

出國報告（出國類別：研究）

針對兒童使用之博物館能源最佳化個案 實地研究- Brooklyn Children' s museum

服務機關：國立科學工藝博物館

姓名職稱：吳清雲(技正)、葛子祥(助理研究員)

派赴國家：美國 /紐約 /布魯克林

出國期間：105 年 11 月 30 日至 105 年 12 月 7 日

報告日期：106 年 2 月 16 日

公務出國報告摘要

出國報告名稱：針對兒童使用之博物館能源最佳化個案實地研究- Brooklyn Children' s museum

頁數_14_ 含附件：否

出國計劃主辦機關/聯絡人/電話

國立科學工藝博物館/周宛蓉/3800089ext8698

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳清雲/國立科學工藝博物館/秘書室/技正/3800089ext6836

出國類別：研究

出國期間：105 年 11 月 30 日~105 年 12 月 07 日

出國地區：美國

報告日期：106 年 2 月 16 日

分類號/目：

關鍵詞：能源最佳化、紐約布魯克林兒童博物館、

摘要：

美國紐約布魯克林兒童博物館 Brooklyn Children' s Museum 建於 1899 年，是第一座兒童博物館，於 2005 年擴建更新後通過能源與環境設計 LEED 銀級認證，是美國綠建築協會認證為紐約市第 1 座綠博物館，和本館 2014 年取得舊建築物改善類綠建築網級標章相同，可做為功能優缺的比較基礎。而布魯克林兒童博物館的高性能與綠色技術革新，是一個舊博物館建築物更新為綠建築的典範，可借由該館的更新做為各館永續經營的重要參考模式。

透過兩館實地參訪進行研究比較，了解到下列幾項主要收穫：


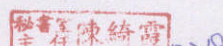

1.以美國紐約布魯克林兒童博物館永續擴建計畫的 LEED 標章認證，和本館取得舊建築物改善類綠建築標章網級認證之實地比較，發現美國 LEED 由民間發起，同樣採取完工後自願申請認證，但更積極促進綠色經濟市場，強調原始風貌保留，特別在再生能源推廣與健康建材之多樣性細節分類，不遺餘力。

2.美國紐約布魯克林兒童博物館係為兒童專屬，經實地研究該能源使用和本館兒童科學園進行比較，發現除了兒童使用需求(多元與開放)與教育功能(親子引導、體驗、動手做)的空間節電安排外，需要更多使用者參與認同，同時達到能源教育的境教功能。

3.美國紐約布魯克林兒童博物館進行全面改造，以綠能源為首要考量，如太陽能、隔熱、地下水泵，和本館進行綠博館永續方向之比較，也發現到專業的技術創新與高性能設計影響重大，需要更多的外力支持與協助。

4.各級單位均可透過不同業務，積極持續與國際綠博物館串聯，以提升本館之國際參與度和知名度。

出國報告審核表

出國報告名稱： 針對兒童使用之博物館能源最佳化個案實地研究- Brooklyn Children' s museum			
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)		職稱	服務單位
吳清雲		技正	國立科學工藝博物館
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：105年11月30日至105年12月07日		報告繳交日期：106年02月16日	
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審 核 項 目	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」)	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他_____	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：	
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)		計畫主辦機關 審核人	一級單位主管簽章
			

說明：

一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。

二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

目 次

壹、目的.....	5
貳、過程.....	5
參、心得.....	6
肆、建議.....	12

壹、目的：

105 年秘書室因公派員出國研究計畫，題目為「針對兒童使用之博物館能源最佳化個案實地研究- Brooklyn Children's museum」，主要任務是進行「符合兒童參訪需用的能源供給之功能－館區電能控制系統性操作模組的研究」。

美國紐約布魯克林兒童博物館 Brooklyn Children's museum 是美國綠建築協會認證為紐約市第 1 座綠博館和本館取得舊建築物改善類綠建築網級標章，可做為功能優缺的比較基礎。

布魯克林兒童博物館建於 1899 年，於 2005 年更新後取得紐約市第 1 座綠博館認證，是一舊博物館建築物更新為綠建築的典範，可借由該館的更新做為本館永續經營的重要參考模式。不同於舊金山探索館更換館址的綠能政策和加州科學院打造弧形山丘做為綠屋頂設置。同時有別於歐洲地區德國保時捷造型之金屬博物館、阿姆斯特丹電影博物館和德國科博館等綠色生態的當代建築。

本計畫期許獲得下列收穫：

- 1.以美國紐約布魯克林兒童博物館永續擴建計畫的綠建築和國立科學工藝博物館(取得舊建築物改善類綠建築網級標章)實地比較。
- 2.美國紐約布魯克林兒童博物館係為兒童專屬，擬實地研究該能源使用和國立科學工藝博物館兒童科學園進行比較。
- 3.美國紐約布魯克林兒童博物館進行全面改造，以綠能源為首要考量，如太陽能，擬和國立科學工藝博物館進行綠博館永續方向進行比較。
- 2.與國際綠博物館串聯，提升國立科學工藝博物館國際參與度和知名度。

貳、過程：

日期	地點	工作項目	備註
11 月 30 日	高雄→美國紐約	去程由高雄機場 KHH 搭機前往紐約，PM7:42 抵達 LGA 機場	美國航空/日航
12 月 01 日	美國紐約	抵達紐約市，到訪布魯克林兒童博物館認識環境	
12 月 02 日	美國紐約布魯克林	前往布魯克林博物館及兒童博物館，了解當地社區基本資訊。	
12 月 03 日	美國紐約布魯克林	探討兒童博物館永續擴建計劃相關項目之實際情形及能源效益。	
12 月 04 日	美國紐約布魯克林	了解實際運作之能源控制技術，以及參訪者對於能源教育的感受。	
12 月 05 日	美國紐約	博物館休息日，了解內部設備維護情形。	
12 月 06 日 12 月 07 日	美國紐約→高雄	回程於紐約 LGA 機場搭機返台，至 12 月 7 日 PM10:22 抵達高雄 KHH	美國航空/日航

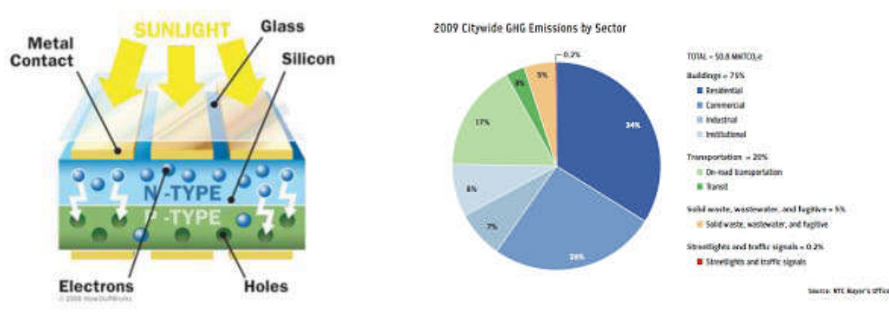
參、心得：

一、 兒童博物館與所在地方發展(背景介紹)

1. 美國紐約州能源研究發展局(NYSERDA)

紐約市長彭博在 2007 年提出的城市計畫 PlaNYC，市政團隊聯合企業和民間力量，力求一個更綠、更美好的紐約(a greener, greater New York)。要減紐約市的溫室氣體排放，就從排碳量最大的地方著手。紐約最主要的溫室氣體排放來源是建築大樓的耗能，約占全市 75%，第二位的交通僅占 20%。除此之外，建築物也使用了全市 94% 的用電，與 85% 的用水。

