

亞熱帶氣候之智慧型建築測試驗證平台建置 設計與規劃

林大惠¹ 陳彥仲² 陳俊貴^{3*} 江逸章³ 李訓谷³
蔣鎮宇³ 曾庭科³ 張桂肇³ 呂昭宏³ 鄭名山⁴

摘 要

我國政府積極推動『前瞻基礎建設計畫』，其中『沙崙智慧綠能科學城』包含綠能科技產業化技術驗證平台建置，以及建築節能技術開發與產品性能驗證功能。主要目的為促進國內外的產、學、研各方單位相互交流，並帶動我國綠能產業發展。此亞熱帶氣候之智慧型節能建築測試驗證平台(以下簡述：建築測試驗證平台)，能夠檢測建築節能技術與綠能相關產品，其實際測試的結果能夠與理論計算相互比較，藉此減少理論與實際結果的落差。本文著重於建置前期的旋轉機構與建築外殼設計規劃，並參考美國Flexlab (溫帶)、新加坡Skylab (熱帶)相關設計以及國內的建築檢測需求，使其成為亞熱帶氣候第一座的建築測試驗證平台。該旋轉機構具有抗地震的性能；建築外殼主要分為可替換的面牆、可變陽台深度距離、天窗…等多項功能。此建築測試驗證平台目前規劃能夠進行『室內環境、室外環境、效能建材、智慧化管理、能源效率、能環大數據、系統整合分析』等7大研究主題。

關鍵詞：建築檢測，驗證平台，旋轉機構，綠能科技

1. 前 言

隨著科技的發展，全球碳排放量不斷地在增加，而碳排放的來源可分為：工業、運輸、建築三大類。以美國國內統計的碳排放結果，如圖1所呈現，工業碳排放量自2000年左右尚未有明顯的增加，但運輸與建築的碳排放則是不斷的增加，尤其是建築的碳排放比運輸還要高。若以美國的電力消耗情況而言，工業電力消耗佔33%，運輸佔28%，建築佔39%，如圖2所示。美國電力的消耗以建築消耗所佔的比例最大，其中建築消耗又分為住宅消耗與商業

消耗，住宅消耗主要是以加熱為大宗，商業消耗主要是以照明為大宗，因此如何減少建築電力的消耗與碳排放則是一件相當重要的議題。(McNeil *et al.*, 2014；Selkowitz, 2012；Chopra, 2016；Regnier, 2014；Lee *et al.*, 2013；Konis and Lee, 2015；Regnier *et al.*, 2016)。

根據經濟部能源局統計資料，在電力使用部分，105年度各部門電力消費量住宅部門約佔19%(經濟部能源局, 2016)，服務業部門約佔19%，合計住商部門總電力消費量約佔全國電力消費量的38%，如圖3所示。

在全球最終能源使用中，以住商部門(住

¹國立成功大學能源科技與策略研究中心 主任

²國立成功大學能源科技與策略研究中心 副主任

³國立成功大學能源科技與策略研究中心 團隊研究人員

⁴財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 組長

*通訊作者電話: 06-2088420, E-mail: c_k_chen@mail.ncku.edu.tw

收到日期: 2018年08月21日

修正日期: 2018年10月04日

接受日期: 2018年11月08日

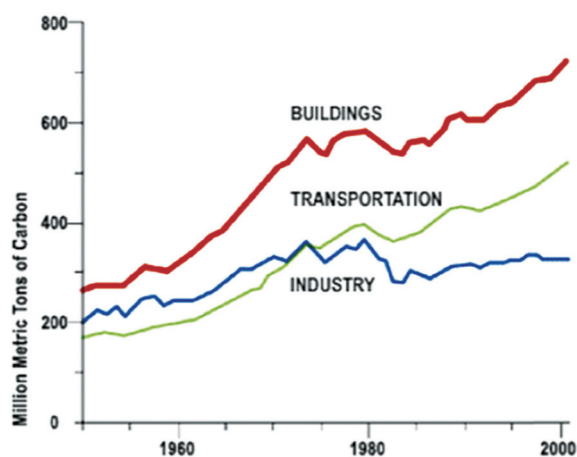


圖1 碳排放的趨勢(Selkowitz, 2012)

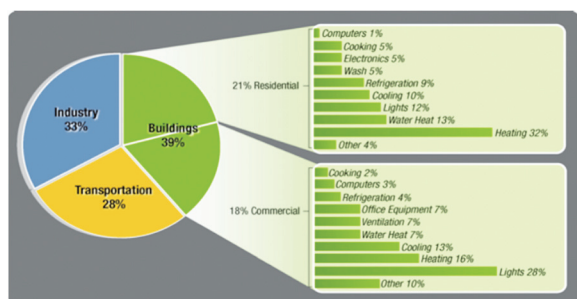


圖2 美國電力消耗統計圖(Selkowitz, 2012)

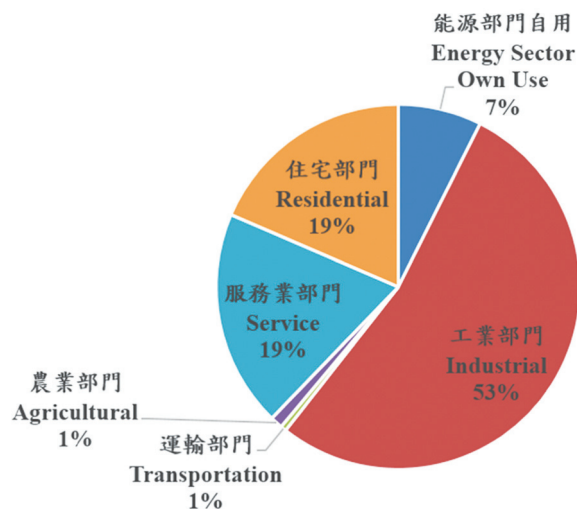


圖3 國內電力消耗統計圖(經濟部能源局, 2016)

宅與服務業)的能耗占比最高，各國也將減少建築物的二氧化碳排放列入重點改善。由世界能源展望(World Energy Outlook, 2017)報告中可知，全球約有1/5人口居住在城市，城市產生的CO₂占全球70%的排放量，其中以建築物能耗占比最高。各城市也將減少建築物的CO₂排放列入重點改善，表1整理韓國、日本、美國、歐

盟、德國住商部門，推動減少溫室氣體排放的相關配套措施。

從上述各國在住商部門推動減少溫室氣體排放的相關配套措施可知，世界各國均以建立節能標章來強化產品能源效率；住宅均以降低建築能耗為目標，且各國也積極規範近零能耗建築建造與既有建築節能改善。關於建築節能技術項目約可分為四大項目：建築外殼、照明、電力、室內環境與控制，如圖4所示。

早期各研究團隊在節能技術的研究方向並不相同，分別各自著重於照明、電力、採光、窗戶、室內空調環境…等技術；但由於沒有統一的測試方法與標準，因此各項研究均自行尋找場地與設計測試方法來獲得所需的數據，如圖5範例。

目前在設計與檢測的方式可約略分為(1)設計端與(2)檢測端，如圖6所示。(1)設計端：主要是設計師在設計過程以建築節能相關軟體進行估算與預測，該方式最常面臨到的問題為相關結果都是簡化與預測的結果，常常會與建築物建置完成之後的能源效率產生落差。(2)檢測端：主要分為單一材料與元件以相對應的法規標準測試，或是以貨櫃屋、實尺寸建築物進行檢測(單一元件或整體設計)。此方式較能夠預測建築物建置完成之後的能源效率，但此方式也會面臨到一些問題，如：整體設計未必能讓單一元件的特色表現出來，或是貨櫃屋與建築物會有數量、固定方位與佔地面積的問題。綜合以上的問題，建築物的能源效率在使用端有時候會面臨到相關設計或能源效率不如當初設計的預期。因此如何以較新的方式來對建築物進行檢測，則是一個重要的議題；該檢測方式最好是能夠符合：(1)單一定點可作不同方位實驗、(2)減少測試屋的設置數量與佔地面積、(3)減少理論估算與實際誤差、(4)各類產品在應用上的真實效率與概況等。

由相關文獻與資料得知 (McNeil *et al.*, 2014; Selkowitz, 2012; Chopra, 2016; Regnier, 2014; Lee *et al.*, 2013; Konis and Lee, 2015;

表1 各國住商部門推動減少溫室氣體排放之措施(本研究整理)

