

CFS<sup>®</sup> 財團法人消防安全中心基金會

# Fire Safety Monthly

April 2026

消防做得好 居家安全沒煩惱



## 01 Feature Interview 人物專訪

### 大光明消防有限公司 吳明道 總經理

General Manager, Fire Protection CO., LTD.

## 火災預防專題

Special Topics in Fire Prevention

10氣體滅火設備設置  
規定探討(上)

Discussion on Installation  
Requirements for Gaseous Fire  
Extinguishing Systems Part 1

2026年日本光警報  
裝置技術研修暨消防  
檢定協會公開日參訪  
紀實

2026 Report on Japan Technical  
Training for Visual Alarm Devices  
and the JFEII Open House Site  
Visit

噴霧式簡易滅火具  
性能評定已經開始了  
Performance Evaluation for  
Simple Aerosol Fire Extinguishers  
is now on.





# CFS<sup>®</sup> 財團法人消防安全中心基金會

發行人 | 陳文龍

發行所 | 財團法人消防安全中心基金會

地址 | 桃園市蘆竹區東溪路18號

電話 | 03-324-1190

網址 | <https://www.cfs.org.tw/>

投稿信箱 | [cfs\\_pub@cfs.org.tw](mailto:cfs_pub@cfs.org.tw)

總編輯 | 陳文龍

副總編輯 | 簡崇志

執行編輯 | 洪嘉飛

編輯委員 | 洪文傑、洪銘懋、蘇源在、

方義輝、周晶晶

學術論文外部審稿委員 | 邱文豐、吳佳隆

投稿信箱



基金會公用信箱



本會為強化消防安全設備之品質管理、技術探討及調查研究之交流，同時推廣防火管理及火災預防工作，並提供消防新知，爰發行消防安全月刊。又響應政府減紙政策，消防安全月刊以電子書方式發行。希望藉由各位寶貴意見，凡有關消防設備、機具、器材等新工法、新技術、新設備等學術新知、國際動態、重大活動、工作研討，火災預防宣導、防火管理工作的推廣報導及專題報導等議題，皆歡迎投稿指教。

# 01 人物專訪 Feature Interview

P.02

大光明消防有限公司 吳明道總經理

General Manager, Fire Protection CO., LTD.

# 02 參訪紀實 Visit Report

P.08

2026年日本光警報裝置技術研修暨消防檢定協會  
公開日參訪紀實

2026 Report on Japan Technical Training for Visual Alarm Devices and the JFEI Open House Site Visit

# 03 基金會活動 CFS Activities

P.14

噴霧式簡易滅火具性能評定已經開始了

Performance Evaluation for Simple Aerosol Fire Extinguishers is now on

# 04 火災預防專題 Special Topics in Fire Prevention

P.16

10氣體滅火設備設置規定探討(上)

Discussion on Installation Requirements for Gaseous Fire Extinguishing  
Systems Part 1

# 05 學術交流 Academic Exchange

P.28

被忽視的煙控防線：排煙閘門耐壓性能與氣密等級之實務檢討(上)

The Overlooked Line of Defense in Smoke Control: A Practical Review of Smoke Damper Pressure  
Resistance and Leakage Class, Part 1

# 06 消防業界動態 / 基金會動態

P.34

Industry Events & Updates / CFS Highlights

# 07 徵稿啟事

P.38

Call for Submissions

# 01 人物專訪

大光明消防有限公司  
吳明道 總經理

General Manager, Fire Protection CO., LTD.

🕒 守護生命微光的引路人：大光明消防  
吳明道，用誠信與堅持點亮安全防線

【轉動城市安全的生命之光】

「轉動 生命之光」，正是大光明消防的起點——緊急照明燈。這盞在黑暗中自動亮起的燈，不只是電器，更是救人的希望。從第一顆零件的研發，到今日縱橫消防產業將近半世紀，吳明道總經理以誠信為本、品質為魂，書寫了一段台灣消防產業的傳奇。





回顧【1977】年創業之初，那是一個台灣電力供應尚不穩定、颱風頻繁的年代。吳明道總經理在白天上班之餘，憑藉著敏銳的觀察力與不安於現狀的創業夢，從研發緊急照明燈踏出了第一步。他回憶道，當年看到醫院婦產科與手術室在停電時的迫切需求，深刻體會到一盞在黑暗中自動亮起的燈，不只是電器，更是救人的希望。

【那一年賽洛瑪颱風高屏地區輪流停電】，家家戶戶還在點蠟燭的年代，吳總經理研發的緊急照明設備，因「停電自動亮、電來自動滅」的特性而引起轟動。從白天的辛勤工作到深夜的持續研發，他在資源匱乏的環境中，憑藉著「既然要做，就要做到救人」的責任感，開啟了大光明消防（TKM）【長達將近五十年的志業】。對他而言，持續前進的動力始終如一——來自對生命安全的責任感，以及看到產品在關鍵時刻守護人命的深刻成就感。

## 【不欺騙、不做假，誠信是企業文化的根基】

對吳總經理而言，「誠信」並非抽象的經營口號，而是企業存續的根本。消防產業蓬勃發展的過程中，市場難免出現削價競爭與品質良莠不齊的亂象，甚至有以中古整修品矇混過關的情形。面對這樣的環境，吳總經理始終堅守立場：

「我們不跟人拼價格，我們拼的是品質與良心。」

他深知消防設備的特殊性——這些產品平時靜靜待在牆角，看似無用，卻在災難發生的那一秒，決定了「生與死」的分際。因此，他要求每一位同仁，製作每一件產品時都要當成「自己家裡要用的」。他不容許數據造假，絕不為了利潤欺騙客戶，堅持每一件出廠的設備都能對得起良心，所有產品皆須通過國家認證。這份對信譽的執著，讓大光明贏得了建築營造業、工程界與社會大眾長達數十年的高度信賴。

## 【在看不見的地方追求極致的「內在美」】

大光明消防的核心競爭力，在於將生硬的消防器材，轉化為兼具「空間美學」的安全裝置。吳總經理觀察到，現代建築越來越重視設計質感，消防設備不



應是破壞裝潢的突兀存在，因此，大光明在研發標示燈與避難引導燈時，極力追求產品的「輕薄化」，使其能無縫融入精品裝潢之中。

然而，在追求外觀美化的同時，他對安全性有著鐵律般的堅持。外殼可以更薄，但引導逃生的亮度與電池的續航力，絕對一分一毫都不能縮水。內部電路選用耐高溫元件，搭配過電流保護機制，確保在極端火場環境下仍能穩定運作。這種從外表看不見的「內在美」，才是消防器材真正的商業價值與社會責任所在。





精密檢測儀器

## 【一站式專業服務，確保每份產品的透明與可靠】

為提供客戶更完整的保障，大光明建立了涵蓋火警警報、滅火系統、室內消防栓箱乃至緊急照明及避難系統的完整產品線，實現「一站式解決方案」。面對供應鏈管理，吳總經理採取透明化原則：

「如果是進口的零件，我們就直接說是進口，絕對不能隱瞞。」針對電池等關鍵零件，公司更實施比法規標準更嚴格的二次檢驗，確保性能與自製品維持同等高標準。此外，大光明建立長期合作機制，提供快速的售後維護、定期巡檢，以及客製化的設備教育訓練。吳總經理將品牌信譽視為最高的認可，確保每一件交付到客戶手中的器材，都是最可靠的安全保障。



光明牌 LED 系列



## 【凝聚產業力量，推動改革 與國際品牌願景】

除了深耕企業經營，吳總經理更展現出推動整體產業進步的格局。大光明近年積極投入數位化管理與品牌行銷，透過官網持續強化品牌曝光度。正因重視觀念的傳播，非常認同《消防安全月刊》搭建產業溝通橋樑的理念。吳總經理期許，透過這次接受月刊專訪發聲，不僅能分享企業的實務經驗，更能藉由專業媒體與基金會的號召力凝聚同業共識，共同建言並推動不合時宜的法規改革，讓台灣的消防標準真正與時俱進，邁向國際。

他坦言，官方政策有時難免趨於保守，但透過「消防安全中心基金會」等專業機構的推動，能從民間帶動正確的消防觀念，並建立具公信力的認證體系。目前大光明正與基金會緊密合作，計畫透過國際性會議與展覽（如國際消防展），將台灣深厚的消防實力推向世界舞台，讓 TKM 成為國際公認的安全品牌代名詞。

光明牌 LED 系列



## 【守護生命安全的「定性」】

對於有志投身消防產業的新世代，吳總經理以「定性」二字作為勉勵。消防產業是一份「生命產業」，需要長時間的專業積累，以及對道德底線的堅守，絕非一蹴可幾。留才的關鍵，在於讓每位員工都能在工作中找到成長的空間，並生發出「守護生命」的深刻認同感。

只要守住誠信、深耕技術，這份守護生命的成就感，將成為事業發展最堅實的基石，也是大光明消防走過將近半世紀、始終屹立不搖的根本所在。



**大光明消防有限公司 吳明道總經理**

General Manager, Fire Protection CO., LTD.

# 02 參訪紀實

## 2026年日本光警報裝置技術研修 暨消防檢定協會公開日參訪紀實

2026 Report on Japan Technical Training for Visual Alarm Devices  
and the JFEII Open House Site Visit

圖文 / 消防安全中心火災安全實務研究會

Visit Report

## 一、緣起

對聽覺障礙者、年長者及高噪音作業環境的工作人員而言，傳統火警警鈴往往難以即時傳達避難訊息。為補強這塊「聲音到不了的地方」，日本將以高亮度閃光通知避難的「光警報裝置（フラッシュライト型視覚警報装置）」納入消防用設備認定體系，並訂出完整的型式符合性能評定方法。

本會自 2024 年起，即將「光警報裝置性能評定」列為重點研究主題之一。兩年來，本會先後完成國際間相關規範（光警報裝置型式符合性能評定方法、光警報裝置の檢查方法、光分布特性試驗有效距離計算公式、發光強度標準值等）的中譯與比對研讀，並同步盤點國內現有檢測能量、規劃所需試驗設備清單，逐步推進光分布特性、光強度／光輸出、點滅頻率數及同步延遲時間等試驗項目的硬體建置。為讓書面研究落實至實機操作，本會認為有必要親赴現場，實地觀察完整試驗流程、校正鍵維持方式及量測資料的記錄與判讀。

基於此，本會於今（2026）年 4 月安排為期五天的赴日技術研修，由黃曉鈞科長帶隊，偕同檢驗工程師莊家儀、張庭瑞，前往山形縣米澤市的藤倉電氣工業株式會社米澤製作所進行光警報裝置實機研修，並於 4 月 17 日轉赴東京都調布市，參與日本消防檢定協會（JFEI）令和 8 年度科學技術週一般公開日。這趟行程是本會兩年布局的集中驗證——將書面規範、設備規劃與實地操作三者現場整合銜接，為檢測量能正式啟用做最後確認。



本會三位研習成員於藤倉電氣工業米澤製作所大門合照

## 二、山形篇：藤倉電氣工業米澤製作所

### （一）公司背景

藤倉電氣工業株式會社是日本目前唯一通過光警報裝置認定的製造商，米澤製作所專精於電子警報裝置（含蜂鳴器、警鈴及光警報器）的研發與量產。研修首日（4 月 15 日），由會長藤倉大樹先生與技術生產部統括部長高村國博先生親自接待，先以簡報介紹公司沿革與測試環境，隨即帶領本會團隊進入光分布特性試驗室展開為期兩天的實機研修。

### （二）光警報裝置的設計初衷

高村部長特別強調，光警報裝置並非只是「閃燈」。其設計目的，是讓在高噪音環境或聽覺障礙者能在不依賴聲音的條件下辨識火災警報。為此，裝置須同時滿足三項彼此牽制的條件：足夠的發光強度（特定角度下的有效光度須達門檻，以穿透煙霧）、正確的閃滅頻率（過低警示不足、過高可能誘發光敏性癲癇）、以及多台同步（同一空間多具裝置必須以 100 ms 以內的時間差同步閃爍，避免閃光錯位造成不適）。三項要求分別對應後續的「光分布／光強度／光輸出特性試驗」、「點滅頻率數試驗」與「同步延遲時間試驗」。

### （三）核心試驗環境：VADER SYSTEM

藤倉米澤製作所的光警報裝置認定試驗，建構在自行命名的「VADER SYSTEM」之上。該系統核心，是一座可進行  $\alpha$ 、 $\beta$  兩軸獨立旋轉的試驗轉盤，搭配 3 公尺外的高精度光度感受部，透過 DAQ-BOX 將感測資料即時匯入專用 PC；電供端以獨立電源供應器提供穩壓，並由電錶全程監測電壓飄移。

