

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

115年第1季 (115.01 No.139)

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)2365-8477

目 錄

研究計畫成果

一、IEC 61850-10 GOOSE 測試架構下之模擬器建置與評估	1
二、變流器型資源電磁暫態模型需求規範概述	3
三、基於 BIM-MEP 模型的電氣設計審查方法	4
四、需量反應抑低日夜尖峰負載預測暨效益分析	6
五、確保廢水、廢棄物之六價鉻檢測數據品質：Cr(VI)-DPC 呈色錯合物的穩定性與時效性分析	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、IEC 61850-10 GOOSE 測試架構下之模擬器建置與評估

(資訊與通信研究室：林敬倫、許祐寧、陳韋光、陳以彥)

(一) 研究緣由：

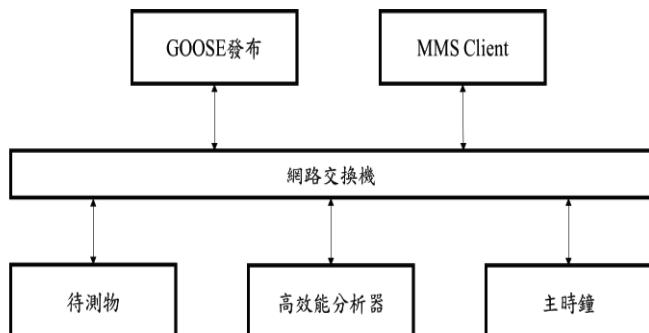
過去變電所的數位電驛多使用各自廠商的專有通訊格式，不同廠牌之間的訊息交換困難，資料整合過程亦相對複雜。隨著 IEC 61850 標準的導入，不同廠牌的智慧電子裝置(IED)可使用統一的標準格式進行資料交換，提升系統整合性與維運便利性。

IEC 61850-5 及 IEC 61850-10 標準定義變電所不同應用所需的傳輸時間與時間精度，其中 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)訊息提供快速、可靠的事件通訊，對保護與控制系統至關重要。本研究依據 IEC 61850-10 標準，分析其效能測試相關章節，建置 GOOSE 模擬器，並評估導入 GOOSE 效能測試的可行性，為未來 GOOSE 效能平台建置提供可行方案。

(二) 研究成果：

UCAIug 之 GOOSE 效能測試環境包含，GOOSE 模擬器、MMS Client、高效能分析器、主時鐘等測試設備，GOOSE 模擬器負責發布所有的 GOOSE 訊息，包含 GOOSE ping-pong 使用以及背景流量的

GOOSE 訊息，MMS Client 負責與待測物連線接收 Report 資料，主時鐘負責提供精確之時間，並架設高效能分析器負責監測待測物之效能測試結果，如圖 1 所示。



資料來源：R. Schimmel and S. Gerspach, "Test procedures for GOOSE performance according to IEC 61850-5 and IEC 61850-10," UCAIug, Version 1.1, Jan. 2011.

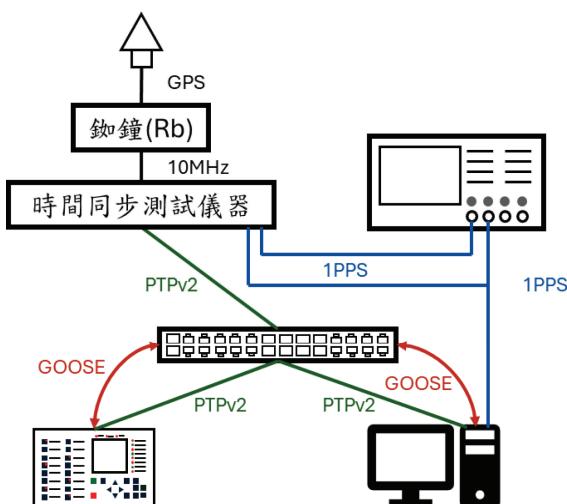
圖 1 UCAIug GOOSE 效能測試環境

為進行 GOOSE 效能測試並自動化完成測試結果輸出與計算相關指標，本研究將測試環境中之 GOOSE 發布與高效能分析器合併，建置 GOOSE 模擬器以便未來測試使用。

在 IEC 61850-10 中提及 GOOSE 模擬器應使用 0.2ms 以內之準確度發送與時間相關之 GOOSE 訊息，故本研究建置模擬器時使用 Linux 作業系統，透過時間同步網路卡發行商所提供之時間同步程式或開源專案 linuxptp 及開源函式庫 libIEC61850 進行 GOOSE 發布端之建置設計，並採用具有硬體 PTP 時間同步網卡之設備作為 GOOSE 訊息訂閱與發佈端及分析往返時間並記錄，同時將測試過程中之 GOOSE 訊息紀錄以便後續分析。

