

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

能源作業系統之能源服務程式研發  
Energy Service Program Development for Energy  
Operating System

計畫編號：107A027

受委託機關(構)：國立成功大學

計畫主持人：廖德祿

聯絡電話：06-2757575#6337

E-mail address：tlliao@mail.ncku.edu.tw

協同主持人：洪勁宇 郭瀚鴻 吳毓庭

研究期程：中華民國 107 年 4 月 4 日至 107 年 12 月 14 日

研究經費：新臺幣捌拾貳萬伍仟元

核研所聯絡人員：陳昌國

報告日期：107 年 12 月 14 日

## 目 錄

目 錄 .....	I
圖目錄 .....	III
表目錄 .....	V
中文摘要 .....	VI
Abstract.....	VII
壹、計畫緣起與目的 .....	1
貳、研究方法與過程 .....	4
一、能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究 .....	4
(一) 美國電機電子工程師學會標準研究 .....	7
(二) 國際電工委員會標準研究 .....	33
(三) 開放場域訊息匯流(OpenFMB)標準研究.....	52
二、能源服務程式之資通訊技術評估研究 .....	57
(一) 物聯網技術評估研究 .....	58
(二) IEC 61850 數據模型(Data model)及共同資訊模型(Common Information Model, CIM)研究 .....	72
(三) 分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)整合之資通訊技術評估研究 .....	83
三、能源服務程式之測試與驗證研究 .....	93
(一) EOS 於沙崙場域測試.....	93
(二) DDS 相關測試 .....	102
參、主要發現與結論 .....	110
肆、參考文獻 .....	113
附錄 A – 數據分散式服務(DDS).....	118

附錄 B – 訊息序列遙測傳輸(MQTT).....	123
附錄 C – 高階訊號序列標準(AMQP).....	129
附錄 D – 分散式網路協定(DNP3).....	136
附錄 E – Modbus.....	146

## 圖目錄

圖 2-1-1 能源服務程式之資通訊系統架構.....	6
圖 2-1-2 沙崙測試場域佈線圖.....	6
圖 2-1-3 微電網控制系統功能架構[4].....	8
圖 2-1-4 微電網控制系統之核心功能關係圖[4].....	11
圖 2-1-5 電網控制系統之調度功能邏輯圖[4].....	11
圖 2-1-6 核心功能測試之概念流程圖[5].....	24
圖 2-1-7 孤島模式之允許電壓與頻率範圍[5].....	29
圖 2-1-8 調度功能之實虛功響應[5].....	29
圖 2-1-9 獨立型微電網[27].....	34
圖 2-1-10 併網型微電網[27].....	35
圖 2-1-11 獨立型微電網的 P/f 控制.....	42
圖 2-1-12 OpenFMB 之運行邏輯架構[3].....	54
圖 2-1-13 管理服務邏輯架構[3].....	55
圖 2-1-14 節點架構範例[3].....	56
圖 2-2-1 OpenFMB IT/OT 階層圖及標準對應圖[2].....	57
圖 2-2-2 QoS 0 示意圖.....	59
圖 2-2-3 QoS 1 示意圖.....	59
圖 2-2-4 QoS 2 示意圖.....	60
圖 2-2-5 分區策略示意圖[11].....	64
圖 2-2-6 QoS XML 格式.....	67
圖 2-2-7 QoS 參數設定的程式碼.....	68
圖 2-2-8 AMQP 傳輸安全示意圖.....	70
圖 2-2-9 IEC 61850 標準架構[22].....	73
圖 2-2-10 IEC 61850 資訊模型架構(以量測單元為例)[23].....	73
圖 2-2-11 OpenFMB UML 模型.....	74
圖 2-2-12 建模方法流程圖.....	76
圖 2-2-13 微電網非預期孤島效應轉變之使用案例.....	77

圖 2-2-14 Activity Diagram 範例 .....	78
圖 2-2-15 Sequence Diagram 範例 .....	79
圖 2-2-16 Class Diagram 範例 .....	80
圖 2-2-17 OpenFMB 設計流程.....	81
圖 2-2-18 目前 TC57 通訊需求參考架構圖[29].....	82
圖 2-2-19 IEEE 1547 測試及驗證方法關係圖[25] .....	87
圖 2-3-1 友達儲能系統之開機狀態.....	94
圖 2-3-2 施耐德儲能換流器之開機狀態.....	95
圖 2-3-3 施耐德儲能換流器的通訊轉換盒.....	96
圖 2-3-4 施耐德儲能換流器之面板顯示.....	96
圖 2-3-5 EOS 全黑啟動及建立 Bus 0 設備的連結(友達儲能系統).....	97
圖 2-3-6 EOS 全黑啟動及建立 Bus 0 設備的連結(施耐德儲能換流器).....	98
圖 2-3-7 EOS 建立 Bus 4 設備的連結(太陽能供電).....	99
圖 2-3-8 EOS 建立 Bus 6 設備的連結(負載).....	100
圖 2-3-9 模擬日照不足時 EOS 獨立運作 .....	101
圖 2-3-10 模擬日照充足時 EOS 獨立運作 .....	102
圖 2-3-11 DDS Demo 之框架 .....	103
圖 2-3-12 來回時間測試架構圖 .....	104
圖 2-3-13 t1 反應時間分布圖.....	105
圖 2-3-14 t2 反應時間分布圖.....	105
圖 2-3-15 DDS 傳輸時間分布圖.....	106
圖 2-3-16 Wireshark 監控介面 .....	107
圖 2-3-17 DDS 結合沙崙場域裝置之測試配置架構圖.....	108

## 表目錄

表 2-1-1 調度功能特徵與指標[4].....	15
表 2-1-2 在併網模式下之調度功能特徵與指標[4].....	16
表 2-1-3 在孤島模式下之調度功能特徵與指標[4].....	16
表 2-1-4 轉換功能特徵與指標[4].....	19
表 2-1-5 計畫性孤島下之轉換功能特徵與指標[4].....	19
表 2-1-6 非計畫性孤島下之轉換功能特徵與指標[4].....	20
表 2-1-7 重新連接之轉換功能特徵與指標[4].....	20
表 2-1-8 現場數據收集之最低需求[5].....	25
表 2-1-9 微電網控制系統數據收集需求[5].....	27
表 2-1-10 穩態孤島測試劇本[5].....	27
表 2-1-11 IEC 62898 與 IEEE 2030.7 之基本要求比較表.....	38
表 2-1-12 IEC 62898 與 IEEE 2030.8 之測試需求比較表.....	50
表 2-2-1 DDS QoS 在 RMQ.26.7 建議的預設值[3].....	61
表 2-2-2 耐久性的有效組合[9].....	62
表 2-2-3 可靠性的有效組合[9].....	63
表 2-2-4 DDS、MQTT 與 AMQP 的比較表.....	71
表 2-2-5 通訊介面應提供的資訊及服務.....	84
表 2-2-6 管理資訊中功率因數相關規範.....	84
表 2-2-7 DER 通訊協定規範(至少需涵蓋其中一種).....	84
表 2-2-8 Modbus 和 DNP3 資料型態比較表.....	91
表 2-2-9 Modbus 和 DNP3 的比較表.....	92

## 中文摘要

本計畫提出之「能源作業系統之能源服務程式研發」，係以發展一具備再生能源設備相容性之能源服務程式為主要目標，藉由研究能源作業系統的資通訊標準及各項功能需求，以整合不同供應商或廠家之再生能源設備，達到智慧電網區域內各能源設備間資訊共享及智慧電網之管理調度。為實現上述之目的，本計畫第三期完成下列項目執行(1)能源作業系統之能源服務程式需求評估研究；(2)能源服務程式之資通訊技術評估研究；(3) 能源服務程式(能源作業系統及數據分散式服務)之測試與驗證研究。

**關鍵字：**能源作業系統(EOS)、智慧電網、數據分散式服務(DDS)、  
OpenFMB

## **Abstract**

This program "Energy Service Program Development for Energy Operating System" is aimed at developing an energy service program that is compatible with renewable energy devices by researching the communication standard and the requirements of energy service program to integrate different renewable energy devices. In this report, the following topics have been studied: (1) To evaluate the requirements of energy service program; (2) To evaluate the information and communication technologies of the energy service program; (3) To test and verify the effectiveness of energy service program technologies (EOS and DDS) in the Shulan laboratory at the Institute of Nuclear Energy Research.

**Keywords** : Energy Operating System (EOS), Smart Grid, Data Distribution Service (DDS), OpenFMB



## 壹、計畫緣起與目的

在現代的電力系統中，主要可分為發電系統、輸變電系統、及配電系統三大部分。其中輸電系統作是由連接全台的輸電網路與變電所組成，為電廠與用戶間的輸送電力橋樑，由發電系統輸送電力至消費者的單向系統，也是目前所使用的傳統電網系統。近幾年，智慧電網(Smart Grid)作為廣泛討論的技術，加入了雙向交換機制，電力和資訊可以在電力公司和消費者之間雙向互動，能提供更高效率、更安全的電力網路架構。

智慧電網是一種現代化的輸電網路，利用資通訊技術，以數位或類比訊號偵測與收集供應端的電力供應狀況和使用端的電力使用狀況，再利用這些資訊調整電力的生產與輸配，或調整家庭用電及企業用戶的耗電量，以達到節約能源、降低損耗、增強電網可靠性的目的。智慧電網與傳統電網最大的不同之處，在於它能實現雙向的資訊服務交流。用戶可以即時了解電網的電力供給能力、供應狀況、電能品質及電力中斷資訊等。近年來，智慧電網被許多政府認為是一種能夠有效減少能源依賴，減緩全球溫室效應的措施，而在美國前總統歐巴馬宣布將智慧型區域電網計畫納入振興經濟方案後，這項技術更引起世界各國的重視。

然而，當電網中再生能源占比越高，會因為再生能源設備不相容，無法即時併入電網系統達成智慧電網調度共享，造成的電力調度問題就越大，亦即，因再生能源的間歇性，造成能源服務程式(微電網功能)無法有效地執行。傳統採用集中式通訊架構無法處理此類

問題，需要具有互操作性(Interoperability)之分散式或混合式通訊架構方能解決此一問題。美國電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)對互操作性的定義是：兩個或多個系統或組成部分之間交換訊息以及對已經交換的訊息加以使用的能力，故互操作性指的就是當各個系統使用不同的技術，並由不同的組織管理時，可為使用者建立連貫的服務，達成相互合作的特性；另一方面，目前的智慧型電網管理系統，若未來想將此技術技轉給客戶使用時，會難以推廣，客戶使用意願也會降低，進而無法將再生能源有效的運用。因此，如何建立具競爭優勢的通用型再生能源作業系統，並藉由研究能源作業系統的資通訊標準及各項功能需求，以整合不同供應商或廠家之再生能源設備，達到智慧電網區域內各能源裝置與設備間資訊共享及智慧電網之管理調度，也是達成實用性的關鍵。

本計畫主要目的在於配合「應用於智慧區域電網之通用型再生能源作業系統」計畫之需求，進行能源作業系統之能源服務程式研發。為實現上述目的，本計畫可分為下列三個研究主軸：

1. 能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究；
2. 適用於能源服務程式之資通訊技術評估研究；
3. 能源服務程式之測試與驗證研究。

本研究報告主要內容包括上述研究主軸，第貳章「一、能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究」說明國際間各項資通訊標準及規範；第貳章「二、能源服務程式之資通訊技術評估研究」介紹應用於能源服務程式的各項資通訊相關技術；核研所沙崙場域的能源作業系統(Energy Operating System, EOS)及數據分散式服務(Data

Distribution Service, DDS)之架構與通訊測試將於第貳章「三、能源服務程式之測試與驗證」中說明；第參章為「主要發現與結論」。

## 貳、 研究方法與過程

### 一、 能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究

智慧電網是整合分散式能源(Distributed Energy Resource, DER)(如：可再生能源、傳統及替代分散式發電、電能儲存)的有效手段，電網區域內的控制系統，可按照既定的規則調度分散式能源，並根據需要管理併網和孤島模式之間的轉換。在智慧電網發展過程中所面臨的一大挑戰，就是對於不同配置與設計的微電網，缺乏最小限度的控制系統要求，由於缺乏標準化，因此需要為每個微電網設計及開發相對應的控制系統，不僅增加了成本及開發時間，也妨礙了不同供應商控制系統之間的互操作性。能源服務程式以整合不同供應商或廠家之再生能源設備為目標，希望能實現智慧電網區域內各能源設備間資訊共享及管理調度的能力，為達成此目標，必須先確認其功能需求，以及採用的資通訊標準。能源服務程式之功能需求及資通訊標準，範圍包括：(1)美國電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)相關標準；(2)國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)相關標準；(3)開放場域訊息匯流(Open Field Message Bus, OpenFMB)標準。

針對能源服務程式之應用面，IEC 62898 系列標準除了提供微電網規劃及規範之指引外，亦涵蓋了微電網應用、資源分析、發電和負載預測、以及運轉與控制等內容。而分散式能源(Distributed Energy Resource, DER)併網需求之相互連性(interconnection)技術與測試規範，皆參考 IEEE 1547 標準。該標準緣起於 2003 年，在 2018 年加入互操作性要求，由此可知互操作性的重要性。為了提升互操作性，

目前有一項技術其主要功能為整合現今之通訊協定並應用其在能源方面之管理，從而完成彈性、安全及更有效率的能源系統，其名稱為 OpenFMB，許多能源廠商也相繼跟進及協助運用 OpenFMB 發展其能源系統。因此，本計畫亦參考及使用 OpenFMB 作為主要系統框架，以實現不同供應商裝置間的互操作性[1][2]。

因現有通訊協定相當多，百家爭鳴，為了達成更高效益的資訊傳輸，整合資通訊之互操作性尤為重要。圖 2-1-1 說明能源服務程式之資通訊系統架構，提供一個標準的架構，使電力系統的現場設備能夠相互操作，不再需要經過中央系統才能溝通。在 OpenFMB 框架下，可分成應用程式層、數據/資訊模型層、物聯網通訊協定層及裝置通訊協定層等。應用程式方面，IEEE 2030.7 規範了微電網控制器的功能需求，可提供建置微電網的控制系統或分散式能源管理系統之參考，IEEE 2030.8 則提供了微電網控制系統測試相關的要求，依循上述標準，可讓不同控制器與元件之間具有互操作性，使擴充更加彈性。數據/資訊模型方面，在 OpenFMB 架構中，需要傳輸、交換的資訊，則可參考共同資訊模型(Common Information Model, CIM)或 IEC 61850 之數據模型的標準來包裝，再經由選用之物聯網通訊協定，即可進行資料的發布/訂閱，使資訊在各裝置間互通。

本計畫研究與智慧電網相關之資通訊技術，最終將導入於核研所所區內之測試場域或沙崙測試場域，透過 Modbus RS-485 通訊介面，傳輸逆變器、電表和儲能系統之資訊至能源作業系統(Energy Operating System, EOS)平台彙整，其整體架構如圖 2-1-2 所示。詳細能源服務程式之功能需求及資通訊標準，將於後述章節中進行說明。

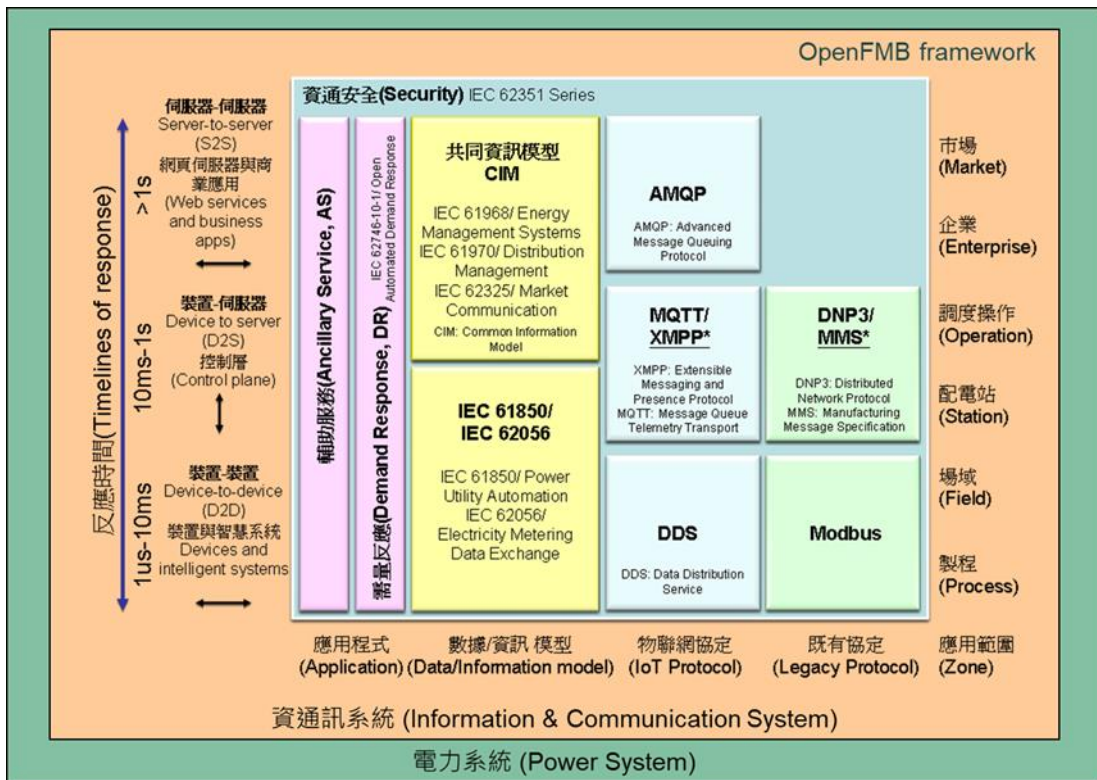


圖 2-1-1 能源服務程式之資通訊系統架構

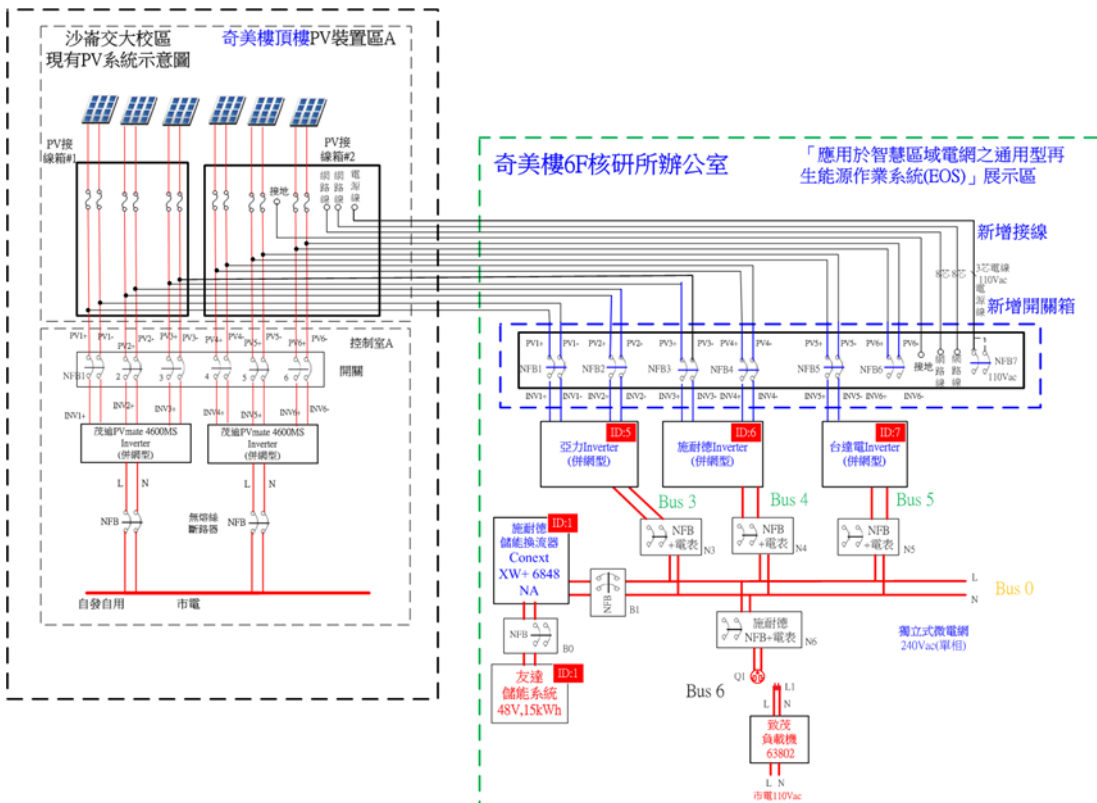


圖 2-1-2 沙崙測試場域佈線圖

## (一) 美國電機電子工程師學會標準研究

為了提供電力系統和終端應用/負載間的智慧電網互操作性的相關知識，美國電機電子工程師學會 IEEE 在 2011 年發布了 IEEE 2030 “Guideline for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System(EPS), and End-Use Application and Loads”。IEEE 2030 系列標準包含了與電力系統及智慧電網相關之技術術語、特徵、效能表現、評估準則以及應用原理等。

