

樹立國內高等教育綠色機房典範

國立聯合大學資料中心

前言

近年來雲端運算的興起，掀起校園資料中心的新一波改革浪潮，資料中心作為校園資訊傳播的中繼站，在校園e化的時代中，扮演著舉足輕重的角色。一座新世代的校園資料中心，除了要求高穩定、高效率、可擴容，更要強調綠色環保，這對供電、空調、機櫃乃至於資料中心管理系統都有特別高規格的要求。

根據Gartner調查研究指出，企業或組織的資訊長 (Chief Information Officer, CIO) 所面臨的機房基礎架構前三大挑戰當中，不令人意外的，資料量的成長 (data growth) 位居第一位，除了呼應著當前大數據 (Big Data) 的熱門趨勢，也引發其他的機房管理挑戰，諸如系統效能、可擴展性、以及居高不下的電力與空調成本等等 (如圖1)。如果從能耗的觀點出發，根據研究顯示，機房和一般辦公室相比，機房的能耗可以高達辦公室的100倍之譜，而大學院校做為培育高等教育人才的搖籃，如果能夠率先打造一座實現「有感節能」的高等教育資料中心，則更具有學術界的指標性意義。本文將以國立聯合大學綠色機房為例，分享該機房的設計理念、實施手法以及最終成效。

