

簡旭伸、陳正平、陳伶志
林博雄、莊振義
鍾明光、謝宜桓
臺大系統舒適度+工作團隊



臺大系統舒適度+ 研究通訊

一月是新的一年開始，也是我們第一批戶外感測器—NTU4AQ滿周歲的月份，因此本月跟大家分享主題是"戶外"篇。跟室內環境相比，戶外是一個開放且複雜的系統，各個環境因子對於舒適度的影響，一直都是台大舒適度團隊不斷探索的領域；團隊在過去一年中，通過NTU4AQ的環境參數監測，圍繞著舒適度中的熱舒適度、呼吸舒適度展開許多討論，但是對於視覺舒適度(光照)並沒有著墨太多，直到近期邀請資管系孔令傑老師的研究團隊加入，並與臺大總務處合作智慧路燈專案後，我們才有能量討論視覺舒適度議題。在這期間SC+團隊、孔老師團隊及總務處營繕組三方，共同展開了大大小小的多次討論，因此在本期通訊的成果小發表中，將介紹智慧路燈專案背景動機、限制與可行性，以及目前的分析結果；我們在此議題上，希望能找出一套能根據當下環境不同，決定開或關燈的方式。最後，在本期的舒適度+小常識的部分，將接續11月通訊中所介紹的邊界層結構變化，進一步介紹污染物在不同邊界層結構下的不同擴散特性。

本月活動紀錄

臺大決行通過利得MOU

01/03

本計畫透過氣候變遷與永續發展國際學位學程，與利得儀器股份有限公司所簽署之學術交流產學合作備忘錄，經過理學院、教務處、研究發展處等行政單位之行政程序，最後在陳銘憲副校長之核可下決行通過此份學術交流產學合作備忘錄，期待雙方的合作可以為彼此帶來嶄新的火花。



01/05

與聯陽電子討論校內智慧路燈之控制系統

由資管系孔令傑老師所帶領的研究團隊，在過去幾個月針對校內智慧路燈所偵測之光照度，以及路燈之開關時間等資料進行分析，期望找到節省能源的路燈開關最佳化時間。這天我們與負責校內智慧路燈的聯陽電子進行線上會議，除了說明團隊所進行的階段成果，廠商也提供了許多相關之資料與實務建議，讓此專案更加接近實務上的決策支援系統。



NTU4AQ外接電池初版完成

太陽能板是否能穩定供電，一直是微型感測器在外穩定運作的重要因素。本團隊的 **NTU4AQ** 架設在外至今一年，太陽能供電穩定性會受到周遭樹蔭、建物陰影的影響，充放電循環次數也使得鋰電池的效能逐漸下降。因此，團隊開發了外接電池之模組，可接加高達8顆的**18650**鋰電池，並同時將裝設便利、安全與美觀等納入機構開發之考量，期待此**prototype**完成後可以讓**NTU4AQ**更為穩定運作，也節省團隊的管理人力。