在 IEEE 2030 系列標準中，IEEE 2030.7 “IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers”為微電網控制器的技術規範，目的是讓不同控制器與元件之間能有互操作性，使擴充更加彈性；而 IEEE 2030.8 “IEEE Standard for the Testing of Microgrid Controllers”則是作為 IEEE 2030.7 的補充，提出了一套微電網控制系統的標準化測試程序，藉由定義測試初始條件、啟動事件，再進行測試，以驗證、量化微電網控制器的操作和性能，並與預期的最低要求進行比較。下述章節即針對 IEEE 2030.7 及 IEEE 2030.8，說明微電網控制系統設計及測試相關概念及需求。

### 1. 微電網基本設計概述與需求

微電網設計需符合微電網互連點(Point of Interconnection, POI)及共用耦合點(Point of Common Coupling, PCC)之需求，包括：反孤島效應(Anti-Islanding)、低高壓和/或頻率穿越(Low- or High-Voltage and/or Frequency Ride-Through)、與電力品質(Power Quality)等技術需求、以及有關實虛功輸入和輸出之操作需求。微電網控制系統

(Microgrid Control System)，亦即，微電網控制器與週邊設備(例如：分散式能源、負載、斷路器)，則需滿足這些需求。

對於公用電網(以臺灣為例，即為臺灣電力公司的供電網路)而言，微電網可視為一可控制的單元(Controllable Entity)，微電網控制系統為了實現「可控制」之目標，需滿足 IEEE 2030.7 定義之高階、中階(核心)、或低階之微電網控制器互連性功能需求，如圖 2-1-3 所示。例如，微電網在特定電壓和頻率條件下，斷路器(Breakers)和隔離開關(Disconnects)需要斷開來維持特定功能，此時，則涉及 IEEE 2030.7 中所定義之核心功能與低階功能的互連性規劃。(註：後續章節將以「核心功能」取代「中階功能」之專有名詞進行說明)

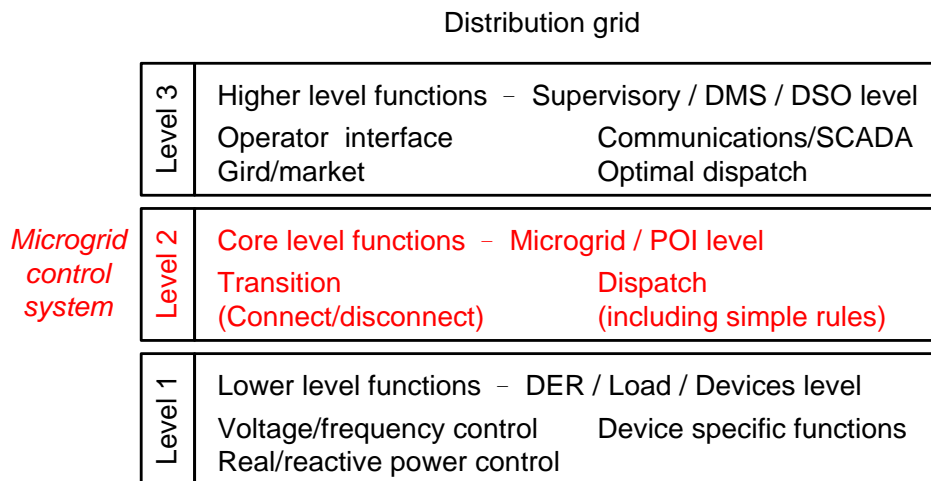


圖 2-1-3 微電網控制系統功能架構[4]

IEEE 2030.7 所述之核心功能，是透過內聚(Cohesive)和平台獨立(Platform-independent)的介面，以模組化的方式進行微電網控制系統之控制組件(Control Components)設計。無論軟硬體是商用還是客製規格，控制組件都必須可以互相操作，並且必須具備與微電網控制系統相容之介面。IEEE 2030.7 為功能導向之標準，用模組化的方式



定義互操作性的基本功能及相互關係，以達成微電網控制系統之功能擴展。IEEE 2030.7 定義了兩個主要的核心功能，包括併網及孤島運轉[4]：

- (1) 調度功能(Dispatch Function)：使各個裝置、元件調度到特定的操作模式和設定值。
- (2) 轉換功能(Transition Function)：監控併網與孤島狀態切換的過程，並確保調度的功能符合現在的狀態。需考慮如下狀況：
  - (a) Unplanned Islanding (非計畫性孤島狀態切換)；
  - (b) Planned Islanding (計畫性孤島狀態切換)；
  - (c) Reconnect, with as applicable (重新併網)；
  - (d) Black start (全黑啟動)。

## 1.1 微電網控制系統之功能需求

### (1) 一般功能需求

任何微電網控制系統在不同運轉模式下，包括：連接穩態電網、穩定孤島、或是在併網和孤島模式間之暫態過程，都應該執行適當的動作。IEEE 2030.7 根據微電網控制系統必須執行的功能來討論其所需的行為，控制系統的核心功能需滿足 IEEE 2030.7 定義的最低功能(Minimum Functions Necessary)，並以上述目標作為基礎。這些功能可以實現在微電網控制系統的任何地方，不限於任何特定的控制設備，並可以採用集中式

(Centralized)、非集中式(Decentralized)、或混合式(Hybrid)架構實現。

## (2) 核心功能需求

圖 2-1-4 說明核心功能中，調度功能和轉換功能的關聯性和交互作用。核心功能計算的時間通常較低階功能長，在永久孤島微電網的情況下，與連接和斷開相關的轉換功能不會使用到，此時，微電網控制系統僅執行調度功能，確保整體系統之穩定性。在本計畫中，將針對併網及孤島模式之調度及轉換功能進行說明。

### 1.1.1 微電網控制系統之調度功能

調度功能旨在調度微電網資產(Asset)，例如：週邊設備或其個別控制器並提供適當的設定點。它統籌分配微電網內可用的分散式能源與可調度的負載，並確保微電網正常運行。調度指令(Dispatch Order)基本上是透過調度功能發送到微電網資產或個別控制器的一組命令，這些命令包括：開啟或關閉、啟動或停止、設定發電輸出、以及降低負載等，如圖 2-1-5 所示。

控制系統應依據運轉需求調度微電網資產，對微電網內的負載提供服務。就電力方面而言，即滿足電力品質之需求。在併網模式下，它應滿足配電系統營運商設定的互連協議(例如：能源消耗或產出)和互連要求(例如：電力品質)，以及微電網所有

者之要求。上述營運商及微電網所有者的要求，應適用於計畫性或非計畫性的斷開或孤島事件，在非計畫性的斷開情況下，微電網應依據互連要求中規範的參數斷開，或執行緊急調度指令(Emergency Dispatch Order, EDO)。

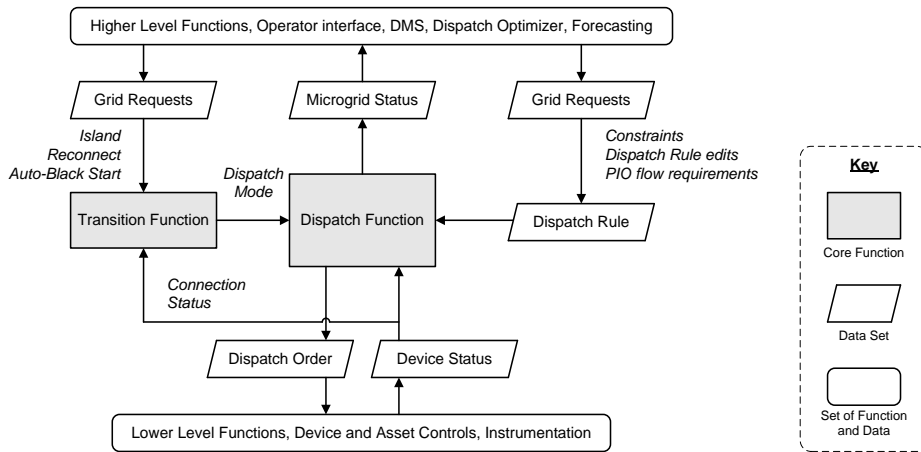


圖 2-1-4 微電網控制系統之核心功能關係圖[4]

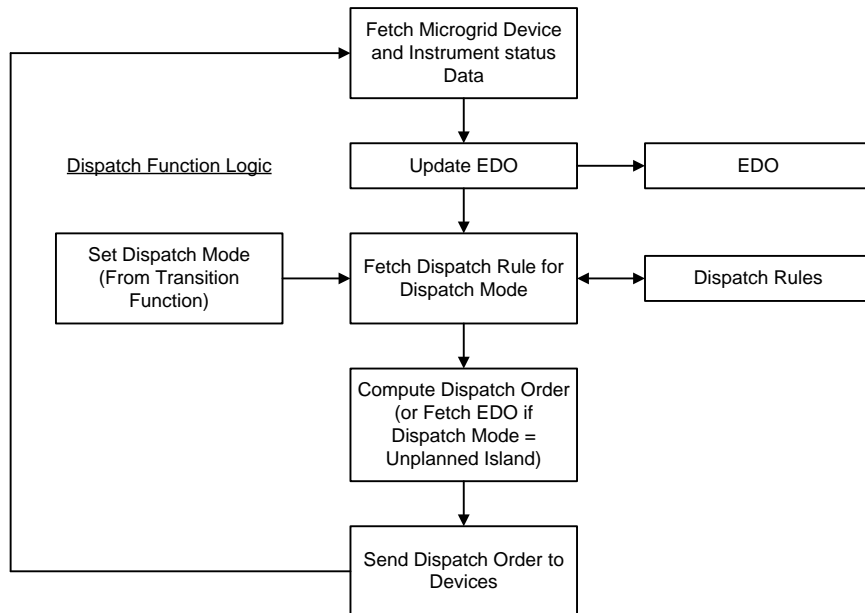


圖 2-1-5 電網控制系統之調度功能邏輯圖[4]

整體而言，調度核心功能應提供以下的功能：

- (1) 在正常的孤島操作條件下，平衡發電及負載；
- (2) 透過重新調度可控制的資源，回應內部事件相關的負載和發電狀況；
- (3) 透過重新調度可控制的資源，回應外部指令(例如：互連協議要求)及外部事件。

在併網模式下之調度功能應包括：

- (1) 分散式能源控制(個別或協調的方式)
- (2) 負載管理
- (3) 調度控制(查找表(Look-up Table)或最佳函數的方式)
- (4) 斷路器(透過電驛控制)、開關、和其他切換和控制設備的操作
- (5) 電壓調節(包括：電容器切換，變壓器分接頭切換、以及虛功補償)
- (6) 電力交易(設定共用耦合點(PCC)投入之實功與虛功)

而在孤島模式下，調度功能應包括[4]：

- (1) 分散式能源之控制與命令(個別或協調的方式)；
- (2) 負載管理；
- (3) 調度控制(查找表(Look-up Table)或最佳函數的方式)；
- (4) 斷路器、開關和其他切換和控制設備的操作；
- (5) 電壓調節(包括：電容器切換，變壓器分接頭切換、以及虛功補償)；
- (6) 頻率控制(微電網發電機或儲能裝置設定)；
- (7) 維持電力品質(監測電力品質並採取適當的補償措施)。

### 1.1.2 微電網控制系統之轉換功能

由於微電網控制系統應滿足互連要求和微電網內部需求，轉換功能不應該以與上述要求不一致的方式斷開。轉換可由下述的請求(Request)發起：

- (1) 計畫性孤島運轉請求(T2 mode)；
- (2) 重新連接請求(T3 mode)，視需要則進行全黑啟動(T4 mode)。

轉換也可能是因為系統狀況而產生，此時會導致非計畫性的孤島轉換(T1)。當轉換完成後，微電網將運轉於電網併聯模式(SS1)，或者是孤島模式(SS2)。電網在轉換過渡階段的操作及過程如下：

- (1) 計畫性孤島：
  - (a) 接收孤島指令
  - (b) 平衡負載和發電(在 POI 將 P 和 Q 調整為 0)
  - (c) 適當設置區域控制器和保護裝置
  - (d) 創建孤島
  - (e) 轉換至穩態孤島調度模式
- (2) 非計畫性孤島：
  - (a) 偵測孤島情況
  - (b) 創建孤島
  - (c) 適當設置區域控制器和保護裝置

- (d) 執行所需的預先計畫動作，例如卸載(和/或需要時執行全黑啟動)
  - (e) 轉換至穩態孤島調度模式
- (3) 重新連接至電網：
- (a) 根據可用的電網要求或標準，在規定的範圍內重新同步、設置/匹配電壓、相角和頻率。
  - (b) 適當設置區域控制器和保護裝置
  - (c) 重新連接
  - (d) 轉換到穩態併網調度模式，適當恢復非關鍵性的負載
- (4) 全黑啟動：

如果電網有需要則執行全黑啟動，由於每個電網全黑啟動的方式不一樣，在 IEEE 2030.7 中並無特別描述。

## 1.2 微電網控制系統之指標概述

### 1.2.1 調度功能指標

對於調度功能，可量測量(Measurable Quantities)的相關指標包括：

- (1) 可直接量測的量(Directly Measurable Quantities): 電壓和電流(時域波形)；
- (2) 導出量(Derived Quantities): 頻率、有效值電壓、有效值電流、相位角、實功率(電力潮流方向)、虛功率(超前或滯後)、

互連點(POI)處交換的能量、電力品質指標(電壓和電流諧波失真、個別諧波、電壓驟降、電壓驟升、電壓變化率(Rapid Voltage Changes, RVC)、閃爍)、參考追蹤誤差。

表 2-1-1 說明調度功能之功能要素、功能特徵、參數與指標、以及測試方法，而在併網模式及孤島模式下的相關功能特徵與指標，如表 2-1-2 及表 2-1-3 所示。

表 2-1-1 調度功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
微電網控制系統之 DER 調度(發電機與儲能裝置)	實現 DER 調度表或演算法	微電網控制系統響應準確性與穩定時間	量測控制系統性能
非關鍵負載管理	執行設定點	在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及穩態誤差	量測在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及穩態誤差
需量反應	執行負載優先順序與削減	在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及動態響應(上升時間、穩定時間、超越量)	量測在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及動態響應(上升時間、穩定時間、超越量)
微電網控制系統調度性能	調度功能之動態響應	在穩態與轉換之響應與偏差	比較偏差/誤差與指標之差異
電力品質	維持電力品質低於閾值	電壓與電流、諧波失真、個次諧波、電壓驟降/驟升、電壓變動率(RVC)、	量測電壓與電流、諧波失真、個次諧波、電壓驟降/驟升、電壓變動率

		閃爍	(RVC)、閃爍
數據收集	感測器反應	訊號可用度/精確度	訊號量測

表 2-1-2 在併網模式下之調度功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
DER 控制	個別調度/ 協調調度	符合互聯協定，在互連點(POI)處的實功(P)、虛功(Q)	在互連點(POI)處的實功(P)、虛功(Q)
負載管理	(A)卸載、需量反應 (B)負載恢復	符合負載需求	符合負載需求控制及調節
調度控制	找查表/ 最佳化(如適用)	符合調度目標	驗證/量化目標
斷路器、開關操作	微電網控制系統	裝置狀態	訊號可用度、狀態
電壓調整	電容器切換、變壓器分接頭切換	電壓調整	電壓調整的準確度、電壓跟隨
電力交易	微電網控制系統	符合互連點(POI)處的實功(P)、虛功(Q)	在互連點(POI)處的實功(P)、虛功(Q)

表 2-1-3 在孤島模式下之調度功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
DER 控制	個別調度/ 協調調度	電壓、頻率在規範內，提供最大發電供負載使用 (Minimizing load not severed)	在互連點(POI)處之電壓、頻率，在微電網內的實功(P)、虛功(Q)潮流
負載管理	卸載、需量反應	符合負載需求	緊急卸載與數量
調度控制	找查表/最佳化(如適用)	符合調度目標	驗證/量化目標
斷路器、開關操作	微電網控制系統	裝置狀態	訊號可用度、狀態



功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
	指令		
電壓調整	電容器切換、變壓器分接頭切換	電壓調整與偏差	電壓調整、電壓跟隨與品質

### (1) 調度功能之測試劇本設計

微電網之調度功能測試及檢驗時，應針對上述表 2-1-1、表 2-1-2 與表 2-1-3 所述的特徵與指標，進行測試劇本(Test Scenarios)的設計：

- (a) 以併網運轉模式而言，需定義微電網內負載和發電的變化、對微電網內運轉與潮流(P/Q)的影響、以及在互連點(POI)處的實功(P)、虛功(Q)潮流。
- (b) 以孤島運轉模式而言，需定義微電網內負載和發電的變化、對微電網內運轉與潮流(P/Q)的影響、以及在互連點(POI)處與微電網內(V/f)波動的影響。

對於每一種調度模式，在表 2-1-1 至表 2-1-3 「功能特徵」欄中的調度功能特性，應參照上述，使用可量測量進行測試，並與特定指標進行比較。同時，測試劇本應考慮以下條件，以便對調度功能進行完整的測試。

