

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

耐燃材料試驗技術

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱：技正 技正 技士

姓名：楊明耀、呂彥賓、謝孟傑

出國地區：日本

出國日期：九十一年十一月二十四日至十二月七日

報告日期：九十二年三月四日

E3/  
C09200625

## 摘要

因應國際化之趨勢，減少貿易技術障礙爭議，並能與國際標準接軌，標準檢驗局已於九十一年十二月九日制訂公佈「CNS 14705 建築材料燃燒熱釋放率試驗法－圓錐量熱儀法」，並完成試驗設備之購置。同時一方面從現有資料中探討相關試驗技術，另一方面則藉此次赴日研習技術的機會，瞭解日本對業界耐燃建材的管理及實驗室標準操作之差異與試驗分析術能力之開發情形。

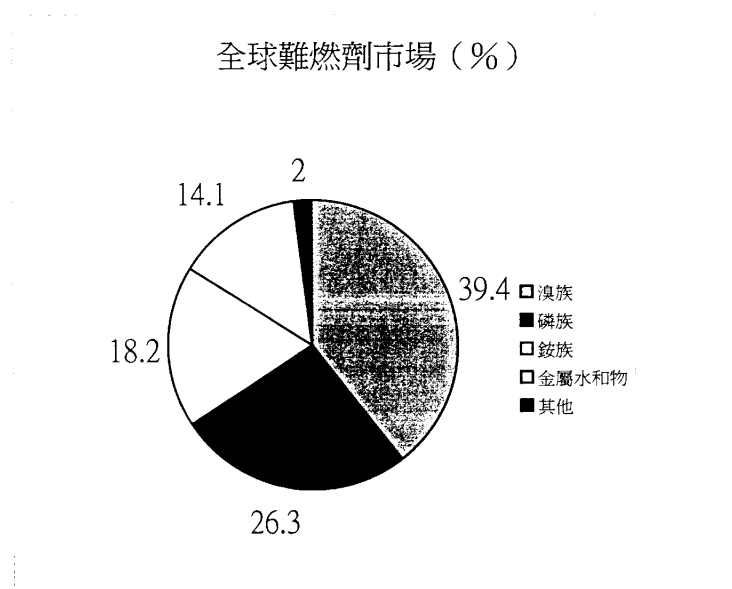
除掌握試驗技術外，本次赴日研習，日方主辦單位財團法人建材中心也安排研習人員參訪東洋精機製作所、國土交通省建築研究所、日本船舶品質管理協會等單位，就其對燃燒毒性氣體分析、耐燃製品強制規定、廢氣處理作業及處理方式等實況進行瞭解，俾有利於國內未來執行之參考。

## 目次

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 前言 .....                 | 3  |
| 壹、耐燃材料發展趨勢 .....         | 4  |
| 貳、國際標準組織目前耐燃標準制訂現況 ..... | 9  |
| 參、毒性氣體分析技術 .....         | 10 |
| 肆、耐燃廢氣處理 .....           | 26 |
| 伍、耐燃試驗技術 .....           | 31 |
| 陸、相關試驗室參訪 .....          | 46 |
| 柒、結論與建議 .....            | 52 |
| 捌、參考文獻 .....             | 55 |
| 玖、附錄 .....               | 56 |

## 壹、耐燃材料發展趨勢

難燃材料大多添加高分子素材，一般稱難燃劑，難燃劑的使用廣泛，加之以技術的進步，已經使此方面的需要量大大的增加，估計全世界年需要量 100 萬噸，22 億美元之價值，其中日本佔 18%，美國佔 30%、歐洲佔 33%、亞洲 19%，所使用難燃劑之材料如下圖之比例分配



以現今技術難燃化技術之要求有三點：

1. 開發因應環境問題之高難燃材料
2. 回收效果較好的材料
3. 加工性、物性較佳的材料

其中以第二項之問題為對現今之開發最具挑戰性，也是未來所要面對的一大課題。

難燃化技術之課題

| 課題            | 具體內容                                                                                             | 備考 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 難燃材料開發        | 1. 難燃劑精細化<br>確立分散技術<br>2. 奈米合成材料開發<br>3. 高度相乘效果之難燃材開發<br>水和金屬化合物系、磷化合物難燃劑開發<br>4. 形成固態效率及安定性材料開發 |    |
| 環保回收          | 1. 回收使用（耐熱、耐久性）<br>2. 油化、氣化<br>燃燒觸媒<br>3. 溶劑抽出                                                   |    |
| 成型加工度高        | 1. 成行加工改良劑<br>2. 表面處理劑                                                                           |    |
| 因應環境問題所開發之難燃材 | 1. 磷、水和金屬、矽膠、N系金屬化合物系新規範難燃系之開發<br>2. 低發煙性難燃劑<br>3. 低有害氣體（HCN、NO <sub>x</sub> 、戴奧辛等）之降低           |    |

#### 耐燃材料製造動向

燃材料料實際之燃燒狀態包括下列數種反應過程，包括擴散、放熱輻射等，如以過程分有 1.材料表面氣相中的酸化反應、2.酸化反應發生的熱加熱材料、3.高分子材料內部傳熱、4.分解後生成的低分子物質在材料中溶解擴散、5. 低分子物質從材料表面釋出，整個過程即是在高分子材料內擴散、分解、傳熱，在酸化反應過程中燃燒及產生熱原，而這兩者過程就靠不斷的擴

散及輻射持續運作。。

材料的燃燒由反應、分解擴散，在升溫過程中由固相到氣相的連鎖鏈中，如何阻斷及抑制就成為耐燃製造上重要技術，也是現在開發新材料的一大課題。

#### 耐燃材料的管制現況

過去各國的耐燃材料管制一向都是以輸入國自訂標準展現對輸入品的要求，不過由於市場的開放，有必要與國際上之要求接軌，在這方面日本已於西元 1998 年 6 月將舊法所規定「主要構造物需有耐火性能」加入「在法令中訂出有關耐燃性能合適之基準」使得耐燃建材適用更為廣泛。

自導入高分子材料中的塗料為建材使用原料以來，高分子材料在各個領域中不斷的廣泛使用，防水材、斷熱材、鹽化鋼板、化妝版板、壁裝材等。除有機材料木材的高分子材料，僅用於裝飾上補助材料之用，構造上使用則僅限下表所列：

建築材料分類

| 金屬材料                     | 無機材料                          | 有機材料                                                     |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 鋁<br>銅<br>鉛、亞鉛<br>銀、白金、金 | 石材<br>水泥<br>混凝土<br>黏土製品<br>玻璃 | 木材<br>塑膠橡膠<br>矽膠<br>建築用裝飾材<br>塗料<br>接著劑<br>※少量用於木材以外之構造體 |

高分子材料根據日本建築基準法、消防法使用用途限制，為防止大火延燒，公告使用各種不同級數（不燃、準不燃、難燃），我國則分為一級、二級、三級之試驗標準，以應用在建築物不同

的場合上，現在就日本新舊不同之設計認定審查說明如下：

1998.6 修訂建築基本法

| 舊設計法                                         | 新式設計法                                                                  |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 規範書設計<br>(仕樣書設計法)<br>由部級官方認定<br>(大臣認定第 38 條) | 程序：規範書設計<br>建築確認)<br>B 程序：簡易性能設計<br>(建築確認)<br>C 程序：高度性能設計<br>(由部級官方認定) |

新的防火建材耐燃標準依照 ISO 5660 為準則，新標準較舊的基材試驗選擇之範圍較為寬廣，可以認定較多的材料，如果依照不同試驗方式實施耐燃試驗時，則需進行其指定性能評價，日本目前對試驗方法與評價基準指定評價機關包括：

- 日本建築中心
- 日本建築總和研究所
- 建材試驗中心
- 筑波建築試驗中心
- 東京消防廳消防科學研究所
- 北海道寒冷地住宅都市研究所

參考美、日在不同耐燃設計要求差異在於日稟摒棄舊有公告 JIS 標準方式，建築基準法下，改採更有彈性的 ISO 國際標準來評定耐燃建材且一併適用，美國則根據各州法律不同，以保險費取決於建物安全性，保險公司決定建材試驗要求，從而訂定保費之高低，前者有強制要求之意味，後者則需考量

長期經濟成本，各有所長，亦各有所短，近日來美國發生表演場所以煙火助興釀成巨災，檢討原因為裝潢材料未使用耐燃品，則依法孰善孰惡？則各有優劣，存乎政府及人民共同努力了。

## 貳、國際標準組織（ISO）目前耐燃試驗制訂現況

以目前國際標準制訂之趨勢來看，採用氧氣消耗理論基礎之防火性能試驗儀器，已逐漸成為材料防火性能試驗方法之主流。以下僅就相關建築材料耐燃試驗部分標準及本局建置狀況列述：

- ISO 5657：1997 建材著火性測試裝置→本局 92 年採購
- ISO 5658-2：1996 壁材側向著火延燒性試驗裝置→未建置
- ISO 5659-2：1997 塑料煙濃度測試裝置→本局 92 年採購
- ISO 5660-1：2002 圓錐量熱儀法測試建築材料燃燒熱釋放率→91 年建置
- ISO 9705：1993 全尺寸製品表面防火測試→未建置（圓錐量熱儀法）
- ISO DIS 17431 模型箱（中尺寸製品表面防火測試）試驗→未建置（圓錐量熱儀法）

### 參、 毒性氣體分析技術

#### 一、前言

毒性氣體之分析方法種類相當多，本文主要係針對建築室內裝修材料燃燒毒性氣體分析技術進行探討。

燃燒毒性氣體之分析具有相當困難性，由於燃燒所產生煙氣為固體顆粒及多種混合氣體所組成，而其生成氣體之濃度及成份受燃燒溫度、氧氣供給量等之影響甚鉅，且氣體之濃度亦隨時間不斷的變化。故欲從事燃燒毒性氣體之分析工作，必須先就下列各項進行評估瞭解：

1. 燃燒產生煙氣之物理化學性質。
2. 需對所欲量測樣品燃燒時所可能產生之毒性氣體種類有相當之了解。
3. 考量所欲量測氣體之成份、數量、濃度、量測精確度等，決定合適之分析方法。
4. 取樣之方法需能獲取具有代表性之氣體，並需考量溫度、干擾物質等對量測結果之影響程度。
5. 試驗樣品之加熱方法，需能模擬材料於火場中實際之燃燒狀況。

#### 二、煙氣之物理化學性質

燃燒時產生之“煙”實際上為氣體與煙粒子之混合物。其中氣體部份為材料經燃燒化學反應所生成之氣體，煙粒子則固體煙煤與液體粒子之混合物。煙之生成有兩種路徑，其一為熱分解生成物質在氣相中未燃燒前被冷卻，凝集而被排出。另一路徑為熱分解生成物在火焰中生成游離碳。前者屬由氣體或沸點高分子量大之液體粒子所形成，後者以煤煙為主成分之固體微粒子。

煙之化學成分依燃燒物之材質、成分、化學結構、共存物之種類、燃燒物、氧氣量而異。高分子之燃燒能生成液體系及固體系煙。液體系煙在無焰燃燒時較易發生，或因溫度降低沸點低之氣體凝結而成產生，固體系煙則在有焰燃燒時較易發生。由於固體系煙及液體系煙會影響部份氣體分析方法之準確度，必須特別注意，並考慮以適當之過濾裝置去除，惟分析之精確度要求較高時，需對濾除之物質進行分析，確認是否含有欲測量之成份。

### 三、常見材料燃燒之毒性氣體

#### 1. 木材

建築材料，裝潢、傢具、日常用品等由高分子化合物所佔比例相當多，目前塑膠系材料之使用極為普遍，火災時不但釋出大量濃煙，同時在熱分解產物中含有多種有毒化合物，對避難人員及消防人員構成極大威脅。高分子材料可分為天然及合成兩大類。天然高分子材料中與火災有密切關係者以木材及木棉、羊毛及蠶絲為主。其中木材由 50%纖維素及各 25%半纖維素及木質素所構成，表一為木材在不同溫度下之熱分解產物。

表一 木材在不同溫度下之熱分解產物

| 組成           |     | 闊葉樹      |          |          | 針葉樹      |          |          |
|--------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|              |     | 300<br>℃ | 400<br>℃ | 500<br>℃ | 300<br>℃ | 400<br>℃ | 500<br>℃ |
| 生成物<br>(Wt%) | 木炭  | 45.9     | 33.6     | 29.8     | 49.2     | 35.4     | 31.5     |
|              | 木醋  | 24.7     | 28.8     | 30.2     | 24.0     | 26.7     | 27.7     |
|              | 木焦油 | 16.8     | 21.1     | 21.3     | 14.4     | 21.4     | 22.8     |
|              | 木瓦斯 | 12.1     | 16.0     | 18.5     | 12.1     | 15.3     | 18.0     |
|              | 其他  | 0.5      | 0.5      | 0.2      | 0.3      | 1.2      | 0        |

|              |                               |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 木炭<br>(Wt%)  | C                             | 73.5 | 73.4 | 90.5 | 74.3 | 84.2 | 90.4 |
|              | H <sub>2</sub>                | 5.1  | 3.9  | 3.2  | 5.3  | 4.3  | 3.4  |
| 瓦斯<br>(Vol%) | CO <sub>2</sub>               | 65.4 | 57.1 | 50.7 | 64.3 | 57.9 | 49.3 |
|              | CO                            | 30.4 | 30.2 | 29.9 | 29.1 | 29.2 | 29.7 |
|              | CH <sub>4</sub>               | 1.6  | 8.4  | 14.6 | 3.6  | 9.3  | 15.7 |
|              | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 1.5  | 2.5  | 2.2  | 1.0  | 1.9  | 2.1  |
|              | H <sub>2</sub>                | 1.1  | 1.8  | 2.6  | 2.0  | 1.7  | 3.2  |

