

出國報告(出國類別：開會)

電網編排協調軟體(GridOS) 全球用戶會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱： 葉宏志 電機工程監
蔡宗哲 電機工程師

派赴國家/地區：美國/波士頓

出國期間：114 年 6 月 8 日至 114 年 6 月 15 日

報告日期：114 年 8 月 8 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：電網編排協調軟體(GridOS)全球用戶會議

頁數 44 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
葉宏志	台灣電力公司	電力調度處	電機工程監	02-2365-1234#11394
蔡宗哲	台灣電力公司	電力調度處	電機工程師	02-2365-1234#19176

出國類別：☐1.考察 ☐2.進修 ☐3.研究 ☐4.實習 ☒5.其他：開會

出國期間：114 年 6 月 8 日至 114 年 6 月 15 日

派赴國家/地區：美國/波士頓

報告日期：114 年 8 月 8 日

關鍵詞：電網編排協調(Grid Orchestration)、資料治理(Data Governance)、人工智慧/機器學習(AI/ML)、數位轉型(Digital Transformation)、數據聯邦(Data Federation)、數位孿生 (Digital Twin)、GridOS

內容摘要：(二百至三百字)

因應全球能源轉型及再生能源快速併網帶來的調度與管理挑戰，此次參加「Orchestrate 2025 GridOS Customer Conference」，聚焦於如何透過 GridOS，加速實現電網架構與營運模式變革。此會議由 GE Vernova 於美國波士頓舉辦，會議邀集美、加及亞洲等電力公司共同參與。

GridOS 為 GE Vernova 之電網軟體，其應用產品包含：電能管理系統(AEMS)、配電管理系統(ADMS)、分散式資源管理系統(DERMS)及市場管理系統(AMMS)等。本此會議聚焦於 GridOS 解決方案及 AI 技術之運用，會議中以數據治理為核心概念，整合 AI/ML 演算法、雲端運算與數據治理等技術，以實現 IT 與 OT 網域之資料融合，協助本公司了解最新 AI 技術於電力系統中的應用趨勢。

本報告內容將說明 GridOS 軟體架構、AI/ML 於電力系統之應用、及簡述 PJM、South Power Pool、ISO New England 及 MISO 分享市場系統實作與 AI 導入理念。

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、 出國行程	6
貳、 會議目的與議程	7
一、 緣起與目的	7
二、 會議簡介	7
三、 議程內容	8
參、 GridOS 介紹	9
一、 GridOS 整體解決方案	9
二、 GridOS 軟體產品生態系	11
肆、 AI/ML 及資料治理技術於電力系統之應用潛力	21
一、 適用現代電力系統領域之 AI/ML 特性與優勢	21
二、 資料數據治理技術之重要性	22
三、 AI/ML 和資料治理技術於現代電力系統領域之應用	24
四、 AI/ML 於電力系統應用之潛在挑戰	26
伍、 GridOS Markets 及美國電力市場動態交流	27
一、 GridOS Market 產品動態更新	27
二、 系統可靠性與效能改進	28
三、 2026 年及以後的技術重點	29
四、 客戶導入與過渡策略	29
五、 Markets 核心 MCE 最新發展	29
六、 ISO 導入及合作案例分享	31
七、 AI/ML 及資料治理於電力系統變革之展望	38
陸、 心得與建議	41
一、 奠定數據驅動基礎：建構統一數據治理與現代化平台	41
二、 導入 AI 智慧應用：從輔助決策到營運優化	42

三、借鏡北美 ISO 經驗，留作系統建置參考.....	43
柒、 參考文獻	44

圖目錄

圖 1、GridOS 架構.....	11
圖 2、植被與線路資產管理.....	16
圖 3、災後損害 3D 對比報告.....	16
圖 4、野火 72 小時前區域風險分級.....	17
圖 5、設備管理資訊介面範例.....	18
圖 6、資產管理建模與實際對照.....	18
圖 7、Data Fabric 模組架構.....	24
圖 8、災害模擬案例自動生成.....	25
圖 9、PJM、ISO-NE、MISO 及 GE Vernova 會談	38

壹、出國行程

本次出國行程 114 年 6 月 8 日自桃園國際機場出發，美國紐約時間時間 6 月 8 日晚上抵達美國紐約約翰甘迺迪國際機場(JFK)，於 6 月 9 日由紐約移動至會議舉辦地點—波士頓。6 月 10 日至 6 月 13 日參加 GE Vernova 公司舉辦之「Orchestrate 2025 GridOS Customer Conference」全球用戶會議，了解交流 GridOS 軟體和各相關領域之議題及發展趨勢。出國行程如下表所示。

出國行程表

時間	起訖地點	行程概要
114.06.08~114.06.09	台北→紐約 →波士頓	往程
114.06.10~114.06.13	波士頓	參加 GE Vernova 電網編排協調軟體(GridOS) 全球用戶會議 (Orchestrate 2025 GridOS Customer Conference)
114.06.14~114.06.15	波士頓→紐約 →台北	返程

貳、會議目的與議程

一、緣起與目的

為應對全球能源轉型趨勢及國家再生能源發展目標，隨著太陽能、風力發電等間歇性再生能源佔比持續提高，以及電動車、儲能系統等分散式能源 (DERs) 的快速普及，傳統電網的穩定性、可靠度與調度彈性面臨前所未有的挑戰。本公司亦正處於電網結構、營運與管理模式，以及建立電力市場機制的關鍵轉型期。如何整合日趨龐雜的電網數據、提升調度決策的即時性與精準度，且設計符合政策趨勢下之電能和輔助服務市場功能，藉由數位化與智慧化技術，打造兼具韌性與效率的現代化電網，已成為本公司刻不容緩的核心課題

為汲取國際電力相關產業在智慧電網技術、調度與市場營運方面的最新發展與實務經驗，職奉派參加由全球能源技術領導企業 GE Vernova 於美國波士頓舉辦之「Orchestrate 2025 GridOS Customer Conference」年度用戶大會。本次會議聚焦於其專為電網協調 (Grid Orchestration)設計的 GridOS® 軟體組合，該平台整合了數據治理、人工智慧、機器學習(AI/ML)及雲端運算等先進技術，旨在協助全球公用事業應對永續能源電網的複雜性。

本報告旨在探討會議期間所獲得之專業新知、技術趨勢與實務應用案例，特別針對 GE Vernova 提出的 GridOS 整體解決方案，及其核心軟體產品，包含數據整合與管理(Data Fabric)、電網市場(Markets)等進行研析。期望透過本次會議的交流與學習，能為本公司未來在電網現代化、數位轉型及電力暨市場管理系統 (Energy and Market Management System, EMMS) 的設計與建置，提供具體且具前瞻性的參考。

二、會議簡介

「Orchestrate 2025 GridOS Customer Conference」為 GE Vernova 公司舉辦的年度旗艦級用戶大會，於 2025 年 6 月 10 日至 13 日在美國波士頓舉行，且今年該會議首度提升至全球等級。本次會議的核心宗旨在於展示其 GridOS 軟體組合如何協助全球電力公司駕馭能源轉型帶來的挑戰。會議強調，透過雲端部署、AI/ML 技術應用、數據治理應用、網路安全強化及導入新興技術，將是提升未來電網可靠性、韌性與營運效率的關鍵。

會議邀請了來自世界各地的電力產業鏈代表、技術創新研發人員、GridOS 合作夥伴及用戶，共同探討全球能源轉型，資源和負載用電行為改變之趨勢下，電網智慧化的未來發展及潛力。其核心交流主題以 GridOS 相關軟體產品發展和應用，以及 GE Vernova 未來技術研發為主，其中以下主題為會議中討論聚焦之重點：

- **數據驅動的電網協調：**釋放分散在資訊技術(IT)與營運技術(OT)系統中的數據潛力，打破數據孤島，實現跨輸電、配電到電網邊緣的協調決策。
- **AI/ML 的轉型力量：**將人工智慧與機器學習導入控制室營運、電網規劃與資產管理，從被動反應轉向主動預測，提升電網自主性與韌性。
- **雲端技術的靈活性與擴展性：**利用雲端平台提供具成本效益的運算與儲存能力，並加速新功能（如 AI/ML）的部署與迭代，以適應快速變化的電網環境。
- **合作夥伴生態系統：**GE Vernova 規劃其完整的全球合作夥伴計畫，旨在賦能合作夥伴，共同為電力公司客戶建立更強大、更具效益的電網解決方案。

三、議程內容

本次會議議程安排扎實，且因內容議題廣泛豐富，故會議安排模式為同時間多場次平行進行，與會者可依會前報名及有興趣之主題前往指定場地，各場次進行形式也十分多元，包含專題演講、經驗分享，也有著重整體與會人員經驗及想法交流反饋之圓桌會議(huddles)，跳脫傳統會議單向被動的資訊分享及提問。以下茲將本次職實際參與，且與公務目標相關之議程依序條列簡介如下：

- **GridOS 合作夥伴高峰會**
由 GE Vernova 全球聯盟與合作夥伴生態系統主管 Josh Lewis 主持，GE 公司專家及合作夥伴輪流演講，簡介討論專為電網協調設計的 GridOS 軟體及其核心產品軟體功能，如 Data Fabric/Connect、DERMS 及 Visual Intelligence 等，其中圍繞 AI 和資料治理為核心之優勢及發展潛力研討，也發表 GE Vernova 的技術和市場策略及全球合作夥伴計畫。
- **圓桌討論：釋放數據潛力，實現電網協同作業**
由 GE Vernova 首席創新長 Thorsten Heller 及來自英國國家能源系統營運商 (NESO) 與英國電網 (UK Power Networks) 的專家主持，與會人員包含各國電力產業各專業人員，包含資訊、調度等職位之成員。共同探討如何整合 IT、OT 及外部來源的分散能源數據，分享各自於數據治理面之瓶頸，以及對於資料整合平台之未來應用的想像。其中被多次提及之核心問題為 IT 及 OT 資料的差異及限制，造成應用上轉換及處理的成本，對於未來之期許則多為實現統一視圖、數據驅動自動化之跨領域的協調決策。
- **圓桌討論：控制室中的 AI/ML，用於電網營運**
由 GE Vernova 應用電網創新 CTO Avnaesh Jayantilal，以及來自 SCE 與 Florida Power & Light (FPL) 的主管，探討 AI/ML 如何應對再生能源與天氣事件帶來的複雜性，以及輸配電層級電網管理的 AI 輔助應用，以增強調度中心營運，實現更可靠、自主的永續電網。

- 專題討論：利用持續模擬進行 AI 增強型電網互連分析
由 SCE、NVIDIA 與 GE Vernova 共同發表，分享合作開發 AI 增強模擬技術，以優化大量場景模擬，加速分散式能源的併網審查流程，以加速電網強韌，滿足客戶及負載成長需求。
- 專題討論：利用能源數據：釋放尖端 OT 電網協同作業使用案例
深入探討高速 OT(營運技術) 用例對數據的需求，滿足 OT 場域資料持久性、低延遲與即時處理的高性能需求，也分享案例以 AMI 資料整合至 ADMS 訓練 AI 模型，橋接輸配電數據，以最佳化 DERs 之即時調度。
- 專題討論：GridOS 市場產品願景、路線圖與 GridOS 之旅
由 GE Vernova 市場產品管理團隊介紹未來電力市場應用的發布願景和產品路線圖，為本次與會公務考察之重點，詳見後續章節說明。
- 專題討論：釋放創新力量 — AI 和數據實現電網和電力市場轉型
由美國三大電網營運商 PJM、ISO New England 及 MISO 的高層主管，探討 AI、數據和其他新興技術如何支援電網現代化，並解決壅塞管理、市場優化等挑戰。
- 專題討論：未來控制室：主動電網協同作業，實現可靠性和彈性
探討 AI/ML 及未來技術驅動控制室從被動反應式營運，轉變為主動預測性、具備強大態勢感知能力的自動化控制室。

參、GridOS 介紹

GE Vernova 的 GridOS 是本次會議的核心，定位為首個專為電網協奏（Grid Orchestration）打造的軟體平台，其系統架構以高可用性、高擴展性為原則，打破 IT 與 OT 壁壘，協助公用事業整合跨領域數據與資源。GridOS 解決方案強調從被動管理轉向主動協奏，統一協調發電、輸電、配電、市場與用戶側行動，結合自動化與整合數據，優化電力流，應對能源轉型下的高複雜性與不確定性。

