
國立交通大學建築研究所
碩士論文

體驗能源 - 能耗資訊實體化研究

Experiencing energy - Physical Representation of Energy Consumption

研究生 林家豪

指導教授 侯君昊

中華民國一百零三年七月

摘要

電能是一種無形的資源，環繞著人類社會的生活環境，是建構現代物質文明的基礎。日常生活環境中，使用者不會感受到電能的存在，直到它被作用且驅動空間中的設備，傳統上想要接收了解有關能源消耗多寡的介面只能透過閱讀電表轉盤的刻度或是電力公司每月寄出表單上的資訊。電表的裝設位置、運作系統和資訊提供方式，讓使用者無法直覺地將空間中進行的行為和所消耗的能源狀況做認知上的連結；每月的表單也無法及時提供資訊。如何將顯示耗能資訊的實體互動裝置結合於建築空間元素之中，以營造環室顯示的概念的方式，讓使用者更容易了解當下的能耗資訊，誘導使用者做行為上的改變，並且進一步選擇、改變日常生活在建築空間中的能源使用配置，是目前智慧型建築和資通訊科技領域中許多人在討論的課題。重新考慮在建築空間中，有關連結使用者生活經驗和能耗資訊的裝置給予使用者的操作感知落差、資訊認知斷層的設計問題，經由和其他資訊、認知領域的跨界合作，提供一套良好的互動顯示系統應能改善現況。

本研究設計旨在發展一套實體互動介面裝置：Energy Leafs，置入日常生活空間的背景環境，擷取智能電紋系統測量的能耗量化資訊，以裝置的外型狀態變化來顯示各種設備能耗與使用狀況，透過非強制性與間接性的資訊傳遞、程式參數化的控制，轉化為空間情境的訊息，包括擬態物體的形體變化，傳達給建築空間中活動的使用者。期望能透過此互動方式，提供使用者能源資訊的消長狀況，讓資訊透明化、直覺化，誘導使用者在獲得相關資訊後，可依據情況需求，改變能源使用行為，進而達到良好的能源管理的效果。Energy Leafs 實體介面的型態設計和行為設計，將建立在使用者對於實體消長狀態的認知經驗和誘導式的情境設計，和過去的生活經驗連結，使用者將依循相關脈絡嘗試互動方式，產生此能源資訊互動顯示裝置和空間能源資訊的連結性。另一方面，結合現代互動科技與美術空間設計元素，使裝置更具吸引力與美感，以達到改變使用者行為能產生比預期更好的效果，也是本研究設計最後期望達到的成果。

關鍵字：環室顯示、互動裝置、實體介面、能耗偵測

Abstract

Electricity is an invisible resource around our world and also the foundation of modern civilization. User can not realize about its existence until electric equipment start working. Traditionally, user just can through the meter or from the bill mail by the electricity company in the end of month to know how much electricity they used. User cannot make intuitive connection between behavior and energy waste because the location of meter install and the way to provide information. How to combine the interactive device into spatial elements to show the information of electricity used by ambience way, let the user can understand easily and will to change the way use of electrical appliances is the topic lots of people discussing in the field of smart housing. Reconsider of the problem about the relationship between user experience and energy information, it could improve the situation by provide a good interactive display system which interdisciplinary cooperate with information and cognitive technology.

This design research try to develop an entity interactive interface device : Energy Leafs. By read the energy consumption information from EMU system and show it with appearance changes passing the ambience information to user. Shape and behavior of interactive device will design with the research about entity cognitive experience and induction-type scenario. On the other hand, combined with interactive technology and art design that make devices more attractive and beauty which expected can change user behavior better than before is this design research wants to do.

Key Words : Ambience display, Interactive device, Physical interface, Energy consumption Detection.

謝誌

當初可以進到交大就讀是一件很幸運的事情，這邊的開放的學風和豐富的資源讓我學習到許多新事物、結交來自各方的朋友、認識很多好老師，這段在交大的回憶已是人生中不可忘卻的一段經歷。

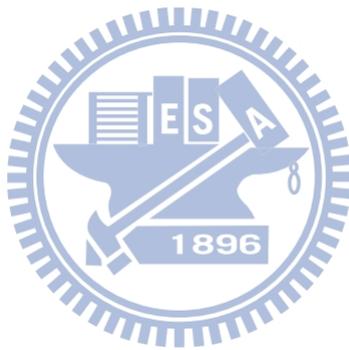
在所上總共待了二加一年，首先要謝謝我的父母支持，讓我在學校的這段期間可以盡情做各種嘗試，包括多花一年時間參加能源屋的競賽再回頭來完成這本論文，另外也特別感謝提供我許多學習和工讀機會的君昊老師和倍銜老師，老師們帶領下的數位組研究方向開放多元，從數位構築到互動設計、擴增實境等等，各式的課程與研究案、工作營讓我在數位組的生活多采多姿；還要謝謝唐聖凱學長和許峻誠老師，聖凱學長當初以風趣的上課方式以及分享許多有趣的實例帶領我們進入互動設計的領域，學長在這個領域做的許多案例，都是我們學習的目標，峻誠老師的課帶領我學習到從其他角度回頭看做互動設計這件事，也都讓我受惠良多。在工作室的學習生活，因為有著同甘共苦的夥伴們，大家一路走來相互扶持，尤其是一起從淡江來到交大的李宸安、劉家豪、小布，還有數位組的兆沅、薇晨、志維，設計組的小花、家茵、呂昂、Fish、凱婷，都在我研究所過程的學習對象。

再次感謝我的指導教授侯君昊老師，帶領我在一年多的時間摸索研究方向，過程中的討論每每都開啟了更多的可能性，讓一個非程式背景的建築系學生可以跳脫既有訓練的框架，嘗試新的事物，完成這份設計研究，這都將成為我的養分，無論未來是否繼續朝建築這條路走，這些經驗都將讓我可以以更開放的眼界去探索未來。

目錄

第一章	緒論	1
1-1	研究動機與背景	2
1-2	研究問題	3
1-3	研究目的	5
1-4	研究設計步驟	6
第二章	案例文獻	8
2-1	建築空間中的能源資訊	8
2-2	能源顯示	10
2-3	實體互動	16
2-4	環境顯示與平靜科技	21
2-5	認知心理學與實體互動	23
第三章	研究分析與裝置設計	26
3-1	能源使用行為與能耗認知	26
3-2	裝置設計規畫	29
3-3	系統設計環境	33
第四章	裝置實作與評估	41
4-1	裝置設計說明	41
4-2	ENERGY LEAFS 運作測試	49
4-3	ENERGY LEAFS 運行評估	51
第五章	結論	56
5-1	研究成果	56

5-2	研究限制	57
5-3	後續研究	58
參考文獻		59



圖次

圖 一-1、Google PowerMeter (Google, 2009).....	4
圖 一-2、Microsoft Hohm (Microsoft, 2009).....	5
圖 二-1、工業時代：「居住的機器」(Le Corbusier, 1914).....	9
圖 二-2、資訊時代：「生活的媒介」(Savant Home Automation Systems, 2011).....	9
圖 二-3、後資訊時代：「具有智慧能力的空間」(Geometrix Design Studio, 2012).....	10
圖 二-4、侵入式電表(Smart Meter, Jackson EMC).....	11
圖 二-5、插座式電表(EnergyJoule, 2007).....	12
圖 二-6、掛載式電表(MorePower Single, 2008).....	13
圖 二-7、Energy Plant(Broms, 2011).....	14
圖 二-8、Power-Aware Cord(Gustafsson & Gyllenswärd, 2005).....	14
圖 二-9、Energy Aware Clock(Gustafsson & Gyllenswärd, 2005).....	15
圖 二-10、Watt-lite(Jönsson et al., 2010).....	16
圖 二-11、AudioCubes(Schiettecatte & Vanderdonckt, 2008).....	17
圖 二-12、Reactable(Jordà, 2010).....	18
圖 二-13、PillowTalk(Schiphorst et al., 2007).....	18
圖 二-14、Infotropism(Holstius et al., 2004).....	19
圖 二-15、PlantDisplay (Kuribayashi & Wakita, 2006).....	20
圖 二-16、Cloud and Lights(Rogers et al., 2010).....	21
圖 二-17、認知的細部過程(架設人與電腦的橋樑, 2001).....	24
圖 三-1、傳統能耗認知流程圖.....	27
圖 三-2、智慧電網能耗認知流程圖.....	28
圖 三-3、互動裝置能耗認知流程圖.....	28
圖 三-4、螢幕圖示與實體狀態變化比較.....	30
圖 三-5、Energy Leafs 能耗認知流程.....	33
圖 三-6、EMU Meter Box 裝設圖.....	34
圖 三-7、EMU Meter.....	35
圖 三-8、EMU Meter Box.....	35
圖 三-9、連結 EMU 電表介面.....	36
圖 三-10、連結 Arduino 介面.....	36
圖 三-11、學習電紋介面.....	37
圖 三-12、電紋學習步驟.....	38

圖 三-13、Arduino Mega.....	39
圖 三-14、Arduino IDE 編輯器.....	39
圖 三-15、互動裝置系統架構.....	40
圖 四-1、Energy Leafs 互動能源資訊顯示系統.....	42
圖 四-2、Energy Leafs 單元平立面與等角透視圖.....	43
圖 四-3、Energy Leafs 分解圖.....	44
圖 四-4、Energy Leafs 葉片扭曲模式.....	45
圖 四-5、Energy Leafs 葉片彎曲模式.....	46
圖 四-6、Energy Leafs 旋轉加彎曲模式.....	47
圖 四-7、Energy Leafs 擺動模式.....	48
圖 四-8、Energy Leafs 運轉測試.....	50
圖 四-9、時間與空間能耗顯示.....	51
圖 四-10、當前能耗顯示.....	51
圖 四-11、個別設備能耗顯示.....	52
圖 四-12、測試空間.....	53
圖 四-13、使用者測試紀錄.....	53
圖 四-14、使用者意見回饋.....	55



第一章 緒論

我們處在智慧科技進入建築的時代轉捩點，隨著資訊、感測，機械和網路等各項科技加入空間環境中，新的互動行為改變了使用者在空間產生活動和認知的方式。Mark Weiser提出了「普及運算」，認為將來電腦會和人類的生活緊密結合(Weiser, 1999)，當自動化感測網路設備和機械可動裝置運用於建築空間中越來越普及，往後建築設計考量的不再只是以傳統構築的手法來處理空間、材料、陽光、空氣、水等建築議題，傳統構築的手法也不足以符合現代智慧化空間的功能需求，建築加入新式數位科技可以產生使用者空間體驗的多元性，增進空間的舒適性、便利性與節能效益，數位科技導入建築空間的設計流程勢在必行，智慧型空間將成為未來的趨勢。

擴增實境(Augmented Reality)、實體運算(physical computing)等結合虛擬資訊和實體物件的設計方法，互動性(Interactivity)是其中重要的一環。智慧型空間因上述相關科技技術的提升，增加了許多傳統建築空間無法提供的資訊和活動，其多樣的功能背後也代表著使用上的複雜度，因此良好的互動設計應提供簡易直覺的操作和回饋。環室顯示(Ambient display)，利用空間中的物件元素，在不干擾使用者日常生活為前提下，以背景情境的方式在空間中提供單純的資訊給使用者，使用者也可以自由的決定接收到資訊後行為的改變，以環室顯示作為空間互動的媒介，在許多設計案例中獲得明顯的效果。

能源管理近年來在建築領域被廣泛討論，意圖增加建築自生能源，各種運用相關再生能源以做為永續做法如太陽能、風能等不斷的被提出；不過另一方面，以節約的角度來說，要避免過度的浪費，能耗資訊視覺化加上節能的觀念應該被更直接的導入建築空間中，提醒使用者保持良好的使用行為。根據英國牛津大學氣候變遷協會的研究指出，使用者假如可以獲得本身行為的能耗資訊，便能有效掌握設備使用的狀況，可有效減少5%至15%的能耗量(Darby, 2006)，資訊視覺化對於空間中的能源管理是一個不可或缺的要點。因此，建築空間要進行節能，首先應該是讓使用者可以簡易且直覺的接收當下的能源使用狀況，進而漸進改變使用能耗設備的習慣或是汰換更新有效率的系統。本研究因智慧型空間的普及，關注於當前建築空間中提供即時能耗資訊的方法，藉由分析整理目前互動設計在空間資訊和能源監控案例方案的優劣，依其結果加以改進，運用Arduino系列的互動設計資源以及能

耗監控技術(EMU電紋偵測)，研究設計一套建築能耗資訊視覺化的互動機制運作原型，結合環室顯示的概念，利用實體互動裝置擬物的狀態變化，在背景空間呈現即時能耗狀況，期望使用者在建築空間中對於能耗資訊的體驗可以有更直接的認知效果。

1-1 研究動機與背景

在後網路時代，因為相關資通訊科技在軟體和硬體上的進步，電腦運算、嵌入式科技和顯示裝置都將被整合在日常生活中的各式各樣設計之中(Takeda, Kobayashi, Matsubara, & Nishida, 1998)，許多設計者熱衷於將新的服務應用在智慧型空間，智慧型空間的發展是為了滿足人在空間中的舒適性、便利性、節能等目的(Gross, 1998)，在物聯網和相關感測與運算技術進步飛快的背景下，各式各樣智慧自動化的空間裝置陸續問世並且加入應用，當各種感測器、致動器加上通訊神經網路變成了建築物的基本構成元素，建築開始可以提供更多動態、智慧的空間互動、媒體效果和資訊服務，各種跨界、跨領域的合作已為常態，建築空間的認知不再只是一個靜態的構造物，然而目前大部分的空間智慧化服務內容的操作模式皆利用以使用者圖像介面(Graphical user interface, GUI)為基礎的平面軟體作為工具，搭載的觸控介面裝置例如：桌上型電腦、筆記型電腦、智慧型手機、平板電腦或是觸控面板，使用者和裝置之間的互動行為，模式型態相對地被侷限，服務內容的使用經驗和空間的連結性在認知上的強度不高。為了讓使用者在智慧型空間裡可以自然地感知環境中的資訊，環室顯示(Ambient display)和寧靜科技(Calm technology)的概念開始被提出，

“Ambient Telepresence” 使用了聲音來當作狀態的顯示(Gellersen & Beigl, 1999)，” The Hello.Wall” 互動牆使用不同燈光模式形成的圖像去傳送資訊給經過的使用者(Streitz et al., 2003)，這些研究希望透過一些隱晦的手法，讓使用者可以透過更自然的方式了解智慧型空間提供的服務與資訊，進而與環境形成良好的互動行為。

能源使用的永續性於近年來在建築領域被廣泛討論，意圖增加建築自生能源的做法斷的被提出，例如各種再生能源如太陽能、風能等，不過另一方面，根據英國牛津大學氣候變遷協會的研究指出，使用者假如可以獲得本身行為的能耗資訊，便能有效掌握設備使用的狀況，可有效減少5%至15%的能耗量(Darby, 2006)，而要如何提供使用者對於空間中的能源管理相關資訊，能耗資訊視覺化是一個不可或缺的要點。在技術領域方面，藉由各種感測器的發展，現今許多能源顯示裝置已經能提供精準的資訊，但是對於使用者的影響卻有

限，很大的問題之一即是對於資訊的意義認知與認同感不足，舉例來說，大部份人對於電能單位千瓦和千瓦小時的差異和意義並不是很清楚了解，即使相關裝置提供了精準量測的技術資訊，使用者不見得會有等同的感受(Broms, 2011)，因此，設計與建立有感的能源消耗體驗與直覺的能耗資訊認知是此領域現今討論發展的重點。

智慧能源作為智慧型空間領域發展中的一部分，因環保的議題而漸受重視，在網路傳輸、訊號偵測、資料分析和自動控制等等技術層面的事情都有高度的進展，設備一旦大量生產，技術成本的降低指日可待，然而要確實普及至各建築空間的使用者端卻有相當的門檻，原因是純粹就技術導向研發而產生的解決方案，並沒有提供有效的誘因，例如外觀型態、使用方式和回饋行為，吸引使用者願意犧牲原有的環境舒適度與便利性來改變能源使用的行為，導致效果有限。不同於由上而下建設思維，許多研究開始從使用者末端來討論如何從行為與動機來增進對能源使用永續性的重視，誘導式能源監控科技(Persuasive energy monitoring technology)應運而生(Broms, 2011)。誘導性能源監控科技具有激勵使用者實行永續節能生活的潛力，藉由了解使用者的優先喜好，裝置設計導入說服性科技(Persuasive Technology)，期望能夠引起使用者認知的認同且產生主動的行為改變，而本研究也將依此方向做設計探討。

1-2 研究問題

在綠色永續的觀念之下，能源管理在智慧型空間的領域受到相當關注，也發展了許多提供建築能耗資訊的解決方案，包括智慧電網、智慧電表和即時能源顯示裝置，使用的技術和呈現方式互有異同。目前能源顯示裝置設計，大部分方案是在各式硬體平台中，包括智慧型空間中控面板、傳統電腦和個人行動裝置，搭載相關能源監控軟體。Google曾在2009年推出了免費線上應用程式：Google PowerMeter(Google, 2009)(如圖 一-1)，讓使用者可以在網站上監控建築空間中設備的能耗狀況，包括詳細的數據分析和報告，期望藉此幫助使用者改善能源使用狀況，然而這項服務在2011年即因反應不佳而終止服務，Microsoft在同年推出類似的應用程式：Microsoft Hohm(Microsoft, 2009)(如圖 一-2)，也因營運狀況不符預期而在2012年正式終止服務。

