

# 亞熱帶氣候建築塗料之節能 效益試驗研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 110 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)



# 亞熱帶氣候建築塗料之節能 效益試驗研究

研 究 人 員：蔡介峰 副研究員

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 110 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)



ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

Experimental Research on Energy-saving  
Benefits of Building Coatings in  
Subtropical Climate

BY

Chieh-Feng ,Tsai

December, 2021



## 目次

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 目次.....                    | I   |
| 表次.....                    | III |
| 圖次.....                    | V   |
| 摘要.....                    | VII |
| 第一章 緒論.....                | 1   |
| 第一節 研究緣起與背景.....           | 1   |
| 第二節 研究內容.....              | 4   |
| 第三節 研究流程與步驟.....           | 5   |
| 第二章 資料蒐集與文獻分析.....         | 6   |
| 第一節 建築節能塗料種類及應用.....       | 6   |
| 第二節 國內外相關規範發展概況.....       | 16  |
| 第三節 建築節能塗料應用相關研究.....      | 36  |
| 第三章 實驗計畫與結果.....           | 43  |
| 第一節 節能塗料之光學與熱力實驗設備及程序..... | 45  |
| 第二節 節能塗料試驗之光學與熱力性能分析.....  | 73  |
| 第三節 全尺度實驗計畫.....           | 91  |
| 第四章 結論與建議.....             | 100 |
| 第一節 結論.....                | 100 |
| 第二節 建議.....                | 105 |
| 附錄一 研究業務協調會會議紀錄.....       | 107 |
| 附錄二 期中會議記錄及處理情形.....       | 113 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 附錄三 期末會議記錄及處理情形..... | 117 |
| 參考書目 .....           | 119 |



## 表 次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 表1-2.1 研究內容與進度說明 .....                 | 4  |
| 表2-1.1 高性能節能綠建材評定基準表:節能塗料 .....        | 7  |
| 表2-1.2 塗料添加物質之折射指數及顏色 .....            | 13 |
| 表2-2.1 我國近年來有關塗料公佈之國家標準 .....          | 17 |
| 表2-2.2 建築技術規則氣候分區 .....                | 21 |
| 表2-2.3 建築技術規則透光天窗日射透過率基準 .....         | 22 |
| 表2-2.4 建築技術規則窗平均熱傳透率基準 .....           | 22 |
| 表2-2.5 外牆及立面開窗部位(含玻璃與窗框)之節能基準值 .....   | 23 |
| 表2-2.6 建築技術規則外殼耗能基準 .....              | 23 |
| 表2-2.7 建築技術規則建築物外殼等價開窗率基準值 .....       | 24 |
| 表2-2.8 建築技術規則窗面平均日射取得量基準值 .....        | 25 |
| 表2-2.9 建築技術規則窗面平均日射取得量基準值計算公式 .....    | 25 |
| 表2-2.10 高性能節能綠建材評定基準表:建築用隔熱材料 .....    | 27 |
| 表2-2.11 高性能節能綠建材評定基準表:玻璃貼膜材料 .....     | 28 |
| 表2-2.12 高性能節能綠建材評定基準表:屋頂及外牆系統或構造 ..... | 28 |
| 表2-2.13 高性能節能綠建材評定基準表:節能玻璃 .....       | 29 |
| 表2-2.14 國外有關節能塗料量測標準 .....             | 29 |
| 表2-2.15 LEED規範版本之屋頂產品基準比較 .....        | 33 |
| 表2-2.16 近紅外線波長太陽反射率與亮度規範 .....         | 35 |
| 表3-1 本所性能實驗中心預計取得TAF認證項目 .....         | 43 |
| 表3-1.1 可視光各波長能量分佈對照表 .....             | 59 |
| 表3-1.2 日光各波長能量分佈對照表 .....              | 60 |
| 表3-1.3 A類標準不確定度評估結果 .....              | 68 |
| 表3-1.4 分項相對不確定度 .....                  | 69 |
| 表3-1.5 組合及擴充不確定度 .....                 | 69 |
| 表3-1.6 試驗方法(A實驗室) .....                | 70 |

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 表3-1.7 | 試驗方法(B實驗室).....              | 71  |
| 表3-2.1 | 試驗內容比較表.....                 | 73  |
| 表3-2.2 | 節能塗料樣本-廠商(A).....            | 75  |
| 表3-2.3 | 節能塗料樣本-廠商(B).....            | 76  |
| 表3-2.4 | 節能塗料測試性能比較(初始值及塗覆3年後).....   | 86  |
| 表3-2.5 | 節能塗料產品通過各項基準統計.....          | 90  |
| 表3-3.1 | 測試驗證平台簡易比較.....              | 92  |
| 表4-4.1 | 達到各項基準較CRRC網站數據平均值提升百分比..... | 104 |

## 圖 次

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 圖1-3.1 研究流程與步驟.....                | 5  |
| 圖2-1.1 太陽熱能分布圖.....                | 9  |
| 圖2-1.2 節能塗料隔熱機制(屋頂).....           | 10 |
| 圖2-1.3 節能塗料隔熱機制(牆).....            | 11 |
| 圖2-1.4 節能塗料應用案例 .....              | 11 |
| 圖2-1.5 節能塗料應用案例-模型屋 .....          | 14 |
| 圖2-1.6 節能塗料應用案例(模型屋) .....         | 15 |
| 圖2-1.7 節能塗料應用案例(混凝土屋頂面).....       | 15 |
| 圖2-2.1 低(高)斜度屋頂.....               | 29 |
| 圖2-2.2 LEED4.1版 .....              | 32 |
| 圖2-2.3 日本高太陽反射率塗料市場規模 .....        | 35 |
| 圖2-3.1 6種不同屋頂隔熱工法 .....            | 36 |
| 圖2-3.2 實驗用鋁質基材.....                | 37 |
| 圖2-3.3 開發8種塗料.....                 | 38 |
| 圖2-3.4 塗料(1)及(2)的光學特性 .....        | 38 |
| 圖2-3.5 20種市售隔熱塗料樣本 .....           | 39 |
| 圖2-3.6 自然暴露實驗.....                 | 40 |
| 圖2-3.7 DOE模擬建築屋頂之幾何外觀.....         | 41 |
| 圖2-3.8 塗覆節能塗料實驗屋 .....             | 42 |
| 圖3-1.1 本所紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀 .....    | 47 |
| 圖3-1.2 本所傅利葉轉換紅外線光譜儀 .....         | 50 |
| 圖3-1.3 本所Hot Disk熱傳性質分析儀及量測探針..... | 51 |
| 圖3-1.4 量測反射率試件之安裝位置 .....          | 63 |
| 圖3-1.5 試件安裝位置.....                 | 63 |
| 圖3-1.6 能力試驗比對測試件 .....             | 72 |
| 圖3-2.1 CRRC公布之節能塗料性能數據.....        | 74 |
| 圖3-2.2 SP1樣本量測結果 .....             | 77 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 圖3-2.3 SP2樣本量測結果.....                      | 78 |
| 圖3-2.4 SP3樣本量測結果.....                      | 79 |
| 圖3-2.5 SP4樣本量測結果.....                      | 80 |
| 圖3-2.6 SP5樣本量測結果.....                      | 81 |
| 圖3-2.7 SP6樣本量測結果.....                      | 82 |
| 圖3-2.8 SP7樣本量測結果.....                      | 83 |
| 圖3-2.9 SP8樣本量測結果.....                      | 84 |
| 圖3-2.10 塗料產品日光反射率 $R/R_0$ 之案件分布圖.....      | 87 |
| 圖3-2.11 塗料產品太陽反射指標 $SRI/SRI_0$ 之案件分布圖..... | 88 |
| 圖3-2.12 塗料產品半球放射率 $e/e_0$ 之案件分布圖.....      | 89 |
| 圖3-3.1 測試室及比對室示意圖.....                     | 93 |
| 圖3-3.2 可撓式熱流U值感測片.....                     | 95 |
| 圖3-3.3 熱流感測片數值記錄器.....                     | 95 |
| 圖3-3.4 室內型多功能溫濕度計.....                     | 96 |
| 圖3-3.5 室內熱舒適性量測系統.....                     | 97 |
| 圖3-3.6 原6個全尺寸實驗屋.....                      | 98 |
| 圖3-3.7 改建為「低碳-韌性實驗展示屋」.....                | 98 |
| 圖3-3.8 低碳-韌性實驗展示屋(外觀).....                 | 99 |
| 圖3-3.9 低碳-韌性實驗展示屋(內部).....                 | 99 |

## 摘要

關鍵詞：節能、建築塗料、太陽反射指標

### 一、研究緣起

近年來建築節能塗料技術逐漸成熟，應用之隔熱原理亦多元，由於價格較其他建築外殼節能工法（如鋪設隔熱磚或隔熱材料等）低廉且施工及維護簡易，因應產業發展需求，本所新(2020年)版綠建材解說與評估手冊，高性能節能綠建材評定基準已新增「節能塗料」項目，本所配合業界檢測需求及協助高性能節能綠建材之推動，亟需辦理本項試驗方法之開發，及參與相關第三公正單位認證，包括節能塗料之可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標等試驗方法，以提供更完整檢測服務。

另本研究在先期資料蒐集過程發現，冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)於1998年成立，在節能塗料部分是一個相當知名的非營利組織，目前已建立相當完整評估機制，提供產品第三方認證，經統計截至本(110)年11月底共已登錄3千1百餘種塗料產品數據，值得進一步彙整探討，並與相關規範進行分析比較，俾供新(2020年)版綠建材標章新增項目推動之參考。

### 二、研究方法及過程

本研究採用之方法及過程概述如下：

#### （一）資料收集法：

蒐集塗料應用規範、技術文獻以及相關量測標準，以及性能對室內熱環境和節能效果影響的研究與進展，並透過國外量測標準之解析，作為研制(修)相關CNS標準草案方向之建議。

#### （二）統計分析法：

彙整冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)網站公布之3,000多種塗料產品性能數據，包括日光反

射率、放射率及太陽反射指標SRI等，並與相關規範進行比較，作為綠建材標章制度新增項目推動之參考。

(三) 實測試驗法

整合性能實驗中心現有設備，完成檢測技術開發，包括標準作業程序(SOP)、不確定度分析及能力試驗比對計畫等，並辦理TAF增列認證，及合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」全尺度實驗設備之建置，以提供業界更完整檢測及技術服務。

(四) 歸納分析法：

綜合資料蒐集、統計分析、實測試驗及前期研究成果進行比較分析，俾整理提出相關建議，以供後續應用參考。

**三、重要發現**

- (一) 在資料蒐集分析部分，本研究發現我國現行 CNS 標準關於“塗料”材質部分，目前目前主要著重塗料成分之檢驗、塗料及塗膜有關產品之各項性能試驗，包括通則、塗料性狀與安定性、塗膜形成性、塗膜視覺特性、塗膜機械性質、塗膜化學性質、塗膜之長期性能、塗膜劣化評估及粉體塗料等，惟節能料發展日新月異，可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、放射率及太陽反射指標對建築節能與視覺效果亦相當重要，目前尚無國家標準可供遵循，如何整合?或研議相關適用標準，建議可納入國家標準發展方向參考。
- (二) 另本所高性能節能塗料綠建材評定項目，在太陽輻射反射率部分係引用 CNS 12381「平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得係數試驗法」及 ISO 9050，太陽反射指標量測則引用美國 ASTM E1980-11 標準，另 CRRC 協會塗料之日光反射率、放射率及太陽反射指標 SRI 等試驗係分別引用 ASTM E903、ASTM E408-13 及 ASTM E1980-11 建議可研議納入評定試驗方法參酌，以協助相關產業發展。

- (三) 在檢測技術開發部分，本研究已完成節能塗料試驗之標準作業程序及儀器設備操作程序書，並進行不確定度評估實例探討，包括 A 類標準不確定度、B 類標準不確定度、組合標準不確定度及擴充標準不確定度，以 95% 信心水準，涵蓋因子  $k=2.0$  進行評估，節能塗料試驗之可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、放射率及太陽反射指標之分項擴充不確定度分別為 2.58%、2.44%、2.44%、1.16% 及 2.82%。
- (四) 在檢測技術服務部分，截至本(110)年 10 月底共蒐集 8 種節能塗料樣本，其中廠商(A)提供 4 件塗料主要成分係由矽酸鉀、及不同無機色粉組成，試驗結果顯示不同顏色塗料吸收不同波段能量，對光學及熱學性能造成影響，另廠商(B)提供 4 件塗料，3 件以白漆為基底添加不同大小之奈米級中空陶瓷球，另 1 件為比對深灰色塗料，結果顯示在白漆添加不同大小之奈米級中空陶瓷球對光學及熱學性能差異不大。
- (五) 依整體彙蒐 CRRC 網站公布之試驗數據看來，本次 3105 件塗料產品，其初始值測試結果，日光反射率約在 3%~94% 之間，平均值為 46.48%、放射率約在 0.05~0.98 之間，平均值為 0.855、SRI 約在 -3~120 之間，平均值為 52.62。
- (六) 另針對 CRRC 網站有登載初始值及塗覆 3 年之 2949 件產品測試結果進行性能衰減比較，結果顯示塗覆 3 年後整體日光反射率之平均值較初始值衰減 8.1%、放射率之平均值較初始值衰減 0.1%、SRI 之平均值較初始值衰減 9.9%。
- (七) CRRC 網站公布之 3105 件塗料產品數據，日光反射率平均值為 46.48%、平均值為 52.62，與高性能節能綠建材基準比較部分，達到日光反射率  $R_c > 0.70$ ，性能較 CRRC 網站公布整體平均值提升約 51%，計有 830 件(約 26.7%)，太陽反射指標  $SRI_c > 80$ ，性能較 CRRC 網站公布整體平均值提

升約52%，計有909件(約29.3%)，能同時達到上開二項基準計有826件(約26.6%)。

(八) CRRC 網站公布之數據，與美國 California Building Energy Efficiency Standards(2019)低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 3105 件塗料產品數據，達到日光反射率 $\geq 0.63$  計有 996 件(約 32.1%)，太陽反射指標  $SR_{Ic} \geq 75$  計有 977 件(約 31.5%)，放射率  $ec \geq 0.75$  計有 3061 件(約 98.6%)，能同時達到三項基準計有 905 件(約 29.2%)。

(九) CRRC 網站公布之數據，與美國 Energy Star label(2019)低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 2949 件塗料產品有登載初始值及塗覆 3 年後數據，達到初始之日光反射率  $R_{c1} \geq 0.65$  計有 984 件(約 33.4%)，另在塗覆 3 年  $R_{c2} \geq 0.5$  計有 1087 件(約 36.9%)，能同時達到上開二項基準計有 939 件(約 31.8%)。

(十) CRRC 網站公布之數據，與 LEED4.1 低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 2949 件塗料產品有登載初始值及塗覆 3 年後數據，達到初始之太陽反射指標  $SR_{Ic} \geq 82$  計有 873 件(約 29.6%)，另在塗覆 3 年太陽反射指標  $SR_{Ic} \geq 64$  計有 935 件(約 31.7%)，能同時達到上開二項基準計有 857 件(約 29.1%)。

(十一) 本(110)年 11 月已合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」之建置，項目包括 11KW 太陽光電板、汽車再利用鉛酸蓄電池、氣凝膠相變化砂漿、節能塗料、電致變色隔熱膜、循環經濟隔熱防水毯、智慧人體感應燈、遮煙捲簾、健康竹地板、吸音墊及量測監測設備等，可供後續全尺度實測實驗。

#### 四、主要建議事項

- (一) 申辦內政部綠建材性能試驗機溝「節能塗料」試驗項目之增列認證工作：立即可行建議  
主辦機關：內政部建築研究所



協辦機關：內政部

本研究於 6 月提早完成本項試驗方法之開發，並於 7 月 7 日併同本所性能實驗中心延展認證向財團法人全國認證基金會(TAF)提出增列認證之申請，已於本(110)年 12 月 9 日順利取得高性能節能綠建材「節能塗料」相關試驗之增列認證，後續將向本部申辦綠建材性能試驗機溝增列認證，以提供業界更完整檢測服務及協助高性能節能綠建材之推動。

- (二) 賡續利用「低碳-韌性實驗展示屋」、「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」或整合相關設備，進行各項建築節能、環境控制與智慧化系統之合作研究工作：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部能源局、成功大學能源科技與策略研究中心

經濟部在「前瞻基礎建設計畫」架構下，於去(109)年在「沙崙智慧綠能科學城」完成建置「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」，並委託工業技術研究院代管，工業技術研究院再委託國立成功大學能源科技與策略研究中心操作執行，本(110)年能源科技與策略研究中心與本所合作合作改建「低碳-韌性實驗展示屋」，建議未來可整合相關設備及人力，進行節能建材、室內環境、智慧化調控及系統整合等合作研究，以達到建築安全、居住環境品質及永續發展之目標。



## Abstract

Keywords: Energy saving, Building coatings,  
Solar reflectance index

In recent years, the building energy-saving coating technology has gradually matured, and the applied heat insulation principles are also diverse. Because the price is lower than other building shell energy-saving construction methods (such as laying insulation bricks or thermal insulation materials, etc.) and the maintenance is simple, the new Green Building Materials Label (2020) has added the "Energy-saving Coatings" item to the high-performance energy-saving green building materials.

Therefore, this study develops the thermal and optical properties of building coatings test methods, including visible light reflectance, solar reflectance, solar absorptivity, hemispherical emissivity and solar reflectance index of building coatings, in order to provide more complete testing services. In addition, through the collection of data, it is found that CRR is a well-known non-profit organization in the cool roof. It has established a fairly complete evaluation mechanism and provides third-party product certification, a total of over 31,000 have been registered.

In the part of testing technology development, this research has completed the standard operating procedures and equipment operating procedures for building coatings test, and discussed the uncertainty examples. Up to now, a total of 8 building coating samples have been tested, the test results show different color coatings absorb energy in different bands, which will affect the optical and thermal properties.

In addition, the performance degradation was compared with the initial value and the product test results of the three-year coating on the CRRC website. The results showed that the average value of the overall solar reflectance decreased by 8.1%, and the average value of the emissivity was lower by 0.1%, and the average value of SRI attenuates by 9.9%. In addition, compared with the performance of Green Building Materials Label, about 26.7% of the products can reach the solar reflectance  $R_c > 0.70$ , about 29.3% of the products can reach the solar reflectance index  $SR_{Ic} > 80$ , and about 26.6% can reach the two benchmarks at the same time.

Based on this study, the immediate and long-term suggestions are proposed as follows:

1. For immediate suggestion: This research has completed the development of test methods for building coatings, and submitted an application for additional certification to the Taiwan Accreditation Foundation (TAF). It has successfully obtained additional certification for high-performance energy-saving green building materials related tests on December 9. The Performance Experiment Center will apply for additional certification of the Green Building Materials Performance Testing Institutions to provide the industry with more complete testing services and assist in the promotion of high-performance energy-saving green building materials.
2. For long-term suggestion: It is suggested that in the future, relevant equipment (Spinlab, Low-carbon toughness experiment exhibition room, etc.) and manpower can be integrated to conduct cooperative research on energy-saving building materials, indoor environment, intelligent control and system integration, so as to achieve the goals of building safety, living environment quality and sustainable development.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

臺灣地區天然資源蘊藏貧乏，依據經濟部能源局 107 年度能源統計年報統計，有 98.06% 能源仰賴進口，國內總能源消費量 85 87,298.0 千公秉油當量。其中，服務業部門占 6.8%，住宅部門占 7.51%，與建築耗能息息相關的住宅部門與服務業部門能源消耗量總計達 14.31%。在電力使用部分，根據最新統計 109 年度我國電力消費工業部門占 55.6%，住宅及服務業部門共占 35.5%（其中住宅 18.5%、服務業 17.0%），建築部門每年之電力消費佔全國比例仍佔三分之一以上，另根據臺灣電力公司的統計顯示，夏季尖峰氣溫每上升 1°C，空調耗電量約上升 6%，因此推動建築節能減碳，有效節約能源為政府施政之重點方向。

對於降低建築能耗之策略除了提高建築設備的能源使用效率（例如：使用高能源效率的空調、照明設備等）外，另一發展重點為降低建築外殼能耗。目前，降低建築外殼能耗的方法大約可分為使用建築用隔熱材料、節能塗料、建築門窗用玻璃貼膜材料、隔熱外牆系統、隔熱屋頂系統、節能玻璃及隔熱門窗等，其中應用節能塗料造成屋頂溫度下降之冷屋頂(Cool Roof)技術已經被美國環保署證實為降低建築耗能與都市熱島效應之有效策略之一。

近年來建築節能塗料技術逐漸成熟，應用之隔熱原理亦多元，由於價格較其他建築外殼節能工法（如鋪設隔熱磚或隔熱材料等）低廉且施工及維護簡易，因應產業發展需求，本所新(2020年)版綠建材解說與評估手冊，高性能節能綠建材評定基準已新增「節能塗料」項目，本所配合業界檢測需求及協助高性能節能綠建材之推動，亟需辦理本項試驗方法之開發，及參與相關第三公正單

位認證，包括節能塗料之可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標等試驗方法，以提供更完整檢測服務。

本研究在資料蒐集過程發現，冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)於1998年成立，在節能塗料部分是一個相當知名的非營利組織，目前已建立相當完整評估機制，提供產品第三方認證，經統計截至本(110)年11月底共已登錄3千1百餘種塗料產品數據，值得進一步彙整探討，並與相關規範進行分析比較，俾供新(2020年)版綠建材標章新增項目推動之參考。

本所於108年4月與國立成功大學能源科技與策略研究中心簽署綠色建材產業聯盟合作協議，透過「建構臺灣最完整之國家實驗研究中心」之合作目標，期望提供國內最完善之技術服務。鑒於執行成效良好，本所續於109年2月24日報部奉核授權與國立成功大學簽署共同研發合作協議，協議內容包括：促進雙方共同研發、合作，共同致力推動產學、人才培育，以及研發與應用相關服務與諮詢，以及其他經雙方同意事項。

另經濟部在「前瞻基礎建設計畫」架構下，於去(109)年在「沙崙智慧綠能科學城」完成建置「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」，並委託工業技術研究院代管，工業技術研究院再委託國立成功大學能源科技與策略研究中心操作執行，針對綠能建築技術開發與產品性能檢測驗證所需，提供國內產學研各界共同使用。

本(110)年該中心刻於本所防火實驗中心戶外實驗場合作建置「低碳-韌性實驗展示屋」，以整合協助業界研發驗證與技術推廣，可供後續全尺度實測實驗，探討達到高性能節能綠建材基準之節能產品之空調耗能及熱舒適性等因子，以供節能設計應用參考。

本研究採用之方法主要包括以下項目：

(一) 資料收集法：

蒐集塗料應用規範、技術文獻以及相關量測標準，以及性能對室內熱環境和節能效果影響的研究與進展，並透過國外量測標準之解析，作為研制(修)相關 CNS 標準草案方向之建議。

(二) 統計分析法：

彙整冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)網站公布之 3,000 多種塗料產品性能數據，包括日光反射率、放射率及太陽反射指標 SRI 等，並與相關規範進行比較，作為綠建材標章制度新增項目推動之參考。

(三) 實測試驗法

整合性能實驗中心現有設備，完成檢測技術開發，包括標準作業程序(SOP)、不確定度分析及能力試驗比對計畫等，並辦理 TAF 增列認證，及合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」全尺度實驗設備之建置，以提供業界更完整檢測及技術服務。

(四) 歸納分析法：

綜合資料蒐集、統計分析、實測試驗及前期研究成果進行比較分析，俾整理提出相關建議，以供後續應用參考。

## 第二節 研究內容

表 1-2.1 研究內容與進度說明

| 工作項目                | 第一月  | 第二月  | 第三月  | 第四月  | 第五月  | 第六月  | 第七月  | 第八月  | 第九月  | 第十月   | 備註 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----|
| 相關文獻資料蒐集與整理         | ■    | ■    | ■    |      |      |      |      |      |      |       |    |
| 國內外量測規範與基準彙析        |      | ■    | ■    |      |      |      |      |      |      |       |    |
| CRRC 公布之塗料性能數據彙整與分析 |      |      | ■    | ■    | ■    | ■    |      |      |      |       |    |
| 節能塗料實驗設備整備及檢測技術開發   |      | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |      |       |    |
| 期中簡報                |      |      |      |      |      | ■    |      |      |      |       |    |
| 撰寫標準作業程序及不確定度分析報告   |      |      |      |      | ■    | ■    | ■    | ■    |      |       |    |
| 「低碳-韌性實驗展示屋」設備之建置   |      |      | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |       |    |
| 實驗室「節能塗料」能力試驗比對計畫   |      |      |      |      |      |      | ■    | ■    | ■    |       |    |
| 期末簡報                |      |      |      |      |      |      |      |      | ■    |       |    |
| 申請「節能塗料」TAF 增列認證    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ■     |    |
| 期末報告修正並完成成果報告       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ■     |    |
| 預定進度(累積數)           | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % | 80 % | 90 % | 100 % |    |
| 說明：研究進度以粗線表示其起訖日期。  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |    |



### 第三節 研究流程與步驟

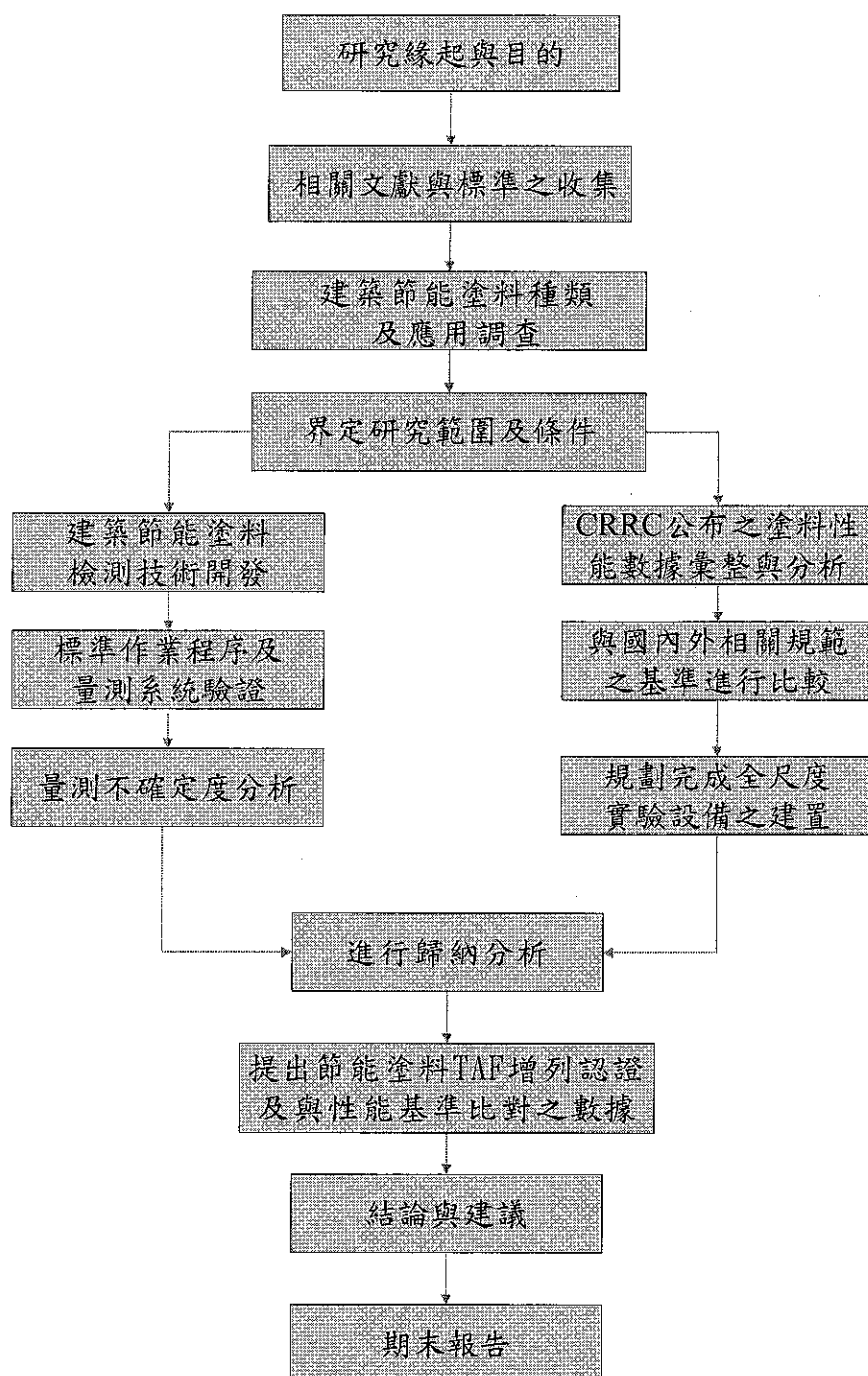


圖 1-3.1 研究流程與步驟

## 第二章 資料蒐集與文獻分析

### 第一節 建築節能塗料種類及應用

臺灣位處亞熱帶氣候區，每年 5 月起，主要城市的氣溫攀升至 27°C 以上，一直到 10 月才逐漸進入秋天的氣候。根據「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」中依資料庫的統計，以多年溫度資料計算「氣候季節」的天數，各主要城市夏季天數逐年增加，冬季天數則逐年減少。為能在越來越長且越來越熱的夏季時期維持生活與工作品質，空調成為必要的手段之一。空調用電主要的熱負荷來源包括：「室內發散熱負荷」、「新鮮外氣熱負荷」及「建築外殼熱負荷」，其中建築外殼熱負荷為最重要的一項。若能使用節能之建築外殼，可大幅降低夏季時之空調用電，而外殼使用之節能塗料，是其中關鍵建材原料之一。

以節能塗料來降低空調負載，達到節電、減碳的效益是有效的，此種塗料可藉由反射陽光輻射以減少屋頂及外牆吸收太陽光熱能，也減少進入屋內之熱量。「反射型節能塗料」是一種簡便易行、效果明顯的節能材料，目前在美國與日本皆為重要之節能手法之一，為因應產業發展需求，本所新(2020 年)版綠建材解說與評估手冊，除既有「節能玻璃」項目，大幅擴充了高性能節能綠建材評定範圍，集思廣益增加「建築用隔熱材料」、「節能塗料」、「建築門窗用玻璃貼膜材料」、「隔熱外牆系統」、「隔熱屋頂系統」等 5 項，以供各界多元選擇，其中節能塗料之評估基準及試驗法，如表 2-1.1 所示，並自去(109)年 7 月 1 日開始實施，另有關塗料應用、種類及隔熱原理分述如下：

表 2-1.1 高性能節能綠建材評定基準表:節能塗料

| 受理項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 評估基準                     | 試驗法                                  | 備註       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------|
| 節能塗料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 太陽輻射反射率 >0.70<br>SRI >80 | CNS 12381<br>ISO 9050<br>ASTM E 1980 | 需符合耐候性要求 |
| <p>【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。</p> <p>【試驗方法】1.CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。</p> <p>2.ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.</p> <p>3.ASTM E 1980: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.</p> <p>4.上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。</p> |                          |                                      |          |

（資料來源:綠建材解說與評估手冊 2020 年版）

#### 一、塗料應用、種類：

塗料是指一種液態或粉態材料，它可通過某種特定的施工工藝塗覆在物體表面，經乾燥固化後形成牢固附著，具有一定強度的、連續的固態塗膜，對被塗物具有保護、裝飾或其他特殊功能具有保護、裝飾及特殊功效之材料(如防蝕、絕緣、隔熱及標誌等)。就以木製品來說，由於木製品表面屬多孔結構，不耐髒污。同時木製品的表面多節眼，不夠美觀。而塗料就能同時解決這方面的問題。

早期國內的建築塗料是以保護及裝飾為主要訴求，但隨著溫室效應及節能減碳觀念的普及，節能塗料已越來越受到重視，尤其目前國內的建築物外殼主要為外牆水泥，搭配磚瓦結構，皆不是最有效的隔熱材料，必須依靠其他填充材料來達到室內降溫的目的。常見建築外牆屋頂隔熱方式，有使用保麗龍、屋頂鋪設一層PU防水隔熱塗料或加裝隔熱材料於外牆夾層、內