一、GridOS 整體解決方案

GridOS 的整體解決方案架構，可視為電網的整體管理中樞。其核心理念是建立一個統一的數據基礎，並在此之上運行多功能之應用程式，以實現跨領域的協同運作，其主要有以下特點：

- **專為電網協調設計：**
GridOS 的設計初衷是為了解決日益複雜的電網管理問題，包括再生能源的間歇性、分散式能源(DERs)的整合、電動車(EVs)的充電管理，以及電網的去碳化需求。

- **推動動態與自主電網：**

透過雲端部署，GridOS 能夠利用彈性的運算資源，實現動態的電網協調。結合 AI/ML 技術，它能增強控制室的自動化決策能力，甚至在未來實現分區自主控制(Zonal Autonomous Control, ZAC)，讓局部電網能根據中央策略自主應對區域內的狀況，大幅提升電網韌性與反應速度。

- **數位孿生(Digital Twin)基礎：**

GridOS 的一個關鍵目標是建立電網的數位分身。透過 GridOS Model Manager，將所有電網資產與數據整合到一個單一、可信的多領域電網模型中，為精準的預測、模擬與自動化控制奠定基礎。

- **專為營運技術(OT)設計：**

會議強調 IT 企業級的數據處理無法滿足電網高速、即時的 OT 資料需求。GridOS 資料平台專為處理 SCADA、PMU 等時間序列數據而設計，滿足低延遲的嚴苛要求。

而架構面，GridOS 採用現代化、模組化的微服務架構，並以雲端原生 (cloud-native) 技術為基礎，具備靈活部署、彈性擴展與高可用性等特性，以支援未來智慧電網協調運作的系統需求，以下概述其系統架構優勢：

- **混合雲基礎設施：**

支援部署於地端、雲端或混合雲，提供不同 IT 架構下的部署彈性，因應各種營運場景與合規需求。

- **微服務與模組化分層設計：**

平台採分層設計，底層是負責數據整合與管理的 GridOS Foundation (以 Data Fabric 和 Connect 等實現)，中層是各類核心應用 (如 ADMS、AEMS、DERMS)，頂層則是實現特定業務目標之產品。這種架構提供高度靈活性，公用事業可根據自身需求，階段性地導入所需模組。且透過鬆耦合的模組化設計，各項功能與應用可獨立開發、維護與升級，提升系統韌性與敏捷性。

- **聯邦式架構 (Data Federation)：**

GridOS 資料平台並非一個集中儲存所有數據的資料庫。它建立了一個虛擬的統一數據視圖，數據本身仍保留在原始系統 (如 EMS、GIS) 中，透過此架構進行存取。此舉不僅尊重各單位的數據所有權，確保數據品質，更大幅降低了數據整合的複雜度與風險。

- **零信任安全架構 (Zero Trust Grid Security)：**

內建零信任模型，跨 IT/OT 層面執行身分驗證、授權控管與威脅防護，加強整體資安防禦力。

- **共享應用與服務：**

標準化並統一如 SCADA、模擬、建模與預測等基礎共通元件，供不同應用模組重複使用，提升開發與運維效率。

二、GridOS 軟體產品生態系

GridOS 平台涵蓋一系列相互關聯協作的軟體產品與服務，形成一個完整的電網管理生態系。茲將其主要產品依軟體基礎平台、核心應用分層，並納入部分擴展應用與服務，分別詳述如下：

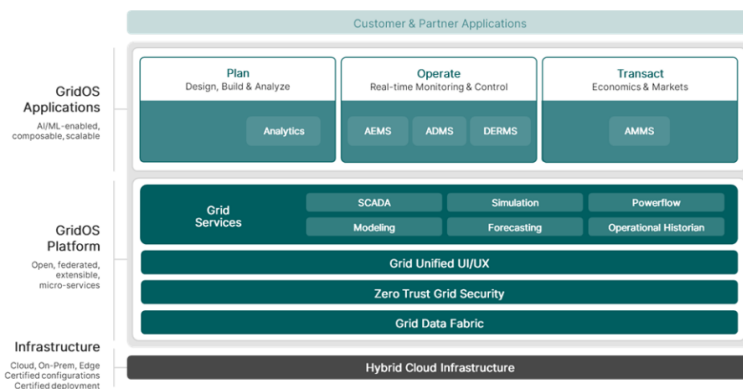


圖 1、GridOS 架構

- **基礎平台 (Foundation)：**

1. GridOS Connect

- A. 產品功能說明：

GridOS Connect 是一個可擴展的數據整合引擎，作為 GridOS 平台的基礎組件。其核心功能在於提供一個標準化的介面，用於連接、攝取和路由來自 IT、OT 及外部來源的數據。它支援多種工業協議與標準，確保數據能在不同的應用程式與安全區域之間無縫、安全地流動。

- B. 解決問題與應用：

- a. 解決數據孤島問題：打破傳統上各獨立系統（如 SCADA、GIS、OMS、氣象服務）之間的溝通壁壘，終結點對點（P2P）整合方式所需的高昂成本與缺乏彈性的困境。
- b. 簡化數據存取流程：許多應用程式需要多來源的數據才能運行，本產品旨在建立一統一的數據存取層，讓數據的流動與取用標準化。
- c. 整合跨領域數據：應用於整合來自電網運營技術（OT）、企業資訊技術（IT）以及外部（如氣象、市場）的數據，將即時、歷史與預測數據融合，提供給上層應用系統（如 ADMS、DERMS）使用。

C. 核心價值與效益：

透過提供統一數據接入點，大幅降低新應用系統的介接成本，從而實現「隨插即用」的整合能力。加速創新應用的開發週期，更透過打破數據孤島，釋放內部數據的全部潛力，是實現數據驅動決策的基礎。

2. GridOS Data Fabric

A. 產品功能說明：

Data Fabric 是專為電網設計的數據管理層，負責將來自各方的原始數據，進行即時的處理、清洗、加工與情境化(contextualization)，轉化為高品質、可信賴的智慧數據。其功能包含數據治理、品質校驗、數據來源追蹤，以及將數據對應到統一的電網模型。

B. 解決問題與應用：

- a. 解決數據品質與一致性問題：針對原始數據常有的錯誤、延遲、不一致或缺失等問題進行處理，這些問題是導致分析失準、AI 模型預測錯誤及決策品質低落的根本原因。
- b. 賦予數據情境意義：將孤立的數據點（如一個電壓讀數）與統一的電網模型（CIM）相結合，賦予其物理位置、設備類型等情境資訊，使其轉化為有意義的智慧數據。
- c. 支援高階分析與 AI 應用：應用於為所有上層應用提供可靠、可信的數據基礎。無論是電網規劃分析、AI/ML 模型的訓練與即時推斷，或是數位分身（Digital Twin）的建構，都需要由 Data Fabric 提供高品質數據。

C. 核心價值與效益：

確保數據的「單一資訊來源」(Single Source of Truth)，是 GridOS 平台穩定可靠運行的基石。將龐雜的數據轉化為公司的智慧資產，其效益是顯著提升 AI/ML 應用的準確性與可靠性，並為實現電網數位分身提供最關鍵的數據基礎。

• 核心應用 (Core Applications)：

3. GridOS Markets (市場管理系統)

A. 產品功能說明：

隨著各國電力市場的開放與複雜化，建構一個高效、公平、透明的市場交易平台，以符合各式市場規則及系統和商品規劃需求，已為全球重視之一大課題。GridOS Markets 產品線正是為此需求而設計，旨在為市場營運商(ISO/TSO) 和市場參與者提供下一代的市場管理平台。

B. 解決問題與應用:

- a. 應對複雜的能源市場結構：解決因再生能源、儲能系統與分散式能源（DERs）大量併網，導致市場結構、價格波動與結算規則日益複雜的挑戰。
- b. 確保市場運營的可靠與公平：幫助市場運營商管理從投標、競價、市場結清到最終結算的完整週期，確保整個過程的可靠、透明與高效。
- c. 提升市場效率與經濟效益：應用於獨立系統操作員（ISO）或輸電系統操作員（TSO），提供一個穩定可靠的交易平台，透過優化的市場結清演算法，降低整體購電成本。

C. 核心價值與效益：

適應未來市場樣貌，透過更精準的市場結清，提升市場運作效率；快速導入新商品與交易機制，增加市場流動性。此商品也是台電近期開始建置之電力暨市場管理系統（EMMS）之核心模組，預期其可考量台灣特殊之能源政策和資源樣態，實現完整市場功能和自動化調度之目標。

4. GridOS ADMS (進階配電管理系統)

A. 產品功能說明:

GridOS ADMS 是一個整合性的配電網管理平台，整合了監控與數據採集（SCADA）、停限電管理系統（OMS）和配電管理系統（DMS）的功能。其進階應用模組功能包含故障定位、隔離和服務恢復（FISR）、電壓/無功功率優化（VVO），以及整合分散式能源的管理能力。

B. 解決問題與應用：

- a. 應對配電網的複雜性與可靠度挑戰：解決日益嚴格的供電可靠度要求，以及因設備老舊、極端天氣事件頻傳所導致的營運挑戰
- b. 管理大量 DERs 併網衝擊：解決高佔比的分散式能源（如太陽能、電動車充電樁）併網後，所引發的雙向潮流、電壓波動及饋線壅塞等問題。
- c. 提升營運效率與事故應變能力：應用於配電調度中心，實現日常的電網監控、停電管理與復電作業。透過故障定位、隔離和服務恢復（FISR）等自動化功能，快速應對事故，縮短用戶停電時間。
- d. 優化電網電壓與能源效率：透過電壓/無功功率優化（VVO），主動管理電網電壓，降低線路損耗，並確保在納入更多 DERs 的情況下電網仍能穩定運行。

C. 核心價值與效益：

提供統一的配電網營運視圖與控制中心，提升調度效率與決策品質。透過自動化應用，顯著縮短停電時間，提升供電可靠度指標（SAIDI/SAIFI），降低營運成本，並在確保電網穩定下，安全地容納更高比例的再生能源。

5. GridOS AEMS (進階電能管理系統)

A. 產品功能說明：

GridOS AEMS 是一套專注於輸電網路監控、控制與優化的軟體系統。其功能涵蓋廣域態勢感知、輸電壅塞管理、穩定度分析、發電排程與控制等，並導入結合更多先進技術，如慣量預估計算、自動化電壓虛功控制及動態線路額定(DDLR)等，以支援更加即時、彈性且精準之電網管理與評估分析。

B. 解決問題與應用：

- a. 管理高佔比再生能源的衝擊：解決因風力、太陽能等間歇性能源大量併網，導致系統慣量下降、頻率穩定度降低，以及發電預測不確定性增加等問題。
- b. 提升輸電網路的韌性與利用率：應對極端氣候事件與網路壅塞的挑戰，透過動態線路額定（Dynamic Line Rating）等技術，安全地提升既有輸電線路的容量。
- c. 確保骨幹電網的穩定與安全：應用於國家級或區域級的電網調度中心，提供廣域態勢感知能力，即時監控與分析全系統的穩定度，防止連鎖事故發生。
- d. 優化經濟調度與市場運營：支援現代市場標準（如 FERC 881），精準預測輸電容量，從而優化發電機組的經濟調度，降低壅塞成本。

C. 核心價值與效益：

其核心價值在於高再生能源及 DERs 的電網結構下，保障電網安全與穩定，提升線路韌性及容量利用效率。以高彈性且智慧支援之功能，優化發電機組調度與輸電網路操作，降低發電成本與輸電損耗；並在發生重大擾動時，以更高度之即時性和評估分析能力，提供調度員關鍵的決策支援。

6. GridOS DERMS (分散式能源管理系統)

A. 產品功能說明：

GridOS DERMS 是一套端到端 DERs 管理解決方案。功能涵蓋從 DER 的註冊與併網審查、即時可視化監控、發電量預測，到單一或群組化的 DERs 調控、虛擬電廠(VPP)管理，以及參與電力市場的優化等。

B. 解決問題與應用：

- a. 解決 DERs 併網引發的電網衝擊：針對高密度 DERs（如屋頂太陽能、儲能、電動車）併網造成的電壓急遽波動、饋線逆送電、保護協調失靈等技術問題，進行在地化管理。
- b. 提升 DERs 的可視化與可控性：傳統上，電力公司無法有效監控或控制位於用戶側的 DERs。本產品應用於提供對這些資源的即時可視化監控、發電預測與遠端調控能力。
- c. 將 DERs 整合為電網資源：應用於將大量、分散的 DERs 聚合成虛擬電廠（VPP），使其從潛在的電網問題，轉化為可供調度的資源，用以支援電網穩定或參與電力市場服務。
- d. 優化電網規劃與投資：透過主動管理 DERs，可以更有效地利用現有電網資產，應用於延緩或避免因 DERs 快速增長而必需進行的昂貴電網升級工程。

