新型中小型住商能源管理系統

一、前言

國內住商能源管理系統技術水準目前仍停留於早期之自動監控技術時代，係以傳統監控工程之做法來達成，典型之作法為透過RS-485標準之有線網路，以主從式(Master-Slave)網路架構，及輪詢式(Polling)網路通訊的方式，遵循Modbus通訊協定，來達成設備之監控管理。此通訊監控方式不但浪費網路通訊資源，增加現場工程布線工時與成本，當所連結之設備數量多的時候，更會影響到設備監控的時效性，再加上系統節能控制方法僅止於總用電之需量管制，附加功能也僅於照明、空調、及展示櫃之各別運轉控制，缺乏整合協調的控制演算方法，導致節電效率無法提升，因此，本研究應用新世代人工智慧物聯網(Artificial Intelligence of Things, AIoT)技術，設計新一代的能源管理系統，以大幅提升系統節電效率。

二、新型中小型住商能源管理系統架構

能源管理系統係由電子式電表、環境感測器、設備運轉控制器、及系統整合控制器組成，並由系統整合控制器以區域網路連結上述所有裝置，並由其上之節能監控軟體，以收集分析用電及環境感測器等資訊，並發展出節能控制演算邏輯策略，以有效控制設備之運轉，達到最適化節電的成效。系統整合控制器為能源管理系統之最重要元件，以目前最新資通訊發展趨勢，具物聯網通訊及人工智慧演算功能之系統整合控制器，有效控制設備用電，為目前全球最新之發展趨勢。

本研究所開發之住商中小型食物類零售業能源管理系統，利用目前全球最普及之 Wi-Fi 標準無線網路作為能源管理系統之區域網路架構，以解決現場工程布線困難問題、降低布線工程費用，有效降低系統建置成本。此外，導入最新之物聯網通訊協定技術 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)，以較有效

率之設備與設備間之 M2M (Machine-to-Machine)雙向通訊方式，取代傳統較低效率之主從架構輪詢通訊方式。

為了提高全店之節電效率，本研究以全店最節電化為控制目標，維持食品安全及規定之室內冷氣溫度限值為限制目標，依據各主要耗電設備之用電特性，以及設備與設備間之協調用電互補現象，應用人工智慧最佳化控制技術，調整出系統最節電化之各設備運轉參數。

2.1 系統整合控制器硬體架構

能源管理系統整合控制器硬體可分成四大單元：邏輯運算單元、資料收集單元、資料儲存單元和人機介面單元。其邏輯運算單元採用 ARM 64 位元四核心 1.4GHz 處理器，並具備 1,024MB 之運算記憶體，提供機器學習演算法所需之運算能力。資料收集單元可透過 GPIO、I2C 及 ADC、Ethernet...等介面進行有線資料收集，或利用 Wi-Fi 或藍牙介面進行無線資料收集。系統儲存單元採用 SD 卡作為解決方案，以進行作業系統、能源管理系統軟體與資料之儲存，且易於進行系統升級與功能擴充。系統之人機介面包含觸控式顯示與 USB 輸入介面，方便人員進行操作。系統整合控制器之硬體架構如**圖 1** 所示。

