

出國報告(出國類別：實習)

分散式資源架構下之電力系統網路 管理與資訊介接相關技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱： 徐琨璋 電機工程監

葉冠廷 電機工程師

葉容菘 電機工程師

派赴國家/地區：美國/加州、華盛頓州

出國期間：113年12月4日至113年12月15日

報告日期：113年2月15日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：分散式資源架構下之電力系統網路管理與資訊介接相關技術研習

頁數 76 含附件 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：臺灣電力公司/翁玉靜/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

姓名	服務機關	單位	職稱	電話
徐琨璋	台灣電力公司	電力調度處	電機工程監	02-2365-1234#16645
葉冠廷	台灣電力公司	電力調度處	電機工程師	02-2365-1234#15183
葉容崧	台灣電力公司	電力調度處	電機工程師	02-2365-1234#15186

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：113 年 12 月 4 日至 113 年 12 月 15 日

派赴國家/地區：美國/加州、華盛頓州

報告日期：114 年 2 月 8 日

關鍵詞：電力系統控制與調度(Power System Control and Dispatch)、調度員及值班工程師訓練(Operator and Shift Engineer Training)、電網安全分析(Security Analysis)、電力調度中心(System Operator)、EPRI(Electric Power Research Institute)、加州獨立系統營運商(CAISO)、西部電力協調委員會(WECC)、電網模型資料管理(Grid Model Data Management)、FNM(Full Model Management)、EMMS(Enterprise Model Management System)、通用訊息模型(Common Information Model)、電網模型管理(Network Model Management)

內容摘要：(二百至三百字)

隨著再生能源等分散式資源的快速發展，傳統集中式的電力系統結構正經歷著重大變化，分散式資源的併網使得電力系統的拓樸結構變得更加複雜。同時智慧電網的應用興起，使得相關應用程式亦如火如荼建置中，如 AEMS、MMS、PSS/E、RTDS 等，這些應用軟體皆需要各別建置準確且即時的電力系統模型與不同應用系統之間資料交換的通用訊息模型作為應用基礎。以北美或歐洲之先進電網為例，為克服不用應用軟體模型維護並達成統一管理之目標，皆已導入相關之通用訊息模型(Common Information Model, CIM)與電網模型管理(Network Model Management, NMM)系統，為確保未來模型建立之兼容性與系統架構之正確性，實有自國外成熟電力系統取經，以持續精進，加強各類系統之應用及管理能力的必要。

本報告將介紹 EPRI 的 GMDM (Grid Model Data Management, 電網模型資料管理), 如何作為電網模型集中管理之解決方案。CAISO(California ISO, 加州獨立系統營運商)的營運系統規模、調度中心規模及運作方式、FNM(Full Model Management)、EMMS(Enterprise Model Management System)、再生能源管理、輸電系統管理、資安管理等議題, 以作為提升台電電力調度能力及系統整體韌性之參考。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網
(<https://report.nat.gov.tw>)

目錄

壹、 目的.....	6
貳、 出國行程.....	8
2.1 EPRI.....	9
2.1.1 EPRI 簡介.....	9
2.1.2 GMDM 介紹、功能與優點.....	9
2.1.3 通用資訊模型 (CIM) 標準.....	11
2.1.4 GMDM 導入之策略與建議.....	13
2.2 CAISO.....	15
2.2.1 CAISO 簡介.....	15
2.2.2 市場應用系統之架構.....	21
2.2.3 市場流程及調度程序工具.....	25
2.2.4 控制中心之職責與任務分配.....	37
2.2.5 全電網模型(FNM).....	41
2.2.6 FNM 的維護與更新.....	46
2.2.7 資安.....	56
2.2.8 其他技術議題.....	57
2.3 KC-Exousia Consulting.....	63
2.3.1 KC-Exousia Consulting 簡介.....	63
2.3.2 議題討論.....	63
2.3.3 小結.....	64
2.4 Power Info LLC.....	65
2.4.1 Power Info LLC 簡介與產品介紹.....	65
2.4.2 重點功能介紹.....	67

參、心得及建議.....	72
肆、參考文獻.....	75

表目錄

表 1 出國行程表.....	8
表 2 資料處理與更新頻率.....	41
表 3 系統應用與功能差異.....	42
表 4 更新時間點彙總.....	49
表 5 三個電網管理資料庫比較.....	55
表 6 CAISO 自動調度系統輸出資訊.....	57

圖目錄

圖 1 傳統電網分析資訊流程架構.....	10
圖 2 電網模型資訊整合架構（基於 CIM）	10
圖 3 CIM 應用於智慧電網.....	11
圖 4 截至 2024 年北美的 ISO 與 RTO.....	15
圖 5 CAISO 供電區域.....	16
圖 6 2023 年度加州系統總發電量百分比（含進口）	16
圖 7 加州儲能系統安裝容量.....	17
圖 8 西部互聯區域 38 個 BAAs.....	19
圖 9 Western Energy Imbalance Market（WEIM）參與者範圍.....	21
圖 10 Extended Day-Ahead Market（EDAM）參與者範圍.....	21
圖 11 CAISO 市場系統之介面與架構.....	22
圖 12 CAISO 市場時間流程概覽.....	26
圖 13 CAISO 壅塞收益權分配與拍賣時間軸.....	27
圖 14 CAISO 資源充足計畫報告要求流程.....	28
圖 15 CAISO 日前市場流程圖.....	28
圖 16 CAISO 即時市場 HASP/STUC/RTUC 流程圖.....	33
圖 17 CAISO 即時市場 RTED 流程圖.....	35
圖 18 CAISO 控制室之控制桌配置.....	38
圖 19 CAISO 控制室照片（檢自 https://www.facebook.com/CaliforniaISO ）	40
圖 20 FNM 的發展流程.....	42
圖 21 FNM 組成要素.....	45
圖 22 模型更新流程.....	46
圖 23 FNM 相關聯之各類資料庫.....	50

圖 24 CAISO 停電工作管理系統資料流.....	59
圖 25 CAISO 停電工作分析時間.....	59
圖 26 CAISO 複循環機組停電資訊卡.....	61
圖 27 PowerInfo 客戶範圍（紅色為 CIMDesk、藍色為 CIMSpy）	65
圖 28 CIMSpy/CIMdesk 之主要功能.....	66
圖 29 CIMSpy/CIMdesk 支援電力行業之業務內容.....	66
圖 30 CIMSpy/CIMdesk 之關鍵功能.....	68
圖 31 CIMSpy 介面.....	69
圖 32 CIMSpy 之驗證功能.....	70
圖 33 CIMSpy 線路潮流資訊顯示.....	71
圖 34 CIMSpy 線路潮流超載情況視覺化.....	71

壹、目的

隨著再生能源等分散式資源的快速發展，傳統集中式的電力系統結構正經歷著重大轉變，分散式資源的併網使得電力系統的拓樸結構日益複雜。同時智慧電網的應用興起，使得眾多相關應用程式亦如火如荼建置中，如 AEMS、MMS、PSS/E、RTDS 等。這些應用軟體皆需要依賴準確且即時的電力系統模型，以及能夠支持不同應用間資料交換的通用訊息模型，作為其運作的基礎。為確保未來台灣電力系統電網模型建立之兼容性及系統架構之正確性，我們可參考國外成熟的電力系統經驗，持續精進並進一步強化各類系統的應用與管理能力。

以北美或歐洲之先進電網為借鏡，為克服不用應用軟體模型維護並達成統一管理之目標，皆已導入相關之通用訊息模型（Common Information Model, CIM）與電網模型管理（Network Model Management, NMM）系統。本次出國行程將規劃拜訪 Electric Power Research Institute (EPRI)、California ISO (CAISO)、KC- Exousia Consulting 及 Power Info LCC。

1. EPRI 長期致力於電網模型管理（NMM）與通用訊息模型（CIM）相關領域的研究和開發，並協助公用事業公司推動網路模型的整合與管理。透過此交流，將有助於本公司未來在整合電網資料、推動模型統一管理、兼容性方面提供參考。
2. CAISO 已成立逾 20 年，系統裝置容量略高於本公司，歷史最高尖峰負載量約為 52GW，其經驗應可作為未來公司導入電網模型管理系統（NMMS）時之參考，故本次拜訪將針對 CAISO 的 NMMS 軟硬體系統架構、模型等項目予以進一步瞭解，提供本公司導入 NMMS 之參考。
3. KC- Exousia consulting 為顧問公司，曾擔任 General Electric Company (GE) 的全球市場管理解決方案總監，擁有多年的系統開發經驗，可提供本公司整合 NMMS 與維護管理之意見。
4. Power Info LCC 提供 CIMSpy、CIMdesk、M3 產品，擁有許多電力公司、RTO/ISO 等客戶，客戶在進行電網模型資料交換時，可透過該軟體進行以 CIM 為基礎的資料驗證，故安排與產品開發者進行交流，從中探討電力行業及各應用系統如何在基於 CIM 和 IEC 標準的情況下，進行電網模型的交換及整合。

藉由本次出國參訪與國際領先機構的交流，可深入瞭解電網模型管理系統（NMMS）及通用訊息模型（CIM）的最新發展趨勢與應用經驗。透過與 EPRI、CAISO、KC-Exousia Consulting 及 Power Info LLC 的互動交流，不僅可吸取先進國家的電網模型建置、資料整合及系統維護管理等寶貴經驗，更可作為本公司未來推動電網模型統一管理、提升系統兼容性與應用效能之重要參考依據。期望藉此行程，為台灣電力系統在智慧電網發展及再生能源整合方面奠定

更為堅實的基礎，進而強化電網穩定性及營運效率，邁向更智慧與可靠的電力系統。

貳、出國行程

出國行程表如表 1 所示。本次出國行程 113 年 12 月 4 日抵達美國舊金山機場，於 12 月 5 日至 6 日前往美國電力研究院(EPRI)進行技術交流；於 12 月 9 日至 12 月 10 日，參訪加州獨立電力調度中心 (California Independent System Operator, CAISO)；結束後搭機前往西雅圖，於 12 月 12 日拜訪 KC-Exousia Consulting 顧問公司；並於 12 月 13 日拜訪 Power Info LLC 電力系統軟體供應商。最後 12 月 14 日於西雅圖國際機場搭機返台，於 12 月 15 日平安抵達國門，圓滿完成任務，結束此次共 12 日之實習行程。

表 1 出國行程表

時間	起訖地點	參訪行程
113.12.04	台北→舊金山	往程
113.12.05~113.12.06	舊金山	美國電力技術研 (Electricity ,EPRI)
113.12.07~113.12.08	舊金山→佛森	移動日
113.12.09~113.12.10	佛森	加州獨立電力調度中心 (California Independent System Operator, CAISO)
113.12.11	佛森→西雅圖	移動日
113.12.12	西雅圖	KC-Exousia Consulting 顧問公司
113.12.13	西雅圖	PowerInfo 電力系統軟體提供商
113.12.14~113.12.15	西雅圖→台北	返程

2.1 EPRI

2.1.1 EPRI 簡介

美國電力研究院(EPRI, Electric Power Research Institute)成立於 1972 年，是一家非營利性、獨立的研究機構，總部位於美國加州帕洛阿圖(Palo Alto, California, USA)，也是本次參訪地點。EPRI 的使命是推動電力行業的創新與技術發展，促進全球能源的可持續發展與電力系統之可靠運行。EPRI 與全球公用事業、政府機構及產學單位合作，提供創新解決方案，協助電力產業因應挑戰，加速能源轉型，推動低碳與智慧電力發展。

EPRI 的研究領域涵蓋：

- 發電技術（燃煤、燃氣、再生能源、核能等）
- 電網運營（智慧電網、輸配電系統、儲能技術）
- 環境與政策（碳排放管理、氣候變遷對策、法規遵循）
- 終端應用技術（電動車、智慧用電、需量管理）

本次拜訪目的主要係因美國電力研究院（EPRI）長期與美國電力業界合作並投入相關研究，於早期即參與網路模型管理（NMM, Network Model Management）的發展，並提出電網模型資料管理（GMDM, Grid Model Data Management）的概念，作為電網模型集中管理的解決方案，以提升電力系統的資訊一致性、準確性及營運效率。

2.1.2 GMDM 介紹、功能與優點

2.1.2.1 何謂 GMDM

電網模型資料管理（Grid Model Data Management, GMDM）是一套針對電網規劃與運轉所需的高精度資料管理解決方案。隨著電力系統日益複雜，智慧電網的推動使得精確的資料整合與模型管理成為電力公司維持供電穩定與營運效率的主要關鍵。GMDM 提供一個標準化、集中化的平台，能夠有效整合來自不同系統的資料，提升電網的可視化與精準調度能力。其核心目標就是大家所需要之參數資訊只有一個資料來源。

2.1.2.2 GMDM 主要功能

過往電力公司下的各部門因為系統分析需求不同，所以檔案皆採各自維護，然各項分析之資料卻需重複建置與彙整，容易有資料不一致之風險，會影響調度決策之準確性。

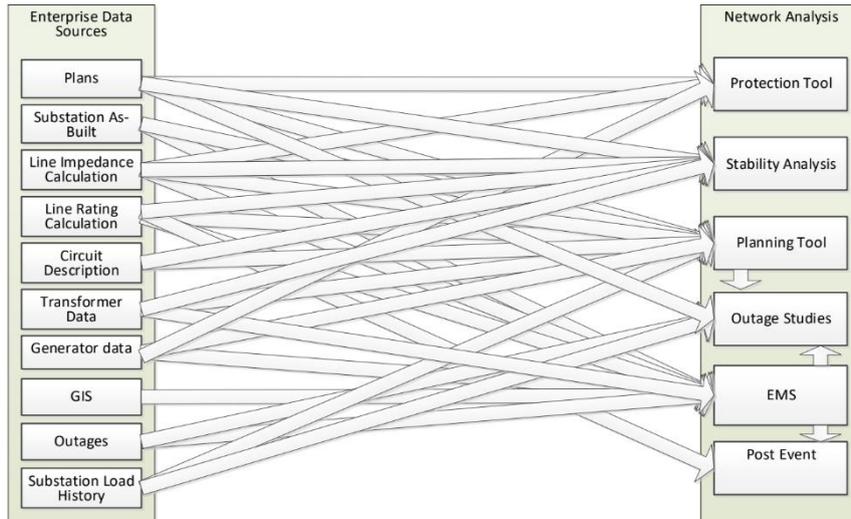


圖 1 傳統電網分析資訊流程架構

然而，如果採取 GMDM 將可具備以下關鍵功能，確保電網營運的穩定性與資料一致性，如圖 x 所示：

- 統一資料模型整合：透過 IEC 所制定的 CIM（通用資訊模型）標準，實現跨部門資料整合與一致性。
- 多維度資料管理：涵蓋電網規劃、運轉、維護、事故資料等多維度資訊，提供即時監控與長期分析。
- 版本控管與一致性檢核：提供資料版本控管功能，確保各部門在同一基礎資料上協同作業。
- 即時模擬與優化：支援即時模擬與靜態、動態電網分析，提升營運決策能力。

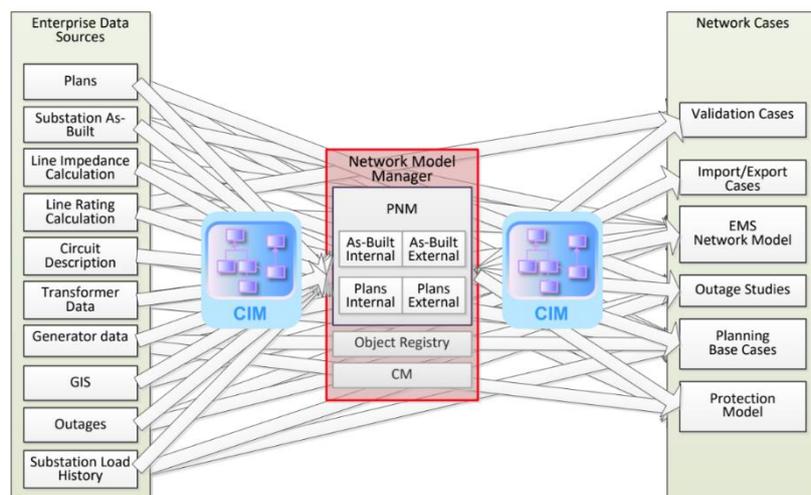


圖 2 電網模型資訊整合架構（基於 CIM）

2.1.3 通用資訊模型 (CIM) 標準

2.1.3.1 CIM 簡介

Common Information Model (CIM) 是一種用於描述電力系統設備及其之間互動關係的標準化資料模型，主要由 IEC (國際電工委員會) 定義，標準編號為 IEC 61970、IEC 61968 及 IEC 62325。CIM 的核心目標是促進不同電力系統應用之間的資料互通與互操作，尤其在智慧電網 (Smart Grid) 及能源管理系統 (EMS) 中扮演重要角色。

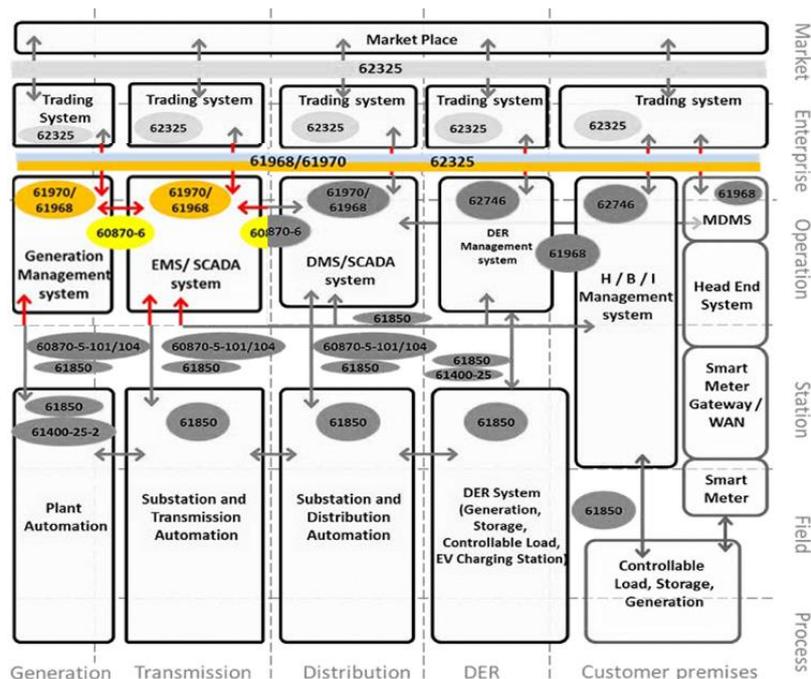


圖 3 CIM 應用於智慧電網

2.1.3.2 CIM 的主要特點

1. 標準化資料模型：

CIM 以 UML (統一建模語言) 定義，描述電力系統的設備、拓樸結構及運作特性，確保不同廠商系統之間的資料能夠一致且準確地交換。

2. 模組化架構：

CIM 分為多個模組，涵蓋輸電、配電、電力市場等不同領域，例如：

- IEC 61970：針對輸電系統及能源管理系統。
- IEC 61968：針對配電管理系統 (DMS)。
- IEC 62325：支援電力市場的資料交換。

3. 支援互操作性：

透過標準化的資料交換格式 (如 CIM/XML、CIM/RDF)，CIM 能讓不同系統 (如 SCADA、GIS、DMS、OMS 等) 無縫整合，提升系統的靈活性與擴展性。

2.1.3.3 CIM的應用

- 能源管理系統（EMS）：CIM 協助不同電力調度系統之間交換拓樸與狀態資料，提升系統調度效率。
- 配電管理系統（DMS）：在配電網路中，CIM 用於建模電力設備與拓樸，支援故障分析、負載預測等應用。
- 電力市場系統：CIM 標準化電力市場的交易資料格式，促進不同市場系統間的資訊交換。
- 跨系統整合：如 GIS、SCADA、AMS 等異質系統的資料整合，降低資料轉換與維護成本。

2.1.3.4 現有模式及導入 GMDM 之優勢與劣勢

維持現有模式：

- 優點
 - 現有成本較低，無需投入大量資源於新系統的建置與維護。
 - 操作靈活度較高，各部門可靈活調整操作方式，無需依賴統一平台及較少規則限制。
 - 考量系統如果未有大幅度變化下維護簡單，手動管理或使用現有工具可滿足需求，無需大規模 IT 基礎設施變革。
- 缺點：
 - 系統不一致風險高，不同系統之間可能因人為因素導致存在資料不一致問題，嚴重時恐造成決策被影響。
 - 營運效率較差，需依靠人工或自主開發程式進行資料整合，處理速度較慢，影響應變能力，當資訊來源更改表格位置要花非常多的時間排錯。
 - 難以支援未來擴展，現有系統恐無法有效支援未來電網增加之規模。
 - 是否合規與審計能力之挑戰，因缺乏標準化資料管理，難以符合監管單位要求。

導入 GMDM：

- 優點
 - 資料一致性與準確性提升，透過集中管理電網模型，避免因內部或不同組織之間，因為使用不同來源、不同格式、不同更新頻率的資料和技術架構，導致的資料管理與整合上的挑戰。
 - 提升營運效率，自動化資料處理與更新，減少重複建模作業與人為錯誤的發生率，並減少人工作業時間，加快決策速度。
 - 支援即時決策與模擬，GMDM 提供即時的模型更新，支援在線監測與即時分析，提升系統運作靈活性。
 - 增強合規與審計能力，具備完整的資料版本控制與變更管理，符合監管單位要求。
 - 減少 IT 維護成本，集中管理資料可降低軟硬體資源的浪費，並提

升系統擴展性。

➤ 缺點

- 初期導入成本高，需要投入大量資源進行系統建置、資料清理及員工培訓。
- 系統依賴性增加，實際應用後將高度依賴 GMDM 系統的正常運行，需確保備援機制。
- 使用者適應門檻，新系統導入後，整體工作流程將進行調整，使用者需要適應期。

2.1.4 GMDM 導入之策略與建議

2.1.4.1 導入策略

如要成功導入 GMDM 需採取以下逐步推動之策略：

1. 現況評估與需求分析：識別台灣電力系統的資料管理問題點，確立導入目標與效益指標。
2. 標準化與架構設計：依循 IEC 61970/61968 標準，建立統一資料模型架構，確保系統互通性。
3. 試辦驗證：選定特定區域或業務單位進行試辦，驗證系統穩定性與可操作性。
4. 全面推動與持續優化：逐步擴展至全電網，並建立持續優化機制，確保系統長期效益。