國家	措 施
韓國	<p>建築部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 加強建築外殼保溫隔熱與提高能源效率設計之建築規範(提高新建築保溫隔熱標準20%以上，2025年前建立零碳屋) ■ 進行建築之能源效率標籤計畫(住宅安裝節能設施與設備，進行大型建築物的能源效率認證) ■ 進行綠色建築認證計畫(對環保建築的登記給予稅賦減免與提供彈性建築標準，如景觀美化、高度與稅賦減免) ■ 進行綠色建築活化計畫(修訂低能源環保住宅建築標準與聯合住宅能效，依建築類型提供改善方案、技術開發與財政援助)。 <p>相關的制度與措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 碳排放交易制度(針對排放量超過的企業與工作場所進行碳排放交易，企業可獲得95%的排放許可權，其餘用於拍賣)。 ■ 綠色信用卡制度(結合信用卡平台，記錄民眾的自家節省的水/電/瓦斯、選購綠色產品等環保行為換取點數，可現金回饋、扣抵環保產品費用、支付公共交通費用、地方稅)。 ■ 推廣能源服務公司業務(設備更換與安裝、以百萬個再生能源綠色住宅取代目前能源供給、擴展大型住宅區、商業區與工業區導入整合性能源供給)。
日本	<p>商業及其他部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 加強產業自願行動計畫、地方與國家政府公共機構倡導、建築物/設備/裝置的節能(改善建築物能源效益、城市綠化與其他改善熱環境、推廣能源管理系統、提高規範標準與設備效率、高效節能設備開發與推廣)、貫徹能源管理，以及全國性行動的發展。 <p>住宅部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 全國性行動的開展，以及房屋/設備/裝置的節能(改善房屋能源效率、推廣能源管理系統、提高規範標準與設備效率、高效節能設備開發與推廣)。
美國	<p>住商與工業部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 能源之星方案：產品標誌(以標籤區分市場上的高效節能產品)/商業建築(促進改善建築的能源性能)/住宅(產品標籤建築的性能、全方位能源稽核與高品質住宅改造)，以及工業。 ■ 電器與設備能效標準(50餘類家電與設備建立最低節能標準)、照明能效標準(綜合型家電與設備能效標準方案之照明零組件)、建築物能源規範(發展具成本效益的建築物能源規範)、汽電共生技術支援，以及工業評估中心。 <p>相關的制度與措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 國家能源方案、能源效率與節能全額補助(提高交通運輸/建築部門能源效率、減少化石能源排放與能源使用總量)、貸款擔保方案、防寒保暖援助方案、印地安能源政策/部落能源方案、氣候展示社區資助方案、社區再生能源部署資助(小於15 MW的小型再生能源建置，給予50%的財政補貼)、稅賦條款、永續發展社區的跨部門夥伴關係(透過調整住宅、交通與環境政策，鼓勵區域整合規劃)，以及業氣候領導中心等措施。
歐盟	<p>住商部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 推動三大面向措施：建材所導致熱量吸收/散失(如熱傳導率U值)、使用設備所產生能耗(如照明、家電與烹飪等)、供熱(含供冷)。 ■ 公部門改善措施：強化示範角色、具約束力的加快翻新率、經費支出引入能效標準作為限制、使用者減少能源消耗義務；使用高能效產品、運輸、工程建設，至2019年新建物應達近零能耗水準；每年至少需對建築物面積3%進行翻新(約目前翻新2倍)，能效表現須為國家建築物前10%。私有建築房東與承租者提升能效獎勵分割問題，以法規明訂出租戶投資可回收金額，亦可透過能源服務公司協助解決。 ■ 透過ESCO提高建築翻新：幫助客戶籌措能源效率改善前期資金、吸收客戶財務風險或提供融資；透過提供能源服務之市場概況與合約範本、公布認證通過ESCO名單，提高市場透明度；運用創新金融工具(提供流動性擔保、貸款額度及周轉資金等)。 ■ 善用能源績效合約，透過能源效率措施，達成合約中所節省的一般開銷與維護成本，支付該能源效率措施資金(此種模式已證明符合成本效益)。 ■ 消費端節能：透過法規限制可使住宅設備節能達成預期成果；藉由產品標示、節能資訊、準確計量與資訊通訊技術，使消費者明白節能與能源效率的投資成本效益。 ■ 鼓勵消費者選購節能產品：節能家電推廣，推出生態設計的能效標準與能源標示(了解不同能源標示給予消費者的感覺與對銷售的影響)，根據工作計畫，對家電制定更嚴格能耗標準，並持續研究產品生命週期對能源消耗影響。 ■ 協助消費者在使用設備時更樂意與更聰明的採取節能行動。根據歐盟法規，消費者在使用能源期間，應該經常被告知能源消耗情形，促使消費者透過計量(電力、天然氣、供熱、供冷、熱水)、帳單與合約調整能源消費行為。 ■ 積極推動智慧電表，2020年前消費端安裝智慧電表比例至少80%，其它能源也應發展。ESCO與資訊業者可藉此提供新的節能服務(消費者可選擇離峰便宜電價時段使用家電、選擇使用乾淨電力，非常方便遙控家電用品)來達到節能目的。

表1 各國住商部門推動減少溫室氣體排放之措施(本研究整理)(續)

國家	措 施
德國	<p>住宅及政府部門推動與執行措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 採購能源效率規範立法、推廣能源服務產業、能源效率倡議與改善諮詢、推動能源效率標示與認證制度，以及推動高能源效率產品白色認證標章。 ■ 既有住宅更新率由1%提升至2% (能源效率規範：設定既有建築能源效率標準，2050年更新改建住宅能源需求下降80%，為了提前達到建築能源效率要求的建築物改建案，提供財務獎助或租稅優惠；重建信貸機構：提供資金改善建築能源效率；租賃法：針對達到能效標準之出租建築給予生稅減免；由德國政府帶頭改善既有政府建築能源效率)。 ■ 提高新建住宅能源效率(能源效率規範：引進氣候中立建築標準、設定新建建築能源效率標準)。 ■ 導入建築使用再生能源(再生能源熱利用法：規範新建建築引進再生能源熱利用，擴大再生能源熱利用之涵蓋能源種類)。

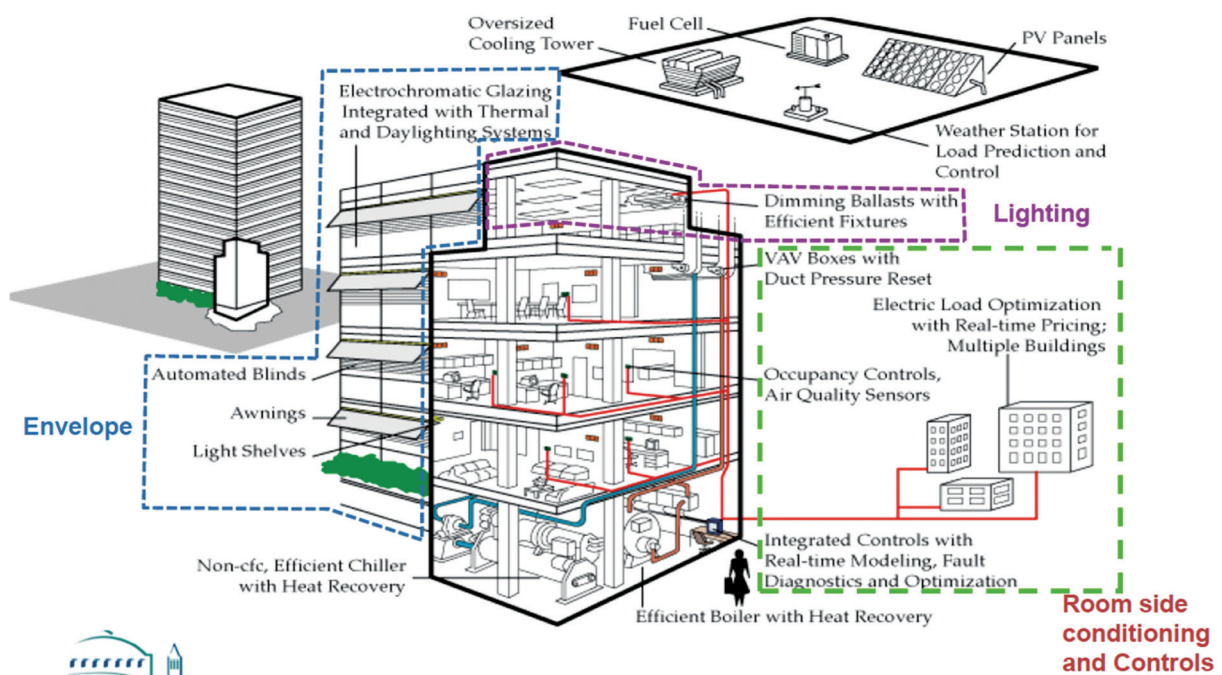


圖4 建築節能技術項目(Selkowitz, 2012)

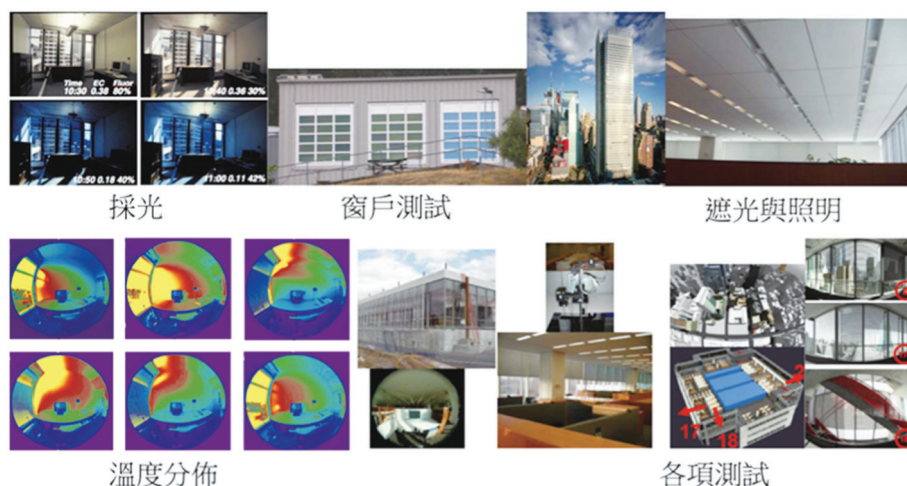


圖5 各項建築技術檢測方式(Selkowitz, 2012)

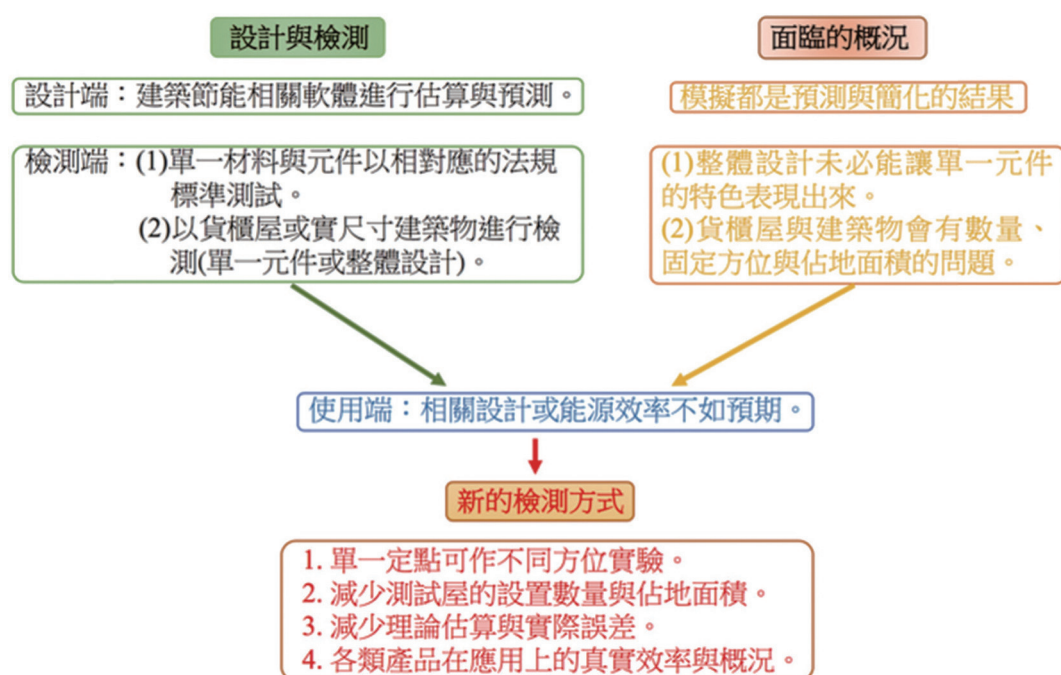


圖6 傳統設計與檢測所面臨的概況(本研究整理繪製)