### (2) 微電網的運行 – 應包括微電網控制系統在執行特定測試之

前的運轉條件，如：

- (a) 發電組合(可調度和不可調度)；
- (b) 儲能設備 (操作模式、充電狀態)；
- (c) 負載成分(恆定阻抗、恆定P-Q、和有功負載)和負載組合

(百分比組成)；

(d) 斷路器狀態、開關、和電壓控制設備；

(e) 微電網和公用電網之間的功率交換(P, Q)(從電網連接到孤島模式轉換之前)；

(3) 執行測試時電網的狀態 – 應包括 POI 處的電壓，以及發生暫態時電網上的任何干擾。

另外，測試劇本亦應一併考慮以下的調度功能輸入限制/規則：

(1) 調度功能操作的限制 – 應包括穩態併網模式上調度功能的限制，例如：契約要求與設備限制，以實現成功的非計畫孤島運轉。

(2) 優先權和邏輯所需的調度規則 – 是將基於規則或基於最佳化調度函數實現。

(3) POI 流的需求(併網模式) – 反映在 POI 處所需的微電網功率交換約束(constraint);這可以是給定電壓及頻率下，實虛功的時間函數。

### 1.2.2 轉換功能指標

表 2-1-4 說明轉換功能之功能要素、功能特徵、參數與指標、以及測試方法，表 2-1-5 到表 2-1-7 則分別針對計畫性孤島、非計畫性孤島、以及重新併網等情況說明其功能特徵與指標：

表 2-1-4 轉換功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
轉換啟動	計畫性或非計畫性	微電網控制系統響應準確性與穩定時間	量測控制系統響應
視需要平衡負載及發電	DER 改變/負載調度命令	在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及穩態誤差	量測在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及穩態誤差
轉換至新的運轉情況	DER 改變/負載調度命令	在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及動態響應(上升時間、穩定時間、超越量)	量測在互連點(POI)之實功、虛功、電壓、頻率(如適用)及動態響應(上升時間、穩定時間、超越量)
控制器返回,設定新裝置	查找表或其他同等方式	在穩態與轉換之響應與偏差	視需要進行驗證
數據收集	感測器反應	訊號可用度	訊號精確度

表 2-1-5 計畫性孤島下之轉換功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
Step 1：初始化	接收孤島命令	接收控制訊號	驗證收到的命令、收到的時間、介入時間
Step 2：內部平衡	平衡負載和發電(在 POI 將 P 和 Q 調整為 0)	平衡負載和發電、反應時間	視需要驗證訊號
Step 3：返回	適當設置區域控制器和保護裝置	送出的訊號、實現的變化	視需要驗證訊號
Step 4：移動至孤島模式	創建孤島	POI 連接開啟	驗證 POI 開啟、反應時間

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
Step 5：返回至一般運轉	轉換至穩態孤島調度模式	範圍內電壓及頻率，低於閾值的電力品質	觀察 V、f、瞬態響應(升時間、穩定時間、超越量)和電力品質

表 2-1-6 非計畫性孤島下之轉換功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
Step 1：初始化	偵測孤島情況	接收控制訊號	驗證收到的命令、收到的時間、介入時間
Step 2：返回	適當設置區域控制器和保護裝置	送出的訊號、實現的變化	視需要驗證訊號
Step 3：移動至孤島模式	執行所需的預先計畫動作，例如卸載(和/或需要時執行全黑啓動)	POI 連接開啟	驗證 POI 開啟、反應時間
Step 4：返回至一般運轉	轉換至穩態孤島調度模式	範圍內電壓及頻率，低於閾值的電力品質	觀察 V、f、瞬態響應(上升時間、穩定時間、超越量)和電力品質

表 2-1-7 重新連接之轉換功能特徵與指標[4]

功能要素	功能特徵	參數與指標	測試方法
Step 1：初始化	根據可用的電網要求或標準，在規定的範圍內重新同步、設置/匹配電壓、相角和頻率	相角和電壓差，限制範圍內之相角及頻率變化率	電壓、相角、相角或頻率變化率、差值、響應時間
Step 2：返回	適當設置區域控制器和保護裝置	送出的訊號、實現的變化	視需要驗證訊號
Step 3：移動至併	重新連接	POI 連接關閉	驗證 POI 關閉、驗

網模式			證 PQ 流、反應時間
Step 4：返回至一般運轉	轉換到穩態併網調度模式，適當恢復非關鍵性的負載	範圍內電壓及頻率，低於閾值的電力品質	驗證最後的 PQ 流、穩定時間、電力品質

## 2. 微電網控制系統之基本測試概述

### 2.1 核心功能測試概述

在測試程序中，實虛功響應相關參數是由互連需求與協議來規範，這些參數與微電網控制系統有關，並受到 DER 控制器、負載響應、以及其他系統特性影響。因為這種控制器之間的緊密耦合性，所以 IEEE 2030.8 標準中，係採用「微電網控制系統(Microgrid Control System, MGCS)」一詞取代微電網控制器來規範測試需求。

IEEE 2030.8 標準規範微電網控制系統的測試架構(Framework)，測試方法要求使用者執行以下項目：

- (1) 定義微電網控制系統之測試範圍；
- (2) 定義在五種主要測試類別(Categories)中，測試之初始條件(Initial Conditions)與觸發事件(Initiating Events)；
- (3) 執行測試與評估微電網控制系統的性能(Performance)。

在規劃測試方法時，以下所列皆為進行評估的必要項目：

- (1) 劇本(Scenarios)；
- (2) 指標(Metrics)。

## 2.2 測試劇本規劃

IEEE 2030.8 標準說明在測試核心功能時，需要量測的項目、以及設計測試劇本需要注意的項目。IEEE 2030.7 定義穩態運轉、從併網到孤島之暫態模式、以及核心功能之運轉與功能需求，針對微電網控制系統的建議測試方法，包括以下項目與步驟：

- (1) 定義測試劇本：在具明確定義與代表性的條件下測試核心功能；
- (2) 定義性能指標：考慮現行適用於配電系統之相關標準、適用於配電網需求與電網規範(Grid Codes)以及相關與適用之儀表與量測技術；
- (3) 定義測試環境範圍：從完全模擬環境到現場設備。針對測試微電網控制系統整體或單元，一可接受的模擬環境為一具備硬體迴路(Hardware-in-the-Loop, HIL)之即時模擬環境。

## 3. 核心功能之測試需求

IEEE 2030.8 規範微電網控制系統之功能測試，以符合 IEEE 2030.7 所述之核心功能目標。核心功能的實現可以透過多種方法完成，具體取決於實現位置以及實現微電網控制系統所採用的方法，包括：

- (1) 集中式(Centralized)架構；
- (2) 分散式(Distributed)或非集中式(Decentralized)架構。

集中式控制器特徵為基於性能需求、資源可用率、以及調度方法或演算法，統一由一控制器進行調度資產與控制元件，演算法可以

基於最大化的簡單規則，例如：優先調度指令給指定的資產、或基於符合最小能源成本與最大再生能源滲透率等最佳化演算法。集中式方法採用習用與成熟的軟硬體實現一致且可靠的性能；分散式控制在個別資產實現控制功能來符合性能需求，例如：基於逆變器的發電機，分布式方法提供強健與備援性能，尤其是在通訊或個別資產故障的情況下。

測試方法則需依據微電網運轉模式、併網或孤島之穩態模式、或併網與孤島切換間之轉換模式進行分類。詳細測試需求於後續章節描述。

### 3.1 一般測試條件

基本測試方法是建立與設計測試劇本，包括：微電網控制系統之核心功能及微電網各種組件內建功能之執行。相關可測試與可驗證的指標說明於該標準，調度測試包括反映正常運轉與偶發(Contingency)狀況的劇本集，併網測試時，係指互連點(POI)處之斷路器最初為關閉狀態；孤島測試代表 POI 之斷路器最初為開路狀態。

### 3.2 測試程序之概念流程圖

圖 2-1-6 說明微電網控制系統核心功能測試之概念流程圖，意旨在此標準中規範所有強制性測試(Mandatory Tests)的最低需求，測試依據核心功能之設計評估進行分類。每種測試由不同劇本組成，測試依據單一劇本及其初始條件(例如：POI 之斷路器狀態、資產狀態、

電力潮流及微電網控制系統設定)與觸發事件執行，測試程序的初始條件包括：確定所有斷路器的初始狀態與微電網初始調度狀態。

一旦初始條件設定完成，透過觸發事件，例如：電力系統故障或斷路器開路，進入到觸發測試程序。針對測試執行，需要收集測試報告與指標計算之特定資料。針對每種核心功能測試之測試劇本集，應重複此一資料收集程序，針對導致微電網控制系統未能成功執行的特定劇本，應分析其故障原因、適當的緩解並重新測試。

圖 2-1-6 所述之概念流程圖，可適用於不同運轉模式，並提供一適用於所有類型微電網的通用架構。然而，並非所有的微電網都有負載變動(Varying Loads)、負載分接開關(Load Tap Changers)、或其他系統資產，因此，並非表列測試皆適用於所有微電網。

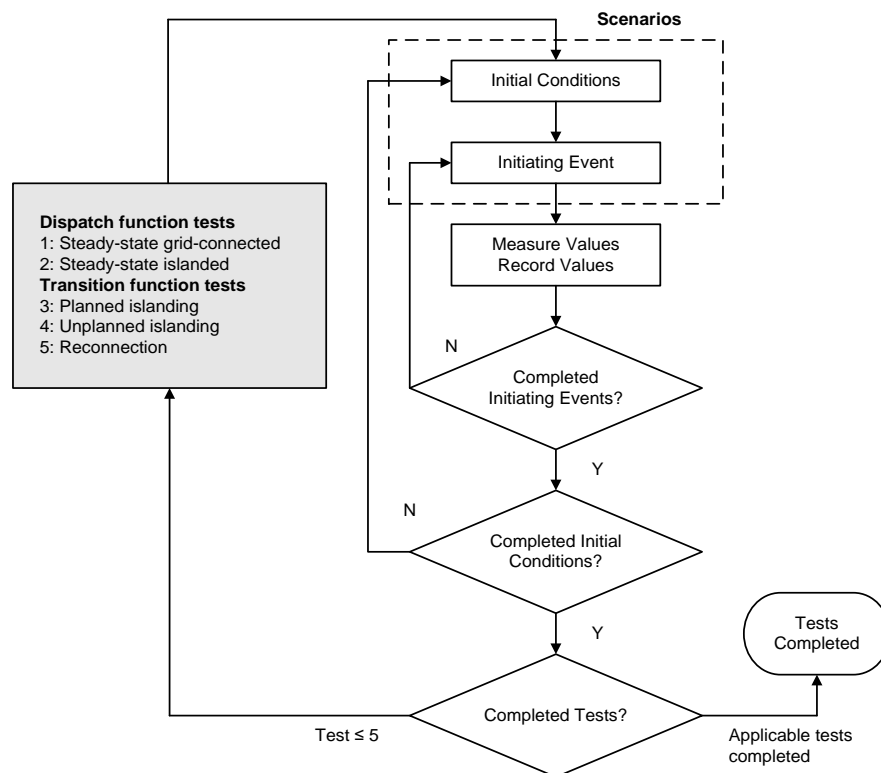


圖 2-1-6 核心功能測試之概念流程圖[5]



### 3.3 現場數據收集

針對現場微電網控制系統，表 2-1-8 說明數據收集的最低需求 (Minimum Requirements)，由微電網控制系統收集這些數據，並使用這些類型的數據收集技術於微電網控制系統測試，用以量測微電網系統性能與判斷事故肇因。另外，頻率、RMS 電壓、RMS 電流、相角、實虛功、電力與負載需求、電力品質、參考追蹤誤差、損失以及效率可由收集到的數據推導。

表 2-1-8 現場數據收集之最低需求[5]

數據收集類型	最小時間同步精度	最小取樣率	最小振幅精度	必要收集數據	符合IEEE Std. 2030.7 需求
事件順序紀錄 (Sequence of Events, SOE)	1/4電力系統週期(以60Hz系統為例： 0.004166秒)	1/4電力系統週期	N/A		Yes
事件波形 (Event Oscillography, OSC)	1/4電力系統週期	1/4電力系統週期	正常電壓 1% 正常電流 5%	所有相位的電壓與電流	Yes
連續數據收集 (Continuous Data Collection)	1/4電力系統週期	100ms	正常電壓 1% 正常電流 5%	所有相位的電壓與電流	Yes

現場數據收集位置(Locations of Field Data Collection)需採用以下三種方法之一：

- (1) 對於任何具有一個 DER 的微電網，應在 POI 的兩側收集數據；
- (2) 對於具有兩個或更多 DER 的任何微電網，應在每個 DER 和 POI 處收集數據；
- (3) 對於大於最大 DER 的 50%的任何負載以及大於微電網消耗的最大總功率的 10%的任何單一負載，應在該 DER 和負載處收集數據。

事件指標(Event Metrics)之數據收集類型，如表 2-1-9 所示，說明每個事件所需收集的數據類型及參考標準，當控制系統參與任何列出的事件時，微電網控制系統應進行這些數據收集。

現場數據收集是為了後續由合格的專業工程師審查並確認微電網的可接受性能。目的是為微電網的可靠控制、保護、監控、及操作提供最小的數據收集需求。需要相同的數據集來驗證微電網控制系統和硬體迴路(Hardware-in-the-loop, HIL)測試。保護、控制、機械、逆變器、SCADA、以及立約等專業人員或專家應使用此處規定的數據。在實驗室中進行的微電網控制系統測試，則應針對所有指標參考這些數據集來進行驗證。

表 2-1-9 微電網控制系統數據收集需求[5]

事件	SOE	OSC	CDC	符合IEEE Std. 2030.7需求
非計畫性孤島	X	X	X	Yes
計畫性孤島	X	X	X	Yes
同步事件	X	X	X	Yes
DER故障	X	X		Yes
迴路故障	X	X		Yes
卸載事件	X	X	X	Yes
DMS/EMS調度設定點改變			X	Yes
全黑啟動	X	X	X	Yes

### 3.4 調度功能測試

微電網控制系統之調度功能及其組成元件，在 IEEE 2030.7 中被完整的討論，應測試調度功能的相關操作，來幫助確認 MGCS 與互連性標準或其他互操作性相關標準相容。微電網的調度功能耗費時間通常以分鐘為單位(典型為 15 分鐘或更短)，較轉換功能以毫秒為位長，如表 2-1-10 所示，說明調度功能測試之需求。

表 2-1-10 穩態孤島測試劇本[5]

初始條件	觸發事件	測量項目
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ POI斷路器開路</li> <li>▪ 調度指令與目的</li> <li>▪ 電力系統狀態(包括：斷路器狀態、電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 電力系統干擾，包括：微電網開路或短路條件</li> <li>▪ DERs跳脫</li> </ul>	在契約要求與設備限制下之電壓、頻率、實功、虛功、穩定時間、超越量、及穩態變數。

初始條件	觸發事件	測量項目
力潮流、及不平行負載) ■ 預期最小、平均、最大負載範圍 ■ 可調度與不可調度之 DER 組合	■ 設定點大幅改變 ■ 最大負載啟動與停止 ■ 所有電壓控制裝置的動作 ■ 調整所有負載或分散式能源之實虛功到達每個分散式能源設定之預期最小/最大之發電量	

注意：部分表列初始條件無法在某些網電網完成，這是因為某些 DER 或負載無法透過請求的方式設定。如果微電網控制系統的環境及設備允許，應測試表中所有初始條件組合 (All Initial Condition Combinations)，以確立穩態孤島在觸發事件之各項測試項目的回應及其狀態。

#### 4. 微電網控制系統之指標評估

在測試程序中，基於測試核心功能的劇本，只能測量的變量只有電壓與電流。導出量為頻率、實虛功及電力品質相關指標(電壓與電流諧波、電壓驟降與驟升、閃爍)。IEEE 2030.8 標準僅涉及 POI 的穩態與暫態電壓、頻率響應，及功率交換(實虛功)，這些操作區域的典型參數可以參考 IEEE 1547、ANSI C84.1、CA PUC Rule 21、或互連協議(Interconnection Agreement)來定義。

針對穩態與暫態電壓、頻率響應指標，孤島型微電網通常具有較寬鬆的電壓與頻率限制，如圖 2-1-7 所示。

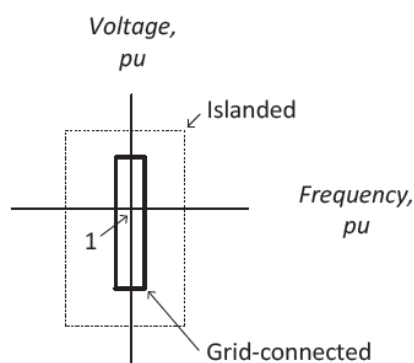


圖 2-1-7 孤島模式之允許電壓與頻率範圍[5]

針對實虛功響應指標，在暫態期間(Transients)實虛功變化的特徵在於上升時間、超越量、穩定時間、及穩態誤差。典型的響應如圖 2-1-8 所示。響應相關參數透過互連性需求與協議規範，這些參數可由互連性契約、所有者規範、或設備規格定義，擷取的資料(Data)則用於確認這些指標符合規範。

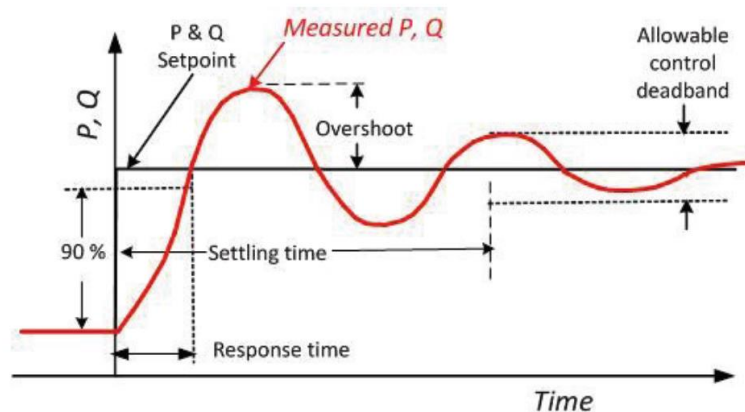


圖 2-1-8 調度功能之實虛功響應[5]

## 5. 微電網控制系統之測試程序規劃

微電網控制系統與標準的符合性應通過測試劇本和指標的測試來確定。根據其互連要求和協議以及系統規範，測試應由供應商根

據微電網所連接的設施或實體的要求進行。依據微電網控制系統核心功能測試之概念流程圖，IEEE 2030.8 提供之範例如下：

### **(1) 初始條件(Initial Conditions)**

在每個測試劇本的開始，應加設定一組新的初始條件。初始條件是依據測試輸入來定義。測試輸入不是指由另一個實體發出給微電網的命令或指令。而是，對應於微電網資產的當前操作狀態和微電網在其中操作的環境(例如：天氣模式)。圖 2-1-6 提供了核心功能測試之概念流程圖，其中包括初始條件和正在測試的劇本。測試調度功能的初始條件示例包括：