試驗開始前，工程師會以雷射水平儀從樣品安裝部射出基準線，反覆校正感受部與樣品同高，並

量測樣品至感受部的水平距離為 3 公尺；接著以已校正之標準光源確認設備正常，誤差落在允收範圍後才開始正式試驗。整套校正流程約耗時 40 分鐘，比試驗本身還要長，是日方對「可追溯校正鏈」的具體展現。

#### (四) 四項實機試驗

研修兩日所實作的四項試驗，構成光警報裝置完整的性能驗證鏈——從「亮得夠不夠」、「閃得對不對」，到「彼此跟不跟得上」，環環相扣。

1. 光分布特性試驗 量測樣品在不同空間角度下的光度表現。樣品依規定姿態旋轉後，由感受部於各角度進行多次量測並取平均；性能試驗驗證指定姿態下的有效光度，分項試驗則進一步繪出完整的光分布曲線，並據以換算各方向的有效到達距離。
2. 光強度與光輸出特性試驗 驗證裝置在指定角度下的單次峰值，以及在電壓變動或長時間連續動作下的輸出穩定性。試驗中以可程式電源改變樣品輸入條件，全程記錄光度變化，觀察輸出是否隨電壓、溫度與時間漂移。
3. 點滅頻率數試驗 驗證裝置的閃滅頻率落在規範區間內。透過偵測治具將每次閃光轉換為脈衝，再由計數器統計單位時間內的脈衝數，換算實際閃爍頻率，並比對與標稱值的差異是否在容許範圍。
4. 同步延遲時間試驗 驗證多具裝置同時動作時的時序一致性。以波形產生器同步觸發待測樣品與基準波形，再由示波器擷取兩者閃光感應訊號的波形差。日方在這項試驗上的時序精度相當高，示範中兩道波形緊密貼合，差距遠低於規範門檻。

#### (五) VADER SYSTEM 樣品實測

兩天研修最後一個項目，由藤倉以本會帶去的樣品在 VADER SYSTEM 完整進行光分布試驗，並將量測結果交付本會。對檢驗端而言，能在「相同設備、相同校正鏈、相同操作流程」下取得一份同源數據，是日後建立本會自有試驗一致性與量測可信度的重要基礎。



本會團隊與藤倉的專家們努力研習中

### 三、東京篇：日本消防檢定協會 (JFEII) 一般公開日

#### (一) 一般公開日的定位

「一般公開日」係指研究設施對民眾開放的一天，但對 JFEII 而言，背後其實有相當完整的政策脈絡。

日本政府每年 4 月中旬訂為「科學技術週」，鼓勵大學、研究機構與公共試驗單位在這一週把研究內容、設施與實驗開放給社會，讓科學技術更貼近民眾生活。JFEII 作為日本消防用機械機具性能檢定的執行機構，服務對象橫跨中央與地方消防機關、設備製造商、施工業者乃至一般使用者，便選擇在科學技術週同步開放自家試驗場與展示館，等同政策導向下的「科研機構 Open Day」。

JFEII 的辦理目標明確：使一般民眾乃至具備專門知識的消防關係者，都能了解消防設備、機器與檢定制度。平日民眾僅能看到產品上的檢定標章，藉由一般公開，得以親眼觀察性能試驗的執行方式與檢定制度的意義，業界與地方消防人員亦可直接觀摩最新試驗方法與研究成果。這條從戰後延續的「普及防火防災」路線，如今以展示館、體驗設施與一般公開日等形式持續推行。

日本消防檢定協會、消防庁消防大學校・消防研究中心、一般財團法人消防防災科學中心配合科學技術週，於令和 8 年 4 月 17 日（星期五）免費開放東京都調布市深大寺東町的同一基地。JFEII 平日不對外開放，這一天是近距離觀察日方檢定流程、量測設備與最新試驗成果的難得時機，本會也將這一天列為本次行程的重點。

## （二）住宅用滅火器：天婦羅油鍋火實演

當天最受矚目的項目，是住宅用滅火器による天ぷら油火災の消火実演（住宅用滅火器天婦羅食用油火災滅火實演），於消火散水試驗場分上下午舉辦兩場（11:30、14:30）。

火源是一口加熱至約 360°C 以上、冒出濃煙並竄火的油鍋，模擬廚房常見的食用油火災。示範人員手持強化液型住宅滅火器，自油鍋約 1 公尺外掃射細霧；霧滴接觸油面後迅速吸熱降溫，並在油面形成連續水膜遮斷油氣與空氣界面，火焰於數秒內熄滅，後續數十秒未見復燃。

相較於傳統乾粉滅火器，強化液型住宅滅火器有三項實務優勢：降溫快，能把油溫壓回燃點



油鍋火滅火試驗展示

以下、避免復燃；視野不混濁，使用者可持續確認火勢；清理容易，事後不會留下大量粉末殘留。對住宅與小型餐飲場所而言相當值得推廣。

## （三）其他展示與體驗項目 實演

JFEII 同步開放下列展示體驗：消火散水試驗場周邊提供訓練用消防器的放射體驗，撒水設備消火試驗場則進行屋內消防栓的構造解說與放水操作；情報館 1 樓設有住宅用防災警報器（含無線連動式）展示與實演，1、2 樓展示室陳列滅火器、撒水頭、火災報知設備、消防用水帶等器材實物；3 樓會議室循環播放 JFEII 與消防機器檢定制度的介紹影片。

本次參觀印象最深的，並非個別器材的技術水準，而是日本將消防專業轉化為民眾可理解的「社會語言」的方式。例如情報館 1 樓的「住宅切面模型」，把客廳、和室、廚房、兒童房與寢室全部以開放剖面方式呈現，讓觀眾一眼就看清楚火災可能從哪個房間發生、如何延燒；牆面同步搭配住宅火災的統計圖卡——住警器普及率、死亡時段分布、有無設置住警器的死亡率對比——讓「為什麼要裝住警器」用數字直接說話。滅火器展示牆則把市面常見的滅火器一字排開，旁邊配上「○與×」圖示，告訴民眾哪種火災該用哪種滅火器、不能對什麼噴；戶外的消防研究中心展區，更直接擺出消防車、滅火試驗木垛模型，以及多起重大火災現場調查圖板，把「火怎麼長大、消防如何介入」當成科學實驗呈現給觀眾。每一項展示，都在用最少的文字、最具體的畫面，把專業知識翻譯成一般人能立刻吸收的訊息。

這種「從試驗場到客廳」的社會溝通方式，是日本長期推動防火、防災思想累積下來的成果。本會認為其中許多做法——住宅切面模型、住警器統計看板、消火器選用對照表、火災延燒木垛實演——並不需要高昂成本，卻能大幅提升民眾的自主防災判斷力。



各類常見的滅火器與適用圖說



住宅各室模型與住警器連動型介紹





#### 四、結語：把學到的，帶回國內

此行本會三位成員帶回的，不只是量測數據與技術文件，更是兩條值得持續推進的方向。技術上，這趟研修把過去兩年在書面上累積的研究基礎，與實機操作進行銜接印證，後續將以這次取得的量測結果為基礎，繼續推進國內光警報裝置檢測量能的建置與人員培訓，讓「以光代聲」這條無障礙消防的補強路線一步一步落地。社會面上，JFEII 一般公開日則提醒我們：消防安全的底氣，一半來自試驗台上嚴謹的量測，一半來自簡單好理解的社會溝通——兩者，缺一不可。

## 03 基金會活動

### 噴霧式簡易滅火具性能評定已經開始了

Performance Evaluation for Simple Aerosol Fire Extinguishers is now on

圖文 / 消防安全中心火災安全實務研究會

為了解決市面上小型滅火產品品質參差不齊的現況，本會（財團法人消防安全中心基金會，CFS）於 115 年 1 月 8 日舉辦「噴霧式簡易滅火具評定基準暨性能評定說明會」，正式宣告第三方品質把關機制啟動。

## 說明會圓滿落幕，產業界熱烈響應

本次說明會由陳文龍董事長親自開場致詞，並由本會技術團隊針對制度背景、基準重點及送審流程進行詳細解說。現場匯集眾多消防設備製造商與業界先進，共同關注這項攸關居家安全的重要變革。

## 為什麼我們需要「性能評定」？

近年來，隨著高齡化社會需求與居家安全意識提升，標榜輕便、好操作的「噴霧式簡易滅火具」（900公克以下的迷你型）在網路市場上日益普及。然而，這類產品過去未納入國家強制的認可制度，導致市面上產品品質不一，廠商宣傳的廣告內容與實際滅火性能存在極大落差。



為了提供市場優質產品並為民眾安全把關，CFS 率先推動「性能評定」機制，針對非應施認可的消防設備進行第三方認證。

## 嚴格檢測，確保火災初期「能滅火」

通過 CFS 性能評定的噴霧式簡易滅火具，必須通過一系列嚴格的試驗，確保實用性與安全性：

- 四大滅火性能驗證：針對「小規模普通火災」、「高溫油鍋火災」、「汽車用坐墊火災」及「電氣火災」進行實測，確保能有效應對初期火源。
- 安全性與耐用度：包含本體容器耐壓試驗、振動試驗及高溫試驗（特別針對放置於汽車內），確保產品在各種環境下的穩定性。
- 出廠品質一致性：不僅檢測原型，更透過工廠檢查與型式符合評定，確保每一批出廠產品的品質皆與認證時一致。

## 認明 CFS 標章，選購更安心

未來，通過評定的合格產品，將會在瓶身黏貼代表品質的銀色 CFS 評定合格標示（如下圖所示）。

- 對廠商而言：這是產品優良品質的第三方保證，有助於提升品牌信賴度與市場區隔。
- 對消費者而言：選購時請認明此標章，避免買到誇大效能或具安全疑慮的劣質品。



直徑 1.2 公分的評定合格銀標

## 申請與查詢資訊

本會已將詳細的評定基準、技術規範及申請流程公告於官方網站。歡迎廠商申請，共同提升台灣消防產品的安全水準。

- 官方網站：
- 諮詢窗口：滅火避難設備組 (03) 324-1190 分機 220 ( 洪文傑組長 )、232 ( 薛志宏工程師 )

# 04 火災預防專題

## 10 氣體滅火設備設置規定探討(上)

Discussion on Installation Requirements for Gaseous Fire Extinguishing Systems Part 1

圖文 - 陳文龍 / 財團法人消防安全中心基金會

大綱

### 一、前言

二、水系統與氣體系統滅火設備

三、氣體滅火設備的變遷比較

四、氣體滅火藥劑特性

(一) 二氧化碳

(二) 鹵化烴

(三) 惰性氣體

(四) 潔淨藥劑與地球環境問題

(五) 滅火藥劑特性比較

五、維持必要濃度

(一) 滅火濃度的想法

(二) 滅火藥劑量核算公式

(三) 藥劑放射量與濃度

(四) 滅火濃度與設計濃度

(五) 容許濃度之確認

(六) 防護區域構造等

(七) 開口部限制 ( 二氧化碳滅火設備 )

六、安全措施規制

(一) 設置場所限制

(二) 防護區域安全對策 ( 針對 CO<sub>2</sub> )

(三) 藥劑放射安全措施

(四) 洩壓措施

(五) 排放措施

(六) 避免防護區域溫度過低

七、結語

附件 1 核算藥劑量之係數

( 燃杯試驗 )

## 一、前言

本文標題「氣體滅火設備」一詞並非法規用語所使用的通稱，一般指其藥劑本身是氣體或是藉由氣體來放射藥劑的滅火設備；由此觀之，二氧化碳滅火設備、惰性氣體滅火設備 (Inert Gas)、鹵化烴滅火設備 (Halocarbon)、乾粉滅火設備、NFPA 2010 氣膠滅火設備【Aerosol：固體藥劑燃燒產生以「氮氣為主」的熱氣體，由「氣體+超細固體粒子」形成氣溶膠雲來滅火】或 NFPA 770 混合式系統【Hybird：惰性氣體+細水霧，以惰性氣體為動力帶出，極細小的水霧】等均應屬之 (如圖 1)，不過為聚焦有關濃度與安全，本文還是以二氧化碳滅火設備、惰性氣體滅火設備及鹵化烴滅火設備為對象來討論。

圖 1

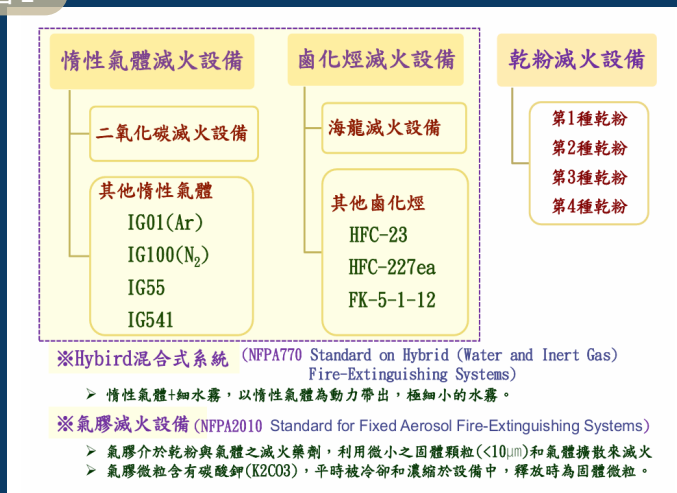


圖 1 氣體系統滅火設備種類

經查 NFPA2001 共列有 14 種藥劑 (如表 1 所示惰性氣體 4 種、鹵化烴 10 種)，本文討論範圍，二氧化碳滅火設備之外，在惰性氣體滅火設備以設置標準第 82 條第 2 項所列的 IG100(N<sub>2</sub>)、IG01(Ar)、IG55(N<sub>2</sub> Ar) 及 IG541(N<sub>2</sub>Ar CO<sub>2</sub>) 等 4 種藥劑，在鹵化烴滅火設備則以設置標準第 97 條之 1 第 1 項所列的 HFC-23(商品：FE 13)、HFC227ea(商品：FM200) 及 FK-5-1-12(商品：Novec 1230) 等 3 種藥劑為限。 [1]

考量濃度與安全係氣體滅火設備的關鍵字，本文將「維持必要濃度」與「安全措施規制」列為說明重點。

表 1

表 1 NFPA 2001 的潔淨藥劑 (Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2022 ed.)