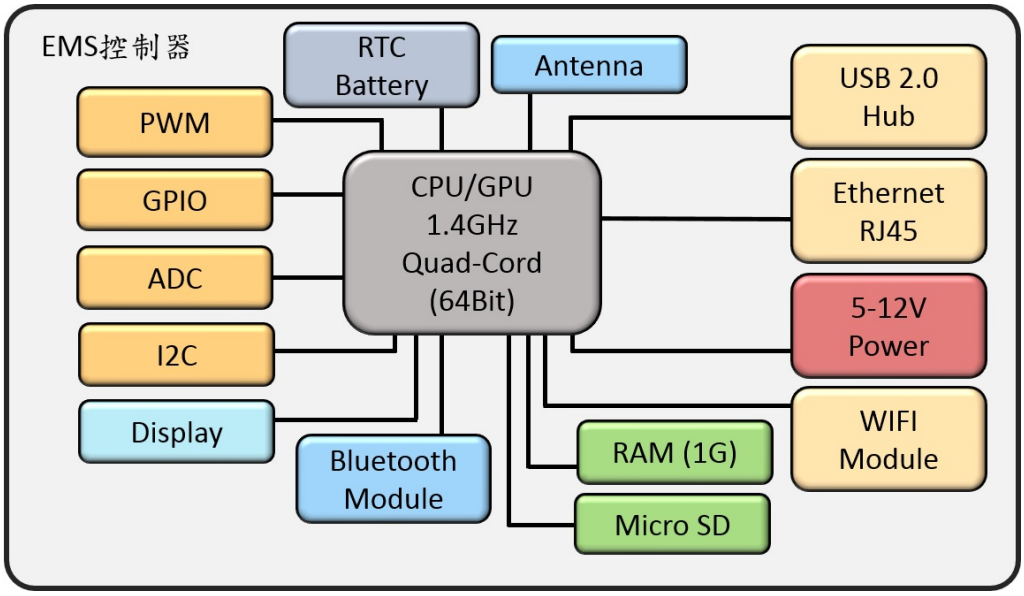

圖 1 系統整合控制器硬體架構圖

2.2 系統整合控制器軟體架構

圖 2 為整個系統整合控制器之系統軟體架構圖，共可分成四個主要部分，分別為資料收集與控制模組、資料儲存模組、使用者介面和智慧演算法決策框架。資料收集與控制模組的資料來源分為有線與無線介面，有線介面資料來源包含 I2C、RS-485(Modbus)與 Ethernet(TCP/IP)介面，無線介面資料來源則為 Wi-Fi(MQTT)介面，系統軟體可透過上述介面，監控各式用電設備，並收集電子式電表及環境感測器的資訊。資料儲存模組將收集到的資料整合後，以至少 30 秒的儲存頻率進行資料儲存，並視需要透過網際網路將資料傳輸至雲端資料庫(Database, DB)。使用者介面(User Interface, UI)負責呈現設備運轉、用電、及環境感測等資訊給使用者，使用者亦可透過介面進行設備運轉參數調整，此外，亦同時提供面板與遠端使用者介面，分別提供現場或遠端操作所需。智慧演算法決策框架(Algorithm Container)包含節能策略、需量控制等節電控制功能，並預留未來能透過巨量數據分析技術以作設備故障預知保養之功能。

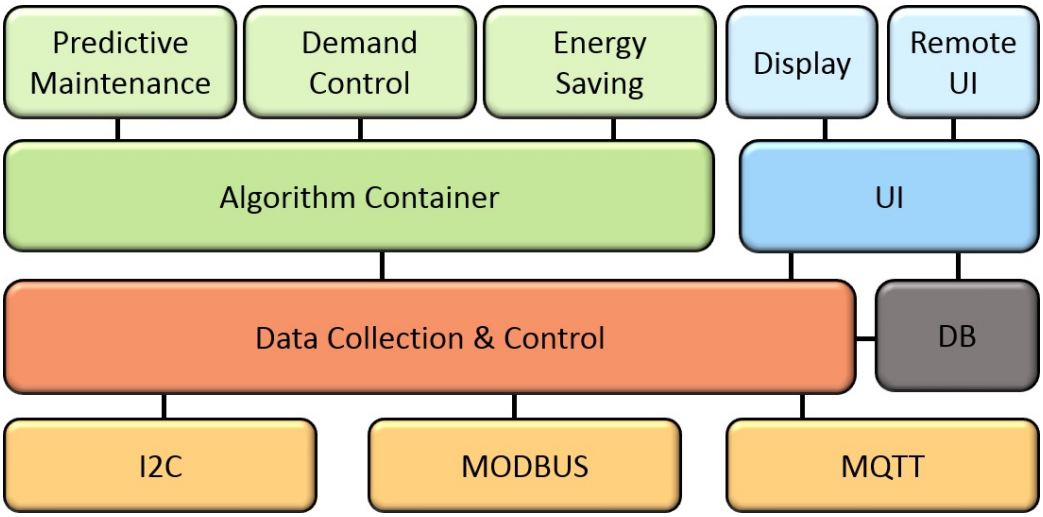

圖 2 系統整合控制器硬體架構圖

2.3 設備隨插即用功能

市售傳統能管系統安裝與設定步驟繁瑣，施工人員若不具備相關專業知識與訓練，易有施工錯誤狀況產生，進而影響系統正常運作。為使能管系統易於應用及推廣，導入設備隨插即用(Plug & Play)功能使得系統設置簡易、方便化。

設備隨插即用功能係指系統設備上電後，可自行與控制器或系統中其他設備進行溝通，並自動設定運轉所需參數。為達成隨插即用功能，無線通訊模組將於初始化時，對設備進行偵測並自動判別目前連接之設備種類，並於判別成功後將設備相關參數以結構化方式使用無線網路傳輸至控制器進行註冊動作。參數中包含基本通訊模組資料如網路位址、訊號強度、IP…等、設備資料(以溫控模組為例)如設定溫度、設定溫差、庫內溫度…等。當控制器收到註冊資料後，將自動更新設備資料庫並發布此資訊至網路上各個節點，無需施工人員進行手動設定，達成隨插即用功能，其流程如**圖 3**。

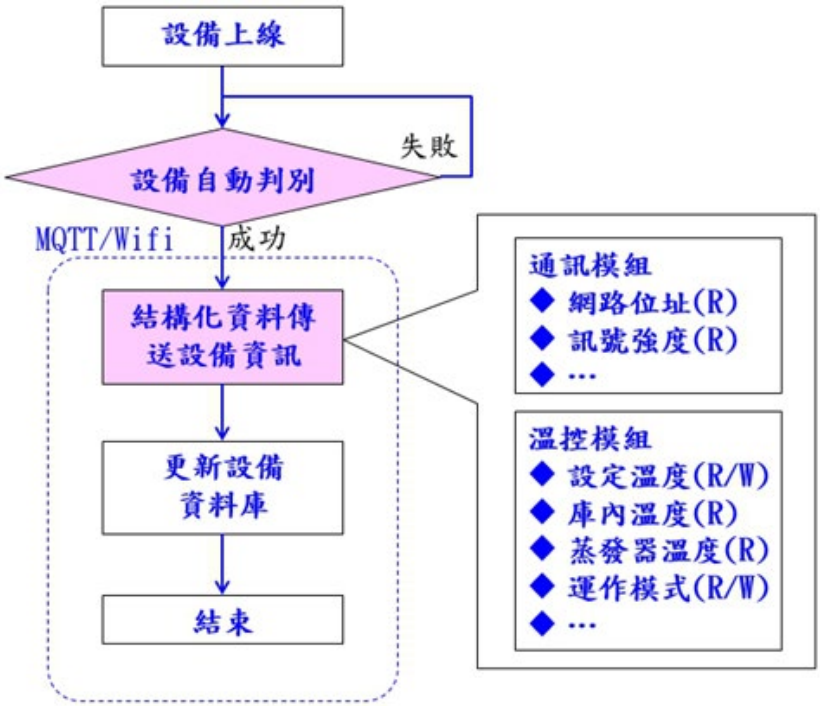

圖 3 隨插即用功能流程圖

為實現上述隨插即用功能，設備與設備間需不斷進行單點傳播、多點傳播等資料交換，因此通訊底層必須具備彈性化傳輸功能。且為使能管系統能具備通用性並廣納各類型系統設備，因此導入國際最新之物聯網 M2M 通訊協定標準，以符合上述之需求。

