

能源管理系統於電力交易市場之應用

一、前言

近年來隨著科技進步與經濟發展，各國對於能源依賴程度也隨之升高，然而，隨之而來氣候變遷與能源耗竭等問題，自1970年代開始，能源議題開始備受關注，成為全球須共同面對與改善的首要問題，各國政府除了積極開源，尋找新形態能源；亦致力於節流，透過開發節能政策減少所需電力。根據國際可再生能源機構（International Renewable Energy Agency, IRENA）最新報告[1]指出，2020年全球可再生能源新增裝置容量較去年增加超過260 GW，較2019年成長約50%，其中太陽能與風力發電成長最為顯著，分別增加了127 GW和111 GW，占可再生能源總產能的50%以上。全球可再生能源總裝置容量相較於2011年的1329 GW，於2020年達到近2800 GW，大幅成長近一倍以上。可再生能源裝置容量也從2011年的25.1%，於2020年已增加至36.6%。台灣方面，能源署統計顯示，2020年可再生能源增加約1.68 GW，年成長率達21%。

伴隨著核電逐年除役與再生能源占比提高，造成電網供電將更容易遭受氣候影響造成穩定度之下降，伴之而來的備轉容量過低更可能造成供電危機。因應上述問題，各國之電力公司皆開始透過提升用電戶尖峰負載管理技術與應用，制定各種需量反應措施，以達成負載移轉、尖峰抑低或季節性用電抑制之目的，例如可透過時間電價(time-of-use, TOU)之方案實施，誘導用戶將負載分配到離峰時段，藉以抑低尖峰負載達成供電穩定。除此之外，各國電力公司亦搭配實施需量反應措施，於電力系統高載時期開放用戶把節省下來的電賣回給電力公司，以滿足電力調度之需求。需量反應意旨藉由需求面管理(Demand side Management, DSM)的手段，使電力用戶藉由參與電力公司之需量反應方案，減少本身用電負載需求量或移轉部份尖峰用電至離峰用電時段，以獲取電價優惠誘因，進而改變電力消費需求型態之作法[2]。在進行需量反應時，OpenADR (Open Automated Demand Response, 自動需量反

應)協定即扮演重要之通訊協定，本標準已被納入國際IEC 62746標準系列中，且美國加州之建築規範於2020年開始要求居家需量控制設備需要進行OpenADR檢測認證，目前國際主流需量反應系統大多採用此協定。因此新一代之IoT能源管理系統，整合需量反應所需之OpenADR 通訊協定即為未來趨勢。

市場上系統級自動需量反應解決方案仍不成熟，OpenADR (Open Automated Demand Response)協定為國際需量反應系統重要標準，協定目標在於標準化與自動化電力網路的需量反應(Demand Response, DR)電能調度，定義了交換需求反應事件相關訊息的預期行為。過去國內電網發展以高壓用戶為主，隨著小型能源管理系統發展漸趨成熟，小型服務業節能管理系統建置成本降低，建置工程簡化，推廣更為普遍，能源管理系統應用範圍亦更完整。

二、電力交易市場現況

台電目前實施之需量反應負載管理措施皆只有經常契約容量100瓩以上(特)高壓用戶才得以申請，由於食品零售業屬於中低壓用戶，其條件不符合參與需量反應負載管理措施條件，因此該場域需參加用戶代表群以加入電力市場，以下將針對台電日前輔助服務電力市場[3]與預計參與之服務內容進行說明。

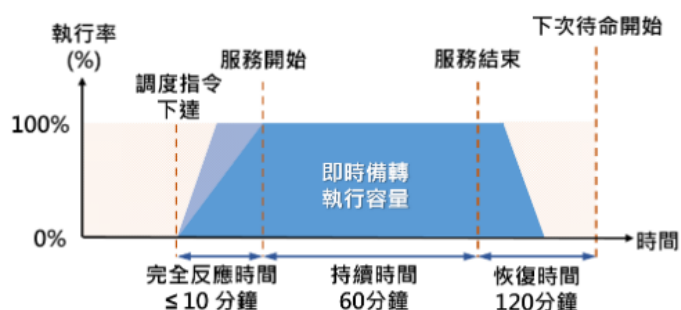
台電日前輔助服務主要商品(如圖1)可分為三大類:調頻備轉容量、即時備轉容量、補充備轉容量。調頻備轉容量是修正系統頻率偏差或減緩頻率變動幅度，即時減少操作功率，因設備需具備調頻能力，適合資源也沒有需量反應，所以家樂福將不參與此方案。即時備轉容量是因應機組跳機、系統供需嚴重失衡等偶發事件，其功能以安全性待命為主，即時備轉容量要求的反應時間在10分鐘以內以及持續時間需1小時以上，適合資源包含需量反應。補充備轉容量是因應系統負載突增、供需預測誤差，以提供系統所需之額外電能需求，補充備轉容量要求的反應時間在30分鐘以內以及持續時間需2小