Regnier *et al.*, 2016；World Energy Outlook, 2017)，因應節能與新興技術應用於建築物的相關檢測技術與資料庫之需求，而建立建築檢測屬性的驗證平台，並且為加速實驗的期程，遂以旋轉機構設計之平台來達成。國際目前唯美國Flexlab及新加坡Skylab二座，各別以不同的氣候型態與樓層發展目的為明顯的區隔。接續，另起章節敘述兩者之建築外觀、室內配置、空間大小、旋轉角度、測試方式，以作簡易比較；並利用SWOT分析獲得之結果，提供

給我國建置全球第三座建築測試驗證平台的一個參考指南。

2. 國際間既有建築測試驗證旋轉平台簡介與SWOT分析

全球目前僅設置Flexlab與Skylab兩座建築測試驗證平台，而各自在細部設計與設置地點上有所不同。圖7與圖8分別為Flexlab與Skylab的外觀、室內配置與旋轉過程示意圖。

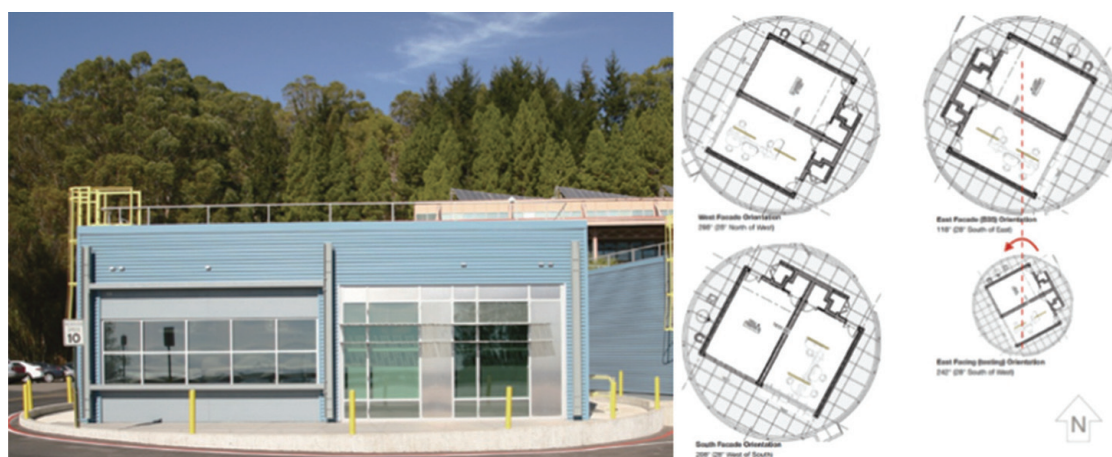
圖7 Flexlab外觀與旋轉過程示意圖(McNeil *et al.*, 2014)



圖8 BCA Skylab外觀與內部隔間示意圖(Afifah & Loke, 2016)

2.1 美國Flexlab與新加坡Skylab

首先敘述有關美國Flexlab (Berkeley lab, 2017)將各項建築物所使用的測試方式，乃是整合至一棟建築科技的驗證平台，可參考圖7。此建築測試驗證平台，主要以模組化設計為主，亦能將各式建築工法進行測試與比對。相關的測試結果，能夠確認設計概念的可行性，以及與理論值的誤差。目前於單一系統的建築物，希望能達到節省5-20%的能源消耗。若為多系統組合的建築物，則是節省30-50%的能源消耗，最終目標於2030年達到零耗能建築物的設計，如圖9所示(McNeil *et al.*, 2014；Selkowitz, 2012；Chopra, 2016；Regnier, 2014；Lee *et al.*, 2013；Konis and Lee, 2015；Regnier *et al.*, 2016)。

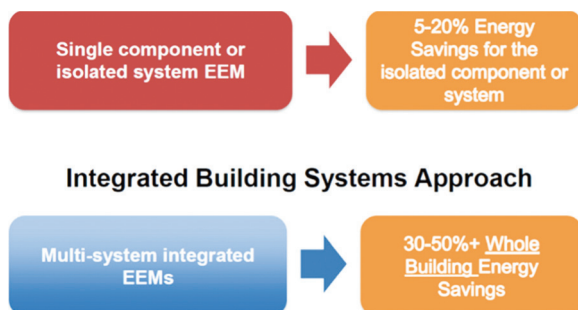


圖9 美國Flexlab目前設計與研究方式(Regnier, 2014)

Flexlab主要是在實際環境條件下進行測試，並且能對照試驗數據；藉由相關測試結果

分析建築節能技術的開發成果、能源效率的改善措施、以及環境與視覺舒適度的成效。此測試方式著重於 (a) 整體建築系統的整合；(b) 綜合組件彼此的相互作用(例如HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning)、照明、窗口、外觀、插頭負載控制系統)；(c) 硬體和感知器的控制；(d) 實際測試並與設計預測相互比對。Flexlab的測試重點項目可分為：(a) 內部或外部測試、(b) 數據收集和控制、(c) 照明和插座負載測試(McNeil *et al.*, 2014；Selkowitz, 2012；Selkowitz, 2016；Chopra, 2016；Regnier, 2014；Lee *et al.*, 2013；Konis and Lee, 2015；Regnier *et al.*, 2016)。重點項目分述如下：

● 內部或外部測試：

此內部有兩個測試空間可靈活應用，如圖10規劃，兩個空間之間的牆面為可拆換式構造；另包括可變天花板高度，不同高度的高架地板以及內部隔牆。HVAC系統能夠研究空調系統(變風量系統(Variable Air Volume, VAV)，地板送風(Underfloor Air Distribution, UFAD)，獨立式外氣空調系統(Dedicated Outdoor Air System, DOAS)等)和水系統(風機盤管，輻射加熱或冷卻)。室內相關照明系統也可替換，並能夠直接/間接進行燈具研究，以及強調採光控制和照明應用的設計。外牆或外殼能夠替換不同的窗戶、玻璃或天窗，進而達到高性能的綜合外觀系統(McNeil *et al.*, 2014；Selkowitz, 2012；Chopra, 2016；Regnier, 2014；Lee *et*

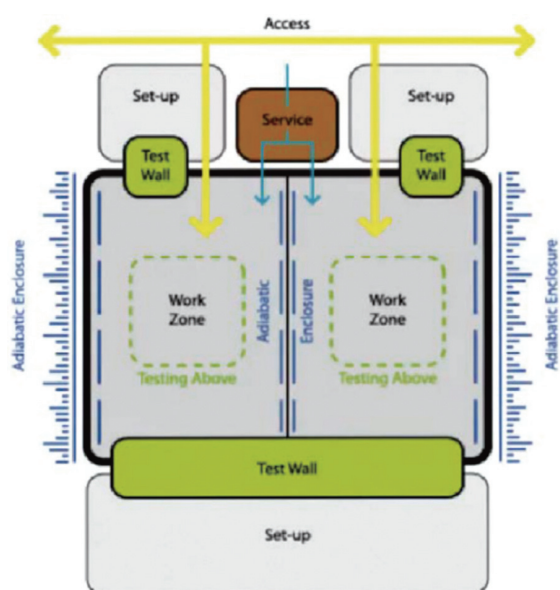


圖10 Flexlab實驗屋內部示意(Selkowitz, 2012)

et al., 2013 ; Konis and Lee, 2015 ; Regnier *et al.*, 2016)。

●數據收集和控制：

圖11為Flexlab的數據收集和控制模式，基礎設施包含：(1) 中央安全數據庫、(2) 監測和可視化、(3) 控制腳本工具(空調、燈光、陰影)、(4) 現場或遠端存取、(5) 不同模擬和控制平台的控制介面。由於建築測試驗證平台內有許多感知器、儀表和控制器的硬體，相關量測的數據資料會儲存於資料庫，並藉由控制腳本工具與控制驅動程序來控制相關的硬體(McNeil *et al.*, 2014 ; Selkowitz, 2012 ; Chopra, 2016 ; Regnier, 2014 ; Lee *et al.*, 2013 ; Konis and Lee, 2015 ; Regnier *et al.*, 2016)。

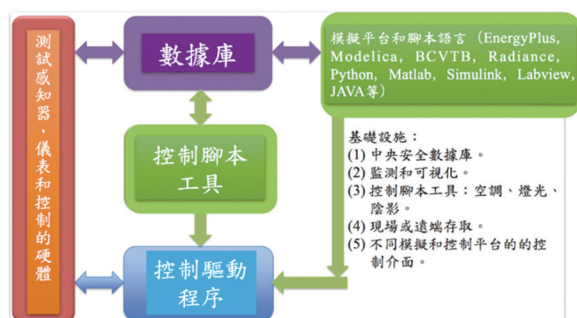


圖11 數據收集和控制模式(本研究繪製)

●照明和插座負載測試：

Flexlab的兩個測試空間能夠進行不同照

明技術的結果比對，或者是在室內安裝感知器，並藉由可編程照明和插座負載控制的方式，量測並記錄每個燈具的功率與能源消耗，以及各感知器所測得的回授訊號(McNeil *et al.*, 2014 ; Selkowitz, 2012 ; Chopra, 2016 ; Regnier, 2014 ; Lee *et al.*, 2013 ; Konis and Lee, 2015 ; Regnier *et al.*, 2016)。圖12為照明設備與各感知器的簡易佈置。



圖12 照明設備與各感知器(Regnier, 2014)