2009 年 12 月通過了綠建築套裝法案—「更綠、更美好的建築計畫」(Greener, Greater Buildings Plan)，要求樓地板面積超過 5 萬平方英尺的大樓建築進行節能改造，提高照明、耗能與用水效益，以及業主必須每十年進行能耗審核，以便進行修繕。這套規範所涵蓋的範圍相當於紐約市一半的樓地板面積，預估能降低整體碳排放的 5%，並在 2030 年之前，減少每年 7 億美元的電費。至於樓地板面積較少的建物，市政府也有計畫提供節能改造的協助。資料來源：謝雯凱(台達電子文教基金會氣候與能源計畫專員)



美國紐約州能源研究與發展局 (New York State Energy Research and Development Authority, NYSERDA) 提出了一項十年計畫，將於 2025 年以前陸續投入 15 億美元發展再生能源技術。NYSERDA 主席 John B. Rhodes 認為，再生能源產業的大規模拓展不僅將有助於紐約州的經濟成長，亦能為全球氣候環境的改善盡一份力，以實現於 2050 年減少 80% 溫室氣體排放量的全國目標。(譯者：劉佳昊) 資料來源：

<http://www.energymatters.com.au/renewable-news/ny-solar-wind-em4857/>

2. 兒童博物館是以兒童與社區居民為出發點

兒童博物館是一種特殊的博物館類型，初始就是為了觸發兒童的學習興趣而成立。經由美國兒童博物館與社會文化脈絡的密切互動，除了不斷的受到教養觀點、兒童認知發展研究、教育理論、教育政策轉變的影響，亦正面迎向社會變革，積極面對漸興的社區意識，並思索博物館在社會公義應盡的任務。

最早的布魯克林兒童博物館在 1980 年代針對周邊人口組成的改變，由兒童、青少年與家庭著手，除將己身資源回饋社區，更廣納居民參與各種活動與事務，成為社區增能的推進器。

資料來源：陳郁涵，兒童博物館的百年發展(博物館與文化，第一期，P35~60 (2011年6月)，Journal of Museum & Culture 1：35~60 (June, 2011))

兒童博物館是以兒童為主要的對象專為兒童所設置的博物館。在展覽內容、主題、深度、方式上，均以能傳達更完備的、更符合兒童心理特性與階段性需要之知識為主旨，提供兒童一個有趣的學習與活動空間。第一座為 1899 年設於紐約的「布魯克林兒童博物館」，而兒童博物館的活動型態有：1.團體探險、2.一般大眾活動課程、3.特別活動、4.社區兒童活動。(資料來源：鄧慧慧，2000 年 12 月，教育大辭書)



BCM 合影留念

布魯克林兒童博物館(BCM)原本於 1823 年還只是科學藝術博物館的一部分，但在 1899 年帶動兒童博物館風潮下，創設於紐約市布魯克林區(145 Brooklyn Avenue Brooklyn, NY 112)，初期以圖書館型態建館、並以推展生物與科學教育為使命；於 2005 年全面執行永續擴建計畫，更新後是紐約市第一座獲得全美綠建築協會(U.S. Green Building Council)認證具有”能源與環境設計領航者(the Leadership in Energy and Environmental Design ,LEED)的綠博館。(陳訓祥館長，2009 出國報告)



BCM 官網



二、美國 BCM 永續擴建計畫的 LEED 綠建築和台灣 NSTM 取得的舊建築物改善類綠建築網級標章之實地比較

經過二館實地研究比較，發現美國 LEED 由民間發起，同樣採取完工後自願申請認證，但更積極促進綠色經濟市場，也強調原始風貌之保留，特別對於再生能源之推廣與健康建材的多樣性細節不遺餘力，值得學習。

1. 美國 LEED 與台灣 EEWB 的差異

美國 LEED 領先能源與環境設計，是美國綠建築協會在 2000 年設立的一項綠建築評分認證系統，用以評估建築績效是否能符合永續性。

此套標準具有彈性已逐步修正，而適用建物類型包含：新建案、既有建築物、商業建築內部設計、學校、租屋與住家等。對於新建案(LEED NC)，評分項目包括 7 大指標，如下圖所示。

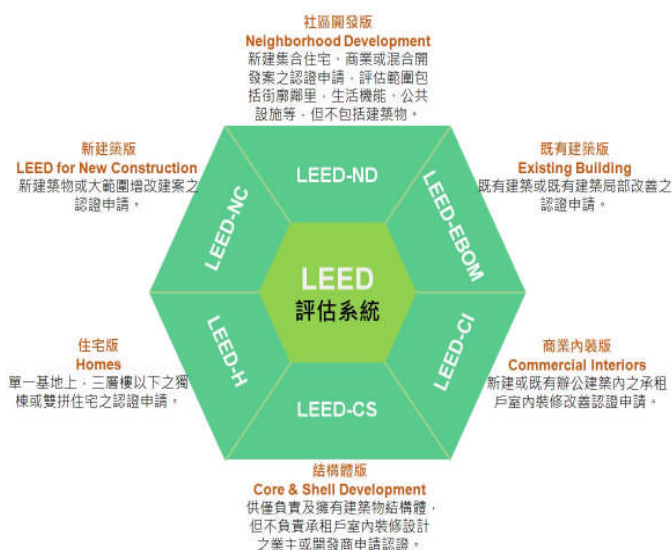
評分系統中，總分為 110 分。申請 LEED 的建築物，如評分達 40-49，則該建築物被 LEED 認證級 (Certified)；評分達 50-59，則該建築物達到 LEED 銀級認證 (Silver)；如評分達 60-79，則該建築物達到 LEED 金級認證；如評分達 80 分以上，則該建築物達到 LEED 白金級認證 (Platinum)。

(資料來源：維基百科-美國綠建築協會)

-  永續性基地開發(Sustainable Site)
-  用水效率 (Water Efficiency)
-  能源與大氣 (Energy & Atmosphere)
-  材料與資源 (Materials & Resources)
-  室內環境品質(Indoor Environmental Quality)
-  創新與設計過程(Innovation & Design Process)
-  區域優惠得分項目(Regional Priority Credits) –為特定項目加分



LEED 評分面向



LEED 適用建物類型

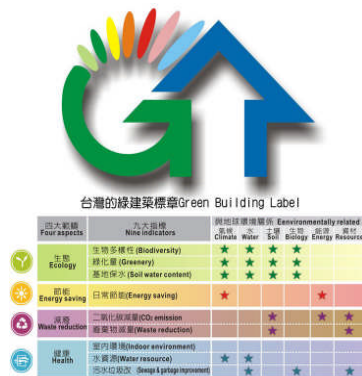
(資料來源：<http://www.enertek.com.tw/>)

台灣推動的綠建築標章 EEWH，係內政部建築研究所為鼓勵興建省能源、省資源、低污染之綠建築，建立舒適、健康、環保之居住環境，由財團法人台灣建築中心於 1999 年正式受理「綠建築標章」申請。

標章之核給須進行綠建築九大指標評估系統之評估，包括綠化量指標；基地保水指標；水資源指標；日常節能指標；二氧化碳減量指標；廢棄物減量指標；污水垃圾改善指標；生物多樣性指標與室內環境指標。

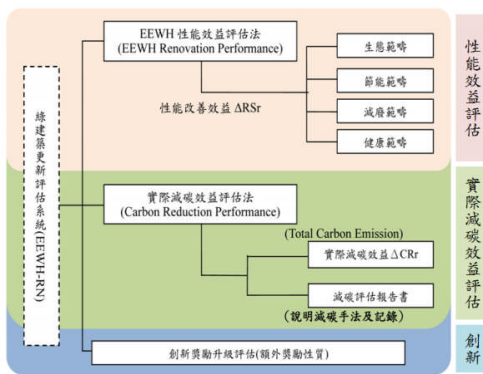
經綠建築標章審查委員會審查通過始可發給標章，評定為綠建築。藉此使綠建築達到為「生態、節能、減廢、健康的建築物」。