- (a) 再生能源輸出(由於太陽輻照度和風速變化)；
- (b) 負載需求；
- (c) 儲能裝置之充電狀態。

### **(2) 調度目的(Dispatch Objective)**

測試框架的第二層是調度規則和目標。這些由微電網所有者根據配電業者(Distribution System Operators, DSO)、微電網客戶、及 DER 所有者的期望來定義。另外，測試可以包括這些目標的共同優化。調度規則和目標包括：

- (a) 減少實際功率損失(Diminish Real Power Losses)；
- (b) 減少排放(Diminish Emissions)；
- (c) 減少燃料消耗(Diminish Fuel Consumption)；
- (d) 減少最使用者的電力成本(Diminish Cost of Electricity to End User)；
- (e) 減少未服務的關鍵負載 (Diminish Critical Load-not-Served)；

- (f) 最佳化再生能源輸出 (Optimize Renewable Energy Output) ;
- (g) POI 調度指令(POI Dispatch Orders) ;

### **(3) POI 調度指令(POI Dispatch Order)**

測試框架的第三層是來自配電業者(DSO)或獨立系統營運商(Independent System Operator, ISO)的 POI 調度順序。POI 調度訂單需要符合微電網和 DSO 之間的互連協議。這應該有助於規定哪些調度訂單是強制性的、哪些調度訂單是可選的，但提供一些營運、財務或其他方面的好處。微電網控制系統的 POI 調度測試應遵循要安裝的微電網的特定互連要求。POI 調度訂單的示例包括：

- (a) 導入實際功率要求(Import real power requirement) ;
- (b) 輸出實際電力需求(Export real power requirement) ;
- (c) 在 POI 處零 MW 傳輸(Zero MW transfer at POI) ;
- (d) 在 POI 處統一功率因數(Unity power factor at POI) ;
- (e) Volt/VAR 支持(Volt/VAR support) ;
- (f) 頻率調整(Frequency regulation) ;
- (g) 備載容量(Spinning reserve provision) 。

### **(4) 觸發事件(Initiating Events)**

測試框架的第四層詳細說明了微電網和電力系統在執行調度功能時可能遇到的不同類型的干擾(Disturbances)。該清單並非詳盡無遺，但它凸顯了大多數微電網中需要調查的關鍵干擾。故障情境(Fault Scenarios)應該嘗試概括導致哪些類型的故障，以及在何處找到它們。配電過程中的干擾包括：

- (a) 馬達啟動/大量負載升壓(Motor Startup/Large Load Step Up) ;
- (b) 馬達跳脫/大量負載下降(Motor Trip Off/Large Load Drop) ;
- (c) 單部同步發電機損失(Loss of a Single Synchronous Generator) ;
- (d) 光伏/風的損失(Loss of PV/Wind) ;
- (e) 光伏/風的顯著增加(Significant Increase in PV/Wind) ;
- (f) 儲能損失(Energy Storage Loss ) ;
- (g) 同步電網形成電壓(Forming Voltage)源故障(Fault of Synchronous Grid-Forming Voltage Source) ;
- (h) 饋線損失(Loss of Grid-Feeder Source) 。



## (二) 國際電工委員會標準研究[26][27]

國際電工委員會考慮到併網型微電網和獨立型微電網與併網之規畫和控制運轉技術，提出了 IEC 62898 系列技術規範(Technical Specification)，包含 IEC TS 62898-1 “Microgrids - Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification”、以及 IEC TS 62898-2 “Microgrids - Part 2: Guidelines for operation”。IEC 62898-1 為微電網項目規劃和規範提供指引，內容包括：微電網應用、資源分析、發電和負載預測、分散式能源微電網電力系統規劃、以及分散式能源的高階技術要求等；IEC 62898-2 則提供了微電網操作和控制的指南，包括：操作模式與模式轉換、能源管理系統和微電網控制、通訊與監測程序等。

在 IEC 62898 系列中，微電網規劃與設計的主要任務是評估當地的能源資產、確定微電網的架構與分散式能源的連接要求，所以為了達到優化系統的目的，使用者應需事先確認微電網的應用範圍。

配合初期能源服務程式發展，本計畫將以獨立型微電網(與孤島型電網不同，獨立型微電網並不具有併網機制)為主進行說明，圖 2-1-9 為獨立型微電網的架構範例。獨立型微電網僅包括分散式能源、負載、儲能裝置和控制及監測設備，與公用電網沒有任何連接，當接上可再生能源，應保證一定程度的電力品質和可靠性。獨立型微電網的架構應滿足以下要求：(a)確保系統運作的穩定性和安全性；(b)為重要負載提供穩定的供電；(c)盡可能提高系統運作的經濟性。圖 2-1-10 為併網型微電網的架構範例。併網型微電網通過併網點(Point of Connection, POC)接入公用電網，可運行併網模式或孤島模

式，配有必要之儲能裝置與可調度之發電裝置。併網型微電網強調應利用包含可再生能源在內的當地資源，配合儲能裝置確保孤島模式下可對重要負載提供持續性的供電，保證一定程度的電力品質和可靠性，因此為了實現併網型微電網能夠在不同運行模式之間無縫、安全切換，應設有提高電力品質和供電可靠性的相關裝置，如濾波器、虛功率補償裝置等。

IEC 62898 系列為微電網的規劃、設計、運作和控制指引，涵蓋大部分應用層面的工作項目，故能源服務程式發展所需之應用需求，可參考 IEC 62898 系列內容進行發展。下面章節將針對 IEC 62898 系列技術規範的各項要求及規範進行說明。

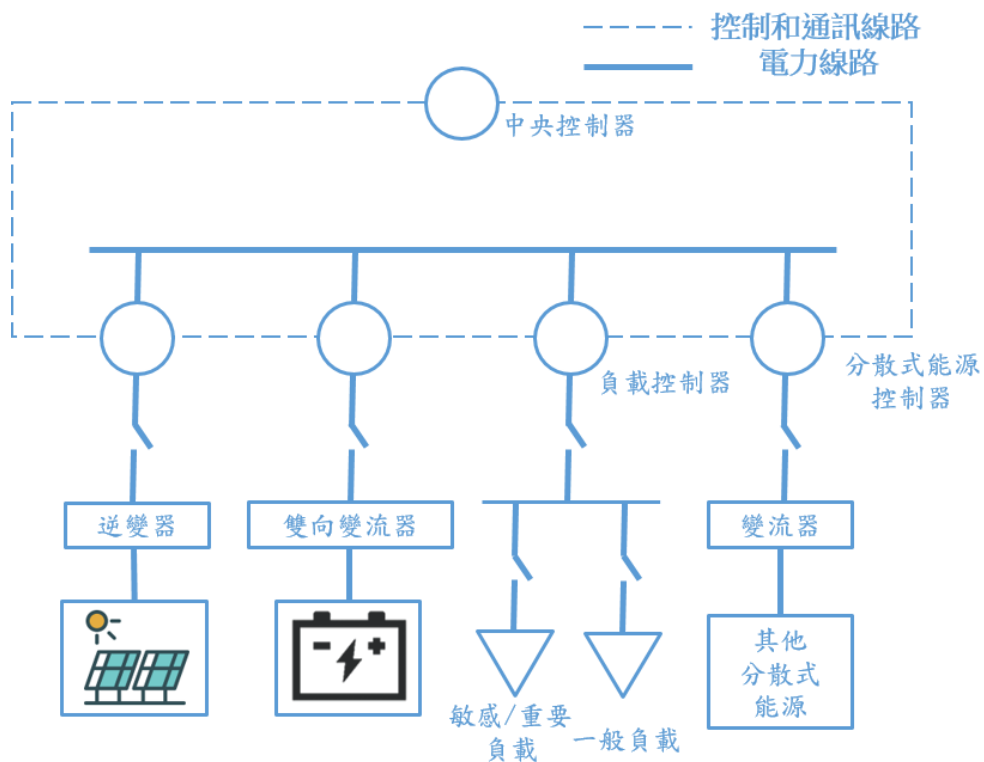


圖 2-1-9 獨立型微電網[27]

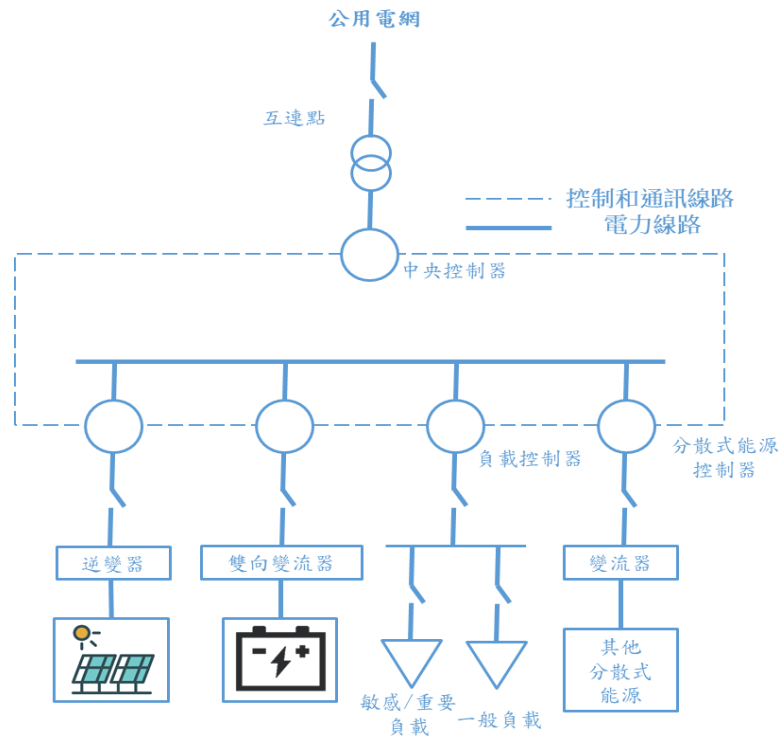


圖 2-1-10 併網型微電網[27]

## 1. 微電網的控制

### 1.1 基本要求

#### (1) 獨立型微電網

微電網控制結構可具有多個層次。每種控制模式是對局部測量的頻率和電壓做出反應，需要通過中央控制來達到協調和優化的目的，在重新同步之前還需要保證穩態的精度。在獨立型微電網中，應考慮以下幾點：

- (a) 實功率和虛功率必須保持平衡；
- (b) 頻率和電壓應在允許的範圍內進行調節；
- (c) 採用如負載跟隨、負載管理和負載斷開等技術措施；

- (d) 應提供分散式能源的動態響應；
- (e) 分散式能源宜有足夠的實、虛容量和快速響應特性；
- (f) 獨立型微電網自身應具備全黑啟動能力。

分散式能源實功率的變化應滿足獨立型微電網安全和穩定運作的要求。因為沒有公用電網的支持，獨立型微電網中應至少有一個高度可靠性的分散式能源工作在 V/f 控制模式，使輸出電壓和輸出頻率維持正比，保持穩定性。同時，應有一個暫態穩定控制系統，以保證在臨界穩定狀態運作的獨立型微電網穩定性。

## (2) 併網型微電網

在併網型微電網中，透過監測、訊息交換和控制來優化分散式能源的運作；而孤島模式下應確保分散式能源對微電網之電壓、頻率皆滿足本標準之相關規定。在微電網重新接入公用電網時，應在規定時間內對微電網和公用電網在併網點的狀態進行監測，以滿足同步條件，當所有條件皆滿足時，微電網才能重新併網。在併網型模式中，併網點的電力流通是雙向的，微電網可以向公用電網注入或從公用電網吸收電力，結合切換負載的能力，也能為公用電網提供輔助系統的服務。在併網模式下，併網點的功率因數可在一定範圍內由公用電網和微電網調節，也能在指定時間內超出該範圍。孤島模式下之功率因數則由負載或功率因數補償器(如電容器組或主動式濾波器)調節。微電網應具備虛功功率調節功能，透過虛功補償設備將公用電網的電壓調節到正常範圍內。當公用電網在穩態運作時，有多種虛功率控制方法為微電網提供靜態電壓支撐：

- (a) 恆功率因數；
- (b) 實功率與虛功率的函數關係  $Q(P)$ ；
- (c) 恆虛功功率；
- (d) 虛功率與電壓的函數關係  $Q(V)$ ；
- (e) 虛功率同時與實功率和電壓的函數關係  $Q(P,V)$ 。

微電網在孤島模式下可採用以下四種控制方法：

- (a) 集中控制：利用中央控制器和分散式的可控設備間的主從結構，由中央控制器向整個微電網發布指令；
- (b) 分散控制：利用各獨立控制設備之間的通訊實現；
- (c) 分層控制：結合集中控制與分散控制的控制方法；
- (d) 自主控制：可獨立完成，不須與其他設備通訊。

在孤島模式中，應至少有一分散式能源採用 V/f 控制，以維持電壓和頻率，而其他的分散式能源可採用 P/Q 控制方法，分散式能源的電壓控制器應與系統中的其他調節裝置協調運行，因此需要不同類型的控制方法來給定個分散式能源、虛功補償設備及電壓調節器的值，以維持所需之電壓分布特性。

將 IEC62898 對應至 IEEE2030.7 微電網控制器之技術規範之內容，上述之中央控制即為第貳章一、(一)小節之核心功能需求，亦符合 IEEE2030.7 調度及轉換功能之描述。IEC62898 主要描述為調度功能，可依照 1.1.1 微電網控制系統之調度功能做比較。如表 2-1-11，IEEE2030.7 以為功能導向之標準，以微電網控制系統之兩個主要核心功能：調度功能與轉換功能說明需求；而

IEC62898 則以獨立型與併網型微電網說明其需求。IEC62898 所述之獨立型微電網則不須使用 IEEE2030.7 之轉換功能。

表 2-1-11 IEC 62898 與 IEEE 2030.7 之基本要求比較表

項目 標準	IEEE 2030.7	IEC 62898
<p>調度功能：使各裝置、元件調度到特定操作模式和設定值</p>	<p>平衡發電及負載、調度資源，以回應內部事件、外部指令。</p> <p><b>(1)併網模式：</b>DER 控制、負載管理、調度控制、斷路器等控制設備操作、電壓調節、電力交易；</p> <p><b>(2)孤島模式：</b>DER 控制、負載管理、斷路器等控制設備操作、電壓調節、頻率控制、維持電力品質。</p>	<p>對局部測量的頻率和電壓做出反應，透過中央控制來達到協調及優化的目的，在重新同步前須保證穩態的精度。</p> <p><b>(1)獨立型微電網：</b>實功率和虛功率保持平衡、在允許範圍內調節頻率和電壓、採用負載跟隨等技術措施、提供分散式能源動態響應、DER 應有足夠的實、虛容量和快速響應特性、應具備全黑啟動能力；</p> <p><b>(2)併網型微電網：</b>透過監測、訊息交換和控制來優化 DER 運作。<b>孤島模式</b>應確保 DER 之電壓、頻率接滿足本標準相關規定，應至少有一分散式能源採用 V/f 控制，電壓控制器應與系統中其他調節裝置協調運行，標準內提供四種孤島模式下可採用之控制方法(集中控制、分散控制、分層控制及自主控制)；在<b>併網</b>模式下，併網點的功率因數可在一定範圍內由公用電網和微電網調節。微電網應具備虛功功</p>

		率調節功能，標準內提供多種方法為微電網提供靜態電壓支撐。
轉換功能： 監控併網與 孤島狀態切 換的過程，並 確保調度的 功能符合現 在狀態	<p><b>(1)計畫性：</b>依序完成偵測孤島情況、創建孤島、適當設置控制器和保護裝置、執行預先計畫動作、轉換至穩態孤島調度模式；</p> <p><b>(2)非計畫性：</b>依序完成接收孤島指令、平衡負載和發電、適當設置控制器和保護裝置、創建孤島、轉換至穩態孤島調度模式；</p> <p><b>(3)重新併網：</b>重新同步、設置電壓、相角、頻率、設置區域控制器和保護裝置、重新連接、轉換到穩態併網調度模式，適當恢復非關鍵性負載；</p> <p><b>(4)全黑啟動：</b>無特別描述。</p>	<p><b>(1)計畫孤島：</b>微電網應能夠實現無縫切換，切換時間和過渡過程需要與相關方面進行協調。</p> <p><b>(2)非計畫孤島：</b>當公用電網系統發生故障導致併網點電力品質超過限值，使微電網被動離網，稱為非計畫孤島切換；</p> <p><b>(3)重新併網：</b>孤島模式下，微電網應通過繼電器檢測公用電網的電壓振福、頻率和與微電網之間的相位差值。微電網<b>接入公用電網時</b>，應在規定時間內對併網點狀態進行監測，滿足所有同步條件才能重新併網；</p> <p><b>(4)全黑啟動：</b>微電網可具備全黑啟動能力，模式切換失敗時可進行全黑啟動。</p>

## 1.2 電壓響應特性

當獨立型微電網的電壓超過限值時，分散式能源應及時響應以確保系統可靠性。分散式能源應具備承受一定時間異常電壓的能力，除非電壓偏差超出允許範圍，否則保護裝置不應將微電網內的分散

式能源關閉。同時，儲能系統應能及時提供足夠的虛功率以減少電壓偏差。

併網型微電網的工作電壓要求應參考 IEC 62786，容量高於一定水平之分散式能源應具備承受系統電壓偏差的能力。而併網模式與孤島模式下，為保證電壓偏差在允許範圍內，應及時調節微電網內部分散式能源的實功與虛功，進而控制輸出電壓。併網模式下，公用電網和分散式能源都可調節微電網電壓。當微電網之電壓越限時，分散式能源應即時做出響應。當運行在孤島模式時，應考慮以下重要因素：

- (1) 電容器組、電壓調節器、保護設備、不同容量及連接的變壓器等輔助設備應正常運行；
- (2) 負載在穩態情況下的特性；
- (3) 對非正常電壓的承受能力；
- (4) 配電網和微電網的特性，例如接地方式、等效電路短路阻抗、電壓調節器、保護系統結構和自動控制方式等；
- (5) 測量、訊息交換、電壓控制系統等及其要求；
- (6) 系統允許之動態穩定限值。



### 1.3 頻率響應特性

獨立型微電網內應至少有一個可控的分散式能源為其提供頻率支撐。當頻率超出限值時，分散式能源應及時響應以確保電力品質以及保證供電可靠性；同時，儲能系統應及時提供充足的實功率以減少系統的頻率偏差。

併網型微電網的運行頻率要求應參考 IEC 62786，容量高於一定水平之分散式能源應具備承受系統頻率偏差的能力。而在孤島模式下，應具備負載跟隨能力，透過分散式能源和負載管理來滿足負載要求，且分散式能源的容量應足夠大以確保重要負載的正常運作。除了分散式能源的有功輸出外，還可利用儲能設備響應和斷開負載等方法調節頻率，將頻率控制在允許範圍內。當運行在孤島模式時，應考慮以下重要因素：

- (1) 分散式能源輸出功率和負載功率之間的功率平衡；
- (2) 頻率測量與調節能力；
- (3) 負載跟隨、負載管理、斷開負載；
- (4) 負載劇烈變化、分散式能源關閉或其他內部故障時，維持系統暫態穩定的能力。