Flexlab的優點為：(a) 確認建築節能技術與能源效益、(b) 建築或量測技術的綜合系統，以及控制系統的示範與驗證、(c) 空間舒適度測試以及空調新興技術驗證與測試、(d) 電網整合技術的開發與驗證；如電動車的充電或電池儲存條件整合至建築物的電網。圖13為Flexlab為Genentech & Webcor進行測試的案例，其結果顯示該建築物的遮陽、採光和室內佈置…等，均獲得良好的改善，以及具有較低的能源消耗設計，進而減少建築物的建設與營運成本(McNeil *et al.*, 2014 ; Selkowitz, 2012 ; Chopra, 2016 ; Regnier, 2014 ; Lee *et al.*, 2013 ; Konis and Lee, 2015 ; Regnier *et al.*, 2016)。

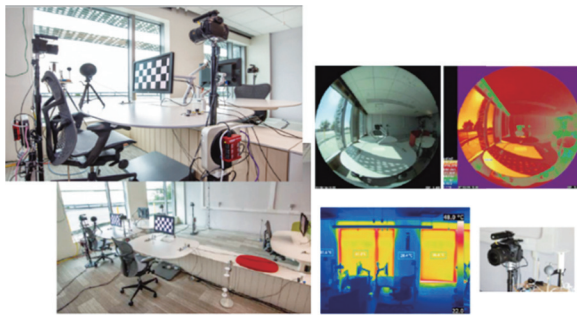


圖13 Genentech & Webcor測試案例(Chopra, 2016)

由於Flexlab的相關技術已經發展成熟，目前除了美國之外；新加坡亦有依照Flexlab為原型設計的概念，於新加坡當地的建設專科學院新教學大樓屋頂，建置一個Skylab，於一年的時間竣工；如圖14所示。此Skylab的面積約132 m²，能以35 mm/s的速度自轉，約半小時內就可自轉一圈。該Skylab內設有超過200個感知器，可測試在不同時間、氣候和方向條件下的室溫、照度和二氧化碳含量…等(BCA Academy, 2016；Samantha, 2016)。由上述Flexlab與Skylab做一簡易比較，整理如表2所列。



圖14 BCA SkyLab旋轉測試屋(BCA Academy, 2016；Samantha, 2016)

此建築測試驗證平台為一個良好的建築技術開發與驗證平台，該平台能夠促進學研、產業界於建築節能技術的開發研究或產品驗證案例。目前我國於沙崙智慧綠能科學城計畫當中有綠能產品示範場域，若於該示範場域先行參考Flexlab與BCA Skylab的設計，並依照該示範場之特性予以規劃及建置國內(位處亞熱帶)第一座的驗證平台，則能促進相關學研單位、廠商的建築節能技術發展，並往零能耗建築物的目標邁進。

2.2 我國發展建置建築測試驗證平台之SWOT分析

目前國內相關研究單位與廠商對於此建築測試驗證平台的功能、設計概況與檢測功能尚未完全瞭解。本研究嘗試以優劣勢、機會與威脅(SWOT)之分析方法，分析各項可能遭遇的情境與解決方式。在優勢方面，一則我國位於亞熱帶區域，而此目前尚未有如建築測試驗證平台的設備；今後倘若完成建置則能夠進行整體建築物之各項測試：(1) 建築外殼、屋頂、窗戶等 (2) 室內裝潢、照明、採光等技術 (3) 能源產生、消耗與控制 (4) 空調、加熱。二則因建築測試驗證平台能夠同時進行測試與對照組的試驗，並減少實際與理論的誤差，使其達到最佳化。然而，承前述國際間既有建置位在美國Flexlab (溫帶型)與新加坡BCA Skylab (熱帶型)皆有此類建築測試驗證平台，亦完成相關測試案例。相對而言，除非由本國業者提出特殊需求，進而制定建築物檢測法規加以推動；否則

表2 簡易比較Flexlab與Skylab兩者建置之主要特點(本研究整理)

	美國Flexlab	新加坡Skylab
設置區域氣候	溫帶氣候	熱帶氣候
設置地點	平地面	建築物上方
可旋轉角度	270	360
室內配置	兩間測試室和額外觀察室。	兩間測試室和一間觀察室。
研究或測試方向	1. 內部或外部條件測試。 2. 數據收集和控制。 3. 照明和插頭負載測試。	1. 內部或外部條件測試。 2. 數據收集和控制。 3. 照明和插頭負載測試。

這點將是一個劣勢。另外，對於國外新設計與開發技術，能優於國內先行測試，達到最佳化建築設計工法。再加上國內廠商不了解建築測試驗證平台的真正用途，故未必輕易參與任何測試。這些皆是劣勢之所在。反之，若能讓國內廠商明白建築物的能源產生、消耗與控制可由此建築測試驗證平台直接測試得到最接近實際狀況的數據。同時也讓國內廠商相信研究團隊執行平台建置的能力，因為國內已具有建築物相關的各別測試技術與研發經驗，可完整規劃驗證平台的建置內容，發揮最大即符合實際需求的應用效益，上列是我們能從中努力的機會。隨之，考量此建築測試驗證平台後續運維成本及營運，在未來若無相對應的政府計畫支援或無國內明訂法規推動，那麼將難以長期建立節能建築的研發功效，這點是務必正視的威脅。以下綜整優劣勢中的機會與威脅內容，如

表3所示。

其中，所要強調的是在劣勢中找到的機會策略，提到國外雖已建置建築測試驗證平台，但所用的建材與工法未必適用於本國，因此未來國內自主完成平台建置時，必定能夠直接測試建材與工法，有助於國內建築材料與技術提升；也為亞熱帶區域國家打造節能減碳與綠能建築之重點實驗基地。接續章節重點放在研究執行建築測試驗證平台設計與檢測功能規劃，完成平台建造前期工作，以發揮自主建置能力。

3. 建築測試驗證平台之旋轉機構設計與日照模擬分析

計畫執行主要以探詢學研界對於本建築測試驗證平台之需求與可投入測試之議題或技

表3 SWOT矩陣分析(本研究整理)

SWOT矩陣分析		內部分析	
		優勢(S)	劣勢(W)
外部分析	機會(O)	SO策略 (Max-Max) <ol style="list-style-type: none"> 各項測試法能夠整合至建築測試驗證平台，並同時提供實驗與參照的數據，以利實際數據與理論值相互比較。 建築物的能源產生、消耗與控制能最接近實際狀況與數據，並能立即修正控制方式。 打造亞熱帶區域及鄰近國家節能減碳及綠能建築重點實驗基地。 	WO策略 (Min-Max) <ol style="list-style-type: none"> 國外已經有建築測試驗證平台並能測試相關建築材料與工法，但各國的建築材料與工法未必相同與適用，因此國內有建築測試驗證平台，則能夠直接測試國內的建築材料與工法，以利國內建築材料與技術的提升。 目前國內廠商雖然尚未清楚建築測試驗證平台的資訊與應用面，若讓廠商了解建築測試驗證平台的優點與概念，則有助於提升廠商的測試意願。
	威脅(T)	ST策略 (Max-Min) <ol style="list-style-type: none"> 國內地形氣候與國外不同，因此國內的建築測試驗證平台能夠檢測相關建築材料與工法在國內的特性與效率。 藉由建築測試驗證平台較為精確的測試結果，依產、學、研單位的測試情況收取相關的檢測費用或將建築測試驗證平台列入建築物檢測的適用性法規。 	WT策略 (Min-Min) <ol style="list-style-type: none"> 國內地形氣候與國外不同，因此國內的建築測試驗證平台能夠檢測相關建築材料與工法在國內的特性與效率。 建築測試驗證平台能提供實驗與對照組的數據，並能夠與理論值相互比較，藉此減低設計誤差。

表4 國內建築與能源產業聯盟會員清單(本研究整理)

多元燃料節能減排技術產業聯盟 中國鋼鐵股份有限公司 中油天然氣事業部 光陽工業股份有限公司 台灣美錫科技股份有限公司 里達電機股份有限公司 台灣電力公司 瑩越資源公司 睿得水资源	綠色建材產業聯盟 長岡機電 台灣熱盾有限公司 有均有限公司 昭志工業 景發鋁業 台技塑膠公司 佳東綠能科技股份有限公司 科岩實業股份有限公司 鑫鑽綠能股份有限公司 聚森股份有限公司 台灣節能膜股份有限公司 漢士工業股份有限公司 嘉宏顏料廠有限公司 慈峰玻璃股份有限公司 優森環保股份有限公司 新加坡商泰諾風保泰亞太有限公司 安捷能科技股份有限公司 資通國際應材有限公司 宇翔鋼鐵工業股份有限公司 桀沅工程有限公司 節能屋能源科技股份有限公司 慶橋實業有限公司 鼎鴻怡有限公司 台灣氣凝膠科技材料開發(股)公司 仁杰義金屬工業(股)有限公司 長茂隔熱紙有限公司	鋼製屋頂高值化產業聯盟 千機創意科技有限公司 台塑南亞 加美嘉華 正典事業有限公司 旭泰玻璃纖維股份有限公司
隔熱建材產業聯盟 南寶樹脂化學工廠股份有限公司 崑崙綠能科技有限公司 匯良實業股份有限公司 奇菱科技股份有限公司 元璋玻璃股份有限公司 緯創國際有限公司 中和製漆廠股份有限公司 隆引企業股份有限公司 加恆企業有限公司 名晟建材有限公司 沛呈企業有限公司 茄漢國際興業有限公司 塑恒股份有限公司 塑豐實業有限公司 璟豐有限公司 千機創意科技有限公司		能源效率優化管理聯盟 天碩電網科技股份有限公司 財團法人台灣產業服務基金會 營鴻科技股份有限公司 瓊陽企業股份有限公司 工豐企業股份有限公司 瑞賢實業股份有限公司 嘉成環境工程有限公司 牧信智能科技有限公司 殷祐科技股份有限公司 起士公爵有限公司 長禹工業股份有限公司 台灣檢驗科技股份有限公司高雄分公司 大統益股份有限公司 台懋實業股份有限公司 岱梭科技股份有限公司 君瞻科技股份有限公司 優品化學工業股份有限公司