為驗證設計之 GOOSE 模擬器可符合 IEC 61850-10 之要求進行測試，本文根據 UCAIug 的 GOOSE 效能測試環境進行簡化，以便於評估 GOOSE 模擬器是否可行，將作為背景流量之 MMS Client 先行移除，使 GOOSE 模擬器僅發送與 GOOSE ping pong 測試相關之訊息，未發送其他做為背景流量之 GOOSE 訊息。

測試時採用 GOOSE ping pong 之方式，於工業電腦發送帶有 Boolean 值及 Quality 的 GOOSE 訊息，待測物於接收到 GOOSE 訊息後，直接回傳接收到的 Boolean 值狀態，工業電腦接收到相同狀態後再改變其狀態以繼續進行下一輪的 ping pong 測試，每輪測試進行 1000 次 ping pong 後進行計算，測試架構如圖 2 所示。



資料來源：本研究

圖 2 簡化之 GOOSE 效能測試架構圖

測試前需要將 GOOSE 模擬器與時間主鐘進行校時，於測試時透過示波器確認 GOOSE 模擬器是否有進行時間同步，為確保測試之精準度，採用時間同步測試儀器做為本次測試架構之時間主鐘，黃色為時間主鐘的 1PPS 訊號，藍色為 GOOSE 模擬器的 1PPS 訊號，可以看出時間誤差落在 5 ns 至 35 ns

之間，如圖 3 所示，確保設備於 GOOSE 效能測試期間皆具備足夠之精準度，以確保資料之正確性與可用性。



資料來源：本研究

圖 3 GOOSE 模擬器與時間主鐘 1PPS 訊號比較

本文在設計 GOOSE 模擬器發布與訂閱 GOOSE 訊息時，同時將 GOOSE 封包內容錄製，並同時計算往返時間最大值、最小值、平均值及標準差等參數，以便進行自動化測試驗證，每輪測試 10000 次由 GOOSE 模擬器發送 GOOSE 訊息，待測設備接收後回傳 GOOSE 訊息以達到 GOOSE ping-pong 之方式，測試時，每台待測設備皆做 10 次測試，測試結果如表 1 所示。

表 1 某廠牌測試結果

次數	最大值 (ms)	最小值 (ms)	平均值 (ms)	標準差 (ms)	量測掃描週期
1	4.0696	1.8470	2.0036	0.1570	2.2226
2	4.2778	1.8402	1.9995	0.1260	2.4376
3	3.6924	1.8368	1.9992	0.1502	1.8556
4	3.4902	1.8340	1.9911	0.1457	1.6562
5	3.4505	1.8379	1.9985	0.1313	1.6126
6	3.7874	1.8402	1.9976	0.1517	1.9472
7	3.7006	1.8278	1.9972	0.1523	1.8728
8	3.8259	1.8360	1.9915	0.1537	1.9899
9	3.7761	1.8426	2.0005	0.1513	1.9335
10	4.2049	1.8419	2.0022	0.1571	2.363

資料來源：本研究

由建置過程可知，該模擬器具有高時間同步精準度與訊息處理能力，具備可對時間主鐘發出之 PTP 訊號進行同步，並可同時處理 GOOSE 訊息發布與訂閱並進行高效能之分析，由測試結果可證明 GOOSE 模擬器具備良好時間精準度與訊息處理能力，可作為 IEC 61850-10 效能測試中之 GOOSE 模擬設備，且該模擬器建置僅須於 Linux 作業系統之

電腦上加裝具有硬體 PTP 時間同步之網卡，即可具備高時間同步精準度，並透過撰寫程式即可進行封包錄製與資料分析，包含封包資訊以及 GOOSE 訊

息的內容等，為相關 GOOSE 效能測試系統提供一種具彈性與可擴充性之低成本解決方案。

二、變流器型資源電磁暫態模型需求規範概述

(高壓研究室：陳柏豪、陳翊璋、林湘芸、梁威志)

(一) 研究背景與目的：

隨著變流器型資源(IGBTs)在電力系統中的占比快速增加，變流器型資源因缺乏本質慣量導致系統總慣量降低、獨特的故障電流特性對傳統保護策略產生負面影響、控制器間的互動引發次同步與低頻振盪等問題。為精確分析與預測變流器型資源併網後的系統行為，電磁暫態(EMT)模擬已成為不可或缺的分析工具。然而，現行電磁暫態模型在實務上仍面臨模型結構複雜、品質參差、資訊不完整以及保密限制等挑戰，因此，制定一套明確且嚴謹的電磁暫態模型需求規範有助於標準化模擬實踐。本研究系統性說明變流器型資源電磁暫態模型的開發與驗證流程，並概述模型需求規範、模型檢核、品質測試與驗證方法。

(二) 研究成果：

1. 變流器型資源電磁暫態模型的開發與驗證流程 (圖 1)