## 2. 天然纖維

天然纖維可分為植物纖維與動物纖維，植物纖維再細分為棉、麻、竹、草等，動物纖維以羊毛、蠶絲為主。此等纖維在燃燒時產生之瓦斯各有不同。木棉、麻等纖維由纖維素所構成，純纖維素在燃燒時產生之瓦斯以二氧化碳及一氧化碳為主。動物纖維以羊毛及蠶絲為代表，燃燒時除產生 CO 及 CO<sub>2</sub> 外尚有 HCN，羊毛在燃燒時化學構造中含有硫之故易分析出 H<sub>2</sub>S，SO<sub>2</sub> 等氣體。

表二 羊毛、蠶絲之燃燒生成瓦斯及熱分解瓦斯

| 燃燒<br>條件<br>生成瓦斯 | 羊 毛       |                          | 蠶 絲       |                          |
|------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|
|                  | 空氣<br>氣流中 | N <sub>2</sub> 中之熱<br>分解 | 空氣<br>氣流中 | N <sub>2</sub> 中之熱<br>分解 |
| 二氧化碳             | 7.30      | 14.23                    | 11.10     | 3.00                     |
| 一氧化碳             | 3.10      | 5.40                     | 3.67      | 4.30                     |
| 氧                | 9.70      | 2.48                     | 5.73      | 3.15                     |
| 不飽和碳氫化合物         | 0.35      | 1.48                     | 0.30      | 1.00                     |
| 飽和碳氫化合物          | 0.95      | 2.10                     | —         | 1.85                     |
| 硫化氫              | 0.25      | 7.63                     | —         | —                        |
| 二氧化硫             | 0.10      | —                        | —         | —                        |
| 甲烷               | 0.30      | 2.85                     | 1.17      | 0.65                     |
| 氫                | 2.31      | 52.80                    | 3.29      | 57.30                    |

|     |       |      |       |       |
|-----|-------|------|-------|-------|
| 氫   | 0.35  | 1.33 | 1.27  | 1.90  |
| 氫化氫 | 1.98  | 4.80 | 4.45  | 10.70 |
| 氮   | 73.32 | 4.88 | 69.03 | 10.10 |

### 3.合成高分子材料

合成高分子化合物來自於單體(monomer)為原料，經過聚合，縮合或附加反應而得之物、原料單體之主要來源為石油系。合成而得之日用品種類繁多不勝枚舉，表三為常見之成品在熱分解過程中產生之瓦斯種類及不同溫度下產生之量。

表三各種高分子材料之主要燃燒生成瓦斯

| 分類                         | 材料種類                     | 主要生成瓦斯                                                                              |                                              |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                            |                          | 悶燒時(O <sub>2</sub> 11.7%)                                                           | 燃燒時(O <sub>2</sub> 21%)                      |
| 熱<br>硬<br>化<br>樹<br>脂      | Phenol                   | CO <sub>2</sub> , CO, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ,<br>HCHO<br>Ph-CH <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> , CO, HCHO                   |
|                            | Urea                     | CO <sub>2</sub> , CO, HCN,<br>HCHO                                                  | CO <sub>2</sub> , CO, HCN, HCHO              |
|                            | Melamine                 | CO <sub>2</sub> , CO, HCN,<br>HCHO                                                  | CO <sub>2</sub> , CO, HCN, HCHO              |
|                            | Unsaturated<br>Polyester | CO <sub>2</sub> , CO, HCOOH,<br>Ph-COOH                                             | CO <sub>2</sub> , CO                         |
|                            | Epoxy                    | CO <sub>2</sub> , CO, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ,<br>HCHO                       | CO <sub>2</sub> , CO                         |
| 熱<br>可<br>塑<br>性<br>樹<br>脂 | Polyethylene             | CO <sub>2</sub> , CO                                                                | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                   |
|                            | Polyvinyl chloride       | CO <sub>2</sub> , CO, HCl                                                           | CO <sub>2</sub> , CO, HCl, COCl <sub>2</sub> |
|                            | Polyvinyl acetate        | CO <sub>2</sub> , CO, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , Ph-<br>CH <sub>3</sub>        | CO <sub>2</sub> , CO                         |
|                            | Polyvinyl alcohol        | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                                                          | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                   |

|   |                          |                                                  |                                                  |
|---|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 脂 | Polyvinyl butyral        | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                       | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                       |
|   | Vinylidene chloride      | CO <sub>2</sub> , CO, HCl                        | CO <sub>2</sub> , CO, HCl                        |
|   | Polytetrafluoro ethylene | CO <sub>2</sub> , CO, F <sub>4</sub> Si          | CO <sub>2</sub> , CO, F <sub>4</sub> Si          |
|   | Polytrifluoro ethylene   | CO <sub>2</sub> , CO, HF, HCl                    | CO <sub>2</sub> , CO, HF, HCl                    |
|   | Polymethylmeta acrylate  | CO <sub>2</sub> , CO                             | CO <sub>2</sub> , CO                             |
|   | Polyacrylonitrile        | CO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , HCN      | CO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , HCN      |
|   | Polystyrene              | CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>3</sub> , -CHO     | CO <sub>2</sub> , CO,                            |
|   | ABS resin                | CO <sub>2</sub> , CO, HCN                        | CO <sub>2</sub> , CO, HCN                        |
|   | Polypropylene            | CO <sub>2</sub> , CO                             | CO <sub>2</sub> , CO, -CHO                       |
|   | Polyurethane             | CO <sub>2</sub> , CO, HCN, -CHO, NO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> , CO, HCN, -CHO, NO <sub>2</sub> |
|   | Polyamide                | CO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , HCN      | CO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , HCN      |
|   | Polycarbonate            | CO <sub>2</sub> , CO                             | CO <sub>2</sub> , CO                             |
|   | Saturated Polyester      | CO <sub>2</sub> , CO                             | CO <sub>2</sub> ,                                |

#### 四、燃燒生成氣體之收集模式

建築裝修材料燃燒毒性氣體分析之收集模式主要可分為：

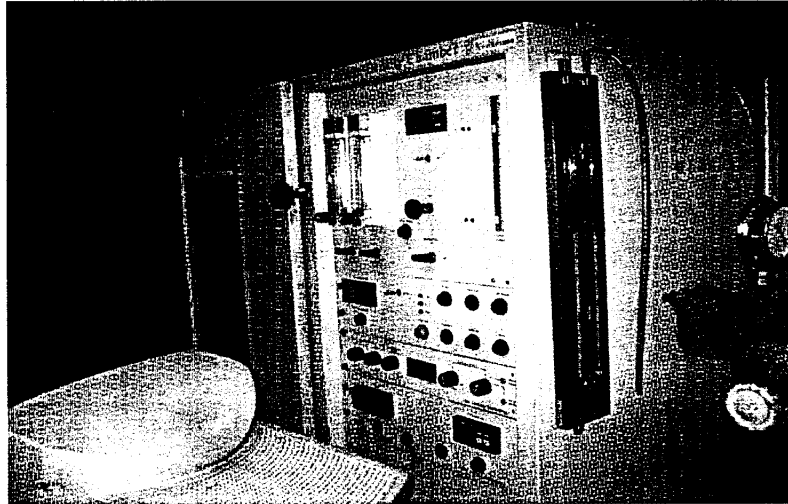
##### 1. 密閉集煙箱：

其收集方法是將試體置於密閉之試驗箱體，以指定之加熱方式及條件加熱試體，試體內揮發或燃燒產生之煙氣於試驗箱內逐漸累積，由箱內採取欲分析之氣體後，進行氣體分析。

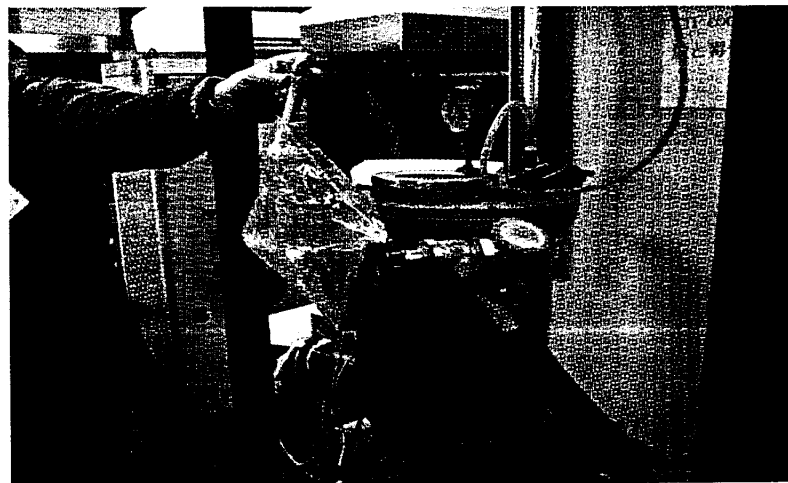
採取此種收集方式之標準者，如英國海軍工程標準 NES 713、CNS 8738 耐燃合板有害燃氣檢驗法等，另部份煙濃度測

試箱產品(如 FTT 之 Smoke density chamber)可加裝毒性氣體分析，此種方式可用於分析密閉試驗箱體內燃燒毒性氣體之最大濃度。

照片一：FTT Smoke density chamber 與毒性氣體取樣裝置



照片二：毒性氣體取樣裝置及所收集之氣體



## 2.集煙囪(動態煙流)型式：

採取此種收集方式，配合適當之分析方法，可分析燃燒毒性氣體之時間-濃度變化關係，一般工業界最常使用此種方式，由排

煙囪內取樣進行排放氣體之濃度分析。以耐燃試驗設備而言，圓錐量熱儀很適合此方面之應用。

## 五、毒性氣體分析方法及標準

可用於毒性氣體分析方法其實相當多，本文主要係針對建築室內裝修材料燃燒氣體分析較常用之方法作介紹，其它方法限於篇幅，不予贅述。

### 1. 氣體檢知管(gas detector)

#### (1)裝置

分為檢知管及氣體採取器兩部分：

##### 1.檢知管

檢知管為直徑 2~4mm 的細玻璃管，內裝一定量矽膠、活性礬土及其他固體吸附劑之類，經試藥及發色劑處理之檢知劑，並將兩端熔封以便保存。使用時將兩端切斷，從其一端通入空氣。

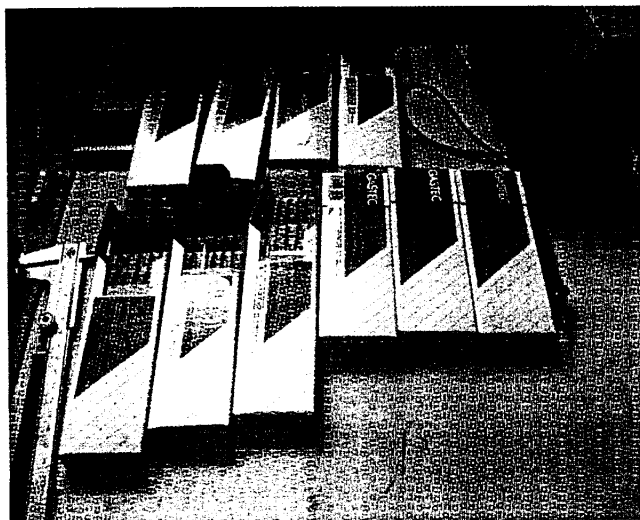
##### 2.氣體採取器

一般之氣體採取器為內容積 100ml 的金屬製筒或橡皮吸球。部分試驗方法則直接將檢知管插入試驗設備中進行量測(如 NES 713 試驗方法)。

#### (2)原理

檢知管通入試驗氣體時，其中如有擬測定之氣體存在則與檢知劑反應，從氣體的入口逐漸現出著色層。一定量的試驗氣體料空氣，以一定速度通入檢知管，測定終了時著色層的長度與該氣體的濃度相對應。故可從其長度知道試驗氣體料中的氣體濃度。

照片三：氣體檢知管



### (3)使用注意事項

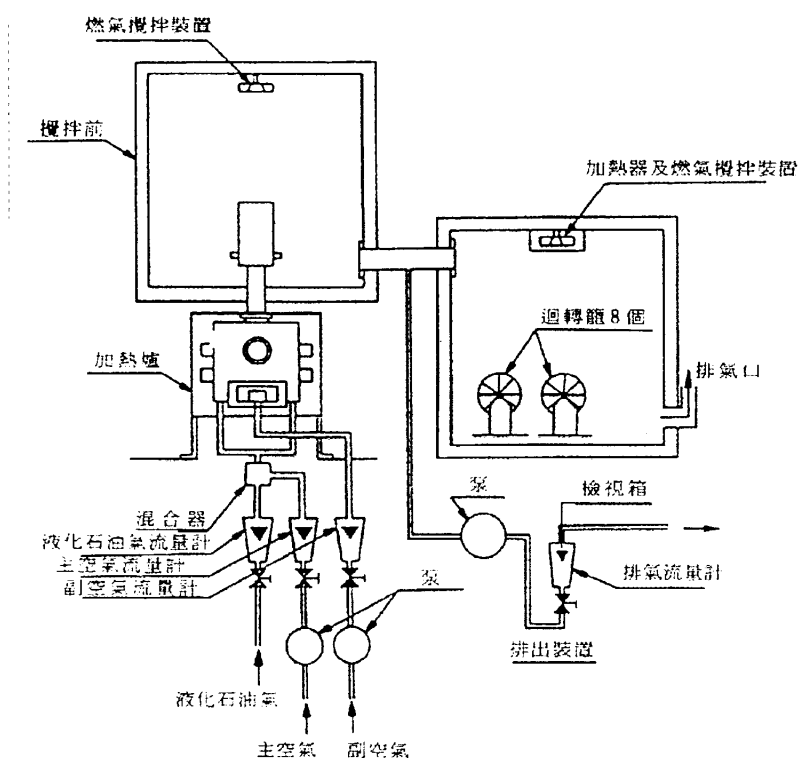
- 應注意各種干擾氣體之影響，以瞭解可能之誤差，並避免發生錯誤之判定。
- 應注意檢知管之有效期限，並妥善保存。
- 應注意檢知管之測定濃度範圍，儘可能選用容許濃度附近之低濃度檢知管，以減少誤差。