國立成功大學能源科技與策略研究中心 提供

術，以及進行國內業者需求調查為優先(以表4為例)；並於掌握業者需求後，完成實驗規劃設計，確定設置監測儀器、系統種類與規格，並配合沙崙綠能科學城主體工程進度必要之建築與設備採購。當驗證平台各項規劃與建置確定之後，便開始執行建築物的硬體建置(如圖15所示)。

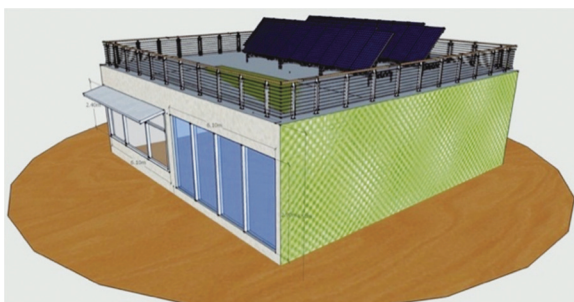


圖15 國內建築旋轉測試驗證平台建置示意圖 (本研究繪製)

此建築測試驗證平台主要測試功能與Flexlab、BCA Skylab相仿，具有整體建築系統的整合、單一材料或綜合組件的相互作用檢測(例如、照明、窗口、外觀、插座負載控制系統…等)、硬體和感知器的控制、實際檢測與相關模擬軟體的交互驗證，以及各項檢測結果的數據資料庫建立。研究項目亦可分為：室內外

環境監測、外殼節能設計、更換組裝之建築構造、能源效率與控制管理。此建築測試驗證平台的整體設計架構分為三個部分：

(1) 旋轉機構：由馬達、齒輪與旋轉盤…等構成，如圖16所示。此旋轉機構主要是以旋轉盤為支撐主體，旋轉盤下方分別設置齒輪、滑輪、軌道與馬達，藉由馬達當動力源驅動相關齒輪與滑輪，使旋轉盤轉動並依照測試條件而提供不同方位角度的旋轉。

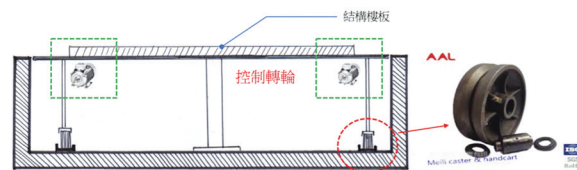


圖16 旋轉機構示意圖(本研究繪製)

(2) 建築外殼：為一主建築外殼，內含2個空間相仿之實驗室，以及一間控制室。圖17為此建築外殼主鋼構、樓地板與天花板之示意圖，該建築外殼設計是以鋼構為主支撐立柱；樓地板與天花板則是以RC結構為主，但在特殊位置則設計成能夠安裝或替換不同材料為主。此建築外殼內部的隔間分為2間實驗室，1間控制室，如圖18所示。

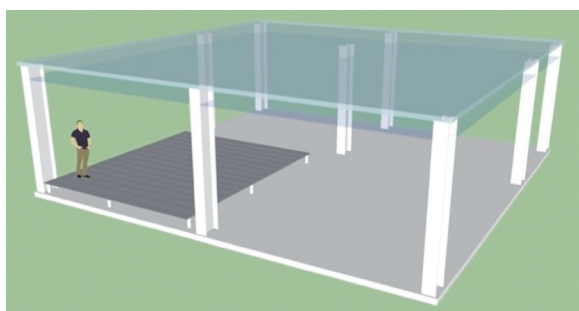


圖17 建築外殼主鋼構與樓地板示意圖(本研究繪製)



圖18 建築外殼內部實驗室與控制室示意圖(本研究繪製)

此兩間實驗室分別為實驗組與參照組，能依據測試條件進行內部裝潢、擺設佈置、室內環境而改變，以利進行參考組與對照組之試驗。該實驗室內部也會放置相關感測與監控系統，而相關感測與監控系統所量測的數據，會傳送至控制室內的資料庫，以利相關數據儲存與分析。

圖19為建築外殼的外牆示意圖，此外牆的部分立面採能夠替換不同材料與工法之

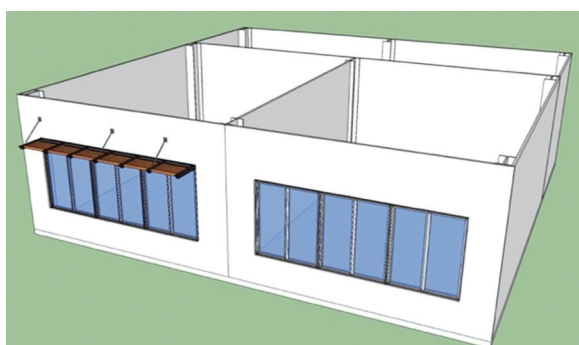


圖19 建築外殼的外牆示意圖(本研究繪製)

設計，使其能夠進行窗戶、玻璃、通風、採光…等測試。

(3) 感測與監控系統：包含能源、溫濕度、照度、空氣品質、相機、錄影機、電網、電力控制、資料庫…等各項設備，分別設置於建築外殼的外部以及內部的兩間實驗室。相關數據則是會傳送至控制室進行儲存與分析。

本研究目前對此平台建置設計架構，主要工作在於旋轉機構設計應採取何種方式，以及考量設置地理位置鄰近建築障礙物遮蔭問題與地震災害不可抗拒之自然因素而滿足設計需求，以完成平台設計初稿，供建造工程使用參考依據。

3.1 國外旋轉建築機構設計種類

全球目前類似旋轉建築概念，於國外均有多種的設計，如圖20至圖21 (Berkeley lab, 2013；BCA Skylab, 2016；Everington Rotating House, 2016；Brijbassi, 2014；La casa rotatoria de California, 2004；Burke, 2016；英仕山莊



圖20 FlexLab建築地基架構圖(Berkeley lab, 2013)



圖21 SkyLab位於BCA大樓的樓頂建築地基架構圖(BCA Skylab, 2016)

360度水力旋轉屋；Taghaboni, 2013；Michler, 2013；Su di me, 2018；Wowza, 2015；Fisher, 2007)。此二圖分別為Flexlab與Skylab的主建築物與旋轉機構的地基架構。圖20顯示Flexlab後方建築物為控制室與相關物件備品室。Flexlab的旋轉機構以下挖地基的方式建置，主要在最下方有一個圓形軌道，相關馬達與滾輪則是設置於圓形軌道上方。圓形軌道上方另有鋼構設置成支撐盤面的轉動盤，此轉動盤藉由馬達與齒輪組的驅動力，達到在圓形軌道上方旋轉的功能。此轉動盤與上方的主建築物相互結合，因此主建築物會隨著轉動盤的轉動而轉動。此Flexlab的可轉動角度為 270° ，當主建築物由 0° 旋轉至 270° 時，必須要再由 270° 回轉至 0° 。

此外，Skylab由於參考Flexlab的設計以及相關計畫合作，因此主建築物與旋轉機構的地基架構幾乎相同，不同之處是Skylab建置在BCA大樓的樓頂(如圖21)，並且旋轉機構不是以下挖基地的方式建置，而是直接建置在樓頂；然而旋轉機構高於樓頂地板的問題，則是另外鋪設一個架高的樓地板與旋轉機構在同一平面上。Skylab主建築物一樣與旋轉機構相互

結合，此主建築物分別由控制室、測試室與比對室所組成，整體佔地面積約 132 m^2 。此Skylab的可轉動角度為 360° ，當主建築物由 0° 旋轉至 360° 時，必須要再由 360° 回轉至 0° 。Skylab之所以會設置在BCA大樓的原因主要是，新加坡地狹人稠，建築物密集，以及未來主要是以高樓層建築物為主，若將Skylab建置在高樓上，就能有效避免其他建築物的影響以及取得在高樓層條件下的相關測試結果。

圖22至圖23分別為Everington旋轉住宅、P.E.I. 旋轉旅店、La Mesa旋轉屋。Everington旋轉住宅的旋轉機構也與Flexlab和Skylab相似，都是由圓形軌道、支撐盤、馬達與齒輪組所構成。P.E.I. 旋轉旅店與La Mesa旋轉屋的旋轉機構設計，則與Flexlab、Skylab和Everington旋轉住宅有所不同。該設計主要有一個旋轉中心軸，馬達與齒輪組主要也是設置在此中心軸，其他的支撐鋼構也是連接在此中心軸上。當中心軸轉動的時候，主體建築物也會跟著旋轉。

如圖24所示為ReActor旋轉屋，設計概念是以中心旋轉軸連結並撐起長方形主體建築物，當中心旋轉軸轉動時，主體建築物一樣會隨著



圖22 Everington旋轉住宅(Everington Rotating House, 2016)

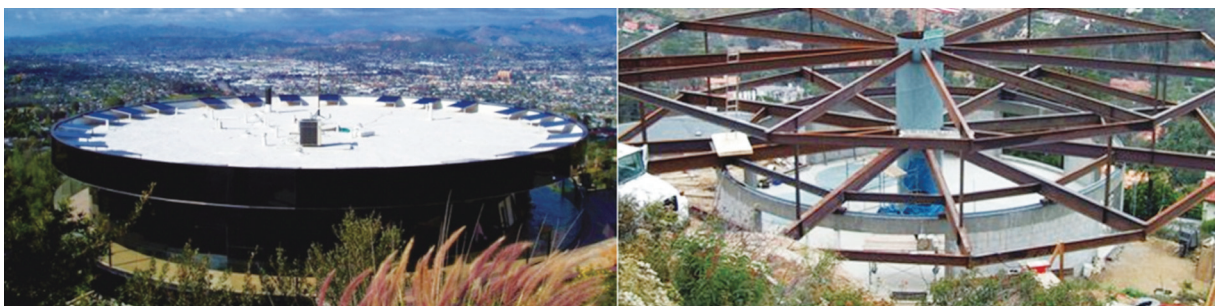


圖23 La Mesa旋轉屋與地基架構圖(La casa rotatoria de California, 2004)



圖24 ReActor旋轉屋(Burke, 2016)

轉動。但此ReActor旋轉屋另有一個類似蹺蹺板的特色，便是會依據主建築物兩側的重量差異而產生傾斜。

圖25為Sharifi-ha House，該設計的特色為一個主建築物的內部各樓層，均為可旋轉式的房間，此旋轉式的房間，能夠提供不同的採光與視野。圖26為Heliotrop House，該中心旋轉軸為主要旋轉機構，主建築物以挑高式設計，包覆在中心旋轉軸外側(共有3層樓)，並於屋頂設置太陽光電版，提供所需電源。