2.1.4.2 導入建議

參考各國導入及實務運作情況，針對台灣電力公司導入 GMDM 之建議，這些建議有助於確保 GMDM 導入的成功，並充分發揮其在電網管理中的價值。：

1. 建立統一的資料管理架構：GMDM 的導入應著重於建立統一的電網模型資料架構，透過 CIM (Common Information Model) 等標準化方式，確保資料來源的一致性與可擴展性，以提升跨部門協作效率並降低資料不一致的風險。
2. 加強資料整合與流通機制：為確保企業資料來源（如 GIS、SCADA、CIS 等）能有效地支持營運與分析，應建立自動化資料流通機制，透過 ETL (Extract, Transform, Load) 工具或 API 整合，確保資料的準確性與即時性，並減少手動輸入錯誤。
3. 確保資料品質與治理機制：在導入 GMDM 的過程中，應同步建立資料品質管控流程，例如制定資料驗證規則、建立資料審查機制，並引入角色與權限管理，確保所有資料維護符合企業標準，減少資料異常導致的營運風險。
4. 提升營運效率與決策支持：GMDM 的導入將有助於提升系統營運效率，透過即時且準確的電網模型資料，支援如負載流分析、短路分析、穩定性評估等多種應用，進而增強系統的預測能力與風險應對能力。

5. 系統彈性與擴展性考量：在 GMDM 的導入過程中，應確保系統具備足夠的彈性，以適應未來電網發展需求，如分散式能源、儲能電池等趨勢，並考慮雲端技術及大數據分析的應用，以提升長期營運效益。
6. 人員培訓與變革管理：導入 GMDM 的成功關鍵不僅在於技術實施，還需重視人員培訓與組織重構管理，應制定清晰的培訓計畫，確保相關人員熟悉 GMDM 的使用與維護，並建立有效的溝通機制以順利推動數據治理文化。
7. 分階段導入策略：建議採取逐步導入策略，先從關鍵應用場景（如輸電系統）開始試行，驗證效果後再擴展至全系統應用，確保風險可控並提高導入成功率。

2.2 CAISO

2.2.1 CAISO 簡介

2.2.1.1 CAISO 職責

加州獨立電力調度機構 (California Independent System Operator, CAISO) 成立於 1998 年，是一個非營利性機構，同時也是世界上最大的 ISO 之一，主要負責管理加州的電力系統運營與批發市場，確保電力供應的可靠性以及市場的公平性與透明度。作為聯邦能源管理委員會 (FERC) 授權的獨立系統運營商 (ISO)，CAISO 的核心職責涵蓋以下幾個方面：

- 電力市場營運：CAISO 管理加州的日前市場與即時市場，為市場參與者提供電能及輔助服務的交易平台。其運營目標在確保市場透明性和競爭力的同時，確保採購、確認和優化足夠的能源，以提高電網可靠性。
- 電網營運：CAISO 負責管理並實時監控與操作全州的電力傳輸系統，管理輸電壅塞問題，確保電網穩定與可靠運行，使電力得以輸送到當地的公用事業並配送給終端的電力消費者。
- 推動能源轉型：CAISO 在整合太陽能、風能等間歇性能源方面處於領先地位，並大力推動儲能技術的應用以增強電網靈活性和穩定性。
- 規劃與發展：CAISO 定期進行電力系統長期規劃，分析未來區域電網可靠性需求與電力需求，確保基礎設施能夠支撐高比例可再生能源的接入，並推動區域電網合作。

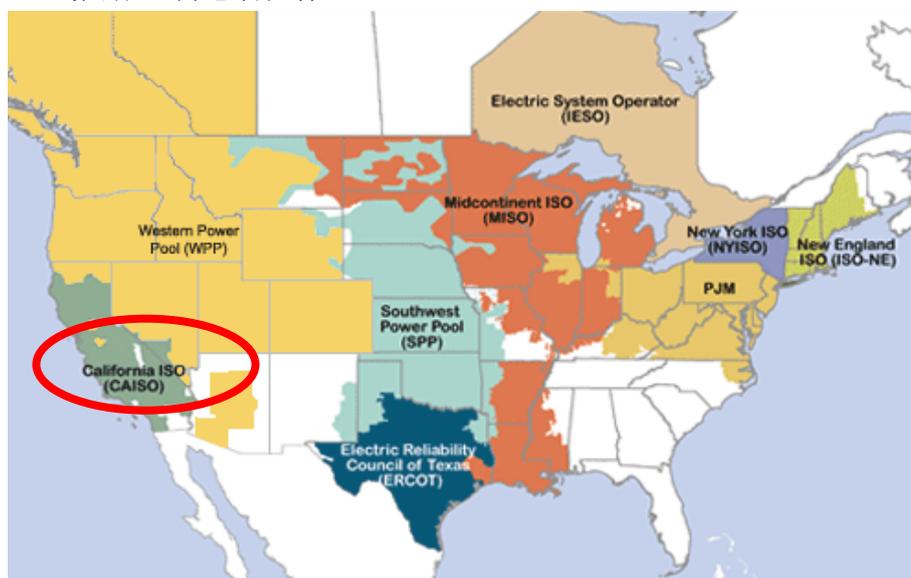


圖 4 截至 2024 年北美的 ISO 與 RTO

2.2.1.2 運營範圍與規模

CAISO 的運營範圍涵蓋整個加州，服務約 3200 萬人口，控制超過 26,000 英里的高壓輸電線路，如圖 x 所示。加州約有 1,600 多個發電廠，總裝置容量

約為 87,750 MW，這些發電廠包含多種發電技術。天然氣發電廠佔加州總裝置容量的最大占比，達 39,689 MW (45%)。再生能源容量為 32,925 MW (37.5%)，其中 20,871 MW (24%) 來自太陽能，6,284 MW (7%) 來自風能。大型水力發電廠亦被視為零碳資源，可額外提供 12,281 MW (14%) 的發電量，而加州最後一個仍在商轉的核電廠 Diablo Canyon 則可提供 2,400 MW (2.7%) 的發電量。

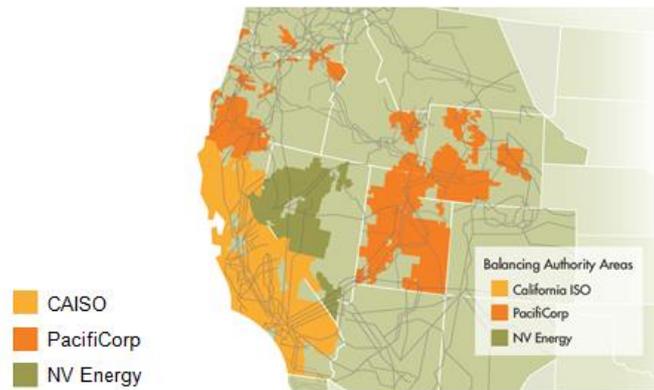


圖 5 CAISO 供電區域

在再生能源整合方面，2023 年，CAISO 系統總發電量為 281,140GWh，淨零碳排與再生能源發電量達 162,771GWh，占全州總發電量的 57.9% (若不含核能與水力，則為 36.9%)。其中，核能佔 9.34%，大型水力與小水力分別佔 11.7% 及 1.77%，太陽能和風力分別佔 17.03% 和 11.17%，其他來源如地熱佔 4.83%，生質能佔 2.06%，顯示加州多元化的能源結構。

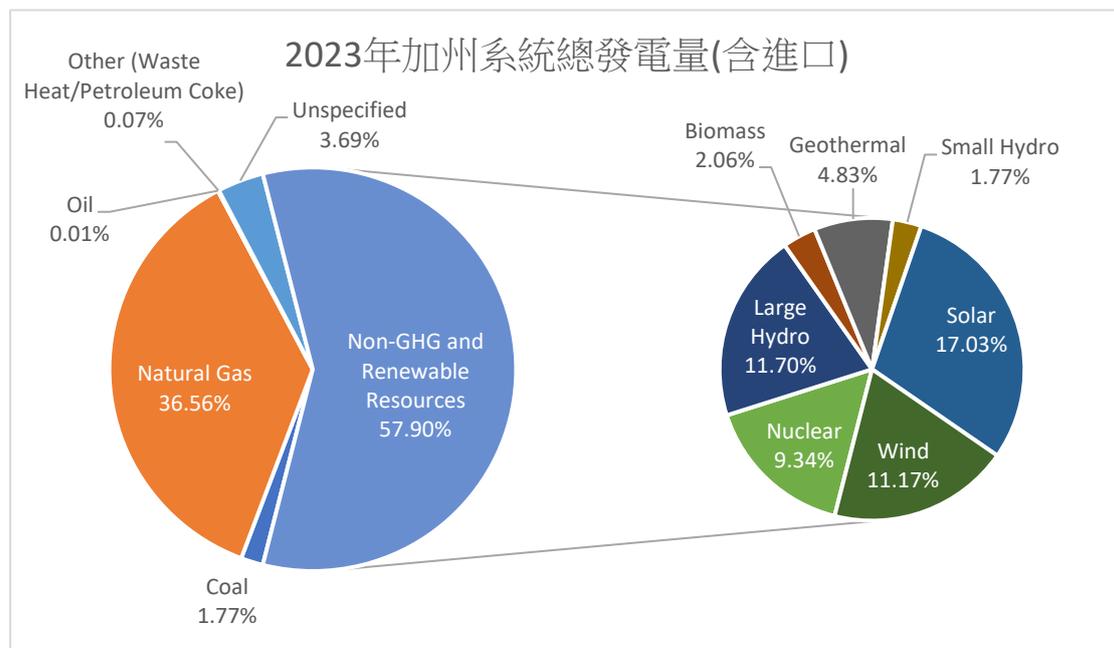


圖 6 2023 年度加州系統總發電量百分比 (含進口)

在儲能方面，加州在能源儲存領域發展的非常快速，儲能是支撐電網可靠性和包容加州豐富的再生能源資源的重要設施。能源儲存的技術可以在非尖峰時段儲存能源，並在尖峰時段或傍晚太陽能資源減少時進行調度，從而減少尖峰時段對化石燃料發電資源的依賴。從 2018 年到 2024 年，加州的電池儲存容量從 500 MW 增加到超過 13,300 MW，並計劃在 2024 年底前新增 3,000 MW 的電池儲存容量。圖 x 顯示截至 2024 年 9 月 11 日止，加州範圍內住宅、商業和公用事業規模儲能電池設施的容量數據。

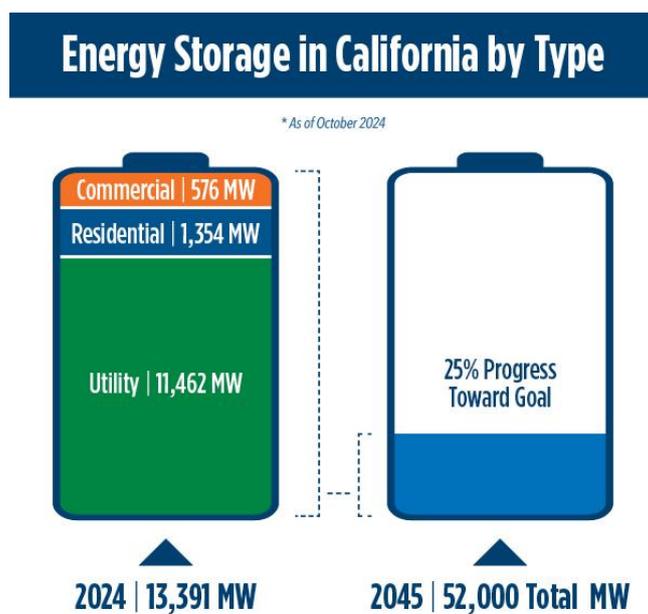


圖 7 加州儲能系統安裝容量

2.2.1.3 市場結構

截至 2023 年止，CAISO 的市場參與者超過 300 家，包括公用事業公司、獨立電力生產商及其他市場交易者。在 CAISO 市場營運中的參與實體 (Entities) 介紹如下：

- CAISO
 - 非營利性機構，負責
 - 對所有參與市場的輸電公司之輸電設備進行控制
 - 管理 CAISO 市場
 - CAISO Balancing Authority Area 的操作員
- 排程協調員 (Scheduling Coordinators, SC)
 - 類似台電交易平台的合格交易者，除了收購和持有壅塞收益權 (Congestion Revenue Rights, CRR) 以外，與 CAISO 市場相關的所有業務都必須透過經 CAISO 核准的 SC 來進行。SC 的主要職責包括
 - 代表發電機、負載服務實體 (Load-Serving Entities)、需量資源 (Proxy Demand Resources)、負載轉移需量資源 (Proxy Demand

Resource-Load Shift Resource) 、可靠性需量反應資源 (Reliability Demand Response Resources) 、電力進口商及電力出口商。

- 提供 NERC 標籤數據
 - 提交投標
 - SC 間的交易(Inter-SC Trades)
 - 結算有關於 CAISO 市場的所有服務及 Inter-SC Trades
 - 確保遵守 CAISO 法規
 - 提交每年度、每周及每日的需求預測
- 公用事業配電公司 (Utility Distribution Company, UDC)
UDC 擁有輸送電力的配電系統，提供零售電力服務或採購服務給客戶。UDC 必須與 CAISO 簽署 UDC 營運協議。
- 輸電業 (Participating Transmission Owner, PTO)
根據 CAISO 與 PTO 之間的輸電控制協議，輸電業者的輸電線路及相關設備可被 CAISO 操作及控制。
- 計量子系統 (Metered Subsystems, MSS)
在發電機、負載或系統中某個節點上安裝經 CAISO 認證的表計。為了參與 CAISO 市場，MSS 必須由 SC 代表，或是 MSS 也可申請成為 SC。
- 平衡授權區域 (Balancing Authority Area, BAA)
CAISO BAA 是西部電力協調委員會 Western Electricity Coordinating Council (WECC)所管轄的其中一個 BAA，CAISO BAA 負責處理西部地區約 35%的電力需求，BAA 須負責營運自己區域內的電力傳輸系統，並且維持自己區域內的負載平衡與電網頻率。CAISO BAA 也與下列的其他 BAA 直接連結。
- Bonneville Power Administration (BPA) - external
 - PacifiCorp West - external
 - Sierra Pacific Power - external
 - Nevada Power - external
 - Western Area Power Administration-Lower Colorado Region (WAPA-LCR) - external
 - Sacramento Municipal Utility District - adjacent
 - Arizona Public Service - external
 - Salt River Project - external
 - Imperial Irrigation District - external (candidate adjacent in future)
 - Los Angeles Department of Water & Power - external (candidate adjacent in future)
 - Comision Federal De Electricidad - external (candidate

adjacent in future)

- Turlock Irrigation District - adjacent



圖 8 西部互聯區域 38 個 BAAs

➤ 其他

其他還有許多不同資源態樣的實體，如參與發電機（Participating Generators）、限制輸出發電機（Constrained Output Generator）、多階段發電資源（Multi-Stage Generating Resources）、參與負載（Participating Loads）、非參與負載（Non-Participating Loads）、系統資源（System Resource）、儲能（Non-Generator Resources）、Pseudo-Tie、使用限制資源（Use-Limited Resources）、條件式可用資源（Conditionally Available Resource）、不可調度資源（Non-Dispatchable Resource）、川流式水力資源（Run-of-River Hydro）、異地聚合資源（Co-Located Resources）、混和資源（Hybrid Resources）等等，均需透過 SC 參與 CAISO 市場。

CAISO 所管理的市場包含日前市場（Day-ahead Market）、即時市場（Real-time Market）及塞收益權市場（Congestion Revenue Rights, CRRs），日前市場由一系列的流程所組成，這些流程用以確定每小時的能源（Energy）、輔助服務（Ancillary Services）、邊際價格（LMP）以及剩餘機組承諾（RUC）的額外容量。即時市場則是一個現貨市場，同樣是由一系列的流程所組成，公用事業公司可以在即時市場中購買未涵蓋在日前市場中的額外能源需求，同時即時市場亦能確保系統的可靠性及備轉充足，並在需要時將備轉提供給 ISO 調度。即時市場一般來說可以每 15 分鐘或每 5 分鐘調度一次資源。

CAISO 所提供的商品及服務包含：

- 能源 (Energy)
- 輔助服務 (Ancillary Services)
 - 向上調頻輔助服務 (Regulation Up)：必須同步且可接受 AGC 訊號
 - 向下調頻輔助服務 (Regulation Down)：必須同步且可接受 AGC 訊號
 - 同步備轉容量 (Spinning Reserve)：必須同步且 10 分鐘反應，持續 30 分鐘
 - 非同步備轉容量 (Non-Spinning Reserve)：必須 10 分鐘反應，持續 30 分鐘。
 - 彈性斜坡商品 (Flexible Ramping Product)，在市場或調度中保留的資源升載或降載能力，以解決可能出現的不確定性。目的是確保系統的升載及降載能力，以避免出現極端的電價。
- 剩餘機組承諾容量 (Residual Unit Commitment Capacity, RUC)
剩餘機組承諾容量是日前排程計畫與 CAISO 負載預測的差距，目的是確保即時市場中有足夠的容量參與市場確保可靠度與價格穩定，RUC 得標容量有義務在即時市場中提出報價。
- 壅塞收益權 (Congestion Revenue Rights, CRRs)
擁塞收益權是一個金融財務工具，其擁有者可以使用 CRRs 來抵消日前市場可能產生的擁塞費用，可以視為有避險的功能的金融工具。

另外 CAISO 還管理西部能源不平衡市場 (Western Energy Imbalance Market, WEIM) 及擴展日前市場 (Extended Day-Ahead Market, EDAM)，WEIM 主要著重於不同 BAA 之間的電能交易，允許 WEIM 的參與者 (BAAs) 在接近即時用電時間時買賣電力，並為 SO 提供鄰近電網的即時可視資訊，以較低的成本改善供需平衡，自 2014 年 11 月啟動 WEIM 以來，總收益節省了 3.9488 億美元。EDAM 則基於 WEIM 的成功經驗，以類似 WEIM 的方式擴展到日前市場，預計在 2026 年啟動。WEIM 與 EDAM 的參與者範圍如圖 x 及圖 x 所示。



圖 9 Western Energy Imbalance Market (WEIM) 參與者範圍

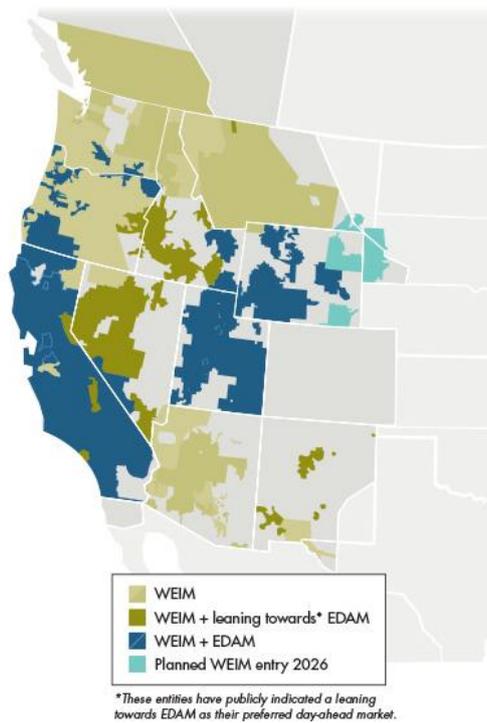


圖 10 Extended Day-Ahead Market (EDAM) 參與者範圍

2.2.2 市場應用系統之架構

CAISO 的應用系統，以市場為中心其架構大概可分為三個方面，分別為輸入側 (Input Side)、結清引擎 (Clear Engine) 及輸出側 (Output Side)。

輸入側之功能為收集各種資訊，包含電力系統資訊、市場報價資訊、機組資訊、預測資訊、停檢修資訊等等，並提供給市場最佳化軟體使用。結清引擎是整個市場的核心，是一套必須考量市場規則、市場程序、電力系統、經濟調度、資源限制等各種條件的最佳化軟體應用系統，根據市場的流程計算出市場結果。輸出側之功能則是將市場結果提供給外部，以及其他有關於市場結果後續應用的系統與程序。

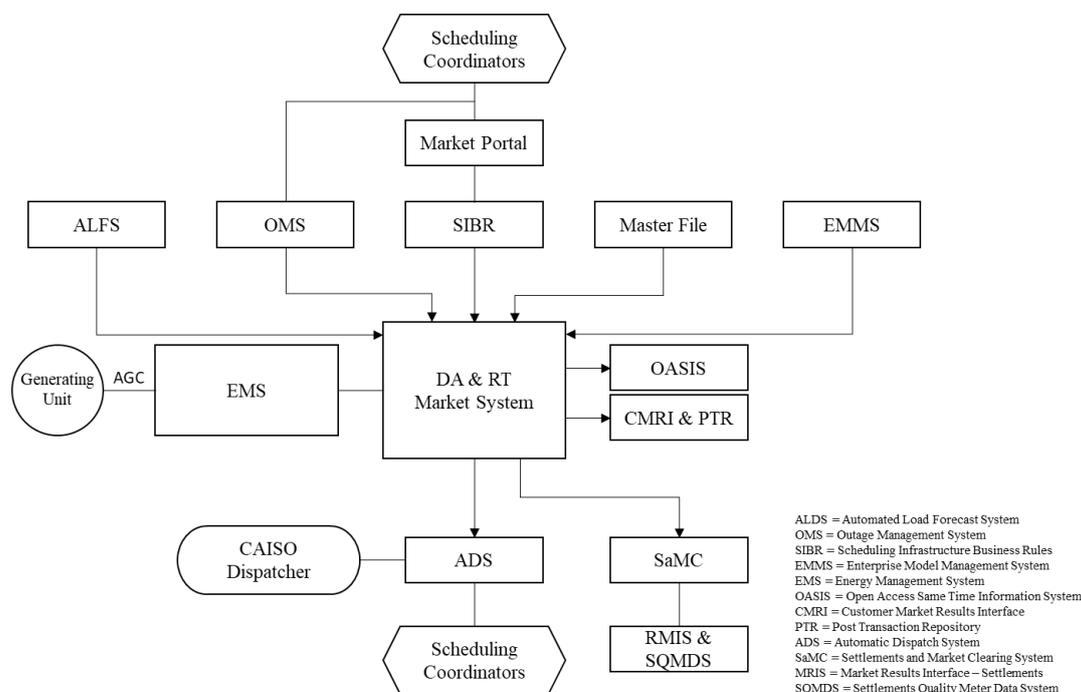


圖 11 CAISO 市場系統之介面與架構

2.2.2.1 輸入側 (Input Side)