氣體檢知管之優點為，使用迅速方便，機動性高，且不需要電力，不同的化學品使用不同的檢知管，其缺點則為精確度較差，分析結果需由分析人員目視判定，可能產生較大之誤差。

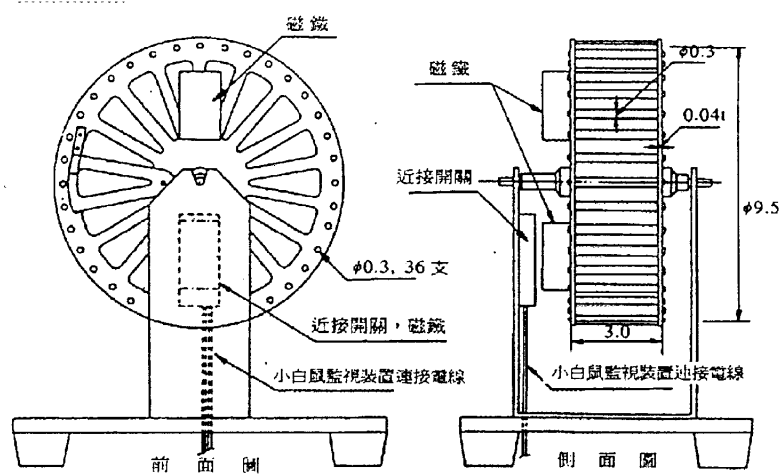
### 2. 白老鼠生物毒性試驗

以白老鼠置於設定之毒性氣體環境中，記錄其活動時間長短，以判定氣體對人類危害之程度，採用此種方法之試驗標準如 CNS 8738 耐燃合板有害燃氣檢驗法、日本建設省告示第 1231 號有害氣體試驗。

圖一：CNS 8738 耐燃合板有害燃氣檢驗法示意圖



圖二：CNS 8738 耐燃合板有害燃氣檢驗法老鼠迴轉籠構造

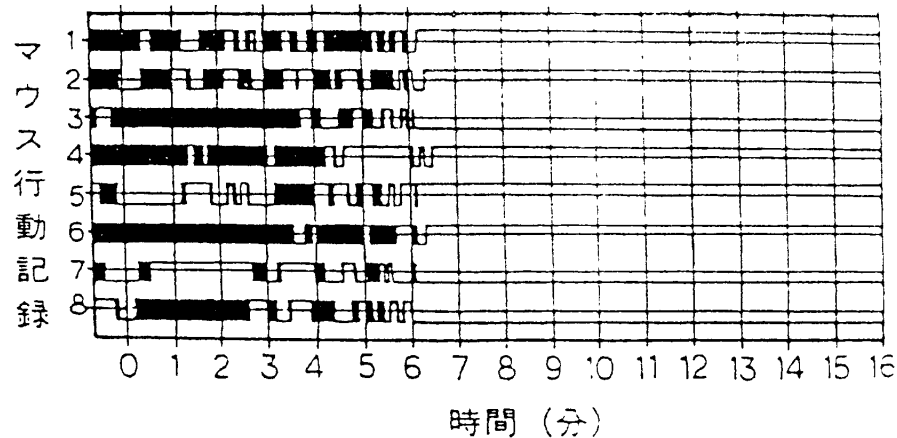


CNS 8738 試驗方法概要：

以重量為 18~22g 之母白老鼠 8 隻，放入迴轉籠內，試體尺寸為 220X220mm 厚度不超過 15mm 置於加熱爐加熱，採用瓦

斯為副熱源加熱 3 分鐘後，開啓主熱源(電熱)1.5kw 加熱 3 分鐘，試驗時間 15 分鐘，以老鼠平均行動停止時間不低於 6.8 分視為合格。

圖三：白老鼠行動時間記錄



此種試驗方法其優點為可直接量測燃燒氣體其毒性對生物影響之程度，缺點則為無法分析氣體之種類、白老鼠取得不易等。

### 3. 單一氣體分析儀

單一氣體分析儀種類相當多，而其應用之原理依分析所需之靈敏度、量測氣體種類、濃度等而異，其價格差異亦甚大，主要應用於特定氣體之濃度分析，基於經濟之考量不適合多種氣體之分析。

### 4. FTIR

FTIR 分析方法具有下列之優缺點：

優點：

- 分析速度快，可量測毒性氣體濃度—時間變化關係，適合動態煙流之分析
- 僅有少數氣體種類無法分析(如 O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> 等氣體)
- 可同時分析多種氣體，適合混合氣體之分析

- 分析靈敏度高，可達 ppb 等級
- 若欲同時分析多種氣體，則其價格較分別購置單一氣體分析儀低廉

缺點：

- 初期建構費用較高
- 儀器維護保養費用較高
- 校正、操作程序較為複雜

由於 FTIR 具有分析速度快，可同時分析含有多種氣體之混合氣體等優點，非常適合應用於動態煙流中之毒性氣體分析，目前國際標準組織正進行 ISO/CD 19702 Analysis of fire gases using FTIR (FTIR 燃燒氣體分析) 試驗方法之修訂工作。

本文將以部份篇幅介紹國外以 FTIR 進行圓錐量熱儀之燃燒廢氣分析實例供讀者參考。

## 5. 其它試驗方法

除前述幾種燃燒氣體分析方法外，目前國際標準組織制訂中之 ISO/CD 19701 Analytic methods for fire effluents 標準，有建議多種之分析方法供選擇，有興趣的讀者可查詢相關資料。

## 六、FTIR 圓錐量熱儀燃燒廢氣分析

1. 由於燃燒氣體係於高溫狀態下產生，同時伴隨而生許多非氣態之成份，FTIR 燃燒氣體分析系統，需具備之功能為：

- (1) 由於很多毒性氣體在較低之溫度會產生凝結，或溶解於水中，為避免此種情形發生，取樣管線必需予以加熱 ( $150\sim190^{\circ}\text{C}$ )。
- (2) 氣體之取樣需均勻，且需有足夠之流量以取得具有代表性之氣體。

- (3) 由於很多毒性氣體具有強烈腐蝕性，因此取樣管線必需能抵抗氣體之腐蝕，以維持正常運作。
- (4) 需具備分析所需之氣體容器(Gas Cell)，且必需有足夠之光徑長度，以獲得較佳之分析靈敏度，另氣體容器其材質及光窗之材質必需能抵抗氣體之腐蝕。
- (5) 取樣管線必需能過濾煙塵中之顆粒，以避免污染氣體容器，但需注意過濾裝置對分析氣體濃度之影響程度。
- (6) 需具備所欲分析氣體之定量光譜資料庫、或自行建立檢量線、定量光譜。
- (7) 偵測器(Detector)之型式需符合分析需求，如 MCT (mercury cadmium telluride) 或 DTGS (deuterated triglycine sulfate)。

圖三：氣體取樣系統示意圖

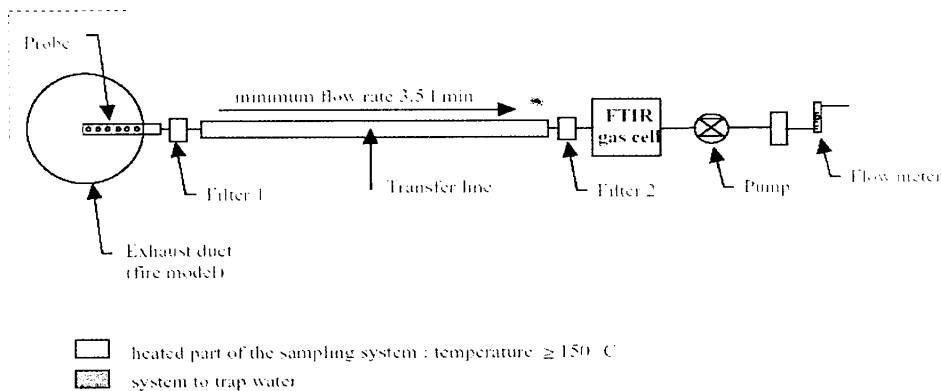


Figure 1.3. Diagram for optimised sampling system.

#### 1.4.6 Validation of sampling device

### 2. 分析靈敏度

FTIR 分析方法之檢測下限及靈敏度主要取決於偵檢器的種類及氣體容器的光徑長度，一般而言採用 MCT 偵檢器可較 DTGS

偵檢器獲得較佳之分析靈敏度，同樣採用長光徑之氣體容器亦可獲得較佳之分析靈敏度。

表四：偵檢器分析靈敏度之比較

Table 5.6. Typical MDLs for MCT and DTGS detectors.

| Gas             | MCT detector    | DTGS detector |
|-----------------|-----------------|---------------|
| CO              | $\approx 1$ ppm | 10 - 30 ppm   |
| CO <sub>2</sub> | $\approx 1$ ppm | $< 10$ ppm    |
| HCl             | $\approx 1$ ppm | 2 - 25 ppm    |
| HCN             | $< 1$ ppm       | $\leq 3$ ppm  |
| NO              | 2 - 3 ppm       | 8 - 55 ppm    |

### 3. 氣體光譜範圍選擇

FTIR 氣體分析所使用之光譜範圍主要為中紅外線區域 (450~4000 波數)，氣體定量時其光譜特性吸收區之選擇原則為：分析高濃度之氣體選用較弱之吸收區，分析低濃度之氣體則選用較強之吸收區。另外由於水氣之吸收區較為寬廣，須注意水氣之擾問題。

圖四：常見氣體之吸收光譜圖

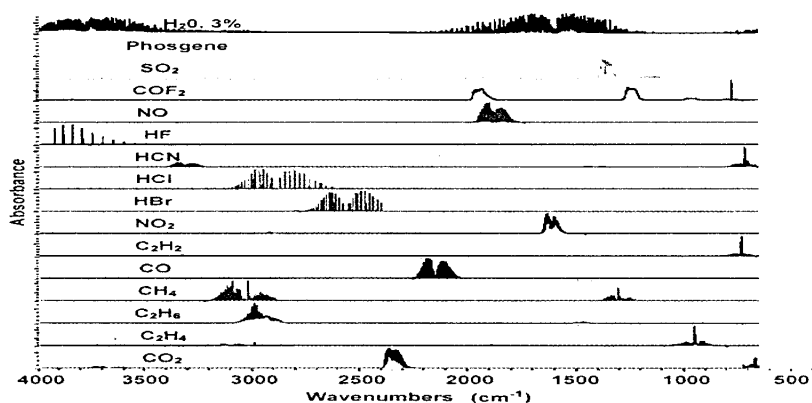


FIGURE 6. FTIR CALIBRATION SPECTRA OF 16 GASES AT 170°C—FULL-SCALE

### 4. FTIR 圓錐量熱儀燃燒廢氣分析之建構實例.

圖五：分析系統架構示意圖

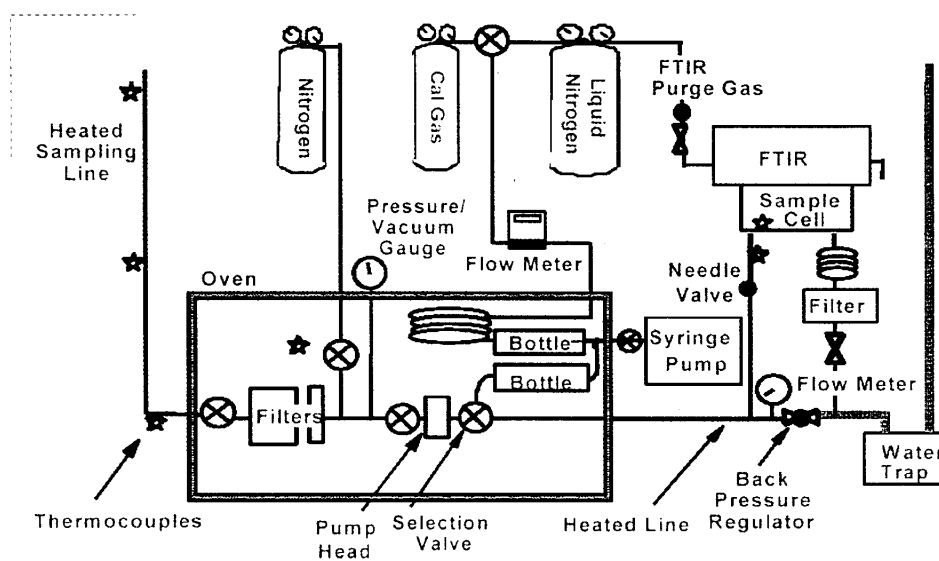


FIGURE 2. FTIR SAMPLING SYSTEM

照片四：加熱之取樣管線系統

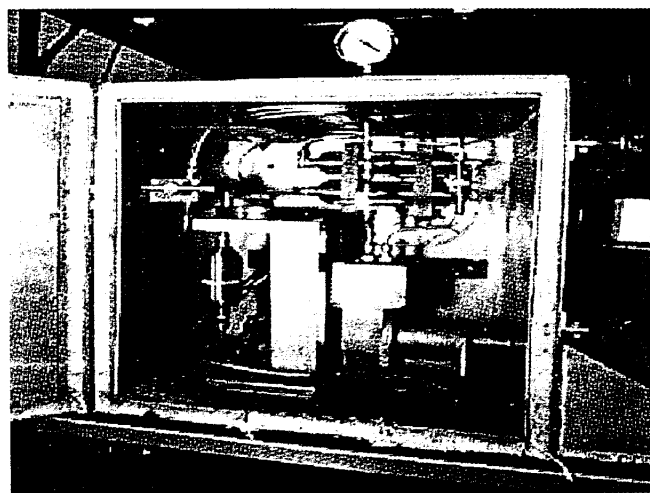
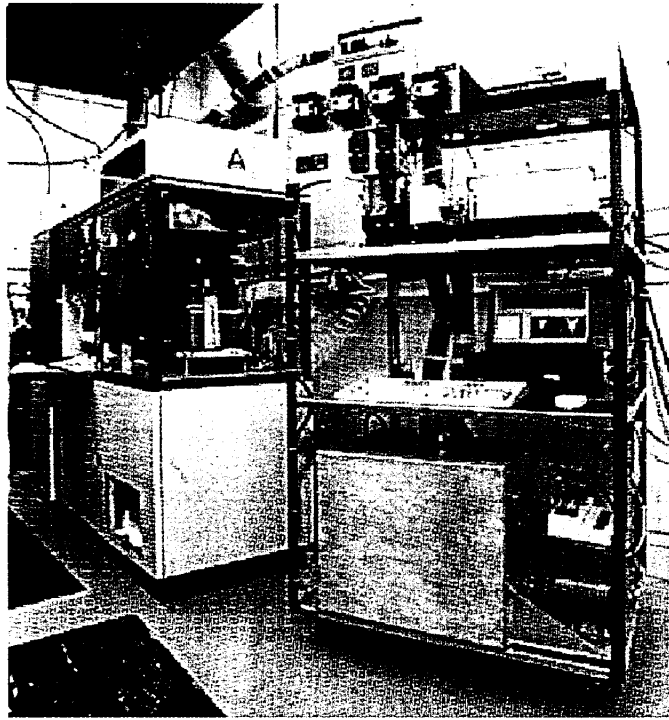