圖25 Sharifi-ha House (Taghaboni, 2013)

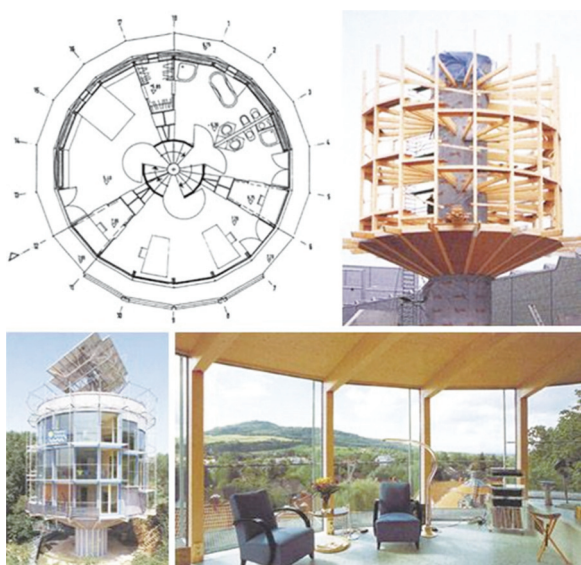


圖26 Heliotrop House (Michler, 2013)

圖27為Villa Girasole，旋轉機構主要是地面的軌道與滑輪所構成，此主體建築物並非在原地旋轉，而是藉由滑輪在軌道上的移動，進而使得主體建築物在軌道範圍內轉動。

圖28為Dome Home，此旋轉機構類似圖22、圖23與圖26的設計概念，均已中心旋轉軸為主，主體建築物設置在中心旋轉軸外圍。圖29為杜拜的Dynamic Tower，此建築物的設計概念，主要是各旋轉樓層與中心軸相互連結，透



圖27 Villa Girasole (Su di me, 2018)



圖28 Dome Home (Wowza, 2015)



圖29 杜拜動力塔建築(Fisher, 2007)

過各樓層順著中心軸，從下向頂樓旋轉，之後再由頂樓旋轉至下方；因此各旋轉樓層分別具有 360° 的整體方位與整棟主體建築物的高度和視野。

由圖20至圖29各旋轉建築的設計概念可知，旋轉機構約略可區分為4種設計，如圖30所示。設計(1)為中心軸驅動齒輪組並帶動主體建築物旋轉；此類設計的中心軸與齒輪組會在主體建築物的內部相互結合，需要較多的齒輪組與中心軸結合，中心軸內部另有裝設驅動馬達與相關電路配線，整體的轉動水平與齒輪組契合需要特別設計與搭配。設計(2)為主體建築物在地面型軌道轉動；此類設計的重點是在主體建築物下方設置滑輪，以及在地面建立可供建築物轉動的軌道；各項滑輪、驅動馬達數量需要配合軌道的軌跡，各項滑輪的驅動轉速會依據軌道位置而有所不同，進而使得各滑輪與驅動馬達有使用壽命的落差。)

設計(3)為中心軸設置馬達與齒輪組，並在外圍軌道設置滑輪或輪胎組，主體建築物則是設置在旋轉機構上方。此類設計的動力源主要是來自於中心軸的轉動，並帶動外圍軌道的滑輪或輪胎組。驅動馬達與電路配線主要設置

在中心軸內部，因此備載使用的驅動馬達會較難同時設置在中心軸，當驅動馬達故障，該中心軸便會停止轉動。此外，中心軸上方主體建築物的重心或主體建築物的配重若未在中心軸上，便需要特別計算滑輪或輪胎組的數量與承重能力，減少中心軸在轉動過程的壽命消耗。

設計(4)為外圍軌道設置馬達、齒輪組與滑輪組，中心軸只具備旋轉功能，主體建築物依然設置在旋轉機構上方。此類設計的動力源主要是來自於外圍軌道的馬達、齒輪組與滑輪組，並帶動中心軸旋轉。由於驅動馬達與滑輪組設置在兩側，因此有較佳的空間設計，能夠設置備用驅動馬達。此外，中心軸內部也能進行相關電源與線路的配置。該設計能夠藉由多顆驅動馬達同時驅動滑輪組的轉速或調整速差，以及藉由外側的滑輪組來承載主體建築物。此設計在整體維護與零件替換有較佳的方便性。設計(4)為Flexlab與Skylab的旋轉機構設計概念。

3.2 建築測試驗證平台旋轉機構初步設計

本研究在分析各國的旋轉機構設計之後，

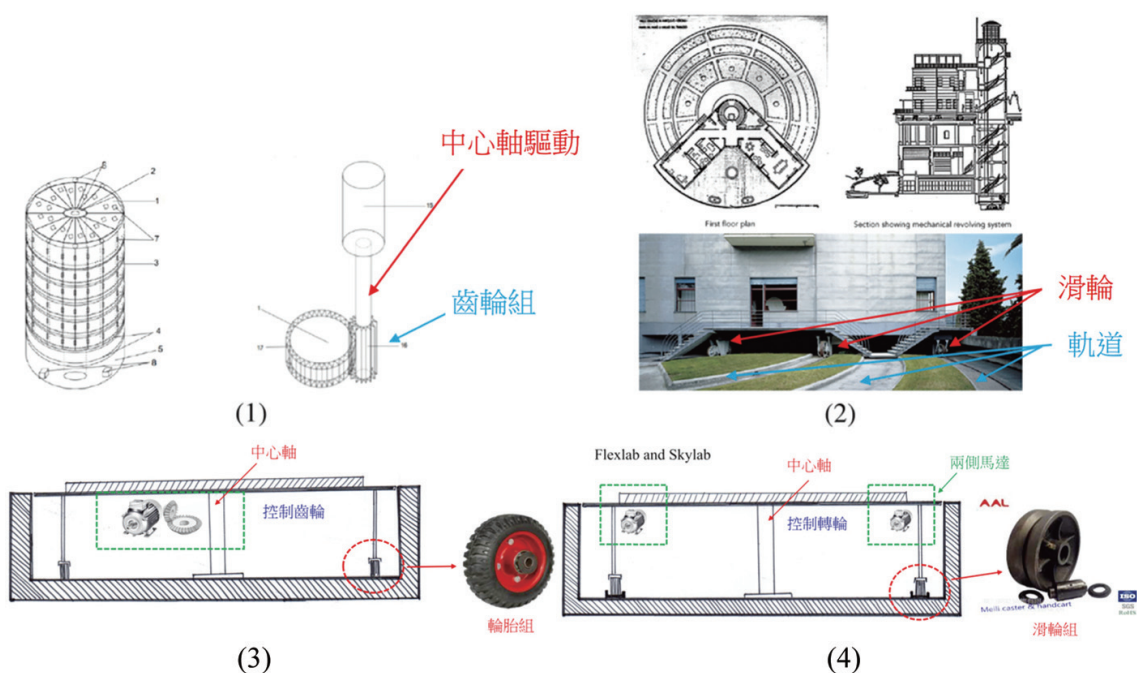


圖30 各式旋轉機構設計(本研究整理繪製)

依前述圖30的設計(4)概念為主，並額外將國內的建築設計需求以及地理因素納入考量，另外設計一組適應用於國內的旋轉機構與主體建築物。本計畫所設計的旋轉機構除了外圍軌道設置馬達、齒輪組與滑輪組，中心軸只具備旋轉功能之外，另設置一組抗震機構，防止國內發生地震時，減少主體建築物的晃動，以及預防旋轉機構的滑輪組脫離軌道。主體建築物的設計則是參考Flexlab與Skylab的設計概念，並將國內建築常用的設計概況一起納入考量。

目前建築測試驗證平台的設計概念與初稿，如圖31所示。建築測試驗證平台的設計也區分為旋轉機構與主體建築物。主體建築物的內部也是由控制室、測試室與比對室所組成。此主體建築物的尺寸與Skylab相似之外，另有一些設計概念不同於Flexlab和Skylab。本計畫的主體建築物共有三個立面能夠替換材料，除了能夠多樣性替換外牆材料進行測試之外，還具有陽台與天窗的測試功能；此陽台功能的立面，具有可移動距離的設計，能夠測試不同深度的陽台與室內空間條件。

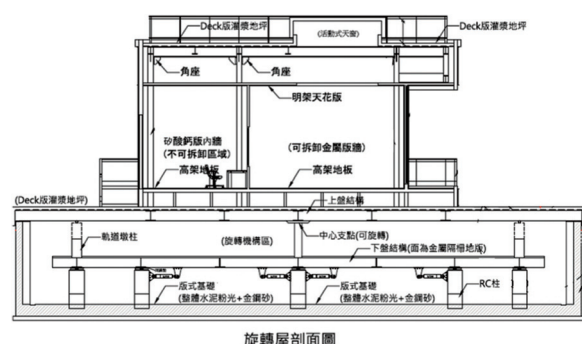


圖31 建築測試驗證平台初步設計圖(本研究繪製)

本主體建築物另外具有陽台與天窗設計的原因，主要是國內有些建築物具有陽台或天窗的設計(如圖31)，因此本研究將這些功能納入主體建築物的設計考量。此外，主體建築物與旋轉機構的接合，採用略為架高式地板的設計，此架高空間具有管線連接與收藏的功能。旋轉機構分別由抗震機構、軌道墩柱、轉動軌道、伺服馬達、滑軌與齒輪組所構成；細部組

成可分為上下盤結構設計(鋼構與Deck板所構成)、基礎層與隔震層結構(隔震墊×13組與阻尼器×18組)設計，如圖32~圖35所示。此旋轉機構能夠由0°旋轉至360°，再由360°迴轉至0°；最快轉速為1小時轉動360°。