- 企業模型管理系統 (Enterprise Model Management System, EMMS)：在臺灣電力公司我們習慣稱之為網路模型管理系統 (Network Model Management System)，EMMS 使用 CIM (Common Information Model) 格式來儲存網路模型的資訊及拓樸，並用 CIM 作為與其他系統交換網路模型的格式。EMMS 的 CIM 網路模型會提供給 EMS 及 Market System，用於執行潮流分析及電網分析。
- 電能管理系統 (Energy Management System)：電力調度員使用的電腦控制系統，用於監控電力系統各個元件的即時資料並控制發電設備和輸電設備。EMS 使用網路模型來定義與 SCADA 的遙測點，且 EMS 包含各種功能應用，如狀態估計 (State Estimator, SE)、自動發電控制 (Auto Generation Control, AGC) 或網路分析 (Network Analysis, NA) 等功能。
- 主檔案註冊表 (Master File Registry, MF)：註冊資訊的資料庫，儲存有關於發電機組、負載、其他資源的特徵及資

訊，MF 提供這些資訊給下游的應用系統。

- 自動負載預測系統 (Automated Load Forecast System, ALFS) :
用於計算 CAISO 短期需求預測的一套系統，ALFS 利用神經網路方法 (neural-network methodology) 及預測的天氣和條件來預測 CAISO 的負載需求/再生能源，會產生每小時、每十五分鐘、每五分鐘的負載預測及再生能源預測。同時也會收即實際負載的資料。

- 排程機組架構業務規則系統 (Scheduling Infrastructure Business Rules, SIBR) :

也可以稱之為市場投標系統，用於讓參與者提交日前市場或即時市場的資源報價。SIBR 會透過一系列的驗證規則處理投標資料，若驗證失敗代表投標無效，並且會通知參與者該次投標無效，參與者可以在市場關閉前重新提交投標資料。在市場關閉後，SIBR 會利用通過驗證的投標資料來產生乾淨的投標資料 (Clean Bids and Generation Bids)，並推送給其他 CAISO 應用系統使用，如日前市場程序或即時市場程序。

投標資料可以由兩種類型的元件所組成：

- 每日元件 (Daily Components) :

這些參數適用於交易日，一整天的每個交易區間 (intervals) 的資訊都相同。

- Start-Up information (Cost curve, time curve)
啟動資訊，包含啟動成本及啟動時間
- Minimum Load information
最小負載資訊
- Transition Information (Multi-Stage Generating Resources only)
多階段發電資源 (如天然氣複循環機組組態模型) 的轉換資訊
- Ramp Rate information
升載率及降載率資訊
- Minimum and Maximum Energy Limit information
最小及最大發電量限制
- Initial State of Charge (SOC)
儲能設備電能儲能量的初始條件

- 每小時元件 (Hourly Components) :

這些參數適用於交易日，不同交易區間 (interval) 的值可以不相同。

- RUC Availability Bid price
RUC 可用性投標價格
- RUC Availability Bid quantity
RUC 可用性投標容量

- Capacity Limit Indicator
容量限制指示器
 - Ancillary Services quantities
輔助服務投標容量
 - Ancillary Services Bid prices
輔助服務投標價格
 - Contingency Dispatch information
緊急調度資訊
 - Self-Provision quantities
自提供容量
 - Energy Bid Curve (Virtual Bids consist of only the Energy Bid Curve)
能源供給投標曲線
 - Demand Bid curve
需求投標曲線
 - Pump Shut-Down and Pumping Cost information
抽蓄停機及抽蓄成本資訊
 - Pumping Level
抽蓄負載
 - Distribution Location and Factors (for a Generating Unit that consists of multiple individual Generating Units)
分佈位置及分佈因子（由多個發電機實體所組成的資源）
- 停檢修管理系統（Outage Management System, OMS）
用於安排和批准發電機組和電網設備的停電工作、發電機必須運轉資訊、及處理強制性停電等，並且可用於系統充足性評估及停電相關報告等業務。與 OMS 相關的 ISO 業務流程的目標是盡可能地提早協調輸電與發電的停電工作，以滿足 ISO Tariff 以及可靠度協調停電協調需求（Reliability Coordinator outage coordination requirements），
- 維護系統可靠度
 - 最大化排程的彈性
 - 在市場中盡快反應停電工作的資訊，以利參與者更有效率的安排其營運計畫

2.2.2.2 結清引擎（Engine）

- 日前及即時市場系統（DA and RT Market System）
CAISO 的市場系統是由西門子所建置，前一章節所介紹的調度程序所使用的最佳化工具即是市場系統的功能。此系統需要整合各種輸入側的資訊，並執行最佳化，最後將市場結果輸出到輸出側。雖然不同 ISO 通

常會有不同的程序與功能，但大致上都遵循幾個基本的原則，包含最小化運轉成本、電源平衡、系統運轉可靠度、設備的物理限制及操作條件等。

2.2.2.3 輸出側 (Output Side)

- 自動調度系統 (Automatic Dispatch System, ADS)
一個 CAISO 向排程協調員 (Scheduling Coordinators, SC) 傳達指令的應用系統，承諾指令及調度指令會傳送到 ADS，SC 則負責開發介面來檢索指令，並更新每五分鐘的基準值 (Base Point)
- 客戶市場結果介面 (Customer Market Results Interface, CMRI)
CMRI 可透過 CAISO 網站進入，排程協調員 SC 可以透過 CMRI 檢索自己資源的市場結果跟資料，例如 MPM、IFM、RUC、RTM 的各種資訊及報告，資料內容則可包含能源計畫、輔助服務得標量、RUC 得標量、資源投標價格、市場力緩解結果、機組承諾、指令及建議等。
- 公開存取同步資訊系統 (Open Access Same Time Information System, OASIS)
一套在 CAISO 網站上，允許所有參與者可以同時查看數據的電子發佈系統，OASIS 發佈所有對於電力買賣雙方都有權限知道的相關公開資訊，包含區域邊際價格、負載需求、輔助服務需求。
- 結算系統 (Settlements and Market Clearing System, SaMC)
SaMC 接收來自 CAISO Markets 的市場結果以及來自 SCs 的表計資料，再根據特定的業務規則和費用類型進行結算。
- 市場結果介面－結算 (Market Results Interface - Settlements, MRIS)
MRIS 是一個基於 Web 的應用程式，允許使用者查詢及匯出結算文件，例如帳單、發票。此外，該應用程式還允許使用者上傳、過濾、檢視、匯出結算所使用的表計資料 (Settlement Quality Meter Data, SQMD)。業務夥伴若要提交 SQMD，則必須透過結算品質表計資料系統 (Settlements Quality Meter Data System, SQMDS) 提交。

2.2.3 市場流程及調度程序工具

CAISO 的市場主要可以分為日前市場與即時市場兩個部分，整個市場的流程圖如圖 x 所示。

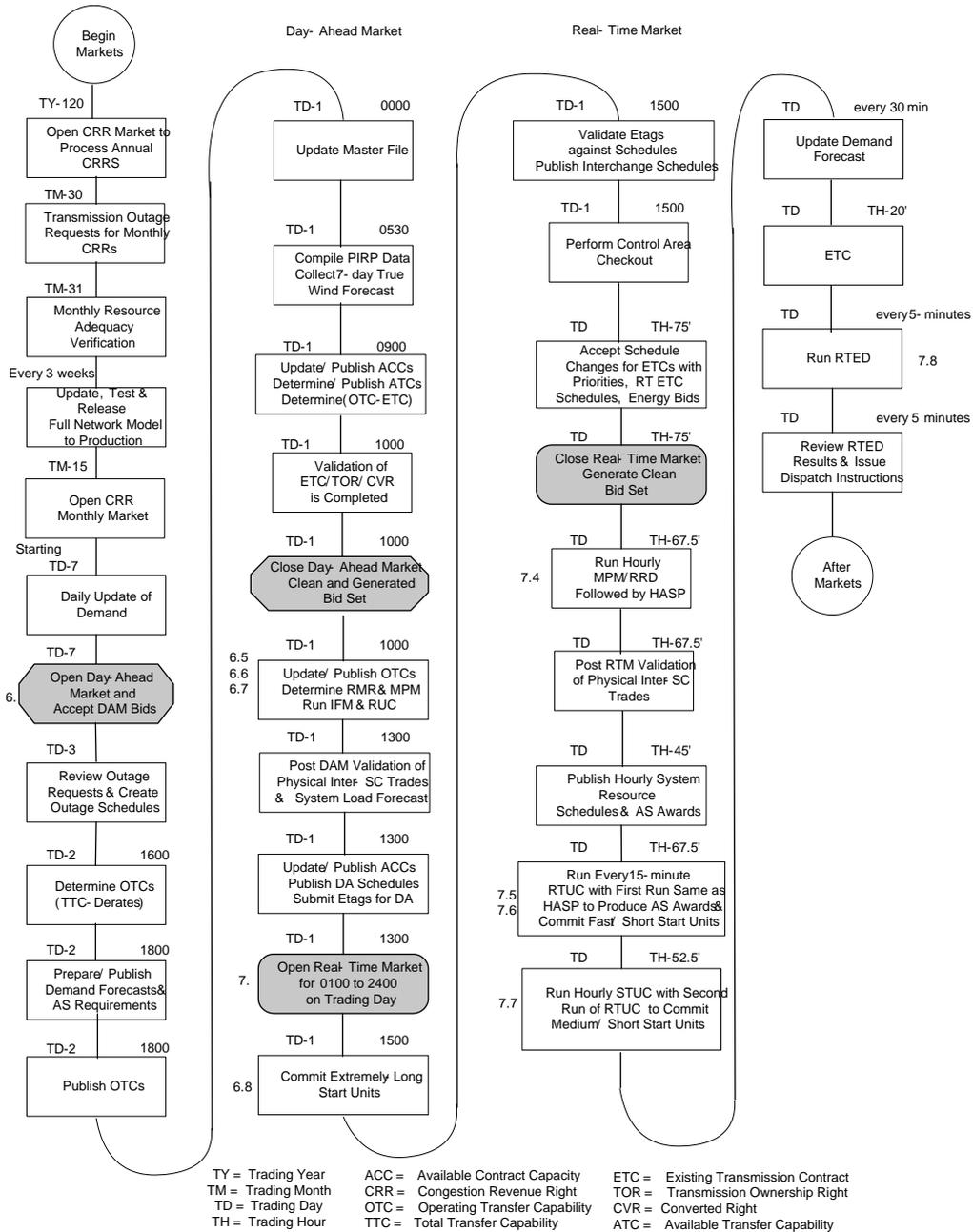


圖 12 CAISO 市場時間流程概覽

在這邊我們可以將 CAISO 市場分為三個主要部分：

- 日前市場開啟之前
- 日前市場
- 即時市場

以下將對這三個部分進行說明。

2.2.3.1 日前市場開啟之前

在日前市場開啟（開放投標）之前，CAISO 有許多中長期的工作需要準備，包括：

1. CRR 市場

壅塞收益權是一種金融財務工具，可以透過分配與拍賣程序取得。CRR 的目的在於協助 CRR 擁有人管理基於 LMP 所產生的壅塞成本波動，可以用於抵銷在日前市場中由於電網壅塞所產生的壅塞成本。

CAISO 每年執行一次年度 CRR 分配與拍賣 (Annual CRR Allocations and CRR Auctions)，年度 CRR 市場會發佈 4 個季節性時段 (1-3 月、4-6 月、7-9 月、10-12 月) 以及 2 個使用時段 (尖峰及離峰)，年度 CRR 包含長期 CRR，可分配長達 10 年的合約。另外 CAISO 每個月會執行 1 次月度 CRR 分配與拍賣 (Monthly CRR Allocations and CRR Auctions)，每年共執行 12 次。年度 CRR 與月度 CRR 均會對尖峰時段與離峰時段分別進行不同的競拍程序。年度 CRR 分配與拍賣會在每個適用年度大約前 4 個月時執行，產生 4 個季節的季度尖峰 CRR 及季度離峰 CRR。月度 CRR 分配與拍賣會在每個適用月份大約前 6 個週時執行，產生適用月份的月度尖峰 CRR 及月度離峰 CRR。此外，會影響 CRR 的停電工作應該在規定的時間內向 CAISO 提供輸電線路的維護停電工作計畫，以便 CRR 市場能將停電工作考慮進去。

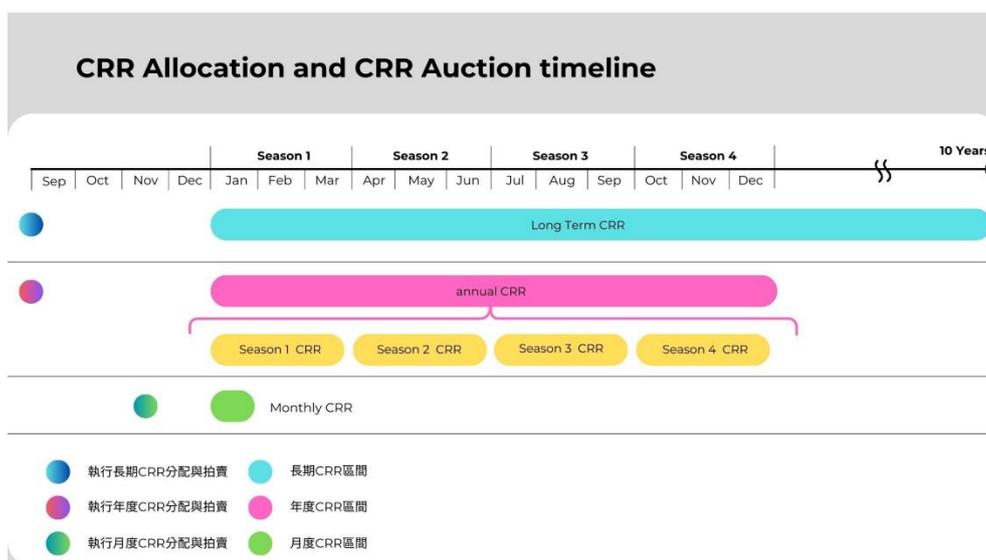


圖 13 CAISO 壅塞收益權分配與拍賣時間軸

2. 資源充足認證

市場經濟性與可靠度的關係密不可分，因此為了確保有足夠的資源可以參與市場，CAISO 採用一套根據不同時間、地點準備資源容量的激勵措施來確保系統的可靠度，使市場上有足夠的資源可以提供能源。這套可靠度要求與流程，迫使負載服務實體 (LSE) 必須找到可以提供資源充足容量的 SC 並與他們簽約或採購，以確保他們有足夠的資源可以滿足他們的用電客戶。同時這套機制也保障了發電業和開發商的基本收入，以補償其固定成本及建設設備所需要的資金來源。根據 CAISO 的法規，LSE 的 SC 必須向 CAISO 提交年度和月度的資源充足性計畫，而資源充足性資源則必須提交年度和月度的

供應計畫，如圖 x 所示。

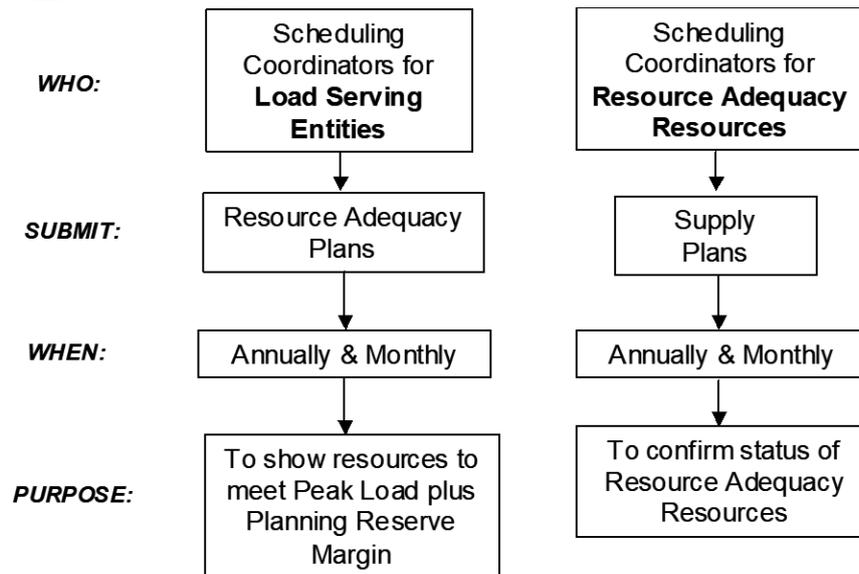


圖 14 CAISO 資源充足計畫報告要求流程

基本上這些資源充足性資源的義務是必須將容量投標到日前市場或即時市場中，以確保市場的穩定與系統可靠。

3. 全網路模型的更新與維護

CAISO 會以固定的周期持續更新全網路模型 (Full Network Model)，不同的團隊人員確認參數與模型沒問題後，會發佈最新的網路模型，以利於電力系統營運以及 CAISO 市場使用。

4. 每日更新需求

每天 CAISO 都必須發佈未來 7 天的負載需求。

2.2.3.2 日前市場

日前市場之流程如圖 15 所示。

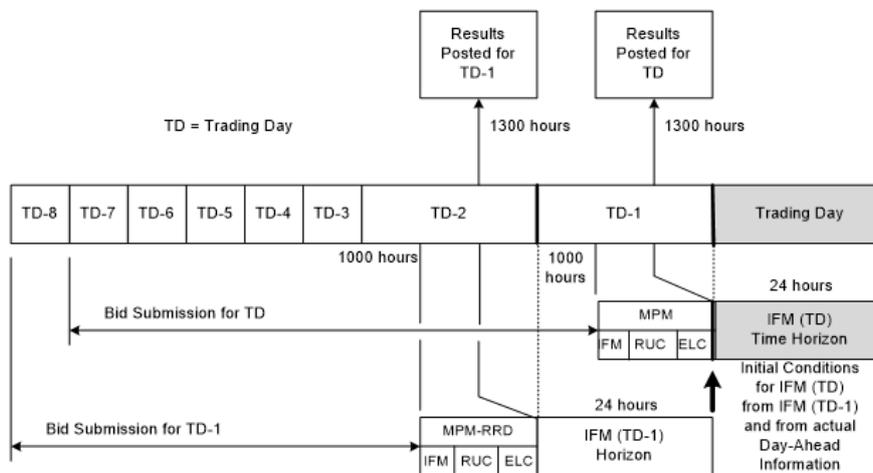


圖 15 CAISO 日前市場流程圖

1. 日前市場開啟至日前市場關閉 (TD-7 @00:00 ~ TD-1 @10:00)

CAISO 在日前市場開啟 (開放投標) 之後至日前市場關閉 (投標截止) 之前的主要活動包含：

➤ 接受投標資訊 (TD-7)

在交易日的前七日，DAM 開放接受市場參與者的投標資訊，包含實體投標跟虛擬投標。

■ 處理停電工作資訊 (TD-3)

停電工作要求最早可在交易日的 12 個月之前提交。在交易日的 3 個日曆天之前，DAM 開始著手處理需要供給 DAM 市場系統的停電工作資訊，包含：

- 輸電設備的計畫性停電工作申請 (要求 45 個日曆天之前提交)
- 發電設備的計畫性停電工作申請 (要求 3 個日曆天之前提交)
- 審查停電工作對於 CAISO 電網及 BAA 區域的影響
- 批准或拒絕停電工作要求，並更新市場系統所需的停電工作計劃

以下情況會需要要求發電資源提交停電工作要求：

- 資源離線無法併聯接受調度
- 資源無法提供調頻功能
- 資源的運轉上下限相較於主文件中的上下限範圍更小
- 資源的升降載率與投標的升降載率不同

■ 總傳輸能力計算 (Total Transfer Capability, TTC) (TD-2 @16:00)

交易日的 2 個日曆天之前，CAISO 需要確定傳輸接口 (Transmission Interfaces) 的總傳輸能力，並且於 18:00 發布於公開存取同步資訊系統 (Open Access Same Time Information System, OASIS)。

■ 負載預測及輔助服務需求 (TD-2 @18:00)

交易日的 2 個日曆天之前，CAISO 需發佈未來三個交易日的最新負載預測，包含一份解析度為 1 小時的負載預測。針對 RTM 的交易範圍，需要一份解析度為 15 分鐘的負載預測以及一份解析度為 5 分鐘的負載預測。另外還需要發佈最新的輔助服務需求。

■ 更新主文件資料 (TD-1 @00:00)

CAISO 在交易日的前一天更新主文件資料。

■ 根據 7 天的實際風力預測資料準備合格間歇性資源 Eligible Intermittent Resource, EIR) 的數據 (TD-1 @05:30)

■ 更新並發佈 ETC (Existing Transmission Contracts) 以及 ATC (Available Transfer Capability) (TD-1 @09:00)

■ 日前市場投標截止後，產生投標資料提供給後續的日前市場應用程序使用 (TD-1 @10:00)

2. 市場力緩解 (Market Power Mitigation, MPM)

MPM (Market Power Mitigation, 市場力量緩解) 是一個市場機制, 用於辨識和控制特定情況下可能對市場價格造成不公平影響的市場參與者。這個過程的主要目的是避免某些節點或區域因缺乏競爭資源而導致競爭性不足而容易發生操控價格的事件, 確保市場的公平性和效率。

■ 主要目標

- 辨識市場力量濫用者: 在市場競爭性不足時, 部分 SC 可能會利用經濟性削減供應 (Economically Withholding Supply) 來操控其所在區域的電價。MPM 會辨識出可能濫用市場力量的行為者。
- 緩解價格操控: 對於被識別出可能濫用市場力量的資源, 其投標價格會受到調整 (Mitigation), 以防止其影響市場價格。

■ 運作流程

- 執行時間: MPM 在日前市場投標截止後立即執行。
- 時間範圍: 包含交易日 24 小時 (或夏令時過渡日的 23/25 小時)。
- 解析度: 針對每個小時進行市場力緩解。

■ 關鍵分析方法

- 使用市場最佳化工具: MPM 過程使用與 IFM 及 RUC 相同的市場最佳化引擎。
- LMP 分解法 (LMP Decomposition method): MPM 將區域邊際價格 (Locational Marginal Price, LMP) 分解為四個組成部分: 能源成分 (Energy Component, EC)、損耗成分 (Loss Component, LC)、競爭性擁塞成分 (Competitive Constraint Congestion Component, CC) 和非競爭性擁塞成分 (Non-competitive Constraint Congestion Component, NC)。
- 正的 NC 表示存在潛在的局部市場力量。被檢測到 NC 大於緩解閾值價格 (Mitigation Threshold Price) 的資源, 其投標價格可能會被調整為預設能源投標價格 (Default Energy Bid) 價格或所在地點的競爭性 LMP (CC)。

3. 綜合遠期市場 (Integrated Forward Market, IFM)