EEWH 後續也發展出家族適用對象，如 1999 年綠建築基本評估系統 EEWH_BC、2009 年生態社區評估系統 EEWH_EC、2010 年綠色工廠評估系統 EEWH_GF、2010 年舊建物更新評估系統 EEWH_RN。



四大領域	九大指標	設計值	基準值
生態	一. 生物多樣性指標	BD	BDc
	二. 綠化量指標	TCO ₂	TCOc
	三. 基地保水指標	λ	λc
節能	四. 建築外殼節能 EEV	EEV	EEVc=0.8
	空調節能 EAC	EAC	EACc=0.8
	照明節能 EL	EL	ELc=0.7
減廢	五. CO ₂ 減量指標	CCO ₂	CCOc=0.82
	六. 廢棄物減量指標	PI	PIc=3.3
健康	七. 室內環境指標	IE	IEc=60
	八. 水資源指標	WI	Wic=2.0
	九. 污水垃圾改善指標	GI	GIc=10

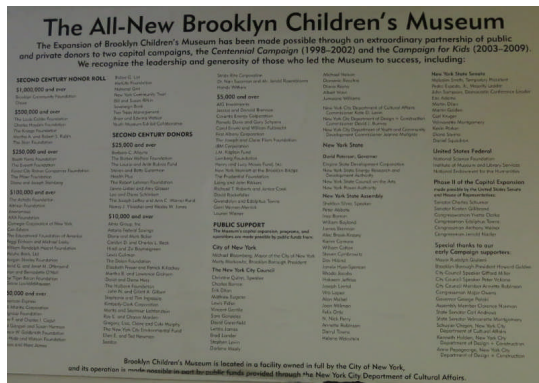
綠建築評估(EEWH-BC)分項指標



綠建築評估系統(EEWH-RN)之認證方式

依據 2005 年內政部建研所，針對台灣 EEWH 與美國 LEED 綠建築分級評估系統比較研究之報告，可知兩者不論從執行單位、認證流程、訂定與定量的指標內容層面，均因國情不同、建築市場主流趨勢不同，明顯存有差異，僅就兩地案例進行下述之比較。

2. 美國紐約 Brooklyn Children's Museum 獲得 LEED 銀級獎



感謝牌

紐約太陽報於 2008 年 6 月 18 日報導：建築師 Rafael Vinoly 設計的布魯克林兒童博物館，外覆 800 萬塊香蕉黃色的瓷磚，看起來像個閃亮的宇宙飛船，剛剛抵達到皇冠高地的地磚和褐砂石建築。當博物館 9 月重新開放時，其規模加倍達到 102,000 平方英尺，年服務量從 25 萬提升到 40 萬。

這項建設的預算資金，紐約市提供了 4,600 萬美元的資本資金，博物館從企業，基金會和個人以及州和聯邦來源籌集了額外的 2,800 萬美元，用於捐贈和新的計劃(如屋頂花園、藝術活動等)。



水仙黃色來源=周邊美國櫟木(秋冬樹葉)



榮獲 L E E D 銀級認證的布魯克林兒童綠博物館，高性能集成到擴展設計操作，大約每年可節省\$ 100,000 的能源，其內容包括下列項目，並登載於網頁 www.bcmgreenthreads.org：

- ✧ Natural Light(自然採光)_反光外牆瓷磚(800 萬片)，外牆和屋頂利用 R-20 和 R-30 絕緣，所有的玻璃 0.29 的 U 值(外牆平均熱傳透率 W/ m² · k) 和 0.49 遮陽係數指定，引進更多自然光線並減少熱能進入。

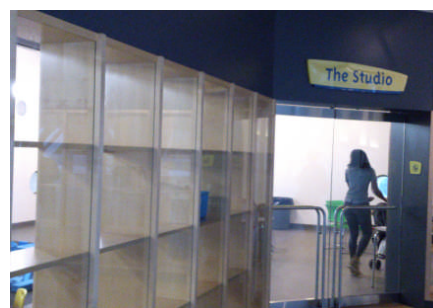




- ◇ Carbon Dioxide Sensors(感應空調)_自動 HVAC 控制
- ◇ Occupancy Sensors(使用標示)_偵測人體溫度或行動來控制博物館、辦公室及教室的燈光
- ◇ Daylight Sensors(感應調光)_調整特定時間所需的光度



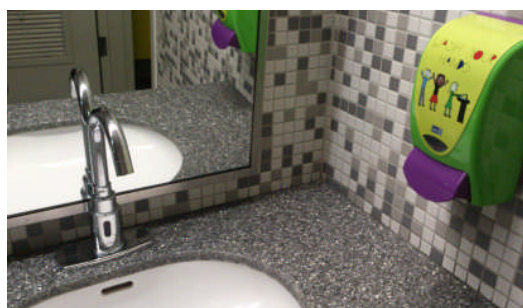
感應裝置



- ◇ Low-Flow Fixtures(節水裝置)_添加空氣、降低流量(面盆龍頭不超過 0.5 加侖)，以及免水小便斗(新科技產品)。



水霧



感應裝置



無水馬桶

- ◇ Geothermal Heating and Cooling System(地熱)_地下水層保持溫度在 57° F(約 14° C)，水源深度 340 英尺、供應速度達 300 加侖，採用熱交換系統同時回補地下水。大大提升能源的使用效益，且減低噪音及減少廢水處理。



◇ Solar Energy(太陽能光電系統)_PV 發電系統佔 4700 平方英尺，提供電力需求約占 2.5%(54000 千瓦)，與市電並聯。



◇ Renewable and Recyclable Materials(再生材料)_竹子、塑瓶、葵花籽殼、回收輪胎、回收軟木。慎選粘合劑，塗料，地毯，和複合木料製品，以盡量減少臭氣或潛在刺激性空氣污染物的排放。



竹材



布魯克林兒童博物館一直都注重整合各項最新的環境環保建築材料、系統及管理機制，所有建材都使用環保綠化材料，包括再生材料或回收資源等，同時博物館也將節約能源及環境保護融入相關教育課程，即使是日常的博物館清潔及垃圾處理，也都轉化為綠能源甚至是博物館的可再用器物，包括辦理生日舞會的餐盤、紙類用品等。(資料來源：教育部駐紐約辦事處教育組張佳琳)

該館展示組主管 Sharon Klotz 也在麥迪遜兒童博物館網頁的案例研究 (<http://www.greenexhibits.org>)一文中表示：「知名的過去重寫了未來」、「開始改變，走向綠色!」，擴建的建築本身代表著體現博物館使命和核心目標的價值觀的機會，透過董事長 Paul Gangsei、館長 Carol Enseki，對於擴建需求的「成熟度」與綠色「謙虛的承諾」，更逢 NYSERA 新單位與立法鼓勵對永續特徵的贊助項目，所完成的內容包括有：

- ◇ 氣溫控制功能，如地下水加熱和冷卻，隔熱採光玻璃和自動 HVAC。
- ◇ 包括太陽能發電板作為輔助電源，自動調光器和低瓦特數燈具電氣系統。
- ◇ 材料和器具選擇，如可再生竹，低流量水龍頭，當地和無毒的材料。
- ◇ 以社區為中心的方面，如安全的自行車架和淋浴，現場回收和堆肥，以及連接到公共汽車，鐵路，地鐵和自行車道路的標誌系統。

BCM 不僅獲得了 LEED 銀牌認證，更於 2002 年提案修繕與擴建所採用的綠色技術與可再生材料，獲得藝術委員會頒發傑出設計獎。



戶外標誌牌



影音媒體與座椅



綠能體驗展示





咖啡區



水遊樂區

3. 台灣 NSTM 國立科學工藝博物館獲綠建築標章銅級認證

國立科學工藝博物館(NSTM、科工館)，地下3層，地上8層鋼骨造，休閒、文教類建築，2014年以(北館)舊建築物空調設備改善工程，合計5年內空調改善後減碳效益比(並非 EEWB 性能效益評估法)，結果為減碳效益評估值 $\Delta CRr=11.21\% \geq 10\%$ ，符合綠建築標章分級銅級，獲得認證(有效期為3年)。