藥劑代號	化學名稱	化學式
FK-5-1-12	Dodecafluoro-2-methylpentan-3-one	CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> C(O)CF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
HCFC Blend A	HCFC-123(4.75%)，HCFC-22(82%)，HCFC-124(9.5%)	
HCFC-124	Chlorotetrafluoroethane	CHClFCF <sub>3</sub>
HFC-125	Pentafluoroethane	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
HFC-227ea	Heptafluoropropane	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>
HFC-23	Trifluoromethane	CHF <sub>3</sub>
HFC-236fa	Hexafluoropropane	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>
FIG-1311	Trifluoropropane	CF <sub>3</sub> I
IG-01	Argon	Ar
IG-100	Nitrogen	N <sub>2</sub>
IG-541	Nitrogen (52%) Argon (40%) Carbon dioxide (8%)	N <sub>2</sub> ，Ar，CO <sub>2</sub>
IG-55	Nitrogen (50%) Argon (50%)	N <sub>2</sub> ，Ar
HFC Blend B	Tetrafluoroethane(86%) Pentafluoroethane(9%) Carbon dioxide(5%)	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> CO <sub>2</sub>
HB-55	Trans-1-Chloro-3,3,3-trifluoropropene (50%) Dodecafluoro-2-methyl pen tan-3-on e (50%)	CF <sub>3</sub> -CH=CHC CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> C(O)CF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

## 二、水系統與氣體系統滅火設備

設置標準第 8 條所列 11 種滅火設備，可大分為水系統及氣體系統；氣體系統滅火設備與自動撒水、水霧及泡沫等水系統滅火設備不同，在一定要件齊備下，不直接噴射火源也可以滅火，不過須特別補充說明乾粉滅火設備的設置規定雖有全區放射方式，一般考量障礙物會導致藥劑擴散障礙，實務上設計例很少，大都採用局部放射方式。

水系統滅火設備原則上要有水源與加壓送水裝置，持續以一定壓力及流量放射，而氣體系統滅火設備的氣體來源是有限的，原則上隨著放射使用，設定的壓力會下降，同時流速及放射壓力也都漸漸降低，直至放射完畢，這是氣體系統滅火設備的最大缺點，不過未以消防幫浦為動力，不受停電等影響倒也算是其優點。

滅火設備除前述分類外，也有就藥劑種類及啟動方式來探討，簡略說明如下：

### (一) 藥劑種類

#### 1. 氣體滅火藥劑

- (1). 二氧化碳滅火設備
- (2). 惰性氣體滅火設備
- (3). 鹵化烴滅火設備

#### 2. 液體滅火藥劑

- (1). 水
- (2). 水基 (強化液等)
- (3). 泡沫

### 3. 固體滅火藥劑

- (1). 乾粉
- (2). 消防砂等

### (二) 啟動方式

1. 手動：滅火器 (消防砂)、室內消防栓設備、室外消防栓設備。
2. 自動：自動撒水設備 (開放式以外)。
3. 手動 + 自動：開放式自動撒水設備、水霧滅火設備、泡沫滅火設備、**二氧化碳滅火設備、惰性氣體滅火設備、鹵化煙滅火設備**、乾粉滅火設備。

此外常見的「化學系統滅火設備」一詞，係專門職業及技術人員高等暨普通考試消防設備人員考試應試科目表，明定消防設備師的「化學系統消防安全設備設計」科目，該科目明定包括「**二氧化碳滅火設備、海龍滅火設備、乾粉滅火設備、滅火器**」，其中海龍滅火設備 (設置標準為鹵化煙滅火設備) 雖係化學藥劑系統，但是二氧化碳等則非，此用語有點名實不符之虞。

## 三、氣體滅火設備的變遷比較

美國從 1929 年就訂頒 NFPA12 (二氧化碳滅火設備)，日本接著在 1933 年也訂頒，我國在 1991 年後才陸續訂頒，而潔淨藥劑滅火系統美國 1994 年訂頒 NFPA2001 (Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems)，日本先採用總合評價審查，在 2001 年將惰性氣體及鹵化煙滅火設備納入消防法施行規則，我國也是先採審核認可，並陸續訂頒審查查驗及檢修等作業基準作為審核認可之配套措施，至 2024 年始納入設置標準，有關氣體滅火設備規定的變遷比較整理如表 2。[2]

表 2 氣體滅火設備的變遷比較

美國	日本	我國
1929 NFPA12 (CO <sub>2</sub> )	1933 船舶安全法訂頒二氧化碳滅火設備	1991 (部頒) 海龍滅火設備會審 (勸) 檢查應注意事項 (800716)
1952 NFPA17 (乾粉)	1961 消防法施行令訂頒不燃性氣體 (CO <sub>2</sub> )、蒸發性液體及乾粉滅火設備	1992 (部頒) (1). 自動二氧化碳滅火設備會審 (勸) 檢查應注意事項 (810901) (2). 自動乾粉滅火設備會審 (勸) 檢查應注意事項 (810901)
1970 NFPA12A (海龍)	消防法施行令訂頒海龍滅火設備	1996 設置標準修正增列氣體滅火設備 (二氧化碳、乾粉) (850313)
1994 NFPA2001 (潔淨藥劑滅火系統)	1974 不燃性氣體改為二氧化碳、蒸發性液體改為海龍 (名稱調整)	2008 審查及查驗作業基準修正將第7章二氧化碳滅火設備修正為惰性氣體滅火設備及增訂第7章之1鹵化煙滅火設備 (970115) (1080820修正)
	1995 (1993成立海龍庫) 新氣體滅火設備總合評價 (審核認可)	2013 檢修及申報作業基準 (1090821廢止) 增列第21章鹵化煙滅火設備及第22章惰性氣體滅火設備檢修基準
	2001 消防法施行規則修正 (增列惰性氣體3種、鹵化煙2種)	2020 (0821) 訂定「消防安全設備及必要檢修項目檢修基準」移列為第11章鹵化煙滅火設備及第12章惰性氣體滅火設備檢修基準
	2010 消防法施行規則修正增列FK-5-1-12	2024 (0424) (0701) 設置標準修正 (1). 增訂惰性氣體及鹵化煙滅火設備設置、分類及設計濃度等規定 (2). 訂定惰性氣體、鹵化煙滅火設備與放水型自動撒水設備審查及查驗注意事項

## 四、氣體滅火藥劑特性

### (一) 二氧化碳

二氧化碳滅火設備滅火設計濃度為 34%，此時氧濃度約 14%，雖係低氧濃度環境，但是 IG100 (N<sub>2</sub>) 在最低設計滅火濃度 37.2%，氧濃度為 13.2%，在最高設計濃度 52%，氧濃度為 10.8%，都比二氧化碳滅火設備放射時的氧濃度低，由此可知，二氧化碳滅火設備的主要危險性並不是缺氧問題，而是**二氧化碳本身的毒性效應**，揆其原由，二氧化碳 2 ~ 3% (5 ~ 10 分鐘) 會出現頭痛、呼吸加快等症狀，而立即致危濃度 (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health) 只有 4%，此時氧濃度卻在 20% 以上，導致往往**忽略其毒性效應**，因此二氧化碳滅火設備有缺氧問題外，還須特別注意二氧化碳中毒的危險性。

### (二) 鹵化煙

一般以 **NOEL**、**LOEL** 律定鹵化煙藥劑對人的安全性，NFPA2001 列有相關數值，摘列出設置標準所規定的藥劑如表 3，另 NFPA2001 原則上要求常時有人空間設計濃度不得超過 NOEL 值，若設計濃度介於 NOEL 與 LOEL 之間，必須滿足暴露時間限制 (例如：5 分鐘內撤離等) 與警報、避難等條件。[1]

表 3

表 3 鹵化煙藥劑毒理指標 (摘錄 NFPA2001 Table 4.3.2.3(a) 2022 ed.)

藥劑代號	NOEL (vol%)	LOEL (vol%)
FK-5-1-12	10.0	> 10.0
HFC-227ea	9.0	10.5
HFC-23	30	> 30

◆NOEL (No Observed Adverse Effect Level)

藥劑對身體無明顯不良反應的最高濃度。

◆LOEL (Lowest Observable Adverse Effect Level)

藥劑對身體觀察到不良反應的最低濃度。

### (三) 惰性氣體

惰性氣體屬於「單純窒息性氣體」 (Simple Asphyxiant)，本身幾乎不與人體發生化學反應，並無二氧化碳般對人體的毒性效應，但因惰性氣體必要滅火藥劑濃度高，一般設計的氧濃度約在 12 ~ 13% (案：一般材料在氧濃度低於約 16% 時，

無法維持穩定燃燒，如把氧濃度設計在接近或低於 12% 的等級，可確保火焰無法持續)，此係低氧濃度環境，有缺氧致命的危險性，基本上氧濃度在 16% 以下，會有中度缺氧，運動耐力與認知功能明顯受損，呼吸加快、脈搏增加等症狀，在 10% 以下，數分鐘內可喪失意識，若未立刻救出並給氧，極易致命，基本上氧濃度降得越低，滅火效果越好，但對人的缺氧風險也越高。

#### (四) 潔淨藥劑與地球環境問題

##### 1. 國際層級環保管制

###### (1). 臭氧層破壞物質的生產消費限制

1987 年 9 月 16 日美國與 41 個國家簽署「蒙特婁議定書」訂出耗損大氣臭氧指數的化學物質減產及停產時間表。

###### (2). 溫室效應氣體的減少排放

1997 年 12 聯合國氣候變化框架公約「京都議定書」設定大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當水準，防止劇烈的氣候改變對人類造成傷害。

###### (3). ODP 與 GWP

潔淨藥劑的潛在環境衝擊，NFPA2001 就臭氧層耗損係數 ODP(Ozone Depleting Potential) 及溫室效應係數 GWP(Global Warming Potential)，列表提供有關數值供參考 (如表 4)。<sup>[1]</sup>

##### 2. 吉佳利修正案與 HFC 減量 [3]

(1). 蒙特婁議定書於 2016 年締約方會議正式通過吉佳利修正案 (Kigali Amendment)，並於 2019 年 1 月 1 日正式生效，新增列管之高溫暖化潛勢溫室氣體 18 種，其中屬於鹵化烴滅火設備的七氟丙烷 (FM 200) 及三氟甲烷 (FE 13) 在列管公告名單。

(2). 設置標準所列潔淨藥劑，臭氧層耗損係數 ODP 都是 0，至於溫室效應係數 GWP，惰性氣體都是 0，但是鹵化烴藥劑中的 HFC227ea(FM200) 為 3350，HFC-23(FE 13) 為 12400，都因較高而遭列管，至於 FK-5-1-12 < 1，雖未公告列管，但屬氟酮類，仍屬含氟有機物，報載有些公司已停產。

(3). 環境部依據氣候變遷因應法於 2025 年訂頒《禁止或限制製造、輸入、輸出、販賣、使用或排放之氫氟碳化物種類》及《氫氟碳化物管理辦法》，將高溫暖化潛勢溫室氣體 (氫氟碳化物) 18 種納入配額與核配管理，明定 2026 年以後之氫氟碳化物消費量上限以及保留量用途，並訂有削減時程，逐步削減，在 2045 年將國家消費量降為基準量之 20%，基此，HFC227ea 及 HFC-23 雖未禁用，但屬於「受配額管制的高 GWP 物質」，須注意未來補充或新設，其成本與取得難度都將上升。

表 4

表 4 潔淨藥劑的潛在環境衝擊 (NFPA2001, 2022 ed.)