在 MPM 之後, CAISO 執行 IFM, IFM 其實就是日前市場中最核心的部分, 一般情況下我們也可以直接認為 IFM 即是 DAM。IFM 執行機組排程和壅塞管理, 在考慮傳輸線路限制、其他運轉限制並確保滿足基於 CAISO 負載預測的可靠度要求的情況下, 結清能源與輔助服務。

■ 主要目標

- 確定日前能源計劃 (Day-Ahead Schedules) 及輔助服務得標量, 並且計算出區域邊際價格 (LMP) 及輔助服務邊際價格

(ASMP)。

- 以最佳化的方式決定資源的排程計劃。

■ 運作時程

- 執行時間：IFM 在 MPM 之後執行
- 時間範圍：至少包含交易日 24 小時(或夏令時過渡日的 23/25 小時)，必且需要考慮到最小運轉時間或最小停機時間等跨日連續性的問題。
- 解析度：市場的解析度為 1 個小時。

■ 關鍵核心技術

- IFM 使用混和整數線性規劃 (Mixed Integer Programming, MIP) 執行安全約束機組排程程序 (Security-Constrained Unit Commitment, SCUC)，IFM 考慮啟動成本、最小負載成本、能源投標、輔助服務投標、資源的技術限制、運轉限制、輸電容量、虛擬標單、供需平衡及輔助服務需求等眾多輸入資訊，以共同最佳化及最小化成本的概念結清能源投標並決定輔助服務得標。
- 輔助服務替代性：在成本可以變得更經濟的前提下，可以使用較高品質的輔助服務產品替代低品質的輔助服務產品，例如可以保留額外的同步備轉容量來滿足部分或全部的非同步備轉容量需求。

4. 剩餘機組承諾 (Residual Unit Commitment)

在 IFM 之後，緊接著 CAISO 會執行 RUC，RUC 是 CAISO 為了確保電力系統能夠在即時市場 (RTM) 中滿足需求預測而設計的一項關鍵機制。

■ 主要目標

- 填補 CAISO 負載需求預測與 IFM 市場結清結果的差距：由於 IFM 是根據買賣方的投標進行結清，其總結清量可能低於 CAISO 對於交易日的負載需求預測，因此 RUC 的核心目的是針對 IFM 結清結果與 CAISO 負載需求預測之間的差距進行評估，並確保有足夠的資源可用於即時市場的即時調度需求。因此 RUC 考量的是 CAISO 的負載需求預測，而非 IFM 所考慮的需求投標。
- 資源排程與啟動指令：對於未在 IFM 中承諾的資源，RUC 可直接發出承諾與啟動指令。對於已在 IFM 中承諾的資源，RUC 可標示其額外可用容量，確保其在即時市場中可用。這些在 RUC 所採購的容量，必須在即時市場中提供給 CAISO 調度，同時確保電力系統與電力市場的可靠性與經濟性。

■ 運作時程

- 執行時間：RUC 在 IFM 之後執行。

- 時間範圍：雖然 RUC 主要針對次日 24 小時進行容量確保，但其時間範圍可延伸至 168 小時（共 7 天）。這種靈活性使 RUC 能夠提前看到未來多日的排程與啟動計劃，減少資源跨日的頻繁啟停。對於啟動時間超過 18 小時的極長啟動時間資源（，Extremely Long-Start Resources, ELS），RUC 也可以提前給予建議性的排程。
- 解析度：市場的解析度為 1 個小時。
- 關鍵核心技術
 - RUC 採用與 IFM 相同的共同最佳化技術安全約束機組排程（SCUC）以及電力系統網路模型（FNM）。

5. 日前市場結果發佈

在執行完 IFM、RUC 之後，CAISO 即在交易日前一 13 時發佈日前市場結果，包含資源的電能排程、輔助服務得標量、結清價格、LMP、ASMP、RUC 得標容量等，並隨後開啟即時市場的投標。

2.2.3.3 即時市場

即時市場之流程大致上可以分為即時市場投標、即時排程（Real-Time Unit Commitment, RTUC）及即時調度（Real-Time Dispatch, RTD），其中 RTUC 又可再細分為 4 個程序（RTUC/FMM #1 with HASP、RTUC/FMM #2 with STUC、RTUC/FMM #3、RTUC/FMM #4），RTD 又可在細分為 3 種不同功能的調度工具（RTED、RTCD、RTMD）。

即時排程之流程如圖 x 所示，總共分為四個程序：

- RTUC/FMM #1 & HASP —交易小時前 71.5 分鐘執行
- RTUC/FMM #2 & STUC —交易小時前 52.5 分鐘執行
- RTUC/FMM #3 —交易小時前 37.5 分鐘執行
- RTUC/FMM #4 —交易小時前 22.5 分鐘執行

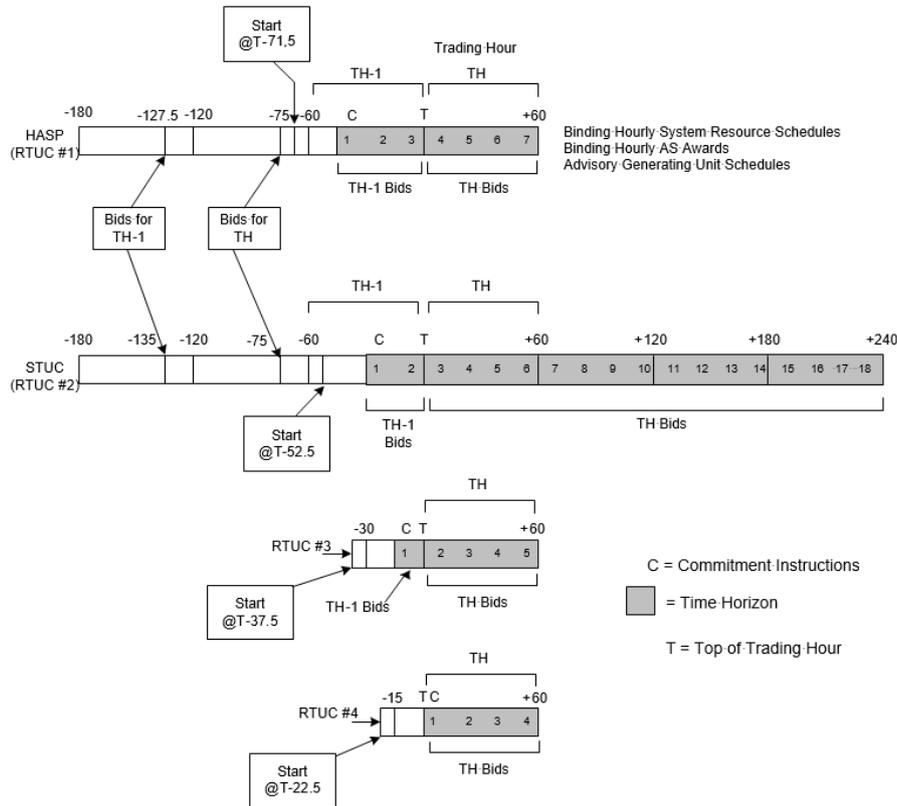


圖 16 CAISO 即時市場 HASP/STUC/RTUC 流程圖

即時經濟調度 (RTED) 則每 5 分鐘執行一次，每次包含未來 13 個 5 分鐘區間。即時緊急調度 (RTCD) 可在發生事故時取代 RTED 運行，每次包含未來 1 個 10 分鐘區間。即時手動調度 (RTMD) 則是在 RTED 與 RTCD 因故無法使用時的替代方案，每 5 分鐘執行一次，每次包含未來 1 個 5 分鐘區間。

1. 即時市場開啟至即時市場關閉 (TD-1 @13:00 ~ TD @TH-75')

即時市場在交易日前一個日曆天下午 13 時日前市場公布結果之後，即開放 SC 提交投標資訊，直到即時市場每個交易小時的前 75 分鐘，在開放投標至投標截止的這段期間，SC 均可以上傳、更新用於即時市場的能源投標資訊與輔助服務投標資訊。與日前市場相同，投標資訊均會經過投標驗證，並且在投標截止後，產生投標資訊給即時市場應用程序使用，這些程序包含 MPM、HASP、STUC、RTUC、FMM、RTED、RTCD、RTMD 等等。

2. 市場力緩解 (Market Power Mitigation, MPM)

與日前市場相同，在即時市場中也會運行 MPM 用以辨識具備市場價格操縱的資源並調整其價格。對於 FMM，MPM 的執行時機是在執行 FMM 之前，並且該次 MPM 結果僅適用於該次對應的 FMM。而對於 RTD，會在 RTD 結束後執行，並且僅針對 RTD 綁定的 5 分鐘區間之後的後續三個 5 分鐘區間執行 MPM，MPM 結果將適用於後續執行的 RTD。

3. 即時機組排程 (Real-Time Unit Commitment and Fifteen-Minute

Market, 簡稱 RTUC)

RTUC 每 15 分鐘執行一次，一樣採用 SUCU 技術及 FNM。

RTUC 的主要目標包含：

- 在 RTUC 的規劃範圍內決定快速啟動資源以及短時間啟動（啟動時間所需時間較短）的排程決策（On/Off）。
- 在 RTUC 的規劃範圍內決定多階段發電資源（Multi-Stage Generating Resources, MSGR）的啟動或轉換決策，在 CAISO 複循環機組以組態模型建模的話，就是屬於 MSGR 的一種。
- 對於僅能接受 15 分調度的資源（例如需量反應資源），決定其排程與調度計劃（第一個 15 分鐘區間具有財務上及電力上的約束力），並計算 FMM 的 LMP。
- 購買額外的輔助服務容量需求，並計算 ASMP 用於下一個 15 分鐘間隔的輔助服務結算。在 RTUC 中，第一個十五分鐘區間的輔助服務具有約束力。
- 提供未來區間的建議電能排程與建議輔助服務得標量。

RTUC 每小時執行 4 次，如圖 x 所示。

- 第一次 RTUC 在交易小時（TH）前 71.5 分開始執行，時間範圍從 TH-30 分鐘至 TH+60 分鐘。
- 第二次 RTUC 在交易小時（TH）前 52.5 分開始執行，時間範圍從 TH-15 分鐘至 TH+240 分鐘。
- 第三次 RTUC 在交易小時（TH）前 37.5 分開始執行，時間範圍從 TH 分鐘至 TH+60 分鐘。
- 第四次 RTUC 在交易小時（TH）前 22.5 分開始執行，時間範圍從 TH+15 分鐘至 TH+60 分鐘。

4. 小時前調度程序（Hour-Ahead Scheduling Process, HASP）

HASP 每小時執行一次，一樣採用 SUCU 技術及 FNM。HASP 被包含在 RTUC#1 內，與 RTUC#1 一起執行。HASP 的主要目標包含：

- 在 CAISO，有一種資源類型稱為非動態資源（Non-Dynamic System Resources），非動態資源無法接受每五分鐘高頻度的調度與控制，因此需要提交每個小時區塊的投標資料，並且接受 HASP 的調度結果。
- HASP 會發佈具有約束力的每小時預調度指令及輔助服務得標量給這些非動態資源以及僅可接受 60 分鐘調度的需量資源。
- HASP 會提供除了非動態資源及 60 分鐘調度資源以外，所有資源的建議排程與建議輔助服務量，這些建議結果可以告知調度員及參與者當前小時及未來一個小時可能的調度狀況。

5. 短期機組排程（Short-Term Unit Commitment, STUC）

STUC 每小時執行一次，一樣採用 SUCU 技術及 FNM。在 RTUC#2 執行結束

後，會接著執行時間範圍共 4.5 個小時的 STUC。由於 RTUC 僅評估當前小時與下一小時，對於啟動所需時間超出 RTUC/FMM 的涵蓋範圍的資源，僅憑 RTUC 無法提早發出可行的啟動指令，因此 CAISO 透過執行 STUC 延長分析的時間範圍，針對這些資源發出具約束性的啟動指令。

6. 即時經濟調度 (Real-Time Economic Dispatch)

RTD 採用安全約束經濟調度引擎 (Security-Constrained Economic Dispatch, SCED)。RTED 操作模式是即時調度時的一般模式，每 5 分鐘執行一次，流程圖與時間細節如圖 x 所示。RTED 在下一個 5 分鐘調度區間的前 7.5 分鐘開始執行，為下一個調度區間產生電能調度指令，並為後續 12 個調度區間產生建議的電能計畫，整個 RTED 的時間範圍長達 65 分鐘。

以圖 x 為例，該次 RTED 於 13:02:30 執行，並於 120 秒內執行完畢，產生第一個調度區間 [13:10,13:15] 的能源調度目標 (Dispatch Operating Target, DOT)，並產生後續十二個調度區間 ([13:15,13:20]、[13:20,13:25]、[13:25,13:30]、[13:30,13:35]、[13:35,13:40]、[13:40,13:45]、[13:45,13:50]、[13:50,13:55]、[13:55,14:00]、[14:00,14:05]、[14:05,14:10]、[14:10,14:15]) 的建議調度目標 (Advisory)。

在 RTED 模式中，DOT 規定在調度區間的中間抵達目標值，以調度區間 [13:10,13:15] 來說，資源即必須在 13:07:30 開始升載/降載，並在 13:12:30 達到 DOT 所指定的 MW 發電量。

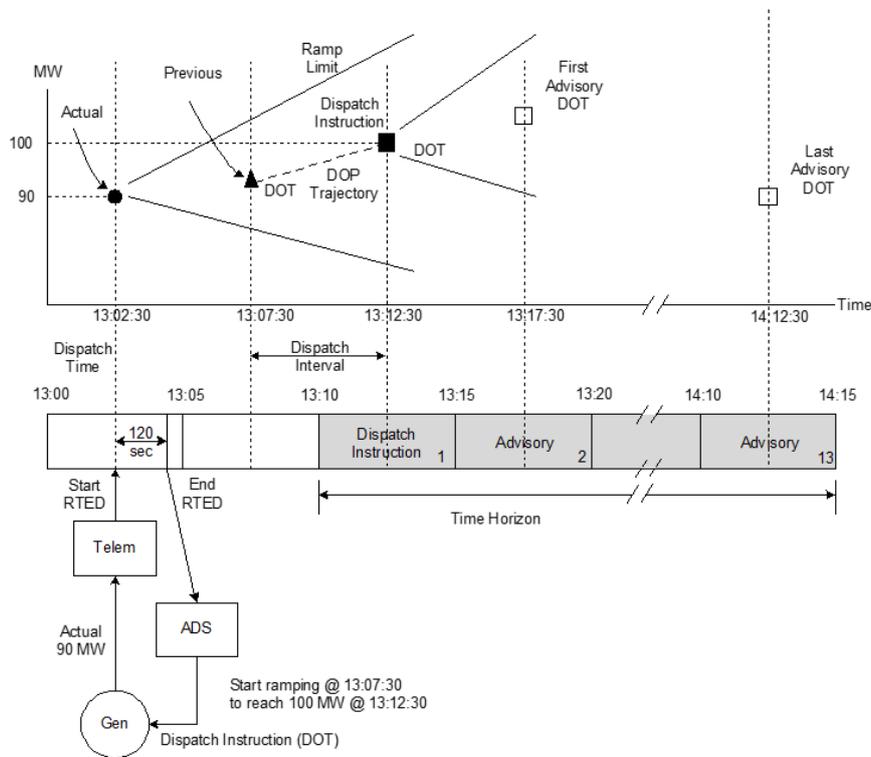


圖 17 CAISO 即時市場 RTED 流程圖

7. 即時緊急調度 (Real-Time Contingency Dispatch, RTCD)

RTCD 操作模式是即時調度時的緊急模式，是為了應對發生事故時的調度工具。只要是在系統發生事故，而事故之緊急程度無法等待下一次 RTED 再來處理，或是需要動用到事故備轉 (Operating Reserves identified as Contingency Only) 的時候，調度員就可以執行 RTCD。在 RTCD 模式下，原本被保留的事故備轉輔助服務將可以被使用於 RTCD 中，提供電能。

RTCD 使用 SCED 技術，並且只產生單一個 10 分鐘調度區間 (RTED 是 5 分鐘調度區間) 的電源調度指令。在 RTCD 模式下，所有資源都必須盡快響應 RTCD 的調度指令，且 RTCD 的調度指令優先於先前發佈的任何調度指令。

8. 即時手動調度 (Real-Time Manual Dispatch)

RTMD 是 RTED 無法收斂或計算失敗時，可以使用的一種備援調度模式。其主要目的在於確保電力系統的即時平衡，避免因 RTED 中斷而導致系統不穩定。造成 RTED 無法收斂的原因有可能包括但不限於以下情況：

- 無效或不合理的資源限制
- 網路模型、潮流分析出現問題
- 傳輸約束不合理
- 狀態估計 (State Estimator) 出現問題
- 資料不良
- 最佳化引擎故障
- 其他不利的情況

調度員在啟用 RTMD 前，可能會嘗試釋放一些限制式，如果 RTED 仍無法收斂才會切換至 RTMD 模式。RTMD 的運作模式如下：

- RTMD 的運作模式是基於排序來進行調度，而非使用 SCED 或 SCUC，排序的方法包含兩種：
 - 按照資源的能源報價
 - 按照資源的升載率 (Ramp Rate)
- 在執行 RTMD 產生排序清單之後，調度員可以從排序清單中選擇資源進行調度，並手動將結果發送至 ADS 系統。
- 在啟用 RTMD 之後，會根據 RTMD 調度結果，產生一個全區域適用的市場結清結清價格 (MCP)，而非採用區域邊際價格 (LMP)。
- RTMD 運行的時間與 RTED 一致，每五分鐘執行一次，但是僅執行一個 5 分鐘調度區間。
- 資源接受到調度指令後，其升載/降載然後抵達 DOT 的時機與 RTED 一致。
- 在啟用 RTMD 的期間，RTUC、HASP 及 STUC 仍會繼續正常執行，以產生可用的機組排程狀態 (On/Off)。
- 正常情況下，RTED 與 RTMD 均不會調度事故備轉 (Contingent Operating Reserves)，但如果遇到緊急狀況時，CAISO 調度員可

以啟動緊急狀態，允許 RTMD 調度事故備轉。

9. 特殊調度 (Exceptional Dispatch)

特殊調度主要用於應對即時且特殊的系統需求。這些調度操作可能包括指定發電量、強制停機、啟動或多階段資源的模式切換 (MSG Transitions)。

在某些情況下，CAISO 調度員可以將特殊調度指令手動輸入至即時市場 (RTM) 最佳化軟體，以便將特殊調度指令納入 RTM 計算，然後傳送給 SC。當必要時，操作員也可直接與 SC 傳達特殊調度指令。

當以下情況發生，無法透過最佳化軟體處理，導致必須人為介入時，CAISO 調度員可以動用特殊調度的權限：

- 發電資源或輸電設備故障
- 資源特殊限制：例如禁止運轉區域
- 市場軟體限制
- 輸電相關的模型限制：例如無法模擬某條線路的影響

另外 CAISO 調度員也可以動用特殊調度權限以實現特定的目的，例如：

- 執行輔助服務測試 (A/S Testing)
- 商轉前測試 (Pre-commercial Operations Testing)
- 最大發電能力測試 (PMax Testing)
- 避免過量發電 (Over-generation Mitigation)
- 全黑啟動 (Black Start)
- 提供電壓支撐 (Voltage Support)
- 在市場投標截止後，處理自排程的變更 (TOR 或 ETC)
- 撤銷 IFM 的 On/Off 指令 (經 RUC 評估後確定不是最佳)
- 在發生市場中斷的情況下，為了防止市場繼續中斷或為了將市場中斷的影響降到最低
- 反轉抽蓄水力機組的運轉模式

2.2.4 控制中心之職責與任務分配

2.2.4.1 控制中心之控制桌配置

CAISO 控制室之控制桌配置如圖 x 所示。CAISO 控制室之控制桌配置包含 1 個值班經理 (Manager of Real-Time Operations)、3 個電源桌 (Generation Dispatcher)、3 個電網桌 (Transmission Dispatcher)，以上這 7 個控制桌主要負責加州平衡權限區域 (CAISO BA) 的系統運轉。在市場操作方面，配有 1 個日前市場操作 (Day-Ahead Market Operator) 及 1 個即時市場操作 (Real-Time Market Operator)。運轉分析方面，則有 1 個日前運轉工程師 (Day-Ahead Operations Engineer)、1 個即時運轉工程師 (Real-Time Operations Engineer) 及 1 個協助 DAOE 及 RTOE 的運轉工程師 (Swing Operations Engineer)。另外配有 1 個資訊系統技術支援 (Power Systems

Technology Operations)。在可靠度協調中心 (Reliability Coordinators Center)，則有 3 個 RC 控制桌。

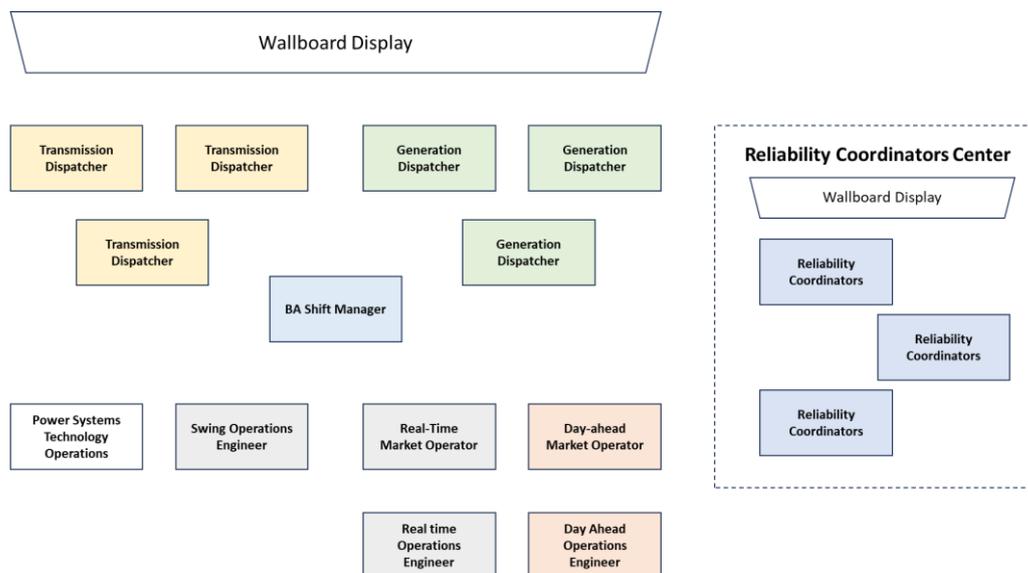


圖 18 CAISO 控制室之控制桌配置

2.2.4.2 運轉經理 (Manager of Real-Time Operations)