FIGURE 5. FTIR SAMPLING SYSTEM—OVEN

照片五：圓錐量熱儀及 FTIR 分析系統



圖六：塑膠材料有焰燃燒之氣體分析結果

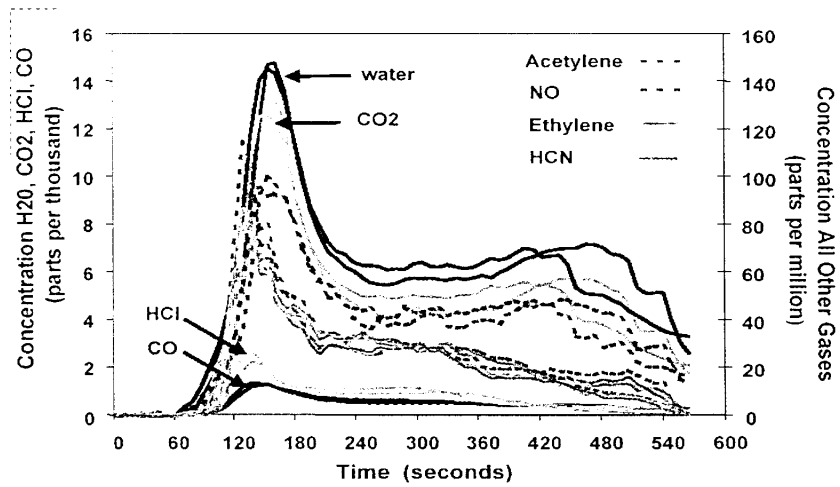


FIGURE 17. FIRE GASES FOR DUPLICATE FLAMING TESTS OF MIXED PLASTIC SPECIMEN

圖七：塑膠材料於悶燒情況下之氣體分析結果

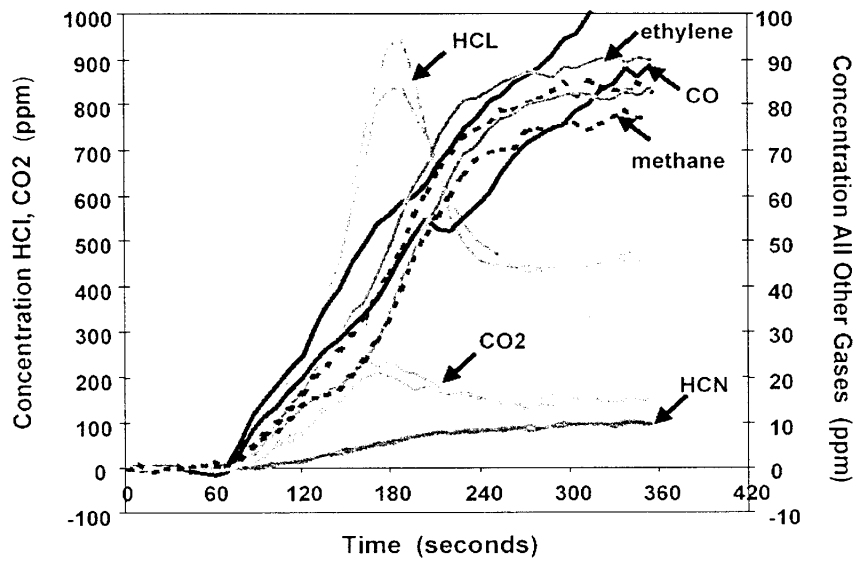


FIGURE 15. FIRE GAS HISTORIES FOR DUPLICATE NONFLAMING TESTS OF MIXED PLASTIC SPECIMEN

目前 FTIR 氣體分析為相當專業之領域，國外已有許多儀器製造商開發出氣體專用之 FTIR 設備，並提供完整之氣體定量光譜及功能強大之分析軟體，且可針對客戶之需求協助客戶建構所需之 FTIR 氣體分析系統，有興趣之讀者可以自行找尋該方面之資料。

#### 肆、耐燃廢氣處理

一般對於耐燃材料製造商而言，耐燃材料的廢棄物處理問題成為環保要求的一項難題，因為耐燃難燃產品的特性就是要使延燒困難，因此難以達成完全燃燒，除鐵石礦物等類產品遑論產品回收、再生製造，本次赴日研習耐燃技術以技術學習為主，旁及其他周邊技術學習者，以取材及觀摩日本之所長，期望能捨其短取其長，以增進我實驗技術及系統配置。

##### 實驗室廢氣處理

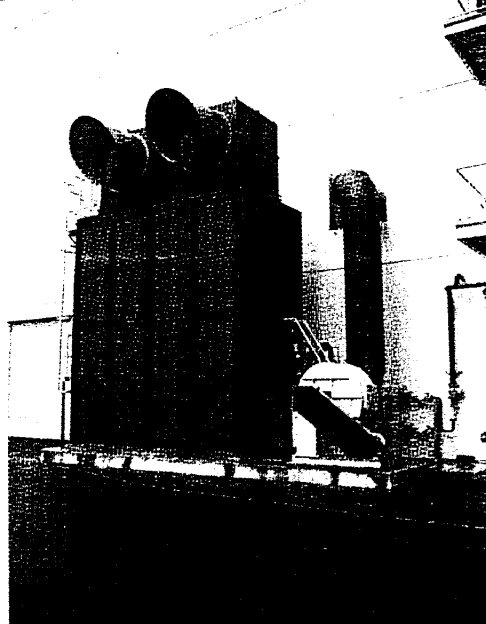
日本對於實驗室的規定不同於一般產業勞工之安全衛生、環保法令的要求，傾向於由其自主性管理，考察財團法人日本建材中心、東洋精機製作所、國土交通省建築研究所、日本船舶品質管理協會品質管理協會品質安全評價中心等單位，對照本局實驗室廢氣處理設置情形，其實施情況如下表所列：

| 試驗室  | 建材中心                    | 東洋精機<br>製作所 | 國土交通<br>省建築研<br>究所 | 日本船舶<br>品質管理<br>協會 | 標準檢驗<br>局   |
|------|-------------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 處理方式 | 800 °C 燃<br>燒，可加藥<br>處理 | 洗滌塔水<br>洗去除 | 800 °C 燃<br>燒      | 800 °C 燃<br>燒      | 洗滌塔水<br>洗去除 |

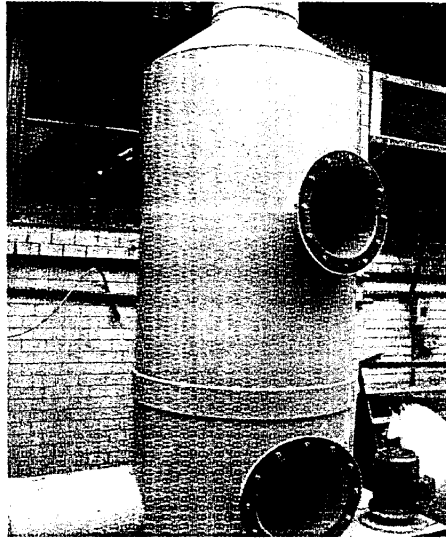
有害廢棄物執行處理的對象不外是固態、水、氣體等方式，在耐燃處理的問題上則以處理氣體收集、收集方式，產生酸鹼中和，因為此涉及當地環保管理，雖說實驗室不受類似大型企業工廠法規限制，但由於自主性的要求排放出去的水、氣體仍然受到

監督，以上述幾個實驗室來說，水洗收集以大量稀釋避免毒性、酸性氣體造成危害，為相當經濟的一個方式，惟需考量所燃燒的材料，及燃燒之數量多寡來分析，如有需要應另加藥處理其酸性分解物，另一為多數實驗室所採用的就是以瓦斯燃燒，燃燒溫度約為攝氏八百度，此一方式亦非常簡易，惟燃燒時可能造成黑煙或戴奧辛隨其釋出空氣中，對人體有長期慢性問題。

各實驗室設置處理設施情形



建設省建研所二次燃燒塔



本局水洗收集處理設備



加藥設備



船舶協會水處理

#### 伍、 耐燃試驗技術—圓錐量熱儀(Cone Calorimeter)檢驗技術

圓錐量熱儀係根據氧氣消耗理，量測材料於燃燒過程中之熱釋放量，一般碳氫化合物燃料其燃燒消耗每公斤氧氣平均釋放之熱量約為 13.1MJ，利用此一特性，於材料燃燒過程中量測廢氣中氧氣含量之變化情形，可據以計算材料燃燒之熱釋放率、總發熱量等性質，並可經由煙濃度量測裝置，量測燃燒所產生廢氣之煙濃度。由於圓錐量熱儀能模擬真實火場狀況，且具有操作容易、良好之準確度等優點，故為國際標準組織採納並據以制定 ISO 5660 試驗標準，以下僅就其發展過程及試驗方法等逐一介紹。

##### 一、圓錐量熱儀發展歷史簡介

圓錐量熱儀(Cone calorimeter)原由美國國家標準局(NIST)於 1982 年首次發表，於圓錐量熱儀發表之前，雖已有相當多之耐燃試驗儀器建置完成，惟因受制於量測誤差、儀器操作的困難性等問題，並無一試驗儀器能符合一般實驗室之需求，直到 70 年代後以氧氣消耗為理論基礎計算材料燃燒釋放熱量之方法，逐漸為各界所瞭解認同，經過各界不斷嘗試不同之設計及研究，終於發展出成熟之圓錐量儀，其應用範圍從小尺寸以至於全尺寸樣品均可適用。

圓錐量熱儀的基本原理從發展初期迄今未改變，但經過大幅之改進及新技術之引進，現今所使用之試驗設備與 1982 美國國家標準局所發表之原型機僅有少部份維持原有之設計，其中最主要的改進為煙光學密度量測系統及煤煙量測系統之引進，除此之外，其改變著重於操作之便利性、可靠度的改善等非屬功能性之

項目。

除了美國國家標準局以外，日本建築研究所及 Gent 大學分別於 1985、1986 年建造一部圓錐量熱儀。至於商業化機種之建置及銷售則始於 1986 年，估計至 1993 年為止全世界已銷售約 90 部圓錐量熱儀。1993 年國際標準組織完成 ISO 5660 圓錐量熱儀熱釋放率試驗標準之制訂後，許多先進國家開始採用，作為其建築材料防火性能之評定方法。以日本為例，本次出國參訪之東洋精機公司(TOYOSEIKI)其所生產之 Cone III 設備至 2002 年止，已於日本銷售 60 餘部。

## 二、國際標準之制訂情形

最早之圓錐量熱儀係由美國材料試驗協會(ASTM)於 1986 年所發表(標準代號為 P 190)，後來 ASTM 捨棄舊有標準，於 1990 年另制定公布「ASTM E 1354-90 材料熱及可見煙釋放速率試驗方法—應用氧氣消耗量熱儀」試驗標準，值得注意的是 ASTM 試驗方法不僅只於量測材料之熱釋放率，對於煙濃度、著火性之量測亦納入該標準之中。

國際標準組織(ISO)方面，該組織自 1970 年代即尋求發展小尺寸之熱釋放率量測裝置，雖經多方面之嘗試但並未成功，自 1980 年起由 ISO 之次團體(Working Group ISO TC/92SC1/WG5)接手，針對全球既有之試驗儀器進行廣泛性之研究比較，以尋求解決方案。經研究後認為以美國國家標準局所研發之設備最為適合，但有兩個重要項目例外：一為著火性之量測(於 ISO 5657 標準中規範其試驗方法)，一為煙之量測(煙濃度之試驗方法採用 ISO 5659 標準，另 ISO 5660 Part 2 有規範動態煙流之量測方法)，其原因係因為著火性及煙之量測乃由 ISO 其它次團體負責規劃。

其後 ISO 即依據美國國家標準局之設備，於 1993 制訂公布 ISO 5660-1 試驗標準，另國際標準組織亦甫於最近公布新版之 ISO 5660:2002 試驗方法。

除 ISO 5660 標準外，ISO 制定之試驗標準採用相同原理者，尚有：

- ISO 9705 Full-scale Room Test For Surface Products(全尺寸熱釋放率試驗)
- ISO 5657 Ignitability Of Building Products (著火性試驗)
- ISO 5658 Spread Of Flame Apparatus (火焰傳播率試驗)
- ISO 5659 Plastic Smoke Generation(煙濃度試驗)