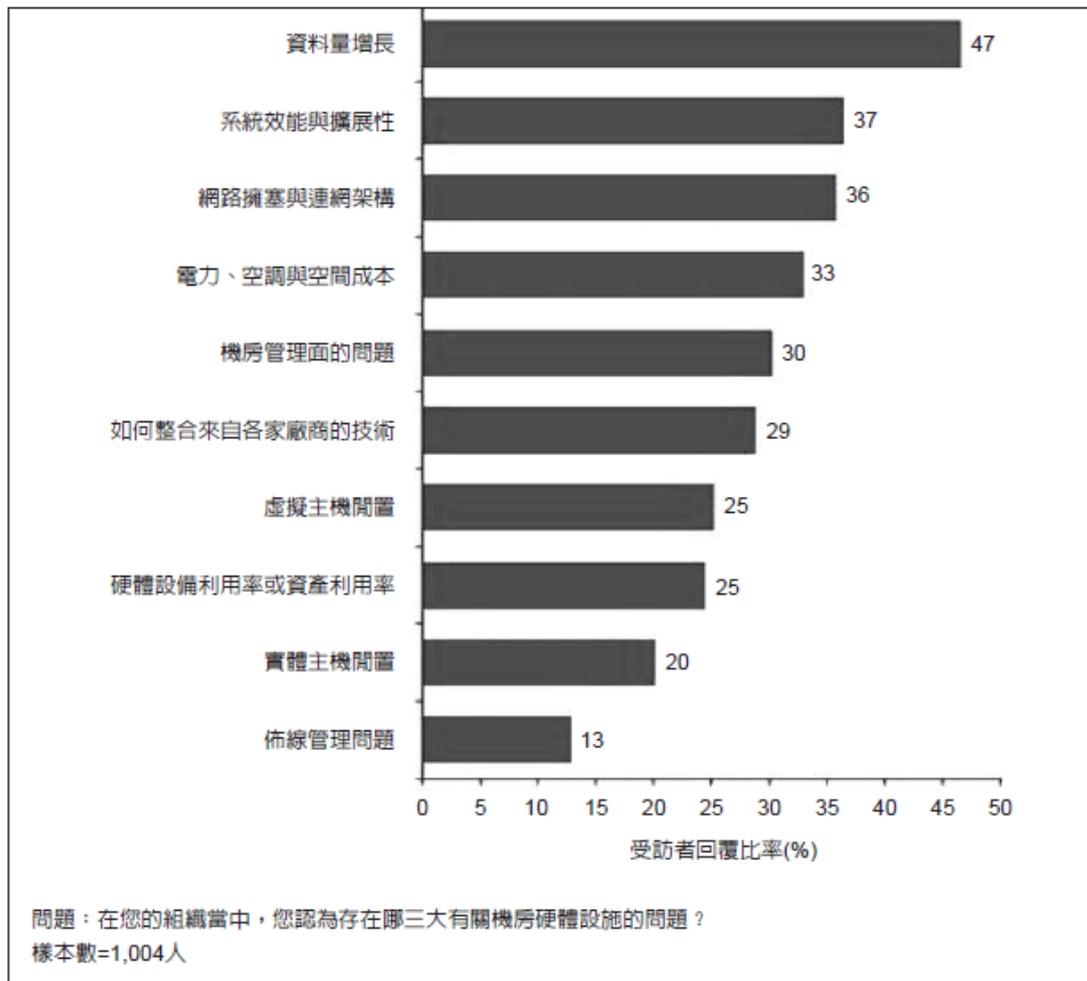


圖1 CIO所面臨的機房基礎架構前三大挑戰，Gartner，2010

新機房建置的初衷與使命

位於台灣中部的國立聯合大學，學生人數超過八千名，是一所教學、研究並重的綜合大學，未來將有兩個校區，總共約77公頃的建設，而原本位於第一校區的舊機房，隨著系所規模與學生人數的成長，早已不敷需求。

新機房建置目標：全面節能減碳

隨著圖書館的數位媒體典藏日益增加，使得資訊中心的角色份量愈來愈吃重，聯合大學決定將「圖書」與「資訊」合而為一，並思考如何在第二校區的

全新圖資大樓，以綠色環保的概念來建設這座新的資訊機房。整體而言，此機房的建置目標有：

1. 提供師生安全、穩定、可靠的資訊服務 (ISO27001)
2. 建構節能減碳機房，年平均PUE值1.6 (ISO50001)
3. 期望爭取成為綠色大學及『溫室氣體減量示範大專院校』
4. 示範機房：成為全國大專院校院節能減碳機房的領頭羊
5. 展示機房：尋求廠商及各機關的贊助
6. 宣傳效果：增加學校曝光機會

「為了配合政府機關及學校將『全面節能減碳』的措施落實到校園內，爭取推動聯合大學成為一所綠色大學及『溫室氣體減量示範大專院校』，我們大力支持這項計畫，在本校第二校區的圖資大樓六樓，將資訊中心機房建設成一座綠色節能機房。」國立聯合大學校長許銘熙博士分享當時機房建置的願景與初衷。援引法條來看，依據行政院97年6月5日通過「永續能源政策綱領」暨行政院98年12月16日院臺經字第0980077778號函頒修正「政府機關及學校全面節能減碳措施」，對新設或增修電腦機房，有以下幾項原則：

1. 新設或增修電腦機房，建議採用冷熱通道氣流模式，以降低冷熱空氣混合比例，減少空調用電。
2. 電腦機房機櫃的入口溫度應介於20~25°C之間，相對濕度應介於40~55%之間。
3. 電腦機房之不斷電系統應裝置適當容量或選用模組化設計辦理。



圖2 第二校區圖資大樓外觀，考量門禁管理的需求，將新建機房規劃於六樓頂層

設定目標在PUE 1.6以內

作為衡量機房能源使用效率的指標，PUE (Power Usage Effectiveness) 的定義是：

$$\text{PUE} = \text{資料中心總用電} / \text{IT設備用電}$$

聯合大學新建機房以年平均PUE值1.6為目標，並且有機會直逼黃金級機房PUE 1.43的高水準（如表1），大幅超越教育部針對部分國立大學量測的PUE平均值2.99，這個標準在不採用自然冷卻（free cooling）的條件下，是個難度相當高的挑戰。

Benchmark	DCiE	PUE
白金級	> 0.8	< 1.25
黃金級	0.7-0.8	1.25-1.43
銀級	0.6-0.7	1.43-1.67
銅級	0.5-0.6	1.67-2
一般	0.4-0.5	2-2.5
不節能	< 0.4	> 2.5

表1 The Green Grid整體能源效率量測等級

原有機房問題叢生

以聯合大學一整年的電費支出，資訊中心就佔了20~30%，費用相當可觀，建立綠能機房實在是當務之急，聯合大學電子工程學系副教授暨資訊中心主任陳榮堅表示說：「位於聯合大學第一校區的舊機房，採用的是傳統的上送風空調，而且機櫃擺設又採取『前胸貼後背』的方式，機櫃後方正對著另一組機櫃的前方，衍生出冷熱混風的問題（如圖3），而且機櫃內的佈線雜亂無章，簡直像瀑布一樣壯觀（如圖4），更導致氣流管理成效不彰，機櫃進風口溫度不穩定，無法有效降溫，最終的結果，不但使IT設備容易熱當機，也造成空調系統耗能嚴重，增加無謂的電費開銷。」