綜觀相關的案例，都致力於將複雜的數據資訊藉由轉化成圖形化介面(GUI)的分析圖表，認為如此便能幫助使用者了解自身的能耗狀況，這樣的方式造成的問題是，資訊的呈現在裝置顯示屏幕之中，而不是在空間背景裡；在被動的顯示裝置中，必須是使用者有意識地主動去啟用相關軟體，才能接收到有效的能耗的資訊，而需要經常登入網站去做檢查的這種行為模式，並不符合一般使用者的生活習慣，在沒有提供誘因去改變使用者習慣時，這樣的方式最終無法長久維持運作；另一方面，操作此類資訊顯示裝置必須擁有對基本電子產品的熟悉，需要一定程度的學習過程，才能順利獲得正確的資訊，這樣的模式其實造成了資訊和使用者中間存在些許隔閡，因為資訊依然是被隱含在雲端空間，不是主動的被呈現。如果這樣的資訊可以以某種狀態的方式一直存在於背景環境，讓使用者經意不經意地都可以獲得資訊狀況的改變，建築空間的能耗狀態、能耗資訊和使用者才是真正的達成了實質的連結關係。怎樣的設計手法和資訊回饋對於使用者是最有效的，目前在相關的領域中都沒有正確答案，如何運用更直覺人性的感知和操作模式，用誘導的方式吸引使用者的注意力，讓使用者產生對自身能耗行為的關切，確切有效的達到改善能耗行為，是未來這個領域重要的設計與研究課題。

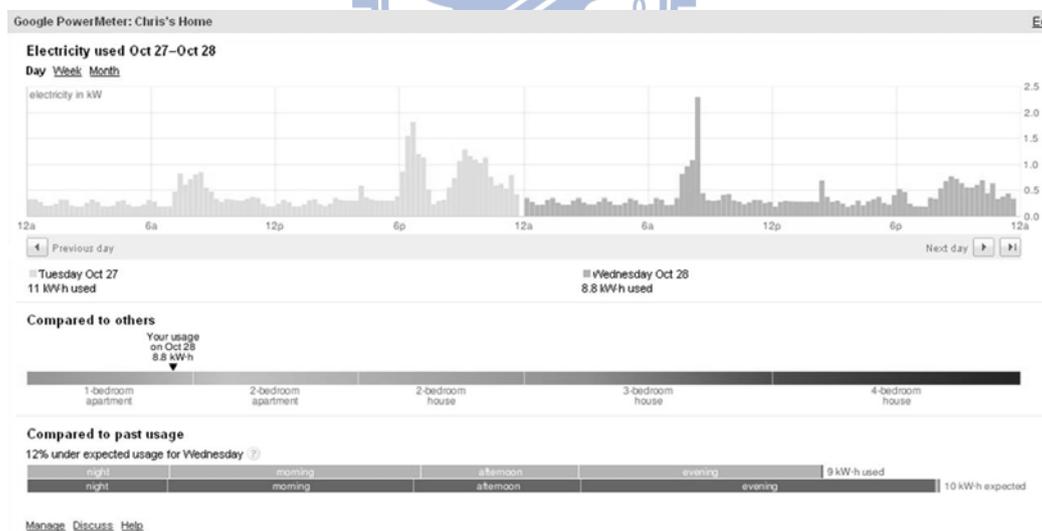


圖 一-1、Google PowerMeter (Google, 2009)

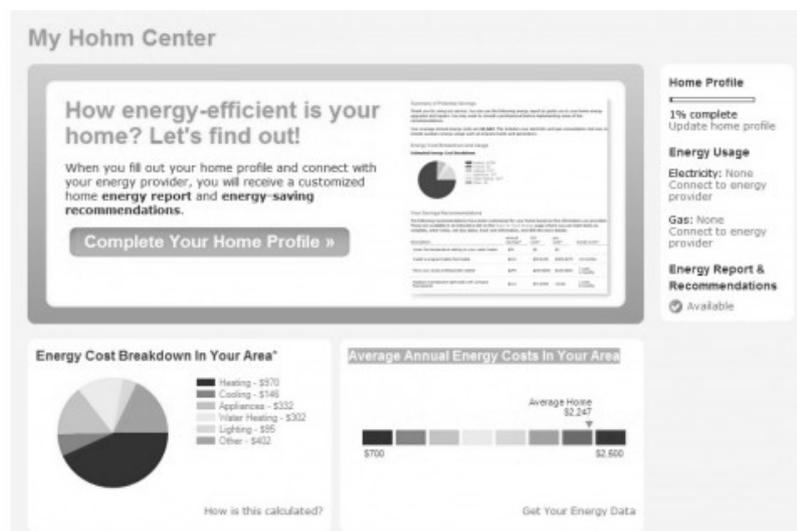


圖 一-2、Microsoft Hohm (Microsoft, 2009)

1-3 研究目的

基於智慧型空間以使用者為中心的需求，空間和使用者的互動行為必須是即時產生。重新檢討能源體驗在空間中呈現的手法，本研究設計將對於智慧型空間中的設備使用能耗資訊進行整理，去除對使用者行為誘導沒有作用或是無必要的資訊，避免提供過量資訊造成使用者的混淆，重整分析後提出最基本的能耗資訊，以實體互動顯示的方式即時回饋給使用者，以求體驗效果改進且達到誘導使用者行為的改變。本研究設計的能源資訊顯示裝置選擇擺脫傳統使用者圖形介面(GUI)平面的顯示模式，改以實體互動的方式呈現相關能源資訊的變化，運用簡單的規則變化增加使用者可以感知察覺的視覺效果，期望有效幫助使用者做出能源使用的判斷和行為改變。經由空間中實體互動裝置上物件狀態的改變，連結使用者原本既有生活經驗知識的心智圖像，加強使用者對於能耗資訊和能源使用行為認知的對應性與引導性，讓虛擬資訊呈現在實體互動裝置上，希望使用者可以藉此更容易了解實體互動裝置所反映的能耗資訊狀況。

根據Nielsen & Molich提出的評估條件(Nielsen & Molich, 1990)，互動裝置的狀態作為空間情境的一部分，必須能有效和空間元素結合，以明顯卻不突兀的方式，提醒使用者當下的資訊狀況，進而產生良好的互動行為。本研究設計的能源資訊顯示裝置將延伸目前智慧電

表的使用層級，使智慧電表的作用，由能源使用監控為主的“能源輸入模型”，移轉到能源使用感知的“能源體驗模型”，以環室運算概念(Ambient Computing)為主，將能耗資訊視覺化、實體化，發展一套在建築空間中，可有效誘導使用者能源使用行為改變的能源顯示互動裝置。

1-4 研究設計步驟

Benyon等人提出利用人(People)、活動(Activity)、脈絡(Context)、技術(Technology)的方式來分析與思考人機互動的系統(Benyon, Turner, & Turner, 2005)，此種方式可幫助設計師從另一個面向觀看互動設計。本研究將先收集比較現有的能源顯示裝置案例，對照優劣，找出建築空間中使用者最關心的能源資訊項目細節以及有效的互動顯示手法，作為發展後續設計的參考依據；預想裝置設計的使用情境，運用現有的資源，設計一套新的空間能源顯示互動系統。設計步驟將分為四個部分：

案例文獻探討

根據目前市面上既有的能源顯示技術設備以及相關研究發表的概念原型做整理與分析，比較裝置的情境環境、外觀設計、操作行為與功能模式上的優劣，以及表現能源資訊項目的方法，取其精要以作為後續研究設計的參考。

研究分析與裝置設計

提出新的能耗體驗流程，改善使用者在空間中的能耗認知，設計策略包括裝置的擺設位置、資訊的傳遞流程和裝置的表現行為等三項的整合，討論使用者的在操作使用上的體驗，增加誘導性的因素，定義適合的能耗資訊與互動應用關係，以求在最短的過程中有效反映能耗狀況給予使用者，達成最終的研究設計目的。

裝置設計實作

根據設計策略制定的方法與預設情境，設計顯示裝置的外觀型態與變動機構，定義能耗資訊造成的變動方式與形變狀態。裝置機構的實作分為以下部分：

- (1) 系統建置：能源感測裝置與電腦系統的溝通測試、互動裝置的程序碼編寫
- (2) 繪圖設計：運用 3D 繪圖軟體設計裝置原型
- (3) 材料選定：驅動元件和軟性材料的測試與選定
- (4) 組構成品：使用數位機具製作裝置原件與組構成品

裝置運作評估

完成系統端和實體裝置端的溝通協定，實際置入空間中測試運轉，進行使用者操作評估，確認各種模式對於使用者的認知接受程度。



第二章 案例文獻

本章節一開始先討論使用者與建築空間中相關的能源資訊相互的關係演進，進而探討目前在空間中能源資訊的顯示方式，整理了主要的能源資訊顯示設備相關案例，分析各項能源資訊顯示設備在使用模式、資訊呈現和外觀型態設計上的差異。另一部分從互動設計的角度切入，整理了有關實體互動設計的案例並討論各項案例針對不同情境提出的互動設計概念。最後探討認知心理學和設計心理學相關文獻中對於互動設計導引行為改變的理論，做為本研究往後於能源顯示互動裝置設計的參考依據。

2-1 建築空間中的能源資訊

二十世紀以前，人類在建築物中燃燒燃料取得生活中所需的能源，凡是活動需要就必須自己生產能源，包括燃燒蠟燭或煤油用於照明，燃燒煤炭或木材用於煮食和取暖，其物質於空間中數量消長的過程與能源消耗成正比，建築中耗損的能源資訊對於使用者而言是直接的認知，和日常生活密切相關。

到了二十世紀初期，電子和電伏被發現與應用，電能的普及化一開始用於建築空間的照明，因白天的照明需求相對低弱而造成白天與夜晚的用電量極度不均，為了有效利用發電廠於白天生產的多餘電能，各項電子設備被相繼發明且用於改善建築空間中的生活環境與活動。一百年後的今天，建築不再只是單純的空間結構物，而是結合了許多電子設備與機電管線的居住機器，人類日常生活環境因此變的便利與舒適，能源運作隱含在建築物的機電系統，我們看不見的它的存在，它卻維持空間光線、溫度、機具的運作，是建構當下空間情境最真實的要素。因為能源的供應與運作轉為隱形，能源經由線路從遙遠的電廠傳送而來，使用者不再需要自己於生活空間製造能源使用，反而喪失了能源耗用與生活經驗的直接連結。

工業時代，現代主義稱建築為「居住的機器」(Frampton, 2004)(如圖 二-1)，除了建築理論的論述之外，因為工業技術和建築的結合，以電能在建築空間的背後維持著生活系統的運

作，而使用者感知到電能的部分有限。資訊時代，科技技術的發達，打破原有建築空間的隔閡，「居住的機器」開始轉為「生活的媒介」(如圖 二-2)，人們可透過客製化空間，反映多元化的需求，新的科技拓展人類在建築空間的生活經驗，卻也提高了能源的使用量。後資訊時代，物聯網技術的來臨，未來空間中所有物體都可透過有線或無線網路加以整合並可互相溝通，促成運算能力的進步，加上各種感測器的發明，讓建築不只是「居住的機器」或是「生活的媒介」，而是「具有智慧能力的空間」(如圖 二-3)，人們可以運用物聯網技術呈現另一種智慧的生活經驗與空間情境。藉由物聯網的技術，再現無形的能源將得以實現，進而重新建構空間中使用者的行為與能源消耗的認知連結。在後資訊時代，如何利用物聯網的技術讓虛擬的能源資訊和實體空間結合，以誘導式的設計營造空間情境，產生能源資訊在空間中的表情，形成有效的互動行為，讓人們對於身處的空間環境更為了解且達成有效的生活使用經驗，是本次設計研究的目的。

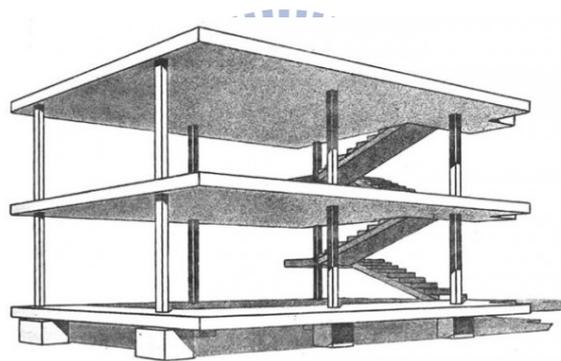


圖 二-1、工業時代：「居住的機器」(Le Corbusier, 1914)



圖 二-2、資訊時代：「生活的媒介」(Savant Home Automation Systems, 2011)



圖 二-3、後資訊時代：「具有智慧能力的空間」(Geometrix Design Studio, 2012)

2-2 能源顯示

根據Darby等人對能源消耗反饋結果的分析(Darby, 2006)，如果將空間中的能耗資訊即時回饋給使用者，可以有效導引使用者對能耗行為做出改善，幫助降低5% to 15%的能源浪費，達到節能省碳的目的。近年來，物聯網的技術崛起，各領域的相關應用發展飛快，有關智慧空間的能源監控也是各家研究的重點，應用新的技術改善建築中使用者能源使用的模式，多項智慧能源建設與裝置應運而生，包括智慧電網和智慧電表等，然而相關建設在末端使用者方面如不能提供直覺地的使用介面、直覺的能耗體驗，對於使用者能耗行為的誘導改善效果將十分有限。以下列表整理現有智慧電表和能源顯示裝置的功能優劣，作為後續研究設計的參考依據。

(1). 智慧電表(Smart meter)

智慧電表初期功能相似於傳統電表，安裝於建築空間的電源設備間，置換原有的電表系統，統計空間用電量的數據與時間分布，電力公司與之經由網路連線取得能耗狀況，經系統計算後，優化配置輸出電量，易於管理電廠對用戶的發電輸送效能。缺乏顯示面板介面，使用者無法即時得知紀錄的資訊，需從每期接收到的單據內容始可得知統計情況。

新型的智慧電表，可以選擇單獨設置於插座抑或是掛載於總電源部分，無須更換舊有系統，偵測範圍涵蓋掛載點的整個電力迴路，偵測的資訊細節包括迴路上電器種類、使用狀況和使用量，以使用者圖像介面方式(GUI)作呈現，能使用手機App、電腦軟體介面或是智慧家庭控制面板得知資訊，可以即時的調整生活用電模式。

本研究收集的三大類主要智慧電錶形式依照系統安裝作為主要區隔，並整理比較個別功能和使用行為上互有優缺的部分，如下：

侵入式電表(圖 二-4)：

安裝方式：拆換原有傳統電表

功能優勢：使用者可藉此方案記錄每期總用電高峰和低峰期，於期末獲得紀錄資訊；電力公司可做連線溝通取得能耗狀況，經系統計算優化配置輸出電量，易於管理電廠對用戶的發電輸送效能。

功能缺點：侵入式安裝方式需全部汰換現有傳統電表系統，缺少呈現完整資訊的介面，提供資訊種類較少，除了空間能耗總量，無法看到空間中個別設備的耗能模式，此方案無法即時且直覺的提供使用者能耗資訊。



圖 二-4、侵入式電表(Smart Meter, Jackson EMC)

插座式電表(圖 二-5)：

安裝方式：安裝於室內空間的電源座上

功能優勢：使用者擁有部分使用行為上的自由度，可自行選擇安裝於插座上。能耗資訊以圖形介面呈現，即時告知使用者單個電源座上的設備能耗使用狀況，裝置外型搭配良好的工業設計，美觀的外型可做為室內空間裝飾。

功能缺點：單顆電錶裝置只能針對單一電源座做能耗資訊偵測，安裝位置也限制在外露電源座，顯示介面才能明顯的在空間中被閱讀，電錶裝置會占用電源座可用數量，需監控大量裝置時，此方案安裝效率有待商確。



圖 二-5、插座式電表(EnergyJoule, 2007)

掛載式電表(圖 二-6)：

安裝方式：拆換原有傳統電表

功能優勢：此方案安裝方式為掛載於空間既有電力迴路上，可偵測迴路上能耗狀況，相關資訊透過有線 / 無線網路傳輸，以圖形介面呈現顯示在空間中的智慧中控平板，或是傳統電腦、平板電腦跟智慧型手機。

功能缺點：侵入式安裝方式需全部汰換現有傳統電表系統，缺少呈現完整資訊的介面，提供資訊種類較少，除了空間能耗總量，無法看到空間中個別設備的耗能模式，此方案無法即時且直覺的提供使用者能耗資訊。



圖 二-6、掛載式電表(MorePower Single, 2008)

(2). 即時能源顯示裝置(Real-time Energy Display)

即時能源顯示裝置做為一種誘導性的能源監控科技(Persuasive energy monitoring technology)，運用將資訊轉化為和日常生活相關的譬喻，增加使用者在社會情感上的認同，具有激勵使用者改變行為的潛力。因此，在未來建築空間發展有效的能源顯示裝置具有其重要性，本次研究也將運用誘導性的手法作設計探討，期望發展新型態的空間能源顯示互動裝置。

目前有許多即時能源顯示裝置運用了相關設計手法，包含隱喻、轉化、燈光顏色和動態圖形等等，以簡單、吸引人的方式來提醒使用者當下的能耗資訊，本節揀選了數個案例，針對個別功能和使用行為上的特色做整理，如下：

Energy Plant(圖 二-7)：

由瑞典互動研究所(ICT, Swedish)的Loove Broms等人所設計(Broms, 2011)，將能耗行為和植物的生長行為做了連結和轉化，使用能源和照護園藝植物一般，小心的使用能讓屏幕中的

植物順利生長。運用無線網路和電表交換資訊，每個月系統會自動重新種下新的數位種子，其LCD顯示屏幕中的植物會因為家戶用電量的數值產生不同的生長變化，節省能源的使用行為將會回傳生長繁榮的指令，反之大量的耗能將會導致顯示屏中的植物枯萎死亡。