時以上，適合資源亦包含需量反應。因此我們預計參與即時備轉容量或補充備轉容量。

項目	調頻備轉容量 (Regulation Reserve)			即時備轉容量 (Spinning Reserve)	補充備轉容量 (Supplemental Reserve)
	動態調頻備轉, dReg	靜態調頻備轉, sReg	增強型動態調頻備轉, E-dReg		
反應時間	≤ 1秒 (AFC) 每4秒 (AGC)	10秒	≤ 1秒 (AFC)	10分鐘	30分鐘
持續時間	追隨頻率 上下調頻	追隨頻率 向上調頻	依日前最佳化排程結果進行充放電	1小時以上	2小時以上
適合資源	發電機組 (AGC) 儲能設備 (AFC)			發電機組 儲能設備 需量反應 自用發電設備	發電機組 自用發電設備 需量反應

圖1 日前輔助服務商品規格

圖2為即時備轉容量執行時間軸及詳細規格，可看到當調度指令下達後，完全反應時間需小於等於10分鐘，且具備持續執行達60分鐘之能力，於調度服務結束後，並應於120分鐘內恢復待命。

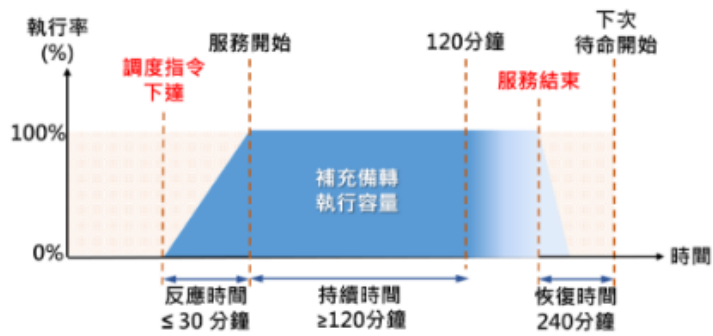


規格項目	規格要求	規格說明
完全反應時間	10分鐘內	調度指令發出後，應於10分鐘內達全反應，以提供調度服務。
持續時間	60分鐘	(1) 持續時間自調度指令下達後10分鐘起計之。 (2) 調度服務開始後，應具備持續執行達60分鐘之能力。
恢復時間	120分鐘	於調度服務結束後，應於120分鐘內恢復待命。

圖2 即時備轉容量詳細規格

圖3為補充備轉容量執行時間軸及詳細規格，可看到當調度指令下達後，完全反應時間需小於等於30分鐘，且具備持續執行達120分鐘之能力，於調

度服務結束後，並應於240分鐘內恢復待命。



規格項目	規格要求	規格說明
完全反應時間	30分鐘內	調度指令發出後，應於30分鐘內達全反應，以提供調度服務。
持續時間	120分鐘	(1) 持續時間自調度指令下達後30分鐘起計之。 (2) 調度服務開始後，應具備持續執行達120分鐘之能力。
恢復時間	240分鐘	於調度服務結束後，應於240分鐘內恢復待命。

