

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

115 年第 3 季 (115.07 No.141)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(100046) 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2364-9611

目錄

研究計畫成果

- 一、AMI 資料應用於居家關懷服務研究1
- 二、微電網場域 IEC 62443 標準導入與試行研究2
- 三、345kV 架空輸電線路之雷擊風險評估研究4
- 四、臺灣區域產業結構變遷與電業營運衝擊分析6

新技術新設備介紹

- 智慧電表加速老化試驗方法突破與精進7

台灣電力公司

使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。

願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。

經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

研究計畫成果

一、AMI 資料應用於居家關懷服務研究

(負載管理研究室：賴宜均、陳玉芬)

(一) 研究背景與目標

隨著智慧型電表基礎建設(Advanced Metering Infrastructure, AMI)逐漸普及，掌握用電資訊的方式已不再受限於傳統電表。AMI 的主要功能除了紀錄用電量做為電費收費依據外，其蘊涵的數字背後還隱藏著豐富的電力使用資訊。

依據內政部人口統計資料，台灣自 1993 年起邁入高齡化社會(聯合國定義的高齡化社會為 65 歲以上人口占總人口之 7%以上)。隨著老化人口逐年攀升，有效運用低壓 AMI 資料，協助掌握高齡族群的居家生活，可提升社會福利精準度與效率。

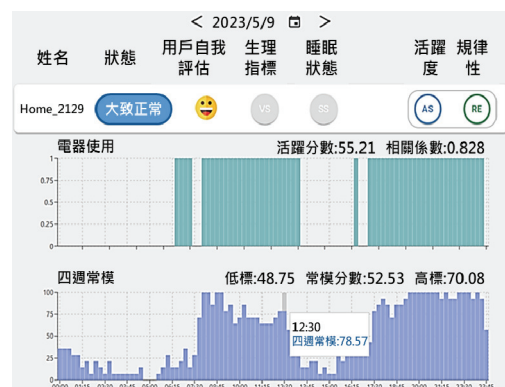
本研究務實運用低壓 AMI 資料，透過評估長者在宅用電的活躍度與規律性，藉由招募示範住戶的方式進行實地場域驗證。研究成果於台灣電力 APP 中提供用電作息指標服務，期望能達到即使遠距也能維持親友之間關懷與互動的效果。

(二) AMI 資料應用於示範住戶驗證

本研究目的旨在將用戶住宅之 AMI 用電資訊轉換成長者生活作息指標，以便於判斷長者用電行為是否有異於平常的情況發生。於實地場域驗證過程中，本研究提出「健康狀態儀表板」，以視覺化方式讓使用者容易理解長者的各項指標、用電情形與長者狀態等。在該儀表板中除了使用 AMI 用電資訊外，亦整合了其他智慧照護物聯網(Internet of

Things, IOT)產品，彈性組合異質資訊流，以利由不同角度進行觀察。

「健康狀態儀表板」如圖 1 所示，其內容包含兩項用電指標——「活躍度」與「規律性」、生理指標、睡眠狀態、用戶自我評估、綜合狀態指標、電器使用時段圖、四週常模分析圖等。其中生理指標是搭配血壓計，睡眠狀態則是結合智慧床墊。



資料來源：本研究繪製

圖 1 健康狀態儀表板介面

兩項用電指標的建立流程是依循以下步驟來達成：

1. 透過該用戶前四週(28 天)每 15 分鐘一筆的 AMI 用電資訊建立用電閾值(即背景用電值)。

- 將過去四週每天以及比較基準日當日的用電量分別與閾值進行比較，轉換成電器使用狀態(0/1)，0表示背景用電(即無使用電器)，1表示實際有使用電器行為。
- 由過去四週的電器使用狀態建立用電作息常模、活躍分數、相關係數、高低標等數值。
- 藉由上述數值評估比較基準日的「活躍度」與「規律性」。

其中「活躍度」代表電器使用的活躍程度，「規律性」則代表電器使用的規律程度。本研究將這兩項用電指標皆分成四種程度，並以不同燈號呈現，分數由高至低的燈號依序是綠燈(狀況良好)、藍燈(大致正常)、黃燈(需要注意)、紅燈(異於平常)。透過判讀燈號可以了解長者目前「活躍度」與「規律性」各自代表的情形。例如從圖1可知該長者在2023年5月9日的「活躍度」為藍燈、「規律性」為綠燈，由此可知該長者當天蠻常使用電器的，且作息與前四週相比維持得很規律。

(三) 台灣電力 APP「用電作息指標」

本研究最終以AMI服務「用電作息指標」功能呈現於台灣電力APP中，該功能自114年3月25日起正式上線，截至114年4月底已服務超過9000戶會員。

「用電作息指標」提供近7筆分析結果供用戶查詢，且為方便用戶理解，分析結果以綜合評估方式呈現，僅顯示「活躍度」與「規律性」兩項指標中較需要用戶注意的指標燈號，功能示意圖如圖2所示。

以圖2為例，該用戶在11月14日當天的綜合評估呈現黃燈(需要注意)，代表當天該用戶「不太常使用電器」或是「作息跟平常不太一樣」。本服務旨在透過指標分析資訊的提供，促進親友間彼此關心。



