

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

適應性建築皮層

Adaptive Skin

作者：何妍萱

系級：建築學系碩士班 碩三

學號：M0200906

開課老師：陳上元

課程名稱：1041 碩士論文

開課系所：建築學系

開課學年：104 學年度 第一學期

中文摘要

根據不斷變化的當地氣候環境來設計建築界面，是近年來智慧建築表皮的主要方向之一，其論述主要是建築物必須要能夠適應外界的氣候與變化條件。本研究首先回顧探討建築皮層的文獻與案例，聚焦於建築皮層的適應性面向，並將其分為建築立面性能、動力回應和氣候協同等三個層面進行討論與分析，並以此架構進行設計與原行實作，最終投入場域實測，以驗證其系統可行性及潛力。

本研究提出「參數適性皮層」，企圖從環境友善的概念出發，發展出能隨著環境因子改變而動態調整的適性皮層。參數適性皮層即在智慧建築與物聯網的技術支持下，複合使用主動與被動控制的手法，將建築立面轉換成可以與環境互動的適性皮層，去適應氣象環境中的連續性與變化性，並運用感測器偵測到的環境微氣候數據對建築皮層做往復的傳遞與調整以適應多元的環境變化，使建築達到即時動態反應，產生「形隨環境參數」的效果。

在系統運作的架構邏輯方面，形隨環境參數的適性皮層由感知、運算、發送三階段組成，使皮層系統可以感知環境並觸發相對應的參數劇本，最後驅動可動構件改變皮層外型，達到與環境即時友善互動的目的。本研究提出透過感知層的即時光線變化，並結合氣象局的開放性資料從雲端擷取季節性日照變化，兩相比對下對該原型所處的照度微氣候做出綜合性的判斷，並反饋到外部折板系統的開闔角度與時機，有效的平衡室內外的光線，並達到節能建築的效果。最終希望能在各種複雜參數條線的導入下，進行綜合性的劇本判斷使皮層的反應能更接近現實狀況，達到能與環境友善互動調適的智慧型綠色建築。

關鍵字：互動建築、主動控制、形隨環境參數、適性皮層

Abstract

Designing the building facade according to the instant local climate environment is one of the trends of the intelligence building in recent years. This paper focus on the issue of adaptable facade and reviews related literatures and cases. The reviews conclude to the skin type, the action type, and the climate type in order to deliver the practical outcomes for following practice. Based on the outcome, we develop the prototype to demonstrate the feasibility.

In this paper, we propose the concept of “Parametric Adaptive Skin” to develop our skin system for the eco-friendly purpose. We integrate the methods of active and passive environment control to alter our building façade to adaptable skin. There are three steps to achieve the interaction between our Parametric Adaptive Skin and its surrounding environment. 1. INPUT: In this step sensors sense the environment and generate environmental parameter. 2.PROCESS: In this step computers choose correspondent data and do the calculation 3.OUTPUT: In this step activate data to change adaptive skin.



Keyword : Interactive Architecture 、 Active control 、 Form follows environmental Parameter 、 Adaptive Skin

目 次

一、背景及目的	4
二、文獻探討與相關案例.....	5
(一)建築立面性能	5
(二)建築立面的動力回應.....	6
1.自然力	6
2.機械力	7
3.材料力	8
(三)與氣候協同的動態調適.....	8
三、形隨環境參數的適性皮層	12
(一)可動機構.....	13
(二)互動調適.....	13
(三)環境參數劇本	14
四、原型實作	16
(一)參數適性皮層設計.....	16
(二)系統的運作	18
五、結論與建議	21
六、參考文獻	22

一、 背景及目的

全球暖化與氣候的變遷是目前世界要共同面對的危機，建築立面應該具備與環境互動的功能外，建築物必須要能夠適應外界的氣候與變化條件。一般的建築採取被動式的設計，迴避了氣候資訊所具備的複雜性，缺乏主動回應的機制。這些建築雖是依照常態氣候去設計，但在建築完成後卻無法在更動，然而現實的環境卻是持續在變化的，這就是被動式設計所遭遇的困境。

根據聯合國人居署（UN-Habitat）的「2011 年全球人類居住報告，城市和氣候變遷：政策方向」（Global Report on Human Settlements 2011, Cities and Climate Change: Policy Directions）評估報告指出，人類正面臨城市化與氣候變遷的挑戰，兩者正以危險的方式進行交織，嚴重威脅到世界的環境。全世界的城市約占了碳的總排放量的 70%，但城市面積卻只佔地球表面積的 2%，當中住宅和商用建築所產生的溫室氣體就占排放總量的 8%，這說明了建築的溫室氣體排放量和電力使用方面需要提高警覺。在未來，城市必須要尋求減緩溫室氣體增加的方法，其中要面臨的兩大挑戰是：(一)適應氣候變化、(二)降低有害環境的行為。在面對氣候暖化及氣溫逐漸升高的現實條件下，家家戶戶都開著空調，這種以空調換取舒適度的被動控制手法更是加速了居住環境的惡化，觸動都市炎熱化的惡性循環。因此根據上述的證據指出，建築物更應具備適應性，來適應外界的氣候與變化條件。

適性皮層是智慧住宅下的環節之一，也是最直接接觸外在環境與使用者的住宅層面。本研究認為，在智慧科技高度發展的現今，建築在立面上應跳脫既有的思維，從以往利用外觀造型的靜態被動控制，轉移到利用智慧環控的動態控制設計，複合使用主動與被動控制的手法，去適應氣象環境中的連續性與變化性，達到適性皮層的目標。適性皮層試圖改變過往建築外牆只是消極隔絕室內與室外的觀念，轉而將外牆視為一種能積極與周遭環境協調的角色，達到能與環境友善互動調適與節能的智慧型綠色建築。

二、 文獻探討與相關案例

從互動建築(Interactive Architecture)發展的歷史背景中切入，互動建築的出現可以追溯到 20 世紀的 1960 年代，但這些大部分還停留在實驗和概念的層面。其間創造了許多有具體解釋的互動建築術語，例如：智慧環境（intelligent environments）、回應環境（responsive environments）、智能建築（smart architecture）和軟空間（soft space）等。(Fox, 2009)。而第一本全面闡述互動建築定義、設計哲學和建築應用的是由 Zuk 和 Clarke 於 1970 年發表的《運動建築》(Kinetic Architecture)。在設計中，人和環境的關係逐漸的被重視，人們越來越關注建築的適應性（adaptability）。

因此在未來的發展下，形隨環境參數的適應性(Form follows environmental Parameter)，會逐漸的被整合與運用在建築當中，作為調節建築與環境關係的控制系統，並回應使用者心理和生理需求的系統。在適性調節皮層(adaptive skin)的範圍下適應性，可分為三個子部分探討：(一) 建築立面性能、(二)建築立面的動力回應、(三) 與氣候協動的動態調適。本文將案例研究對象聚焦於主動控制為主的建築皮層進行探討。