綜觀與研究新世代物聯網 M2M 通訊協定標準中，以 MQTT 標準具有較低的網路頻寬及硬體資源需求等低功耗特性優點，因此本研究採用 MQTT 作為能源管理系統之通訊協定。MQTT 為一對多的 M2M 通訊協定架構，包含四個主要

元素，發布者(Publisher)、訂閱者(Subscriber)、主題(Topic)、及代理人(Broker)。發布者為訊息的來源，傳送主題訊息至代理人，訂閱者向代理人訂閱想要接受到之主題訊息，如**圖 4** 所示，例如有一發布者發布一則主題訊息為”EMS/Temperature”的訊息，只要是有對代理人訂閱主題訊息為”EMS/Temperature”的訂閱者都能接收到此訊息，且同一個訂閱者也可同時訂閱不同的主題訊息。其中能源管理系統整合控制器於整個 MQTT 的通訊架構下，係擔任代理人(Agent)的角色。

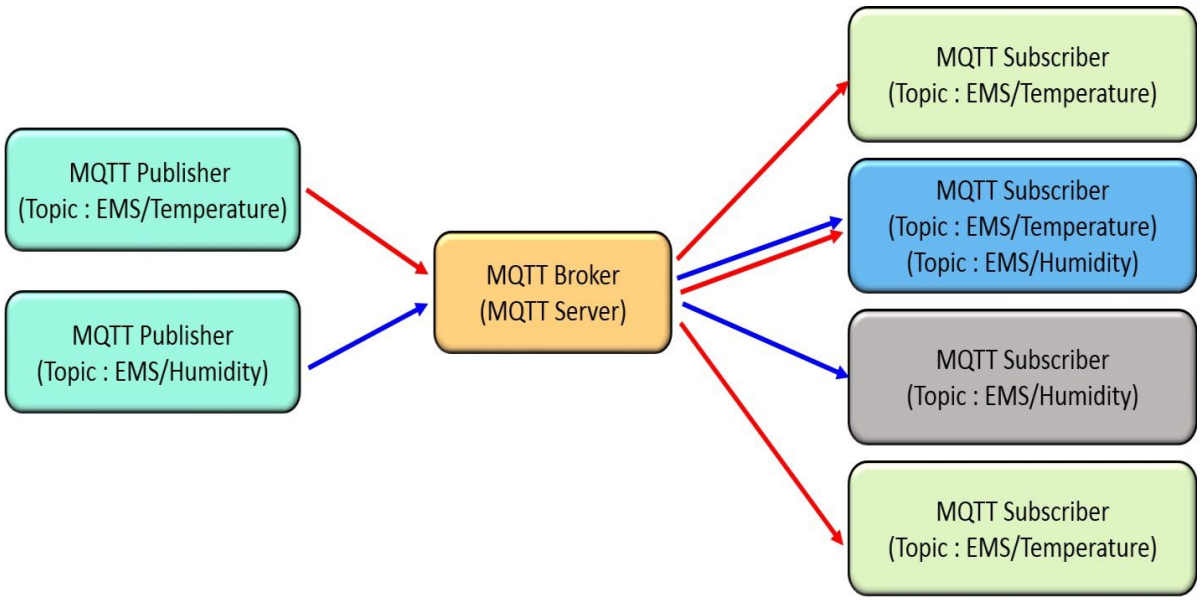

圖 4 MQTT 發布/訂閱訊息傳送機制圖

三、新型中小型住商能源管理系統於冰櫃節能控制之應用例

系統整合控制器結合無線模組與 RS-485 模組將設備運轉數據上傳至雲端伺服器，根據收集到的運轉資料，進行數據分析。並開發各項設備之節能演算法與用電需量控制方法。由於節能系統包含多種節能策略可以發展，本研究先行以新型中小型住商能源管理系統應用於冰櫃節能控制上進行實驗。