資料來源：台灣電力 APP

圖2 「用電作息指標」功能示意圖

(四) 結論與建議

1. 結論

(1) 本研究務實運用低壓AMI資料建立用電指標，藉以評估長者在宅使用電器的頻率與作息是否和平時不同。在分析結果呈現方面，透過綠(狀況良好)、藍(大致正常)、黃(需要注意)、紅(異於平常)四色燈號設計，提供用戶直觀的視覺化指標資訊。

(2) 本研究最終以「用電作息指標」形式呈現於台灣電力APP中，只要是AMI用戶皆可訂閱本服務。藉由台灣電力APP的電號共享功能，能夠讓住宅使用者(例如：長者)與被授權者(例如：居住在外地的親友)共享用電作息指標資訊，達到了解自身用電情形，以及即使遠距亦能維持與親友間的關懷與互動。

2. 建議

目前「用電作息指標」功能僅提供綜合評估結果，若需要查看更細緻的用電資訊，可以搭配台灣電力APP的「用電資訊」功能，藉以加深對自身用電行為的認識。未來將持續探索更多AMI資料應用的可能性，以充分發揮智慧電表的附加價值。

二、微電網場域 IEC 62443 標準導入與試行研究

(資訊與通信研究室：郭家宏、林呈鴻)

(一) 研究背景

隨著能源轉型、再生能源併網比例提升及分散式能源快速普及，微電網已成為提升電力系統韌性、穩定性與調度彈性的重要技術。微電網整合太陽光電、儲能系統、電力轉換設備、感測元件、人機介面與集中式控制系統，可支援能源管理、控制策略驗證與供電韌性測試。然而，微電網也使傳統電力設備與資訊通訊技術高度結合，操作技術環境面臨更複雜的資安風險。

微電網控制系統不同於一般資訊系統，資安事件不僅可能造成資料外洩或服務中斷，更可能影響電力調度、設備啟停、儲能充放電控制及現場操作安全。因此，其資安防護不能僅著重單一設備或網路節點，而應以系統層級檢視身分識別、權限控管、資料流限制、事件紀錄、完整性保護、資料保密性

與資源可用性等能力。

本研究以樹林微電網整合驗證場域為對象，該場域具備實際設備、真實通訊行為與人員操作情境，可反映微電網於實際運作中面臨之控制介面存取、跨系統資料交換、邊界通訊治理及長期維運設定一致性等資安議題。為使資安導入具備一致性、可追溯性與可驗證性，本研究採用ISA/IEC 62443-3-3作為系統層級資安評估與強化依據，並以安全等級1(SL1)作為本階段導入目標，透過差異分析、風險辨識、控制項目轉換與分階段實作，建立可持續改善之取證路徑。

(二) 研究成果

本研究為完成ISA/IEC 62443-3-3 SL1之取證，建立一取證流程如圖1所示。針對控制系統與網路邊界防護元件建立系統化盤點結果、分析範圍

涵蓋七大資安功能，包括識別與鑑別控制、使用控制、系統完整性、資料保密性、受限資料流、及時反應與資源可用性，如圖 2 所示。每一項需求皆依據現行系統功能、設定狀態與實際操作情境進行比對，並區分為已可達成、尚未達成與不適用三類，提供比對結果之描述與改善建議，使研究團隊能清楚掌握現況成熟度與主要落差來源，初步結果如表 1 所示。

表 1 ISA/IEC 62443-3-3 差異分析初步結果

功能要求	總要求條文	已可達成	尚未達成	不適用
識別與鑑別控制	10	9	0	1
使用控制	8	5	1	2
系統完整性	5	1	3	1
資料保密性	2	0	2	0
受限資料流	4	3	0	1
及時反應	1	1	0	0
資源可用性	7	3	4	0
總計	37	22	10	5

資料來源：本研究

初步差異分析結果顯示，37 項系統層級安全需求中，已有 22 項可達成、10 項尚未達成、5 項不適用。系統在身分識別、登入驗證、帳號管理、密碼複雜度、登入失敗鎖定、權限分級、工作階段鎖定及日誌管理等項目已具備基礎能力；惟在系統完整性、資料保密性、事件管理、輸入驗證、區域與導

管模型及資源可用性方面仍有強化空間。

後續依差異分析結果進行改善實作，包括強化認證資訊保護、通訊完整性、網路區隔、邊界控管、事件紀錄、稽核資料存取、資源盤點及設定管理等項目，並逐步收斂不必要通訊路徑，建立更明確的區域與導管模型。最終，尚未達成項目皆完成改善，結果如表 2，並取得 ISA/IEC 62443-3-3 SL1 證書。

整體而言，本研究完成微電網場域由現況盤點、差異辨識、改善實作至取證完成之完整導入流程，建立具實務可行性之工控資安強化方法。此取證路徑可作為公司未來導入 ISA/IEC 62443-3-3 SL1 時，評估人力、物力、成本與推動步驟之重要參考。

