

本月專題

節能技術案例資料加值工具開發與應用

工研院 綠能與環境研究所

摘要

世界現正處於資訊爆炸之大數據時代，資訊分析於各領域之應用日漸重要，以往紙本處理的事務，已漸漸移轉至電腦處理及儲存，而大量的資料紀錄已成為未來決策及參考之重要依據，故資料分析所扮演的角色日趨重要，而在電腦運算速度大幅提升，以及一些人工智慧與資料探勘方法開始逐漸發達，許多領域皆開始針對既有之資訊進行大數據分析，以增加過往在人為決策下所無法發現的重要資訊，此研究將針對節能技術案例進行加值應用分析，透過成本效益、資料探勘、機器學習分群等方法提升節能技術案例之附加價值。

一、前言

節能減碳技術服務團建立節能減碳輔導技術案例整合平台，逐月蒐集各分團隊之技術輔導案例，並系統性填報至案例平台，本研究針對這些案例進行進一步加值分析，以提升其應用之價值。

節能減碳輔導技術案例整合平台案例資料庫自 104 年 10 月至 106 年 5 月，蒐集案例數總計 220 件；系統設備改善項目達 717 項，詳見圖 1。

而案例之範疇共涵蓋 21 個產業別與 11 項設備/系統類別，如圖

1、服務團 104 年~106 年 5 月平台案例數統計

所示。觀察圖 1、服務團 104 年~106 年 5 月平台案例數統計

之平台案例改善項次統計分析，可發現目前平台之產業與設備項目以公用設備為多數，如照明系統、空調系統、電力系統等，探討此現象產生之原因，公用設備為各產業通泛使用之設備，其改善較不容易影響企業之正常營運，故輔導團隊實際訪廠給予改善建議時，多優先以公用設備為主，再視產業別或企業需求進一步給予其他設備相關建議。

此外，照明、空調占非生產性質產業能源消費比例相當大，故這些措施的案例填報上較多；另外，輔導團隊亦會針對企業電費單進行契約容量最佳化訂定改善，或提出功率調整等改善措施，這些建議有助於協助企業節費，故電力系統之改善項目增加多以此為主。

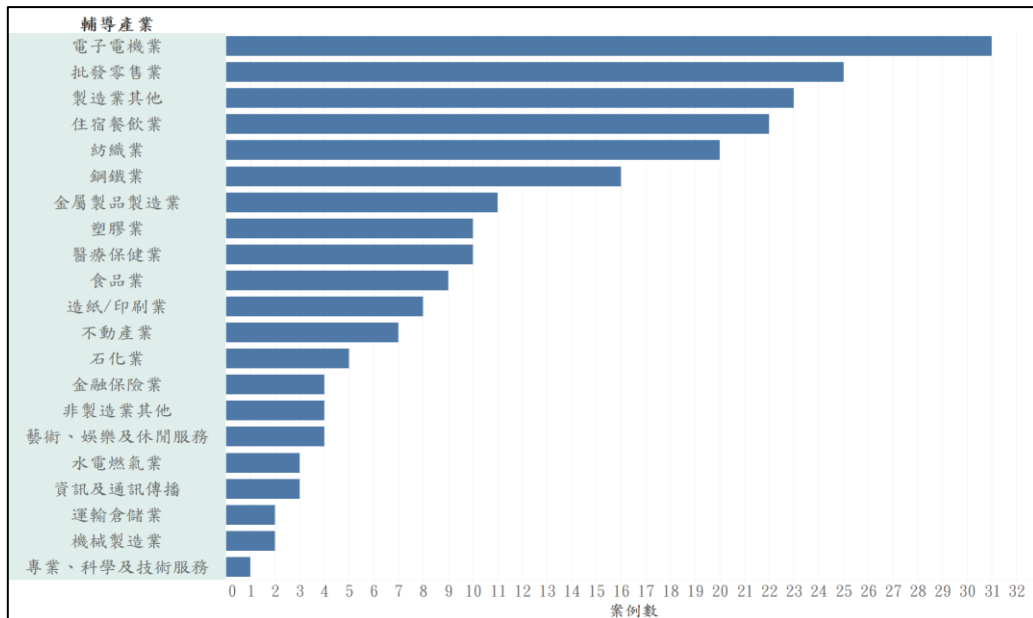


圖 1、服務團 104 年~106 年 5 月平台案例數統計

輔導產業	輔導設備別										Grand Total	
	照明系統	空調系統	電力系統	空壓機	鍋爐及蒸氣系統	製程	冷卻系統	冷凍冷藏設備	辦公室設備	資通訊設備		其他
水電燃氣業	3	4	3		1		1					12
鋼鐵業	7	9	1	14	2	4	1				1	39
石化業	1	3		4	1	1					1	11
電子電機業	13	30	1	26	2	3	3			1	1	80
機械製造業		1	2	2								5
金屬製品製造業	2		5	11	2	3					1	24
造紙/印刷業	2	3	1	6	2		4					18
食品業	2	5	2	7	4	1					1	22
紡織業	5	5	9	18	10	6					2	55
塑膠業	4	1	5	12	5	3					2	32
製造業其他	8	5	16	16	4	9	3				2	63
住宿餐飲業	20	34	27		3			1			2	87
批發零售業	24	39	54								2	119
金融保險業	4	9	9									22
資訊及通訊傳播	3	2	5									10
運輸倉儲業	2	4	2									8
不動產業	7	11	13									31
醫療保健業	8	15	16		2							41
非製造業其他	4	5	6								2	17
藝術、娛樂及休閒..	3	7	5						1		1	17
專業、科學及技術..	2	1	1									4
Grand Total	124	193	183	116	38	30	12	1	1	1	18	717