起始於由原設備製造商主導設備模型開發階段。將依據變流器設備的實際電路、控制與保護系統建立電磁暫態模型，接著，依據定型測試(Type Test)結果完成模型驗證。之後，案場業主會運用這些已驗證的設備模型，開發與組裝成案場層級的電磁暫態模型。

完成案場級電磁暫態模型後，模型會提交予公用事業，並進入模型品質測試階段。接續進行系統衝擊研究，以評估擬建變流器案場對電力系統的潛在影響。當上述步驟皆完成且結果符合規範時，即可正式進行新建案場的併網作業。

案場完成建置後，會進行商轉測試。在這個階段，案場級模型會透過比較模擬輸出與現場測量數據來進行驗證。假使模擬性能與事件中觀察到的性能不符，案場業主應根據公用事業規範時程提供更新的模型。

2. 變流器型資源電磁暫態模型需求規範

在設備模型與案場模型開發階段，為確保模型功能健全且品質優良，必須事先定義電磁暫態模型

需求。目前，國際電業機構在電磁暫態模型需求的模擬工具上主要採用 PSCAD，相關規範文件包括北美(Electranix、ERCOT)、澳洲(AEMO)、英國(NESO)及 IEEE 2800。針對國際間對變流器型資源電磁暫態模型的需求內容，通常可歸納為以下四大類：

- (1) 模型準確性：模型是否能真實且反映實際設備的行為以確保模型的精確性。
- (2) 模型可用性：模型必須易於使用且穩健，便於實際應用與參數調整。
- (3) 模型效率：模型必須符合版本與軟體相關的標準。
- (4) 模型文件需求：設備製造商與案場業主應提供完整且詳細的模型文件與使用手冊。

3. 模型檢核、品質測試與驗證

在模型需求部分，通常以文字論述的方式規定模型須具備的特性，以下說明圖 1 中的部分內容：

(1) 模型檢核(Model Verification)

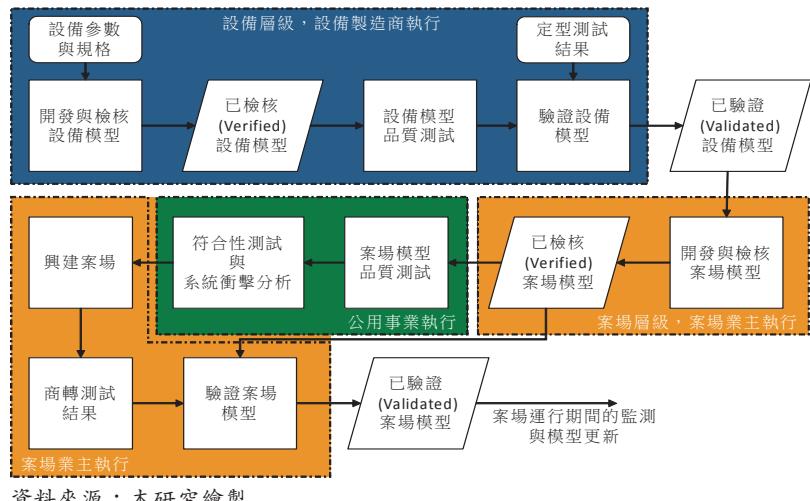
模型檢核主要著重於檢查相關文件、資料與設備設定，並將其與模型參數及結構進行比對。參數(如電氣參數、控制增益與保護設定值)與實際建置的系統保持一致。

(2) 模型品質測試(Model Quality Test)

模型品質測試、模型品質評估(MQA)或動態模型驗收測試(DMAT)，其主要目標在於確保提交的模型具備良好品質。透過如圖 2 所示單機無線匯流排測試架構等特定架構，進行一系列基本模擬測試，典型測試項目。

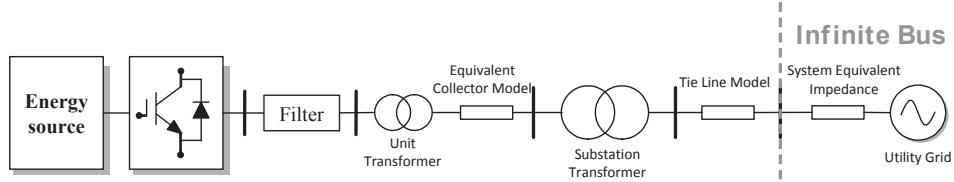
(3) 模型驗證(Model Validation)

在設備或元件層級，模型驗證通常結合定型測試數據進行。此類測試會在受控條件下對設備施加特定擾動，例如電壓驟降、頻率變化或其他動態事件，並量測其響應。將實測結果與電磁暫態模擬模型的輸出進行比對，從而確認模型參數與控制邏輯的準確性。