### 1.4 獨立型微電網的 P/f 控制

在圖 2-1-11 中， $f_{Net}$  為系統頻率， $P$  為分散式能源的輸出功率，獨立型微電網根據負載需求規定頻率的界限。當系統頻率升高時，如圖 2-1-11  $f_4$  和  $f_H$  之間，應降低分散式能源的功率，其對頻率響應的整體效果，宜遵循右半側的下垂曲線；當系統頻率降低時，如圖 2-1-11  $f_3$  和  $f_L$  之間，應增加分散式能源的功率，也可調節或中斷負載，

宜遵循左半側的下垂曲線；當頻率滿足 $f_{Net} < f_L$ 或 $f_{Net} > f_H$ 時，分散式能源應從微電網斷開；當系統頻率滿足 $f_3 \leq f_{Net} \leq f_4$ 時，不限制分散式能源的輸出功率。

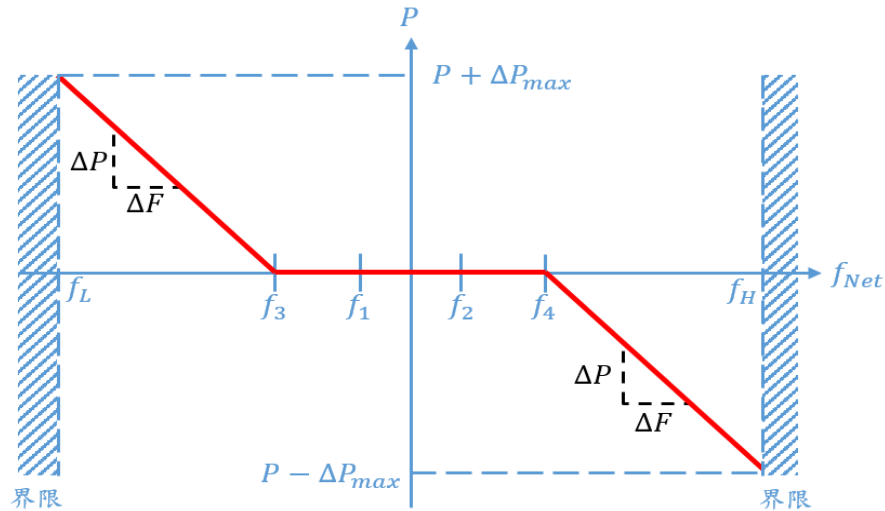


圖 2-1-11 獨立型微電網的 P/f 控制

### 1.5 併網型微電網的模式切換

併網型微電網從併網模式切換到孤島模式分為兩種情況：計畫孤島切換和非計畫孤島切換。計畫孤島時微電網應能夠實現無縫切換；當公用電網系統發生故障導致併網點電力品質超過限值，使微電網被動離網，稱為非計畫孤島切換。微電網可具備全黑啟動能力，模式切換失敗時可進行全黑啟動。如果在開斷的瞬間，有足量工作在 V/f 模式的分散式能源處於併網狀態，並有一個快速斷開負載系統迅速地將負載量與孤島的發電容量相匹配，則微電網具有維持可接受的電壓連續性的能力。否則，微電網將終止操作，並需要一個全黑啟動操作程序來重新啟動。

## (1) 併網模式切換到孤島模式

在分散式能源能夠滿足微電網內重要負載的供電要求條件下，併網型微電網可從公用電網斷開並運行於孤島模式。對於計畫孤島切換，切換時間和過渡過程需要與相關方面進行協調。為避免系統出現嚴重的電壓波動，微電網應配有足夠容量的虛功補償裝置，主要分散式能源應運行於Q(V)模式為系統提供電壓支撐。為避免系統出現嚴重的頻率波動，微電網應具備實功功率自動調節能力，主要分散式能源應運行於P(f)模式為系統提供頻率支撐。

## (2) 孤島模式切換到併網模式

孤島模式下，微電網應通過繼電器檢測公用電網的電壓振幅、頻率和與微電網之間的相位差值。當從孤島模式切換到併網模式時，應採用同步控制方法，使電壓振幅和頻率向期望方向調節。當公用電網和微電網之間的電壓振幅、頻率和相角的差值在允許範圍內時，繼電器可以閉合介面開關，完成微電網從孤島模式到併網模式的切換。當微電網不具備前文所要求的能力時，應等到下次滿足條件時再進行同步控制。如果需要緊急同步，同步併網控制應切除連接的分散式能源，使微電網不再帶電然後再閉合介面開關。當微電網使用者可以接受條件之外閉合介面開關的影響，且取得相關電網調度許可，即使微電網不完全滿足同步條件也可

閉合介面開關。

## 2. 微電網的通訊與監測

### 2.1 基本要求

微電網中的分散式能源應具備與監測系統之間的數據通訊能力，監測系統應能即時監測與記錄微電網的即時運作情況。微電網的通訊系統應從配電網系統、微電網系統以及微電網系統內部各設備接收訊息，並向設備發送訊息；此外也應包括通訊安全措施，以防止偶發性錯誤、電力系統設備故障、通訊設備故障、及人為故障等。

微電網內採用的不同通訊協定應互相協調，為了連接不同設備，通訊系統應相容不同通訊協定。該標準內容基於現有或即將發布的標準與應用需求，採用被公認為智慧電網領域核心標準的 IEC 61850-3、IEC 61850-4、IEC 61850-5、和 IEC 61968-1 協定。

### 2.2 併網型微電網與公用電網間之通訊

併網型微電網與公用電網間通訊應滿足下述要求：

- (1) 微電網應與公用電網進行即時通訊，包括電壓、電流以及功率資訊；
- (2) 當公用電網需要微電網提供功率支撐時，微電網將從公用電網接收調度指令；
- (3) 切換運行模式時，若是計畫孤島，微電網應向公用電網發送動作訊號，公用電網應給予回應；若是非計畫孤島，微電網可不向公用電網發送訊號。

## 2.3 微電網內部通訊

微電網內部的通訊與數據交換對微電網的安全、穩定、可靠運作至關重要，所以各分散式能源、重要負載及中央控制器等之間應可以進行數據交換。

## 2.4 分散式能源的監測

微電網中分散式能源監測的主要內容包括：

- (1) 分散式能源的電壓、電流；
- (2) 分散式能源的實功率、虛功率；
- (3) 微電網中儲能系統的電量狀態；
- (4) 微電網內分散式能源的故障狀態。

## 2.5 獨立型微電網開關設備監測

考慮繼電保護、安全自動裝置、自動化系統和其它服務需要，監測系統應滿足電力通訊要求。獨立型微電網監測系統開關設備的內容應包括：

- (1) 微電網中變壓器分接頭位置及斷路器開關狀態；
- (2) 分散式能源開關狀態。

## 2.6 併網型微電網開關設備監測

考慮繼電保護、安全自動裝置、自動化系統和其它服務需要，監測系統應滿足電力通訊要求。併網型微電網監測系統開關設備的內容應包括：

- (1) 微電網中變壓器分接頭位置及斷路器開關狀態；

- (2) 微電網併網點的主變壓器設置及電路器開關狀態；
- (3) 分散式能源開關狀態。

### 3. 儲能系統

#### 3.1 獨立型微電網中的儲能系統

獨立型微電網中，最少有一種採用 V/f 控制的旋轉電機，如：微型燃氣渦輪機或柴油發電機。當儲能類型不只一種時，其中容量最大的電儲能系統應採用 V/f 控制，保證旋轉電機在不能快速響應、停機或故障情況下，系統仍然能穩定運作。在電力儲能系統逆變器中，最大容量的逆變器應採用 V/f 控制模式，以建立和維持系統電壓和頻率。獨立型微電網應具備全黑啟動的能力，其中儲能系統可起主要作用。

當分散式能源輸出功率不能滿足負載需求時，儲能系統應保證系統內重要性和敏感性負載的實功率和虛功率支撐。當分散式能源輸出功率超過負載需求時，可對儲能系統進行充電。

#### 3.2 併網型微電網中的儲能系統

##### (1) 併網模式下對儲能系統的要求

- (a) 併網模式下儲能系統應採用 P/Q 控制模式。儲能系統的功率設定值應保障公用電網的電力品質。在這種情況下，儲能系統可保障微電網向公用電網平滑輸出功率；
- (b) 根據系統要求，儲能系統應向公用電網吸收或發出實功/虛功，保證微電網內部及併網點電流的穩定；

- (c) 併網模式下，微電網的電壓與頻率由公用電網支撐，此時儲能系統可停止充放電，尤其是在負載穩定狀態。

## (2) 孤島模式下對儲能系統的要求

- (a) 當併網型微電網處於孤島模式下，是否擁有全黑啟動能力不是必要條件，但儲能系統對於全黑啟動過程中是十分重要的。如果系統無其它主要電源如發電機，容量最大的儲能系統應採用 V/f 控制模式，支撐其系統電壓及頻率；
- (b) 當分散式能源輸出功率不能滿足負載需求時，儲能系統可以作為發電裝置對系統進行實功和虛功功率支撐；當分散式能源輸出功率超過負載需求時，儲能系統可作為負載對其進行充電。如果儲能系統作為發電裝置仍不能滿足系統的負載平衡，系統將根據負載需求和儲能裝置的容量將不可避免地採取拋棄負載措施。

## (3) 模式切換對儲能系統的要求

- (a) 當微電網從併網模式切換到孤島模式時，暫態過程可能導致微電網系統不穩定。儲能系統變流器和暫態穩定控制系統快速切換，以保證系統的穩定。應選擇足夠大的電力儲能系統，保證微電網的穩定運行；
- (b) 當微電網從孤島切換成併網模式時，儲能系統變流器應及時檢測公用電網電壓振幅、相角和頻率，並調節變流器輸出電壓振幅、相角和頻率，以滿足同步要求；
- (c) 快速精確的檢測可以減少微電網模式切換對敏感負載和分散式能源的影響。應通過控制儲能系統滿足嚴格的同

步併網條件且減少微電網的衝擊電流，確保微電網和公用電網的穩定運行；

- (d) 如果儲能系統是孤島模式下的主要電源，當微電網從併網模式切換到孤島模式時，控制方是應從 P/Q 控制模式切換為 V/f 控制模式，並且系統應具備反孤島檢測能力；
- (e) 電力儲能系統的高/低電壓穿越要求應滿足 IEC 62898-1 相關要求。

### 3.3 儲能管理系統

儲能管理系統應包括：

- (1) 動態檢測儲能系統中各個元件以及電力儲能系統整體的工作狀態；
- (2) 評估電儲能系統中各部分的輸出容量，保證儲能系統功率平衡，並給出各部分及整體的電池電量狀態(State of Charge)；
- (3) 防止儲能系統過充電或過放電；
- (4) 提高儲能系統安全性和可靠性；
- (5) 延長儲能系統壽命；
- (6) 提高儲能系統運作效率。

## 4. 微電網的保護

獨立型微電網和併網型微電網應配置繼電保護機制，以保證其安全運作。當併網型微電網從併網模式轉向孤島模式時，微電網保護應具備可靠性、選擇性、靈敏性及快速性等要求。

### 4.1 獨立型微電網的保護原則



使用獨立型微電網時應配置繼電保護機制，以保證其安全運作。微電網提供的短路電流應由其具體配置和網路結構決定；逆變器可能導致小短路電流下，傳統保護繼電器不能正確動作。主保護應採用電流差動保護，後備保護應採用方向性或非方向性過電流保護。

## 4.2 併網型微電網的保護原則

併網型微電網發生短路時，公用電網和微電網內部的分散式能源都會提供短路電流，保護裝置應充分考慮不同時刻下之微電網架構。

## 5. 微電網的維護和測試

### 5.1 基本要求

制定獨立型微電網和併網型微電網的維護與測試計畫之前，微電網運作維護人員應與配電系統營運商協調，應根據設備情況對微電網的設備定期進行再評估。

### 5.2 微電網的維護

微電網應滿足如下維護要求：

- (1) 微電網的運作和管理部門應制定維護計畫；
- (2) 微電網的運作維護人員應為專業人員；
- (3) 微電網運作人員應定期為維修計畫提供運作訊息，包括：保護裝置的狀態、設備接地狀態、其它安全設備及分散式能源的狀態。
- (4) 應定期維護微電網，所有訊息應被記錄。

### 5.3 微電網的測試

微電網中的所有設備應滿足以下測試要求：

- (1) 測試過程的執行應遵循合適的安全規範、步驟並具有防範措施；
- (2) 測試環境應該是設備製造商指定的合格運作環境；
- (3) 測試結果宜與配電系統營運商的要求相協調，並滿足所有分散式能源的要求。

與 IEEE2030.8 之測試需求比較，如表 2-1-12，IEEE2030.8 標準規範微電網控制系統的的測試架構，並提供測試條件、流程圖、測試劇本等內容。相較之下，IEC62898 內文中微電網測試之要求並沒有深入至流程等細節。

表 2-1-12 IEC 62898 與 IEEE 2030.8 之測試需求比較表

標準	測試規範
IEEE 2030.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 測試方法要求使用者實行以下項目：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 定義微電網控制系統測試範圍；</li> <li>(2) 定義五種主要測試類別中，測試之初始條件與觸發事件；</li> <li>(3) 執行測試與評估微電網控制系統的性能；</li> <li>(4) 規劃測試方法時，必須評估劇本與指標。</li> </ol> </li> <li>● 核心功能測試需求：               <p>說明了一般測試條件(建立與設計測試劇本)、測試程序之概念流程圖、現場數據收集、調度功能測試；</p> </li> <li>● 微電網控制系統之測試程序規劃：               <p>微電網控制系統與標準之符合性應通過測試劇本和指標的測試來確定。測試應由供應商根據電網所連接的設施或實體的要求進行。</p> </li> </ul>

IEC 62898	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 測試過程遵循合適的安全規範、步驟並具有防範措施；</li><li>(2) 測試環境應試設備製造商指定的合格運作環境；</li><li>(3) 測試結果宜與配電系統營運商的要求相協調，並滿足所有分散式能源的要求。</li></ol>
-----------	---

### (三) 開放場域訊息匯流(OpenFMB)標準研究

OpenFMB 為一種資通訊架構模型，基於標準的場域訊息匯流，賦予電力系統的現場設備能夠相互操作。設備供應商或公共事業公司將可運用它來實現在場域設備上之相關技術要求，使這些裝置與設備能夠藉由一個通用場域訊息匯流直接與彼此相互聯繫，不再需要經手集中系統才能溝通。為了整合統一現存之通訊協定，北美能源標準委員會(The North American Energy Standards Board, NAESB)建立了一個零售市場專門小組—RMQ.26[3]，與智慧電網互通性專家諮詢小組(Smart Grid Interoperability Panel, SGIP)的 OpenFMB 小組，共同合力開發 OpenFMB 之框架與參考架構，並於2016年3月正式批准該標準，公共事業公司及其它產業將能遵循該標準來實現 OpenFMB 架構。

RMQ.26 中提供了建置 OpenFMB 的框架，可分為三部分：

(1) OpenFMB 參考架構(OpenFMB Reference Architecture)：

描述邏輯架構和節點架構範例，如：運行邏輯架構(Operational Logical Architecture)、管理服務邏輯架構(Management Services Logical Architecture)、節點架構範例(Node Architecture Examples)。

(2) OpenFMB 框架方法(OpenFMB Framework Approach)：

描述公共服務供應商如何創建特定的 OpenFMB，從商業案例(Business Case)、使用案例(Use Case)到資料及互動的建模。

(3) OpenFMB 技術架構(OpenFMB Technical Architecture)：

描述選擇特定的技術方法和配置時應注意及遵循的項目，例如：OpenFMB 概要架構(OpenFMB Profile Schemas)、發布-訂閱中介層 (Middleware) 的參考實作、以數據為中心 (Data-centric)的參考實作等。

從 OpenFMB 參考架構，可以得知 OpenFMB 整體邏輯架構上的關係，以及 OpenFMB 節點(Node)組成成分為何，以實現智慧物聯網互操作性。下面章節即針對參考架構中的運行邏輯架構、管理服務邏輯架構和節點架構範例進行說明[3]：

#### (1) 運行邏輯架構

運行邏輯結構包含：應用(Application)、轉換器(Adapter)、界面層(Interface Layer)和中介層(Middleware Layer)，如圖 2-1-12 所示，各層說明如下：

##### (a) OpenFMB 應用及轉接層：

OpenFMB 的 Application 位於節點內，藉由分析 OpenFMB 的資料及要求進行合適的操作以維持電網功能；OpenFMB Adapter 也位於節點內，作為與現存終端裝置連接的介面，負責映射、增加、編排和轉譯終端裝置和場域訊息匯流之間的訊息，提供單一或雙向於 OpenFMB 數據資料(Data Profile)與既有協定和傳統格式(例如：DNP3、Modbus、IEC 61850 ASCII、C12、CoAP、XMPP 等)之間的訊息交換；然而，如果設備供應商最初已採用於 RMQ.26.6.3.2 規範之語意模型，即為使用符合 CIM 或其他引用標準之數據模型包裝資料，就不需要 OpenFMB 節點內的 Adapter 做資料映射。

(b) OpenFMB 介面層：

OpenFMB 介面層定義各種層級的互操作性，包含數據資料、配置參數和互動圖，提供 Adapter 和 Application 服務以及適當的引起 OpenFMB 訂閱/發布之中介層。OpenFMB 數據資料描述各個 Adapter 和 Application 之間訊息負載的交換。這些資料反映了對於特定一個的使用案例下，每個互動最低限度的明確共享數據和數據屬性的一致性。OpenFMB 配置參數則為修正場域訊息匯流在管理服務控制下的行為。

(c) OpenFMB 中介層：

在 OpenFMB 運行邏輯架構圖中，數據分散式服務(Data Distribution Service, DDS)、高階訊號序列標準(Advanced Message Queuing Protocol, AMQP)及訊息序列遙測傳輸(Message Queuing Telemetry Transport, MQTT)為中介層，其作用係為了讓不同的供應商，可使用不同的傳輸協定來進行資料傳輸。

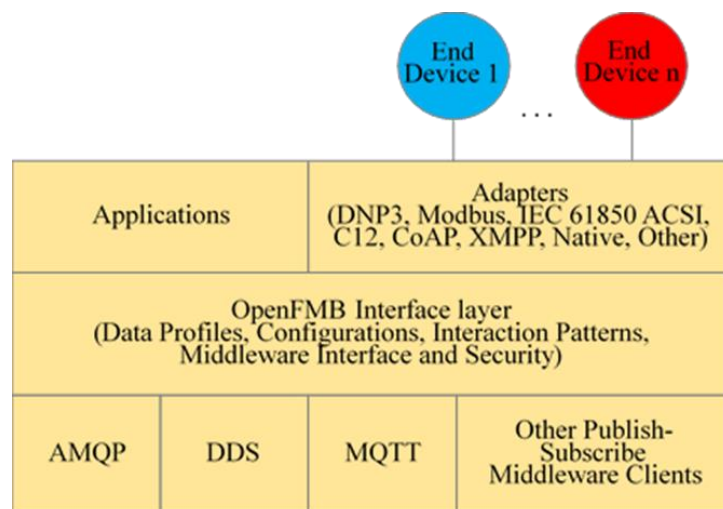


圖 2-1-12 OpenFMB 之運行邏輯架構[3]