C. 核心價值與效益：

將不可控、分散的能源，轉化為可控、可聚合的電網級資源，而提升電網對再生能源的容納能力、延緩，或避免因 DERs 併網所需的配電網升級投資，並可將聚合之 DERs 作為輔助服務提供者，增加電網調度的彈性與收益。

• 擴展應用與服務 (Extended Applications & Services)：

7. GridOS Visual Intelligence

A. 產品功能說明：

此為一款先進 AI 應用軟體，能將視覺數據源（如無人機、直升機巡檢影像、衛星影像）與電網網路模型進行整合與分析，提供更加動態且自動化之電網資產監管，並提升現場資訊及風險之掌握和支援。

B. 解決問題與應用：

- a. 降低植被管理及巡檢成本：自動化巡檢辨識可精確偵測植被入侵與隱患，節省人工成本並減少野火、停電風險。
- b. 提升巡檢效率與準確性：多源感測與自動化分析相較傳統巡檢大幅縮短作業時間，提高可靠性。
- c. 風險與韌性管理：極端氣候、自然災害後可快速產生 3D 損壞報告，協助現場團隊復電與調度。
- d. 資產壽命延長：提早識別資產異常，減少設備損壞與非預期維修，提高投資回報。
- e. 推動數位化 O&M 轉型：協助公用事業由被動巡檢轉型為主動、智慧運維平台，提升整體營運效率。

C. 核心價值與效益：

其核心價值在於將視覺數據轉化為可操作的情報，實現從「被動維護」

到「預測性、基於風險的維護」之轉變，提前發現潛在缺陷，降低事故率，並優化維護資源的投入，有效協助公用事業實現營運控管及效率優化。

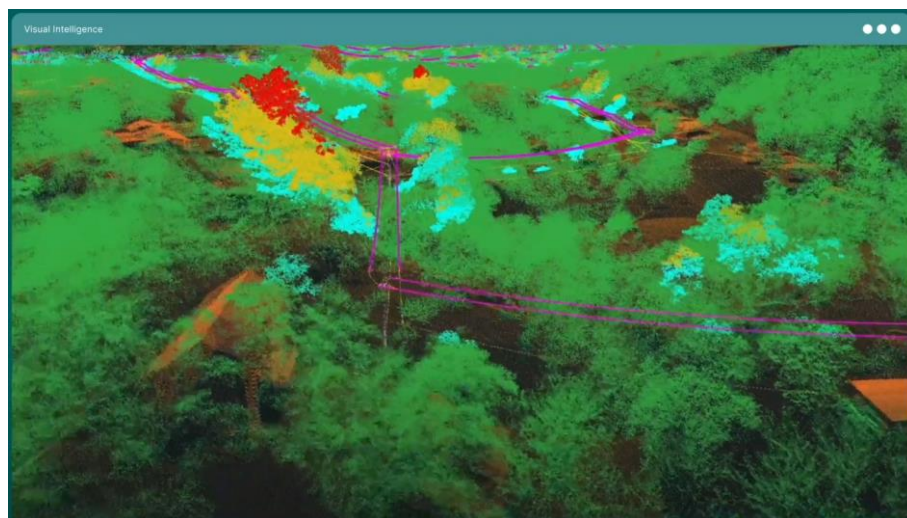


圖 2、植被與線路資產管理

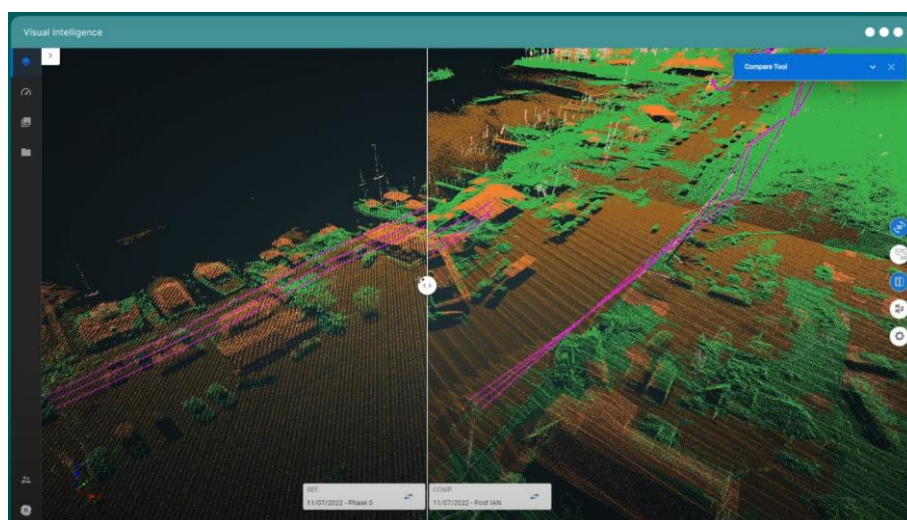


圖 3、災後損害 3D 對比報告

8. GridOS Disruption Planning and Recovery

A. 產品功能說明：

此為一套災變管理軟體解決方案，整合了 GridOS Visual Intelligence、ADMS 及 Disruption Prepare 等應用程式。它利用歷史天氣、停電、成本和設備損壞數據，結合地理空間資訊（GIS）和高解析度天氣預報，進行精準的衝擊預測。在災變事件中，它能即時評估、調度、報告和恢復電力。

B. 解決問題與應用：

- a. 事前預防：在災害來臨前 72 小時，預測惡劣天氣對電網的潛在影

響，包括可能的中斷和損壞，以便提前動員復原資源、保護脆弱的基礎設施。

- b. 事中管理：在災害期間，即時監控電網狀態，利用內建的停電管理系統（OMS）快速評估損害、調度維修人員，並可重新規劃電力路徑，確保電網最大韌性。
- c. 事後協調：災後復原階段，透過單一介面管理內部及外部的維修團隊，處理後勤、費用追蹤、溝通和合約管理等事務。

C. 核心價值與效益：

此解決方案以 AI/ML 數據分析為核心，強化電網在事前、事中與事後的全方位管理，有效提升韌性與可靠性。透過精準預測與決策支援，管理者能更有效地配置人力與資源，降低災害衝擊、停電頻率與損害成本。整體而言，平均可減少電網中斷次數達 21%，並顯著加快災後復原速度，實現更高效穩定的電力系統運作。

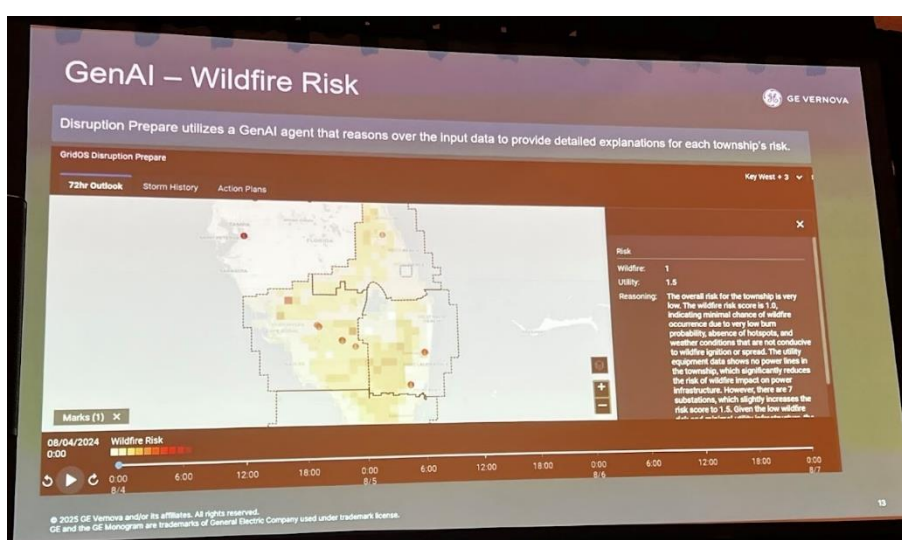


圖 4、野火 72 小時前區域風險分級

9. GridOS Geo Network Management

A. 產品功能說明：

以地理資訊系統（GIS）為核心的網路管理解決方案，其能以地理空間的方式，精準地建立、管理和視覺化呈現公用事業（電力、水、天然氣、電信）的實體資產模型。它提供了一個完整且互聯的網路視圖，整合了從資產規劃、設計、建造到營運維護的整個生命週期數據。

B. 解決問題與應用：

- a. 資產管理：精確記錄每一項資產（如電線桿、變壓器、管道）的位置、屬性和狀態。

- b. 網路規劃與設計：在地理圖上進行擴建或改造的規劃設計，模擬不同方案的可行性。
- c. 營運與維護：快速定位故障點，為現場維修人員提供準確的資產位置和網路連接資訊。
- d. 數據整合平台：作為核心平台，與其他營運系統（如 ADMS, OMS, WAMS）整合，提供一致的地理空間數據基礎。

C. 核心價值與效益：

為公用事業建立一個準確、即時更新的網路模型，作為所有部門共享的「單一資訊來源」，徹底解決數據孤島問題。提高營運效率，加速故障排除、維護規劃及新服務部署流程，以減少不必要的現場勘查來降低資本支出與營運成本，同時其強大的視覺化分析能力，更能增強數據驅動的決策品質。

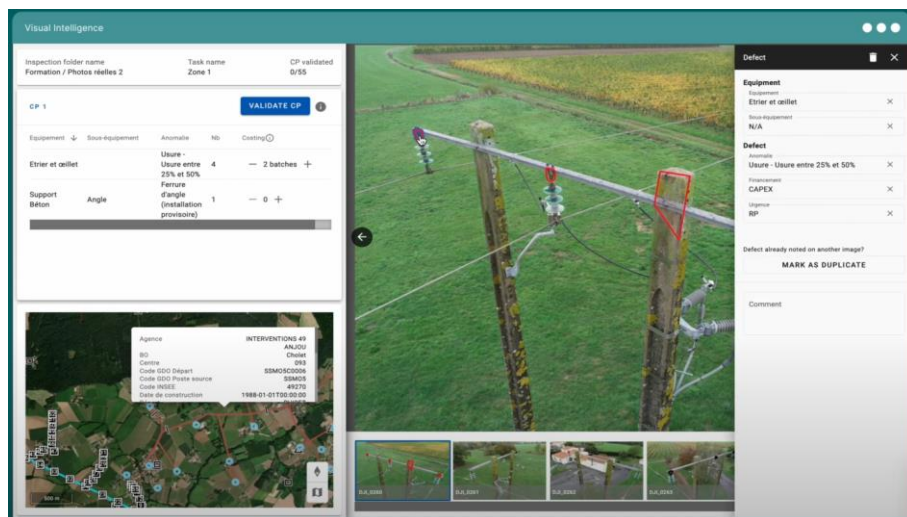


圖 5、設備管理資訊介面範例

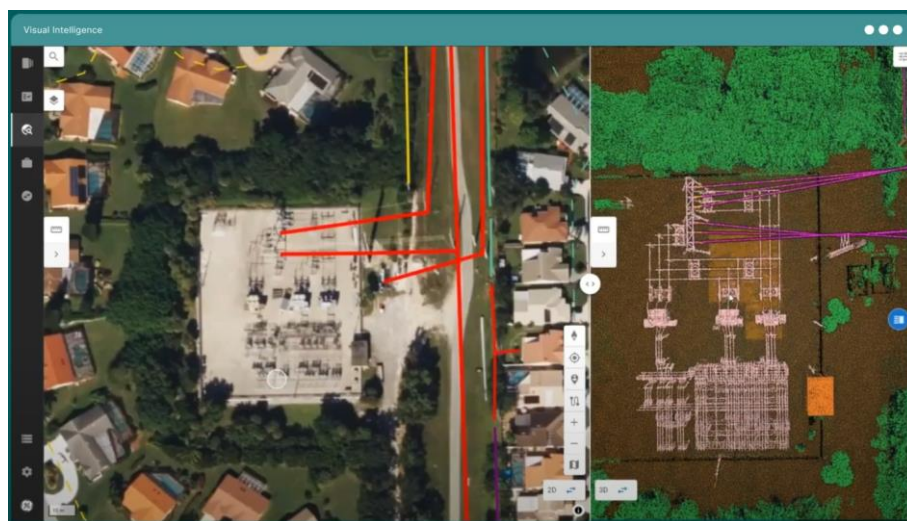


圖 6、資產管理建模與實際對照

10. Renewables Management

A. 產品功能說明：

包含一系列智慧應用程式，用於管理大規模再生能源、分散式能源（DERs）及電動車（EV）的規劃。它結合了資產績效管理（APM）、預測分析、儲能解決方案（如電池和抽水蓄能）以及電網管理策略，確保再生能源高效、穩定地併入電網。