Table A.4.6 Potential Environmental Impacts

Agent	GWP (IPCC 2013)	ODP
FK-1311	≤1	0*
FK-5-1-12	<1	0
HCFC Blend A	1500	0.048
HFC Blend B	1400	0
HCFC-124	527	0.022
HFC-125	3170	0
HFC-227ea	3350	0
HFC-23	12,400	0
HFC-236fa	8060	0
IG-01	0	0
IG-100	0	0
IG-541	0	0
IG-55	0	0
HB-55	1	0.000

Note: GWP is reported over a 100-year integrated time horizon.

\*Agent might have a non-zero ODP if released at altitudes high above ground level.

#### (五) 滅火藥劑特性比較

##### 1. 氣體系統滅火設備的滅火原理

- (1). 二氧化碳滅火設備：放射藥劑混合部分乾冰，除稀釋氧濃度，窒息滅火，還有冷卻效果 (惰性氣體則無)。
- (2). 惰性氣體滅火設備：稀釋氧濃度，窒息滅火。
- (3). 鹵化烴滅火設備：抑制燃燒連鎖反應。

##### 2. 各項滅火藥劑特性參酌 NFPA2001 及惰性氣體、鹵化烴滅火設備與放水型自動撒水設備審查及查驗注意事項規定，綜整成表 5。

表 5

表 5 潔淨藥劑的各項特性

潔淨藥劑滅火設備類別	FK-5-1-12	HFC-227ea	HFC-23	CO <sub>2</sub>	IG-01	IG-100	IG-541	IG-55
滅火藥劑	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> C(O)CF <sub>2</sub> (CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	CHF <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Ar	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> (52%) Ar (40%) CO <sub>2</sub> (8%)	N <sub>2</sub> (50%) Ar (50%)
分子量	316.04	170	70.1	44	39.9	28.0	34.0	33.95
沸點 (°C)	49	-16.4	-82.1	-57	-185.85	-195.8	-196	-190.1
滅火濃度 (%) (n-Heptane by Cup Burner method)	4.5	6.7	12.9	22	42	31	31	35
最低噴射濃度 (%)	4.5	6.7	18	34	38	37.2	34.2	37.9
NOAEL (vol%)	10	9	30	-	-	-	-	-
LOAEL (vol%)	>10	10.5	>30	-	52.0(最高設計濃度)(§83之1)			
狀態(常溫)	液態	氣態	氣態	氣態	氣態	氣態	氣態	氣態
儲存狀態	液態 (N <sub>2</sub> 加壓)	液態 (N <sub>2</sub> 加壓)	液態	液態	氣態	氣態	氣態	氣態
儲存壓力 (bar)	25、34、42、50 (21°C)	25、42 (21°C)	42 (21°C)	56.78 (21°C)	200、300 (15°C)	200、300 (15°C)	200、300 (15°C)	200、300 (15°C)
放射時間	10秒			60秒				
放射時的氣濃度	19.8	19.5	17.6	13.6	13.0	12.0	13.1	13.0
喪失層耗損係數 (ODP)	0	0	0	0	0	0	0	0
溫室效應係數 (GWP)	≤1	3350	12400	1	0	0	0	0

3. 放射方式

氣體滅火設備可大分為儲存容器、配管、噴頭等固定設置於建築物的「固定式」，與只有儲存容器固定設置，由此延伸皮管操作瞄子滅火的「移動式」。

固定式又可分為使氣體充滿整體空間滅火的「全區放射方式」，與直接對防護對象物噴射藥劑滅火的「局部放射方式」(如圖 2)。<sup>[4]</sup>

圖 2

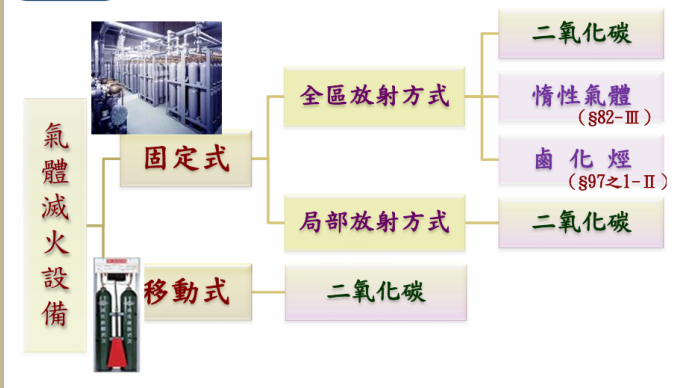


圖 2 氣體滅火設備的放射方式

二氧化碳滅火設備對上述放射方式均可選擇採用，但潔淨藥劑的惰性氣體及鹵化煙滅火設備因有維持高濃度之必要，以全區放射方式為限(案：設置標準參考 NFPA2001 明定於第 82 條第 3 項及第 97 條之 1 第 2 項)。<sup>[5]</sup>

五、維持必要濃度

達成並維持必要濃度才能滅火，「濃度」是氣體滅火設備的關鍵字，本單元從滅火濃度的想法，其次是滅火藥劑量核算公式的由來，並透過設置規定比較說明滅火濃度與設計濃度，以及防護區域如何維持必要濃度等面向，將有關依據及規定，分別說明如下：

(一) 滅火濃度的想法 [6]

滅火藥劑放射至防護區域時，隨著藥劑放射，假設內壓不上昇狀況下，與所放射藥劑等量的氣體是如何流出防護區域，一般有下列三種想法：

下列想法之計算式，係假設某防護區域放射藥劑時，該區劃內藥劑，在 dt 時間內只增加 dC，則任意時間 t 的藥劑量為 VdC，可以下式表示，並據以導出有關計算式。

$$VdC = Qdt - FCdt$$

$$\because Q = F(\text{流入與流出體積相同})$$

$$VdC = Qdt - QCdt \\ = Q(1 - C)dt$$

$$\left[ \frac{1}{(1 - C)} \right] dC = Q/Vdt$$

1. 完全置換流出：只流出空氣 (C=0)(如圖 3)

$$C_m = G/V$$

- V : 防護區域體積
- C : 時間 t 之滅火藥劑濃度
- G : 放射藥劑量
- F : 換氣 (排氣) 流量
- t : 時間
- C<sub>m</sub> : 藥劑放射完了時之濃度

圖 3

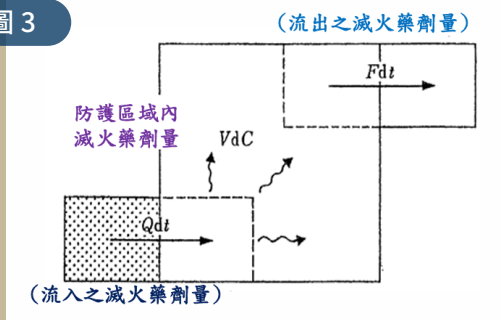


圖 3 完全置換流出

2. 自由流出：流出藥劑與空氣之混合氣體 (取前揭所導出計算式之積分) (如圖 4)

$$C_m = 1 - \exp[-(G/V)]$$

$$G = -\ln(1 - C_m)V$$

$$G = \ln[100/(100 - C_m)] \times V (\text{vol}\%)$$

圖 4

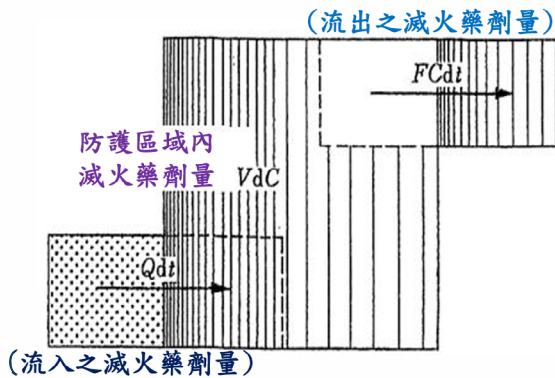


圖 4 自由流出

3. 最高濃度流出：流出放射後最高濃度混合氣體 (如圖 5)

$$C_m = G/(V + G)$$

$$G = C_m/(100 - C_m)V (\text{vol}\%)$$

圖 5

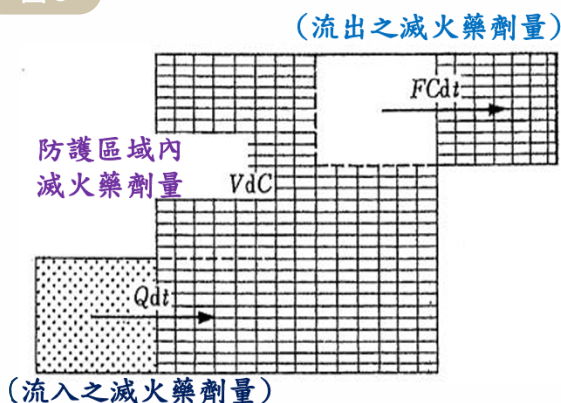


圖 5 最高濃度流出

綜上，為比較各種濃度計算式，有關計算例綜整如表 6，如該計算例所示，對防護區域容積  $V$ ，放射藥劑為防護區域 50% 容量，有關藥劑濃度在完全置換時，因只有空氣流出當然為 50%，至於自由流出時為 39%，最高濃度流出時為 33%，顯示流出狀態不同，濃度也會改變。話說回來，有關滅火濃度的想法，就設置標準規定及實際放射濃度而言，**惰性氣體滅火藥劑採用自由流出計算式，鹵化烴滅火藥劑採用最高濃度流出計算式**，不過須要特別注意，自由流出計算公式是假設放射的藥劑，瞬間均一混合，因此設計上須審慎檢討在大規模空間的適用性。

表 6

表 6 各種濃度計算式之比較

氣體流出之狀態	濃度計算式	計算例 $V=1$ 、 $G=0.5$ ( $C_m$ )
完全置換流出 (理論最高濃度)	$C_m = G/V$	0.5
自由流出 (自由流出濃度)	$C_m = 1 - \exp[-(G/V)]$	0.393
最高濃度流出 (理論最小濃度)	$C_m = G/(V + G)$	0.333

## (二) 滅火藥劑量核算公式

有關所需滅火藥劑量的核算公式，其來源係將滅火濃度基本公式用**比容** (specific volume) (案：法規用語為**比容積**)把體積換成質量，再就海拔高度、障礙物、洩漏等進行校正，分別說明如下：

1. 滅火濃度基本公式

滅火濃度係考量燃杯試驗 (B 類火災) 等測試 + 安全係數為準，據此而有設置標準所稱的理論滅火濃度與設計濃度；至所需滅火藥劑量的計算公式，先就自由流出與最高濃度流出，分別說明如何從滅火濃度的想法，將基本公式先轉換成設置標準規定的初步公式。

(1). 自由流出  $G = \ln[100/(100 - C_m)] \times V(\text{vol}\%)$

滅火濃度基本公式要轉換成設置標準或 NFPA2001 規定使用時，將  $G \rightarrow W$ 、 $C_m \rightarrow C$ ，自由流出計算式改為：

$$W = \ln[100/(100 - C)] \times V(\text{vol}\%)$$

藉此補充說明有關日本惰性氣體滅火藥劑量核算規定，因係以防護區域每立方公尺所需體積量  $G/V$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$  為單位，以  $\text{N}_2(\text{IG100})$  為例，日本的  $\text{N}_2$  最低設計濃度為 40.3% (我國為 37.2%)，以自由流出公式核算：

$$G/V = -\ln(1 - C_m) = -\ln(1 - 0.403)$$

$= 0.5158 \approx 0.516$ ，此時產生的氣體量為  $0.516(\text{m}^3/\text{m}^3)$ ，這也是日本消防法施行規則第 19 條有關  $\text{N}_2$  滅火藥劑的下限值 (該規則也明文指出係溫度  $20^\circ\text{C}$ 、 $1\text{atm}$  狀態下換算的體積)。

(2). 最高濃度流出  $G = C_m/(100 - C_m)V(\text{vol}\%)$

計算式轉換，同上所述，將  $G \rightarrow W$ 、 $C_m \rightarrow C$ ，自由流出計算式改為

$$W = C/(100 - C)V(\text{vol}\%)$$

2. 用比容把體積換成質量

比容 ( $S$ ) 是「單位質量所佔的體積」，

$S = V/W$  (單位： $\text{m}^3/\text{kg}$ )，滅火濃度可用比容把體積換成質量；對氣體而言，比容受防護區域內溫度及大氣壓力影響而變化，所以設計氣體滅火時必須明確指明溫度、壓力條件，例如「 $1\text{atm}$ 、 $21^\circ\text{C}$  的比容」。

為調整成設置標準所採用公式，以前述所列基本公式為本，在比容將體積換成質量後，有關滅火藥劑核算公式如下：

(1). 惰性氣體滅火藥劑

$$\{W(\text{kg}) \cdot S(\text{m}^3/\text{kg}) \cdot C(\text{vol}\%)\}$$

$$W = V/S \times \ln\{100/(100 - C)\}$$

$$S = k_1 + k_2 \cdot t$$

(2). 鹵化烴滅火藥劑

$$W = V/S \times (C/100 - C)$$

$$S = k_1 + k_2 \cdot t$$

3. 校正檢討：海拔高度、障礙物、洩漏等

(1). 海拔修正係數 [1]

在高海拔地區，由於大氣壓力較低，維持相同「滅火濃度百分比」所需的藥劑重量實際上會比海平面更少，因此高海拔地區須將濃度值校正，大氣校正係數 ( $f$ ) 如表 7，計算式如下： $W = V/S \times (C/100 - C) \times f$

表 7

表 7 大氣校正係數 ( $f$ )

Table 7.3.3.3 Atmospheric Correction Factors (2022 ed.)