(一)5年內改善工程項目說明

年度項	改善工程名稱	內容簡述
2009-1	空調設備能源效率提升改善工程	北館空調水系統各泵浦，包括儲冰系統之一、二次側融冰泵，冰水機之冷卻水及冰水泵增設變頻器，改為變流量系統，依負載調變。
2010-1	蒸發式冷凝器汰換工程(IB-2)	原儲冰主機 (IB-2) 之蒸發式冷凝器，散熱盤管結垢嚴重，效能不佳，汰換為殼管式冷凝器、冷卻水泵、冷卻水塔(含增設變頻器)之組合改善整體設備效能。
2012-1	儲冰主機冷凝系統汰換(IB-1)	原儲冰主機 (IB-1) 之蒸發式冷凝器，散熱盤管結垢嚴重，效能不佳，汰換為殼管式冷凝器、冷卻水泵、冷卻水塔(含增設變頻器)之組合改善整體設備效能。
2012-2	儲冰主機之冷凝系統汰換及雜項改善工程(IB-3)	原儲冰主機 (IB-3) 之蒸發式冷凝器，散熱盤管結垢嚴重，效能不佳，汰換為殼管式冷凝器、冷卻水泵、冷卻水塔(含增設變頻器)之組合改善整體設備之效能；空調箱 (編號：C-9、C-10)，增設全熱交換器，減少換氣之能源損失。
2012-3	冷卻水塔汰換及	汰換二組效能已衰退之冰水主機之冷卻水塔，使整組冰水主機系統達到節能目的。

	電動閥增設工程	
2013-1	儲冰主機之冷凝 冷凝系統汰換工 程(IB-5)	原儲冰主機 (IB-5) 之蒸發式冷凝器，散熱盤管結垢嚴重，效能不佳，汰換為殼管式冷凝器、冷卻水泵、冷卻水塔(含增設變頻器)之組合改善整體設備效能。

(二)核算綠建築標章之基礎資料如下：

總樓版面積 $AF=\sum AF_i=$	89,781.78 m ²
總和用電強度統計值 $EUI_a=(\sum AF_i \times EUI_{ai}) \div AF=$	187 (kWh/(m ² .yr))
改善前總耗電量 TE (取自附表2-2)=	14,508,800 (kWh/yr)
實際用電強度 $EUI_t=TE \div AF=14,508,800/89,781.78=$	161.6 (kWh/(m ² .yr))
用電強度比 $EUI_r=$	0.86417
用電強度計算基準 $EUI_c=$	161.6 (kWh/(m ² .yr))
最大節能潛力 $CE_c = 0.44 \times (AF \times EUI_c) \times EUI_r$ $=0.44 \times (89,781.78 \times 161.6) \times 161.6 / 187=$	5,516,726

(三)改善後情形申請綠建築標章計算如下：

改善前建築碳排放量 CE_b (kg-CO ₂ /yr.)	$CE_b = 0.623 \times 14,508,800$ (2008年總耗電量) $= 9,038,982$
改善後建築實際碳排放量 CE_a (kg-CO ₂ /yr.)	$CE_a = 0.623 \times 12,372,800$ (2013年總用電量) $= 8,420,428$
最大減碳潛力 CE_c (kg-CO ₂ /yr.)	$CE_c = 0.44 \times (89,781.78 \times 161.6) \times 161.6 / 187 = 5,516,733$

綠建築標章評估結果：

評估等級	合格級	銅級	銀級	黃金級	鑽石級
評估得分	$5\% \leq \Delta CR_r < 10\%$	$10\% \leq \Delta CR_r < 14\%$	$14\% \leq \Delta CR_r < 17\%$	$17\% \leq \Delta CR_r < 20\%$	$20\% \leq \Delta CR_r$
等級判定	□	■	□	□	□

綜合上述說明，不難發現到美國 LEED 作為鼓勵推動具有功效，偏重於公共交通(如腳踏車、標示牌等)，崇尚再生能源，鼓勵捐錢購買潔淨能源，略有商業至上的趨勢，對於急需具體節電同時又要兼顧成本的小國困境是難以推廣的。而台灣的 EEWH 綠建築標章，從法制面由上向下落實，但缺乏實質獎勵，沒有性能驗證制度(如外牆隔熱新材料、地熱空調新科技等)，更沒有充分運用不同領域的專業優勢，例如博物館展示活動等，進一步扎根推廣，改變下一代教育。

三、 實地研究美國紐約布魯克林兒童博物館 BCM 係之能源使用和本館兒童科學園進行比較。

參考經濟部能源局委託財團法人台灣綠色生產力基金會節約能源中心，所編撰之「展覽館節能技術手冊」，分析各類展覽館用電量及用電特性。因展覽館(包含博物館、圖書館、美術館等)屬大型公共建築物，其主要以服務參觀民眾為主，空調設計需滿足不同觀眾之舒適性、照明設計需給予觀眾舒適感，另一方面又需配合展覽文物、書畫或藝術品以控制精確溫濕度、照度等。展覽館不但需提供舒適環境，更需考量節能績效，故創新有效的能源管理就彰顯其重要性。

所謂「兒童博物館」是專屬以兒童為出發點，強調境教空間與學習場域的重要性，理論上，幼兒教育的理念都以孩子為中心，配合兒童學習特質，引導孩子自主學習，尊重孩子個別差異與多元發展，引發體驗學習的好奇心，讓孩子樂於主動探索未知的世界、理解生活課題。實際上，必須注意到整體與個別的互動關聯，包含親子需求、社交衝突...等。

經實地研究布魯克林兒童博物館之能源使用和本館兒童科學園進行比較，發現除了兒童使用需求(多元與開放)與教育功能(親子引導、體驗、動手做)的空間節能安排外，需要更多使用者參與認同，同時達到能源教育的境教功能。

1. 建築物所在環境、功能條件、特殊需求，均影響實際能源使用情形

本次出國任務實際為進行「符合兒童參訪需用的能源供給之功能—館區電能控制系統性操作模組的研究」，原希望如同博物館學季刊第 23 卷第 4 期所介紹的德國慕尼黑動物學蒐藏研究中心(ZSM)，建立電腦控制新系統，以建築體(溫濕控制)及電力系統(汽電共生與地下水熱泵)雙管齊下，達成綠建築的目標。後來發現德國 ZSM 以蒐藏庫房空調為主，美國 BCM 以兒童觀眾服務為主，地域環境與使用條件有所不同，雖然均能達到年省 10 萬度(KWH)節能效益，運作上卻有極大差異。

有關實地比較兩地兒童博物館能源使用最佳化的研究，計畫以現有設施善項目為基礎，透過系統思維(Systematic Thinking)考量整體與個別關係，試圖從不同層面：(一)需求面(環境、法規、顧客條件)、(二)供給面(人力、技術、設備)、(三)實質效益(維護成本、教育意涵、環保代表)，進行比較與分析。

因為美國紐約與台灣高雄所在位置環境不同，經緯度與氣象統計資料(詳下列二表)，博物館所在地點之緯度決定太陽仰角、日照時數，會影響太陽能發電裝置與效益；所在緯度還可能決定地下水層常態之溫度，進而影響地熱空調之適用性。至於當地平均氣溫與濕度，更是展覽空間最重要的耗能裝置-空調系統的基礎因子，當然還有外牆隔熱與遮陽等重要關鍵技術。

