-55 濕度控制系統

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-56 倉儲火災於高天花板下之實驗

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-57 IBC 火災實驗

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-58 適合不同火災尺度之抽氣罩

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-59 於 20 MW 之抽氣罩下方進行大型倉儲火災實驗

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

執行大型火災實驗過程中常常會對周圍環境造成汙染，如濃煙、滅火用水及

剩餘之廢棄物等。因此 FM Global 為將其進行之消防技術研究對周圍環境之影響降至最低，其設置濕式靜電除塵器排放控制系統、閉環式水處理系統及廢棄物乾燥壓實機。火災實驗所產生之廢氣及濃煙採用濕式靜電沉澱技術，可有效去除氣流中的灰塵和煙霧等細顆粒物，該系統每分鐘可淨化超過 6,800 m<sup>3</sup> 之空氣。圖 2-60 為濕式靜電除塵器排放控制系統外觀。閉環水處理系統可用於清潔和回收用於滅火的汗水，若水無法回收，則會利用卡車運至偏遠地區進行安全處理。而該系統設計用於每分鐘可處理 760 L 之水量，且系統中的水會定期進行檢測以確保其品質，如圖 2-61 所示。圖 2-62 為廢棄物乾燥壓實機，為減少火災實驗燃料浪費，廢棄物乾燥壓實機可更容易地儲存和回收用於研究和測試的紙板、木材和其他材料，對所有回收之廢棄物進行評估和分類，任何可燃垃圾都被送往廢棄物發電設施，有助於保護自然資源並降低處置成本。



圖 2-60 濕式靜電除塵器排放控制系統

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-61 閉環式水處理系統

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-62 廢棄物乾燥壓實機

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

## 2.液壓實驗室

火災是全球財產損失的主要原因，但通過國際間相關研究證實，適當使用消防設備(如:撒水頭)保護廠房，毀滅性的火災損失確實是可避免。而 FM Global 亦設立液壓實驗室建立防火設備性能標準，並透過嚴格的測試提供防火設備第三方公正之認證。液壓實驗室佔地面積 2,070 m<sup>2</sup>，建有七台立式渦輪泵能夠分別在 125

psi 或 250 psi 下產生總流量每分鐘 38,000 L 或每分鐘 13,200 L，而在 500 psi 下之高壓流動能力為每分鐘 2,840 L，整體供水量總計可達 380,000 L。該實驗室亦設有濕式和乾式實驗測試區，可分別在此對消防系統組件和相關設備(如撒水器、聯軸器和閥門)進行各種液壓、機械和環境測試，如圖 2-63 所示。圖 2-64 則為撒水頭噴撒密度測試，測試撒水頭於固定噴撒範圍內之水量密度分布是否均勻。



圖 2-63 濕式液壓實驗測試區

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-64 撒水頭噴撒密度測試

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

### 3.天然災害實驗室

風暴、洪水和地震等天然災害都會對人民生命與財產構成重大威脅，因此 FM Global 建立天然災害實驗室進行預防或降低天然災害對人民財產之影響研究，進一步了解導致建築材料失效的原因及設計建築物以抵抗大自然災害影響的最佳方法，使天然災害的潛在損失可以大大降低。天然災害實驗室佔地面積為 6,700 m<sup>2</sup>，可複製最惡劣之天氣現象重現 282 公里/小時的颶風強度風，此強風可真實測試玻璃的強度和建築材料之耐久性，特別是屋頂和外牆系統，如圖 2-65 所示。此外，為評估並預防地震災害造成之風險，實驗室亦建置一面積為 9.3 m<sup>2</sup> 之地震模擬振動台，如圖 2-66 所示，此振動台可模擬地面或多層建築之各個樓層所有強度之三維地震運動，從而研究地震振動對結構和非結構系統(如設備、管道和存儲)之影響。地震模擬振動台安置於一深度為 4 m，長與寬分別為 10 及 11 m 之混凝土凹槽，其鋼筋混凝土反力塊重達 910,000 公斤用以吸收振動台所產生之振動，而振動台可移動之有效載荷為 4.5 公噸，加速度高達 3g(重力加速度的三倍)。

此外天然災害實驗室亦研究極端氣候等危害，配備強大之氬弧紫外線(UV)加速氣候計、冰雹槍及碎石炮，分別用以測量太陽紫外線輻射對長期暴露在外的

建築材料之影響、發射不同大小之冰球來模擬中度和嚴重的冰雹風暴及以用語真實颶風相匹配之速度發射模擬木頭或其他硬物，以確定門、窗和牆板的抗衝擊性。

圖 2-67 為冰雹槍之實際發射圖片。



圖 2-65 屋頂膜進行起風測試

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

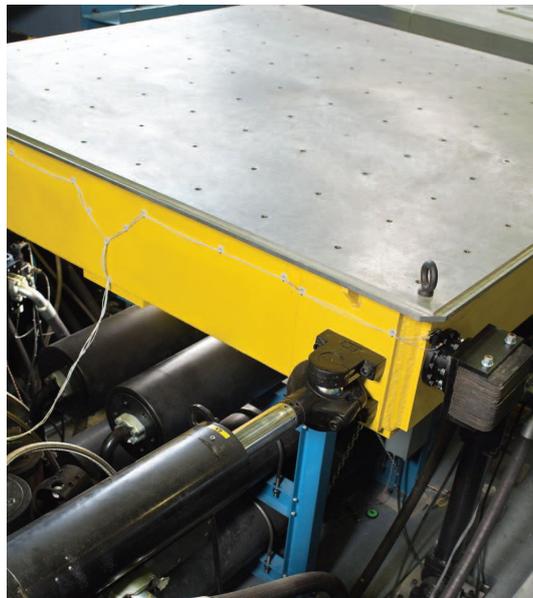


圖 2-66 地震模擬振動平台

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)



圖 2-67 冰電槍實際發射圖

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

#### 4. 電氣危害實驗室

在含有易燃氣體、易燃液體或可燃粉塵的建築物中，電氣點火源一直被確定為火災和爆炸的三大原因之一，為確保設備在正常運行或故障條件下不會點燃灰塵或任何類型之易燃氣體、液體或蒸汽。一佔地面積為 560 m<sup>2</sup> 之實驗區域，以測試和驗證用於危險場所之防爆和防火電氣設備，該實驗區域包含爆炸環境測試單元區域，其可測試大型外殼和電機設備，包括採礦應用設備；另一測試單元專門用於靜水壓過壓測試、環境外殼入口保護和鹽霧室，可加速金屬腐蝕過程以更快地得出研究結論，如圖 2-68 所示，而非金屬部件同樣暴露於刺激性化學品和高溫下，以驗證它們不會隨著時間的推移而降解。

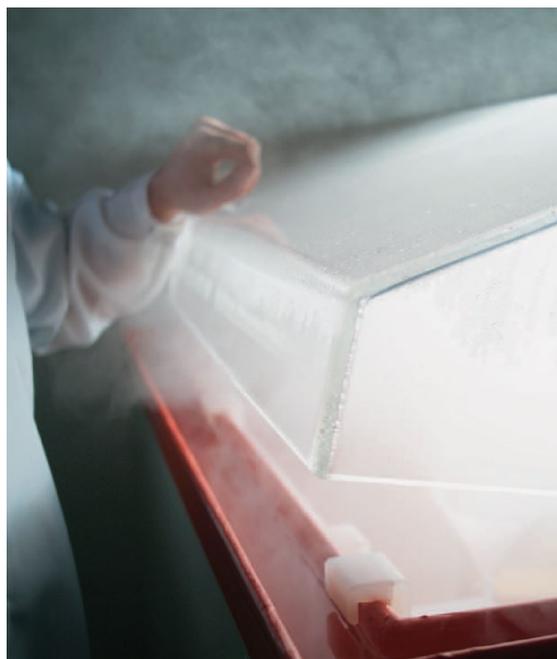


圖 2-68 金屬物件進行鹽霧測試

(資料來源：Factory Mutual Insurance Company, FM Global)

### 第五節 火災模擬實驗室基本配置

火災往往造成人員傷亡或財產損失，且又因無法事先預測其發生及成長情形，更加劇火災的危險程度，因此為降低火災危害及對於建築物種類、內部結構、裝潢情形、火災處所及火災原因等相關資訊，實有建立科學調查資料之必要。又日本、中國及美國等國皆有建置國家級火災模擬燃燒實驗室，其中大尺寸火災模擬燃燒設備為必要的實驗設備之一，藉由大尺寸的火災實驗能夠更加還原實際真實火場情況，能夠更好的進行火災調查。然而各國火災模擬燃燒實驗室亦建置不同型式之小尺寸火災試驗設備，可透過小尺寸火災實驗進行材料或燃料之基礎數據蒐集並進一步分析及量化結果。

表 2-12 為本研究團隊參考各國火災模擬燃燒實驗室所建置之設備，可歸納出不同尺度之量熱裝置為火災模擬燃燒實驗室之必要建置設備之一，因此建議我國火災模擬燃燒實驗室可建置一 40 MW 及 10 MW 之量熱裝置。其中 40 MW 量熱設備所需之佔地面積需達 1300 m<sup>2</sup> 以上，高度需達 15 m，且其方形氣體收集罩之長及寬皆需達 13 m。大尺度量熱設備可針對實尺寸火災現象進行模擬燃燒，使火災原因調查更接近事故現況，更能重現火災當時原貌。而 10 MW 量熱設備所需之空間較 40 MW 小，其佔地面積需達 700 m<sup>2</sup> 以上，高度需達 13 m，且其氣體收集罩之長及寬皆需達 6 m 以上，可針對中型尺度火災實驗進行熱釋放率及煙氣分析。亦可建置小尺度燃燒試驗設備，如圓錐量熱儀等設備，可透過小尺度燃燒試驗蒐集材料或燃料本身基礎發熱及發煙之數據，亦或是撒水後材料燃燒現象之變化並加以量化，進一步利用小尺度燃燒試驗數據預測實尺寸之火災成長情況。

本研究團隊已前往內政部消防署蒐集後續將進駐火災模擬燒實驗室之小尺度試驗設備，蒐集之設備名稱、數量及尺寸統整如表 2-13 所示，建議火災模擬實驗室應規劃可容納表中試驗設備之空間，並規劃活動路線及設備位置配置。主要實驗設備包含有氣相層析質譜儀、實體顯微鏡、微波消化裝置、全自動熱卡計、顯微傅式紅外線光譜儀及熱分析儀，如圖 2-69 至圖 2-74 所示，其中氣相層析質譜儀為結合氣相層析和質譜法的特性，以鑒別混合物中不同成分的方法；實體顯微鏡是具有比顯微鏡更高的倍率，並可透過螢幕進行觀測；微波消化裝置是將適

量樣品和一些具極性或離子性的溶液(通常為無機酸)放在微波易穿透的密閉反應瓶中，由於微波的照射使得樣品液快速加熱及壓力提升，在短時間內便使得樣品被完全消化及溶解；顯微傅式紅外線光譜儀為研究分子結構及鑑定化合物與官能基之儀器；熱分析儀則為量測材料的熱性能、熱重分析及相變數據；全自動熱卡計則是將待測物置於彈卡計的燃燒器中，灌入氧氣後，引燃使之燃燒，藉由觀測燃燒所引發固定量的水溫增加之溫度，即可推算該物質燃燒所放出的熱量，且精確度及可靠度較佳，因此被廣泛應用於能源科技、燃料工程各種領域。然試驗設備皆有使用年限且可能因科技進步而需進行設備升級或進行更換，表 2-14 則為實驗室需汰換及升級之儀器，並提出其升級或汰換該儀器所需之經費。

**表 2-12 各國火災模擬實驗室建置設備比較表**

	台灣	日本(NRIFD)	中國	美國
建築防火(梁柱、門及捲門等試驗設備)	建築研究所 成大防火中心	—	天津消防研究所	—
消防設備(撒水頭、火警偵測及避難設備)	消防安全中心 基金會 中華民國消防技術顧問基金會	消防機械研究大樓	天津消防研究所	—
大尺度火災模擬空間	建築研究所 (10 MW)	綜合滅火樓	天津消防 (10 MW) 中國科大	FM Global (20 MW) ATF (14 MW)
小尺度火災模擬空間	建築研究所 (1 MW)	綜合滅火樓	天津消防 (500 W) 中國科大	FM Global (5 MW) ATF (4 MW)
環境污染控制設備	建築研究所	最大排煙處理量為 $90,000 \frac{m^3}{h}$	中國科大 (最大排煙處理量 $210,000 \frac{m^3}{h}$ )	FM Global (排煙最大處理量 $3408,000 \frac{m^3}{h}$ )

表 2-13 內政部消防署現有之火災試驗設備

編號	名稱	台數	寬 (cm)	深 (cm)	長 (cm)	淨空 大小	桌 式	上接 排氣 管
1	氣相層析質譜儀 (GC/MS)【7890-5977】	1	88.5	66	93	50	V	V
2	氣相層析質譜儀 (GC/MS)【7890-5975】	1	88.5	66	93	50	V	V
3	氣相層析質譜 (GC/MS)【6890-5973】	1	88	52	88.5	50	V	V
4	氣相層析質譜 (GC/MS)【6890-5973】	1	88	52	88.5	50	V	V
5	氣相層析儀 GC-FID/NPD&HEADS PACE)【6890】	2	88	52	88.5	50	V	V
6	氣相層析儀 (GC-FID/TCD/PTI) 質 譜儀【6890】	1	88	52	88.5	50	V	V
7	氣相層析原子發射光 譜偵測器(GC-AED) 【6890】	1	88	52	88.5	50	V	V
8	氣相層析儀(GC-FID) 【VARIAN 3800】	1	97	64	85	50	V	V
9	微波消化裝置	1	53	57	75	27	-	-
10	顯微傅式紅外線光譜 儀 (MICRO-FTIR) 【BIO-RAD】	1	48	35	36	-	V	-
11	傅式紅外線光譜儀 (FTIR)【BIO-RAD】	1	110	53	93	-	V	-
12	熱分析儀 (TGA/DTA)/MS 【PERKINELMER】	1	77	53	32	-	V	V
13	離子層析儀	1	66	41	85	48	V	-
14	螢光光譜儀	1	68	67	33	16	V	-
15	電子顯微鏡(SEM) 【HITACHIS-3500N】	1	108	110	151	84	V	-
16	能量發散光譜儀(EDS)	2	28	25	33	-	V	-

【NORAN 3050】								
17	倒立式金相顯微鏡 (100X,200X,500X,1000X 及工程材料影像分析系統)	1	88	73	89	-	V	-
18	實體顯微鏡(90X)	2	88	73	89	-	V	-
19	金相觀察前處理設備 (鑲、研磨、拋光機等)	2	35	55	40	30	V	-
20	金相觀察前處理設備 (電解拋光機)	1	88	53	59	24	V	-
21	電源銅線及無熔絲開關溫昇試驗器	-	49	42	33	-	V	-
22	灰化爐(1200°C)	-	77	42	62	10	V	-
23	高溫爐(1400°C)	-	43	60	65	10	V	-
24	圓筒式高溫爐(1200°C)	1	50	66	70	10	V	-
25	烘箱	1	76	55	56	10	V	V
26	大型烘箱	-	95	65	91	8	V	-
27	全自動熱卡計	1	68	45	52	13	V	V
28	自動微量水分測定器	-	42	33	40	10	-	-
29	真空減壓濃縮機	1	77	66	70	0	V	-
30	精密恆溫水槽 F34-MD	-	39	58	41	17	V	-
31	精密恆溫水槽 F26-MH	-	42	42	42	23	V	-
32	煙霧試驗機	1	60	42	47	10	V	-

(資料來源：本研究自行整理)



圖 2-69 氣相層析質譜儀(GC/MS)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 2-70 實體顯微鏡

(資料來源：本研究自行整理)



圖 2-71 微波消化裝置

(資料來源：本研究自行整理)

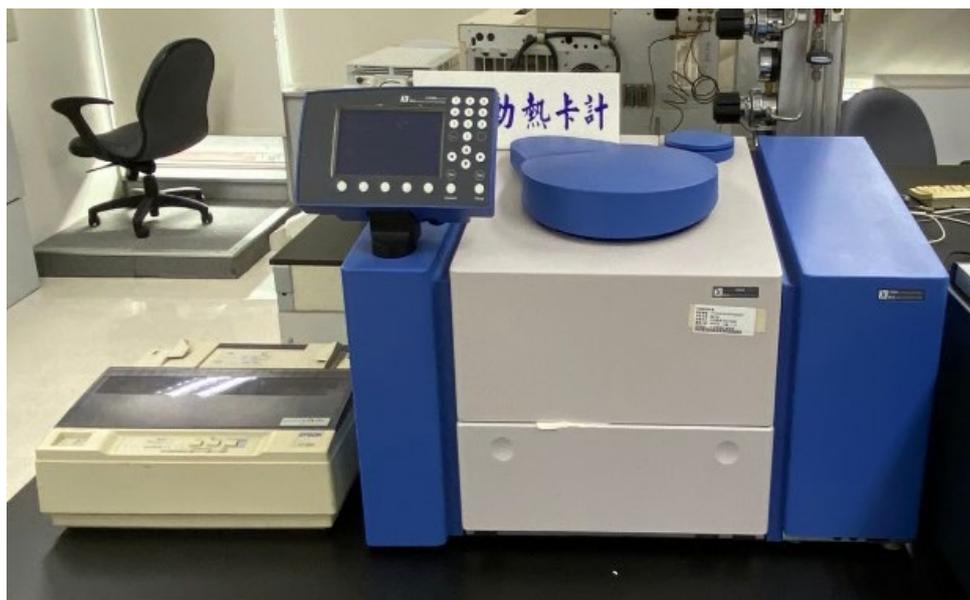


圖 2-72 全自動熱卡計

(資料來源：本研究自行整理)



圖 2-73 顯微傅式紅外線光譜儀

(資料來源：本研究自行整理)

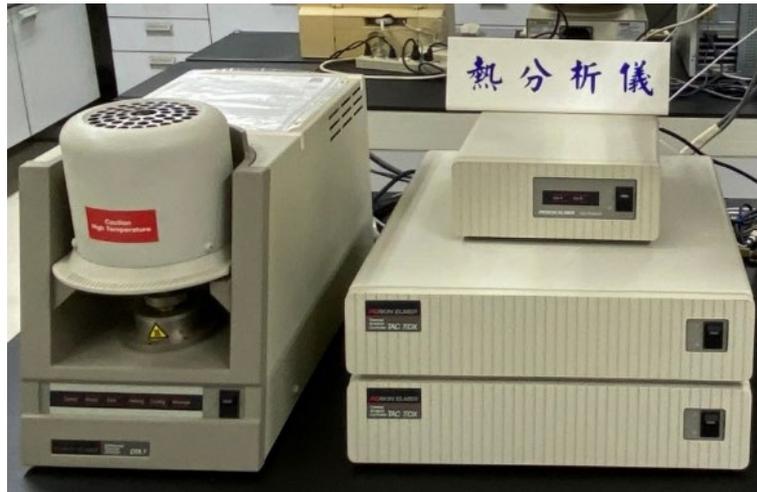


圖 2-74 熱分析儀(TGA/DTA)/MS

(資料來源：本研究自行整理)

表 2-14 內政部消防署現有儀器汰換及升級所需經費

實驗室儀器汰換及升級		
分類	品名	預估經費(萬元)
設備升級	X 光機	400
	Pyro-GCMS	650
	GCMS	350
應汰換設備	數位實體顯微鏡	350
	金相顯微鏡	300
	FTIR	300
	SEM/EDX	600
新技術設備	3D 環景現場重建建模(112 年 5G 案)	300
	混凝土超音波火傷檢測儀	60
	電腦斷層掃描系統(CT)	3,000
小計		6,310

(資料來源：本研究自行整理)

## 第三章 火災模擬實驗室設計概念

根據前述參考各國火災模擬燃燒實驗室所建置之主要設備，可歸納出建議設置不同尺度之量熱裝置，包含建置一 40 MW 大型實尺度量熱設備及 10 MW 之中型實尺度量熱設備裝置，以及可建置小尺度燃燒試驗設備，如圓錐量熱儀等設備，進一步利用小尺度燃燒試驗數據預測實尺寸之火災成長情況。本章即針對為提出規劃火災模擬實驗室建議。

### 第一節 基地基本資料概述

#### 一、基地位置

本火災模擬燃燒實驗室預定建置基地位於內政部消防署訓練中心。訓練中心基地位於南投縣竹山鎮社寮社區，基地面積約 109 公頃，西邊鄰台三省道，北距名間鄉約 3 公里，南距竹山鎮約 8 公里，東距集集鎮約 5 公里，並鄰近名間交流道及竹山交流道。

消防署訓練中心係行政院於 90 年 12 月 5 日核准「設立內政部消防署訓練中心三年中程計畫」，97 年 1 月 7 日核定「設立內政部消防署訓練中心計畫」，於 99 年 1 月 19 日消防節正式啟用。後續持續建設訓練園區，行政院於 103 年 10 月 1 日核定「內政部消防署訓練中心充實建置中程計畫」，擴建教室、餐廳、宿舍及模擬訓練場區，計畫分為兩階段進行，二期教室、餐廳、宿舍於 106 年 9 月落成啟用，目前持續辦理擴其他建訓練場區工程。

本案火災模擬實驗室預定位置位於內政部消防署訓練中心東側區域，預定基地西臨 12 M 訓練中心內環道路，北臨小型燃燒實驗室，南臨搜救犬訓練場，東臨未開發區域(如圖 3-1)。