3.1 冰櫃節能演算法設計

透過記錄冰櫃運轉的歷史參數，找出冰櫃可容忍之最大回風溫度，並根據各冰櫃外氣入侵狀況，調整出風溫度。當冰櫃於非營業時間拉下拉簾或是人潮

較少時，外氣入侵程度低，冰櫃保冷效果較佳，可調高冰櫃出風溫度，降低壓縮機運轉頻率或時間，達到節能效果。詳細流程如**圖 5** 所示。

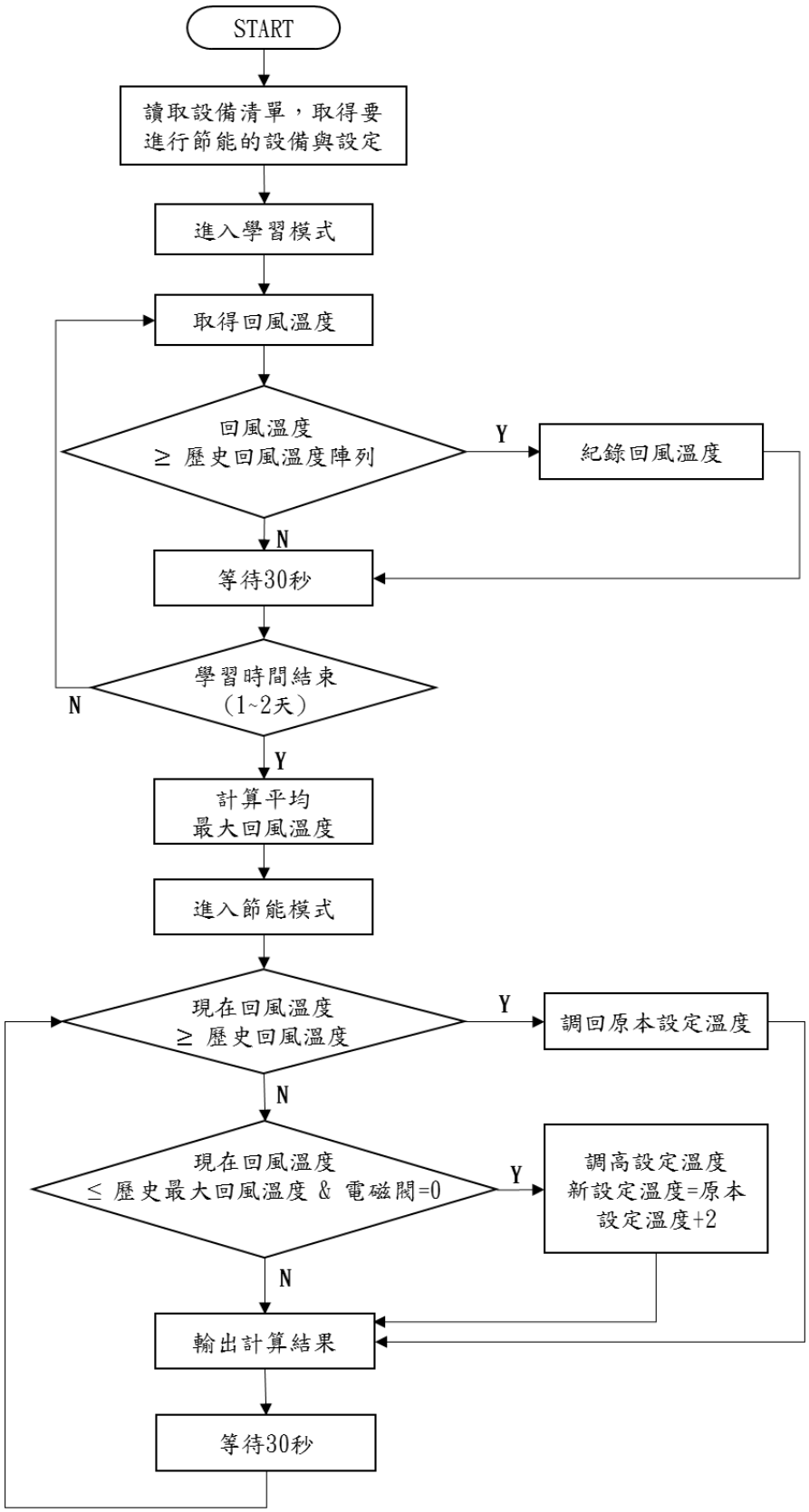

圖 5 冰櫃節能演算法流程圖

3.2 冰櫃節能演算法實測

本研究於實驗室進行冰櫃節能測試，實驗室中設置一台有門冷凍立櫃與一台三尺開放冷藏櫃，並安裝冷氣控制環境溫度，如**圖 6** 所示。兩台冰櫃皆安裝具 RS-485 通訊介面的溫度控制器，溫控器可透過無線通訊模組傳送冰櫃運轉參數至能源管理系統控制器。

每台冰櫃皆設置三個溫度計：出風溫度、回風溫度和蒸發器溫度，為符合實際場域中的應用情境，於冰櫃中放置水袋模擬冰櫃負載，並於冰櫃各層安裝溫度計量測水袋溫度，確認冰櫃於節能模式時對食物溫度影響的程度。

圖 6 有門冷凍立櫃(左)與三尺開放冷藏櫃(右)

選擇溫濕度接近的兩日作為節能前後比較，如**表 1**、**表 2** 所示，冷凍有門櫃在節能模式下壓縮機開啟比例較一般模式減少 6.4%，壓縮機耗電減少 8%，冷凍櫃整體耗電量降低 6%；開放冷藏櫃在節能模式下壓縮機開啟比例較一般模式減少 4.7%，壓縮機耗電減少 9%，冷藏櫃整體耗電量降低 7%。

表 1 冷凍有門櫃節能實驗成效

冷凍有門櫃 (RI)	總耗電 (kWh)	壓縮機耗電 (kWh)	電磁閥 開啟比例
2019/04/05 (節能模式)	12.652	9.113	51.5%
2019/04/11 (一般模式)	13.52	9.926	57.9%
節能成效	**6%**	8%	6.4%

表 2 冷藏開放櫃節能實驗成效

冷藏開放櫃 (OC)	總耗電 (kWh)	壓縮機耗電 (kWh)	電磁閥 開啟比例
2019/04/05 (節能模式)	18.624	13.734	46.0%
2019/04/11 (一般模式)	20.08	15.163	50.7%
節能成效	**7%**	9%	4.7%