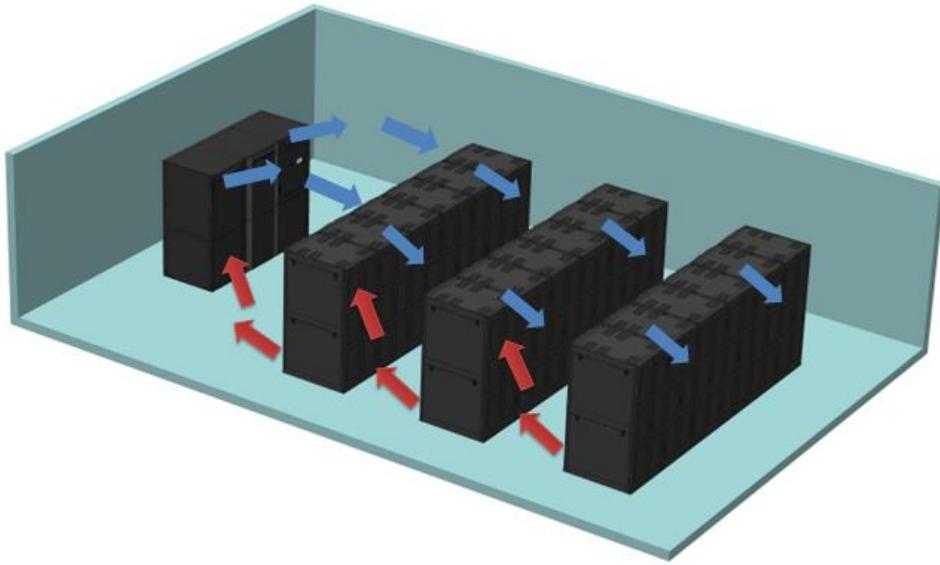


圖3 第一校區舊機房的機櫃擺設與傳統上送風空調，衍生冷熱混風問題



圖4 舊機房的機櫃佈線雜亂，也是扼殺空調效率的元兇之一

為了徹底擺脫舊機房沉重的歷史包袱，聯合大學與廠商充分溝通之後，採取了有別於傳統的機房設計與施作手法，改用高效能與模組化的機房基礎設施解決方案，往綠色機房之路邁進一大步。

新機房建置與改善手法

聯合大學綠色機房專案範疇

聯合大學機房建置專案，包含有：新圖資大樓資訊中心電腦主機房與代管機房的基礎設備建置，具體的項目有：

1. 高架地板500型建置
2. 伺服主機機櫃、電源管理器
3. 資訊設備操控系統 (IP-KVM)
4. 機房不斷電系統 (UPS)，資訊電力配置
5. 機房空調冰水主機、精密式機櫃空調系統建置
6. 機房光纖主幹建置、UTP CAT-6主幹配置
7. 機房環境監控系統建置
8. 全自動消防滅火系統建置
9. 防火隔間、門禁、監視系統建置
10. 電腦教室安全設備建置

新機房設計原則

電腦是高度精密的尖端設備，並非一般辦公OA設備或事務機，絕對不是在一般環境下就可使用的設備，因此，在建立機房的初期，場地的規劃設計是十分重要的。一座優異的機房規劃，將有助於機房應用上的無謂修正減至最低，也唯有以最恰當合宜的規劃，才不致於造成人力、財力與時間的浪費，並能讓日後機房維運成本大幅降低。聯合大學綠色機房規劃的方向有：

1. 能延長使用壽命
2. 優化的效能與節能
3. 可彈性擴充的先進設計
4. 符合ISO 27001資安要求
5. 系統化的訊息掌握
6. 考慮啟用後的維運管理

創新思維：對內的服務單位也可以是對外的營運單位

聯合大學機房在校園中所扮演的角色，主要在於對內提供服務，支援教學研究，提供電腦相關軟硬體、校務行政電腦化、校園網路服務、技術諮詢與推廣訓練等相關業務，改善校園資訊環境並加強學校行政資訊化。另外還有單一認證帳號密碼管理與 LDAP 及 AD 主機維護、全校教職員生電子郵件主機管理與維護、網路資料夾主機管理與維護、雲端電腦教室主機管理與維護、虛擬主機平台管理與維護、ISMS相關事宜。