Equivalent Altitude		Enclosure Pressure (Absolute)		Atmospheric Correction Factor
ft	km	psi	mm Hg	
-3,000	-0.92	16.25	840	1.11
-2,000	-0.61	15.71	812	1.07
-1,000	-0.30	15.23	787	1.04
0	0.00	14.70	760	1.00
1,000	0.30	14.18	733	0.96
2,000	0.61	13.64	705	0.93
3,000	0.91	13.12	678	0.89
4,000	1.22	12.58	650	0.86
5,000	1.52	12.04	622	0.82
6,000	1.83	11.53	596	0.78
7,000	2.13	11.03	570	0.75
8,000	2.45	10.64	550	0.72
9,000	2.74	10.22	528	0.69
10,000	3.05	9.77	505	0.66

(2). 核算防護空間淨體積

當核算出防護區域空間體積，該區域內部有不滲透且不可移動固體體積時，因該構造體不會燃燒，滅火藥劑也不會滲透，得予扣除，最後以防護空間淨體積來核算滅火藥劑量 (案：此係設置標準第 83 條之 2、第 97 條之 3 所規定，不過在  $\text{CO}_2$  部分則未規定，另與日本法規相較，少了須為不燃材料之要件，而且是應扣除)。

(3). 防護區域完整性 (事屬氣密試驗，容後說明)

### (三) 藥劑放射量與濃度 [6]

此議題為何局限在二氧化碳滅火設備，說明如下：

1. 惰性氣體及鹵化烴滅火設備

惰性氣體及鹵化烴滅火設備在設置標準明定其設計濃度應將理論滅火濃度乘以安全係數來核算 (容後說明)，並無透過放射量換算濃度之議題，但二氧化碳滅火設備是採用放射量來規定。

2. 二氧化碳滅火設備

設置標準第 83 條第 1 款針對二氧化碳滅火設備之滅火藥劑量核算，明定全區放射方式每立方公尺防護區域所需滅火藥劑量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )，衍生依此規定所放射的藥劑量，其濃度究為多少？

二氧化碳滅火設備所規定的放射量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )，一般會考慮放射量多少來決定其膨脹率 (比容) ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )，放射量少時，想定的溫度稍微高 ( $30^\circ\text{C}$ )，放射量多時，室溫降低，

想定的溫度稍微低 (10°C)，基此，二氧化碳膨脹率使用 0.56m<sup>3</sup>/kg (30°C) 及 0.52m<sup>3</sup>/kg (10°C)。

有關二氧化碳的濃度可依前述說明及自由流出的計算式  $C_m = 1 - \exp[-(G/V)]$  來核算；以防護區域體積 1500 m<sup>3</sup> 的法定放射量 0.75 (kg/m<sup>3</sup>) 為例，膨脹率為 0.56m<sup>3</sup>/kg 時，膨脹之二氧化碳氣體量為 0.42m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (即  $G/V$ )，區域內藥劑與空氣混合自由流出  $C_m = 1 - \exp(-0.42) = 0.3429$ ，意即殘留之室內 CO<sub>2</sub> 濃度為 34% (設計濃度)，以下將設置標準第 83 條第 1 款規定的法定滅火藥劑量與設計濃度整理如表 8。

表 8 法定滅火藥劑量與設計濃度

防護對象	法定放射量 (kg/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 膨脹率 (m <sup>3</sup> /kg)	產生之氣體量 $G/V$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	$C_m = 1 - \exp[-(G/V)]$		
				$C_m$	設計濃度%	
電信機室	1.2	0.52	0.624	0.4642	46	
棉花類	2.7		1.4	0.7534	75	
木材加工品	2.0		1.04	0.6465	64	
合成樹脂類	0.75	0.56	0.42	0.3429	34	
防護區域體積 (m <sup>3</sup> )	50m <sup>3</sup> 未滿		1.0	0.56	0.428	42
	50以上~50未滿		0.9	0.504	0.396	39
	150以上~1500未滿		0.8	0.448	0.361	36
	1500以上		0.75	0.42	0.343	34

#### (四) 滅火濃度與設計濃度

1. 有關滅火濃度與設計濃度，基本上，**設計濃度 = 滅火濃度 × 安全率**；NFPA 2001 列有各類火災的**最低滅火濃度** (MEC：Minimum Extinguishing Concentration) 與**最低設計濃度** (MDC：Minimum Design Concentration) 供參考採用，NFPA 2001 附錄表 A.7.2.2.1(案：只有 B 類火災的 MEC)，以及表 A.7.2.2.3(b)(案：有 A 類火災的 MEC 及 MDC，還有 C 類火災的 MDC)，所列 MEC 與 MDC 濃度百分比如表 9，就 **NFPA 2001** 規定簡略說明如下： [1]

##### (1). A 類火災的 MEC 與 MDC

分為表面火災 (Surface Fire) 與深部火災 (Deep-Seated Fire) 來規範最低設計濃度 (MDC)，表面火災部分要求依 UL 2127 或 UL 2166 測試的滅火濃度 (最低滅火濃度) 乘以 1.2 倍，與燃杯試驗 (Cup Burner Method) 的滅火濃度，擇其較大者為準，至深部火災部分則要求依測試來決定。

表 9 NFPA2001 滅火濃度與設計濃度 (2022 ed.)

Table A.7.2.2.3(b) Class A Flame Extinguishing and Minimum Design Concentrations Tested to UL 2166 and UL 2127

Agent	Class A MEC	Class A Minimum Design Concentration	Class C Minimum Design Concentration
FK-5-1-12	3.3	4.5	4.5
HFC-125	6.7	8.7	9.0
HFC-227ea	5.2	6.7	7.0
HFC-23	15.0	18.0	20.3
IG-541	28.5	34.2	38.5
IG-55	31.6	37.9	42.7
IG-100	31.0	37.2	41.9

Table A.7.2.2.2.1 Minimum Flame Extinguishing Concentration (Fuel: n-heptane)

Agent	MEC (vol %)	Note
FK-5-1-12	-4.5	Muller, 2002
HFC-125	-8.7	Harrison and Robin, 2001
HFC-227ea	6.62	Senecal, 2008
HFC-23	-12.9	Hainsworth and Hammel, 2003
HFC-236fa	-6.3	Harrison and Robin, 2001
IG-01	-43.2	FM Approvals, 2005
IG-100	32.6	FM Approvals, 2005
IG-541	-34.4	FM Approvals, 2005
IG-55	-36.2	FM Approvals, 2005
HB-55	5.5	

##### (2). B 類火災的 MEC 與 MDC

要求就依 UL 2127 或 UL 2166 測試的滅火濃度與燃杯試驗值，擇其較大者，作為最低滅火濃度 (MEC)，此 MEC 乘以 1.3 倍為 B 類火災最低設計濃度 (MDC)。

NFPA2001 提醒燃杯試驗取得的 MEC 數據，因係以正庚烷 (n-heptane) 為燃料的測試，不能以此數據來取代其他公共危險物品的最低設計濃度 (MDC)。

##### (3). C 類火災的 MDC[1]

對一般電氣設備 (≤ 480V)，C 類火災最低設計濃度直接明定應為 A 類火災最低滅火濃度乘以 1.35 倍。對持續通電大於 480 伏特之電氣設備場所，要求進行危害分析及必要測試來決定。

##### 2. 設置標準等規定

設置標準第 83 條之 1 及第 97 條之 2，以及「惰性氣體、鹵化烴滅火設備與放水型自動撒水設備審查及查驗注意事項」第 2 點，有**理論滅火濃度、設計濃度、最低設計濃度及最高設計濃度**等用語，其重點整理如下：

- (1). 設計濃度應在理論滅火濃度乘以 1.2 倍 (A 類火災)、1.3 倍 (B 類火災) 或 1.35 倍 (C 類火災) 安全係數以上。也以但書明定持續通電大於 480 伏特之電氣設備之場所，其設計濃度依中央主管機關認可之值核算。(第 83 條之 1)
- (2). 理論滅火濃度應經測試決定。(第 83 條之 1 本文)
- (3). 常時有人場所之藥劑最高設計濃度限制 (案：須注意常時有人四字)。
  - A. 惰性氣體滅火設備：藥劑最高設計濃度以 52% 為限 (第 83 條之 1 第 1 款第 2 目)。
  - B. 鹵化烴滅火設備 (第 97 條之 2) (表 10)。

表 10 鹵化烴藥劑最高設計濃度

滅火藥劑種類	最高設計濃度
HFC-23	30%
HFC-227ea	10.5%
FK-5-1-12	10%

- (4). 明定各類火災的最低設計濃度 (審查及查驗注意事項第 2 點) (整理如表 11)。[7]

表 11 審查及查驗注意事項的最低設計濃度

滅火藥劑種類	最低設計濃度	易燃液體場所最低設計濃度	通電中電氣設備場所最低設計濃度	大於480伏特電氣設備場所
HFC-23	18%	19.5%	20.3%	-
HFC-227ea	6.7%	8.7%	7%	12%
FK-5-1-12	4.5%	5.9%	4.5%	10%
IG-100	37.2%	43.7%	41.9%	45.2%
IG-01	38%	52.5%	42.8%	49.1%
IG-55	37.9%	39.1%	42.7%	45.2%
IG-541	34.2%	40.6%	38.5%	45.7%

### 3. 設置標準等規定的思考

- (1). 「理論滅火濃度」應該是 NFPA2001 的 MEC，立法意旨也說明係以 UL 2127、UL 2166 或燃杯試驗測試的滅火濃度來決定，惟設置標準冠以「理論」二字，反而不易理解其內涵。
- (2). 審查查驗注意事項直接律定因應各類火災的「最低設計濃度」(表 11)，這應該是

NFPA2001 的 MDC，既然導入並與 NFPA 規定接軌，按道理最低滅火濃度 (MEC) 也應公布，較有助於法規的理解與運用。

- (3). 有關公共危險物品場所依設置標準第 222 條及第 222 條之 1 核算滅火藥劑量，表列有汽油、柴油、重油及煤油的係數，未表列部分在上開條文第 3 項明定依中央主管機關認可之設計係數值核算滅火藥劑量，鑒於日本為明確律定有關公共危險物品的最低設計濃度 (MDC)，在有關係示明定核算藥劑量係數的測試方法 (如附件 1)，值得參考。[14]

上開規定對於防護區域內或防護對象係為儲存、處理之公共危險物品時，須就所核算滅火藥劑量乘以附表之係數，不過該附表所列鹵化烴並沒有 FK-5-1-12 的欄位，查係直接參考日本規定，但日本基於相關試驗數據不足，暫未納入所致。

- (4). 審查查驗注意事項的「最低設計濃度」(如表 11)，在 A 類火災與 C 類火災部分，基本上符合 NFPA2001 的最低滅火濃度 (MEC) 與設置標準第 83 條之 1 的 1.2 及 1.35 倍規定，不過其中 FK5-1-12 的 A 類及 C 類火災 MDC 都是 4.5%，其 MEC 依表 9 是 3.3%，乘以 1.35 倍可知 C 類火災 MDC 是 4.5%，至於 B 類火災 MDC 也是直接採用 1.35 倍的 4.5%，這也凸顯公布最低滅火濃度 (MEC) 的必要。

在 B 類火災的最低滅火設計濃度部分，依表 9 的 NFPA2001 表 A.7.2.2.1 所公布之最低滅火濃度 (MEC)，乘以 1.2 倍後，發現有關 B 類火災最低設計濃度，就 NFPA 所公布的 MEC 乘以 1.2 倍與審查及查驗注意事項第 2 點的最低設計濃度相較，除 IG100 以外，IG01 最低設計濃度應為 56.3% (表 11 為 52.5%)、IG541 最低設計濃度應為 44.7% (表 11 為 40.6%) 以及 IG55 最低設計濃度應為 47.1% (表 11 為 39.1%)，此 3 種惰性氣體在表 11 均呈現較小數值，因未公布有關最低滅火濃度 (MEC)，實無從論斷。