圖 二-7、Energy Plant(Broms, 2011)

Power-Aware Cord(圖 二-8)：

是由瑞典互動研究所(ICT, Swedish)的Anton Gustafsson和Magnus Gyllenswärd共同設計(Gustafsson & Gyllenswärd, 2005)，其電源線會依照負荷的電流量，而發出不同強度光芒，光象徵著能源的使用，給使用者立即直覺的反饋、能源可視化和互動的感覺。



圖 二-8、Power-Aware Cord(Gustafsson & Gyllenswärd, 2005)

Energy Aware Clock(圖 二-9)：

由瑞典互動研究所(ICT, Swedish)的Loove Broms等人所設計(Broms, Ehmberger, Hjelm, & Bång, 2009)，捨棄以數字來表現能源用量，取而代之的是一天二十四小時之中，將各時間點的能耗累積量圖示化，當圖示外擴，表示能耗量高，反之則縮小。運用前一天的殘影和當下圖示做疊影，引導使用者能源使用上試著維持形狀、縮小圖示或是在群體中產生競賽比較，同時也達成了節約能源的目的。



圖 二-9、Energy Aware Clock(Gustafsson & Gyllenswård, 2005)

Watt-lite(圖 二-10)：

由瑞典互動研究所(ICT, Swedish)的Loove Broms等人所設計(Jönsson, Broms, & Katzeff, 2010)，運用三盞投影燈，兩盞以淡灰色塗裝，一盞為黑色塗裝，黑色塗裝的投影燈投影出的光圈(黃色光)，代表空間的即時能耗資訊，光圈越擴散表示能耗量高，反之縮小。另外兩盞淡灰色的投影燈，分別代表一天之中能耗量的最大值(橘色光)和最小值(藍色光)，作為和黑色投影燈的對照參考。使用者經由三盞燈光的變化可以了解空間中的能源使用變化。



圖 二-10、Watt-lite(Jönsson et al., 2010)

2-3 實體互動

到目前為止，電腦位元資訊轉化成可供使用者閱讀的途徑，還是以螢幕顯示為主，就知覺與實體的接觸都受到相當的限制，即使螢幕顯示的技術持續的改進，和使用者的互動終究隔著一塊玻璃。麻省理工大學媒體實驗室的石井裕(Hiroshi Ishii)教授提出了可感知位元(Tangible Bits)的概念，就是希望改變傳統以螢幕中的圖形介面呈現資訊的方式，賦予數位資訊一個實體軀殼，在真實的物理世界中，使用者可以透過觀察或是與裝置互動獲得資訊(Moggridge, 2007)。

本次研究的能源顯示互動設計中，便是把螢幕中的用來顯示能耗資訊的圖形介面(GUI)，轉換以實體物體取代，企圖在真實的空間環境中，讓實體物件因為能耗資訊來源的影響而產生狀態變化，營造環室顯示的背景資訊，讓使用者可以從環境中直接獲得能耗資訊。

互動模式若依照資訊的運算機制，可以被分為三個部分：輸入端、輸出端與信號的傳遞機制。人們會接觸到、感受到的部分屬於輸入與輸出的部分。相較於圖形介面(GUI)隱藏於螢幕後的互動模式，實體介面可以讓使用者直接於空間中感受到互動裝置在三維尺度上的變化，直覺性產生對於不同狀態的認知，意思是，實體物件的外型和空間特徵與虛擬資訊

所乘載的數據資料在意義上能有所連結。本節揀選了數個案例，針對個別功能和使用行為上的特色做整理，列表如下：

(1). 實體互動裝置

AudioCubes(圖 二-11)：

AudioCubes是由比利時ETRO/DSSP大學的Bert Schiettecatte提出(Schiettecatte & Vanderdonckt, 2008)，使用者可自行輸入各種音樂效果，經由方塊的四面旋轉與擺放，可即時的任意混音、輸入輸出，利用手勢和立方體的互動，結合燈光色彩，控制多媒體音樂的表現，在空間中營造特殊的情境氣氛。



圖 二-11、AudioCubes(Schiettecatte & Vanderdonckt, 2008)

Reactable(圖 二-12)：

Reactable由西班牙巴賽隆納的Pompeu Fabra大學提出(Jordà, 2010)，每一個塊體都擁有自己獨特的功能，在相互組合搭配下，可以產生各式的音樂表現，在桌面顯示音樂流的方向，將聲音實體化，具象化，讓互動中除了聲音之外還有豐富的視覺效果，其多人互動的方式，增加裝置在社群中的影響力。



圖 二-12、Reactable(Jordà, 2010)

PillowTalk(圖 二-13)：

PillowTalk是以社交互動(social interaction)為主要概念，而發展出的互動設計(Schiphorst et al., 2007)。以抱枕做為介面，提供使用者一種柔軟的觸感，並希望使用者在與抱枕的互動過程中，也能影響周圍的環境。PillowTalk在抱枕中嵌入了感測器、無線傳輸裝置、震動器……等等，讓抱枕可以感測使用者多種的接觸行為以及動態移動。在資訊的回饋上，除了抱枕中藏有許多的回饋科技，可給予使用者燈光與聲音的回饋外；利用抱枕還能控制大型的牆型投影，顯示出不同的影像。

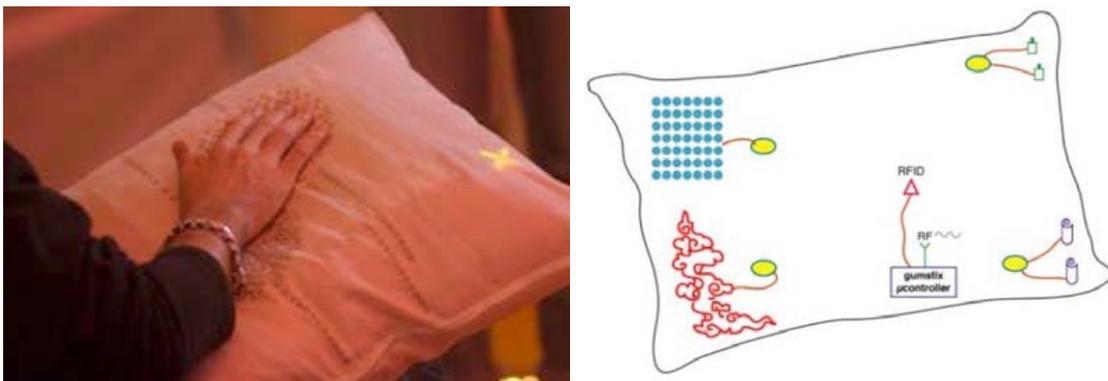


圖 二-13、PillowTalk(Schiphorst et al., 2007)

(2). 與植物相關的實體互動裝置

Infotropism(圖 二-14)：

Infotropism (Holstius, Kembel, Wan, & Forlizzi, 2004)，在一個開放性的空間中，放置一個利用植物向光性的實體互動介面，並與其他介面做比較，觀察在空間中活動的人們是否會因為介面的存在而改變其行為。在研究最後指出，利用真實植物做為介面的情況下，雖然剛開始對人們的行為所產生的影響效果是最低的，但是經由兩個禮拜的測試期後，發現其成效轉變為最大。植物性介面具有淺移默化的效果，可以慢慢的增強、改變人類潛在的行為。



圖 二-14、Infotropism(Holstius et al., 2004)

PlantDisplay(圖 二-15)：

PlantDisplay (Kuribayashi & Wakita, 2006)結合環境顯示(ambient display)的想法，把植物生長狀態的轉變作為一種顯示介面，用以呈現人們的感受與情感，並描述這樣的介面可表現出時間脈絡的特性。使用者觀看植物介面，會被介面所傳遞出的時間性與其背後所代表的意義感動並造成深刻的印象。在互動的資訊轉化過程，系統將虛擬的數位訊號分析成有意義的資訊，系統再控制給予實體植物的燈光與水的量，只是這樣的介面，所能呈現的資訊是很緩慢的，需要長時間的累積。



圖 二-15、PlantDisplay (Kuribayashi & Wakita, 2006)

(3). 誘導式科技的實體互動裝置

Cloud and Lights(圖 二-16)：

Rogers等人於2009年開啟Cloud and Lights計劃(Rogers, Hazlewood, Marshall, Dalton, & Hertrich, 2010)，目的在於探討人們如何作決定，挑選一項關於環保的議題，探討人們在選擇走樓梯與坐電梯的原因並輔以誘導，希望人們可漸漸地降低對於電梯的依賴。他們使用環境顯示(Ambient display)，不突兀、具有設計美學、容易結合於環境背景的特色，經由呈現比較個人與大眾行為的結果，希望達到誘導的目的。在大眾行為方面（Cloud），在建築物的公共大廳建置一具大型互動藝術裝置，紅色與灰色的氣球升降分別表示當前走樓梯與搭乘電梯的人數；在個人行為方面（Lights），賦予樓梯感情並且使之擬人化，藍色的燈光與紅色的燈光分別代表快樂與生氣，當人們使用樓梯時會閃爍藍色的燈，如過靠近電梯則會發出紅色的燈光，最後將搭乘電梯與走樓梯的人數做統計，結果顯示Cloud and Lights裝置可有效改變行經實驗空間的人們對於走樓梯和搭電梯的行為。

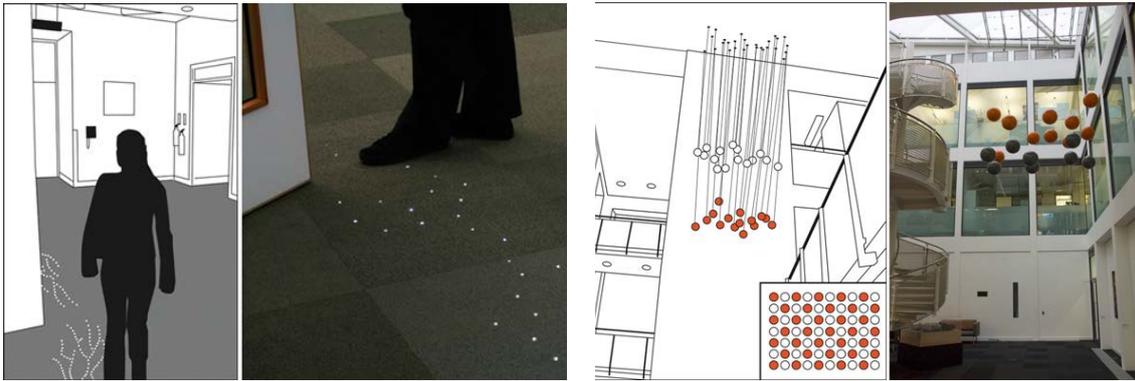


圖 二-16、Cloud and Lights(Rogers et al., 2010)

2-4 環境顯示與平靜科技

聽見雨天的雨滴落下的聲音、感受到微風吹過皮膚的溫度和速度，人類可以運用各種感官來感受環境，並且瞭解所身處在的地方物理環境的變化，即使我們正在從事其他的事物，我們的感官仍然持續接收外在環境資訊給予我們的刺激，可以不自覺地感覺到生活周遭或是自然環境的改變。人類的感官會無條件地接收環境資訊，經由大腦將收集的環境資訊分為主要與次要，並且首先處理對於生活來說較重要的資訊，次要資訊雖然也被大腦感知，但安排較後處理，環室顯示(Ambient display)與平靜科技(Calm technology)即是建立於大腦處理次要資訊的基礎理論之上。

環室顯示(Ambient Display)與平靜科技(Calm technology)的初始想法與概念是由Mark Weiser與John Seely-Brown所提出。描述環室顯示與平靜科技為一種再現於空間中的訊息，微小而實體化，依據網路訊息而變動著(Weiser & Brown, 1997)，其優勢可讓使用者專注於手邊的工作或是主要的事物，同時也可保持對非關鍵訊息的接收。平靜科技強調技術必須和生活環境相融合，存在卻不干擾使用者的生活，讓使用者感覺不到科技的存在而體驗到一種「安靜」。環室顯示的運作基於環境智能(Ambient intelligence)，飛利浦公司的研究提出：“環境智能，作為一種環境的願景，電子設備必須感測使用者所需，個人化使用者的要求，預期使用者的行為和回應使用者的存在”(Aarts, 2004)，環室顯示即是運用生活化與直覺的方式，將環境智能運算的資訊呈現在空間背景裡。

目前有關呈現空間資訊的使用者人機介面設計上，往往忽略了環室顯示的概念，無視周遭環境或物件所可以利用的介面資源，將大量的資訊集中於小小的電腦觸控螢幕上，人與空間資訊的互動僅於使用圖形介面(GUI)相關的方式，例如：智慧型手機和平板電腦的App、傳統電腦軟體界面或是智慧空間控制面板等等，限制了資訊的呈現方式與互動行為。

環室顯示(Ambient Display)主要的目的便是試圖去打破實體空間與虛擬資訊世界的界線圍籬，創造一種介於實體和虛擬兩者之間的認知介面，將空間資訊的呈現從傳統的面板螢幕移至我們生活周遭的實體物品上，以一些微妙的變化代表資訊狀態的改變，例如：發出聲音、顏色改變、物體型變、溫度變化甚至散播氣味。環室顯示(Ambient Display)的回饋方式，主要希望能夠以不打擾人們一般的日常生活，不刻意影響人們的注意力，卻又能提醒人們環境本身資訊的變化(Wisneski et al., 1998)。在空間環境中，資訊的提供可分為前景和背景，實體互動為前景資訊，做為一個直接的顯示介面，環室顯示(Ambient Display)為背景資訊，以柔和內斂的方式表現空間環境資訊的改變、空間環境資訊的狀態，做為一種環境提醒卻不影響使用者主要的正常活動，本次研究希望能結合環室顯示(Ambient Display)作為空間能源顯示互動裝置表現手法之一。

Heuristic Evaluation為Nielsen等人對於環室顯示提出的標準評估依據(Nielsen & Molich, 1990)，可作為本研究的設計參考，評估依據如下：

- Useful and relevant information: 呈現的資訊是與使用者有關，或使用者在意的
- Peripherality of display：除非資訊是需要得到使用者注意力，否則應該以不顯眼的方式呈現於環境中
- Match between design of ambient display and environments：人們會注意到Ambient Display所呈現的資訊，是因為呈現資訊的變化，而不是因為與環境的不協調
- Sufficient information design：只呈現恰好足夠的資訊
- Consistent and intuitive mapping：抽象化的資訊必須夠直覺
- Visibility of state：呈現狀態之間的轉換應要容易被察覺
- Aesthetic and Pleasing Design：美觀與有趣的設計

環室顯示(Ambient Display)為在空間中呈現次要或是輔助資訊的顯示裝置，次要資訊的定義是根據使用者當下活動的情況而論，與當下活動無非直接干擾關係的訊息為次要資訊，例如人們在處理主要活動的事物時可透過環室顯示的應用獲得網路的社交訊息、戶外的天氣訊息等等，而不影響當前活動；輔助資訊則是可以幫助使用者完成當下主要活動的訊息，由於活動會佔據某項主要感官，使得輔助資訊需要透過環室顯示轉化的資訊，從其他感官取得。無論是次要或是輔助資訊，藉由環室顯示(Ambient Display)的抽象化、層級設置，可以幫助使用者獲得額外的空間資訊。

2-5 認知心理學與實體互動

認知是指認識事物的歷程，包括注意、思考、期望、想像、記憶及意識本身(Zimbardo, 1990)，認知心理學用訊息處理的觀點來說明人們的心理和行為之關係，包括知覺、語言和思維，依Herbert Simon等人的看法，人在完成認知活動時對訊息產生下列過程(朱新明 & 李亦菲):

(1) 感知(解碼、資訊接收)

使用者接收到的刺激或資訊可以看作是編碼的形式。在解碼的過程中，環境資訊會被處理並轉化形成大腦可以理解的格式，然後比較此種格式與先前儲存在大腦中的格式。

(2) 資訊儲存(記憶、編碼)

使用者將感知的資訊格式保存，內化為以理解的一部分，並作為往後比較的新樣本。

(3) 資訊處理(推理)與決策，進而行動

使用者將所有接收到的資訊整理，經過綜合比對，獲得適當的結果，並組織一個反應或是必要的動作，進而執行動作、作出控制。

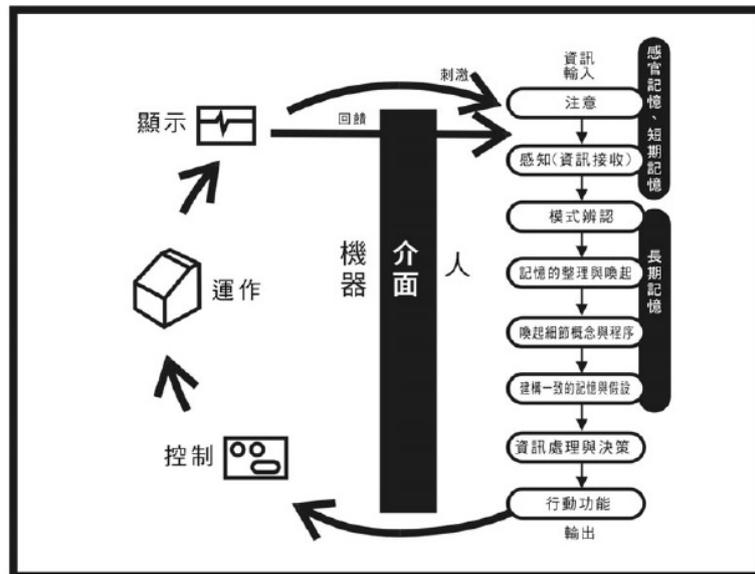


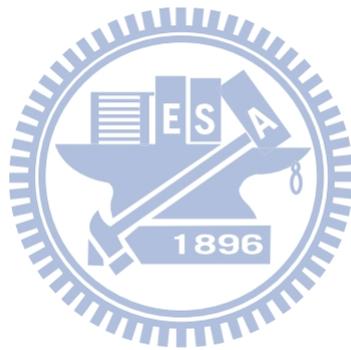
圖 二-17、認知的細部過程(架設人與電腦的橋樑, 2001)