(一) 建築立面性能

建築皮層的概念來自於生物學，將建築外圍的維護系統比喻為生物體的皮膚，結構系統比喻為生物的骨骼，內部空間則比喻為靈魂。建築皮層隨著建築史的發展不斷更新並豐富著涵義。在英文中，建築皮層有著多重的解釋，如 Surface（表面），Skin（皮膚），Enclosure（外圍護），Envelope（外包裹），Interface（介面），Facade（立面）等。建築物藉由外牆形成室內與室外的中介，這層如同人類皮膚表層般的皮層在綠色城市的理念下則扮演著人與環境間的協調者的角色。(沈揚庭，2013)建築立面對大自然的環境早有先例，在 1938 年伊利諾大學-香檳分校的懷特教授（Stanley Hart White）就提出了植生牆(Green Wall)的概念，後人布朗克（Mr. Patrick Blanc）運用這套概念，將其發明了一套能維持植生牆穩定生長的供水網架系統，並於垂直的牆面運用管線的方式提供植物養分，而布朗克則在 1988 年為巴黎科技博物館設計了第一面綠牆(

圖一)，成功的兼具綠化與美觀的功能，也解決都市綠化的不足，並開啟了世界垂直綠化的風潮。



圖一 布朗克設計的植生牆兼具垂直綠化與都市造景的功能

除了景觀的功能外，紐約的 RPI 學院(Rensselaer Polytechnic Institute)在 2012 年突破了植生牆依附在建築立面上的現況，直接將植生牆當作是一道建築牆面，發展出一套模組化的植生牆系統，稱為仿生豆莢(Bio-Mechanical Pod System)(圖二)，該案例透過 3D 列印的技術模組化管狀結構，並將植物植入其中，透過植物淨化的功能，並運用管子抽送空氣，達到室內外空氣交換，增加室內環境舒適度並達到節能的效果。總結兩個案例類型，皆以直接與自然的方式面對環境，藉由與環境協調共存，產生綠化及美觀的效果，達到節能減碳。



圖二 仿生豆莢(Bio-Mechanical Pod System)

(二) 建築立面的動力回應

自從 1960 年代，就有以動力學角度在創造動態外牆的可回應式元件，但動態立面的系統並沒有系統性的發展歷史。(Linn, 2014) 動態皮層所扮演的角色並不只是單純的動力運作，因此，建築立面首先要達到回應環境且具有可變動性，才能具備適應環境的能力。動力學為建築立面與機械互動的整合開啟了契機，藉由動力回應建築立面的設計大致可分成三種驅動類型：(1)自然力、(2)機械力、(3)材料力。

1. 自然力

自然力不外乎就是透過自然的力量使其驅動，地球上的生物都要受到各種自然力的作用，使它們在長期的進化過程中形成了適合生存環境的種種形態。自然力被運用在建築立面上，讓自然環境的參數能形成影響立面造型的因子，例如藝術家 Charles Sowers 在美國舊金山的蘭德爾博物館(Randall Museum)的建築立面上安裝了 612 個鋁製的風向旋轉指針(圖三)，藉由自然力與指針產生互動，成功

的將流動的風向視覺化，將建築的表情交由自然環境的參數動態去定義，形成環境導向的建築表情，也展現出新一代綠色住居的精神。



圖 三 蘭德爾博物館建築立面上設置的風向指針

2. 機械力

建築立面的開口部通常是可以活動的構件，如門、窗、遮陽等去調節其他的不可穿越的構件並穩定的建築立面部分。開口部對應到了使用者的習慣、開口的功能位置及建築朝向。早期的可活動的立面需要人的動力來實現功能的改變，這滿足了使用者對空間佔領的需求，如傳統日本建築的滑動障子門和早期的窗簾形式的牆。隨著時間的推移，技術的介入以及複雜的機械系統將簡單的人力推動的皮層變的更智慧。(張媚，2015)從聖地牙哥·卡拉特拉瓦(Santiago Calatrava)的建築作品中，可看見建築皮層互動關係的多樣化與功能表達，例如卡拉特拉瓦在科埃斯費爾德(Coesfeld)的車庫大門(Ernsting Warehouse)設計(圖 四)，引入有機式的設計概念，單純的以機械力系統構成車庫門的可動裝置，巧妙的完成車庫的開闢動作。而 1988 年努維爾(Jean Nouvel)在巴黎設計的阿拉伯文化中心(Institut du Monde Arabe) (圖 五)，更是將機械力巧妙的結合在建築皮層的語境當中，透過百葉窗的形式反映日光條件，創造模擬相機光圈的控光裝置，該裝置會隨著時間的推移變化，自動調節開闢機制，滿足空間的光線的需求。



圖 四 卡拉特拉瓦設計的車庫大門(Ernsting Warehouse)的開闢機制



圖 五 巴黎設計的阿拉伯文化中心 (Institut du Monde Arabe) 的控光裝置

3. 材料力

究竟建築為什麼要動？從仿生建築來看，建築師自然演化過程得到設計靈感，工程師從自然界生物體的功能與作用機制，尋找技術得解決之道，建築界從仿生學取材應用，發展新的仿生意義，仿生建築(Bionic Architecture)的極致應用，就是一個有機的動態結構。(鄭泰昇，2010) 仿生建築在定義上是指透過模仿生物的造型結構或運作機制，促進建築形體結構以及建築功能佈局等的高效設計和合理形成。某些意義上來看，由於仿生手段立意於與環境共存、自產能源、糧食、健康生活環境或是改善生態環境，因此也能被看作是綠色建築，更是綠色城市的發展手段之一(張基義，2008)。以美國南加大金聖教授(Doris Kim Sung)開發的熱導仿生金屬(Thermo Bimetal)為例，利用零耗能材料的特性，在不同導熱度的金屬間相互結合，使其能夠在不同受熱環境下產生不同的撓曲度(圖 六)，而金聖教授更將該材料運用於建築上，該表層能隨著日照強度改變撓曲彎度，建築就如同會呼吸般，自動的根據陽光的變化產生不同程度的開口，為室內提供不同程度的遮蔽效果和空氣交換率，達到自然節能的效果。

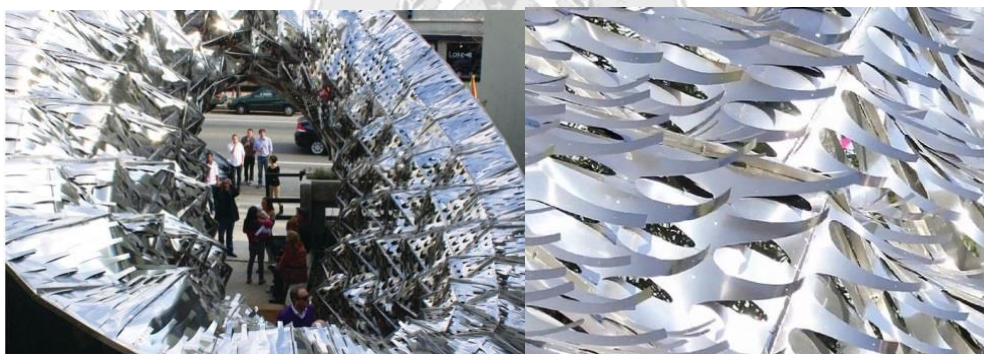


圖 六 位於洛杉磯的熱導仿生金屬牆隨著日照強度改變撓曲彎度

(三) 與氣候協同的動態調適

一棟建築物需要面對外部與內部兩方面的因素，包含氣候條件與使用者活動，傳統上的建築物缺乏彈性變動能力，靜定的建築外殼無法完全對應變遷的氣候條件，固定空間規劃更無法完全滿足各種使用活動的需求，近年來的互動建築研究趨勢，就是想藉著將自動化元件導入建築空間中，創造一個能兼顧人本需求與永續發展的生活空間。(鄭泰昇，2010) 設計者因而藉由對建築動與靜的探索，利用數位科技各式感應器，透過對光、熱、顏色、聲音、動作、觸覺等感應，隨時接收環境瞬間變動，加以及時運算，設計出能隨環境因子可靜可動的「流動建築」與「流動皮層」的新設計典範與意義。(劉育東，2005) 可調適的智慧環境，意謂在建築環境中建立具有可調適能力的系統或者是機制，它具備人工智慧、能