圖 3-1 內政部消防署訓練中心位置圖

(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)



圖 3-2 火災模擬實驗室位置圖

(資料來源：內政部消防署訓練中心)



圖 3-3 火災模擬實驗室空拍圖

(資料來源：內政部消防署訓練中心)

## 二、地形、地勢及坡度

訓練中心整體基地地勢為東北高，西北低，鄰接「台3省道」與名大橋南端處較低，整體而言地勢平坦。基地地形除局部小區域因地表構造物，如堤防及堆置砂石外，整體地形起伏甚小。全區之平均坡度僅約為1%，另由基地全區約有一半之區域為無坡向(即地勢平坦)，其餘部分因整體地勢平坦，各局部小區域之坡向僅顯現出局部的坡度變化，故較無一定之規則。(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)

## 三、土地使用計畫

本訓練中心土地使用計畫依據「內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書」規定內容如下：

依據「區域計畫法施行細則」之規定，因為訓練中心用地，應劃定為特定專用區。使用地編定方面，依據「非都市土地開發審議作業規範」，基地需劃設必要之保育區，應編定為國土保安用地，其面積為扣除不可開發區面積後剩餘之百分之三十，計算時不得包含道路、公共設施、公用設備，且不得於區內劃設建築

基地另依據「水土保持技術規範」規定，永久性滯洪池應編定為水利用地。除依法編定上述二種用地外，本訓練中心的道路與停車場編定為交通用地，其餘地均編定為特定目的事業用地(參見表 3-1 及圖 3-5)。另使用強度與建築量體管制目的，為有效控制訓練中心開發密度，調和建築實體與開放空間之視覺與效果，以創造優美的活動與訓練環境。本訓練中心之土地使用強度，依據「非都市土地使用管制規則」之規定研擬訂定，其建蔽率、容積率管制標準如表 3-1。(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)

如上所述本案火災模擬實驗室目前預定位置之土地編定係為「特定目的事業用地」，土地使用項目屬「防災訓練場區」，土地使用強度為建蔽率 60%、容積率 160%。



圖 3-4 計畫基地配置構想圖

(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)

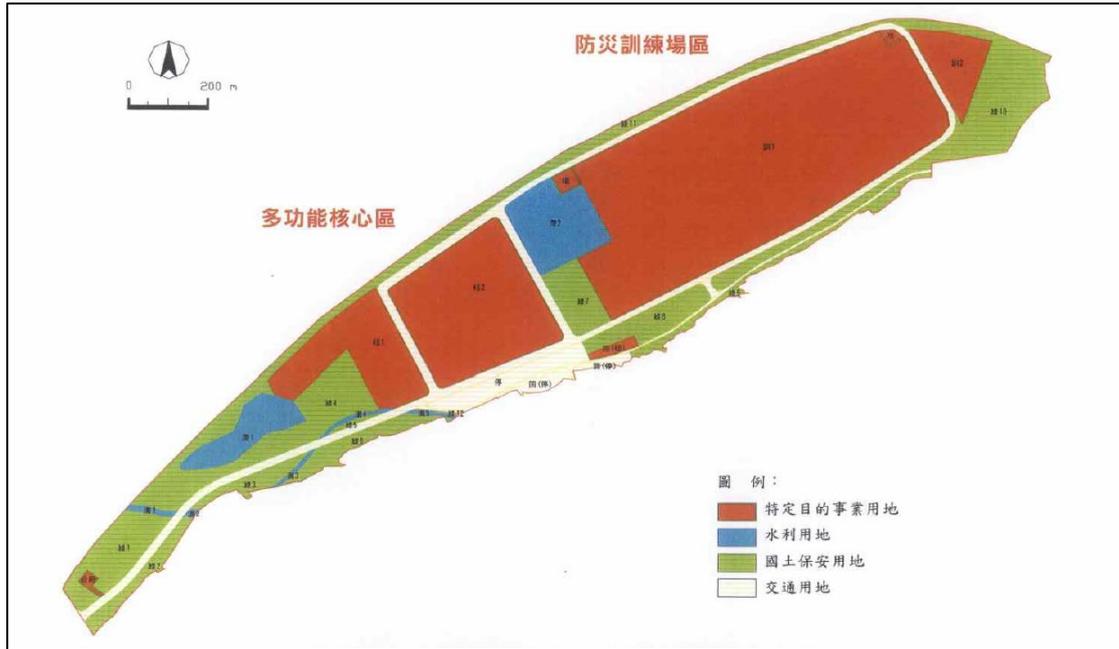


圖 3-5 計畫基地使用地變更編定計畫圖

(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)

表 3-1 計畫基地土地使用強度表

使用地編定	土地使用項目	面積 (平方公尺)	百分比	建蔽率	容積率
特定目的事業用地	多功能核心區	179,963	16.50%	60%	160%
	防災訓練場區	396,171	36.33%		
	環保設施	3,300	0.30%		
	配水設施	1,698	0.16%		
	公用事業設施	1,925	0.18%		
	回饋槌球場	3,707	0.34%		
交通用地	道路	99,581	9.13%	—	—
	公共停車場	17,093	1.57%	40%	120%
	回饋停車場	8,180	0.75%	0%	0%
水利用地	滯洪池 1	25,315	2.32%	—	—
	滯洪池 2	41,658	3.82%		
	灌溉圳路	7,731	0.71%		
國土保安用地	綠地	304,046	27.88%	—	—
總計		1,090,368	100.00%	—	—

註：滯洪池 1 劃設為保育區。

(資料來源：內政部消防署訓練中心興建工程開發計畫書)

## 第二節 建築配置計畫建議方案

建築配置計畫建議方案依據第二章資料收集國內外重要燃燒實驗室資料歸納出，建立大尺寸火災模擬燃燒設備為本案建置的必要實驗設備之一，包含建議設置 40 MW 及 10 MW 之量熱分析裝置、材料分析實驗室，以及相關燃燒實驗附屬設施等。

### 一、規劃原則

#### 1. 火災模擬燃燒實驗室

為規劃建置可以執行相關模擬燃燒之實驗室，以達建立科學化火災調查資料之目的，並可作為火災宣導之參考資料。依據第二章資料收集國內外重要燃燒實驗室資料歸納出，建立大尺寸火災模擬燃燒設備為必要本案建置的實驗設備之一，包含建議設置 40 MW 及 10 MW 之量熱分析裝置。空間需求如下：

##### (1) 40 MW 量熱設備：

建置目標：可重建火場場景與條件，針對實尺寸火災現象進行模擬燃燒，進行熱釋放率及煙氣分析，使火災原因調查更接近事故現況，更能重現火災當時原貌。

空間尺寸：面積需達 1300 m<sup>2</sup> 以上，高度需達 15 m，且其方形氣體收集罩之長及寬皆需達 13 m。

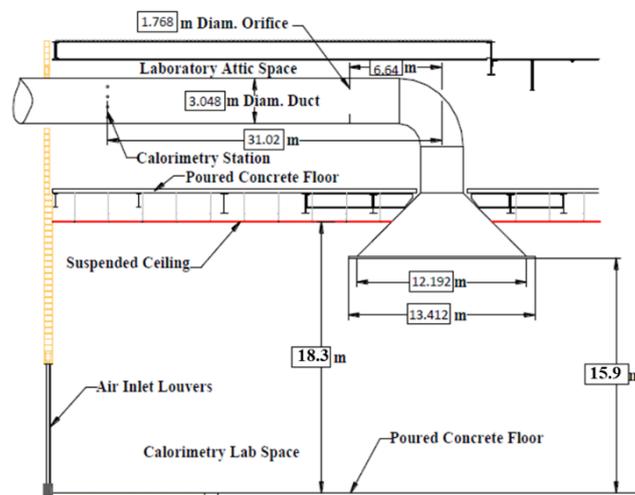


圖 3-6 40 MW 量熱設備設計圖

(資料來源：本研究自行整理)

(2) 10 MW 量熱設備：

建置目標：針對中型尺度火災實驗或單一房間進行熱釋放率及煙氣分析，可透過小尺度燃燒試驗蒐集材料或燃料本身基礎發熱及發煙之數據。

空間尺寸：面積需達 700 m<sup>2</sup> 以上，高度需達 13 m，且其方形氣體收集罩之長及寬皆需達 6 m。

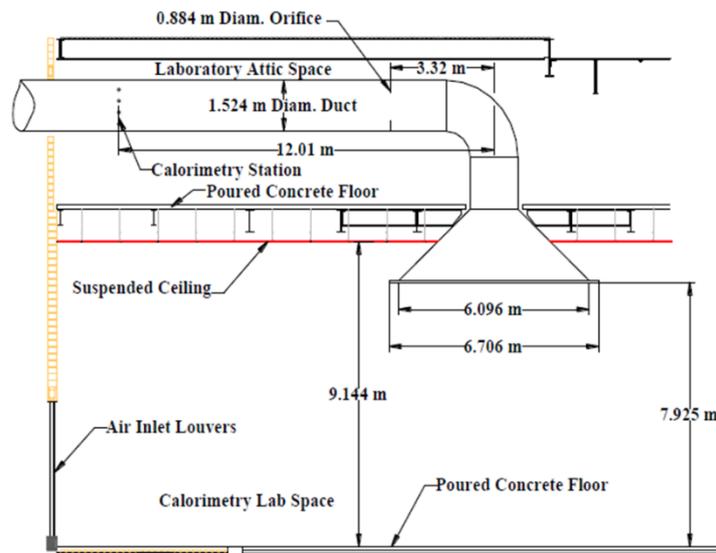


圖 3-7 10 MW 量熱設備設計圖

(資料來源：本研究自行整理)

(3) 材料分析實驗室

設置內政部消防署後續將進駐火災模擬燒實驗室之小尺度試驗設備，包含：前置處理室、光譜能量分析室、層析分析室、顯微分析實驗室、電器實驗室等空間。

(4) 燃燒實驗附屬設施

A. 廢氣除塵系統：設置 40 MW 及 10 MW 之量熱分析裝置需配置廢氣除塵系統以處理燃燒實驗產生之熱煙。廢氣除塵系統除過濾空氣污染物，另需考慮實驗後之熱煙大約有 300°C 溫度。

B.氣體分析系統：主要設備包括:(1)氣體分析系統(含 O<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HC 分析儀與氣體採樣校正系統)、(2)光學密度分析儀、(3)流率/溫度監測儀以及(4)數據處理系統等;所有設備需安置於穩固箱體。

C.廢水處理系統：燃燒實驗過程中須進行滅火或進行消防性能實驗時，會以水或泡沫等藥劑進行滅火，實驗後之廢水須集中處理。建議採用二套廢水回收系統，第1種為無污汙染循環利用之概念進行規劃，以符合省水資源原則。

#### (5) 建築標章設計概念

A.綠建築標章：本案建築設計應符合「綠建築」規範進行規劃，以符合臺灣亞熱帶高溫高濕氣候特性，建築物對生態 (Ecology)、節能 (Energy Saving)、減廢 (Waste Reduction)、健康 (Health) 之需求所訂定標準。在目前台灣綠建築「9 項指標」綜合評分區分五級獎勵制度，建議至少須能達到「銀級」為目標。

B.智慧建築標章：政府為使建築空間可營造更為人性化的空間，使得建築物的使用者生、心理獲得滿足感，是建築專業長久以來追求的理想之一。「智慧建築」是以融合建築設計與資通訊主動感知與主動控制技術，以達到安全、健康、便利、舒適、節能，營造人性化的生活空間為目標。目前智慧建築標章之分級制度共分為五個等級，等級由高至低依序為鑽石級、黃金級、銀級、銅級與合格級等五級，建議至少須能達到「銅級」為目標。

## 二、建築規劃計畫

### 1. 建築配置

(1)本基地位於位於內政部消防署訓練中心內之東側區域。訓練中心基地位於南投縣竹山鎮社寮社區。

(2)基地面前銜接 15 公尺訓練中心環場道路，臨環場道路長度約為 100 公尺，基地為完整矩形深度約為 280 公尺，面積約為 28,000 m<sup>2</sup>。

- (3)依據基地現況、規劃原則，以及留設後續使用增加之需求，本計畫主要以燃燒實驗室與材料分析實驗室為主要設計考量，建築物規劃為地上 5 層，整體建築面積為 5,803 m<sup>2</sup>。燃燒實驗室建築物配置於基地北側，南側留社內部通路。
- (4)燃燒實驗室建築物面前段區域配置 10 MW 燃燒實驗室其主出入口配置於前方位位置(西側)，實驗室建築物前面留設開放空間區域，為停車場與「實驗材料準備區」，「實驗材料準備區」可供實驗材料進場卸料堆置場所。
- (5)燃燒實驗室建築物面後段區域配置 40 MW 燃燒實驗室其主出入口配置於後方位位置(東側)，40 MW 燃燒實驗室其主出入口前面留設開放空間區域，為「實驗前置處理區」與「實驗材料處理區」，「實驗前置處理區」可供實驗構件或相關實驗器材組裝場所，「實驗材料處理區」為實驗後相關構件或實驗器材拆除後於運棄前之臨時堆置場所。
- (6)燃燒實驗室建築物北側區域配置氣體分析系統之廢氣除塵系統設施。

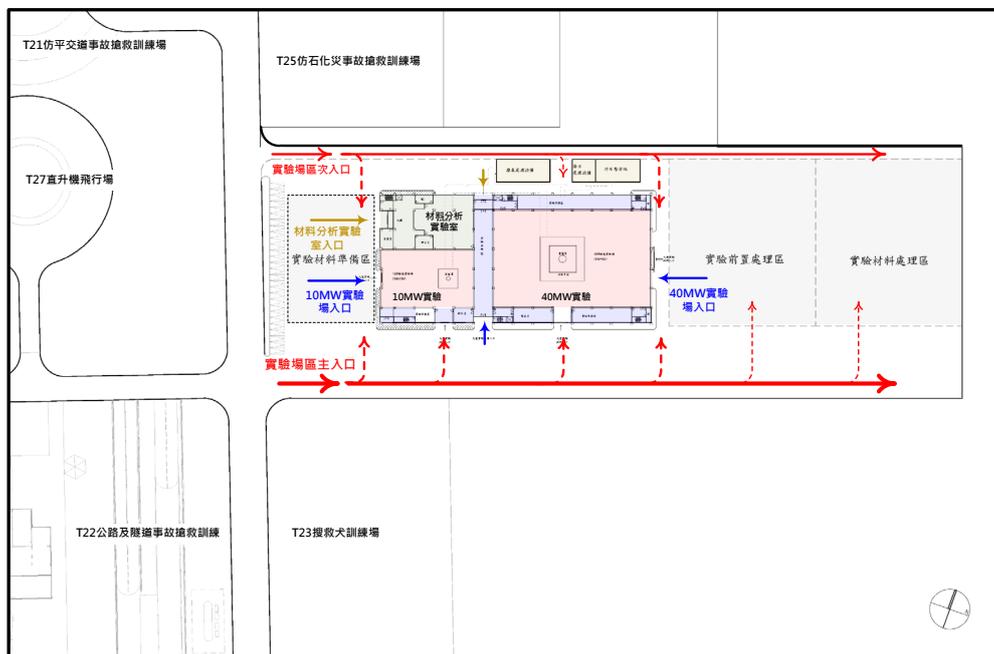


圖 3-8 火災模擬燃燒實驗室基地配置構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

## 2. 建築空間規畫

- (1)本計畫主要以燃燒實驗室與材料分析實驗室為主要設計考量規劃建築物為地上 5 層，建築面積為 5,804 m<sup>2</sup>。實驗室及附屬空間樓地板面積為 16,826 m<sup>2</sup>，建築外配置廢氣除塵系統設施一組，戶外配置實驗材料準備區 1,980 m<sup>2</sup>、實驗前置處理區 3,910 m<sup>2</sup>、實驗材料處理區 3,910 m<sup>2</sup> 與道路停車空間等，本案火災模擬燃燒實驗室合計整體規畫基地面積約為 28,000 m<sup>2</sup>。
- (2)燃燒實驗室建築物主要可以分為前後二個量體，前段量體包含材料分析實驗室與 10 MW 模擬燃燒實驗室，後段由實驗觀察區建築量體架構出二側支撐大跨距鋼構屋頂建構出 40 MW 模擬燃燒實驗室。考量模擬燃燒實驗室需配置氣體分析裝置系統金屬排煙罩與煙道，設置鋼桁架提供固定支撐。
- (3)10 MW 與 40 MW 模擬燃燒實驗室考量進行火災實驗時會產生爆炸的疑慮，所以壁體與天花板需設計防爆結構與設施。
- (4)材料分析實驗室以玻璃窗引入自然光線，並於實驗室高窗位置處設置通風百葉窗，可從建築物四周導引自然空氣進入，以利建築空間之換氣。

表 3-2 火災模擬燃燒實驗室面積需求預估表

位置	空間名稱	面積(M <sup>2</sup> )
1F	40MW燃燒實驗室	2,592
	10MW燃燒實驗室	906
	實驗準備區	535
	控制室	48
	實驗機械室	192
	電器室	117
	緊急發電機室	48
	消防機房	84
	大廳	215
	會客室	44
	辦公室	45
	資料整理室	440
	其他空間	538
		合計
2F	材料分析實驗室	825
	實驗觀察區	891
	試體前置處理空間(調溫調濕、備品儲存、耗材儲存等)	445
	其他空間	182
		合計
3F	材料分析實驗室	825
	實驗觀察區	891
	試體前置處理空間(調溫調濕、備品儲存、耗材儲存等)	445
	其他空間	182
		合計
4F	材料分析實驗室	1,725
	實驗觀察區	957
	試體前置處理空間(調溫調濕、備品儲存、耗材儲存等)	303
	其他空間	182
		合計
5F	材料分析實驗室	1,725
	實驗觀察區	957
	試體前置處理空間(調溫調濕、備品儲存、耗材儲存等)	303
	其他空間	182
		合計
	總計	16,826

(資料來源：本研究自行整理)

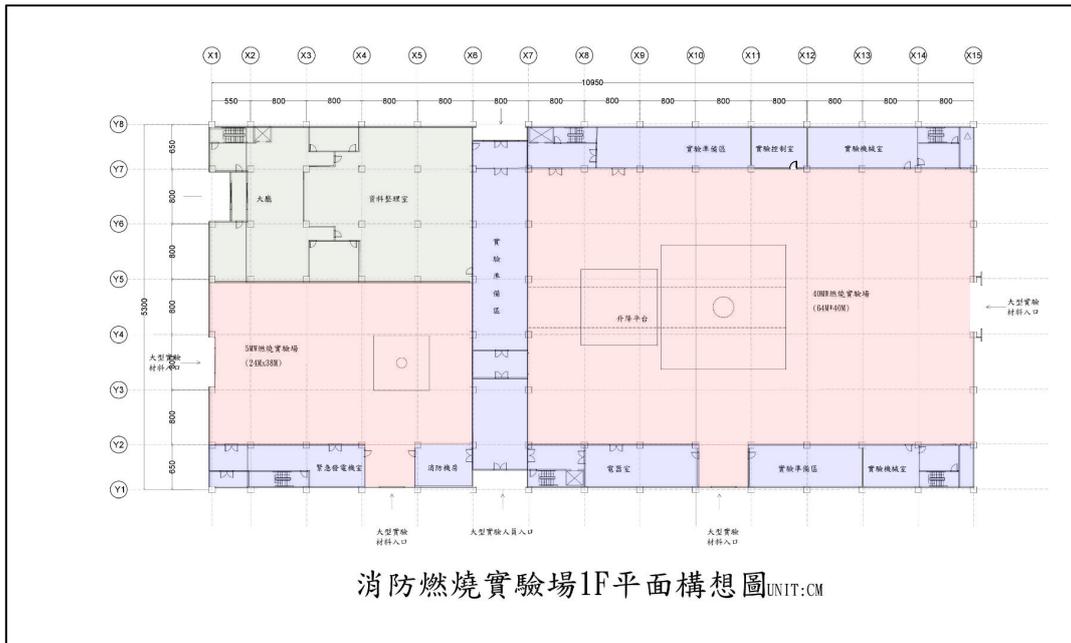


圖 3-9 火災模擬燃燒實驗室 1F 平面構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

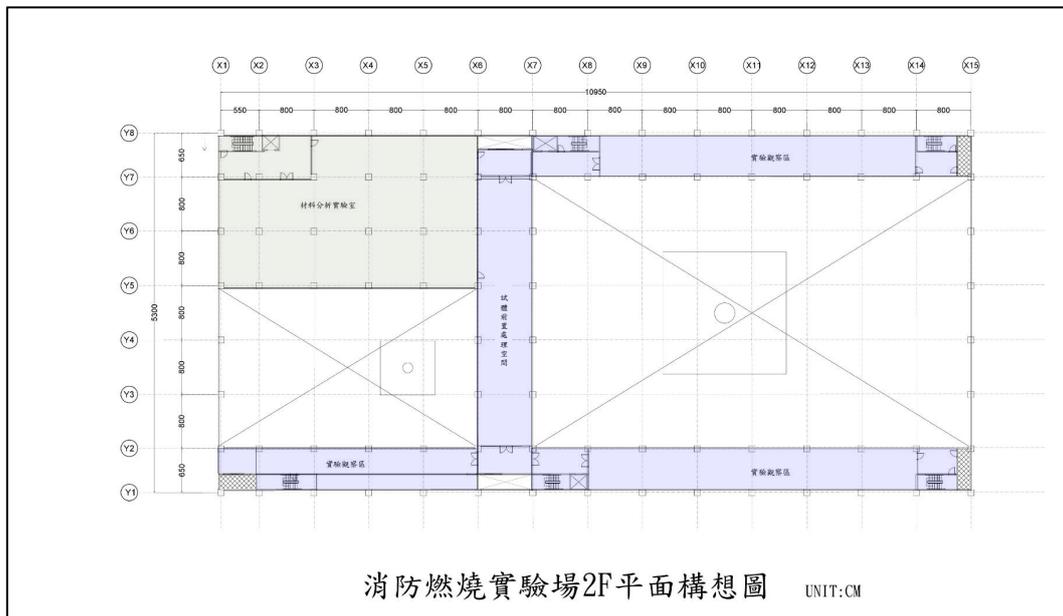


圖 3-10 火災模擬燃燒實驗室 2F 平面構想圖

(資料來源：本研究自行整理)