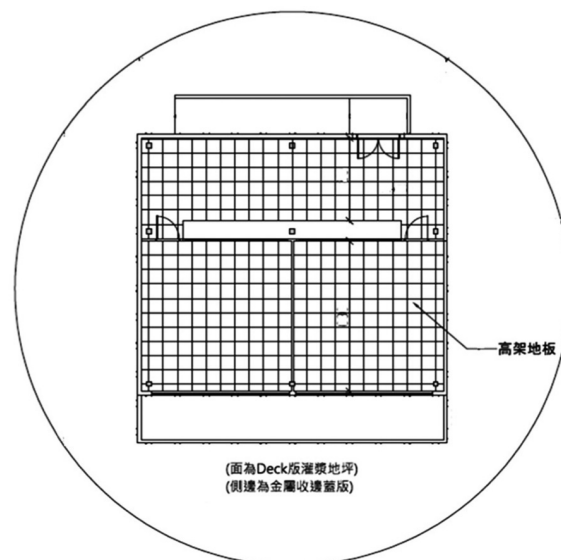


圖32 主體建築物與平台上盤之俯向視角設計圖(本研究繪製)

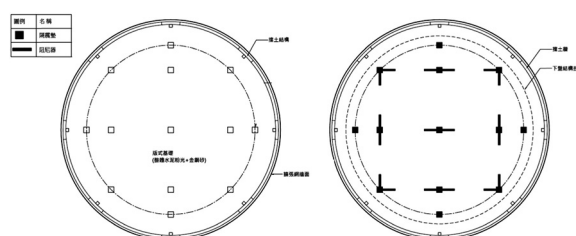


圖33 旋轉平台之基礎層與隔震層結構設計(本研究繪製)

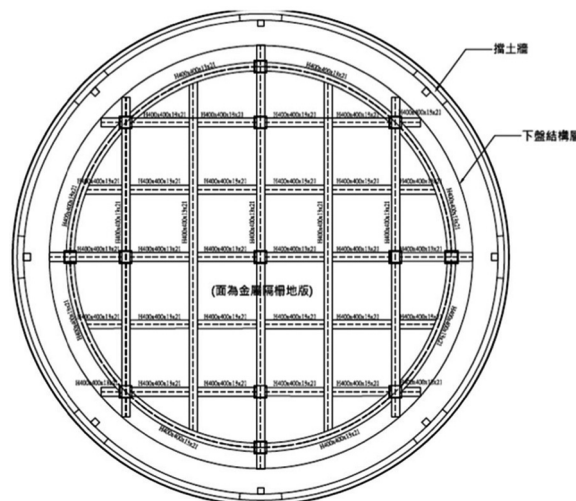


圖34 旋轉機構之上盤結構設計(本研究繪製)

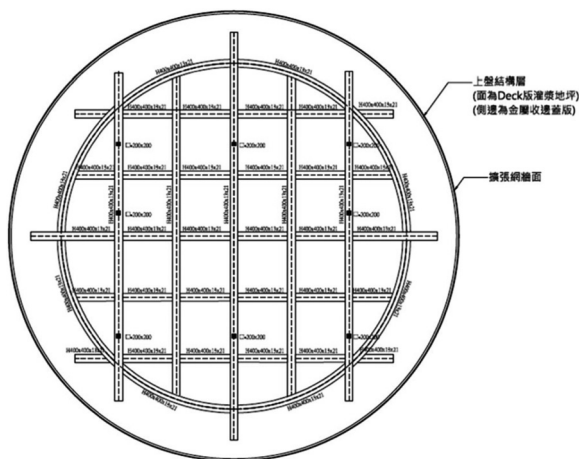


圖35 旋轉機構之下盤結構設計(本研究繪製)

進一步地，考量平台規劃設置於台南沙崙科學城D區位置鄰近建築障礙物遮蔭問題，以避免實驗量測結果之信賴度。本研究利用日照模擬軟體，確認建築測試驗證平台與鄰近建築物的陰影狀況；由圖36與圖37的建築物陰影模

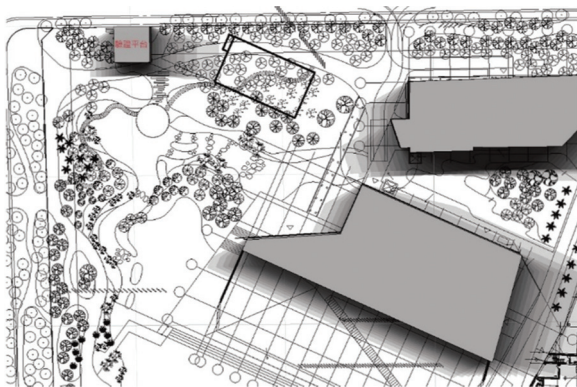


圖36 建築測試驗證平台設置位置與陰影概況一(本研究繪製)

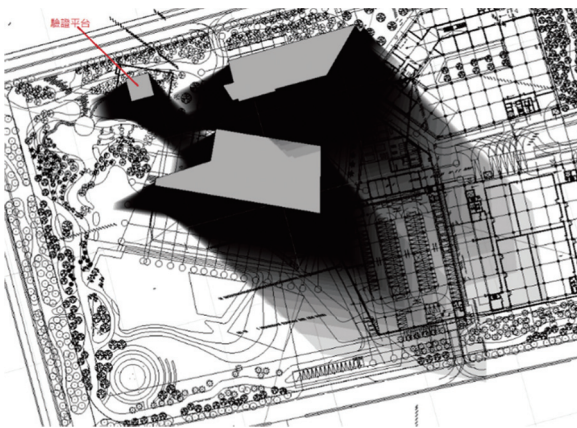


圖37 建築測試驗證平台設置位置與陰影概況二(本研究繪製)

擬概況，其結果顯示建築測試驗證平台設置於D區左上方，受到鄰近建築物陰影影響的機率並不高。

此外，D區外側的高鐵架橋陰影是否會對建築測試驗證平台造成影響，也由模擬結果指出，在冬季的時候約下午4點30分，高鐵台南站的建築物陰影會影響到建築測試驗證平台，而在夏季約下午5點30分會影響到建築測試驗證平台。由此結果可知，若要進行日照或面向陽光的相關試驗，則只能在上述的時間前進行試驗；當高鐵陰影開始影響建築測試驗證平台的時段，便不適合進行日照或面向陽光的相關試驗。若需要進行特定外部的遮蔭試驗，可在建築測試驗證平台的外部區域進行其他建物搭建，或者佈置各種植栽，藉此測試特定遮蔭條件對建築測試驗證平台的影響性。

4. 建築測試驗證平台之研究主題規劃

由國內外建築相關法規、政策與技術發展可知，均是建築節能技術有所發展之後，相關政策和法規才會再有後續的修訂與推廣；因此建築技術的發展以及相關研究、應用的檢測便是相當重要的議題。本建築測試驗證平台除了參考Flexlab和Skylab所具有的相關功能之外，亦將國內建築需要檢測的部分納入設計考量。

此外，國內現今執行的建築相關標章可分為：(一)綠建築標章、(二)綠建材標章與(三)智慧建築標章。(一)綠建築標章主要有九大評估指標系統，(1) 生物多樣性指標、(2) 綠化量指標、(3) 基地保水指標、(4) 日常節能指標、(5) CO₂減量指標、(6) 廢棄物減量指標、(7) 室內環境指標、(8) 水資源指標、(9) 污水垃圾改善指標。(二)綠建材標章依據建築生命週期「資源採取、製造、使用、廢棄再生」訂定四大範疇，並分類為健康、再生、生態、高性能。主要通則分為一般要求(環境保護、性能標準、安全規範)與限制物質(重金屬、石棉、放射線、

毒性物質、管制品)。(三)智慧建築標章主要有八大評估指標、(1)綜合佈線指標、(2)資訊通信指標、(3)系統整合指標、(4)設施管理指標、(5)安全防災指標、(6)節能管理指標、(7)健康舒適指標、(8)智慧創新指標。此類標章主要目的為增進建築技術、健康居住環境、智慧化管理與控制…等；但隨著科技研究的進步發展，原有的標章內容規範與評定方式，也會需要新的研究成果來增減評定項目或改變規範內容。例如，人體舒適度與生活便利性的評估方式，可依照不同需求與樣貌之建築物(集體住宅、長照機構、營區、學校…等)，額外增修評估方式，此時便需要有很多的理論與實驗數據(如，不同年齡的舒適度標準、建築設計、建材、室內外環境、能源消耗、日照與遮蔭、監控與管理)來作為參考依據。此建築測試驗證平台具有多功能的檢測能力，目前依據國內外建築相關的重點研究議題，以及建築測試驗證平台的整體功能，分別規劃出7大研究主題。此7大研究主題分為『室內環境、室外環境影響、效能建材、智慧化管理、能源效率、能環大數據、系統整合分析』，各主題之間的研究或檢測結果會保持著相互關連的影響性；而各大主題可依研究類型，再細分研究或檢測主題。分項敘述如下：

1. 室內環境
2. 室外環境
3. 效能建材
4. 智慧化管理
5. 能源效率
6. 能環大數據
7. 系統整合分析

7大主題

- (1) 室內環境：研究內容為建築物內部環境，依照建築相關評估指標，或自訂內部環境條件，分別列出音、光、熱、氣、水、室內建材裝修等項目，並探討不同日照或遮蔭方位的相互影響性。相關研究成果可再擬定分題為室內環境健康綜合分析(IEH)、室內空間效應與綜合檢測、室內裝修材料效應、室內與環境品質監測與控制、法規、標準和標章之建立與修訂，由於測試參數相當多元，因此可藉由建築測試驗證平台的測試室與比對室，來加速成果的取得。
- (2) 室外環境：室外空氣品質、PM 2.5、環境噪音、室外遮蔭、與全球暖化…等因素，對建築物的影響性可藉由空氣品質監測設備、固定源檢測資料庫、風速、風向、雨量等量測設備，進行一系列的探討，包含微環境管理與技術、環境資料庫彙整、微環境模擬分析、微環境污染監測與防制。此外，亦可參考Flexlab目前正在發展的Skycam技術(檢測並記錄外界環境影像、風速、壓力、溫度、濕度…等變化)，發展適合國內應用的戶外檢測技術與設備。
- (3) 效能建材：主要是檢測各類新研發之建材效能，包含智慧建材、創能建材、節能建材等；藉此評估各類建材的節能、創能效益、成本效益以及協助改善建築物本體性能之參考依據；並且也能夠引進國外建材性能檢測技術或被動房設計與驗證的方法，檢測目前國內常用建材的效能表現。相關成果能夠與現有建材標章搭配比對，以及能成為相關法規修訂之參考依據。
- (4) 智慧化管理：此分項主要是將硬體設施、建築設計融合資通訊主動感知器與主動控制技術，藉由建築測試驗證平台的檢測與驗證，使其達到安全、健康、便利、舒適、節能，營造人性化的生活空間為目標之智慧化管理；相關成果能再延伸室內環境、建築節能智慧化管理、既有建築智慧化改善及創新智慧化元件開發之課題。
- (5) 能源效率：建築測試驗證平台能夠針對各類建築物耗能、創能、儲能與節能裝置，進行分析探討以及提出改善方式；相關議題包含冷凍空調設施、照明系統、加熱與動力設備，再生能源系統(風能、太陽熱能與電能)、儲能系統(各類電池)。各項設備檢測與驗證的方式分為：能源產生效率、能源使用量、耗能指標、能源流向、電力流向、能源使用調度…等，可將較佳的成果導入建築設