資料來源：本研究繪製

圖 1 變流器型資源電磁暫態模型開發與驗證流程



資料來源：本研究繪製

圖 2 單機無限匯流排(SMIB)架構示意圖

(三)結論：

據國際經驗顯示，若缺乏嚴謹的模型需求規範與多層次的檢核與驗證流程，將影響系統分析與決策的可靠性。因此，本研究建議公用事業應建立統一且具強制性的電磁暫態模型管理框架，涵蓋需求規範、品質測試、版本控制、文件透明化與運行期

間的持續監測機制。此外，應鼓勵設備製造商、案場業主與公用事業間的技術合作，平衡商業機密保護與模型透明度，並透過持續收集運行數據進行動態更新與再驗證。

三、基於 BIM-MEP 模型的電氣設計審查方法

(負載管理研究室：蔡森洲、王晴；配電處：黃毓棠；邁爾工程顧問股份有限公司：劉火炎)

(一)研究背景：

台電公司每年進行用戶用電設備圖面審查案件數眾多，且電力系統法規細項繁雜，以人工審查案件耗時費工。本研究研析透過建築資訊模型(BIM)將圖面審查電子化之可行性，並探討其可否加速整體流程、加深台電公司對於相關資料之收集利用、減少人工審核錯誤，並探討標準化電力設備 BIM 模型數據，以作為未來台電公司推動電子圖審之依據。

美國建築承包商協會 (AGC) 於 2005 年提出了建築資訊模型 (BIM)，可以數位化型式表示設施的模型，協助由視圖中進行分析^[1]。BIM 使用 n 維 (n-D) 模型來模擬規劃、設計、施工和營運，幫助使用者在模擬環境中觀察正在建造的建築，並識別潛在問題^[2]。

本研究在遵循 BIM 建築模型進行電氣配置設計的基礎上，提出了基於 BIM 對機械、電氣和管道

(Mechanical, Electrical, and Plumbing, MEP) 進行電氣設計審查機制，嘗試將 2D 電氣設計方式轉化為 3D 進行評審以節省評審人力，並提高準確性和時效性。同時，它可以即時檢測電纜、裝置、設備和組件是否設計正確，並檢查使用的材料是否合適。本審查方法的 BIM 模型基於 Autodesk Revit 構建，結合監管模包括線路距離的判斷與計算、短路電流計算、電壓降計算等，並可與已建監管數據進行比對與審查。

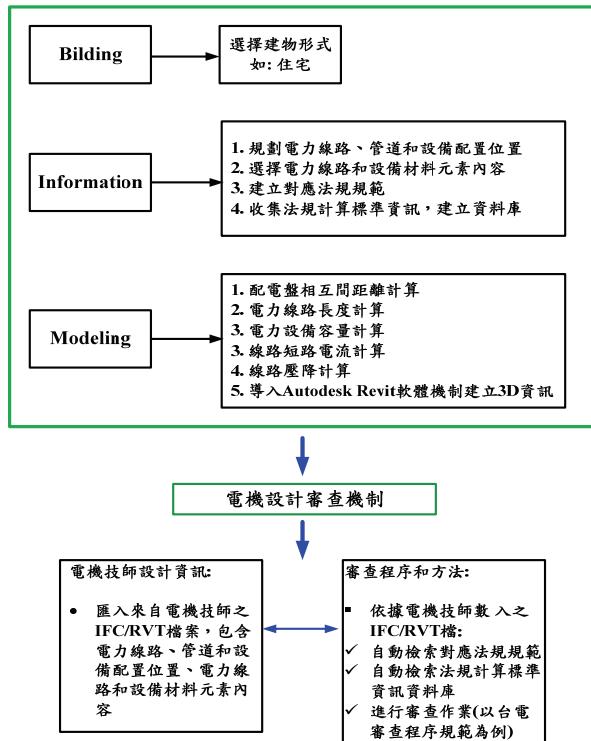
(二)研究內容：

圖 1 是基於 BIM-MEP 的電氣設計審查流程模型。本研究將案例重點放在住宅 MEP，並依據圖 1 流程及台電審查規範進行測試。

1. 電機技師匯入 IFC/RVT 檔案

Revit 的工業基礎類 (Industrial Foundation Class, IFC) 文件是收集電氣設計所有設計資訊的標

準檔案。研究開發之審查平台將以獨立模式(Revit執行外掛程式 Dynamo)，接收由 Web 上傳的 Revit(或其他 BIM 軟體)檔，轉換為 IFC 格式。本研究重點在於針對負載分析表和短路電流分析的 BIM 審查，因此，配電盤、變壓器、負載設備等相關電氣資訊均為審查所需資訊。電機技師首先將設計資料匯入，作為後續審查依據。