其中與人機互動系統較相關的認知心理學知識如下：視覺感知、注意力、記憶、學習、人類資訊處理方式…等。上列研究結論已應用在現今的介面設計中(陳嘉懿 & 林澤勝, 2009)，包含：

- (1) 提供選項(menu)而非輸入(input)
- (2) 介面提供可預知的行為模式
- (3) 介面引發主動參予(active involvement) 的學習
- (4) 利用現實世界的隱喻(metaphor)。

人類大腦對環境的反應可分為本能、行為、反思三個層次(Norman, 2004)，設計者透過「系統意象」來將「設計概念模型」傳達給使用者，使產生「心智模型」來與產品設備產生互動；將前面所描述有關使用者構成認知的各種因素應用於實體互動設計時，必需充分考慮互動科技切合人類認知心理的特性，人的認知資訊處理量是有限的，心理學家稱這種過濾行為作「選擇性的注意(selective attention)」(Zimbardo, 1990)，如果設計的結果能讓人們下意識地將裝置當作生活環境的一部分，則使用者就可以不需要透過刻意的閱讀動作即可認知其中的訊息。互動科技需符合使用者可以不假思索、全心投注於工作目標的要求，而不

需專注在電腦本身複雜的指令。智慧建築空間中的資訊互動介面設計除應符合認知設計相關要點，使用者對生活空間中裝置構材與物件的操作，也能在既有意義及用途之外，獲得相關資訊功能的提示與協助，使原有的電腦構件嵌入空間中時，因應各種情境下的涵構需求，即時重組周遭可連結的資訊互動介面及感測單元，達到即時提供智慧空間中資訊應用服務的目的(陳嘉懿 & 林澤勝, 2009)。



第三章 研究分析與裝置設計

要改善空間中能源資訊顯示的方式，必須瞭解使用者與能耗資訊的之間的認知關係，進而設計影響使用者得知能源消耗資訊後的行為動作，本章節討論了 (1)分析當前建築空間中，使用者行為和能耗資訊之間產生認知的關係；(2)研究後續設計裝置系統的相關規畫、空間設計情境和使用行為模式；(3)研究後續設計將會運用的相關系統技術，包括EMU電紋偵測和Arduino互動設計資源；做為之後設計實體介面能源顯示互動裝置的參考依據。

3-1 能源使用行為與能耗認知

在電能進入人類文明以前，日常生活所需的能源生產和消耗與人類生活經驗有著極大的連結關係，進行任何活動都必須自己生產能源，舉例來說，運用木材來生產能源，必須砍倒樹木，將木料劈分成塊，再送進房子作為生火煮食和取暖的能量來源，整個過程的能耗體驗和使用者的生活行為形成直接的關係(Borgmann, 1987)。

而電能進入人類文明至今，我們對於使用電能改善生活環境的舒適度和便利性已經習以為常，幾乎沒有一樣東西是可以脫離電能而被使用或是被生產，新型電器設備的發明，又會擴展新的文化和生活型態，提高能源的使用，而發電廠往往遠離於電能實際被消費的地點，導致我們沒有認知到電力生產與消耗對環境的影響。我們已經習慣於依據電能所建構的自動化生活，認為電能的存在是理所當然的，使用電能不再像從前燃燒木材會有立即能源消耗的感知回饋，導致我們極少反思與認知到日常生活行為所消耗的電能會產生遺留在環境中的副產品。即使近年以來社會大眾開始檢討用電消耗過度的使用情形，媒體也宣傳著節能省碳的觀念，實際在末端使用者的執行成效卻不盡理想，原因即是使用者對於自身行為和能源消耗之間的關係認知上有相當大的訊息延遲和認知斷層，而目前也沒有出現有效的解決方案來顯示能源消耗的資訊，銜接兩者的落差。

傳統上的能耗認知流程(圖 三-1)，使用者在環境中使用電器，電表會記錄總和的能源耗量，經由人工抄表回傳給電力公司，期間經過了繁複的過程和漫長的時間，使用者在季末收到電費帳單，才真正得知了實際的能耗資訊。傳統電表是以機電和工程的思考模式來決定系統架構，電表裝設位置隱密，遠離主要的活動空間，使用者既不易親近也不易閱讀和使用，介面上複雜的轉盤刻度，更無法讓使用者輕易地理解其代表的意義，使用者的能耗行為更難以與電表紀錄的數值相對應；每季季末才收到的電費表單，即使可以從費用得知能耗量多寡，表單上承載的資訊因為斷裂的時間關係，也無法讓使用者直覺地將資訊和環境中的耗能行為做連結。

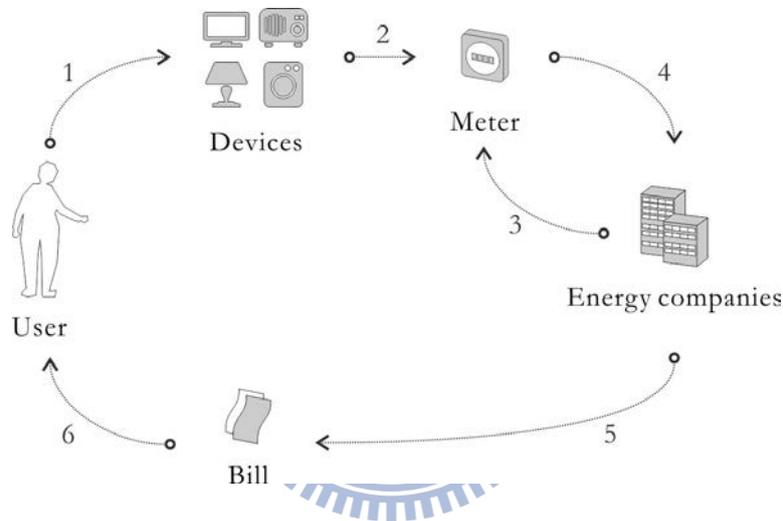


圖 三-1、傳統能耗認知流程圖

智慧電網的能耗認知流程(圖 三-2)，藉由網路通訊和感測器的提升，智慧電網可達到電能流量的自動化控制與調配，我們開始可以從能源營運端改善能源的運輸效率。智慧電表的設備介面分為兩種，一種只改善傳統電表自動化控制的部分，對於使用者端的能耗認知沒有太大幫助；另一種新增了較進步的顯示介面，讓使用者如有意圖想要了解能耗狀況，可以從相關的顯示介面先一步得知當下的能耗資訊，相較傳統能耗的認知縮短了程序，但資訊的呈現依然隱藏於螢幕中，需要使用者主動做出查看的動作，在互動上仍舊不是直接的連結關係，缺乏了誘導性和主動的回饋。

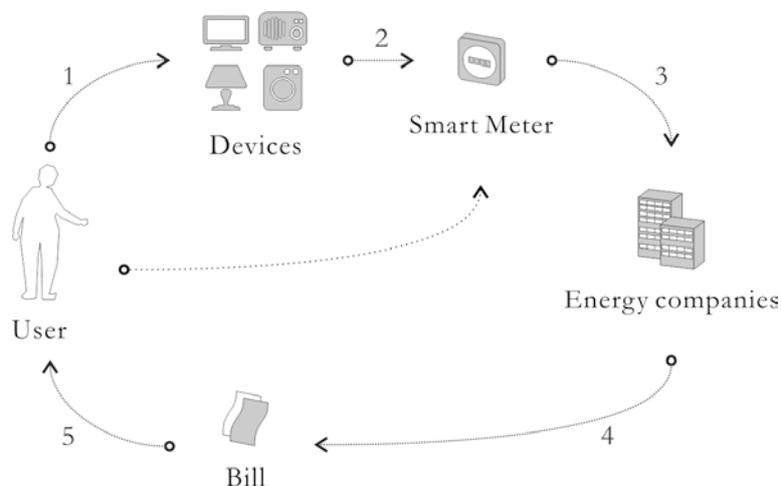


圖 三-2、智慧電網能耗認知流程圖

一般認為將正確能源使用的觀念拉抬到社會問題的層次可以改變更多人的行為，而研究卻顯示，節能省碳等環保的觀念在主流媒體傳播下雖然是廣為人知的觀念，但實際上卻鮮少真正的改變了使用者的行為(Abrahamse, Steg, Vlek, & Rothengatter, 2005)。問題在於缺乏實際的誘導因素，觀念與口號和實際生活的關係無法確定能夠成正比發展，使用者對於已經熟悉的生活文化與習慣，很難只因為媒體的宣傳而犧牲掉便利和舒適，除非在環境存在某種機制讓使用者在使用能源的時候可以做適當的誘導和提醒，讓使用者了解本身能耗行為產生的後果與意義，進而做出回應與改變。因此，運用實體互動裝置來顯示與傳遞能耗資訊，並引發誘導行為，是本研究設計的目的(圖 三-3)。

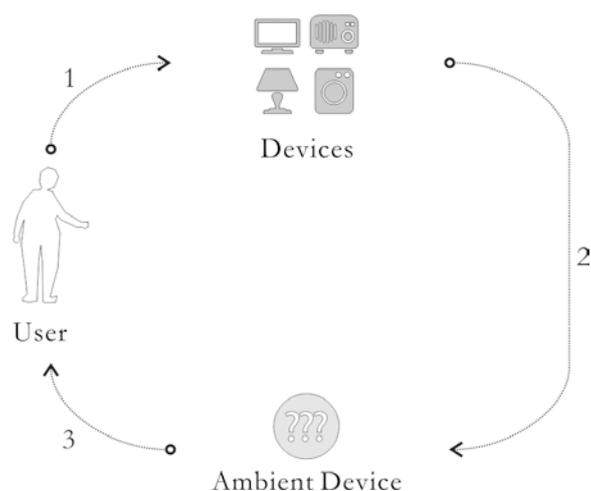


圖 三-3、互動裝置能耗認知流程圖

3-2 裝置設計規畫

本研究裝置設計的規畫步驟，根據先前案例研究篩選出的能源資訊，討論應用互動裝置呈現的方式、外觀型態，其傳遞資訊給使用者產生的視覺認知與效果，而後整合系統設備的相關需求，形成新的能耗體驗流程。

(1). 能耗資訊呈現與裝置型態變化

訊息的呈現，不一定要用制式的格式來呈現，例如數字表格等，多數情況我們只需要一些趨勢指標，來顯示向上或向下、快或慢、多或少，或是一些粗略的估計值，即足夠提醒我們該注意的事項，因此我們應該試著用有趣但不致於令人分心的方式維持住邊緣注意力 (Norman, 2004)。如同環室顯示的概念訴求，讓使用者專注於手邊的工作或是主要的事物，同時也可保持對空間背景中環境訊息的接收，本研究將會轉化能耗資訊的呈現，用互動裝置實體狀態的改變，作為訊息的提醒方式。

傳遞能耗資訊給予使用者時，數字可以呈現精準的量化資訊但令人感到枯燥，不能引起使用者的共鳴。舊有的能源顯示裝置，是以數字或圖示的方式在螢幕中呈現資訊的變化，螢幕裝置為一個固定的物件，在空間中為靜止的狀態，外觀無法產生誘因吸引使用者的注意，除非使用者主動上前操作，或是專注閱讀螢幕畫面，才能獲得所需的資訊。

根據案例收集和先前研究所獲得的資料可知，有效幫助使用者了解能耗狀況的資訊包括：設備運行狀態、當前耗能量與累計耗能量三類，本研究設計希望將能耗資訊的變化量，反映在實體物件的物理變化：體積與形狀，目的是希望利用物體在三度空間的狀態改變，相對應於能耗的狀態，形成一種背景資訊，隨時地存在於環境中，只要使用者也在同一個環境裡，在閱讀上只需辨認裝置外觀輪廓的改變，藉此給予使用者的視覺認知，即可接受到能耗狀態改變的資訊，比起閱讀螢幕中的資訊來的容易。(圖 三-4)。

有關視覺認知的產生，眼睛與大腦共同的處理資訊過程分為三個階段。第一階段中，物件所反射出的光線通過眼睛的水晶體，經過轉換後聚焦在視網膜之上，並經由視覺神經將訊息傳達到視皮質。第二階段時，視覺刺激物會依據一些基本特質而得到分析，例如垂直與

水平元素、角度、與曲線等。這些基本特質被加以辨識與分類，並透過大量平行的處理網路分散到大腦的各個部位。最後階段是訊息被傳送到大腦比較偏遠的部位，並在物件與個人對自身或世界的龐大知識之間建立起連結(Gregory, 2009)。因此，利用裝置物理量的變形，使用者經由視覺感知能輕易地閱讀出幾何形體的條件變化，可以幫助使用者不須經過太多思考，便快速地認知資訊狀態的不同。

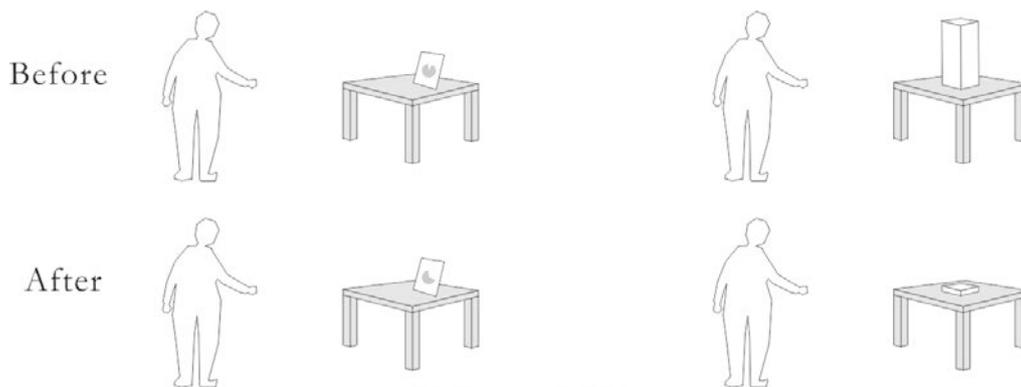


圖 三-4、螢幕圖示與實體狀態變化比較

(2). 裝置外形選擇

傳統能源顯示裝置共同的問題是枯燥的數字資訊無法讓使用者產生心理上情感的共鳴，即使操作裝置上沒有障礙，缺乏情感的認同導致在閱讀裝置呈現的數字時，使用者比較難產生改變行為的意願。根據過往的研究可知，透過抽想化的隱喻表現與仿生設計呈現互動經驗的裝置應用容易產生情感的共鳴，例如：互動芒草[iWAN] (馬瑜嬪, 2012)，將資訊轉化成類似芒草的裝置，作為空間組成的一部分，透過擺動搖晃等動作傳達給在空間中活動的人，裝置的動作簡單有趣卻有效。

本研究希望加入誘導性科技與仿生設計的概念，運用環室顯示的方式來呈現數位資訊，藉由空間中互動裝置外觀的形態語意讓使用者產生視覺認知，了解資訊的意義。形態語意是對整體裝置的補充與詮釋，意指裝置造型外觀包含的意義與隱喻，具有說明性、指示性與象徵性，並且幫助裝置加入情感的元素。裝置的設計除了考量實用性和易用性之外，形態語意、行為的設計與使用情感有很大的關係，情感影響著使用者的感知、思考和行為，如

果沒有樂趣和愉悅、生氣、焦慮、害怕和憤怒，我們的生活不會完整(Norman, 2004)。人是情感豐富的生物，對環境中的刺激產生的情感反應會影響我們做出決定和行為動作，在資訊的呈現上如能運用情感認同的設計手法可增強互動裝置給予使用者的認知感受，產生情感的認同也會更容易誘導使用者做出裝置設計背後預期的改變。

抽想化的隱喻表現及利用人們共同的生活經驗作為互動設計中隱含的狀態與意義，可以引起使用者本能情感的回應。情感影響了使用者的日常生活和行為模式，情感和認知不可分離，是認知不可或缺的一部分，其影響是淺意識的，情感會反過來改變我們的思維方式，指引我們做出適當的行為改變，考量互動能源顯示裝置的形變語意與使用者情感設計的關係，裝置外型的隱喻與變化模式如能和生活中的物件互相結合，可讓使用者產生情感共鳴以及更容易了解型變狀態代表的能耗意義。依據設計的三層次(Norman, 2004)，本能層次的設計原則可以適用於普遍大眾，即使有些簡單直接，但對使用者來說容易理解，從第二章案例研究收集的資料可以知道，Infotropism (Holstius et al., 2004)、PlantDisplay (Kuribayashi & Wakita, 2006)以及EnergyPlant(Broms, 2011)等選擇模擬植物型態的設計手法，運用本能層次的原則，將不同資訊轉化用以影響或是模擬植物生長狀態的好壞作為呈現的方式，而人的本能對於生物呈現出的生命力強弱與否會直覺地產生相當的情感刺激，引起感性的思考進而影響情緒，情感系統可幫助使用者在好與壞之間做出選擇，減少思考事情的負擔，對決策提供重要的幫助(Norman, 2004)，結果可以誘使行為的改變。