B. 解決問題與應用：

- a. 發電預測與監控：根據天氣等因素預測發電量，並即時監控發電狀態。
- b. 儲能系統管理：在發電高峰期儲存多餘電力，在低谷或高需求時釋放，以平滑輸出曲線。
- c. 電網平衡與穩定：管理大規模再生能源場，確保其穩定地為電網貢獻電力，同時管理慣性等電網參數。
- d. 資產維護與優化：透過 APM 軟體和數位分身(Digital Twin)技術，監控風力發電機等資產的健康狀況，進行預測性維護，提高資產可靠性和生產力。

C. 核心價值與效益：

加速客戶的能源轉型進程，透過有效整合不穩定的再生能源，確保了電網的高度可靠與穩定。在營運層面，藉由精準的發電預測、儲能優化調度及預測性維護，可幫助客戶降低高達 40% 的營運成本，最大化再生能源資產的價值，透過精細化管理與智慧維護，延長資產壽命，也提高發電效率與最終的盈利能力。

11. Wide Area Monitoring System (WAMS) (廣域監測系統)

A. 產品功能說明：

利用部署在電網各處的相量測量單元(PMUs)，即時收集高頻率的電壓、電流、頻率和相角數據。它為營運商提供了超越傳統 SCADA 系統的、覆蓋廣泛區域的電網動態視圖，能夠精確監測電網的振盪行為和穩定性。

B. 解決問題與應用：

- a. 即時穩定性監測：監測電網的低頻振盪，及時發現並處理潛在的穩定性問題，防止問題擴大。
- b. 故障分析：將擾動分析過程從數天縮短至數小時，快速定位擾動源並進行特性分析。
- c. 孤島操作與再同步：在電網解聯形成電力孤島時，判斷其內部是否平衡，確保重新併網時的平穩順利。

d. 模型驗證：利用高精度的 PMU 數據來驗證和校準電網的動態模型。

C. 核心價值與效益：

大幅提升營運商對電網動態的情境感知能力，提供了一個全面且即時的廣域電網態勢圖，讓營運商能迅速偵測並應對各種異常狀況，從而提高電網穩定性與可靠性。此外，該系統能夠促進再生能源的整合，幫助應對其引入的動態問題。最終，WAMS 能優化電網的營運效率，讓電網在更接近其物理極限的條件下安全運行，有效減少不必要的能源損失。

12. Network Operations

A. 產品功能說明：

提供對輸配電網路的即時可視性、優化與控制。結合先進能源管理系統（AEMS）、先進配電管理系統（ADMS）以及廣域監測系統（WAMS），形成一個強大的指揮中心，以更高的效率和可靠性來協調網路營運。

B. 解決問題與應用：

- a. 統一監控與控制：在單一平台上整合輸配電網的數據，提供全面的即時視圖。
- b. 自動化與優化：實現電壓控制、系統恢復等複雜控制室操作的輔助或全自動化。
- c. 再生能源與 DER 整合：無縫整合分散式能源，管理其波動性，同時確保電網穩定。
- d. 停電管理與恢復：利用 ADMS 的功能，實現自動化的故障隔離和電力恢復，縮短停電時間。

C. 核心價值與效益：

實現跨輸配電網的即時協調與洞察，從而增強了電網的整體韌性。它提供一套完整工具優化潮流，透過自動化恢復和即時優化，能有效減少停機時間和干擾恢復時間，最大化整個網路的可靠性。更重要的是，這套方案幫助電力公司為未來做好準備，使其電網能夠應對能源轉型不斷變化的需求，保持長期的適應性、韌性和前瞻性。

13. Network Lifecycle

A. 產品功能說明：

涵蓋資產從規劃、設計、建造、營運、維護到退役的全生命週期管理策略與服務。結合了數位數據收集、資產生命週期管理（ALM）服務、自動化與保護服務以及技術培訓，幫助變電站或電網所有者制定最有效的維護、升級和更換策略。

B. 解決問題與應用：

- a. 狀態監測與數據收集：透過線上和離線方法收集資產的狀態數據。
- b. 資產優化分析：利用數位技術分析資產營運數據，預測資產行為，優化維護策略。
- c. 維護與升級規劃：建立一個全面的生命週期管理計畫，包括檢查、維修、更換時程以及汰舊換新計畫。
- d. 技術支援與培訓：提供從 24/7 技術支援、遠端診斷到現場工程師的全方位服務，並培訓客戶團隊獨立操作和維護設備。

C. 核心價值與效益：

實跨輸配電網的即時協調與洞察，從而增強了電網的整體韌性。它提供一套完整工具優化潮流，透過自動化恢復和即時優化，能有效減少停機時間和干擾恢復時間，最大化整個網路的可靠性。更重要的是，這套方案幫助電力公司為未來做好準備，使其電網能夠應對能源轉型不斷變化的需求，保持長期的適應性、韌性和前瞻性。

肆、AI/ML 及資料治理技術於電力系統之應用潛力

一、適用現代電力系統領域之 AI/ML 特性與優勢

AI/ML 技術導入驅動電力系統分析與營運，從傳統基於確定性規則與人力經驗導向，轉向以數據驅動、具備機率性預測與自主優化能力的智慧化。此不僅提升效率，更是應對系統根本性複雜化所必需的技術演進。其核心技術優勢主要體現於以下幾個面向：

- **大規模計算與高維度問題求解：**

傳統電力系統分析，如互連系統衝擊研究，需由人工手動設置限制條件，並透過窮舉式等方法進行數百萬次電力潮流模擬，此過程耗時且計算成本高昂，時常因資源限制而犧牲分析的全面性。

以 AI/ML 技術之監督式學習（Supervised Learning）中，神經網絡（特別是圖神經網絡 GNNs）對於非線性函數的強大逼近能力，從而建構出能快速響應的代理模型（Surrogate Model）。可訓練其預測在高維情境空間中發生系統違規的機率，並以高效的預篩選機制，毫秒級速度完成推斷，將計算資源集中於物理模擬（如最佳電力潮流 OPF）驗證少數高風險代表性案例。

這將過去依賴大量人力與時間的工作流程，轉變為高度自動化、以小時或天為單位的快速分析作業，大幅提升了應對緊急併網需求的敏捷性。

- **強化非線性系統動態的預測能力：**

傳統預測多依賴基於線性假設的統計模型（如 ARIMA），這些模型在處理由變流器基礎之再生能源（Inverter-Based Resources, IBRs）所引入的高度變

異性、間歇性與非線性動態時，準確度顯著下降。

深度學習（Deep Learning）中的序列模型，如 RNN 或 LSTM，其能有效捕捉大量的時序數據，自主學習複雜的時空關聯性（spatio-temporal correlations），無需人為設定所有物理變數間的關係。這使其能更準確地預測淨負載、變動性再生能源的發電量，並提供更可靠的預測區間。

此外，AI 技術亦可應用於系統狀態估測，例如透過分析 PMU 數據，即時推斷難以直接量測的系統有效慣量，這超越了傳統依賴同步機組運轉狀態進行間接估算的方法。

- **從靜態安全評估到動態風險預測：**

傳統 N-1 偶發事件分析多為離線、靜態評估，依賴調度員經驗判讀固定的偶發事故列表，在系統大規模擾動時，操作員需要同時接收過多資訊，難以即時識別根本原因並反應。

結合了分類模型（Classification Models）進行風險級別判斷，以及運用無監督學習（Unsupervised Learning）中的模式探勘（Pattern Mining），從而自動發掘警報數據中的潛在關聯與因果。此促使評估過程向動態化與前瞻性演進。AI 驅動的事故分析能整合即時數據與預測，滾動評估未來風險。

AI 警報分析能從海量警報中自動識別根本原因與因果鏈（causal chains），將操作員從「被動反應者」提升為「主動監督者」，大幅降低因資訊過載而導致的誤判風險。

- **多目標隨機優化與技術經濟性聯合優化**

現行電網調度多在不同部門或系統中進行孤立的單目標優化（如僅考慮成本最小化或僅考慮線路安全），或分階段處理後相互疊代，且難以有效處理再生能源的預測不確定性。

AI/ML，特別是強化學習（Reinforcement Learning）等技術，能夠在統一框架內處理多目標、隨機性優化問題。可同時權衡系統安全與市場效益，並將預測的不確定性作為輸入變數，透過與環境互動學習最佳決策策略（Policy），以最大化調度策略的韌性。

應用於 DERs 時，AI 能解決大規模分散式資源的優化問題，實現技術與經濟效益的聯合優化（techno-economic co-optimization），釋放電網邊緣的彈性價值，這是傳統集中式、確定性優化演算法難以企及的。

二、資料數據治理技術之重要性

AI/ML 之表現非僅取決於演算法之優劣，另一不容忽視的根本在於高品質、易於存取且管理良好的數據。若無穩固的數據基礎，AI/ML 應用極可能因數據問題而於概念驗證階段就不符預期。而如 GE Vernova 以 Data Fabric 定位為 GridOS 平台實現電網協調不可或缺的數據管理層，其重要性體現在以下幾點：

- **克服數據孤島（Data Silos）挑戰：**

電力公司的數據極為分散，廣泛存在於營運技術（OT）、資訊技術（IT）及外部系統中，形成數據孤島。傳統將數據集中到單一數據池或數據倉之作法，往往因數據的異質性、分散性和即時性要求而效果不彰。會議多次探討「數據聯邦」（Data Federation）架構，以不實際儲存數據，而是建立一個虛擬的統一視圖的方式，讓應用程式能夠跨越孤島存取所需的數據，同時數據的所有權和維護責任仍歸屬於原始單位，確保數據品質與準確性。
- **提供 AI/ML 生命週期所需的數據支持：**

支援 AI 應用兩大關鍵數據流：

 1. 歷史訓練數據：

AI 模型需要大量經過清洗、標記和情境化的歷史數據進行訓練。GridOS Data Fabric 的 Timebase 組件專門用於存檔時間序列數據，為 AI/ML 模型提供豐富的訓練資料來源。
 2. 即時推論數據：

在實際營運中，AI 模型需要快速、低延遲的即時數據作為輸入，以進行準確的推論和預測。GridOS Data Fabric 的 Anybase 組件和 GridOS Connect 整合引擎，確保即時資料流能高效地支持 AI 應用。
- **實現標準化與可擴展性：**

透過提供標準化的數據探索（Discover）、治理（Govern）和利用（Utilize）能力，大幅簡化了數據整合的複雜性。提供低程式碼開發環境和軟體開發套件（SDKs），讓公用事業的現代化團隊能夠加速開發新的應用程式，並確保應用能在同一穩固、可擴展的數據基礎上運行。以 GridOS Data Fabric 為例，其架構於數據治理概要分工如下：