圖3 補充備轉容量詳細規格

日前輔助服務之計價方式如圖4所示，即時備轉容量日結算價金由每小時(容量費+效能費)乘上服務品質指標再加上電能費，而補充備轉容量日結算價金與即時備轉計算方式相似，只少了效能費，因為補充備轉相較於即時備轉反應時間不需要那麼快，因此效能費算是即時備轉額外的獎勵。以下針對各費用進行說明：一、容量費為每小時得標容量與結清價格之乘積，其規定得標價格即時備轉不得高於400元/MW.h，補充備轉不得高於350元/MW.h，二、效能費為依據能力測試結果之效能級數所核予費用，如圖5所示分為三級，第一級效能價格為100元/MW.h、第二級為60元/MW.h、第三級為40元/MW.h，三、服務品質指標為每小時執行實績對應之績效系數，如圖6所示，若執行率未達70%則係數為負值，因此需特別注意，四、電能費為執行調度指令時所產生之實際電度數與電能價格之乘積。

交易商品	結算公式
即時備轉容量	日結算價金 = $\sum_h (\text{容量費}_h + \text{效能費}_h) \times \text{服務品質指標}_h + \text{電能費}$
補充備轉容量	日結算價金 = $\sum_h \text{容量費}_h \times \text{服務品質指標}_h + \text{電能費}$

圖4 日前輔助服務計價公式

即時備轉效能級數	效能價格 (新臺幣/MW·h)
1	100
2	60
3	40

圖5 日前輔助服務計價公式

即時備轉容量		補充備轉容量	
當小時執行實績	服務品質指標	每小時執行實績	服務品質指標
未達執行條件	1	未受調度指令	1
當次執行率 $\geq 95\%$	1	當次執行率 $\geq 95\%$	1
$95\% > \text{當次執行率} \geq 85\%$	0.7	$95\% > \text{當次執行率} \geq 85\%$	0.7
$85\% > \text{當次執行率} \geq 70\%$	0	$85\% > \text{當次執行率} \geq 70\%$	0
當次執行率 $< 70\%$	-240	當次執行率 $< 70\%$	-24

圖6 服務品質指標

三、能源管理系統整合需量反應技術

為建立電網互動式能源管理系統，於尖峰期間協助電網進行需量控制，此系統將整合台電ADR（Automated Demand Response）平台與計畫中研發之能源管理系統（Energy Management System，EMS），運用人工智慧與物聯網技術，進行系統級動態ADR控制策略，兼具節能與ADR需量反應功能。系統架構詳見圖7，架構中包含三個業者：台電、電力交易業者與用電場域。當高壓用戶參與

台電需量反應措施方案時，則由台電VTN（Virtual Top. Node）系統直接下達指令至能源管理系統中的用戶終端點（Virtual End Node, VEN）應用程式，DR（Demand Response）程式會定時輪詢VEN程式，可直接查看是否有新的降載需求，當收到新的事件時，透過Web API發送設備控制指令至能源管理系統，無須透過用戶代表群（Aggregator）進行整合。

然而，目前能源管理系統實驗場域多為超級市場與便利商店等低壓用戶，無法參與台電現行之需量反應措施，故需透過電力交易平台之合格業者作為用戶代表群，彙整各店的能源管理系統，透過平台業者伺服器與DR閘道器發出事件指令至各低壓用戶之DR程式後，DR收到新的事件後，則透過Web API發送控制指令至EMS程式進行設備參數調整，達到整合電網互動式能源管理系統之設備降載與復歸功能。