一般的企業機房通常預設只對內部單位提供服務，但聯合大學的思維有別於傳統，其資訊機房也可以從對內的服務單位，轉換為對外的營運單位，也就是說，新建機房在對內服務之外，如果有資源的餘裕，也可以對外提供服務，為學校增加額外的營收。基於這樣的想法，聯合大學在一開始就把實體空間分開，雖然新建機房位於同一層，但區分為兩個獨立的房間，一是資訊中心的主機房，另一個是代管機房 (colocation)。代管機房未來將代管資訊中心以外的伺服器，只要校內各部門或單位有代管需求，資訊部會將其設備放置在代管機房中。或者，如果其他機關組織與企業有租賃需求，代管機房的資源也可以對外釋出開拓企業租用的商機，可說是具有相當高的資源運用彈性與內部創業精神。陳榮堅主任指出，考量未來電費區分以及管理的便利性，代管設備與主機房在空間上就直接分隔，雖然是位於同一層樓，但是各自不同房間。如果不含操作室以及電力系統，主機房大約六十坪，代管機房則是三十坪左右。

聯合大學綠色機房各子系統方案與設計特點

聯合大學資料中心建置有：電腦主機房、代管機房、八間電腦教室安全設備，容納該校資訊設備操控系統與光纖骨幹等關鍵設施，並且由一系列的系統整合方案守護著這些關鍵設備：

1. 模組化不斷電系統
2. 精密配電櫃
3. 機櫃式精密空調
4. 熱通道封閉技術
5. 模組化機櫃

6. 資料中心管理系統 DCIM (Datacenter Infrastructure Management)

高效可靠的模組化電力系統

聯合大學採用模組化不斷電系統 (如圖5)，其特點有：

- 可以根據實際需求彈性擴充，避免初期設備閒置的狀況
- 其「輕載高效」的特性，使UPS在15%低負載率的情況下，仍然可以達到整機90%高效率，一旦負載率超過40%，更可以上看94%的高效率，每個月都能為學校省下一筆可觀的電費支出
- 透過兩套不斷電系統並聯冗餘 (redundancy)，使電力可靠度等級達到Tier2的水準



圖5 模組化不斷電系統，具有高彈性隨需擴容的能力

此外，精密配電櫃的斷路器也具備熱插拔與擴充設計，不須停機，隨需擴展，由於能夠偵測各輸出迴路電力數值，有助主機代管業務的發展，除了服務校內各單位，也可以開放給校外機關與企業，發展成企業租賃的新興營運模式 (見圖6)。



圖6 精密配電櫃可偵測各迴路輸出，有利於主機代管業務的發展

氣流管理新主張：機櫃式空調與冷熱通道隔離

根據IDC研究調查，「機房空調與能源效率」是IT基礎設施的最主要問題，一般機房的空調能耗大約佔總能耗45%，由此可見，若要有效率地使機房節能，就必須從最大的耗電元凶「空調系統」來下手，如何透過高效節能的機房空調來達到節能減碳的目標，是機房建置的關鍵挑戰之一。

聯合大學的舊機房並沒有冷熱通道分離的措施，冷熱混風情況嚴重，機櫃進風口溫度不穩定，容易造成設備熱當機，並導致空調系統耗能增加。新機房則透過以下手法，大幅改善空調效率：

1. 機櫃配置改善，建置冷熱通道分離，消除傳統機房冷熱混風的現象，選擇「熱通道封閉技術」將熱空氣封閉在熱通道之內。
2. 傳統的房間式空調（RoomCool）採用上送風或下送風，而新穎的機櫃式空調（RowCool）則是安裝在兩只機櫃之間，提供均流的水平送風，針對某些高功率密度的機櫃，能夠縮短送風路徑，就近消除熱點，冷風直接被機櫃吸入，損耗最少；同時，智慧節能的設計細節如 DC 無刷直流風扇自動轉速設計，可以依據機櫃負載率的變化自動調節風速；此外，三通閥可做冰水流量控制，亦是空調節能的功臣之一。