表面或使用雙層玻璃窗、雙層外牆，以空氣為中間夾層作為隔熱、斷熱之用。但因施工較繁瑣，因此部分業者研發在塗料中加入具有反射熱輻射及阻斷熱傳導的材料，以達到建築省能與舒適的性目的。

建築塗料種類繁多，我們又常常習慣按某些特定的性能來分，對於建築塗料通常分類如下：

- 1.按照建築物使用的部分來分，可以分為：內牆塗料、外牆塗料、頂棚塗料、地面塗料及屋面塗料。
- 2.按照主要成膜物質的性質來分，可以分為有機塗料、無機塗料、有機系丙烯酸外牆塗料、無機系外牆塗料、有機無機複合系塗料。
- 3.按照建築塗料的形態來分，可以分為固態塗料(粉末塗料)、液態塗料(溶劑型塗料、水溶性塗料、水乳性塗料)。
- 4.按照塗料的光澤度來分，可以分為高光型或有光型塗料、絲光型或半定型塗料、無光型或亞光型塗料。
- 5.按照塗料的塗層狀態來分，可以分為平塗塗料、砂壁狀塗料、含石英砂的裝飾塗料、仿石塗料等。
- 6.按照塗膜的特殊性能來分，可以分為防水塗料、防火塗料、隔熱塗料、防腐塗料、防霉塗料、防蟲塗料、防銹塗料、防結露塗料、保濕塗料、耐鹼(鹽霧)塗料、耐高熱塗料、彈性塗料、汽車塗料等。
- 7.按照塗膜的狀態來分，可以分為平面塗料、彩砂塗料、複層塗料。
- 8.依塗覆之素材來分，可以分為金屬塗料、塑膠塗料、碳纖維塗料、陶瓷塗料、木材(器)塗料、石材塗料、其他素材塗料。
- 9.依乾燥性方式來分，可以分為焙烤塗料、自然乾燥塗料。

## 二、節能塗料原理及應用：

### 1. 節能塗料隔熱原理

熱量傳遞主要是經傳導(Conduction)、對流(Convection)及輻射(Radiation)等三種方式進行。熱傳導是熱經由固體或靜止流體由高溫輸送至低溫的現象；熱對流是熱經由流體由高溫輸送至低溫的現象；熱輻射則不須介質，將高溫物體發射的電磁波把熱輸送至低溫物體表面，由該物體吸收傳遞熱能的現象。其中，輻射是太陽傳遞熱量的主要途徑，其中太陽輻射包括紫外線(波長300~380nm)占5%、可見光(波長380~780nm)占46%及紅外線(波長780~2,500nm)占49%，其中大部分熱源是來自紅外線及可見光。而太陽的輻射光源照射在建築物外牆時會產生反射及吸收的現象。當建築物外牆吸收輻射光線後，會讓物質的電子激發產生能階變化或化學鍵結產生震動，能階的激發與化學鍵結震動的結果均會產生熱能的釋放，而致使溫度上升。

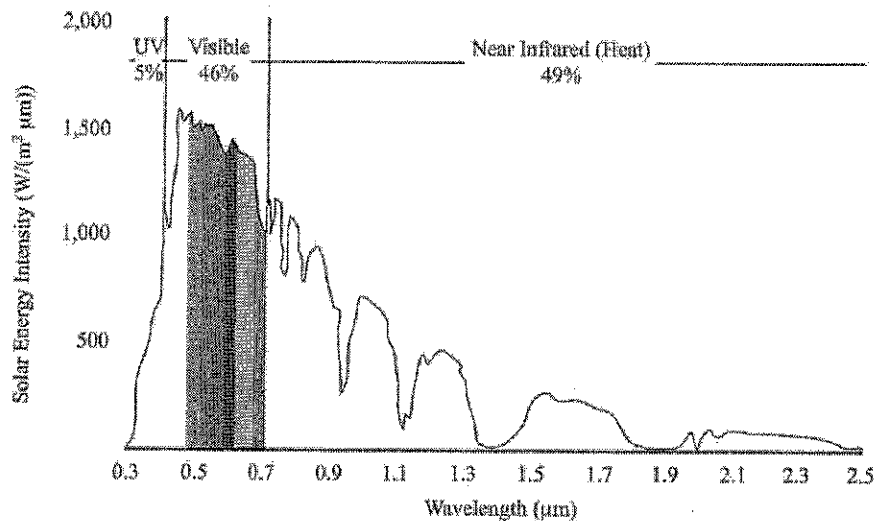


圖 2-1.1 太陽熱能分布圖

（資料來源:傅懷廣，2019）

隔熱主要是阻止熱量經由傳導、對流或輻射等3種方式，或其他組合抑制熱傳遞者，熱傳遞在流體中是藉由粒子的碰撞，在固體中則由聲子傳遞所達成，或者可將其視為晶體藉由熱能引發彈性波來達成。因此，增加固體中複合相的比例及孔洞，可增加熱能散射及折射的機率，亦即降低熱能在固體中傳遞的能量與速率。在一般對節能塗料的設計，主要是中間層產生一微細的蜂巢狀組織以增加熱能的散射、折射與消散，表面層則施以淺色、光亮的面漆以增加太陽輻射熱的反射，其主要隔熱機制，包含：熱傳導、輻射、對流。

節能塗料塗料抑制太陽輻射熱吸收和屏蔽熱量傳導，要想達到高的太陽光反射率，則必須選用高反射係數的顏料，但顏料的顏色對反射率有很大影響，通常隨著亮度的降低，反射率越低，因此應用較多的反射型節能塗料以白色或淺色系居多。然而，白色或淺色系塗膜因反射大量的太陽光，容易造成刺眼及危害交通安全等「反光公害」問題，可能引發交通事故與損鄰事件，因此也要留意可視光反射率光害議題。

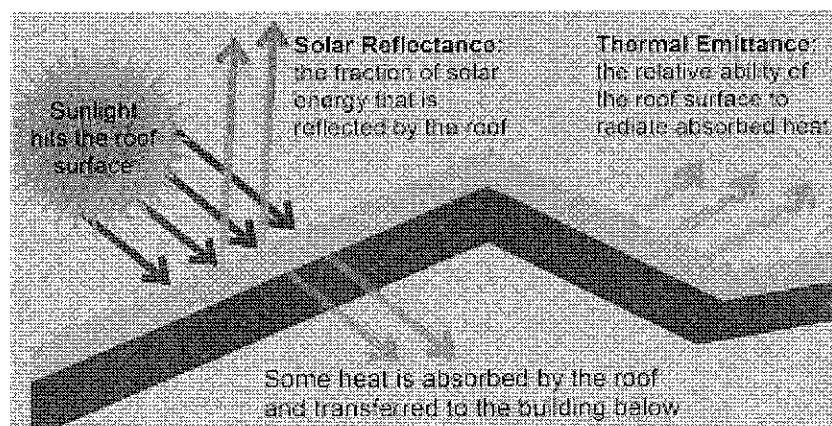


圖 2-1.2 節能塗料隔熱機制(屋頂)

(資料來源: Roof Rating Council, CRRC 網站)

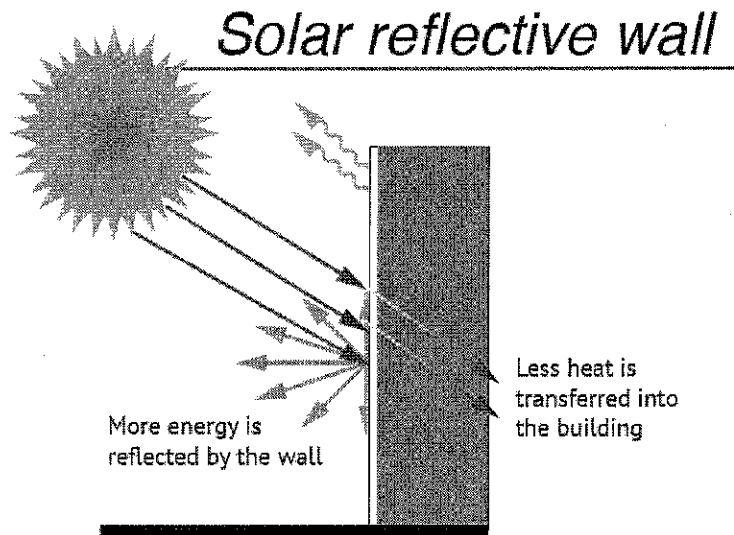


圖 2-1.3 節能塗料隔熱機制(牆)

(資料來源: Roof Rating Council, CRRC 網站)

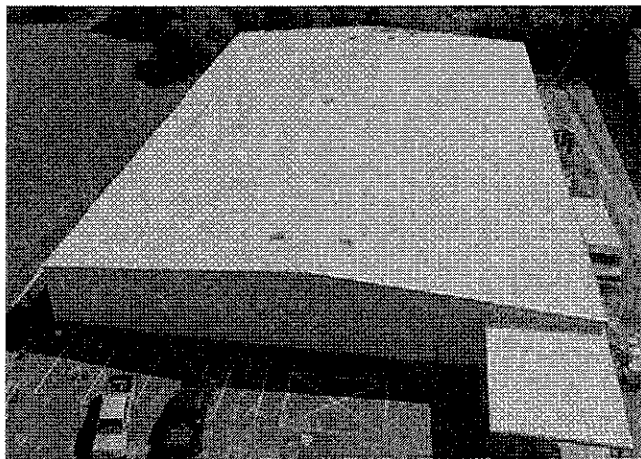


圖 2-1.4 節能塗料應用案例

(資料來源: Roof Rating Council, CRRC 網站)

## 2. 節能塗料隔熱應用類型

### (1) 阻隔型節能塗料

阻隔型隔熱塗料由基料、溶劑、天然矽酸鹽纖維或其他礦物保溫材料和適量輕質材料製成。外觀為稠厚漿體，一般採用

塗抹方式，但也可採用噴塗方式，是一種厚膜塗料，塗料厚度一般為10~20mm，塗料在經過充分乾燥固化後，塗層具有一定阻擋熱傳導的能力。該型塗料的密度很低，一般在500公斤/立方公尺以下，因而在乾燥成膜後其塗料的導熱係數很小，一般在0.035~0.12W/(m·K)之間。

物體的導熱性是材料本身傳導熱量的性質，當材料兩面有溫差時，熱量能夠由溫度高的一面傳向溫度低的一面。若材料的厚度為d，面積為A，兩面的溫度為T及T<sub>0</sub>，在Z小時內通過面積A的總能量為Q，則熱傳導係數定義如下：

$$\frac{Q}{AZ} = \frac{k \cdot (T - T_0)}{d} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$k = \frac{Q \cdot d}{A \cdot Z \cdot (T - T_0)} \dots\dots\dots (2-2)$$

熱傳導係數k [W/(m·K)]為一個物理量，表示物體或材料傳導熱量能力的大小。k 越大，物體的導熱性能越好；k 越小，絕熱性能越好。一般材料的導熱係數在0.03~3.50W/(m·K)之間，另材料的密度越大，其導熱性越好，熱傳導係數越大；然而，對於含有孔隙的材料而言，孔隙率越大，密度越小，其熱傳導係數越小。具有細微和封閉孔隙的材料由於沒有空氣產生對流而使導熱性提高之問題，導熱係數因而比孔隙粗大的材料小。隔熱塗料塗佈成一定厚度的塗膜，其塗膜密度小，並內含大量封閉孔隙，因此大多數的阻隔型節能塗料其熱傳導係數都在0.07 W/(m·K)以內，具有良好的隔熱性能。

## (2)反射型節能塗料

反射型隔熱塗料也稱為日光熱反射塗料，是為滿足軍事上



的需求而開發的，即透過該塗料的作用可降低及減弱敵方的紅外線偵測設備的效果，改變自身熱輻射的特徵或使目標自身綜合熱散射的特徵與周遭背景相融合。利用該塗料具備紅外線反射功能的特性，避免建築物吸收紅外線而升溫。任何物質都具有反射或吸收一定波長的太陽光性能，太陽光絕大部分處於紫外光區(300~380nm)、可見光區(380~780nm)及近紅外光區(780~2500nm)，其中以可見光區及近紅外光區熱輻射能量分別占47%及50%。

反射型塗料的基本原理是透過塗料中的顏料、填料粒子將日光中的紅外光輻射反射或將其吸收的熱能輻射到外部空間，以降低物體自身的溫度。實際上，太陽輻射熱絕大部分處於400~1800 nm 範圍內，因此，在該波長範圍內，塗料的反射率越高，隔熱效果越好。其中高折射率的白色顏料具有較好的隔熱效果，如金紅石型二氧化鈦(折射率2.8)、白雲母粉(折射率1.58)、空心玻璃微珠(折射率1.57)等，如表2-1.2 所示。

表2-1.2 塗料添加物質之折射指數及顏色

| 添加物質     | 折射指數 | 顏色  |
|----------|------|-----|
| 金紅石型二氧化鈦 | 2.8  | 白色  |
| 重鈣       | 1.63 | 白色  |
| 滑石粉      | 1.56 | 灰白色 |
| 高嶺土      | 1.56 | 白色  |
| 雲母粉      | 1.58 | 白色  |
| 珍珠岩      | 1.51 | 白色  |
| 空心玻璃微珠   | 1.57 | 白色  |

(資料來源：李訓谷等，2015)

### (3)輻射型節能塗料

輻射型隔熱塗料的隔熱原理是透過輻射的形式把建築物的日照光線和熱量以一定的波長輻射到空氣中，進而達到良好的隔熱降溫效果。由於此種塗料是透過抵達建築物表面輻射轉化為熱反射電磁波輻射到大氣中而達到隔熱的目的，因此該塗料的關鍵技術在於配置具有高熱輻射率的塗料成份，諸如氧化鐵、氧化錳、氧化鈷及氧化銅等金屬氧化物皆具有高熱輻射率的特性。另外氣象學的研究表示，在波長 $8\sim 15\mu\text{m}$ 的區域內，地面上的紅外線輻射可直接輻射到外層空間。研究顯示，在塗料中加入三氧化二鋁、二氧化鈦等金屬氧化物粉末填料，可輻射 $5\sim 15\mu\text{m}$ 的波段內的紅外線之能力達85%以上。

### 3.節能塗料隔熱應用實測

依據傅懷廣研究(2019)於模型屋左右兩側分別塗以一般黑漆與反射型節能塗料，以鹵素燈照射後其可視光與紅外線影像如圖2-1.5及圖2-1.6所示，經過測量，左側(一般黑漆)屋頂表面溫度為 $78^{\circ}\text{C}$ ；右側(反射型節能塗料)屋頂表面溫度為 $40^{\circ}\text{C}$ ，表面溫度差約 $38^{\circ}\text{C}$ ，透過紅外線顯影設備測試，可明顯看出節能塗料有顯著降溫效果。

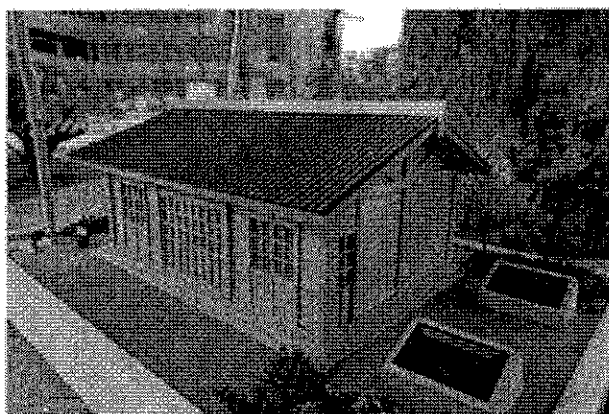


圖 2-1.5 節能塗料應用案例-模型屋

(資料來源: 傅懷廣, 2019)

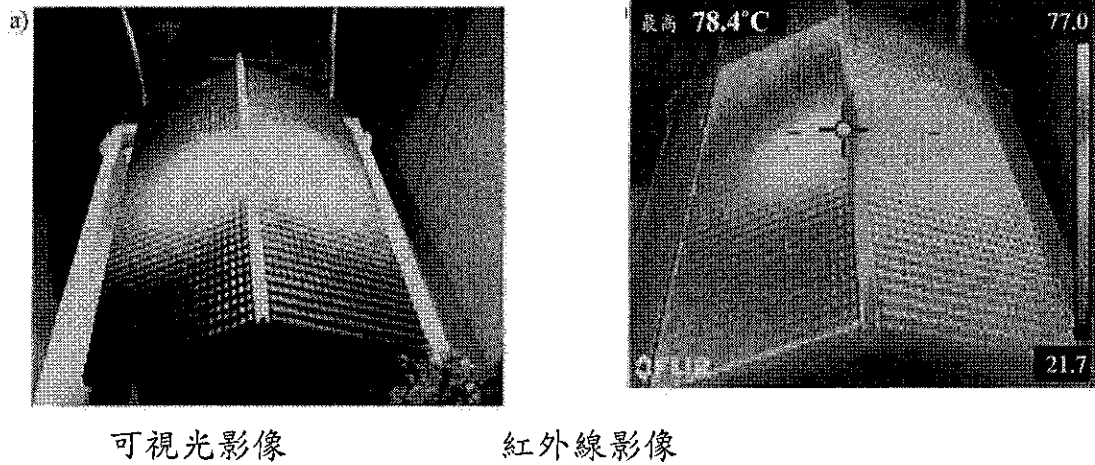


圖 2-1.6 節能塗料應用案例(模型屋)

(資料來源: 傅懷廣, 2019)

另日本建築材料試驗中心 (Japan Testing Center for Construction Materials, JTCCM) 於屋頂戶外實際曝曬試驗顯示，塗覆高日射反射塗料與無塗覆之混凝土屋頂面之溫度差異可達  $15^{\circ}\text{C}$  以上。

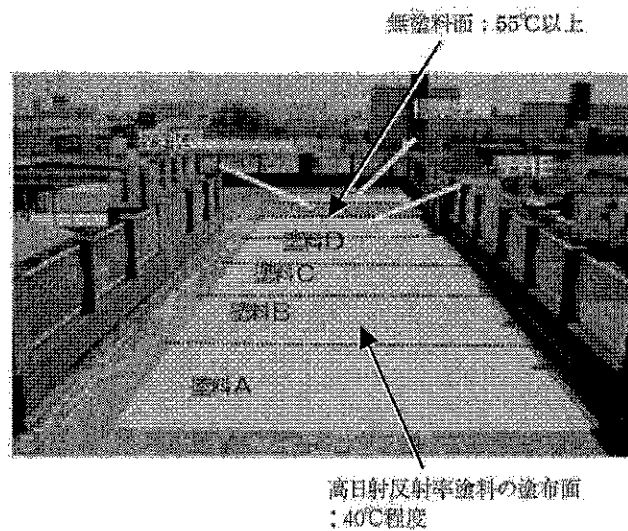


圖 2-1.7 節能塗料應用案例(混凝土屋頂面)

(資料來源: JTCCM網站)

## 第二節 國內外相關規範發展概況

### 一、我國有關塗料國家標準發展概況

隨著工業化及社會發展，對塗料產業技術提升之需求，我國早在民國 69 年起就陸續針對塗料發布 CNS 7039「防護塗料用脂肪酸檢驗法」、CNS5866「有機塗料酸值之檢驗法」、CNS8522「無鉛塗料鉛含量檢驗法」、CNS8515「透明塗料光安定性檢驗法」、CNS6241「塗料用磷矽酸鉛中水合水含量檢驗法」、CNS6240「塗料用磷矽酸鉛二氧化矽含量檢驗法」、CNS6239「塗料用磷矽酸鉛含磷量檢驗法」、CNS6238「塗料用磷矽酸鉛含鉛量檢驗法」、CNS6237「塗料用磷矽酸鉛」、CNS6236「塗料用鉛基氧化鋅」、CNS6235「塗料用硫化鋅」等 11 個標準，這些標準主要涉及範圍係提供塗料產業技術發展所需特性、材料、加工製造及性能分類等技術，以 70 年發布迄今仍沿用之 CNS 7039「防護塗料用脂肪酸檢驗法」為例，主要規範防護塗料用棉子油、亞麻仁油、大豆油、脫水蓖麻油、松油等脂肪酸檢驗步驟之選擇及應用，內容包括取樣、酸值、不飽和度、皂化值、灰分等。

另於 80 年間陸續公佈 CNS 10880「塗料成分檢驗法-通則」、CNS10880-1「塗料成分檢驗法-加熱殘分」~CNS10880-36「塗料成分檢驗法-溶劑分之氣相層析法定性及定量試驗」等 37 部一系列塗料成分之各項試驗法，包括例如塗料中銅之定量、溶劑不溶物中鋁之定量、溶劑不溶物中二氧化鈦之定量、……等，另於 90 年間陸續公佈 CNS 15200-1-1「塗料一般試驗方法—第 1—1 部：通則—一般試驗（條件與方法）」~CNS15200-9-3「塗料一般試驗法—第 9-3 部：粉體塗料—雷射繞射粒徑分析」等 57 部一系列塗料及塗膜有關產品之各項試驗標準，其中與節

能塗料產品長期性能測試有關分別為 CNS15200-7-5「塗料一般試驗法—第 7-5 部：塗膜之長期性能—室外暴露耐候性」、CNS15200-7-6「塗料一般試驗法—第 7-6 部：塗膜之長期性能—人工耐候性及人工輻射暴露（濾過的氙弧輻射暴露）」及 CNS15200-7-7「塗料一般試驗法—第 7-7 部：塗膜之長期性能—加速耐候性（紫外線螢光燈及水）」以進行耐候性量測，本研究以“塗料”為關鍵字查詢近年來我國建築相關國家標準共 128 份整理如表 2-2.1 所示。

表 2-2.1 我國近年來有關塗料公佈之國家標準

| 標準總號                              | 類號                            | 名稱                                                                                                                                           | 最新日期        |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| CNS16023                          | K2252                         | 金屬結構物用重防蝕塗料<br>Heavy-duty anticorrosive paints for metal structures                                                                          | 106/11/29   |
| CNS15832-1-1<br>~<br>CNS15832-4-2 | K61220-1-1<br>~<br>K61220-4-2 | 「塗料成分試驗法—第 1-1 部：通則—一般試驗條件」等 9 部<br>Method of test for coating components - Part 1-1: General rule - Common test conditions                  | 106/09/27 等 |
| CNS11728                          | K2146                         | 建築用防火塗料<br>Fire-retardant paints for buildings                                                                                               | 105/08/29   |
| CNS15931                          | K2251                         | 塗料一般安全規範<br>General safety requirements for paints                                                                                           | 105/08/29   |
| CNS15667                          | K2249                         | 無鉛無鉻防銹塗料<br>Lead-free, chromium-free anticorrosive paints                                                                                    | 105/01/14   |
| CNS15665                          | K2247                         | 鋼構用長期耐候性塗料<br>Long durable paints for steel structures                                                                                       | 102/10/15   |
| CNS15039-1                        | K61125-1                      | 塗料與清漆—揮發性有機化合物含量之測定—第 1 部：扣除法<br>Paints and varnishes - Determination of volatile organic compound (VOC) content - Part 1: Difference method | 100/07/07   |

| 標準總號                              | 類號                            | 名稱                                                                                                                                                                                                                    | 最新日期       |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| CNS15433                          | K2246                         | 塗料用語<br>Terminology for paints and varnishes                                                                                                                                                                          | 96/10/12   |
| CNS15200-1-1<br>~<br>CNS15200-9-3 | K61152-1-1<br>~<br>K61152-9-3 | 「塗料一般試驗方法—第 1—1 部：通則—一般試驗（條件與方法）」等 57 部<br>Testing methods for paints - Part 1-1 :<br>General rule - General test methods (conditions and methods)                                                                    | 96/10/12 等 |
| CNS15123                          | K61153                        | 塗料—總鉛測定—火焰原子吸收光譜法<br>Paints and varnishes - Determination of total lead - Flame atomic absorption spectrometric method                                                                                                | 96/09/14   |
| CNS15080                          | K61143                        | 建築用塗料之揮發性有機化合物（VOC）最大限量值<br>Maximum volatile organic compound content limit value for architectural coatings                                                                                                          | 96/05/14   |
| CNS15062                          | K61138                        | 塗料—逸散甲醛塗膜與三聚氰胺泡棉試驗法—小型容器中恒定狀態甲醛濃度之測定<br>Paints and varnishes - Testing of formaldehyde-emitting coatings and melamine foams - Determination of the steady-state concentration of formaldehyde in a small test chamber | 96/01/18   |
| CNS15040                          | K61126                        | 塗料與清漆—低VOC乳膠漆（罐內VOC）揮發性有機化合物含量之測定<br>Paints and varnishes - Determination of the volatile organic compound content of low - VOC emulsion paints (in-can VOC)                                                          | 95/10/20   |
| CNS9007                           | K6723                         | 塗料一般檢驗法—取樣及試驗一般條件<br>Method of Test for Paints - Sampling and General Condition                                                                                                                                       | 94/01/26   |

| 標準總號                           | 類號                       | 名稱                                                                                                                                  | 最新日期       |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| CNS14712                       | Z7306                    | 塗料及清漆—含二氧化硫潮濕大氣之抗腐蝕性測定法<br>Paints and varnishes-Determination of resistance to humid atmospheres containing sulfur dioxide          | 91/12/09   |
| CNS14463                       | A2275                    | 白水泥石灰塗料<br>White cement lime coating                                                                                                | 89/10/24   |
| CNS9725                        | K6733                    | 塗料一般檢驗法—塗料性狀<br>Method of Test for Paints-General Properties                                                                        | 85/05/23   |
| CNS13658                       | K2242                    | 塗料用試驗板<br>Test Panels for Paints                                                                                                    | 85/05/23   |
| CNS10757                       | K6801                    | 塗料一般檢驗法（有關塗膜之物理、化學抗性之試驗法）<br>Method of Test for Paints(Testing Methods Relating to Physical and Chemical Resistance of Coated Film) | 84/11/30   |
| CNS11607                       | K6877                    | 塗料一般檢驗法（有關塗膜之長期耐久性之試驗法）<br>Method of Test for Paints (Long-Term Properties of Coated Film)                                          | 84/11/30   |
| CNS9894                        | K6736                    | 塗料一般檢驗法—儲存安定性<br>Method of Test for Paints - Storage Stability                                                                      | 84/01/26   |
| CNS10880                       | K6804                    | 塗料成分檢驗法—通則<br>Method of Test for Paint Components - General Rules                                                                   | 83/12/01   |
| CNS10880-1<br>~<br>CNS10880-36 | K6804-1<br>~<br>K6804-36 | 「塗料成分檢驗法—加熱殘分」等 36 部<br>Method of Test for Paint Components - Heating Residue                                                       | 83/12/01 等 |
| CNS10756                       | K6800                    | 塗料一般檢驗法（有關塗料的塗膜形成機能試驗法）<br>Method of Test for Paints (Film Formability of Paints)                                                   | 83/11/02   |

| 標準總號       | 類號      | 名稱                                                                                    | 最新日期     |
|------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| CNS10756-1 | K6800-1 | 塗料一般檢驗法（有關塗膜之視覺特性之試驗法）<br>Method of Test for Paints (Visual Character of Coated Film) | 83/11/02 |
| CNS12264   | K2200   | 塗料用三聚磷酸鋁<br>Aluminum Tri - Polyphosphate for Coating                                  | 83/11/02 |
| CNS12265   | K6951   | 塗料用三聚磷酸鋁檢驗法<br>Method of Test for Aluminum Tri - Polyphosphate for Coating            | 83/11/02 |
| CNS9895    | K6737   | 噴霧塗料中固形分測定法<br>Method of Test for Solid Contents of Aerosol Coatings                  | 72/01/12 |
| CNS7039    | K6630   | 防護塗料用脂肪酸檢驗法<br>Method of Test for Fatty Acids Used in Protective Coatings             | 70/03/04 |

（資料來源：本研究整理）

由表 2-2.1 可知國家標準關於“塗料”的標準目前主要著重塗料成分之檢驗、塗料及塗膜有關產品之各項性能試驗，包括通則、塗料性狀與安定性、塗膜形成性、塗膜視覺特性、塗膜機械性質、塗膜化學性質、塗膜之長期性能、塗膜劣化評估及粉體塗料等，惟節能塗料發展日新月異，可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標對建築節能與視覺效果亦相當重要，目前本所高性能節能塗料綠建材評定項目，在太陽輻射反射率部分係引用 CNS 12381「平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得係數試驗法」，太陽反射指標量測則引用美國 ASTM E1980-11「Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces」標準。



另 CRRC 協會塗料之日光反射率、放射率及太陽反射指標 SRI 等試驗係分別引用 ASTM E903 「Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres」、ASTM E408-13 「Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques」及 ASTM E1980-11 建議可納入國家標準發展或轉化參考，以協助相關產業發展。

## 二、建築技術規則相關規定

一棟建築物的壽命可達 50 年以上，尤其在夏日建築物的空調用電比例約占總尖峰用電的三分之一左右，若能減少建築物日常能源的消耗，得到的節能效益是很顯著的。有鑒於此，為了促進能源有效利用，在不妨礙居住環境之安全、健康和舒適條件下，建築技術規則在施工篇明確規定我國各類建築物的節約能源設計之基準，相關規定如下：

### 第三百零八條

建築物建築外殼節約能源之設計，應依據下表氣候分區辦理：

表 2-2.2 建築技術規則氣候分區

| 氣候分區  | 行政區域                                       |
|-------|--------------------------------------------|
| 北部氣候區 | 臺北市、新北市、宜蘭縣、基隆市、桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣、福建省連江縣、金門縣 |
| 中部氣候區 | 臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、花蓮縣                        |
| 南部氣候區 | 嘉義縣、嘉義市、臺南市、澎湖縣、高雄市、屏東縣、臺東縣                |

（資料來源：整理自【建築技術規則】）

### 第三百零八條之一

建築物受建築節約能源管制者，其受管制部分之屋頂平均熱傳透率應低於零點八瓦/（平方公尺·度），且當設有水平仰角小

於八十度之透光天窗之水平投影面積  $HWa$  大於一點零平方公尺時，其透光天窗日射透過率  $HWs$  應低於下表之基準值  $HWsc$ ：

表 2-2.3 建築技術規則透光天窗日射透過率基準

| 水平投影面積 $HWa$ 條件                   | 透光天窗日射透過率基準值 $HWsc$                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| $HWa < 30m^2$                     | $HWsc = 0.35$                             |
| $HWa \geq 30m^2$ 且 $HWa < 230m^2$ | $HWsc = 0.35 - 0.001 \times (HWa - 30.0)$ |
| $HWa \geq 230m^2$                 | $HWsc = 0.15$                             |
| 計算單位 $HWa$ ： $m^2$ ； $HWsc$ ：無單位  |                                           |

有下列情形之一者，免受前項規定限制：

- (一)屋頂下方為樓梯間、倉庫、儲藏室或機械室。
- (二)除月臺、觀眾席、運動設施及表演臺外之建築物外牆透空二分之一以上之空間。

建築物外牆、窗戶與屋頂所設之玻璃對戶外之可見光反射率不得大於零點二。

### 第三百零八條之二

受建築節約能源管制建築物，位於海拔高度八百公尺以上者，其外牆平均熱傳透率、立面開窗部位（含玻璃與窗框）之窗平均熱傳透率應低於下表所示之基準值：

表 2-2.4 建築技術規則窗平均熱傳透率基準

| 海拔            | 外牆平均熱傳透率基準值<br>( $W/(m^2 \cdot K)$ ) | 立面開窗率 $WR$                          |                     |                     |               |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|
|               |                                      | $WR > 0.4$                          | $0.4 \geq WR > 0.3$ | $0.3 \geq WR > 0.2$ | $0.2 \geq WR$ |
|               |                                      | 窗平均熱傳透率基準值<br>( $W/(m^2 \cdot K)$ ) |                     |                     |               |
| 海拔 800~1800m  | 2.5                                  | 3.5                                 | 4.0                 | 5.0                 | 5.5           |
| 海拔高於 (含)1800m | 1.5                                  | 2.0                                 | 2.5                 | 3.0                 | 3.5           |