以目前國際標準制訂之趨勢來看，採用氧氣消耗理論基礎之防火性能試驗儀器，已逐漸成為材料防火性能試驗方法之主流。

### 三、日本現行耐燃試驗標準

日本以往因國情之不同，其建築法規所採用之試驗標準往往具有其特殊性，以耐燃建材為例，日本係以 JIS A1321 試驗方法評定材料之耐燃性能，惟日本近年因受泡沫化經濟、國際壓力等因素影響，基於降低業者生產試驗成本，達成國際調和之目標，其建築基準法之修訂方向如下：

- 法規鬆綁：由於耐燃建材之製造技術在日本已相當成熟，對於依過去試驗累積之經驗，其防火性能符合要求之產品，採取公告免檢驗方式(詳如表一)，避免重複試驗造成無謂之耗費，同時對於試驗方法之指定較具彈性，以降低業者生產試驗成本。

表一：日本建設省公告 1400~1402 號材料耐燃分類表

| 不燃材料                                                                                                                                                                                                                                                           | 準不燃材料                                                                                                                                                                        | 難燃材料                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1. 混凝土<br>2. 磚<br>3. 瓦<br>4. 陶瓷磚<br>5. 石棉板<br>6. 纖維強化水泥板<br>7. 厚度三公釐以上之玻璃<br>纖維混合矽酸鈣板<br>8. 厚度五公釐以上之玻璃<br>纖維混合矽酸鈣板<br>9. 鋼鐵<br>10. 鋁<br>11. 金屬板<br>12. 玻璃<br>13. 灰泥<br>14. 石灰<br>15. 石<br>16. 厚度十二公釐以上之石<br>膏板(限用於板之底紙<br>厚度為 0.6 公釐以下者)<br>17. 岩棉<br>18. 玻璃棉板 | 1. 厚度九公釐以上之<br>石膏板(限用於板之<br>底紙厚度為 0.6 公釐<br>以下者)<br>2. 厚度十五公釐以上<br>之木絲水泥板<br>3. 厚度九公釐以上之<br>硬質木片水泥板(限<br>容積比重為 0.5 以上<br>者)<br>4. 厚度三十公釐以上<br>之木片水泥板<br>5. 厚度六公釐以上之<br>紙漿水泥材 | 1. 難燃合板厚度 5.5<br>公釐以上者。<br>2. 厚度七公釐以上<br>之石膏板(限用於<br>板之底紙厚度為<br>0.6 公釐以下者) |

- 國際調合：透過 ISO 試驗標準之引進，以期減少貿易技術障礙爭議之發生。
- 試驗方法之改進：採行可靠、經濟之試驗方法、建立實用之材料防火性能指標。

日本新修訂建築基準法自 1998 年 6 月開始實施，改以 ISO 5660 圓錐量熱儀試驗方法(Cone calorimeter method)，作為建築材料防火性能之判定，依據新修訂法規，建築材料之防火性能等級係據其試驗之總發熱量及熱釋放率，區分不燃材料、準不燃材料及難燃材料三種等級，有關其判定方式如表二、三所示：

表二：日本現行耐燃材料試驗方法

| 試驗方法  | 試驗條件                                                                                                                                                                                                                                                           | 判定準則                                                                                                                                                               |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 圓錐量熱儀 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 熱輻射量 <math>50\text{kW/m}^2</math></li> <li>◆ 試體尺寸 <math>100\text{X}100\text{mm}</math>，厚度不超過 <math>50\text{mm}</math></li> </ul>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 總發熱量不大於 <math>8\text{MJ/m}^2</math></li> <li>◆ 最高發熱速率不大於 <math>200\text{kW/m}^2</math></li> <li>◆ 試體無龜裂或貫穿之孔洞</li> </ul>  |
| 基材試驗  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 試驗前爐溫維持 <math>750^{\circ}\text{C}</math>，試驗時間 20 分鐘</li> <li>◆ 試體尺寸 <math>40\text{X}40\text{mm}</math>，堆疊成 <math>50\text{mm}</math> 厚度</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 最高爐溫與最終爐溫之差不大於 <math>20^{\circ}\text{C}</math></li> <li>◆ 試體重量損失不超過 30%</li> </ul>                                        |
| 煙毒性試驗 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 副熱源加熱 3(瓦斯)分鐘，主熱源(電熱)<math>1.5\text{kW}</math> 加熱 3 分鐘</li> <li>◆ 試體尺寸 <math>220\text{X}220\text{mm}</math> 厚度不超過 <math>15\text{mm}</math></li> <li>◆ 8 隻母白老鼠，重量 <math>18\sim 22\text{g}</math>，試驗時間 15 分鐘</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 老鼠行動停止時間不低於 6.8 分</li> </ul>                                                                                              |
| 模型箱試驗 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 加熱源丙烷 <math>40\text{kW}</math>，試驗時間 5 或 10 分鐘</li> <li>◆ 箱體尺寸 <math>\text{W}840 \times \text{L}1680 \times \text{H}840\text{mm}</math></li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 總發熱量不大於 <math>30\text{MJ/m}^2</math></li> <li>◆ 最高發熱速率不大於 <math>140\text{kW/m}^2</math></li> <li>◆ 試體無龜裂或貫穿之孔洞</li> </ul> |

表三：日本現行耐燃材料評定方法

| 材料防火性能等級 | 是否有表面裝飾層 | 可選擇之試驗方法   | 加熱時間<br>(min) | 試驗時間<br>(min)  | 1.圓錐量熱儀<br>2.基材試驗<br>3.煙毒性試驗<br>4.模型箱試驗 |
|----------|----------|------------|---------------|----------------|-----------------------------------------|
| 不燃材料     | NO       | 1<br>2     | 20<br>20      | 20<br>20       |                                         |
|          | YES      | 1/3<br>2/3 | 20/6<br>20/6  | 20/15<br>20/15 |                                         |
| 準不燃材料    | NO       | 1<br>4     | 10<br>10      | 10<br>10       |                                         |
|          | YES      | 1/3<br>4/3 | 20/6<br>20/6  | 20/15<br>20/15 |                                         |
| 難燃材料     | NO       | 1<br>4     | 5<br>5        | 5<br>5         |                                         |
|          | YES      | 1/3<br>4/3 | 5/6<br>5/6    | 5/15<br>5/15   |                                         |

#### 四、國內標準之制訂情形

國內現行建築法規對於室內裝修材料耐燃性能之判定，係依據 CNS 6532 標準之規定，依材料之耐燃性能區分為耐燃一至三級，該試驗方法原係參考日本 JIS A1321 試驗方法所訂定，惟日本自 1998 年新修訂建築基準法開始實施後，已改指定使用 ISO 5660 標準為評定方法，原 JIS A1321 表面試驗方法已不再採用。由於國內現行之 CNS 6532 試驗標準並未能與國際標準調合，易引起貿易技術障礙爭議問題發生。

為能與國際快速接軌，經濟部標準檢驗局已於九十一年十月完成圓錐量熱儀檢驗技術能力之建立，同時希望藉由此次赴日研修機會，汲取日本相關經驗提供國內參考，另外在國家標準之制

訂方面，標準檢驗局已參考 ISO 5660 標準，於九十一年十二月制訂公佈「CNS 14705 建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法」。

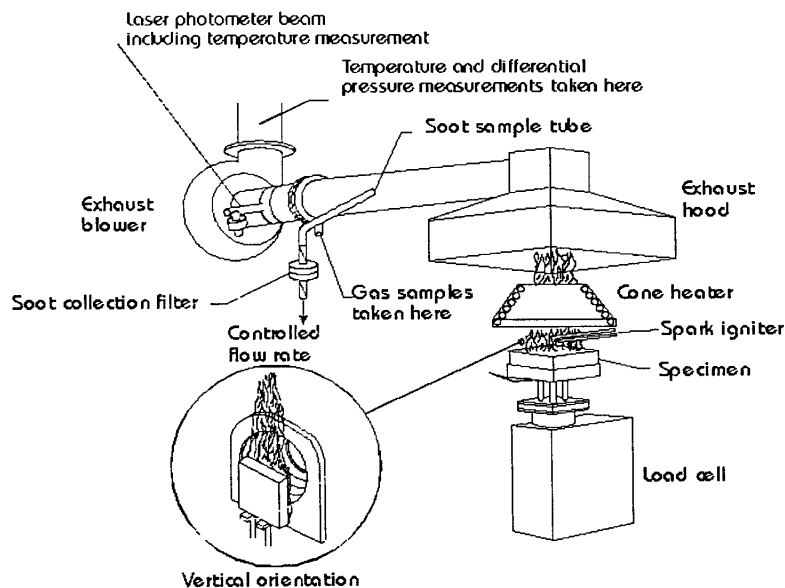
## 五、圓錐量熱儀試驗方法介紹

### 1. 量測原理

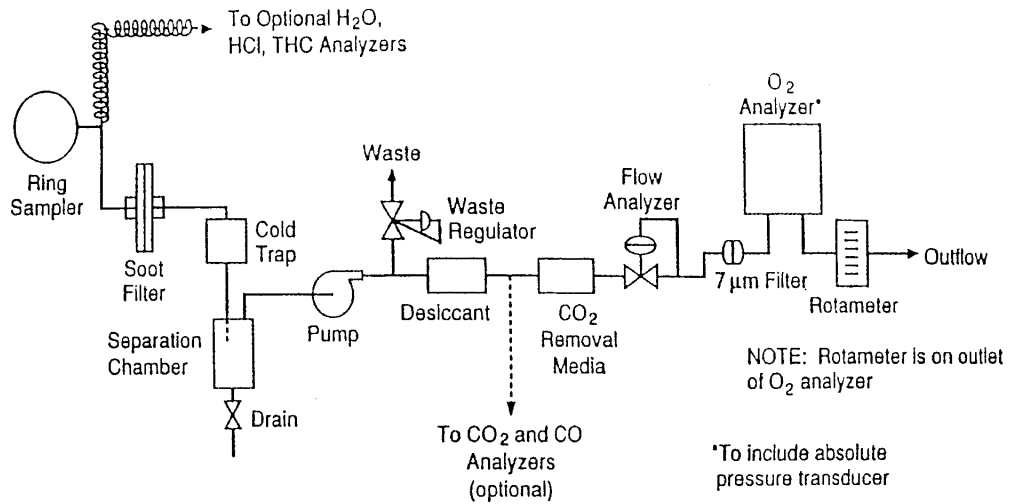
圓錐量熱儀之量測原理，係利用錐型加熱器加熱試體表面，使試體燃燒或焦化產生可燃性氣體，再以電極予以引燃(部份試體無需引燃)。試體則置放於可量測質量損失之試驗台，以記錄質量的損失變化。同時利用排煙收集系統，以雷射光線量測煙之比光學密度，並將燃燒後的產物導入收集導管。經由過濾裝置濾除干擾之成份後，利用氧氣分析儀測量出燃燒產物的氧氣濃度，利用氧氣消耗率之原理計算熱釋放率、有效燃燒熱及平均熱釋放率。

圓錐量熱儀之基本架構如圖一及圖二所示：

圖一：圓錐量熱儀構造示意圖



圖二：圓錐量熱儀燃燒氣體分析流程



## 2. 實驗結果計算：

### (1) 熱釋放率(kW/m<sup>2</sup>)：

係以試驗量測所得之各項數據，代入下列公式以計算而得：

$$q(t) = (\Delta hc / r_0)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \left[ \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}} \right]$$

式中， $q(t)$ =熱釋放率於時間為 $t$ 之讀數

$q_b$ =校正燃燒器甲烷之熱釋放率(kW)

$T_e$ =限流孔內氣體之絕對溫度(k)

$\Delta p$ =限流孔壓差(Pa)

$X_{O_2}$ =氧氣分析儀讀數，為氧氣所佔之摩爾比例

$X_{O_2}^0$ =氧氣分析儀起始讀數，為氧氣所佔之摩爾比例

$12.54 \times 10^3 = \text{甲烷氣之 } \frac{\Delta hc}{r_0} \text{ (KJ/kg) 為淨燃燒熱(KJ/g)}$

$r_0$ 為氧與燃料質量比

1.10=氧與空氣分子質量比

C為限流孔流量計校正常數

其算式如下：

$$C = \frac{q_b}{(12.54 \times 10^3)(1.10)} \sqrt{\frac{Te}{\Delta P} \left[ \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2}} \right]}$$

依據「CNS 14705建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法」熱釋放率之計算係引用上述公式，但需注意此種計算方式僅能適用於分析已去除所含水份、CO及CO<sub>2</sub>之狀況，若試驗儀器可量測氣體中之CO及CO<sub>2</sub>含量，則不必濾除CO及CO<sub>2</sub>，可改以下列公式計算熱釋放率，以獲得更準確之試驗結果：

$$q(t) = 1.10 \left( \frac{\Delta h_c}{r_o} \right) X_{O_2}^a \left[ \frac{\Phi - 0.172(1 - \Phi)X_{CO} / X_{CO_2}}{(1 - \Phi) + 1.105\Phi} \right] C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}}$$

式中， $X_{CO_2}^0$  為二氧化碳之初始讀值

$X_{CO}^0$  為一氧化碳之初始讀值

$X_{O_2}^0$  為氧氣之初始讀值

$X_{CO_2}$  二氧化碳分析儀讀數，為二氧化碳所占之摩爾比例

$X_{CO}$  一氧化碳分析儀讀數，為一氧化碳所占之摩爾比例

$X_{O_2}$  氧氣分析儀讀數，為氧氣所占之摩爾比例

$$X_{O_2}^a = (1 - X_{H_2O}^*) X_{O_2}^0$$

$\Phi$ 為氧氣消耗係數可由下式求得：

$$\Phi = \frac{X_{O_2}^a (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^0)}{X_{O_2}^0 (1 - X_{CO_2} - X_{CO} - X_{O_2})} \dots\dots (2)$$