OI/O6



OI/I3

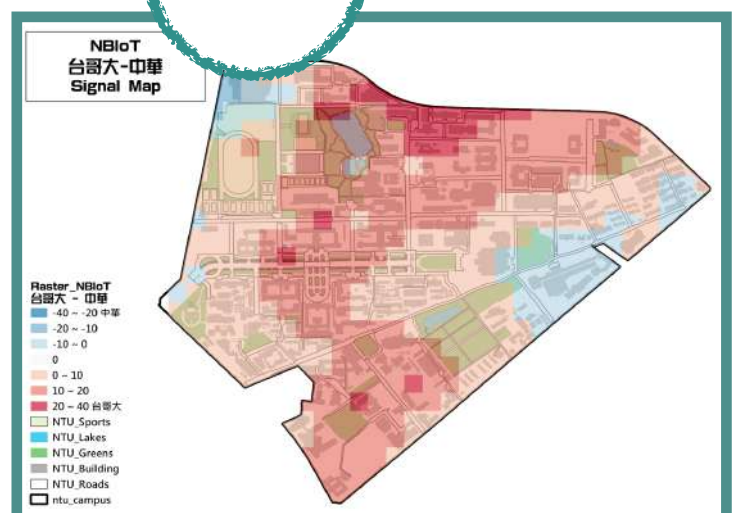
台灣大哥大 NBioT 試用

由於臺灣大學內沒有電信基地台，先前使用中華電信（**Chunghua Telecom**）的**NBioT**，在校園內訊號較弱，且常有死角。因此，本團隊接洽台灣大哥大（**Taiwan Mobile**），並申請**NBioT** 卡來試用，比較不同電信商在校園內的**NBioT**強度，希望可以解決感測器在校內通訊品質的問題。

台灣大哥大NBioT校園地圖

為了探索臺灣大學校園的**NBioT**通訊品質，本團隊利用**Sim7000E**模組與台灣大哥大**NBioT**卡，設計最有效的量測路線，將校園的各個路口、角落一一量測，進而繪製出訊號強度地圖，並與中華電信**NBioT**強度比較。希望可以照出不同廠牌在校園內的強度分佈，並進一步規劃**NBioT**的使用，藉由兩個廠牌的**NBioT**卡，可以相輔相成，讓校園內的感測器通訊維持穩定、改善資料收發率。

OI/26



OI/26

於環安衛委員會進行空品健檢報告

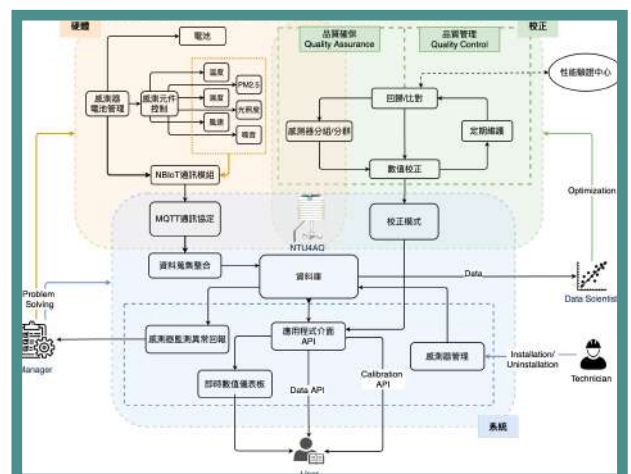
從 2019 年末起，SC+計畫即於博雅IO1、共同IO1、普通IO2、新生IO2等大型階梯教室展開室內空氣品質監測計畫。時隔一年，我們再次前往環境安全衛生委員會（**Environmental Protection & Occupational Safety & Health Center, EHS**）進行第二年度的空氣品質健檢報告。其中，相對於其他大教室，博雅IO1教室在教務處課務組的努力之下，二氧化碳累積問題有明顯的改善；此外，我們也分享了孔令傑老師團隊，分析二氧化碳濃度與教室人數關係之研究，確認教室人數與二氧化碳濃度的相關性具有時間延遲性，此延遲時間大約為25分鐘；最後我們分享團隊成員進行的通風策略模擬分析結果，建議在課堂結束後，將抽風扇、氣窗開啟20-40分鐘，可以讓室內累積的二氧化碳濃度降低至背景值，避免滯留的二氧化碳影響下一時段的使用者。（詳細報告可以參考去年八月及下個月通訊）



送出專利校內審查

OI/27

本團隊經過一年努力，將NTU4AQ的硬體、系統、校正，以三者合一的概念撰寫成專利申請。目前已遞送至台灣大學研究發展處（**Office of Research and Development**），進行初步的文件審理，期望能夠順利申請專利，進而發展更高價值的微型感測器與氣候服務內容。