受建築節約能源管制建築物，其外牆平均熱傳透率、外窗部位（含玻璃與窗框）之窗平均熱傳透率及窗平均遮陽係數應低於下表所示之基準

值；住宿類建築物每一居室之可開啟窗面積應大於開窗面積之百分之十五。但符合前項、本編第二百零九條至第三百十二條規定者，不在此限：

（資料來源：整理自【建築技術規則】）

表 2-2.5 外牆及立面開窗部位（含玻璃與窗框）之節能基準值

| 類別     | 外牆平均熱傳透率基準值<br>(W/(m <sup>2</sup> .K)) | 立面開窗率>0.5 |      | 0.5≥立面開窗率>0.4 |      | 0.4≥立面開窗率>0.3 |      | 0.3≥立面開窗率>0.2 |      | 0.2≥立面開窗率>0.1 |      | 0.1≥立面開窗率 |      |
|--------|----------------------------------------|-----------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|-----------|------|
|        |                                        | U         | SC   | U             | SC   | U             | SC   | U             | SC   | U             | SC   | U         | SC   |
| 住宿類建築  | 2.75                                   | 2.7       | 0.10 | 3.0           | 0.15 | 3.5           | 0.25 | 4.7           | 0.35 | 5.2           | 0.45 | 6.5       | 0.55 |
| 其他各類建築 | 2.0                                    | 2.7       | 0.20 | 3.0           | 0.30 | 3.5           | 0.40 | 4.7           | 0.50 | 5.2           | 0.55 | 6.5       | 0.60 |

註：U 為窗平均熱傳透率基準值、SC 為窗平均遮陽係數基準值

（資料來源：整理自【建築技術規則】）

### 第二百零九條

A 類第二組、B 類、D 類第二組、D 類第五組、E 類、F 類第一組、F 類第三組、F 類第四組及 G 類空調型建築物，及 C 類之非倉儲製程部分等空調型建築物，為維持室內熱環境之舒適性，應依其耗能特性分區計算各分區之外殼耗能量，且各分區外殼耗能量對各分區樓地板面積之加權值，應低於下表外殼耗能基準對各分區樓地板面積之加權平均值。但符合本編第二百零八條之二規定者，不在此限：

表 2-2.6 建築技術規則外殼耗能基準

| 耗能特性分區        | 氣候分區  | 外殼耗能基準值<br>千瓦·小時/(平方公尺·年) |
|---------------|-------|---------------------------|
| 辦公、文教、宗教、照護分區 | 北部氣候區 | 一百五十                      |
|               | 中部氣候區 | 一百七十                      |
|               | 南部氣候區 | 一百八十                      |
| 商場餐飲娛樂分區      | 北部氣候區 | 二百四十五                     |
|               | 中部氣候區 | 二百六十五                     |
|               | 南部氣候區 | 二百七十五                     |
| 醫院診療分區        | 北部氣候區 | 一百八十五                     |

|            |       |       |
|------------|-------|-------|
|            | 中部氣候區 | 二百零五  |
|            | 南部氣候區 | 二百十五  |
| 醫院病房分區     | 北部氣候區 | 一百七十五 |
|            | 中部氣候區 | 一百九十五 |
|            | 南部氣候區 | 二百    |
| 旅館、招待所客房區  | 北部氣候區 | 一百十   |
|            | 中部氣候區 | 一百三十  |
|            | 南部氣候區 | 一百三十五 |
| 交通運輸旅客大廳分區 | 北部氣候區 | 二百九十  |
|            | 中部氣候區 | 三百十五  |
|            | 南部氣候區 | 三百二十五 |

(資料來源:整理自【建築技術規則】)

### 第三百十條

住宿類建築物外殼不透光之外牆部分之平均熱傳透率應低於三點五瓦/(平方公尺·度),且其建築物外殼等價開窗率之計算值應低於下表之基準值。但符合本編第二百零八條之二規定者,不在此限:

表 2-2.7 建築技術規則建築物外殼等價開窗率基準值

| 住宿類:  | 氣候分區  | 建築物外殼等價開窗率基準值 |
|-------|-------|---------------|
| H類第一組 | 北部氣候區 | 百分之十三         |
|       | 中部氣候區 | 百分之十五         |
| H類第二組 | 南部氣候區 | 百分之十八         |

(資料來源:整理自【建築技術規則】)

### 第三百十一條

學校類建築物之行政辦公、教室等居室空間之窗面平均日射取得量應分別低於下表之基準值。但符合本編第二百零八條之二規定者,不在此限:

表 2-2.8 建築技術規則窗面平均日射取得量基準值

| 學校類建築物：<br>D類第三組<br>D類第四組<br>F類第二組 | 氣候分區  | 窗面平均日射取得量基準值<br>單位：千瓦·小時／（平方公尺·年） |
|------------------------------------|-------|-----------------------------------|
|                                    | 北部氣候區 | 一百六十                              |
|                                    | 中部氣候區 | 二百                                |
|                                    | 南部氣候區 | 二百三十                              |

（資料來源：整理自【建築技術規則】）

第三百十二條

大型空間類建築物居室空間之窗面平均日射取得量應分別低於下表公式所計算之基準值。但平均立面開窗率在百分之十以下，或符合本編第三百零八條之二規定者，不在此限：

表 2-2.9 建築技術規則窗面平均日射取得量基準值計算公式

| 大型空間類<br>建築物：<br>A類第一組<br>D類第一組 | 氣候分區                                   | 窗面平均日射取得量基準值計算公式                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
|                                 | 北部氣候區                                  | 基準值 = $146.2X^2 - 414.9X + 276.2$ |
|                                 | 中部氣候區                                  | 基準值 = $273.3X^2 - 616.9X + 375.4$ |
|                                 | 南部氣候區                                  | 基準值 = $348.4X^2 - 748.4X + 436.0$ |
|                                 | X：平均立面開窗率（無單位）<br>基準值單位：千瓦·小時／（平方公尺·年） |                                   |

（資料來源：整理自【建築技術規則】）

### 第三百十四條

同一幢或連棟建築物中，有供本節適用範圍二類以上用途，且其各用途之規模分別達本編第二百九十八條第三款規定者，其耗能量之計算基準值，除本編第二百零九條之空調型建築物應依各耗能特性分區樓地板面積加權計算其基準值外，應分別依其規定基準值計算。

### 第三百十五條

有關建築物節約能源之外殼節約能源設計，應依設計技術規範辦理。

前項建築物節約能源設計技術規範，由中央主管建築機關定之。

## 三、高性能節能綠建材相關規定

綠建材(Green Building Material)係指「在原料採取、產品製造、使用過程和再生利用循環中，對地球造成之環境負荷最小、對人體健康無害之建材」，本所建立之綠建材標章制度即依此意涵，基於「人本健康、地球永續」精神，依據建材生命週期，訂定四大範疇進行評定，包括：生態、健康、高性能及再生綠建材四大分類，自 93 年 7 月正式受理申請，屬自願申請性質，另「建築技術規則」自 95 年起於建築設計施工編中增訂綠建材相關規定，明定供公眾使用建築物之室內綠建材使用率應達 5% 以上，且該規定於 101 年 7 月 1 日修正實施，將綠建材使用率提升至 45% 以上，且戶外使用率應達 10% 以上。本部並於 108 年 12 月 31 日發布修正規定，自 110 年 1 月 1 日起，將綠建材使用率提升至 60% 以上，且戶外使用率應達 20% 以上。

綠建材標章截至 109 年 12 月底止，歷年已累計核發 2,668 件標章，產品包括塗料、天花板、地板、隔間牆材料、吸音材、

磁磚、透水磚、接著劑、節能玻璃、隔音門窗等共 19,298 種系列產品，為帶動產業發展，並為消費者把關，新(2020 年)版綠建材解說與評估手冊大幅增修訂綠建材標章評定基準，擴大綠建材申請範圍，以切合產業界與消費者之實務需求，並發布自 109 年 7 月 1 日施行，主要增修訂內容概述如下：

(一)再生綠建材：評定基準由 22 項擴充至 27 項。

(二)高性能綠建材：防音綠建材評定基準由 3 項擴充至 5 項；  
 節能綠建材評定基準由「高性能節能玻璃綠建材」1 項增加「建築門窗用玻璃貼膜材料」、「建築用隔熱材料」、「外牆系統或構造」、「屋頂系統或構造」及「節能塗料」等 5 項，合計擴充至 6 項，其中高性能節能綠建材項目之評定基準如表 2-2.10～表 2-2.13 所示。

表 2-2.10 高性能節能綠建材評定基準表:建築用隔熱材料

| 受理項目                                                                                                                                                                  | 評估基準                        | 試驗法      | 備註              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------|-----------------|
| 建築用隔熱材料                                                                                                                                                               | 熱傳導係數 $\leq 0.044$<br>W/m·K | CNS 7332 | 品質基準參照 CNS 9960 |
| <p>【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。</p> <p>【試驗方法】1. CNS 7332：隔熱－穩態下之熱阻及相關性質測定－熱流計儀器。。</p> <p>2.上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。</p> |                             |          |                 |

(資料來源:綠建材解說與評估手冊 2020 年版)

表 2-2.11 高性能節能綠建材評定基準表:建築門窗用玻璃貼膜材料

| 受理項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 評估基準                   | 試驗法                  | 備註                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| 建築門窗用玻璃貼膜材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 遮蔽係數(Sc 值) $\leq 0.57$ | CNS12381<br>ISO 9050 | 需符合國家標準耐候性要求，若國內尚無可符合之耐候性國家標準時，得另提出適合之國際標準進行評定 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 可視光反射率 $\leq 0.20$     |                      |                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 可視光透射率 $\geq 0.60$     |                      |                                                |
| <p>【受理範圍】適用於建築物外殼門窗與出入口設置之單層或複層透明玻璃(但不包括有機玻璃)。</p> <p>【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。</p> <p>【試驗方法】1. CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。</p> <p>2. ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.</p> <p>3. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。</p> |                        |                      |                                                |

(資料來源:綠建材解說與評估手冊 2020 年版)

表 2-2.12 高性能節能綠建材評定基準表:屋頂及外牆系統或構造

| 受理項目                                                                                                                                                                                                                                                            | 評估基準                                      | 試驗法      | 備註 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------|----|
| 外牆系統或構造                                                                                                                                                                                                                                                         | U 值 $< 1.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  | ISO 8990 |    |
| 屋頂系統或構造                                                                                                                                                                                                                                                         | U 值 $< 0.72 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ | ISO 8990 |    |
| <p>【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。</p> <p>【試驗方法】1. ISO 8990：Thermal insulation-Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box。。</p> <p>2. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。</p> |                                           |          |    |

(資料來源:綠建材解說與評估手冊 2020 年版)



表 2-2.13 高性能節能綠建材評定基準表:節能玻璃

| 受理項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 評估基準                   | 試驗法                  | 備註 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|----|
| 1. 單層玻璃<br>2. LOW-E 玻璃<br>3. 膠合玻璃<br>4. 複層玻璃                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 遮蔽係數(Sc 值) $\leq 0.35$ | CNS12381<br>ISO 9050 |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 可視光反射率 $\leq 0.25$     |                      |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 可視光透射率 $\geq 0.50$     |                      |    |
| <p>【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。</p> <p>【試驗方法】1. CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。</p> <p>2. ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.</p> <p>3. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。</p> |                        |                      |    |

(資料來源:綠建材解說與評估手冊 2020 年版)

#### 四、國外有關節能塗料量測及管制發展資料

##### (一)有關節能塗料量測標準及計算規範

目前蒐集到有關節能塗料之標準可概分二大類(1)節能塗料光學及熱力測試規範(2)太陽反射指標計算規範，整理如表 2-2.14 所示。

表 2-2.14 國外有關節能塗料量測標準

| 標準性質 | 標準編號         | 名稱                                                                                                                | 更新日期    | 光學量測範圍                    |
|------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------|
| 節能塗料 | ASTM E903    | Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres | 2020.10 | 透射及反射:<br>300~2500nm      |
|      | ASTM E408-13 | Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques                    | 2019.10 | 紅外線輻射率:<br>5.5~50 $\mu$ m |

| 標準性質       | 標準編號            | 名稱                                                                                                                                                                            | 更新日期    | 光學量測範圍                                      |
|------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------|
| 光學及熱力測試規範  | ANSI/CRR C S100 | Standard Test Methods for Determining Radiative Properties of Materials                                                                                                       | 2016.05 | 透射及反射:<br>300~2500nm<br>紅外線輻射率:<br>5.5~50μm |
|            | ISO 9050        | Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors | 2003.08 | 透射及反射:<br>300~2500nm<br>紅外線輻射率:<br>5.5~50μm |
|            | BS EN 15976     | Flexible sheets for waterproofing. Determination of emissivity                                                                                                                | 2011.05 | 紅外線輻射率:<br>5.5~50μm                         |
|            | DIN EN 15976    | Flexible sheets for waterproofing. Determination of emissivity                                                                                                                | 2011.07 | 紅外線輻射率:<br>5.5~50μm                         |
| 太陽反射指標計算規範 | ASTM E1980-11   | Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces                                                                        | 2019.08 | —                                           |
|            | DIN EN 17190    | Flexible sheets for waterproofing Solar Reflectance Index                                                                                                                     | 2018.12 | —                                           |
|            | BS EN 17190     | Flexible sheets for waterproofing Solar Reflectance Index                                                                                                                     | 2018.10 | —                                           |

(資料來源：本研究整理)

## (二)國外屋頂產品之標準及標章

### 1.美國建築物能源效率標準(California Building Energy Efficiency Standards:2019)

美國加州最新版2019年建築物能源效率標準(2019 Building Energy Efficiency Standards)於2020年1月1日施行，本項標準旨在減少浪費、不經濟、效率低下或不必要的能源消耗，增強室內外環境環境質量，該標準已被納入加州法規（標題24/第6部分），適用於新建建築物以及增建和改建現有建築物。新標準將可確保建築商使用最節能的技術與建法，同時對房主而言，具有建築物的30年壽命達到成本效益。

依據2019年新標準建造的單戶住宅，將由於能源效率，會比過去依2016年標準，減少約7%的能源使用率。加上若使用屋頂太陽能發電，依2019年標準建造的房屋將減少約53%的能源消耗，相當於減少溫室氣體排放70萬噸。

其中在屋頂產品部分依建築類型屬性予以規範，在住宅類及低層建築部分，規定低斜度(低於2:12)屋頂產品之太陽能反射率 $\geq 0.63$ 、輻射率 $\geq 0.75$ 、太陽反射指標 $SRI \geq 75$ ；另高斜度屋頂(高於2:12)之太陽能反射率 $\geq 0.20$ 、輻射率 $\geq 0.75$ 、太陽反射指標 $SRI \geq 16$ 。

而在非住宅類及高層建築部分，規定低斜度(低於2:12)屋頂產品之太陽能反射率 $\geq 0.55$ 、輻射率 $\geq 0.75$ 、太陽反射指標 $SRI \geq 64$ ；另高斜度屋頂(高於2:12)之太陽能反射率 $\geq 0.20$ 、輻射率 $\geq 0.75$ 、太陽反射指標 $SRI \geq 16$ 。

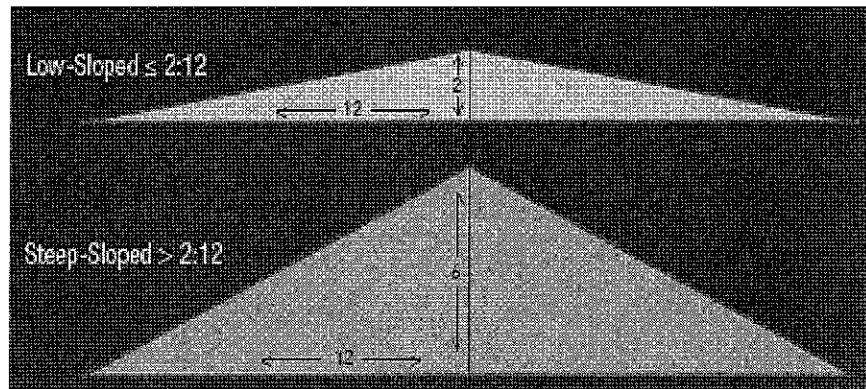


圖 2-2.1 低(高)斜度屋頂  
(資料來源: California Building Energy Efficiency Standards)

## 2.美國能源之星標章(Energy Star label:2019)

為了符合能源之星標章，美國環保局目前要求低斜度屋頂(低於2:12)初始和安裝3年後之屋頂產品其太陽能反射率不能小於0.65和0.50；高斜度屋頂(高於2:12)初始和安裝3年後之屋頂產品其太陽能反射率不能小於0.25和0.15。

對於能源之星標章有兩個規定不足的地方，第一是對於冷屋頂僅要求最低之太陽能反射率而沒有規定熱放射率之標準，即允許使用高太陽反射率，但低熱放射率產品，例如純金屬屋頂之太陽能反射率0.5、熱放射率0.15；第二，規定高斜度屋頂於使用三年後要維持太陽能反射率0.15，這僅排除了極少部分的屋頂材料(如：彩色玻纖瀝青瓦裡面的黑色類型)。

## 3.LEED綠建築評估體系

美國綠建築協會(USGBC)所制定的 Leadership in Energy and Environmental Design(LEED)以太陽反射指標SRI作為屋頂產品的評定基準，符合功能的材料建築才能獲得積分，其中新版LEED4.1要求低斜度屋頂(低於2:12)初始和安裝3年後之屋頂產品其太陽反射指標SRI不能小於82和64；高斜度屋頂(高於2:12)

初始和安裝3年後之屋頂產品其太陽反射指標SRI不能小於39和32；停車場所初始和安裝3年後之屋頂產品其太陽反射指標SRI不能小於39和32，另與LEED 2009規範之比較如表2-2.15所示。

表 2-2.15 LEED規範版本之屋頂產品基準比較

| 規範版本              | 屋頂類型        | 初始 | 安裝3年 |
|-------------------|-------------|----|------|
| LEED 2009         | 低斜度(低於2:12) | 78 | —    |
|                   | 高斜度(高於2:12) | 29 | —    |
|                   | 停車場所        | 29 | —    |
| LEED4.1<br>(2019) | 低斜度(低於2:12) | 82 | 64   |
|                   | 高斜度(高於2:12) | 39 | 32   |
|                   | 停車場所        | 39 | 32   |

(資料來源：本研究整理)

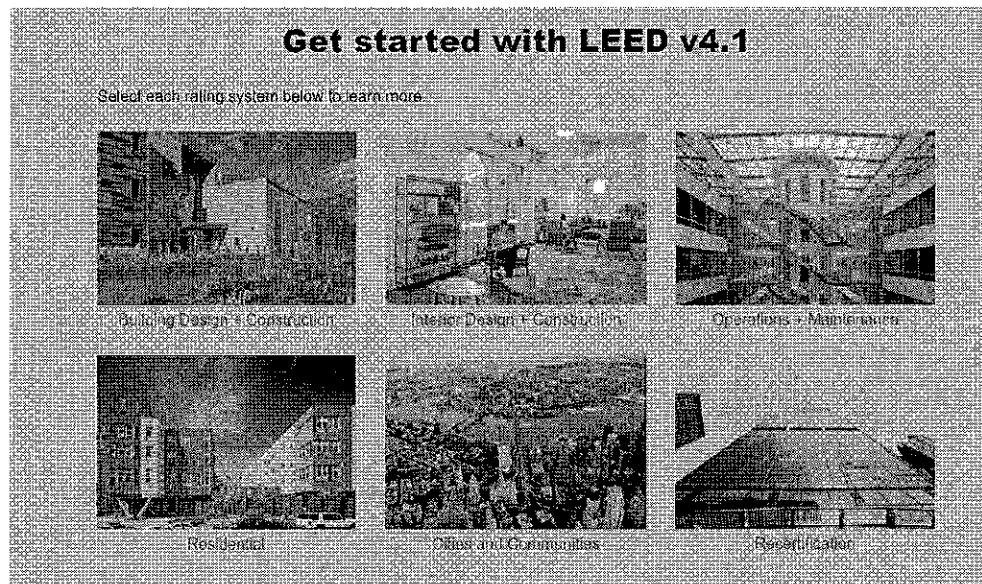


圖 2-2.2 LEED4.1 版

(資料來源: USGBC 網站)

#### 4. 日本屋頂用高反射率塗料規範(HIGH SOLAR REFLECTANT PAINT FOR ROOF:2016)

近年來世界對地球暖化的對策中，針對先進國家為了減少因生產、運輸和一般家庭生活中消耗的化石能源而導致的二氧化碳消耗量，在2020年達成國際公約降低25%二氧化碳排放標準，從1990年間開始引入各種新技術。其中，與夏季空調省電有關的新技術以及針對市區熱島現象的措施正引起人們的關注。熱島現象是由於綠地減少，建築物和道路覆蓋面會吸附儲存太陽輻射熱，並在夜間釋放。對於熱島現象的防護措施，有如增加綠地面積，或者是將太陽反射塗料塗裝到建築物（屋頂、外牆等）表面，藉此抑制室內溫度上升，目前已經證明此法可有效減少熱量累積。

因此在建築物中吸收最多太陽輻射的屋頂和露台上施工塗上高太陽能反射塗料，從白天和夜晚可減少冷氣能量消耗，即有可能發揮對熱島措施的效果，考慮到建立太陽反射特定性能調節之屋頂JIS標準規格的時機已成熟，日本於2011年7月制訂建立屋頂用高反射率塗料規範(JIS K 5675)，內容針對高太陽反射塗料，根據亮度分為兩種，由圖2-2.3日本高太陽反射率塗料的市場逐年成長，至2016年日本市場規模已達1.4萬噸，其近紅外線波長太陽反射率與亮度規範如表2-2.16所示：

##### (1) 低亮度和中亮度區域( $L^* < 80.0$ )：

與常用相同亮度的普通塗料相比，特殊材料選擇用於提高太陽反射率，並且其太陽反射率、太陽反射率保持率和其他質量的塗料保證在一定水平。

##### (2) 高亮度區域( $L^* \geq 80.0$ )：

通過滿足太陽輻射反射率的水平(太陽反射率)來保證太陽

反射率保持率或其他質量的塗料，該太陽輻射反射率是高亮度區域和高於特定值塗料的特徵。

表 2-2.16 近紅外線波長太陽反射率與亮度規範

| 亮度(L*)範圍                | 近紅外線波長太陽反射率(%)<br>(780~2500 nm) |
|-------------------------|---------------------------------|
| 低亮度 $L^* \leq 40.0$     | $\geq 40.0$                     |
| 中亮度 $40.0 < L^* < 80.0$ | $\geq L^*$ 值                    |
| 高亮度 $L^* \geq 80.0$     | $\geq 80.0$                     |

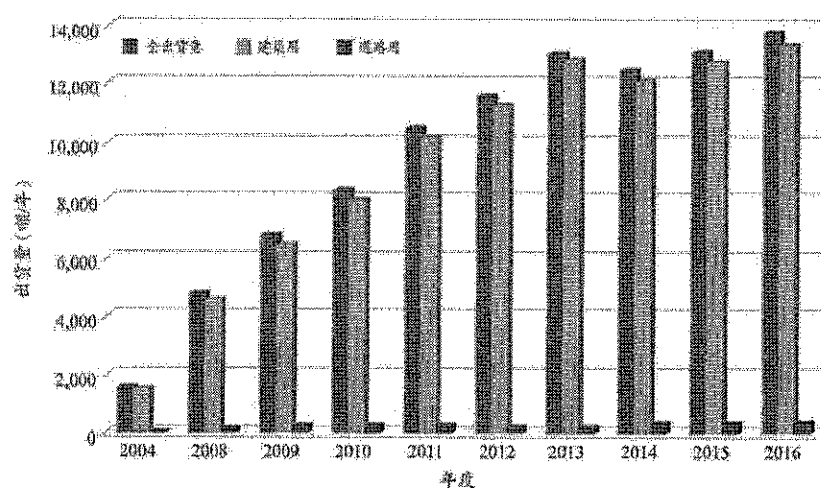


圖 2-2.3 日本高太陽反射率塗料市場規模  
(資料來源: 傅懷廣, 2019)

### 第三節 建築節能塗料應用相關研究

#### 一、節能塗料實測研究：

##### 1.屋頂隔熱對策全尺度節能實證之研究（黃國倉等，內政部建築研究所委託研究成果報告，2016 年 12 月）

該研究利用 6 個全尺寸實驗屋同步探討薄層屋頂綠化、密集型屋頂綠化、雙層通風屋頂、屋頂節能塗料(或冷屋頂)、傳統 PS 隔熱板隔熱以及傳統五腳磚隔熱屋頂等 6 種不同屋頂隔熱工法對空調耗能及室內環境影響，結果顯示，在空調連續運轉下，相較於五腳磚隔熱屋頂，雙層通風屋頂、冷屋頂、PS 板隔熱屋頂、薄層綠化屋頂與密集型綠化屋頂全日分別空調省能約 33.1%、42.6%、5.2%、29.5%與 34.3%，然而，應用冷屋頂技術尚須考量表面塗層會隨時間因氣候而劣化、灰塵汙染等情形而降低其節能效益。

另在室內熱舒適分析部分，不論是日間或夜間，雙層通風屋頂、冷屋頂、薄層綠化屋頂與密集型綠化屋頂在對室內空氣溫度或平均輻射溫度之控制上，皆較傳統之五腳磚隔熱屋頂與 PS 板隔熱屋頂表現來得優良，尤其在日間以綠屋頂最具改善室內熱舒適效果，然而也由於綠屋頂高蓄熱能力，在夜間反而呈現較高之室內溫度。

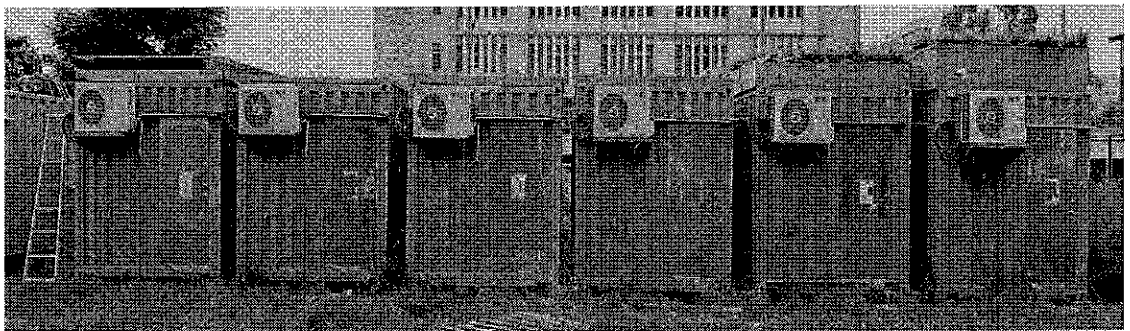


圖 2-3.1 6 種不同屋頂隔熱工法  
（資料來源：黃國倉等，2016）



## 2. Cool coatings with high near infrared transmittance for coil coated aluminium

(Tore Kolas 等 Solar Energy Materials and Solar Cells 196 (2019) 94–104, April, 2019)

The temperature of a surface that is exposed to sunlight is influenced by the solar reflectance and the infrared emittance of the surface. This paper has developed several different one-layer coating systems that can be applied in a coil-coating process. A total of 8 different coloured pigments with low absorption in the near infrared have been investigated with the goal to make cool coatings with various desirable colours. Solar reflectance spectra and infrared reflectance spectra have been measured. From these spectra, optical properties of the coated surface such as total solar reflectance (TSR), infrared emittance and solar reflectance index (SRI) have been calculated. The results show that the one-layer approach can be used to obtain cool coatings with high near infrared transmittance that are feasible to apply in a coil coating process.

物體暴露在陽光下的表面的溫度會受本身的太陽反射率(TSR)、放射率及太陽反射指標(SRI)等特性所影響，本研究開發 8 種不同在近紅外線波段有較低吸收率的塗料，以應用於冷屋頂，並量測其表面的光學特性，包括太陽反射率、放射率及太陽反射指標等，結果顯示，8 種塗料太陽反射率均高於 0.6、放射率均達到 0.68，另在相同測試條件下，本研究開發的黑色塗料與標準黑色塗料表面溫度最多可下降 11.5 °C。

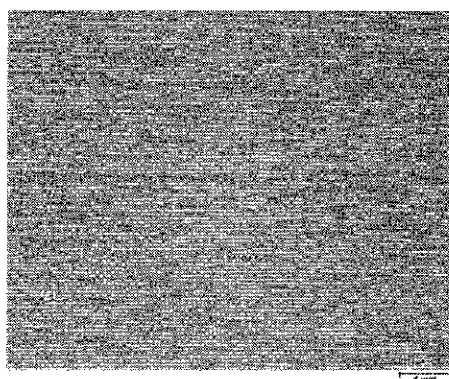


圖 2-3.2 實驗用鋁質基材

| Coating | Supplier | Pigment name            | wt % | Colour Index | Picture                                                                               |
|---------|----------|-------------------------|------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | BASF     | Paliogen Black S0084    | 5    | Black 31     |    |
| 2       | SHEPHERD | Orange 30C342           | 10   | Yellow 216   |    |
| 3       | BASF     | Paliotol Yellow L0962   | 20   | Yellow 138   |    |
| 4       | BASF     | Irgazin Yellow L2060    | 20   | Yellow 110   |    |
| 5       | BASF     | Cromophtal Yellow L1061 | 20   | Yellow 151   |    |
| 6       | BASF     | Irgazin Orange L3250    | 20   | n.a.         |    |
| 7       | BASF     | Irgazin Red L3670       | 20   | Red 254      |   |
| 8       | BASF     | Irgazin Red L3660       | 20   | Red 254      |  |

圖 2-3.3 開發 8 種塗料

(資料來源：Tore Kolas 等，2019)

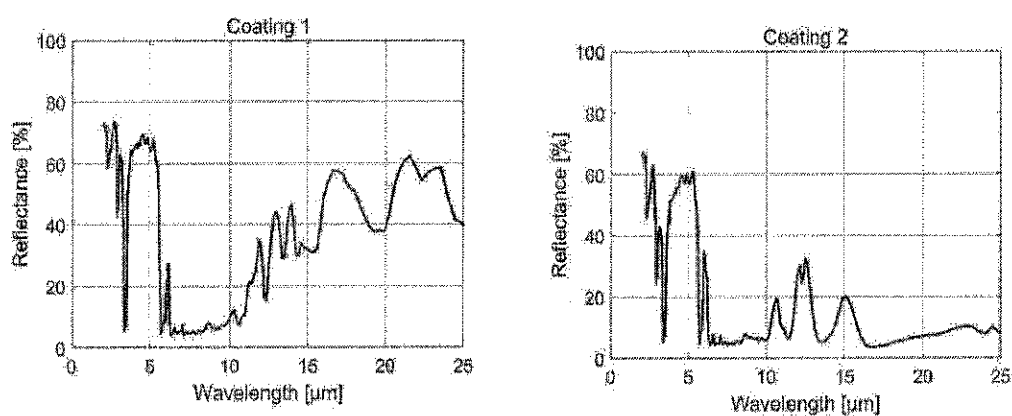


圖 2-3.4 塗料(1)及(2)的光學特性

(資料來源：Tore Kolas 等，2019)

## 二、節能塗料性能衰減試驗研究：

### 1. 隔熱漆耐久年限之檢測研究（李訓谷等，內政部建築研究所委託研究成果報告，2016 年 12 月）

該研究以 20 種市售隔熱塗料為研究對象，分別以自然太陽光、氙弧燈、紫外線曝曬耐候測試等三種方法，依序曝曬 500、1000、1500、2000 小時後，使用光譜儀、表面輻射率量測儀等儀器進行太陽反射率及放射率之數據量測，而根據該研究之 2000 小時耐候性能測試結果顯示，塗料在氙弧燈和 QUV 兩種測試所呈現的數據並無太大差異，而在自然曝曬測試中，測試樣品因大氣中的水氣而在表面產生藍綠藻之物質，對於性能數據會有較顯著的下降，而落塵亦會影響到太陽光反射率，對於表面輻射率則不會影響。

該研究實驗結果在太陽光反射率部分氙弧燈、紫外線之耐候測試，塗料平均差異值為 0.18%與 1.08%；自然太陽光曝曬因落塵，變化較顯著，其平均衰減值為 4.62%，最大衰減值為 11.52%；另在放射率部分 3 種耐候測試，前後差異並不大，均在 2%內。

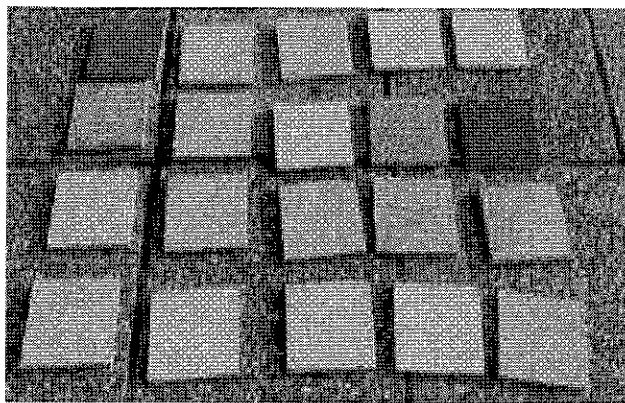


圖 2-3.5 20 種市售隔熱塗料樣本  
（資料來源：李訓谷等，2016）

2. Effects of natural weathering on the performance of high solar reflective index paint surfaces exposed in harsh climatic conditions of United Arab Emirates (Tirumala Uday Kumar Nutakki 等 Preprints Automotive Engineering, June , 2021)

Solar reflective index (SRI) is one of the important parameters in the analysis of a building's energetic and thermal performance, especially for “cool” reflective paints or coatings. However, there exists less information on the typical performance of the cool materials exposed for long term in the Middle East. In this study, we determined values of reflectance, emittance, solar reflective index(SRI), and color difference, for three different high SRI white paints exposed naturally on low and high sloped racks for three years. After 3 years, reflectance values of exposed paint panels significantly decreased with an increased color difference in comparison with original unexposed paint surfaces. Emissivity of the paint changed very little for all of the exposed samples, but SRI, determined from both the reflectance and emittance, was reduced from between 95 and 110 to between 60 and 90 after three years.