3. 搭配使用蜂巢式門板設計的模組化機櫃，通孔率高達 70%以上，具有基本的自散熱能力，進一步優化了空調冷卻效果。

根據計算，冷氣調高 1 度可省電 6%，在這前提之下，RowCool 出口溫度可以設定在 22 度，比下吹式空調出口溫度 18 度還高出 4 度，因此可省電達 24%。

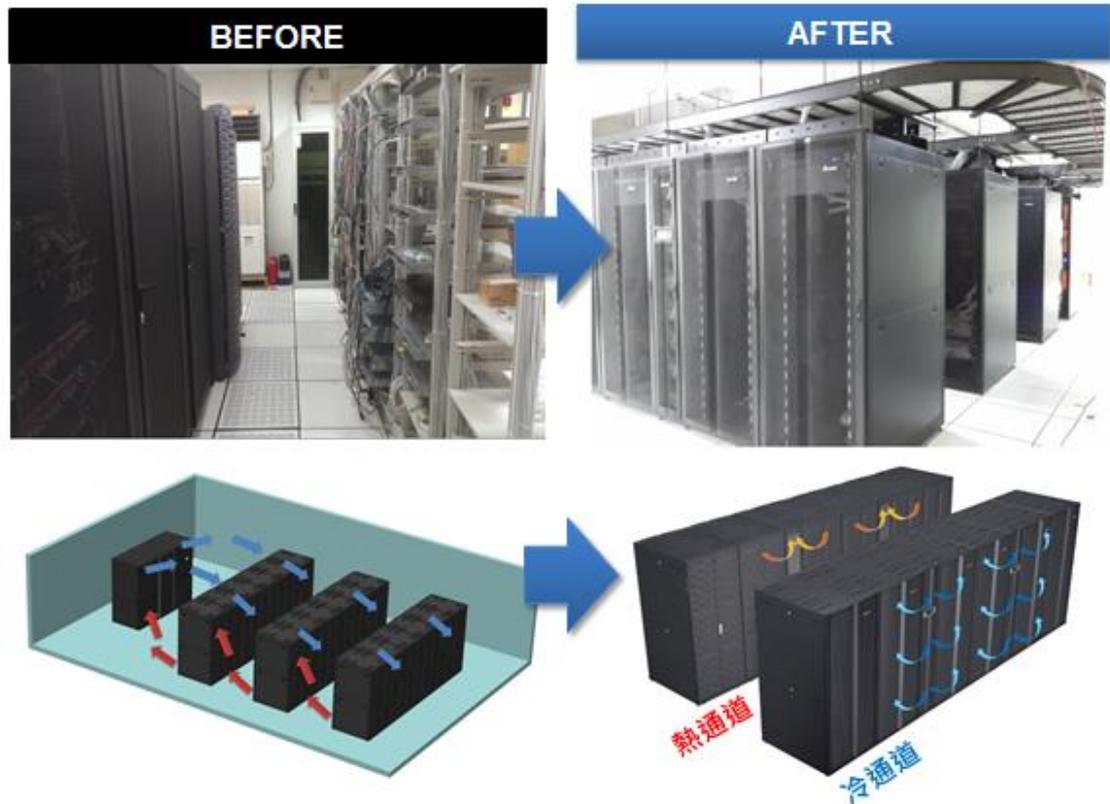


圖 7 空調系統改善前後比較，改善後杜絕冷熱混風現象

頂天立地的高防震機櫃

有別於舊機房的機櫃「前胸貼後背」傳統配置對機櫃氣流管理造成不良影響，新機房導入模組化機櫃與理線槽等配件，使線路排列整齊劃一（見圖8），不但美觀，實質上更優化了空調製冷效率。此外，機櫃的蜂巢式門板開孔率高達70%以上，形成超高的自散熱能力，搭配機櫃式空調來使用，能使空調效率

發揮得更加極致。



圖9 機櫃的小配件大管理：佈線管理的大幅改善

另一項設計巧思，是考量到機房地處台灣西部地震帶，所以防震措施特別採用「頂天立地」設計，在機櫃上下方以及高架地板下，都有支架固定(見圖9)，為機房的防震基礎提供雙重保障。