孔令傑老師團隊劉心鈺與郭仲嘉主筆

圖 (一) 智慧路燈分布

然而目前總務處在開關智慧路燈，仍採取與天文路燈相同的方式，在日落日出前後 20 分鐘進行開關燈，然而即便如此，總務處仍會接到民眾反應電話，抱怨天色太暗路燈還沒開影響視線，或是天色太亮路燈還沒關浪費電等等。就我們所知以及於數據所見，天氣好壞是另一個造成每日同一時間光照度不同的原因，因此在智慧路燈的專案中，我們希望透過分析歷史的光照度的資料，提出動態開關燈解決方案。

除了資料分析以外，為了確保結果能真實解決問題，我們透過與各有關單位溝通，了解目前資料與硬體限制，透過數據分析結合專業知識，以期提出科學上合理、實務上可行的解決方案。在這專案中涉及了四方的溝通，包含了總務處營繕組、資管系孔令傑老師研究團隊、SC+NTU 夥伴與智慧路燈外包商聯陽電子。總務處營繕組為解決方案的需求方，希望能得到兼顧安全性、用電量、生態性的解決方案；作為孔老師團隊的一員，我們負責資料分析的工作，希望統整三方的想法與數據所見，提出解決方案。然而作為資料分析角色往往遇到最大的問題，是從數據上發現了直覺上不合理的結果，但卻不知道如何解釋，SC+NTU 夥伴無疑是提供專業知識上的支援；而聯陽電子廠商，提供了智慧路燈的光照度、用電量與開關燈判斷資料，並詳盡地告訴我們目前系統的運行方式等等。

透過聚焦總務處營繕組的需求，並與 SC+NTU 夥伴和聯陽電子業務持續的討論，我們總結了動態開關燈的限制與可行性：

- 限制：目前最大的限制是 NB-IoT 的網路限制，從接收到智慧路燈傳送的資料、判定需要開關燈，到智慧路燈收到指令最多需要 40 分鐘，對於路燈開關來說太不及時。除此之外，路燈本身的光照度與真實值有差異，需要進行校正才能與標準做比較。
- 可行性：聯陽電子本身有相關動態開關燈的經驗，我們認為奠基於法律規定的路燈開端燈標準（15 lux），在考慮安全性下，給予開關燈較彈性的光照度標準範圍（300-30 lux），提早進行開關仍是可行的。

智慧路燈光照度資料分析

孔令傑老師團隊劉心鈺與郭仲嘉主筆

臺大校園內路燈的開關方式為「每天的特定時間，統一開啟或關閉校園內所有路燈」。由於總務處會接到「天色已暗卻還沒開燈」、「陰天或雨天時希望能早點開燈」的意見，顯示目前的方案或許有可以改進的地方。透過分析智慧路燈與 NTU4AQ 提供的資料，希望能找出一套能根據當下環境不同，決定開或關燈的方式。

根據總務處提供給我們舟山路上一台智慧路燈的資料（從2020/05/01 到 2021/05/20），再經去除極端值後，一共有 10340 筆資料，平均一天有 27 筆資料，資料欄位如表一。

表（一）智慧路燈感應器資料欄位

欄位名稱	欄位意義（單位或資料格式）
EquipmentId	裝置id (str)
EquipmentRunStatus	是否運作 (bool)
msgTimestamp	紀錄時間 (ts)
A	電流 (A)
Dim	是否開燈 (int)
Freq	電源頻率 (Hz)
Kwh	用電量 (Kwh)
Lux	光照度 (Lux)
Pf	功率因子 (frac)
V	電壓 (V)
W	功率 (W)

在此專案中，我們主要分析的資料欄位為：時間、光照度、及當下開關燈的狀態；表二及表三為不同的光照度標準下，開關燈狀態異常的資料筆數。分析顯示，如果以 30 Lux 為開關燈的標準，約 6% 的資料是屬於應該開燈而未開燈，因此我們認為依據光照度開關燈是可行的。