## (2) 管理服務邏輯架構

管理服務邏輯架構除了中介層及介面層，還有管理服務層 (Management Service Layer) 和管理服務經營 (Management Services Administration)，如圖 2-1-13 所示。

藉由 OpenFMB 管理服務層，可以監控和查核節點、接收警報，並根據適當的策略進行更新。圖 2-1-13 中 Plug-in 方塊為可增加來自任何供應商提供可插拔之服務模組，其中包含入侵修復 (Intrusion Remediation)、節點裝置的狀態或基於策略的設備配置規則和資訊。

OpenFMB 管理服務署可為節點安排更新，還可接收監聽的資訊和警報通知，並執行近乎即時的節點健康監控。管理服務署使適當的中介層與節點相互溝通，如果需要也可使用代理者 (Broker) 來溝通。

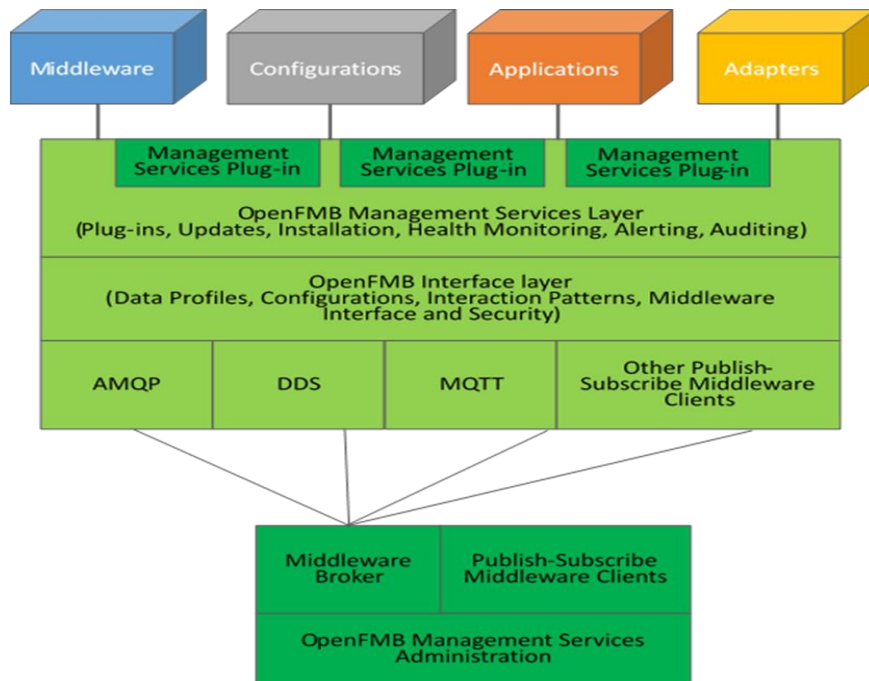


圖 2-1-13 管理服務邏輯架構[3]

### (3) 節點架構範例

在 RMQ.26.7 中，亦介紹一基礎之節點架構範例，將上述的 (a)及(b)組合後，即可構成一節點，亦即：(a)及(b)皆屬於該節點內的操作架構。節點工作時，運行邏輯架構是在一獨立環境下進行運作，並由管理服務邏輯架構扮演第三方之角色進行管理及監督，如圖 2-1-14 所示。由於節點為與裝置及應用之連接點，所以在 OpenFMB 的運行邏輯架構上，節點必須包含介面層和中介層，使不同的供應商的裝置之間可藉由不同的傳輸協定來進行資料傳輸。此外，運行邏輯架構中的 Application(連接應用程式)和 Adapter(轉接裝置)，則視情況而定擇一或兩者皆包含。

OpenFMB 標準是為加強網路安全以及互操作性標準測試平台而發展，應用標準化的網路通訊架構，提供電力系統之一致性的資通訊規範，故能源服務程式發展採用之資通訊架構技術，可參考此一標準進行發展，詳細內容將於第二章第二節敘述。

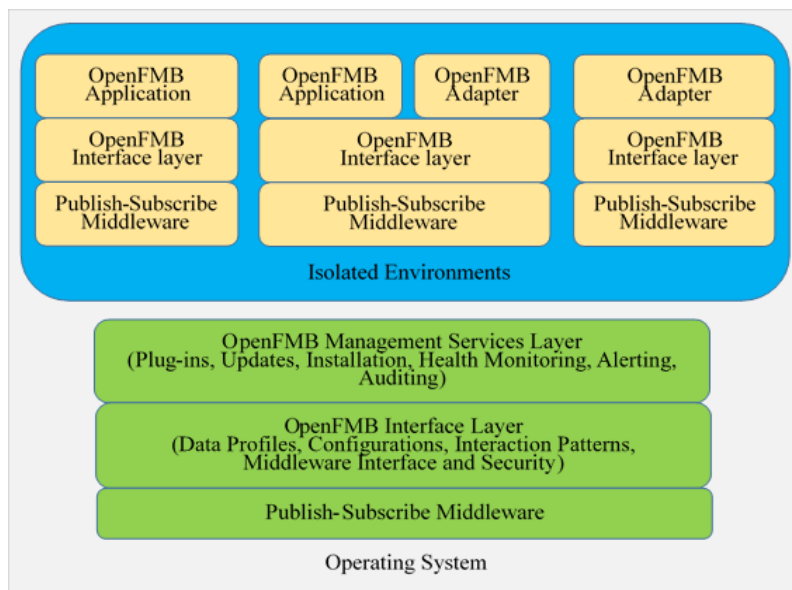


圖 2-1-14 節點架構範例[3]



## 二、 能源服務程式之資通訊技術評估研究

基於第二章第一節所介紹之資通訊標準之研究，本章節將說明能源服務程式之資通訊技術及其評估。透過一 OpenFMB 架構之參考測試平台[2]，從終端裝置至應用實現之流程開始介紹，如圖 2-2-1 所示。場域裝置和設備(如：電表)先經由 Modbus 傳輸格式讀出數值(如：實功率、電壓、電流和頻率等等)，此數據組再遵循 CIM 或 IEC 61850 等標準進行處理包裝後，傳送至符合 OpenFMB 架構之節點，如有安全需求，可加入安全標準與處理，最後即可使用符合 OpenFMB 架構之資通訊協定，在作業系統及能源服務程式之間傳送資料。在本計畫中，係採用物聯網(Internet of Things, IoT)之資通訊技術：DDS、AMQP 及 MQTT 等通訊協定來進行設計與比較。下述各章節即說明本計畫資通訊技術評估研究結果。

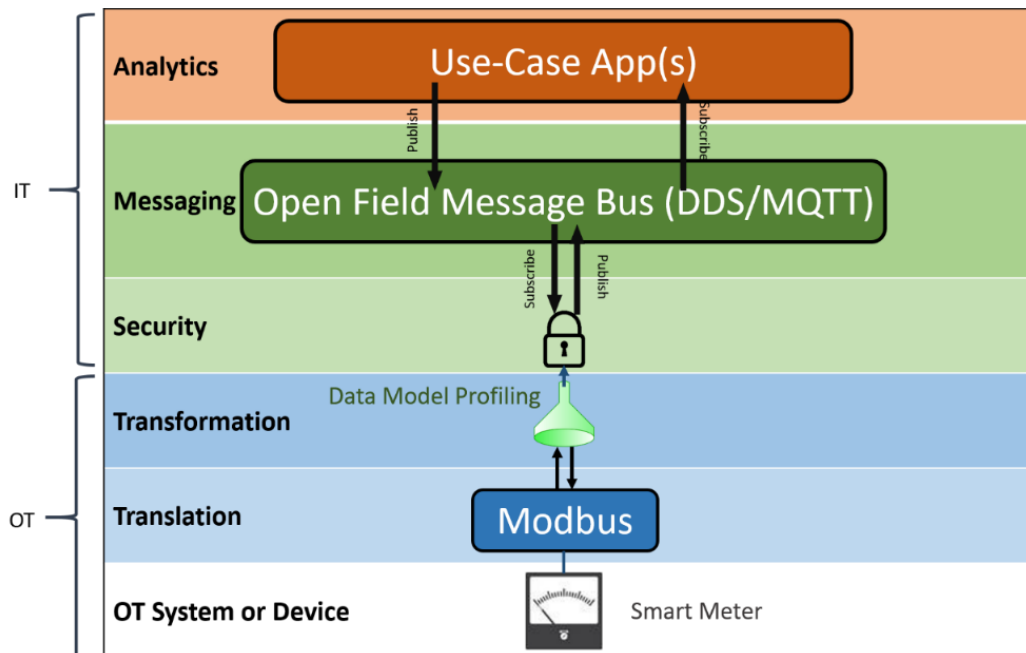


圖 2-2-1 OpenFMB IT/OT 階層圖及標準對應圖[2]

## (一) 物聯網技術評估研究

OpenFMB 是一個介面層的架構，為了整合分散的資訊與電網邊緣裝置與設備的互通性，在使用不同通訊協定時，規範相關格式和設定方能在傳輸間切換各式協定之傳輸格式。因此，在 OpenFMB 架構下使用特定的傳輸協定時，傳輸協定的相關技術配置也須遵循 RMQ.26.7 所提及之標準，內容包含：主題名稱格式、QoS 和安全性等。市面上 IOT 之資通訊技術非常多種，其功能及應用方面各不相同，由於此計畫為開發能源系統之服務平台，對於傳輸方式勢必要使用網際網路，通過網際網路進行資料交換及通訊，而且能源裝置的資料傳輸為大量且多元，以發布-訂閱訊息和資料之通訊模式較為合適，目前 OpenFMB 之標準規範包括數據分散式服務(DDS)、高階訊息序列標準(AMQP)及訊息序列遙測傳輸(MQTT)等三種傳輸協定，因此以下將對此三種之相關規範內容做描述。

### 1. 主題名稱格式

OpenFMB 使用發布和訂閱模式的中介層來有效的傳輸資訊，發布者將單個至多個的訊息發布到在各種區域下的數個訂閱者。OpenFMB 訊息負載由在特定平台規範之格式的數據資料所組成，每個訊息主題都是一種特定型式下由訊息發布者發送至訊息訂閱者的訊息負載流。OpenFMB 訊息主題名稱衍生自主題傳輸之數據資料名稱及其封裝的 UML 套件組，主題名稱是根據特定的中介層建構而來，使用不同的傳輸協定會有不同的標示格式。

## 2. 傳輸服務品質(Quality of Service, QoS)

MQTT 裝置之間的訊息基於 TCP/IP，在正常連結狀態下，TCP 能確保訊息封包都能抵達目的地。在網路階層架構中，MQTT 屬於應用層，它產生的訊息交給下一層 TCP 處理，但 MQTT 並不清楚最底層的網路是否壅塞甚至斷線，所以 MQTT 不能保證訊息送達。因此，MQTT 的 QoS 主要於訊息送達目標為主，分為 QoS 0、QoS 1 和 QoS 2 三種（實際支援情況依伺服器軟體而定），詳細說明可參閱附錄 B：

(1) QoS 0：最多傳送一次。

訊息發送出去不保證送達，如圖 2-2-2 所示。



圖 2-2-2 QoS 0 示意圖

(2) QoS 1：至少傳送一次。

如果發布者沒有收到「PUBACK」回應，即認定沒有送達，因而重新傳送一次訊息，如圖 2-2-3 所示。

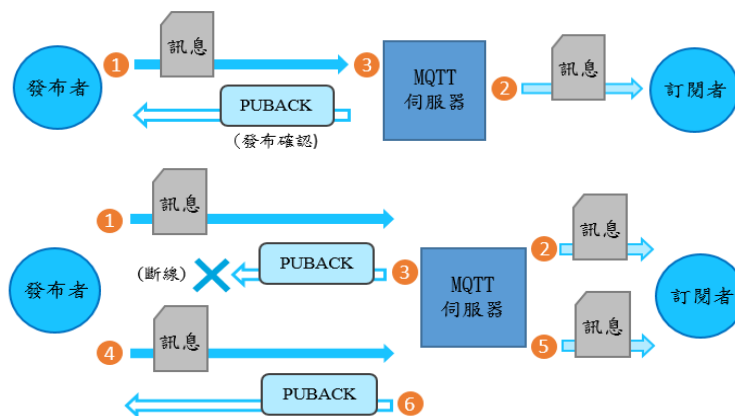


圖 2-2-3 QoS 1 示意圖

(3) QoS 2：確實只傳一次。

當伺服器收到訊息時，會回覆「PUBREC」代表已收到發布訊息，並且暫存訊息的「封包識別碼」，以防重複處理相同的訊息。當發布者收到「PUBREC」回應時，將傳送「PUBREL」代表要釋放訊息給伺服器(即代理者 Broker)，Broker 收到時會先把訊息傳送給訂閱者，然後在回應「PUBCOMP」給發布者代表訊息傳送完畢，最後將之前暫存的訊息刪除，完成一筆訊息的傳輸，如圖 2-2-4 所示。

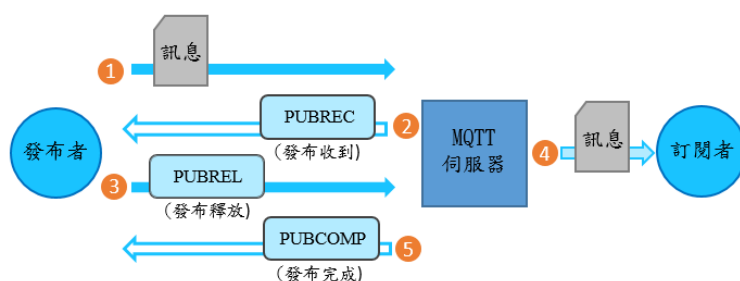


圖 2-2-4 QoS 2 示意圖

以上都為以「發布者」和「伺服器」之間連接傳送的示範，後半段伺服器和訂閱者之間的傳送品質設定假如設定為 1 或 2，伺服器在送出訊息之後，也會要收到回應訊息，如果沒有收到回應，將儲存訊息，直到訂閱端重新連結，伺服器將再次傳送這些訊息。

如果布署的物聯網裝置網路穩定，或者感測器頻繁地發送數據，即使遺漏少數數據也無妨的情況下，只需選擇 QoS 0 設定。在 RMQ.26.7 提及 MQTT 之 QoS 部分，則描述設定 QoS 為 0 即可。

而 AMQP 其 QoS 所規範的種類僅有 2 種，相似於 MQTT 的 QoS 0 和 1。以目前廣泛使用在物聯網的通訊協定來看，DDS 在 QoS 的部分最為完善，也是唯一規範種類多達二十幾種的，對於需要達到

特殊要求或是即時事件的應用最為合適。如使用 DDS 作為資料傳輸之協定，其 QoS 在特定互動下(如讀取資料-Reading)有以下五種策略項目要注意：分別為可靠性(Reliability)、壽命(Lifespan)、耐久性(Durability)、輪詢率(Poll Rate)及延遲(Latency)。特定互動下之策略項目應遵循的內容，詳如表 2-2-1 所示。

表 2-2-1 DDS QoS 在 RMQ.26.7 建議的預設值[3]

Interaction \ QoS	Reliability	Lifespan	Durability	Poll Rate	Latency
Control	Reliable	5 sec	Volatile	N/A	50 ms
Reading	Best Effort	N/A	Volatile	2 sec	500 ms
Event (Alarm)	Reliable	unlimited	Transient	N/A	50 ms
Event (Information)	Reliable	unlimited	Transient	N/A	5 s
Event (Protection)	Reliable	unlimited	Transient	N/A	5 ms
Event (Work flow)	Reliable	unlimited	Transient	N/A	50 s

數據分散式服務的服務品質策略(DDS QoS Policy)。在 DDS 資通訊技術中，QoS Policy 總共有 21 種策略，並分為六類，分別是：數據可用性(Data availability)、數據傳輸(Data delivery)、數據即時性(Data timeliness)、資源(Resources)、配置(Configuration)、及生命週期(Lifecycle)，分述如下說明[6][7][9][10]：

(1) 數據可用性

- A. History：指定要儲存多少數據。
- B. Durability：控制發布者是否儲存它發送的數據，以便將其發送給新加入的訂閱者(數據讀取器)。可用於確保數據讀取器(DataReaders)獲得數據寫入器(DataWriters)發送的所有數據，無論數據寫入器何時發送。此 QoSPolicy 可以提

高系統對故障條件的容忍度[10]。而發布者和訂閱者必須使用相容設置。

- (A) VOLATILE：默認設置，發送的數據不儲存或不提供舊的數據樣本；
- (B) TRANSIENT\_LOCAL：發送的數據只需儲存在數據寫入器的記憶體，不需要將數據存到數據寫入器。如果數據寫入器仍然存在，則保存並傳送舊的數據樣本；
- (C) TRANSIENT：發送的數據儲存在數據寫入器的記憶體，並將數據存到數據寫入器。不管數據寫入器是否存在，皆會保存並傳送舊的數據樣本；
- (D) PERSISTENT：發送的數據儲存在永久的儲存裝置(如硬碟)，並將數據存到數據寫入器，同時傳送舊的數據樣本。

發布者及訂閱者之間耐久性的有效組合，如表 2-2-2 所示。

表 2-2-2 耐久性的有效組合[9]

訂閱者 發布者	VOLATILE	TRANSIENT_LOCAL	TRANSIENT	PERSISTENT
VOLATILE	相容	不相容	不相容	不相容
TRANSIENT_LOCAL	相容	相容	不相容	不相容
TRANSIENT	相容	相容	相容	不相容
PERSISTENT	相容	相容	相容	相容

C. Lifespan：避免傳送陳舊的數據。

- (A) 僅在創建發布者時可用；

(B) 如果有多個發布者針對同一實例，都應該用相同的 Lifespan 值；

(C) 有效設置範圍從 1 毫秒到 1 年，指定有限時會在指定的壽命到期時丟棄數據。默認值為無限，意味著數據永遠不會過期。

## (2) 數據傳輸

A. Reliability：發布者和訂閱者必須使用相容設置，其有效組合，如表 2-2-3 所示

(A) RELIABLE：收到所有數據並按順序發送；

(B) BEST\_EFFORT：沒有保證所有數據都會收到(除了按順序到達)。

表 2-2-3 可靠性的有效組合[9]