表 2 ISA/IEC 62443-3-3 實作結果

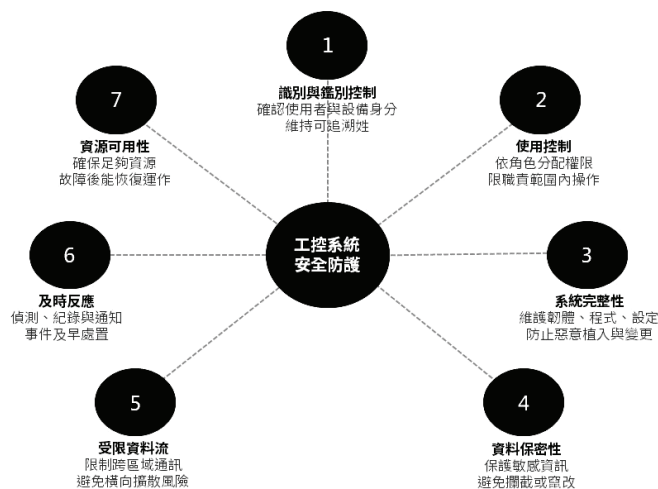
功能要求	總要求條文	已可達成	尚未達成	不適用
識別與鑑別控制	10	9	0	1
使用控制	8	6	0	2
系統完整性	5	4	0	1
資料保密性	2	2	0	0
受限資料流	4	3	0	1
及時反應	1	1	0	0
資源可用性	7	7	0	0
總計	37	32	0	5

資料來源：本研究



資料來源：本研究自行繪製

圖 1 微電網場域導入 IEC 62443 之架構



資料來源：本研究自行繪製

圖 2 七大資安功能

三、345kV 架空輸電線路之雷擊風險評估研究

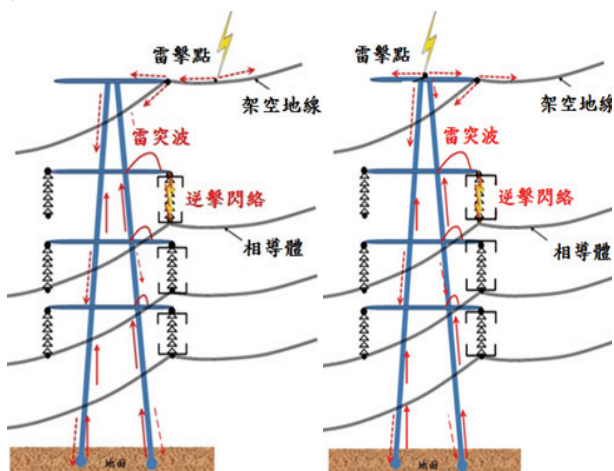
(高壓研究室：陳柏江、林彥廷)

(一) 研究背景、目的、方法

本案採用 2020~2024 年台灣本島實測 CG (Cloud to Ground) $\geq 1\text{kA}$ 雷電流資料作為 GFD (Ground Flash Density) 演算之基礎，建立 $\geq 20\text{kA}$ 之「台灣本島 GFD 網格圖」，清楚顯示台灣各本島雷害程度分布之情況，可供為戶外電力設施與建築物防雷設計之依據，亦計算出台電 345kV 輸電線路逆擊閃絡及繞擊閃絡之危險雷電流值，利用地理圖資軟體 MapInfo 之數值分析及自然斷裂分類法，繪製「台電輸電電網雷害 GFD 網格圖」，可準確區分各級輸電鐵塔塔號之雷害種類及雷害等級，並篩選出嚴重雷害等級之輸電鐵塔，排定雷害防制的優先次序，以提高雷擊防護措施之針對性和有效性。

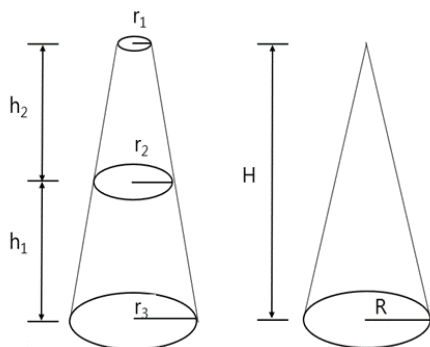
(二) 成果及應用

當輸電線路之架空地線或鐵塔遭受雷擊時，因為鐵塔本身的突波阻抗和塔腳接地電阻之關係，雷擊電流經由塔頂通過塔身注入塔腳後，其雷擊突波會從地面再反射返回塔頂，因此在鐵塔上的橫桿處會產生很高的電壓升，易導致鐵塔最上層礙子兩端電壓超過臨界閃絡電壓值，引起絕緣礙子連之閃絡如圖 1 所示，鐵塔突波阻抗之幾何參數如圖 2 所示。