太陽反射指數 (SRI) 是分析建築物能量和熱性能的重要參數之一，特別是對於“冷”反射塗料或塗料。但是，在中東高溫環境相關耐候性資訊較少，該研究進行自然暴露實驗，於 3 年後與原始塗料數據進行比對，實驗結果顯示，放射率前後差異並不大、太陽光反射率有顯著下降、SRI 在 3 年後從 95 到 110 之間下降至 60 到 90 之間，似乎與暴露於高溫環境、污染物附著有關。

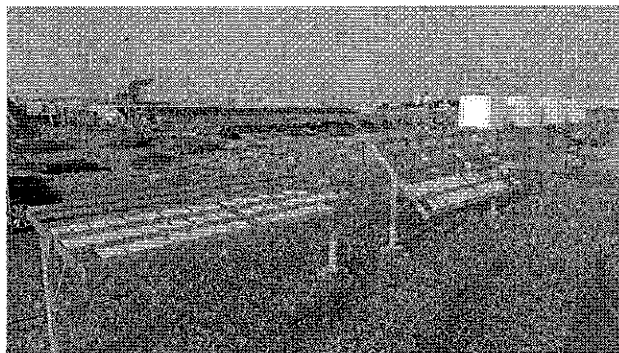


圖 2-3.6 自然暴露實驗

(資料來源：Tirumala Uday Kumar Nutakki 等，2021)

三、節能塗料性能衰減試驗研究：

1.冷屋頂設計於我國氣候條件下之建築節能應用分析與驗證（陳瑞鈴、楊冠雄等，內政部建築研究所協同研究成果報告，2011 年 12 月）

該研究透過相關文獻比較與分析，完成各國冷屋頂的發展文獻蒐集，發現冷屋頂技術是目前世界各國解決都市熱島效應的方法之一，除了美國之外，其餘各國均在起步階段，我國在冷屋頂建材之應用與研發上仍具競爭力。

該研究並利用既有儀器設備完成冷屋頂塗料之太陽光反射率及輻射率量測程序，另運用建築能耗模擬軟體 DOE 評估在臺灣氣候條件下於臺北、臺中與高雄三大城市設置冷屋頂之節能效益分析，模擬結果顯示屋頂的反射率與放射率確實影響屋頂的熱得，其中對屋頂熱得之影響程度分別是太陽光反射率 $>$ 輻射率 $>$ U 值。而對於冷屋頂型式對節能效益的影響，則是平屋頂的節能效益大於斜屋頂的節能效益，斜屋頂的面向對節能效益無顯著的差異。

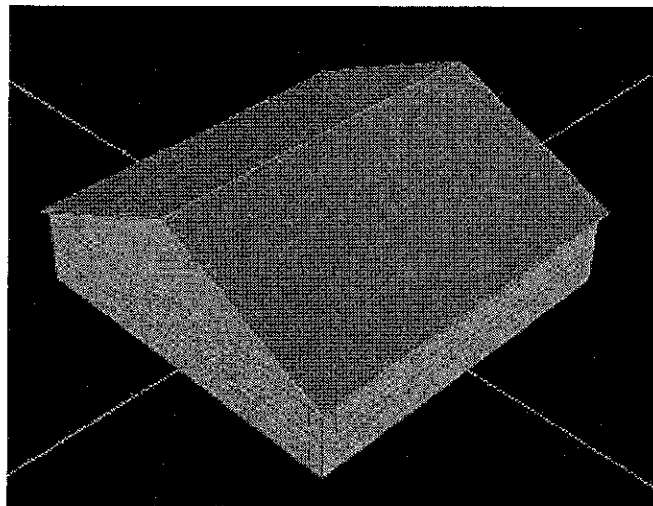


圖 2-3.7 DOE 模擬建築屋頂之幾何外觀

（資料來源：陳瑞鈴、楊冠雄等，2011）

2. Estimates of cooling effect and energy savings for a cool white coating used on the roof of scale model buildings (J Qu 等 The 3rd International Conference on New Material and Chemical Industry, 2019)

The solar reflectance and thermal emittance of uninsulated scale model buildings in Beijing were measured in the laboratory and the actual outdoor environment. The solar reflectance index (SRI), roof surface temperature and energy savings were estimated using DOE roof saving calculator.. A 0.493 increase in solar reflectance (laboratory measurements) yields SRI increase by 67.5, roof surface temperature reduction by 25.5 °C, annual peak demand reduction by 0.1 kWm<sup>2</sup>yr<sup>-1</sup>, and annual net energy savings by 6.8 kWhm<sup>2</sup>yr<sup>-1</sup>. At the city scale, these savings would reduce emissions from China's power plants by 60 kton CO<sub>2</sub>, 1.1 kton NO<sub>x</sub>, 2.1 kton SO<sub>2</sub> and 19.4 kton carbon dust for the laboratory tests.

該研究實際測量塗覆塗料實驗屋(2×2×2 m).的太陽反射率和熱放射率。太陽能反射指數(SRI)數值，並利用建築能耗模擬軟體 DOE 評估屋頂表面溫度和節能效益，模擬結果顯示，太陽反射率增加 0.493，SRI 增加 67.5，模擬之屋頂表面溫度降低 25.5 °C，年峰值需求減少 0.1 kWm<sup>2</sup>yr<sup>-1</sup>，年淨節能 6.8 kWhm<sup>2</sup>yr<sup>-1</sup>，若以北京城市規模尺度估算，塗覆節能塗料之省電效益，可使電廠減少排放 60 千噸二氧化碳、1.1 千噸氮氧化物、2.1 千噸二氧化硫和 19.4 千噸碳塵。

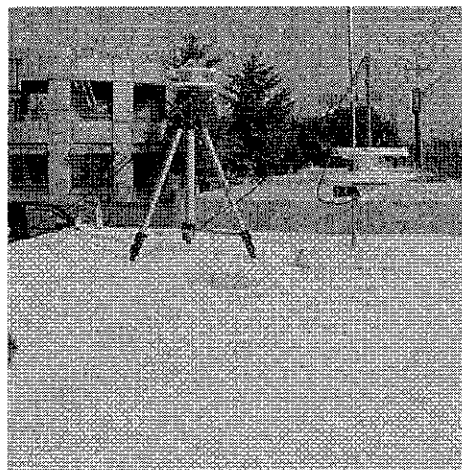


圖 2-3.8 塗覆節能塗料實驗屋  
(資料來源：J Qu 等，2019)

### 第三章 實驗計畫與結果

建材隔熱與玻璃光學性能之良窳，與室內環境品質及其舒適度息息相關，亦為影響建築空調耗能高低之重要原因，故本所於性能實驗中心規劃建置熱環境實驗室，進行本土建材熱傳與玻璃光學性能之相關實驗及研究，其中有多項試驗於通過財團法人全國認證基金會(TAF)認證，目前本所性能實驗中心認可項目包含聲壓法隔音材隔音性能試驗等 11 項，認證有效期間為 107 年 12 月 14 日至 110 年 12 月 13 日止，為續用 TAF 標誌，本實驗中心於本 (110) 年 7 月 7 日向 TAF 提出延展認證申請。本次延展認證試驗項目包括(一)原認可試驗項目「聲壓法隔音材隔音性能試驗」等 11 項。(二)新增申請認證試驗項目「玻璃相關產品-皮膚傷害因子」等 10 項，預計取得 TAF 認證項目合計 21 項，認證項目與認證規範如表 3-1 所示。

表 3-1 本所性能實驗中心預計取得 TAF 認證項目

| 項次 | 試驗項目                                                            | 認證規範                                                                              | 備註       |
|----|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | 聲壓法隔音材隔音性能試驗                                                    | ISO 10140-2、ASTM E90、JIS A1416、CNS 8466、CNS 15160-3、CNS 3092 9.4 節、CNS 7184 9.4 節 | 現有認可試驗項目 |
| 2  | 樓板衝擊音隔音性能試驗                                                     | ISO 10140-3、ASTM E492、JIS A1418-1、JIS A1418-2、CNS 15160-6、CNS 15160-8             |          |
| 3  | 吸音材吸音係數試驗                                                       | ISO 354、ASTM C423、JIS A1409、CNS 9056、CNS 15967 7.2 節                              |          |
| 4  | 甲醛                                                              | ISO 16000-9、ISO 16000-3                                                           |          |
| 5  | 揮發性有機化合物<br>(苯、乙苯、甲苯、二甲苯(對、間、鄰)、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、苯乙 | ASTM D5119、MOIS 901014                                                            |          |

亞熱帶氣候建築塗料之節能效益試驗研究

|    |                                           |                                            |            |
|----|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|
|    | 烯、四氯乙烯及三氯乙烯等 12 項)                        |                                            | 本年辦理增列認證項目 |
| 6  | 配光曲線                                      | CIE 121、EN13032-1                          |            |
| 7  | 人工光源全光通量試驗                                | CIE 84                                     |            |
| 8  | 石棉鑑定                                      | NIEA R401.22C、CNS 13970、NIOSH 9002         |            |
| 9  | 玻璃遮蔽係數試驗                                  | JIS R3106、JIS R3107、ISO 9050、CNS 12381     |            |
| 10 | 消音箱消音性能試驗                                 | ISO 7235、CNS 15256                         |            |
| 11 | 緩衝材動態剛性試驗                                 | CNS 16022、ISO 9052-1                       |            |
| 12 | 玻璃相關產品-皮膚傷害因子                             | ISO 9050                                   |            |
| 13 | 玻璃相關產品-日光及可視光反射率                          | JIS R 3106、ISO 9050、CNS12381               |            |
| 14 | 玻璃相關產品-半球放射率(輻射率)                         | JIS R3106、CNS 12381                        |            |
| 15 | 玻璃相關產品-日光輻射熱取得係數 (SHGC)、日光輻射熱遮斷性 (1-SHGC) | JIS R3106、CNS 12381、CNS 13032              |            |
| 16 | 玻璃相關產品-總熱傳係數                              | JIS R3107                                  |            |
| 17 | 玻璃相關產品-日光,可視光及紫外光穿透率                      | JIS R 3106、ISO 9050、CNS12381               |            |
| 18 | 塗料相關產品-可視光反射率                             | JIS R 3106、ISO 9050、CNS12381               |            |
| 19 | 塗料相關產品-日光反射率及吸收率                          | JIS R 3106、ISO 9050、CNS12381               |            |
| 20 | 塗料相關產品-太陽反射指標                             | JIS R 3106、ISO 9050、CNS12381、ASTM E1980-11 |            |
| 21 | 塗料相關產品-半球放射率(輻射率)                         | JIS R3106、CNS 12381                        |            |

(資料來源：本研究整理)



## 第一節 節能塗料之光學與熱力實驗設備及程序

本研究主要係配合業界檢測需求，整備性能實驗中心既有設備，辦理節能塗料方法之開發，並彙析國際上相當知名的冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)網站所登錄 3,000 多種塗料產品光(熱)學性能數據，以供新(2020 年)版綠建材標章制度新增項目推動之參考，主要應用設備包括「紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀」、「傅利葉轉換紅外線光譜儀」及「Hot Disk 熱傳性質分析儀」，並依據 CNS12381、ISO 9050、ASTM E1980-11 及 JIS R 3106 等方法建立節能塗料之可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、放射率及太陽反射指標等，以下將分別予以介紹。

### 一、實驗設備：

#### (一)紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀

分光光譜儀早期係作為化學分析應用，原理係利用鎢鹵燈或重氫燈等作為光源，通過單光器或濾光鏡調整色調後，經聚焦後通過單色光分光稜鏡或光柵，再經過狹縫選擇波長，使成單一且特定波長之光線，而後射入樣品管中之試樣，最後射入光電管中將光能轉換為電器訊號，藉由試樣及空白濃度間所吸收之光能量差，與標準液之能量吸收值相比較，便可律定試樣中之待測物濃度，目前已開發相關的配件可進行玻璃、液晶電路板、各種光學電子設備材料的透射/反射率的非破壞性檢測，以及應用於芳香環結構化合物及含有共軛雙鍵的化合物、食品添加物、色素及其它成份分析及定量、醫藥用品純度鑑定、染色顏料的配製、DNA、RNA、蛋白質的定量等相關檢測，本研究採用之儀器為 PerkinElmer 公司產品，其性能如下：

1. 可量測範圍：175~3300 nm。
2. 解析度 (Resolution)：≤ 0.05 nm 在 UV/VIS (紫外/可見光)範圍、

- $\leq 0.2$  nm 在 NIR(近紅外光)範圍。
- 3.波長準確度(Wavelength Accuracy) :  $\pm 0.08$  nm 在 UV/VIS 範圍、 $\pm 0.3$  nm NIR 範圍。
  - 4.波長再現性(Wavelength Reproducibility) :  $\leq 0.02$  nm 在 UV/VIS 範圍、 $\leq 0.08$  nm 在 NIR 範圍。
  - 5.光度準確度 (Photometric Accuracy) :  $\pm 0.008$  A。
  - 6.光度再現性(Photometric Reproducibility) :  $\leq 0.00016$  A。
  - 7.光度雜訊值(Photometric Noise RMS) : UV/VIS  $\leq 0.005$  A 或。
  - 8.儀器外部尺寸 : 150 cm(長)  $\times$  100 cm(寬)  $\times$  50 cm(高)或更小。
  - 9.儀器重量 : 100 公斤或更輕。
  - 10.光學系統 :
    - a.雙光束(Double beam)、雙單光器(Double monochromator)，且均使用光柵(Grating)光學系統，可由外接電腦之操作軟體進行控制。
    - b.單光器(Monochromator) : UV/VIS 範圍 1440 lines/mm 或更多在波長 240 nm 位置( blazed at 240 nm)及 NIR 範圍 360 lines/mm 或更多在波長 1100 nm 位置( blaze at 1100 nm)。
    - c.光源(Source) : 鎢鹵燈(pre-aligned tungsten-halogen ) 及重氫燈(deuterium)。
    - d.偵測器(Detector) : 光電倍增管(photomultiplier )在 UV/VIS 範圍、硫化鉛(PbS)偵測器在 NIR 範圍。
    - e.狹縫(Bandpass) : 在 UV/VIS 範圍可設定從 0.05~5.00 nm 每次 0.01 nm 增量(increments)、在 NIR 範圍.可設定從 0.2~20.00 nm 每次 0.04 nm 增量(increments)。
  - 11.分析軟體 :
    - a.具控制本項儀器及處理數據之功能。
    - b.可進行全波長掃描、一段時間內定波長掃描、多波長測量(1

~6 點或更多)、圖譜(加、減、乘、除)運算。

c.可擴充二維軟體(2D software)，觀察改變不同物理量(如：溫度、濃度、磁性...等)，對樣品光譜的變化，並以 2D 等高線強弱分佈圖呈現。

d.可控制孔罩(aperture mask)自動調整光點大小。

e.可選擇 1% 或 10% 衰減片。

12.附屬設備：150 mm 積分球

a.直徑: 150 mm。

b.穿透/反射角度:  $0^{\circ}$  至  $8^{\circ}$ 。

c.樣品孔尺寸: 直徑 20 mm。

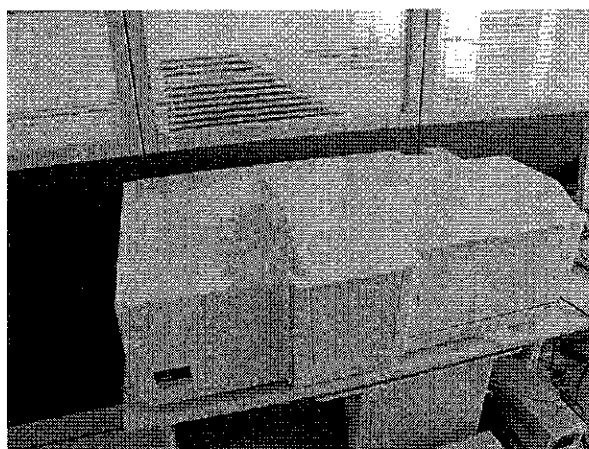


圖 3-1.1 本所紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀  
(資料來源：本研究拍攝)

## (二)傅立葉轉換紅外線光譜儀

傅立葉轉換紅外線光譜分析方法於 1950 年代開發出來至今已發展超過半個世紀，分析速度快，對樣品不具破壞性，且可以分析固態液態與氣態樣品，使其漸漸成為材料分析不可或缺的定性工具，在特定情況下甚至可以達到快篩定量的能力，原理係利用分子間的振動模式吸收特定紅外線能量，來鑑別出分子所有的官能基，利用此特性即可鑑別有機物質的種類，傅

立葉轉換紅外線光譜儀的核心為麥克森干涉儀(Michealson interferometer)，其光學設計為紅外線光源經過分光鏡(Beam splitter)分光後的兩道紅外線光束分別射向固定鏡與移動鏡，經過反射後再結合成單一紅外光線，由於移動鏡所形成的光程差，使得最終合併的紅外光線因為破壞性與建設性干涉而形成不同能量的紅外線光束，當這個光束與樣品接觸(穿透、反射)之後，在偵測器上形成不同的干涉圖，再經過傅立葉轉換(Fourier Transfer)之後，即是我們一般所觀察到的紅外線光譜，除作為有機化學分析外，目前已開發穿透、反射與半衰減全反射(ATR)等配件可進行玻璃、IC 晶片或電子、電器、半導體工業的小零件中微小瑕疵的分析、藥物鑑定等，本研究所採用之儀器為 PerkinElmer 公司產品，其性能如下：

1. 可量測範圍：4000~100  $\text{cm}^{-1}$ 。
2. 解析度 (Resolution)： $\leq 0.4 \text{ cm}^{-1}$ 。
3. 準確度 (Accuracy)： $\leq 0.2 \text{ cm}^{-1}$  (量測位置 1600  $\text{cm}^{-1}$ )。
4. 重複性 (Repeatability)： $\leq 0.05 \text{ cm}^{-1}$  (量測位置 1600  $\text{cm}^{-1}$ )。
5. S/N 比 (Signal to Noise)：應大於 30000:1 (量測條件 peak-peak、1min、4  $\text{cm}^{-1}$  測量)。
6. 光學系統：
  - a. 密封乾燥的光學系統，可保護儀器不受溼氣及化學溶劑蒸氣侵蝕，可由軟體自動控制切換分光鏡，偵測器。
  - b. 自動補償干涉儀 (Interferometer)：可自我補償傾斜產生之掃描誤差。
  - c. 偵測器 (Detector)：DTGS (deuterated triglycine sulphate) 可後續擴充為 MCT (mercury cadmium telluride) 系統。
  - d. 光源 (Source)：長效型 Mid-/FIR-IR 光源，可自行更換。
  - e. 鏡面 (Mirror)：高反射率鍍金 (Au) 鏡面。

- f. 分光鏡 (Beamsplitter)：需具備 2 組或以上分光鏡，材質 KBr (potassium bromide) 或 PP (polypropylene)。
  - g. 光圈：可採軟體控制改變光圈大小，以便得到最佳光圈大小輸出紅外光能量。
  - h. 內建自動波長精準系統：儀器內建標準品（例如聚苯乙烯、ng11 玻璃、或甲烷等）可由軟體隨時確認儀器波長、穿透率的準確性，不需手動處理。
7. 儀器尺寸： $\leq 65 \text{ cm}(W) \times 65 \text{ cm}(H) \times 35 \text{ cm}(D)$ 。
8. 儀器重量： $\leq 40$  公斤。
9. 訊號傳輸控制系統：
- a. 光譜訊號可由 TCP/IP 網路及 USB 傳輸。
  - b. 儀器可自動辨認配件種類及測試條件。
  - c. 儀器內建 LCD 面板可即時顯示各儀器元件條件。
  - d. 儀器可利用 LCD 面板按鍵及軟體操控儀器。
10. 分析軟體：
- a. 可進行圖譜加、減、乘、除、ATR、KK、KM 轉換、自動基線調正、平滑、消除雜訊、比對、頻峰標示、波峰分辨功能、圖譜微分、圖譜放大、文字說明等功能。
  - b. 可即時自動扣除環境 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 之干擾，不需再另做光譜相減(subtraction)處理。
  - c. 定量計算：可選擇依光譜的波峰(peak high)、波面積(peak area)、波比率(peak ratio) 等方式進行計算。
  - d. 可利用軟體控制選擇不同光源、偵測器、或分光鏡切換。
  - e. 化學品圖庫乙套。
11. 附屬設備：10 度角正反射配件
- a. 適用本次採購傅立葉轉換紅外線光譜儀。
  - b. 調校用反射片乙片。

- c.調整樣品照射面大小遮蔽孔 (Mask) 一組 (3/8"、1/4"、3/16" 共 3 片)。

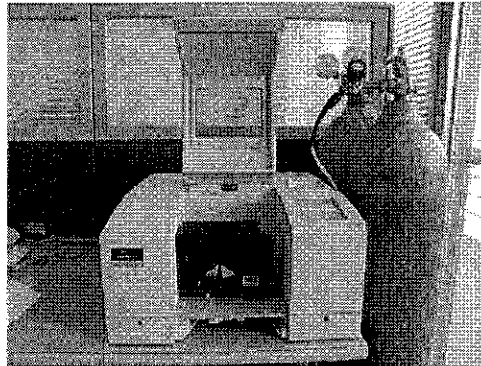


圖 3-1.2 本所傅利葉轉換紅外線光譜儀

(資料來源：本研究拍攝)

### (三) Hot Disk 熱傳性質分析儀

Hot Disk 熱傳性質分析儀係採用 ISO 22007-2 Transient plane heat source method (TPS) 瞬變平面熱源測試法，可進行固體、粉末、液狀、膏狀、膠狀、薄膜或異向性材料 (anisotropic sample) 等樣品之熱傳導係數與比熱值等熱傳性質量測，本研究所採用之儀器為 Hot Disk AB 公司產品，其性能如下：

- 1.可量測範圍：熱傳導係數為  $0.01 \sim 500 \text{ W/m-K}$ 、熱擴散 (Thermal Diffusivity) 為  $10^{-8} \sim 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 。
- 2.準確度 (Accuracy)
  - a.量測條件在室溫時，量測之熱傳導係數準確度值  $\leq 5\%$ 、熱擴散係數準確度  $\leq 10\%$ 。
  - b.量測條件高於室溫下或量測平板固體 (slab) 時，量測之熱傳導係數準確度值  $\leq 7\%$ 、熱擴散係數準確度  $\leq 11\%$ 。
- 3.精密度 (Precision)：熱傳導係數  $\leq 2\%$ 、熱擴散係數  $\leq 2\%$ 。
- 4.樣品形式：固相、粉末、薄膜 (厚度範圍： $0.01\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$  或更薄)、平板固體 (slab)、熱傳導係數異方向性材料皆可。
- 5.量測探針及信號傳輸設備：

- a.可進行基本量測（含金屬、合金、陶瓷、礦物、高分子、粉末等熱傳性質量測）之探針。
  - b.可進行高溫量測之探針，溫度大於  $200^{\circ}\text{C}$ 。
  - c.可進行平板固體（slab）量測之探針。
  - d.可進行薄膜（thin film）量測之探針。
  - e.可進行異向性材料（anisotropic sample）量測之探針。
- 6.標準片：.適用 ISO 22007-2 —瞬變平面熱源技術（Transient plane heat source method）方法之標準片、薄膜量測承載台。
- 7.分析軟體：
- a.基本材料（含金屬、合金、陶瓷、礦物、高分子、粉末等）熱傳性質量測軟體。。
  - b.平板(slab)材料熱傳性質量測軟體。
  - c.薄膜(thin film)材料熱傳性質量測軟體。
  - d.異向性材料(Anisotropic sample)熱傳性質量測軟體。
  - e.材料比熱量測軟體。
- 8.附屬配件包括：
- a.電源功率量表。
  - b.量測試件支撐架\*4（SUS #304 以上等級之耐熱耐寒不銹鋼材質）。
  - c.高溫保護電纜

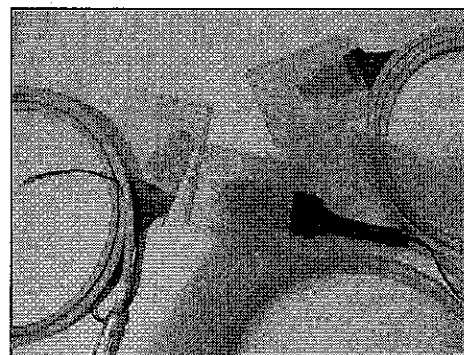


圖 3-1.3 本所 Hot Disk 熱傳性質分析儀及量測探針

(資料來源：本研究拍攝)

## 二、實驗條件與程序：

### (一)方法概述

本程序提供節能塗料材料之光學性能以及熱學性能試驗之標準，以測定其光學與熱學性能。本標準規定節能(隔熱)塗料以 CNS 12381、ISO 9050 以及 JIS R 3106 標準為測定方法，量測節能塗料之可視光反射率、日光反射率、表面輻射率，再藉由 ASTM E1980-11 定義公式求得太陽反射指標 (Solar Reflectance Index, SRI)。

#### 1.目的：

本程序以「紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀」、「傳利葉轉換紅外線光譜儀」及「Hot Disk 熱傳性質分析儀」量測節能塗料之可視光、日光反射率及表面輻射率，再藉由定義公式計算求得太陽反射指標。

#### 2.適用範圍：

本程序說明建築用節能塗料含其塗覆之平板建材，對可視光、日光反射率、表面輻射率以及太陽反射指標之試驗方法。

#### 3.待測(校)件規格說明：

試體尺度為長寬各為約 10cm 之節能塗料含其塗覆之平板建材。

### (二)試驗儀器/環境需求/人員資格：

1.試驗儀器：紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀、傳利葉轉換紅外線光譜儀及 Hot Disk 熱傳性質分析儀

2.環境需求：室內溫度低於 30℃ 以下，相對濕度低於 80%

3.人員資格：

(1)具備相關之教育、訓練、技術與經驗，以及通過實驗中心之考核鑑定。



(2)熟悉本測試程序及相關參考資料與引用規範

(三)準備事項

1.名詞解釋：

本程序所使用之用語意義，如下所示。

(1)可視光反射率：照射至塗覆節能塗料建築外殼之入射白晝光，所產生之反射光光束與入射光光束之比。

(2)日光反射率：照射至塗覆節能塗料建築外殼之太陽輻射，所產生之反射光光束與入射光光束之比。

註：太陽輻射是指直接照射之日光，亦即太陽光經過大氣層，直接到達地面之紫外線、可視光及近紅外線波長區域(300~2500nm)之輻射線。

(3)輻射率(放射率)：照射至塗覆節能塗料建築外殼之熱輻射量與在相同溫度下之黑體放射出熱輻射量之比。

(4)太陽反射指標：是一個結合節能塗料太陽輻射反射率、表面熱傳導係數、輻射率的綜合指標，用以判定隔熱效應的程度，其中太陽反射指標定義 0 代表標準的黑體表面（反射率=0.05, 輻射率=0.90），100 為標準的白色表面（反射率=0.80, 輻射率=0.90）。

2.待測試件前處理：

(1)實驗室對待測試件執行試驗所需之各項設備及先前準備工作安排妥善前，必須對待測試件進行前處理。

(2)試驗人員佩戴手套，避免指紋或雜質殘留至待測試件表面。

(3)以游標尺量測待測試件之外觀尺寸。

(4)以標籤紙標明節能塗料之塗佈面。

(5)待測試件必須是由送測單位從與實際使用條件相同之塗佈量製成。

3 待測試件保存：

- (1)以標籤註明試件名稱、編號以及日期。
- (2)將試件放置於試件儲存箱中。
- (3)試件儲存箱為一恆溫恆濕控制箱，可以利用控制介面控制保存的溫度與濕度。

(四)試驗步驟：

1.可視光反射率之量測

1.1 概要：

節能塗料之可視光反射率，是用第 1.2 節之分光光度計，依第 1.3 節之方法測定可視光區域之分光反射率，據此計算可視光反射率。

1.2 分光光度計：

測定試驗所使用之分光光度計，原則上必須具備以下之條件。

- (1)波長範圍：能夠測定 380-780nm 之波長範圍。
- (2)測定波長間隔以及有效波長寬度：測定波長間隔為 10nm。從分光光度計狹縫所放出之輻射線束之有效波長寬度為 10nm 以下。
- (3)測光刻度：測光方式是從基準物之透射光光束，或反射光光束加以比較側定。測光之準確度在測光範圍之最大刻度之 1% 以內。
- (4)波長刻度：分光光度計波長刻度之偏差，距分光光度計之透過波長帶所呈現最大強度波長之 1nm 以內。

1.3 測定方法

將從第 1.2 節之分光光度計狹縫所射出接近平行之光束，按入射角小於入射線與試樣面法線所成  $15^\circ$  角之方向照射。正反射光照射至積分球接受。按(五)資料分析之表 3-1.2 所規定每間隔 10nm 波長測定分光反射率  $\rho(\lambda)$ 。試樣表面反射光與裏面一次反射光間之光軸差，必須在 2nm 以下。使用絕

對反射率測定法規定刻度之反射體為基準物體。也可以使用絕對反射率測定方法，與規定刻度之標準反射體比較。

## 2. 日光反射率及吸收率之量測

### 2.1 概要：

節能塗料之日光反射率及日光吸收率，是使用第 2.2 節之分光光度計，按照第 2.3 節之方法測定日光波長區域之分光反射率，然後根據此測定值，按照日光之標準光譜分布，求得日光反射率。此外，從 1 減去日光反射率之差即為日光吸收率。

### 2.2 分光光度計：

測定時所使用之分光光度計，在波長 780nm 以下，具備與第 1.2 節者相同的條件，在波長 780nm 以上，原則上須符合下列條件。

- (1)波長範圍：可以測定 300~2500nm 之波長範圍。
- (2)測定波長間隔以及有效波長寬度：測定波長間隔為 50nm，從分光光度計狹縫所射出之輻射線束之有效波長寬度為 50nm 以下。
- (3)測光方式：測光方式是從基準物之透射光光束，或反射光光束加以比較測定，測光之準確度在測光範圍之最大刻度之 2% 以內，再現性準確度在 1% 以內。
- (4)波長刻度：分光光度計波長刻度之偏差，距光度計之透射波長帶所呈現最大強度之波長之 5nm 以內。