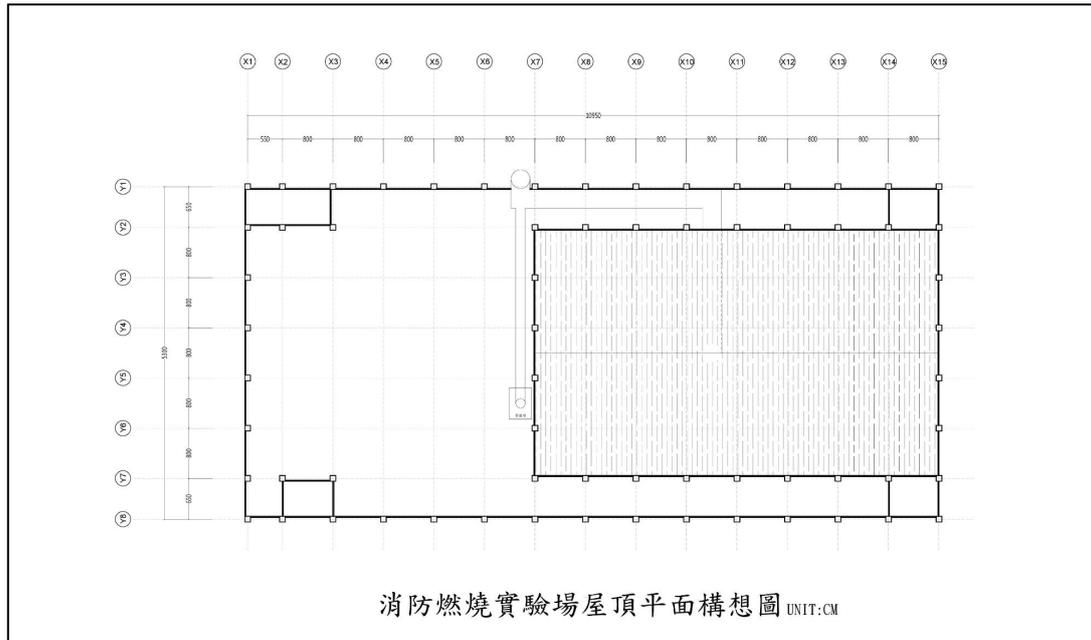


圖 3-13 火災模擬燃燒實驗室屋頂平面構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

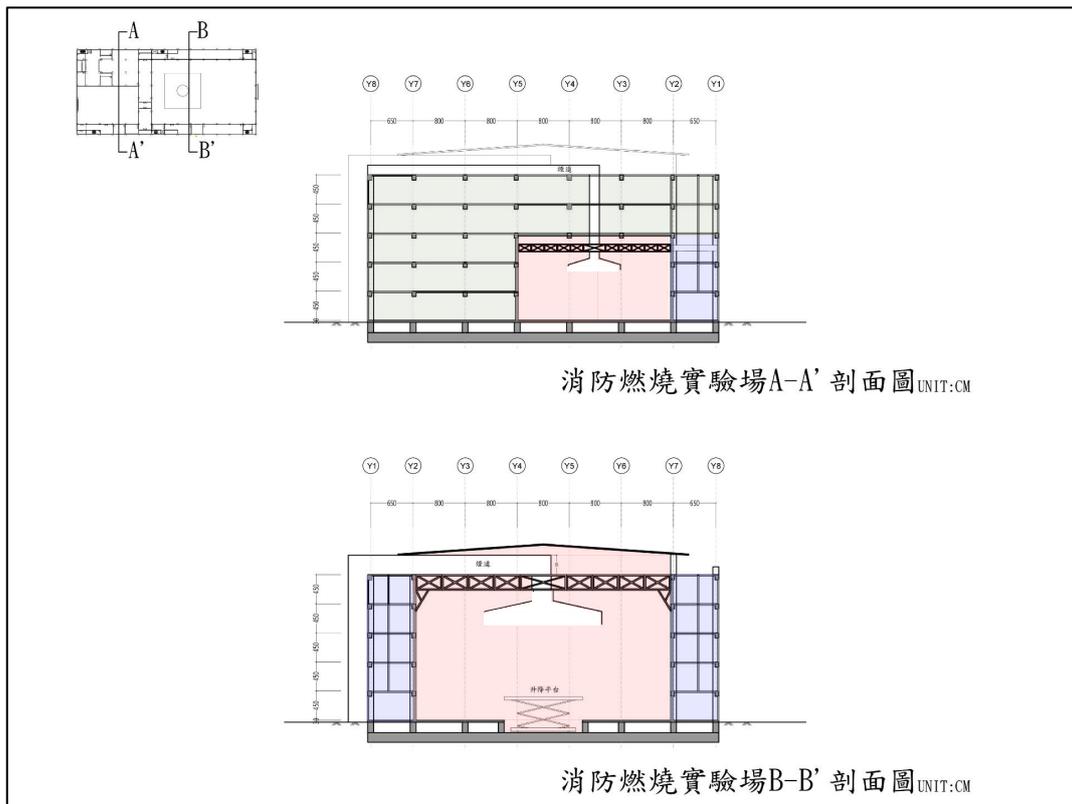


圖 3-14 火災模擬燃燒實驗室剖面構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

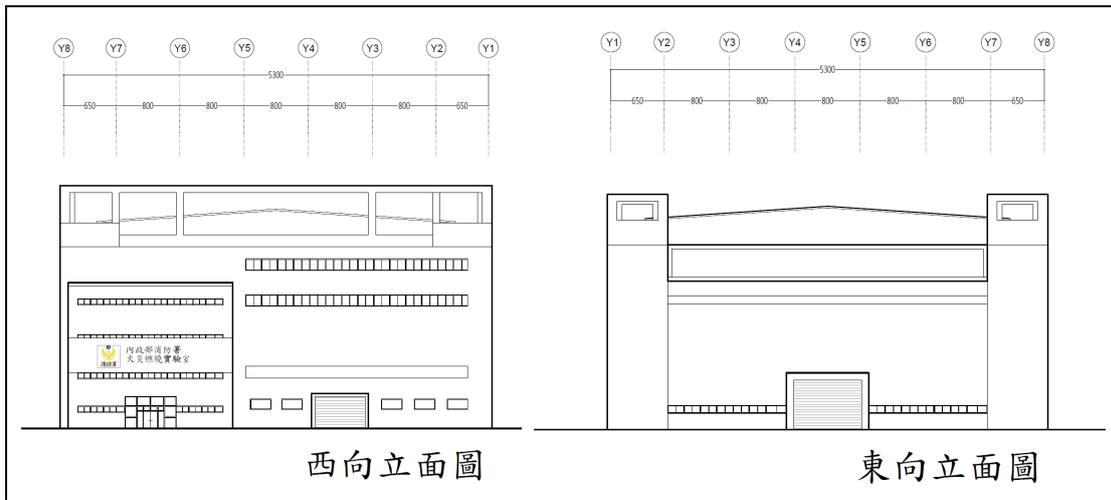


圖 3-15 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(1)

(資料來源：本研究自行整理)

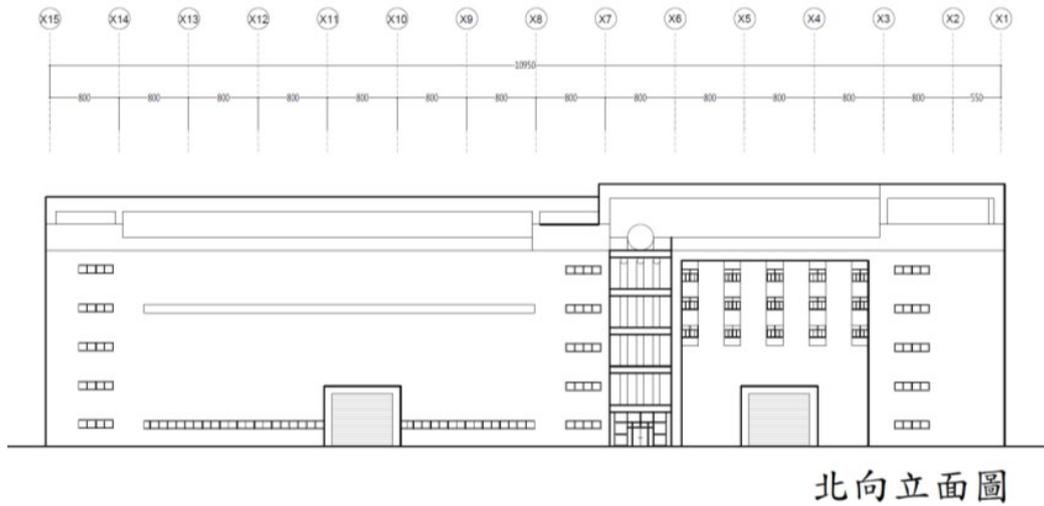
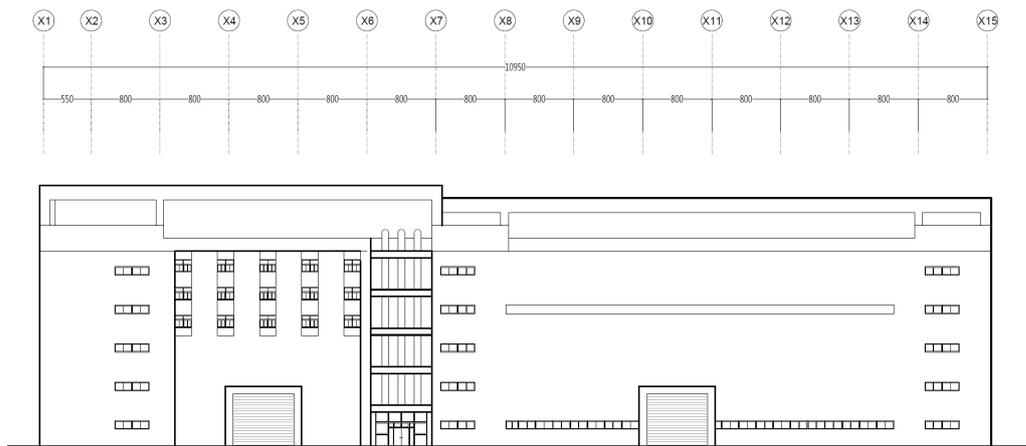


圖 3-16 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(2)

(資料來源：本研究自行整理)



南向立面圖

圖 3-17 火災模擬燃燒實驗室立面構想圖(3)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-18 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-主入口(1)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-19 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-東北側 40 MW 實驗室入口(2)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-20 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-東南側 40 MW 實驗室入口(3)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-21 火災模擬燃燒實驗室模擬透視構想圖-鳥瞰圖(4)

(資料來源：本研究自行整理)

### 三、結構系統計畫

#### 1.地質分析

本基地位於內政部消防署訓練中心(南投縣竹山鎮大公街 100 號)，參考基地內其他工程案之鑽探報告概述期地質狀況如下：

基地地層皆屬近代沖積層，主要由砂、黏土、礫石等組成；本基地附近主要之地質構造為車籠埔斷層，其分布係位於基地西側，呈北—南走向通過，距離約 1.37 公里；車籠埔斷層的最近一次活動時間為 1999 年，列為第一類活動斷層。

地層分布概述如下：

第一層回填層：

回填層地表為雜草及粉土、砂土夾碎石，分布深度約自地表面至地表下 0.5~0.9 公尺之間，部分區域夾厚度約 0.5 公尺之砂土層。

第二層卵礫石層：

卵礫石夾棕灰色粉土質砂，分布深度約自地表下 0.5~0.9 公尺至地表下 6.8~7.2 公尺之間。現場標準貫入試驗 N 值大於 100，為良好承載層。

第三層砂岩層：

灰色砂岩分布深度約自地表下 6.8~ 7.2 公尺以下。淺層岩段風化程度、含泥質屬泥質砂岩，係以沖鑽方式作業，現場標準貫入試驗 N 值皆大於 100。

根據台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討(土工技術第 55 期，張吉佐等 4 人<sup>25</sup>)，竹山分區卵礫石  $C_p=0.20\sim 0.50 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $C_r=0\sim 0.20 \text{ kgf/cm}^2$ ； $\phi_p=29^\circ\sim 47^\circ$ 、 $\phi_r=28^\circ\sim 47^\circ$ 。建議基地卵礫石強度參數採用  $C=1.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi=35^\circ$ 。如下表 3-3：

**表 3-3 基地卵礫石強度參數建議**

<sup>25</sup>張吉佐、陳逸駿、嚴世傑、蔡宜璋，台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討，土工技術第 55 期，1996。

0.5-0.9(0.7)	I	SF								
6.8-7.2(7.0)	II	GW	>100		*2.30		1.0	35.0		
10.0(鑽孔底部)	III-1	S.S.	>100		2.35		1.0	33.0		

土層分類符號說明：SF(回填層)、GW(卵礫石層)、SM(砂土層)、S.S.(砂岩層)

\*：建議值

### (資料來源：本研究自行整理)

基地內地下水預估位於地表下 2.4~5.1 公尺之間，考慮短期性及季節性水位變化等因素之影響，基地平時之地下水建議以地表下 4.0 公尺作為設計參考，短期之高水位則以地表下 1.0 公尺計算。

地震概況及地震力分析：蔡義本<sup>26</sup>確認台灣有主要三個地震帶：東北地震帶、東部地震帶及西部地震帶。台灣東北及其東邊外海有強烈的地震活動。這個地震帶(即東北地震帶)是由一個厚約 50 公里向西北傾斜的班式帶(Benioff Zone)所形成，此帶的南邊屬於淺震，向北逐漸加深。東部地震帶自宜蘭東北方海底向西南西延伸至恆春半島東方，其寬約 130 公里。東部地震帶及東北地震帶的重疊地帶是地震最活躍的地區。西部地震帶起自台北附近，向南南西延伸，止於台南附近，其寬約 80 公里。台灣島西北部、西南部以及澎湖群島，歷年來沒有大地震發生，是屬於比較安靜的地方。

依基地範圍平均地層分布深度之 N 值計算，基地地盤屬第一類地盤。基地位於南投縣竹山鎮，經查表震區短週期設計水平譜加速度係數 SDS = 0.8；震區短週期最大考量水平譜加速度係數 SMS=1.0，短週期之工址放大係數 Fa 為 1.0。基地距離車籠埔斷層小於 2 公里，需考量近斷層調整因子 NA 與 NV。

液化潛能分析:根據“建築物基礎構造設計規範”第十章土壤液化評估”及建築物耐震設計規範及解說”規定，符合以下所有三項條件的沖積層之飽和砂土層，在地震時可能液化現象，以下述方法進行土壤液化之判定：

(1)地表面 20 m 以內之飽和砂土層，且地下水位在地表面 10 m 以內時。

(2)細粒土壤含有率 FC 在 35%以下之土層，或 FC 超過 35%，惟塑性指數 Ip 在 15 以下之土層。

<sup>26</sup> 內政部營建署，充實內政部消防署與行政院環保署訓練場區工程地基調查報告書，2020。

(3)通過率為 50%之粒徑 D50 在 10 mm 以下，且 10%粒徑 D10 在 1 mm 以下之土層。

液化之評估由液化抵抗率 FL 值決定之。FL 值小於 1.0 時，即判定該土層可能液化。

本基地地層以卵礫石層及砂岩層為主，並無產生土壤液化之可能。

## 2.結構系統概述

本案欲興建地上 5 層之鋼筋混凝土建物，結構系統規劃為抗彎矩構架系統，以韌性抗彎矩構架(SMRF)抵抗地震力，結構系統的韌性容量  $R=4.0$ ，而燃燒實驗場大跨距屋頂採用鋼構造進行規劃。

鋼筋混凝土造韌性立體抗彎矩系統係以梁、柱構成之框架承受建物本身自重、活載等之垂直荷重及地震、風力造成之水平荷重，各層水平力藉由樓版之剛性，將力量傳遞至梁、柱，下層柱累積上層之水平剪力傳至地面層，再由壹樓樓版傳至基礎，最後消散於土層中。

耐震設計最主要的目標在對付大地震，屆時建築物不得崩塌，以免造成嚴重的人命及財產損失，此處所謂大地震，對一般建築物而言，為回歸期 475 年之地震，對學校等重要建築物而言，其對應的回歸期更長。利用“強柱弱梁”的設計原則，在大地震來襲時使容許建築物在梁之端部產生塑絞，藉以消耗地震能量，並降低建築物所受之地震力。另外建築物相鄰各層之極限層剪力強度如相差不大，大地震時較易產生普遍性降伏，共同來消散地震能量。如有極限層剪力強度特別低的弱層存在，地震時容易只在此層降伏，其它各層仍在彈性反應限度內，則此層構材的韌性容量易被用盡而產生崩塌，故必須檢核是否有弱層的存在。

本案基礎型式建議採用筏式基礎，基礎底部坐落於 N 值  $>50$  之卵礫石夾黃灰色砂土層上，因筏式基礎之版勁度較大，其受應力作用後無發生壓密沉陷之慮；經地質調查所資料查詢顯示，本工址非位於土壤液化潛勢區，且依鑽探報告顯示本案無液化之虞。

依基地之地層條件下可採用明挖方式開挖，邊坡以 45 度斜坡開挖。

## 3.結構設計概要

(1)結構分析設計概要：

A、設計規範：

中華民國內政部最新「建築技術規則」

混凝土結構設計規範(110年3月)

最新「建築物耐震設計規範及解說」(111年10月)

最新「建築物耐風設計規範及解說」(104年1月)

B、使用材料規格：(凡使用之材料均需符合 CNS 標準)

混凝土： $f_c'=280 \text{ kg/cm}^2$  結構體

$f_c'=140 \text{ kg/cm}^2$  打底混凝土

鋼筋：#3， $f_y=2800 \text{ kg/cm}^2$  SD280

#4~#10， $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$  SD420W

鋼骨：CNS SN400B， $F_y \geq 2400 \text{ kgf/cm}^2$

C、分析程式：ETABS V9

(2)分析設計載重：

A、靜載重：

依結構體實際梁、柱、版及牆尺寸計算樓層重；鋼筋混凝土重= $2.4 \text{ t/m}^3$ 。

B、活載重：

各樓層設計活載重為  $500 \text{ kgf/m}^2$ ，實際設計活載重可依業主需求另作調整。

C、水平地震力：

依據最新「建築物耐震設計規範及解說」計算靜力地震力，即最小設計水平總橫力，地震力基本設計參數如下表 3-4：

表 3-4 地震基本設計參數

縣市	鄉鎮市區	$S_S^D$	$S_1^D$	$S_S^M$	$S_1^M$	臨近之斷層
南投縣	竹山鎮	0.8	0.45	1.0	0.55	車籠埔斷層

(資料來源：本研究自行整理)

反應譜等加速度段之工址放大係數

Fa=1.00

反應譜等速度段之工址放大係數  $F_v=1.00$

反應譜等加速度段之工址放大係數  $F_a=1.00$

反應譜等速度段之工址放大係數  $F_v=1.00$

地盤分類：第一類地盤（近車籠埔斷層 1.37 km）

近斷層區域短週期之設計水平譜加速度係數  $S_5^D=0.98$

近斷層區域一秒週期之設計水平譜加速度係數  $S_1^D=0.61$

近斷層區域短週期之最大考量水平譜加速度係數  $S_5^M=1.25$

近斷層區域一秒週期之最大考量水平譜加速度係數  $S_1^M=0.83$

用途係數 I：1.5

起始降伏放大係數： $\alpha_y = 1.0$  (採鋼筋混凝土構造強度設計法)

結構系統韌性容量取  $R = 4.0$  (RC 特殊抗彎矩構架系統，具非結構牆)

$A_T = 0.4 \times I \times S_{DS} = 0.588 \text{ g} = 577 \text{ gal}$

※ 設計水平地震力為：

- 計算最小設計水平總橫力  $V = \frac{S_{aD} I}{1.4 \alpha_y F_u} W$
- 避免中小度地震降伏之設計地震力  $V^* = \frac{IF_u}{3.5 \alpha_y} \left( \frac{S_{aD}}{4.2} \right)_m W$
- 避免最大考量地震崩塌之設計地震力  $V_M = \frac{I}{1.4 \alpha_y} \left( \frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m W$