## (五) 容許濃度之確認 [8][9]

此規定與我國的最高設計濃度相同，日本稱之為容許濃度確認，日本總務省消防廳在 2001 年函

釋，要求對氣體滅火設備應確認核算藥劑是否在設計濃度上下限範圍，並針對惰性氣體及鹵化烴滅火設備，分別明定有關應確認的容許濃度基準(表 12 及表 13)，地方消防審查基準及消火裝置工業會都訂定有關確認用公式(2 個單位在鹵化烴部分規定稍有不同，細節容略)，另有計算例，說明如下：

表 12 表 12 惰性氣體滅火設備容許濃度

滅火藥劑	設計滅火濃度	容許濃度
IG100	40.3%	52.3%
IG55	37.9%	43.0%
IG541	37.6%	43.0%

表 13 表 13 鹵化烴氣體滅火設備容許濃度

滅火藥劑	設計滅火濃度	容許濃度
HFC-23	16.1%	24.0%
HFC-227ea	7.0%	9.0%
FK-5-1-12	5.8%	10.0%

$C$  :滅火藥劑濃度(%)  
 $W_G$ :放射藥劑量(kg)  
 $V$  :防護區域體積( $m^3$ )  
 $S$  :氣體比容( $m^3/kg$ )

滅火藥劑	藥劑比容
HFC-23	0.34
HFC-227ea	0.138
FK-5-1-12	0.0719

$V_a$ :防護區域淨體積(扣除後)  
 $V_N$ :支持容器之氣氣量( $m^3$ )

1. 惰性氣體容許濃度確認公式

$$C = 1 - \exp[-(G/V)] \times 100 \text{ (vol\%)}$$

2. 鹵化烴容許濃度確認公式

(1). HFC-23、HFC-227ea(蓄壓式)、FK-5-1-12

$$C = 1 - \exp[-(W_G \times S/V_a)] \times 100$$

(2). HFC-227ea(支援容器放射式)(容後說明)

$$C = (W_G \times S)/(V_a + W_G \times S + V_N) \times 100$$

3. 容許濃度確認計算例(圖 6)

(1). 例 1( $N_2$ )

A. 必要滅火藥劑量  $1800 \times 0.516=928.8m^3$

B. 容器瓶數  $928.8/20.3=45.8 \rightarrow 46$  瓶

C. 防護區域淨體積  $1800 - 500=1300$

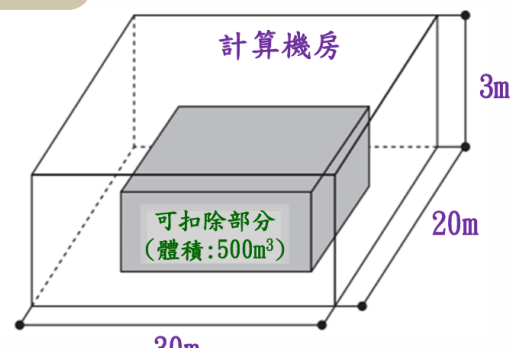
D. 容許濃度確認

$$C = 1 - \exp[-(G/V)] \times 100$$

$$C = 1 - \exp[-((46 \times 20.3)/1300)] \times 100$$

$$C = 51.2\% < 52.3\%$$

圖 6



防護區域體積	1800 $m^3$
單位體積滅火藥劑量	0.516 $m^3$
防護區域空間體積	1300 $m^3$
$N_2$ 容器	20.3 $m^3$ /瓶

防護區域體積	1800 $m^3$
單位體積滅火藥劑量	0.84 kg
防護區域空間體積	1300 $m^3$
FK-5-1-12 容器	60kg/瓶

圖 6  $N_2$  及 FK-5-1-12 容許濃度計算例

A. 必要滅火藥劑量  $1800 \times 0.516=928.8\text{m}^3$

B. 容器瓶數  $928.8/20.3=45.8 \rightarrow 46$  瓶

C. 防護區域淨體積  $1800 - 500=1300$

D. 容許濃度確認

$$C = 1 - \exp[-(G/V)] \times 100$$

$$C = 1 - \exp[-((46 \times 20.3)/1300)] \times 100$$

$$C = 51.2\% < 52.3\%$$

(2). 例 2 (FK-5-1-12)

A. 必要滅火藥劑量  $1800 \times 0.84=1512\text{kg}$

B. 容器瓶數  $1512/60\text{kg}=25.2 \rightarrow 26$  瓶

C. 防護區域淨體積  $1800 - 500=1300$

D. 容許濃度確認

$$C = 1 - \exp[-(W_c \times S/V_a)] \times 100$$

$$C = 1 - \exp[-(60 \times 26) \times 0.0719/1300] \times 100$$

$$C = 8.2\% < 10\%$$

#### 4. 援容器放射式 [9]

HFC-227ea 儲存容器有蓄壓式及支援容器放射式兩種 (如圖 7)，傳統蓄壓式放射後內壓逐漸降低，支援容器放射式透過氮氣導入口之調整限流孔使放射中之儲存容器內壓維持不超過 4.2Mpa(20°C)。

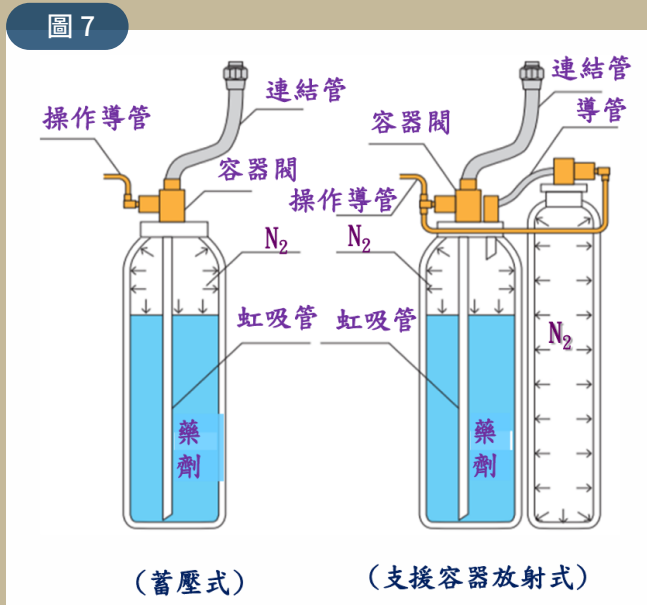


圖 7 支援容器放射式 (HFC-227ea)

## 參考文獻

1. NFPA2001：Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2022 年版
2. 山田 信夫：ガス系消火設備の 50 年と今後の展望, 火災 (245), 2000 年 4 月
3. 「氫氟碳化物管理辦法」環境部 114 年 02 月 25 日環部氣字第 1149101926 號令、「禁止或限制製造、輸入、輸出、販賣、使用或排放之氫氟碳化物種類」環境部 114 年 02 月 25 日環部氣字第 1149101966 號公告
4. 小林 恭一：ガスによる消火, 建築防災, 2009 年 12 月
5. 社団法人日本消火装置工業会：ガス系消火設備の消火剤放出性能の研究, フェスク, 2000 年 7 月
6. 国川明輝：建築技術者の知っておきたい消火設備 (第 5 章二酸化炭素消火設備及第 6 章ハロゲン化物消火設備), 理工圖書, 2001 年 6 月 30 日
7. 惰性氣體、鹵化煙滅火設備與放水型自動撒水設備審査及查驗注意事項, 2024 年 7 月 1 日
8. 總務省消防廳：消防法施行令の一部を改正する政令等の施行について (通知), 消防予第 102 号, 2001 年 3 月 30 日
9. 日本埼玉市消防用設備等審査基準, 第 5 の 2 不活性ガス消火設備 (イナートガス消火剤を放射する不活性ガス消火設備) 及第 6 ハロゲン化物消火設備 (全域放出方式), 2025 年版
10. 消防基本法制研究会：消防法施行令解説, 近代消防社, 2006 年 3 月 3 日
11. 總務省消防廳：二酸化炭素消火設備の設置に係るガイドライン, 令和 4 年 11 月 24 日
12. 東京消防廳：預防事務審査検査基準第 4 章第 2 節第 6 不活性ガス消火設備, 2025 年
13. 社団法人日本消火装置工業会：不活性ガス消火設備設計・工事基準書, H19 年
14. 總務省消防廳：製造所等の不活性ガス消火設備の技術上の基準の細目を定める告示 (R5)、製造所等のハロゲン化物消火設備の技術上の基準の細目を定める告示 (H23)

# 05 學術交流

## 被忽視的煙控防線：排煙閘門耐壓性能與氣密等級之實務檢討(上)

The Overlooked Line of Defense in Smoke Control: A Practical Review of Smoke Damper Pressure Resistance and Leakage Class, Part 1

圖文 - 台灣消防器材工業同業公會 顧問 / 消防設備師 蕭霽聲

Academic Exchange

## 從「煙氣排除」到「壓差管理」

煙氣是火場的第一殺手，多數罹難者係因煙氣導致避難障礙、缺氧昏迷後才遭火灼身。現行國內《各類場所消防安全設備設置標準》（以下簡稱設置標準）仍多停留在以「防煙區劃」進行煙氣排除的思維，對比國外發展成熟的壓差管理與儀控規劃，顯有不足。本文將針對排煙系統中與煙氣第一線接觸的「排煙口」，探討其在實務與學理上的待改善空間。

### 火場中煙氣的特性與排煙設備構成簡述

煙氣三種危害：高溫灼熱、毒性與視覺障礙，此觀念乃消防專技人員國家考試當中重要的考試觀念。但煙氣的危害除了上述這三種外，海外學者對於人體暴露之毒氣亦搭配時間之觀念進行一併考量 [1]，FED 模型 (fractional effective dose (FED) model) 或以較符合本模型精神之譯名：「蓄積分率模型」稱呼，其定義如下：

$$FED = \frac{m_f \times t}{LCt_{50}}$$

蓄積分率模型當中 FED 為無因次物理量， $m_f$  為火場中的可燃物消耗的質量濃度 ( $g/m^3$ )， $t$  係指生物體 (人體) 接觸煙氣的持續時間 (分鐘)，最後的  $LCt_{50}$  (Lethal Exposure Dose，致死暴露劑量) 與半數致死濃度  $LC_{50}$  (Median Lethal Concentration)、半數致死藥劑量  $LD_{50}$  (Median Lethal Dose) 有相接近之概念，但增加了暴露時間的蓄積觀念於  $LCt_{50}$  (半數致死暴露 (累積) 量， $g \cdot m^{-3} \cdot min$ ) 當中。換言之，即便一些低毒性的氣體，隨著長時間暴露接觸導致其蓄積於生物體內時，亦有可能對生物體造成傷亡之風險性。以下列表火場中常見材料於不同火勢發展下，其  $LCt_{50}$  的近似值：

表 1. 各燃燒物質於不同火災階段  $LCt_{50}$  近似值 ( $gm^{-3}min$ ) [3]

可燃物種類	無焰燃燒	燃料控制燃燒	最盛期燃燒
纖維素類	730	3120	750
含碳 / 氫 / 氧元素類塑料	500	1200	530
聚氯乙烯	500	300	200
羊毛 / 尼龍	500	920	70
軟質聚氨酯	680	1390	200
硬質聚氨酯	63	100	54
改質聚丙烯腈	160	140	45

學者 Purser 於 2008 年將 FED 模型結合靈長類實驗研究數據 [2]，模擬人員在暴露於火場毒性氣體時，從初始不適到失能 (Incapacitation) 以及最後身亡的動態歷程評估。若利用 FED 模型評估後的數值達到 1 以上，代表此空間受困者已達到死亡狀態；若評估後的 FED 數值為 0.5，代表受困者已達失能無法自行逃離火場的狀態。消防專技人員進行排煙設計規劃前，應當先行評估此防護空間的常時使用人等的特性、結合潛在火載量的考量進而推估設計可能之煙生成率，最後討論該空間所需之排煙量、靜壓要求是否能使此空間的蓄積分率模型預測結果達到數值 0.5 以下之情況。

除了煙氣的基礎特性熟悉與危害評估外，排煙系統當中的各組件優劣程度亦會影響當災害發生後排煙效果的優劣程度。整體排煙系統可分為三大架構：其一動力來源、再者為煙氣傳輸路徑 (管道)、最後則為管線末端的區劃邊界的排煙口。舉例說明，若以國內建案現今常見的特別安全梯，在地面層以上多半採取自然排煙之設計，故其動力來源為建物內外溫度差異所導致的壓差，此種系統煙氣傳輸路徑幾乎沒有、以及排煙的區劃邊界則為自然排煙窗之窗扇；對比地下層之梯間，因無法利用自然浮力之方式排除煙氣，因此便會採取設置排煙風機 (動力來源) 以及連接動力來源至防護梯間空間的排煙