資料來源：本研究繪製

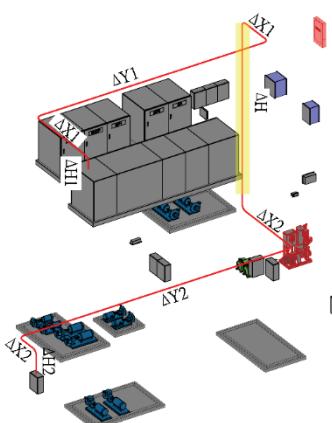
圖 1 基於 BIM-MEP 電機設計審查程序的建模

2.配電盤距離計算

圖 2 為使用 BIM 軟體進行配電盤距離計算之模型，計算公式如下：

$$\text{距離} = \Delta X_1 + \Delta Y_1 + \Delta H_1 + \Delta X_2 + \Delta Y_2 + \Delta H_2 + \Delta H$$

計算結果提供後續進行分析使用。



資料來源：本研究繪製

圖 2 計算模型

3.BIM 評審重點

依據《台灣電力公司高壓以下電氣設備設計資料審查作業標準》附表 3 之《設計資料送審自主核對表》所需資料，本研究使用 BIM 審查的項目為 3-電力線路連接、4-單線圖系統、8-變電設備及高壓設備、10-短路電流、15-電壓降計算。

將電機技師提供之電纜尺寸及併聯組數導入 BIM 模型，依據《用戶用電設備裝置規則》^[3]即可計算分析斷路器 AT(跳脫電流)值是否符合要求；根據 BIM 模型的電纜或母線參數數據，結合 2. 計算之長度，可計算電壓降及短路電流，協助確認相關數據是否符合要求。

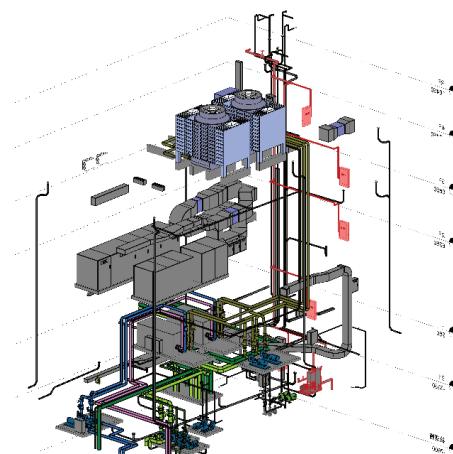
4. 審查案例

圖 3 是採用 3D BIM 建築資訊模型設計的單戶機電設備房。圖 3(a)為單戶機電室三維 BIM 建築資訊模型。圖 3(b)為機房機電設備的 BIM 模型。根據前述計算可得、圖 4(b)短路表(節錄)。若審查規範、資料有不符規定處，則系統產出告警文件，以供使用者參考。



資料來源：本研究繪製

圖 3(a) 單戶機電室三維 BIM 建築資訊模型



資料來源：本研究繪製

圖 3(b) 機房機電設備 BIM 模型

盤名(Panel)	MACP			往上連接盤名(Uplink Panel)			ACM							
回路編號	說明		連接負載 (Load) (VA)			斷路器 (MCCB or ELCB)		I.C.	電流 Current	功率因數	線徑(線別,導線,地線) Wire,Size,Earth	管徑 Conduit	長度 L	壓降 Vd
CKT No.	Load Description	合計 Total	A	B	C	P-AF-AT	(kA)	(A)	PF	(mm/mm ²)	Dia. (mm ²)	(m)	(%)	
1	R-1	77344	25781	25781	25782	3-225-200	18	117.51	0.8	X1R:100x3.22E	R54	43.94	0.62	
2	R-2	77344	25781	25781	25782	3-225-200	18	117.51	0.8	X1R:100x3.22E	R54	43.34	0.61	
3	CT	31412	10470	10471	10471	3-100-75	18	47.73	0.8	X1R:22x3.8E	R28	12.94	0.26	
4	CP	18676	6225	6225	6226	3-100-50	18	28.38	0.8	X1R:14x3.5,5E	R28	22.26	0.41	
5	CWP	16404	5468	5468	5468	3-100-50	18	24.92	0.8	X1R:14x3.5,5E	R28	42.58	0.68	
	主開關(Main Breaker)	221182	73727	73727	73728	3-600-500	18	336.05	0.8	X1C:200x6,38E	C	4.8	0.11	

資料來源：本研究繪製

圖 4(a) 負載表(節錄)