建築結構物之最小設計地震需為上三式之較大者，進行耐震設計。

- 最小設計垂直地震力  $S_{aD,V} = \frac{2}{3} S_{aD}$

D、風壓力：

按最新「建築物耐風設計規範及解說」計算風壓力。

座落位置 南投縣竹山鎮

地況 B

基本設計風速  $V_{10}(C)=22.5$  m/s

用途係數  $I=1.1$

設計風力計算式：使用封閉式或部分封閉式普通建築物

$$p=qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

$$\text{風速壓 } q(z) = 0.06K(z)K_{zt}[IV_{10}(C)]^2 \quad ;$$

$$K(z)=2.774(z/z_g)^{2\alpha} \quad ; \quad z > 5 \text{ m}$$

$$=2.774(5/z_g)^{2\alpha} \quad ; \quad z \leq 5 \text{ m}$$

無特殊地形  $K_{zt}=1.0$

$$q(z) = 0.16644(z/z_g)^{2\alpha}[IV_{10}(C)]^2 \quad ; \quad z > 5 \text{ m}$$

$$q(z) = 0.16644(5/z_g)^{2\alpha}[IV_{10}(C)]^2 \quad ; \quad z \leq 5 \text{ m}$$

(3)載重組合：

包含垂直地震力等共有 11 組載重情形 (Load Case)，鋼筋混凝土部分組成 99 種載重組合；如下所示：

Load Case：1. DL(Dead Load)

2. LL1 (Live Load 1)

3. LL2 (Live Load 2)

4. EX1 ( X-dir , +5% )

5. EY1 ( Y-dir , +5% )

6. EX2 ( X-dir , -5% )

7. EY2 ( Y-dir , -5% )

8. Ez ( Z-dir , 垂直地震力 )

9. H (土水載重)

10. WX

11. WY

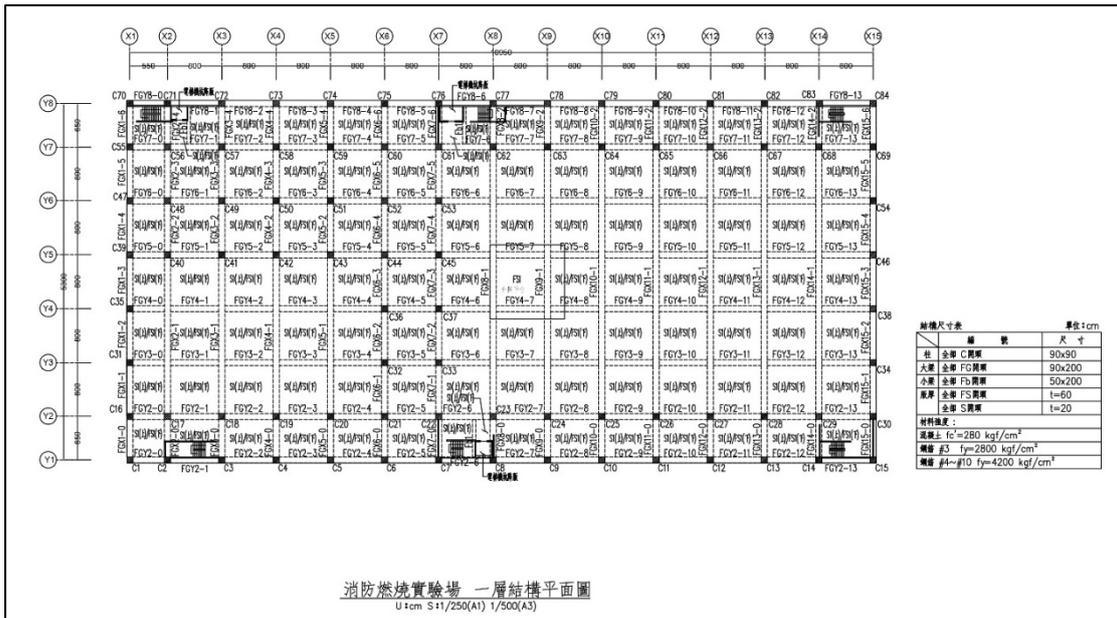


圖 3-22 火災模擬燃燒實驗室 1F 結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

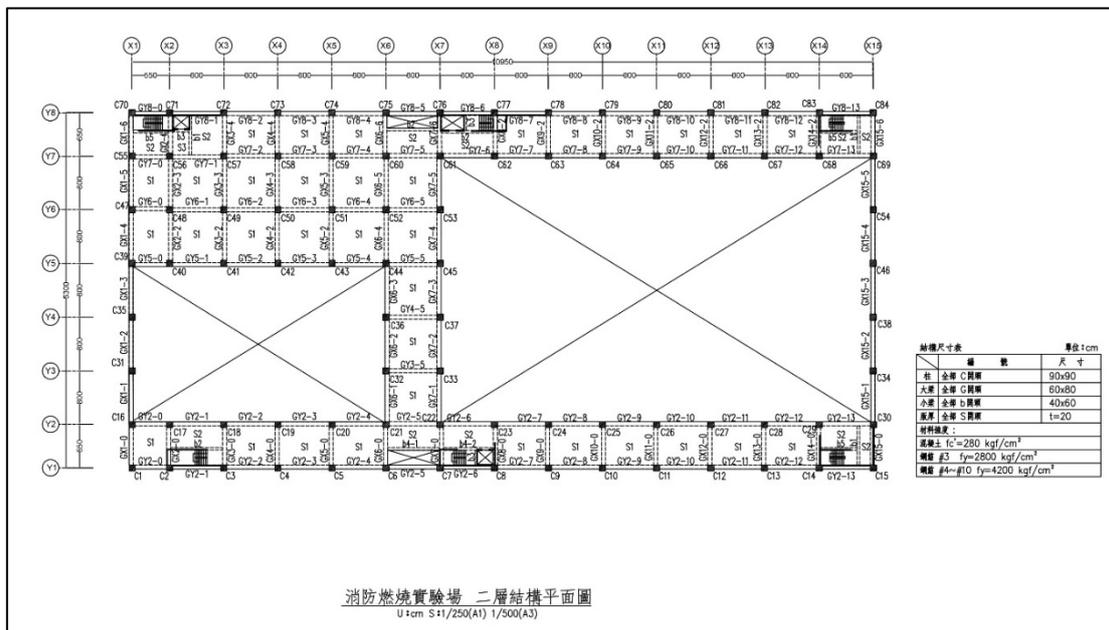


圖 3-23 火災模擬燃燒實驗室 2F 結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

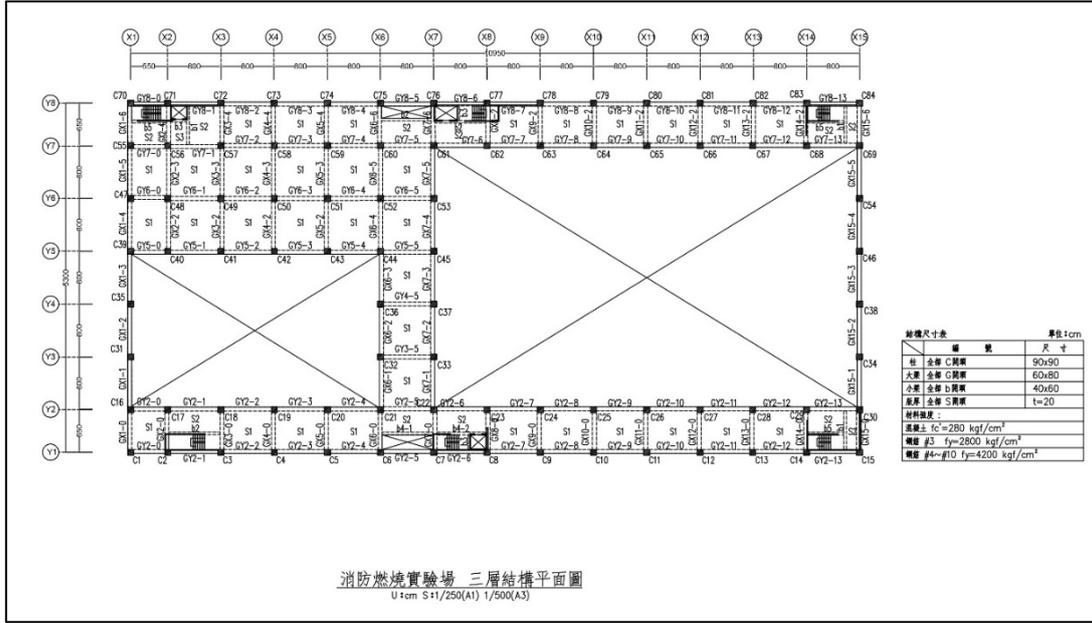


圖 3-24 火災模擬燃燒實驗室 3F 結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

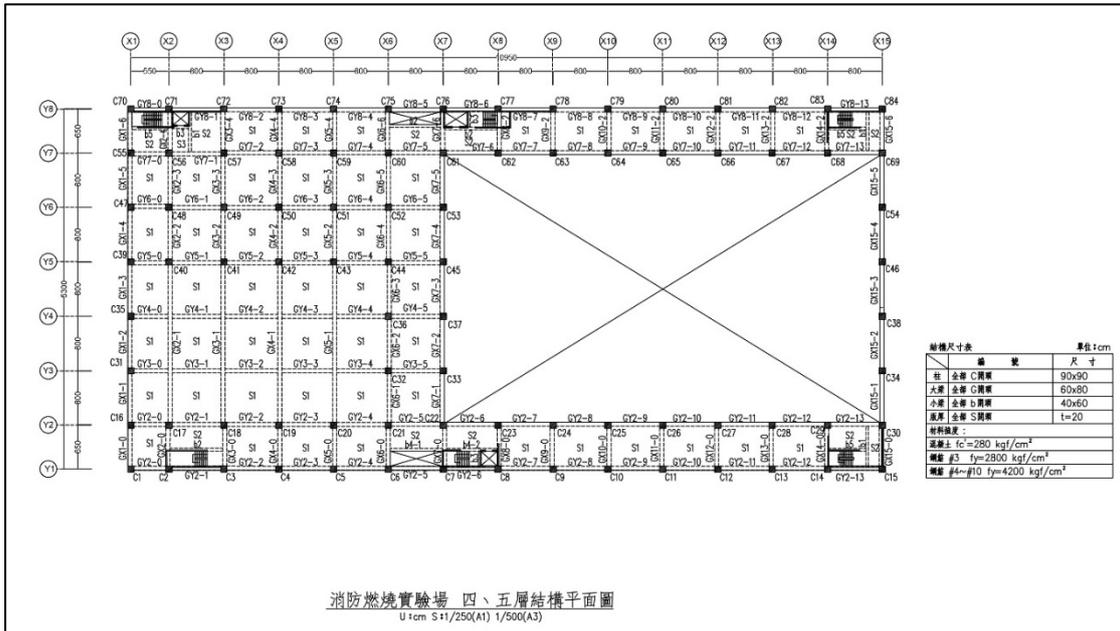


圖 3-25 火災模擬燃燒實驗室 4F、5F 結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

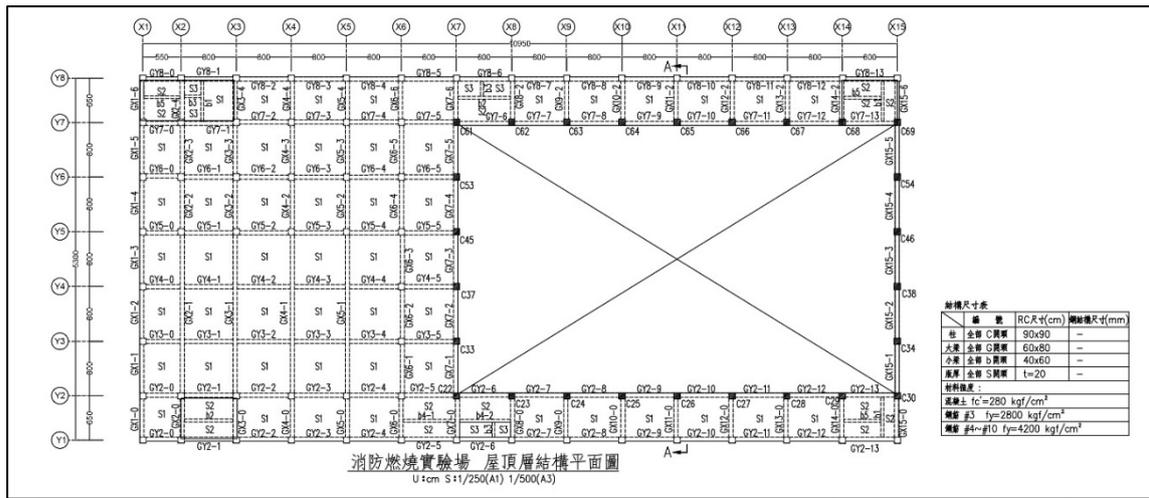


圖 3-26 火災模擬燃燒實驗室 RF 結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

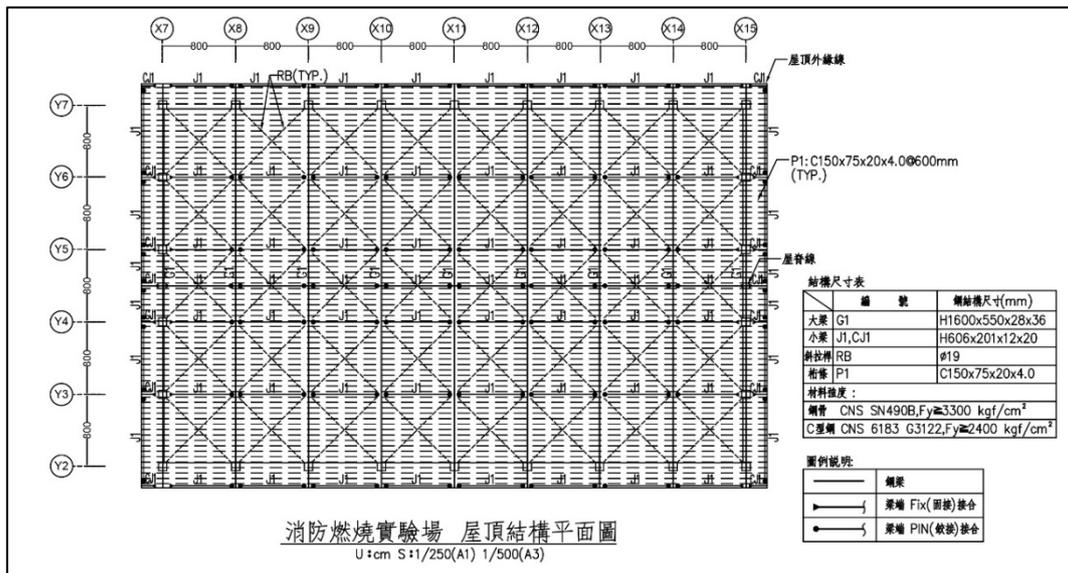


圖 3-27 火災模擬燃燒實驗室屋頂結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

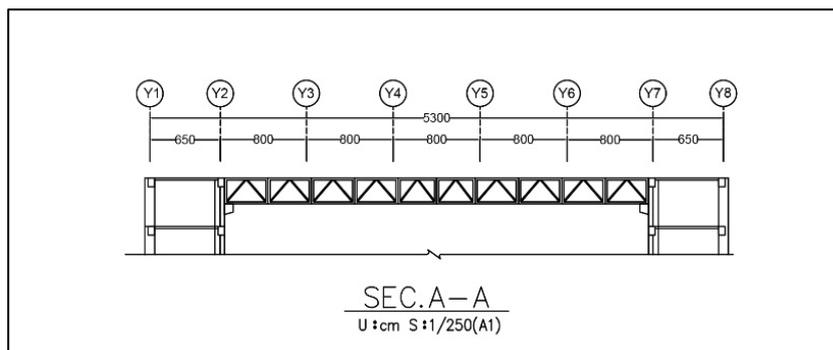


圖 3-28 火災模擬燃燒實驗室桁架結構構想圖

(資料來源：本研究自行整理)

#### 四、廢氣集塵系統

##### 1. 廢氣集塵系統規劃原則

廢氣集塵設備是空氣污染防制設備中之主要項目，被廣泛地應用在各種工業上。一般來說，集塵設備之種類可依作用在粉塵上之作用力而區分為慣性集塵機、溼式洗滌器、袋濾式集塵機及靜電集塵機等。目前從事產製集塵設備的業者，以袋濾式集塵機最多，其次為濕式洗滌塔。

早期如電廠採用乾式靜電除塵，效果不錯，但技術需求高，且建置成本高，維護成本高，後來皆換成袋式除塵機，其效果可達與乾式靜電除塵相近，又能達環保標準，相對成本合理，維護成本也低，變成了現今技術主流。

早期乾式靜電除塵機可耐溫 $300^{\circ}\text{C}$ 與袋式除塵機可耐溫 $180^{\circ}\text{C}$ 的差別，但因濾袋材料的開發，可說沒有差別了，現今袋式除塵機的濾布也具有耐溫 $300^{\circ}\text{C}$ 以上之性能。

濕式靜電除塵，效果不錯，但技術需求更高，且建置成本高，維護成本高，操作限制很多，故障率高，目前只使用在餐廳廚房裡小型除油煙塵的地方，其他大風量的地方皆不採用。

本案廢氣集塵系統規畫部分包含 10 MW 與 40 MW 燃燒實驗廢氣處理系統，而廢氣集塵系統建議採用袋式除塵機，濾布需耐溫  $300^{\circ}\text{C}$  以上，濾籠採用 SUS304，袋式除塵機本體採用 ss400 或 A36 材質即可。廢氣集塵系統之排煙管部分包含 10 MW 與 40 MW 二部分，廢氣排氣主煙道部分直徑 10 MW 與 40 MW 分別為 2.5 m 與 4.5 m 以上，混合管段的設計長度至少為管徑之 10 倍長度，且水平放置。

##### 2. 廢氣集塵系統建議規劃

廢氣集塵系統建議規劃如下：

###### (1) 乾式脫硫系統

系統包含消石灰( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )貯槽供料系統、乾式反應系統。

###### A. 一般設計數據：

廢氣入口設計流量: 400,000 m<sup>3</sup>/hr

廢氣入口設計溫度: 300°C 以上

## B.設備規格

### a.消石灰貯槽

數量:4 座

型式:圓錐直立式貯槽

尺寸:貯槽直立部  $\phi$  1.0 m/1m

圓錐部大面  $\phi$  1.0 m

圓錐部小面  $\phi$  0.5 m

圓錐部高度 1 m

可用容積:3 m<sup>3</sup>

消石灰密度:600 kg/m<sup>3</sup>

儲斗角度:55

材質:SS41 碳鋼鋼板

厚度:4.5/6 mm

附件:操作平台及爬梯: 1 組

### b.消石灰定量輸送機

數量:4 組

型式:轉盤式輸送機

直徑:80 mm

材質:SS41 碳鋼鋼板

輸送量:5 to 30 kg/hr

馬力:0.75 kw (1 hp)

附件:變頻器:1 組

c.消石灰輸送鼓風機

數量:4 組

型式:魯式鼓風機

風量:30 m<sup>3</sup>/hr at 0.2 kg/cm<sup>2</sup>

馬力:2.25 kw (3 hp)

附件: (a) 過濾器:1 組

(b) 消音器:1 組

(c) 基座螺栓:1 組

(d) 輸送管:1 式 (80mm)

(e) 噴入管:1 組 (50 mm)

(2)袋濾集塵系統

於風管上注入消石灰進行脫硫。袋濾集塵器(進入袋濾集塵器入口溫度 <300°C)，在其間有設計，會使進入脫硫設備及袋濾集塵器入口溫度相當穩定中，進行去除飛灰。

A.一般設計數據

廢氣入口設計流量:400,000 m<sup>3</sup>/hr

廢氣入口設計溫度:300°C 以上

B.設備規格

a.袋濾集塵

數量:4 組

型式:單模組脈衝噴射式袋濾機

設計廢氣入口流量:100,000 Nm<sup>3</sup>/hr

設計廢氣入口溫度:300°C 以上

設計粉塵最大負荷:500 mg/Nm<sup>3</sup> (@ 10% O<sub>2</sub>)

設計粉塵排放濃度:10 mg/Nm<sup>3</sup> (@ 10% O<sub>2</sub>)

濾布直徑:150 mm

濾布長度:6,000 mm

濾布材質:耐高溫濾袋(耐溫 300°C 以上)

濾布數量:1250 支

濾布總面積:3300 m<sup>2</sup> 以上

清袋方式:on line 脈衝噴射式

壓縮空氣量:30 Nm<sup>3</sup>/hr at 5 kg/cm<sup>2</sup>

外殼材質:4.5 mm SS400 碳鋼鋼板

外保溫:50 mm 厚度岩棉，鋁皮包覆

外表面處理:耐溫底漆

內表面處理:噴砂處理

附件: (a) 55/集灰斗斜度

(b)集灰斗維修人孔:1 組(600 mm 600 mm)

(c) 1 組脈衝噴射系統及管件閥類

(d) 1 組差壓計

(e)操作平台、爬梯、與支撐鋼構

### (3)排放風機

數量:4 組

型式: Turbo 式壓力風車

風量:100000 m<sup>3</sup>/hr

靜壓:350 mmAq

馬力:200 kw

附件:入口閘門控制風量調節檔板:1 組

(4)排放風管

鋼鐵材料結構:SS400

風量:100000 m<sup>3</sup>/hr

直徑:>2.4 m

風量:50000 m<sup>3</sup>/hr

直徑:>1.5m

(5)排放煙囪

鋼鐵材料結構:SS400

直徑:>2.4 m

高度:>20 m

保溫材料:岩棉

採樣孔及平台:4” 孔 90 度至少開 2 孔，並以盲板封閉,含爬梯、面積至少一平方公尺之採樣平台及高一公尺以上護欄。

防雷設施:煙囪頂部需有避雷設施。

3.廢氣除塵設備經費預估

袋濾機	4 座	100,000,000 元
除酸系統	4 式	6,000,000 元
風管	一式	20,000,000 元
排放風機	4 台	22,000,000 元
排放煙囪	4 座	12,000,000 元