風管(煙氣傳輸路徑)、最後則是風管與梯間處的物理性阻隔之排煙口(區劃邊界)。上述的簡易架構,乃我國常見的集合住宅建案之排煙系統規劃方式。

## 設置標準對於排煙口之論述

設置標準可謂消防專技人員、消防從業人員與消防設備製造商設計規劃、產品開發與檢修維護之重要執業母法。排煙設備相關之法條僅列於設置標準第 188 條至第 190 條,合計三條之條文內容中。設置標準對排煙口的要求極為簡化:「須為不燃材料、具備手動及自動開啟功能、連動風機運轉、且葉片構造不受氣流影響而關閉。」編者後續將詳細討論尚可加強,以及相關缺乏之品質驗證之配套法規的內容。

排煙口本身為與區劃火災生成之煙氣第一接觸以及阻擋之排煙系統工件,因此我國的設置標準將其要求須以不燃材料進行設計裝置。

我國排煙設備當中的排煙口以及其連接風管等皆是金屬製之產品(參見圖 1),且依案場美觀需求多半會利用後續天花板等進行系統的裝修設計(參見圖 2);惟依材料學理論角度探討,金屬材料受熱後會有膨脹之現象,此種結果是否會導致原先葉片與葉片框架之間隙縮小導致葉片卡死無法開啟?抑或是當葉片為追求氣密性,於刃部安裝氣密膠條,但此種橡膠材質並未有相關規範其品質要求或是高溫性能之品管檢定,若在高溫情況下,橡膠融化沾黏,是否也會導致葉片無法順利開啟之情況發生?最後也是業界時常忽略的一重要關鍵點,金屬材質在高溫下的衰退行為,意即金屬材料在常溫下所具有的降伏強度、延展性、韌脆性等機械性質,於高溫環境下,將會出現衰退的情況,使工件或是材料無法達到初始設計的性能要求。舉例而言,排煙口之開啟其動作原理乃利用連結桿將葉片旋轉開啟,若金屬連結桿其高溫降伏強度衰退過快、或是材質選用不恰當,災害發生時產生的高溫煙氣將導致支撐桿斷裂或閉門葉片制動器(參見圖 1. 虛線圈選處)損壞使其無法順利開啟排煙的結果發生。

圖 1



圖 1. 排煙閉門及葉片制動器(虛線圈選處)與風管銜接處接合樣貌(由陽鼎實業股份有限公司專業提供)

圖 2



圖 2. 排煙閉門及風管與裝修天花板配置(由陽鼎實業股份有限公司專業提供)

我們可以再搭配設置標準之法條規範再次檢驗排煙口無法順利開啟時可能產生的連鎖反應。依設備設置標準第 188 條第一項第八款之內容:「排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。」又按同條同項第十一款之內容:「排煙口開啟時應連動停止空氣調節及通風設備運轉。」此時防護區域內部產生之煙氣藉由尚未停止之中央空調等設施,蔓延至醫療處所當中其餘等待救援區等類似空間,造成災害擴大。雖說排煙口與風管接合處依體積大小討論可能只佔系統總體積百分之十左右,但它於緊急狀況時能否開啟,將對於整個防護空間甚至整個建物內的受困者產生不容小覷的蝴蝶效應!

關於排煙口尚有一個國內消防從業人員絕大部分忽略為其氣密性(洩漏率)之討論。「它的洩漏量或是

氣密性就沒有討論之必要吧？畢竟最終排煙閘門皆是要開啟進行排煙動作的！」讀者心理可能會產生類似之疑問。編者希望藉由接下來的章節內容討論，讓心裡有產生前述疑惑的讀者們，在閱讀完本篇文章後，可以將排煙口的地位從原先排煙系統當中一小構件，提升到將它視為排煙效率與煙氣管理重大功能的調控者！

## 我國實務現況與煙氣壓差管理的距離

當整體排煙系統啟動運轉時，起火空間的煙氣進入至排煙風管中，若其他排煙區劃之排煙口為常時開啟或排煙口氣密性不足的狀況下，管內的煙氣有可能藉由風管管系流往未起火空間處，造成災害擴大之蔓延。惟國內機械排煙設備中排煙口乃常閉之狀況，且缺少排煙閘門於排煙口前進行先驅氣密與火勢等相關防護，一旦管系內煙氣濃度過高或是溫度提升之情況，將有可能破壞排煙口的氣密功能。國內常見之排煙口為向下型並與天花板形成一體式之裝修設計（參見圖 3.），反之亦有向上型的排煙口設計情況。其為多葉片式之設計，具有平衡煙氣流動與控制氣流等相關重要煙控目的。首先第一大功能平衡煙氣流動，讀者可試想一個問題，當一個空間其內部已經達到近真空狀態，此時氣體於此空間中是否還會有移動行為呢？原則上不會，因為流體之流動需有壓力差作為驅動力方可達成。故排煙系統設計並非單純依照面積進行排煙口之增設即可，而是須藉由案場建物的幾何構造與壓力換算等深厚技術含量進行合理之配置，方可使排煙管線內與防火區劃空間內建立合適之壓力差將煙氣進行排除。再者，藉由排煙口的葉片開啟角度大小，可調整於排煙過程中氣體體積流率之高低以及避免拉穿現象之產生。開啟大小依照葉片開啟之方向，可分為對開式閘門與平開式閘門。平開式閘門為國內常見的排煙口形式，由於此二種閘門類型牽涉到葉片角度開啟與流量變化之煙控層級的討論，故詳細介紹內容待煙控主題文章時再加以討論著墨，此二種排煙閘門其開口角度與流量變化關係如圖 4. 所示。

圖 3



圖 3. 向下型排煙口與裝修天花板配置（由陽鼎實業股份有限公司專業提供）

圖 4

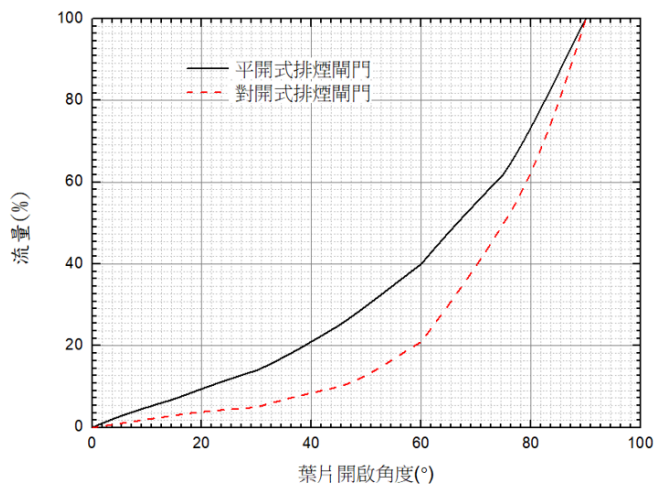


圖 4. 流量與葉片開啟角度變化圖

由前述關於排煙設備的構件介紹，相信讀者已經能夠體會到排煙系統其功能不只有「排煙」之功能，藉由排煙口與閘門組件的調和，排煙設備可以進展至煙氣阻絕、控管與壓差調整管理。如此一來，對照設置標準之規範要求，相信各位已經可以明顯觀察到國內消防法系上，尚著重在「排煙」的行為，至於排煙口如何阻煙、氣密性、管系間的壓差平衡與影響氣體流動重要之壓力壓變化等重大影響排煙行為的議題皆未加以著墨。

## 火場動力學下的閘門考驗：釋熱率與排煙口之關聯

前段花了不少篇幅介紹排煙口與排煙閘門的重要多工角色，編者在此段落希望利用基礎火災學的學理搭配案場設計的概念，帶領讀者解析若國內法系中排煙口當中若其氣密性與高溫性能等條件無法達到，將對於防護區域內之使用者將會造成何等影響。於計算前為了簡化題目之複雜程度，先行假設火場中所生成的煙氣與既有空氣等皆符合理想氣體行為。

於火災學學科中，有一重要評估區劃火災成長速率之概念，乃建築物火災 T 平方成長理論，此等模型乃評估火災釋熱率隨時間變化關聯曲線圖，不同之成長速率，對應其不同之火災成長係數（國內常見之成長係數利用 K 值做表達；NFPA 相關法系好利用  $\alpha$  值進行呈現）。此等模型當中隱含數個重要觀念，首先火災成長之過程乃複雜快速的指數性成長，而非單純線性成長行為，此觀念告訴所有消防從業人員，相關的消防設備早期動作與晚期動作，將會造成極大的結果差異。再者，指數成長的曲線幅度，與防護區劃內部的可燃物特性有極大之關聯。例如按照 NFPA 92B 當中的研究結果，當含有軟墊泡棉構造的家具進行燃燒多半會達到極快速的火災成長（Ultra-Fast）；若為棉花與其他構造物所充填之物品，其火災成長約莫在快速（Fast）至中速（Medium）成長階段。

截至目前為止，我們在前述所討論之內容，都圍繞在熱量與時間之關係上，雖說釋熱率與環境溫度成正比之關聯性，但於火災中熱量的表達方式依舊對於一般民眾較不直覺且較亦無法體會其可怕性。為了解決此等問題，麥卡弗里（McCAFFREY）等學者、藉由研究分析多場燃燒試驗數據後，藉由線性回歸之方式推估釋熱率與火場溫度的變化行為 [3]，發現火場空間的溫差變化與釋熱率有以下之關係式：

$$\Delta T(K) = 480 \left( \frac{Q}{\sqrt{g C_g \rho_0 T_0 A \sqrt{H}}} \right)^{2/3} \left( \frac{h_k A_w}{\sqrt{g C_g \rho_0 A \sqrt{H}}} \right)^{-1/3}$$

上述關係式中， $\Delta T$  為環境室溫與經過  $t$  (s) 時間後的火場溫度之差值，並且受重力加速度  $g(m/s^2)$ 、（計算，以單純室溫空氣進行討論）氣體熱容量

$C_g$  (kJ/(kg\*K))、氣體密度  $\rho_0$ （考量煙氣為混合物，類同於熱容量之情況，以單純室溫空氣進行討論）

( $1.2kg/m^3$ )、起火空間之室溫  $T_0$ 。最後影響火場溫差之物理量，則為火災學學科中所提及的通風因子，意即開口面積  $A(m^2)$  與開口部高度  $H(m)$  相乘之乘積。

讀者可能發現上述關係式中尚有二個物理量並未完整介紹到，首先為  $A_w(m^2)$  係指區劃空間可以反射熱能的面積，意即四周牆面（包含開口）外加天花板與樓地板所構成的面積。再者，前述介紹之公式中，牆面的熱能反射的考量貌似非常合乎我們基礎理化行為，惟不可忘記的部分乃熱傳相關物理量為與溫度具相關聯性的多變函數，亦即其值會受不同溫度而有所改變。為了解決這個問題點，學者在進行模型與實驗數據擬合之研究中，加入了等效熱傳係數（ $h_k$ ）進行此溫度預估模型的精進。對於穩態燃燒，等效熱傳係數為牆面之熱傳係數 ( $k$  (kW/(m\*K))) 與牆面厚度 ( $\delta$  (m)) 之比值，意即  $h_k = \frac{k}{\delta}$ 。針對非穩態燃燒，則須利用材料科學中進行解析擴散偏微分方程式當中，半邊極限逼近法

(Semi-Infinite Approximation) 的方式近似等效熱傳係數，因此其熱傳係數，會受到時間變化而有所改變，其詳細型式為： $h_k = \sqrt{\frac{\rho c k}{t}}$  當中  $c$  代表牆面熱容量、 $\rho$  為牆面之密度， $t$  則為火災經過時間。

## 理論計算檢討：排煙口未開啟時空間的煙氣逆流風險 - 辦公空間

假設二個鄰近辦公空間，樓高為三公尺，各辦公空間正方形且其面積為 100 平方公尺（邊長為 10 公尺之正方區劃）。此兩空間因位在無開口總樓層，故二區劃內皆設有一排煙口（寬度 45cm、高度 45cm），且各區劃之隔間、地板與天花板皆為水泥磚牆之構造 ( $k=0.0007$ (kW/(m\*K)),  $\rho=1900$ (kg/m<sup>3</sup>),  $C_p=0.84$ (kJ/(kg/K)) 並且具有一個向走廊進出的開口門（寬度 1.2m、高度 2m），由於同一樓層因此其機械風管主管為共用之情況。假設其中之一的空間發生火災，並且屬於 NFPA 72 當中中速成長 ( $\frac{0.0066kW}{s^2} < \alpha \leq \frac{0.0469kW}{s^2}$ ) 之火災類型，環境室溫為攝氏 20 度，假設當火災發生後經過 60 秒 (1 分鐘) 後，火災的煙氣尚未觸發排煙設備之自動啟動裝置（偵煙探測器）並且未開啟排煙閘門。假設此現場排煙口符合