圖9 機櫃的頂天立地設計，防震措施更添保障

讓CIO運籌帷幄 - 資料中心管理系統DCIM

聯合大學採用資料中心管理系統 DCIM，透過安裝在機櫃上的環境監測器，收集溫溼度等資訊，匯集到中央監測站，透過網路傳送到IT管理人員做遠端集中控管，並且可以做到電費管理、PUE分析、環境、保全與網通管理，扮演這座資料中心的最佳守護者，確保機房可以永續節能（見圖10）。

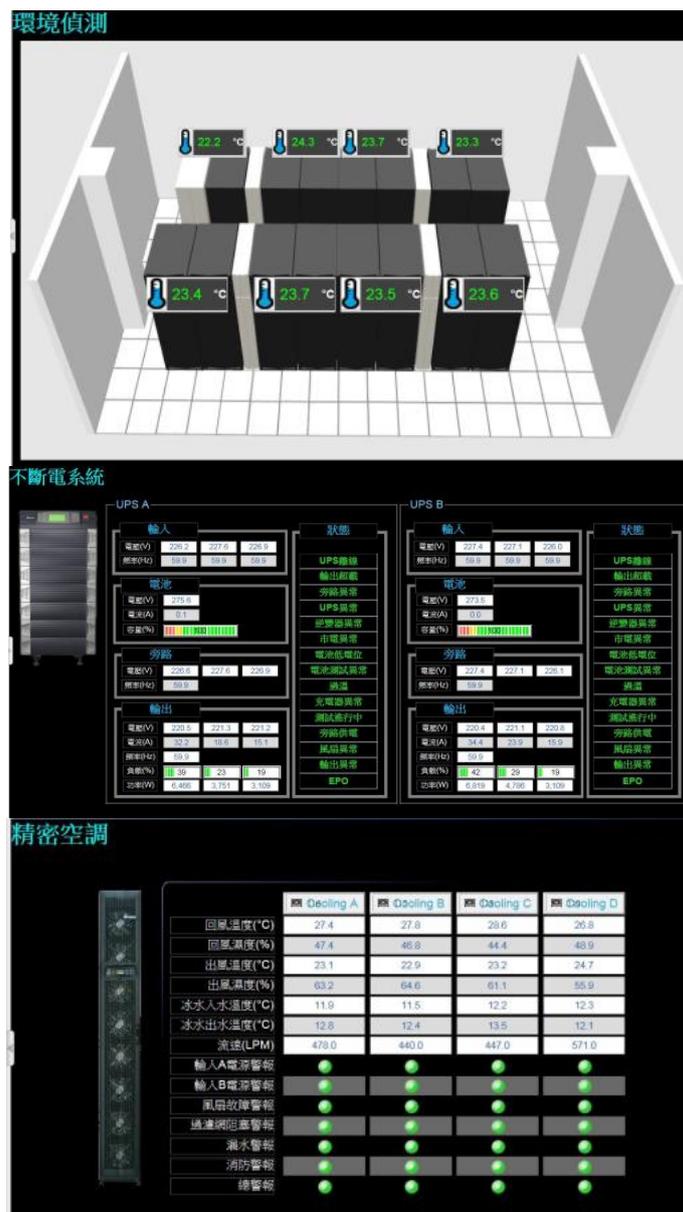


圖10 資料中心管理系統 (DCIM) 讓IT經理人全面掌握機房環境

虛擬主機取代實體 新舊機房互為備援

除了資訊機房的基礎架構改造，聯合大學資訊中心網路管理師黃攸德表示：「為了更落實節能減碳，營運服務方面也慢慢朝向虛擬化 (virtualization) 發展，各系所教授或部門單位有硬體採購需求時，如果虛擬主機 (virtual machine) 可達成使命，也可向資訊中心租賃虛擬主機，不但節約投資成本，資訊中心還額外提供兩地備援機制，反而更加可靠。」現在聯合大學機房有30部虛擬主機 (含學校首頁、教學相長系統、師生電子郵件信箱、網路資料夾等) 在8部實體主機上執行，較以往省下52部實體主機的費用與電費。虛擬化帶來的結果，進一步省下整體的設備投資與電費，降低機房的總體持有成本 (Total Cost of Ownership, TCO) 。