圖 7 至**圖 12** 為節能前後冷藏開放櫃各層食物溫度變化比較，由上至下分別為第一層至第五層，第一層食物溫度節能前平均溫度 6.2°C，節能後平均溫度 7.1°C，提高約 0.9°C，第二層至第五層之平均食物溫度約 7°C，節能前後差異約 0.1°C。

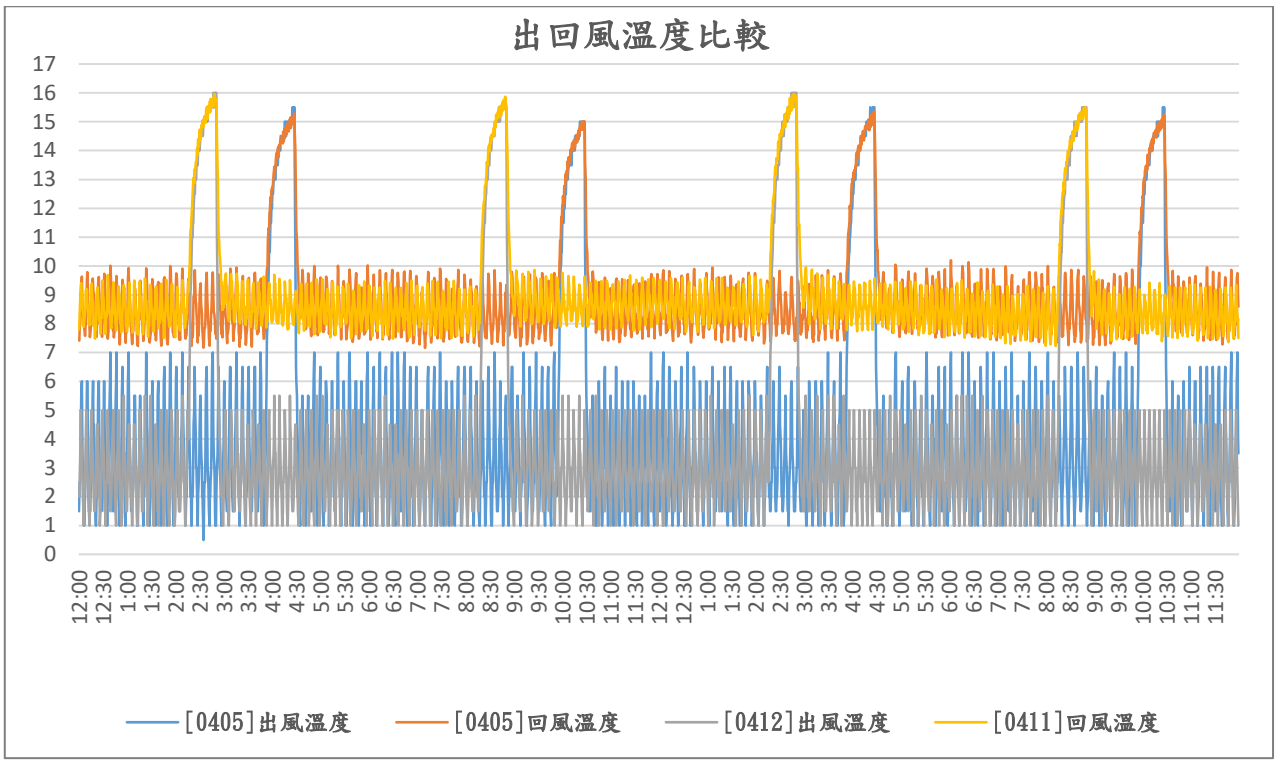

圖 7 冷藏開放櫃節能前後的出回風溫度比較

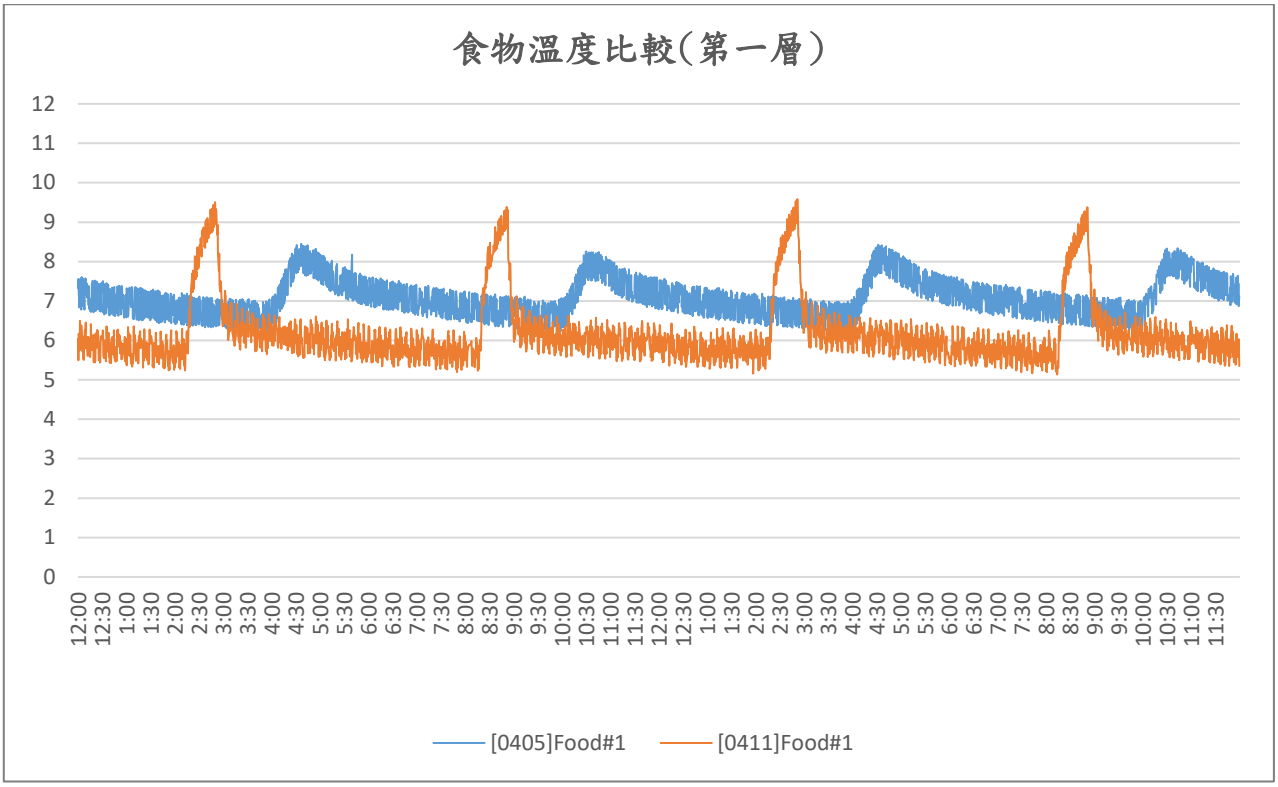

圖 8 冷藏開放櫃節能前後之第一層食物溫度比較

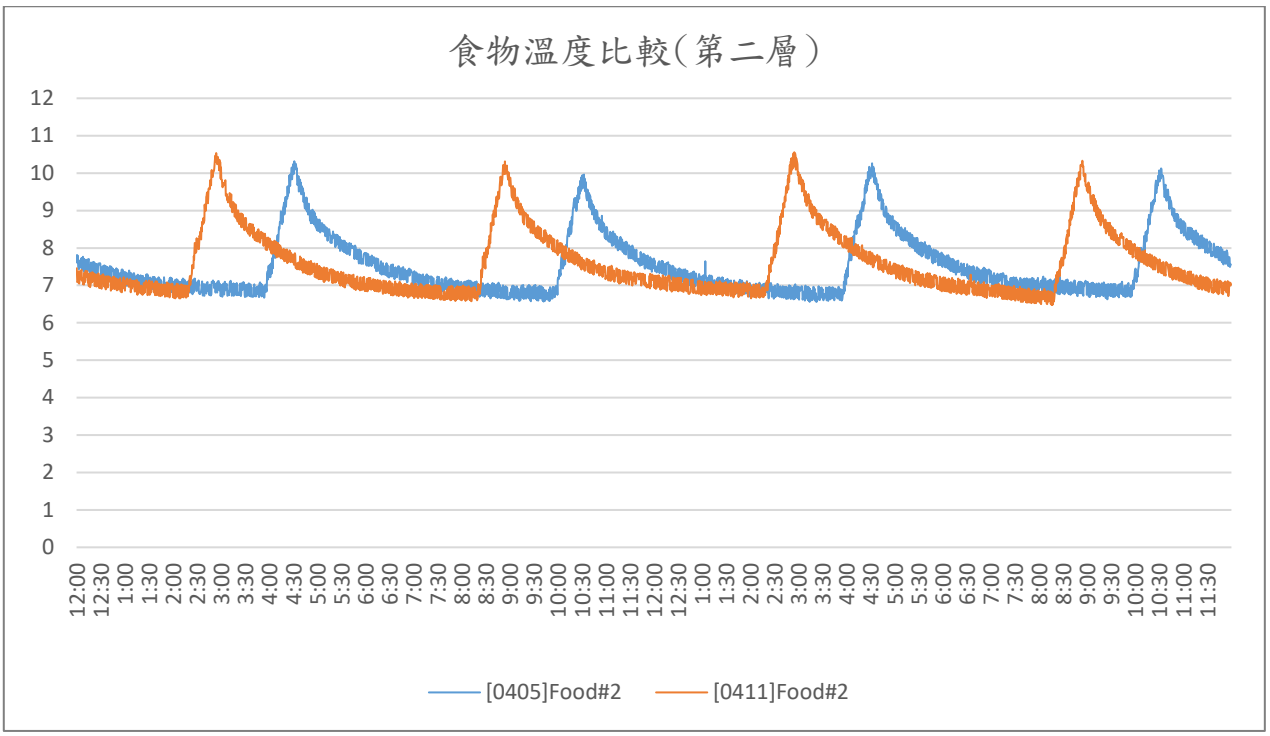

圖 9 冷藏開放櫃節能前後之第二層食物溫度比較

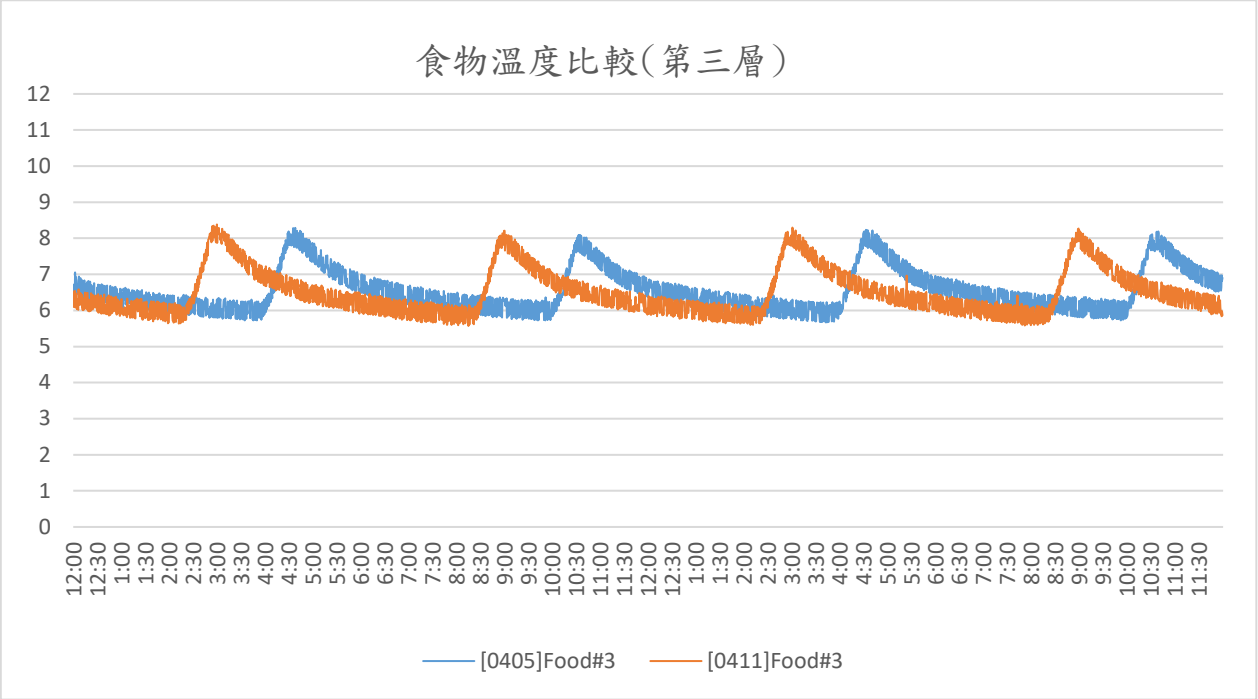

圖 10 冷藏開放櫃節能前後之第三層食物溫度比較

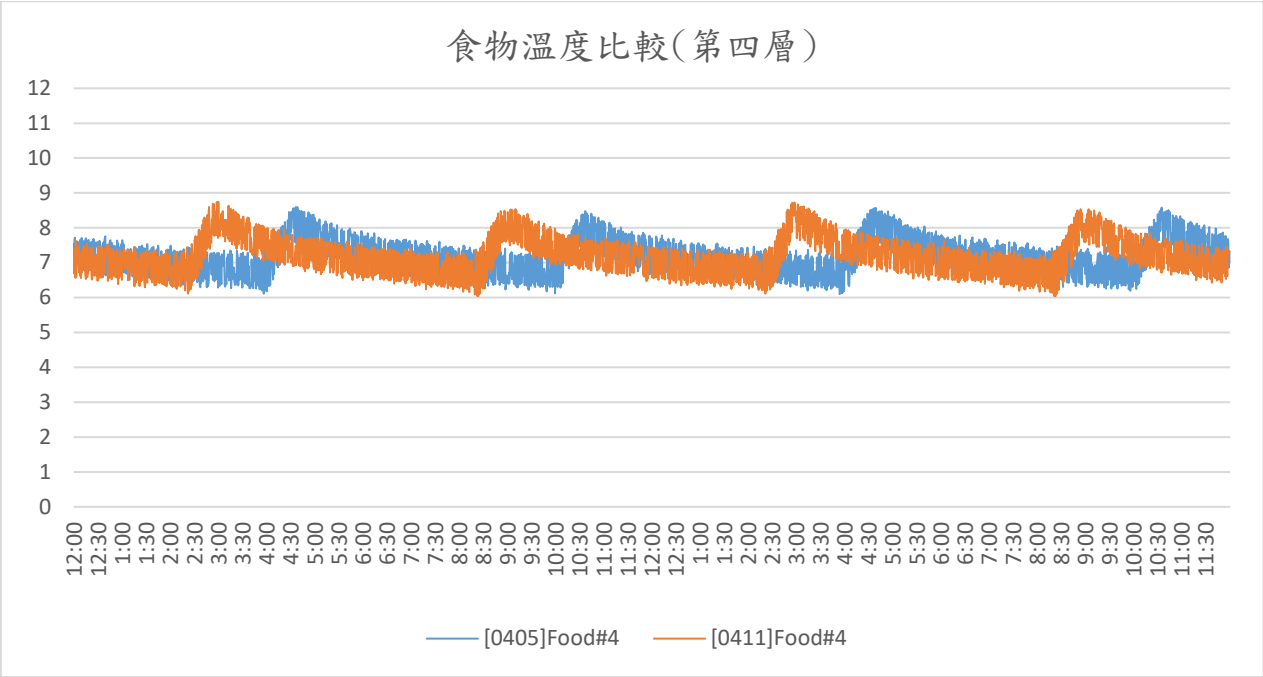

圖 11 冷藏開放櫃節能前後之第四層食物溫度比較

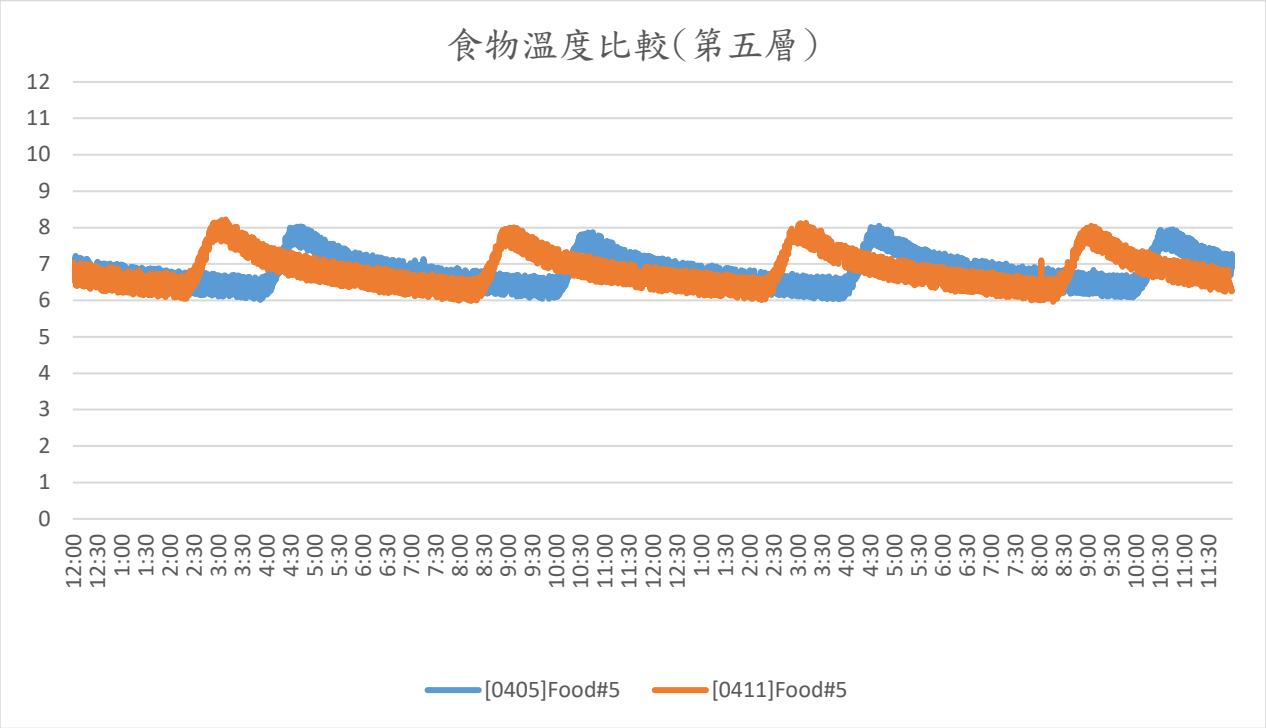

圖 12 冷藏開放櫃節能前後之第五層食物溫度比較