### 2.3 測定方法：

波長範圍 300~380nm 之日光反射率及日光吸收率測定，使用符合第 1.2 節所規定條件之分光光度計，測定分光反射率，測定之波長依每 5nm 間隔測定之。波長範圍 380~780nm 之日光反射率及日光吸收率測定，使用符合第 1.2 節所規定條件之分光光度計，測定分光反射率，測定之波長依每 10nm 間隔測

定之。波長範圍 780~2500nm 之測定，使用符合第 2.2 節所規定條件之分光光度計，測定分光反射率，每間隔 50nm 測定之。

### 3. 節能塗料表面輻射率

#### 3.1 概要：

使用第 3.2 節之分光光度計，按照第 3.3 節之方法，測定節能塗料表面之分光反射率，然後根據此測定值，按照(五)資料分析之方法，求得半球輻射率。

#### 3.2 傅利葉轉換紅外線光譜儀：

測定所使用之傅利葉轉換紅外線光譜儀，原則上必須符合下列之條件。

(1)波長範圍：能夠測定之波長範圍至少為 5~25  $\mu\text{m}$  (波數：2000 $\text{cm}^{-1}$ ~400 $\text{cm}^{-1}$ )

(2)測定波長解析度：波數為 4 $\text{cm}^{-1}$  或以下。

(3)測光刻度：測光方式是以從基準物之反射輻射線束與其比較測定之，測光準確度為測定範圍之最大刻度之 2% 以內，再現性精密度為 1% 以內。

(4)波長準確度：波數為 1 $\text{cm}^{-1}$  或以下。

#### 3.3 分光反射率之測定：

紅外線波長區域之熱輻射線束，按照與試樣面法線所成角度小於 15° 之入射角照射，使用第 3.2 節之分光光度計，在波長區域 5~25 $\mu\text{m}$  範圍內，按照標準方法內表所示每間隔 0.5 $\mu\text{m}$  波長，測定正反射線束，求得試樣之分光反射率  $\rho(\lambda)$ 。

#### (五)資料分析：

##### 1. 可視光反射率之計算：

根據(四)試驗步驟之第 1 節測定所得之分光反射率  $\rho(\lambda)$ ，按照按公式(3-1)計算可視光反射率  $\rho_v$

$$\rho_v = \frac{\sum_{380}^{780} D_\lambda \cdot V_\lambda \cdot \rho(\lambda)}{\sum_{380}^{780} D_\lambda \cdot V_\lambda} \dots\dots\dots (3-1)$$

式內， $D_\lambda$  為  $D_{65}$  相對光譜分布

$V_\lambda$  = 比視感度曲線

$D_\lambda \cdot V_\lambda$  值可從表得知（詳附錄表 3-1.1）。

## 2. 日光反射率及日光吸收率之計算：

根據(四)試驗步驟之第 2 節測定所得之分光反射率  $\rho(\lambda)$ ，按照公式 (3-2) 及公式 (3-3) 計算日光反射率  $\rho_e$  及日光吸收率  $\alpha_e$ 。

$$\rho_e = \frac{\sum_{300}^{2500} E_\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \rho(\lambda)}{\sum_{300}^{2500} E_\lambda \cdot \Delta\lambda} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$\alpha_e = 1 - \rho_e \dots\dots\dots (3-3)$$

式內， $E_\lambda$ ：直射日光相對值之標準光譜分布

$E_\lambda \cdot \Delta\lambda$  請參考表之數值（詳附錄表 3-1.2）

## 3. 半球輻射率之計算：

根據(四)試驗步驟之第 3 節所求得之分光反射率  $\rho(\lambda)$ ，按照公式(3-4)計算熱輻射線之反射率  $\rho_n(\lambda)$ 。

$$\rho_n = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} \rho_n(\lambda_i) \dots\dots\dots (3-4)$$

垂直照射之熱輻射線吸收率  $\alpha_n = 1 - \rho_n$ 。

## 4. 太陽反射指標之計算：

太陽反射指標是一個結合節能塗料太陽輻射反射率、表面熱傳

導係數、輻射率的綜合指標，用以判定隔熱效應的程度，其定義如公式(3-5)

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \dots\dots\dots (3-5)$$

式內，

T<sub>b</sub>、T<sub>w</sub>、T<sub>s</sub> 分別為標準黑體、標準白板及塗料表面溫度

$$T_s = 309.07 + \frac{(1066.07\alpha - 31.98\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)} - \frac{(890.94\alpha^2 + 2153.86\alpha\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)^2} \dots\dots\dots (3-6)$$

在 ASTM E1980-11 標準條件下公式(3-5)之 SRI 值，可改寫為公式(3-7)計算之。

$$SRI = 123.97 - 141.35\chi + 9.65\chi^2 \dots\dots\dots (3-7)$$

其中，

$$\chi = \frac{(\alpha - 0.029\varepsilon)(8.797 + h_c)}{9.5205\varepsilon + h_c} \dots\dots\dots (3-8)$$

節能塗料表面熱傳導係數 h<sub>c</sub> 在 ASTM E1980-11 標準之(低速、中速、高速)風速條件分別為 5 W/(m<sup>2</sup>.K)、12 W/(m<sup>2</sup>.K)、30 W/(m<sup>2</sup>.K)，或可使用熱傳導係數量測儀測得。

#### (六)品質管制：

- 1.為確認量測之準確度與再現性，每年定期委請原廠或 TAF 認可實驗室進行儀器校正。
- 2.每次試驗前先以參考件進行比對，若量測結果偏離原測試數值(1%)以上，則進行第二次試驗，若依舊偏離原紀錄值，且數值與第一次檢測量重現性，則進行第三次相同試驗以供比對，並通知原廠檢修或與其他單位進行能力試驗比對。
- 3.建立相關品質管制曲線。

表 3-1.1 可視光各波長能量分佈對照表

| 對應波長(nm) | $D_{\lambda} \cdot V_{\lambda}$ | 對應波長(nm) | $D_{\lambda} \cdot V_{\lambda}$ |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
| 380      | 0                               | 590      | 67.14                           |
| 390      | 0.01                            | 600      | 56.8                            |
| 400      | 0.03                            | 610      | 45.07                           |
| 410      | 0.11                            | 620      | 33.41                           |
| 420      | 0.37                            | 630      | 22.07                           |
| 430      | 1.01                            | 640      | 14.65                           |
| 440      | 2.41                            | 650      | 8.56                            |
| 450      | 4.45                            | 660      | 4.89                            |
| 460      | 7.07                            | 670      | 2.63                            |
| 470      | 10.45                           | 680      | 1.33                            |
| 480      | 16.12                           | 690      | 0.57                            |
| 490      | 22.63                           | 700      | 0.29                            |
| 500      | 35.32                           | 710      | 0.16                            |
| 510      | 54.22                           | 720      | 0.06                            |
| 520      | 74.4                            | 730      | 0.04                            |
| 530      | 92.83                           | 740      | 0.02                            |
| 540      | 99.61                           | 750      | 0.01                            |
| 550      | 103.52                          | 760      | 0                               |
| 560      | 99.5                            | 770      | 0                               |
| 570      | 91.71                           | 780      | 0                               |
| 580      | 83.34                           |          |                                 |

(資料來源：本研究參考標準整理)

表 3-1.2 日光各波長能量分佈對照表

| 對應波長<br>(nm) | $E_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$ | 對應波長<br>(nm) | $E_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$ | 對應波長<br>(nm) | $E_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$ |
|--------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| 300          | 0                                  | 530          | 14.73                              | 1050         | 38.58                              |
| 305          | 0.02                               | 540          | 14.69                              | 1100         | 24.85                              |
| 310          | 0.11                               | 550          | 14.96                              | 1150         | 14.79                              |
| 315          | 0.28                               | 560          | 14.86                              | 1200         | 25.47                              |
| 320          | 0.48                               | 570          | 14.76                              | 1250         | 27.68                              |
| 325          | 0.68                               | 580          | 14.33                              | 1300         | 21.6                               |
| 330          | 1.03                               | 590          | 13.9                               | 1350         | 2.04                               |
| 335          | 1.06                               | 600          | 14.34                              | 1400         | 0.74                               |
| 340          | 1.22                               | 610          | 14.78                              | 1450         | 4.66                               |
| 345          | 1.27                               | 620          | 14.6                               | 1500         | 11.98                              |
| 350          | 1.44                               | 630          | 14.42                              | 1550         | 16.91                              |
| 355          | 1.54                               | 640          | 14.41                              | 1600         | 14.92                              |
| 360          | 1.63                               | 650          | 14.41                              | 1650         | 14.54                              |
| 365          | 1.92                               | 660          | 14.31                              | 1700         | 12.69                              |
| 370          | 2.2                                | 670          | 14.2                               | 1750         | 9.27                               |
| 375          | 2.33                               | 680          | 12.93                              | 1800         | 1.94                               |
| 380          | 3.69                               | 690          | 11.66                              | 1850         | 0.43                               |
| 390          | 5.18                               | 700          | 12.63                              | 1900         | 0.09                               |
| 400          | 7.55                               | 710          | 13.61                              | 1950         | 1                                  |
| 410          | 8.91                               | 720          | 11.2                               | 2000         | 2.71                               |
| 420          | 9.38                               | 730          | 12.07                              | 2050         | 5.08                               |
| 430          | 8.71                               | 740          | 13.18                              | 2100         | 5.61                               |
| 440          | 10.84                              | 750          | 13.02                              | 2150         | 5.15                               |
| 450          | 12.99                              | 760          | 9.96                               | 2200         | 4.5                                |
| 460          | 13.44                              | 770          | 11.49                              | 2250         | 4.44                               |
| 470          | 13.55                              | 780          | 12.34                              | 2300         | 4.24                               |
| 480          | 14.2                               | 800          | 47.42                              | 2350         | 3.97                               |
| 490          | 13.64                              | 850          | 54.81                              | 2400         | 2.77                               |
| 500          | 13.94                              | 900          | 44.79                              | 2450         | 1.34                               |
| 510          | 14.48                              | 950          | 19.86                              | 2500         | 1.02                               |
| 520          | 13.73                              | 1000         | 42.32                              |              |                                    |

(資料來源：本研究參考標準整理)



### 三、試驗不確定度評估分析：

#### (一)目的

本評估分析報告係 2008 年版之 ISO「量測不確定度表示方法指引」(Uncertainty of measurement)，以及 TAF(2021 年版)「有關量測不確定度之政策」，分析評估本實驗室執行「節能塗料試驗」之量測不確定度的分析程序與評估結果，並得以依據試驗需求、方法變更而修訂之。

#### (二)範圍

本評估分析報告係依據本實驗室節能塗料試驗標準書、以及 CNS 12381、ASTM E1980-11 等標準，執行之量測不確定度評估，適用於本實驗室所執行之「節能塗料試驗之量測不確定度評估」，其評估結果表示本實驗室試驗過程中之量測不確定度。

#### (三)名詞解釋

##### 1.量測不確定度

隨同一個量測結果，說明可合理歸屬於受量測之值分散程度的參數，此參數可能是標準差或信賴區間。

##### 2.標準不確定度

以標準差所表示之量測結果的不確定度。

##### 3.標準不確定度 A 類評估法

對一系列觀測值進行統計分析，計算標準不確定度的方法。

##### 4.組合標準不確定度

當量測的結果是經由一些其他量的值計算而得時，則其標準不確定度稱為組合標準不確定度。組合標準不確定度等於將這些其他量的變異數或共變數，乘以該量對量測結果影響之加權值後，相加所得總和之正平方根。

即試驗結果之組合標準不確定度為每一個量測值、修正值或相關參數值所具有之標準不確定度的平方，乘以敏感係數的平方後，再相加所得總和之正平方根。

#### 5.擴充不確定度

定義量測結果範圍的量；擴充不確定度通常被期望為能包括大部分合理歸屬於受測量範圍之數值分佈，即試驗結果的可能分佈範圍。

#### 6.涵蓋因子

為獲得擴充不確定度，作為組合標準不確定度加乘係數的數值因子。

### (四)實驗方式簡介

#### 1.太陽反射指標定義：

太陽反射指標（Solar Reflectance Index，SRI）是一個結合節能塗料太陽輻射反射率、表面熱傳導係數、輻射率的綜合指標，用以判定隔熱效應的程度，其中太陽反射指標定義 0 代表標準的黑體表面（反射率= 0.05, 輻射率=0.90），100 為標準的白色表面（反射率= 0.80, 輻射率=0.90）。

#### 2.SRI 計算：

詳見二、實驗條件與程序之(五)資料分析章節。

#### 3..SRI 量測參數：

(1)節能塗料的日光分光反透率

(2)節能塗料之表面半球輻射率

#### 4.設備操作：

(1)Lambda 900、Lambda 1050 分光光譜儀試件的安裝與量測

為求出節能塗料各波長範圍的反射率，同一試件須作分光反射率量測，其試件安裝位置分別如圖 3-1.4 所示，儀器操作及設定程序詳本所性能實驗中心 ES-34(1)光譜儀操作程序書。

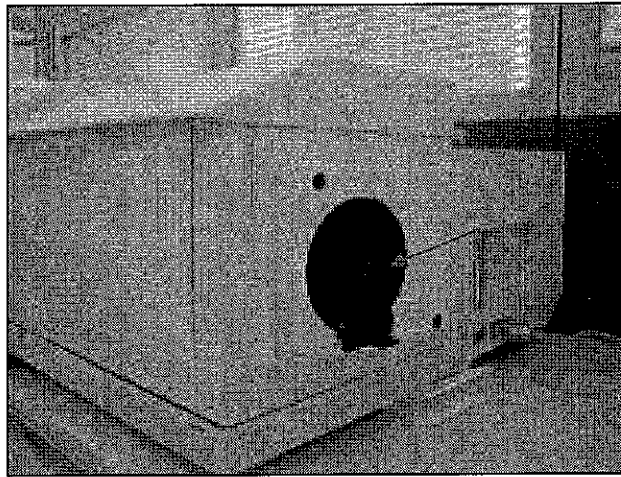


圖 3-1.4 量測反射率試件之安裝位置  
(資料來源：本研究拍攝)

(2) Spectrum One 傅利葉轉換紅外線光譜儀設備操作

為求出節能塗料的半球輻射率，須作塗覆面分光反射率量測，其試件安裝方法分別如圖 3-1.5 所示，及設定程序詳本所性能實驗中心詳 ES-34(2) 紅外線光譜儀操作程序書。

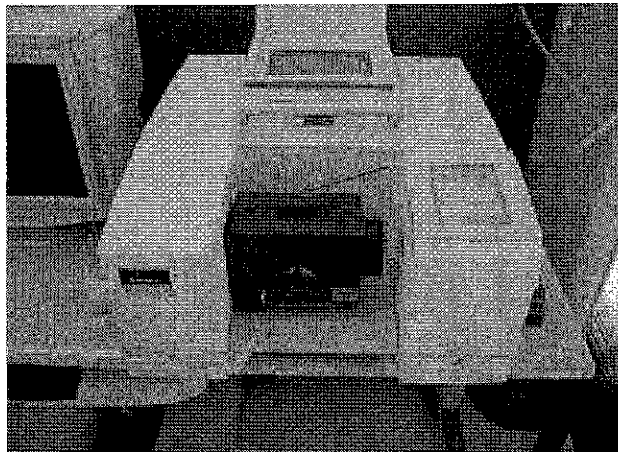


圖 3-1.5 試件安裝位置  
(資料來源：本研究拍攝)

## (五)量測不確定度評估程序

### 1.分析模型假設

為了簡化本試驗量測不確定度之分析程序，對於測試數據之評估模式係將 A 類(Type A)不確定度之分析模型以常態分布做假設，而 B 類(Type B)不確定度則以矩形分布或常態分布做假設。本文評估節能塗料光學特性之量測不確定度方式，在 A 類評估法中係將 30 次測試結果所得之數值，進行統計運算求得其平均值及標準差；而在 B 類評估法中則先建立該試驗過程中各項量測值、修正值以及各種修正參數間之數學模式，再根據量測不確定度傳播定律(Error Propagation Law of Uncertainty)計算組合標準不確定度(Combined Standard Uncertainty)。

### 2.A 類標準不確定度評估

評估 A 類標準不確定度係根據重複量測所得之量測值頻率分布(Frequency Distribution)情形，再推導出機率密度函數(P.D.F.)來計算標準不確定度。A 類評估法主要是用來評估重複性及隨機性之觀測值所導致之可能變異，評估方式包括計算一組量測值之平均值、標準差或計算迴歸曲線之標準差、經由變異數分析計算標準差。本文選用實務上常用之分析方式，直接計算一組量測值之平均值、標準差，進行 A 類標準不確定度之評估。

評估步驟係針對在相同試驗環境及條件下的試件，進行 30 次的重複試驗，分析節能塗料光學特性。分析步驟如下：

- (1)進行 30 次的重複試驗，並紀錄各項試驗數值
- (2)計算可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率、太陽反射指標量測結果之平均值及標準差。

其計算公式如下：

對 n 次重複量測之量測值  $x_k$  來說，其平均值  $\bar{x}$  為

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \dots\dots\dots (3-9)$$

而量測值之標準差為

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3-10)$$

平均值之標準差為

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3-11)$$

基於量測值為常態分佈之基本假設，根據機率原理，30 組樣本之抽樣已趨近於常態分布的結果，因此該量測值之計算結果可以用來表示量測值母體(population)之平均值及標準差。

### 3. B 類標準不確定度評估

B 類標準不確定度評估法通常用來評估無法量測或不需要量測之可能變異量，如對已具有校正數據或量測值、經驗值、公認值或製造廠商之出廠證明中給予之儀器規格、校正報告或其他證明之數據，在根據假設之機率密度函數求出近似之變異數(Variance)或標準差。其分析步驟如下：

- (1)調查量測過程中造成量測值變異的主要項目
- (2)假設機率分布型態
- (3)根據假設之機率分布計算標準差

不同的數據資料必須使用不同的統計方法或模式進行分析模擬，如該數據為純粹之觀測值，可用常態分布作為假設；如該數據係由儀器規格、校正報告或其他參考手冊中獲得該項目數據變異之上、下界限時，可適當的假設該量測值之機率分布型態。一般而言，以矩形分布的假設係將上、下限範圍內各種變異量發生的機率視為均等，此為較保守之假設且容易計算，

是一般最常見之分布型態。除矩形分布之外，另還有三角形分布、梯形分布、U 形分布或其他較複雜之分布假設，採用何種分布形式可依實際情況加以判斷。

依(四)實驗方式簡介可知，本系統主要量測程序係依序分別量測節能塗料反射率、半球輻射率，計算求得待測節能塗料太陽反射指標值。

因本實驗室設有空調溫濕度控制，試驗環境各參數的影響可以忽略不計，因此 B 類不確定度係由紫外光/可見光/近紅外光分光光譜儀、傅立葉轉換紅外光光譜儀、反射參考片傳遞不確定度而得。

由本所性能實驗中心所採用之紫外光/可見光/近紅外光分光光譜儀、傅立葉轉換紅外光光譜儀之出廠報告可知，其量測百分比誤差不大於 1%，採用矩形分佈，並採用保守作法，則標準不確定度為

$$u_{Kr} = \left(\frac{1}{100}\right) / \sqrt{3} = 0.0058$$

反射參考片之校正報告可知，反射率誤差小於 2%，採用矩形分佈，並採用保守作法，則標準不確定度為

$$u_{KW} = \left(\frac{2}{100}\right) / \sqrt{3} = 0.01154$$

#### 4.組合標準不確定度評估

量測結果之組合量測不確定度係由各項輸入量之標準不確定度經由相關理論組合而得，其關係可以下式表示：

$$y = f(x) = ax_1 + bx_2 \cdots mx_n \dots\dots\dots (3-12)$$

則量測結果之組合不確定度以  $u_c(y)$  表示，其數學關係式如下：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \dots\dots\dots (3-13)$$

其中，

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$  為輸入量  $x_i$  之敏感係數

$u(x_i)$  為輸入量  $x_i$  之標準不確定度

量測結果之組合不確定度  $u_c(y)$  係將各項輸入量之標準不確定度乘上敏感係數加總後，求以正方根所得。

#### 5. 擴充標準不確定度及信心水準

擴充不確定度  $U$  之計算，係根據該量測結果所需之信心水準  $p\%$ ，再選擇一涵蓋因子  $k$  乘上 5.4 節中之組合不確定度，其關係式如下(本報告採用 95% 信心水準評估，涵蓋因子  $k=2.0$ )：

$$U = k \cdot u_c(y) \dots\dots\dots (3-14)$$

#### 6. 不確定度評估實例探討

##### (1) 實例探討：

今量測一片塗覆 9585 塗料之水泥板，其塗佈量  $0.45\text{kg/m}^2$ ，重複量測 30 次，結果如下：

可見光反射率平均值 32.41%、標準差值 0.008%，A 類相對不確定度 0.026% ( $U_1$ )；日光反射率平均值 41.64%、標準差值 0.014%，A 類相對不確定度 0.033% ( $U_2$ )；日光吸收率平均值 58.36%、標準差值 0.013%，A 類相對不確定度 0.022% ( $U_3$ )；輻射率平均值 0.936、標準差值 0.000，A 類相對不確定度 0.000% ( $U_4$ )；SRI(中速風速)平均值 48.694、標準差值 0.017，A 類相對不確定度 0.035% ( $U_5$ )，A 類標準不確定度評估結果如表、分項相對不確定度及組合與擴充不確定度如表 3-1.3~如表 3-1.5 所示。

表 3-1.3 A 類標準不確定度評估結果

|     | 材料：塗覆 9585 塗料之水泥板 |                  |                  | 日期：2021/05 |               |
|-----|-------------------|------------------|------------------|------------|---------------|
| 編號  | 可視光<br>反射率<br>(%) | 日光<br>反射率<br>(%) | 日光<br>吸收率<br>(%) | 輻射率        | SRI<br>(中速風速) |
| 1   | 32.43             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.695        |
| 2   | 32.42             | 41.66            | 58.34            | 0.936      | 48.715        |
| 3   | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.691        |
| 4   | 32.41             | 41.66            | 58.34            | 0.936      | 48.711        |
| 5   | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.692        |
| 6   | 32.42             | 41.65            | 58.35            | 0.936      | 48.715        |
| 7   | 32.42             | 41.65            | 58.35            | 0.936      | 48.714        |
| 8   | 32.43             | 41.66            | 58.34            | 0.936      | 48.720        |
| 9   | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.710        |
| 10  | 32.41             | 41.66            | 58.34            | 0.936      | 48.720        |
| 11  | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.699        |
| 12  | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.696        |
| 13  | 32.42             | 41.66            | 58.34            | 0.936      | 48.722        |
| 14  | 32.41             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.706        |
| 15  | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.694        |
| 16  | 32.42             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.691        |
| 17  | 32.41             | 41.62            | 58.38            | 0.936      | 48.675        |
| 18  | 32.41             | 41.63            | 58.37            | 0.936      | 48.692        |
| 19  | 32.41             | 41.62            | 58.38            | 0.936      | 48.672        |
| 20  | 32.41             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.699        |
| 21  | 32.41             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.707        |
| 22  | 32.40             | 41.63            | 58.37            | 0.936      | 48.673        |
| 23  | 32.41             | 41.62            | 58.38            | 0.936      | 48.674        |
| 24  | 32.41             | 41.62            | 58.36            | 0.936      | 48.664        |
| 25  | 32.41             | 41.63            | 58.37            | 0.936      | 48.691        |
| 26  | 32.40             | 41.62            | 58.36            | 0.936      | 48.668        |
| 27  | 32.41             | 41.63            | 58.37            | 0.936      | 48.688        |
| 28  | 32.40             | 41.63            | 58.37            | 0.936      | 48.688        |
| 29  | 32.40             | 41.62            | 58.38            | 0.936      | 48.670        |
| 30  | 32.40             | 41.62            | 58.38            | 0.936      | 48.682        |
| 平均值 | 32.41             | 41.64            | 58.36            | 0.936      | 48.694        |
| 標準差 | 0.008             | 0.014            | 0.013            | 0.000      | 0.017         |



表 3-1.4 分項相對不確定度

| 分項相對不確定度 | 不確定度來源             | 類型     | 評估數值   |
|----------|--------------------|--------|--------|
| $U_1$    | 重複量測               | A (常態) | 0.026% |
| $U_2$    | 重複量測               | A (常態) | 0.033% |
| $U_3$    | 重複量測               | A (常態) | 0.022% |
| $U_4$    | 重複量測               | A (常態) | 0.000% |
| $U_5$    | 重複量測               | A (常態) | 0.035% |
| $u_{Kv}$ | UV 光譜儀 (出廠報告)      | B (矩形) | 0.58%  |
| $u_{Kf}$ | FT-IR 紅外光光譜 (出廠報告) | B (矩形) | 0.58%  |
| $u_{Kc}$ | 反射參考片 (校正報告)       | B (矩形) | 1.15%  |

(資料來源：本研究整理)

表 3-1.5 組合及擴充不確定度

| 項目     | 可見光<br>反射率<br>(%) | 日光<br>反射率<br>(%) | 日光<br>吸收率<br>(%) | 輻射率<br>(%) | SRI<br>(%) |
|--------|-------------------|------------------|------------------|------------|------------|
| 組合不確定度 | 1.29              | 1.22             | 1.22             | 0.58       | 1.41       |
| 擴充不確定度 | 2.58              | 2.44             | 2.44             | 1.16       | 2.82       |

(資料來源：本研究整理)

#### 四、實驗室間能力試驗比對計畫：

##### (一)前言

本實驗室為符合「ISO/IEC17025 測試與校正實驗室能力一般要求」，進行實驗間之能力試驗以確保本實驗室之技術能力。

##### (二)範圍

考量地緣性，本次能力試驗活動係由本中心與在節能塗料領域已研究多年國立成功大學能源科技與策略研究中心針對相同樣品進行測試，再比較執行之結果。

##### (三)執行之程序說明：

藉由國立成功大學能源科技與策略研究中心送測 1 件「OOO 外裝薄塗材」至本實驗中心，依各實驗室之儀器設備及開發之試驗方法進行能力試驗比對。

##### 1.參與試驗實驗室：共 2 家

a.內政部建築研究所性能實驗中心（代號 A）

b.國立成功大學能源科技與策略研究中心建材隔熱性能檢測實驗室（代號 B）

##### 2.能力試驗項目：節能塗料試驗。

##### 3.試驗條件：。

a.內政部建築研究所性能實驗中心（代號 A）試驗方法如表 3-1.6 所示，環境條件為  $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $58\pm 5\%$ ：

表 3-1.6 試驗方法(A 實驗室)

| 試驗項目                                     | 量測標準      | 備註 |
|------------------------------------------|-----------|----|
| 1.可視光反射率<br>(visible light reflectance)  | CNS 12381 |    |
| 2.日光反射率<br>(solar radiation reflectance) | CNS 12381 |    |
| 3.日光吸收率<br>(solar radiation absorptance) | CNS 12381 |    |
| 4.半球放射率<br>(semispherical emissivity)    | CNS 12381 |    |

|                                       |               |         |
|---------------------------------------|---------------|---------|
| 5.太陽反射指標<br>(solar reflectance index) | ASTM E1980-11 | 註(1)(2) |
|---------------------------------------|---------------|---------|

註(1)：ASTM E1980-11 定義低速風速(low-wind)、中速風速(medium-wind)、高速風速(high-wind)分別為 0~2m/s、2~6m/s、6~10m/s。

註(2)：A 實驗室自行參照標準撰寫計算軟體

b. 國立成功大學能源科技與策略研究中心建材隔熱性能檢測實驗室（代號 B），試驗方法如表 3 所示，環境條件為 25°C、60%：

表 3-1.7 試驗方法(B 實驗室)

| 試驗項目                                     | 量測標準          | 備註      |
|------------------------------------------|---------------|---------|
| 1.半球放射率<br>(semispherical emissivity)    | ISO 10292     |         |
| 2.日光反射率<br>(solar radiation reflectance) | ISO 9050      |         |
| 3.太陽反射指標<br>(solar reflectance index)    | ASTM E1980-11 | 註(1)(2) |

註(1)：ASTM E1980-11 定義低速風速(low-wind)、中速風速(medium-wind)、高速風速(high-wind)分別為 0~2m/s、2~6m/s、6~10m/s。

註(2)：B 實驗室引用相關計算軟體

4.由參與試驗人員分別各自以所屬儀器設備進行試驗。

5.測試件基本資料

(1)試件名稱及型號: OOO 外裝薄塗材

(2)節能塗料廠牌型號: OOO

(3)塗覆之基底材質: 矽酸鈣板

(4)塗覆量: 0.45kg/m<sup>2</sup>

(5)試件規格: 長 100 mm、寬 100 mm、厚度 6 mm

(6)貼有標籤為非塗覆面

(7)試件尺寸: 長 100.34 mm、寬 100.29 mm、厚度 6.11 mm

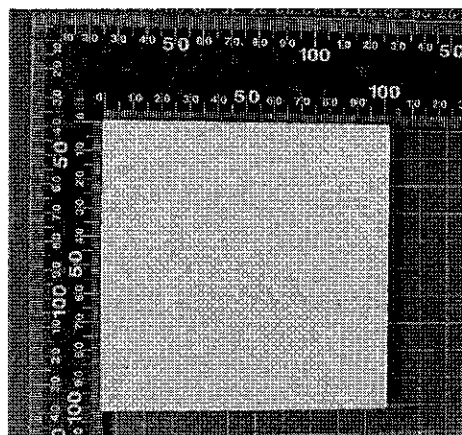


圖 3-1.6 能力試驗比對測試件

(四)能力試驗結果：

| 試驗項目                          | 測試結果(A) | 測試結果(B) |
|-------------------------------|---------|---------|
| 1.可視光反射率 (380~780nm)          | 73.30%  | -       |
| 2.日光反射率 (300~2500nm)          | 75.21 % | 74.98 % |
| 3.日光吸收率 (300~2500nm)          | 24.79 % | -       |
| 4.半球放射率 (5~25 $\mu\text{m}$ ) | 0.935   | 0.939   |
| 5.太陽反射指標 SRI(低速風速)            | 93.465  | 93.24   |
| 6.太陽反射指標 SRI(中速風速)            | 93.388  | 93.137  |
| 7.太陽反射指標 SRI(高速風速)            | 93.318  | 93.042  |

(五)結論與建議：

1. A、B 實驗室所測試件數據之差異均在 1% 以內，參加本次能力試驗比對結果，可以確保實驗室之技術能力，持續改進，以有效控制量測品質。
- 2.建議未來國際若有舉辦相關活動應積極參與，以提昇所內自主檢測技術能力。

## 第二節 節能塗料試驗之光學與熱力性能分析

本所出版 2020 年版「綠建材解說與評估手冊」高性能節能綠建材評定基準已增加「節能塗料試驗」項目，本研究配合業界檢測需求，已於本(110)年 6 月提早完成本項試驗方法之開發，並於 7 月 7 日併同本所性能實驗中心延展認證向財團法人全國認證基金會(TAF)提出增列認證之申請，考量國內目前尚缺相關實驗室可進行本項試驗，為提供即時檢測服務及協助高性能節能綠建材之推動，已簽報依本所實驗設施技術服務收費標準第 3 條規定，比照性質相近之玻璃遮蔽係數檢測項目計費(試驗內容比較詳表 3-2.1)，俾對外正式受理檢測服務，