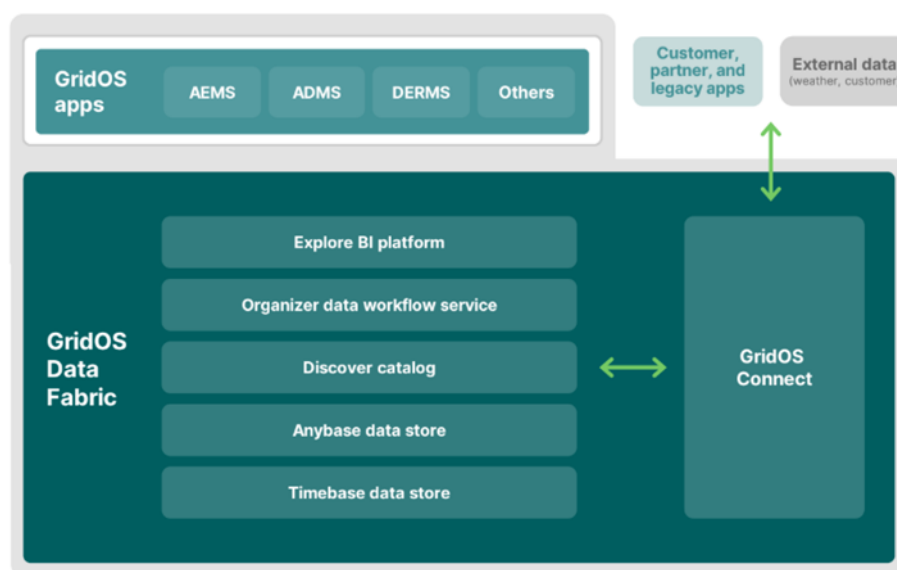


圖 7、Data Fabric 模組架構

1. GridOS Connect：作為數據整合引擎，提供低程式碼（low-code）環境，讓數據整合更加自助化。
2. Discover catalog：作為元數據（metadata）搜尋引擎，讓使用者能快速發現企業內部可用的數據資產，解決「暗數據」（dark data）問題。
3. Organizer data workflow service：作為中間件引擎，協調不同應用程式之間的數據流，降低整合複雜度。
4. Explore BI platform：提供用戶友善的分析工具，讓操作人員和分析師能自行探索、視覺化數據集。

三、AI/ML 和資料治理技術於現代電力系統領域之應用

綜合以上會議介紹及交流內容，結合 AI/ML 與數據治理基礎之解決方案，可預期於現代電力系統領域實現具體的變革性應用，下列將就輸電層級之調度和排程、電力市場及系統長期規劃等層面，探討其未來應用場景及可能性。

• 輸電排程與可靠度分析之應用

1. AI 增強型偶發事件分析：

AI 模型可快速篩選出數千個偶發事故中風險較高之案例，交由傳統的物理解法引擎進行深度分析。GE 於會議中分享，可用 Data Fabric 整合來自 EMS 的即時拓撲、PMU 數據以及來自預測引擎的負載和發電預測，實現真正的「情境智能」（Situational Intelligence）。

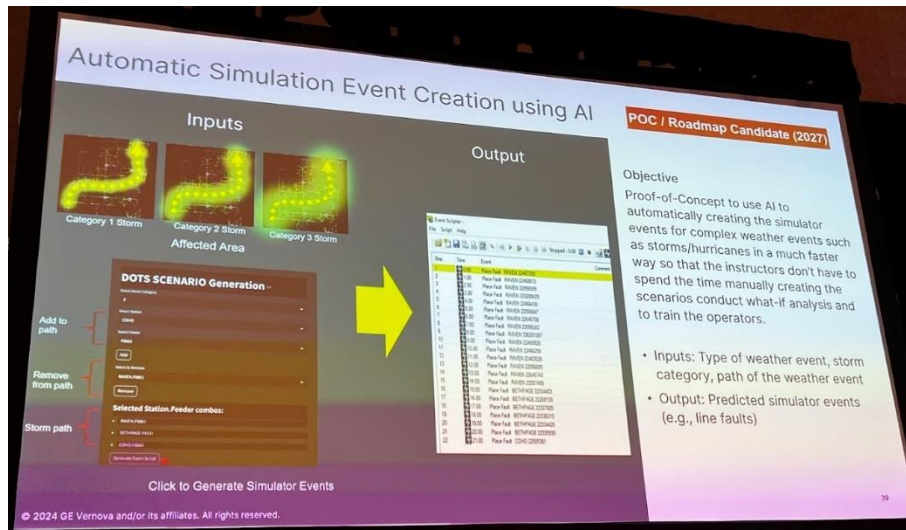


圖 8、災害模擬案例自動生成

2. 虛擬操作員(Virtual Operator)與告警分析：

在控制室中，AI 可扮演虛擬助理的角色，利用大型語言模型（LLMs）協助操作員快速查詢操作手冊。更重要的是，AI 警報分析系統能夠在系統發生大規模擾動產生「警報潮」（Alarm Flood）時，自動進行根本原因分析，幫助操作員專注於關鍵問題及決策，避免人為失誤。

• 電力市場運營與規劃之應用：

1. DERs 的市場參與和優化：

隨 DERs 數量劇增，如何將其整合至市場是一大挑戰。以 GridOS DERMS 為例，可利用 AI/ML 進行預測和優化，使 DERs 能作為一個聚合體參與批發市場或提供區域性的輔助服務。這需要 Data Fabric 整合 DER 資產數據、電網 OT 數據、市場價格信號及結算數據。

2. 數位動態線路額定值（DDLRL）：

為了解決輸電壅塞，傳統常見解決方法為評估並新建電網線路及設備，成本高昂。DDLRL 利用 AI 分析即時氣象數據、線路負載等，動態計算線路的最大安全容量，能有效提升現有資產利用率。此應用完美體現了整合外部數據（如天氣等）與內部 OT 數據以創造經濟價值的模式。

• 電網規劃與投資之應用：

1. AI 強化電網互連分析：

如前所述，此應用透過 AI/ML 大幅縮短新增負載的併網審批時間，整合各時間維度之負載預測數據、發電預測、電網拓撲模型以及多種想定情境（高/中/低負載增長）。

2. 橋接解決方案（Bridging Solutions）規劃：

基礎設施升級需求確立後，AI 系統可進階分析並建議過渡性的「橋接解決方案」，例如部署移動式儲能系統，或與客戶簽訂彈性負載協議。這種規劃方式使電網投資更具彈性與經濟性。

四、AI/ML 於電力系統應用之潛在挑戰

儘管 AI/ML 技術蘊含巨大潛力，但在電力系統此一關鍵基礎設施領域的深度應用，仍面臨多重且複雜的挑戰。這些挑戰不僅涉及技術本身，更延伸至法律、策略及組織管理層面，需在導入過程中進行通盤考量與系統性規劃，以下將以會議中具關注度之議題討論。

- **數據品質與可及性 (Data Quality & Accessibility)：**

AI/ML 模型的產出成效取決於訓練數據品質，無法跳脫「垃圾進，垃圾出」(Garbage In, Garbage Out) 之原則。電力系統數據常分散於不同孤島、格式不一、存在缺失值或標籤不足。在模型開發前，數據清洗、正規化、對齊與驗證等前置作業，需耗費大量的時間與資源，此為許多 AI 專案導入初期最關鍵的前置問題。

- **模型的可解釋性與信任度 (Model Explainability & Trustworthiness)：**

許多高效 AI 模型，特別是深度學習，對於使用者而言本質上是「黑盒子」，其決策過程不透明，這對於要求高度安全與責任可追溯的電力調度及排程是一大挑戰。調度員與監管機構需要理解 AI 所有建議結果背後的具體原因，才能建立信任並在異常時進行干預。此外，生成式 AI 應用於操作支援時，存在產生「幻覺」風險，必須建立嚴格的驗證與防護機制。

- **決策責任歸屬與法律合規性 (Attribution of Decision Responsibility and Legal/Regulatory Compliance)：**

當 AI 系統決策或建議導致電網事故（如大停電、設備損壞）時，責任歸屬將變得極為複雜。責任應由信任該建議的調度員、部署該系統的電力公司、還是 AI 軟體供應商承擔？此法律與責任歸屬的模糊地帶，是管理者與法規制定者面臨的嚴峻議題。為此，多數方案強調「人在迴路中」(human-in-the-loop) 或「人在監督」(human-on-the-loop) 模式，確保最終決策權仍在人類專家手中。然而，這也要求建立清晰的指導方針、操作協議以及符合稽核要求的決策日誌，以利事後追溯。

- **高昂的導入成本與投資回報不確定性 (High Implementation Costs and Uncertainty of ROI)：**

導入 AI/ML 不僅是採購軟體，更是涵蓋數據基礎設施改造、高效能運算硬體 (on-prem 或 cloud)、專業人才聘用及持續維運的龐大投資。在導入初期，如何量化 AI 帶來的效益(如減少的燃料成本、延緩的設備投資、提升的系統可靠度)，

並進行精確的成本效益分析以說服決策層與監管機構，是一大管理挑戰。許多企業亦擔憂預算限制會導致 AI 專案規模過於狹隘或孤立，難以產生全局性的效益。

- 監管框架的滯後與標準化挑戰（Lagging Regulatory Frameworks and Standardization Challenges）：

技術的發展速度往往超越監管法規的更新速度。目前全球電力市場對於 AI 在即時調度決策中的應用，尚缺乏統一的驗證標準、性能指標與監管框架。這使得電力公司在導入創新技術時，可能面臨未來法規變動的風險。如何與監管機構保持良好溝通，透過小規模試點展示 AI 的效益與安全性，共同推動建立合適的監管沙盒與產業標準，是成功推廣的關鍵。

- 資安與新型攻擊向量（Cybersecurity & New Attack Vectors）：

AI 系統導入為電網帶來了新的資安風險。攻擊者可能透過「對抗性攻擊」，即對輸入數據進行微小擾動，來欺騙 AI 模型做出錯誤判斷。此外，AI 應用所需的多源數據整合，也增加了新的攻擊介面。因此，必須採取零信任（Zero Trust）等先進的資安架構，並透過 GridOS Data Fabric 等工具確保 IT/OT 數據交換的安全分段與監控。

- 策略整合、組織變革與人才挑戰（Strategic Integration, Organizational Change, and Talent Challenges）：

為避免 AI 專案陷入「試點煉獄」（pilot purgatory）——即技術驗證成功卻無法規模化推廣的困境——AI 的導入必須與公司長期的電網現代化和智慧化策略緊密結合。這需要成立一個具備決策權的跨職能團隊，整合營運、規劃、IT、數據科學等多方專家，共同制定導入路徑圖。同時，電力產業普遍面臨兼具電力系統領域知識與數據科學能力的跨領域人才短缺問題，對內部的員工再培訓與對外部的人才吸引策略，將是決定 AI 轉型成敗的根本性管理議題。

伍、GridOS Markets 及美國電力市場動態交流

本次與會考察及交流主要目標為 EMMS 系統建置案之相關產品了解，故此章節將說明會議中對於市場產品相關技術之介紹，以及全球電力產業對於相關系統和功能之應用發展趨勢；同時探討美國各大 ISO 特定運用案例，並彙整分享各 ISO 高層針對 AI 與資料治理技術對於電網及電力市場應用之展望。

GE Vernova 市場相關產品重點目前過渡到每月發布一次，並持續改進網路安全以及自動化測試。有限的交易所入口網站於 2024 年 12 月開始快速開發，現已包含眾多功能。

一、GridOS Market 產品動態更新

其輔助提升電力市場的效率與可靠性，該系統的開發策略著重於透過應用程

式的實際部署來累積經驗並推動成熟度，其中包含以下要點：

- 月度發布週期 (Monthly Release Cadence)：GridOS Markets 在過去兩年內已成功轉型為月度發布週期。此轉變帶來了多方面的進步，包括「更嚴格的網路安全」和「更有效的自動化測試」。
- 文件可近性 (Documentation Accessibility)：所有技術文件電子且線上化，並透過密碼保護的網站供客戶存取。
- 版本更新推播：自 2024 年初以來，GridOS Markets 每月向部分客戶，如 ISO New England、MISO 和 SPP 之系統開發環境發布新版本，支持系統的持續進步。

二、系統可靠性與效能改進

- Kafka 實施與抽象化 (Kafka Implementation and Abstraction)：
將檔案共享技術(如 FTP 等)替換為 Kafka 不僅是技術上的更替，可在不更改應用程式的情況下，依然可以對底層架構進行調整。
- 可視性與效能指標 (Visibility and Performance Metrics)：
透過 Grafana 儀表板，GridOS Markets 對效能瓶頸和系統穩定性具高度可視性。這使得團隊能夠更好地不斷改進軟體產品並提供基礎設施建議。
- 備份與恢復 (Backup and Restore)：
新增了備份和恢復功能，允許在不同環境間遷移資料，並支援跨主要版本遷移而不會破壞系統。
- 歸檔系統改進 (Archiving System Enhancements)：
強化歸檔功能，採用兼容 S3 的儲存方案，並提供可搜尋的索引，同時能處理 EMS 介面資料。
- Choreo 工作流程引擎 (Choreo Workflow Engine)：
Choreo 是一套服務和轉接器，旨在實現案例工作流程，並取代現有的資料流和市場控制系統。其設計強化著重於市場清算引擎(Market Clearing Engine, MCE)作業控管，異於通用工作流程引擎之模式，能更易於實現豐富的工作流程狀態記憶體等；其還可與基礎平台的多站點功能整合，支援在多個資料中心運行案例。
- 批量案例重複執行(Bulk Case Rerunner)：
此為 GE Vernova 正為 ISO New England 開發之工具，未來將成 Markets 產品之一元件，旨在為「從歸檔中重新執行大量案例」之需求提供一個研究環