植物的意象是社會媒體在宣傳節能議題時普遍用到的圖像和詞彙，好的環境常常會是聯想到乾淨的水、空氣或是綠意盎然的景象，綠色、森林、環保、節能等等相互的關聯已是大眾的普遍認知與共同經驗；另一方面，人們為了在建築物中加入一些自然環境的元素，擺放盆景、設置植栽牆等將植物加進生活空間的方式，除了增加生活質感，植物的生長好壞其實也是反應環境的本質。環境感知系統的呈現常來自於自然元素或是現象的靈感與啟發(Holmes, 2007; Holstius et al., 2004; Kim, Hong, & Magerko, 2010)，人類與生俱來能自然互動，進而溝通並體驗自然(馬瑜嬪, 2012)，以植物的形象隱喻為例，建築空間中經常以植物盆景作為修飾美化的擺設，我們可以從觀察植物葉片因為生長過程中各種因素形成的狀態，認知與理解狀況相對應的好與壞。利用生活經驗對自然的理解，運用植物型態設計手法，連結生活空間的物件，設計本研究的互動裝置外觀型態，讓使用者在執行互動操作時能產生情感的回饋。另一方面，基於人造裝置的美觀對於使用者的使用方式有一定持度的影響，

裝置設計也應該考慮此因素，如果空間裝置的運作方式，或部分的組成，與自然物件與現象相似，使用者就能更自然的將它陳設家中(馬瑜嬪, 2012)。

在設計能耗資訊感知的體驗過程中，傳遞能耗資訊給使用者的方式，除了幫助使用者了解當下的行為與能耗的關係，增加體驗過程中的情感共鳴更能誘導使用者改變行為已達到目的；本研究裝置設計之初，希望藉由轉化植物生長的狀態來傳達過多的能源消耗與自然環境的關係，其中植物葉片的各種表徵是人類最直接可以了解植物生長狀態的方式，裝置的變化以植物葉片的意象為擬態，成為空間背景的一部分也傳達空間耗能的資訊考量。裝置材質、裝置外觀和互動模式需要可以即時傳達能源消耗的資訊，因此本研究裝置選擇以擬態的盆景互動裝置，可以即時且傳遞正確的有效資訊，同時保持植物意象給予使用者在形態語意上的情感影響，藉此測試實際使用上互動的成果。

誘導性能源監控科技 (Persuasive energy monitoring technology) 具有激勵使用者勵行永續節能生活的潛力。然而，要使對待環境生態的行為習慣產生改變，需要從更具使用者導向的角度來發展相關科技。因此使用者行為及動機的研究成為了解設計需求必須結合的項目 (Sundramoorthy, Liu, Cooper, Linge, & Cooper, 2010)。本研究裝置的運行模式對應著空間設備的能耗狀況，轉化為包括扭曲、彎折、擺動等植物葉片意象可呈現的表徵，以環室顯示的方式營造誘導性的因素，期望使用者的情感能因本質對於葉片意象隱喻的生長狀態產生的認知有所影響隱而改變行為決策。

(3). 互動裝置能耗認知流程

實體互動裝置擺設位置預設在建築空間中能耗設備較多的地方如客廳或是廚房空間，當掛載於偵測迴路上的電氣設備啟動運作時，Energy Leafs外觀狀態的變化組合即時形成在空間中的背景資訊，營造環室顯示(Ambient display)的效果，間接的提醒使用者能耗資訊的變化，比起傳統的方式，可達到縮短使用者產生能耗認知的過程。

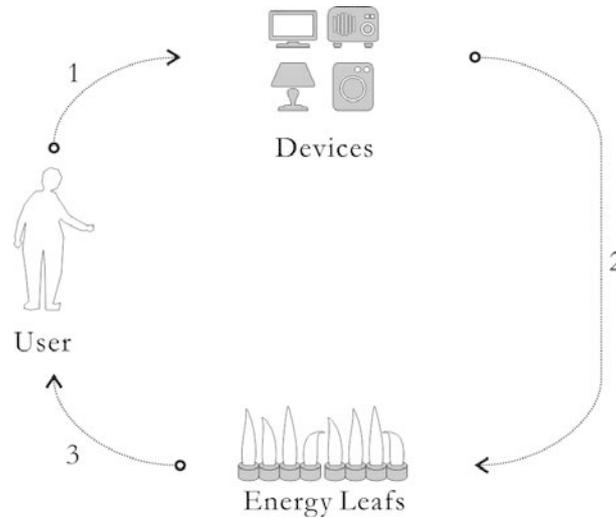


圖 三-5、Energy Leafs 能耗認知流程

3-3 系統設計環境

本研究的系統設計環境主要使用NILM EMS DSK電紋偵測技術和Arduino單晶片控制器來設計製作能源互動顯示裝置的運作原型，以下分別簡介兩者的運作方式和使用限制，最後說明兩者與互動能源顯示裝置在系統配置上的運作關係。

(1). NILM EMS DSK 電紋偵測

每一種用電設備都有各自獨特的用電頻率：電紋(Signature)，本研究設計採用的智慧能源測量技術：NILM EMS DSK(由盛暘科技授權使用)，包含 EMU Meter 感測器和 NILM Tool 軟體，於一個電力迴路上只需掛載一台 EMU Meter 感測器，無須更動既存電路系統，便可辨識迴路上不同的電紋，區分出掛載於迴路的電器種類以及相關能耗狀況和能耗累積量等。

感測器測量的訊號經由有線 / 無線網路傳至伺服器端做分析解譯，再將訊號傳至電腦、平板或手機等載具，供使用者做資訊狀態的查詢。相較於其他能源測量技術需要裝設大量的感測器、占用電源座空間或是需要更動既存電路系統，NILM EMS DSK 可提供更有效快

速的解決方案。本研究將使用簡易型的 NILM EMS DSK 感測技術，包括改裝型的 EMU Meter Box 和以筆記型電腦代替伺服器運行 NILM Tool 軟體做電紋的解譯，偵測和 EMU Meter Box 迴路相連的用電設備能耗狀況，作為這次研究的測試組，以下分別簡介 EMU Meter Box 和 NILM Tool 兩套工具的運作模式。

EMU Meter Box 裝置

EMU Meter 感測器的輸入接口有比流器輸入端、參考電壓輸入端、感測器電源供應端，輸出接口有網路訊號孔。以 EMU Meter 感測器作為基礎，EMU Meter Box 不同於實際裝設於建築空間的 NILM EMS DSK Meter System，是為了因應研究測試的需求而簡化功能、設計組裝而成，包含了六組電源座、系統電源線、EMU Meter 感測器和網路傳輸線，同時間可支援四組電器設備的運作和辨識。

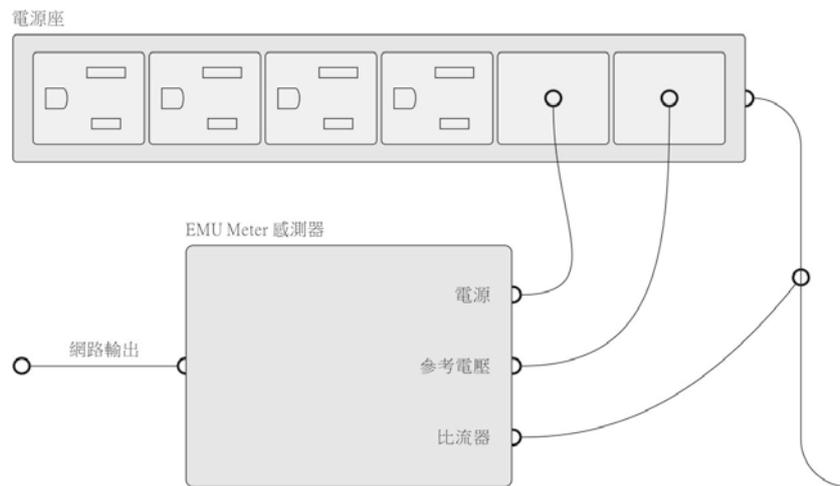


圖 三-6、EMU Meter Box 裝設圖

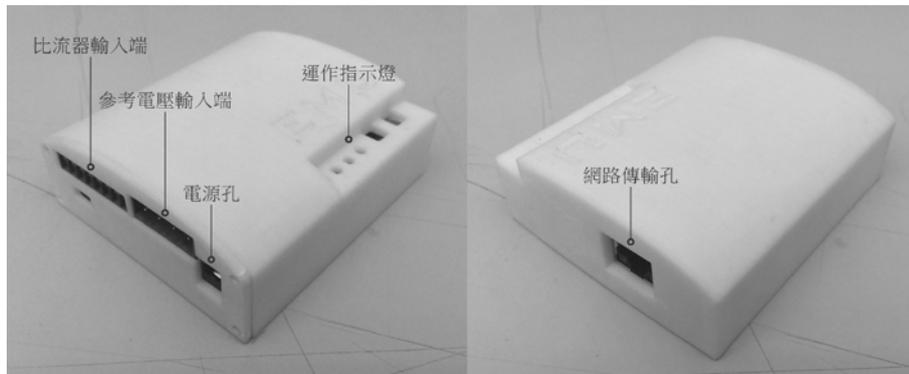


圖 三-7 、EMU Meter

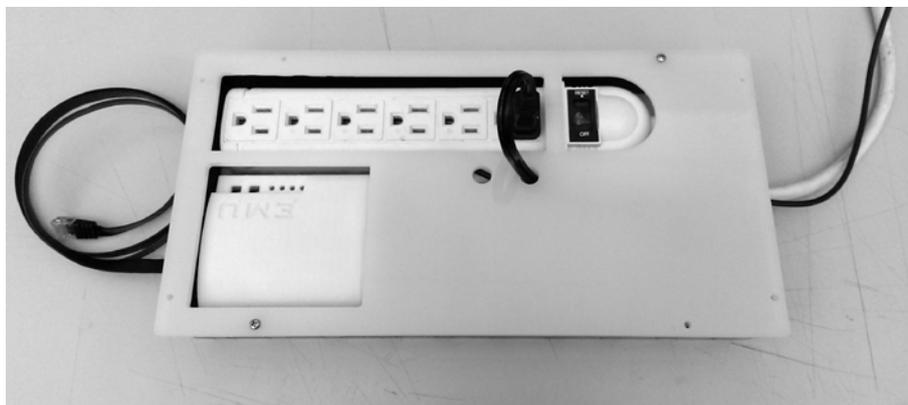


圖 三-8 、EMU Meter Box

NILM Tool 介面

NILM Tool 軟體端的操作介面主要分為四大類，分別為連結 EMU 電表、連結 Arduino 控制板、設備能耗資訊顯示和學習電紋。NILM Tool 介面較為工程化的排版，主要用於前期讓工程師等高階使用者可以做初始設定和檢測。

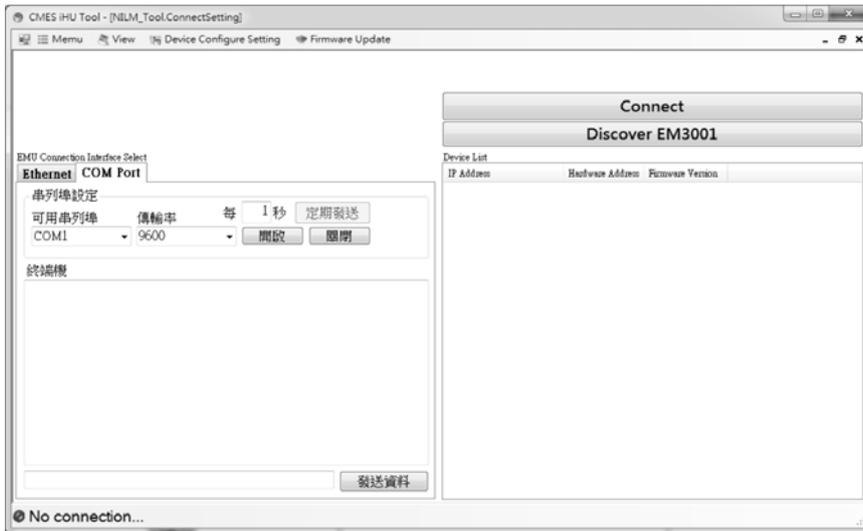


圖 三-9、連結 EMU 電表介面



圖 三-10、連結 Arduino 介面

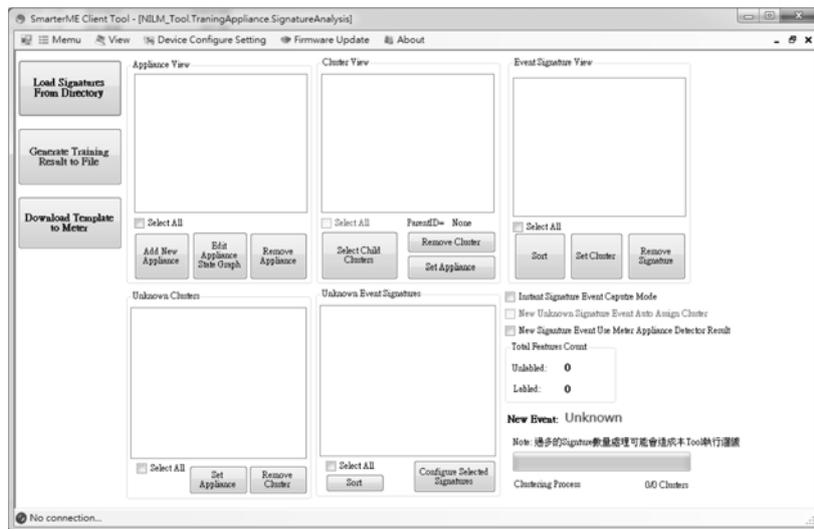


圖 三-11、學習電紋介面

電紋學習步驟圖說

NILM Tool 主要功能在處理 EMU 電表回傳的電紋訊號，解譯分析進而辨識不同的設備與運作狀態，而這部分必須事先將參考資料檔載入 EMU 電表的記憶體才能正常運行，以下簡約介紹電紋學習、生成與上傳參考資料檔等等步驟：

1. 進入學習電紋介面“Signature Analysis”畫面。
2. 勾選即時電紋捕捉模式“Instant Signature Event Capture Mode”。
3. 加入新的設備選項，點選“Add New Appliance”會出現視窗選單，在視窗選單中可選擇需要的電器設備，並且設定 ID，ID 設定不可除重複。
4. 設備電紋量測，以電器設備“開/關”說明。將電源開啟後，等標記的畫面出現數值後便算完成紀錄“開”的測量值，其數值應為正值。
5. 將電源“關”閉後，等標記畫面出現數值後便算完成紀錄“關”閉的測量值，其數值中應為負值。
6. 請重複操作“開 / 關”的量測數次，多樣的樣本數有助於解譯分析，但不宜過多。
7. 完成學習，上傳至電表，並重新建立與電表的連線。

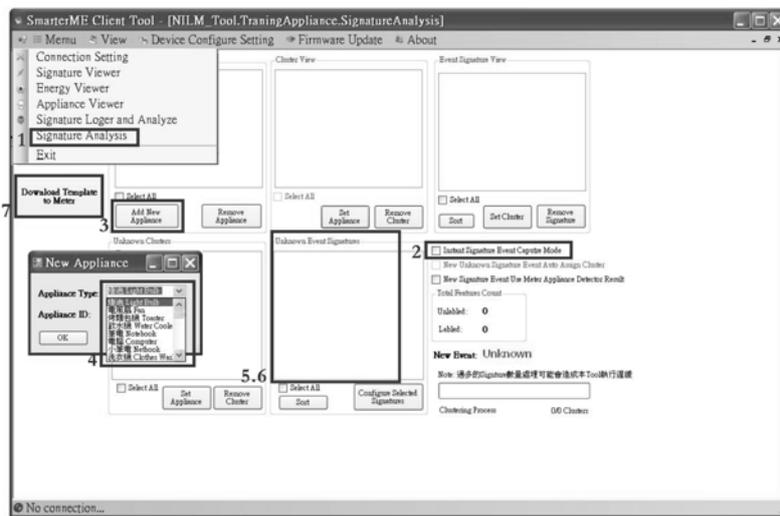


圖 三-12、電紋學習步驟

(2). Arduino

Arduino，由Massimo Banzi 等人研發而製(Banzi, Cuartielles, Igoe, Martino, & Mellis, 2006)，近年來流行於互動設計領域，是一個開放原始碼(Open Source)的單晶片控制器，可簡單地與感測器，各式各樣的電子元件連接，從初代的開發版發展至今，Arduino 依不同需求衍生了許多型號，函式庫方面也預設了許多基礎範本，可對應常見的操作需求，目的希望提供各領域的人，即使不具專業程式語言的背景也能夠有機會運用 Arduino 簡單的編程語言和電路製作屬於自己的互動作品。

為了精準地控制互動裝置呈現不同的外觀狀態，用以顯示能耗資訊的變化，需要操作許多伺服馬達來驅動機構的運作，改變裝置的狀態，輸出訊號腳位相對需求較多，本研究利用 Arduino Mega 作為電表資訊和裝置驅動的中介以及能源顯示互動裝置的控制基礎，由 Arduino 語言撰寫裝置的各種運作行為和模式編程，依據從電腦端接收 EMU 電表傳來設備能耗資訊，控制裝置中各個伺服馬達的狀態，使裝置的外型改變以表現當下的能耗狀況。

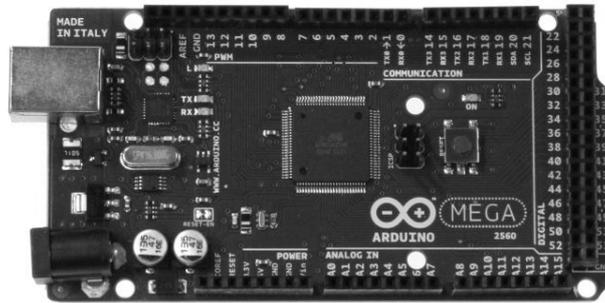


圖 三-13、Arduino Mega

```

sketch_jun22b $
#include <Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo

int potpin = 0; // analog pin used to connect the potentiometer
int val; // variable to read the value from the analog pin

void setup()
{
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo
}

void loop()
{
  val = analogRead(potpin); // reads the value of the p
  val = map(val, 0, 1023, 0, 179); // scale it to use it with
  myservo.write(val); // sets the servo position
  delay(15); // waits for the servo to g
  