表 3-2.1 試驗內容比較表

| 試驗項目   | 玻璃遮蔽係數             | 節能塗料 <sup>(註)</sup> |
|--------|--------------------|---------------------|
| 檢測服務   | 既有檢測項目             | 新增檢測項目              |
| 使用儀器設備 | 1.Lambda 900 分光光譜儀 | 1.Lambda 900 分光光譜儀  |
|        | 2.傅利葉轉換紅外線光譜儀      | 2.傅利葉轉換紅外線光譜儀       |
|        | 3.Hot Disk 熱傳性質分析儀 | 3.Hot Disk 熱傳性質分析儀  |
| 試驗作業時間 | 16 人次時/件           | 16 人次時/件            |
| 引用標準   | 1.CNS 12381        | 1.CNS 12381         |
|        | 2.JIS R3106        | 2.JIS R3106         |
|        | 3.JIS R3107        | 3.ISO 9050          |
|        | 4.ISO 9050         | 4.ASTM E1980-11     |
|        | 5.CIE 13.3         |                     |
| 試驗內容   | 1.可視光透射率           | 1.可視光反射率            |
|        | 2.可視光反射率           | 2.日光反射率             |
|        | 3.日光透射率            | 3.日光吸收率             |
|        | 4.日光反射率            | 4.放射率               |
|        | 5.放射率              | 5.太陽反射指標 SRI(低速風速)  |

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 6.日光輻射熱取得係數 SHGC      | 6.太陽反射指標 SRI(中速風速) |
| 7.遮蔽係數 SC             | 7.太陽反射指標 SRI(高速風速) |
| 8.紫外線穿透率              |                    |
| 9.Skin damage factor  |                    |
| 10.日光 (D65) 穿透之演色性 Ra |                    |
| 11.總熱傳係數 U            |                    |

註:該項收費擬依本所實驗設施技術服務收費標準第3條規定略以:「...,非費表所定項目者,依性質相近項目之費額計收。」故擬暫依玻璃遮蔽係數試驗費額計收。

(資料來源:本研究整理)

另冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)於1998年成立,在節能塗料評定部分是一個相當知名的非營利組織,目前已開發節能塗料應用於屋頂及外牆的日光反射率、放射率及太陽反射指標 SRI 等評定方法,提供產品第三方認證,並建立相關型錄,廣為各界引用,本研究整理該網站公布之節能塗料性能數據,截至本(110)年6月底共彙蒐3105種產品的資料(如圖3-2.4),以下將分別就本研究試驗案例之量測結果及逐一整理CRRC公布之性能數據進行說明。

| CRRC PRODUCT ID | MANUFACTURER               | BRAND AND MODEL             | PRODUCT TYPE/COLOR      | SOLAR REFLECTANCE INDEX (SRI) |        |         |        | THERMAL EMISSIVITY (E) |        | THERMAL EMISSIVITY (E) |        | SRI | MORE INFO |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------|---------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|-----|-----------|
|                 |                            |                             |                         | INITIAL                       | 1 YEAR | INITIAL | 1 YEAR | INITIAL                | 1 YEAR | INITIAL                | 1 YEAR |     |           |
| 1254-0001       | S38 Coatings, LLC          | S38 Coatings S38 TOP        | Coating<br>Bright White | 0.78                          | 0.72   | 0.88    | 0.89   | 97                     | 88     |                        |        |     | +         |
| 1254-0002       | S38 Coatings, LLC          | S38 Coatings S38 Supreme    | Coating<br>Bright White | 0.86                          | 0.78   | 0.88    | 0.89   | 108                    | 97     |                        |        |     | +         |
| 0862-0001       | Acce Coatings Company Inc. | Alpha 8 505                 | Coating<br>Bright White | 0.84                          | 0.74   | 0.92    | 0.89   | 106                    | 91     |                        |        |     | +         |
| 1156-0001       | Acrylates                  | Acrylic Coating 7100F White | Coating<br>Bright White | 0.84                          | 0.79   | 0.88    | 0.88   | 105                    | 98     |                        |        |     | +         |

日光反射率 放射率 SRI

圖 3-2.1 CRRC 公布之節能塗料性能數據

(資料來源:整理自冷屋頂性能評估協會(CRRC)網站)

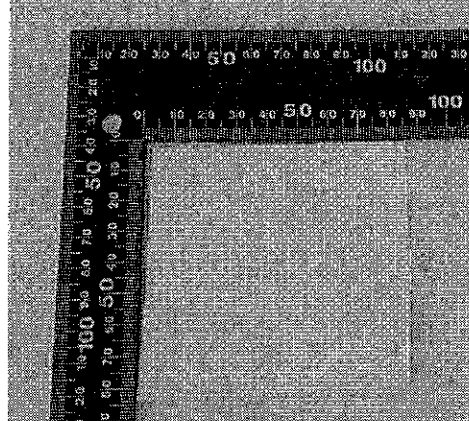
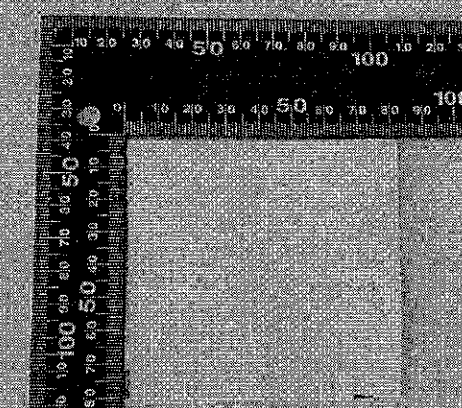
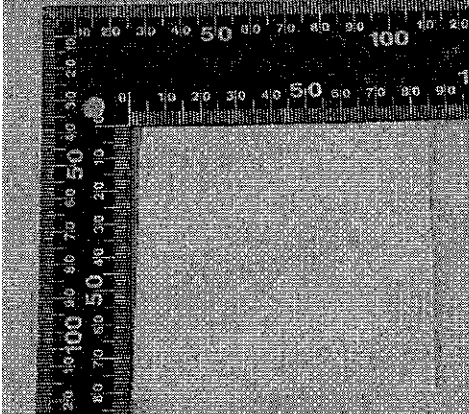
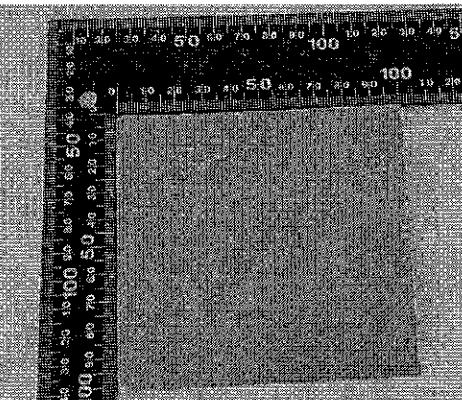
## 一、檢測服務之試驗案例

本研究於本(110)年 6 月參酌 CNS 12381、JIS R3106、ISO 9050 及 ASTM E1980-11 等標準完成本項試驗方法之開發，並配合性能實驗中心提供業界之檢測服務，截至 110 年 10 月底共蒐集 8 種節能塗料樣本，依廠商(A)提供之資料塗料主要成分係由矽酸鉀、無機色粉組成，廠商(B)提供之資料白漆主要成分由奈米級中空陶瓷球組成，研究依據所建立之標準作業程序進行各項光學與熱力性能試驗，樣本照片如廠商提供對應 RGB 色系如表 3-2.2 及表 3-2.3 所示，以下將分別就其試驗之量測結果進行說明。

表 3-2.2 節能塗料樣本-廠商(A)

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
|                               |                             |
| 編號:SP100<br>RGB (208,202,198) | 編號:SP2<br>RGB (157,157,154) |
|                               |                             |
| 編號:SP3<br>RGB (225,213,215)   | 編號:SP4<br>RGB (221,220,216) |

表 3-2.3 節能塗料樣本-廠商(B)

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| <p>編號:SP5<br/>RGB (255,255,255)</p>                                                | <p>編號:SP6<br/>RGB (255,255,255)</p>                                                 |
|  |  |
| <p>編號:SP7<br/>RGB (255,255,255)</p>                                                | <p>編號:SP8<br/>RGB (210,201,187)</p>                                                 |

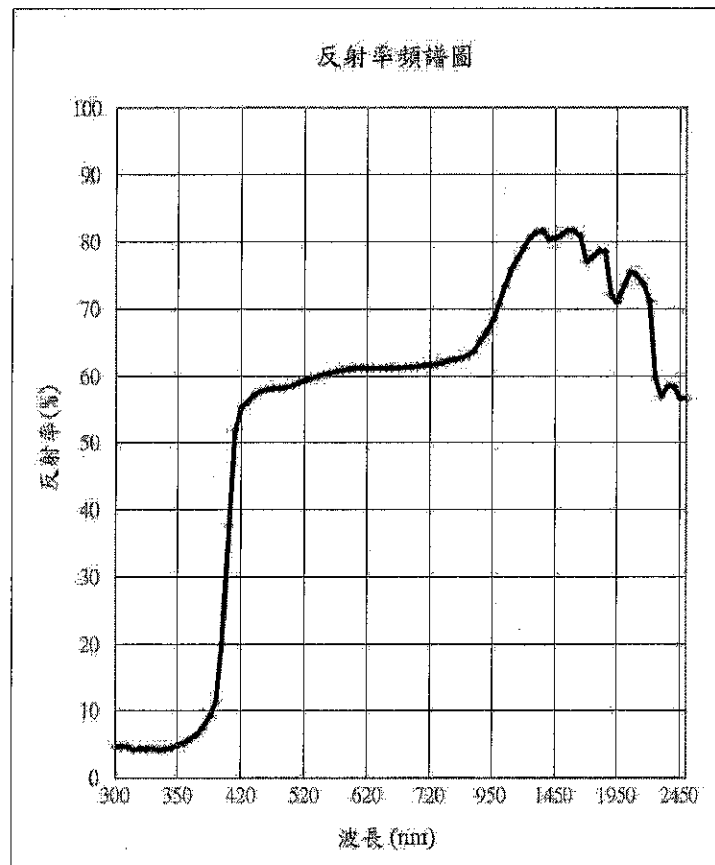
(資料來源：本研究整理)



## 1. 編號:SP1 :

本研究 SP1 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.2 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.42       |
| 6.7                     | 0.37       |
| 7.4                     | 0.41       |
| 8.1                     | 0.38       |
| 8.6                     | 0.42       |
| 9.2                     | 0.44       |
| 9.7                     | 0.45       |
| 10.2                    | 0.41       |
| 10.7                    | 0.41       |
| 11.3                    | 0.40       |
| 11.8                    | 0.38       |
| 12.4                    | 0.37       |
| 12.9                    | 0.36       |
| 13.5                    | 0.35       |
| 14.2                    | 0.37       |
| 14.8                    | 0.36       |
| 15.6                    | 0.39       |
| 16.3                    | 0.37       |
| 17.2                    | 0.39       |
| 18.1                    | 0.38       |
| 19.2                    | 0.40       |
| 20.3                    | 0.44       |
| 21.7                    | 0.37       |
| 23.3                    | 0.50       |



註:

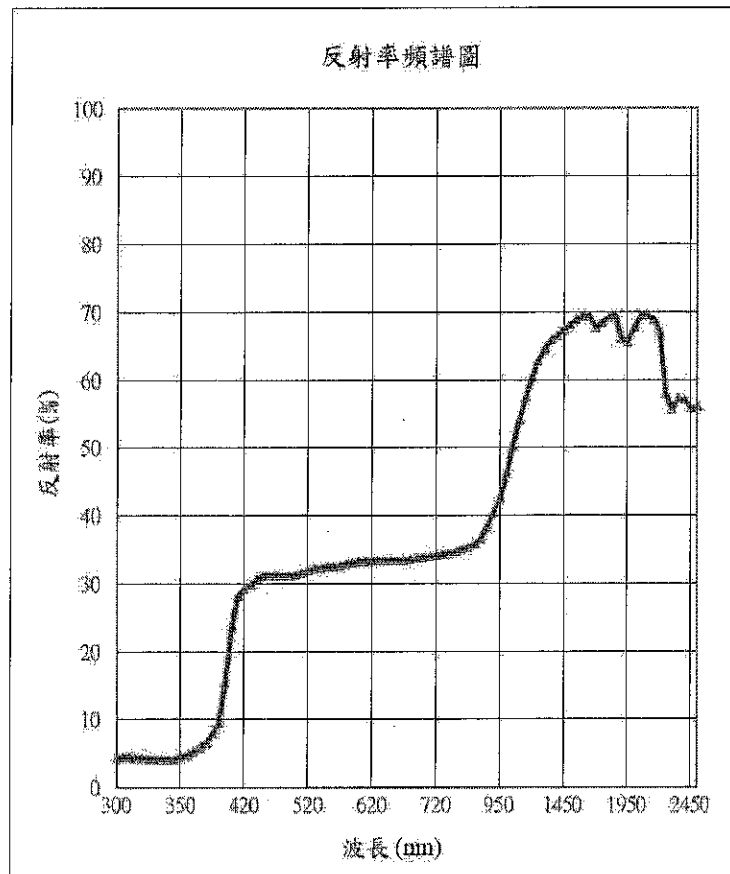
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 60.13 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 64.63 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 35.37 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.936。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 79.2、79.1 及 79.0。
- 6.未達綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.2 SP1 樣本量測結果

## 2.編號:SP2：

本研究 SP2 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.3 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.43       |
| 6.7                     | 0.36       |
| 7.4                     | 0.41       |
| 8.1                     | 0.37       |
| 8.6                     | 0.41       |
| 9.2                     | 0.44       |
| 9.7                     | 0.46       |
| 10.2                    | 0.41       |
| 10.7                    | 0.42       |
| 11.3                    | 0.39       |
| 11.8                    | 0.39       |
| 12.4                    | 0.38       |
| 12.9                    | 0.36       |
| 13.5                    | 0.36       |
| 14.2                    | 0.38       |
| 14.8                    | 0.39       |
| 15.6                    | 0.36       |
| 16.3                    | 0.38       |
| 17.2                    | 0.40       |
| 18.1                    | 0.38       |
| 19.2                    | 0.45       |
| 20.3                    | 0.46       |
| 21.7                    | 0.46       |
| 23.3                    | 0.57       |



註：

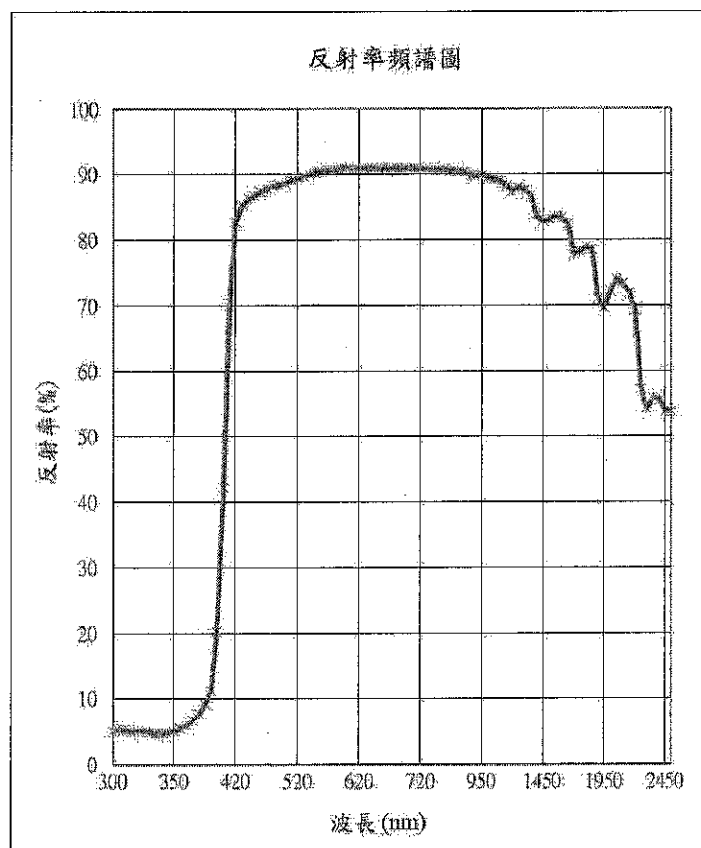
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 32.50 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 41.73 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 58.27 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.936。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 49.0、48.8 及 48.6。
- 6.未達綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.3 SP2 樣本量測結果

## 3.編號:SP3：

本研究 SP3 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.4 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.42       |
| 6.7                     | 0.38       |
| 7.4                     | 0.41       |
| 8.1                     | 0.38       |
| 8.6                     | 0.42       |
| 9.2                     | 0.44       |
| 9.7                     | 0.45       |
| 10.2                    | 0.42       |
| 10.7                    | 0.42       |
| 11.3                    | 0.41       |
| 11.8                    | 0.37       |
| 12.4                    | 0.37       |
| 12.9                    | 0.35       |
| 13.5                    | 0.37       |
| 14.2                    | 0.36       |
| 14.8                    | 0.38       |
| 15.6                    | 0.37       |
| 16.3                    | 0.38       |
| 17.2                    | 0.38       |
| 18.1                    | 0.39       |
| 19.2                    | 0.43       |
| 20.3                    | 0.44       |
| 21.7                    | 0.50       |
| 23.3                    | 0.61       |



註：

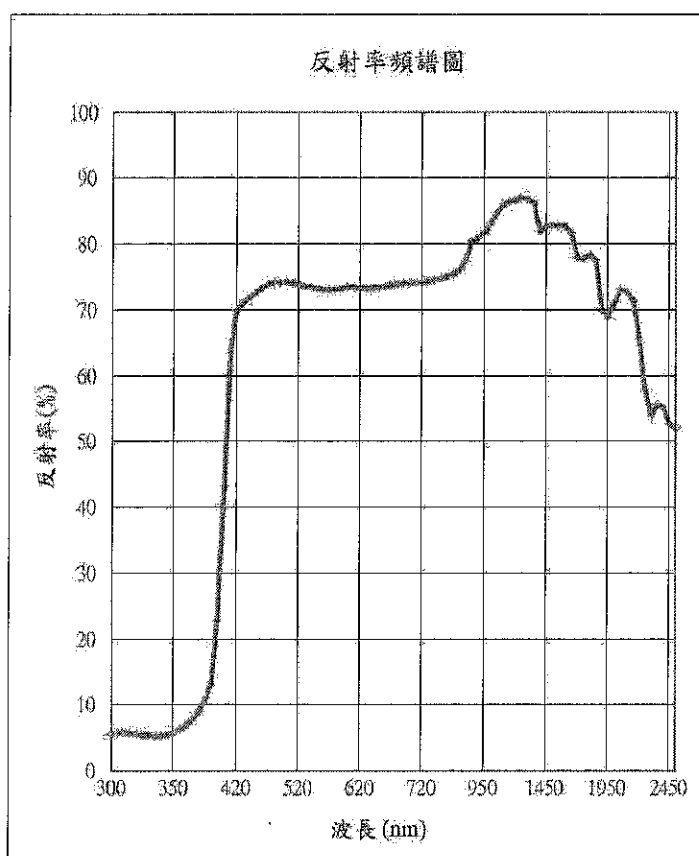
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 90.13 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 85.36 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 14.64 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.936。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 107.4、107.3 及 107.3。
- 6.達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.4 SP3 樣本量測結果

#### 4.編號:SP4：

本研究 SP4 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.5 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.42       |
| 6.7                     | 0.37       |
| 7.4                     | 0.37       |
| 8.1                     | 0.37       |
| 8.6                     | 0.43       |
| 9.2                     | 0.52       |
| 9.7                     | 0.51       |
| 10.2                    | 0.44       |
| 10.7                    | 0.42       |
| 11.3                    | 0.41       |
| 11.8                    | 0.38       |
| 12.4                    | 0.38       |
| 12.9                    | 0.37       |
| 13.5                    | 0.39       |
| 14.2                    | 0.42       |
| 14.8                    | 0.44       |
| 15.6                    | 0.48       |
| 16.3                    | 0.51       |
| 17.2                    | 0.47       |
| 18.1                    | 0.49       |
| 19.2                    | 0.54       |
| 20.3                    | 0.52       |
| 21.7                    | 0.73       |
| 23.3                    | 0.62       |



註：

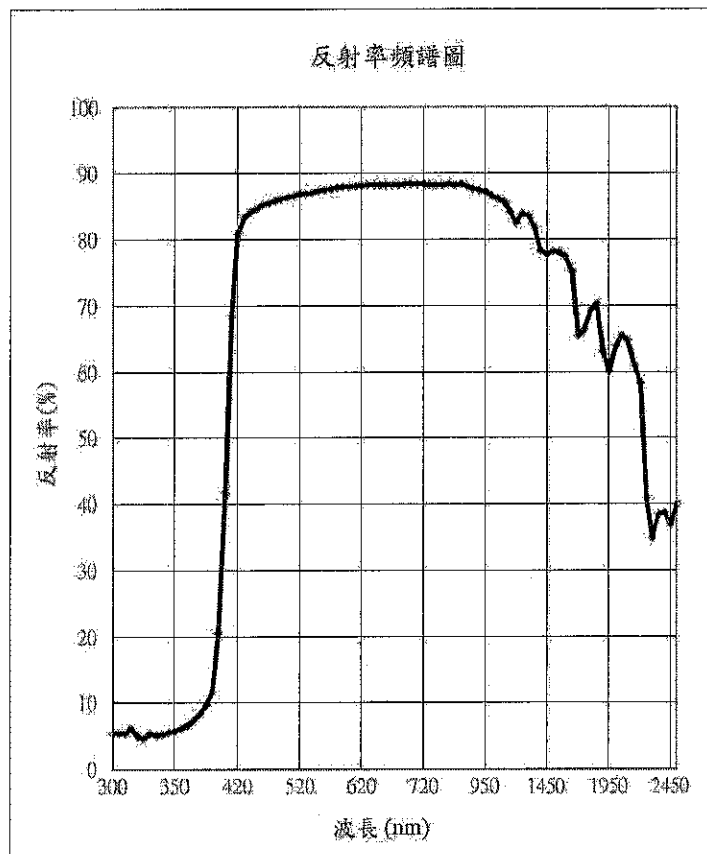
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 73.44 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 75.31 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 24.69 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.935。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 93.6、93.5 及 93.4。
- 6.達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.5 SP4 樣本量測結果

## 5.編號:SP5：

本研究 SP5 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.6 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.42       |
| 6.7                     | 0.39       |
| 7.4                     | 0.39       |
| 8.1                     | 0.39       |
| 8.6                     | 0.44       |
| 9.2                     | 0.48       |
| 9.7                     | 0.49       |
| 10.2                    | 0.44       |
| 10.7                    | 0.44       |
| 11.3                    | 0.43       |
| 11.8                    | 0.39       |
| 12.4                    | 0.41       |
| 12.9                    | 0.39       |
| 13.5                    | 0.38       |
| 14.2                    | 0.44       |
| 14.8                    | 0.41       |
| 15.6                    | 0.43       |
| 16.3                    | 0.44       |
| 17.2                    | 0.43       |
| 18.1                    | 0.43       |
| 19.2                    | 0.48       |
| 20.3                    | 0.52       |
| 21.7                    | 0.53       |
| 23.3                    | 0.64       |



註：

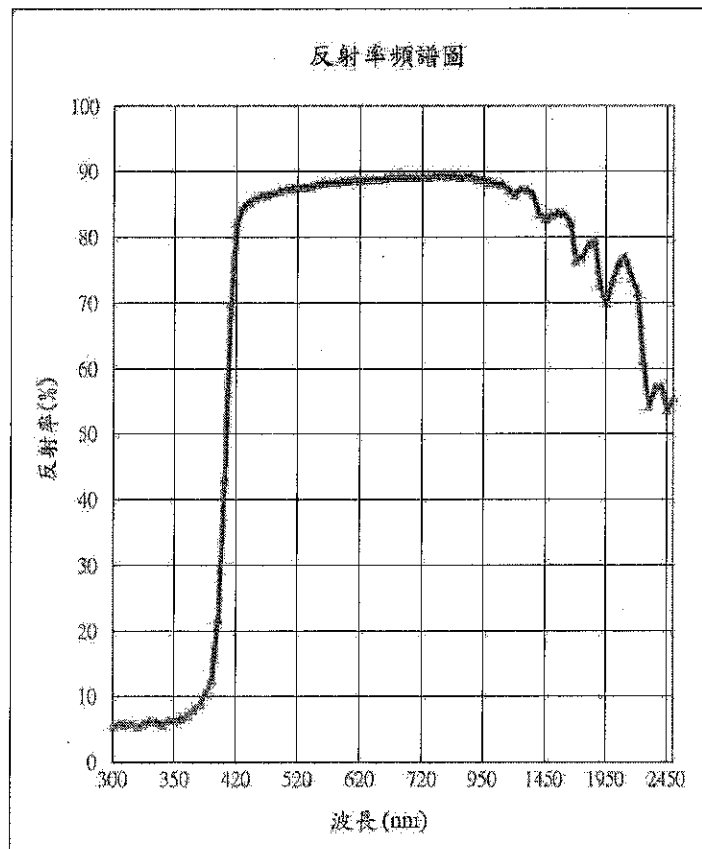
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 87.30 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 81.87 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 18.13 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.935。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 102.6、102.5 及 102.5。
- 6.達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.6 SP5 樣本量測結果

6.編號:SP6：

本研究 SP6 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.7 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.46       |
| 6.7                     | 0.42       |
| 7.4                     | 0.43       |
| 8.1                     | 0.42       |
| 8.6                     | 0.50       |
| 9.2                     | 0.62       |
| 9.7                     | 0.60       |
| 10.2                    | 0.52       |
| 10.7                    | 0.50       |
| 11.3                    | 0.48       |
| 11.8                    | 0.46       |
| 12.4                    | 0.45       |
| 12.9                    | 0.48       |
| 13.5                    | 0.50       |
| 14.2                    | 0.59       |
| 14.8                    | 0.61       |
| 15.6                    | 0.66       |
| 16.3                    | 0.70       |
| 17.2                    | 0.71       |
| 18.1                    | 0.75       |
| 19.2                    | 0.85       |
| 20.3                    | 0.96       |
| 21.7                    | 1.11       |
| 23.3                    | 1.17       |



註：

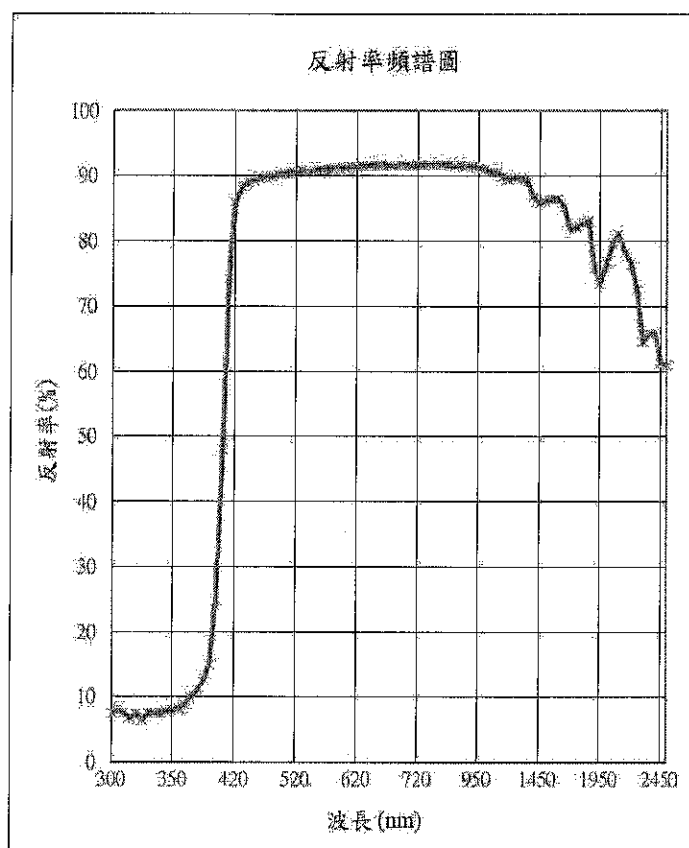
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 88.05 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 84.32 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 15.68 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.933。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 105.9、105.9 及 105.8。
- 6.達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.7 SP6 樣本量測結果

## 7.編號:SP7:

本研究 SP7 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.8 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 0.49       |
| 6.7                     | 0.48       |
| 7.4                     | 0.47       |
| 8.1                     | 0.44       |
| 8.6                     | 0.59       |
| 9.2                     | 0.90       |
| 9.7                     | 0.86       |
| 10.2                    | 0.70       |
| 10.7                    | 0.62       |
| 11.3                    | 0.61       |
| 11.8                    | 0.58       |
| 12.4                    | 0.62       |
| 12.9                    | 0.68       |
| 13.5                    | 0.83       |
| 14.2                    | 1.03       |
| 14.8                    | 1.17       |
| 15.6                    | 1.29       |
| 16.3                    | 1.41       |
| 17.2                    | 1.50       |
| 18.1                    | 1.62       |
| 19.2                    | 1.88       |
| 20.3                    | 2.10       |
| 21.7                    | 2.82       |
| 23.3                    | 2.93       |



註:

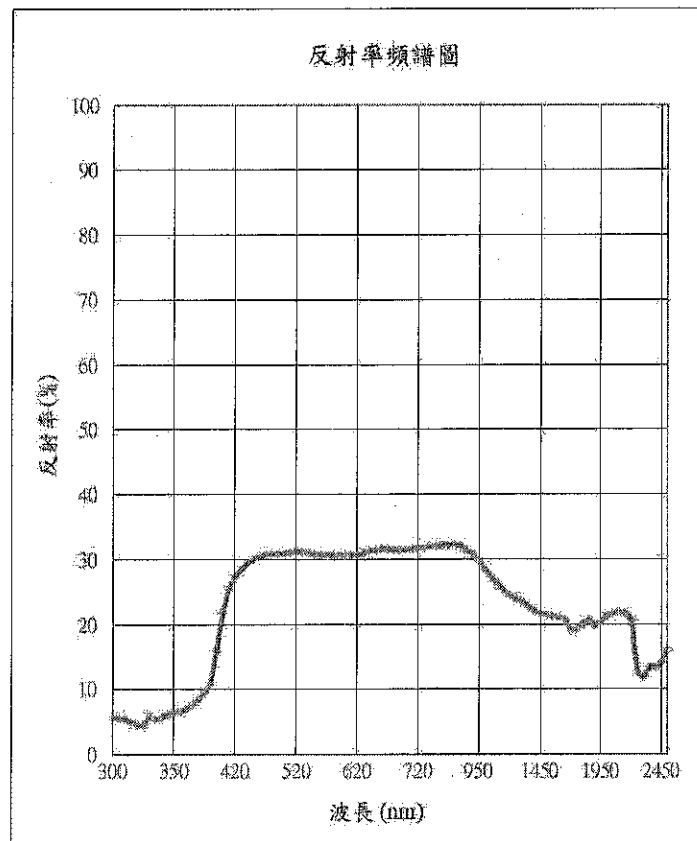
- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 90.90 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 87.20 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 12.80 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.926。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 109.8、109.8 及 109.8。
- 6.達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$  基準。

圖 3-2.8 SP7 樣本量測結果

# 8.編號:SP8：

本研究 SP8 樣本之塗佈量為  $0.45 \text{ Kg/m}^2$ ，使用紫外/可視光/近紅外光分光光譜儀及傅利葉轉換紅外線光譜儀依 CNS 12381 進行波長  $300\sim 2500\text{nm}$ 、 $5\sim 25\mu\text{m}$  之頻譜分佈量測，以計算得到可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、半球放射率及太陽反射指標 SRI(低、中及高速風速)等，量測結果如圖 3-2.9 所示。

| 波長<br>( $\mu\text{m}$ ) | 反射率<br>(%) |
|-------------------------|------------|
| 5.5                     | 1.02       |
| 6.7                     | 0.99       |
| 7.4                     | 1.10       |
| 8.1                     | 1.21       |
| 8.6                     | 1.56       |
| 9.2                     | 1.56       |
| 9.7                     | 1.46       |
| 10.2                    | 1.44       |
| 10.7                    | 1.43       |
| 11.3                    | 1.34       |
| 11.8                    | 1.29       |
| 12.4                    | 1.32       |
| 12.9                    | 1.26       |
| 13.5                    | 1.31       |
| 14.2                    | 1.29       |
| 14.8                    | 1.29       |
| 15.6                    | 1.27       |
| 16.3                    | 1.29       |
| 17.2                    | 1.26       |
| 18.1                    | 1.23       |
| 19.2                    | 1.31       |
| 20.3                    | 1.34       |
| 21.7                    | 1.40       |
| 23.3                    | 1.33       |