資料來源：本研究整理

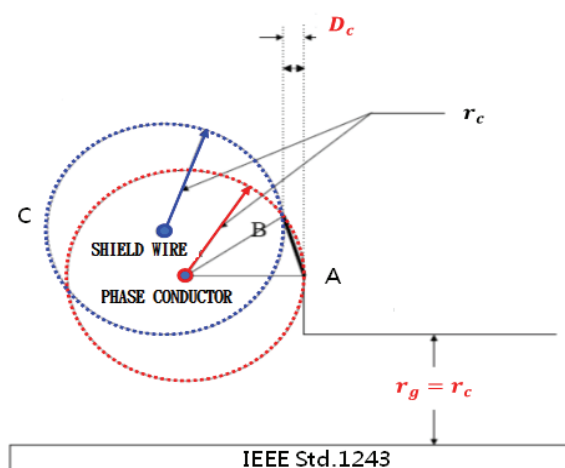
圖 1 輸電鐵塔之逆擊閃絡



資料來源：本研究整理

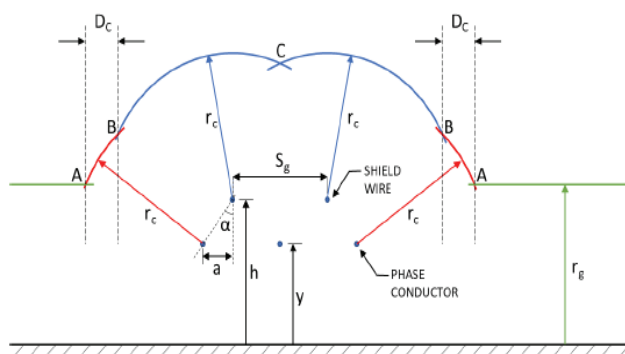
圖 2 鐵塔突波阻抗之幾何參數圖示

當輸電架空地線遮蔽失敗時，落雷會直接雷擊在相導體上，並向其他相導體發生閃絡現象，造成上下相間之短路故障，或導致鐵塔橫桿上線路礙子發生閃絡事故，圖 3 是電機電子工程師學會標準 IEEE Std.1243 之繞擊閃絡示意圖，圖 4 是國際大電網委員會技術手冊 CIGRE WG33.01 繞擊閃絡示意圖。



資料來源：本研究整理

圖 3 IEEE Std.1243 繞擊閃絡示意圖



資料來源：本研究整理

圖 4 CIGRE WG33.01 繞擊閃絡示意圖

雷擊風險計算主要依據國際電工委員會標準 IEC62305-2， N_D 為被雷直接擊中的風險(或稱為每年危險事件次數)， N_G 為落雷密度(每年每平方公里之落雷次數)或稱為 GFD，假設一個物體的面積為 A_d ，則此物體被雷直接擊中的風險為 $N_D = N_G \times A_d$ 。

根據 IEC 62858 建議：採用 10 年以上 CG 資料 ($T_{obs} \geq 10$ 年)，最新 CG 資料應含最近 5 年內，並符合公式： $GFD \times T_{obs} \times A_{cell} \geq 80$ 。估算 CG 資料所需最小年數為 (T_{obs})，網格採用 $A_{cell} = 3 \times 3 \text{km}^2$ 及 $GFD \geq 1.0$ ，則需採用 9 年以上 $CG \geq 1\text{kA}$ 資料如表 1

所示，位於平坦地面上的孤立鐵塔，其等效雷擊面積 A_d 定義為通過鐵塔頂部(與其接觸)傾斜度為 1/3 直線，圍繞鐵塔塔頂一周後，與地表交接截面積即為 A_d 如圖 5 所示，假設鐵塔高度為 H ，鐵塔之長為 L 及寬為 W ，並忽略塔頂橫擔之尺寸，則鐵塔等效雷擊面積 A_d 公式為：

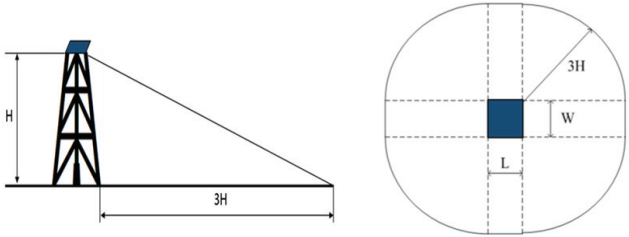
$$A_d = \pi \times (3H)^2 + L \times W + 2(L \times 3H) + 2(W \times 3H)。$$

表 1 IEC 62858 之最小年數(T_{obs})

GFD	A_{cell} 1 × 1(km ²)	A_{cell} 2 × 2(km ²)	A_{cell} 3 × 3(km ²)	A_{cell} 4 × 4(km ²)
	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)
0.25	320	80	35	20
0.5	160	40	18	10
1.0	80	20	9	5
2.0	40	10	4	2.5

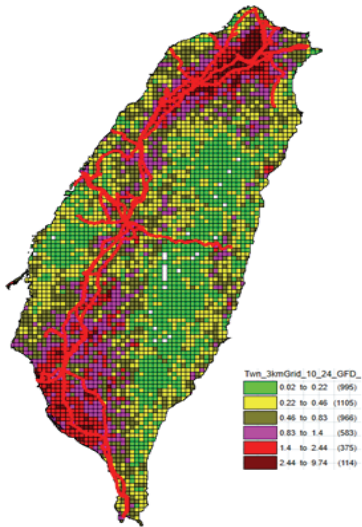
資料來源：本研究整理

先計算各鐵塔之等效雷擊面積 A_d ，再依據整合型閃電落雷偵測系統之 GFD 資料如圖 6 及圖 7 所示，求出各級輸電鐵塔之雷擊風險機率如表 2 所示，例如：345kV 龍崎~瀾力二路之輸電鐵塔等效雷擊面積 A_d 為 0.0971(km²)且 GFD 為 1.115，則可計算出此 345kV 鐵塔之雷擊風險機率為 10.826%。