應用上述公式需注意CO、CO<sub>2</sub>濃度與氧濃度量測之時間差必需予以修正，否則將影響試驗之準確度。目前生產圓錐量熱儀之主要廠商如英國FTT及日本TOYOSEIKI 公司均有提供CO及CO<sub>2</sub>量測之設備及所需計算軟體作為選購之配備。

## (2)質量損失率：

質量損失率包括主燃燒期，亦即由最終損失之10%到最終損失之90%，由下式計算而得：

$$MLR = \frac{m_{10} - m_{90}}{t_{90} - t_{10}} \cdot \frac{1}{A_s}$$

式中，MLR=在10%與90%質量耗損間之平均質量耗損率(g s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>)

$\Delta m = m_i - m_f$ ，試體質量總損失量(g)

$m_i$ =試體於引燃時間之質量(g)

$m_f$ =試驗結束後之試體質量(g)

$m_{10} = m_i - 0.10 \Delta m$ ，於10%總耗損時之試體質量(g)

$m_{90} = m_i - 0.90 \Delta m$ ，於90%總耗損時之試體質量(g)

$A_s$ =試體最初曝露面積(m<sup>2</sup>)

以日本不燃材料試驗時間二十分鐘例，若以2秒為取樣間隔，則單次試驗取樣之資料總數可達600筆，其計算甚為繁雜，故商業機種實際運作方式，係以個人電腦負責計算工作，試驗人員僅需依需求設定必要參數。

## 3.試驗時間：

依下列情況決定

(1)持續燃燒火焰發生後之32分鐘；或

(2)30分鐘已過，試體仍未能引燃。

## 4.試驗記錄內容：

(1)記錄試體之持續燃燒時間、暫態燃燒時間、熱釋放率曲線、點火後180 及300 秒之平均熱釋放率、有效燃燒熱及平均值、質量損失率及平均值、其他燃燒現象。

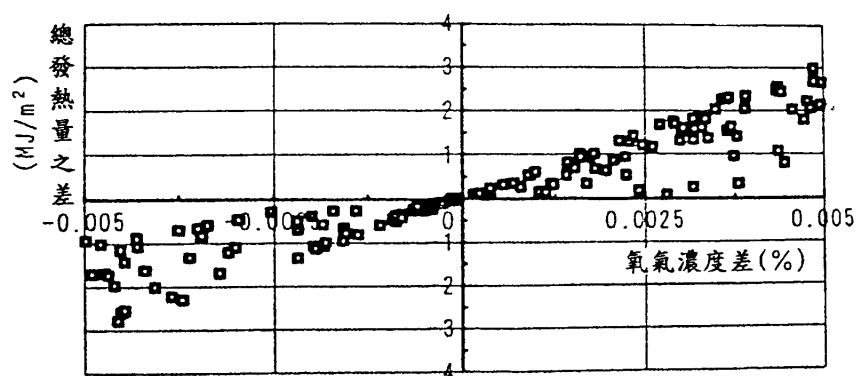
(2)觀察並記錄試體之物理變化，如熔化、膨脹、發泡、爆裂、龜裂等。

有關圓錐量熱儀詳細試驗方法，請參考附錄一新修訂之「CNS 14705建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法」。

## 六、圓錐量熱試驗影響因子探討及因應對策

圓錐量熱儀與其它耐燃試驗設備相較，具有相當優異之性能，但其對於周圍環境變化之敏感亦甚高，其中影響最鉅者為環境中氧氣濃度之變化，依據實際量測數據顯示，氧氣濃度變動 0.005%，累計二十分鐘試驗時間之總發熱量累計誤差約為  $2\text{MJ/m}^2$ ：

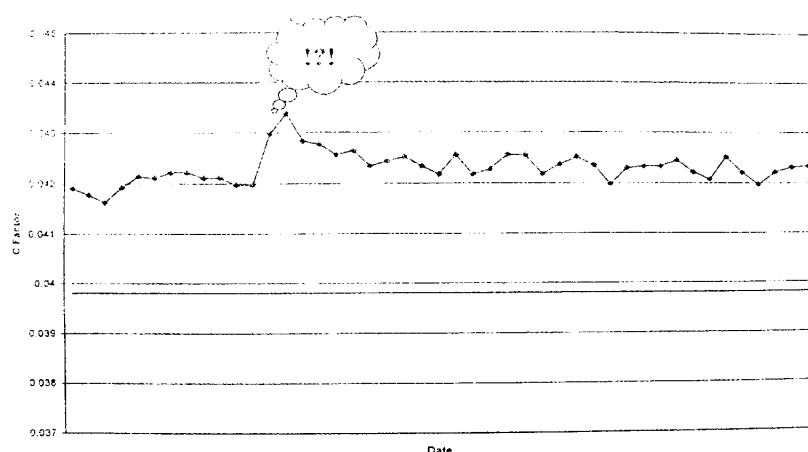
圖三：氧濃度變化對總發熱量之影響



其誤差值與日本不燃材料規定之總發熱量上限值  $8\text{MJ/m}^2$  相較，誤差已達 25%，故需特別注意環境中氧濃度之變化。除此之外，較重要之試驗影響因子尚有：溫度、溼度、電力品質、熱通量計冷卻水溫、儀器之清理及保養狀況等。為確認實驗環境或儀器是否異常，最有效之方法為追蹤記錄每日實驗前校正所得之氧氣消耗分析校正常數 C 之變動情形，若有異常變動則必需查明原因，並予以設法排除。

圖五：記錄追蹤 C-Factor 之變動情形可協助發現問題

- Good indicator of problems



由於影響圓錐量熱儀其試驗結果之因素甚多，為獲得正確之試驗結果，建議可由下列方向著手改善：

#### 1.實驗室環境之控制：

(1)實驗室須維持良好之通風狀態，以避免空氣中氧氣濃度偏離正常值。

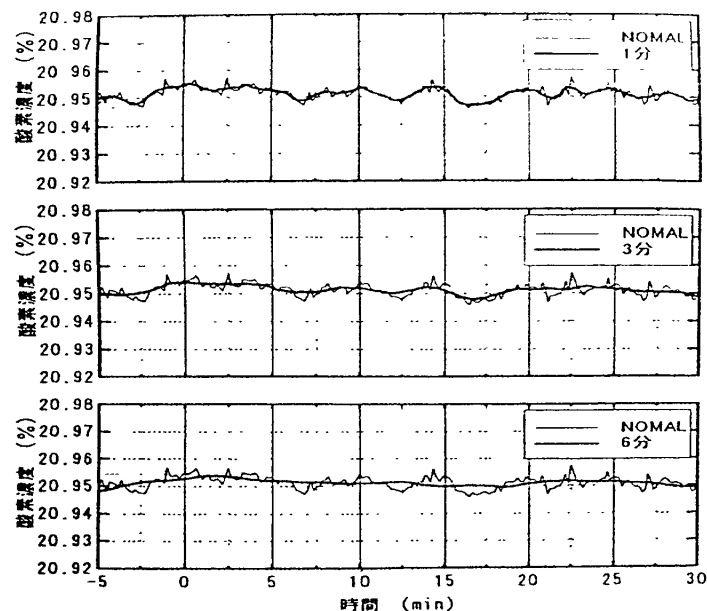
(2)實驗過程中儘量減少人為活動或其它耗氧設施之干擾。

(3)依試驗標準要求，維持實驗室溫度為  $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，相對溼度  $20\sim 80\%$ ，以臺灣的氣候而言，由於實驗室需維持良好通風狀態，此部份較難達成。

## 2.適當調整試驗前氧氣分析儀氧濃度之取樣時間：

依據 ISO 5660 標準，氧氣之初始濃度  $X_{\text{O}_2}^0$  係以試驗前一分鐘氧氣分析儀取樣之平均值計算，考慮氧氣之變動情況，若採取較長之取樣時間，可獲得較佳之試驗結果。

圖四：取樣時間對氧氣初始濃度  $X_{\text{O}_2}^0$  之影響



### 3.儀器校正維護：

除定期維護保養工作外，氧氣分析儀、熱輻射計、濾光鏡標準片等必須定期校正，雷射煙濃度量測系統必需注意雷射槍之衰減問題。

### 4.增購 CO 及 CO<sub>2</sub> 量測設備，以獲得較佳之試驗準確度。

### 5.電力品質改善：

在電力供應不穩電定之情況下，需加裝電源穩定裝置，以防止電力干擾問題產生。

### 6.加裝熱輻射計冷卻水溫控制及循環設備，將水溫控制在 20~30<sup>0</sup>C 之間，同時可減少冷卻水之消耗量。

## 七、圓錐量熱儀研究之應用及發展方向

由於許多燃燒試驗裝置並不能模擬真實火場狀況，其試驗結果往往僅依據特定之法規要求判斷樣品是否符合，無法提供工程實務上有意義之量化數據。依據學者之研究，熱釋放率實為描述真實火場危害性最重要之變數，故以圓錐量熱儀試驗所得之數據可以充分描述材料燃燒時熱量釋放之情形，這對於火災之研究有相當大之助益，故圓錐量熱儀可以應用於下列領域：

- 提供建構火災模型研究所需之基本資料
- 可應用簡單之公式預測真實尺寸材料之燃燒行為
- 可取得量化之防火性能指標，以比較不同產品之優劣性

圓錐量熱儀最早應於高分子產品耐燃性之研究，後由於其優越

之性能，使其應用範圍逐漸擴展至耐燃建材、家具、防火電纜等方面之防火試驗及研究。目前已有相當多關於圓錐量熱儀之研究論文發表，其研究對象主要偏重於表面材料之耐燃性方面，除此之外，近年來新的研究發展方向則為：

- 高分子材料之研發應用，用於取代原有熱力分析設備，如熱重量分析計(TGA)、微差掃描熱卡計(DSC)之部份功能。
- 模型尺寸(小尺寸)與全尺寸產品試驗數據關聯性及差異性之研究，藉由小尺寸之試驗數據預測全尺寸產品之燃燒行為，以降低試驗成本。
- 消防工程上之應用：分析圓錐量熱儀試驗取得之數據，用以建構火場模型，協幫助瞭解火災之成因及發展過程，並作為防火材料及設施研發製造之參考。
- 材料燃燒毒性氣體之分析研究，以研究分析之結果作為相關法規制訂之參考。

#### 陸、 相關實驗室參訪

本次日本研習耐燃試驗技術共計三人，為技正楊明耀、呂彥賓、技士謝孟傑，由日台交流協會協助辦理相關出發事務，日本研修辦理單位由財團法人建材中心負責統籌辦理，行程自 11/24 出發 12/7 結束回台，研修訓練表如下所列：

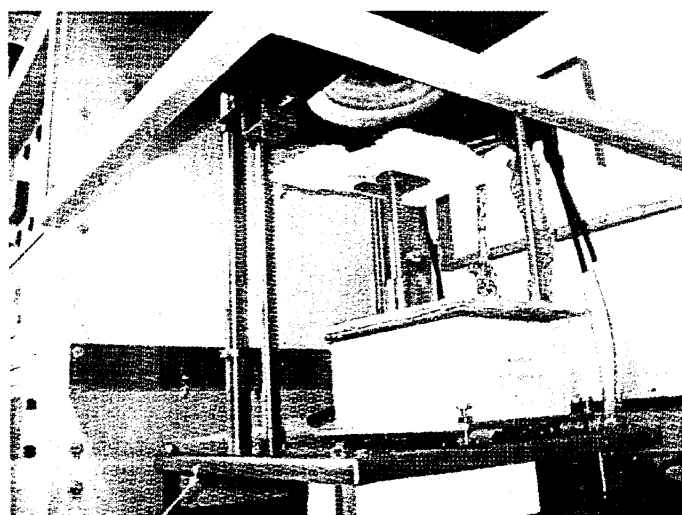
研修表

| 月  | 日    | 研修內容                                                  | 授課/解說 | 備考                           |
|----|------|-------------------------------------------------------|-------|------------------------------|
| 11 | 24   | 出發                                                    |       |                              |
|    | 25   | 所內見學、歐美日防火試驗方法介紹<br>日本建築基準法之日本防火材料評價方法介紹（業務方法書）       | 西本俊郎  | 中央試驗所                        |
|    | 26   | 所長、承辦人介紹，試驗所概要<br>研修場所介紹，研修內容說明<br>東大教授菅原進一演講「建築防災方法」 | 西本俊郎  | 中央試驗所                        |
|    | 27   | 發熱性試驗方法（ISO 5660）概要<br>各種防火材料介紹                       | 西本俊郎  | 中央試驗所                        |
|    | 28   | 耐火性能試驗（ISO 834）<br>發熱性試驗（ISO 5660）實際操作                | 西本俊郎  | 中央試驗所                        |
|    | 29   | 耐火性能試驗（ISO 834）<br>瓦斯有害性試驗                            | 西本俊郎  | 中央試驗所                        |
|    | 30、1 | 週末、日                                                  |       |                              |
|    | 2    | 發熱性試驗（ISO 5660）實作<br>就防火、耐火試驗之動向（Tc92 介紹 ISO          | 長田杏子  | 東洋精機製作所                      |
|    | 3    | 參觀製造業－東洋精機製作所耐燃試驗裝置                                   | 池田 稔  | 國土交通省<br>建築研究所               |
|    | 4    | 參觀研究機構國土交通省建築研究所耐燃試驗設備                                | 吉田正志  | 日本船舶品質管理協會<br>品質管理協會<br>品質安全 |

|  |   |                                                      |       |
|--|---|------------------------------------------------------|-------|
|  |   |                                                      | 評價中心  |
|  | 5 | 參觀日本船舶品質管理協會品質 平岡達弘<br>管理協會品質安全評價中心耐<br>燃、防火試驗裝置 長次進 |       |
|  | 6 | 問題答覆/懇談                                              | 中央試驗所 |
|  |   | 回程                                                   |       |