註：

- 1.依據 CNS 12381 計算可視光反射率為 30.83 %。
- 2.依據 CNS 12381 計算日光反射率為 27.97 %。
- 3.依據 CNS 12381 計算日光吸收率為 72.03 %。
- 4.依據 CNS 12381 計算半球放射率為 0.928。
- 5.依據 ASTM E1980-11 計算 SRI(低、中及高速風速)分別為 30.3、30.8 及 30.7。
- 6.未達到綠建材標章日光反射率 $>0.70$ 、SRI $>80$ 基準。

圖 3-2.9 SP8 樣本量測結果



## 9. 小結：

本研究配合性能實驗中心提供業界之檢測服務，截至 110 年 10 月底共蒐集 8 種節能塗料樣本，依外觀顏色均偏淺色系，整體試驗數據看來，本次塗料產品，其測試結果，可視光反射率約在 30.8%~90.9%之間，平均值為 69.16%、日光反射率約在 28.0%~87.2%之間，平均值為 68.55%、日光吸收率約在 72.0%~12.8%之間，平均值為 31.45%、半球放射率約在 0.926~0.936 之間，平均值為 0.933、SRI(中速風速)約在 30.75~109.79 之間，平均值為 84.71。本次蒐集 8 種節能塗料樣本共計 5 種可達到綠建材標章基準(日光反射率>0.70、SRI>80)。

其中廠商(A)提供 4 件塗料主要成分係由矽酸鉀、及不同無機色粉組成，色系分別 RGB (208,202,198)、RGB (157,157,154)、RGB (225,213,215)及 RGB (221,220,216)，外觀約略為白色、淺灰色至深灰色，其試驗結果有明顯差異，在可視光反射率分別 32.5%、60.13%、74.33%、90.13%，日光反射率分別 41.73%、64.63%、75.31%、85.36%，SRI(中速風速)分別 48.8、79.1、93.5、107.3，顯見不同顏色塗料吸收不同波段能量，對光學及熱學性能造成影響。

另廠商(B)提供 4 件塗料，3 件以白漆為基底添加不同大小之奈米級中空陶瓷球，另 1 件為比對深灰色塗料，3 件白漆塗料之可視光反射率分別 87.3%、88.1%、90.9%，日光反射率分別 81.9%、84.3%、87.2%，SRI(中速風速)分別 102.5、105.8、109.8，結果顯示在白漆添加不同大小之奈米級中空陶瓷球對光學及熱學性能差異不大。

## 二、CRRC 登錄塗料產品之性能數值

為獲得目前節能塗料完整性能數據，本研究進一步整理冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)網站登載塗料試驗結果，截至本(110)年 10 月底共彙蒐 3105 種產品，公布之性能數據包括日光反射率、半球放射率及太陽反射指標 SRI 等 3 項，其中有 2949 種產品除了登載初始值，亦提供塗覆 3 年後之性能數值，以下將分別就其性能進行說明。

依整體彙蒐試驗數據看來，本次 3105 件塗料產品，其初始值測試結果，日光反射率約在 3%~94%之間，平均值為 46.48 %、半球放射率約在 0.05~0.98 之間，平均值為 0.855、SRI 約在-3~120 之間，平均值為 52.62。

另針對有登載初始值及塗覆 3 年之 2949 件產品測試結果進行性能衰減比較，結果顯示塗覆 3 年後整體日光反射率之平均值較初始值衰減 8.1%、放射率之平均值較初始值衰減 0.1%、SRI 之平均值較初始值衰減 9.9%，測試結果性能比較如表 3-2.4 所示。

表 3-2.4 節能塗料測試性能比較(初始值及塗覆 3 年後)

| 試驗項目          | 整體初始值<br>測試結果之<br>平均值(A) | 塗覆3年後<br>測試結果之<br>平均值(B) | 差異值<br>(C)=(A)-(B) | 性能衰減<br>平均百分比<br>(C)/(A) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| 產品數目          | 2949                     | 2949                     | -                  | -                        |
| 日光反射率         | 47.0%                    | 43.2%                    | 3.8%               | 8.1%                     |
| 放射率           | 0.853                    | 0.852                    | 0.001              | 0.1%                     |
| 太陽反射指標<br>SRI | 53.17                    | 47.88                    | 5.29               | 9.9%                     |

(資料來源：本研究整理)

此外，進一步將這 3105 件塗料產品試驗數據，其中有 2949 件產品登載初始值及塗覆 3 年後之性能數值，與各項基準進行比較，在我國高性能節能塗料綠建材基準部分，規範塗料產品之日光反射率  $R_c > 0.70$  及太陽反射指標  $SRI_c > 80$  需同時達到基準，本研究將 3105 件產品之日光反射率量測值  $R$  與  $R_c$  基準值之比值點繪於圖 3-2.10，可以發現該比值  $R/R_c > 1$  的案例計有 830 件(約 26.7%)，另在  $SRI/SRI_c > 1$  的部分，其分佈如圖 3-3.11 所示，由圖中可以發現，計有 909 件(約 29.3%)的  $SRI$  量測值可達性能基準，高性能節能塗料綠建材之基準需同時達到上開二項基準，方能申辦綠建材標章，經統計本次 3105 件塗料產品能同時達到二項基準計有 826 件(約 26.6%)。

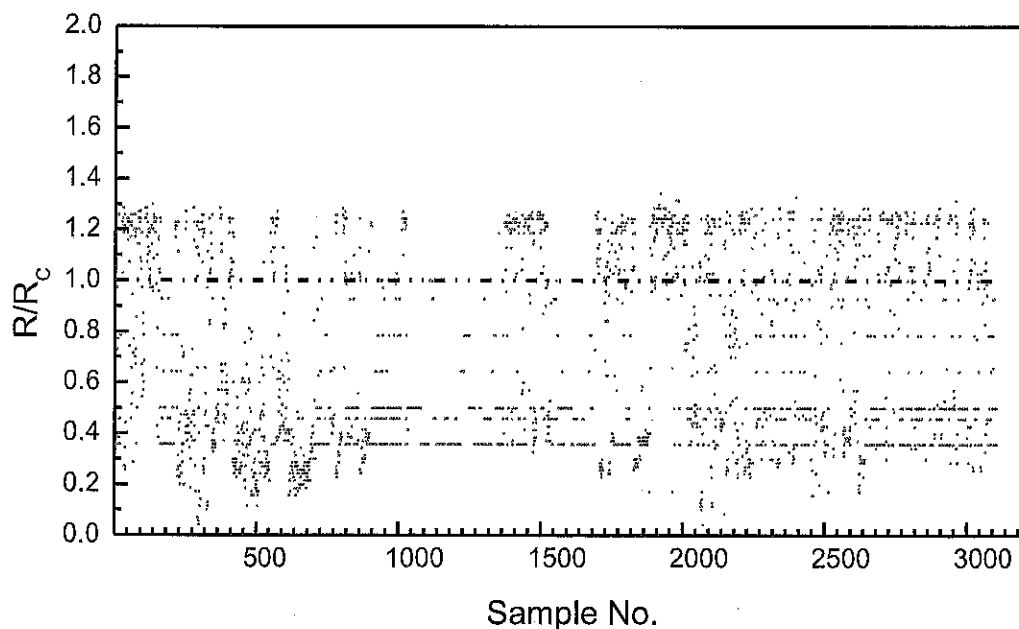


圖 3-2.10 塗料產品日光反射率  $R/R_c$  之案件分布圖

(資料來源：本研究整理)

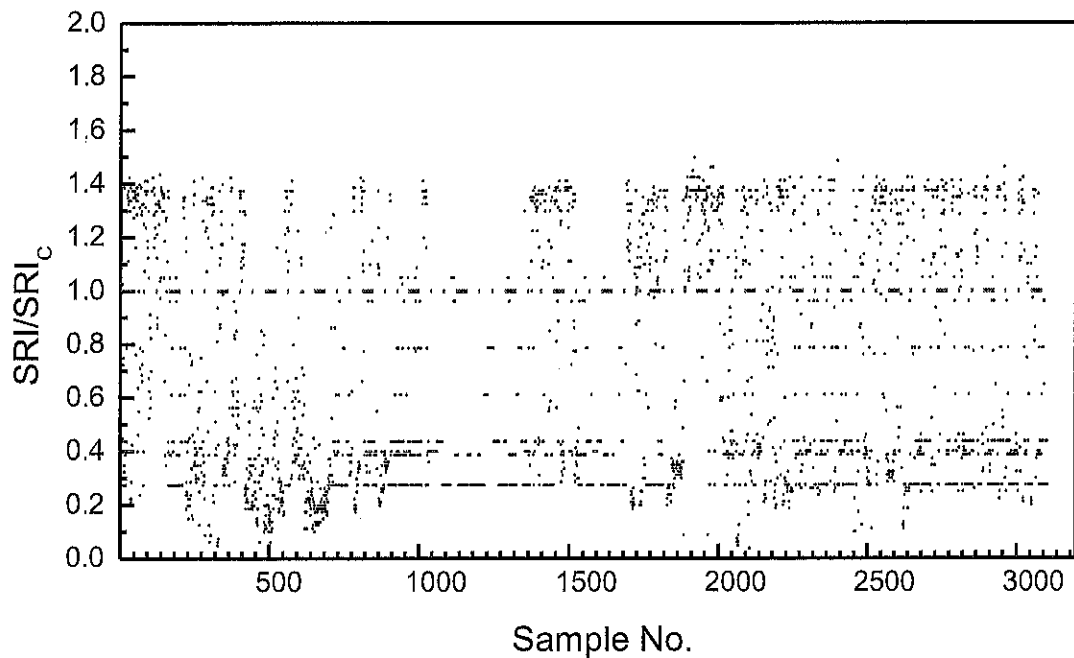


圖 3-2.11 塗料產品太陽反射指標 SRI/SRI<sub>c</sub> 之案件分布圖  
(資料來源：本研究整理)

美國 California Building Energy Efficiency Standards(2019)在住宅類及低層建築低斜度屋頂基準部分，規範塗料產品之日光反射率  $R_c \geq 0.63$ 、半球放射率  $e_c \geq 0.75$  及太陽反射指標  $SRI_c \geq 75$  需同時達到基準，本研究將 3105 件產品的半球放射率量測值  $e$  與  $e_c$  基準值之比值點繪於圖 3-2.12，可以發現該比值  $e/e_c > 1$  的案例計有 3061 件(約 98.6%)，在  $R/R_c \geq 1$  的部分，計有 996 件(約 32.1%)的  $R$  量測值可達性能基準，另在  $SRI/SRI_c \geq 1$  的部分，計有 977 件(約 31.5%)的  $SRI$  量測值可達性能基準，經統計本次 3105 種塗料產品能同時達到三項基準計有 905 件(約 29.2%)。

美國 California Building Energy Efficiency Standards(2019)在非住宅類及高層建築低斜度屋頂基準部分，規範塗料產品之日光反射率  $R_c \geq 0.55$ 、半球放射率  $e_c \geq 0.75$  及太陽反射指標  $SRI_c \geq 64$  需同時達到基準，在  $e/e_c \geq 1$  的部分，計有 3061 件(約

98.6%)的  $e$  量測值可達性能基準，在  $R/R_c \geq 1$  的部分，計有 1138 件(約 36.6%)的  $R$  量測值可達性能基準，另在  $SRI/SRI_c \geq 1$  的部分，計有 1034 件(約 33.3%)的  $SRI$  量測值可達性能基準，經統計本次 3105 種塗料產品能同時達到三項基準計有 1032 件(約 33.2%)。

美國 Energy Star label(2019)在低斜度屋頂基準部分，規範塗料產品初始之日光反射率  $R_{c1} \geq 0.65$ 、塗覆 3 年後之日光反射率  $R_{c2} \geq 0.5$  需同時達到基準，本研究將具有登載初始值及塗覆 3 年後 2949 件產品之性能數值進行比較，在初始  $R/R_{c1} \geq 1$  的部分，計有 984 件(約 33.4%)的  $R$  量測值可達性能基準，另在塗覆 3 年  $R/R_{c2} \geq 1$  的部分，計有 1087 件(約 36.9%)的  $R$  量測值可達性能基準，經統計本次 2949 件塗料產品能同時達到二項基準計有 939 件(約 31.8%)，節能塗料產品通過各項基準彙整如表 3-2.5 所示。

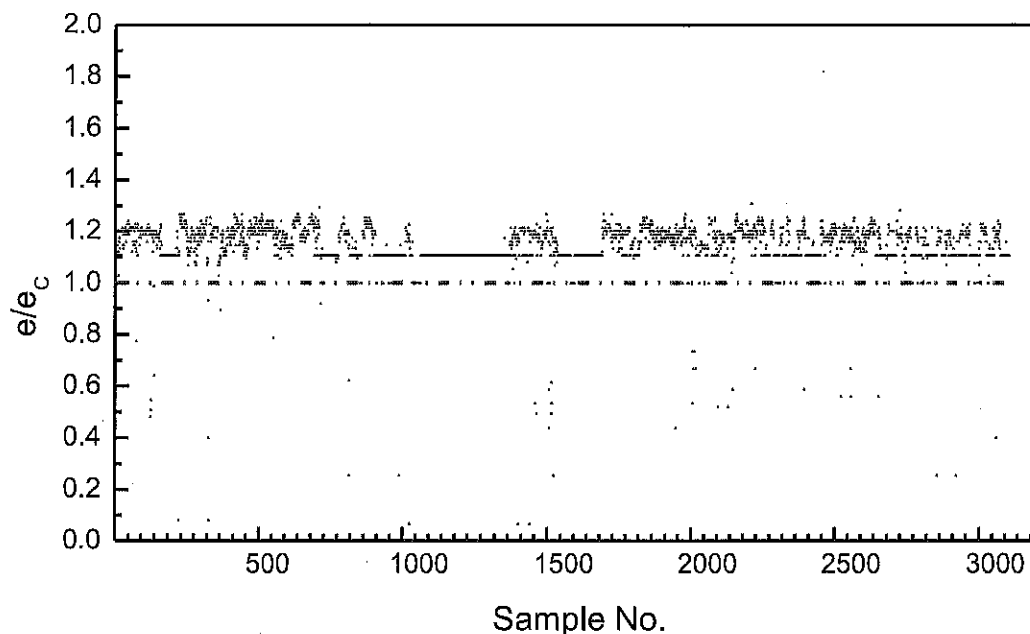


圖 3-2.12 塗料產品半球放射率  $e/e_c$  之案件分布圖

(資料來源：本研究整理)

表 3-2.5 節能塗料產品通過各項基準統計

| 項次 | 名稱                                                                            | 產品數目 | 評估項目及基準        | 通過件數及比率      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|--------------|
| A  | 綠建材標章(2020)                                                                   | 3105 | 日光反射率(初始)>0.70 | 830 (26.7%)  |
|    |                                                                               |      | SRI(初始)>80     | 909 (29.3%)  |
|    |                                                                               |      | 同時符合上開2項基準值    | 826 (26.6%)  |
| B  | Energy Star label(2019)<br>(低斜度屋頂)                                            | 2949 | 日光反射率(初始)≥0.65 | 984 (33.4%)  |
|    |                                                                               |      | 日光反射率(3年)≥0.5  | 1087 (36.9%) |
|    |                                                                               |      | 同時符合上開2項基準值    | 939 (31.8%)  |
| C  | California Building Energy Efficiency Standards(2019)<br>住宅類及低層建築<br>(低斜度屋頂)  | 3105 | 日光反射率(初始)≥0.63 | 996 (32.1%)  |
|    |                                                                               |      | 放射率(初始)≥0.75   | 3061 (98.6%) |
|    |                                                                               |      | SRI(初始)≥75     | 977 (31.5%)  |
|    |                                                                               |      | 同時符合上開3項基準值    | 905 (29.2%)  |
|    | California Building Energy Efficiency Standards(2019)<br>非住宅類及高層建築<br>(低斜度屋頂) | 3105 | 日光反射率(初始)≥0.55 | 1138 (36.6%) |
|    |                                                                               |      | 放射率(初始年)≥0.75  | 3061 (98.6%) |
|    |                                                                               |      | SRI(初始)≥64     | 1034(33.3%)  |
|    |                                                                               |      | 同時符合上開3項基準值    | 1032(33.2%)  |
| D  | LEED4.1<br>(低斜度屋頂)                                                            | 2949 | SRI(初始)≥82     | 873 (29.6%)  |
|    |                                                                               |      | SRI(3年)≥64     | 935 (31.7%)  |
|    |                                                                               |      | 同時符合上開2項基準值    | 857 (29.1%)  |

(資料來源：本研究整理)

### 第三節 全尺度實驗計畫

成大能源科技與策略研究中心為執行科技部「產學技術聯盟合作計畫-綠色建材產業聯盟」，以其過去研發成果及核心技術為主軸，成立綠色建材產業聯盟，建置建材隔熱性能量測實驗室，加強學術界與產業界之交流，並提供聯盟會員相關之研究開發諮詢與服務，特邀本所加入，為提升本所各實驗中心產能，本所於 108 年 4 月 1 日與成大能源科技與策略研究中心簽署綠色建材產業聯盟合作協議，透過「建構臺灣最完整之國家實驗研究中心」之合作目標，期望提供國內最完善之技術服務。鑒於執行成效良好，本所另於 109 年 2 月 24 日報部奉核授權與國立成功大學簽署共同研發合作協議，協議內容包括：促進雙方共同研發、合作，共同致力推動產學、人才培育，以及研發與應用相關服務與諮詢，以及其他經雙方同意事項。

經濟部在「前瞻基礎建設計畫」架構下，於去(109)年在「沙崙智慧綠能科學城」完成建置「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」，並委託工業技術研究院代管，工業技術研究院再委託國立成功大學能源科技與策略研究中心操作執行，本(110)年該中心刻於本所防火實驗中心戶外實驗場合作建置「低碳-韌性實驗展示屋」，以整合協助業界研發驗證與技術推廣，並供後續全尺度實測實驗，以下針對上開 2 項設施予以簡介。

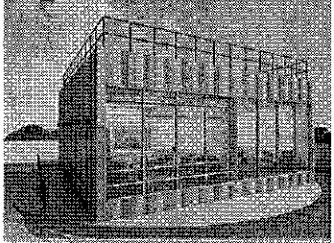
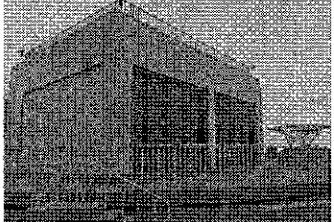
#### 一、亞熱帶綠能建築技術研發測試平台：

亞熱帶綠能建築技術研發測試平台主要功能可在實際環境條件下進行測試，藉由相關測試結果能夠分析建築節能技術的開發、能源效率的改善、環境與視覺舒適度的成效，目前全球只有美國 Flexlab 與新加坡 SkyLab 各有一套相同實驗設備，但在細部設計與設置地點上有所不同，相關設計比較如表 3-3.1 所示。

以美國 Flexlab 為例，主要應用於(1)整體建築系統整合、(2)綜合組件的相互作用(例如 HVAC，照明，窗口，外觀，插頭負載控制系統)、(3)硬體和感知器的控制、(4)實際測試並與設計預測相互比對。測試項目可分為：(1)內部或外部測試、(2)數據收集和控制、(3)照明和插頭負載測試。

由於 Flexlab 實驗屋的相關技術已經發展成熟，新加坡則依照 Flexlab 實驗屋為原型設計的概念，於新加坡當地的專科學院新教學大樓屋頂，建置一個 BCA Skylab 旋轉測試屋，總共耗資 450 萬新幣(約新台幣 9700 萬元)，於一年的時間建造完畢。此 BCA Skylab 旋轉實驗屋的面積約 132 m<sup>2</sup>，能以 35 mm/s 的速度自轉，約半小時內就可自轉一圈。BCA Skylab 旋轉實驗屋內設有超過 200 個感測器，可測試在不同時間、氣候和方向條件下的室溫、照度和二氧化碳濃度…等

表 3-3.1 測試驗證平台簡易比較

| 實驗屋名稱            | 設置區域氣候 | 設置地點  | 可旋轉角度 | 室內配置        | 實驗室外觀                                                                                 |
|------------------|--------|-------|-------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Flexlab (美國)     | 溫帶氣候   | 平地面   | 270   | 兩間實驗屋       |  |
| BCA Skylab (新加坡) | 熱帶氣候   | 建築物上方 | 360   | 兩間實驗屋和一間控制室 |  |
| 建築技術研發測試平台 (臺灣)  | 亞熱帶氣候  | 平地面   | 360   | 兩間實驗屋和一間控制室 |  |



至於本亞熱帶綠能建築技術研發測試平台係參酌美國 Flexlab 與新加坡 SkyLab 經驗規劃建置，可利用底部旋轉機構調整實驗屋方位，進行各面向之建築節能、環境控制與智慧化系統整合測試，俾作為建築技術開發、模擬軟體與產品驗證全尺寸實測平台。

本亞熱帶綠能建築技術研發測試由 2 間實驗屋(測試室、比對室)和控制室組成，平面配置如圖 3-3.1 所示，相關設計特色與功能包括：可變天花板高度、更換外牆元素(玻璃或天窗)、內部移動牆、可變高架地板高度、空調系統、照明器具等，提供建築工法、單一材料、綜合組件、建築設備等實驗，另規劃之量測監控系統以數據蒐集系統為管理核心，整合電力、照明、通風換氣、監視系統及能源管理系統等，具備感測與診斷功能，可網路監控連線作業，未來規劃研究課題包括下列 7 大主題：(1)室內環境(2)能源系統(3)效能建材(4)室外環境(5)智慧化調控(6)能環人工智慧(7)系統整合。

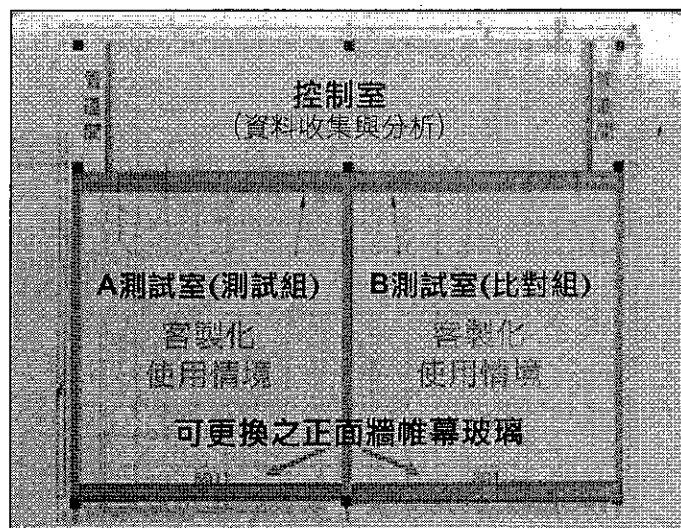


圖 3-3.1 測試室及比對室示意圖

(資料來源：成大能源科技與策略研究中心 DM)

## 二、量測儀器設備：

### (一)可撓式熱流U值感測片

該感測片附有散熱器且為可撓性材質，溫度感測範圍 5cm x 5cm 的方形面積，可量測待測物傳導、對流與輻射之熱通量，本研究所採用之感測片為 Hukseflux 公司之 FHF02，其性能如下：

- 1.量測溫度範圍： $-40^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 。
- 2.量測U值範圍： $(-10\sim+10)\times 10^3\text{ W/m}^2$ 。
- 3.靈敏度(Sensitivity)： $5.5\times 10^{-6}\text{ V/(W/m}^2\text{)}$ 。
- 4.感測片厚度： $0.9\times 10^{-3}\text{ m}$ 。
- 5.感測片熱阻(thermal resistance)： $30\times 10^{-4}\text{ K/(W/m}^2\text{)}$ 。
- 6.感測片阻抗範圍： $50\sim 100\ \Omega$ 。
- 7.防護等級：IP67
- 8.熱流感測片數值記錄器：
  - a.配置 16 插槽及 48 通道，使用 ARM Cortex-A8 高效能 CPU，內部 Flash 記憶體與隨機存取記憶體皆為 256MB。
  - b.數據取樣速率預設為 1 秒/點，最快可達 0.1 秒/點，通用型訊號輸入:J,T,K,E-type 熱電偶，RTD 式溫度感測器。網路通訊協定方式適用 RS485 Modbus RTU,Modbus TCP/IP。內建 USB 二埠及 SD 卡插槽，以利隨機存儲數據檔案之便。
  - c.螢幕觸控顯示畫面大小為 12.1''TFT、工作電源為 100~240 VAC、工作環境溫度： $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。
  - d.儀器外部尺寸： $288\text{ mm(長)}\times 288\text{ mm(寬)}\times 189\text{ mm(高)}$

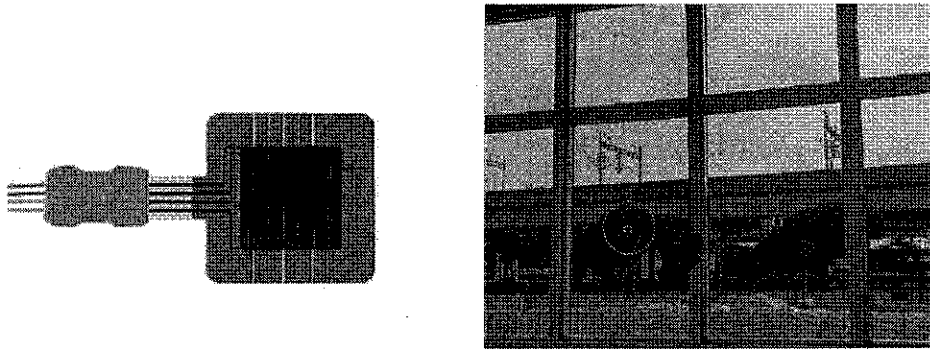


圖 3-3.2 可撓式熱流U值感測片  
(資料來源:廠商型錄及本研究拍攝)

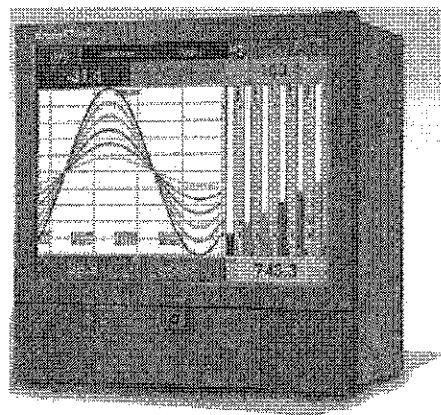


圖 3-3.3 熱流感測片數值記錄器  
(資料來源:廠商型錄)

## (二)室內型多功能溫濕度計

該溫濕度計可量測溫度、相對濕度、露點、濕球溫度、比焓等物理量，本研究所採用之設備為宇田控制科技股份有限公司(EYC)之 THS301，其性能如下：

- 1.輸入訊號：Capacitive Humidity Sensor & PT 100Ω A 級。
- 2.輸出訊號：RS-485 及 2 組類比輸出訊號。
- 3.溫度線性精度： $\pm 0.2^{\circ}\text{C} \pm 0.005^{\circ}\text{C} \times t_{\text{actual}}$  (量測點  $25^{\circ}\text{C}$ )。
- 4.濕度準確度： $\pm 2\% \text{ RH}$  (量測點  $25^{\circ}\text{C}$ )。
- 5.工作環境溫度： $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.工作環境濕度： $0 \sim 95\% \text{ RH}$ 。
- 7.防護等級：IP65(本體)

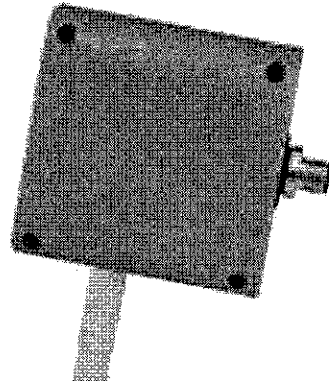


圖 3-3.4 室內型多功能溫濕度計  
(資料來源:廠商型錄)

### (三)室內熱舒適性量測系統

該量測系統可依據 ISO7730 量測 PMV/PPD 室內熱舒適性等物理量，本研究所採用之設備為宇田控制科技股份有限公司(EYC)之 DeltaOHM HD32.3A WBGT PMV PPD，由標準黑球、風速計及溫濕度計組成，並設計置放於三角支架，以便於攜帶、儀動及現場量測，主機電池 1800mAh 可提供連續至少(含)8 天之使用，並連接搭配 ARTILECT GREEN 公司之 AGD-DB122SA1 照度計，各項主要性能如下：

#### 1.標準黑球

- a.直徑 150 mm 球體。
- b.量測溫度範圍： $-10^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 。
- c.解析度 (Resolution)： $0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- d.訊號傳輸：SICRAM 模組。

#### 2.風速計

- a.可操作溫度範圍： $0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。
- b.量測風速範圍： $0.1 \sim 5 \text{ m/s}$ 。
- c.準確度 (Accuracy)：  
 $\pm 0.2 \text{ m/s}$ (在風速計讀值為  $0.1 \sim 1 \text{ m/s}$ )、 $\pm 0.3 \text{ m/s}$ (在風速計讀值為  $1 \sim 5 \text{ m/s}$ )。

d. 訊號傳輸：SICRAM 模組。

3. 溫濕度計

a. 量測溫度範圍： $-40^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

b. 量測濕度範圍： $0 \sim 100\% \text{ RH}$ 。

c. 溫度準確度符合 1/3 DIN 規範。

d. 濕度準確度  $1.5\% \text{ RH}$  (讀值為  $0 \sim 90\% \text{ RH}$ )。

e. 溫度解析度： $0.1^{\circ}\text{C}$ 。

f. 濕度解析度： $0.1\% \text{ RH}$ 。

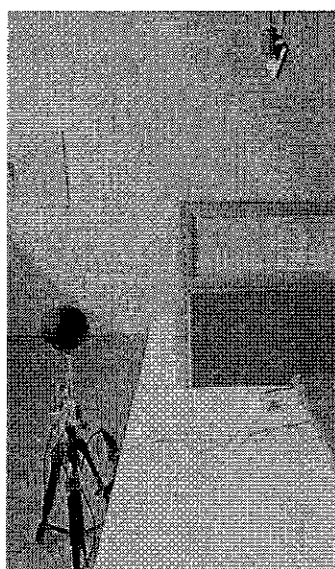
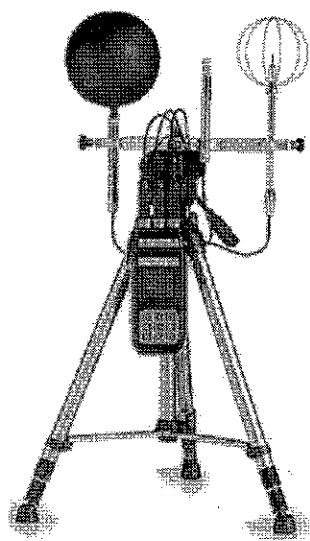


圖 3-3.5 室內熱舒適性量測系統

(資料來源：廠商型錄及本研究拍攝)

### 三、低碳-韌性實驗展示屋：

本所原 6 個全尺寸實驗屋主要係透過現場實測，同步探討不同屋頂隔熱工法、材料間之空調節能與室內熱舒適性之改善效益，包括薄層屋頂綠化、密集型屋頂綠化、雙層通風屋頂、屋頂隔熱漆(或冷屋頂)、傳統 PS 隔熱版隔熱以及傳統五腳磚隔熱屋頂等，為增進設備功能，本(110)年成大能策中心合作改建為「低碳-韌性實驗展示屋」，後續可作為建築工法與技術之實驗場域，以及前瞻建築材料、設備、技術與工法之展示場所，以供教育、科研、國際合作與政策推動應用。