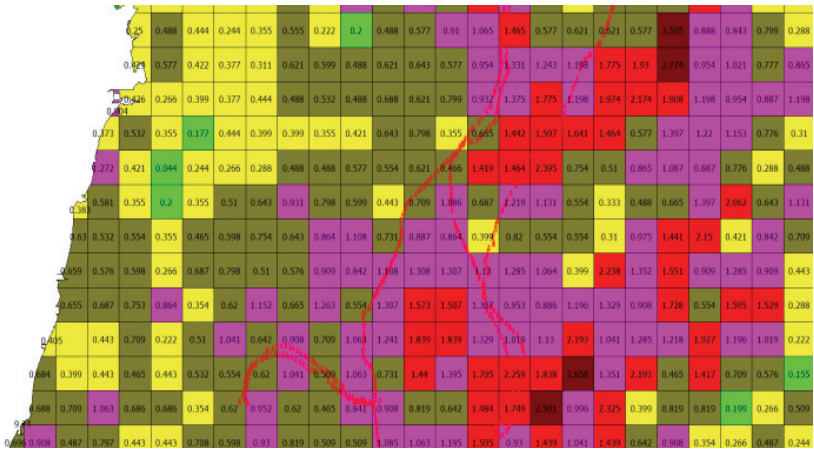
資料來源：本研究整理

圖 5 輸電鐵塔之等效面積



資料來源：本研究整理

圖 6 345kV 架空輸電線路之雷害網格圖



資料來源：本研究整理

圖 7 345kV 架空輸電線路之 GFD 數值

表 2 345kV 輸電鐵塔之雷擊風險機率表

排序	單位	電壓別	線路名稱	塔號	塔型	H(塔高) (m)	GFD	A_d (km ²)	雷閃機率 (%)
1	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	53	E5	58.60	1.115	0.0971	10.826%
2	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	49	A5	57.25	1.075	0.0927	9.962%
3	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	50	A5	57.25	1.075	0.0927	9.962%
4	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	54	E5	54.60	1.115	0.0843	9.398%
5	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	44	A5	59.25	0.884	0.0993	8.774%
6	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	46	A4	57.75	0.884	0.0943	8.336%
7	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	51	A4	51.75	1.075	0.0757	8.140%
8	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	52	A4	50.75	1.115	0.0728	8.120%
9	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	47	A4	54.75	0.884	0.0848	7.492%
10	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	43	A5	53.25	0.884	0.0802	7.087%
11	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	45	A5	53.25	0.884	0.0802	7.087%
12	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	48	C5	51.80	0.884	0.0759	6.707%
13	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	36	B5	59.95	0.653	0.1016	6.636%
14	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	37	B5	58.95	0.653	0.0983	6.416%
15	高屏供	345	龍崎~瀾力二路	18	A5	59.25	0.643	0.0993	6.382%

資料來源：本研究整理

四、臺灣區域產業結構變遷與電業營運衝擊分析

(電力經濟與社會研究室：卓金和、楊宗霖、王律文、毛驥文、劉名寰)

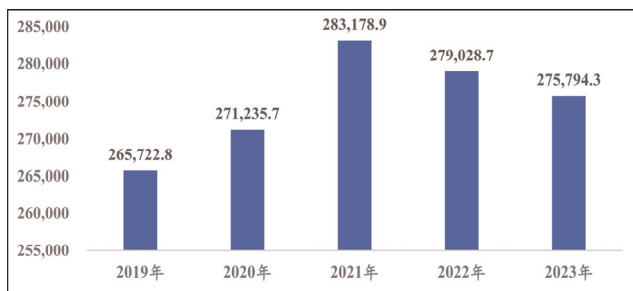
(一) 研究目的與背景

近年來 AI 算力擴張、半導體先進製程深化及淨零轉型政策推動，使我國各區域用電需求出現明顯結構性移轉，傳統電力規劃方法已難以反映複雜的產業關聯效果與空間差異。本研究旨在建立區域產業關聯分析架構，強化台電對各地產業結構變遷的預判能力，作為電業中長程規劃的決策依據。研究以 100 年、105 年及 110 年工商普查資料為基礎，建立涵蓋 22 縣市、28 項產業的區域投入產出表，導入用電係數推估 2040 年各區域誘發用電變化，並整合時間序列模型、生產函數迴歸及 S&P Global 預測數據，推估 2025 至 2050 年各縣市實質 GDP 與全國最終需求成長軌跡。