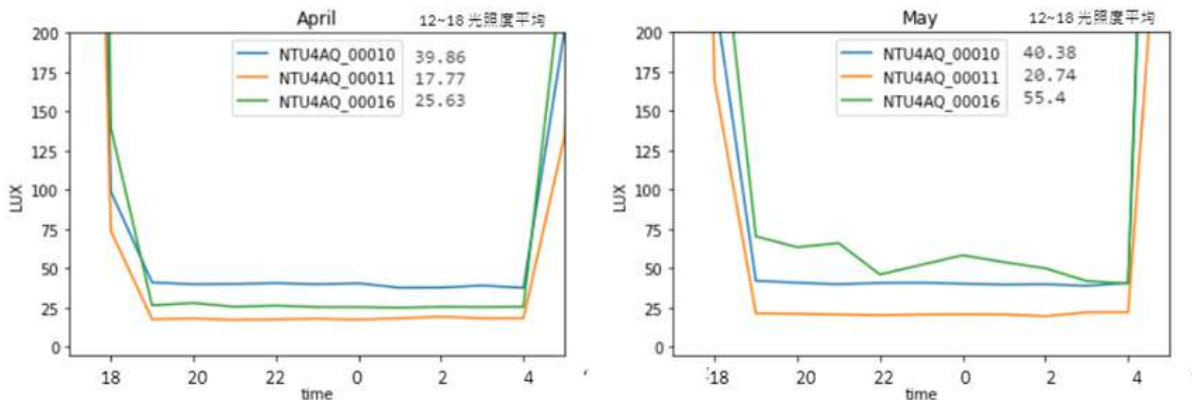
表（二）環境過暗而未開燈的資料筆數

光照度（單位：Lux）	0	≤ 5	≤10	≤15	≤20	≤25	≤30
資料筆數	62	175	220	270	532	573	621
佔全部資料比例	0.600%	1.692%	2.128%	2.611%	5.145%	5.542%	6.006%

表（三）環境過亮而未關燈的資料筆數

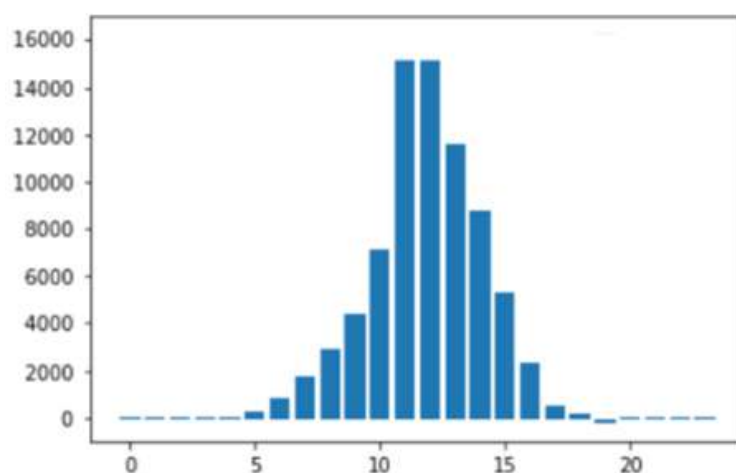
光照度（單位：Lux）	≥80	≥85	≥90	≥95	≥100	≥105	≥110
資料筆數	98	91	86	78	73	70	67
佔全部資料比例	0.948%	0.880%	0.832%	0.754%	0.706%	0.677%	0.648%

由於智慧路燈的資料解析度較低（約一小時一筆），我們也分析了 NTU4AQ 的資料。我們取機器位置較固定、收訊次數較多的 NTU4AQ_I1（鹿鳴堂）、NTU4AQ_I6（基隆路）、NTU4AQ_I10（男五宿）機器比較，結果如圖二，發現機器之間同一時段測到的光照度存在差異。這些差異可能來自環境、感測器本身的偏誤。和團隊討論後，我們也認為根據目的、校園中的地點不同，可以採用不同的開關燈標準。