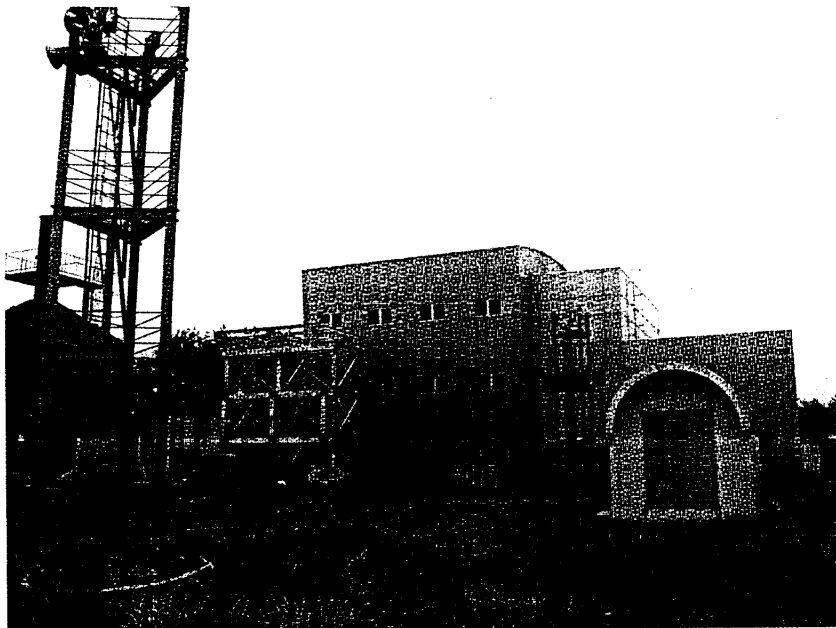
FTIR 氣體分析裝置（船舶實驗室）



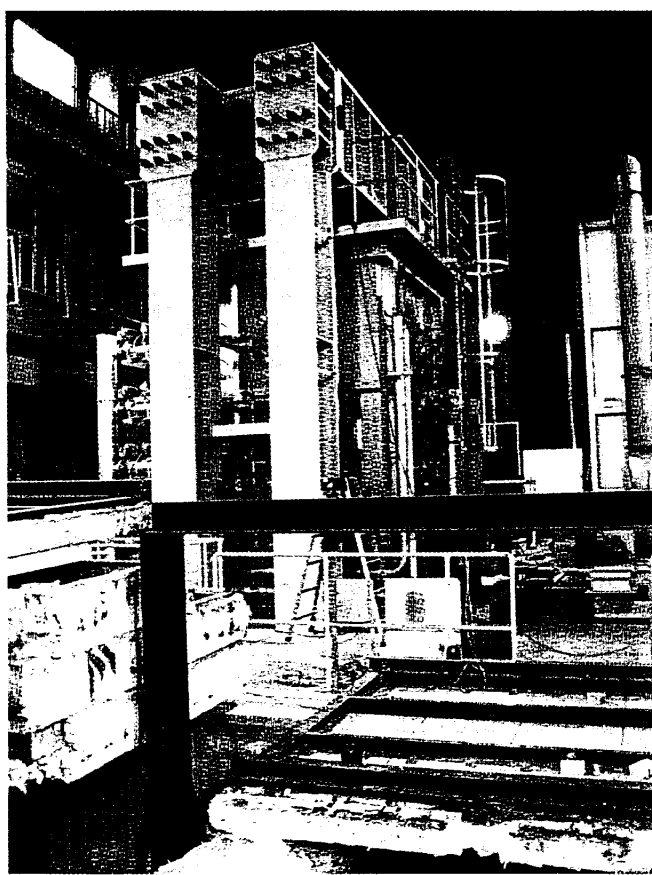
圓錐量熱儀（建材試驗中心）



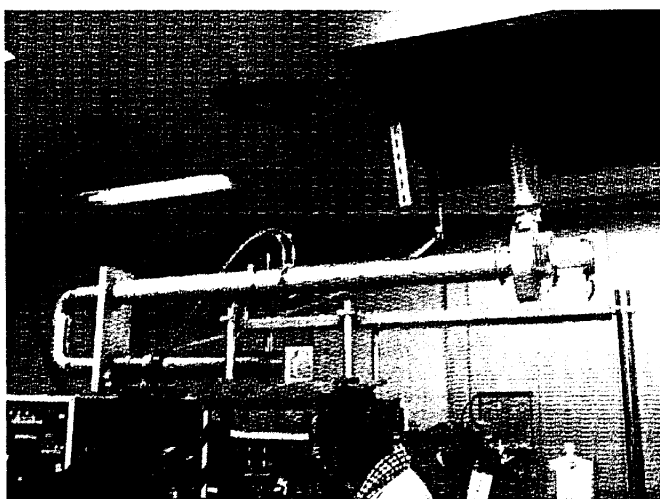
東洋精機講解儀器操作分析



室外防火試驗（國土交通省建築研究所）



防火構造試験施設（国土交通省建築研究所）



研究用圓錐量熱儀（国土交通省建築研究所）



建材試験中心前留影

## 柒、 結論及建議

### 一、制度面

日本現況：

#### 1.指定性能試驗機構

日本國土交通省將建築構造及材料之耐燃檢驗業務以業務項目委外辦理方式，指定國內財團法人建材試驗中心中央試驗所、財團法人建材試驗中心中國試驗所、財團法人日本建築總和試驗所、財團法人筑波建築試驗中心及北海道立北方建築總和研究所等五所指定性能試驗機構執行產品檢驗及製造者驗證業務。

#### 2.成立獨立行政法人機構

日本國土交通省成立建築研究所以獨立行政法人形式，就建築構造及建築材料耐火試驗、火災產生之災害（第一次災害－火災、第二次災害－水災、第三次災害－煙、粒質等附在財務上、第四次災害－心靈的恢復）、火災後建築物回收及燃燒後廢氣環保問題等課題進行研究。

國土交通省建築研究所為預防火災發生，有權建議當地政府於公園、道路兩旁栽種含水分植物，避免栽種含油分多植物。

行政院目前就組織改造進行規劃，本局未來如需配合辦理，就業務精簡配套措施而言，日本之指定性能試驗機構及成立行政法人機構等模式，可作為借鏡之用。

### 二、技術面-CNS 14705 燃燒熱釋放率（圓錐量熱儀法）

試驗操作一致性

- 1.目前國內依據 CNS 14705（ISO 5660-1）圓錐量熱儀法測試建築材料燃燒熱釋放率（Heat release rate），其所使用之儀器有兩種（FTT-英國製，Cone III-日本製）；另試驗前校正程序影響試驗結果準確

度，本局有必要舉辦一致性技術研討會。

## 2.舉辦能力試驗

本局如有規劃將建築耐燃材料列入應施檢驗品目（依 CNS 14705 試驗）時，則舉辦能力試驗或與日本建材試驗中心中央試驗所作比對試驗有其必要性，因國內試驗機構操作圓錐量熱儀之穩定性有待加強。

## 3.訂定評定基準

目前中國國家標準（CNS）尚未訂定依 CNS 14705 試驗之建築耐燃材料評定基準；日本之評定基準分為不燃材料之加熱時間為 20 分鐘，準不燃材料之加熱時間為 10 分鐘，難燃材料之加熱時間為 5 分鐘等三種等級，可作為本局訂定國家標準（CNS）之參考。

## 三、本局規劃耐燃試驗之願景

本局 92 年度已編列預算採購材料燃燒發煙濃度測試裝置（ISO 5659）及建材著火性測試裝置（ISO 5657），則建材耐燃試驗儀器已趨完備。

建材燃燒後產生有害性氣體（Toxicity gas），直接危害人體生命安全；目前可參考之試驗方法為英國海軍工程標準（NES 713 材料煙毒性試驗裝置），使用檢知管（Colorimetric gas reaction tubes）量測有害性氣體含量，此為國內試驗機構所通用方法，其優點為操作容易，缺點為讀值間距大；另使用 Fourier Transform Infrared（FTIR）量測有害性氣體含量，其優點為讀值間距小，缺點為操作較困難且尚無國際標準，因此為本局未來探究重點。

由於 CNS 14705（ISO 5660-1）圓錐量熱儀法其優點為不需大場地、試驗費用低及試驗操作較容易，但缺點為試片尺寸小，

較不能模擬實際尺寸效果；歐、美及日本等先進國家亦有採行 ISO 9705 全尺寸測試（Full-scale room test）或 ISO DIS 17431 模型箱（中尺寸）試驗，其優點為測試結果較符合實體狀況，缺點為需大場地、測試費用高及測試費時，一般試驗機構無力負擔；本局如朝研發方向開展業務而言，模型箱（中尺寸）試驗為近程考慮方向之一。

## 捌、 參考文獻

1. Dr. Vytenis Babrauskas, Fire Science and Technology Inc, Ten Years of Heat Release Research with the Cone Calorimeter, 1984.
2. ISO/FDIS 5660-1 Reaction to fire tests—Heat release smoke production and mass loss rate —part 1 : Heat release, 2002.
3. CNS 14705 建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法, 2002.
4. JTCCM / T. Nishimoto, The outline of the Japanese style cone calorimeter test for the building materials, 2001.
5. 西沢仁，武田 邦彦，難燃材料活用便覽 2002.5.25
6. 國立臺灣師範大學化學系化學安全資料  
<http://www.chem.ntnu.edu.tw/chinese.htm>
7. 萬能技術學院環境工程系,氣體檢知器(gas detector)測定方法  
<http://www.ev.vit.edu.tw/item1/lab/saf6.htm>.
8. CNS 8738 耐燃合板有害燃氣檢驗法.
9. Tuula Hakkarainen,Vtt Building Technology,SAFIR, Smoke gas analysis by Fourier transform infrared spectroscopy, 1999.
- 10.Louise C. Speitel, Office of Aviation Research,Fourier Transform Infrared Analysis of Combustion Gases, 2001.

玖、 附錄：

**CNS 14705 建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法**

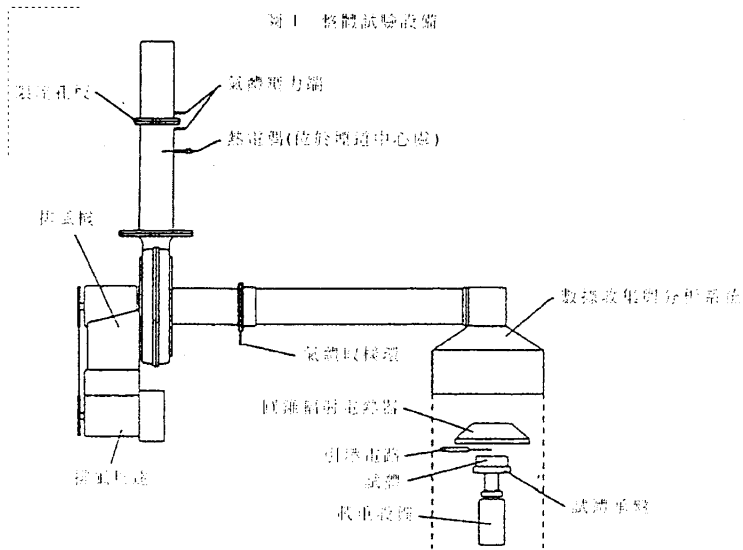
1.適用範圍：規定建築材料曝露於輻射熱源下，利用氧氣消耗原理測定所產生熱釋放率之試驗方法。

2.用語釋義

- 閃火(flashing)：試體表面出現之火焰，其維持時間少於1 秒者。
- 引燃(ignition)：燃燒之起始。
- 輻照度(irradiance)(表面上某一點)：投射在某一點平面上之極小面積其輻射通量與該面積之比值。
- 氧氣消耗原理(oxygen consumption principle)：燃燒期間氧氣消耗質量與熱釋放
- 量間之的比例關係，其關係為：每消耗1kg 氧氣約可釋出13.1MJ 熱量。
- 持續燃燒火焰(sustained flaming)：在試體表面維持超過4 秒之火焰。
- 暫態燃燒火焰(transitory flaming)：在試體表面維持1~10 秒間之火焰。

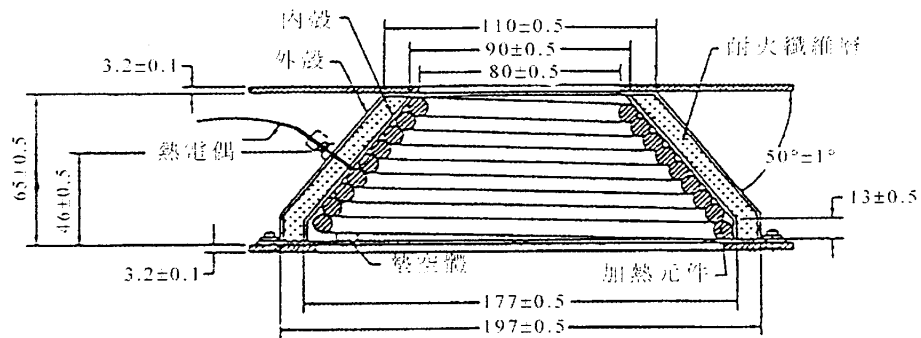
3.儀器、裝置及器具：整體試驗設備如圖一所示

圖一：整體試驗設備示意圖



3.1 圓錐輻射電熱器(cone-shaped radiant heater)：如圖2所示電熱器外側應以雙層不銹鋼圓錐形筒(其間充入厚度13mm 且密度為100kg/m<sup>3</sup> 之耐火纖維層)包封，並設有三支控制溫度用、外徑1.0~1.6mm 之套筒式熱電偶。電熱器須能在試體表面產生高達100kW/m<sup>2</sup> 之輻射熱。輻射熱在試體中央之50× 50mm 範圍內應為均勻，且差異在± 2%以內。