圖 2、平台案例改善項次依產業別與設備別之統計分析

二、案例成本效益分析

(一) 案例數據檢核

案例資料分析之前置作業，需針對案例進行數據檢核，以減少資料之誤植或偏差部分，提升分析結果之真實性，圖 3 即為平台資料之案例數與措施數呈現。

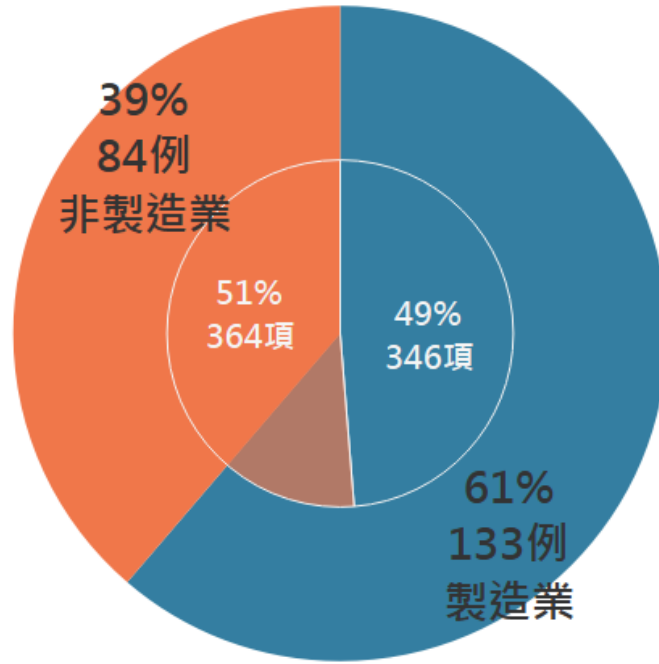


圖 3、平台案例改善項次依產業別與設備別之統計分析

本研究透過箱型圖分析方法，針對製造與非製造業各項措施在設備別之減量數據，繪製資料分佈之上樞紐（Q3，第 75 百分位數之值）、下樞紐（Q1，第 25 百分位數之值）、中位數、上界（ $Q3+1.5(Q3-Q1)$ ）、下界（ $Q3-1.5(Q3-Q1)$ ）等界線，以資料落點超過上界作為離群值之初步判定，若過多落點超過上界，為避免篩去重要資訊，則選擇過濾數據最高之措施點，繪製分析結果如圖 4、圖 4、製造業措施離群值判定(上部：減碳噸數，下部：措施數)

所示。

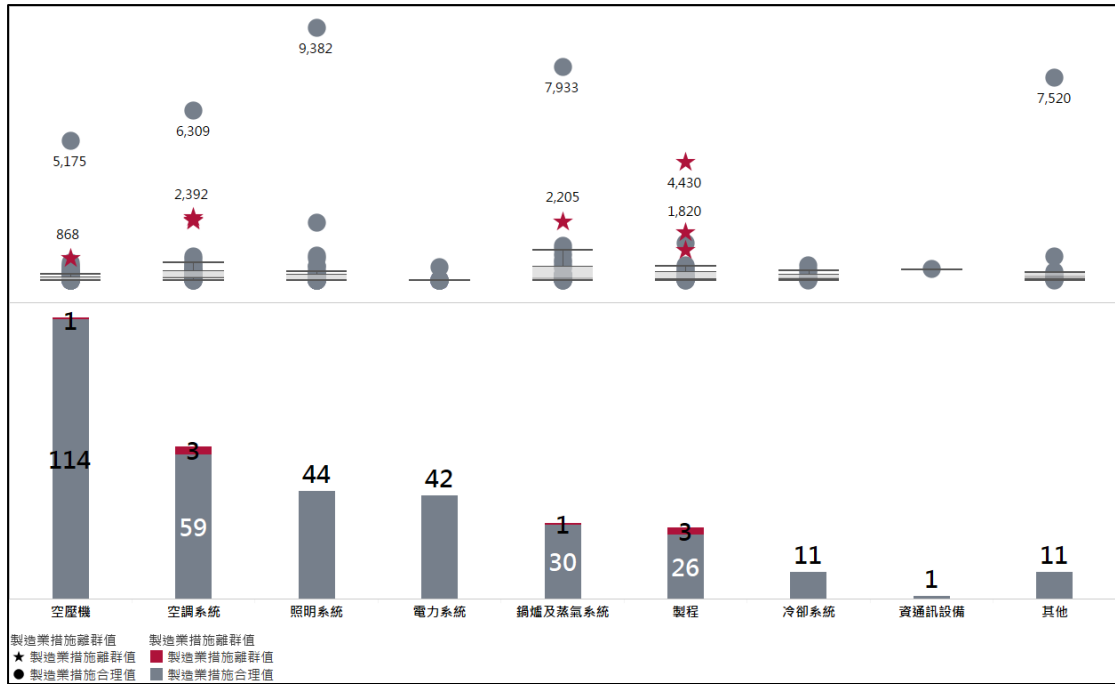


圖 4、製造業措施離群值判定(上部：減碳噸數，下部：措施數)