```

圖 三-14、Arduino IDE 編輯器

(3). 互動裝置系統架構

Energy Leafs整體系統架構(圖 三-15)，空間中的設備能耗狀態由EMU Meter Box擷取訊號，傳送至筆記型電腦，經由NILM Tools的轉譯處理，給予Arduino動作訊號，進而驅動Energy Leafs裝置外觀的變化。Energy Leafs利用裝置外觀變化，變化的程度的大小代表著各種模式下資訊量的改變，給予使用者的視覺認知。

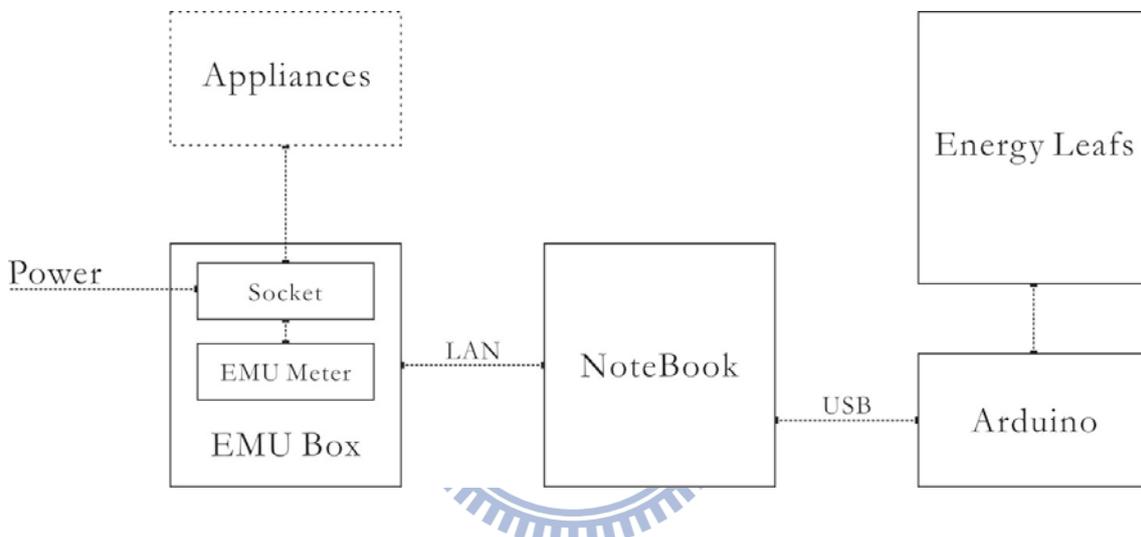


圖 三-15、互動裝置系統架構

第四章 裝置實作與評估

Energy Leafs為本研究提出的空間能源資訊顯示方案，為一組互動能源顯示裝置，設計概念根據本研究案例資料收集與分析和探討使用者對能源資訊感知行為的結果，加入環室顯示與平靜科技的相關手法，以實體互動的方式傳遞資訊給予使用者。裝置運行架構包括軟體：NILM Tool、Arduino IDE，硬體：筆記型電腦、EMU Meter Box、Arduino Mega、Energy Leaf單元。以下分別就裝置實作細節做圖解與說明。

4-1 裝置設計說明

根據先前研究的分析，互動裝置外型的形態語意的意義內容可給予使用者最直接的情感回饋，進而影響使用行為。本研究的互動裝置Energy Leafs，選擇以植物形態的隱喻作為能源顯示互動裝置的基礎，賦予裝置原型初步的視覺化美學設計，根據使用者大眾的共同生活經驗，設計互動裝置的各種形態模式，成為容易學習了解、具有吸引力、可以引起使用者情感的設計。在環室顯示的架構下，裝置作為一種背景的資訊呈現，在空間中不能過於搶眼突兀，因此原型在視覺效果上的設計考量，材料選用以透明或穿透性高，但需要可以辨識輪廓的種類，另一方面，材料也受限於製作原型的技術工法：雷射切割加工以及立體成型技術，最終本研究的裝置原形以透明壓克力板材、白色ABS塑料與白色半透明彈性尼龍布為主，降低色彩對使用者的影響，專注於以裝置的形態語意在空間背景中呈現資訊。

本研究透過不同的3D繪圖工具來繪製開發Energy Leafs原形裝置，包括CAD軟體、雷射切機(Laser Cutter)和快速成型機(Rapid Prototyping)。Energy Leafs裝置造型以模擬室內植物盆景，裝置架構分為底座機構(底盆)與型變機構(葉片)，底座外觀與內部傳動機構以透明壓克力製作，驅動裝置為S03T伺服馬達，葉片型變機構以ABS零件與壓克力組合的塑形結構加上彈性鋼線與白色半透明彈性尼龍布構成，降低底座的視覺影響，增強對葉片輪廓的視覺認知，提高資訊呈現在空間中給予使用者的感知性。(圖四-1、圖四-2、圖四-3)

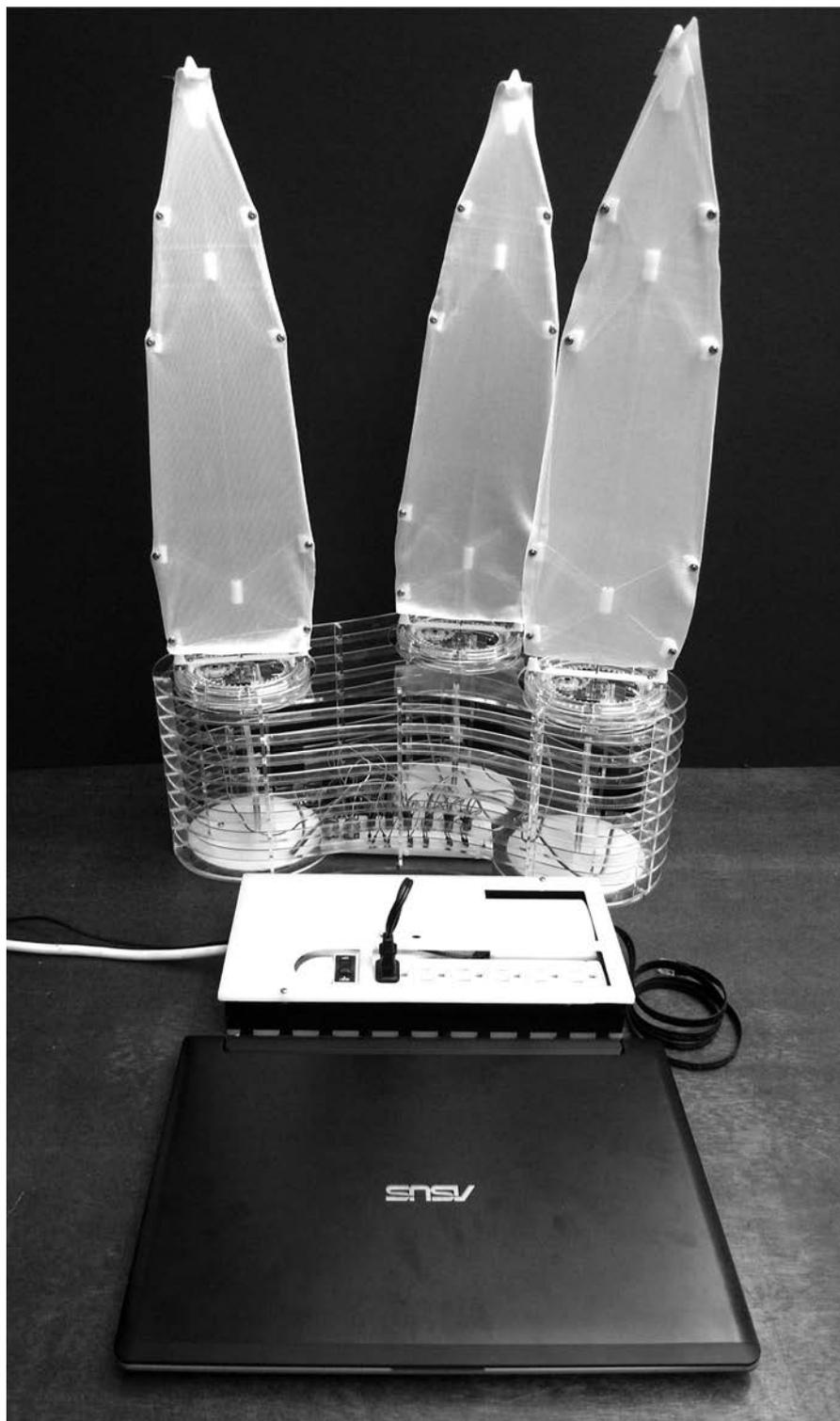


圖 四-1、 Energy Leafs 互動能源資訊顯示系統

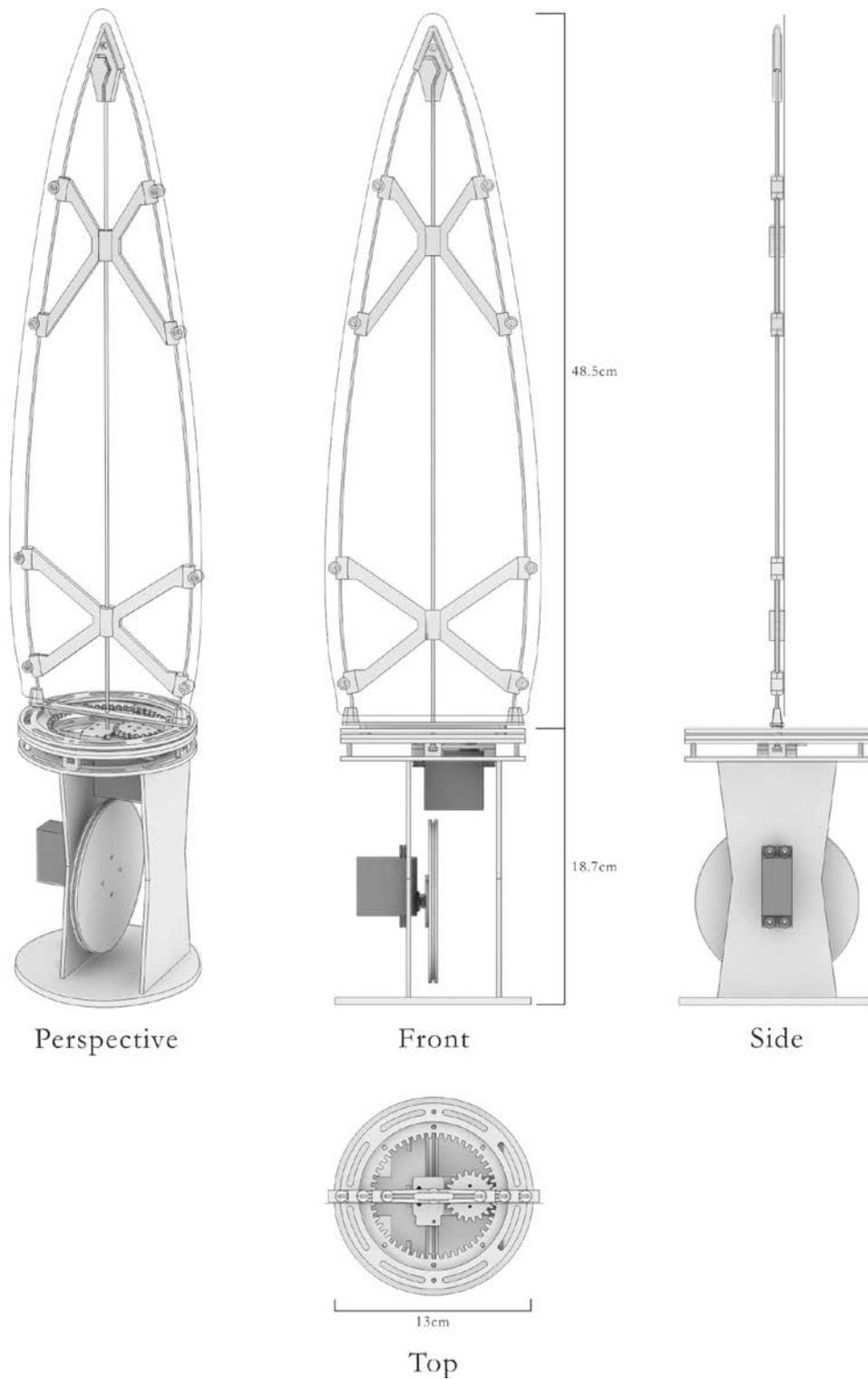


圖 四-2、Energy Leafs 單元平立面與等角透視圖

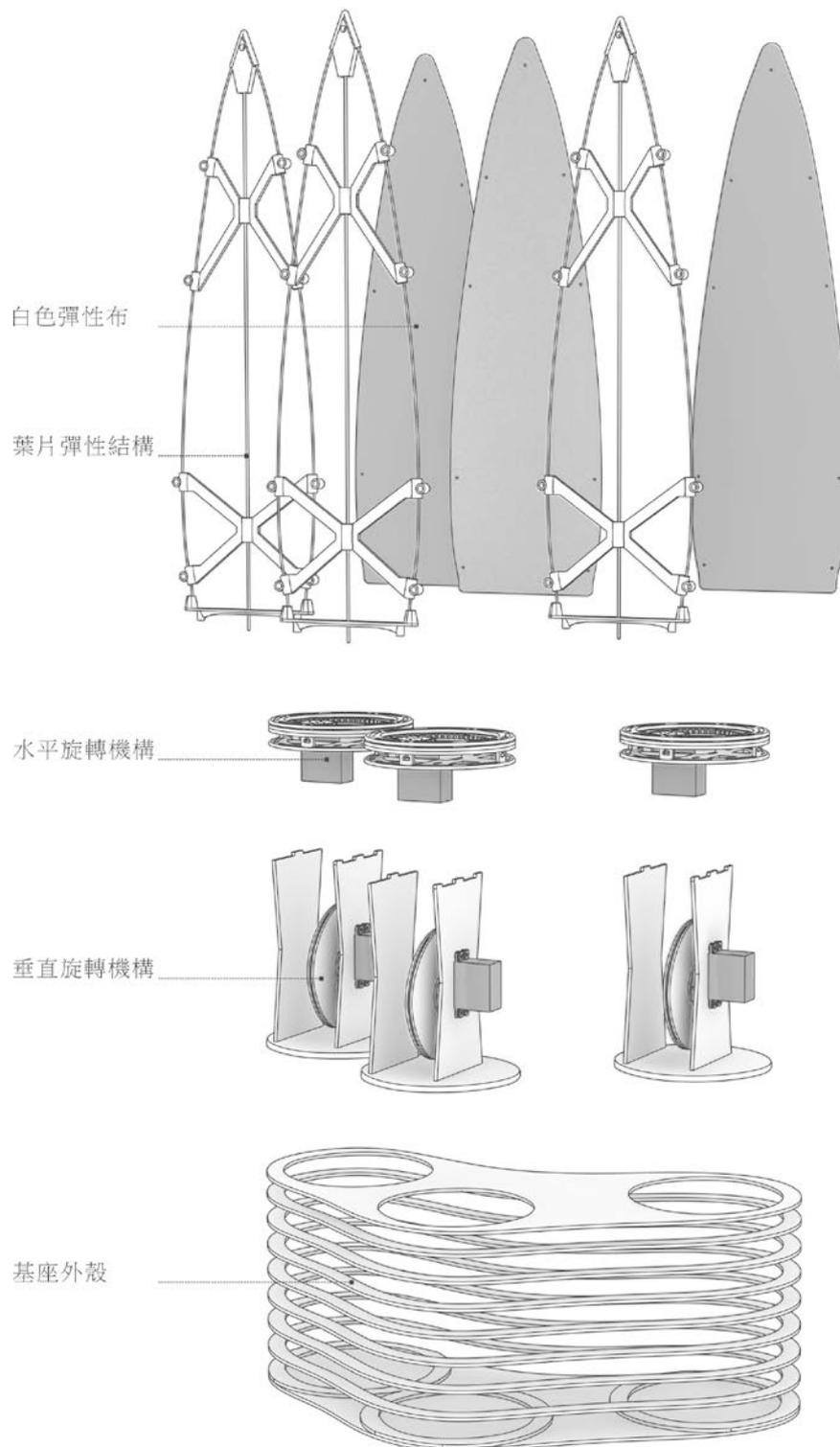


圖 四-3、Energy Leafs 分解圖

裝置運行模式

Energy Leafs 能源顯示互動裝置的每組葉片單元，藉由水平與垂直向伺服馬達的運作，裝置初步運行模式可以呈現葉片扭曲、葉片彎曲和葉片擺動三種運行可能，其中扭曲和彎曲是依訊號漸變，擺動為即時的動態動作，運行訊號的控制來自於 EMU Meter Box 的偵測訊號，並以 Arduino Mega 控制板驅動。