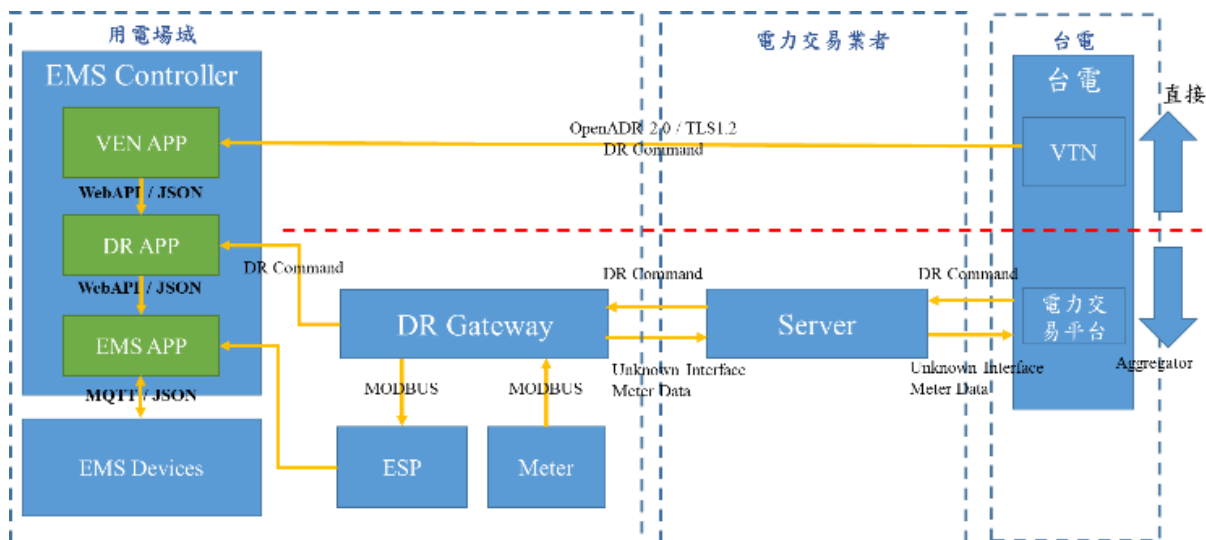


圖7 通訊架構

為進行自動化需量反應技術驗證，選定現已裝設能源管理系統之家樂福便利購超市為測試場域。首先進行空調系統測試，此商店之空調系統包含2台冰水主機，其冰水主機又各自擁有9台以及8台送風機，所以該店合計共有17台送風機可以控制。抑低策略為每小時提高一度設定溫度，共測試三小時。可由圖8看到藍線條為回風溫度，黃色線條為空調設定溫度，黃色線條會隨著時間提升，而最高設定溫度為29度，在這條件下，計算需量結果可達到12kW之最大抑低量，如圖9所示。比較基準為黃色區塊未抑低前需量為88kW，抑低後紅色區塊量為