表 5.美國紐約市_氣象站位置：北緯 40.6 度，西經 73.8 度

項目	期間	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均氣溫 (攝氏度)	1961-1990	-0.4	0.5	5.0	10.3	15.6	20.8	24.2	23.7	19.8	13.9	8.4	2.6

表 6.台灣高雄市_氣象站位置：北緯 22.4 度，東經 120.3 度

項目	期間	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均氣溫 (攝氏度)	1981-2010	19.3	20.3	22.6	25.4	27.5	28.5	29.2	28.7	28.1	26.7	24	20.6

(資料來源：中央氣象局)

2. 美國紐約布魯克林兒童博物館 BCM 的能源使用分析

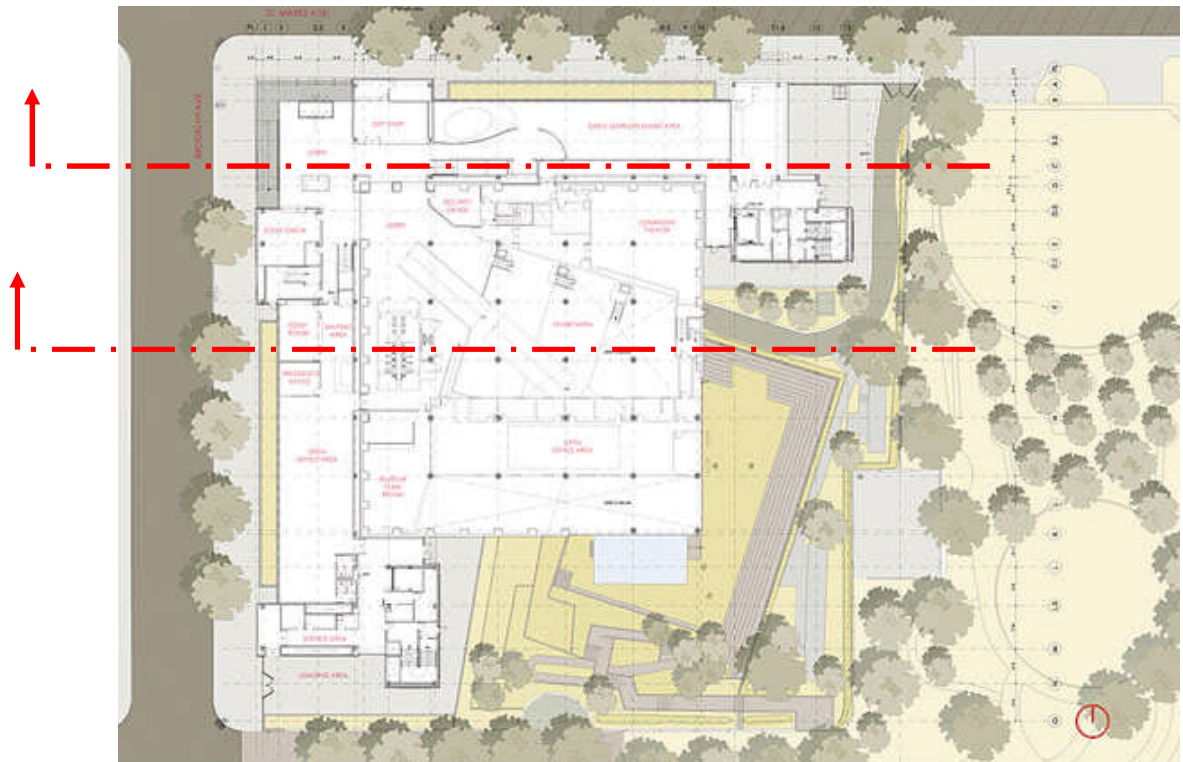
Mindy Duitz 於 1984 年接任 BCM 館長時，將博物館使命調整為「服務大紐約地區的家庭，並且反映多樣化的社群」，強調「己身」(self)、「社群」(community)與「大地」(earth)三者，做為執行研究、展示、教育的依歸，並以蒐藏為支援。

經過調查結果，發現來訪的觀眾大多為勞工階級與中產階級，有六成來自布魯克林(其中三分之一是博物館周邊的居民)，四成是曼哈頓都會區與遊客，且族群十分多元化。所以課程安排上為滿足上述多樣化的觀眾，並且期望能兼顧家長與孩子，區分為「公眾教程」、「學校教程」以及「課後教程」。

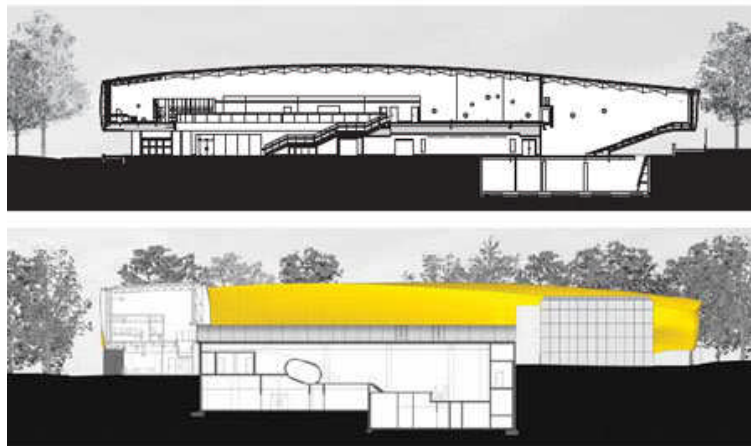
在歷經了一百年的演變與調整，使兒童博物館超乎傳統博物館想像，成長為以人為出發點、與社區兒童成長過程密切相關的教育機構。在 911 事件之後、2002 年年會之前，ACM 發表了一篇名為〈兒童博物館-變遷世界中的鎮民廣場〉(Children's Museums Thrive as New Town Squares in a Changing World)的聲明，讓兒童博物館的功能，在 21 世紀被譽為傳統連結人際網路的鎮民廣場。...資料來源：陳郁涵，兒童博物館的百年發展)博物館與文化，第一期，P35~60 (2011 年 6 月)，Journal of Museum & Culture 1 : 35~60 (June, 2011)

如同台南藝術大學耿鳳英教授在「懷舊與創新：21 世紀歷史展示新定位」一文中指出：「掌握人們念舊與懷舊的心理，並結合創新的構想與手法，緊緊抓住觀眾的心」。在新開幕的兒童博物館中，延續了原本教育理念與器材道具，我們可以發現豐富的藏品(包括機構、桌椅、玩具等)持續作為展示使用，不僅撈起家長的長期記憶，同時引導兒童新的探險體驗，思考多元面向(學習禮儀、藝術創作)或解決生活問題，例如異族樂器、化石仿觸摸、觀察蛇生態。





BCM 平面配置圖(資料來源：Rafael Vinoly Architects 建築師網頁)