葉片扭曲模式

水平旋轉模式會在視覺上造成葉片面積扭曲變化的效果，其變化程度對應的是空間中設備能耗出力的模式，使用者可以經由閱讀裝置葉片水平向改變的輪廓感知到設備運行的當下狀況，例如大、中、小不同的風扇出力，半開或全開的燈具亮度，待命休眠或運行中的電腦設備等等。依水平旋轉最大一百八十度的限制，根據不同的設備條件，最大能耗出力一百八十度，最小能耗零度，其餘能耗出力等分分配角度做變化。當某些能耗設備的運行在空間中被掩蓋或隱藏，不容易被使用者所察覺，例如加熱電器的保溫狀態、設備漏電等等，在空間環境中看似沒有設備在運行，透過 Energy Leafs 葉片扭曲模式可以提供使用者此類狀況的提醒。(圖 四-4)

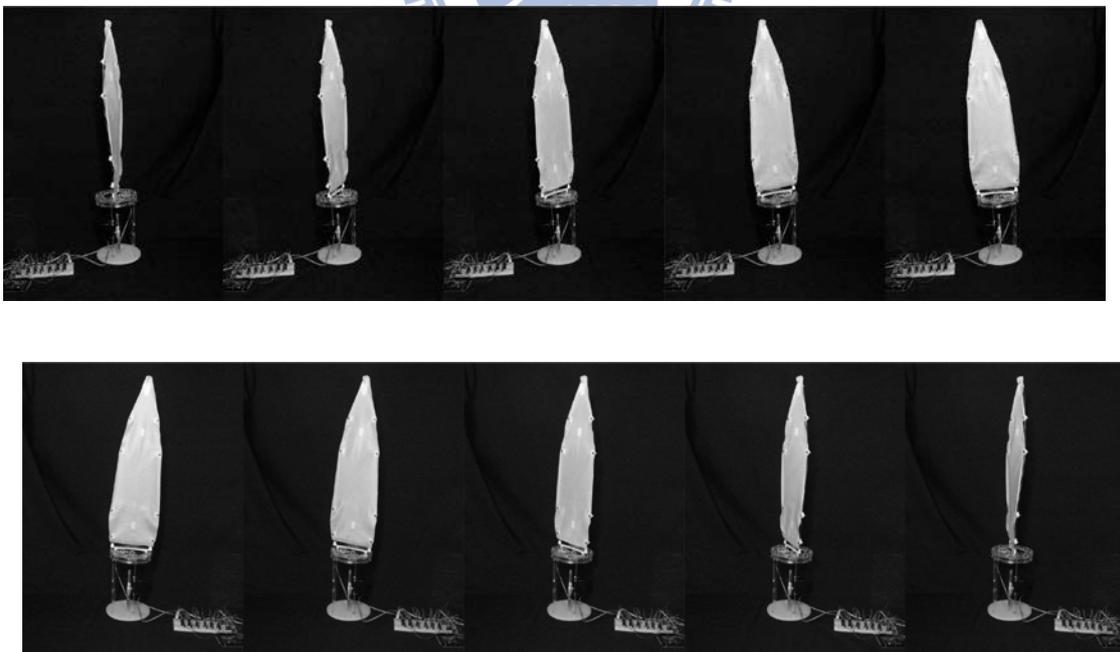


圖 四-4、Energy Leafs 葉片扭曲模式

葉片彎曲模式

垂直旋轉模式會在視覺上造成葉片型態彎曲變化的效果，呈現的形態語意是模擬植物葉片衰敗、枯萎的狀態，其變化程度對應的是空間中設備能耗總量的多寡，使用者可以經由閱讀裝置葉片垂直向改變的輪廓感知到設備運行的當下能耗的狀況。

能耗量越大，造成的彎曲幅度也越大，藉由互動裝置葉片單位彎曲緊繃的狀態，一方面讓使用者產生不安定的情感認知，當使用者處於一個不安定的環境，本能地會試圖改正早成不安定的因素，進而引導使用者改變能耗行為讓裝置復原；另一方面，藉由人類與生俱來與自然互動的能力，Energy Leafs 做為一種仿生、擬自然的互動介面，模擬葉片衰敗的彎曲模式能引導使用者認知到當下能耗行為造成的不良影響，也能達到引導使用者改變能耗行為讓裝置復原的互動設計效果。(圖 四-5)

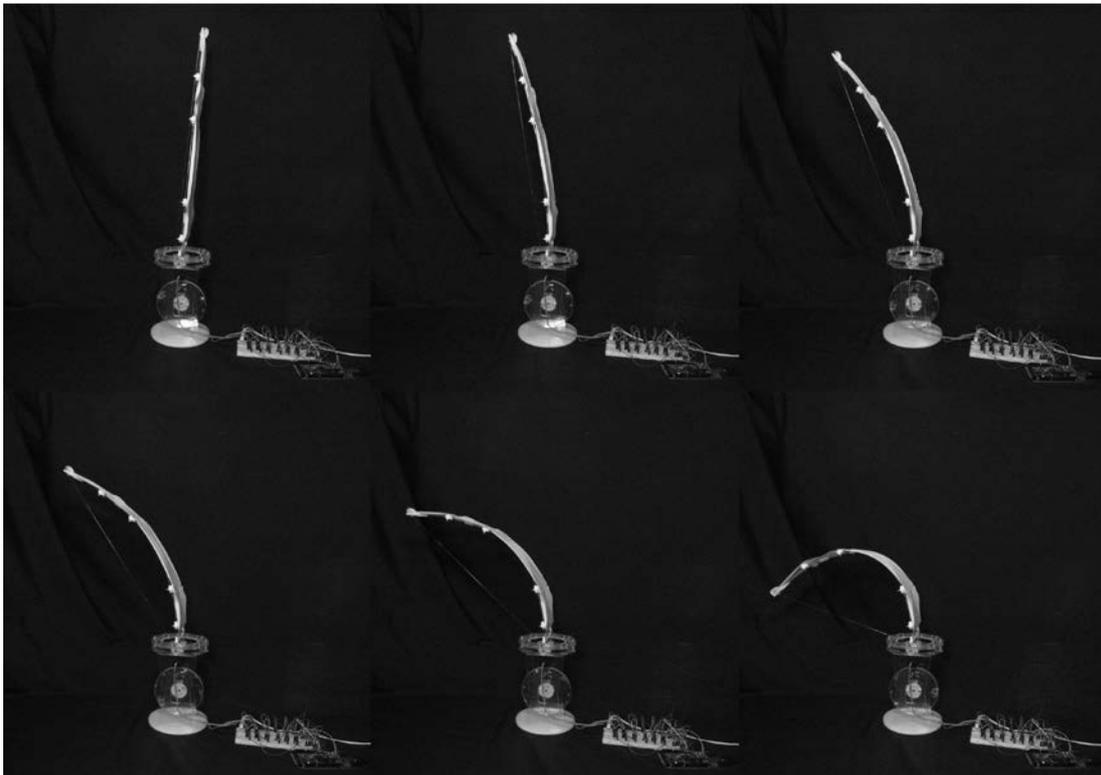


圖 四-5、Energy Leafs 葉片彎曲模式

葉片扭曲加彎曲模式

綜合前述兩種模式，在空間中一般的使用狀況，設備能耗的資訊狀況實際反映在 Energy Leafs 的互動葉片單元上的模式應該兩者相加，包括扭曲與彎曲。使用者可以透過觀察單一葉片的狀況，了解其對應的設備能耗出力與能耗總量的情況。

Energy Leafs 將能耗資訊轉化為物件形態的變化傳達給使用者，使用者不會閱讀或感受到精準但複雜的數字或是圖表資訊，相反的，感受到的是一種相對應的數量狀態，簡單直覺且帶有隱喻。本研究的實體互動設計希望造成的效果是將能耗行為直接反映在空間中物件的表現，摒棄繁複的介面，進而吸引使用者注意然後產生情感認知的過程。(圖 四-6)



圖 四-6、Energy Leafs 旋轉加彎曲模式

葉片擺動模式

擺動模式是 Energy Leafs 的運行模式中唯一會持續執行動態動作的模式，上下擺動的運動形態模擬自然中葉片受到外力的干擾而造成的狀態，例如被風吹過或是被生物體撥動，呼應的是提醒使用者空間中設備運行的異常或警示。

不同於前述的模式表現情況，因為代表的能耗資訊意義具有緊急性，擺動模式對比一般環室顯示的低調方式，表現的更為主動，意圖直接的引起使用者的注意而不是做為單純被動的環境背景資訊。

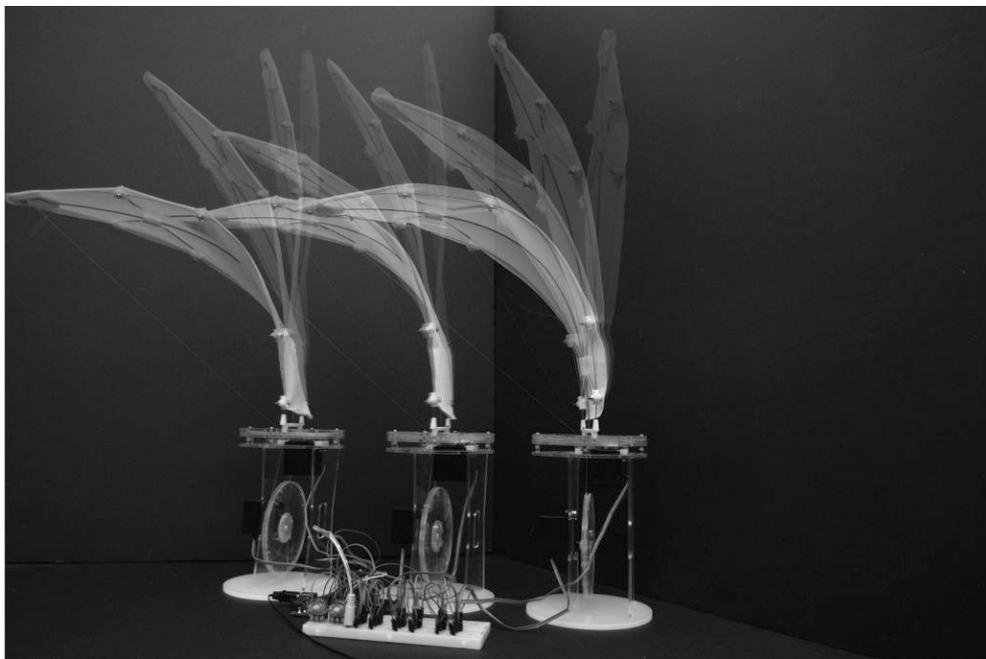


圖 四-7、Energy Leafs 擺動模式

以上的運行模式，透過實體化資訊的過程，經由模擬各種葉片的形體狀態，將枯燥的能耗資訊轉化為多元的互動顯示，讓營造空間環境品質的虛擬的能耗資訊，也可以用實體的方式呈現在物理世界中，並且成為空間物件的一部分，形成完整的能耗認知迴圈：使用者行為→能耗資訊→互動裝置運模式→使用者行為。

4-2 Energy Leafs 運作測試

本研究的Energy Leafs運作測試圖 四-8，前期實驗使用一組夾燈做為樣本，夾燈只有開和關的狀態，對於前期電紋測試可減少實驗誤差和失敗。實際操作中，Energy Leafs可正確辨認夾燈的開關模式，並且確實執行水平向一百八十度到零度的扭曲變形，而垂直向的彎曲變形則因為夾燈的能耗功率較低，因此變化程度較為緩慢，需要長時間的使用才能感知到Energy Leafs彎曲的變化，此結果也確實的表現小型電器在Energy Leafs能源顯示互動裝置上的反應呈現。

後期實驗使用兩組立扇和一組電熱器做為樣本。兩組立扇各別擁有大、中、小不同的出力選項，電熱器則有強和弱兩種出力選項，不同的能耗出力、耗量的變化，可對Energy Leafs做為多元模式變化的測試。實際操作中，在一開始學習電紋的步驟，兩組立扇可以順利載入電紋特徵，而電熱器頻頻卻出現電紋異常或是無法讀取電紋，在檢視相關步驟後檢討發現，其原因為電熱器在加熱時，過程中的電紋無法保持穩定的狀態，導致EMU Meter Box無法讀取可用的電紋資訊。特殊電器的電紋偵測問題，並非本研究的專業領域，有待技術提供廠商部分修正，後期實驗的後續以兩組立扇做為樣本，已足夠檢視Energy Leafs的各種運行模式，且達成本研究欲模擬的互動行為，故決定最後放棄電熱器的實驗樣本。

在執行立扇的運行測試時，依照順序分別開關兩組立扇，以大、中、小反覆執行，Energy Leafs的變化效果可以正確反應電器設備的狀態，包括在各種出力模式下，水平向的扭曲變形；另一方面由於立扇的能耗功率較高，可以表現出比夾燈更明顯的彎曲幅度，兩相對照之下，Energy Leafs可以在空間背景中明顯地呈現當下設備能耗資訊的不同，在空間中給予使用者的感知也比傳統螢幕來的直覺。

然而實驗中發現，如設備開關的間隔時間太過密集或是互相重疊，甚至快速隨機開關，會導致訊號辨認錯誤，導致Energy Leafs呈現的狀態和實際情況有落差。在檢視相關步驟後檢討發現，其原因為EMU Meter Box在讀入與輸出訊號時有傳輸時間的限制，因此有部分的情況會出現系統資訊錯誤，相關技術的修正也須倚賴技術提供廠商，總體而言，不影響實驗主要討論的能耗資訊與實體互動反應的連結。



圖 四-8、Energy Leafs 運轉測試

4-3 Energy Leafs 運行評估

Energy Leafs 共有三組葉片變形單元，依據組合搭配可做為三種主要能耗資訊模式的呈現：

模式一：時間與空間能耗顯示

顯示過去兩天與當天的能耗資訊比較，圖由左至右的葉片單元為當日能耗狀態、昨日能耗狀態與前日能耗狀態，使用者可依據不同的葉片狀況比較近三天的能耗資訊。



圖 四-9、時間與空間能耗顯示

模式二：當前能耗顯示

顯示當前能耗量與當天能耗最大值和最小值的資訊比較，圖由左至右的葉片單元為當前能耗量、最小值能耗量與與最大值能耗量。



圖 四-10、當前能耗顯示

模式三：個別設備能耗顯示

顯示設定中的設備能耗資訊，圖中葉片單元個別代表各自對應的設備能耗狀態，三組單元為本研究的範例，而未來可以發展更多組合可能。



圖 四-11、個別設備能耗顯示

在使用者運行評估的部分(圖 四-13、表 四-1)，本研究邀請了兩女五男，平均年齡在二十五歲到三十歲的研究所學生進行評估實驗，評估部分分為裝置外觀形態的認知、裝置運行與空間設備的對應性和裝置做為背景資訊的效果三部分，進行空間為學校系所的接待展示大廳，操作設備為夾燈與立扇各一組。

七位使用者的使用評估回饋意見顯示，只有一半認為 Energy Leafs 在外觀形態上意圖模擬空間環境中的植物盆景有達到給使用者正確認知的效果(圖 四-14)，而其餘使用者則會因自己的生活經驗不同對裝置的形態有其他的認知見解。在裝置運行與設備的對應性上，操作單一設備而讓 Energy Leafs 產生的互動效果，可以明確地傳遞給使用者並且產生能耗資訊的認知，而當操作複數設備讓 Energy Leafs 產生的互動效果，能耗資訊依然能正確地讓使用者產生認知，但在對應性上則不如單一設備的呈現來的直覺。而做為空間的背景資訊部分，和傳統的螢幕顯示做為比較，Energy Leafs 可以有效地引起使用者注意，並產生意圖了解的想法，使用者也提出裝置設備應該可以更自由的依個人習慣放置在生活空間中，對個人的使用經驗會有更佳的幫助。

經由上述評估，結果顯示 Energy Leafs 在互動行為可帶給使用者感到吸引力的感受，且產生對能耗資訊的認知，但在外觀形態、設備對應上還需進一步的增強使用行為的便利性。