計規劃或既有建築的改善建議，藉此提高建築物之能源使用效率。

- (6)能環大數據：建築測試驗證平台能夠進行多樣化的檢測與試驗，因此會擁有許多大量的數據，這些數據能夠藉由大數據技術來進行分析，如大規模並行處理(MPP)資料庫，分散式文件系統，分散式資料庫，雲計算平台，互聯網，和可擴展的存儲系統。此外，本研究能夠建置建築及環境資料庫系統，並藉由能源及環境的大數據分析技術，研擬整合人工智慧技術發展自動化管理與決策的應用程式。
- (7)系統整合分析：現今各種自動化服務系統不斷的創新，如空調系統、電力系統、照明系統、門禁控制、通訊系統、防災系統、安全警報系統、環境管理系統、節能系統…等，但此類應用系統，常由不同廠商製造，因而各系統之間，有時無法整合及運用，彼此間的訊息也無法相互溝通與綜合協調運用，因而限制了建築物整體服務管理的成效，也阻礙了建築物未來的永續發展。建築測試驗證平台除了能夠進行各項設備的檢測之外，還能夠用來發展各項系統之間的通訊或整合控制技術。藉由系統整合的運作，能夠提高建築物綜合管理的效率，以及降低營運成本，更可因應突發事件而將災害降至最低。

5. 結 論

本研究目前參考Flexlab與Skylab的外觀功能與旋轉機構，擷取相關優點與國內地理環境、建築特色，設計適用於國內相關檢測的建築測試驗證平台。本研究所設計的旋轉機構具有抗地震的性能；建築外殼主要分為可替換的面牆、可變陽台深度距離、天窗…等多項功能。此建築測試驗證平台的整體檢測項目包含，建築相關的軟硬體系統整合、日照與方位影響、單一材料或綜合組件的相互作用檢測(例如、照明、窗口、外觀、插頭負載控制系統…

等)、以及相關硬體或感知器的智慧化控制，並且能夠將各項檢測結果以大數據的方式進行分析。

目前規劃建築測試驗證平台能夠進行『(1)室內環境、(2)室外環境、(3)效能建材、(4)智慧化管理、(5)能源效率、(6)能環大數據、(7)系統整合分析』等7大研究主題。由於相關研究參數眾多，因此能夠借助建築測試驗證平台的多功能性與比對性(測試室與比對室)，減少實驗的期程，後續相關研究成果除了能夠建立建築設計與相關設備的數據資料庫之外，亦能納入修訂綠建築標章、綠建材標章、智慧建築標章，以及相關建築法規與能源標章的參考依據。

誌 謝

本計畫經濟部能源科技研究發展計畫「建置應用於亞熱帶氣候之智慧型節能建築測試驗證平台」經費支持，並由財團法人工業技術研究院協助指導，方得以順利完成階段性研究工作，於此謹申謝忱。

參考文獻

- 經濟部能源局，2016。能源統計年報-國內電力消費(按部門別)，臺北市：經濟部能源局。
- Afifah, A. and K. F. Loke, 2016. First Rotatable Lab for the Tropics Opens in Singapore. Retrieved from <https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/singapore-opens-world-s-first-rotatable-lab-for-tropics-7898490> (April 6, 2017).
- Berkeley lab, 2013. Laying Down the Steel Foundation for FLEXLAB's Rotating Testbed. <http://today.lbl.gov/2013/08/09/laying-down-the-steel-foundation-for-flexlabs-rotating-testbed/> (August 9, 2013).

- Berkeley lab, 2017. FLEXLAB™: the world's most advanced building efficiency test bed. Retrieved from <https://flexlab.lbl.gov/> (April 8, 2017).
- BCA Academy, 2016. BCA skyLab: world's first high-rise rotatable laboratory for the tropics, Building and Construction Authority.
- BCA Skylab, 2016. Buildings here might be able to produce more energy than they consume, thanks to the BCA Skylab! <http://www.homeanddecor.com.sg/articles/83387-buildings-here-might-be-able-produce-more-energy-it-consumes-thanks-bca-skylab> (July 22, 2016).
- Brijbassi, A., 2014. This PEI home takes you for a spin. <http://vacay.ca/2014/06/this-pe-i-home-takes-you-for-a-spin/#ixzz5IO32Syua> (June 9, 2014).
- Burke, N., 2016. ReActor – A House that can Tilt and Rotate by Alex Schweder and Ward Shelley. <https://www.humble-homes.com/reactor-a-house-that-can-tilt-and-rotate-by-alex-schweder-and-ward-shelley/> (August 24, 2016).
- Chopra, R., 2016. FLEXLAB: building modeling for optimum efficiency. Lawrence Berkeley National Laboratory, 70-86.
- Everington Rotating House. <https://www.richmondau.com/2016/09/everington-rotating-house/> (September 1, 2016).
- Fisher, D., 2007. Dynamic Tower. <https://travel20.blogspot.com/2007/12/rotating-tower.html>.
- Konis, K. and E. S. Lee, 2015. Measured daylighting potential of a static optical louver system under real sun and sky conditions. *Building and Environment*, 92, 347-359.
- La casa rotatoria de California, 2004. La Mesa. <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/internacional/2016/06/24/742626-esta-casa-esta-muy-viva-10-ingeniosas-formas-de-hacer-que-una-vivienda-se-mueva>.
- Lee, E. S., X. Peng, S. Hoffmann, C. H. Goudey and A. Thanachareonkit, 2013. An empirical study of a full-scale polymer thermochromic window and its implications on material science development objectives. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 116, 14-26.
- McNeil, A., C. Kohler, E. S. Lee and S. Selkowitz, 2014. High performance building mockup in FLEXLAB. Energy Technology Area, LBNL-1005151.
- Michler, A., 2013. Heliotrop House: The World's First Energy Positive Solar Home. <https://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home/> (December 26, 2013).
- Regnier, C., 2014. FLEXLAB (facility for low energy experiments in buildings). *Building Technologies Office Peer Review*, 1-34.
- Regnier, C. P., P. E. Mathew, A. Robinson, P. Schwartz and T. Walter, 2016. *Beyond widgets: systems incentive programs for utilities*. Energy Technology Area, LBNL-1006195.
- Samantha, B., 2016. Revolving lab to test ideas for energy buildings. Retrieved from <http://www.straitstimes.com/singapore/revolving-lab-to-test-ideas-for-energy-buildings> (April 6, 2017).
- Selkowitz, S., 2012. FLEXLAB: facility for low energy experiments in buildings: supporting progress toward NZEB. *Emerging Technologies Summit Efficient Building Track*, 1-42.
- Selkowitz, S., 2016. FLEXLAB Facility for Low Energy experiments in Buildings: Status and Plans. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 1-36.
- Su di me, 2018. Villa Girasole. <http://icloud->

- nine.tumblr.com/post/128119962604/villa-girasole-marcellise-vr-1930-1935 (Data captured in August, 2018).
- Taghaboni, A., 2013. Sharifi-ha House. <https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice>. <http://nextoffice.ir/#!/project/sharifi-ha-house/> (July 7, 2014).
- Wowza, 2015. Dome Home. Magnificent dome home spins at the push of a button. <https://www.curbed.com/2015/5/22/9957696/upstate-new-york-dome-home> (May 22, 2015).
- World Energy Outlook, 2017. <https://www.iea.org/weo/>.

The Construction Design and Planning of the Test Verification Platform of the Smart Building in the Subtropical Climate

Ta-Hui Lin¹ Yen-Jong Chen² Chun-Kuei Chen^{3*} Yi-Chang Chaing³
Hsun-Ku Lee³ Chen-Yu Chiang³ Ting-Ke Tseng³ Kuei-Chao Chang³
Chao-Hong Lu³ Ming-Shan Jeng⁴

ABSTRACT

The government is executing a plan for Shalun Smart Green Energy Science City, there are includes the construction of green energy technology test platform and energy-saving technology development for the building. This plan's main purpose is to promote the exchanges between the industry, government, university institutions at home and abroad, and improve the development of the green energy industry. The test and verification platform of the intelligent energy-saving building in subtropical climate can be used to testing the building energy-saving technologies or related products. The experimental test results can be compared with the theoretical calculations. The test verification platform of the building is the first building in the subtropical climate. This research focuses on the design of the rotating mechanism and the building shell in the early stage and refers to the US Flexlab (temperate climate), Singapore Skylab (tropical climate) related design and domestic building test requirements. The rotating mechanism has anti-earthquake performance; the building shell is mainly divided into a replaceable wall, variable balcony depth distance, and scuttle. The test verification platform of the building is currently planned to carry out seven research themes such as "indoor environment, outdoor environment, performance building materials, intelligent management, energy efficiency, energy- environment big data, system integration analysis".

Keywords: Inspection of Building, Test Platform, Rotating Mechanism, Green Energy Technology.

¹ Director, Research Center for Energy Technology and Strategy, National Cheng Kung University.

² Vice Director, Research Center for Energy Technology and Strategy, National Cheng Kung University.

³ Research Team, Research Center for Energy Technology and Strategy, National Cheng Kung University.

⁴ Division Director, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

*Corresponding Author, Phone: +886-6-2088420, E-mail: c_k_chen@mail.ncku.edu.tw

Received Date: August 21, 2018

Revised Date: October 4, 2018

Accepted Date: November 8, 2018