(二) 研究成果

1. 全國 IO 與區域 IO 之產業用電現況分析

全國用電量自 2019 年 265,722.8 百萬度成長至 2021 年 283,178.9 百萬度後下滑，2023 年降至 275,794.3 百萬度(圖 1)。工業用電佔全國用電比重持續居主導地位，年複合成長率(CAGR)達 0.79%；農業用電 CAGR 為 1.84%；服務業用電 CAGR 僅 0.86%(表 1)。區域 IO 推估全國平均偏差僅 0.00112，惟半導體業新竹市誤差達 -3.43、苗栗縣 -2.04，反映竹科擴廠帶動的供應鏈效果超出基準模型範圍。



資料來源：經濟部能源署電力統計；單位：百萬度

圖 1 2019 年至 2023 年全國用電量

表 1 2019 年至 2023 年農業、工業、服務業用電量

項目	單位：百萬度					CAGR (%)
	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	
農業	3,045.80	3,274.43	3,308.04	3,262.62	3,277.02	1.84
工業	147,718.92	150,875.85	161,604.10	156,939.88	152,428.97	0.79
服務業	46,681.78	46,118.03	45,396.01	47,412.56	48,299.92	0.86

資料來源：經濟部能源署電力統計

2. 2040 年區域 IO 推估成果與用電情形

本研究採基本情境，後續研究為區分區域與產業，本研究採用 AMI 資料，故用電總數與表 1 和圖

1 有差異。假設 2040 年最終需求與 2021 年相同，呈現產業結構變遷對電力需求的邊際影響。全國用電量由 12,358,481 萬度增至 13,041,298 萬度，增幅 5.53%，但各區域負荷移轉劇烈(表 2)。北部成長 95.56%，全國占比由 25.17%躍升至 46.64%；東部成長 51.21%；中部與南部分別下降 21.13%及 29.09%，南北消長係生產重心北移所致。前五大用電成長產業為化學原料業、基本金屬及金屬製品業、化學製品業、紡織業及電子零組件業，合計貢獻 423,746 萬度，為全國增幅 682,816 萬度的主要動力(表 3)。

表 2 基本情境下 2040 年區域用電變化

單位：萬度

排序	區域	2040 年用電度數	占全國占比	2021 年用電度數	占全國占比	成長占比 (與 2021 年比)
1	北部	6083052.632	46.64%	3110524.075	25.17%	95.56%
2	東部	84552.03457	0.65%	55915.49701	0.45%	51.21%
3	中部	3525494.217	27.03%	4470258.709	36.17%	-21.13%
4	南部	3348198.82	25.67%	4721782.937	38.21%	-29.09%
全國總計		13041297.7	-	12358481.22	-	5.53%

註：北部：台北、新北、基隆、桃園、宜蘭、金門；中部：台中、南投、彰化、新竹縣市、苗栗、馬祖；南部：台南、高雄、屏東、雲林、嘉義縣市、澎湖；東部：花蓮、台東。

資料來源：AMI 用電資料；本研究整理；排序依成長占比。

表 3 全國依差異最大產業用電排序

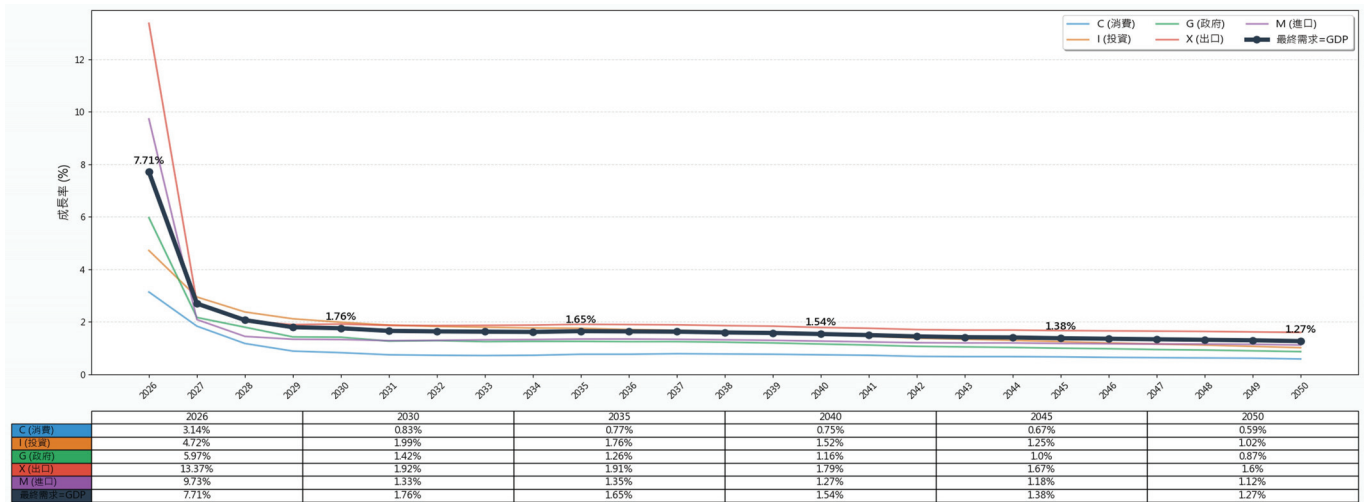
單位：萬度

排名	產業	2040 年用電度數	2021 年用電度數	差異	成長(%)
1	化學原料	1256062.517	1104932.644	151129.9	13.68%
2	基本金屬及金屬製品	1539860.972	1401202.783	138658.2	9.90%
3	化學製品	627832.6481	544362.4351	83470.21	15.33%
4	紡織	514997.9767	480320.0752	34677.9	7.22%
5	電子零組件	820206.4453	805397.0744	14809.37	1.84%
全國總計		13041297.7	12358481.22	682816.48	5.53%