夠自主性的根據環境的動態改變或者使用者即時的需求，作用彈性的行為模式或者提供適當的控制條件，以滿足可調適機制的設計目標。(陳上元，2006)

技術的發展促進了實現對互動的追求。近年來由於環境感應科技與資通訊技術的發展，建築興起了一股智慧風潮，許多強調節能的建築物紛紛導入具備環境偵測與控制功能的智慧環控系統，並將其與建築的立面造型設計整合，形成能夠感知環境變化並即時產生回饋的互動建築(Interactive Architecture)。(沈揚庭，2013) 適性皮層在建築立面上影響了功能使上的品質，另一方面也影響著使用者的行為。以光線因子為例，建築師艾達斯(Aedas)在 2012 年於杜拜的歐巴哈爾塔(AI Bahar Tower) (圖 七) 設計了一組模組化的建築皮層，艾達斯將網格式排列的三角面體皮層覆蓋在帷幕牆上，每個模矩化單元則透過感測器接收環境參數，即時的進行動態的調節，為室內維持適當的進光量。

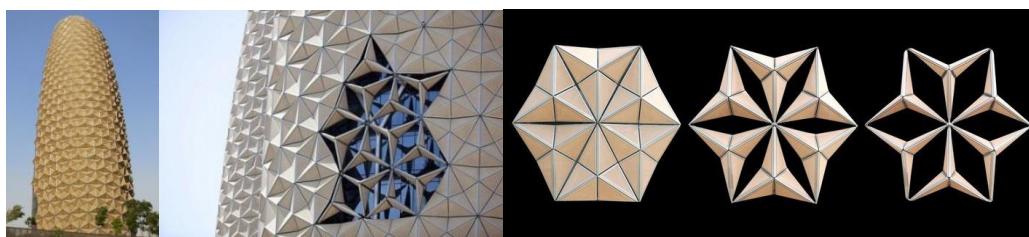


圖 七 歐巴哈爾塔的每個三角狀模矩單元能夠根據陽光曝曬程度改變其開口大小

另外一個案例是由雲端 9(Cloud 9)建築團隊所設計的媒 ICT(Media-ICT)(圖八)，該建築在 2009 年於西班牙巴塞隆納落成，整棟建築物的 CO2 排放量接近零，該建築物運用與北京水立方國家游泳中心相同的鐵氟龍 ETFE 材質，在系統的運作的方面則透過感測器偵測參數，當夏天溫度升高時能使可張縮的鐵氟龍薄膜充氣，這種特殊薄膜的充氣墊單元，能過濾紫外線，透光度達到 95%，且能阻擋 80%的熱度。反之，冬天則會展開薄膜吸收太陽光線，進行智慧的充氣調控來提高室內溫度。本研究根據上述案例屬性總結與整理，並為「形隨環境參數的適性皮層」實作提供重要參考依據。

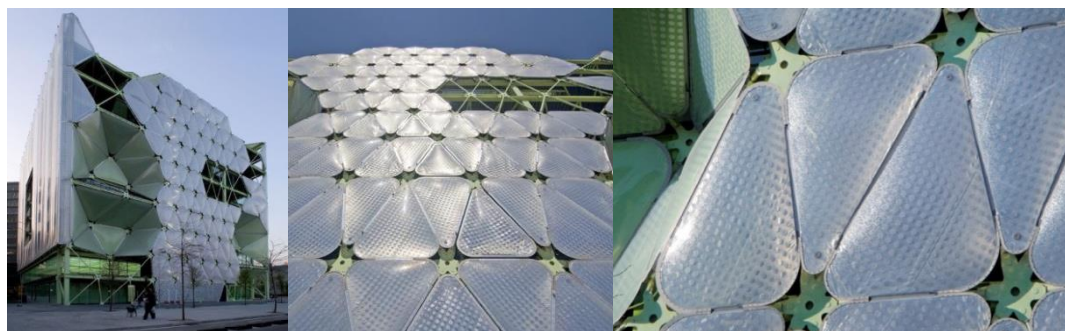








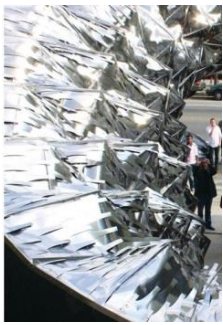


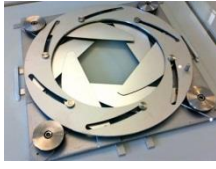





圖 八 媒體 ICT(Media-ICT)由 ETFE 氣囊包覆並會隨著不同的陽光照度而進行智慧的充氣調控

表 一 : 形 隨 環 境 參 數 的 建 築 皮 層 案 例

	1	2	3	4
案例	Green Wall	Bio-Mechanical Pod System	Randall Museum	Ernsting Warehouse
整體圖示				
個體圖示				
作者	Mr. Patrick Blanc, 1988	Rensselaer Polytechnic Institute, 2012	Charles Sowers, 2012	Santiago Calatrava, 1983-85
媒介	自然力	自然力/機械力	自然力/機械力/風	機械力/機構設計
構造驅動		特殊造型內安裝管子抽送空氣，構成可製造空氣循環的植生牆	鋁製單元旋轉指針受風力驅動	機械力牽動可動大門裝置
介面達成	<input type="checkbox"/> 可動機構 <input type="checkbox"/> 環境參數 <input type="checkbox"/> 互動調適	<input type="checkbox"/> 可動機構 <input type="checkbox"/> 環境參數 <input checked="" type="checkbox"/> 互動調適	<input checked="" type="checkbox"/> 可動機構 <input checked="" type="checkbox"/> 環境參數 <input type="checkbox"/> 互動調適	<input checked="" type="checkbox"/> 可動機構 <input type="checkbox"/> 環境參數 <input type="checkbox"/> 互動調適