76kW。

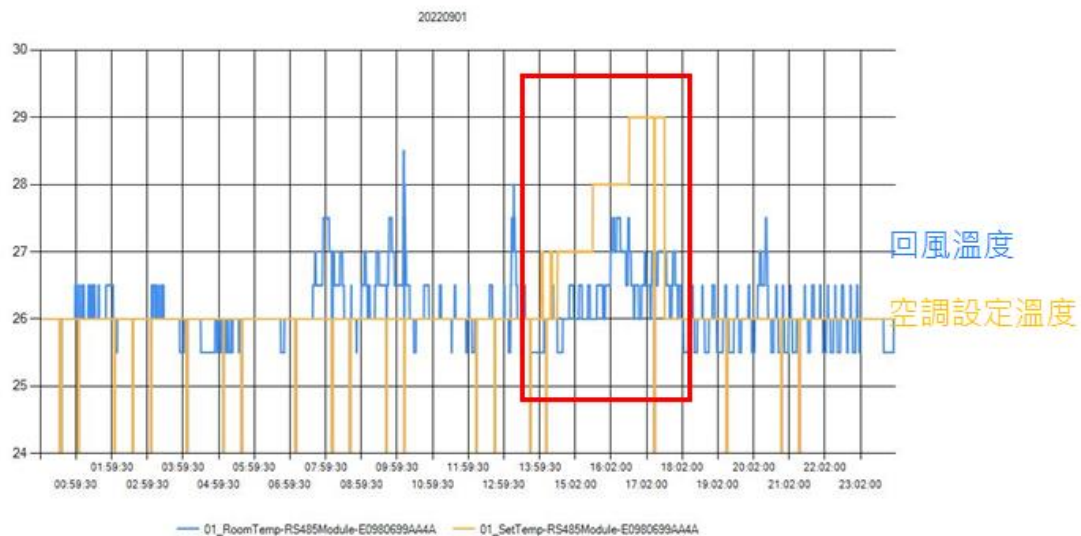


圖8 空調系統抑低策略

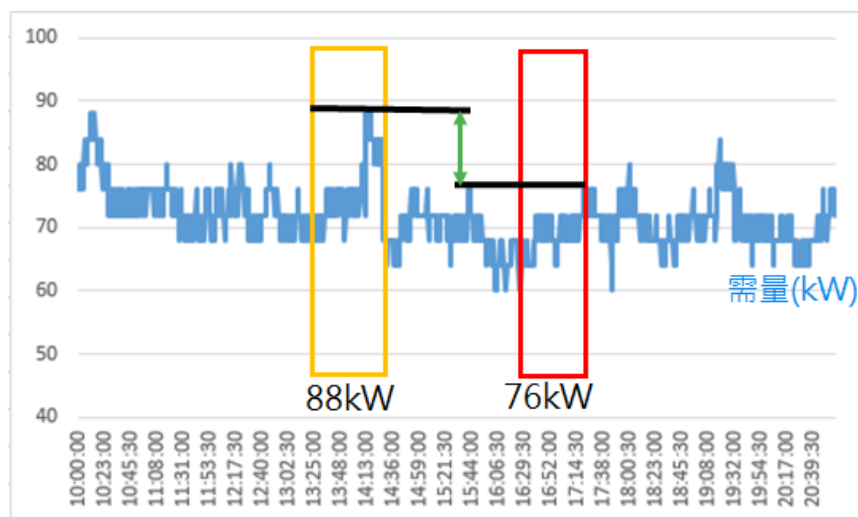


圖9 空調系統抑低需量變化

此商店冷凍系統可測試設備為7台冷凍櫃，抑低策略為每半小時提高2度設定溫度，實驗兩次共一小時。可由圖10看到藍線條為出風溫度，黃色線條為冷凍設定溫度，黃色線條會隨著時間提升，而最高設定溫度為-18度，在這條件下，計算需量結果可達到2kW之最大抑低量，如圖11所示。比較基準為黃色區塊未抑低前需量為56.8kW，抑低後紅色區塊量為54.8kW。