資料來源：AMI 用電資料；本研究整理；排序依兩年度差異數。

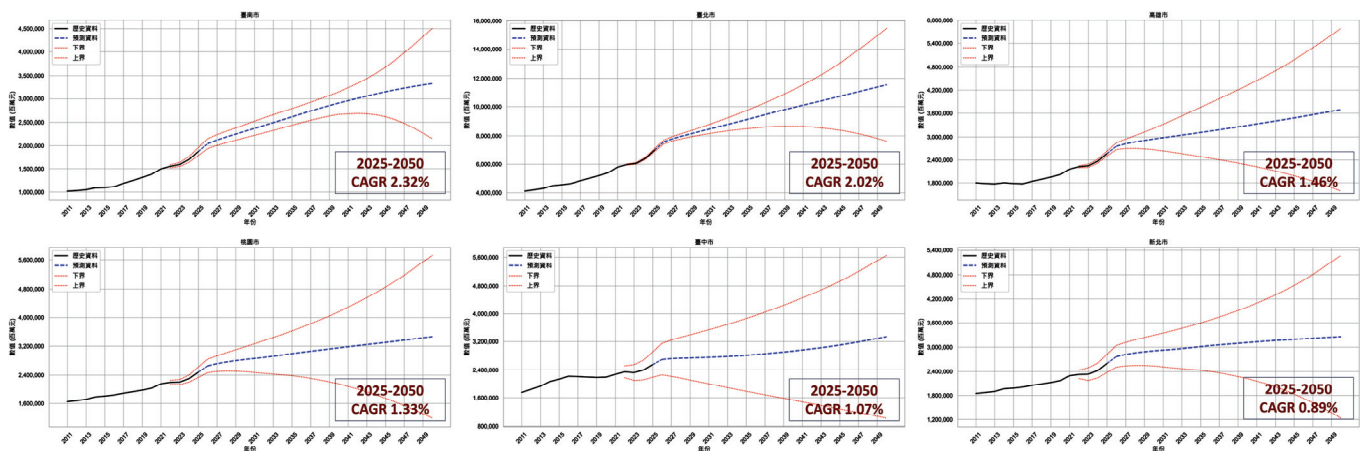
3. 2050 年最終需求及區域 GDP 推估

整合三種方法推估，出口占比將由 73.56%升至 81.87%，民間消費由 44.43%降至 35.12%，全國實質 GDP 預估由 2025 年 25.9 兆元成長至 2050 年 40.7 兆元，CAGR 約 1.83%(圖 2)。22 縣市中 12 個維持正向成長，集中於北、南部科技聚落；另 10 個占比趨緩，多為農業縣市及花東、離島地區(圖 3)。六都中台南市 CAGR 達 2.32%居首，受惠於南科與台積電供應鏈群聚；台北市 CAGR 約 2.02%，穩居全國 GDP 之首；高雄市 CAGR 約 1.46%，積極轉型為科技與綠能重鎮。



資料來源：本研究整理

圖 2 最終需求各項組成預測結果成長率



資料來源：本研究整理

圖 3 2025~2050 年六都實質 GDP 預測

(三) 結論

綜上，2040 年全國用電雖僅微增 5.53%，但各縣市電力負荷將出現顯著結構性移轉，北部用電壓力持續升高，中南部則因能效提升或產業轉型而相

對減載。配合 2050 年區域 GDP 推估，台電得以更精準因應各區域差異化的用電趨勢，提前布建輸配電基礎設施，確保穩定供電，支撐全台產業與經濟的永續發展。

新技術新設備介紹

智慧電表加速老化試驗方法突破與精進

(電表組：簡呈榮、林哲毅、林志清)

(一) 前言

智慧電表為先進讀表基礎建設(AMI)之核心設備，其長期運轉可靠度直接影響用戶用電計量品質及配電系統運作穩定性。依台電公司 Y500(109-03)材料標準，電表廠商須於交貨前提出加速老化試驗報告供審查。然而，本所檢視歷年外部試驗報告後發現，現行試驗結果多著重於外觀檢查與失效數量統計，對老化過程中之計量偏移、顯示異常、按鍵失效及其他功能劣化缺乏持續監測，亦未建立壽命推估模式，難以完整反映電表於實際使用環境中的可靠度特性。

為提升可靠度評估能力，台電綜合研究所完成自主加速老化試驗設備建置，並執行為期六個月之試驗。透過系統性蒐集失效數據、分析故障模式及推估壽命特性，研擬更具鑑別能力之加速老化試驗方法，作為未來材料標準修訂及品質管理之技術依據。