在外氣入侵程度低、冷藏冷凍櫃負載較低時，於歷史最大回風溫度範圍內提高出風溫度，不僅可達到節能效果，對於食物溫度影響也不大。詳細節能前後之各層食物溫度請見**表 3**。

表 3 冷藏開放櫃節能實驗成效

平均食物溫度	第一層	第二層	第三層	第四層	第五層
2019/04/05 (節能模式)	7.08	7.53	6.55	7.18	6.79
2019/04/11 (一般模式)	6.19	7.59	6.50	7.20	6.82
節能前後溫度差異	0.89	-0.06	0.05	-0.02	-0.02

四、結語

本研究完成新型中小型住商能源管理系統系統整合控制器之軟硬體設計，使用 IoT 通訊協定實作系統整合控制器與設備之通訊整合，加強能源管理系統之擴展性以應用於不同類型之場域，同時降低安裝作業難度，提升業者運用導入意願。

本研究並建構系統整合控制器演算法框架、冰櫃節能演算法之規劃與開發，於實驗室進行冰櫃節能節策略能開發與調整測試，於不影響食品保鮮前提下，初步達成 6~7%之冷凍、冷藏櫃節能效率。後續將進行其他設備與先進節能演算策略開發，提升更高的住商節電效率，以達成產業界對系統回收期(ROI)之需求。

五、參考文獻