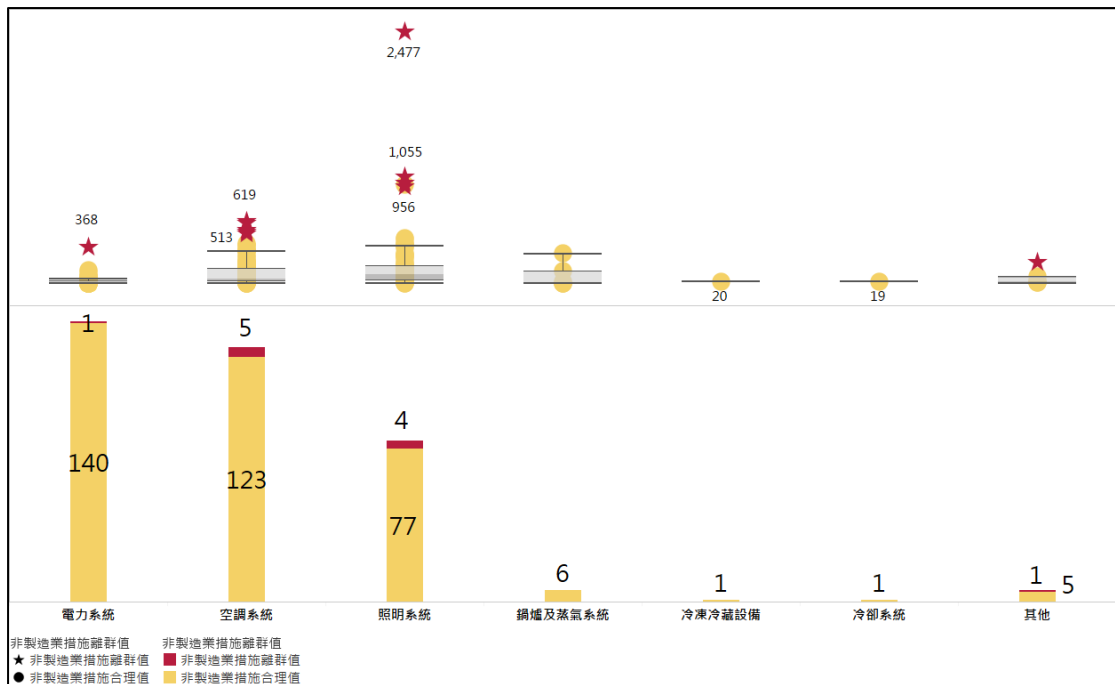


圖 5、非製造業措施離群值判定(上部：減碳噸數，下部：措施數)

(二) 重點措施檢視

本研究透過柏拉圖(Pareto Chart)分析方法，鑑別重大貢獻之節約措施，亦即 80%之減量效果主要由哪些重要措施項目(占總措施數多少比例)貢獻，以利後續擬定具成本效益推動策略之參考。本分析分別以總體、製造業、非製造業等面向進行。

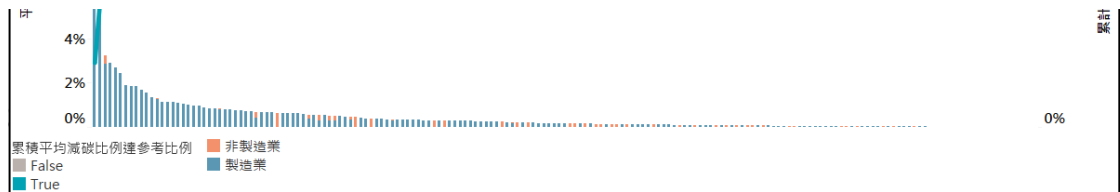


圖 6 所示。由圖發現，整體而言，約 29.7%之措施數目（措施平均減碳量以最大至最小，由左到右排序）已達成 79.8%之減量貢獻，因此判定這 29.7%之措施為整體而言之重點措施，其相關措施說明如圖 7 所示。

而重點措施於非製造業包括空調系統之汰換既有冰水主機為高效率冰水主機、照明系統汰舊換新為 LED 燈具或高效率照明燈具；而製造業部份主要為鍋爐及蒸氣系統之冰水主機汰換、製程中 PCW 改成獨立高溫冰水機供應、廠內蒸氣管線保溫補修、汰舊換新高溫快速染色機等措施。

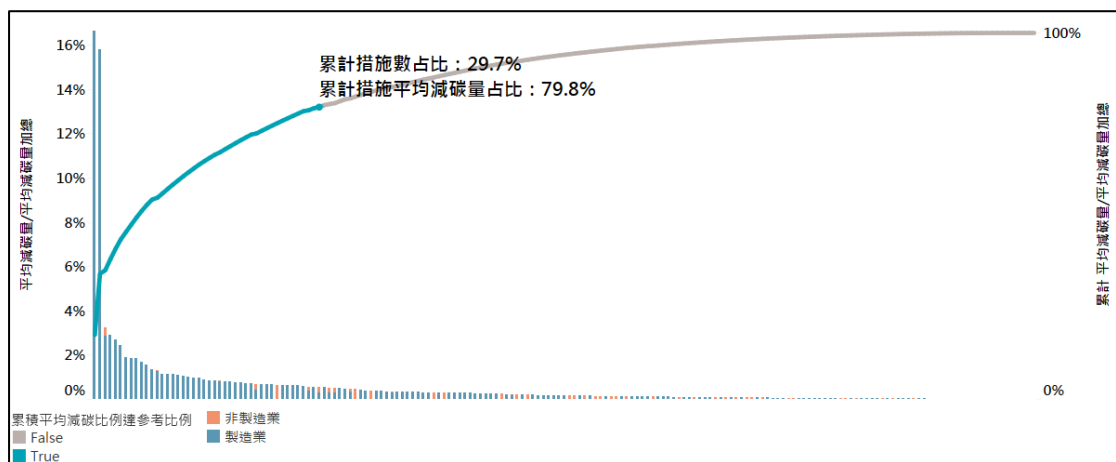


圖 6、整體重點措施分析(加總減量貢獻度近 80%)