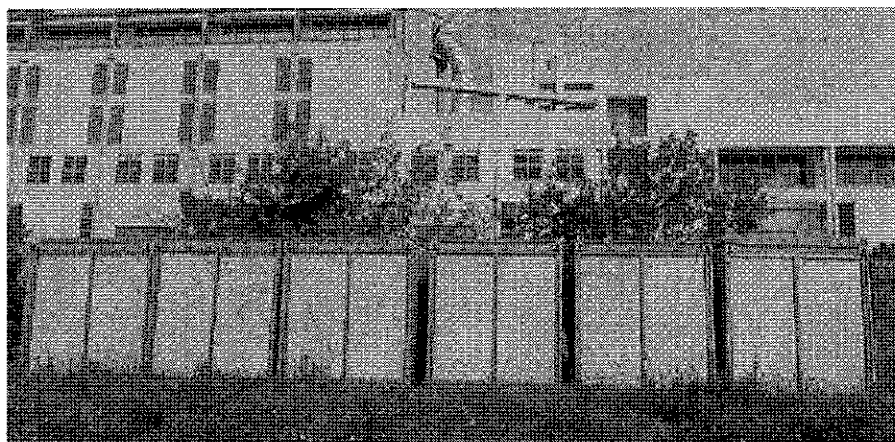


圖 3-3.6 原 6 個全尺寸實驗屋



圖 3-3.7 改建為「低碳-韌性實驗展示屋」

本合作計畫已於本(110)年 11 月合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」之建置，項目包括 11 KW 太陽光電板、汽車再利用鉛酸蓄電池、氣凝膠相變化砂漿、節能塗料、電致變色隔熱膜、循環經濟隔熱防水毯、智慧人體感應燈、遮煙捲簾、健康竹地板、吸音墊及量測監測設備等，如圖 3-3.8 及圖 3-3.9 所示

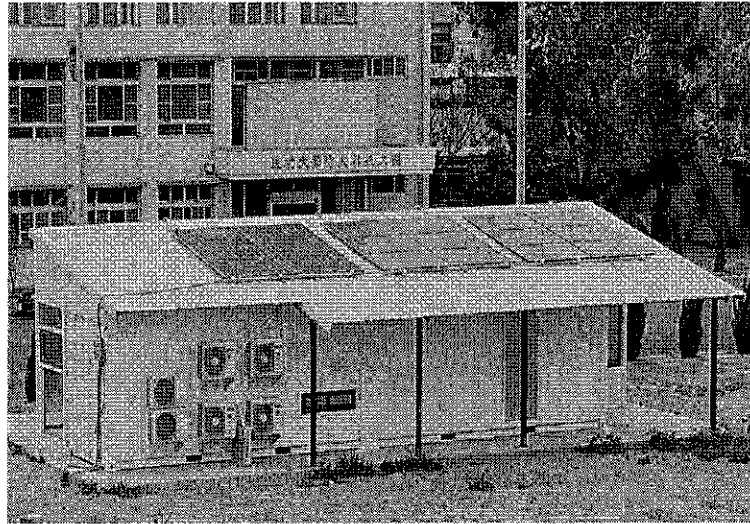


圖 3-3.8 低碳-韌性實驗展示屋(外觀)

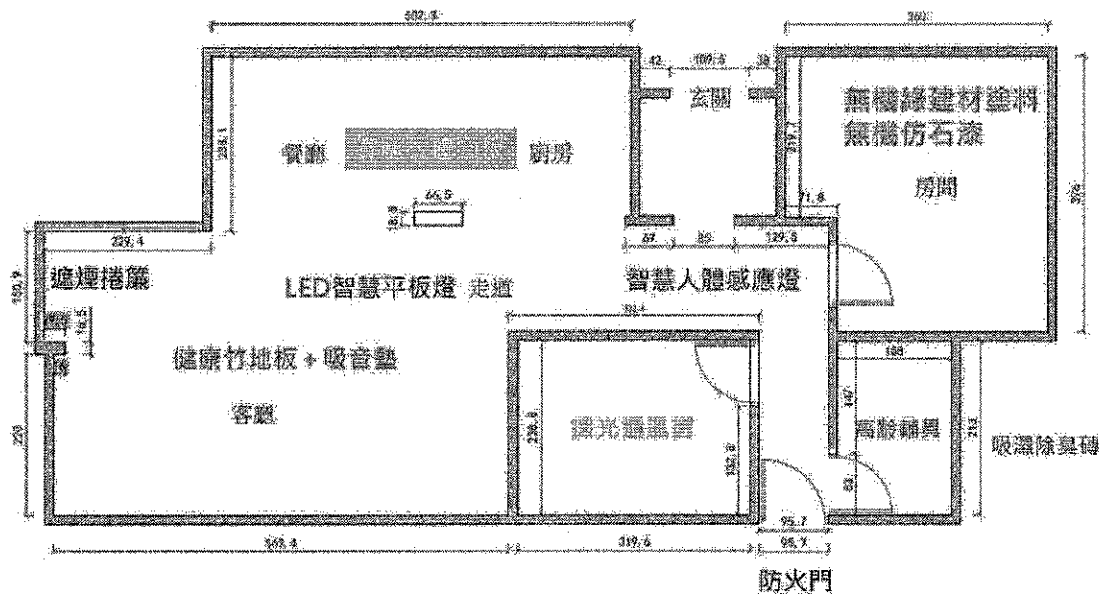


圖 3-3.9 低碳-韌性實驗展示屋(內部)

## 第四章 結論與建議

本研究執行期間，依原訂期程完成蒐集整理國內外有關建築節能塗料應用規範、技術文獻以及相關實驗研究文獻，彙整冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)網站公布之 3,000 多種塗料產品性能數據，並與相關規範進行比較，以及整合性能實驗中心現有設備，於本(110)年 6 月完成檢測技術開發，包括標準作業程序(SOP)、不確定度分析及實驗室間能力試驗比對以供量測系統驗證，於 7 月 7 日併同本所性能實驗中心延展認證向財團法人全國認證基金會(TAF)提出增列認證之申請，TAF 組成評鑑小組於 10 月 6、7、12、13 日進行現場評鑑，本項無相關缺失事項，已於本(110)年 12 月 9 日順利取得增列認證。另本研究透過與成功大學能源科技與策略研究中心團隊之交流已於本(110)年 11 月合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」之建置，結論與建議事項摘錄如後。

### 第一節 結論

- (一) 在資料蒐集分析部分，本研究發現我國現行 CNS 標準關於“塗料”材質部分，目前目前主要著重塗料成分之檢驗、塗料及塗膜有關產品之各項性能試驗，包括通則、塗料性狀與安定性、塗膜形成性、塗膜視覺特性、塗膜機械性質、塗膜化學性質、塗膜之長期性能、塗膜劣化評估及粉體塗料等，惟節能料發展日新月異，可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、放射率及太陽反射指標對建築節能與視覺效果亦相當



重要，目前尚無國家標準可供遵循，如何整合?或研議相關適用標準，建議可納入國家標準發展方向參考。

- (二) 另本所高性能節能塗料綠建材評定項目，在太陽輻射反射率部分係引用 CNS 12381「平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得係數試驗法」及 ISO 9050，太陽反射指標量測則引用美國 ASTM E1980-11 標準，另 CRRC 協會塗料之日光反射率、放射率及太陽反射指標 SRI 等試驗係分別引用 ASTM E903、ASTM E408-13 及 ASTM E1980-11 建議可研議納入評定試驗方法參酌，以協助相關產業發展。
- (三) 在檢測技術開發部分，本研究已完成節能塗料試驗之標準作業程序及儀器設備操作程序書，並進行不確定度評估實例探討，包括 A 類標準不確定度、B 類標準不確定度、組合標準不確定度及擴充標準不確定度，以 95%信心水準，涵蓋因子  $k=2.0$  進行評估，節能塗料試驗之可視光反射率、日光反射率、日光吸收率、放射率及太陽反射指標之分項擴充不確定度分別為 2.58%、2.44%、2.44%、1.16%及 2.82%。
- (四) 在檢測技術服務部分，截至本(110)年 10 月底共蒐集 8 種節能塗料樣本，其中廠商(A)提供 4 件塗料主要成分係由矽酸鉀、及不同無機色粉組成，試驗結果顯示不同顏色塗料吸收不同波段能量，對光學及熱學性能造成影響，另廠商(B)提供 4 件塗料，3 件以白漆為基底添加不同大小之奈米級中空陶瓷球，另 1 件為比對深灰色塗料，結果顯示在白漆添加不同大小之奈米級中空陶瓷球對光學及熱學性能差異不大。
- (五) 依整體彙蒐 CRRC 網站公布之試驗數據看來，本次 3105 件塗料產品，其初始值測試結果，日光反射率約在 3%~94%

之間，平均值為 46.48%、放射率約在 0.05~0.98 之間，平均值為 0.855、SRI 約在 -3~120 之間，平均值為 52.62。

- (六) 另針對 CRRC 網站有登載初始值及塗覆 3 年之 2949 件產品測試結果進行性能衰減比較，結果顯示塗覆 3 年後整體日光反射率之平均值較初始值衰減 8.1%、放射率之平均值較初始值衰減 0.1%、SRI 之平均值較初始值衰減 9.9%
- (七) CRRC 網站公布之 3105 件塗料產品數據，日光反射率平均值為 46.48%、平均值為 52.62，與高性能節能綠建材基準比較部分，達到日光反射率  $R_c > 0.70$ ，性能較 CRRC 網站公布整體平均值提升約 51%，計有 830 件(約 26.7%)，太陽反射指標  $SRIC > 80$ ，性能較 CRRC 網站公布整體平均值提升約 52%，計有 909 件(約 29.3%)，能同時達到上開二項基準計有 826 件(約 26.6%)。
- (八) CRRC 網站公布之數據，與美國 California Building Energy Efficiency Standards(2019)低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 3105 件塗料產品數據，達到日光反射率  $\geq 0.63$  計有 996 件(約 32.1%)，太陽反射指標  $SRIC \geq 75$  計有 977 件(約 31.5%)，放射率  $ec \geq 0.75$  計有 3061 件(約 98.6%)，能同時達到三項基準計有 905 件(約 29.2%)。
- (九) CRRC 網站公布之數據，與美國 Energy Star label(2019)低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 2949 件塗料產品有登載初始值及塗覆 3 年後數據，達到初始之日光反射率  $R_{c1} \geq 0.65$  計有 984 件(約 33.4%)，另在塗覆 3 年  $R_{c2} \geq 0.5$  計有 1087 件(約 36.9%)，能同時達到上開二項基準計有 939 件(約 31.8%)。
- (十) CRRC 網站公布之數據，與 LEED4.1 低斜度屋頂基準比較部分，本次彙整 2949 件塗料產品有登載初始值及塗覆 3 年後數

據，達到初始之太陽反射指標  $SRIC \geq 82$  計有 873 件(約 29.6%)，另在塗覆 3 年太陽反射指標  $SRIC \geq 64$  計有 935 件(約 31.7%)，能同時達到上開二項基準計有 857 件(約 29.1%)。

(十一) 本(110)年 11 月合作完成「低碳-韌性實驗展示屋」之建置，項目包括 11KW 太陽光電板、汽車再利用鉛酸蓄電池、氣凝膠相變化砂漿、節能塗料、電致變色隔熱膜、循環經濟隔熱防水毯、智慧人體感應燈、遮煙捲簾、健康竹地板、吸音墊及量測監測設備等，並已於 11 月 5 日至 12 日進行初步用電量監測，限於本案研究期程可納入後續相關研究辦理。

表 4-1.1 達到各項基準較 CRRC 網站產品數據平均值提升性能百分比

| 項次 | 名稱                                                                              | 產品數目 | 評估項目及基準<br>(A)     | CRRC網站各項性能數據之平均值(B) | 達到基準可提升百分比<br>[(A)-(B)]/(B) |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| A  | 綠建材標章(2020)                                                                     | 3105 | 日光反射率<br>(初始)>0.70 | 0.4648              | 50.6 %                      |
|    |                                                                                 |      | SRI(初始)>80         | 52.62               | 52.0 %                      |
| B  | Energy Star<br>label(2019)                                                      | 2949 | 日光反射率<br>(初始)≥0.65 | 0.47                | 38.3 %                      |
|    |                                                                                 |      | 日光反射率<br>(3年)≥0.5  | 0.432               | 15.7 %                      |
| C  | California Building<br>Energy Efficiency<br>Standards(2019)<br>住宅類及低層建築(低斜度屋頂)  | 3105 | 日光反射率<br>(初始)≥0.63 | 0.4648              | 35.5 %                      |
|    |                                                                                 |      | 放射率<br>(初始)≥0.75   | 0.855               | -12.3 %                     |
|    |                                                                                 |      | SRI<br>(初始)≥75     | 52.62               | 42.5 %                      |
|    | California Building<br>Energy Efficiency<br>Standards(2019)<br>非住宅類及高層建築(低斜度屋頂) | 3105 | 日光反射率<br>(初始)≥0.55 | 0.4648              | 18.3 %                      |
|    |                                                                                 |      | 放射率<br>(初始年)≥0.75  | 0.855               | -12.3 %                     |
|    |                                                                                 |      | SRI(初始)≥64         | 52.62               | 21.6 %                      |
| D  | LEED4.1<br>(低斜度屋頂)                                                              | 2949 | SRI(初始)≥82         | 52.62               | 55.8 %                      |
|    |                                                                                 |      | SRI (3年)≥64        | 47.88               | 33.7 %                      |

(資料來源：本研究整理)

## 第二節 建議

### 建議一

申辦內政部綠建材性能試驗機溝「節能塗料」試驗項目之增列認證工作：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部

本研究於6月提早完成本項試驗方法之開發，並於7月7日併同本所性能實驗中心延展認證向財團法人全國認證基金會(TAF)提出增列認證之申請，已於本(110)年12月9日順利取得高性能節能綠建材「節能塗料」相關試驗之增列認證，後續將向本部申辦綠建材性能試驗機溝增列認證，以提供業界更完整檢測服務及協助高性能節能綠建材之推動。

### 建議二

賡續利用「低碳-韌性實驗展示屋」、「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」或整合相關設備，進行各項建築節能、環境控制與智慧化系統之合作研究工作：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部能源局、成功大學能源科技與策略研究中心

經濟部在「前瞻基礎建設計畫」架構下，於去(109)年在「沙崙智慧綠能科學城」完成建置「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」，並委託工業技術研究院代管，工業技術研究院再委託國立成功大學能源科技與策略研究中心操作執行，本(110)年能源科技與策略研究中心與本所合作合作改建「低碳-韌性實驗展示屋」，建議未來可整合相關設備及人力，進行節能建材、室內環境、智慧化調控及系統整合等合作研究，以達到建築安全、

居住環境品質及永續發展之目標。

## 附錄一

### 研究業務協調會會議紀錄





## 內政部建築研究所110年度第2次研究業務協調會議紀錄

- 一、時間：110年3月2日（星期二）下午2時30分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路3段200號13樓）
- 三、主席：王所長榮進                      記錄：王天志、李鎮宏、郭建源
- 四、出席人員：詳簽到簿                      蔡介峰、王家瑩、褚政鑫
- 五、主席致詞：(略)
- 六、研究案主持人簡報：(略)
- 七、發言要點（依簡報順序）：

### （一）「實驗中心熱重分析檢測技術研究」案：

- 1. 建議再多收集相關文獻，針對利用 TGA 來進行鑑別不同材料的適用性，並加強論述採用此法的合理性，以利進行後市場監督管理查核應用。
- 2. 目前尚無 TGA 相關 CNS 國家標準，本研究可朝如何制定符合後市場監督管理所需的標準操作方式，俾利量測結果具有再現性，以供後續參考引用。
- 3. 本技術應用於後市場監督管理時，係屬採現場查驗抑或須再送到實驗室進行試驗？並請注意現場採樣的方式對試驗結果之影響。

### （二）「高層建物氣彈模型結構風載重試驗研究」案：

- 1. 對於何類建築物構造型態，方須加以考量風力作用下柔性氣彈模型風洞試驗，如 SRC、RC 或 SS 等結構，宜加以探究並區隔與剛性氣動模型風洞試驗結果差異。

2. 來流風速與風向對高層建築因風致振動的影響甚鉅，因此在後續研究中應就目標建物周遭地況或季節風向不同，造成柔性建物共振或屋頂最高樓層居室加速度有所不同等加以研究。

(三)「實尺寸構造物耐風試驗研究」案：

1. 風機採購案，應掌握時程並加強製作期間之品質控管，且通盤考量驗收過程應注意之細節。
2. 請確認實尺寸構造物耐風試驗之標準作業程序(SOP)，與現行之操作程序是否有異，或將參考其他相關設備之程序。
3. 造風機改良後，其他相關配合設備，於目前經費許可下，可考慮一併更新。
4. 建議觀察試驗數據再現性與風速縱向分佈情況，並加強17級風之安全防護。

(四)「亞熱帶氣候建築塗料之節能效益試驗研究」案：

1. 目前業界對於隔熱塗料應用於建築外殼之效益仍有疑慮，建議能多蒐集相關技術文獻、應用規範以及對室內熱環境和節能效果的研究，俾予以釐清。
2. 在新加坡等熱帶氣候國家，建築外牆及屋頂常見隔熱塗料之應用，建議可蒐集國外耐久性相關研究進展及實務經驗，以供後續應用推廣。

3. 本案預計結合成功大學能源科技與策略研究中心設備，進行隔熱塗料之全尺度實測實驗，建議合作方式及規劃內容應予補充敘明，俾掌握執行進度。
4. 本案擬進行隔熱塗料檢測技術開發，供後續相關認證參考，建議應將國內實驗室或國外測試數據之比對分析納入，以增進試驗結果的可靠性。

(五)「綠建築標章與永續發展目標(SDGs)之關聯性研」案：

1. 本研究是針對下一期科技計畫有關聯合國永續發展目標的部分進行資料蒐集與分析，同時配合今年度各委託、協同研究計畫分頭進行各課題發展趨勢之相關資料蒐集，建議針對我國綠建築評估系統(EEWH)永續性較弱的部分進行環境面與建築面的盤點，以強化我國綠建築永續發展。
2. 科技部針對本部整體計畫提出應加強與聯合國永續發展目標之聯結，其範圍及所涉及的部會層面非常廣，建議限縮研究範圍，並以表格對照方式，將我國綠建築9大指標之性能項目，與WGBC提出的9大相關目標進行比較分析，以清楚呈現二者之關聯性。
3. 我國綠建築評估系統(EEWH)僅為科技計畫中的一部分，建議參考WGBC提出之Green Offices及Green Homes的理念，針對EEWH已涵蓋、尚未納入，或未來科技計畫應強化的部分進行探討，因此，

建議釐清研究範圍，並酌予修正研究題目。

4. 本研究題目擬調整為「我國永續綠建築科技發展與策略規劃之研究」。

(六)「高齡者及低視能者生活場域尋路 AI 輔具初探研究」案：

1. 建議高齡者、低視能者及視障者等名詞要定義清楚，並用詞統一。
2. 本研究除蒐集相關尋路(AI)輔具資料外，建議結合建築空間進行探討，瞭解視障者於建築環境中遭遇的困難及解決的方式，並檢視相關尋路(AI)輔具是否可納入規範，使視障者生活更便利、安全。

八、會議結論：

本次會議6項研究計畫通過。請計畫主持人參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

九、散會：下午5時。

## 附錄(二) 期中會議記錄及處理情形

時間：110 年 8 月 18 日（星期三）下午 2 時 30 分整

地點：本所簡報室

主持人：羅組長時麒

出席人員：略

| 審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 辦理情形                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>經濟部能源局（陳技士鵬文）</b></p> <p>1.關於反射塗料全尺度實測實驗，建議可考慮至經濟部所屬臺南沙崙綠能科技示範場域亞熱帶節能建築測試驗證平台 (SPINLab)進行合作研究。</p>                                                                                                                                                                                                         | <p>1.謝謝委員指教，囿於研究期程，建議後續有機會可至亞熱帶節能建築測試驗證平台 (SPINLab)進行相關實測研究探討。</p>                                                                                                                                                                            |
| <p><b>中華民國全國建築師公會（張顧問文瑞）</b></p> <p>1.報告書第 29 頁圖 2-2.1 低(高)斜度屋頂，建議可稍作特性比較，另關於舒適效果部分，由於綠屋頂具高蓄熱特性，在夜間反而呈現較高之室內溫度，是否有相關對策？</p> <p>2.報告書第 35-36 頁關於蒐集英文期刊文獻資料，建議可將部分重點酌予翻譯為中文，以利閱讀。</p> <p>3.報告書第 41 頁傅利葉轉換紅外線光譜儀提及"Fourier"名詞，似乎與中文諧音"四"有關，建議可補充說明該項儀器有哪四種特色?或相關功能描述，以利了解。</p> <p>4.報告書第 71-73 頁 SP1-SP4 節能塗料樣本</p> | <p>1.謝謝委員指教，報告書第 29 頁圖 2-2.1 係以圖示說明相關規範之低(高)斜度屋頂定義分別為低(高)於 2:12，另囿於研究期程，本研究未將綠屋頂納入研究範圍。</p> <p>2.謝謝委員指教，已將部分英文期刊內容部分重點酌予翻譯為中文。</p> <p>3.謝謝委員指教，傅利葉轉換所提"Fourier"係紀念約瑟夫-傅利葉 (Joseph Fourier) 法國數學家，非指該項儀器有哪四種特色或功能。</p> <p>4.「產學技術聯盟合作計畫-綠色</p> |

|                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>測量結果，及 P79「產學技術聯盟合作計畫-綠色建材產業聯盟」與「智慧建材產業聯盟」，建議可略作分析比較？</p> <p>5.報告書第 81 頁圖 3-3.1 測試室及比對室示意圖建議修正為平面圖，以呈現實際空間尺寸。</p> <p>6.報告書第 91 頁未來工作事項，有關提及俾供政府在推行制訂節能減碳及優質室內環境相關政策之依據，及節能塗料設計之參考，囿於實驗數據至實際設計應用尚須磨合，無法直接使用，建議予以調整修正。</p> | <p>建材產業聯盟」為科技部補助計畫，另社團法人台灣智慧建築協會係為推廣「智慧建材」及鼓勵產品開發，實施相關自願性標章制度。</p> <p>5.謝謝委員指教，囿於智慧財產權，本圖僅適合以示意圖方式呈現。</p> <p>6.謝謝委員指教，相關文字已進行檢討修正。</p> |
| <p><b>中華民國室內設計裝修商業同業公會全國聯合會（徐常務理事榮殿）</b></p> <p>1.報告書第 32 頁關於文獻資料部分，提及 Tore Kolas 等(2019)開發的黑色塗料與標準黑色塗料比較，表面溫度最多可下降 11.5 °C，建議可蒐集淺色系列塗料應用，以供參考。</p>                                                                         | <p>1.謝謝委員意見，已蒐集淺色系列塗料應用數據，並整理於第二章。</p>                                                                                                 |
| <p><b>財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所（林工程師奉怡）</b></p> <p>1.臺灣氣候條件與國外不同，樂見未來建立我國塗料在光學熱學方面之試驗標準。</p> <p>2.日本反射塗料已就亮度分類訂定反射率標準，為擴大各色塗料的開發與應用性，建議參考日本的分級方法，評估現行量測規</p>                                                                      | <p>1.謝謝委員指教。</p> <p>2.謝謝委員指教，已蒐集日本的分級方法，並整理於第二章。</p>                                                                                   |

|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>定及綠建材標章納入亮度分級的可行性。</p>                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                              |
| <p><b>財團法人台灣建築中心（許工程師育晏）</b></p> <p>1.本研究內容豐富、成果豐碩並符合預期成果。期能做為 CNS 節能塗料相關標準制訂參考，有助於業界及需求者依循。</p> <p>2.報告書第 31 頁 PS「版」隔熱屋頂應修正為 PS 板隔熱屋頂。</p>                                  | <p>1.謝謝委員指教。</p> <p>2.謝謝委員指教，已檢討修正。</p>                                                                                                                      |
| <p><b>本所一</b></p> <p><b>徐副研究員虎嘯</b></p> <p>1.本研究主要參照國際規範開發節能塗料檢測技術，建議後續可多蒐集市售產品進行相關試驗，以供應用參考。</p>                                                                            | <p>1.謝謝委員指教，已蒐集市售產品進行相關試驗，並整理於第三章。</p>                                                                                                                       |
| <p><b>王副研究員鵬智（書面意見）</b></p> <p>1.報告書第 24 頁，有關表 2-2.10 高性能節能綠建材評定基準表：建築用隔熱材料試驗法 CNS 7332，並未列入本所熱環境實驗室通過 TAF 認證項目(表 3-1)，請說明該隔熱材料與本研究之關係為何？</p> <p>2.建議第二章增列小節，以歸納文獻資料之重點。</p> | <p>1.謝謝委員指教，目前本所性能實驗中心未向 TAF 申請 CNS 7332 認證項目，本研究主要依據 JIS R 3106、ISO 9050、CNS 12381、ASTM E1980-11 開發節能塗料試驗方法，並於本年向 TAF 申請增列認證。</p> <p>2. 謝謝委員指教，已整理於第二章。</p> |
| <p><b>主席</b></p> <p>1.關於報告書提及成大亞熱帶節能建築測試驗證平台 (SPINLab)，該項設備係隸屬經濟部轄下沙崙綠能科技示範場域，請將主</p>                                                                                        | <p>1.謝謝委員指教，已檢討修正。</p>                                                                                                                                       |

|                                                                                                     |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <p>辦機關標示清楚，以免造成誤解。</p> <p>2.節能塗料在國外已有相當多產品，惟不同氣候條件其效益會有所差異，建議針對亞熱帶氣候特色與國外差異進行補充說明，以提出適合臺灣之產品數據。</p> | <p>2.謝謝委員指教，已針對亞熱帶氣候特色與國外差異進行補充說明，並整理於相關章節。</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|



### 附錄(三) 期末會議記錄及處理情形

時間：110 年 12 月 07 日（星期二）下午 2 時 30 分整

地點：本所簡報室

主持人：羅組長時麟

出席人員：略

| 審查意見                                                                                                                                                                                                                                                     | 辦理情形                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>中華民國全國建築師公會（張顧問文瑞）</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.本研究已針對期中所提「低(高)斜度屋頂，特性比較」等 8 項審查意見，於期末報告書中回應或調整。</li> <li>2.本研究成果符合預期目標，期待 TAF 增列認證及提供節能塗料檢測服務可於本年度完成。</li> </ol>                                                              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.謝謝委員指教。</li> <li>2.謝謝委員指教，已於 12 月 9 日順利通過 TAF 增列認證及開放受理相關檢測服務。</li> </ol> |
| <p><b>財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所（林工程師奉怡）</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.報告書 P91 中提及成大能策中心在沙崙完成建置「亞熱帶氣候之智慧型節能建築測試驗證平台」，其建置單位及名稱有誤，報告中其他部分亦請重新檢視修正。</li> <li>2.另該平台係由經濟部能源局出資建置，委託工研院代管，工研院再委託成大能策中心操作執行。該平台名稱應更正為「亞熱帶綠能建築技術研發測試平台」。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.謝謝委員指教，已重新檢視檢討修正。</li> <li>2.謝謝委員指教，已檢討修正。</li> </ol>                     |
| <p><b>財團法人台灣建築中心（許工程師育晏）</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.節能減碳已是世界潮流趨勢，本次研究主題更是針對臺灣設定，研究內容豐富、成</li> </ol>                                                                                                                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.謝謝委員指教。</li> </ol>                                                        |

|                                                                                                                                                                                           |                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>果豐碩並符合預期成果，相關研究成果可作為建築、建材產業之參考。</p> <p>2.期能有助於研擬節能塗料相關的 CNS 標準，以助業界依循及有需求者參考。</p>                                                                                                      | <p>2.謝謝委員指教。</p>                                                                                   |
| <p><b>本所一</b></p> <p><b>王副研究員鵬智</b></p> <p>1.目標明確且有達成預期成果。</p> <p>2.報告書 P44 之項目 18「可視光反射率」目前有無 CNS 標準可供試驗使用?請補充說明或提出相關建議。</p> <p>3.報告書 P72 有提及與成大能策中心進行實驗間能力試驗活動，建議比對量測標準應一致，以呈現比對結果。</p> | <p>1.謝謝委員指教。</p> <p>2.謝謝委員指教，目前可參酌 CNS 12381 進行「可視光反射率」試驗。</p> <p>3.謝謝委員指教，後續將納入實驗間能力試驗比對計畫參考。</p> |
| <p><b>主席</b></p> <p>1.關於報告書提及亞熱帶綠能建築技術研發測試平台，該項設備係隸屬經濟部轄下沙崙綠能科技示範場域，委託工研院代管，工研院再委託成大能策中心操作執行，請將主辦機關標示清楚，以免造成誤解。</p>                                                                       | <p>1.謝謝委員指教，已重新檢討修正。</p>                                                                           |

## 參考書目

### 中文資料

1. 王榮進等,“綠建材解說與評估手冊”,內政部建築研究所,2019年12月。
2. 傅懷廣,“紅外線反射型隔熱塗料”,工業材料雜誌,2019年6月。
3. CNS16023,“金屬結構物用重防蝕塗料”,2017年。
4. CNS15832-1-1,“塗料成分試驗法—第 1-1 部:通則—一般試驗條件”,2017年。
5. 黃國倉等,“屋頂隔熱對策全尺度節能實證之研究”,內政部建築研究所委託研究成果報告,2016年12月。
6. 李訓谷等,“隔熱漆耐久年限之檢測研究”,內政部建築研究所委託研究成果報告,2016年12月。
7. CNS11728,“建築用防火塗料”,2016年。
8. CNS15931,“塗料一般安全規範”,2016年。
9. CNS15200-7-5,“塗料一般試驗法—第 7-5 部:塗膜之長期性能—室外暴露耐候性”,2013年。
10. CNS15200-7-6,“塗料一般試驗法—第 7-6 部:塗膜之長期性能—人工耐候性及人工輻射暴露(濾過的氬弧輻射暴露)”,2013年。
11. CNS15200-7-7,“塗料一般試驗法—第 7-7 部:塗膜之長期性能—加速耐候性(紫外線螢光燈及水)”,2013年。
12. CNS15665,“鋼構用長期耐候性塗料”,2013年。
13. CNS 12381,“平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得係數試驗法”,2011年。
14. 陳瑞鈴、楊冠雄等,“冷屋頂設計於我國氣候條件下之建築節能應用分析與驗證”,內政部建築研究所協同研究成果報告,2016年12月。
15. CNS 15200-1-1,“塗料一般試驗方法—第 1—1 部:通則—一般試驗(條件與方法)”,2007年。

16. CNS15200-9-3,“塗料一般試驗法—第 9-3 部：粉體塗料—雷射繞射粒徑分析”,2013 年。
17. CNS10880-36,“塗料成分檢驗法—溶劑分之氣相層析法定性及定量試驗”,1997 年。
18. CNS10880-1,“塗料成分檢驗法—加熱殘分”,1994 年。
19. CNS 10880,“塗料成分檢驗法—通則”,1994 年。
20. CNS 7039,“防護塗料用脂肪酸檢驗法”,1981 年。

## 外文資料

1. Tirumala Uday Kumar Nutakki 等,“Effects of natural weathering on the performance of high solar reflective index paint surfaces exposed in harsh climatic conditions of United Arab Emirates” Preprints Automotive Engineering, June , 2021.
2. ASTM E903,“Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres”,2020.
3. ASTM E E408-13,“Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques”,2019.
4. ASTM E1980-11,“Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces”,2019.
5. Tore Kolas 等,“Cool coatings with high near infrared transmittance for coil coated aluminium” Solar Energy Materials and Solar Cells 196 (2019) 94–104, April , 2019.
6. J Qu 等,“Estimates of cooling effect and energy savings for a cool white coating used on the roof of scale model buildings”, The 3rd International Conference on New Material and Chemical Industry , 2019.
7. BS EN 17190,“Flexible sheets for waterproofing Solar Reflectance Index”,2011.
8. DINEN17190,“Flexible sheets for waterproofing Solar Reflectance Index”,2011.
9. ANSI/CRRC S100,“Standard Test Methods for Determining Radiative Properties of Materials”,2016.
10. BS EN 15976,“Flexible sheets for waterproofing. Determination of emissivity”,2011.
11. DIN EN 15976,“Flexible sheets for waterproofing. Determination of emissivity”,2011.

12. ISO 9050, "Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors", 2003.