UL555S Class I 的洩漏標準

(at 1.1kPa, ambient temperature,  $0.041\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ )

首先，此假想空間，在經過 60 秒後，火場中的釋熱率應高達：

$$\therefore Q = \alpha t^2, Q = 0.0469 \left( \frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \right) \times (60(\text{s}))^2 = 168.84\text{kW}$$

當得知火場中釋熱率後，環境溫度之變化可以利用先前介紹之模型進行估算：

$$\therefore \Delta T(\text{K}) = 480 \left( \frac{Q}{\sqrt{g} C_p \rho_0 T_0 A \sqrt{H}} \right)^{2/3} \left( \frac{h_k A_w}{\sqrt{g} C_p \rho_0 A \sqrt{H}} \right)^{-1/3}$$

若尚未進行自救或外部消防力搶救行為時，火災狀況應尚處於非穩態燃燒

$$\left( h_k = \sqrt{\frac{\rho c k}{t}} = \sqrt{\frac{0.0007 \cdot 0.84 \cdot 1900}{60}} = 0.136 \left( \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{K}} \right) \right)$$

其 60 秒時火場環境溫度推估為：

$$\begin{aligned} \therefore \Delta T(\text{K}) &= 480 \left( \frac{168.84}{\sqrt{9.8} \times 0.84 \times 1.2 \times 293 \times 2.4\sqrt{2}} \right)^{2/3} \\ &\quad \left( \frac{0.136 \times 320}{\sqrt{9.8} \times 0.84 \times 1.2 \times 2.4\sqrt{2}} \right)^{-1/3} \\ \therefore \Delta T(\text{K}) &= 40.34\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore 60 \text{ 秒後火場溫度} &= 293\text{K}(\text{室溫}) + 40.34\text{K} \\ &= 333.34\text{K} = 60.34^\circ\text{C} \end{aligned}$$

因為現場閘門符合 UL555S CLASS I 的洩漏要求，在室溫時排煙口洩漏量約為  $0.45\text{m} \times 0.45\text{m} \times 0.041\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2) = 0.0083 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$ ，約莫每秒 8.3 公升之氣體洩漏量。又按孔口流量之公式，氣體流率與溫度 0.5 次方成比例關係，換言之，依照本次設計題的狀況，火災發生 60 秒後，排煙口尚未開啟的情況下，煙氣洩漏率將會提升至： $0.0083 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \sqrt{\frac{333.34}{293\text{K}}} \cong 0.0089 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 8.9 \left( \frac{\text{L}}{\text{s}} \right)$  洩漏量。或許讀者可能會認為，此等洩漏量上升幅度不足以產生影響，但不要忘了，洩漏量之數值並非維持在每秒 8.9 公升之情況，而是隨著火場溫度提升，該值會呈現曲線性之增加幅度；此外，若當起火空間排煙口動作後，高溫之煙氣通往排煙管道，本案之鄰近區劃的未開啟排煙口，所面臨到的洩漏量考驗將更為險峻。

## 參考文獻

1. G.E. Hartzell, D.N. Priest, and W.G. Switzer, "Modelling of Toxicological Effects of Intoxication of Rats by Carbon Monoxide and Hydrogen Cyanide," *Journal of Fire Sciences*, 3, pp. 115-128 (1985).
2. Purser, D. A. (2008). Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases and heat. In SFPE handbook of fire protection engineering (4th ed., pp. 2/96-2/193). Society of Fire Protection Engineers.
3. McCaffrey, B. J., Quintiere, J. G., & Harkleroad, M. F. (1981). Estimating room temperatures and the likelihood of flashover using fire test data correlations. *Fire Technology*, 17(2), 98-119.

## 排煙口於實務上常見問題高溫動作的可行性

先前討論中，藉由實際數值推估之方式讓讀者們了解排煙口洩漏量隨著火災持續後的變化行為。但前述討論案係以符合 UL 相關氣密條件進行案例討論，因此，讀者可以试想若排煙口無相關之氣密標準要求，在前案當中，洩漏之程度應更加嚴重。

編者結合多年案場經驗與學理知識的結合，認為實務上排煙口於災害時可能產生之以下現象：

1. 檢驗環境落差：竣工查驗與檢修多在室溫下進行，忽略高溫動作的可靠性。
2. 維護保養欠佳：遮煙膠條氧化沾黏；裝修油漆水泥等沾黏葉片；葉片機構或制動器受瞬間極大負壓影響無法運轉；閘門處掛設物品使其無法開啟 / 開啟後將異物吸入。
3. 氣密性忽視：同一管系中，排煙閘門未作動之區劃仍有煙氣入侵風險。
4. 法系之補充：我國並無明文規範排煙閘門與防火閘門之設置要求，若單靠排煙口作為排煙區劃之阻隔功能者，將有可能產生高溫失效、災害蔓延的情況產生。

由於篇幅影響，編者在此篇文章中著重在排煙口的實務現況簡介以及藉由簡易之理論計算方式帶領各位讀者了解排煙口與相關閘門組件於火災中扮演之重要角色。於下篇文章將會著重國內外法規對於排煙口氣密性的相關規範與排煙閘門和煙氣控制的調和說明。

# 06 消防業界動態

## Industry Events & Updates

---

Industry Events

## 近期消防業界動態 (115 年 5 月 -6 月)

### 會議等召開情報

- ◆ 高雄市消防設備師公會第八屆第一次會員大會 (5 月 22 日)
- ◆ 雲林縣消防工程器材商業同業公會第三屆第一次會員大會 (5 月 26 日)
- ◆ 雲林縣消防設備士公會第一屆第三次會員大會 (5 月 26 日)
- ◆ 台灣消防器材工業同業公會自強活動 (6 月 14 日、15 日)
- ◆ 台北市消防工程器材商業同業公會第十九屆第九次理監事會議 (6 月 25 日)

### 國際消防展、研討會等情報 (5 月 -6 月)

- ◆ Fire Australia 2026 澳洲消防及安全展
  - 主辦單位：澳洲消防協會 (Fire Protection Association Australia, FPAA)
  - 活動時間：2026 年 5 月 5 日至 7 日。
  - 活動地點：澳洲墨爾本
  - 相關連結：<https://www.fireaustralia.com.au/>

- ◆ IFCAA 2026 Nagoya 亞洲消防長協會大會暨國際消防設備展
  - 主辦單位：國際消防長協會 (IFCAA)、日本消防協會 (FCAJ)
  - 活動時間：2026 年 5 月 27 日至 29 日。
  - 活動地點：日本名古屋
  - 相關連結：<https://ifcaa2026.j-is.work/>

## 國際消防展、研討會等情報（5月-6月）

### ◆ INTERSCHUTZ 2026 德國漢諾威國際消防安全展

- 主辦單位：Deutsche Messe
- 活動時間：2026年6月1日至6日。
- 活動地點：德國漢諾威
- 相關連結：<https://www.interschutz.de/en/>

### ◆ NFPA Conference & Expo 美國國家防火協會年會暨博覽會

- 主辦單位：National Fire Protection Association (NFPA)
- 活動時間：2026年6月22日至24日。
- 活動地點：美國拉斯維加斯
- 相關連結：<https://www.nfpa.org/>

# 06 基金會動態

## CFS Highlights

- ◆ 新北市義消總隊防宣大隊參訪交流活動。(5月12日)
- ◆ R型火警受信總機操作實務講習活動。(桃園市消防設備士公會、新北市消防局)  
(6月2日)

# 07 徵稿啟事

## Call for Submissions

---

Call for Submissions

## 財團法人消防安全中心基金會 消防安全月刊投稿須知及稿費支給要點

消安字第 1140200155 號函  
114 年 3 月 11 日初版

為強化消防安全設備之品質管理、技術探討及調查研究之交流，同時推廣防火管理及火災預防工作，並提供消防新知，爰發行消防安全月刊。又響應政府減紙政策，消防安全月刊以電子書方式發行。

一. 投稿主題：凡有關消防設備、機具、器材等新工法、新技術、新設備等學術新知、國際動態、重大活動、工作研討，火災預防宣導、防火管理工作的推廣報導及專題報導等議題，皆歡迎投稿。

### 二. 投稿方式

1. 為響應環保，請以電子郵件方式投稿，當月份出刊之消防安全月刊請於當月 5 日前寄至基金會消防安全月刊編輯小組電子信箱：cfs\_pub@cfs.org.tw。
2. 投稿文章內請標明標題及作者服務單位與姓名。以 WORD 檔、標楷體、14 號字繕打，字數 2000 字以上，如有相關照片請置於文章中，並另檢附解析度 300 萬畫素 (或 1MB) 以上之圖片檔。
3. 投稿信件「主旨」為文章名稱，圖片之檔案名稱為圖說。
4. 投稿不得違反著作權法之規定，文責自負；投稿內容如為譯文，或使用他人著作 (包含文字、圖片等)，應獲得原著作權人授權，如在合理使用範圍內，仍請註明出處。經採用之稿件本基金會得進行各種型態著作財產權之利用及再授權第三人利用。
5. 每次投稿皆須檢附「投稿者基本資料 (附件一)」及「著作權授權同意書 (附件二)」，如未檢附，恕不送審。「著作權授權同意書」請簽名後掃描或拍照為電子檔傳送至投稿信箱。

三. 本消防安全月刊編輯小組對稿件內容有修改權，投稿皆視為同意本編輯小組之修改。

四. 投稿文章不論採用與否，均不退稿，亦不另行通知。

五. 稿件經消防安全月刊刊載，由本基金會支給稿費，方式如下：

1. 文字稿：每字新臺幣 1 元。
2. 圖表及照片：每張 50 元。
3. 漫畫：每幅 (格) 100 元。
4. 使用非原創照片 (如電腦或網路擷取畫面、翻拍或受著作權保護照片) 不計稿費。
5. 文章如屬 2 人以上共同撰寫，需填具稿費領取同意書 (如附件三，每人均需填寫)，由撰稿之一人統一領取稿費。

六. 本要點得隨時應需要修正補充之。

附件 1

## 財團法人消防安全中心基金會消防安全月刊投稿者基本資料

◆為利稿費之核發，請務必據實詳細填寫，以免資料遭退影響稿費核發時間。

◆請注意：

- 1.文章作者姓名須與帳戶名稱、身分證字號相符，戶籍地址勿填寫機關地址。
- 2.多位作者共同撰寫者，每位皆需填寫本資料，若稿費僅由其中一位支領，其他作者請填寫稿費同意書。

投稿文章名稱	
服務單位	
姓名	
身分證字號	
戶籍地址	
銀行名稱(含分行)	
銀行帳號	
聯絡電話	
電子郵件	

基金會消防安全月刊編輯室

E-mail : cfs\_pub@cfs.org.tw 聯絡電話：03-3241190 分機315

地址：338桃園市蘆竹區東溪路18號

附件 2

財團法人消防安全中心基金會消防安全月刊投稿人著作權授權同意書

投稿著作名稱：\_\_\_\_\_ (下稱本著作)

一、立同意書人\_\_\_\_\_ (下稱本人)就本著作(文章及其所含照片等)經財團法人消防安全中心基金會(下稱基金會)消防安全月刊接受刊登，同意以下條款：

(一) 以「非專屬授權」方式，授權基金會不限時間及地域，無限次為各種典藏、推廣、散布、發行、重製、改作、公開傳輸(放上網站並提供使用者瀏覽、下載與列印等)、集結出版專刊及其他一切行使著作財產權之行為，本人對本著作仍有著作權。

(二) 基金會得再授權第三人利用。

二、本人保證投稿著作未侵害任何第三人權利(如著作權、專利權、商標權、營業秘密、肖像權或其他權利)，並有權為本同意書之各項授權。如有侵害第三人權利之情形，悉由本人自負法律上責任。如致基金會受有損害，本人願負全部賠償責任。

此 致

財團法人消防安全中心基金會

立同意書人：

【親筆簽名】

身分證字號：

聯絡電話：

中 華 民 國 年 月 日

附件 3

### 同意書

本人\_\_\_\_\_ (甲) 與\_\_\_\_\_ (乙) 共同投稿財團法人消防安全中心基金會消防安全月刊 \_\_\_\_\_ (文章名稱) 一文，相關應領稿費同意全額由\_\_\_\_\_ (乙) 領取。

此致

財團法人消防安全中心基金會消防安全月刊

立同意書人：\_\_\_\_\_ (甲親筆簽名)

身分證字號：

中華民國      年      月      日



加入 Line + FB 好友，獲取更多，更新資訊



財團法人消防安全中心  
基金會 LINE



財團法人消防安全中心基金會FB：  
<https://www.facebook.com/profile.php?id=100067058409517#>