風壓控制風門	4 台	8,000,000 元
開關風門	4 台	2,400,000 元
電力及儀控設備	一式	5,500,000 元(動力線在 50 m 以內)
合計		175,900,000 元

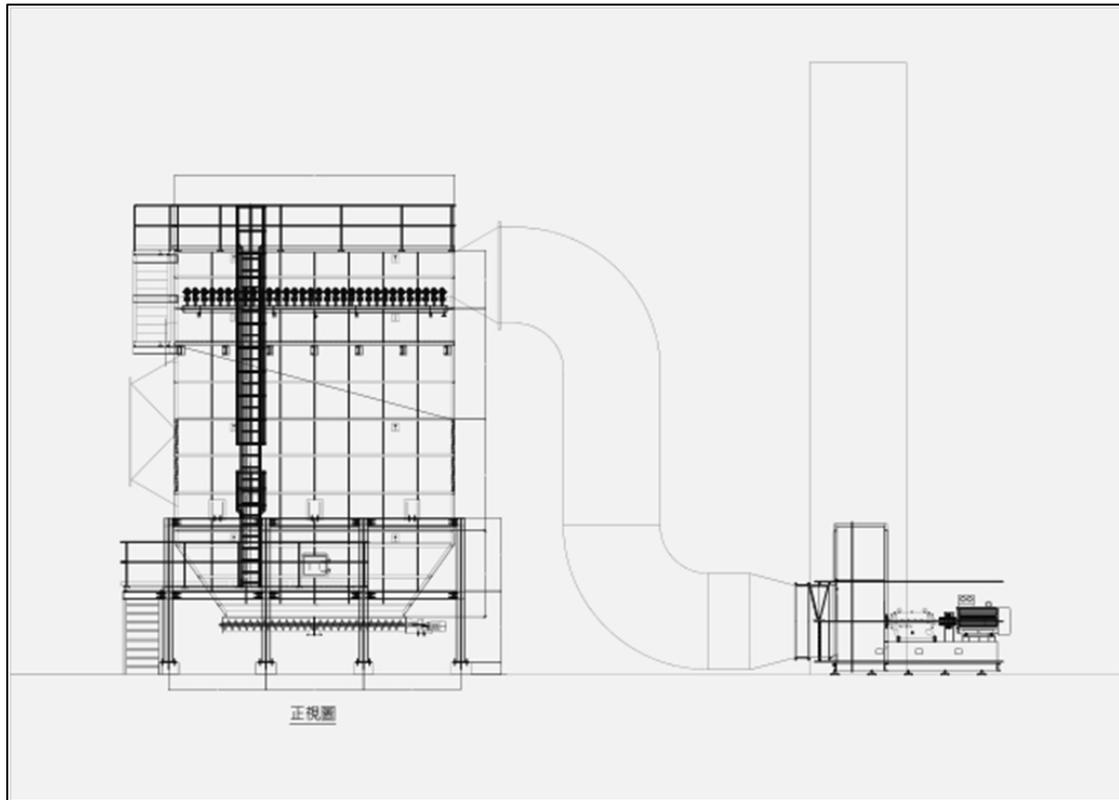


圖 3-29 廢氣集塵系統構想圖(正立面圖/單台)

(資料來源：本研究自行整理)

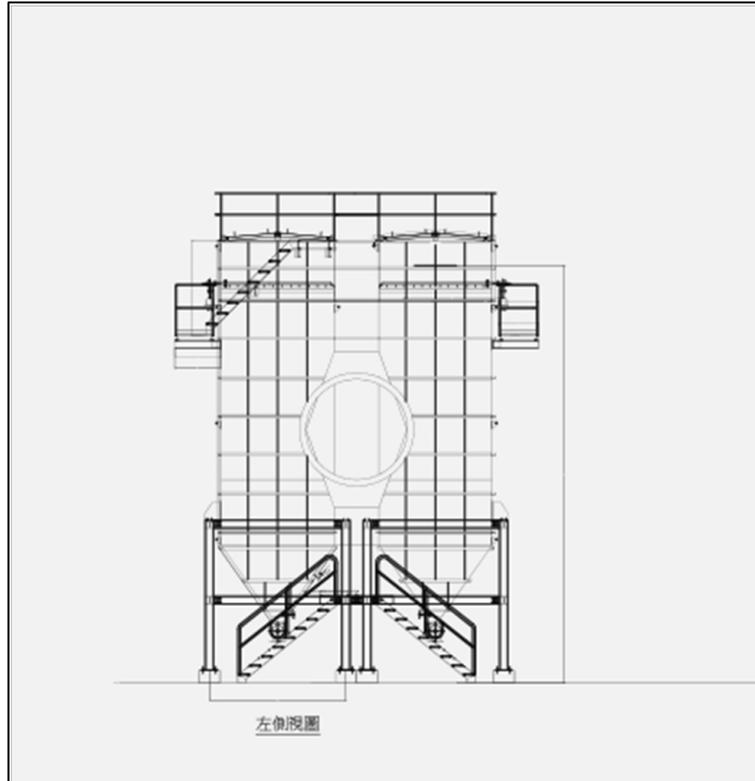


圖 3-30 廢氣集塵系統構想圖(側立面圖/單台)

(資料來源：本研究自行整理)

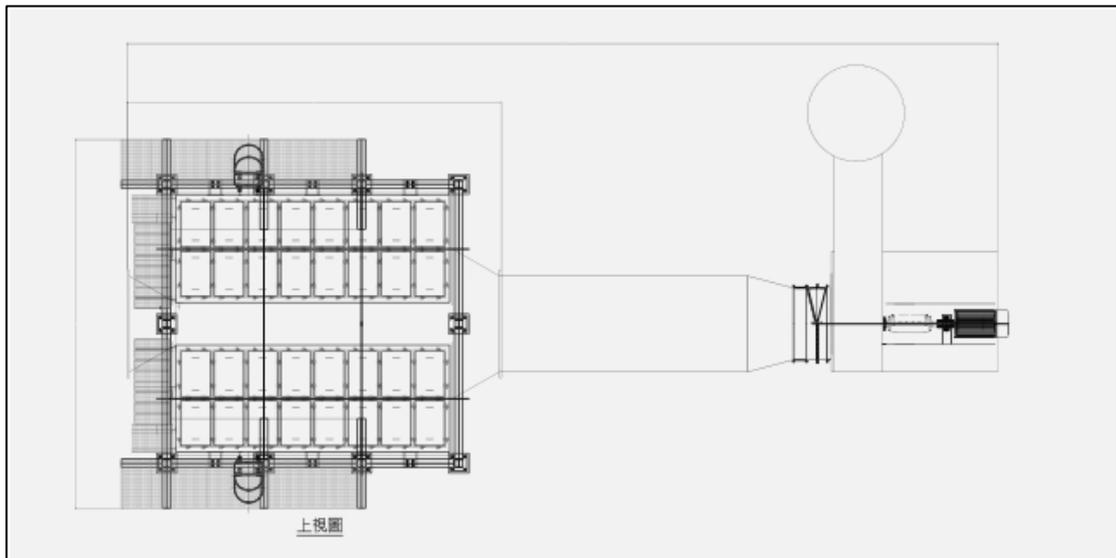


圖 3-31 廢氣集塵系統構想圖(上視圖/單台)

(資料來源：本研究自行整理)

## 五、大型燃燒排氣連續線上分析系統

本案大型燃燒實驗氣體分析系統包含 10 MW 與 40 MW 二組燃燒實驗氣體分析系統。大型燃燒實驗氣體分析系統係參考國內建築研究所防火實驗中心 10 MW 燃燒排氣連續線上分析系統，可線上連續分析燃燒排氣之溫度與體積流率，以及大型物件或結構體於燃燒過程之熱釋放率、發煙特性、及毒氣分析等，所提出建議、設備內容包含：

### 1. 氣體分析系統(含 O<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HC 分析儀氣體採樣校正系統):

- (1) 電磁式(Paramagnetic)O<sub>2</sub> 分析儀
- (2) 非分散型紅外線(Non-Dispersive Infrared CO)分析儀
- (3) 非分散型紅外線(Non-Dispersive Infrared CO<sub>2</sub>)分析儀
- (4) 非分散型紅外線(Non-Dispersive Infrared Hydrocarbon)分析儀
- (5) 氣體採樣/校正系統
- (6) 校正用氣體鋼瓶

### 2. 光學密度分析儀

### 3. 流率/溫度監測儀

### 4. 數據處理系統等

### 5. 分析儀器固定機櫃

## 六、材料分析實驗室儀器設備

相關小型室內材料分析實驗室儀器設備如第二章第五節所述，消防署目前相關材料分析檢測試驗設備皆有使用年限且可能因科技進步而需進行設備升級或進行更換，並提出其升級或汰換該儀器所需詳表 2-14 內政部消防署現有儀器汰換及升級所需經費表。另建議建置進行火災實驗相關材料燃燒分析基本實驗設備「圓錐量熱儀」，該設備為國際間測試材料於不同輻射熱通量下之引燃時間、熱釋放率、有效燃燒熱、煙產生量及質量損失等參數。

圓錐量熱儀可執行 ASTM E 1354、ASTM E1474、ULC 135、BS 476-15、ISO 5660 及 CNS 14705-1 等國際及我國之測試標準。

#### 七、其餘設備系統

本案主要大型實驗設備除 40 MW 燃燒實驗氣體分析系統與廢氣集塵系統之外還包含：升降平台、汗水處理系統、實驗用滅火與測試水源供應系統、堆高機、高空作業機等。

- 1.升降平台:升降平台是置於 40 MW 集煙罩正下方地面，配合燃燒規模或實驗目的用以安置試驗用之大型物件或結構體的平台，具有移動和升降的功能，上層平台面積為 10 Mx10 M，平台面為止滑鋼板。
- 2.汗水處理系統:40 MW 與 10 MW 實驗場地之地面配置有集水溝單獨收集至獨立汗水處理系統，汗水產生係為當燃燒實驗過程需進行滅火時所產生的汗水，或是滅火設備進行滅火性能測試時所產生的汗水。汗水處理分為二種系統，低污染汗水(例如木堆燃燒滅火)將利用筏基採取過濾後再供實驗使用之水循環系統，以節省水資源。另一種若產生高污染汗水則將利用筏基設置獨立封閉式儲存池，將實驗後之污染水集中儲存後，再委請專業汗水處理公司抽取處理，汗水將不再載循環利用。
- 3.實驗用滅火與測試水源供應系統：實驗室將設置供水幫浦或系統，以提供實驗時滅火，或測試滅火設備與性能之水源供應系統。
- 4.建築物水電工程規劃部分，依現行建築法規與消防法規進行規劃編列預算，並考量火災模擬實驗與材料分析實驗室等相關設備用電需求。而供水系統則考量火災模擬實驗室因實驗用滅火與測試水源供應系統所需用水部分與消防緊急用水區分，規劃額外供水與回收系統(汗水處理系統)，避免妨礙建築消防設備功能。
- 5.堆高機、高空作業機：配合實驗設備組裝或前置作業所需之相關機械設備。

6.材料分析實驗室實驗桌櫃：配合材料分析實驗室設置實驗桌櫃等設備設施。

#### 八、經費預估

火災模擬實驗室經費概估可分為二部分，第一部分為「直接工程費」，第二部分為「間接工程費」。

1.「直接工程費」包含以下幾部分經費：

「直接工程費」整體內容依共同性編列基準概估經費，但建議隨物價調整增加編列預算費用。

(1) 建築工程：本項工程主要為鋼筋混凝土構造，40 MW 燃燒實驗室屋頂採用大跨距鋼結構系統與鋼浪板屋頂結構，廢氣除塵系統之煙罩與煙道之懸吊固定採用鋼結構桁架系統。建築工程費預估為 9 億 8 仟萬元。

(2) 設備工程：主要大型實驗設備除 40 MW、10 MW 燃燒實驗氣體分析系統與廢氣集塵系統之外還包含：升降平台、汙水處理系統、實驗用滅火與測試水源供應系統、堆高機、高空作業機等等項目，設備工程費預估為 3 億 3 仟萬元。

(3) 材料分析實驗室儀器設備：相關小型室內材料分析實驗室儀器設備如第二章第五節所述，消防署提出其升級或汰換該儀器所需之經費預估為 6 仟 3 佰萬元，但如前述考量工程發包時程不定，建議後續費用應依物價調整增加編列預算，所以調整經費預估為 8 仟 8 佰萬元。另建議建置進行火災實驗相關材料燃燒分析基本實驗設備「圓錐量熱儀」，以及材料分析實驗室實驗桌櫃，材料分析實驗室儀器設備工程費預估約為 1 億元。

綜上合計直接工程費預估為 14 億 2 仟萬元。

2. 「間接工程費」包含設計監造費、工程管理費、專案管理費、與其他法令規定費用（公共藝術費與空氣汙染防制費等）合計約為 1 億 7 仟萬元。

火災模擬實驗室經費概估含「直接工程費」與「間接工程費」合計總工程費用概估為 15 億 9 仟萬元。

表 3-5 火災模擬燃燒實驗室概估經費表

火災模擬燃燒實驗室概估經費						
項次	項目	單位	單價	數量	複價	備註
一	直接工程費					
(一)	建築工程					
1	建築物工程基本費	m <sup>2</sup>	37,601	16,826	632,677,791	1. 依共同性編列基準概估經費。但考量工程發包時程至少已是2年後建議物價調整增加編列40%費用。 2. 鋼筋混凝土構造
2	挑高部分係數15%	m <sup>2</sup>	5,639	16,826	94,885,179	樓高4.2M
3	鋼結構屋頂	m <sup>2</sup>	28,700	2,592	74,390,400	
4	實驗室防爆結構及設備	式	86,800,000	1	86,800,000	
5	實驗室機電	式	43,400,000	1	43,400,000	
6	實驗室空調	式	16,800,000	1	16,800,000	
7	特殊實驗室消防	式	14,490,000	1	14,490,000	
8	綠建築係數 1%	式	4,830,000	1	4,830,000	
9	電梯	台	2,100,000	2	4,200,000	
10	載貨電梯	台	2,520,000	1	2,520,000	
11	戶外景觀及停車設施	式	5,880,000	1	5,880,000	
	小計				<b>980,873,370</b>	
(二)	設備系統					
1	40MW燃燒實驗氣體分析系統	組	84,000,000	1	84,000,000	
2	10MW燃燒實驗氣體分析系統	組	49,000,000	1	49,000,000	
3	廢氣集塵系統	組	175,900,000	1	175,900,000	
4	實驗滅火與測試水源供應系統	式	6,300,000	1	6,300,000	
5	汙水處理系統	式	8,400,000	1	8,400,000	汙水處理10T/小時
6	堆高機1台、高空作業機1台	式	4,200,000	1	4,200,000	
7	升降平台(10*10m)	台	2,520,000	1	2,520,000	
	小計				<b>330,320,000</b>	
(三)	材料分析實驗室儀器設備					
1	實驗室儀器汰換及升級	式	88,340,000	1	88,340,000	
2	圓錐量熱儀	台	11,900,000	1	11,900,000	
3	材料分析實驗室實驗桌櫃	式	7,000,000	1	7,000,000	
	小計				<b>107,240,000</b>	
	合計一				<b>1,418,433,370</b>	
二	間接工程費					
1	空氣汙染防制費	式	1,500,000	1	1,500,000	面積*2.47*施工月數
2	地質鑽探費	孔	50,000	30	1,500,000	
3	建築設計費	式	49,232,183	1	49,232,183	
4	建築監造費	式	37,440,387	1	37,440,387	
5	工程管理費	式	9,292,167	1	9,292,167	
6	公共藝術費	式	14,184,334	1	14,184,334	直接工程成本之 1%。
7	專案管理費	式	49,645,168	1	49,645,168	直接工程成本之 3.5%。
8	環境監測費	式	7,092,167	1	7,092,167	直接工程費0.5%
	合計二				<b>169,886,406</b>	
三	總計所需經費(合計一+合計二)				<b>1,588,319,776</b>	

經費概估表(單位:元)

(資料來源：本研究自行整理)

### 九、整體計畫期程預估

一般工程的各階段程序以工程生命週期而言可分為：規劃階段設、設計階段、施工階段、使用維護階段。其中「規劃階段」又可分為：提出需求、可行性評估、初步規劃。本計畫目前應屬於「可行性評估」階段，亦即已初步定出建議之建築規模、空間配置、空間面積。但是主管機關尚未編列與核定經費。後續初步規劃階段則依據核定經費進行初步規畫，初步規劃內容須確定經費、招標模式(確認採用一般設計施工二階段標模式，或是統包模式)、擬定空間面積性能與實驗設備規格性能。

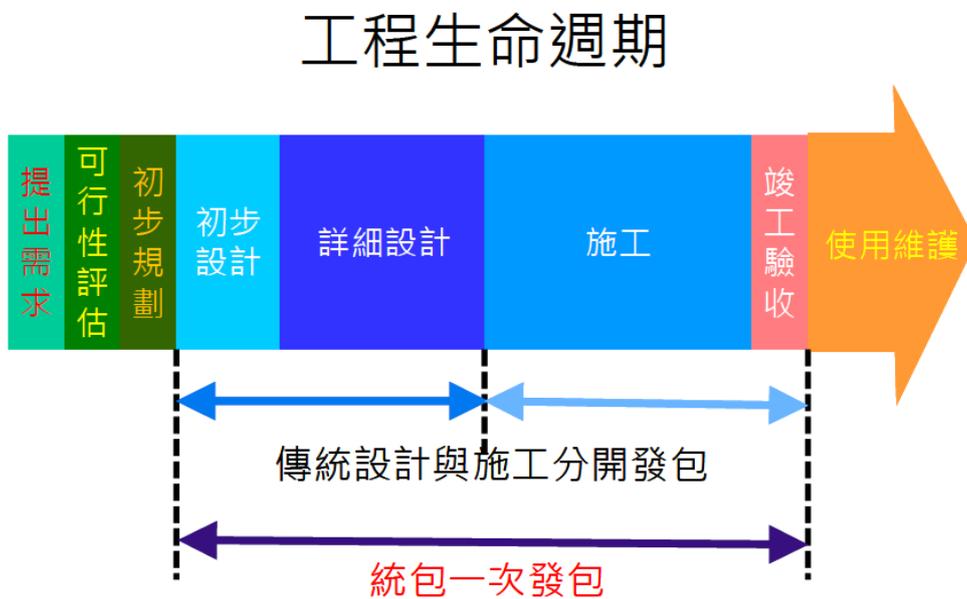


圖 3-30 一般工程的各階段<sup>27</sup>

(資料來源：吳再欽/法令分析及招標策略/臺北市政府 110 年度統包工程實務研習班)

整體計畫期程「火災模擬燃燒實驗室之規劃與建置」至竣工驗收完成可以分為三個階段「規劃階段」、「營建設計階段」、「營建工程階段」。其中目前本案研究成果已提出「火災模擬燃燒實驗室之規劃與建置」建議之建築

<sup>27</sup>吳再欽，法令分析及招標策略/臺北市政府 110 年度統包工程實務研習班，2021。

規模、空間配置、空間面積，完成「可行性評估」，但是主管機關尚未編列與核定經費。所以目前的工作進度於整體計畫期程應是完成「規劃階段」中的「可行性評估」項目。

後續整體計畫期程若經費編列核定之後，依據核定經費進行「規劃階段」中的「初步規畫」項目，初步規劃內容須確定經費、招標模式(採用一般設計施工二階段標模式或是統包模式)、擬定空間面積性能與實驗設備規格性能。

若採傳統一般設計施工二階段招標模式，「營建設計階段」預估約需 1 年 6 個月時間、「營建工程階段」及「移轉設備階段」預估約需 3 年 9 個月時間，因此火災模擬燃燒實驗室由「初步規畫」至建置完成合計預估約 6 年時間。

表 3-6 整體計畫期程預估表

火災模擬燃燒實驗室規劃設計與建置辦理時程概估表																									
工作項目		第1年/季				第2年/季				第3年/季				第4年/季				第5年/季				第6年/季			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
規劃階段	1	提出需求																							
	2	可行性評估(註1)																							
	3	初步規劃(註2)																							
設計階段	1			初步設計																					
	2					詳細設計																			
施工建設階段	1									木建工程施工															
	2																	實驗設備工程施工							
	3																							竣工驗收	
備註		備註事項： 1.本研究案應屬「可行性評估」階段，研究成果已提出「火災模擬燃燒實驗室之規劃與建置」建議之建築規模、空間配置、空間面積，但是主管機關尚未編列與核定經費。 2.依據核定經費進行「初步規畫」，初步規劃內容須確定經費、招標模式(確認採用一般設計施工二階段標模式，或是統包模式)、擬定空間面積性能與實驗設備規格性能。																							

十、工程招標發包策略建議

在公共工程中，隨著工程的規模日趨龐大，加上主辦機關對工程的要求越來越高，傳統採購模式(採用一般設計施工二階段標模式)在許多工程的執行結果已顯現出無法滿足招標採購的需求。大型或機能複雜型公共工程之