輔導設備別	節約措施(G)	非製造業	製造業
冷卻系統	檢查原有變頻系統功能，如確認可用，建議全部加裝變頻器，並以濕球溫度..		545
	將泵全開以降頻方式操作		389
空調系統	汰換為高效率冰水主機	186	1,354
	建議空調系統冷凝器銅管統安裝自動清洗系統，輔助清除銅管內水垢，提升..		882
	空調系統操作最佳化	16	604
	汰換為高效率馬達		463
	冷卻水塔風扇加裝變頻器，並以外氣濕球溫度控制	4	389
	冰水主機及CDA開機管制並設置警報操作管理提示		373
	管控冷卻水質避免影響冰水主機性能		370
	提升冰水機與冷卻水塔效能		366
	空調系統整合		338
空壓機	空壓機系統效率提升		906
	汰換為無耗氣式乾燥設備		512
	使用多台連鎖順序控制器及改善單位耗能偏高問題		346
照明系統	汰換為T5(電子安定器)或LED燈具		809
	汰舊換新改用LED燈具	117	137
	採用高效率照明光源與燈具	135	195
資通訊設備	建立長期設備能效管理監控系統		420
電力系統	導入需量控制		488
製程	PCW改成獨立高溫冰水機供應		1,385
	將燒成窯前煙道之廢熱進行回收利用，作為噴霧乾燥之輔助空氣		549
	機台烘箱燃燒系統以天然氣替代重油燃燒		510
	製程一般廢熱排氣回收及壓力調整		397
鍋爐及蒸氣系統	廠內蒸汽管線保溫修補及蒸汽祛水器洩漏檢測維修與汰舊換新高溫快速染色..		7,933
	利用氫氣替代部分空氣進行富氫燃燒		1,285
	提升節煤器熱回收利用效能		1,154
	熱煤鍋爐排氣熱回收供連續退漿機使用		750
	鍋爐燃油添加乳化劑，提高燃油燃燒效率。		650
	熱煤鍋爐排氣熱回收供熱煤鍋爐預熱新鮮空氣		542
	手動調節或自動尾氣含氧量回饋控制		470
	鍋爐廢熱氣回收利用		395
其他	蒸汽外購		7,520
	純水泵加裝變頻，隨需求端控制		885

圖 7、整體重點措施項目及效益清單

(三) 措施減量與成本分析

為求得較具參考性的數據，本研究篩選輔導措施數至少 5 次以上之製造業產業，繪製製造業各措施平均減量效果(節電、節熱)及其平均回收年限如圖 8 所示。由圖 8，電子電機業具有較高的平均節熱潛力，反之石化業具有較高的平均節電潛力，然上述結果與行業別用能情況較不符，主要係團隊臨場診斷之設備有關(製程設備較不易改善)；而鋼鐵業平均投資成本偏高(5,871 萬元)，主要為其中一項製程改善措施投資較高(220,000 萬元)，其透過更改主要製程設備為電感應式加熱爐，直接進行軋延，且將加熱燃料由重油改為電力為主及天然氣為輔，達到減碳效果，然其節約費用亦較多，使得回收年限僅 2.12 年。

而以減碳當量為縱軸，平均投資成本為橫軸，方形區塊大小則以節約費用呈現，並將分析因子由連續數值化為區間，提供較佳參考指標，呈現製造業分析如圖 10 所示。其中，無額外投資，減碳量在 100 噸以上，以團隊 FY106 年新填報之措施為例，如透過管理及降低空壓機內部壓力損失，損失成因，調降空壓機設定壓力的方式，可達 2.5 萬噸之減量效果，並節省 1.4 萬費用；亦或透過生產調配降低單位產品耗能，可達 253.4 萬噸之減量效果，並節省 144 萬費用。

同樣篩選輔導措施數至少 5 次以上之非製造業產業，繪製非製造業各業別措施平均減量效果(節電、節熱)及其平均回收年限如圖 9 所示，由於非製造業用熱主要在於鍋爐設備改善，增設熱泵加熱熱水系統，因此如住宿餐飲與醫療保健業有較大的熱水需求，常導入此措施；而平均節電量高但平均回收年限較低的運輸倉儲業，主要採取的措施為空調汰換高效冰水主機、採用高效率燈具、電梯加裝電力回生裝置等措施。

而以減碳當量為縱軸，以平均投資成本為橫軸，圓形區塊大小則以回收年限呈現（區塊越大表示越快回收），並將分析因子由連續數值化為區間，呈現非製造業分析如圖 11 所示。其中，無額外投資，屬於行為面改善，減碳量在 50-100 噸之間，以團隊 FY106 年新填報之措施為例，如調整冷房溫度、降低冷卻水塔出水溫度等；在電力系統的改善上，團隊 FY106 年新填報之轉移次要負載及尖峰時間電力措施，亦評估具有 44.6 萬噸的減碳效益，0.2 年即可回收。