適應性建築皮層

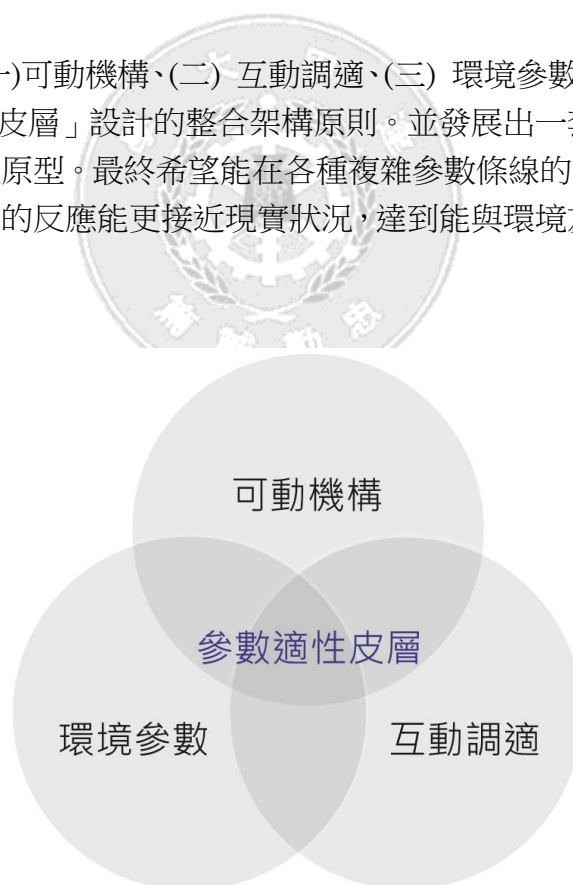
	5	6	7	8
案例	Institut du Monde Arabe	Thermo Bimetal	Al Bahar Tower	Media-ICT
整體圖示				
個體圖示				
年分	Jean Nouvel,1988	Doris Kim Sung,2012	Aedas,2012	Cloud 9,2009
觸發因素	機械力/氣候協同/光線	材料力/溫度	機械力/氣候協同/光線	機械力/氣候協同/溫度
構造驅動	感測器感測日光，再藉由機械力驅動控光裝置	熱導仿生金屬隨著日照強度改變撓曲彎度	感測器感測日光，再藉由機械力驅動控光裝置	感測器感測日光，進行鐵氟龍(ETFT)薄膜單元充氣
介面達成	<ul style="list-style-type: none"> ■可動機構 ■環境參數 ■互動調適 	<ul style="list-style-type: none"> ■可動機構 ■環境參數 ■互動調適 	<ul style="list-style-type: none"> ■可動機構 ■環境參數 ■互動調適 	<ul style="list-style-type: none"> ■可動機構 ■環境參數 ■互動調適

三、形隨環境參數的適性皮層

本研究透過感測器等元件組成的系統，以改變自身形態之方式達到因應環境之變化，並促進室內空間品質。形隨環境參數的適性皮層在本研究的定義為：感知外在環境變化，並回應使用者對於環境需求的能力。其內容提出主動控制的「參數適性皮層」(Parametric Adaptive Skin)，企圖從對環境友善的分散式皮層系統的概念出發，發展出能隨著環境因子改變而動態調整的適性皮層。

參數適性皮層即在智慧建築與物聯網的技術支持下，複合使用主動與被動控制的手法，將建築立面轉換成可以與環境互動的適性皮層(Adaptive skin)，試圖改變過往建築外牆只是消極隔絕室內與室外的觀念，將外牆視為一種能積極與周遭環境協調的角色，去適應氣象環境中的連續性與變化性，與環境產生生態友善(Eco-friendly)的互動。並運用感測器偵測到的環境微氣候數據對建築皮層做往復的傳遞與調整以適應多元的環境變化，使建築達到即時動態反應產生形隨環境參數的效果。

本研究建議以(一)可動機構、(二) 互動調適、(三) 環境參數三大層面(圖九)作為「參數適性皮層」設計的整合架構原則。並發展出一套足以實證此概念的模矩化帷幕牆系統原型。最終希望能在各種複雜參數條線的導入下，進行綜合性的劇本判斷使皮層的反應能更接近現實狀況，達到能與環境友善互動調適的智慧型綠色建築。



圖九 參數適性皮層三大原則

(一) 可動機構

可動機構在本研究的定義為:透過整合感測器、控制器與致動器等機電設備,建構模矩化的單體構造。舉例人的眼睛來說,眨眼(Blinking)是一種正常的生理活動,其實就是眼瞼的開閉運動,醫學上叫做瞬目運動。當眼睛遇到外來的強光刺激時,會立即的眨眼,以便調整進入瞳孔內的光線,避免眼睛受到過強光線的直接傷害。本研究將眨眼的反射行為類比到建築物與環境的互動關係,將適性皮層設計的主軸定調在與環境互動的機制上,來達到形隨環境參數的目的。在控制建築立面的開口部的機構方面,適性皮層的機構需要透過電能來轉換為動能,主要藉由載具上的各種致動器來進行,這其中涉及動力系統的技術議題。動力系統影響了適性表皮的动作方式。在許多已被實踐的適性皮層案例中,最常被運用的是由液壓設備或電磁馬達所驅動的伸縮式機構或扭力式機構。(Schumacher et al.,2010,p.66)

在可動機構模組化的整合方面,為有效的控制系統,適性皮層的表層需整合感測器、致動器等機電設備,建築的表層材料必須和這些機電設備共同整合為一個模組化的單體構造。機器表層所包含的各項機電設備,依照在模組上的位置,由外而內為:自體變形所用的馬達致動器、水平移動所需的動力設備、位向感測器、能源轉換電路、環境感測器、微控制器及訊號處理電路。表層外圍的位向感測器,例如:紅外線距離感測器、光學里程計、碰撞感測器、馬達編碼器、加速規等,可以使機器表層能具備障礙偵測、防止碰撞、精確定位、調校傾斜角度等功能。位於表層模組的核心位置的是微控制器、通訊設備與環境感測器,使每個單元能進行自主控制、察覺周圍環境變化、與中控端及其它單元進行通訊。(潘晨安,2014)

(二) 互動調適

適性皮層在本研究的定義為:感知外在環境變化,並回應使用者對於環境需求的能力。而互動系統就如同人類的大腦,扮演著彙整訊息與產生指令的功能。智慧回應系統以雲端運算平台為核心,向上接收所佈署的感測器偵測到的人因參數與環境參數,儲存在雲端資料庫並比對相符合的互動劇本,然後觸發指令並向下傳遞指令到相對應的互動構件,完成標準的互動事件觸發流程。(沈揚庭,2013)在系統運作的架構邏輯方面,適性皮層由感知、運算、發送(Input、Process、Output)三階段組成。感知即是從感測開始,感測器感知環境及雲端開放資料後,進入到電腦運算端,再經由運算決策觸發劇本。

(三) 環境參數劇本

環境參數劇本的定義:是由設計者事先定義好參數的決策範圍，藉由感測器偵測環境數值，再由電腦端去判斷與決策的能力。本小節回應描述不同層級的運算劇本和參數與劇本的對照關係。提出適性皮層系統以智慧回應做為主軸(圖十)，而智慧回應的概念主要分成感測神經與互動系統兩個部分:感測神經主要用以偵測建築物周遭的環境參數，使建築物本身能即時掌握外在環境的變化，為適性皮層的變動提供合理的觸發因子；互動系統主要用以控制適性皮層的變動，其觸發的來源來自於感測神經所提供的參數，面對不同的參數導入，互動系統會對適性皮層進行不同的互動劇本觸發，控制相對應的建築元件，進而產生整體的建築外牆變動。