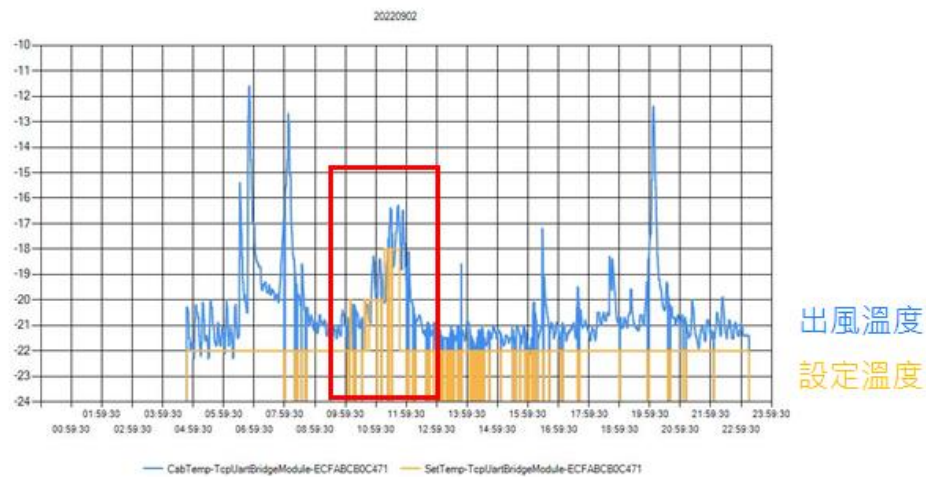


圖10 冷凍系統抑低策略

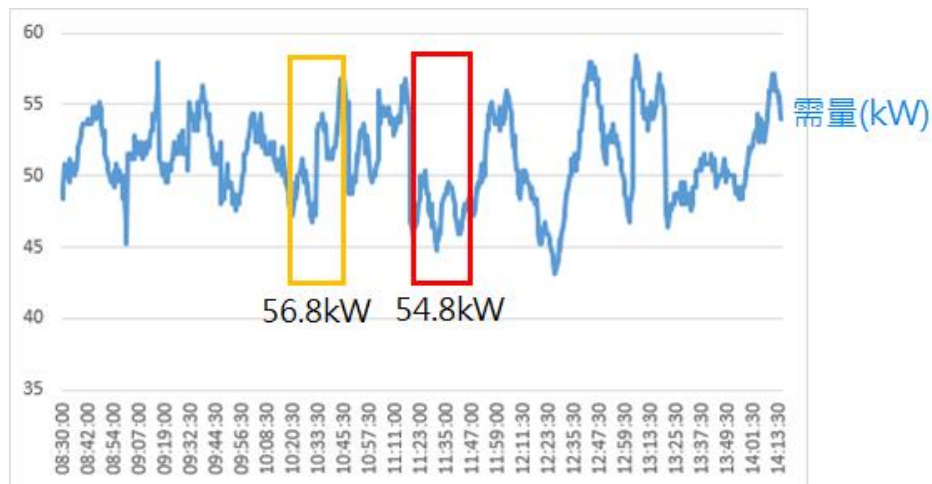


圖11 冷凍系統抑低需量變化

此商店冷藏系統可測試設備為4台冷藏櫃，主要放置蔬菜、水果、飲料，以調整櫃溫影響程度較小之冷櫃進行實驗，抑低策略為每半小時提高2度設定溫度，實驗兩次共一小時。可由圖12看到藍線條為出風溫度，黃色線條為冷藏設定溫度，黃色線條會隨著時間提升，而在提高四度這個條件下，計算需量結果可達到3.8kW之最大抑低量，如圖13所示。比較基準為黃色區塊未抑低前需量為51.9kW，抑低後紅色區塊量為48.1kW。

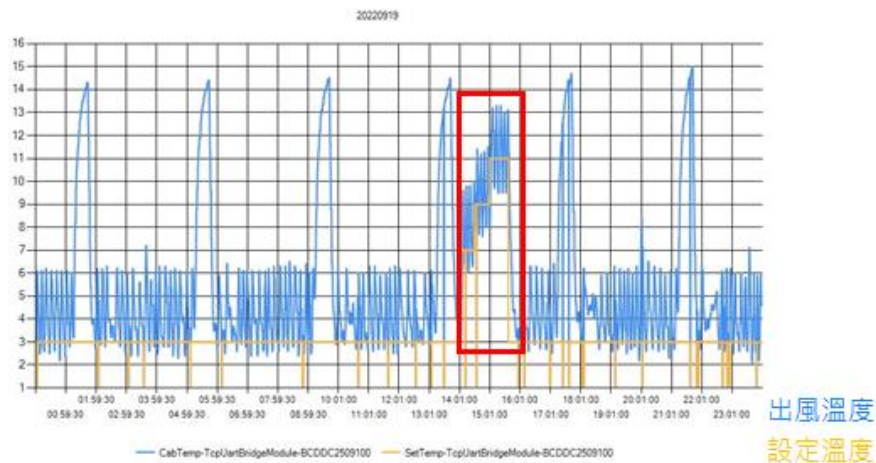


圖12 冷藏系統抑低策略

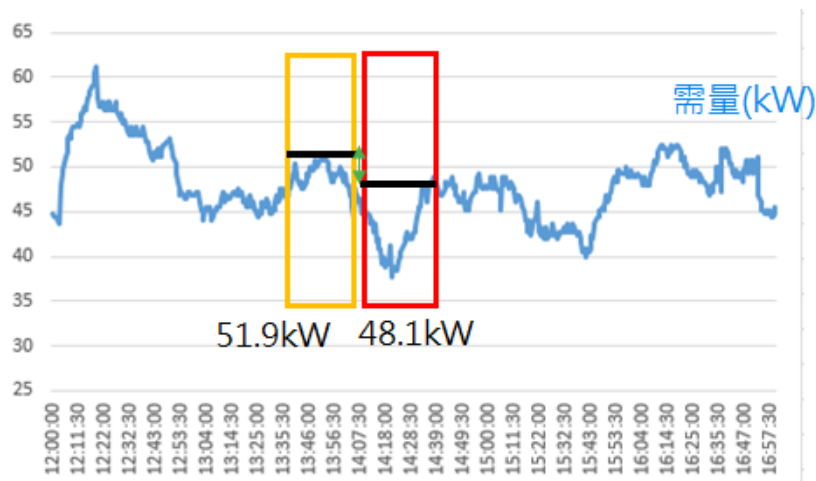


圖13 冷藏系統抑低需量變化

最後將全店系統一起做測試，包含空調、冷凍、冷藏系統，抑低策略為空調溫度設定為29度、冷凍將每個櫃子提升2度、冷藏將每個櫃子提升4度，在此前提條件下，所計算之最大抑低量為18kW，如圖14所示。實驗結果顯示各系統分開測試抑低量總和為17.8kW(空調12kW、冷凍2kW、冷藏3.8kW)，與全店系統一起測試之18kW差異不大，可驗證不管是分開測試或是一起測試相互影響不大，計算最大CBL(Customer Baseline Load, 用戶負載基線)可達到15%之成效。