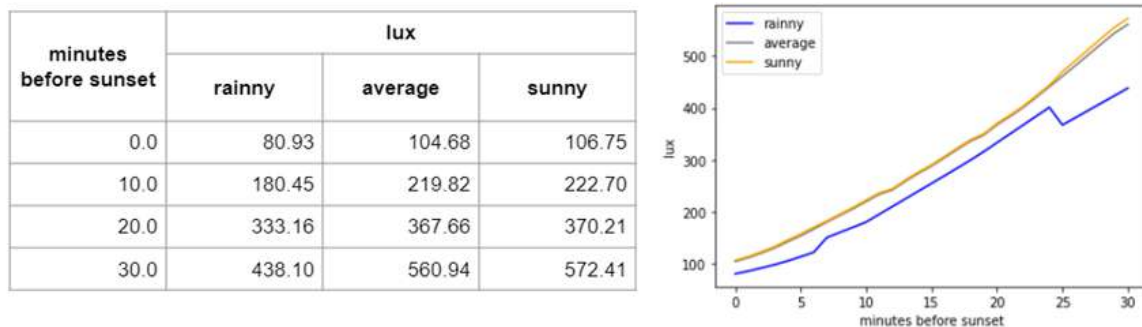
圖（二）每日不同時段，NTU4AQ 不同機台測得的光照度差異

此外，我們也比較 NTU4AQ 與智慧路燈測得的數值是否一致。我們取鹿鳴堂的 NTU4AQ 與智慧路燈重疊的資料比較，結果顯示智慧路燈總是會測得較小的光照度，NTU4AQ 測得之光照度減智慧路燈測得之光照度之差異值的分佈如圖 3。與團隊討論後，發現智慧路燈的感測器會吸收光照，因此總是測得較小的數值，因此在計畫實行前應先統一感應光照度的標準。



圖（三）每日不同時段，智慧路燈與 NTU4AQ 測得的平均光照度差異

由於智慧路燈的資料解析度較低（約一小時一筆），我們也分析了 NTU4AQ 的資料。我們訂定一個適合的光照度作為標準一直是個困難的問題。得知目前校園的開關燈方式為「日落前 20 分鐘統一開關燈」後，我們以 NTU4AQ_II 的資料為準，分析了日落前不同時間平均的光照度，結果如圖四。發現平均而言，以「日落前 20 分鐘」作為開關燈的標準，光照度超過 300 Lux，遠比我們預期的高出許多，顯示這個標準平均而言應該不至於有太晚開燈的問題。不過根據表2，仍有部分（約6%）的資料屬於應開燈而未開燈，因此我們認為根據光照度開關燈仍為一可行的策略。



圖（四）日落前不同時間平均的光照度

根據上述成果，我們給出的結論是：目前的開關燈方式可以達成開燈時，平均環境光照度大於 300 Lux，這是個沒什麼問題的規則，未來可依據光照度不同而調整開關燈策略，發揮智慧路燈的功效及節省部份電力使用。惟由於亮度是否足夠是主觀認知的問題，難以取得一個人人滿意的標準。未來實行前，要先校正裝置的感光標準，並評估不同標準的開關規則，對於不同地點的校園照明和能源效率的影響。