運轉經理主要負責 CAISO 運轉的整體管理，監督調度員的工作，確保市場運轉的有效性並掌握整體的狀況。

如果有影響可靠度的狀況，運轉經理可以與電源主任、電網主任、市場運轉主任及運轉工程師討論，決定是否在中採取一些措施，例如決定是否要執行 MOC 限制 (Minimum On-line Commitment)、決定是否暫停日前市場之虛擬投標、決定是否手動 Must Run 資源或者採購額外的輔助服務需求等。在某些時候，運轉經理也有權力可以介入市場進行人為干預，以避免發生市場中斷或者發生危急可靠度的狀況。

另外，如果因為某些原因，導致日前市場沒辦法在 18:00 前公告，則運轉經理還需要決定當天是否會發佈日前市場結果，並請市場運轉主任通知所有市場參與者。

2.2.4.3 電網主任 (Transmission Dispatcher)

電網主任總共有 3 個桌，分別負責規劃 (Scheduling)、即時運轉 (Real-Time Operating) 及事故處理 (Outage)。

- 負責監控輸電系統的運轉狀況。
- 確保輸電線路的可靠性與安全性。
- 協調輸電設備的恢復工作。
- 處理輸電設備的事故。

2.2.4.4 電源主任 (Generation Dispatcher)

電源主任總共有 3 個桌，分別負責規劃 (Scheduling)、即時運轉 (Real-Time Operating) 及事故處理 (Outage)。

電源主任的職責包含：

- 負責監控與管理所有發電資源。
- 找出潛在的需要解決的限制條件。
- 處理停電工作或事故（Forced Outages）的通知，並確保與資源之間的溝通。
- 檢視並比較負載預測的準確度，如有需要，可以調整 RTM 的負載預測。
- 確保有足夠的資源可以滿足可靠度需求。
- 可以透過特殊調度（Exceptional Dispatch）指令傳達任何額外的調度指令。
- 審查並核准 RTM 發送給市場參與者的調度指令。
- 檢視 HASP、STUC、RTUC 結果，如果需要，可以調整結果以滿足可靠度需求。
- 檢視 RTD 結果，並根據需求調整結果以滿足可靠度需求。
- 在發佈市場結果之後，確認調度指令有傳送到 ADS，並且監測市場參與者對於 ADS 的反應，以確保滿足可靠度需求。
- 發生事故時，可以啟動 RTCD，審核 RTCD 結果，根據需求進行調整並發佈。
- 如果 RTED 或 RTCD 無法收斂時，可啟動 RTMD。
- 如果 RTM 無法正常運行或 RTMD 結果無法符合預期，則需要透過 ADS 或特殊調度指令的方式進行手動調度。

2.2.4.5 市場運轉主任（Market Operator, MO）

市場運轉主任有 2 個桌，包含日前市場運轉主任（DAMO）及即時市場運轉主任（RTMO）。與電源主任相比，市場運轉主任較偏向於確保市場營運及市場軟體的正常運作，並確保市場軟體結果的正確性與市場合理性。

市場運轉主任的職責包含：

- 負責市場的營運與管理，監控市場活動，確保市場遵循規則運行。
- 通知市場參與者有關於市場的資訊及處理市場參與者的請求。
- 日前市場前的程序：
 - 找出潛在的需要解決的限制條件
 - 決定輔助服務需求曲線
 - 決定 RUC 需求曲線
 - 確定要採用的限制式
 - 與電網主任一起確定 OMS 停檢修的資訊。
 - 如有需要，通知長時間啟動資源的 SC 提交投標資料（與電源主任一起評估）。
 - 如有需要，可以人為決定長時間啟動資源啟動併聯（與電源主任一起評估）。

- 日前市場：執行 MPM、IFM、RUC。與運轉經理、運轉工程師共同評估 RUC 結果，如有需要可以重新執行 RUC。
- 即時市場：確保即時市場軟體的正常運作及自動運作。
- 檢查市場軟體，確保市場結果可以正常發佈，以利通知參與者與資源的排程及建議。如果市場中斷，須與 IT 支援小組共同排除故障原因。
- 修改市場參數，例如在啟動 RTCD 之前，檢查市場軟體中的參數（例如檢查” Run RTD Power Flow” 選項的設定）。

2.2.4.6 運轉工程師 (Operations Engineer, OE)

運轉工程師有 3 個桌，包含日前運轉工程師 (Day-Ahead OE)、即時運轉工程師 (Real-Time OE) 及輔助運轉工程師 (Swing OE)。運轉工程師像是控制中心的幕僚單位，主要的職責包含：

- 監控、管理與審核發電資源和輸電設備的停電工作與可用性。
- 提供未來的停電工作報告、停電工作對市場及網路模型的影響、幾天以來新增/刪除的停電工作等等。
- 進行各種分析，例如電力系統潮流分析，以找出電力系統中潛在的限制或瓶頸，並告知其他主任。
- 支援運轉經理、電源主任、電網主任、市場運轉主任針對電力系統問題提出解決方案。

2.2.4.7 資訊系統技術支援 (Power Systems Technology Operations)

- 負責資訊系統技術的支持及維護。
- 確保市場運轉所需的技術基礎設備正常運轉。



圖 19 CAISO 控制室照片 (檢自 <https://www.facebook.com/CaliforniaISO>)

2.2.5 全電網模型(FNM)

2.2.5.1 FNM 簡介

在現代電力系統中，全電網模型（FNM, Full Network Model）管理扮演著關鍵角色，旨在確保電力網路的穩定性、可靠性與高效營運。FNM 是一個整合性的平台，能夠統一管理電力系統中的各項資料，包括拓撲結構、設備參數、運轉狀態與保護設定等，提供精確且一致的模型支援，以應對日益複雜的電力市場與電網營運需求。

CAISO 運用 FNM 來整合龐大且多變的電力資料，支援即時市場（Real-Time Market）與日前市場（Day-Ahead Market）的可靠分析與決策。透過 FNM，CAISO 能夠維持電網的穩定性，確保再生能源的有效併網，同時提升系統分析的準確性與調度效率，進而強化系統韌性與應變能力。FNM 不僅是 CAISO 電力市場營運的核心支柱，更是智慧電網發展中不可或缺的關鍵技術。

2.2.5.2 FNM 與 EMS 之差異性

1. 系統設計理念

➤ Full Network Model (FNM)：

FNM 的設計核心在於建立一個統一、標準化且可跨應用的平台，確保系統規劃、可靠度分析與市場營運部門使用的模型在電網結構、設備參數和運作條件上保持一致。FNM 強調模型的完整性與一致性，適用於長期規劃、政策制定以及市場模擬分析。

➤ Energy Management System (EMS) Model：

EMS 模型則以即時監控與快速決策支援為主要設計目標，偏重於即時資料的快速處理與系統穩定性的即刻反應。EMS 透過高頻率的 SCADA 資料更新，支援系統調度員進行負載預測、狀態估測及緊急調度控制。

2. 資料處理與更新頻率

表 2 資料處理與更新頻率

比較項目	FNM	EMS
資料來源	系統規劃數據、設備參數、拓撲模型、歷史資料	SCADA 即時監控數據、PMU（相量量測單元）、RTU（遠端終端設備）
資料更新頻率	定期更新：每月、每季或依系統規劃需求 事件驅動：設備變更、拓撲調整、新併網事件	- 即時更新：每 2-4 秒（SCADA 資料） - 狀態估測：每 5-10 秒一次

更新觸發條件	系統規劃需求、設備異動、併網變更、市場模型同步	即時負載波動、設備異常警報、緊急調度命令
資料一致性	高度一致性，確保跨部門模型一致	依即時需求動態調整，重視當下資料的正確性與時效性

3. 系統應用與功能差異

表 3 系統應用與功能差異

應用層面	FNM	EMS
主要應用領域	系統規劃、可靠度分析、長期市場模擬	即時調度、系統監控、負載預測、狀態估測
支援系統	市場營運系統（如 CAISO 的市場管理系統）、可靠度評估工具	SCADA、AGC（自動發電控制）、狀態估測系統
決策支持重點	長期政策制定、系統投資分析、可靠度評估	即時系統穩定性、緊急應變能力、負載平衡
模型彈性	模組化設計，可因應不同市場需求進行擴展	高效能計算架構，優化即時決策速度

2.2.5.3 FNM 的發展

Full Network Model (FNM) 的發展流程，主要介紹透過整合來自不同資料來源的模型，進而建立完整電網模型(FNM)，並確保其可在 IFM (Integrated Forward Market) 與 RTM (Real-Time Market) 系統中有效運作。

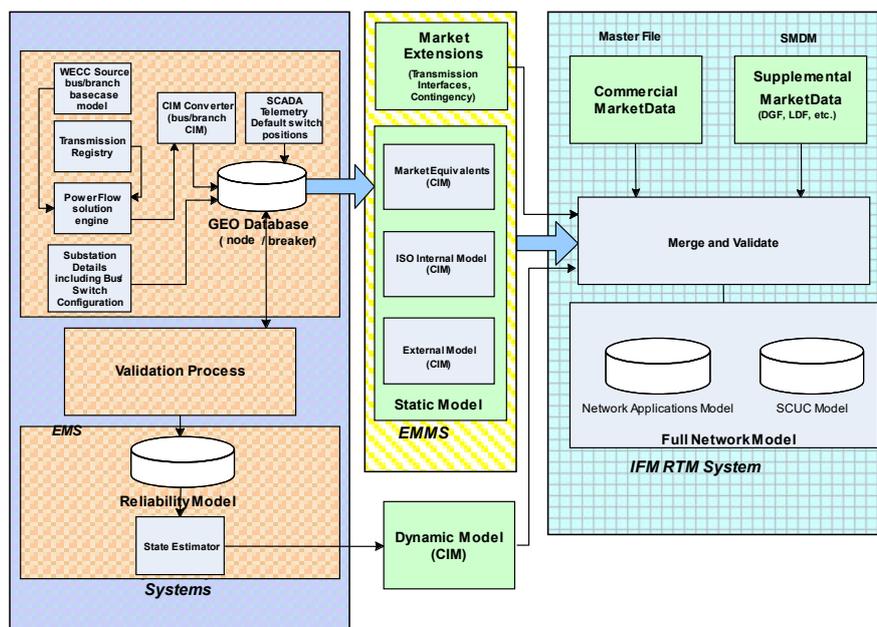


圖 20 FNM 的發展流程

➤ GEO Database

GEO database (地理資料庫) 通常包含與電力網絡相關的地理資訊，以支持市場運營、資產管理及系統分析。根據 FNM (完整網絡模型) 的架構，GEO 數據庫的內容可能包括以下主要類別：

- 電網拓樸資料
 - 變電站、輸電線路、母線等基礎設施的地理位置。
 - 輸電走廊 (Transmission Corridors) 的空間佈局。
 - 不同電壓等級 (如 500kV、230kV、69kV) 設備的分布情況。
 - 母線與節點的連接關係，確保市場模型的準確性。
- 設備地理位置
 - 發電機組的位置 (包括傳統機組、再生能源設施)。
 - 負載中心 (Load Centers) 的位置，以便於負載預測與優化。
 - 需求響應資源 (Demand Response Resources) 的分佈情況。
 - 儲能設備 (如電池儲能系統 BESS) 的具體地理位置。
- 地理邊界
 - 市場營運區域 (如 PNode、LAPs、Sub-LAPs)。
 - 交易區域 (Trading Hubs) 與價格節點 (PNode)。
 - 相鄰營運商 (如其他電網 ISO/RTO) 的邊界資訊，確保跨區輸電的管理。
 - 天然資源影響區，如風場與太陽能場的佈局。
- 電網限制與環境因素
 - 與地理相關的傳輸限制 (如山脈、河流等自然障礙影響輸電)。
 - 氣象條件，如風速、太陽輻射影響可再生能源的發電預測。
 - 地質風險，例如地震、洪水區域，影響網絡可靠性規劃。
- 市場區分劃分
 - 負載分區 (Load Aggregation Points, LAPs)，用於市場價格計算。
 - 需求區域的劃分，以便於進行資源分配與調度。
 - 系統運營的限制區域，如輸電瓶頸地帶的標註。
- 即時監控點
 - SCADA 監控點的位置，確保數據監控覆蓋整個電網。
 - 事故回報與影響區域的地理標註，便於運營商應變處理。
- GIS 整合應用
 - 與其他地理信息系統 (如 ArcGIS 或 CAISO 內部工具) 進行整合，以視覺化市場與電網的變化。
 - 使用於規劃新基礎設施時，評估潛在影響區域與土地利用。

➤ Validation Process

此驗證流程主要針對來自 CAISO EMS 的 CIM 資料、外部模型 (External

Model) 和 ISO 內部模型 (ISO Internal Model) 進行驗證。這些模型透過 CIM 轉換器(CIM Converter) 轉換為一致的格式，進入 GEO database 進行電網拓撲驗證。

■ 驗證內容

- 物理模型 (Reliability Model)：確保模型與實際電力系統的物理結構一致。
- 狀態估測器 (State Estimator, SE)：用於即時更新模型的動態數據，進行一致性檢查。
- SCADA 資料與預設開關狀態：驗證 SCADA 資料與實際設備配置的一致性。
- 外部模型與內部模型比對：確保模型間拓撲和資料結構的一致性。

■ 主要驗證工具

使用 CIM 格式 的模型進行驗證，並透過資料庫中的節點/斷路器模型與母線/分支模型進行比對。

➤ EMMS

EMMS 扮演的是模型數據的整合與管理核心，主要負責整合來自不同來源的網路模型與商業市場資料，並提供一致且準確的數據給 FNM 進行後續分析與應用。

■ 主要功能與流程

- 模型數據管理：EMMS 管理所有來自 GEO Database 的模型資料，這些數據通常以 CIM (Common Information Model) 標準格式儲存，部分資料會採用擴充(Extension)格式儲存。
- 數據整合與驗證：
EMMS 將來自不同來源的資料 (例如市場參數、網路拓撲、資源限制等) 進行整合，並透過自動化工具進行一致性驗證確認。另外，EMMS 與驗證流程 (Validation Process) 緊密整合，確保數據的完整性與準確性。
- 支援市場與可靠度分析：EMMS 不僅提供支援市場模型 (如日前市場、即時市場)，也協助可靠度模型的建構。例如，當進行 Security Constrained Unit Commitment (SCUC) 或潮流分析 (Power Flow Analysis) 時，EMMS 提供必要的基礎模型案例。
- 數據流轉與版本控制：EMMS 記錄所有模型版本變更，並確保數據在不同系統間的正确運作，像是與 SMDM (Supplemental Market Data Management)、Master File 等系統整合。

2.2.5.4 FNM 的組成要素

FNM 的主要組成部分如下圖所示，展示構成電力市場運營與電網調度的核心

元件。這些元件共同構建了一個準確的電網拓撲，確保市場的精確調度、發電資源的有效管理以及輸電網絡的穩定性。

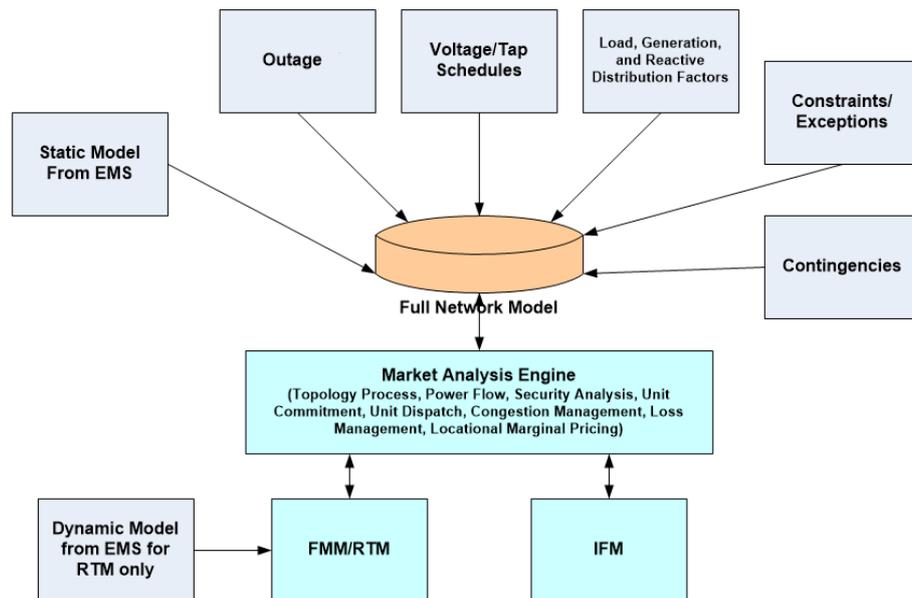


圖 21 FNM 組成要素

- **Static Model from EMS**
 從 Energy Management System (EMS) 提取的靜態模型，涵蓋電力系統的基本拓撲結構、變壓器參數、開關狀態等靜態設備資訊。
 - 功能：作為 FNM 的基礎數據來源，確保模型能準確反映電網的物理結構。
- **Outage Data**
 包括計劃性與非計劃性的停電 (Outage) 資訊，涵蓋設備維護、輸電線路故障、發電機停機等數據。
 - 功能：協助評估停電對系統可靠度與市場營運的影響，支援應急操作與風險管理。
- **Voltage/Tap Schedules**
 涵蓋電壓設定值 (Voltage Setpoints) 與變壓器分接頭 (Tap Changer) 的調整排程。
 - 功能：確保電壓控制設備 (如變壓器、調壓器) 在不同運行條件下能維持系統的電壓穩定性，支援電網的電壓調控與負載管理。
- **Load, Generation, and Reactive Distribution Factors**
 包括負載分佈因子 (Load Distribution Factors, LDF)、發電機分佈因子 (Generation Distribution Factors, GDF)，以及無功功率分佈因子 (Reactive Distribution Factors, RDF)，這些因子對潮流計算和電網優化至關重要。

- 功能：
 - LDF：用於模擬不同區域負載在系統中的分佈。
 - GDF：評估各發電機在網路中的貢獻度。
 - RDF：控制無功功率的流動，以確保系統的穩定性。
- Constraints/Exceptions

定義系統中的各種限制條件 (Constraints)，如傳輸線路的容量限制、電壓上下限等，並標示特定情況下的例外規則 (Exceptions)。

 - 功能：在市場運作與電網分析中，確保系統操作不會超出安全限制。同時，例外條款允許在特定情況下調整運作規則，增加系統的靈活性。
- Contingencies

模擬電力系統中的潛在突發事件 (Contingencies)，如單一設備故障 (N-1 標準)、雙重故障 (N-2) 等。

 - 功能：協助評估系統在面臨故障情境下的反應能力，確保系統具備足夠的備援與應急處置能力，並支援安全性評估與風險分析。

2.2.6 FNM 的維護與更新

2.2.6.1 FNM 更新流程

完整網絡模型 (FNM) 的更新流程，描述 CAISO 如何管理市場與電網的資料變動，以確保即時市場 (RTM) 和日前市場 (IFM) 運行的準確性與一致性。更新流程涵蓋設備數據的提交、審核、整合與部署，確保市場參與者的設備變更能及時反映在運營系統中。

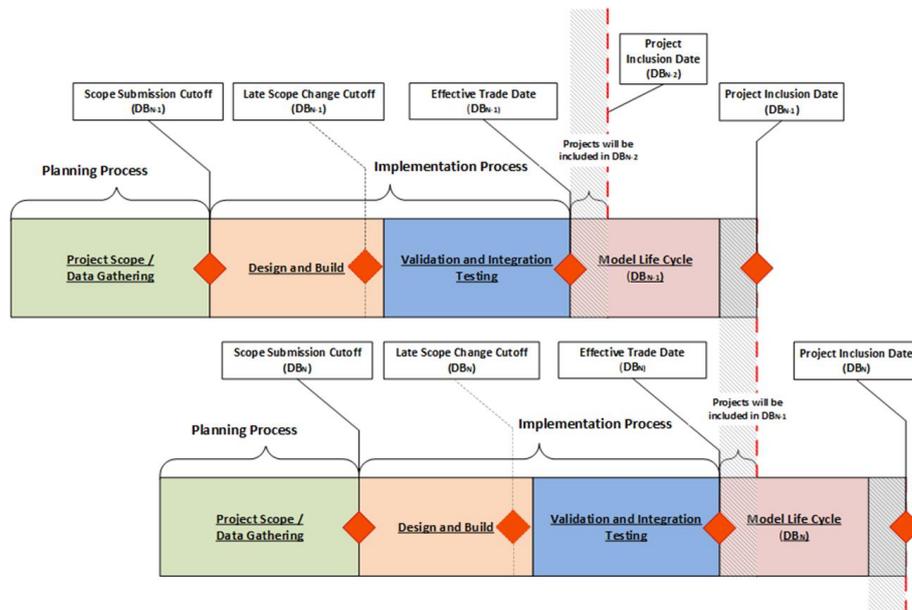


圖 22 模型更新流程

1. Scope Submission Cutoff

指的是市場參與者（如發電商、輸電業者、負載服務實體）必須提交與 FNM 變更相關資料的最後期限。這個截止日期決定了哪些新設施或修改內容可以納入即將進行的 FNM 更新週期，確保 CAISO 在既定的時間表內完成數據審查、測試和部署。CAISO 官方網站的「Market & Operations / Network and Resource Modeling」，可查詢最新的提交截止日期與相關要求。

➤ 設定目的

- 確保更新範圍的準確性：於截止日前提交的變更（如新增發電機、變電站、輸電線路等）將被納入下一次 FNM 更新，過期提交將延至未來週期處理。
- 流程規劃與時程控制：設定截止日期有助於 CAISO 確保有足夠的時間來驗證、測試和整合新數據，並按時部署更新。
- 市場參與者的責任：參與者必須在此日期前提交符合要求的技術文件（如設備參數、營運計畫等），以避免影響市場調度和系統運行。

➤ 相關流程

- 資料提交：參與者需透過 CAISO 的資源互連管理系統（RIMS）提交更新資料，包括設備變更、容量升級等。
- 審查與確認：CAISO 在截止日期後審核提交內容，確保其符合技術與市場要求。
- 更新納入：只有在截止日期前通過審核的項目，才會被納入即將進行的 FNM 更新，未通過的項目將延期處理。

2. Last Scope Change Cutoff

指 FNM 更新流程中的最後期限，在此之前，任何關於範圍的變更（如新增、修改或刪除設備）仍可納入即將發布的 FNM 更新版本。超過此截止點後，任何新的範圍變更將推遲至下一個 FNM 更新周期。