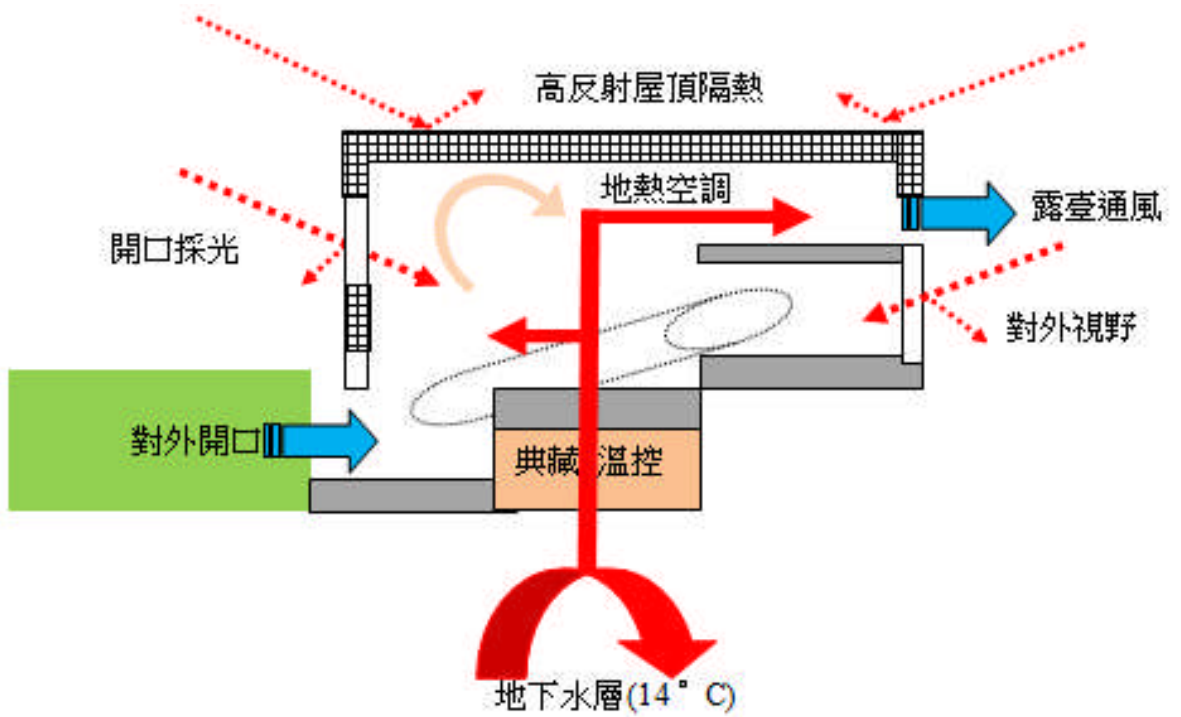


BCM 北向剖立面

如果從新構建築體的剖面，來檢討內部空間之熱流動向，可以發現整體挑高之大空間內藏分隔小單元，但沒有影響室內整體熱對流，可以達到「空氣層化」節能效果。至於需要恆溫恆濕的藏品區及養殖區，則設置於不影響風道的底層獨立空間。

建築師設計前高後低之通道與坡向，在乾燥的環境中利用流動的水槽(水也是能源載體)吸引人潮與帶動調節，連結底層溫室與二樓露臺兩側之開口，更可以補充新鮮空氣出入室內，當然孩童跑跳過程也會帶動空氣流通。

加上 2 個地下水泵利用恆溫(57° F 約 14° C)之地下水進行熱交換(採熱與製冷)，完成了「地熱空調」功能，再透過風管提供各樓層獨立空間運用，利用整體熱流循環保持全面舒適環境條件，是一個聰明節電的設計，讓人聯想到傳統石板屋的分析。但其中關鍵技術在於高性能之外牆隔熱、以及地下水泵加熱與冷卻系統，接下來再進一步分析節能材料與技術。



<布魯克林兒童博物館之空間熱流分析圖>

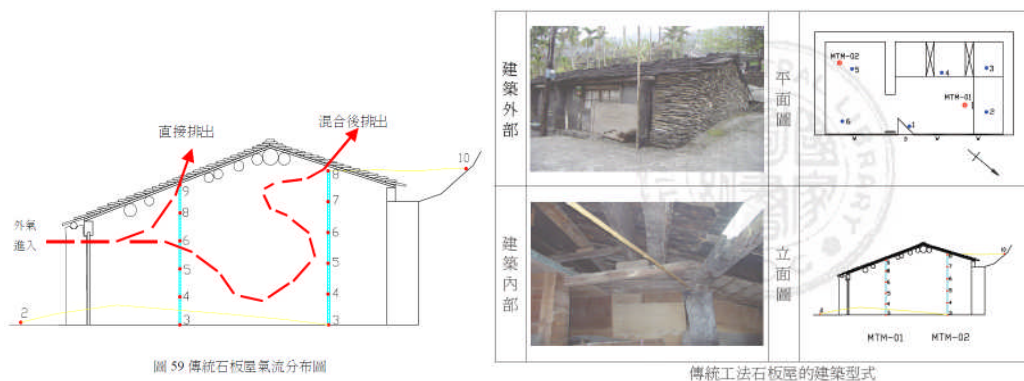


圖 59 傳統石板屋氣流分布圖

傳統工法石板屋的建築型式

(資料來源：孟懷東 2004，自然通風對北排灣石板屋居室溫熱環境之影響，樹德科技大學應用設計研究所:碩士論文。)

在節能材料選擇方面，也是 BCM 獲得 LEED 重點之一，就是屋頂與外牆採用高反射面磚與塗料，設計採用品牌 LATICRETE 系統材料(獲得 GREENGUARD 認證的產品)，一種革命性的新型漿料與 810 萬片 1”x1”馬賽克瓷磚，在砂漿床上也增加了另一層保護的 LATICRETE 9235 防水膜，不僅強度高，顏色均勻性和防污，更支持壁體流線曲體，而且保固 10 年。雖然建造成本較高，但後續營運費用可獲得節省，比較特別的是為了環境平衡的「高性能設計」評估，設計單位透過複雜的計算程式模擬外殼造型與建築型態的能源情形，大大的降低室內用電負荷。(資料來源：<https://laticrete.com> 網頁資料)



(資料來源：Rafael Vinoly Architects 建築師網頁)

相關綠色設計資料，可以透過美國綠色建築委員會網站 www.usgbc.org，像 BCM 創新型的「地熱採暖與製冷系統」，不但利用潔淨的天然能源(地下蓄水恆溫特性)，高效率的提供所有的熱爐、通風與空調的需求，減少石化燃料的空氣汙染與碳排放，更無須設置大型機具設備(如空調機或冷卻水塔)，大幅降低噪音與震動對周邊社區環境的影響。當然地下水層恆溫定量的供應是重要關鍵，如同皇后植物園相同，BCM 籌建過程中認真探測地下水，考慮地下水採集與回補的穩定性，地下水井一直嘗試許久才終於達到穩定的水源流量，這個過程也提供了小朋友學習認知堅持努力的重要性。(資料來源：Paul Pearson，2003ASTC 文章)



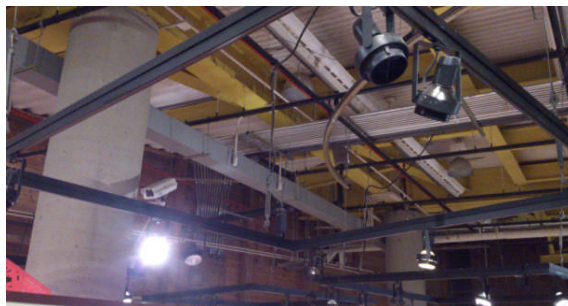
送風管

由能源使用角度觀察，可以發現到利用不同燈具功能(節能、照明、保溫等)進行引導，孩童周邊的不同材質觸感引發探索興趣，更利用顏色拼圖或角色扮演道具，這些都必須在適當的溫度、濕度、光線、通風換氣等條件下被支持而進行。



典藏庫

我們從兒童所需要的角度來看，寬敞而明亮的空間、溫軟柔軟的設施、舒適的溫濕度、吸引目光的有趣裝置才是重點。在 BCM 展廳現場還是可看到博物館必需的基本裝置，如不同的照明器具(LED 燈、複金屬燈)、各種保溫觀察箱、獨立空間控制溫濕度、互動展示與影音媒體等用電需求等設施，但是透過電腦氣候控制系統，可進一步減少能源的浪費，BCM 採用了複雜的二氧化碳與使用標示傳感器，提供用電監控顯示。還有一定數量的定時自動調節通風與採光控制，以及太陽光電電池供應室內照明系統。