[1] 2017 台灣連鎖店年鑑，台灣連鎖暨加盟協會，106 年 4 月 19 日

[2] Orphelin, M., Marchio, D., and D'Alanzo, S., 1999, "Are There Optimum Temperature and Humidity Set Point for Supermarket", ASHRAE Transaction, pp. 497-507.

[3] Woradechjumroen, D. Li, H and Yu, Y., 2014, Energy Interaction among HVAC and Supermarket Environment, International J. of Civil and Environmental Engineering, Vol. 8, No. 12, pp. 1230-1237.

[4] Behfar, A., Yuill, D. And Yu, Y., 2017, Automated Fault Detection and Diagnosis Methods for Supwemarket Equipment (RP-1615), Science and Technology for the Built Environment, Vol. 23, pp. 1253-1266.

[5] 蔡尤溪、李魁鵬，2002，超級市場節能技術手冊，財團法人中技社節能技術發展中心

[6] 楊仁豪，2013，生鮮超市用電設備調查與耗能解析，朝陽科技大學傳播研究所碩士論文

[7] http://www.grimsby.ac.uk/documents/defra/retl-supermarketefficoptns.pdf

[8]https://www.carbontrust.com/media/147175/j7924_ctg021_refrigeration_road_map_aw.pdf

[9] DOE, 2013, Notice of proposed rulemaking for commercial refrigeration equipment

[10] 財團法人綠色生產力基金會，服務業節能服務網，https://www.ecct.org.tw/knowledge/knowledge?id=8c151c6683204259ac5de35bbb26e9f7&pid=3e3068c9cc7d48cfbcdcd994ddd889b7