➤ 設定目的

- 確保更新流程的穩定性：設立此截止點後，變更範圍將被鎖定，以確保後續開發、測試和部署階段的順利進行。
- 管理市場參與者的數據提交：在此截止日期之前，市場參與者（如發電商、輸電業者）必須提交完整的設備與運行數據，以確保其變更內容能納入最新的 FNM 版本。
- 避免影響測試與部署：當截止後，系統將專注於已確認的變更範圍，並進行測試與驗證，以確保市場運行的準確性與穩定性。

3. Effective Trade Date

指在電力市場中，某一特定的市場變更或交易安排正式生效並開始影響市場運行的日期。這一天起，市場參與者的合約條件、價格計算、資源調度或其他相關市場機制將按照更新後的數據或規則執行。

➤ **設定目的**

■ **市場運營影響：**

- 任何涉及電力交易的變更，如新資源併網、輸電設施升級或市場規則調整，都將從此日期開始生效。
- 影響市場結算、發電排程和輸電調度等關鍵業務流程。

■ **契約與結算**

- 所有與市場參與者相關的財務交易將從此日期起根據更新的條件進行結算。
- 確保市場價格（如區域邊際價格 LMP）與調度計畫的一致性。

■ **系統模型變更**

- 在 FNM (Full Network Model) 更新後，新的網絡模型將在生效交易日期正式投入運營，影響市場運作。
- 如有新發電機、負載或輸電設備，將按新的拓撲與參數進行市場計算。

4. **Project Inclusion Date**

指某一電力基礎設施項目（如發電機、輸電線路、變電站等）正式被納入 FNM 更新範圍的日期。從這一天起，該項目將進入 CAISO 或其他電力市場的模型管理流程，並開始參與後續的測試、驗證及最終的市場運營整合。

➤ **設定目的**

■ **確保計劃透明性與可追蹤性**

- 標誌項目已滿足最低提交要求，並正式進入 FNM 更新流程。
- 市場參與者（發電商、輸電業者等）可追蹤項目的進展，確保如期進入市場。

■ **FNM 更新範圍的確立**

- 只有在此日期之前提交並獲得批准的項目，才會被納入即將進行的 FNM 版本更新。
- 過期提交的項目將被延至下一輪更新。

■ **確定市場準備工作的開始**

- 一旦項目納入 FNM，系統便會開始準備必要的測試與整合，以確保其順利運行，並影響市場運作。

➤ **相關流程**

■ **提交申請**

- 供應商或輸電業者向 CAISO 提交項目相關資料，如設備技術規格、運行參數、預計投運日期等。
- 資料須符合 CAISO 資源互連管理系統 (RIMS) 的要求。

■ **初步審查**

- CAISO 對提交資料進行完整性和技術符合性檢查，確保數據準

確無誤。

- 核實項目是否符合市場參與與資產實施 (MPAI) 流程的最低要求。

■ 範圍確定

- 經審核合格的項目將確定納入當期的 FNM 更新，並標記其納入日期。
- 該項目將正式進入建模與測試階段。

■ 通知與確認

- CAISO 通知市場參與者該項目的納入情況，確保相關方準備後續測試與運營。

上述四項各個時間限制皆為確保 FNM 更新的完整性與市場營運的穩定性，亦確保市場參與者能夠依照 CAISO 設定之時程完成準備。

表 4 更新時間點彙總

項目	目的	截止時間意義	影響
Scope Submission Cutoff	提交變更請求	市場參與者提交新設備/變更的最終期限	確定哪些變更會納入 FNM
Last Scope Change Cutoff	最終範圍修訂	允許對提交的變更進行最後修正	影響即將進行的 FNM 版本
Effective Trade Date	生效時間	FNM 變更正式影響市場交易的時間	影響 LMP、調度決策
Project Inclusion Date	專案納入時間	確定專案是否進入當次 FNM 更新	影響併網與市場參與

2.2.6.2 支援 FNM 更新流程之資料庫

在 CAISO 的 FNM 更新流程中，資料庫系統的管理與維護是確保市場與電網模型準確性的關鍵環節。本節將概述 CAISO 在 FNM 更新與維護過程中所使用的資料庫，以及這些資料庫如何支援 EMS（能源管理系統）、IFM（日前市場）及 RTM（即時市場）的運行。

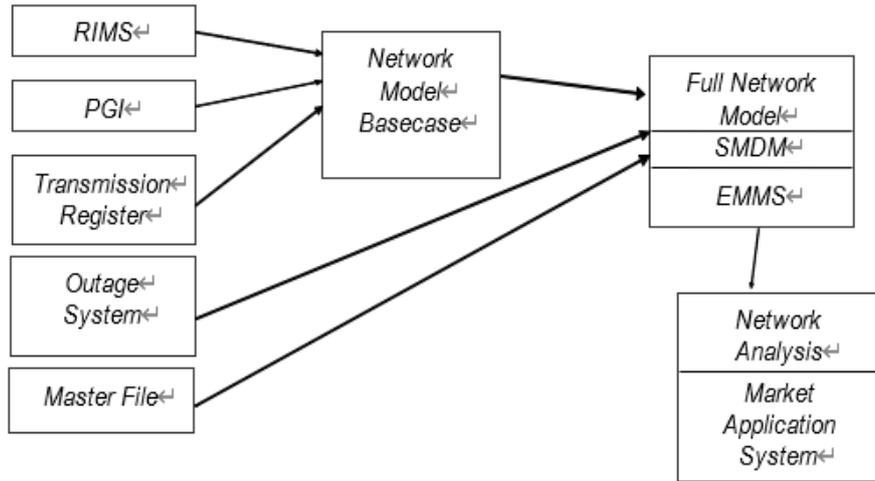


圖 23 FNM 相關聯之各類資料庫

1. RIMS (Resource Interconnection Management System)

RIMS (資源併網管理系統) 是 CAISO 用於管理發電機組和輸電設施併網的主要數據庫，負責新設備或改動設備的併網申請、審查和核准流程。

➤ 設置目的

- 管理新發電機組和輸電專案的併網申請，確保新資源能夠順利併網，並符合 CAISO 網路與市場要求。
- 記錄並追蹤所有待審核與已核准的專案，確保輸電計畫與市場營運的協調。

➤ 主要內容

- 新發電機和輸電設備的申請資訊 (如容量、併網地點、預計併網時間)。
- 併網審核流程 (技術評估、環境影響分析、經濟可行性評估)。
- 核准與待處理專案 (專案狀態追蹤、變更記錄)。

➤ 適用對象

- 發電業者 (IPP、公用事業公司)。
- 輸電營運商 (TO)。
- CAISO 營運與市場管理團隊。

➤ 重點

- 影響 FNM 更新：只有通過 RIMS 核准的設備，才會納入 FNM 更新。
- 與市場准許加入密切相關：未完成 RIMS 流程的資源，無法參與 CAISO 的市場運營。

2. PGI (Planned Generation Interconnections)

PGI (計劃發電與互連系統) 用於追蹤計劃中的發電機組與輸電專案，確保其符合技術與市場規範，並評估對 CAISO 電網的影響。

➤ 設置目的

- 監控所有正在規劃與建設中的發電與輸電專案，確保資源的可用性與市場穩定性。
- 提供發電預測與市場營運規劃，協助 CAISO 進行未來供需分析。
- 主要內容
 - 計劃併網的發電機資訊（技術參數、商業運行計畫）。
 - 與輸電設備互連的技術需求（變壓器、線路擴充、併網時間）。
 - 供應與需求平衡評估（預計併網時間對市場的影響）。
- 適用對象
 - CAISO 市場規劃與可靠度管理部門。
 - 發電業者、輸電營運商。
 - 系統可靠度與容量評估機構。
- 重點
 - 影響電網規劃：PGI 是輸電擴充與發電併網計畫的關鍵數據來源。
 - 影響市場動態：新資源進入市場後，可能影響電價、發電機調度與傳輸流量。
 - 確保供電穩定：預測未來可用的發電資源，降低潛在供應風險。

3. Transmission Register

Transmission Register（輸電登錄系統）是 CAISO 管理輸電線路、變電站及相關設備的核心數據庫，確保輸電設施在市場與調度模型中的準確性。

- 設置目的
 - 確保 CAISO 市場與調度系統能夠準確反映電網拓撲結構。
 - 提供傳輸限制、設備評級、調度邊界的詳細資訊。
- 主要內容
 - 輸電線路與變電站資訊（電壓等級、容量、電網結構）。
 - 傳輸限制（物理與市場限制、變壓器額定容量）。
 - 電網變更記錄（新設備、新線路、退役設備）。
- 適用對象
 - 輸電運營商（TO）。
 - CAISO 網路調度與市場團隊。
 - 電網可靠度管理單位。
- 重點
 - 確保市場與電網一致性：所有市場參與者需依據 Transmission Register 進行報價與資源分配。
 - 影響 FNM 更新與調度：傳輸變更需在 FNM 週期更新中納入，確保 EMS 和市場運作的同步性。

4. Outage System

Outage System（停電管理系統）是 CAISO 用來追蹤與管理計劃性與非

計劃性停電資訊的資料庫。

- 設置目的
 - 記錄計劃性與非計劃性停電，確保市場與網路調度的穩定性。
 - 提供即時停電影響評估，支援市場與調度決策。
- 主要內容
 - 設備停電計畫與狀態（停機設備、預計恢復時間）。
 - 市場影響評估（停電對價格、調度影響）。
 - 緊急應變計畫（非計劃性停電處理）。
- 適用對象
 - 市場參與者（發電機、輸電商）。
 - CAISO 市場與電網調度中心。
- 重點
 - 影響市場運作：停電資訊會納入市場調度，影響 LMP。
 - 影響電網可靠度：突發停電可能影響潮流分析與緊急調度決策。

5. Master File

Master File（主數據庫）是 CAISO 電網與市場應用的核心資料庫，負責管理與存儲所有與市場運作、電網拓撲、資源參數相關的重要數據。它確保 Full Network Model (FNM) 具備準確的靜態與動態數據，支援市場調度、可靠度分析與潮流計算，並確保市場參與者獲得一致的數據基準。

- 設置目的
 - 提供市場調度與電網運營所需的準確、完整的靜態與市場數據。
 - 確保 FNM 的完整性，使 CAISO 在日前市場 (IFM)、即時市場 (RTM) 及能源管理系統 (EMS) 中能夠一致地使用同一版本的網絡與設備數據。
 - 為市場參與者（發電商、輸電商、需求資源）提供標準化的資料格式，使所有市場計算與電網模擬能夠與現實狀況保持一致。
 - 支援潮流計算 (Power Flow)、安全限制機組排程 (SCUC)、安全限制經濟調度 (SCED) 等市場與電網分析應用。
- 主要內容
 - 發電機參數、負載參數、可再生能源資源參數。
 - 電網拓撲、設備阻抗與容量限制、電壓與無功控制設備。
 - 市場報價資訊
 - 交易節點 (TNode) 與價格節點 (PNode) 對應關係。
 - 傳輸限制（輸電線路與設備的運行限制）。
 - 市場定價機制（邊際價格 LMP 計算參數）。
 - 設備限制與異常處理。
 - 設備例外清單 (Exception List)。

- 限制條件與特殊保護方案（SPS）。
- 停電與設備退役資訊。
- 適用對象
 - CAISO 系統營運團隊。
 - 市場調度系統（IFM & RTM）
 - 可靠度分析與規劃團隊
 - 市場參與者（發電商、輸電商、負載管理者）
- 重點
 - 定期更新與同步
 - Master File 根據 CAISO 設定的時間表定期更新，以確保市場運營的數據準確性。
 - 每次 FNM 版本更新時，Master File 亦同步進行數據校正與調整。
 - 對市場影響
 - 所有市場計算（如 LMP、資源分配）均依據 Master File 內的數據進行。
 - 市場參與者的設備數據若未及時更新，可能會影響資源清算與調度結果。
 - 與其他系統的整合
 - Master File 直接與 FNM、SMDM（Supplemental Market Data Management）、EMMS（Enterprise Model Management System）整合，確保市場與電網數據一致。

6. Network Model Basecase

Network Model Basecase 是 Full Network Model (FNM) 的核心組件之一，提供 CAISO 用於電網調度、潮流計算、可靠度分析的基礎數據。它包含靜態的網路拓撲、設備參數，並且用於模擬不同市場場景。

- 設置目的
 - 提供 CAISO 電網運營與市場計算的基礎模型，確保所有市場參與者使用的電網數據一致。
 - 用於 可靠度分析、突發事件模擬（Contingency Analysis）、電網調度（Dispatch Analysis）。
- 主要內容
 - 靜態拓撲結構（變電站、輸電線、發電機、電容器等）。
 - 設備參數（變壓器阻抗、線路額定值等）。
 - 潮流計算基準條件，用於 SCADA、State Estimator (SE)、市場調度（Market Dispatch）。
- 適用對象
 - CAISO 系統運營團隊（監控電網並確保穩定運行）。

- 市場調度系統（IFM & RTM）。
- 可靠度分析團隊（確保電網滿足 N-1 標準，應對突發事件）。
- 市場參與者（確保投標策略與市場運行條件一致）。
- 重點
 - 定期更新：根據 FNM 版本更新時間表，Basecase 會隨市場變更進行修正。
 - 對市場影響：所有市場計算（LMP、資源調度）均依據 Basecase 進行，確保市場出清結果與電網條件匹配。

7. SMDM

SMDM 是 CAISO 市場營運的補充數據管理系統，專門負責處理市場計算所需的額外資訊，如發電機與負載的分佈因子、輸電限制等。它與 Network Model Basecase 和 市場模型 配合，確保市場調度與網絡條件一致。

- 設置目的
 - 提供額外的市場相關數據，支持 CAISO 的 IFM（日前市場）和 RTM（即時市場）。
 - 確保市場計算結果（如 LMP、資源出清）與物理網絡狀況匹配，避免電網瓶頸影響市場運行。
- 主要內容
 - 發電機分佈因子（GDF, Generation Distribution Factors）：計算某發電機出力變動對不同節點的影響。
 - 負載分佈因子（LDF, Load Distribution Factors）：負載變化如何影響整體系統。
 - 傳輸限制與例外條件（如動態輸電能力、輸電線緊急額定值）。
 - 市場價格與成本數據（如邊際發電成本、限制成本）。
- 適用對象
 - 市場調度單位（確保資源調度符合網路限制）。
 - 發電與輸電業者（理解市場價格形成機制）。
 - 市場分析師（評估市場流動性與價格變動）。
- 重點
 - 市場與電網同步：確保 CAISO 市場模型與物理網路限制一致。
 - 數據來自 FNM：SMDM 的輸入來自 Network Model Basecase，以確保一致性。

8. EMMS

EMMS 是 CAISO 用來管理 FNM 整體模型的核心系統，負責維護所有市場與電網相關的模型數據，並確保 EMS（能源管理系統）、市場模型、市場應用 之間的數據一致性。

- 設置目的

- 統一管理 CAISO 的網絡與市場模型數據，確保不同系統間的數據一致性。
- 提供版本控制與變更管理，確保 FNM 更新流程透明可追溯。
- 主要內容
 - FNM 版本控制（管理歷史模型數據、版本回溯）。
 - 模型一致性檢查（確保 EMS、RTM、IFM 的數據匹配）。
 - 市場參與者變更請求處理（如輸電線增容、新發電機納入市場）。
 - 數據同步機制（確保模型變更能正確應用於市場調度與系統分析）。
- 適用對象
 - CAISO 市場與營運管理單位（確保所有市場調度基於最新的網絡模型）。
 - 市場參與者（確保市場規則變更時，其設備數據能及時反映）。
 - 系統可靠度分析團隊（確保 EMS/SE 使用的模型準確）。
- 重點
 - 版本控制：每個 FNM 變更都經過變更管理機制，確保正確性。
 - 跨系統整合：EMMS 連結 EMS、SMDM、FNM，確保市場、網絡、可靠度分析數據一致。
 - 支援市場與網絡模型同步：確保 LMP 計算、資源調度、可靠度分析使用相同的基準模型。

有關於 EMMS、Network Model Basecase、FNM 等三個電網管理資料庫互相輔助，確保 CAISO 的電網與市場運作穩定且準確。

表 5 三個電網管理資料庫比較

比較項目	EMMS	Network Model Basecase	FNM
更新頻率	每 2 個月 進行主要版本更新，根據需求可進行額外的小型更新	隨 FNM 更新週期 更新，一般每 2 個月	每 2 個月 更新一次，根據市場或電網變更可能進行臨時修正
數據性質	靜態與動態數據，包括電網拓撲、市場數據、資源參數、傳輸限制等	靜態數據，包含電網拓撲結構、設備參數、潮流計算基準	靜態與動態數據結合，用於市場清算、電網調度、可靠度分析
主要數據內容	電網與市場數據的綜合管理、市場模型數據、變壓器、輸電線、設備狀態、設備變更與數據一致性管理	變電站、輸電線、發電機等電網拓撲、設備參數（如阻抗、容量）、SCADA、狀態估測基準	包含 Network Model Basecase 的所有內容 市場參數（資源報價、負載需求）、可靠度限制（N-1 安全標準）

用途	管理市場與電網模型數據、確保 (EMS、IFM、RTM) 使用統一數據、模型版本控制與變更管理	提供 FNM 的靜態拓撲與設備參數、電力潮流計算、SCADA、狀態估測、確保調度與可靠度分析準確	市場與電網運營的核心模型、支援市場清算 (LMP)、電網調度 (RTM/IFM)、用於突發事件模擬 (Contingency Analysis)
影響系統	EMS、IFM、RTM、FNM	SCADA、狀態估測、Network Applications (潮流分析、可靠度評估)	EMS、IFM & RTM (市場出清與調度)、可靠度管理 (Reliability Assessment)

2.2.7 資安

CAISO 的資安架構中多層安全策略展現了零信任架構 (Zero Trust Architecture, ZTA) 的設計原則，以下詳細說明 CAISO 如何實作零信任的核心理念「不信任任何人或設備」，即便是內部網路中的使用者或設備，也需要持續進行身份驗證、授權和資料加密：

1. 內外部網路的分離：

CAISO 不信任外部網路，所有外部網路不可直接存取內部系統，外部網路若要存取機密的 CIM 檔案或是資料，需透過 CAISO 特別設立的存取網站，在擁有憑證的情況下進行下載，且依據 NERC CIP-005 規定，任何與電子安全邊界內的所有流量都需進行加密與來源驗證，即任何有存取到內部網路，也需要擁有憑證。

2. 動態身分驗證：

CAISO 採用 RBAC(Role-Based Access Control) 進行帳號權限管理，並結合多因子身份驗證 (Multi-factor authentication, MFA) 對內部進行嚴格的身分驗證。

3. 授權與最小權限存取：

CAISO 的應用存取控制與內部伺服器管理相結合，使用者可利用單一登入帳號所有內部應用程式，但需經過中央授權伺服器統一驗證，每位使用者在其能依據其被授權的 read/write 權限存取其需要使用的資料，而不允許直接而不允許直接跳過授權步驟進入應用，這樣可以有效防止橫向移動攻擊。

4. 持續監控：

依據 CIP-007: 系統安全管理，CAISO 有需要對流量與存取行為持續監控，防止未經授權的資料異動或刪除，也能快速偵測異常，縮短威脅發生與響應時間，確保系統的安全性。

2.2.8 其他技術議題

2.2.8.1 指令發佈方式－自動調度系統

自動調度系統 (Automated Dispatching System, ADS) 是由 CAISO 開發的一個應用程式，用於向市場參與者傳遞即時調度指令。ADS 通過自動化的方式，提高了調度指令的傳遞效率和準確性，使市場參與者能夠快速回應電力需求變化，同時支持電力市場與電力系統的穩定運行。ADS 的使用者核心功能包含：

- 接收與回應即時調度指令
- 確認預調度指令與排程指令
- 保留指令與交易記錄
- 查詢歷史指令

基本上所有的市場調度結果或排程結果均會傳送到 ADS，再由 ADS 將約束性的指令傳送給市場參與者。ADS 傳遞的指令可以概括分為三類，包含排程指令（啟動/解聯/組態轉換）、能源調度指令（MW）及輔助服務得標量（MW）。能源調度指令的來源包含 RTED、RTCD、RTMD、ED (Exceptional Dispatch) 及 HASP 的市場結果。排程指令的來源根據機組的特性而有所不同，以快速啟動資源或大約 1 個小時內可以啟動的資源而言，排程指令的來源是 FMM，需要花費超過 1 小時啟動的資源，其排程指令來源則是 STUC。ADS 的輸出資訊大致如下：

表 6 CAISO 自動調度系統輸出資訊

Application	Output
HASP	小時區塊投標資源的能源預調度指令
	小時區塊投標資源的輔助服務得標量
STUC	具約束性的啟動及解聯指令（STUC 往前看 4 小時）
FMM	具約束性的啟動及解聯指令
	15 分鐘調度資源的能源調度指令
	除小時區塊投標資源以外，所有資源的輔助服務得標量（15 分鐘一筆）
RTED	可接收 5 分鐘調度資源的調度指令（5 分鐘一筆）
RTMD	可接收 5 分鐘調度資源的手動調度指令（5 分鐘一筆）
RTCD	可接收 5 分鐘調度資源的緊急調度指令（10 分鐘一筆）
FRU	15 分鐘向上彈性爬坡產品得標量（FMM Flexible Ramping Up binding awards）

FRD	15 分鐘向下彈性爬坡產品得標量 (FMM Flexible Ramping Up binding awards)
Dispatch FRU	5 分鐘向上彈性爬坡產品得標量 (RTD Flexible Ramping Up binding awards)
Dispatch FRD	5 分鐘向下彈性爬坡產品得標量 (RTD Flexible Ramping Up binding awards)
Opr Inst	由電源主任設定的標誌，用於向特定資源或群組發送操作指令
Opr Inst Reason	操作指令 (Operating Instruction) 的理由 (i.e. Congestion, Oversupply, System Reliability)
Opr Inst Start	操作指令 (Operating Instruction) 的開始時間
Opr Inst End	操作指令 (Operating Instruction) 的結束時間
ASTEST	是否進行輔助服務測試的狀態標誌，如果處於 Active，則 SC 應遵循輔助服務測試指定的能源指令 (AS TEST Constraint MW)
AS TEST Constraint MW	在輔助服務測試期間所指定的能源指令 (MW)
FOLLOW DOT	由市場最佳化設定的附加標誌，當再生能源資源 DOT 低於預測或設定，則該標誌會顯示在 ADS 中
Previous SUPP	先前的 SUPP 綁定值
RT SUPP Delta	RT SUPP Energy 與 Previous SUPP 之間的差
Previous Accept DOT	前一次從 HASP 小時收到的 DOT 值
如需要更多詳細資訊可參考 CAISO ADS User Guide	