招標發包方式除傳統之發包方式外，為縮短執行時程，以及可提升採購效率、確保品質，縮短工期及無增加經費之情況下，可考慮採用「統包」方式辦理招標。將設計與施工以統包方式辦理招標，以縮短設計及施工工期。

統包採購於履約階段，可節省界面問題處理之人力與時間降低管理工作負荷然而其於評選、設計審查、施工監造之工作，須具有相關專業人力及能力。故機關如擬以統包方式辦理採購，應考量機關之人力與能力是否足以勝任統包案之審查及管理工作。其不足以勝任者，建議委託「專案管理」。

本案的土建工程已是屬於大型化工程計畫而且須配合大型的特殊專業實驗設備，又增添整體的工程內容的複雜化。對於如此大型、具特殊專業性能且複雜的實驗室工程，要推動此項工程計畫一般公務機關的人力與能力的負擔恐會太過沉重。所以順利推展計畫且縮短設計及施工期程的考量下，招標方式採「統包」辦理並委託「專案管理」是可行的發包招標策略選項建議。

## 第四章 營運模式及人力成本

### 第一節 未來營運模式及項目

新建一火災模擬實驗室需要大量經費用以興建主要建築物及建置不同尺度之火災相關試驗設備，然火災模擬實驗室建置後無法一味地投入經費以維持整體實驗室運作，而是實驗室需以自身火災科學的研究能量及各項消防安全訓練爭取營運經費來源。透過蒐集我國、日本、中國及美國火災相關實驗室資訊，可歸納出各國火災模擬實驗室營運模式如下：

#### 一、公營模式

指由政府轄下各級地方自治團體全資成立或出資超過半數的公司或事業機構，「公營事業」其實是「公有營業機關」和「公有事業機關」的合稱，前者有營利目標(如大型金融行庫、能源、水資源、與交通相關企業)，後者則屬非營利性質(如公立學校和醫院等)，公營事業又分成中央政府所有(國有)與各級地方政府所有(公有)<sup>28</sup>。此種營運模式如我國建築研究所防火實驗室、日本國家級火災與災害研究所、中國應急管理部天津消防研究所、美國 NIST 國家火災研究實驗室及美國 ATF 火災實驗室等皆以此模式營運。其中中國應急管理部天津消防研究所為國家消防產品質量監督檢驗機構，可利用檢測及核可消防設備增加實驗室經費收入，而美國 FRL 是美國第一家為火災調查提供現場支持和遠程技術援助等服務的實驗室，獲得 ANSI 國家認證委員會之認證開展火災現場重建相關的分析測試和機電證據檢查，亦可增加實驗室額外經費來源。

#### 二、公辦民營

政府將業務委託民間經營或管理的一種委託型態，而亦有另一種委託型態為「部分公營，部分民營」，目的都在於鼓勵行政機關引進民間資源，以提升公共服務效率與功能，活化人力之餘也為政府降低財政負擔<sup>29</sup>。國立成功大學防火安全研究中心亦屬於此營運模式之機構，起初先經由國立成功大學出資建置研究中

<sup>28</sup>

<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E6%B0%91%E5%9C%8B%E5%85%AC%E7%87%9F%E4%BA%8B%E6%A5%AD>

<sup>29</sup> <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%AC%E8%BE%A6%E6%B0%91%E7%87%9F>

心，成立基金會後逐漸回收原本所投資之建置成本，之後每年學校再以固定行政規費收取費用，而基金會亦可自行利用營利所得持續運作。然而中國科學技術大學火災科學國家重點實驗室亦是屬於政府先出資建置實驗室，後續由學校方持續經營。

### 三、民營模式

民營化指政府將持有權益轉讓給私人企業，狹義上來說政府把國有企業和公共服務設施等有形的國有資產，通過返還出售、股份制改造及兼併重組等形式轉讓給個人、私人壟斷組織或經濟集體的經濟現象；廣義則為整個經濟運行機制和環境的自由主義發展，如政府放鬆管制、增強市場機制及強調發揮民營經濟的功能等。公營企業可透過以下途徑民營化<sup>30</sup>：

- (1) 租賃經營：把國有企業租賃承租人經營，承租人可以是本企業職工個人、經營者集體、全體職工或境內外的其他企業、個人或合夥人。
- (2) 承包經營：通過簽訂承包合同，以一定財產作抵押，向發包方取得企業法人財產經營權，承包方案合同規定上交利潤並資產保值增值，承包方可以是個人、也可以是合夥或是本企業全體職工。
- (3) 股份合作：將企業資產等額分成股份，由本企業內職工平等持股，合作經營，按股本和勞動共同分紅的產權組織形式和經營方式。
- (4) 股份租賃制：把股份制與租賃制結合起來的一種經營方式。
- (5) 股份有限公司：通過產權重組，把國有企業改造成國有股，法人股及內部職工持股的混合所有制股份公司。
- (6) 拍賣或出售：將公有產權一次性轉讓給私人或合夥人。
- (7) 嫁接改制：引進境內合境外投資者，通過出售部分股權，引進技術、設備及經營方法，改造原有企業，具體形式有：中外合作，中外合營及城鄉合資等。
- (8) 委託或託管經營：將企業委託給具有經營能力的企業經營管理公司或託管公司經營管理，也可以委託給個人或合夥人經營。

<sup>30</sup> <https://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E6%B0%91%E8%90%A5%E5%8C%96>

- (9) 抽資租賃:國家抽回原有流動資金，將房屋及設備出租，由承租方預繳租賃費，自籌流動資金，實行個體是經營，承租方可以是個人、合夥人或全員承租。
- (10) 先租後售:先向社會公開招標出租，出租期內，承租人分期償還企業資本金，對為還本的資產仍繳資產占用費，待資金全部還清後，產權歸承租人所有。
- (11) 負債協議拍賣:對資不抵債，挽救無望的小企業，由購買方與銀行額其他債權人簽訂協議，承擔原企業的債務償還，出售方不再收拍賣金。

而美國 FM Global 是一間互助保險公司，專門為全球高風險(HPR)財產保險市場領域的大公司提供損失預防服務，主要所做之研究工作有助於防止和減少全世界財產損失，並提供產品公正之第三方認證。

目前國際間針對以下兩種大型特殊火災之消防安全及消防設備之驗證機構較為不足，僅有 FM Global 及 UL 等認證機構。因此本研究規劃建置之大型火災模擬燃燒實驗室應提供檢測服務，並積極申請國際試驗機構相互承認，藉此增加實驗室經費來源。兩種驗證項目如下:

#### 一、大型倉儲空間消防用撒水頭驗證項目

目前國際間針對大型倉儲空間可設置三種新型之不同撒水頭：

- Control mode density area, CMDA
- Control mode specific application, CMSA
- Early suppression fast response, ESFR

如美國 FM Global 提供倉儲所使用不同撒水頭(CMDA, Control Mode Density Area、CMSA, Control Mode Specific Application、ESFR, Early Spuression Fast Response)之檢測服務，資料顯示出國際間針對倉儲使用之撒水頭檢測驗證費用約為一次實驗千萬以上之價格。

#### 二、儲能系統火災消防安全驗證項目

儲能系統為目前國際間備受重視的新興產業之一，然國際間目前針對儲能系統火災消防安全之規範，如 NFPA 855、UL 9540 及 UL 9540A 等標準，均需進行

UL 9540A 儲能系統大型火災測試。經濟部標準檢驗局建置之銅鑼實驗室可進行 UL 9540A 之電池芯(cell)、模組(module)及單元(unit)測試，本實驗室規劃建置 UL 9540A 之現地安裝測試(installation level test)，可提供國內外儲能系統之大型火災測試(如 UL)。

## 第二節 營運人力及成本

本計畫營運人力及成本分析，首先設定火災模擬燃燒實驗室營運初期並未對外界開放，業務來源皆為消防署內部之鑑識分析案件與研究計畫案件。有關火災模擬燃燒實驗室營運時將需用任人力數及成本將參考相關政府機關所公佈之年度會計決算資料。

消防署屬政府機構預算編列符合相關中央政府法規，中央政府第一級至第三級用途別科目分類定義及計列標準表中第一級科目共包含六項，與營運人力及成本有關的應為其中第一項「人事費」及第二項「業務費」。

### 一、營運人力

火災模擬燃燒實驗室依據實驗設備可分為大型燃燒實驗室與小型材料分析實驗室，大型燃燒實驗室包含：40 MW 燃燒實驗室、10 MW 燃燒實驗室，小型材料分析實驗室參考消防署目前既有實驗室可分為：光譜能量分析實驗室、層析實驗室、顯微分析實驗室、電器實驗室。營運方式若採公營模式，相關人力編制參考內政部建築研究所防火實驗中心及日本國家級火災與災害研究所等實驗室，則實驗室中心設一名主管「主任」，五名研究員級人員，五名實驗作業人員，一名行政助理，合計 12 名最少人力編制。

### 二、營運成本說明

中央政府第一級至第三級用途別科目分類定義及計列標準表與營運人力及成本有關的應為其中第一項「人事費」及第二項「業務費」。業務費之二級科目共計有 23 項目，其中於實驗室營運有關科目包含如下(表 4-1)：水電費、通訊費、其他業務租金、稅捐及規費、保險費、國內組織會費、物品、一般事務費、房屋建築養護費、車輛及辦公器具養護、設施及機械設備養、國內旅費、運費。

表 4-1 業務費之二級科目與實驗室營運有關項目

一級科目	二級科目	火災模擬燃燒實驗室營運 有關項目
0200 業務費		
	0201 教育訓練費	
	0202 水電費	V
	0203 通訊費	V
	0215 資訊服務費	
	0219 其他業務租金	V
	0221 稅捐及規費	V
	0231 保險費	V
	0241 兼職費	
	0249 臨時人員酬金	
	0250 按日按件計資酬金	
	0251 委辦費	
	0261 國際組織會費	
	0262 國內組織會費	V
	0271 物品	V
	0279 一般事務費(宣導)	V
	0282 房屋建築養護費	V
	0283 車輛及辦公器具養護	V
	0284 設施及機械設備養	V
	0291 國內旅費	V
	0292 大陸地區旅費	
	0293 國外旅費	
	0294 運費	V
	0295 短程車資	

(資料來源：本研究自行整理)

有關火災模擬燃燒實驗室營運時「業務費」將參考相關政府機關所公佈進3年之實驗室機關年度會計決算資料，業務費之二級科目所占比率。其中一般事務費與設施及機械設備養分別佔41%、38%，物品佔11%，所以實驗設施保養維護與校正，以及實驗耗材(物品)合計約佔業務費之1/2。

表 4-2 業務費之二級科目與實驗室營運項目占比

一級科目	二級科目	占 比
20業務費		100.0%
	2006水電費	2.4%
	2009通訊費	0.6%
	2021其他業務租金	0.3%
	2024稅捐及規費	1.1%
	2027保險費	0.1%
	2045國內組織會費	0.9%
	2051物品	11.5%
	2054一般事務費	41.1%
	2063房屋建築養護費	3.2%
	2066車輛及辦公器具養護	0.3%
	2069設施及機械設備養	38.1%
	2081運費	0.4%

(資料來源：本研究自行整理)

另統計相關實驗室業務費每平方公尺約 545 元，本案規劃總樓地板面積為 14,634 m<sup>2</sup>，預估每年業務費為 79 萬 5 仟元。

相關人力編制預設一名主管「主任」，五名研究員級人員，五名實驗作業人員，一名行政助理，合計 12 名最少人力編制。人事費每人平均 70 萬元計，則年度人事費預估為 84 萬元。營運人力及成本綜上合計每年預估為 1 仟 6 佰萬元/年。

表 4-3 營運人力及成本每年預估費用

一級科目	二級科目	費用/元	備註
01人事費		8,400,000	1. 12名人員
	小計	8,400,000	2. 每人預估700仟元/年
20業務費			
	2006水電費	193,315	
	2009通訊費	49,681	
	2021其他業務租金	27,114	
	2024稅捐及規費	88,789	
	2027保險費	6,961	
	2045國內組織會費	68,009	
	2051物品	914,475	
	2054一般事務費	3,277,917	
	2063房屋建築養護費	256,098	
	2066車輛及辦公器具養護	25,474	
	2069設施及機械設備養	3,038,214	
	2081運費	29,482	
	小計	7,975,530	
	合計	16,375,530	

1. 總樓地板面積為：  
1,4634M<sup>2</sup>  
2. 業務費為：545元/M<sup>2</sup>  
3. 年度業務費合計為：  
7,975,530元

(資料來源：本研究自行整理)



## 第五章 結論與建議

本研究蒐集國內外火災模擬相關實驗室之基礎建置資料、研究設備及營運模式與人力成本，並召開專家座談會議蒐集建築、防火領域及實驗設備商之專業建議，獲得現階段以下之規畫成果，有關未來建置火災模擬燃燒實驗室時，配合社會發展及主管機關之需求，予以通盤考量規劃。

### 第一節 結論

一、提供中央消防機關規劃建置火災模擬燃燒實驗室相關原則，含空間大小、實驗室相關設備種類、配置情形及試驗項目等資料：

1. 火災模擬燃燒實驗室主要以不同量熱尺度之燃燒實驗室與材料分析實驗室為主要設計考量，整體建築物規劃為地上 5 層，實驗室及附屬空間樓地板面積為 14,634 m<sup>2</sup>，建築外配置廢氣處理系統設施一組及滅火用水回收處理係統一組，戶外配置實驗材料準備區 1,980 m<sup>2</sup>、實驗前置處理區 3,910 m<sup>2</sup>、實驗材料處理區 3,910 m<sup>2</sup> 等，整體規畫基地面積約為 28,000 m<sup>2</sup>。
2. 日本、美國及中國所建置之火災模擬燃燒實驗室皆具備不同尺度之量熱分析設備，透過不同尺度之量熱分析及基礎材料性質分析研究設備可完整還原火災事故現場，因此本火災模擬燃燒實驗室規劃建置 40 MW 及 10 MW 的量熱分析裝置、金相顯微鏡、GCMS、FTIR 及圓錐量熱儀等試驗設備。可進行建築物火災、車輛火災、儲能系統火災、大型倉儲火災及油池火災等相關研究。

二、提供火災模擬燃燒實驗室有關水電、消防安全設備、排氣、廢氣和廢水處理方式等資料：

1. 火災模擬燃燒實驗室之水電工程規劃部分，依現行建築法規與消防法規進行規劃編列預算，並考量火災模擬實驗與材料分析實驗室等相關設備用電需求。而供水系統因考量實驗室內實驗供水與滅火用水，須額外規劃供水與回收系統，與消防緊急用水區分，避免妨礙建築消防設備功能。另外火災模擬實驗室亦規劃設置有防爆牆及防爆天花板等防護設計。

2. 國外火災模擬燃燒實驗室皆建置廢氣處理設備，而美國 FM Global 公司則另外建置有閉環式水處理系統及廢棄物乾燥壓實機，因此本火災模擬燃燒實驗室為減少火災實驗後相關之廢氣及廢水汙染，規劃排氣量為 40 萬  $\text{m}^3/\text{hr}$  之排氣設備，及設置袋濾除塵式之廢氣除塵系統與廢水回收處理系統。

三、撰寫預估建置實驗室所需經費及建置期程之計畫草案，供未來中央成立火災鑑識中心設立之參考：

1. 火災模擬實驗室所需經費概估含「直接工程費」與「間接工程費」合計總工程費用約為新臺幣 15 億 9 仟萬元，「直接工程費」包含依共同性編列基準概估經費，但建議依隨物價調整增加編列預算費用，而「間接工程費」包含設計監造費、工程管理費、專案管理費、與其他法令規定費用（公共藝術費與空氣汙染防制費等）。
2. 火災模擬燃燒實驗室為一大型且機能複雜之公共工程，因此若採傳統一般設計施工二階段招標模式，其中「營建設計階段」預估約需 1 年 6 個月時間、而「營建工程階段」及「移轉設備階段」預估約需 3 年 9 個月時間，因此火災模擬燃燒實驗室由「初步規畫」至建置完成合計預估約 6 年時間。
3. 營運方式若採公營模式，相關人力編制參考內政部建築研究所防火實驗中心及日本國家級火災與災害研究所等實驗室，則實驗室中心設一名主管「主任」，五名研究員級人員，五名實驗作業人員，一名行政助理，合計 12 名最少人力編制，而營運人力及成本合計每年預估約為新臺幣 1 仟 6 佰萬元/年。

## 第二節 建議

建議一：

建置火災模擬燃燒實驗室：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：

火災現場為一極不安定之場所，而建築物火災往往造成人員傷亡或財產損失，且又因無法事先預測其發生使得火災現象的危險程度加劇，日本及美國皆建置火災模擬燃燒實驗室透過不同量熱尺度之分析裝置以重現重大及特殊之火災事故現場，並進行相關火災科學研究。然我國僅內政部建築研究所防火實驗中心有建置可量測達 10 MW 之量熱分析設備，但若欲調查實際火災案例之事故原因，此設備則稍嫌不足。因此為能夠還原真實火場情況以達建立科學化火災調查資料之目的，建議可參照本研究所規劃設計建置不同尺度之火災燃燒模擬實驗室，以進行重大特殊火災模擬燃燒實驗與分析、特殊消防設備之驗證及檢測、建築材料之基本燃燒性質及發煙特性調查等。另外實驗室未來之營運效能，應再進一步完整評估，以完整實驗室建置之計畫，及提供更優質之服務(加入應接續進行評估實驗室未來營運之效能等，以完整建置之效能評估)。

建議二：

配合社經發展持續開拓火災模擬燃燒實驗室營運項目：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：

待火災模擬燃燒實驗室建置完成後，每年須負擔實驗室營運及人力成本，若僅依靠政府預算及產學研究案等經費，恐無能力進行進一步火災科學研究發展，甚至難以永續運營。因此建議俟火災研究設備陸續完成購置後，可參照美國 FM Global 之營運模式進行大型倉儲撤水頭使用之標準驗證實驗，或參照 UL 9540A 之標準驗證儲能系統之大型火災測試。藉此增加實驗室之收入，且可協助我國大型倉儲及儲能系統產業之消防安全發展。





附錄一 期初會議審查回覆

項次	評選意見	廠商回應
1	實驗室之預設目標，如可否兼供公、民使用，以供研究或實務測試。	將於未來計畫會議中提供未來使用單位消防署參考。
2	大型燃燒實驗室，除供政府機關研究使用外，亦能兼顧科技研發移轉民間。	將於未來計畫會議中提供未來使用單位消防署參考。
3	請補充說明本案實驗室設置之預期目標及使用功能(如消防設備之滅火性能等)。	謝謝委員建議。本案實驗室設置之預期目標及使用功能即為本計畫內容，待資料收集以及分析之後提出。
4	本案實驗室與建研所所屬火災實驗室或其他研究/認證單位之實驗室的使用差異性為何？	本案會將鋰電池火災、電動車火災等新興消防議題，將納入未來實驗場規劃參考。
5	本案預計規模及使用設備為何？是否需要評估建置工程預算？	本案實驗室之規模、使用設備及工程預算即為本計畫內容，需待資料收集以及分析之後方能提出。
6	最近火災責任與理賠訴訟有趨頻繁之趨勢，若調查單位科學證據不足，公信力會受質疑。建置火災鑑識實驗中心確實有其重要性與貢獻度。	謝謝委員肯定。
7	美日實驗室建置多年，功能大、佔地廣、經費多，我國短期建置完成實不容易。建議本案初期應將實驗室類型及實驗設備規劃、分類，設定期程，編列預算依類型之急迫性逐年完成。	遵照辦理。
8	建議本案能提出設置地點、用地範圍？近年內可初步設立之實驗室類型、所需設備、經費及期程？在防災上定有實質之貢獻。	謝謝委員肯定。
9	宜適當區隔本案建立火災模擬燃燒實驗室與目前建研所建築火災實驗中心的設施功能，達到分工分類及相輔相成功效。	遵照辦理。
10	宜納入營運及維護所需相關人力與經費的長期投入規劃。	遵照辦理。
11	宜納入火災模擬燃燒實驗室所需用到的量測儀器設備和裝置。	遵照辦理。

12	建議蒐集國內、外火災模擬燃燒實驗室近5年所進行之重要實驗或研究項目，以供本案參考。	感謝委員建議，未來將蒐集美國菸酒槍砲及爆裂物管理局與日本消防科學研究所實驗場進行之研究項目，作為我國未來消防研究方向之參考。
13	建議增加實驗室管理人員訪談或意見調查，包括國內公家及民間火災實驗室，另亦可訪談國內相關學者專家。	謝謝委員建議，本案會進行專家座談邀請火災專業學者、設備商、營造商及環境保護相關產官學代表出席，彙整各界之意見，以利撰寫建置實驗室所需預估之經費及建置期程之計畫草案，供未來火災模擬燃燒實驗室設立之參考。
14	本案燃燒實驗室有關建立火災鑑識能力，可能需要若干一些貴重儀器及分析設備，建請納入評估。	遵照辦理。
15	建議詢問消防署所需之成果報告內容項目及本報告之研究目的。	遵照辦理。
16	本案是否包括成立後的營運規劃，如每年需要投入多少實驗經費、維護或老舊維修及人員等之經費估算與預測。	本案實驗場建置完成後之營運方式及成本，將分析後提供消防署參考。
17	本案是否考量如何將實驗與模擬結合，提升重大火災現場建構之量能。	遵照辦理。
18	在規劃上可否評估和建研所以及其他單位之協調分工，更希望能與建研所的防火實驗中心互相提攜。	遵照辦理。