ME 莫爾工程顧問股份有限公司 MIETech Engineering Consultants Company Ltd.			Project: 應用BIM進行用戶用電設備設計資料審查			MADE BY	MIE	DATE : 114.08.26															
						CHECK	MIE	DATE : 114.08.26															
故障電流計算																							
						基準電壓 22800 V		合計 X = (上游) X + X(PU) X(PU) = (X/KM x 長度)															
						基準仟瓦 1000 KVA		合計 R = (上游) R + R(PU) R(PU) = (R/KM x 長度)															
						Sb= 500 MVA		I _s = 1000/(1.732 x KV x Z)															
						Z _s = 0.0020 PU		I _{as} = K x (I _s + I _m)															
						X/R= 25.0		Xm(PU) = 0.25*1000/KVAmotor, Rm(PU)=Xm(PU)/6															
說明			供電電壓 (V)	1			2		3		4		5		6		7		8				
				上游			變壓器或饋線資料			合計		K	Z (PU)		I _s (KA)		I _{as} (KA)		備註				
回路編號	由	X/R		R	X	線徑/長度或Z _s	R(PU)/X(PU)/R(PU)	R(PU)/X(PU)/X(PU)	R	X	R	X	(PU)	(KA)	(KA)								
MOF	DS	22800	0.00008	0.002	150	5	0.00029	0.00017	0	0	0.00008	0.002	1.332	0.002	12.65	16.84							
DS	VCB	22800	0.00008	0.002	150	4.8	0.00029	0.00017	0	0	0.00008	0.002	1.332	0.002	12.65	16.85							
VCB	TRA	22800	0.00008	0.002	150	5.4	0.00029	0.00017	0	0	0.00008	0.002	1.332	0.002	12.65	16.84							
TRA	8.7	TRA	380	0.00008	0.002	1000	0.06	0.00685	0.05961	0.00685	0.05961	0.00693	0.06161	1.222	0.062	24.51	29.95						
TRA	ACB	380	0.00693	0.06161	200	5.4	0.7964	0.44598	0.0043	0.0241	0.01123	0.06402	1.154	0.065	23.38	26.98	TRA						
Motor	620.55	Motor	380	0.01123	0.06402	0	0.25	0	0	0.06714	0.40287	0.00962	0.05524	1.155	0.0561	27.1	31.3						
ACB	ACM	380	0.00962	0.05524	200	10.3	0.7964	0.44598	0.0082	0.00459	0.01782	0.05983	1.074	0.0624	24.34	26.14	ACB						
ACB	107.269	MP1	380	0.00962	0.05524	150	12.7	1.01801	0.44321	0.01293	0.00563	0.02255	0.06087	1.048	0.0649	23.41	25.17	ACB					
ACM	221.182	MACP	380	0.01782	0.05983	200	4.8	0.7964	0.44598	0.00382	0.00214	0.02164	0.06197	1.054	0.0656	23.15	25.75	ACM					
MP1	EP	380	0.02255	0.06087	3.5	21.99	44.68144	0.49584	0.98254	0.0109	1.00509	0.07177	1	1.0077	1.51	1.51	MP1						
MP1	EL-1	380	0.02255	0.06087	3.5	28.24	44.68144	0.49584	1.2618	0.014	1.28435	0.07487	1	1.2865	1.18	1.18	MP1						
MP1	R1	380	0.02255	0.06087	3.5	27.64	44.68144	0.49584	1.235	0.01371	1.25755	0.07458	1	1.2598	1.21	1.21	MP1						
MP1	LB1	380	0.02255	0.06087	3.5	22.74	44.68144	0.49584	1.01606	0.01128	1.03861	0.07215	1	1.0411	1.46	1.46	MP1						
MP1	2.67	WP	380	0.02255	0.06087	3.5	38.29	44.68144	0.49584	1.71085	0.01899	1.7334	0.07986	1	1.7352	0.88	0.89	MP1					
MP1	28.502	CAF	380	0.02255	0.06087	22	12.97	7.07064	0.4723	0.09171	0.00613	0.11426	0.067	1	0.1324	11.47	11.64	MP1					
MP1	32.352	MP2	380	0.02255	0.06087	20	5.6	5.45706	0.46468	0.03056	0.0026	0.05311	0.06347	1.003	0.0828	18.36	18.6	MP1					

資料來源：本研究繪製

圖 4(b) 短路表(節錄)

(三) 結論：

本研究以 BIM 作為電氣設計審查的基礎，以 Autodesk Revit 軟體作為實施工具，且針對電氣審查中負載表內容中的重要項目，包括線路電壓、短路電流、電氣設備容量等進行 BIM 電氣審查研究，並提出計算及測量規格。審查試驗結果證實審查電壓降計算和短路電流計算時間由原來需 4~16 小時提高到 2 小時內完成，並提高了審查精度和電纜計算的合理性。

四、需量反應抑低日夜尖峰負載預測暨效益分析

(電力經濟與社會研究室：曾泓祥)

太陽光電發電量驟減，扣除光電之系統淨負載快速提升，進而產生夜尖峰負載。為因應負載形態變化對我國電力系統造成之影響，台電公司也調整時間電價尖離峰時間帶及需量反應負載管理措施內容，評估各項新措施抑低電力系統日夜尖峰負載之實施