境，通常帶有小的差異，適用於回歸測試或市場監測，該工具將利用 AWS VPC 的 Kubernetes 容器化引擎和動態環境實作。

三、2026 年及以後的技術重點

- Kafka 數據分享及市場資料庫整合：
會議中強調此為 GridOS Markets 未來發展的核心領域，目標是將其應用於 Kafka 和市場資料庫整合，將 Kafka 中數據顯示給 Data Fabric，提升對於數據的可及性，凸顯其應用價值。
- 市場資料庫整合：
使客戶能夠利用 Data Fabric 探索歷史資料並與營運資料整合，有助於簡化資料庫並提高資料可用性。
- GridOS 模擬框架 (GridOS Simulation Framework)：
過去整合市場系統和 EMS 系統常因客製化而難以維護。GridOS Simulation Framework 的目標是取代客製化方案，解決其高維護成本和升級不易的問題。
- 市場營運商介面 (Market Operator Interface - MOI)：
營運商面臨的巨大挑戰是龐大數據量問題，GridOS Data Fabric 將提供機會，使 MOI 與資料來源獨立，從而簡化市場資料庫並提升其靈活性。

四、客戶導入與過渡策略

新技術平台的導入對於不同客戶而言，由於現有市場平台的差異，仍需採取客製化的專案方式，對於現有的市場平台皆不同，因此導入新技術平台通常是「個別的專案」，特別是在北美地區，GridOS Markets 團隊在導入方面「已經相當熟練」。

GridOS 團隊目前的一大挑戰是確保能夠與不同時區的團隊建立聯繫，特別是他們擁有一支正在成長的「亞洲團隊」，這支團隊在處理與其他地區相同的問題時需要大量的幫助和支援

五、Markets 核心 MCE 最新發展

MCE 產品是 GE Vernova 針對電力市場演進所進行的轉型核心。它被定位為新一代的市場產品，旨在取代舊有的傳統系統。MCE 的目標是支援從七天快速研究到五分鐘即時調度的所有研究模式，實現廣泛的應用場景和高度的客製化能力，以下為本次會議介紹之架構及功能發展。

- 技術架構強化

1. 微服務架構：MCE 被設計為微服務，具有標準 API，廣泛利用 Apache Kafka 和 Kubernetes，以實現「可擴展性、效能和模擬」。
 2. 數據處理：支援「數據處理驗證」和「數據驅動的機構」，確保業務邏輯的模組化和自動化。
 3. 使用者介面(UI)：MCE 配備了一個「簡單的使用者介面」，支援數據分析、標準執行和數據分析，並允許用戶從一個數據集導航到不同的報價數據，提供「非常強大的研究能力」。
- 模型強化
 1. 資源建模：包含儲能資源 (ESR) 模型、抽水蓄能 (HPC) 模型、需求響應和需求側資源、冷凝結模型 (Condensing Model)。
 2. 高壓直流輸電 (HVDC) 模型：新增可調度 HVDC 模型，支援發電機與負荷對模型 (Generation and Load Pair Model)、轉換器基礎模型 (Converter Based Model)。考慮了最大流量的雙向流動(max flow)、尊重調度流量 (Respect Scheduled Flow)，並可採用基於損耗率曲線 (loss rate curve) 的高壓直流損耗模型 (HVDC loss model) 精確地反映 HVDC 輸電過程中的能量損耗。
 - 支援孤島和發電機組事故模型 (Multiple-Islanding and Gen Contingency Model)

此模型主要著重於針對簡單負載建模 (simple load modeling) 的可靠性研究並與直流功率潮流模型 (DC Power Flow model) 協同工作，以進行更精確的分析。

 1. 事故後優化：事故發生後進行系統優化，以維持系統穩定性和效率。
 2. 基於 RAS 動作的事後約束：考慮基於「可靠性自動化系統 (RAS)」動作的事後約束。這意味著它能模擬系統在 RAS 啟動後如何調整以應對事故。
 3. 處理由 HVDC 引起的孤島：能夠處理由高壓直流輸電 (HVDC) 線路故障或運作變化引起的系統孤島情況。這顯示了該模型與 HVDC 模型的整合能力。
 - 資源啟動設定檔模型 (Resource Startup Profile Model)

MCE 現在支援更精細的發電機組啟動模型，傳統模型將啟動視為簡單的開/關狀態，但新模型考慮了詳細的啟動設定檔，包括持續時間、MW 輸出和不同狀態下的成本。

「啟動時間、啟動重複時間、運行狀態、平均停機時間、平均運行時間」等參數都必須根據啟動設定檔進行調整，這項功能於 2025 年 2 月在白

皮書中發布。本項功能在解決過去被認為無解或被推遲的複雜問題，因為 MCE 架構和效能提升使其可行。

- 提高彈性備轉模型 (Flexible Reserve Model)靈活性
允許客戶配置不同類型的備轉模型和服務，以適應不同 ISO 的特定需求，即使是相同性質的模型也可以靈活命名和配置。
舉例來說，同性質的備轉服務（例如 10 分鐘備轉），在不同 ISO 可能會有不同的命名。傳統上這可能需要為每個名稱單獨開發應用程式，但 MCE 允許透過配置來設定名稱，從而使得底層相同的模型可以被重複使用
- 使用 GPU 效能改進研究
GE 公司正與合作夥伴（如 GUROBI 和 NVIDIA）合作探索 GPU 對求解效能的幫助，以下為發展近況分享。
 1. 測試環境：GPU 效能評估在 Grace CPU 和 Intel(R) Xeon(R) E-2388G 上進行測試，選擇了幾種不同規模和難度的案例進行測試。
 2. 測試結果：這些案例的時間限制從 10 秒到 2400 秒不等，在大多數情況下，GPU 似乎顯示出效能提升。例如，某些情況下處理時間從 10 秒縮短到 2 秒，或從 20 秒縮短到 4 秒，這確實顯示出改進。但對於更困難的案例，例如鬆弛 (relaxation) 從 500 個減少到 300 個，其效能提升不那麼顯著。
 3. 模型特性考量：資料指出，模型本身限制了平行化處理的程度。這與模型本身的公式表達方式有關。
 4. 未來展望：初步測試結果顯示 GPU 潛在性能提升，但尚未達到革命性突破。他們也在思考是否可以重新設計模型公式，以使障礙法(barrier method)或主對偶法(PHD method)更具效益，這為更深入之研究工作。
- 機器學習之 SCUC (ML Enhanced SCUC)探索
ML Enhanced SCUC 是一個由 GE R&D 資助的概念驗證專案（Proof of Concept project），GE Vernova 正與 PJM 和加州大學河濱分校合作，研究「物理強化深度學習」(Physics-informed depth learning)方法。

六、ISO 導入及合作案例分享

- 西南電力池 SPP(South Power Pool)近期成果及未來計畫
 1. 西部擴張 (Western Expansion)方案
Market+是 SPP 目前最大的擴張項目，旨在將現有的能源不平衡市場 (Western Energy Imbalance Service, WEIS) 參與者納入 SPP 的整合市場 (Integrated Marketplace)。這將連接東西部互聯網，形成兩個透過直流聯絡線 (DC Ties) 連接的系統。

2. 多日經濟承諾 (Multi-Day Economic Commitment)

SPP 向 FERC 提出的倡議，提前（4-7 天）承諾那些啟動時間長的資源（例如需要 18 小時啟動的資源），這些資源在日前市場中沒有足夠時間獲得承諾，因此目前只能自我承諾。此項倡議曾因套利問題被 FERC 拒絕，SPP 需解決相關顧慮。

3. 西部直流聯絡線(WEST DC TIES)

A. 目前運作方式：

實體透過購買輸電服務並建立標籤(tags)來排程直流聯絡線上的調度。這些標籤會被匯總，直流聯絡線運營商根據這些排程進行東西向或西東向的電力流動。目前缺乏優化，方向切換通常每小時進行一次，電力流動方向和實功輸出取決於排程。

B. 市場整合後運作方式：

- a. 西部擴張的目標上線日期是 2026 年 4 月 1 日。在此之前，將進行一系列的準備工作，包括關稅開發、成員入會、需求和設計、內部測試和成員測試等。
- b. 開發一個單一市場解決方案，用於在東部和西部互聯電網的兩個平衡區域中操作整合市場。西部能源不平衡服務 (WEIS) 市場成員擁有的三條 DC 直流聯絡線，總計 510 MW 的容量，為此次 SPP 西向擴展的策略性促成因素
- c. DC 聯絡線運營商會向市場傳送一系列參數作為約束條件（例如每天可切換次數、斜坡時間、變更時間等）。
- d. 調度與機組承諾(SCUC) 將決定聯絡線的方向，而經濟調度 (SCED) 將在五分鐘的基礎上調度聯絡線的功率。

4. 技術與軟體專案

SPP 在日前市場中，因效能問題開始使用 Gurobi 求解器，以尋求更佳、更快的解決方案。但仍在即時案例中使用 CPLEX 求解器。另外同時已用於 Gurobi 處理多日較為困難的預測案例，解決了過去難以求解的問題。

雖然 Gurobi 在處理極難解決的案例時表現出色，但 SPP 無意取消使用 CPLEX，因為 CPLEX 在一般案例中仍具優勢，SPP 並未打算淘汰其中一種，還會繼續並行使用。

5. MCE 硬體效能持續改進

更新硬體伺服器，將工作站型機器，CPU 時脈從 3.3 GHz 提升至 5.5 GHz，預計可將求解時間縮短 40%。MCE 效能圖顯示，儘管約束條件增加，但求解時間和延遲已顯著改善。

儘管約束條件數量增加，SPP 的市場結算引擎 (MCE) 效能仍持續改進，降低了求解時間和市場延遲發布的次數。SPP 預期未來隨著規則複雜化和小

型分佈式能源的加入，效能挑戰將會增加，並努力保持領先。

- ISO New England 近期 Limit Exchange Portal 成果

ISO New England 對轄下區域季節變化處理方式，從每年的兩個季節調整為十二個月。為此，將推出一個新的限額交換入口網站 Limit Exchange Portal (簡稱 LEP)，以收集、利用和分享電網資訊，允許包括每小時預測之輸電可用容量和季節性評級。

1. FERC Order 881 概述

- A. 發布時間與名稱：FERC 於 2021 年 12 月發布了 Order 881 和 81k，稱為「輸電線路額定值提升 (advancing transmission line ratings)」。
- B. 目標：該命令旨在提高輸電線路額定值的準確性，使電網和市場更能反映實際的營運條件。
- C. 各機構實施差異：每個 ISO 和 RTO 在實施 FERC 881 方面有不同的影響和方法。例如，PJM 已利用現有的「TERM」系統來滿足要求。

2. ISO New England 的實施方式

- A. 季節調整：將現有的兩季制系統改為每月一次的季節調整，總共 12 個月份。
- B. 資料接收：需要一個系統來接收來自參與者的輸電線路額定值資料，包括：
 - a. 季節性額定值 (Seasonal ratings)。
 - b. 環境調整額定值 (Ambient Adjusted Ratings, AAR)，包括當前小時的額定值以及未來 72 小時的預測值。ISO New England 根據對 FERC 命令的解讀，確定只需要 72 小時的資料，而非其他機構可能需要的 10 天資料。
 - c. 臨時額定值 (Temporary ratings) 及其相關原因。
- C. 市場系統整合：在接收到所有資料後，必須在所有市場系統中使用這些更新後之的額定值。
- D. 資料保存：所有額定值資料必須保留五年。

3. Limit Exchange Portal (LEP) 實施

為滿足 FERC 881 的要求，ISO New England 正與 GE 合作開發和實施 Limit Exchange Portal (LEP)。LEP 是一個在 Grid OS 平台上開發的新軟體應用程式，允許參與者提交所需的設備資訊，包括每小時的 AAR(Ambient-

Adjusted Ratings)、季節性額定值和臨時額定值等，以下為 LEP 相關概要說明。

A. 互動方式：

- a. 網頁的使用者介面 (UI)：可用於一次性更改或查詢資料。
- b. 應用程式介面 (APIs)：由於涉及的資料量龐大（即使設備數量不多），預計大多數參與者將利用 API 進行程式化互動。