2.2.8.2 停檢修資訊系統—OMS

停電工作管理系統 (Outage Management System, OMS) 是 CAISO 用來管理停電工作的工具，由 OATI 開發。

1. OMS 作為提交停電資訊的窗口，以利 CAISO 執行停電工作評估業務，並提供資料給其他應用程式。

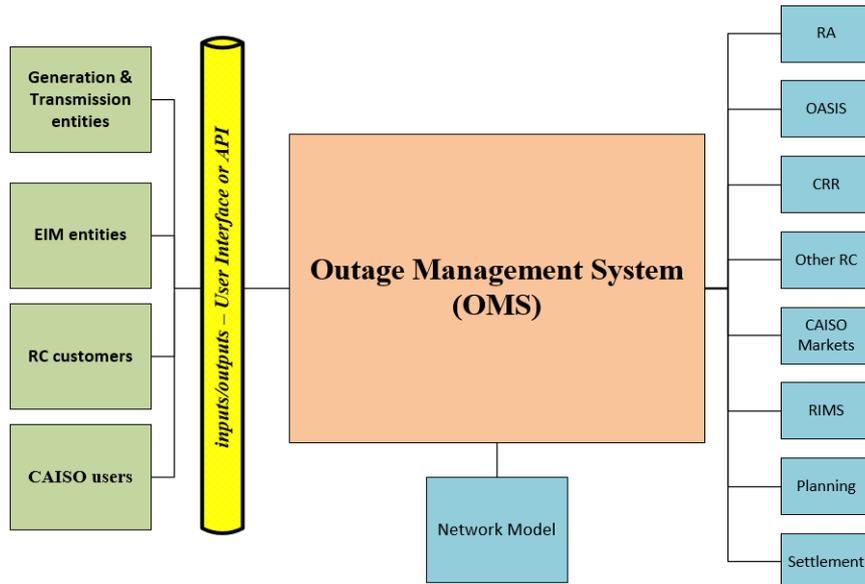


圖 24 CAISO 停電工作管理系統資料流

2. CAISO 的停電工作可以分為兩種類型：

- 計畫停電工作 (Planned Outage)：發電業者或輸電業者為了進行例行維護、新建工程，而讓設備停止工作或降低運轉能力一段時間。必須提前 7 個以上日曆天提交(不包含提交日及停電工作開始日)，才可被歸類為計畫停電工作
- 臨時停電工作 (Forced Outage)：臨時性發生的狀況，設備被迫停止工作或降低運轉能力。提前提交的時間不足 7 個日曆天(不包含提交日及停電工作開始日)，則被歸類為臨時停電工作。

3. 為了進行停電工作的研究、評估與審核，又分為遠期停電計畫 (Long-Range Outage Planning)、中期停電計畫 (Mid-Range Outage Planning)、近期停電計畫 (Short-Range Outage Planning)、即時停電計畫 (Real-Time Outage Horizon)。

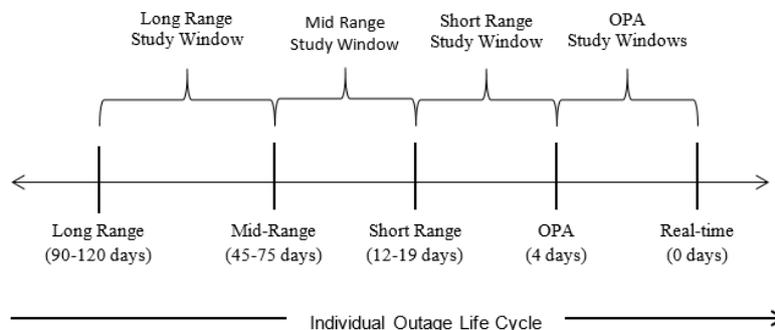


圖 25 CAISO 停電工作分析時間

- 遠期停電計畫 (Long-Range Outage Planning)

- 輸電業者應在每年 7 月 1 日之前向 CAISO 提交次一年度的 CRR 輸電維護計畫。
 - 發電業者與輸電業者應在每年 10 月 15 日之前向 CAISO 提交次一年度的維護計畫。
 - 發電業者與輸電業者後續可以提前一個月(約 28-31 日曆天之前)，提交次月之後的年度維護計畫的修改與變更，例如 4 月 30 日提交 6 月 1 日之後的年度維護計畫變更。
 - CAISO 每日進行並完成遠期停電計畫的評估與可行性分析，至少在運轉日 90 天之前制定好運轉日的遠期維護計畫，分析範圍至少包含 30 個日曆天 (a rolling monthly)，分析範圍即為未來第 90 天至第 120 天。
 - 中期停電計畫 (Mid-Range Outage Planning)
 - 中期停電工作必須在運轉日的 45 天前提交，舉例來說 4 月份的停電工作，必須在 2 月 15 日之前提交，以便納入中期維護計畫的分析。
 - 中期停電計畫的評估與可行性分析，分析範圍至少包含 30 日曆天 (a rolling monthly)。分析範圍即為未來第 45 天至第 75 天。
 - 近期停電計畫 (Short-Range Outage Planning)
 - CAISO 每日進行並完成近期停電計畫的評估與可行性分析，至少在運轉日 12 天之前制定好運轉日的近期維護計畫，分析範圍至少包含 7 個日曆天 (a rolling monthly)，分析範圍即為未來第 12 天至第 19 天。
 - 發電業者與輸電業者應在 CAISO 進行近期維護計畫分析的 5 個工作日之前，向 CAISO 提交任何已知的近期停電計畫資訊。
 - 停電工作的分配以先到先得的方式進行評估。
 - 即時停電計畫 (Real-Time Outage Horizon)
 - CAISO 每日進行並完成即時停電計畫的評估與可行性分析，分析範圍包含未來 4 天。
4. CAISO 使用停電工作卡 (在 CAISO 都稱為 Card) 來管控設備的狀態
- SCs 透過 OMS 提交停電工作卡，包含停電工作的詳細資訊，如開始時間、結束時間、可用性、最大發電量、最小發電量、儲能電能量、升降載率、輔助服務能力、RIG (RTU) 設備、ICCP 設備等。基本上會影響到機組運轉特性的資訊都包含在內。
 - 停電工作卡會經過分析、審核的程序，再由操作員更改狀態 (IN/OUT)，其他應用程式則可以根據停電工作資訊以及 IN/OUT 狀態進行後續流程的資訊處理。

2.2.8.3 複循環機組模型－MSG

在 CAISO，複循環機組模型可以使用組態模式進行建模，CAISO 稱之為多階段發電資源 (Multi-Stage Generating Resources, MSG)。MSG 是一種以 mother-child type 的概念建模的資源，一組複循環機組即為一個資源 (母)，但可以向下建立多個組態 (子)，透過 Resource ID 及 Config ID 來進行建模與識別。同一個時間內，多階段資源僅能有一個組態運行。

SCs 在提交多階段資源的報價或運轉資訊時，是提交以組態模式為主的資訊。但資源建模時，必須提供一組轉換矩陣，用來說明不同組態之間的可行轉換路徑，如啟動、解聯、組態轉換等。在停檢修資料方面，CAISO 也是在 OMS 中以組態模式的資訊收集 MSG 的停電工作資料。

Impacts	Availability	Notes	A/S Availability	PMIN Re-Rate	Ramp Re-Rate	Warnings	Max Energy	Min Energy	Load Max	Load Min	Use Limited	RIMS Data
Resource: (155.00 - 603.68)												
Availability Date/Time	OOS	NDC	PMAX	Availability MW	Outage Curtailment	Total Curtailment						
11/30/2023 08:30	<input type="checkbox"/>		603.68	290.00	313.68	313.6						
11/30/2023 15:00			603.68	603.68	0.00	0.0						
Configuration: (155.00 - 245.00)												
Availability Date/Time	OOS	NDC	PMAX	Availability MW	Outage Curtailment	Total Curtailment						
11/30/2023 08:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	245.00	245.00	0.00	0.00						
11/30/2023 15:00			245.00	245.00	0.00	0.00						
Configuration: (226.00 - 290.00)												
Availability Date/Time	OOS	NDC	PMAX	Availability MW	Outage Curtailment	Total Curtailment						
11/30/2023 08:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	290.00	290.00	0.00	0.00						
11/30/2023 15:00			290.00	290.00	0.00	0.00						
Configuration: (290.00 - 510.00)												
Availability Date/Time	OOS	NDC	PMAX	Availability MW	Outage Curtailment	Total Curtailment						
11/30/2023 08:30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	510.00	0.00	510.00	510.00						
11/30/2023 15:00			510.00	510.00	0.00	0.00						
Configuration: (470.00 - 603.68)												
Availability Date/Time	OOS	NDC	PMAX	Availability MW	Outage Curtailment	Total Curtailment						
11/30/2023 08:30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	603.68	0.00	603.68	603.68						
11/30/2023 15:00			603.68	603.68	0.00	0.00						

圖 26 CAISO 複循環機組停電資訊卡

2.2.8.4 分散式資源參與市場之方式

FERC (The Federal Energy Regulatory Commission) 在 2020 年發佈 FERC 第 2222 號命令，旨在消除了分散式能源(DER)參與批發電力市場的障礙。DERs 可包含電池儲能、屋頂型太陽能板、可減少用電量的智慧家電產品、能源效率措施、冰箱等熱能儲存系統、電動車以及充電樁等配電等級的用電負載。

針對分散式資源 (DERs) 參與市場，CAISO 早在 FERC 第 2222 號命令公佈之前便已經開始著手分散式資源參與市場的方式。CAISO 針對分散式資源，其主要方向始終保持一個態度，開放管道允許分散式資源透過聚合，成為一個有效的資源，最低規模則要求至少須要達到 100 kW，對於這些聚合起來的分散式資源，並無特殊待遇，與一般資源適用相同的市場規則。在網路模型方面，由於 CAISO 主要負責輸電等級的網路，因此這些由分散式資源聚合而成的資源，

也是透過等效的方式建立在輸電等級的節點上，並無往下建立配電等級的電網模型。

在大型風力案場的部分，CAISO 亦將整個案場視為一個資源，並沒有建立案場內部個別風機或電網的模型。

2.3 KC-Exousia Consulting

2.3.1 KC-Exousia Consulting 簡介

KC-Exousia Consulting 是一家專注於能源產業的專業諮詢公司，致力於提供多元化的服務，包括政策分析、技術研究與市場規劃等領域。該公司的主要負責人 Kwok 擁有超過 20 年於 GE 公司工作的豐富經驗，對能源行業的發展有深刻的見解。

KC-Exousia Consulting 的服務範圍涵蓋以下幾個主要方面：

1. 政策與法規諮詢：協助企業了解並遵循當地及國際能源政策，提供專業建議以制定應對策略。
2. 能源市場分析：透過深入的數據研究與趨勢分析，幫助客戶識別商機與潛在風險，助力市場決策。
3. 技術諮詢：專注於智能電網與可再生能源技術的整合，為客戶量身打造針對性的技術解決方案，提升能源利用效率與創新能力。

KC-Exousia Consulting 以其深厚的行業知識，致力於為客戶提供高價值的解決方案，成為能源行業中的可靠合作夥伴。

2.3.2 議題討論

2.3.2.1 FERC2222 與 DER 整合

FERC 2222 的發布為分散式能源資源(Distributed Energy Resource, DER)參與電力市場開啟了新篇章，這項規範並未強制要求 ISO 為 DER 建立詳細的模型，而是讓 DER 聚合為虛擬電廠，並在電網端點進行整合，將分散式資源視為一個聚合單元進行管理。

在與 Kwok 的討論中提到 CAISO 未將所有 DER 直接納入 NMM 模型。這種方式為台電未來處理 DER 提供了參考，將資源整合的責任交由聚合商，台電僅負責管理聚合商的規範。可有助於簡化數據整合與模型更新負擔，從而提高整體營運效率。

2.3.2.2 NMM 相關內容討論

以系統建置而言，NMM 是相對獨立的一套系統，不需建置其他配套的 IT 系統或設備，初步建置通常需時 6 至 12 個月，但若要實現跨部門協作與模型的持續更新，則需要投入更多的時間與資源。如 CAISO 在 NMM 建置經驗顯示，即使經過十餘年的發展，其更新頻率仍未完全達成每月或兩週更新的目標，這反映出完善各部門協作之責任分工、支援持續更新模型與支援規範流程的困難性。

2.3.2.3 NMM、EMS 與 MMS 在 CIM 上的整合挑戰

Kwok 提到，在整合過程中需特別關注數據互通性問題，有鑑於 CIM 雖然包含絕大多數對於物理電網的描述資料定義，但不同應用程式對於使用的參數要求略有不同時，可能會需要其他的參數，供應商會額外再加 extension 將 CIM

檔案轉成應用程式所需要檔案，並超出 CIM 定義的通則，導致資料不可互通。要避免檔案不能互通，可採用封閉測試(close loop) 對數據進行反覆測試，以確保其準確性與可靠性，若自身輸出的模型皆無法自行使用，需額外添加參數，則代表該 CIM 檔案存在問題。

2.3.3 小結

透過與 KC-Exousia Consulting 的交流，我們對能源市場和(NMM)網路模型管理的實務應用獲得了深入的理解，這次參訪在多個層面上都具有極高的價值，學到了許多實務知識與應用策略。在系統建置與模型整合方面，他們的經驗對我們未來的系統規劃具有重要的參考價值。NMM 不僅是一個數據管理工具，其中更為重要的是後續的營運及管理。他們分享了如何應對建置初期的挑戰，例如多部門間的資料不一致，以及在持續運營中的模型更新策略，這些經驗直接對我們的工作提供了借鑒。在技術層面，Kwok 講解了在相同使用 CIM 檔案的情況下，仍會發生資料不互通的情況，而在這種情況下，我們如何確保 CIM 檔案能夠準確滿足不同應用場景的需求，這一點對我們目前的系統規劃具有啟發意義。

整體而言，與 KC-Exousia Consulting 的交流讓我們對 NMM 系統的應用與未來發展有了更加清晰的認識。他們的實務經驗和建議，對於我們在系統建置、資源整合以及長期運營的各個層面都提供了重要的啟發。我們從這次參訪中學到了許多可直接應用於未來工作的知識，這些寶貴的經驗將成為我們後續發展的重要基石。

2.4 Power Info LLC

2.4.1 Power Info LLC 簡介與產品介紹

Power Info LLC（以下簡稱 PowerInfo）是一家專注於電力行業軟體解決方案的科技公司，提供軟體解決方案、諮詢顧問服務以及專案交付。PowerInfo 的客戶包含電力公司、RTO/ISO、電網協調組織（Grid Coordination Organizations）、能源交易公司及 EMS/MMS/OMS 的供應商等等。旗下產品目前包含 CIMSpy（北美版）與 CIMDesk（歐洲版），該工具在全球範圍內廣泛應用，包含歐洲的輸電系統營運商聯盟 ENTSO-E、北美 AEP、北美 ISO/RTO 如 ERCOT、ISO-NE、MISO、PJM、北美公用事業公司 PG&E、研究機構、軟體供應商 GE、Siemens 等均為其重要客戶。



圖 27 PowerInfo 客戶範圍（紅色為 CIMDesk、藍色為 CIMSpy）

2.4.1.1 CIMSpy

CIMSpy 是一款專為電力系統開發的基於 CIM（Common Information Model，通用信息模型）的高效工具，提供模型瀏覽、視覺化、驗證、編輯、比較、合併、分割及擴展更新等處理功能，支援多種版本的 CIM，並且可以選擇以多種格式將模型資料匯出，滿足電力行業的各種需求，該工具可以提升模型數據的管理與處理效率，特別適合用於企業之間模型交換以及外部電網建模。

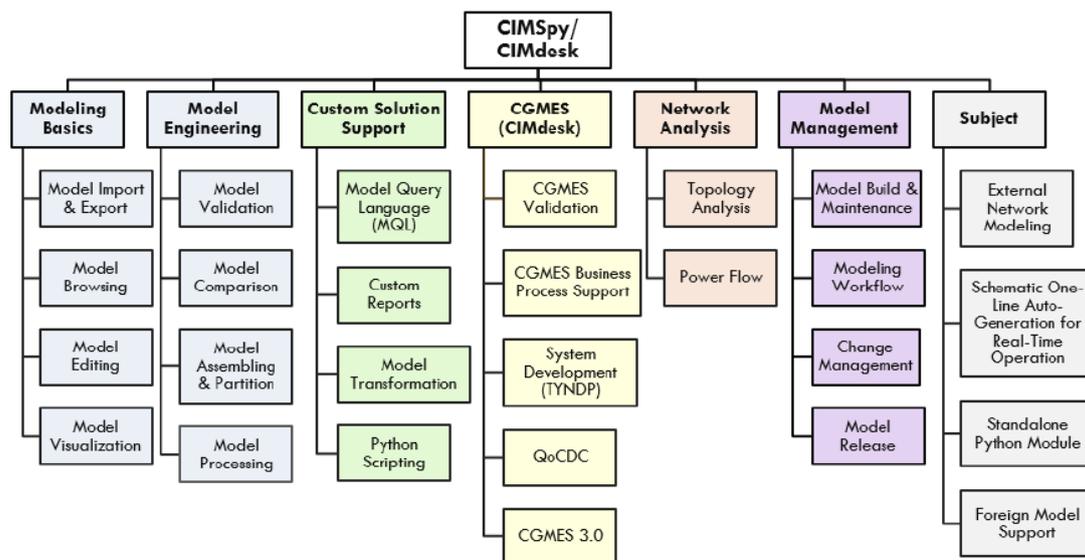


圖 28 CIMSpy/CIMdesk 之主要功能

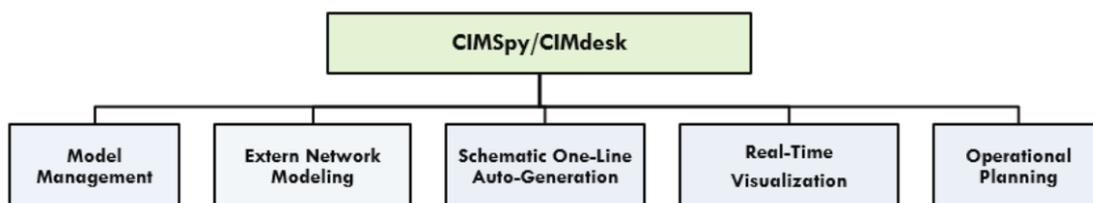


圖 29 CIMSpy/CIMdesk 支援電力行業之業務內容

2.4.1.2 CIMdesk

CIMdesk 是 PowerInfo 專為歐洲電力傳輸系統營運商網路 (ENTSO-E) 以及其它位於歐洲各個國家的 41 個傳輸系統營運商 (TSO) 成員而開發的 CIMSpy 客製化版本。CIMdesk 基本上是依據 ENTSO-E 的要求而克制的，例如 CIMdesk 支援 ENTSO-E 的通用網格模型交換標準 (CGMES)，CIMdesk 遵守 ENTSO-E 的建模規則或限制 (例如命名規則)。目前，歐洲這些 TSO 的模型都必須先通過 CIMdesk 的驗證，才能將模型提交給 ENTSO-E。

2.4.1.3 M3

M3 是 PowerInfo 正在開發的一個新項目，目前正在為波蘭公用輸電系統營運商 (Polskie Sieci Elektroenergetyczne, PSE) 提供集中型模型管理軟體解決方案。M3 的概念是在基於 CIMSpy 的基礎架構之上，建構更完善的管理功能，提供多維的建模空間以及全面的資料工程功能，協助電力行業管理及維護其電力系統模型，並減少因執行模型管理業務所耗費的大量人力、物力、時間。

- M3 專注於解決以下問題：
 - 單一化輸入與集中化的模型 (Centralized Modeling)：只需要在一個管理系統中建立模型，相關資料即可提供給所有下游應用程式

或系統使用，例如提供資料給 EMS 或 MMS。各個組織部門所共享的資料都相同，各部門可以拿取所需的資料即可。

- 基於時間的建模方式 (Time-based Modeling)：以包含時間概念的方式建立模型資料庫時，讓使用者可以取得並模擬過去、現在或未來某個時間點的電網模型，以利於使用者評估各種情境的業務需求，例如新建設備專案、設備維運計畫、即時運轉等。
 - 模型管理之協作 (Collaborative Modeling)：提供協作環境，透過 Model Authority Set (MAS) 的概念，允許各機構成員維護自己所負責的電力系統模型與資訊。
- M3 提供以下功能：
- 多用戶與多環境支援：提供協作的平台，可共享過去、現在與未來的模型，同時允許用戶創建不限數量的個人建模環境。
 - 身份驗證與授權管理：僅限經過身份驗證的用戶登入系統以執行被授予的任務。支援基於角色和 MAS 的授權，且可進行自訂設定。
 - 基於時間與協作的建模：可以讓來自不同團隊或組織的用戶共同作業，進行現有模型維護 (EMS) 及未來規劃的模型建置 (Planning)，以利不同組織的各種業務流程。
 - 用戶與模型最高權限管理員：提供可以自定義管理用戶與模型權限的工具。
 - 公用事業資訊系統的整合：已開發多種整合介面，使 M3 能直接與公用事業的資訊系統 (如 EMS、OMS、歷史資料庫及規劃工具) 進行整合。

2.4.2 重點功能介紹

在這次的交流中，PowerInfo 對於他們的產品進行了非常詳盡的介紹，並且也有現場進行軟體操作，使實習團隊更直接了解 CIMSpy 的功能與操作方式，CIMSpy/CIMdesk 的關鍵功能如圖 x 所示。