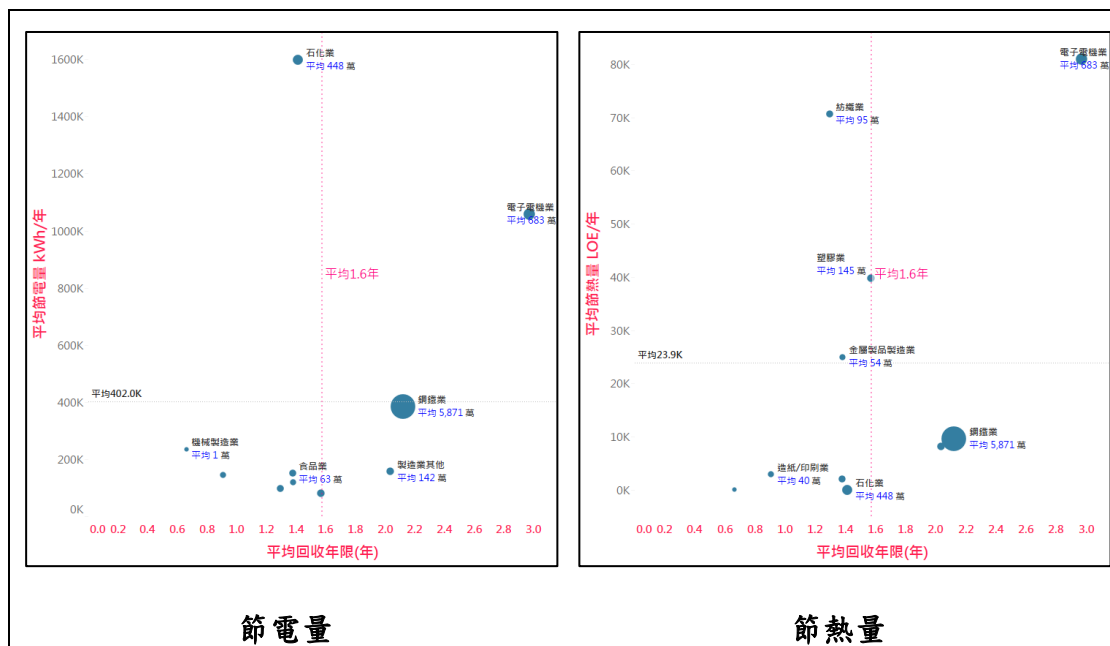
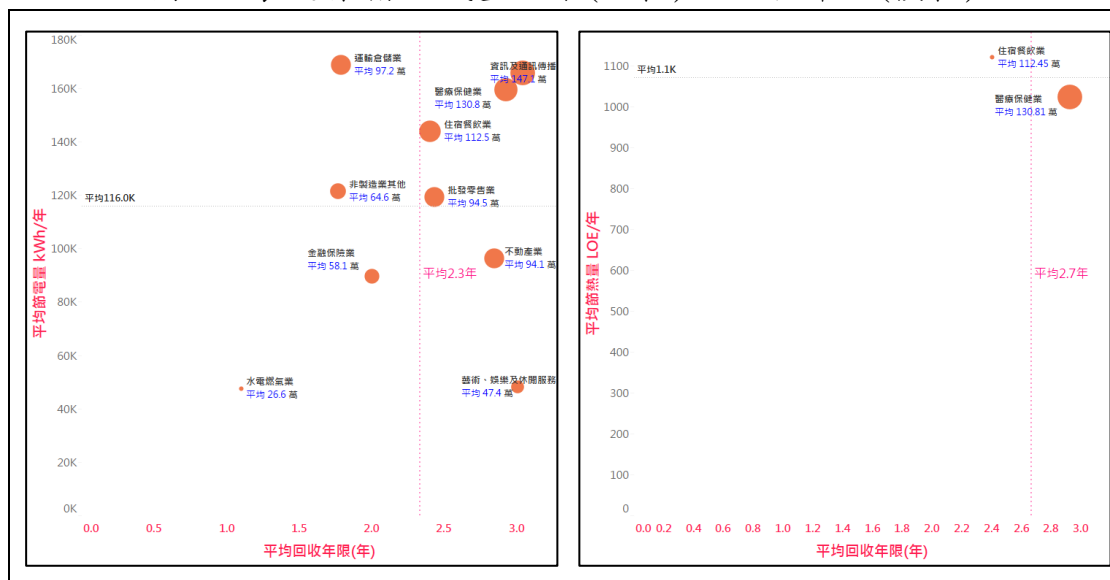


圖 8、製造業措施減量效果(縱軸)vs 回收年限(橫軸)



節電量	節熱量
-----	-----

圖 9、製造業措施減量效果(縱軸)vs 回收年限(橫軸)