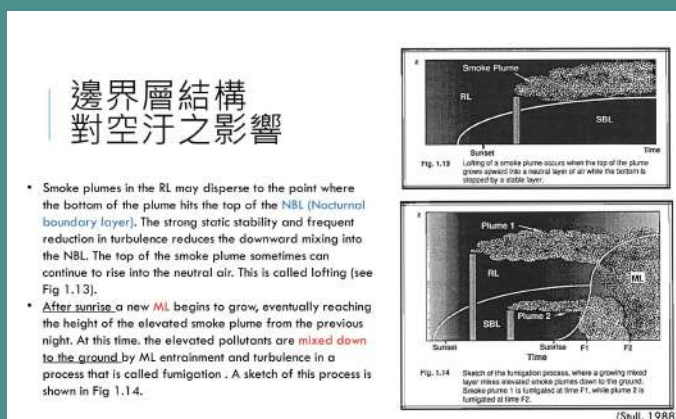
所以在大气(行星)邊界層裡，到底要怎麼來看待污染物的擴散呢？

臺大舒適度+團隊成員 謝宜桓

在11月的研究通訊中，我們快速的介紹了什麼是大气（行星）邊界層，相信大家一定有去翻開Stull (1988)這一本經典教科書了（吧）。而延續11月的主题，我們這一次要介紹在邊界層氣象學中，常見影響污染物的擴散的因素。延續上一次介紹邊界層的日夜結構變化(白天形成容易混和的Mixed Layer，簡稱ML。晚上地面形成不易混和的Stable Boundary Layer，簡稱SBL；SBL之上為Residual Layer，簡稱RL)，這一次要介紹污染物在不同邊界層結構下的不同擴散特性；如圖1所示，日落後、位於RL所排放之污染物，通常僅能擴散於RL中；而在SBL範圍之內，因垂直穩定度大、空氣在垂直上不易交換，因此污染物並無法進入SBL中；上述這個現象稱為Lofting。而當日出後、ML開始形成且增厚時，原先在較高的污染物就會開始向下混和，此現象稱為Fumigation(圖五)。

而上述這些不同的邊界層結構對污染物的影響，說穿了，就是可以用大气的垂直穩定度來思考；當垂直穩定度越大，垂直方向上的空氣交換越不易。在實務上，通常都是以溫度隨在垂直上的變化來分析垂直穩定度，如圖六中的綠色虛線，即代表理論上、地表空氣在垂直方向上移動時的溫度變化(請查：乾絕熱遞減率)，若實際大气該高度的溫度較高時(紅色線在綠色虛線的右側時)，表示在垂直上的穩定度越高，因此地面的空氣不易與上面的空氣混和；反之，若紅色線與綠色虛線重疊時(中性)，或是紅色線位於綠色虛線左側時(不穩定)，地面空氣則容易與上面的空氣交換。特別注意，在圖六中的綠色虛線皆僅表示"地表"空氣在垂直方向上移動時的溫度變化，若要看不同高度空氣在垂直方向上的溫度的變化的話，需要用另外的平行線來輔助(如圖六e中，地面到SBL頂端為穩定，但在SBL之上為中性)。

總而言之，當我們要討論一個地方的空氣污染時，邊界層內的垂直穩定度是一個很重要的資訊，如果穩定度大，雖然不易讓高層的污染物傳到地面，但是也同時會讓地面排放的污染物不易離開；如果穩定度小時，雖然易於讓地面排放的污染物容易向上傳送，而被自由大气帶走，但同時地面也有可能遠處經上層傳送來的污染物所影響。因此，在這複雜議題上，就必須要透過不同的觀測網，以及模式一起來回答，而這部分也會在後續通訊中來介紹。



圖（五）常見邊界層日夜結構變化下，對於污染物的擴散影響。(Stull, 1998)



圖（六）不同邊界層穩定度結構下，污染物的擴散情形。(Ahern, 2009)

參考文獻：

1. Ahrens, D. C., 2009. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Ninth Edition
2. Stull, R. B., 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*

ABOUT OUR TEAM

臺大系統舒適度+ 工作團隊



計畫主持人：簡旭仲

計畫執行顧問：鍾明光、謝宜桓

感測器研發校正顧問：陳正平、陳伶志、莊振義、林博雄

台北場域顧問：陳正平、莊振義、林博雄、謝志豪、魏慶琳

雲林THOD大健康計畫顧問：陳正平、張聖琳、劉宏輝

工作團隊：荊輔翔、簡妙蓉、陳緯哲、廖浩惟、林承恩、楊鑫、張慈純

Principal Investigator:

Shiuh-Shen Chien

Executive Consultant:

Ming-Kung Chung; Yi-Huan Hsieh

R&D and Calibration Consultant:

Jen-Ping Chen; Ling-Jyh Chen; Jehn-Yih Juang; Po-Hsiung Lin

Taipei Field Consultant:

Jen-Ping Chen; Jehn-Yih Juang; Po-Hsiung Lin; Chih-Hao Hsieh; Chin-Lin Wei

Transit-Hospital-Oriented Development Consultant:

Jen-Ping Chen; Sheng-Lin Chang; Horng-Huei Liou

Work Team:

Fu-Hsiang Ching; Miao-Jung Chien; Wei-Jhe Chen;

Hao-Wei Liao; Cheng-En Lin; Xin Yang; Tzu-Chun Chang

ABOUT OUR TEAM

臺大氣候變遷與永續發展 國際碩士及博士學位學程

IPCS

International Degree Program in Climate Change
and Sustainable Development



臺大「氣候變遷與永續發展國際碩士及博士學位學程」，
(International Degree Program in Climate Change and Sustainable
Development, IPCS) 是整合本校相關的科學領域與人文領域之師資與課程所成立的跨學院
跨領域的國際學位學程。IPCS 透過在學科知識上，融合地球科學、社會科學、生命科學
領域，透過課程教授及共同雙指導模式，導引學生對氣候變遷及永續發展的跨領域認識；
以及透過在教學現場上，採取「抽象數理思考」，及「場域動手實作」雙軌並行方式，訓
練學生可以在場域中找尋真實問題、並且聯結書本知識提出解決方案、實際操作、回應問
題。整體而言，IPCS 擁有多元的師資陣容與完整的跨領域課程，培育氣候變遷與永續發
展跨領域與具國際觀之專業人才。

The International Degree Program in Climate Change and Sustainable Development, as its name suggests, is an interdisciplinary degree program that encompasses a global perspective. Established by the College of Science, the program is a joint effort among NTU faculty members from both scientific research and humanities backgrounds. In dealing with climate change and sustainable development, we instrument in-depth teaching in a wide range of topics. Students are required to bring their knowledge and skills to the table and approach environmental issues from a multi-angled perspective. They are encouraged to break free from traditional views on sustainability and think outside the box. Students are expected to be motivated learners, thinkers, analysts, and most important of all, practitioners. Our ultimate goal is to cultivate students' ability in interdisciplinary problem-solving in dealing with the complexity of climate change issues.

ABOUT OUR TEAM

環境感測器網路系統

Location Aware Sensing System



開源公益環境感測網路系統 (Location Aware Sensing

System, 簡稱 LASS) 是臺灣重要的創客 (maker) 社群, 同時也是空氣盒子、水盒子等微型感測設備的創發者。LASS 著重於公民科技與空間資訊的結合, 希望藉由軟硬體의 整合, 設計與實現具有在地特性的環境感測系統; 該社群的目標是以開源和公益為主軸, 嘗試以創客/自造者的精神, 從公民科技的取徑出發, 以開放的軟硬體架構發展低成本的环境監測設備, 讓民眾可以經由自造的過程, 鋪設一套符合自己需求的感測系統。同時, LASS對於感測資料亦採取開放的態度, 並允許志工可以利用其他社群夥伴所上傳至雲端系統的环境監測數據, 來建置即時監測網。

The Location Aware Sensing System (LASS) is an important maker community in Taiwan, and it is also the creator of air boxes, water boxes, and other micro-sensing devices. LASS focuses on the integration of citizen technology and spatial information, aiming to design and implement an environmental sensing system with local characteristics through the integration of hardware and software. The community strives to promote open source and public welfare as the main axis, and to create customers instilled with a 'self-creator' spirit, develop low-cost environmental monitoring equipment with an open software and hardware architecture so that the public may build a set of sensing systems that meet their specific needs through a self-made process. At the same time, LASS also adopts an open attitude towards sensing data and allows volunteers to use environmental monitoring data uploaded to the cloud system by other partners in the community in order to build a real-time monitoring network.

合作單位 ►

台北市文山社區大學 (Wenshan Community College)、台北市大學里 (Daxue Village, Taipei City)、新北市鶯歌區建國里 (Jianguo Village, Yingge District New Taipei City)、台灣大哥大 (Taiwan Mobile Co., Ltd)、「雲林THOD大健康計畫」團隊

CONTACT US

<https://www.facebook.com/NTUIPCS>