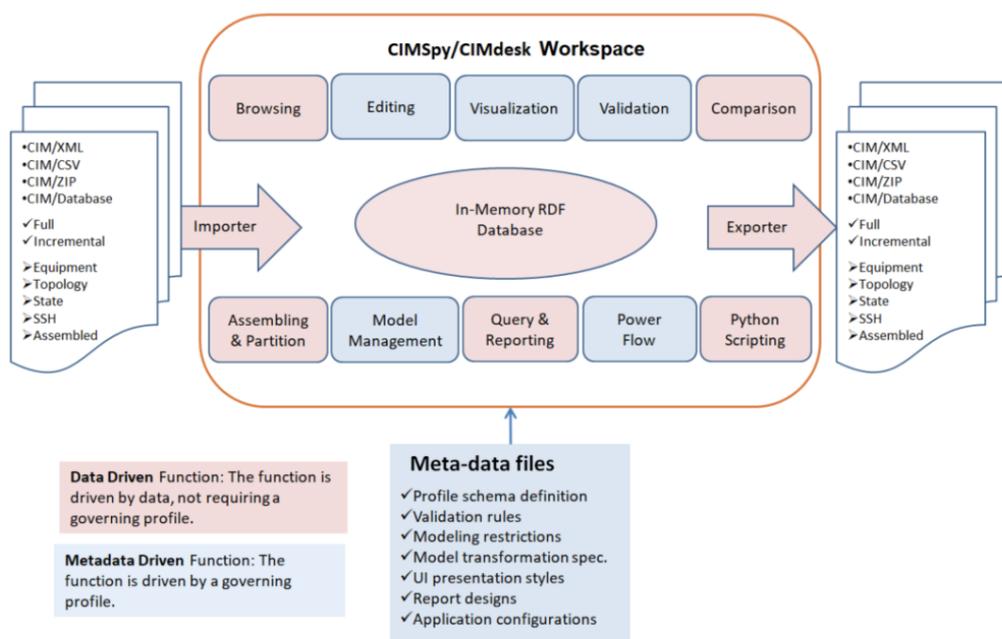


圖 30 CIMSpy/CIMdesk 之關鍵功能

以下將針對幾個團隊認為較為重要的部分進行整理與說明：

2.4.2.1 CIM 模型交換

CIM 在輸電方面目前已經當成熟，被廣泛應用於輸電等級的電力行業與研究。以 CIM 的架構來說，CIM 可以將各種對於真實世界的電網描述分為不同的子項目，例如動態資料、靜態資料，設備資料等等，並將這些資料分別儲放於不同的 Profile，例如：

- Equipment (EQ) – 儲存電力系統設備的資訊
- Steady-State Hypothesis (SSH) – 執行潮流分析所使用的初始拓樸、狀態或設定（例如發電或負載的 P 跟 Q）或其他參數。
- Static Variable (SV) – 用於儲存潮流分析或狀態估計的結果。
- Topology (TP) – 儲存電網的拓樸結構資訊（Bus）。

CIMSpy 則是基於 CIM 數據的一套軟體，在處理 CIM 數據方面非常快速，其輸入/輸出主要以 CIM 格式為主，包含 CIM/XML、CIM/CSV、Zipped CIM/XML 或 CIM/Database，另外也可以用 PSSE raw 進行交換，簡而言之，就是把電網資訊透過不同的語言數據進行交換。CIMSpy 支援各版本的 CIM，並且可以提供不同 CIM 版本的電網模型比較或模型轉換功能。在匯出 CIM 格式的檔案時，可以針對各部門不同的需求，提供部門業務所需的格式及相對應的 Profile，以此來減少交換過多不必要的電網資訊。PowerInfo 也會收集客戶的需求，如有多個客戶業務需要的交換格式，PowerInfo 也會將該交換格式納入未來開發的項目。

2.4.2.2 數據瀏覽、編輯及視覺化

CIMSpy 除了可以進行基本的數據瀏覽與編輯，還提供友好的視覺化功

能，使得使用者可以快速進行模型的編輯或檢查工作。在 CIMSpy 中，電網模型可以透過各種繪圖方式來顯示實體設備/電力設備的配置，並提供各種互動方式以利使用者探索電網模型，並且支援自動佈局功能，可以自動排列及顯示設備的連結。例如一般常用的 Substation Diagram，可以顯示一個變電站內的設備。或是 Equipment Diagram，可以顯示該設備以及相鄰變電站的所有設備。另外也可以使用 Geographical Diagram，直接在地圖上顯示設備的實體地理位置。

目前支援的圖表顯示包含：

- Region Diagram
- Neighborhood Diagram
- Substation Diagram
- Equipment Diagram
- Boundary Diagram
- XNode Diagram
- Dynamic Model Diagram
- Standard Schematic Diagram
- Standard Geographical Diagram
- Geo-Schematic Diagram
- Diagram Summary

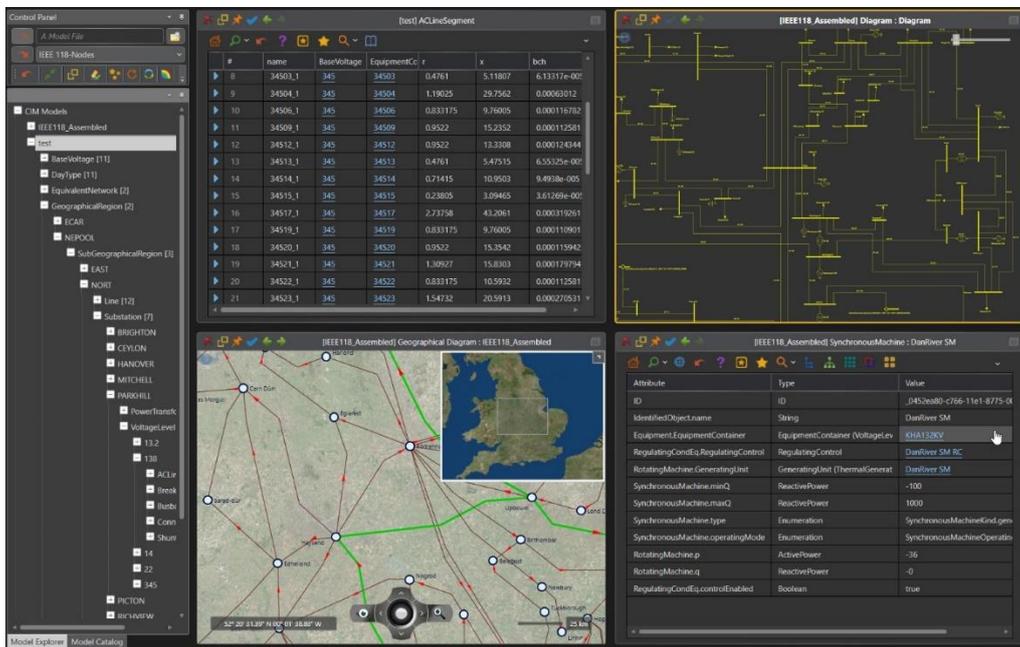


圖 31 CIMSpy 介面

對於圖表呈現的方式，還可以選擇三種模式，包含詳細圖 (Detailed Diagram)、簡單圖 (Simplified Diagram) 及拓樸圖 (Topological Diagram)。

- 詳細圖：最詳細的顯示方式，會顯示所有的設備元件的物理/電氣

連接方式，包含 EMS node、break 等。

- 簡單圖：從詳細圖簡化而成，單純使用 bus/brnch 進行顯示，會將關閉或常閉的切換裝置隱藏。非常適合用於分析結果。
- 拓樸圖：與簡單圖類似，差異在於簡單圖的繪圖資訊與詳細圖一樣，是直接參考模型數據生成，而拓樸圖則是使用另外提供的 Topological profile 生成。

2.4.2.3 數據驗證功能

CIMSpy 提供 CIM 的基本數據驗證功能，包含 CIM 格式的基本驗證，電力系統的參數驗證（如阻抗的正負值防呆驗證），驗證潮流分析是否可以收斂，或是。CIMSpy 的驗證功能基本上依照 ISO、NERC 或者 ENTSO-E 的規範來進行，且可以針對個別驗證條件進行啟用/提用。

此外 CIMSpy 還支援自定義驗證功能，可以由使用者自行新增驗證條件，滿足使用者特殊的需求，例如參數範圍的驗證，若有超出使用者定義的範圍區間，也會提供錯誤及警告資訊。

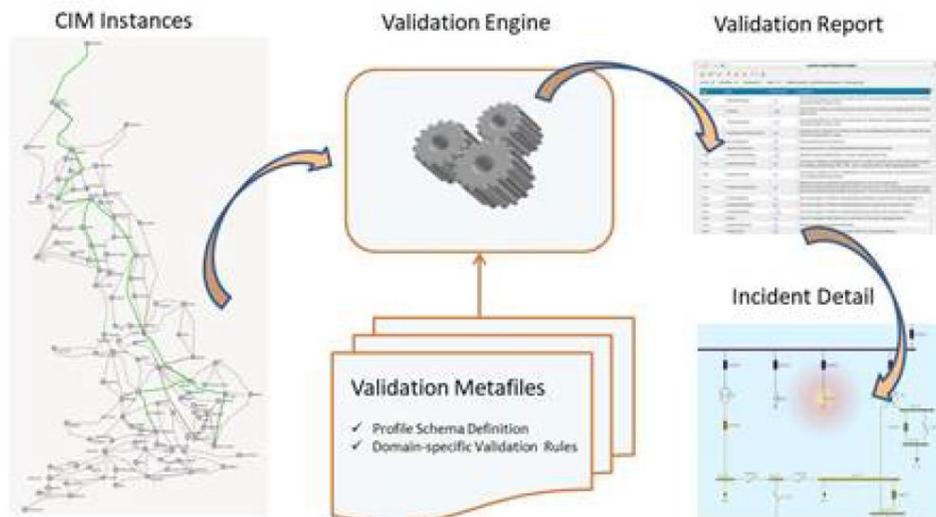


圖 32 CIMSpy 之驗證功能

2.4.2.4 分析功能

CIMSpy 提供基本的電網拓樸分析功能，拓樸分析可以針對電網拓樸結構進行驗證，可以找出未使用的設備元件或是識別孤島。CIMSpy 還可以執行潮流分析，潮流分析結果可以在單線圖或地理圖上以動態的方式顯示實功、虛功、電壓、角度等資訊。這些資訊還可以根據參數的範圍以簡易明瞭的方式顯示出設備是否操作在正常範圍之內，如果超出正常範圍則會在圖中以顯眼的方始顯示出來。

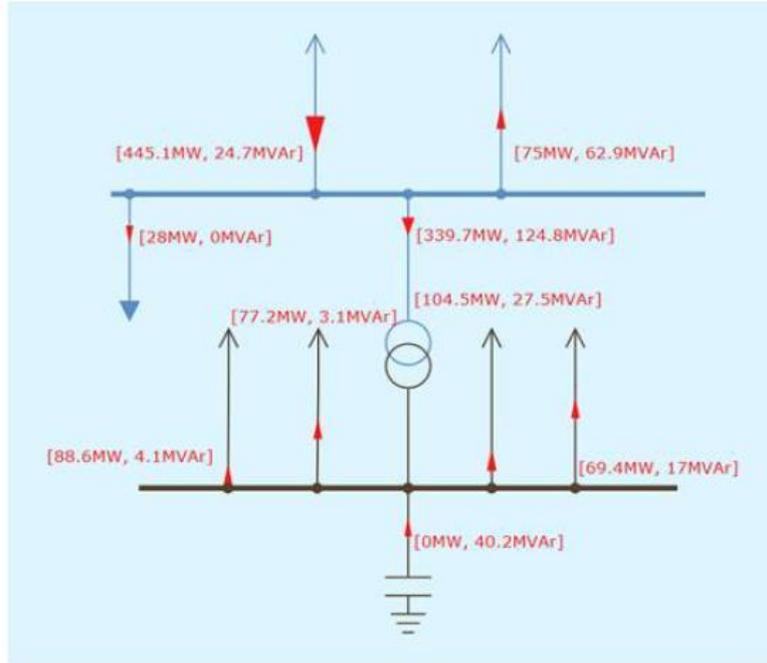


圖 33 CIMSpy 線路潮流資訊顯示

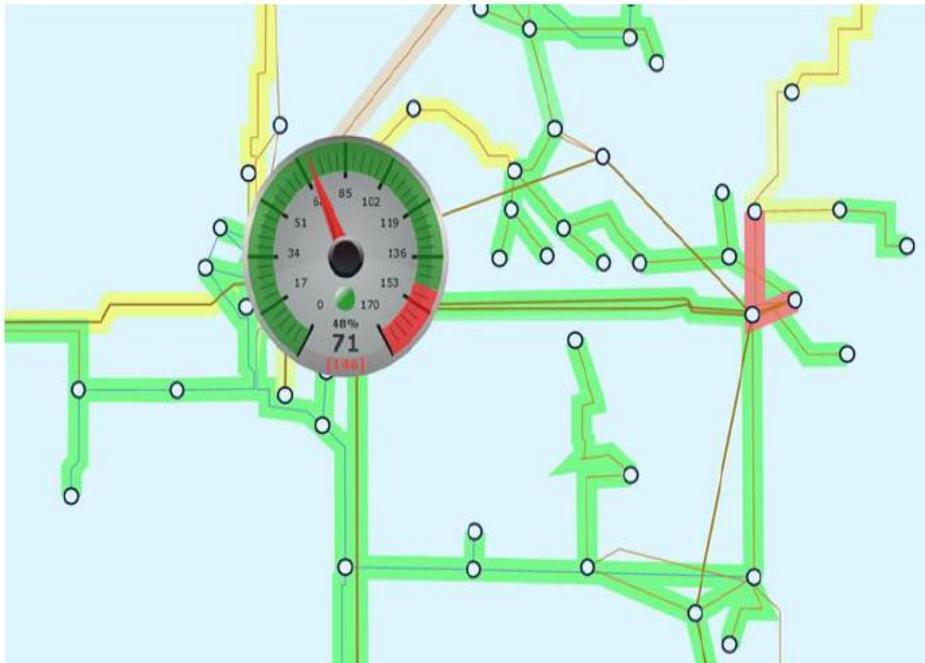


圖 34 CIMSpy 線路潮流超載情況視覺化

參、心得及建議

1. 先進成熟電網大都已在其日常業務中引入網路模型管理的概念，並以 CIM 進行網路模型的資訊交換，旨在建立一個資訊集中化且輸出唯一化的網路模型管理系統，減少員工將時間重複消耗在電網模型的建模，並擁有更多的時間可以進行電力系統分析並實際解決電網的問題，以此增加電網的管理效率。隨著未來越來越多的分散式資源併網，台電未來各個部門在電網模型資訊的維護與更新上一定會越來越頻繁，若沒有一個統一管理的系統，定會造成各部門的工作繁重，或是必須捨棄某種程度的電網資訊準確度來保證既有業務可以運行。此方法雖無不可行，但捨棄部分電網資訊必定加大電網模擬分析與實際電網的誤差，可能無法正確評估出電網的實際狀況。根據 Power Info LLC 提供的資訊，過去南加州曾發生大停電，事後調查發現原因竟是電力系統即時運轉模型 (Operation Model) 有誤導致。倘若台電能導入網路模型管理系統，並建立一套妥善的模型交換和管理機制，藉由各個單位部門的共同維護與更新，預期將有效減少各部門消耗在維護模型上的時間，並且可以保證各單位部門共享相同的電網資訊，既可增加員工效率又可減少發生模型錯誤的可能，為提升電網可靠度之目標打下良好基礎。
2. CAISO 有一套 RIMS (資源併網管理系統)，用來追蹤和管理所有新增/修改發電機組及輸電設備的併網申請、審查和核准，該管理系統對於維護/更新網路模型至關重要。建議台電未來亦可建立類似於 CAISO RIMS 的管理機制或管理系統，不僅可讓未來導入的 NMM 系統可以獲取最新的新設備併網資訊，還可使各單位透過該管理系統快速掌握現在及未來的設備併網規劃。
3. 拜訪 CAISO 時首先參觀了 CAISO 的控制室，相較於台電調度處的控制室，其控制桌與人員配置比台電還多，且分工更為細緻，包含了值班經理、3 位電源調度員、3 位電網調度員、2 位市場運轉、2 位運轉工程師及資訊系統技術支援。台電調度室則有台北/高雄各 1 位值班經理、電網主任及電源主任。CAISO 的調度員雖然不像台電的調度員具有電機背景知識，但如果在工作時真的遇到電力系統問題，可以尋求運轉工程師 (電力系統技術幕僚單位) 的協助。而遇到市場系統的問題則可以尋求市場運轉主任和資訊系統技術支援的協助。CAISO 可謂將所有與市場及系統運轉相關的人員，都安排一些人力在調度室共同參與市場與系統的即時運轉。在台電，調度員具備電機背景知識，因此有一部分的問題可交由調度員或值班經理自行處理，然而也有一些問題涉及調度處調度組的工作，調度組並非值班人員，遇假日或下班時段，會無法在當下即時處理這些狀況，通常是待正常上班時間再來處理。這可能會導致市場會出現一些小問題，如預測偏差、機組停電工作狀況調整、運轉策略調整等。

若調度組亦能有一位值班人員在調度室工作，則可以更好得與調度員及市場營運協調這些狀況。在市場系統方面，未來若要發展市場最佳化自動調度，可能也可以安排市場系統相關人員於調度室工作，以確保整個市場最佳化系統的運作正常。

4. 目前調度處正在導入電力市場管理系統(EMMS)並發展自動調度的技術，未來若要落實最佳化自動調度的目標，會需要調度員、調度組、市場系統之間更緊密的合作關係，方能保障市場最佳化排程與自動調度工具所產生的結果能符合調度室、發電資源端的需求。
5. 參考 CAISO 的停電工作流程以及相關技術，CAISO 使用 OMS 進行停電工作的管理，並且將 OMS 的停電工作資訊分享給其他應用程式系統，如市場系統、網路模型管理系統、EMS、規劃部門、結算系統等，這使得各資訊系統都清楚未來的停檢修工作，並且若發生計畫變更，可以保證隨時取得最新的狀況。台電調度處也有一套審修系統(PMS)，調度處的審修流程其實已經算是規劃完善，惟市場軟體會需要更詳細的資料，需要近一步規劃如何開發或加強既有的資訊系統，以利市場軟體獲得詳細可用的資料。此外，市場軟體所使用的停檢修資訊資料來源，建議要與既有審核作業密切結合，方能在既有的審修作業模式下，盡量維持資訊來源的正確性與單一性，使市場軟體的運算結果與實際狀況相符。
6. 狀態估計(State Estimation, SE)對於市場軟體取得電力系統狀況、機組狀況、機組發電量等資訊尤為重要，參觀 CAISO 控制室時順道問了負責市場系統的相關人員有關於 SE 的使用狀況，得知 CAISO 每 1 分鐘都會執行一次 SE 並將結果提供給市場系統，以確保市場系統可以隨時掌握電力系統狀況和資源的發電量，確保即時市場的運算結果與實際狀況相符。建議調度處的 EMS 若可行，也可以將至少每 1 分鐘提供一次 SE 運算結果訂為發展目標。
7. 針對複循環機組，經過與 Kwok 的訪談，得知目前北美使用組態模型的 ISO/RTO 其實也並不算多，目前已經 CAISO 以及 SPP 有使用組態模型進行複循環機組的最佳化排程與調度。CAISO 使用多階段發電資源(Multi-Stage Generating Resources, MSG)進行建模，並且對於 MSG 的運用與規劃均非常完善，包含調度指令發送、啟動/解聯、組態轉換、停電工作回報等等。台電若要使用組態模型來運行最佳化，未來的市場管理系統(EMMS)、自動調度系統(ADS)、審修管理系統(PMS)、複循環機組參數和註冊資訊等等，均可以將 CAISO 的做法當作台電良好的參考方向。
8. 在各個資訊系統整合方面，與 Kwok 的訪談得知目前大部分供應商都可以提供以 API 技術進行資訊交換，並且建議各個系統盡量只拿取必要的資料，以避免將資源浪費在不必要的資訊交換上。在電腦資源及資訊處理資源有限的情況下，這對於電力系統營運這種需要進行複雜資訊交流

的生態來說是個重要的觀念，未來要進行資訊系統整合時，在資源有限的情況下均應當考慮資料交換的必要性。

9. 在與 CAISO 訪談中，得知人員使用內部資訊系統時，在進行多因子認證後，便可依據讀或寫權限操作系統，這表示 CAISO 對於內部系統的帳號與存取閘道進行整合，並使用條件式存取控制，這樣的作法可讓權限集中控管，使權限即時更新並保持最小授權原則，提高身分驗證的安全性。未來台電在建置各資訊系統時，可考慮參考 CAISO 作法使用統一存取閘道的方式。
10. 過去傳統資安架構，當威脅進行內部網路之後便可取得信任，CAISO 的架構是採用零信任模式，對任何的連線都經過身份認證、設備鑑別、信任判斷，即使為內部連線也是相同，而透過零信任模式的統一存取，將所有的資安防護能力集中一點，可使後端資訊系統專注於系統功能，減少資安功能重複設計的困擾。這類資安模式的轉換並不是可以一步到位，需在身份與存取管理、設備安全、網路安全、應用程式與工作負載保護與數據保護等五大領域逐步達成不同的目標與措施才行，目前台電可考慮先強化身分認證機制，並確保所有存取都是經過驗證與授權方面進行。

肆、参考文献

- [1] California ISO. (2024, December 23). Business Practice Manual for Market Instruments. Version 90.
- [2] California ISO. (2024, December 23). Business Practice Manual for Market Operations. Version 100.
- [3] California ISO. (2023, July 27). Business Practice Manual for Outage Management. Version 30.
- [4] California ISO. (2024, September 12). Business Practice Manual for Managing Full Network Model. Version 26.
- [5] California ISO. (2022, March 8). Business Practice Manual for Settlements and Billing. Version 29.
- [6] California ISO. (2023, July 24). Business Practice Manual for Congestion Revenue Rights. Version 30.
- [7] California ISO (2025, January). Operating Procedure 1210 Day-Ahead Market. Version 19.7.
- [8] California ISO. (2024 April). Operating Procedure 2210 Real-Time Market Activities. Version 11.5.
- [9] California ISO. (2022 May). Automated Dispatch System User Guide. Version 1.2.
- [10] California Energy Commission. (n.d.). 2023 Total System Electric Generation. Retrieved from <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/2023-total-system-electric-generation>. (2024, December 31).
- [11] California Energy Commission. (n.d.). California Energy Storage System Survey. Retrieved from <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/california-energy-storage-system-survey>. (2024, December 31).
- [12] California ISO. (n.d.). Balancing authority. Retrieved from <https://www.caiso.com/about/our-business/balancing-authority>. (2025, January 3).
- [13] Western Energy Market. (n.d.). Retrieved from <https://www.westerneim.com/Pages/About/default.aspx>. (2025, January 4).

- [14] California ISO. (n.d.). Training Center Markets and operations. Retrieved from <https://www.caiso.com/stakeholder/training/markets-and-operations>. (2025, January 5).
- [15] Federal Energy Regulatory Commission. (2025, January 13). FERC Order No. 2222 Explainer: Facilitating Participation in Electricity Markets by Distributed Energy Resources[i]. Retrieved from <https://www.ferc.gov/ferc-order-no-2222-explainer-facilitating-participation-electricity-markets-distributed-energy>. (2025, January 17)
- [16] Power Info Website. (n.d.). Retrieved from <https://www.powerinfo.us/>. (2025, January 21)
- [17] Power Info. (2021, March). CIMSPy User Guide. Version 2.7.
- [18] Power Info. (n.d.). Introduction to CIMSPy and M3.
- [19] Power Info. (n.d.). CIMSPy Use Cases.