(二) 試驗數據蒐集與分析

本研究參照 IEC 62059-31-1，以信賴水準 50%、失效率 5% 為壽命推估基準，分別於 85℃/95%RH 及 75℃/95%RH 兩種條件下各進行 2,000 小時試驗，施加 10% 基準電流及功率因數 1 之負

載。失效模式分為累積計量異常、液晶顯示異常及按鍵故障，每 100 小時進行功能確認與失效統計。試驗完成後執行準確度試驗，評估高溫高濕對計量性能之影響，建立電表可靠度基礎資料與劣化趨勢。

(三) 試驗方法之突破與精進

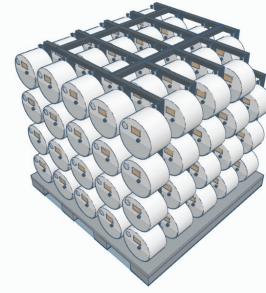
研究初期嘗試以 Weibull 分佈推估壽命，但發現結果易受少量失效樣本影響，波動明顯且與現場經驗不符。因此彙整五家廠商不同表型之試驗結果，重新檢視試驗條件與失效資料之關聯性，找出品質鑑別能力之關鍵判斷依據。

分析結果顯示，85°C/95%RH 條件較 75°C/95%RH 更能誘發潛在缺陷、區分產品品質。於 85°C/95%RH 下，前 1,000 小時無失效之電表後續再失效機率極低，顯示前 1,000 小時已足以鑑別可靠度差異。試驗後之準確度驗證亦具重要參考價值，尤其 CNS 14607 第 9.1.12 節周圍溫度變化試驗，能有效識別潛在計量異常。

基於上述成果，本所建議採 85°C/95%RH 單一條件、試驗時間縮短為 1,000 小時、樣品數維持 70 具之加速老化方案。試驗期間持續監測失效，完成後對抽樣電表執行溫度變化影響試驗，確認計量性能穩定性，提升試驗結果可信度與代表性。(圖 1)

除試驗條件優化外，本研究亦改善試驗治具。電表取出恆溫恆濕箱回復常溫時，易因溫濕度驟變產生冷凝現象；水平擺放可能使冷凝水滯留 PCB 板，造成非預期電性故障，且與現場垂直掛立方式不符。為此，本所設計棚架式治具，使電表以垂直懸掛方式進行老化，降低冷凝積水風險並提升箱體空間利用率。治具底部採棧板化設計，可配合堆高

機整批搬運，改善大量電表進出設備之作業效率與安全性。(圖 2)



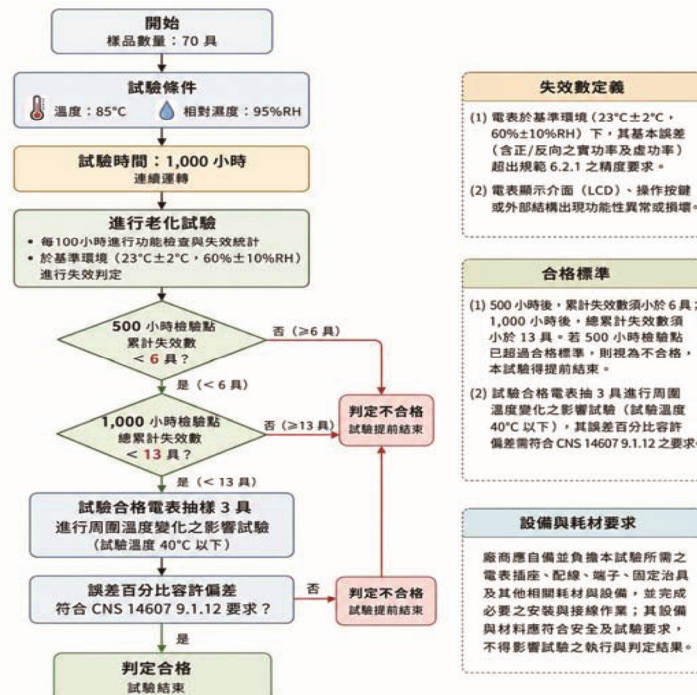
資料來源：本研究自行繪製

圖 2 99 具單相電表掛架示範圖

(四) 結論與展望

本研究參照 IEC 62059-31-1 標準進行試驗規劃，並以信賴水準 50%、失效率 5%作為壽命推估基準。為探討不同試驗條件對智慧電表可靠度之影響，試驗分別於溫度 85°C、相對濕度 95%及溫度 75°C、相對濕度 95%兩種環境條件下進行，總試驗時間均為 2,000 小時。試驗期間持續施加 10%基準電流及功率因數 1 之負載條件，以模擬電表長期運轉情境。

本研究將失效模式區分為累積計量異常、液晶顯示異常及操作按鍵故障等類型，並於試驗過程中每 100 小時進行一次功能確認與失效統計。試驗完成後，再執行準確度試驗，以評估高溫高濕環境對電表計量性能之影響。透過長時間監測與數據分析，逐步掌握智慧電表於加速老化過程中的失效特徵與劣化趨勢。



資料來源：本研究自行繪製

圖 1 加速老化試驗流程圖