系統架構的情境劇本方面則規劃為高階劇本(特殊劇本)與低階劇本(常態劇本)兩部分(圖 十一)。兩相比對下對該原型所處的照度微氣候做出綜合性的判斷，並反饋到外部折板系統的開闔角度與時機，有效的平衡室內外的光線，並達到節能建築的效果。高階劇本，即是透過在感知層時介接氣象局的開放性資料從雲端擷取季節性日照變化，控制的劇本產生基準控制狀態，來回應常態氣候。低階劇本，即是透過感測器偵測到的數值，微調基準控制狀態，來回應即時的微氣候。以下以使用者日常使用的情境為例:

1. 高階劇本:使用者在住家中，系統藉由氣象局提供的開放資料維持基準調控，當天氣變化或是地震等天災時，系統就會透過雲端網路回傳觸發使皮層關閉。亦或是當使用者離開住家後，在個人雲端行事曆輸入外出，系統也會根據使用者需求自動設定關閉。
2. 低階劇本: 指的是在天氣狀態正常的情況下因應環境變化去運作的主軸劇本，不依照使用者需求，藉由感測即時日照進行隨時調控變化。

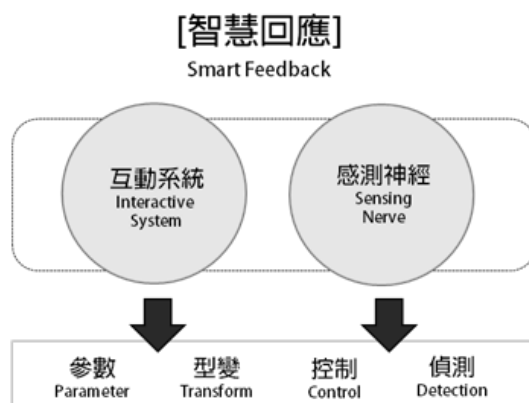


圖 十 智慧回應系統架構

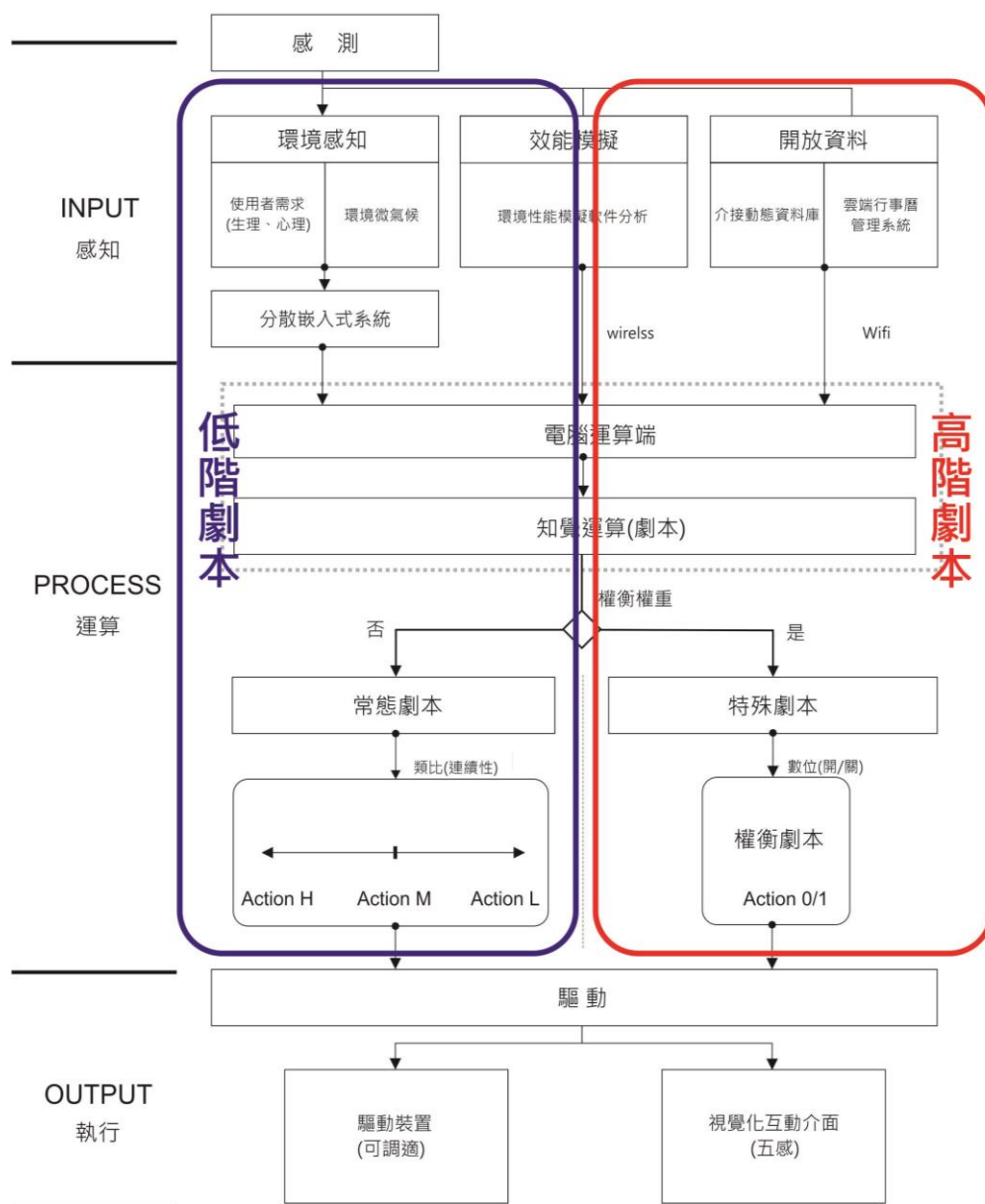


圖 十一 高階劇本與低階劇本的情境系統架構

四、 原型實作

本研究之模矩化帷幕牆系統原型，能夠透過感知環境的及時光線變化，配合感測器與折板裝置等元件，並運用實驗環境改變光源強弱，建築立面折板則會依照所感測到的照度微氣候做出綜合性的判斷，並反饋到外部折板系統的開闔角度與時機，有效的平衡室內外的光線，並達到調節採光的效果。在設計上，將其歸納為二個面向的挑戰：(一) 參數適性皮層設計：包含互動系統設計與可動結構、(二)系統的架構邏輯：根據陽光參數改變，定義劇本並進行互動的控制。