訂閱者 發布者	RELIABLE	BEST_EFFORT
RELIABLE	相容	不相容
BEST_EFFORT	相容	相容

B. Partition(分區)：以字串名稱來控制 DDS 分區與發布者/訂閱者的特定實例之間的關聯。實現允許分隔不同分區產生的流量，而提高整體系統的可擴展性和性能。

(A) (\*)分區的發布者將匹配所有分區的訂閱者，如圖 2-2-5 所示；

(B) 默認值是零長度序列，由空字串組成的單元素的序列。沒有分區的發布者(默認情況)將不會與具有分區的訂閱者匹配。代表“無分區”與(\*)分區不同；

(C) 在發布者和訂閱者可見的主題中引入邏輯分區的字串集。如果發布者具有分區，則只有具有相同分區的訂閱者才會從該發布者接收數據。

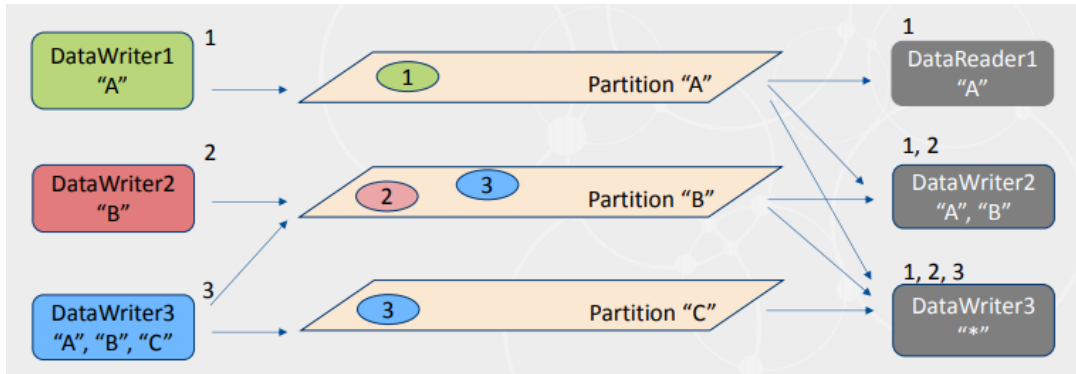


圖 2-2-5 分區策略示意圖[11]

C. Presentation：控制如何將訊息模型的更改呈現給訂閱者。應用範圍由 `access_scope` 定義，可以是「INSTANCE」、  
「TOPIC」或「GROUP」級別之一。

D. Destination\_Order：用於確定發布者實體對相同數據實例所做更改(即匹配主題和金鑰)的邏輯順序的標準。

E. Ownership：指定數據讀取器是否可以同時接收來自多個數據寫入器的數據。發布者和訂閱者必須使用相同的設置。

F. Ownership\_Strength：指定允許哪個數據寫入器將其數據傳遞給訂閱者，對於獨佔所有權，最大值

「OWNERSHIP\_STRENGTH」的發布者才能發布數據。

### (3) 數據即時性

A. Deadline(截止時間)：

(A)數據讀取器的截止日期須大於或等於數據寫入器的截止時間，否則會不相容；



(B) 如果發布者未能在訂閱者所要求的截止時間間隔內發送數據更新，訂閱者將收到截止時間錯過通知；

(C) 有效設置範圍從 1 毫秒到 1 年，或默認值為無限。

B. Latency\_Budget：指定從數據被寫入到將數據被接收的應用程式緩存，並接收的應用程式被通知事實的最大可接受延遲。默認值為 0，表示延遲應最小化。

C. Transport\_Priority：允許應用程式控制與主題或主題實例相關的重要性，而實現相對於較不重要的數據優先考慮更重要的數據。有助於確保即時交付重建共享操作畫面所需的關鍵任務信息。默認值為 0。

#### (4) 資源

A. Time\_Based\_Filter：

(A) 僅在創建訂閱者時可用，訂閱者在數據更新之間想要的最短分隔時間，在此時間間隔內到達的任何數據將被丟棄；

(B) minimum\_separation 須小於其截止時間；

(C) 有效設置範圍從 0 毫秒到 1 年，默認值 minimum\_separation 為 0。

B. Resource\_Limits：指定服務可使用，以滿足請求的 QoS 的資源。

#### (5) 配置

A. Liveliness：

(A) 用於檢測發布者的狀態，即使它沒有主動發送數據；

(B) 訂閱者的活躍度須大於或等於發布者的活躍度；

- (C) 有效設置範圍從 0 毫秒到 1 年，默認值為無限。
- B. User\_Data：默認值是一個空(零)大小的序列，用於分散安全憑證。
- C. Topic\_Data：默認值是一個空的序列，用途是使用附加信息或元信息(如 IDL 類型代碼或 XML 模式)擴展主題。
- D. Group\_Data：默認值是一個空的序列，用途是允許額外的應用程式控制訂閱匹配。
- E. Entity\_Factory：指定工廠的實體是否自動啟用它創建的實例。

#### (6) 生命週期

- A. Writer\_Data\_Lifecycle：控制數據寫入器是否在每次取消註冊時自動處理實例。
- B. Reader\_Data\_Lifecycle：指示數據讀取器須保留實例訊息的持續時間。

## 2.1 QoS 配置說明[8]

本計畫由以上介紹的 21 種 QoS Policy，選擇出符合場域環境需求的 Policy，參考以下兩個實例，實例一為基於時間的週期流數據(Periodic streaming data)，此實例需要三種 QoS，分別為 Reliability、Deadline、及 Time-based filter；實例二為基於狀態更改的數據(State and Status)，此實例也需要三種 QoS，分別為 History、Durability、及 Reliability[8]，而 RMQ.26.7 有提到 OpenFMB 需要符合的 QoS。目前本計畫的 QoS 設置會以上述兩種實例提到的 Reliability、Deadline、History、Durability 為基礎並符合 RMQ.26 的規範的

Reliability、Lifespan、Durability、Poll Rate 及 Latency 做增減。因為 Time-based filter 可能會造成重要數據的遺失，使得裝置不安全，因此評估後將不採用於本場域。而 Lifespan 依照表 2-2-1 的設定，預計使用默認值為無限，所以將 Lifespan 直接忽略不用設定其 QoS，後續仍在進行測試中。

## 2.2 QoS 的可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)

### 設定

QoS 參數是由 xml 檔案所配置，因此使用 DDS 通訊時先對所需功能做規劃，以下會先介紹 xml 檔案格式，如圖 2-2-6 所示，也針對上一章節提到的四種 QoS 參數分別對數據寫入器、數據讀取器與參與者做設定，如圖 2-2-7 所示。

```
XML Format
<dds>
  <qos_library name="Example_Library">
    <qos_profile name="Example_Profile">
      <datawriter_qos>
        ...
      </datawriter_qos>
      <datareader_qos>
        ...
      </datareader_qos>
      <participant_qos>
        ...
      </participant_qos>
    </qos_profile>
  </qos_library>
</dds>
```

圖 2-2-6 QoS XML 格式

```

<?xml version="1.0"?>
<dds xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="/home/chuang/rti_connex/dds-5.3.1/resource/schema/
  rti_dds_qos_profiles.xsd" version="5.3.1">
  <qos_library name="Example_Library">
    <qos_profile name="Example_Profile" base_name=" BuiltinQosLibExp::Generic.StrictReliable"
      is_default_qos="true">
      <datawriter_qos>
        <publication_name>
          <name>ExampleDataWriter</name>
        </publication_name>
        <history>
          <kind> KEEP_ALL_HISTORY_QOS </kind>
        </history>
        <reliability>
          <kind> RELIABLE_RELIABILITY_QOS </kind>
        </reliability>
        <durability>
          <kind> PERSISTENT_DURABILITY_QOS </kind>
        </durability>
        <deadline>
          <period>
            <sec> 1 </sec>
            <nanosec> 0 </nanosec>
          </period>
        </deadline>
      </datawriter_qos>
      <datareader_qos>
        <subscription_name>
          <name>ExampleDataReader</name>
        </subscription_name>
        <history>
          <kind> KEEP_ALL_HISTORY_QOS </kind>
        </history>
        <reliability>
          <kind> RELIABLE_RELIABILITY_QOS </kind>
        </reliability>
        <durability>
          <kind> PERSISTENT_DURABILITY_QOS </kind>
        </durability>
        <deadline>
          <period>
            <sec> 1 </sec>
            <nanosec> 0 </nanosec>
          </period>
        </deadline>
      </datareader_qos>
      <participant_qos>
        <participant_name>
          <name>ExampleParticipant</name>
          <role_name>ExampleParticipantRole</role_name>
        </participant_name>
      </participant_qos>
    </qos_profile>
  </qos_library>
</dds>

```

圖 2-2-7 QoS 參數設定的程式碼

### 3. 資通安全(Security)

由於 MQTT 協定內容的精簡且可靠的二進制通訊方式，非常合適使用於處理器資源及網路頻寬有限的物聯網裝置，但因為如此，MQTT 在安全方面較沒有完善的措施。連接方面基於 TCP/IP 協定尚有傳輸層安全協定(Transport Layer Security, TLS)/安全通訊協定(Secure Socket Layer, SSL - TLS 前身)可進行通訊加密，預設為不使用此加密，所以想要傳輸重要訊息並且防止別人竊聽，就必須使用 TLS/SSL 來安全連線。預設下，MQTT 的連接埠(Port)為 1883，若要使用 TLS/SSL 加以保護，將連接埠設定為 8883 即可。在使用者安全性方面，MQTT 提供使用者帳號密碼旗標(User Name Flag or User Password Flag)，若打開此設定，需要在負載裡傳遞帳號與密碼，將可辨識使用者並進行認證，前提是要打開 TLS/SSL 安全連接埠，以防傳遞帳號密碼時遭人攔截。

AMQP 也是基於 TCP/IP 連接，但 AMQP 能更好的與 TLS 和簡單認證與安全層(Simple Authentication and Security Layer, SASL)結合。SASL 為一個在網路協定中用來認證和資料加密的架構，擁有多種認證連接機制，實際包含項目依使用之伺服器軟體而定。在傳輸安全性方面，AMQP 先行交握連接再由 TLS 交握連結，如圖 2-2-8 之(a)，但有時無法使用此方式，像是經過防火牆的連接，就必須使

用另一種稱為“Pure TLS”，連接埠為 5671，TCP 連結會在進入 AMQP 通訊協定交握前先與 TLS 覆疊，如圖 2-2-8 之(b)。因為 AMQP 先行交握方式的訊息序列開頭為 AMQP 的 ASCII 字母，深度封包檢測(Deep Packet Inspection)過濾為非 TLS 而無法使之通過。最後還有提供 WebSocket 通道的連接埠 443，能夠輕鬆實現瀏覽器和伺服器之間的即時消息傳遞，如圖 2-2-8 之(c)。在使用者安全性方面，AMQP 可以選擇 SASL 架構來傳輸，使用者可以在不需要大動作更改協定下，選擇符合需求的安全認證機制。

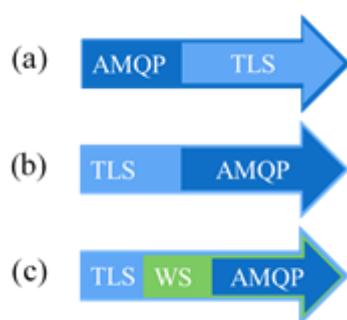


圖 2-2-8 AMQP 傳輸安全示意圖

DDS 同樣也是二進制通訊方式，一開始使用 UDP 傳輸協定做為預設裝置，它不必依賴穩固的硬體或網路來傳輸，但這也表示 DDS 需要自己重新建立確保資料傳輸不會遺漏的機制，進而實現了 TCP 機制，優點是 DDS 較容易被移植到不同裝置上，像是較不穩定的硬體也能使用 TCP/IP 網路連接可靠地傳送正確的資料。

本計畫中，在 DDS 實作所採用的 RTI Connex DDS 僅支持使

用 TLS 或資料包傳輸層安全協定(Datagram Transport Layer Security, DTLS)進行安全通訊，其安全加密方法則是使用 ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) 和 ECDH (Elliptic-curve Diffie-Hellman key Exchange)為默認設置，也可以通過設定使用 DSA (Digital Signature Algorithm)或 RSA (Rivest-Shamir-Adleman)演算法進行加密，故本計畫預計使用 RTI Connex DDS 中 TLS 和 DTLS 的功能和默認的加密方式進行安全通訊。相關 DDS 實作將於第三章中介紹。

#### 4. IoT 技術的比較

本章節將針對 RMQ.26 中採用之 IoT 技術進行介紹，依據服務品質、資通安全等項目，製作比較表說明 DDS、MQTT 與 AMQP 的差異，如表 2-2-4 所示。

表 2-2-4 DDS、MQTT 與 AMQP 的比較表

	DDS	MQTT	AMQP
出現年份	2001	1999	2003
架構風格	全局數據空間 (Global data space)	代理者(Broker)/ 用戶端(Client)	代理者/用戶端、 用戶端/伺服器 (Server)
摘要	發布/訂閱	發布/訂閱	發布/訂閱、請求/回應 (Request/Response)
標頭長度	4 Byte	2 Byte	8 Byte
服務品質	21 種(詳細說明請	3 種	2 種

QoS	查閱 3.1)	QoS 0 – 最多一次 (Fire-and-Forget) QoS 1 – 至少一次 QoS 2 – 只有一次	Settle Format (相似於最多一次) or Unsettle Format (相似於至少一次)
標準	OMG 組織	OASIS 組織	OASIS 組織
傳輸協定	UDP/IP, TCP/IP	TCP/IP	TCP/IP, SCTP
安全性	SSL/TLS, DTLS, DDS Security	SSL/TLS	SSL/TLS, SASL
編碼格式	二進制	二進制	二進制
互操作性	是	部分	是
動態發現	是	否	否
擴充性	是	是	是

## (二) IEC 61850 數據模型(Data model)及共同資訊模型(Common Information Model, CIM)研究

為使資訊在不同廠家的設備中能夠達到互操作性，能源服務程式中的資訊必須要有共同的數據/資訊模型，此數據模型可以依循 IEC 61850-7-4 所規範之數據模型及共同資訊模型做為參考。

IEC 61850 於 1997 年由 EPRI、IEEE、與 IEC TC57 共同制定。原本標題「變電站內通訊與系統自動化」，專為變電站內設計的標準。如今已被廣泛應用，名稱也改為「能源設施之通訊與系統自動化」。IEC 61850 包含 24 個部分，其結構如圖 2-2-9 所示。

IEC 61850-7-4 規範了電力系統自動化應用中裝置與其功能的資訊模型，特別的是，IEC 61850-7-4 為智慧電力裝置(Intelligent Electronic Device, IED)之間的通訊規定了可相容的邏輯節點(Logical



Node, LN)名稱，與數據物件(Data Object, DO)名稱，也規定了 LN 與 DO 之間的相互關係，如圖 2-2-10 所示。

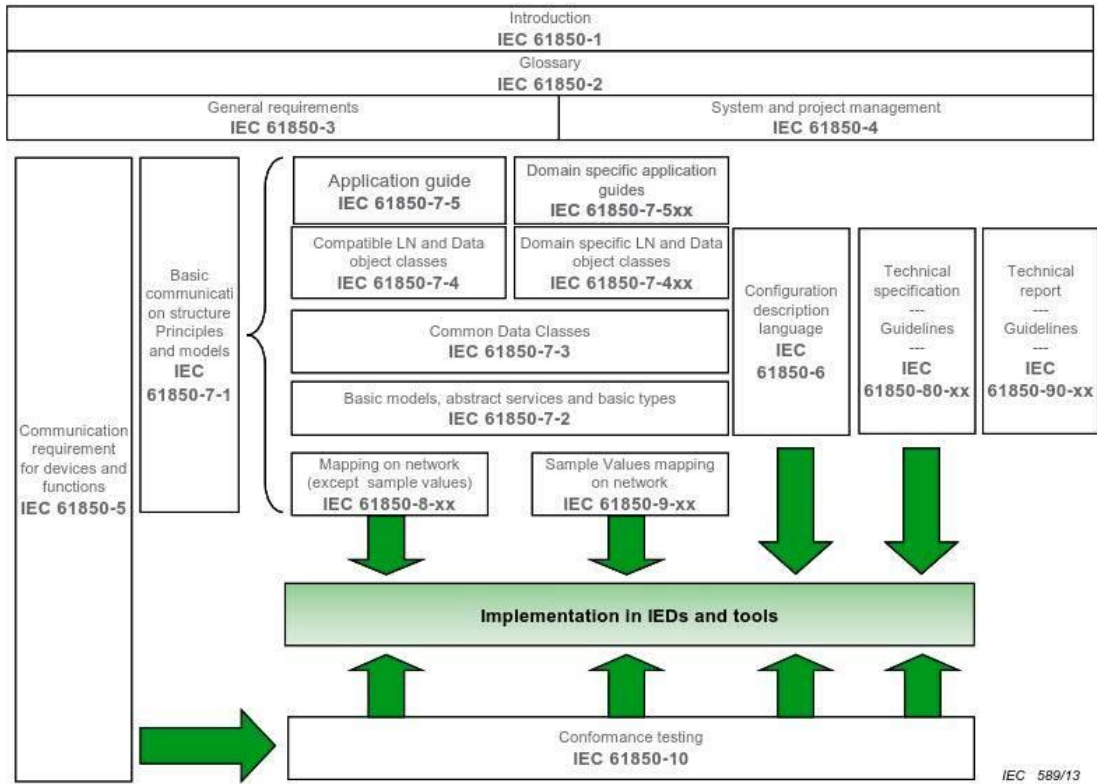


圖 2-2-9 IEC 61850 標準架構[22]

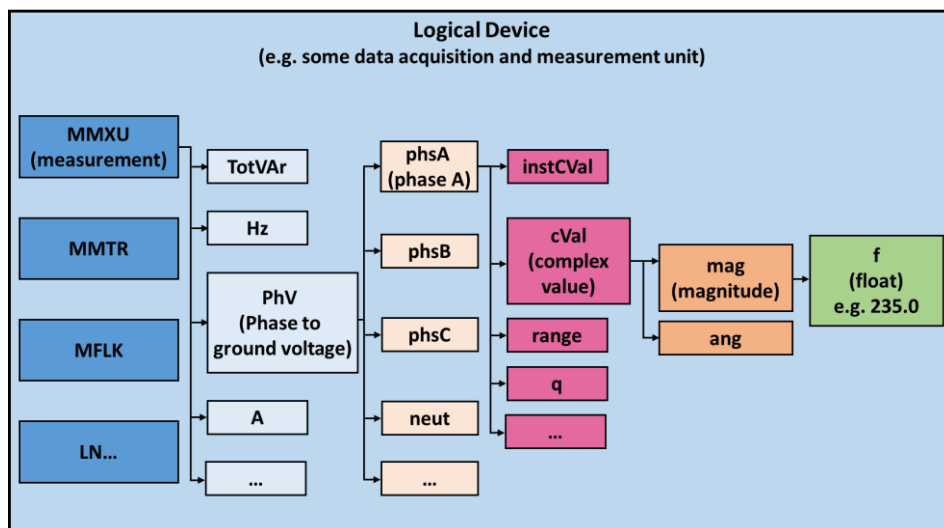


圖 2-2-10 IEC 61850 資訊模型架構(以量測單元為例)[23]

共同資訊模型(CIM)使用統一塑模語言(Unified Modeling Language, UML)，以物件導向的方式來表示電力系統資源以及相對關係，使不同供應商之應用軟體的整合更加便利。CIM 包含了 IEC 61970-301 及 IEC 61968-11。其中，IEC 61970-301 制定了其語意模型(Semantic Model)，而 IEC 61968-11 為 IEC 61970-301 的延伸，提供一套為分散式管理系統(Distribution Management System, DMS)所訂的標準。