效果，並預估未來 15 年需求面管理之成效，再結合台電公司長期負載預測用電需求，作為各項措施之精進參考依據。

(二) 研究內容：

1. 蒼研國外電業推動需量反應措施案例

本研究透過蒼研美國加州、日本以及澳洲電業推動需量反應措施的案例研究，包括電力市場介紹、系統負載與淨負載型態、推出的需量反應方案(含價格型及誘因型)、適用之用戶類型以及推動需求面管理措施的政策面作法，作為台電公司調整需量反應措施之參考。

2. 建立需求面管理抑低日夜尖峰負載之推估與預測模型

本研究回顧國內外需求面管理抑低日夜尖峰負載之推估與預測模型及參考台電公司現行評估方法後，建立適用於新時間帶電價抑低日夜尖峰負載效果評估模型。藉由前述模型預估未來 15 年台電公司需求面管理措施成效，配合淨零轉型議題及台電公司長期負載預測需求，再推估至 2050 年之抑低成效。

3. 建立需量反應負載管理措施之成本效益分析模式

本研究經由文獻回顧與比較，確立一套適用於台灣情境的成本效益分析(CBA)架構基礎，並針對台灣電力公司現有的需量反應負載管理措施建立成本效益分析模式，用於分析近年台電執行需量反應措施的成本與效益，並評估其執行成效。

(三) 研究成果：

1. 需量反應負載預測與推估成果

本研究提出還原負載評估法、新尖離峰時間電

價績效評估法等兩種推估模型，並利用 ARMAX 模型進行未來績效預測。

還原負載評估法係預測夜尖峰負載抑低之累計績效，根據模型推估結果，2038 年需求面管理抑低夜尖峰負載累計績效為 7,994 MW，2050 年需求面管理抑低夜尖峰負載累計績效則為 9,669 MW。

新尖離峰時間電價績效評估法則以全國負載或分群資料進行預測，若以全國負載推估，2038 年、2050 年需求面管理抑低績效分別約為 1,550 MW、1,837 MW；若以分群負載資料推估，2038 年、2050 年需求面管理抑低績效分別約為 1,517 MW、1,719 MW。

2. 成本效益分析成果

本研究以美國 FERC 的 5 種成本效益檢定方法為基礎，挑選適合台灣情境的成本效益項目，並針對用戶、電業及社會等面向評估成本效益。研究結果顯示，2021~2023 年執行需量反應措施，可抑低電量 5.8 億度~9.1 億度，並帶來用戶淨效益為 19.85 億元~24.66 億元、電業淨效益為 9.36 億元~15.33 億元、社會淨效益為 30.26 億元~40.97 億元(如表 1 所示)，反映台電公司執行需量反應措施對於用戶、電業及社會等面向均有正向影響。

表 1 2021~2023 年執行需量反應措施之淨效益分析結果

年度	抑低量 (億度)	用戶淨效益 (億元)	電業淨效益 (億元)	社會淨效益 (億元)
2021	6.3	19.85	9.60	30.26
2022	5.8	20.96	9.36	31.58
2023	9.1	24.66	15.33	40.97

資料來源：本研究整理

五、確保廢水、廢棄物之六價鉻檢測數據品質：Cr(VI)-DPC 呈色錯合物的穩定性與時效性分析

(一) 研究背景、目的：

六價鉻 Cr(VI) 作為環境水樣及廢棄物中的常見重金屬污染物，因其具備高毒性和致癌性，受到環保法規的嚴格管制。本所環境檢驗室接受各發電廠委託，對電廠廢水及廢棄物 Cr(VI) 之檢測，協助各電廠符合環保法規要求。

現行環檢六價鉻標準檢測方法 NIEA R309.13C 採用二苯基二胺脲 (DPC) 呈色法，其原理係 Cr(VI) 與 DPC 在酸性環境反應，生成紫紅色錯合物 Cr(VI)-DPC，製備檢量線後，再以紫外線可見光分光光譜儀以波長 540 nm 的吸光度定量 Cr(VI)。

然而，根據本實驗室實務經驗，Cr(VI)-DPC 錯

(化檢組：王宥達、陳福來、王森彥、張家豪)