圖 四-12、測試空間

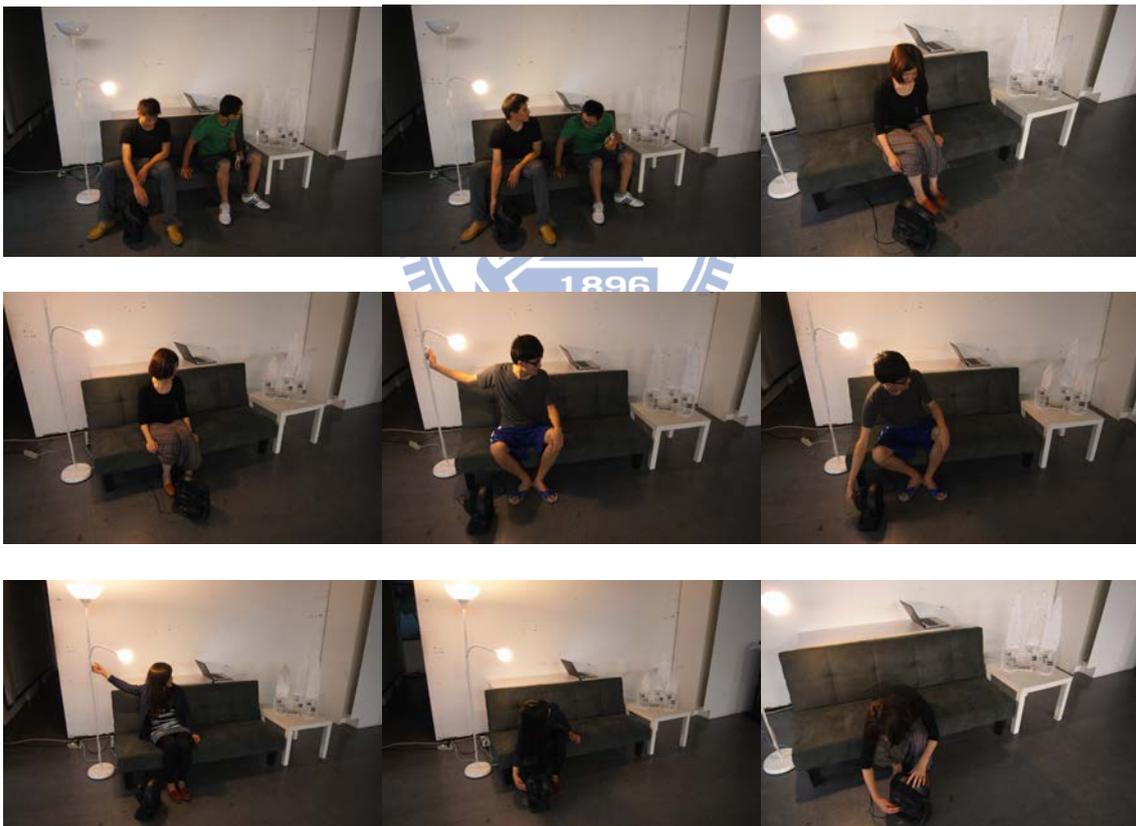


圖 四-13、使用者測試紀錄

Energy Leafs 使用者訪談與評估紀錄			
受試空間：	交大建築所接待與展示大廳		
受測設備：	立燈與立扇各一組		
受試者：	二女五男，共七人，年齡階層為二十到三十歲之間，職業為學生		
受試方法：	<p>測試一開始會先與受測者解釋受測設備(立燈與立扇)的操作方式，以及互動裝置各種狀態的變化模式，確認使用者了解後，使用者可自由操作受測設備三到五分鐘，體驗互動裝置給予的提示。</p> <p>最後，經由訪談回答下列問題：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 觀察裝置外觀，依個人經驗認為裝置外觀形態像甚麼物件 2. 在體驗操作的過程中，互動裝置的運行和設備的狀態至否能呼應 3. 互動裝置作為背景資訊的效果，以一為最弱，五為最強，給予體驗評價 		
問題：	問題一 外觀形態的認知	問題二 裝置與設備的對應性	問題三 背景資訊的效果
受試者 1. 女性，24 歲	鯊魚鰭	大概有，電力越強，裝置旋轉角度又越大	效果為四
受試者 2. 女性，25 歲	有喜感，羽毛、葉子	風扇可以對應到彎曲程度，電燈有一種變化，應該可以有多狀態	風扇的效果為四，電燈的效果為二
受試者 3. 男性，25 歲	竹葉片	風扇和電燈的運作都可以對應到變化程度	效果為四

受試者 4. 男性，23 歲	有科技感的植物、葉子	一開電源就有反應回饋，可以對應	效果為四
受試者 5 男性，25 歲	羽毛，縮小馬達會更好	可以對應	效果為四
受試者 6 男性，27 歲	葉子	風扇的狀態有對三種變化，電燈只有一種	風扇效果為四，電燈效果為三
受試者 7 男性，25 歲	帆船、動態風帆	風扇和電燈的狀態可對應裝置的旋轉角度	效果為五

表 四-1、使用者訪談與評估紀錄

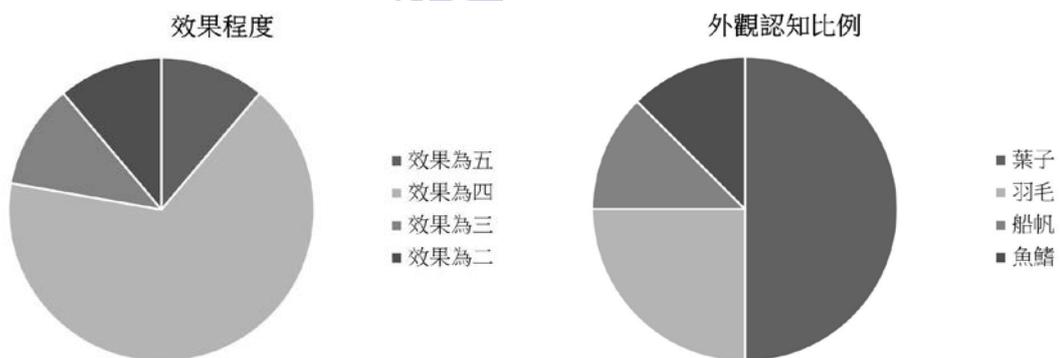


圖 四-14、使用者意見回饋

第五章 結論

5-1 研究成果

在各項技術發展成熟之際，智慧空間中的能源顯示裝置，應從討論產品的控制自動化、資訊精準度，逐漸延伸討論產品給予使用者的感知好壞與否。生活環境的營造依靠著電力設備的運作，能耗資訊也應該整合在環境背景資訊中，成為環境使用經驗的一部分，本研究的成果：Energy Leafs完成了轉化能耗數據，在空間中提供有趣的背景互動資訊的初步原形設計。

經由先前的案例收集和技術分析，體認到現存使用者對於空間中能耗認知的不足，本研究提供了以實體互動結合物件形態語意的方式來連結空間中的能耗資訊與使用者的認知，運用環室顯示(Ambient display)、平靜科技(Clam technology)相結合的操作與設計概念，發展Energy Leafs能源顯示互動裝置。在能源資訊顯示手法的實作探討上，和傳統空間中的能源顯示螢幕不同，Energy Leafs提供了以物件外觀的形態語意傳達能耗資訊的一種模擬方案，包括將能耗狀態的虛擬的數位資訊轉化，不使用文字式的資訊呈現，改為運用物件實體狀態變化來表現，在空間中以環室顯示的效果主動在被背景環境中即時傳遞資訊給使用者，銜接起以往使用者在能耗行為與實際認知的斷層；加入引導使用者情感的設計元素，藉此上使用者在觀察互動裝置時產生將實體狀態擬物化或擬人化的認知，進而對物件的實體互動模式產生情緒回饋，Energy Leafs將能源顯示等嚴肅的議題轉化為空間資訊變化的趣味，不只為一種技術性互動顯示裝置，也可作為生活空間的裝飾擺設，在空間中至少同時扮演兩種角色，多元的作用有助於提高使用者的接納度。

Energy Leafs作為能源顯示互動裝置運作評估和測試的原型工具，目的是為了讓感知能耗資訊的過程變的簡易與直覺，引發使用者進行能耗行為的反思，進而選擇適合的行為改變，達到誘導的效果。未來可以持續以相同的設計原則發展不同的互動原型，應用在不同空間環境對各使用者族群進行體驗的意見與使用經驗的調查，對在建築空間提供整體系統運作的使用者經驗做改善；在推廣建置智慧電網時，可發展成為在智慧空間中，以可變動的建築元素作為末端介面的解決方案之一。

5-2 研究限制

本研究應用的技術方面，因缺乏電機背景的專業知識，技術能力與設備資源不足，加上引用的科技還處於開發階段，因此無論軟體硬體，實際運作上還有許多待克服的地方，研究主要先以實驗模擬理想中的能源顯示互動模式。

處於開發階段的技術，例如NILM EMS DSK 電紋偵測，在操作NILM Tool軟體學習記錄電紋時，需要反覆地開關電器設備才能記錄設備不同狀態的電紋特徵，導致有許多不適合做反覆開關操作的設備被排除在測試辨認的範圍之外，無法完整呈現空間能源的使用情形。另一方面，有關EMU Meter在研究實作階段中，也常常會遇到連線不穩定、偵測不準確的狀況，為了減少變因的影響，電器的選擇只能限制在狀態變化較單純的種類，例如檯燈、風扇或吹風機等小型電器，也大幅侷限了將空間設備能耗資訊可視化的範圍。

設備資源的部分，本研究的能源顯示裝置主要訴求為模擬以實體互動、形體變化的方式作為呈現資訊的手法，尋求可快速的測試並檢驗互動行為運作的效果，因此作為最初的原型裝置，在結構材料與傳動機構的選用考量上，只考慮因應變型的需求、方便加工塑形、取得與替換容易等等因素，採用的材料如壓克力、尼龍布與模型用的伺服馬達等等，無法達大真正投入實際空間運作的強度要求，另外包括裝置實際顏色、材質紋路等細節對於使用者認知的影響在本研究並沒有探討，未來可以從可變材料持續進行研究，呈現理想中的自然擬態。在裝置系統內部的資訊溝通的部分，礙於技術與設備限制，本研究必須以有線傳輸來連結系統端與互動裝置端，能源顯示裝置無法完全獨立運作，在空間中選擇擺設的位置自由度因此受限。在使用者操作的實驗評估部分，實驗對象的年齡階層平均二十五歲到三十歲的男女學生，空間選擇為學校系所的接待展示大廳，因此實驗數據只能評估特定的使用族群與空間類型。

本研究製作的能源顯示互動裝置只是以建築領域為出發點，測試想法與概念用的實驗原型，成果僅能提供能源顯示在空間中以環室顯示手法來操作的一個範例，未來在建築空間的實際應用仍然需要其他領域的加入整合，包括工業設計、機電控制與人因工程等等，做更嚴謹的實驗與評估。

5-3 後續研究

本研究提出以實體互動、型態變化作為表現數位資訊的初步執行方式，是以桌上型裝置的尺度作為討論的基礎，且完成了部分的實驗測試，做為應用在日常生活中的互動物件，未來在相關領域可以精進探究更多元的執行方式，包括發展在各種尺度上與建築空間元素結合的互動方式，例如窗戶、柱子、牆面或是天花等等，各種生活的認知經驗作為實體物件擬態的對象，尋找通用的解決方案。以植物葉片的自然擬態作為設計手法之一，是本研究論文依據案例研究獲得的資料佐證而假設的設計條件，將來可延續此原則發展及評估其他自然擬態媒介對於使用者可以直覺產生誘導性情感反應的效益；在評估使用經驗的對象與空間環境也可以擴大實驗範圍，討論在不同尺度下裝置之於人的關係、裝置與空間的關係、使用者如何接收到資訊、接收的程度、反應的效果等等。在驅動裝置變形的手法上，未來可以加入材料專業的人才進入，操作例如記憶金屬或是其他可動材料的變形控制實驗、材料本身色或是質感上的變化，嘗試不依靠伺服馬達驅動，直接從材料本身著手，讓裝置變形的模式產生的形態語意可以更接近設計者希望模擬的對象，讓互動的影響可以自由且自然地產生而不突兀。

持續追蹤使用者對於經由互動裝置傳遞的能耗資訊體驗程度以及後續行為的改變效果，才可最終推行普及的可行性。因此，未來也需要加入生活實驗室的測試，在實際的生活場域進行長期的實驗記錄，以檢驗本研究提出的 Energy Leafs 能源顯示互動裝置，其誘導式能源監控概念的導入，經過時間的磨合，是否能如預期地為使用者所接受。另一方面，建築空間的能源資訊體驗牽涉到許多實務上的複雜度，包括建置各項設備的產品資料庫，整合感測與通訊技術，建置設備電紋的統一辨識方法，方能實現物聯網在智慧建築實踐的理想。

參考文獻

- Aarts, E. (2004). Ambient intelligence: a multimedia perspective. *MultiMedia, IEEE*, 11(1), 12-19. doi: 10.1109/MMUL.2004.1261101
- Abrahamse, Wokje, Steg, Linda, Vlek, Charles, & Rothengatter, Talib. (2005). A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Environmental Psychology*, 25(3), 273-291.
- Banzi, Massimo, Cuartielles, David, Igoe, Tom, Martino, Gianluca, & Mellis, David. (2006). Arduino. from <http://arduino.cc/en/>
- Benyon, David, Turner, Phil, & Turner, Susan. (2005). *Designing Interactive Systems: People, Activities, Contexts, Technologies*: Addison-Wesley.
- Borgmann, Albert. (1987). *Technology and the Character of Contemporary Life: A Philosophical Inquiry*. Chicago, USA: University Of Chicago.
- Broms, Loove. (2011). *Sustainable Interactions-Studies in the Design of Energy Awareness Artefacts*. Linköping University, Sweden. (Thesis No. 1485)
- Broms, Loove, Ehrnberger, Karin, Hjelm, Sara Ilstedt, & Bång, Magnus. (2009). *The Energy AWARE Clock: Incorporating Electricity Use in the Social Interactions of Everyday Life*. Paper presented at the EcoDesign 2009, Sapporo, Japan.
- Darby, Sarah. (2006). *The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for defra of the literature on metering, billing and direct displays*. Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- Frampton, Kenneth. (2004). *Modern architecture: a critical history*. 台北: 地景.
- Gellersen, Hans-W, & Beigl, Michael. (1999). Ambient Telepresence: Colleague Awareness in Smart Environments *Managing Interactions in Smart Environments* (pp. 80--88): Springer.
- Google. (2009). Google PowerMeter. from <http://www.google.com/powermeter/about/>
- Gregory, Richard L. (2009). *Eye and brain*. 台北: 五南.
- Gross, Mark D. (1998). Smart House And Home Automation Technologies. from <http://depts.washington.edu/dmgftp/publications/pdfs/smarthouse98-mdg.pdf>
- Gustafsson, Anton, & Gyllenswärd, Magnus. (2005). *The power-aware cord: energy awareness through ambient information display*. Paper presented at the CHI EA '05, Portland, Oregon, USA.

- Holmes, Tiffany Grace. (2007). *Eco-visualization: combining art and technology to reduce energy consumption*. Paper presented at the Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition, Washington, DC, USA.
- Holstius, David, Kembel, John, Wan, Peng-Hui, & Forlizzi, Jodi. (2004). *Infotropism: living and robotic plants as interactive displays*. Paper presented at the DIS '04.
- Jönsson, Li, Broms, Looove, & Katzeff, Cecilia. (2010). *Watt-Lite: energy statistics made tangible*. Paper presented at the DIS '10, Aarhus, Denmark.
- Jordà, Sergi. (2010). *The reactable: tangible and tabletop music performance*. Paper presented at the CHI EA '10, Atlanta, GA, USA.
- Kim, Tanyoung, Hong, Hwajung, & Magerko, Brian. (2010). Designing for Persuasion: Toward Ambient Eco-Visualization for Awareness. In T. Ploug, P. Hasle & H. Oinas-Kukkonen (Eds.), *Persuasive Technology* (Vol. 6137, pp. 106-116): Springer Berlin Heidelberg.
- Kuribayashi, Satoshi, & Wakita, Akira. (2006). *PlantDisplay: Turning Houseplants into Ambient Display*. Paper presented at the ACE '06, Hollywood, CA, USA.
- Microsoft. (2009). Microsoft Hohm. from <http://livesino.net/tag/microsoft-hohm>
- Moggridge, Bill. (2007). Multisensory and Multimedia *Designing Interactions* (pp. 263-273). 台北: 城邦.
- Nielsen, Jakob, & Molich, Rolf. (1990). *Heuristic evaluation of user interfaces*. Paper presented at the CHI '90, Seattle, USA.
- Norman, Donald Arthur. (2004). *Emotional design : why we love (or hate) everyday things*. 台北: 遠流.
- Rogers, Yvonne, Hazlewood, William R., Marshall, Paul, Dalton, Nick, & Hertrich, Susanna. (2010). *Ambient influence: can twinkly lights lure and abstract representations trigger behavioral change?* Paper presented at the Ubicomp '10 Copenhagen, Denmark.
- Schietecatte, Bert, & Vanderdonckt, Jean. (2008). *AudioCubes: a distributed cube tangible interface based on interaction range for sound design*. Paper presented at the TEI '08, Bonn, Germany.
- Schiphorst, Thecla, Nack, Frank, KauwATjoe, Michiel, Bakker, Simon de, Stock, Aroyo, Lora, . . . Jaffe, Norm. (2007). *PillowTalk: can we afford intimacy?* Paper presented at the TEI '07, Baton Rouge, LA, USA.
- Streitz, Norbert, Prante, Thorsten, Röcker, Carsten, Alphen, Daniel Van, Magerkurth, Carsten, Stenzel, Richard, & Plewe, Daniela A. (2003). Ambient Displays and Mobile Devices for the Creation of Social Architectural Spaces *Public and Situated Displays : The Kluwer International series on Computer Supported Cooperative Work* (Vol. 2, pp. 387-409): Springer.

- Sundramoorthy, Vasughi, Liu, Qi, Cooper, Grahame, Linge, Nigel, & Cooper, Joshua. (2010). DEHEMS: A User-Driven Domestic Energy Monitoring System.
- Weiser, Mark. (1999). The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 3(3), 3-11. doi: 10.1145/329124.329126
- Weiser, Mark, & Brown, John Seely. (1997). The coming age of calm technology. In P. J. Denning & R. M. Metcalfe (Eds.), *Beyond calculation* (pp. Pages 75-85). NY, USA: Copernicus.
- Wisneski, Craig, Ishii, Hiroshi, Dahley, Andrew, Gorbet, Matt, Brave, Scott, Ullmer, Brygg, & Yarin, Paul. (1998). *Ambient Displays: Turning Architectural Space into an Interface between People and Digital Information*. Paper presented at the CoBuild '98, Darmstadt, Germany.
- Zimbardo, Philip G. (1990). *心理學* (修訂初版 ed.). 台北市: 五南.
- 朱新明, & 李亦菲. *架設人與電腦的橋樑：西蒙的認知與管理心理學* (初版 ed.). 台北市: 貓頭鷹.
- 馬瑜嬪. (2012). *環境感知的互動美學設計*. (博士), 國立成功大學, 台南市. Retrieved from <http://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gswweb.cgi?o=dnclcdr&s=id=%22100NCKU5222025%22.&searchmode=basic>
- 陳嘉懿, & 林澤勝. (2009). *由人機介面理論探討智慧空間設計*.