附錄二

第一次工作會議記錄

一、時間：111年04月19日(星期二)上午10時00分

二、地點：內政部建築研究所 討論室一

(新北市新店區北新路三段200號13樓)

三、主席：王組長順治、蔡教授匡忠

記錄：葉駿嘉

四、出席委員：張組長福綜、葉科長金梅、王視察志鵬、雷研究員明遠、李副研究員其忠、蘇建築師鴻奇

五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
王組長順治	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 找出重要國家裡消防實驗室的核心架構(行政研究、研究實驗)與定位。</li> <li>2. 將國內類似計畫部門實驗室資料做盤點，整合所有資料和人員所需配置，以經費說明人員組成和軟體所需，以此概念建置，找出消防署的重心。</li> <li>3. 以階段性來建構，國外重要處且國內不足之處為優先考量。</li> <li>4. 建議蒐集國內燃燒實驗室計畫3-10年所進行之重要實驗或研究項目，在未來朝無碳和綠建築方向發展。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議</li> <li>2. 感謝委員建議</li> <li>3. 感謝委員建議</li> <li>4. 感謝委員建議</li> </ol>
張組長福綜	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 原有實驗室將變為教學輔助提供觀摩，判斷舊有儀器且是否再利用。</li> <li>2. 搜尋其他國外現有資訊參照，設計出可供民眾瞭解火災煙流導致人員逃生之研究，並讓大眾觀摩與設計拍攝幾種情境宣傳影片。</li> <li>3. 未來規劃中，利用他國資訊，預先了解新型火災型態，例如：鋰電池火災、儲能設備等等。</li> <li>4. 在實驗場所內需設計監控室，除了能透過儀器量測溫度數據也能接收到空氣分析之數值。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議</li> <li>2. 與民眾結合，設計出民眾觀摩設計與宣導火災影片，讓民眾能更加認知火災發生之情境。</li> <li>3. 現今尚未有具體的防治方式，目前有其構造、測試等等類型的數據，需待資料收集以及分析之後方能提出。</li> <li>4. 感謝委員建議</li> </ol>

<p>葉科長金梅</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. MRI 火災實驗室資料來源非常少，他當時是由一家公司建設，能否聯繫到該公司，詢問實驗室的面積大小，建置時需要那些設備，看能不能聯絡到並向他們要取這些資料。</li> <li>2. 先統計並做出建置實驗室所需要的所有儀器的清冊，例如：GC-MS、TGA，方便未來申請儀器經費時能更清楚。</li> <li>3. 在做中、大型，甚至是模擬真實情況下實驗，其廢氣與廢水都須達到標準值，該如何設計防治空汙設備及汙水處理設備。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 麻煩提供建設公司資訊，本研究團隊會與此建設公司詢問所需資訊。</li> <li>2. 本案實驗室之規模、使用設備算即為本計畫內容，需待資料收集以及分析之後方能提出。</li> <li>3. 感謝委員建議，未來將蒐集美國菸酒槍砲及爆裂物管理局與日本消防科學研究所實驗場，作為我國未來消防研究方向之參考。</li> </ol>
<p>雷研究員明遠</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議去了解各實驗室研究量能，利用各單位的研究技術，在發生狀況時能更有效率的解決。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 未來在發生狀況時，會參考 UL 實驗室設立滅火標準，這樣在做研究或救災都能符合消防署的需求。</li> </ol>

附錄三

第二次工作會議記錄

一、時間：111年06月23日(星期三)下午02時00分

二、地點：線上視訊會議

三、主席：王組長順治、蔡教授匡忠

記錄：葉駿嘉

四、出席委員：張組長福綜、葉科長金梅、王視察志鵬、雷研究員明遠、李副研究員其忠、蘇建築師鴻奇

五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
王組長 順治	<ol style="list-style-type: none"> <li>7月15號會由主秘單位來做期中審查。</li> <li>彙整建築和消防領域實驗室工作業務架構及分工情形。</li> <li>建議蒐集各國實驗室共同擁有的設備，針對國家所欠缺的部份，彙整成表格並提出專業建議。</li> <li>實驗室在行政工作及消防研究的部分會有相關業務，在規劃時也需將行政方面納入討論。</li> <li>需要蒐集國外最新型的火災案例，並規劃新型火災實驗室和新型模擬演算火災實驗室。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員建議</li> <li>感謝委員建議</li> <li>感謝委員建議</li> <li>麻煩葉科長，提供所裡使用之相關行政配備及設備與設備使用評價。</li> <li>未來新型火災的類型屬於根據現場狀況作分析，所以我們設計一個40MW的大型實驗場用以應對在任何情況下之火災案例。</li> </ol>
張組長 福綜	<ol style="list-style-type: none"> <li>在國內規劃的部份可以增加銅鑼標檢局的資料。</li> <li>蒐集國內實驗室，包括檢驗局、國內相關消防大學，共同擁有的設備，彙整成表格與國外的資料進行比較並提出專業建議。</li> <li>加強對於各國資料和背景論述，使資料豐富，讓台灣消防量能不足議題能夠更加被重視。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員建議</li> <li>感謝委員建議</li> <li>我們會把論述的部分做的更完善，從預防火災針對建築、防火及消防的角度，整理其分工狀況及研究分析，國外國內設備及研究方向的盤點，整理出台灣需補足的部分。</li> </ol>
葉科長 金梅	<ol style="list-style-type: none"> <li>建議在專家座談時，找關於消防領域的專家，使會議討論能更清晰。</li> <li>側視圖以實際尺寸繪製，以便規劃出完整得實驗室的配置，使其有更</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>我們會將專家資料在給各位確認，看是否需要變更。</li> <li>感謝委員建議</li> </ol>

	<p>多的說服力。</p> <p>3. 我們是否能將實驗室之尺寸增加至 40MW,使其能應對各種大型火災測試。</p> <p>4. 麻煩將圓錐量熱儀的經費也整理進實驗室的經費,以便未來試驗。</p>	<p>3. 我們會先討論 40MW 實驗室空間規劃,並請蘇建築師繪製完整的規畫圖。</p> <p>4. 等實驗室空間確認,會在之後報告提供我們所整理汰舊換新及缺少設備資訊,並報價於國外廠商,整合出所有經費。</p>
雷 研究 員 明遠	<p>1. 在國內規劃的部份可以增加標檢局鋰電池和建築中心林口的資料。</p> <p>2. 建議增加國外規劃美國 NIST、歐洲 BRE 的相關硬體設備資訊。</p> <p>3. 在未來是否會使用到戶外實驗場所,其尺寸、設施、設備及設置位置,在麻煩規劃時標記出來。</p> <p>4. 將規劃圖的詳細尺度標記出來,在未來討論時能更加完整、具體。</p>	<p>1. 感謝委員建議</p> <p>2. 目前我們遇到問題是資料源太少,像是 RICE、NIST 網站上的資料有限,加上許多設備為公司機密,所以也較難整理。</p> <p>3. 感謝委員建議</p> <p>4. 我們預計在 7、8 月才能夠有準確的實驗規劃圖,對於 40MW 實驗室的規畫需跟國外學者做詳細的討論,目前會先做出一個設計圖。</p>
李 副 研 究 員 其 忠	<p>1. 查核表上專家座談需改至 3 次,另外需安排 10 次的訪談人員。</p>	<p>1. 感謝委員建議</p>

## 附錄四 第一次專家座談會議記錄

一、時間：111年6月29日(星期三)上午10時00分

二、地點：線上視訊會議

三、主席：王組長順治、蔡教授匡忠

記錄：葉駿嘉

四、出席委員：張組長福綜、吳組長俊瑩、李教授訓谷、黃建築師建華、葉科長金梅、王視察志鵬、蔡簡任研究員銘儒、雷研究員明遠、李副研究員其忠、蘇建築師鴻奇、曾博士子彥

### 五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
王組長 順治	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在實驗室建置論述中須強調哪些設備規劃是消防署特有、哪些是可以跟建研所互相協助。</li> <li>2. 實驗室規劃需將燈光、攝影等等相關設計納入考慮。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>
張組長 福綜	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 應明確實驗室之工作職掌，分析工作項目會有哪些、為甚麼要使用此項目和其未來能做甚麼類型實驗。</li> <li>2. 需更多項目的設備分析將目的緒論得更清楚。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 在蒐集資料的同時也發現國外小尺度設備資料不易獲取，但會以案例、實驗室功能及設備項目比較之方式論述。</li> </ol>
吳組長 俊瑩	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需先確立實驗場域目的及計劃，建議消防署提供更具體的研究方向給研究團隊。</li> <li>2. 許多消防實驗需大空間(例如射水槍、貨架式撒水頭)，建議大型實驗場設置足夠空間評估大型的消防設備並考量新型的火災案例。</li> <li>3. 在擴張性及未來性可考量國外的測試項目。</li> <li>4. 在實驗場上人員維護、營運管理人力所需多少須於期末報告提出建議。</li> <li>5. 實驗室實驗監控為本實驗場獨</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 消防署已研提火載量、火災案例再現性、材料起火致災等方向。</li> <li>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>4. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>5. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>

	<p>立架設還是連通於訓練中心之整體監控，需與訓練中心討論。</p> <p>6. 未來可以將企業租借實驗室納入未來營運考慮。</p>	<p>6. 將列為後續工作項目。</p>
<p>蔡簡任 研究員 銘儒</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 規劃應考慮近期、中期、長期的成效及經費，俾利建置後未來有足夠經費去維護、並進行相關研究。</li> <li>2. 在國外規劃的部份可以增加 NIST 實驗室的資料，包括 20MW 實驗場。</li> <li>3. 將未來可能應對到的新型火災也納入考慮，該場域是否能架設出重現同類型的火災型態。</li> <li>4. 40MW 實驗過程中，會不會遇到爆炸的情況，能燒到多大的規模，假設發生爆炸的情況會不會影響到周圍的實驗室。</li> <li>5. 應考量 40MW 設備之安全，排氣罩的排煙管徑甚大重量也很重，懸掛方式需特別考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 規劃的部分定義成研究、研發、檢測，研究、研發目前在台灣量能不足較不被重視，在永續經營的部分會需要在檢測及教育訓練等等相關業務。</li> <li>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>4. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>5. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>
<p>黃建築 師建華</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公共工程經費申請先期規畫應會有財務計畫，後續營運管理部分的預估要一併考量，所以測試認證可能會是比較好的方向思考。</li> <li>2. 鋰電池會是未來新議題，設備及測試項目與其他單位(EX：消防署、建研所、標檢局)是否有競合問題而影響計畫經費申請。</li> <li>3. 鋰電池自身活性大，受測完後可能間隔一段時間後再次自行復燃，與傳統受測體型態不同，建議留設戶外暫存區以確保安全。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 感謝委員建議，將於實驗室規劃論述中補充。</li> <li>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 對應 5MW、40MW 的洗滌塔空間不會太小，建築物外側應預留配置空間。</li> <li>5. 依據 FM Global 相關數據鋰電池燃燒後會釋放可燃氣體，實驗室建議留設洩爆安全間隔帶(通常在牆體)。</li> <li>6. UL9540a 有其他細項試驗項目，整體配置需考量內部試驗項目之附屬設備規劃，故相關試驗細項應先予以確定。若有落下、加速等試驗項目，此部分應規畫於一樓樓板以利結構配合。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>5. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>6. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> </ol>
<p>李教授 訓谷</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在國外規劃的部份可以多增加美國 NIST 實驗室及英國 Warrington 防火消防實驗室資料。</li> <li>2. 在實驗場所設計方面，進出口的尺寸會影響到實驗試驗的規模，比方說未來研究接觸到風力發電火災實驗，這樣進出口尺寸明顯不足。</li> <li>3. 進場的動線圖也須加以討論，包括大型移動、載運等等機具，都需納入參考。</li> <li>4. 建造的成本超過 5000 萬或 2 億的話，需申請綠建築與至會建築標章，這需納入考量。</li> <li>5. 按照綠建築標準設計，排煙管道會有一部份的設備是屬於防治設備，需詳細考量。</li> <li>6. 清理測試完的試體，需不需要額外的空間去堆置，還是其他處理方式。</li> <li>7. 電力系統、機電系統、中央監控系統，目前尚未規劃，在同時進行大型實驗時電力系統會</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>3. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>4. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>5. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>6. 感謝委員建議，將納入規劃。</li> <li>7. 感謝委員建議，將納入規</li> </ol>

	不會癱瘓，還有中央監控系統位置、規格都需詳細討論。	劃。
雷 研 究 員 明 遠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在國外規劃的部份可以增加美國 NIST 實驗室大型試驗資料，另針對重大災例進行火災模擬俾利火災調查為一重要研究方向。</li> <li>2. 針對排煙罩的部分，整理安裝架設方式，對其安全性做詳細討論。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>
葉 科 長 金 梅	1. 實驗室之功能為燃燒燃料火載量測試資料、常見大型火災再現性實驗、起火燃料之間引火性燃燒之實驗，大型火災實驗有住宅火災。	1. 謝謝提供資訊。
李 副 研 究 員 其 忠	1. 之後再提供王天志博士到美國 NIST 的資訊給研究團隊。	1. 謝謝提供資訊。

附錄五 期中會議審查回覆

委員	委員意見	研究團隊回應
方一匡 教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 期初審查與歷次專家學者座談會已針對設置模擬燃燒實驗室相關問題提出許多寶貴建言，研究團隊也蒐集國內外大型火災研究機構現有的設備與主要研究方向相關資料，建請使用單位依照業務需要，確認未來主要研究方向、設備需求種類及規模大小，以利訂出後續規劃作業的時程控制里程碑，是否需要分期興建以及室內外未來使用空間預留規劃。</li> <li>2. 建議將第四與第五章合併並充實內容，有更多使用單位未來可能使用設備人員之意見參與。</li> <li>3. 如此大型實驗設備的設置應同時規劃未來如何與民間研究或檢驗需求結合，考慮現階段以及後續維護與更新設備經費的來源。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理，將列入期中報告後之工作項目。</li> <li>2. 謝謝委員建議，未來將於專家學者座談會中提出討論。</li> <li>3. 遵照辦理。</li> </ol>
林大惠 教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 火災模擬實驗室的規劃宜汲取內政部建研所建置防火實驗中心經驗，避免重覆設備投資，但需要提升設備應用的未來性，需適當評估相關設備的使用性之常年維護需求。</li> <li>2. 宜適當評估實驗室未來要執行模擬實驗項目，藉此擬訂實驗室量體及所需配置的相關設備及儀器。</li> <li>3. 建請研究團隊以研究項目的方式規劃未來只空間需求而非只以國內外實驗室比較分析之方式進行。</li> <li>4. 40MW 之設備量體很大，重量也很重，結構規劃需特殊考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議，未來會與建研所防火實驗中心討論。</li> <li>2. 謝謝委員建議，該項目皆為本研究期中報告後之工作項目。</li> <li>3. 本研究試圖以此二方向進行分析，然而網路資訊不足，將持續進行。</li> <li>4. 謝謝委員建議，該項目為期中報告後之工作項目。</li> </ol>
張福綜 組長	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本實驗室未來之定位在於火場重建再現性實驗（例如倉儲火災）以提供本土火災預防及搶救資訊、可</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理。</li> </ol>

	<p>燃物於不同空間之燃燒及煙流行為及教育訓練用，先期研究團隊將相關論述多所著墨。</p> <p>2. 本實驗室未來之環保要求建請研究團隊列入考量。</p>	<p>2. 遵照辦理。</p>
陳誠直教授	<p>1. NIST 為美國重要的實驗中心，其下的 National Fire Research Laboratory 亦有與本案相關的實驗設施。建議請加入此實驗室的資料。</p> <p>2. 建議列表比較各重要實驗室中心的空間、設備與研究領域。</p>	<p>1. 謝謝委員建議，未來會蒐集相關實驗設施資料。</p> <p>2. 遵照辦理。</p>
陳正平土木技師	<p>1. 建議評估長期使用頻率，必要時增加設置相關行業試驗設備(例如結構工程材料火害鑑定)，以便發揮投資最大效益。</p>	<p>1. 謝謝委員建議，未來實驗室以主動式防火為實驗方向。</p>
曾偉文副教授	<p>1. 目前我國性能設計之效能並無相關確認之實驗，未來本實驗室可進行相關評估。</p> <p>2. CNS 15937 熱煙實驗亦可作為本實驗室之性能分析項目。</p>	<p>1. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>2. 遵照辦理。</p>
江支川全建會建築師	<p>1. 火災實驗室大樓：L=109m，W=53m，H=27m，應當能滿足實驗需求的空間尺寸，但研究人員的研究室、資訊室、醫務、儀器等等支相關空間，是否應深入考慮。</p> <p>2. 國外相對應的實驗室，如何規劃設計，是否有參考借鏡的空間？</p> <p>3. 是否有考慮將來擴建的構想？</p>	<p>1. 本研究將儀器納入考慮，其他研究室、資訊室、醫務及儀器等等支相關空間，會列為後續規畫項目。</p> <p>2. 本研究目前已蒐集許多國外設計資訊。</p> <p>3. 謝謝委員建議，目前實驗室建置之規畫皆以室內為主，並保留未來擴建需求。</p>
林自勤土木技師公會全國聯合會/	<p>1. 本案研究係以建置「火災模擬燃燒實驗室之規劃」研究，首先請釐清此實驗室是否皆以室內為主，同時只針對一般性材料燃燒試驗為主。</p> <p>2. 有無針對化學類材料做模擬燃燒</p>	<p>1. 謝謝委員建議，目前實驗室建置之規畫皆以室內為主。</p> <p>2. 本實驗室目前規劃並非</p>

<p>土木技師</p>	<p>實驗？若有針對化學類材料做模擬燃燒實驗，是否需要有毒氣體與有毒廢水的收集與過濾系統？是否需要防爆區間的規畫與建置？</p> <p>3. 12 頁與 13 頁之圖 3-8~3-10 相片顯示為戶外模擬研究，依現行環保規定是否還許可？</p>	<p>以化學材料燃燒為方向。</p> <p>3. 謝謝委員建議，目前實驗室建置之規畫皆以室內為主。</p>
<p>藍英昭 土木技師</p>	<p>1. 建議將各國火災科學相關實驗中心試驗室面積、高度比較整理，以利評估實驗室規劃面積之空間高度。</p> <p>2. 大型燃燒實驗室挑高六層樓，對於「各類場所消防安全設備設置標準」是否有適用困難，且火災燃燒實驗室消防設備之建築防護是否需加強，請提出規劃建議。</p> <p>3. 對期中報告表 3.12 內政部消防署後續移轉至火災實驗大樓之實驗設備，建議提出規劃配置空間。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 謝謝委員建議，此為本研究期中報告後之工作項目。</p> <p>3. 謝謝委員建議，此為本研究期中報告後之工作項目。</p>
<p>王順治 組長</p>	<p>1. 本實驗室之設立目的、定位、與建築研究所現有研究能量之區隔等均需列入未來實驗目的之論述中。</p> <p>2. 建請研究團隊特別考量本實驗室之安全需求。</p> <p>3. 本實驗室未來之營運及如何永續發展，建請研究團隊參考建築研究所目前之營運方式將未來所需人員及營運模式列入建議。</p>	<p>1. 本研究會以案例、實驗室功能及設備項目比較之方式論述。</p> <p>2. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>3. 遵照辦理。</p>
<p>樂中丕 主任秘書</p>	<p>1. 本實驗室之定位建請研究團隊與消防署多加溝通，加強建立實驗室之目的。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p>
<p>主持人 回應</p>	<p>本計劃期末報告預計呈現</p> <p>1. 實驗室設立論述。</p> <p>2. 研究議題及儀器建議。</p> <p>3. 營造工程規劃（含安全、環保及綠建築）需求及。</p> <p>4. 營運模式建議，研究團隊將納入委員意見作為期中報告後之工作項目。</p>	



## 附錄六 第二次專家座談會議記錄

一、時間：111年10月13日(星期四)上午10時00分

二、地點：線上視訊會議

三、主席：王組長順治、蔡教授匡忠 記錄：葉駿嘉

四、出席委員：張組長福綜、吳組長俊瑩、李教授訓谷、葉科長金梅、  
王視察志鵬、雷研究員明遠、李副研究員其忠、蘇建築師鴻奇、曾博士子彥

### 五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
王組長 順治	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在實驗室建置論述中須強調哪些設備規劃是消防署特有、哪些是可以跟建研所互相協助。</li> <li>2. 實驗室規劃需將燈光、攝影等等相關設計納入考慮。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 謝謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>
張組長 福綜	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 應明確實驗室之工作職掌，分析工作項目會有哪些、為甚麼要使用此項目和其未來能做甚麼類型實驗。</li> <li>2. 需更多項目的設備分析將目的緒論得更清楚。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 在蒐集資料的同時也發現國外小尺度設備資料不易獲取，但會以案例、實驗室功能及設備項目比較之方式論述。</li> </ol>
吳組長 俊瑩	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需先確立實驗場域目的及計劃，建議消防署提供更具體的研究方向給研究團隊。</li> <li>2. 許多消防實驗需大空間(例如射水槍、貨架式撒水頭)，建議大型實驗場設置足夠空間評估大型的消防設備並考量新型的火災案例。</li> <li>3. 在擴張性及未來性可考量國外的測試項目。</li> <li>4. 在實驗場上人員維護、營運管理人力所需多少須於期末報告提出建議。</li> <li>5. 實驗室實驗監控為本實驗場獨立架設還是連通於訓練中心之</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 消防署已研提火載量、火災案例再現性、材料起火致災等方向。</li> <li>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>4. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>5. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>