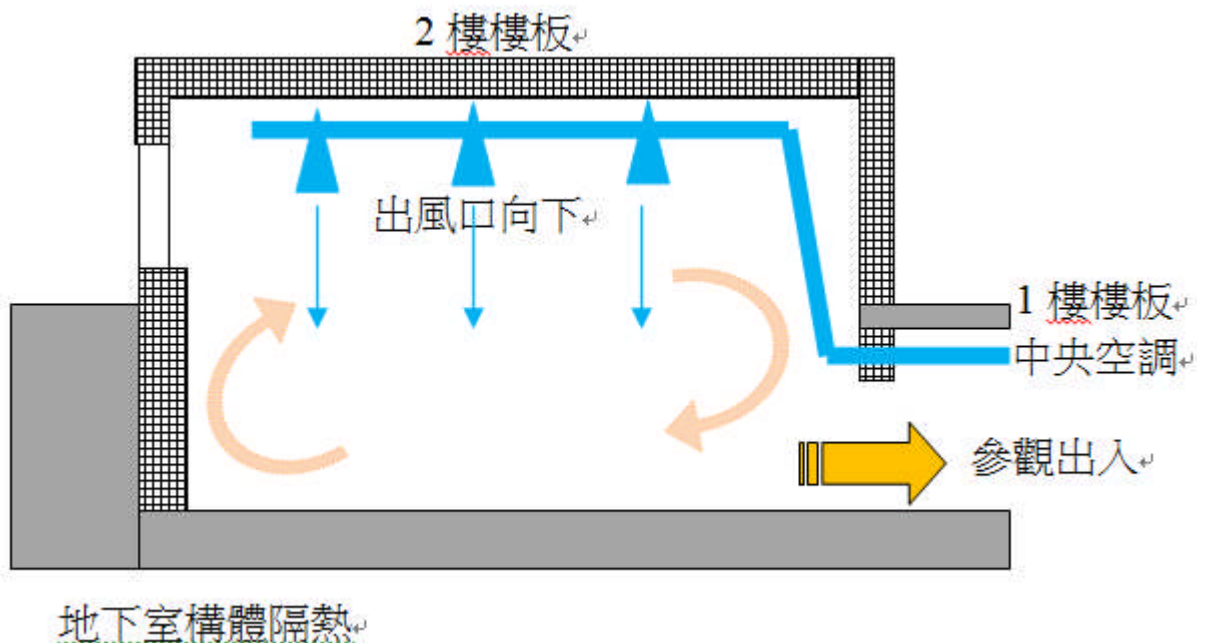


天花板燈軌與燈具



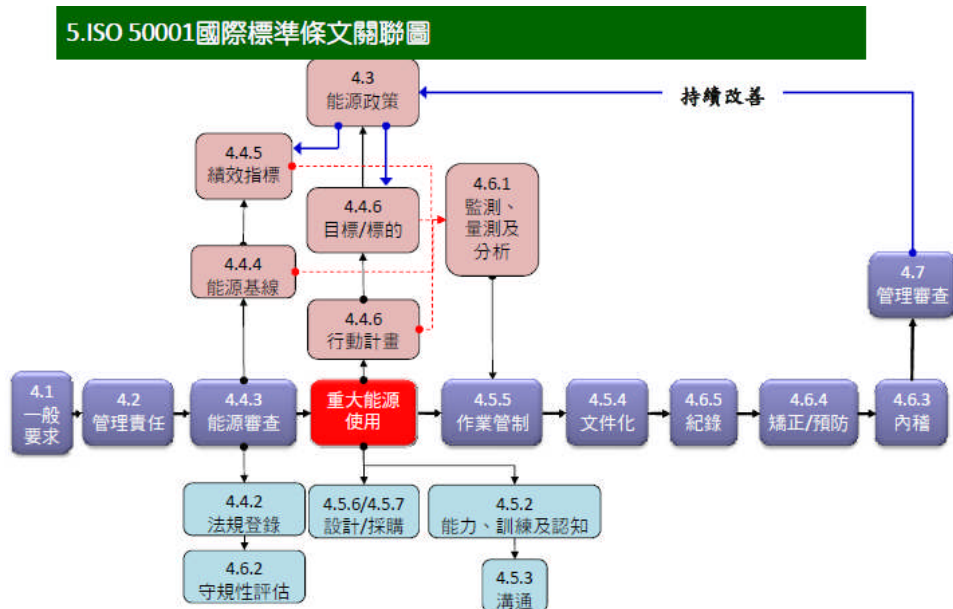


從空間熱流的檢討可以參考下圖，單一出入口，同樣挑高空間，展示品可以爬上鑽下，很多單一獨立展品與小空間，屬於地下一樓所以沒有屋頂隔熱問題，但是需中央空調提供適當品質之冷氣，可惜空調管線沿天花板設置，出風口高達 6 米多向下送風，全區降溫後才能到達人群附近，明顯耗能。室內熱流之循環為封閉型態，全部依賴空調系統調節，加上水區周邊潮濕與水漬汙染，容易造成人潮集中時溫度不適宜之疑慮，特別是例假日人潮壅擠時發生，這與美國 BCM 不同，即使是銀行贊助的固定免費時段(但團客不優惠)，依然沒有很多人潮壅擠現象。



<科工館兒童博物館-夢想號之空間熱流分析圖>

綜合上述比較分析，可以發現到在硬體技術方面，各有獨特改善方案，BCM 採用綠色新科技如地下能源與隔熱材料，NSTM 將高達 70% 耗能之空調設施改良並精緻化檢討，兩館都有利用感應裝置進行用電監控管理，在一般展覽館場域的用電分配中，仍以空調(供熱或送冷)為主要項目(超過 50%)，許多能源管理系統工具的運用如 BEMS、ISO50001、IEN，已將「溝通」納入系統中檢討，成為國際的趨勢。



<科工館導入 ISO50001 能源管理系統>

很重要的是使用者的需求與配合度，成為用電管理最佳化的盲點，美國 BCM 取得 LEED 標章後，將大眾所不熟習的綠色科技製作成網頁與互動展覽，更納入相關體驗活動與課程中，提供民眾深入了解。

最佳化(Optimization)是在一個有許多限制和條件相互衝突的環境下找尋一個最合適解決方式的過程。因此最佳化是一個複雜度和解決結果好壞的平衡點；最適當的答案表示最好的妥協。

在實際應用上，改進是相當重要的。甚至連極微小的改進都非常值得的。即使絕對的最好解答無法被找到，一個跟這個答案相當接近的解決方案對原本的問題也有相當多的改善。例如降低下吹出風口高度或更改為側吹型態、利用空氣層化節省挑高空間的能源損耗、適當的通風換氣與循環對流，都可能是小小改善，大大提升的最佳設計。

而所謂的能源最佳化設計，主要強調系統中的適當性與平衡點，以往採用節能設備及用電監控技術，現在已漸漸趨向順應環境常規模式，以及重新教育使用者認同的新方向，所以針對兒童使用之博物館能源最佳化研究的重點，不只從硬體設備與軟體技術檢討缺口，更延伸到使用者的認同配合，以及新興科技(高性能、環境科技、永續設計...等)的運用，才能邁向真正的永續目標。

四、美國紐約布魯克林兒童博物館進行全面改造，以綠能源為首要考量，和本館推行綠博館永續方向進行比較。

「綠博物館」就是指一個博物館將永續的概念融入各項館務之運作，包括展示、教育活動、蒐藏和建築體之利用與維護等層面。

美國博物館協會在 2013 年起草一份名為「博物館、環境永續及我們的未來」的政策白皮書，希望能建立博物館永續經營的標準與評量指標，而所謂博物館永續標準包含綠建築、景觀管理、蒐藏管理、財務管理、以及館員、觀眾、社區及國際有關的永續議題(American Alliance of Museums, 2013)