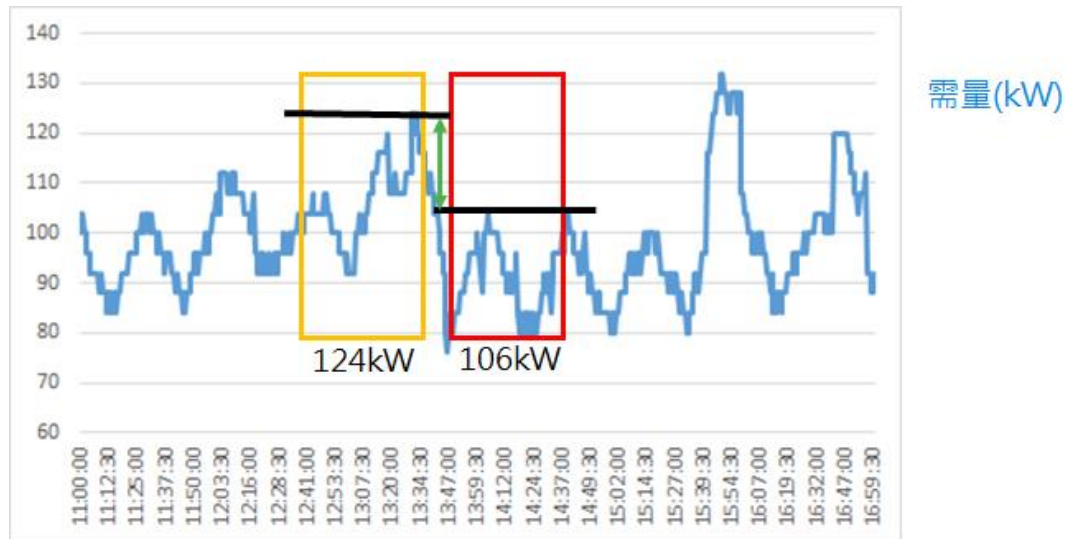


圖14 全店系統抑低需量變化

四、結語

本研究結合了大數據、人工智慧、IoT、節能控制與電網互動等技術，開發出一套具有需量反應服務能力的電網互動式AIoT能源管理系統。系統透過調整空調、冷凍、冷藏等系統之設備運轉參數，讓能源管理系統在提供節能服務外，同時具備提供需量反應服務之能力，以利參與電力交易市場，協助業者縮短系統投資回收年限，有助於技術推廣與落實，進一步達成降低電網負載與提高供電穩定度之政策目標。本研究在電力調度部分為前期之研究，主要目的為評估系統能力，因此僅實施簡單之抑低策略，但在實際應用時，仍需要考慮到具體的應用場景和實際情況，例如商店的類型、地理位置、人流量、法規面等因素，以制定出更加適合的電力調度策略。

隨著科技的進步和經濟的發展，人們越來越重視環保和可持續發展，尤其是在能源方面。儲能設備可以讓再生能源更有效地被利用，因為再生能源的發電量通常會受到自然因素的限制，如風速、日照之影響。儲能設備可以將再生能源於高產量時期所產生的能量儲存下來，於低產量時期供應給用電戶，使得再生能源的利用率更高，進而促進電網穩定度。因此，未來相關研究可朝向整合儲能設備、再生能源、發電設備、新型材料與抑低策略等面向進行研發，並透過IoT與AI技術進行系統級最佳化控制，以進一步提高節能量、抑低能量與延

長卸載持續時間，符合電力交易市場之需求，藉此業者縮短系統投資回收年限，同時協助政府落實相關之能源政策以及提高供電系統穩定度，實現2050年之淨零排放目標。

五、參考文獻

- [1] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Capacity Statistics 2021，2021
- [2] 張景淳，“美國電力需量反應實施成效調查”，工業技術研究院，2013
- [3] 電力交易平台日前輔助服務市場，台灣電力公司，2022