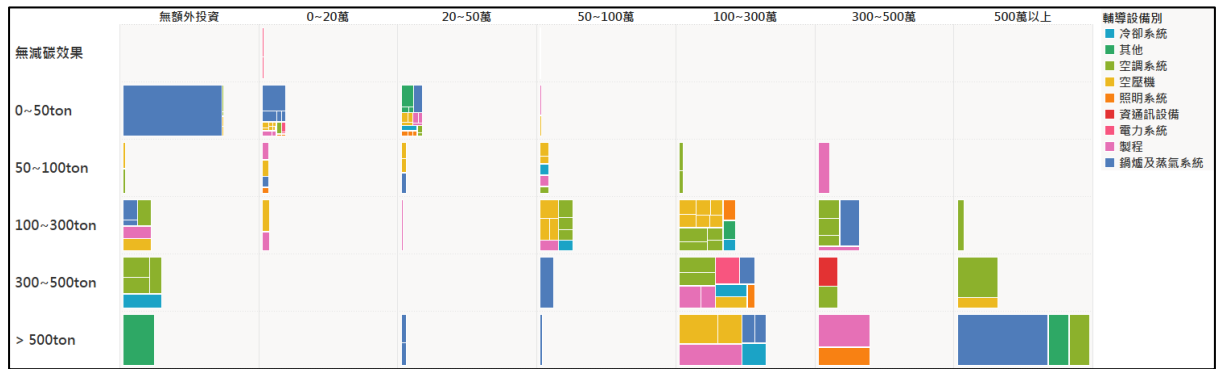


圖 10、製造業措施減碳當量區間(縱軸)vs 投資成本區間(橫軸)

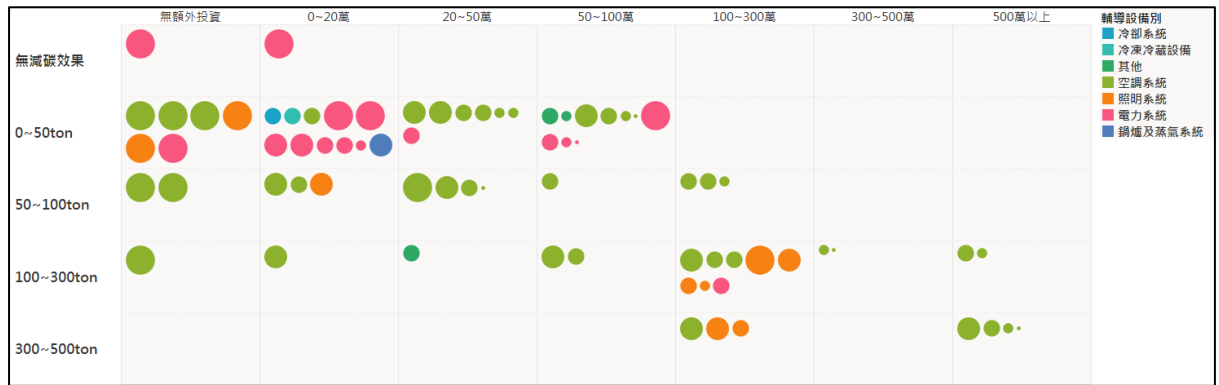


圖 11、非製造業措施減碳當量區間(縱軸)vs 投資成本區間(橫軸)

針對製造業前 80%減碳量的 20%措施數內容，包括石化業及電子業的汰換為高效率冰水主機、造紙業冷卻系統變頻控制風扇最佳化控制、食品業空壓機汰換為無耗氣式乾燥設備、製造業其他的廢熱回收、金屬製品製造業的鍋爐富氧燃燒、塑膠業的節煤器熱回收、鋼鐵業水泵加裝變頻器及紡織業的鍋爐系統蒸氣管線隔熱洩漏補修等，主要為冰水主機汰換、馬達加裝變頻器使用最佳化操作及廢熱回收三個部分。服務業前 80%減碳量的非製造業 42%措施數內容，則包括醫療保健業、運輸倉儲業、非製造業其他、資訊與通訊傳播業等行業之高效率照明燈具汰換，住宿餐飲業、不動產業及藝術娛樂休閒服務業的高效率冰水主機汰換，主要偏重於照明及冰水主機之汰換。

透過本研究成本效益分析可識別主要減碳措施，建議輔導團隊後續輔導可首要針對此些設備進行上述措施減量潛力評估及實質減量推動，以提升減碳輔導效益。

三、節能輔導支援工具與節能減碳措施推薦系統

(一) 節能輔導支援工具

本研究將開發節能輔導支援工具，首先為節能輔導對象選擇分析工具之先期開發，本團隊導入資料挖礦手法與分析思維，針對節能輔導對象選擇進行特徵篩選與分析，以找出具有較高節電效益的群體用戶，進而提供各分團對於輔導資源之規畫參考，而本工具開發規劃與能源密集產業分隊合作，取得去識別化後之部分申報資料庫樣本進行分析，透過資料探勘的決策樹方法進行主要特徵選取及分群，圖 12 即為 105 年輔導對象選擇分析工具之分析示意，後續將於取得分隊同意後，持續 106 年之分析工作。