聯合大學新機房落成之後，IT資訊設備將會陸續進駐，但這不表示舊機房會因此閒置不用，而是讓兩座新舊機房互為備援，例如，之前提到的8部執行VM的實體主機，就可以在新機房與舊機房各放置4部，如此一來，萬一有突發狀況，就可以轉移到另一邊的機房，重新啟動，減少對營運服務的衝擊，提高系統的可用度。

兼顧高規格的消防安全與環保理念

為了加強消防安全，聯合大學機房導入早期偵煙系統，分別在天花板、機房主空間、以及高架地板下都設有偵煙探頭，建構出三層嚴密的早期消防措施，能夠及早發現火災，將財物與人員的損失降至最低，同時又兼顧環保的訴求，選用的滅火氣體-氬氣 (Argon) 屬於自然氣體 (如圖11)，不但對環境和人體友善無害，而且可以有效絕氧，減少空氣中的含氧量達12.5%，是一種快速有效的消防氣體，而且價格相對實惠。



圖11 氬氣消防滅火系統(左)，極早期偵煙(右)

機房節能效益顯著 以黃金級PUE為目標

陳榮堅主任說：「根據我們預估，採用新世代高效節能的機房解決方案，跟一般傳統的作法相比，考慮每年省下的電費，只要在數年內，就足以回收額外的建置費用，是一筆相當划算的投資，聯合大學未來會持續朝向黃金級機房的目標邁進，有機會直逼年平均 PUE 1.43 的水準。」電費的精算與分析如表 2 與表 3：

	每年省電度數	每年省下電費	碳排放減量
初期 60%負載	93.5 萬度	280.5 萬元	59.84 萬公斤
未來 100%滿載	155.8 萬度	467.6 萬元	99.72 萬公斤

表 2 聯合大學新建機房省電效益分析

IT設備耗電量	PUE值	總耗電量	每年電費	每年節省電費
128KW/hr (滿載100%)	2.99	382.72KW	\$10,057,882	
	2.0	256KW	\$6,727,680	\$3,330,202
	1.6	204.8KW	\$5,382,144	\$4,675,738
76.8KW/hr (初期60%)	2.99	229.63KW	\$6,034,676	
	2.0	153.6KW	\$4,036,608	\$1,998,068
	1.6	122.88KW	\$3,229,286	\$2,805,390

1. 電費以3元/度 估算，每年電費=總耗電量*24(小時)*365(天)*3(元)
2. 機櫃式空調系統比下吹式空調系統增加費用177萬8700元，可由節省之電費以兩年多的時間回收。
3. 預估最終機房建置費用為3000萬約8~9年內可回收。電價若上漲，回收更快。

表3 機房節電效益預估

結語：機房長期投資 學術教育永續發展

校園資訊化與綠能化的趨勢銳不可擋，採用新世代的資料中心基礎架構解決方案，能夠為高等教育的資料中心提供諸多寶貴的價值，如：高可靠度、高效節能、靈活佈署、高管理度與彈性模組化，並且能落實校園節能減碳，促進教育與學術的永續發展。以短期來看，或許投入新世代機房設備的建置費用較高，但是以長遠的理性眼光來看，逐年省下的電費卻可能在幾年內悉數回收，以投資報酬率來看，不啻是一筆相當值得的投資。陳榮堅主任有自信地說：「新機房從今年(2014)二月份開始正式搬遷投入營運服務，搭配近期安裝的 DCIM 管理系統，在機房軟硬體的相輔相成之下，相信可以展現預期的節能效益，在國內高等教育系統中樹立典型綠色機房的標竿。」

參考資料

1. User Survey Analysis: Key Trends Shaping the Future of Data



Center Infrastructure Through 2011 · Gartner · 2011

2. 台達電子資料中心解決方案網站
<http://www.deltapowersolutions.com/en/mcis/data-center.php>
3. 國立聯合大學網站
<http://www.nuu.edu.tw/>
4. 黃攸德，聯合大學第二校區機房規劃簡報，2013
5. 余采霏，聯合大學新建資訊機房 樹立綠能院校 PUE 標竿，網管人雜誌，2014
6. 蔡鴻章，昭松科技有限公司，國立聯合大學八甲校區資訊中心主機房關鍵基礎建設計劃書，2013
7. Certified Data Centre Professional (CDCP) in Mission Critical Site Facilities · EPI · 2013