(一) 參數適性皮層設計

本研究將眨眼的反射行為類比到建築物與環境的互動關係，將適性皮層設計的主軸定調在與陽光互動的機制上，創造出會眨眼的建築立面。本實作「參數適性皮層」的設計靈感來自於人類眨眼的自然反射動作，眼睛只要任何輕微的刺激，就會牽動眼周肌肉，使眼皮閉起來保護眼睛。眼睛會整天不斷的眨眼，調節眼睛所需要的濕潤度；當眼睛遇到強光刺激時，會有自然的眨眼反射動作，提供進一步的保護作用，就好比跟隨著環境參數做變化的適性皮層，動態調整著整體建築立面的開口部數量與大小。互動系統設計方面則是以環境中的日光做為操作的參數，將感測到的陽光進光量，轉化成影響建築立面造型的觸媒。並依照日光的強度定義出強、中、弱三個不同的光照程度，並將光照程度連結到適性皮層的開闔動作，也就是控制建築立面的開口部大小。

在可動結構設計層面，為能有效的控制建築立面開口部的數量與大小，本研究發展出一套模矩化的折板系統，藉由折板與折板相互之間的張縮所產生的空隙，便能定義出能隨著進光量調整的開口部設計。模組化的折板系統外觀是猶可動折板與背後支撐框架所構成(圖 十二，左)，框架系統行建構出整體的建築單元外牆結構，具備有承重的功能，屬於靜態結構；折板結構則依附在框架系統外側，可以進行不同程度的壓縮與擴張，屬於動態結構。為了能夠實現單一模組與進光量參數之間的互動控制，每個模矩單元的運作機構組成包括：光偵測感應器、折板系統、模組框架、動力轉軸、以及伺服馬達(圖 十二，右)，模組組構安裝過程如(圖 十三)。光偵測感應器負責偵測室外的陽光大小，並將所測得的數值回傳到適性皮層的互動運算系統內，互動運算系統會根據感應器所提供的數值，觸發預先定義的相對應控制劇本，進而下達指令控制伺服馬達，藉由伺服馬達的轉動牽動動力轉軸，使得連結在動力轉軸上的折板結構隨之產生壓縮或伸張的動作，最終形成不同的開口部大小，改變建築立面的進光量。

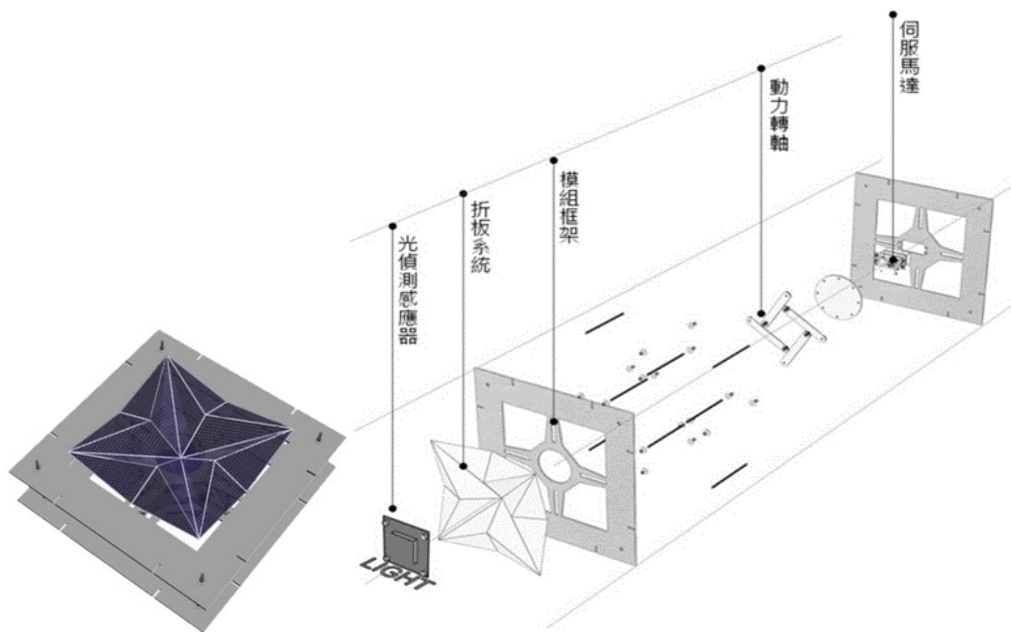


圖 十二 左: 模組化單元示意圖; 右: 單元說明爆炸圖

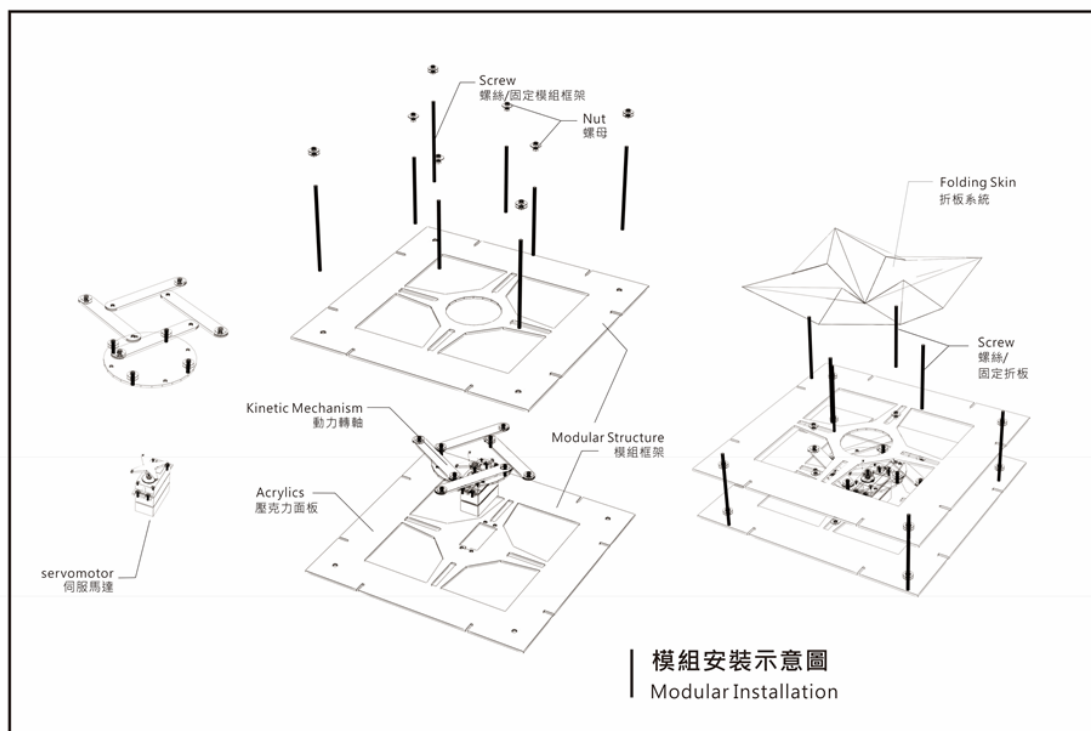


圖 十三 模組安裝說明示意圖

(二)系統的運作

在系統運作方面，實際設計的挑戰主要有三個層面：(1) 系統運作的架構邏輯、(2) 如何透過折板結構的改變動態的定義出不同的開口部大小、(3) 如何根據陽光參數的改變定義出控制劇本並進行互動控制。