B. LEP 類型：

- a. LEP Operational：用於參與者提交所有額定值資料。
- b. LEP Historian：用於保留五年的歷史資料，以滿足法規要求並供任何人查閱。

C. 額定值更新頻率：額定值會每小時更新。

D. 資料在市場系統中的應用：

有效的額定值會由 EMS 中兩個新應用程式 (RT DIME 和 Forecast DIME) 計算。這些額定值將用於 EMS 的其他部分，例如 SCADA 和平衡系統。資料會通過「LEP 到 MMS 的橋接 (LEP to MMS bridge)」進入市場系統，用於安全協調和可靠性分析。在處理完合資設施後，72 小時預測資料會直接注入 MCE 的網路分析圖表，用於約束和流量分析。

E. LEP Historian 的公開存取：

該歷史資料將對任何擁有電子郵件地址的人公開，主要用於研究目的，包括大學和研究公司。市場監測機構和經濟公司特別要求提供這些資料。

F. 基礎設施：

- a. LEP Operational 部署在內部預置 (on-prem) 叢集上的 VMware Tanzu。
- b. LEP Historian 部署在 AWS EKS 上。

G. 部署時程：

- a. LEP Operational 的第一個版本已於 2024 年 6 月部署到 ISO New England 的內部開發環境。
- b. LEP Sandbox 環境（外部測試系統）於 2024 年 10 月推出。

H. SSO 技術細節：

美國各 ISO 都使用憑證進行前端驗證，但後端實作方式完全不同。GE 建立了一個插入式平台，可以與這些不同的身份驗證供應商整合，以便任何 Grid OS 應用程式需要與市場參與者身份驗證系統整合時使用。

I. 版本發布：

ISO New England 持續跟進 GE 每月的軟體版本發布，並將其部署到開發環境進行測試，然後逐步部署到沙盒環境。

4. 本專案成功經驗
 - A. 提供外部參與者沙盒(sandbox)存取：允許外部參與者提早接觸 UI 並與 API 互動至關重要，這使他們能提早準備內部工具。
 - B. 定期技術工作小組：設定了虛擬會議，歡迎任何參與者加入，提出關於專案的問題、UI 互動問題以及存取問題等。這種「虛擬面對面」的交流有助於收集反饋並解決問題。
 - C. Ask ISO 平台整合：將所有與 LEP 相關的問題透過「Ask ISO 平台」統一引導至產品團隊。使追蹤問題更清晰，還有助於整合問題並建立常見問題解答（FAQ）和使用者指南。
 - D. 提供範例程式碼：為了幫助參與者使用 API，專案團隊編寫範例 Java 程式碼支援。
5. 專案挑戰
 - A. 系統安裝功能穩定性：

ISO New England 原有自動化工具（Jenkins pipeline 和 Argo CD）可自動更新軟體版本安裝至電腦系統。然而，此自動安裝功能曾發生無法使用之問題，需仰賴人工安裝程式碼（Helm charts），反而使工作成本增加。
 - B. 學習軟體使用成本：

Grid OS 是一套強大的軟體解決方案，但對開發團隊和 GE 公司而言，其雖功能多元，操作上也存在相當複雜度，使用者需要花費一定時間熟悉並精進相關應用。
- ISO New England 再生能源調度
 1. 「不得超過調度」調度（Do Not Exceed Dispatch, DNE）

ISO-NE 對於可再生能源發電機（DDGs）的運行有「即時高運行極限」（RTHOL）和「不得超過調度」（DNE）兩個概念。RTHOL 代表了發電資源物理上最大發電能力，而 DNE 則是基於電網約束（如：輸電線路容量）運算，限制其在當前時段之經濟或安全出力上限。通常 ISO-NE 期望 DDGs 的 DNE 值能達到其 RTHOL，除非存在會限制發電的電網約束情況。

DNE 為 ISO New England 為可再生能源（特別是風能和太陽能等）設計的獨特調度機制。其核心在於設定一輸出上限，發電資源可以在此上限以下，根據自身的資源可用性（如風速、日照強度）和經濟考量，靈活地調整發電量，而無需像傳統發電機那樣被指定一個精確的「期望調度點」，DNE 之助益如下說明：

 - A. 增加可靠性：自動化調度系統減少了人為干預，提高了電網的運行穩定性和可靠性。
 - B. 最佳經濟效益：允許零邊際成本的可再生能源優先調度，有助於降低整體電力成本，對負載方有利。

- C. 發電資源之利益：發電資源可以在 DNE 範圍內自主決定發電量，根據市場狀況和自身條件進行調整，提高了市場參與的透明度和靈活性。
- D. 應對間歇性：通過設定上限而非固定點，DNE 更符合可再生能源發電的間歇性特點，使它們能夠更有效地併入電網。

而 DNE 每五分鐘進行計算一次，考慮即時數據和電網限制，確保發電資源在安全可靠的範圍內運行。為落實 DNE 之調度，當資源收到 DNE 信號時，它們應在經濟最小值到 DNE 上限之間運行。如果資源超出 DNE 限制發電，將判定為未遵循調度信號，且 ISO-NE 會對超出 DNE 之資源實施罰款，對於資源之監控採以下機制：

- A. 人工干預：在緊急情況下，控制室的操作員會直接聯繫發電機，要求其降低發電量以避免對電網造成物理損害（如線路過載等）。
- B. 監測與趨勢分析：市場監測機構會對發電機的表現進行持續監測，若有持續的違規行為，可能會引發更進一步的審查。

2. E-terra/ RPLAN 服務介面

E-terra/RPLAN 為外部網路服務標準化介面，由 GE 打造其資料交換平台，其在 ISO-NE 的再生能源調度中扮演著重要角色，特別的對於風力發電的預測和數據整合。

預測服務公司提供預測數據，預報類型包括：短期、中期、長期風力/太陽能電廠預報，並允許再生能源業者提供即實遙測數據和未來電廠可用性預測，在此平台進行資料交換。相關數據隨後會被整合到 ISO-NE 的 EMS 中，用於計算 DNE 限制和其他調度決策。此平台可讓其他額外之預測者提交不同的預測資料，如：2022 年開始提供其他太陽能發電預測來源。

- MISO 自動化測試開發

MISO 特別著重於 GridOS 平台的應用，分享利用 GitHub Enterprise和GitHub Actions進行原始碼管理和自動化建置部署，相關概要說明詳下。

- 1. 自動化測試目的
 - A. 自動執行測試：當程式碼有更新或發布新版本時，測試會自動啟動。
 - B. 確保產品正確運作：執行各種測試情境，檢查軟體功能是否符合預期。
 - C. 快速得到結果：測試報告會自動生成並發布，讓相關人員得知測試結果。
 - D. 降低測試時間成本及錯誤風險：自動化測試可減少人工測試時間，並即時提早發現並減少產品中之缺陷。
- 2. 系統運作方式
 - A. 測試內容的撰寫：

測試情境以稱為「行為驅動開發 (BDD)」的方式撰寫，這些情境放在.feature 檔案裡，而情境的實際程式碼邏輯則用 Python 或 Java 等語言來定義。

B. 測試的執行：

測試執行在 Docker 容器裡，並使用 Kubernetes (K8s) 這個技術來管理和擴展測試，讓測試可以同時大量進行，提高效率。而 GitHub Actions 負責自動化和協調測試流程，比如當新程式碼推播、發送時，就會觸發測試。

C. 報告與結果：

測試結果會生成 HTML 格式的報告，並透過 GitHub Pages 展示，方便工程師和業務人員快速查看。目前已測試超過 2000 個 Market Clearing Engine 情境及 3000 個以上使用者介面案例。

3. 自動化測試優點

- A. 降低時間成本：大量減少手動人工測試需求。
 - B. 減少錯誤：在軟體開發早期即發現並修復問題，減少最終產品中的缺陷。
 - C. 可重複使用：這套測試框架可以在不同的產品間重複使用，例如「市場清算引擎(MCE)」、「市場操作員介面(MOI)」和「限額交易入口網站(Limit Exchange Portal)」等。
 - D. 高擴展性：利用 Kubernetes 可以輕鬆地擴展測試的執行能力，並在獨立的環境中運行，避免互相干擾。
4. 實際執行問題與經驗分享
- A. 軟體工程師和業務人員間專業知識差距，需要安排額外人力協助溝通。
 - B. API 經常變動，測試程式碼需不斷同步更新和重新建構，此部分需安排長其規劃及維護之資源投入。
5. 未來的計畫
- A. 簡化新專案設置：建立可重複使用之模板，加速新專案的測試導入。
 - B. 自動化擴展測試：讓測試執行器能夠自動根據需求擴展。
 - C. 事件驅動架構：改用 Kafka 這樣的技術，讓測試流程能被事件觸發，更靈活。
 - D. 未來 MISO 計畫將結果整合到 IBM 的管理工具中，以便更好地追溯測試與需求之間的關係。

七、AI/ML 及資料治理於電力系統變革之展望

此章節特別說明於「解鎖創新潛力 — 透過 AI 與數據推動電網與電力市場變革」此會議中 PJM、ISO-NE 及 MISO 與 GE Vernova 公司高層此會議中之分享，並提供各別觀點之重點摘要。

此部分由 PJM 資深副總兼首席資訊官 Thomas F. O'Brien、ISO New England 資安服務副總 Rudy Pawul、MISO 副總兼首席數位與資訊官 Nirav Shah 及 GE Vernova 市場管理軟體總經理兼 GridOS 產品副總 Achalesh Pandey 以對話式講座之形式分享。



圖 9、PJM、ISO-NE、MISO 及 GE Vernova 會談

會中提出對於 AI/ML 潛力的看法，且討論了數據作為 AI 基石的重要性，並呼籲建立行業標準化和協作夥伴關係，以克服數據孤島和提升 AI 的可擴展性。對談中也提及以雲端部屬處理作業負載提升 AI 工作效率，以及透過思維教育、作業透明度和人類參與來建立對 AI 解決方案的信任。最終也強調了投資於人才培養和新興技術團隊，以確保能源行業在 AI 驅動的未來中保持領先地位的必要性，以下提供各方之觀點摘要。

- PJM 之觀點

Thomas 之角色為 IT 組織領導，為推動 AI 工作，常進行跨部門與多個工作小組互動密切，目前正從人工智慧的實驗階段轉向更注重業務成果，而非抽象的技術本身。而 PJM 目前發展重點領域包括：

1. 預測性業務：特別是在極端條件下之負載預測，及太陽能 and 風力預測。
2. 市場領域分析：探索人工智慧於識別數據異常之應用等，以期發掘潛在運用。
3. 夥伴關係：由於預算、資源和技能的限制，PJM 強調透過與具備專業知

識的供應商（如 GE Vernova）和技術供應商（如 Nvidia、AWS、Microsoft 或 Google）建立夥伴關係來學習並推進發展。

4. 數據基礎：在實施人工智慧解決方案之前，PJM 非常重視建立堅實的數據基礎，並在市場、營運和規劃部門之間建立合理的數據架構，以確保解決方案的可維護性、可持續性和成長。
5. 跨職能協作：PJM 組建來自市場、營運和規劃部門的跨職能團隊，以獲取意見並識別能帶來最大價值的潛在應用，並根據這些反饋來推動專案。

- ISO New England 之觀點

Rudy 將人工智慧視為一項變革性技術，並正積極移除實施障礙，包括在資料治理、網路安全和數據遺失防護方面，同時培訓員工以支持業務需求和合作夥伴使用人工智慧。而未來幾個月內的重點包括：

1. 日常 AI 應用：聊天機器人和人工智慧輔助程式碼開發皆已迅速部署並帶來即時價值。
2. 雲端策略：為了滿足 AI/ML 技術對計算能力的巨量需求，ISO-NE 傾向於將人工智慧工作負載轉移到雲端平台（如 Amazon）。他們認為雲端服務更快速、經濟，且易於維護。
3. 監管標準：ISONE 正在推動 CIP 標準(Critical Infrastructure Protection)修改以允許雲端計算，並指出目前尚無針對人工智慧的 SAR（Standard Authorization Request），呼籲加快相關監管框架的建立。
4. 市場監測：初期目標是利用人工智慧協助內部市場監測部門進行監控。