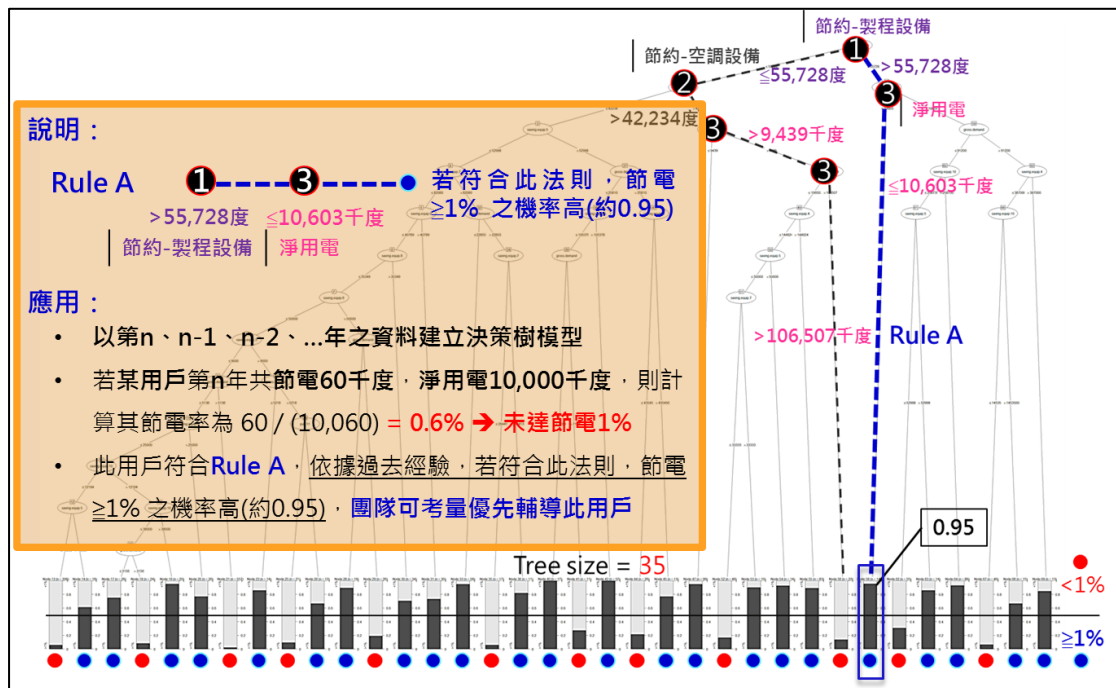


圖 12、決策樹模型

本研究所開發之節能輔導支援工具，可透過能源查核申報資料建立模型，預測具有較高節能減碳潛力之用戶，以提供各分團隊於臨場輔導資源配置的規劃參考，主要欲協助分團隊提升節能輔導策略與人力配置的效益最佳化建構。

(二) 節能減碳措施推薦系統

為能提升各分團隊在臨場輔導前對於受輔導廠商的節能潛力評估，以及提升受輔導用戶對於節能減碳措施的採行與導入誘因，本團隊規劃建立節能減碳措施推薦系統，將從能源查核申報資料選取特徵資料，以進行同類型用戶分群，進而統整同群用戶之節能減碳措施，並對於同群體中未採用措施之用戶進行措施推薦。此工具亦規劃與能源密集產業分隊合作，取得去識別化後之樣本進行分析，而用戶分群以行業別、所在地區、用戶規模、能源使用狀況、設備使用狀況等資料作為分群依據，模型建構擬先將歷史資料以行業別進行分類，以消除製造業中不同產業使用能源和設備種類差異大的現象，再依其他分類參數進行多組用戶分類之後，彙整可採行的節能減碳措施，最後推薦節能減碳措施，圖 13 即為節能減碳措施推薦系統之架構與分類示意圖。

而本研究透過資料探勘中的 K-means 演算法建立模型針對用戶進行無監督式分群，而首先本研究針對生產性質能源大用戶依行業別進行分類，分為電機電子業、金屬基本工業、化工業、非金屬礦業、食品業、紡織業、造紙業及筆造業其他等七大類別，接著根據各行業之電熱、集塵、製程動力、空調、空壓機、照明、汗水處理、冷凍冷藏及其他設備之能源使用占比，進行各行業下之用戶分群，而透過 K-means 演算法之模型初步分群結果範例如圖 15，圖中為電機電子業總共 833 家用戶之分群結果，而類別 1 有 227 家，特徵為其他用電占比較其他兩群體高，即為高其他用電設備占比群體；類別 2 有 332 家，從圖中可看出製程設備占比相較於其他兩群體來的多出許多，即為高製程用電設備占比群體；類別 3 有 270 家，從圖中可以看出空壓機用電占比較其他兩群體高，即為高空壓機用電占比群體，後續可針對群體下之節能減碳措施進行統整，進而推薦於該群體中未採行多數措施之用戶對象。