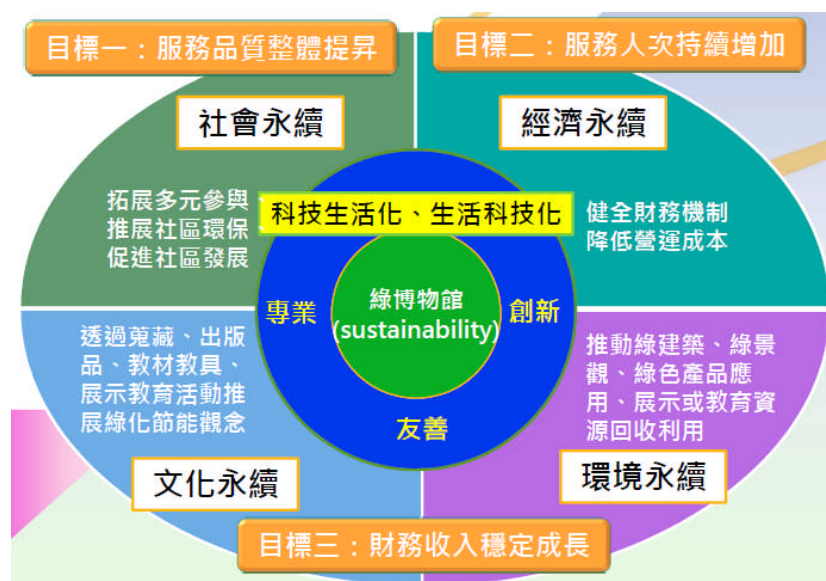
(資料來源：王啓祥，2015，博物館的永續經營：美國舊金山兩座綠博物館的實踐經驗，臺灣博物季刊 34 卷第 1 期)

綠博物館之理念與實務運作

理念	實踐方式
能源效益	綠色辦公器具
有效空調節能	綠色清潔用品
回收	LED照明、CFL節能燈照明
降低能源使用	自然燈光
資源回收	原始景觀
有效的廢物流處理	節水衛浴設備
複合材料	綠色屋頂牆壁
綠色食物供應	歷史保存
綠色商品販賣	鼓勵綠色交通
能源之星器具	綠色教育
綠色建築和技術	綠色展示

(資料來源：Byers, 2008: 48)

綠博物館已經成為現今博物館營運發展之趨勢，也是博物館對員工、社會和整體環境體現其社會責任的具體作為，不僅有助提昇博物館自身形象，其產品及服務還能獲得社會大眾更大的認同和支持。(張秀娟、陳訓祥，博物館學季刊 24 卷 4 期)



<科工館綠博物館願景圖>

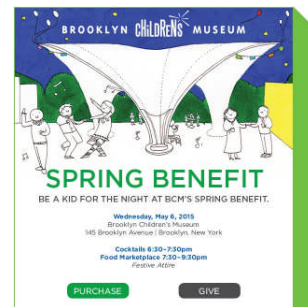
科工館綠博物館的推動，希望能透過觀念與行動的改變，讓博物館的營運管理與教育活動，邁向永續與環保、健康的目標，當然包括環境、經濟、社會與文化面向，其中更含括綠建築、綠社區、綠色採購、永續(綠)設計、綠色教育等細節，以邁向「全民實踐綠生活、闔家樂遊綠博館」的理想。(資料來源：葛子祥，科工簡訊 2010)

自 2010 年起推動綠博物館，執行各項子計畫施行細節，並依據環境面、社會面、文化面、經濟面等四面向，訂定了 2013 年至 2017 年 5 年計畫期程預計達成之績效指標分別為：

- ◇ 環境面：5 年後本館可達既有建築物符合綠建築之評核項目及標準。
- ◇ 社會面：顯現社會民眾對本館之參與支持，每年本館服務人數增加 2 %。
- ◇ 文化面：顯現本館服務品質之觀眾滿意度，每年維持 90% 以上。
- ◇ 經濟面：2012 年開源收入金額為基準，5 年後增加金額達 10 % 以上。

現階段除上述目標陸續完成之外，更擴大辦理「科工平安燈」點燈傳愛偏鄉公益扶弱活動計畫，結合社會企業與善心人士共同關懷弱勢，105 年更加入地方政府與民意代表，還有捐贈食物的義舉，有助於提升推廣綠博物館觀念。

至於美國紐約布魯克林兒童博物館進行全面改造，恰逢紐約市推動建築節能措施，獲得高額補助。開幕後，更建設屋頂花園，將社區活動與綠色餐飲納入推廣，博物館真正成為社區的活動集會場。



另外，因為累積超過百年的社區與兒童服務能量，以致遠近知名更新支持度充足，可以脫離舊殼以嶄新面貌呈現，首先以綠博物館方向為考量，創新的能源方案是利用太陽能、外牆隔熱、地下水泵，和本館推行綠博館的永續全面方向不同。

綜合上述的分析比較，發現到從綠博館永續方向而言，其中專業的技術創新與高性能設計影響重大，也需要更多的外力支持與協助，才能永續推動。

肆、結論與建議：

一、博物館演化成爲社區中心：

經過許多天的參訪與考察，可感受到美國生活文化的差異，也得知布魯克林兒童博物館面積規模雖不大，但主題多元、對象明確，教育特色在於生活化與多元化的幼童學習。經歷百年過後，重新以綠建築之姿態出發，進一步邁向社區服務之重點(如社區集會中心、救助輔導站)，獲得廣大迴響，值得本館未來發展參考。

二、堅持自己訂定的需求服務：

所謂的品質來自於不必要的堅持，世界首創的兒童博物館，發展歷史悠久，但仍以兒童爲中心的堅持，落實兒童教育與社區親子服務之目標持續不變。在如此複雜多變的環境中，哪些是需要保持的重點，又有甚麼需要配合改變，涉及到博物館使命宗旨與價值定位的調整眼光。近年來，科工館一直以綜合型博物館自居，雖然實事求是與細步經營值得大力讚許，如果希望建立歷史價值，還必須訂定更明確之中心思維，繼續堅持下去。

三、綠色推廣需要尊重專業：

雖然透過綠色改造行動，可以讓民眾了解能源與環境議題的教育目標，其中經費需求與執行細節上，對於專業的協助以及跨越不同領域的整合功效，可能成爲未來的重點。布魯柯林兒童博物館就將綠建築成果納入綠色展示，同議題的活動整併社區綠色成果(如生日 PARTY 與有機蔬食)，這一切都需要拋棄各自立場，以專重專業爲出發點，進行整合推廣，提升整體競爭力。

四、爭取更多的認同與奉獻：

建議超越到館人數、門票收入或得獎榮耀之年度目標，需要更紮根的落實基礎服務與觀眾研究，爭取不同層面的長期認同與忠心奉獻。當時間拉長到百年以後，還有多少民眾願意出錢出力幫助博物館重新整頓，那就是最重要的累積資產，所謂「十年樹木、百年樹人」，一個小小孩的當下心願，將會成爲未來創造奇蹟的根源。

伍、致謝

- 一、 首先感謝毅然遁入空門的前任技正洪順成，幫忙爭取到的出國機會。
- 二、 其次，2016年在地震與颱風災損連連，秘書室業務繁忙情況下，仍組合不同特質的研究人員與專業技正共同前往研究，感謝大家的幫忙。
- 三、 感謝過程中幫忙的友人，還有單位同仁的配合暫緩休假。最後要感恩老天，出國期間一切都平安。

陸、參考資料：

1. 布魯柯林兒童博物館，2016，官方網頁：<http://www.brooklynkids.org/>。
2. 布魯柯林兒童博物館之綠色學習網，2016：www.bcmgreenthreads.org。
3. 布魯柯林兒童博物館之教學指南專網：<https://teachgreenbk.wordpress.com/>。
4. 麥迪遜兒童博物館之綠色展覽專網，2016：<http://www.greenexhibits.org/index.php>