1. 系統運作的架構邏輯：本研究的系統架構以感知、轉換、發送三階段組成，詳見圖 十四。這三個階段代表著機制運作的過程，同時衍伸到智慧型建築物如何與環境階段的感知。第一階段『感知』(input)階段，本階段系統要能偵測環境變化參數，透過參數與環境做互動才能掌握環境即時的變化，並為後續階段提供可靠的資訊來源。因此本階段感應器扮演著偵測環境與轉換參數的角色，進而提供下個階段的處理轉換。

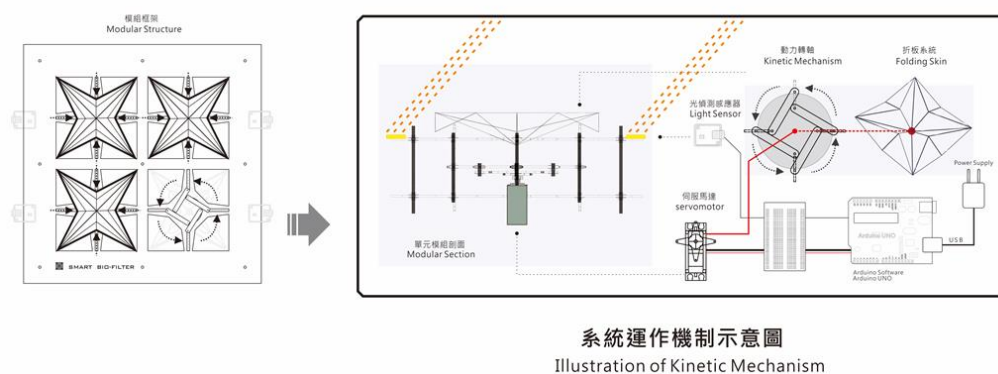


圖 十四 系統運作機制示意圖

藉由第一階段的感知，取得參數輸入後，便會集結數據傳送到中央的運算平台進行第二階段的處理動作，本階段稱為『轉換』(Process)階段。轉換階段階收到感知階段的參數後，便會透過微晶片系統(Arduino)進行參數的分析與對照，來進行劇本觸發(Scenario trigger)的行動。舉例來說，劇本是由設計者預先撰寫，並在接收到充分的輸入參數條件時觸發，我們預先定義的判斷式條件為： $X \geq 50$ 以及 $X < 50$ ，也就是觸發的門檻在於 $X = 50$ ，判斷式的基本撰寫邏輯如下：

```
If (X >= 50){ do A_scenario };  
If (X < 50){ do B_scenario };
```

因此例如當輸入參數為 71 時，便觸發 A 劇本；當輸入參數為 28 時，便會觸發 B 劇本。劇本觸發後便會啟動第三階段。第三階段的『發送』(Output)，主要是輸出第二階段所發出的控制命令，對可動元件的進行動態

控制，以本研究的實際執行專案來說，便是進行馬達旋轉帶動折板伸張與壓縮的動作，來達到智慧回應的目的。感知、轉換、到發送的系統運作邏輯將設計者的角色提升到「空間導演」的層次，創造出智慧建築在觀念上與系統設計上的典範轉移。(沈揚庭，2014)

2. 皮層折板的張縮機制設計：折板構造以矩形做為單位雛形，將其長寬二等分並對折，再切分出特殊的星狀形折線，這些切分出的折線可以做出微量的彎折，因此整體單元折板結構便可以隨著折線進行壓縮或伸張。另一方面，要對折板進行壓縮與伸張，需要有相對應的動力來源，對四個邊的中心點產生 X 軸向與 Y 軸向的推力與拉力，因此我們在各邊長中心設計出與後方動力轉軸的連接點，藉此與動力轉軸產生連動達到運動。

動力轉軸則是以伺服馬達做為動力來源，但馬達的運作機制是屬於旋轉運動，必須透過適當的轉換讓旋轉運動能夠變成水平與垂直向度的直線運動。本研究設計出以滑軌連接轉盤的動力轉軸，四根動力轉軸的一端與馬達的圓形轉盤作連結，另一端則與半固定式的滑軌連結，因此當馬達的轉盤在旋轉時，便會帶動動力轉軸在滑軌上產生直線運動，提供 X 與 Y 軸上的推力，進而帶動與之連結的折板產生收縮與伸張(圖 十五)。總結來說，動力轉軸機制主要以旋轉做為驅動整個系統的運用，並結合滑軌使連接零件從轉動的旋轉運動轉變成在 XY 軸上的直線滑動，達到折板的收縮與伸張動態的效果。

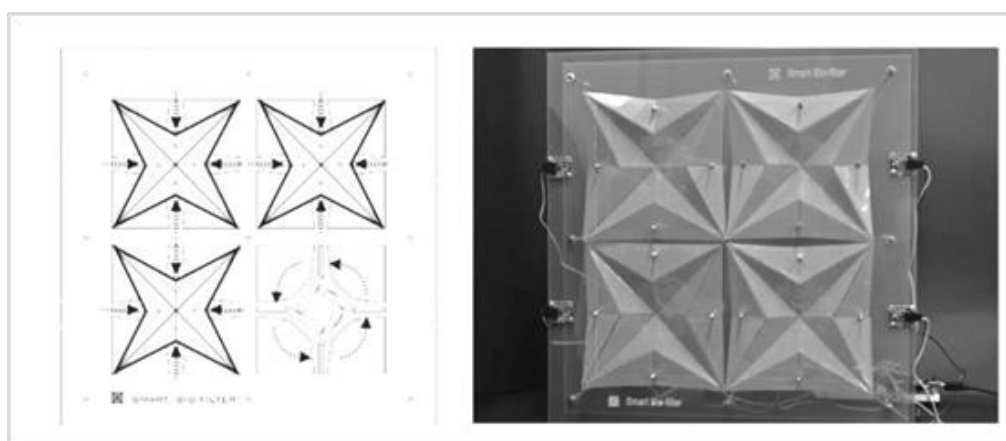


圖 十五 折板系統實做運作機制

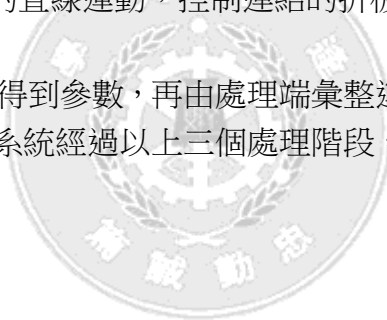
3. 智慧模組的構成與控制：折板的收縮與伸張主要目的是藉由改變開口部的大小以進行進光量的控制，因此智慧模組的設計主要的挑戰在於各階段機制間的串連與運作：(1)輸入(Input):偵測光線大小、(2)處理(Process):將進光量轉變成控制的參數，並驅動系統產生相對應的控制命令、(3)輸出(Output):將系統的控制命令輸出成實際的折板元件運動。

輸入(Input): 每個運作模組的外側，也就是面對外部環境的地方，都配置有獨立的光偵測感應器，目的是讓每個單元都能夠偵測個別的進光數值，藉此產生各自獨立的折板收縮與伸張動作。

處理(Process): 所有分散的運作模組所偵測到的數值都會彙整回中央的運算控制系統，由系統內的運算資料庫統籌判斷，藉此觸發相對應的整體控制劇本，在不違背整體協調的框架下，再對來源的模組發出個別的控制命令。