圖 2 圓錐形輻射電熱器



3.2 輻射熱遮蔽板(radiation shield)：圓錐形電熱器應有一個移動式輻射熱遮蔽板，使試體在試驗開始之前不接受熱通量。該遮蔽

板應為不燃材質，總厚度12mm以下。

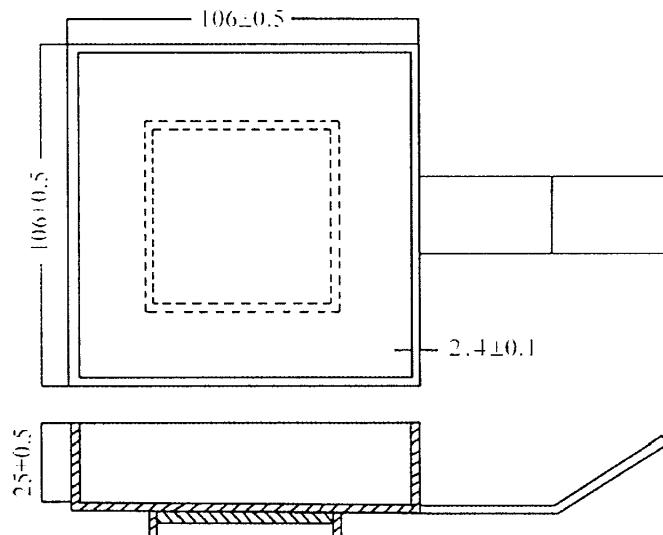
3.3 輻照度控制器(irradiance controller)：輻射熱控制系統應經調

校，使其電熱器熱電偶能與預定之溫度保持在 $10^{\circ}\text{C}$  以內。

3.4 載重裝置(weighting device)：載重裝置之精度應在0.1g。其載重能力應在500g以上，其10~90%之回應時間應在1~4 秒之間，其輸出讀數在30 分鐘之內應在 $\pm 0.5\text{g}$ 。

3.5 試體承盤(specimen holder)：如圖3 承盤底部須鋪以一層密度約 $65\text{kg/m}^3$  且厚13mm 之耐火毯。圓錐形電熱器底部與試體頂部之間距應調整為 $25 \pm 0.5\text{mm}$ 。

圖 3 試體承盤 單位：mm



3.6 排氣系統(exhaust gas system)

3.6.1排氣系統應由離心式抽氣風扇、頂蓋、風扇之吸入排出風道及限流孔片流量計(orifice plate flow meter)構成，如圖4 所示。

頂蓋之底部與試體頂部之間距應為 $230 \pm 50\text{mm}$ 。在標準之溫度、壓力下，排氣系統須能產生 $0.012 \sim 0.035\text{m}^3/\text{s}$  之流量。

3.6.2風扇進口風道應置有環形取樣器，距頂蓋 $685 \pm 15\text{mm}$ (如圖4)。

氣體取樣環上計有12個直徑 $2.2 \pm 0.1\text{mm}$ 之小孔，這些孔洞面向氣流之反向。

3.6.3 氣流之溫度應以外徑 $1.0 \sim 1.6\text{mm}$  套筒接頭之熱電偶量測。

3.7 氣體取樣設備(gas sampling apparatus)：氣體取樣設備如圖5所示。

3.8 引燃器(ignitor)：使用 $10\text{kV}$  變壓器火星塞(spark plug) 或火花引燃器(sparkignitor)。引燃器火花位置應位於試體上方 $13\text{mm}$ 處。

3.9 引燃計時器(ignition timer)：精度須在1小時誤差 $\pm 1$ 秒以內。

3.10 氧氣分析儀(oxygen analyzer)：氧氣分析儀應為順磁式(paramagnetic type)，其量測範圍至少為 $0 \sim 25\%$ 氧氣。氧氣分析儀之雜訊(noise)及漂移(drift)應小於 $\pm 50\text{ppm}$ 。氧氣分析儀之 $10 \sim 90\%$ 之全幅回應時間(full-scale response time)應小於12秒。

3.11 熱通量計(heat flux meter)：熱通量計應為Schmidt-Boelter型，其量測範圍為 $100 \pm 10\text{kW/m}^2$ 。該儀器精度須為 $3\%$ ，可再現性在 $\pm 0.5\%$ 之內。冷卻水溫應維持在室溫 $\pm 5^\circ\text{C}$ 之內。

3.12 校正燃燒器(calibration burner)：校正燃燒器應為配置面積 $500 \pm 100\text{m}^2$  方形或圓形限流器且覆以金屬線網之管子。

3.13 數據收集與分析系統(data collection and analysis system)：數據收集與分析系統應具備記錄來自氧氣分析儀、限流孔計、熱電偶、載重設備及其他設備之輸出信號功能。數據收集系統之精度在氧氣量測上應為 $50\text{ppm}$  氧氣，在溫度量測上應為 $0.5^\circ\text{C}$ ，在所有其他頻道上應為全輸出刻度之 $0.01\%$ ，在時間上應為 $0.1\%$ 。該系統應能每5秒記錄一次資料，並持續一小時以上。

3.14 側屏(side screen)：基於操作及安全之考量得在加熱器及試體承

盤旁設置側屏。

#### 4. 試體

4.1 試體數目：每一選定輻射強度及每一不同曝露表面，均至少須有三個試體。

4.2 試體尺度：樣品應裁切為邊長100之正方形。產品厚度若為50mm以下，則以全厚度受測；產品厚度若大於50mm，則切削試體之非曝露面，使其厚度為50mm。

4.3 試體前置處理：試體於試驗前應先於溫度 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $50 \pm 5\%$ 下處理至恒重(1)。

#### 4.4 試體準備

4.4.1 試體包裝：經前置處理後之試體須以一層厚度0.03~0.05mm之鋁箔包覆，鋁箔之亮面須朝向試體未曝面包封。

4.4.2 試體製作：所有試體均須連同固定框架一併接受試驗，如圖6所示。依下列步驟製作試驗用之試體：

- (1) 將固定框架面朝下放置在平坦之表面上。
- (2) 將以鋁箔包裝之試體曝露面朝下插入固定框架中。
- (3) 將多層耐火纖維毯(厚度13mm，密度65kg/m<sup>3</sup>)鋪在頂部直到形成完全覆蓋之一層為止，延伸到固定框架邊緣上方者至多以兩層為限。
- (4) 將試體承盤放置到纖維上並用力將其壓下。
- (5) 由固定框架底部鎖入固定螺絲。

4.5 試驗環境：試驗環境應為無抽氣之環境，其大氣相對濕度20~80%之間，且大氣溫度在15~30°C之間。

#### 5. 試驗步驟

##### 5.1 基本預備工作

5.1.1檢查CO<sub>2</sub> 吸收劑及水分吸收劑。若有必要則更換吸收劑。洩除

冷凝器分離室

內之所有積水。冷凝器之正常工作溫度為0~4℃。

5.1.2確認圓錐電熱器、排氣風扇及各項分析量測設備之電源打開。

5.1.3設定排氣流量為 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

5.1.4調整圓錐電熱器底板與試體表面之距離為 $25 \pm 0.5 \text{ mm}$ 。

5.1.5執行第5.2 節校正程序後，於載重裝置頂台上放置填滿耐火纖維毯之試體承盤。

5.2 試驗前校正：每日開始試驗之前，須依順序執行下列校正。

5.2.1載重設備準確度：每日開始試驗之前，須執行以與試體質量相當之標準砝碼作載重設備校正。校正前，圓錐電熱器應停機，且溫度應恢復為室溫。將置有 $250 \pm 25 \text{ g}$  砝碼之試體承盤放到載重設備上，量測載重設備之讀數，然後以機械或電子方式將讀數歸零。將質量介於50~200g 之砝碼輕輕添加置於承盤上，並在穩定後量測讀數。重複此一程序四次，校正結束後，承盤上之砝碼總質量應為500g 以上。載重設備之準確度為砝碼質量與載重設備讀數間之最大差值。

5.2.2氧氣分析儀校正：每日開始試驗之前，先校正並歸零氧氣分析儀。並設定排氣風扇之排氣流量為 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 。歸零時，將無氧之氮氣與試體氣體相同之流量壓力充入分析儀。調整分析儀之反應使介於 $0.00 \pm 0.01\%$ 之間。應使用乾燥之大氣空氣作相同試驗，並調整反應使介於 $20.95 \pm 0.01\%$ 之間。

5.2.3熱釋放率校正：每日開始試驗之前，執行熱釋放率校正以決定限流孔常數C。開排氣風扇，並設定排氣流量為 $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 。每5 秒鐘收集一次資料，並持續至少1分鐘。使用

經校正之流量計以相當於 $q_b=5\pm 0.5\text{kW}$ 之流量將甲烷充入校正燃燒器。在所有設備之輸出到達平衡後，每5秒鐘收集一次基本資料，並持續至少3分鐘後。計算限流孔常數C。

5.2.4電熱器校正：每日開始試驗之前或輻射熱大小改變之後，應作本項校正。熱通量計插入校正位置時，不得使用任何試體或承盤。圓錐電熱器至少須穩定維持在設定點10分鐘，並在校正前確認控制器位在其比例區內。

### 5.3 加熱試驗

5.3.1收集為時1分鐘之基本資料。

5.3.2將輻射遮蔽板插入定位，並移開。將待測之試體及試體承盤放到載重設備上。將火花引燃器放到定位。

5.3.3插入輻射遮蔽板10秒鐘後將其移開，立即開始作試驗。若使用水冷式之遮蔽板，則可容許其放置1分鐘。

5.3.4啟動引燃計時器，接著打開火花引燃器電源，開始記錄閃火或暫態燃燒之時間。發生持續燃燒後，記錄當時之時間，關閉火花引燃器電源並移開。若火苗在移開火花引燃器後即熄滅，則重新插入移開之火花引燃器，並在5秒內重新打開電源，且不得移開火花引燃器，直到整個試驗完成為止。試驗報告須詳述經過情形。

5.3.5收集所有資料，直到

- (1) 持續燃燒火焰發生後之32分鐘；或
- (2) 30分鐘已過，試體仍未能引燃。
- (3) 採用何者，視何項先發生而定。觀察並記錄試體之物理變化，如熔化、膨脹、發泡、爆裂、龜裂等。

5.3.6移開試體及試體承盤。

5.3.7 每種設定試驗條件下至少測試三個試體並製作報告。三個試體在180 秒內之平均熱釋放率應相互比較，若任一讀數偏離算術平均值10%以上，則須重作三個試體，報告中須敘述該6 個試體之算數平均讀數。

#### 5.4 計算

5.4.1 氧氣消耗分析之校正常數(calibration constant for oxygen consumption analysis)計算如下：

$$C = \frac{q_b}{(12.54 \times 10^3)(1.10)} \sqrt{\frac{T_e}{\Delta p} \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X^{\circ}O_2 - X_{O_2}}} \dots\dots\dots(1)$$

式中，C=限流孔流量計校正常數

$q_b$ =校正燃燒器甲烷之熱釋放率(kW)

$T_e$ =限流孔內氣體之絕對溫度(k)

$\Delta p$ =限流孔壓差(Pa)

$X_{O_2}$ =氧氣分析儀讀數，為氧氣所占之摩爾比例

$X^{\circ}O_2$ =氧氣分析儀起始讀數，為氧氣所占之摩爾比例

$12.54 \times 10^3 = \text{甲烷氣} \frac{\Delta h_c}{r_o}$  (KJ/kg)為淨燃燒熱(KJ/g)

$r_o$  為氧與燃料質量比

1.10=氧與空氣分子質量比

#### 5.4.2 熱釋放率(heat release rate)

由下列公式計算熱釋放率 $q(t)$

$$q(t) = (\Delta h_c / r_o)(1.10) \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e} \frac{X^{\circ}O_2 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}}} \dots\dots\dots(2)$$

式中， $q(t)$ =熱釋放率於時間為 $t$ 之讀數

註 (2)試體之 $\Delta h/r_o$ 若無更精確之數值，則選定為  $13.1 \times$

103KJ/kg，X<sup>o</sup>O<sub>2</sub>則為氧氣分析儀在一分鐘基本資料收集期間之讀數平均值。

5.4.3 質量損失率：質量損失率包括主燃燒期，亦即由最終損失之10%到最終損失之90%，由下式計算而得：

$$MLR = \frac{m_{10} - m_{90}}{t_{90} - t_{10}} \cdot \frac{1}{A_s} \dots\dots\dots (3)$$

式中，MLR=在10%與90%質量耗損間之平均質量耗損率(g s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>)

Δm=m<sub>i</sub>-m<sub>f</sub>，試體質量總損失量(g)

m<sub>i</sub>=試體於引燃時間之質量(g)

m<sub>f</sub>=試驗結束後之試體質量(g)

m<sub>10</sub>=m<sub>i</sub>-0.10 Δ m，於10%總耗損時之試體質量(g)

m<sub>90</sub>=m<sub>i</sub>-0.90 Δ m，於90%總耗損時之試體質量(g)

A<sub>s</sub>=試體最初曝露面積(m<sup>2</sup>)

## 6. 試驗報告

- (1)材料、來源名稱、形狀、尺度、組成、質量、其他規範概要。
- (2)加熱條件(熱源種類、加熱時間、試體方向、調整溫度、熱源輻照度、排氣流量等)。
- (3)試體之條件(形狀、尺度、質量、材齡、數量等)。
- (4)試體製備及準備過程(膠合方式、組合方式、校正常數等)。
- (5)試驗結果之概要(持續燃燒時間、暫態燃燒時間、熱釋放率曲線、點火後180及300秒之平均熱釋放率、有效燃燒熱及平均值、質量損失率及平均值、其他燃燒現象)。
- (6)實施試驗日期、試驗機構名稱、實驗負責人及實驗操作人姓名。