合物在呈色後數十分鐘內就會出現儀器可偵測到的吸光度數值衰退，因標準方法未明確規定呈色後檢測吸光度之間隔時間，且不同間隔時間之測值是否會造成讀值之影響。

本研究目的欲透過系統化的實驗，量化色度衰退與時間、濃度的關係，確保在樣品數量多、檢測批次安排複雜時，Cr(VI) 檢測數據的品質與可靠性仍得以維持。

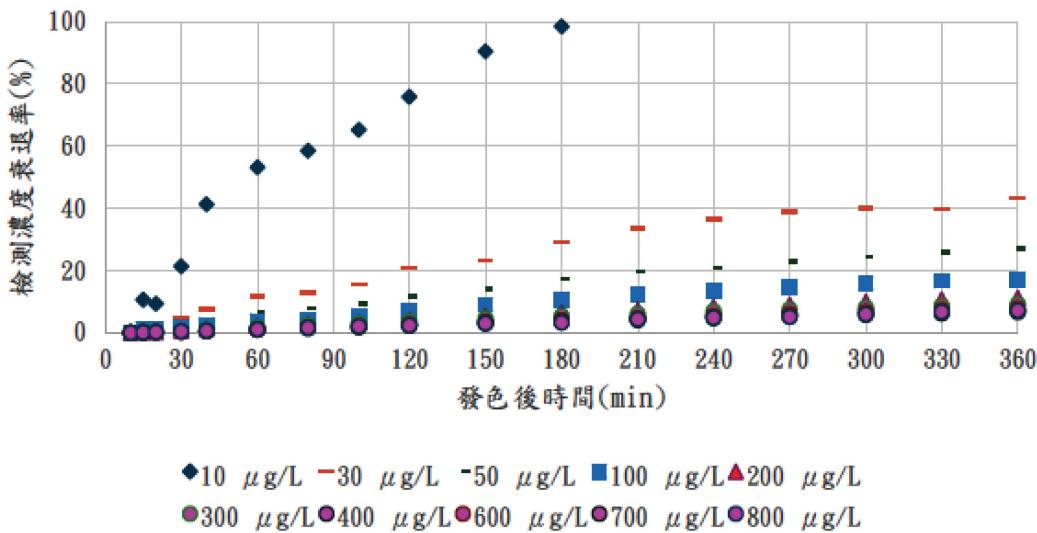
(二) 研究內容：

本研究透過嚴謹的對照實驗(光照組 vs. 遮光組)，並分析不同濃度的 Cr(VI) 樣品隨時間的吸光度變化，得出以下核心發現：

1. 色度衰退機制為光能驅動的化學反應：

在光照環境下，所有樣品色度均呈現顯著衰退(如圖 1)。在遮光環境下，色度衰退現象被大幅抑制

(如表 1)，吸光度數值能保持相對穩定。因此在實務上實驗室操作(從呈色到讀值)必須嚴格執行避光措施，這是確保檢測數據準確性的重要先決條件。



備註：定義「檢測濃度衰退率(%)=[1-(發色後 t 分鐘檢測濃度/發色後 10 分鐘檢測濃度)]×100」

資料來源：本研究繪製

圖 1 檢測濃度衰退率與發色後未遮光之時間關係圖

表 1 不同光照條件下檢測濃度變化率(發色 6 小時後)

原樣濃度(μg/L)	未遮光下之檢測濃度變化率	遮光下之檢測濃度變化率
6	100%	51.62%
9	100%	23.93%
10	98.48%	73.10%
30	29.00%	7.39%
50	17.36%	4.94%
100	10.74%	1.58%
200	6.37%	0.14%
300	5.42%	0.34%
400	4.03%	0.30%
600	4.05%	0.27%
700	3.47%	0.04%
800	3.29%	0.16%

備註：定義「檢測濃度變化率(%)=[1-(發色後 360 分鐘檢測濃度/發色後 10 分鐘檢測濃度)]×100」

資料來源：本研究繪製

2. 衰退動力學模型的濃度依賴性：

本研究發現 Cr(VI)-DPC 錯合物的衰退動力學模式會隨初始濃度而轉變，呈現「雙重特性」(如表 2)：

表 2 本研究發現 Cr(VI)-DPC 錯合物的衰退動力學模式

濃度範圍	衰退動力學模式	衰退特性
高濃度($\geq 300 \mu\text{g/L}$)	遵循一級反應(First-Order Kinetics)模式。	在相同時間間隔內，衰退的比例是相同的，不隨初始濃度變化。
低濃度($< 300 \mu\text{g/L}$)	脫離一級反應的模式	衰退行為更加複雜且不規律，不同原樣濃度在相同時間下的衰退比例不相等。

資料來源：本研究彙整

(三) 結論：

本研究透過量化色度衰退的特性，為廢水及廢棄物之 Cr(VI)檢測數據品質提供了下列操作建議：

1. 避光原則：呈色反應完成後，所有樣品、標準品必須立即轉移至完全遮光的環境中儲存。
2. 控制讀值時間：針對環境水樣常見的低濃度範圍，由於其衰退行為不易預測，應將儀器讀值的時間縮短至呈色後的短時間內完成(建議 30 分鐘內完成)。
3. 優化檢測批次：實驗室應根據樣品數量和預計讀值時間，合理安排檢測批次，確保最重要、或對時間最敏感(低濃度)的樣品能優先讀值，避免因時間延遲造成讀值衰退，以確保數據之可靠性。