- MISO 之觀點

Nirav 認為人工智慧是真實且具有巨大潛力，可以實現「非凡、宏偉」的成就。電力產業正經歷加速轉型，而 MISO 希望成為此轉型過程的一部分，甚至領導角色。然而 Nirav 也警示，產業必須謹慎，不要盲目跟從，尤其是在人工智慧實施前必須確保數據品質、強大的數據結構和分類。其深信「人工智慧+人類」的組合將會比單純的人工智慧更為強大，人工智慧應為人類的輔助工具。而 MISO 在人工智慧方面的策略主要分為三個層次：

1. 現有產品使用：利用產品中已內建的人工智慧功能（如 Microsoft Copilot）來提高生產力。
2. 程式碼生成：利用 GitHub Copilot 等工具來生成程式碼，視此為簡單且快速的獲益點。
3. 自選專案與模型開發：MISO 正使用 Microsoft OpenAI 開發聊天機器人，

用於業務實踐手冊和費率，特別強調文件的正確索引，以確保人工智慧的回答具有上下文和可追溯的推理。其他預計的模型包括：

- A. 不確定性管理模型：預測次日的負載和短期儲備需求，並在極端天氣條件下證明了其價值。
 - B. 計畫停機數據模型：預測發電機從計畫停機工作恢復的時間。將預測可能的實際返回時間為運營團隊提供決策參考。
 - 4. 數據標準：強烈支持建立一個產業範圍內的數據標準和參考架構，以減少不同系統和供應商之間數據操作和轉換的複雜性。
 - 5. 雲端應用：他們也支持將人工智慧工作負載轉移到雲端，因為雲端提供者擁有必要的基礎設施且能加速部署。
 - 6. 創新團隊：建議劃分專門的團隊負責創新和新技術探索，將他們與日常運作分開。
 - 7. 主動監測：MISO 正複製其獨立市場監測的計畫，並加入人工智慧功能，以便在被告知問題之前，能夠主動識別改進。
- GE Vernova 之觀點
Achalesh 說明公司的策略核心即是數據和 AI/ML。GE Vernova 在人工智慧領域的長期經驗讓其意識到，大型語言模型（LLMs）和生成式人工智慧在處理文件和改善「推理」方面具有巨大潛力。而 GE Vernova 的主要發展重點包括：
 - 1. 以營運者為中心：他們的核心焦點是「營運者」，將營運知識與人工智慧技術結合，以此作為其差異化優勢。
 - 2. 數據準備技術：大力投資於數據連接技術(Data Fabric 及 Data Connect)，以確保數據的準備就緒，將資訊轉化為可執行的行動，GE 將此視為人工智慧的真正力量所在。
 - 3. 建立虛擬營運者：此概念將結合大型語言模型，以及 GE Vernova 內部所有的文檔、知識和模擬數據有知識的智能系統。它旨在通過結合現有文件，透過快速檢索和分析大量信息，幫助調度人員進行決策支持。
 - 4. 結算優化加速：長期目標是將市場結算引擎的優化速度提升 10 到 20 倍，此為 GE 與研究中心、大學和 PJM 合作的長期研究，涉及機器學習、圖形神經網路和物理約束。
 - 5. 解決數據孤島：GE Vernova 透過關注「人員和流程」來解決數據孤島問題，並從價值流和資訊流的角度重新審視問題。在技術層面，他們透過收購 Greenbird Integration Technology AS 並投資於 Data Farbric 能力，旨

在無縫連接 GE Vernova 的所有產品和客戶系統，從而打破數據孤島。

6. 戰略夥伴關係：GE Vernova 成立了新組織，專門與客戶和合作夥伴合作，識別高價值的使用案例，並將概念驗證轉化為產品。他們也與 AWS、Microsoft、Nvidia 等技術供應商合作，以獲得硬體加速和 GPU 支援。此外，亦與大學建立夥伴關係，未來 5 年將投資 5000 萬美元資助前瞻性的人工智慧應用研究。
7. 信任建立：在人工智慧解決方案的實施中，尤其針對生成式人工智慧的幻覺問題，建立信任至關重要。GE Vernova 透過設置基本的網路安全防護、提供教育訓練、實施「提示工程」(prompt engineering) 以及始終將「人類參與」(human in the loop) 納入考量來應對這些挑戰，這在受監管的產業中至關重要。

陸、心得與建議

一、奠定數據驅動基礎：建構統一數據治理與現代化平台

- **確立數據治理為優先策略：**本次會議強調數據資料對於 AI/ML 之高度重要性。建議公司應重視數據治理之發展策略，統籌跨部門數據治理，解決 OT 與 IT 系統間的數據孤島問題，為後續 EMMS 及 AI 應用奠定穩固基礎。
- **漸進式導入數據治理應用：**初期可規劃類似 GridOS Connect 的數據整合引擎，提供標準化介面與協議轉換能力；進而可參考 GridOS Data Fabric 設計理念，如 EMMS 等系統的數據平台設計應採用「數據聯邦(Data Federation)」概念，而非將所有數據複製集中。此規劃可由建立低程式碼(low-code)開發環境切入，賦能各單位同仁對於數據之整合分析及應用開發，加速數據探索與創新應用的開發週期，並實現尊重各單位數據所有權，確保數據品質，且大幅降低系統整合的複雜度與風險。
- **建立統一的電網模型：**推動建立全公司共享的「單一資訊來源(Single Source of Truth)」電網模型。此模型應整合 GIS、資產管理與即時運轉數據，為數位孿生、精準模擬與 AI 應用提供一致的數據基礎。
- **採納零信任(Zero Trust)資安架構：**在建構數據平台之初，即應導入「零信任安全架構」。針對跨 IT/OT 層面的數據交換，必須執行嚴格的身分驗證與授權控管，以應對 AI 系統可能帶來的新型攻擊向量與資安風險，而目前 EMMS 系統架構規劃亦以零信任為主要原則。

- **標準化共享服務以提升效率：**借鏡 GridOS 將 SCADA、模擬、建模與預測等功能元件化為共享服務的作法。在公司內部推動共通核心技術的標準化，供不同應用系統重複使用，可避免重複開發，並提升整體開發與運維效率。

二、 導入 AI 智慧應用：從輔助決策到營運優化

- **從「輔助決策」啟動 AI 應用：**參考會議交流及探討經驗，初期 AI 應定位為「專業技術人員的輔助工具」，而非完全取代。可優先規劃發展「AI 虛擬調度員」，利用 AI/ML 驅動之介面協助調度員快速查詢規程、分析告警，降低資訊過載風險，建立人機協作信任。
- **發展 AI/ML 輔助分析應用：**GE 與 PJM 的合作模式，利用 AI 代理模 (Surrogate Model) 快速預篩或自動生成高風險偶發事件，再集中運算資源進行深度物理模擬；而 SCE、NVIDIA 與 GE 的合作案例，利用 AI 增強模擬技術，將過去耗時數月的人工模擬分析，縮短為以小時或天為單位的自動化流程，且提高短時間內之模擬情境密度。雖此類型應用目前尚未成熟至商業產品階段，但建議可納入未來 N-1 分析及併網審查等程序之精進方向持續追蹤借鏡。
- **建構 AI 驅動的即時監控預估及應變系統：**可參考 GridOS Disruption Planning and Recovery 方案，導入整合天氣預報、歷史災損與電網模型的 AI 系統；亦或應用 AI 技術分析 PMU 等高頻數據，即時推斷並預測難以直接量測的系統有效慣量。以上 AI 系統應用可提升相關單位於災害及事故事前之預防與評估能力，即時決策以縮小風險及損害，提升電網韌性。
- **建立模型可解釋性(Explainability)驗證機制：**會中討論可知 AI 程序中的「黑盒子」問題是導入調度決策的最大障礙。在開發 AI 應用時，必須同步建立驗證機制與可視化工具，讓調度員能理解 AI 建議背後的原因，以建立信任，並保留在異常時進行有效干預之適度彈性。
- **推動內部 AI 工具運用能力：**可仿效 MISO 與 ISO-NE 的作法，將 AI 應用於日常工作中，例如導入 Microsoft Copilot 工具，協助員工產出報告、程式碼開發與數據分析。會中也特別強調為應對生成式 AI 的幻覺問題，需實施「提示工程(Prompt Engineering)」，應培養同仁提出適切 prompt 引導 AI 工具產生準確、可靠且具可追溯性的內容，進而階段式提升 AI 工具運用程度，最大化其應用效益，提升工作品質及效率。
- **導入雲端運算：**ISO New England 認為傳統硬體需定期汰舊更新，而使用雲端系統可節省此汰換維運支出，且可滿足 AI 巨量之運算需求，目前正籌備導入雲端環境。本公司應克服傳統思維，在符合資安法規（如 CIP 標準）的

前提下，策略性地利用雲端平台的彈性與成本效益，加速 AI 模型的開發與部署。

- **建立與供應商及學術界的夥伴關係：**面對資源與人才限制，可效法 PJM、SCE 或 GE Vernova 的策略，積極與技術領導廠商、雲端服務商及頂尖大學建立戰略夥伴關係，共同探索前瞻技術、分擔研發風險，並加速人才培養。
- **系統化應對 AI 的潛在挑戰：**AI 導入伴隨著模型可解釋性、法律責任歸屬、資安風險等挑戰。公司應在導入初期即進行通盤規劃，建立「人在迴路中」的操作協議、符合稽核的決策日誌，並採用零信任資安架構，確保 AI 應用安全、可控。

三、借鏡北美 ISO 經驗，留作系統建置參考

- **ISO New England 的 DNE 調度機制：**在 DNE 調度機制變更之前，ISO 新英格蘭無法對風力發電和間歇性水力發電機組進行電子調度，因其發電受天氣、季節性河水流量等因素影響，難以控制，且手動指令無法反映在區域邊際價格。為有效整合再生能源，ISO New England 採取「不得超過調度(Do Not Exceed)」機制，其限制和調度信號通常每五分鐘傳輸一次，減少了調度人員因壅塞情形執行之手動干預，有助於最大程度地減少手動發電削減，提高調度人員在天氣快速變化時之調度能力，同時改善市場的價格形成，允許即時市場適當地對其位置的壅塞進行定價。
- **MISO 採取大規模自動化測試進行功能驗證：**MISO 自動化測試框架可讓測試流程持續進行且得到快速回饋，使用「大規模平行執行測試」且「動態配置資源」。目前已測試超過 5000 以上案例，及跨越 3 種不同特性模組 (包含：Market Clearing Engine、Market Operator Interface、Limit Exchange Portal)。MISO 在測試上除配置專業人力外，尚須進行 IT 與業務部門之知識溝通。另外，隨著新功能或 API 之引入，可能需要重建測試程式，增加維護成本，MISO 認為自動化測試開發時，可先考慮：建立詳細日誌、程式標籤、設置獨立環境變數、撰寫失敗重測邏輯，皆可降低測試維護複雜度，其經驗分享可做為交易平台及 EMMS 自動化測試推動之參考。
- **South Power Pool 與 GE Vernova 對於 MCE 求解器硬體搭配之測試：**SPP 會在「離線環境」中對新的硬體 MCE 求解時間改善進行效能測試和評估，在確認其達到所需效能後，才將這些硬體導入實際的「生產環境」，其使用 Intel I9 處理器，速度提升到約 5.5GHz，求解時間改善改善約 40%，預計將繼續導入生產環境中，SPP 更新硬體作法，可作為後續 EMMS 硬體選擇及實測之參考。另外，GE Vernova 使用 GPU 測試 MCE 的求解速度，其結果未有革命性突破，推測 MCE 求解每一步的計算，高度依賴於前一步的結果，難以

將其分解、獨立、平行化處理效果受限。故若須適應平行化計算架構，尚須重新設計 MCE 模型，此測試提供我們一個很務實的概念。

柒、參考文獻

1. 2025 GridOS Customer Conference 網站，
<https://events.gevernova.com/event/Orchestrate2025/home>
2. GE Vernova 網站，<https://www.gevernova.com/>
3. South Power Pool 網站，<https://www.spp.org/>
4. MISO 網站，<https://www.misoenergy.org/>
5. ISO New England 網站，<https://www.iso-ne.com/>
6. Terhune, Jason. "Accelerating Quality with Test Automation." PowerPoint presentation, June 12, 2025.
7. Schabla, Joshua. "MISO Shortage Pricing Updates: VOLL and ORDC." PowerPoint presentation
8. Ahmad, Furqan. "Dispatching Renewables in New England ISO-NE Journey." PowerPoint presentation
9. Phelps, Mark. "Implementation of the Limit Exchange Portal at ISO New England in Support of FERC Order 881." PowerPoint presentation