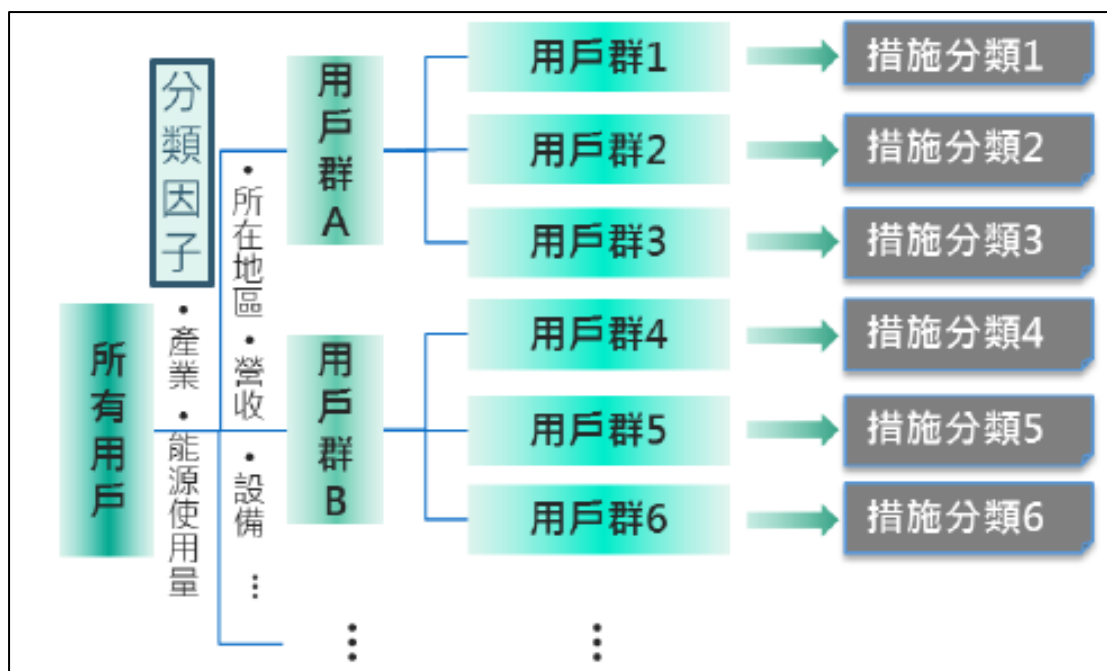


圖 13、節能減碳措施推薦系統架構

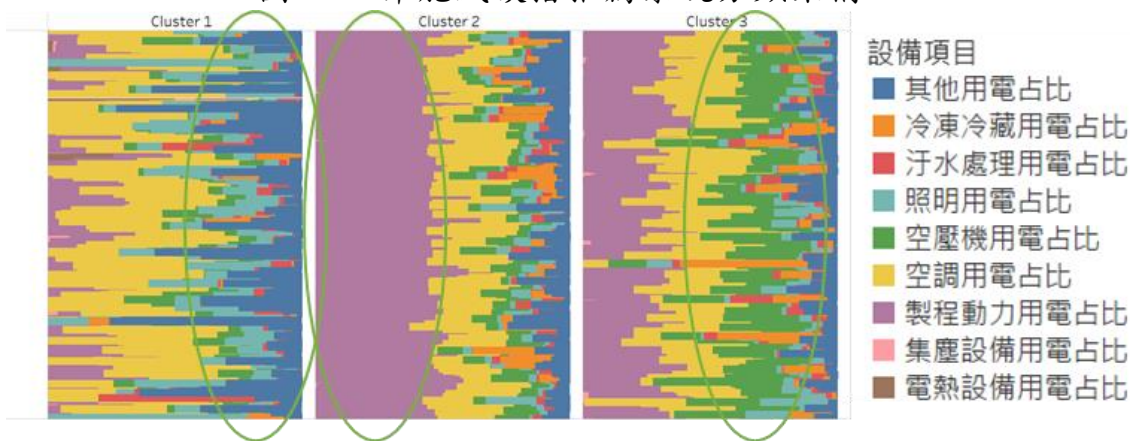


圖 15、節能減碳措施推薦系統電機電子業分類群體內容特徵

本研究所開發之節能減碳措施推薦系統，可供用戶進行用戶型態識別，透過群體歸類了解同性質用戶主要採行減碳措施，以供減碳投資決策參考，另可供服務團隊於臨場輔導前，透過推薦系統掌握用戶型態及可採行措施，以減少臨場輔導前置作業之調查與分析。

四、結論

節能減碳技術案例加值工具之開發，此研究主要針對三個方向進行推動，第一為技術案例之成本效益分析，利用技術案例之節能與減碳情形，對比其措施投資與回收金額，進行效益分析，而此部分先針對資料數據檢核提升資料品質，接著透過柏拉圖法找出重點減碳措施，最後再針對多數採行之措施進行減碳效益分析，找出投資成本較低，又具較多減碳效益之措施。

第二為決策支援系統部分，此部分針對製造業能源大用戶進行決策樹分析，選取縣市、行業、資本額、用電量、節電率、各種公用設備、節電設備等作為模型變數，進行用戶未來是否可達成節電 1%之預測，接著再針對節電達 1%之用戶進行樣型探勘，最後找出未達節電 1%但具有達到節電 1%潛力之用戶，並提供予服務團隊進行輔導對象之參考，達到決策支援之效益。

第三為節能減碳技術推薦系統，推薦系統主要透過用戶之各類資料如縣市、行業、各類設備用電占比、用電量等參數，利用 k-means 演算法建立模型，針對用戶進行分群，並找出群體主要特徵，最後再統整各群體之節能減碳措施，並進一步推薦予群體內未採行主要措施之對象，以達到措施推薦的目的。

以上三個方向即為本研究所推動的加值工具內容，後續將針對工具進行進一步開發，並在更新案例資料與用戶資料後，針對模型進行優化與功能提升，以增加節能技術案例與用戶資料之價值。而此三種工具之推動方向可搭配相關政策進行推動，如成本效益分析可識別當前主要減碳措施趨勢與具高節能減碳效益之措施，如分析結果呈現服務業之照明與空調設備汰換具高效益，可搭配未來三年之新節電運動設備汰換補助，於臨場輔導時作為提升廠商進行設備汰換之依據與誘因；另外如決策支援系統，可將過往用戶資訊進行分析預測，識別高

節能減碳潛力對象，以提升輔導團隊在有限資源與人力下的輔導成效；最後如推薦系統可提供予用戶擴散使用，以識別其同類型用戶所採用之節能減碳措施，作為措施投資重要參考依據，提升用戶進行節能減碳投資之動力，進而達到擴散效益。

五、參考文獻

(一) 節能減碳輔導技術案例整合平台資料庫

(二) 生產性質能源查核申報資料