輸出(Output): 分散的運作模組接收到來自於中央系統的控制命令後，便會驅動後端的伺服馬達執行命令進行轉動，藉由轉動的角度帶動不同程度的動力轉軸在 X 軸與 Y 軸的直線運動，控制連結的折板收縮或伸張，改變開口部的大小。

以上藉由輸入端感測得到參數，再由處理端彙整運算並控制系統，最後由輸出端驅動機構裝置，系統經過以上三個處理階段，即可達到本研究模組的智慧控制。



五、 結論與建議

適性皮層本屬於智慧建築的一環，在外觀上肩負著形塑城市型態的重要任務，建築立面的特性與形式也關係到城市重要的組成。然而從智慧住宅的角度來看，適性皮層更為住宅及使用者提供更自主、彈性的可調式能力，促進更舒適健康的居家生活環境。

本研究提出環境控制導向的可動構造，即是能依照氣候變化採取適當反應，藉著調整建築外殼的形狀來改變採光與通風等物理因素，以維繫建築空間環境品質。在「形隨環境參數」的適性皮層實作中，透過感知環境的及時光線變化，配合感測器與折板裝置等元件，並運用實驗環境改變光源強弱，建築立面折板則會依照所感測到的照度微氣候做出綜合性的判斷，彈性的改變外部折板系統的開闔角度的大小，有效的平衡室內外的光線，並達到節能建築的效果。

本研究在執行上的困難遭遇與解決過程方面，實驗過程中為達成透光又具有遮蔽性的效果，在折板方面選擇的薄壓克力材質與充孔板材質，雙層的材質導致折板過重，無法使伺服馬達帶動的動力轉軸呈現太大的幅度變化，為克服重量牽制，因此選擇了材質較輕軟性質的透明投影片和充孔板的組合，來增進作動時之效果。透明材質與沖孔版的組合使皮層結構輕盈又具穿透性，更有利於動態結構的運行，達到組構機制與可動機制雙贏的效果。本研究的原型製作與實驗成果，為未來建築外牆在實踐能與環境互動的適性皮層上，提供了一個具有參考價值的示範性實證。

未來應用方面，考慮到現今我們已經進入了物聯網(Internet of Things)的時代，除了回應環境參數與使用者基本的情境外，也必須考慮到更具個人化的服務，如加入個人雲端管理系統(如:Google Docs、Gmail、Google Calendar 等)輔助，運用雲端結合適性皮層系統，這不僅可以更貼近使用者的生活，也將能做出最妥善的防災措施。在皮層的設備管理方面，因應能源管理的議題，進行遠距離耗能監控裝置來測量耗能狀況，還能將資料儲存在網路上進行遠端的啟動與關閉裝置，控制介面亦可透過電腦與行動裝置來加以控管，更方便日後的設備更換。試圖從中發現可作為未來智慧住宅手法之參考理論與實作模式，達到能與環境友善互動調適的智慧型綠色城市物聯網。

六、 參考文獻

1. 沈揚庭.&陳上元(2013).科技部補助專題研究計畫-智慧仿生瀘網成果報告.P.12-15
2. 陳上元.(2007).智慧代理者理論應用在可調適性建築環境的研究-以智慧皮層為例.成功大學建築學系學位論文.1-179.
3. 陳嘉懿.& 建築系.(2006).由人機互動介面理論探討智慧空間設計.
4. 袁烽. (2012). 从数字化编程到数字化建造. 时代建筑, (5), 10-21.
5. 劉育東著.(2006).數位建築的哲學—遠東國際數位建築獎.台灣建築雜誌 129號.台北：台灣建築報導雜誌社.
6. 潘晨安, & 鄭泰昇. (2014). 智慧機器建築的動態表層研究. 建築學報, (89), P.35-55.
7. 黃振嘉, & 劉育東. (2003).建築設計與環境知識呈現方式組織架構之研究 (Doctoral dissertation).
8. 鄭泰昇.(2010).互動建築：空間即媒體、介面、與機器人= Interactive architecture: Space is medium, interface, and robot。臺北市：田園城市文化。
9. 簡聖芬, & 陳上元. (2007). 前瞻工程科技之未來產品概念設計— 智慧建築皮層研究成果報告. 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (報告編號: NSC 95-2218-E-011-021).
10. Drozdowski, Z. (2011). The adaptive building initiative: the functional aesthetic of adaptivity. *Architectural Design*, 81(6), 118-123.
11. Grönvall, E., Kinch, S., Petersen, M. G., & Rasmussen, M. K. (2014, April). Causing commotion with a shape-changing bench: experiencing shape-changing interfaces in use. In *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems* (pp. 2559-2568). ACM.
12. Hall, P. (2008). *Living Skins: Architecture as Interface*.
13. Linn, C. (2014). *Kinetic Architecture: Design for Active Envelopes*. Images Publishing.
14. Micheal A. Fox,(2009)'interactive architecture will change everything' , Academy of Art and Design, Tsinghua University, Beijing, pp13.
15. Janlert, L. E., & Stolterman, E. (2014). Faceless Interaction-a conceptual examination of the notion of interface: past, present and future. *Human-Computer Interaction*, (just-accepted).
16. Jeng, T., Ma, Y. P., & Shen, Y. T. (2011). iAWN: Designing Smart Artifacts for Sustainable Awareness. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity*, 193-202.
17. Jeng, T.S., Hsuan-Cheng Lin, Shen, Y. T., Pan, C.A., & Chen., C.-I. (2007). Modular

- Prototyping of Smart Space through Integration of CAD/CAM and Physical Computing. In the 12th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia. CAADRIA. Nanjing, China: Southeast University and Nanjing University.
18. Moloney, J. (2006, July). Between Art and Architecture: The Interactive Skin. In *Information Visualization, 2006. IV 2006. Tenth International Conference on* (pp. 681-686). IEEE.
 19. Nasar, J. L., Stamps III, A. E., & Hanyu, K. (2005). Form and function in public buildings. *Journal of environmental psychology*, 25(2), 159-165.
 20. Sharaidin, M. (2014). Kinetic facades: towards design for environmental performance.
 21. Shen, Y. T., & Do, E. Y. L. (2009). Fun with blow painting!: making leaf collages by blowing at toy windmill. In *Proceeding of the seventh ACM conference on Creativity and cognition* (pp. 437–438).
 22. Shen, Y. T., & Lu, P. W. (2014). Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions. (N. Streitz & P. Markopoulos, Eds.) *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*) (Vol. 8530, pp. 184–195). Cham: Springer International Publishing.
 23. Shen, Y., Chen, P., & Jeng, T. (2013). Design and Evaluation of Eco-feedback Interfaces to Support Location-Based Services for Individual Energy Awareness and Conservation. *Human-Computer Interaction. Towards Intelligent and Implicit Interaction*, 1, 132–140.
 24. Taysheng Jeng. (2012). Interactive Architecture: Spaces that Sense, Think, and Respond to Change. In *Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education*, N. Gu and X. Wang [eds.], IGI Global (pp. 257–273).
 25. Zuk, W., & Clark, R. H. (1970). *Kinetic architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.