	<p>整體監控，需與訓練中心討論。</p> <p>6. 未來可以將企業租借實驗室納入未來營運考慮。</p>	<p>6. 將列為後續工作項目。</p>
<p>蔡簡任 研究員 銘儒</p>	<p>1. 規劃應考慮近期、中期、長期的成效及經費，俾利建置後未來有足夠經費去維護、並進行相關研究。</p> <p>2. 在國外規劃的部份可以增加 NIST 實驗室的資料，包括 20MW 實驗場。</p> <p>3. 將未來可能應對到的新型火災也納入考慮，該場域是否能架設出重現同類型的火災型態。</p> <p>4. 40MW 實驗過程中，會不會遇到爆炸的情況，能燒到多大的規模，假設發生爆炸的情況會不會影響到周圍的實驗室。</p> <p>5. 應考量 40MW 設備之安全，排氣罩的排煙管徑甚大重量也很重，懸掛方式需特別考量。</p>	<p>1. 規劃的部分定義成研究、研發、檢測，研究、研發目前在台灣量能不足較不被重視，在永續經營的部分會需要在檢測及教育訓練等等相關業務。</p> <p>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>4. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>5. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p>
<p>黃建築 師建華</p>	<p>1. 公共工程經費申請先期規畫應會有財務計畫，後續營運管理部分的預估要一併考量，所以測試認證可能會是比較好的方向思考。</p> <p>2. 鋰電池會是未來新議題，設備及測試項目與其他單位(EX：消防署、建研所、標檢局)是否有競合問題而影響計畫經費申請。</p> <p>3. 鋰電池自身活性大，受測完後可能間隔一段時間後再次自行復燃，與傳統受測體型態不同，建議留設戶外暫存區以確保安全。</p> <p>4. 對應 5MW、40MW 的洗滌塔</p>	<p>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>2. 感謝委員建議，將於實驗室規劃論述中補充。</p> <p>3. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>4. 感謝委員建議，將納入規</p>

	<p>空間不會太小，建築物外側應預留配置空間。</p> <p>5. 依據FM Global 相關數據鋰電池燃燒後會釋放可燃氣體，實驗室建議留設洩爆安全間隔帶(通常在牆體)。</p> <p>6. UL9540a 有其他細項試驗項目，整體配置需考量內部試驗項目之附屬設備規劃，故相關試驗細項應先予以確定。若有落下、加速等試驗項目，此部分應規畫於一樓樓板以利結構配合。</p>	<p>劃。</p> <p>5. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>6. 感謝委員建議，將納入規劃。</p>
<p>李教授 訓谷</p>	<p>1. 在國外規劃的部份可以多增加美國 NIST 實驗室及英國 Warrington 防火消防實驗室資料。</p> <p>2. 在實驗場所設計方面，進出口的尺寸會影響到實驗試驗的規模，比方說未來研究接觸到風力發電火災實驗，這樣進出口尺寸明顯不足。</p> <p>3. 進場的動線圖也須加以討論，包括大型移動、載運等等機具，都需納入參考。</p> <p>4. 建造的成本超過 5000 萬或 2 億的話，需申請綠建築與至會建築標章，這需納入考量。</p> <p>5. 按照綠建築標準設計，排煙管道會有一部份的設備是屬於防治設備，需詳細考量。</p> <p>6. 清理測試完的試體，需不需要額外的空間去堆置，還是其他處理方式。</p> <p>7. 電力系統、機電系統、中央監控系統，目前尚未規劃，在同時進行大型實驗時電力系統會不會癱瘓，還有中央監控系統</p>	<p>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</p> <p>2. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>3. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>4. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>5. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>6. 感謝委員建議，將納入規劃。</p> <p>7. 感謝委員建議，將納入規劃。</p>

	位置、規格都需詳細討論。	
雷 研 究 員 明 遠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在國外規劃的部份可以增加美國 NIST 實驗室大型試驗資料，另針對重大災例進行火災模擬俾利火災調查為一重要研究方向。</li> <li>2. 針對排煙罩的部分，整理安裝架設方式，對其安全性做詳細討論。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> <li>2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。</li> </ol>
葉 科 長 金 梅	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗室之功能為燃燒燃料火載量測試資料、常見大型火災再現性實驗、起火燃料之間引火性燃燒之實驗，大型火災實驗有住宅火災。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝提供資訊。</li> </ol>
李 副 研 究 員 其 忠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 之後再提供王天志博士到美國 NIST 的資訊給研究團隊。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝提供資訊。</li> </ol>

附錄七

期末會議審查回覆

項次	委員	委員意見	研究團隊回應
1	方一匡教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究團隊在結論中確立本大型試驗室的主要功能及各樓層之使用規劃，同時規劃近、中、長期試驗室發展計畫。根據目前建立的中、長期發展計畫架構，建議將目前蒐集到的國內外實驗設備功能及發展方向充實發展計畫之內涵，並逐年持續檢討更新發展計畫，使本大型燃燒試驗室能引領國家在此研究領域的先進地位。</li> <li>2. 建議就近期發展計畫的大型燃燒試驗室相關運轉所需軟硬體設備先行籌設，並就原先規劃要進行之大型燃燒試驗項目相關測試細節再加檢討，藉以確認目前所規劃之軟硬體設備籌設的完整性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，將列為後續設計考量項目。</li> <li>2. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> </ol>
2	林大惠教授	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗室建置和未來營運維護耗費極大，整體規劃宜釐清中長期的研究之主題和內容，以及常年預算規劃，且階段性的研究進程。</li> <li>2. 建議除了參考各國重要實驗室的設備外，宜分析各國過去逐年發展防火或消防研究的歷程，以釐清台灣所應依循的研究目標。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2. 感謝委員建議。</li> </ol>
3	林教授文興	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第二章所探討的國內外火災模擬實驗中心種類繁多，各有其規模及功能，難以細窺全貌。建議在該章節中將各國實驗中心種類、設備、規模、測試項目及設置目的等建立表格，比較分析說明使人能更清楚瞭解其內涵。</li> <li>2. 報告書第91頁，如預期成果1，建議列出各實驗室建置之一般性及整體性之規畫原則、注意事項、所需設備種類及佈置方式，將來擴</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2. 感謝委員建議。</li> </ol>

		<p>充性考量等原則性之規畫理念。</p> <p>3. 報告書第 139 頁，營運人力規劃編制 12 人。建議應再針對各個實驗室規劃出營運及維修人力人數、資歷、專長及證照、須接受那些訓練等條件?</p> <p>4. 報告書第 141 頁，本研究案為初步規畫方案。建議在章節末列出擬建議之後續研究項目、方案及研究方向內容等延續性之研究工作。</p>	<p>3. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p> <p>4. 感謝委員建議，後續會做討論。</p>
4	陳誠直教授	<p>1. 研究目的與預期成果需研提火災模擬燃燒實驗室建置期程規範草案，是否已包括在報告內?</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p>
5	陳正平土木技師	<p>1. 建議收集研究題目，依需求急迫性逐步擴充購置設備，以免閒置失效。</p> <p>2. 建議避免購置內政部建築研究所防火實驗中心已有之設備，以免重複浪費。</p> <p>3. 建議研究民眾面臨火災之正確保命及逃生之方法。</p>	<p>1. 謝謝委員建議。</p> <p>2. 感謝委員建議，將列為未來考量。</p> <p>3. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p>
6	曾偉文副教授	<p>1. 由於消防著重在建築物之人命安全，包括內部住民及進入搶救之消防人員，試驗多針對火災原因調查、消防安全設備功能及火場搶救檢討作為主要目的。</p> <p>2. 承上，現今消防單位在消防法賦予退避權，不執行危險性救災行動下，關注火災發展階段，主要也放在閃燃前人命安全的確保，對於不同用途大量體之大型火災實驗，其投資與執行重點，是否擴大回饋人命安全以外的防火安全目標做為未來推動方向，建議納入可行性探討。</p> <p>3. 基本上研究單位投入心力彙整國內外火災科學試驗設施、規劃營運模式與人力成本皆能回應研究設</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</p> <p>2. 感謝委員建議，後續會做討論。</p> <p>3. 感謝委員建議，後續會做討論。</p>

		定之預期成果。	
7	黃教授世建	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對各國大型實驗室之功能、設備、人員配置之專長與人數，可否列表比較。</li> <li>2. 可否較明確提出本實驗室之近期研究對象與題目，以便後續設備與人員配置作較合適之規劃。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2 感謝委員建議，後續會做討論。</li> </ol>
8	藍技師英昭	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大型火災模擬燃燒實驗室排煙風機容量設計宜加以說明。該處挑高火災偵測器及滅火設備宜依燃燒實驗種類加以說明。請考慮維護問題，當火災模擬燃燒完成後，如何清除室內燃燒氣味及懸浮物。</li> <li>2. 做為火災模擬燃燒實驗室，火警風險會比一般建築物高。對於滅火設備及逃生避難需求，請提升設置基準等級。</li> <li>3. 對於結構系統建議：因為本棟建築物樓板不完整，採用韌性抗彎矩構架(SMRF)外，建議加側向抵抗系統。另屋頂桁架宜架設結構頂部，避免地震發生時損壞，但須考慮屋頂防水。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</li> <li>3. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> </ol>
9	盧科長昭宏	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 火災模擬燃燒實驗室如未來人事，提供本部消防署建置使用，宜請規畫未來本實驗室研究主軸、實驗方向，並避免與財團法人台灣建築中心、成大防火安全基金會、本部建築研究所等三家本部認可之評定機構功能及業務需求作區隔，並請說明未來是否朝向經 TAF 驗證防焰材料、遮煙性能評定，以提升設備之實務應用，降低自償維管費用成本。</li> <li>2. 報告書第 133 頁指出規劃建置之大型火災模擬燃燒實驗室提供檢測服務項目包括:大型倉儲空間消</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> </ol>

		<p>防用撒水頭、儲能設備系統火災消防安全；至於新型火災型態除鋰電池外，是否還有其他不同火災載體類型之實驗項目可以開發，電動車充電樁(室內、地下室、室外)及防災、救災的需求。</p> <p>3. 除實驗室人員配置員額外，相關實驗人員，操作人員依據 TAF 認證時應具備之專業訓練證書及時數，建議調查詳列。</p>	<p>3. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p>
10	消防署 呂技正文 村	<p>1. 本研究已彙整本署既有火調實驗室等設備內容，研究報告請再補充說明新的大型燃燒實驗室未來預定進行那些實驗方向的規劃，供本署參考。</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p>
11	中華民國 土木技師公會 全國聯合會 林技師自勤	<p>1. 報告書第 127~129 頁，經費預估與報告書第 139 頁結論，關於火災模擬實驗室經費概估是否加註依據何年的物價做出經費概估成本，以免未來受物價波動影響致無法執行。</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</p>
12	中華民國 結構技師公會 全國聯合會 張技師清沛	<p>1. 第三章第二節：模擬燃燒實驗室空間尺寸面積 40 MW 量熱設備需達 1300 m<sup>2</sup> 以上，10 MW 量熱設備需達 700 m<sup>2</sup> 以上，另報告書表 3-2 有各項名稱之預估空間需求，若能說明預估各項面積需求之依據或準則，其預估值將更為明確可靠。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p>
13	王組	<p>1. 本案請先說明確立大型燃燒實驗</p>	<p>1 成果報告中有呈現</p>

	長順治	<p>室的研究定位，以與國內其他既有實驗室研究內容區隔。</p> <p>2. 本案實驗室同屬內政部，建議未來應與本部建築研究所防火實驗中心在功能、人力、資源上相互互補，避免重複投資，形成浪費。</p> <p>3. 可借鏡本所防火實驗中心的發展經驗及歷程，規劃實驗室的研究量能及未來擴展的可能性。</p>	<p>及提出建議。</p> <p>2 遵照辦理。</p> <p>3 遵照辦理。</p>
14	雷研究員明遠	<p>1. 未來發展儲能設備實驗設施 (installation level test/實體裝置試驗)，考慮儲能設備火災風險，是否需考慮適當之防爆設計，其相關營建及設備費用宜一併考量。</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</p>
15	李副研究員其忠	<p>1. 本案預算請再重新評估檢討，目前建築工程單價已經大約每坪達 20 萬元。</p>	<p>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</p>
16	主持人王所長榮進	<p>1. 本案規劃的大型量熱裝置有 40 MW 及 10 MW 兩套，而 10 MW 本所防火實驗中心已有建置，請補充說明本案仍規劃 10 MW 的理由。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p>
17	主持人回應	<p>1. 有關仍規劃 10 MW 量熱裝置，主要係本次火災模擬實驗室之建置目的為整合消防署的建議，提供事故火災調查之需求，並以主動式滅火為核心研究，而建研所主要係針對被動式防火研究，雙方在任務、功能及定位上有所區隔。而 40 MW 的建置規模可因應各種不同的火災狀況，針對新興火災(例如:大型倉儲、儲能系統、電動樁等)研究，提供未來分析研究與教育之建議，此等規模亦是國際火災科學趨勢。</p> <p>2. 火災模擬實驗室之建築物結構設計、空氣污染、水汙染、廢棄物回收之處理系統、風機的數量、架設面積與噪音處理，皆會以國外主要防火儀器設備供應商與各國家實驗室的資料作為建置規模的參考。</p> <p>3. 本次實驗室規劃所欲建置實驗設備及未來研究方向皆有參考建築研究所防火實驗中心既有之實驗設備及研究成果，提出本火災模擬實驗室所需針對之火災研究類型及實驗設備。</p>	

		<p>4. 實驗室後續的營業模式需先找出此火災模擬實驗室的定位及功能性，後續亦會將人員專業與建築期程進行補充，人員的專業技能會取決於此實驗室之研究方向。另本實驗室經費規劃係參採 111 年營建物件所做估算及後續執行時應當時物價做適當評估調整，並重新估算實驗室的建置成本。</p>
--	--	---

附錄八

第三次專家座談會議記錄

一、時間：111年11月30日(星期三)上午10時00分

二、地點：線上視訊會議

三、主席：王組長順治、蔡教授匡忠

記錄：葉駿嘉

四、出席委員：廖局長茂為、嚴委員定萍、張組長福綜、曾教授偉文、周主任中哲、宋協理瑞義、洪先生嘉飛、葉科長金梅、王視察志鵬、雷研究員明遠、李主任其忠、蘇建築師鴻奇、曾博士子彥

五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
張組長福綜	1. 建議在效益分析上，能分為三個面向，第一點民眾方面，帶給人民甚麼資訊，像是避難逃生等等，第二點社會/政府方面，能回饋給社會甚麼，能幫助政府甚麼，第三點國家方面，能讓國家帶來甚麼效益，使其在國際上獲得國際地位。	1. 感謝委員建議，後續會做討論。
廖局長茂為	1. 建議提出大、小實驗室的功能，該透過何種方法提升功能性的強度及各實驗室定位。 2. 建議營運方式以政府結合民營的方法來維持營運，之後在與現行法規結合，將其必要性在重點論述清楚。	1. 成果報告中有呈現及提出建議。 2. 感謝委員建議，將列為後續工作項目。
嚴委員定萍	1. 在人材編列時，可納入電機、機械等等不同領域的專家，整合於實驗規劃。 2. 在排煙防治中，可利用二次燃燒的方式來減少對環境污染問題。 3. 建議在未來把實驗室相關人員，送至 FM Globa 實驗室實習，透過實習方法學習技術與大型實驗室工安的問題。 4. 建議在未來實驗將電纜電線	1. 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。 2. 感謝委員建議，後續會做討論。 3. 感謝委員建議。 4. 感謝委員建議，後續會做討論。

	與靜電消除等等事件納入研究項目。	
曾教授偉文	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以重大災例的在現性來說明本實驗室的優勢，執行的內容為何，呈現消防的迫切需求。</li> <li>2. 在未來規劃，除了將政府火災實驗室納入考慮，也可將民營機構也納編參考。</li> <li>3. 建議增加對國內外特殊性實驗說明，透過釐清差異性的問題，提出較為完善的敘述。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>2. 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>3. 成果報告中有呈現及提出建議。</li> </ol>
宋協理瑞義	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 建構場所的考量，在材料燃燒上，是否會有安全上的疑慮，爆炸事件發生時現在規劃的設備是否有充足的規劃。</li> <li>2 建議參考日本 NITE 儲能實驗室，在新興火災案例中，是否加入大型儲水槽設備防治，以防治測試時產生不可控的害。</li> <li>3 在測試過程中發生爆炸，是否能有耐防爆的能力，防止研究人員受到意外。</li> <li>4 在測試件運送時需要多規劃其行進、運送方式，假設在測試時發生工安事件，緊急應變計畫為何?</li> <li>5 建議可將研究案的需求、火調現場的重現性納入未來營運規劃的內容中。</li> <li>6 建議規劃實驗室的資質認可，透過國內、外實驗室認可來獲得其在火災防治的地位。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 感謝委員建議。</li> <li>2 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>3 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>4 感謝委員建議，後續會做討論。</li> <li>5 感謝委員建議，後續會在討論是否可行。</li> <li>6 感謝委員建議。</li> </ol>
洪先生嘉飛	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 興建此實驗室能解決國內許多大規模的實驗測試，能符</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議。</li> </ol>

	<p>合目前業界需求。</p> <p>2. 建議採公營的模式，排煙防治、環保的議題越來越重要，建議將其汰換保養的費用也估算進去。</p>	<p>2. 感謝委員建議。</p>
葉科長金梅	<p>1. 建議將 power point 第 7-8 頁的營業模式納入後續的報告裡。</p> <p>2. power point 第 40 頁的實驗場其排煙道尺寸是包括在建築物裡面嗎?</p>	<p>1 感謝委員建議。</p> <p>2 謝謝委員提問，煙道尺寸是包括在建築物裡。</p>
雷研究員明遠	<p>1. 實驗室功能的說明，可利用列舉式的方式去論述及說明火災發生時的現況。</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p>
李主任其忠	<p>1. 建議說明規畫初期應以公務預算來的營運。</p> <p>2. 建議多修改實驗室之人力編制。</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 感謝委員建議。</p>

## 參考書目

1. 吳曉生、連和吉，「火災學大補帖」，大碩教育股份有限公司，民國 108 年
2. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E5%8C%97%E6%9E%97%E6%A3%AE%E9%8C%A2%E6%AB%83%E5%A4%A7%E7%81%AB>, 2020.
3. <https://www.ettoday.net/news/20220307/2202593.htm>
4. <https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/3878901>
5. <https://udn.com/news/story/7320/6163810>
6. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E9%9B%84%E5%9F%8E%E4%B8%AD%E5%9F%8E%E5%A4%A7%E6%A8%93%E7%81%AB%E7%81%BD>, 2021.
7. <https://www.lab.abri.gov.tw/News.aspx?n=1071&sms=9523>，內政部建研研究所
8. [https://www.lab.abri.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=1071&s=41525](https://www.lab.abri.gov.tw/News_Content.aspx?n=1071&s=41525)，內政部建研研究所
9. <http://www.fpsrc.ncku.edu.tw/fpsrc/index.asp>，防火安全研究中心，國立成功大學
10. <http://nrifd.fdma.go.jp/english/>. National Research Institute of Fire and Disaster, Japan.
11. 施萊茵. 世界气象日关注污染与健康关系. VOA. Mar 24, 2009
12. <http://www.tfri-rz.com/html/about/index.html>
13. <https://baike.baidu.hk/item/%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E5%9B%BA%E5%A%E9%A%E6%BB%85%E7%81%AB%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E5%92%8C%E8%80%90%E7%81%AB%E6%A7%8B%E4%BB%B6%E8%B3%AA%E9%87%8F%E7%9B%A3%E7%9D%A3%E6%AA%A2%E9%A9%97%E4%B8%AD%E5%BF%83/1248947>
14. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%AD%A6%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%A4%A7%E5%AD%A6>
15. <http://sklfs.ustc.edu.cn/5903/list.htm>
16. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E8%8F%B8%E9%85%92%E6%A7%8D%E7%82%AE%E5%8F%8A%E7%88%86%E8%A3%82%E7%89%A9%E7%AE%A1%E7%90%86%E5%B1%80>.
17. <https://www.atf.gov/laboratories/fire-research-laboratory>. Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, United States.
18. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E6%A8%99%E6%BA%96%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80>

19. <https://www.nist.gov/>
20. <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300>
21. 王天志，考察實大規模建築複合災害驗證技術及實驗設施，內政部建築研究所，2015
22. [https://en.wikipedia.org/wiki/FM\\_Global](https://en.wikipedia.org/wiki/FM_Global)
23. <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E6%B0%91%E5%9C%8B%E5%85%AC%E7%87%9F%E4%BA%8B%E6%A5%AD>
24. [https://en.wikipedia.org/wiki/FM\\_Global](https://en.wikipedia.org/wiki/FM_Global)
25. 張吉佐、陳逸駿、嚴世傑、蔡宜璋，台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討，地工技術第 55 期，1996。
26. 內政部營建署，充實內政部消防署與行政院環保署訓練場區工程地基調查報告書，2020。
27. 吳再欽，法令分析及招標策略/臺北市府 110 年度統包工程實務研習班，2021。
28. <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E6%B0%91%E5%9C%8B%E5%85%AC%E7%87%9F%E4%BA%8B%E6%A5%AD>
29. <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%AC%E8%BE%A6%E6%B0%91%E7%87%9F>
30. <https://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E6%B0%91%E8%90%A5%E5%8C%96>