RMQ.26.1 說明 OpenFMB 的數據資料，應該基於國際電工委員會之 CIM 實現互操作性。RMQ.26.6.3.2 也提到 OpenFMB 的資料模型主要是基於 IEC CIM 建構而成，而 CIM 模型是使用一個目前廣泛運用在公共事業的 UML 模型，此 UML 模型包含很多公共事業的運行和規劃的面相，例如：有關分散的 IEC 61968、傳輸的 IEC 61970 以及營銷傳播的 IEC 62325 標準。此外，RMQ.26.6.3.2 還提及，除了基於 IEC CIM 之參考模型，如有需要也可將其他需要之標準加入，將這些所需的參考模型，組成公共服務供應商各自所需之 OpenFMB UML 模型，如圖 2-2-11 所示。

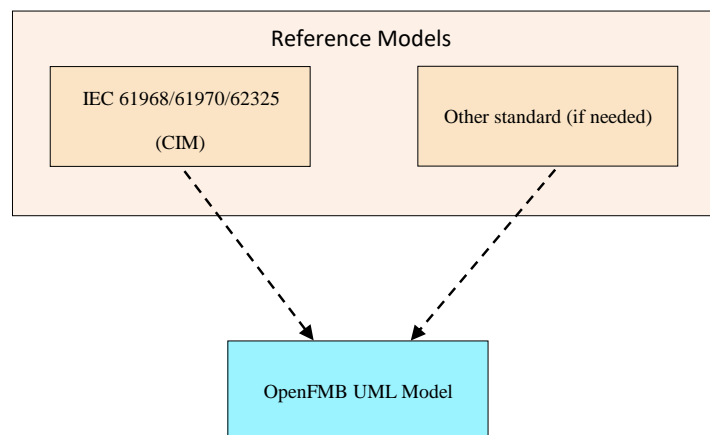


圖 2-2-11 OpenFMB UML 模型

UML 是一種圖示語言，用圖示的方式來表示軟體系統的工具。UML 不是一種程式語言，而是經由一組相關的圖示來規範與架構軟體系統，是目前分析與設計物件導向軟體系統常用的一種工具。目前 UML 規格制定了 13 種圖示，其圖示可分為兩大類：架構 UML 圖示和動態 UML 圖示。架構圖示用來表示軟體系統中不見的結構及元素之間的關聯，屬於規格層次的圖示；動態圖示則用來表示軟體系統中元素之間的互動與合作關係，屬於實作層次的圖示。架構 UML 圖示和動態 UML 圖示如下：

1. 架構 UML 圖示：

- (1) 類別圖示(Class Diagram)；
- (2) 套件圖示(Package Diagram)；
- (3) 物件圖示(Object Diagram)；
- (4) 元件圖示(Component Diagram)；
- (5) 複合圖示(Composite Diagram)；
- (6) 布署圖示(Deployment Diagram)。

2. 動態 UML 圖示

- (1) 活動圖示(Activity Diagram)；
- (2) 循序圖示(Sequence Diagram)；
- (3) 使用案例圖示(Use Case Diagram)；
- (4) 狀態圖示(State Diagram)；
- (5) 通訊圖示(Communication Diagram)；
- (6) 互動概要圖示(Interaction Overview Diagram)；
- (7) 時間圖示(Timing Diagram)。

雖然 UML 如此多種，但在建構 OpenFMB 架構時，只會使用其中四種圖示，即：Use Case Diagram、Activity Diagram、Sequence Diagram、Class Diagram。RMQ.26.6 提及 OpenFMB 架構方法，為本計畫第貳章一、(三)小節開放場域訊息匯流(OpenFMB Field Message Bus, OpenFMB)標準研究描述架構之第二部分 - 架構方法，於建置 OpenFMB UML 模型時，有許多地方要注意及遵循，在此分成四部份，分別為 Use Case Layer、Data Requirement Layer、Integration Design Layer 和 Data Model Layer，如圖 2-2-12 所示。

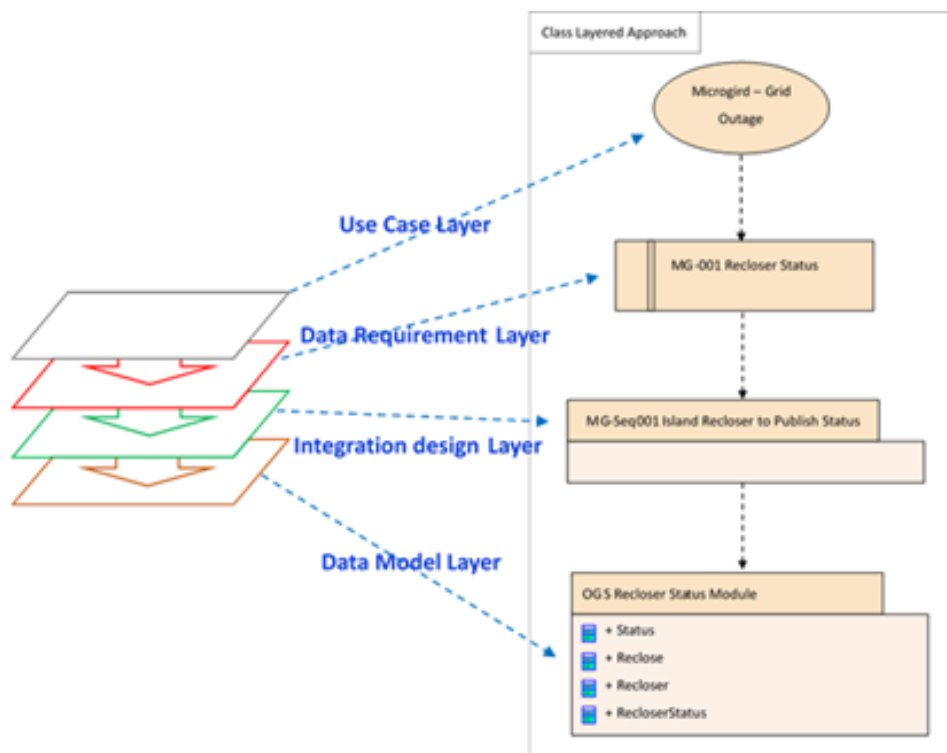


圖 2-2-12 建模方法流程圖

## 1. Use Case Layer

建置 OpenFMB UML 模型時，首先應考量其企業目標及使用目的，在此 OpenFMB 架構下，能源系統會運行何種動作，了解參與此動作的設備、系統或者人員，再使用 UML 的 Use Case Diagram 繪畫出整體需參與的動作者和功能，動作者有四種：系統/應用程式、裝置、組織或人。

圖 2-2-13 為 OpenFMB 官方所使用的 Use Case Diagram，其使用目的為非預期的孤島效應轉變，圖中上方為在此動作下參與其中的動作者(例如：Recloser，圖案為人形)和系統功能(例如：Microgrid Transition to Island，圖案為橢圓形)。

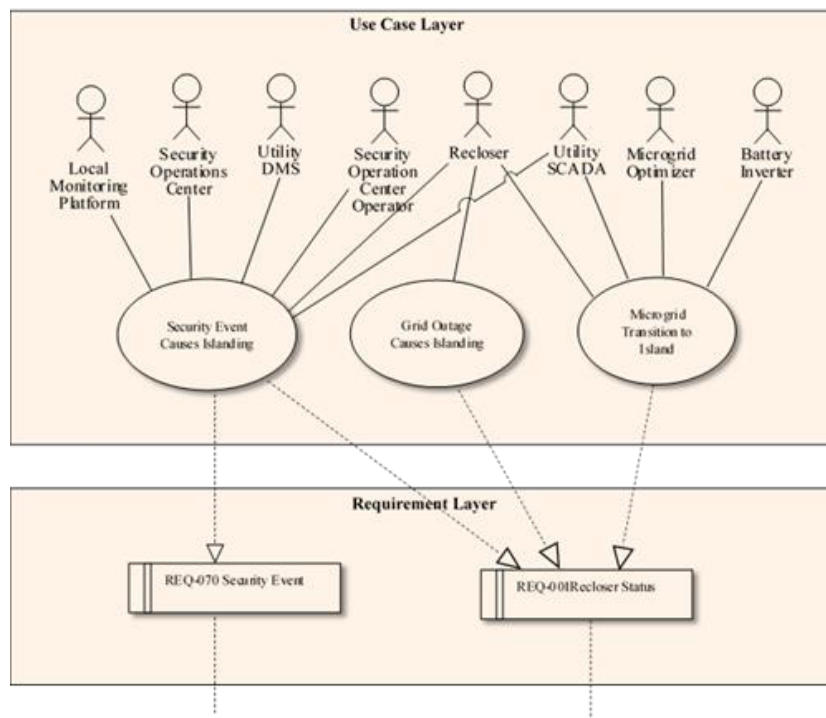


圖 2-2-13 微電網非預期孤島效應轉變之使用案例

## 2. Data Requirement Layer

規劃好 Use Case 裡動作者和系統功能之間的關聯，再來是訂定會引用到此 Use Case 的物件，此物件為最後建置模型時所包含的物件，如下面之物件(Security Event、Recloser Status)。

在 UML Use Case Diagram 裡，除了訂定需要引用的物件外，尚需要其他內容來補足及表達，以明確說明該 Use Case 的目標，其中之一為劇本(Scenario)，在執行 Use Case 時，如有像是電網輸出導致非預期的孤島效應，此為非預期的孤島效應裡的其中一種狀況，就需將此歸入為劇本之一。

考慮完各種劇本後，將使用 Activity Diagram 來呈現，如圖 2-2-14 所示。Activity Diagram 是以任務為主的動態圖示，可分為物件流和動作流兩種，物件流為藉由活動創建或修改物件的流程，如果箭頭從動作到物件，就表示這個動作改變物件，反之亦然；而動作流顧名思義就是動作的流程。

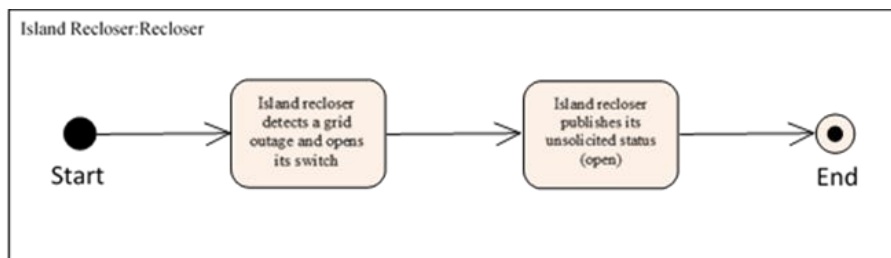


圖 2-2-14 Activity Diagram 範例

## 3. Integration Design Layer

Sequence diagram 可用來描述物件之間的動態關聯。前面在 Use Case 訂定的每個訊息交換，都是以做成 Sequence Diagram 的方式來

解釋，每個 Sequence Diagram 即為描述著訊息提供者和接收者之間的交換動作，以 Use Case 為基礎呈現的訊息循序。

Sequence Diagram 以「時間順序」和「合作物件」為主要概念，時間的先後順序呈現物件之間的合作關係，如圖 2-2-15 所示。

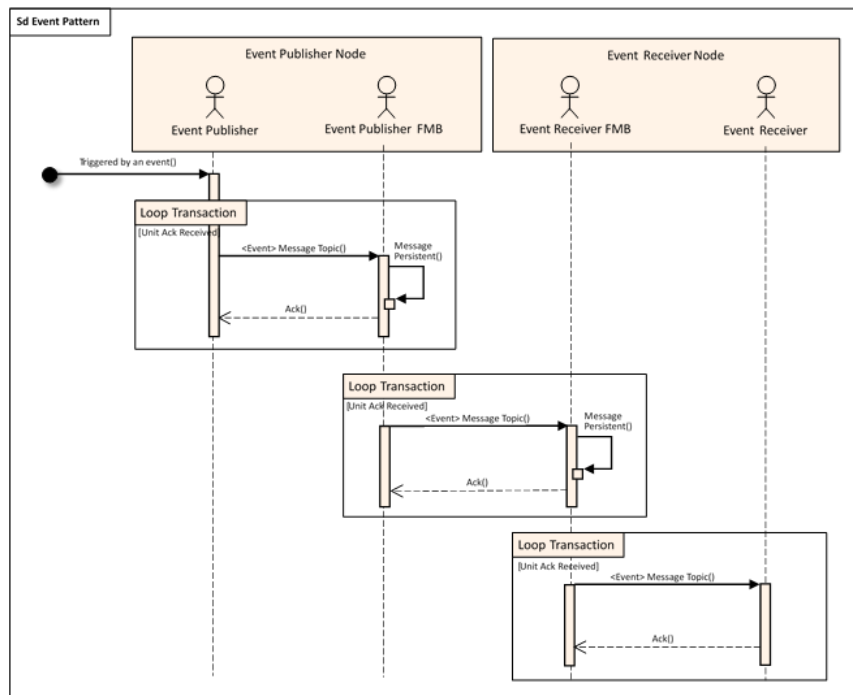


圖 2-2-15 Sequence Diagram 範例

#### 4. Data Model Layer

將所有依據 CIM 標準訂定的物件，使用 Class Diagram 建構 OpenFMB UML 模型，如圖 2-2-16 所示。Class Diagram 是物件導向式的建模，主要用來表達系統內部的靜態結構，系統內部的靜態結構將重大影響日後系統是否能夠承受多元的變動，因此在規劃此圖時實為艱難，但也是最能方便理解及有效分割功能的圖示，若未來需要增加或是減少功能，透過此圖即可簡單的進行更動。

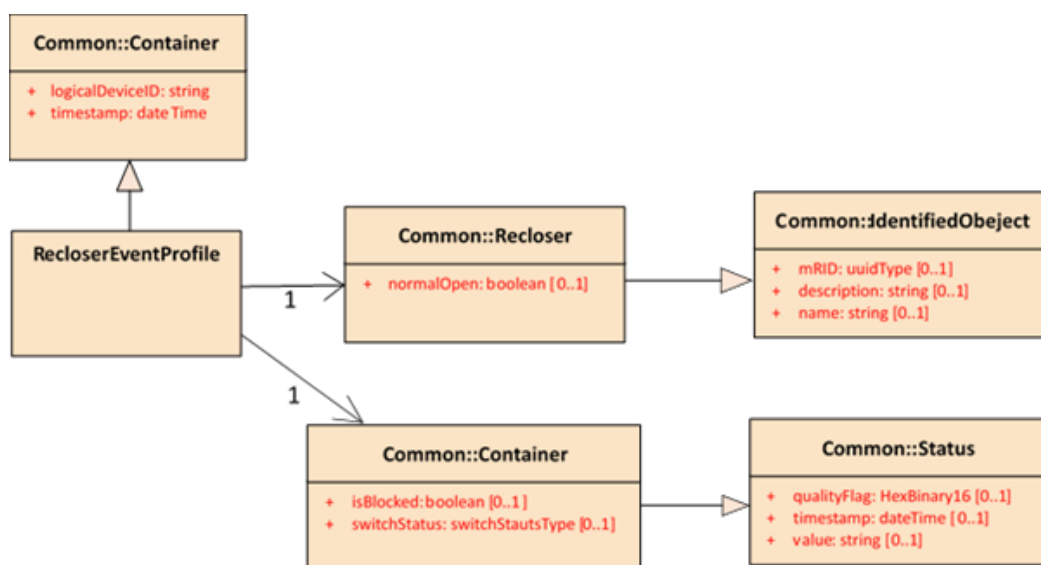


圖 2-2-16 Class Diagram 範例

平台獨立模型(Platform Independent Model, PIM)類似於系統分析模型，是一種高階抽象的模型，與開發技術獨立。PIM 為系統分析與設計結果的重要產出，關注於系統整個架構實現，忽略與平台間相關的部分，並不描述系統開發與運作，而 PIM 可以轉換成多個相關平台模型。RMQ.26 裡描述，使用 UML 來定義此系統之 PIM，完成將可透過特殊的軟體工具產出平台規範模型(Platform Specification Model, PSM)。PSM 即為 PIM 的延伸，用以描述特定平台的模型。XML Schema Definition(XSD)則為 OpenFMB 的 PSM 表示方式，XSD 由定義好的 PIM 轉換過來，為機器有效可讀格式。

因此，整個 OpenFMB 的設計流程，將如圖 2-2-17 所示。首先依照 RMQ.26 OpenFMB 架構方法提及之建模方法開始，從 Use Case 到 CIM UML 模組，建模完成後再由轉檔工具轉成 XML 或 IDL 檔，在 RMQ.26 裡，官方所使用的工具為 Sparx 公司的 EA 軟體。最後是加入傳輸協定，並按照 RMQ.26 OpenFMB 參考架構，針對每一個



OpenFMB 與裝置和設備連接的節點，建構中介層、資料的傳輸和 QoS 等。

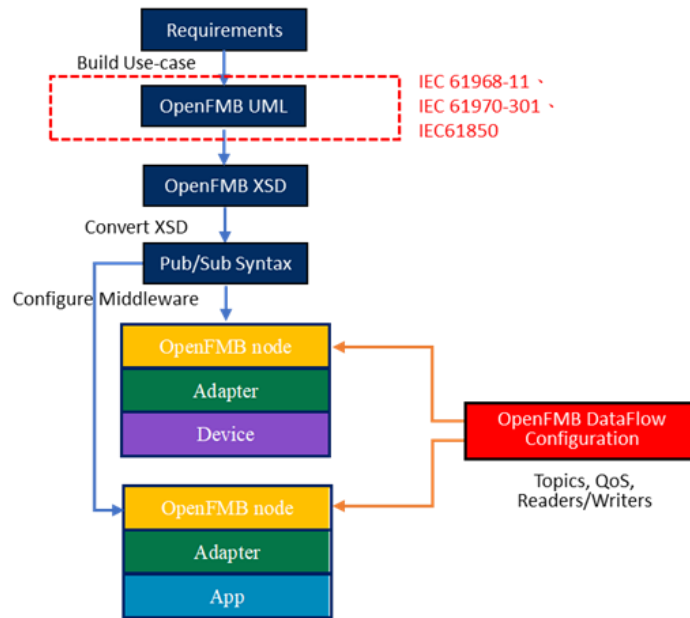


圖 2-2-17 OpenFMB 設計流程

## 5. 數據模型之差異

上述兩者是為不同目的所設計之資訊/數據模型：共同資訊模型以 UML 定義了控制、監控用之模型，提供能源管理系統使用；而 IEC61850 以功能性的觀點描述電力設備，提供了設計變電站自動化及分散式能源之數據模型。根據 IEC 智慧電網標準藍圖(IEC Smart Grid Standardization Roadmap)[29]提及之通訊需求參考架構如圖 2-2-18，IEC61850 之數據模型與共同資訊模型(CIM)屬於不同階層之數據模型，可互相搭配使用。

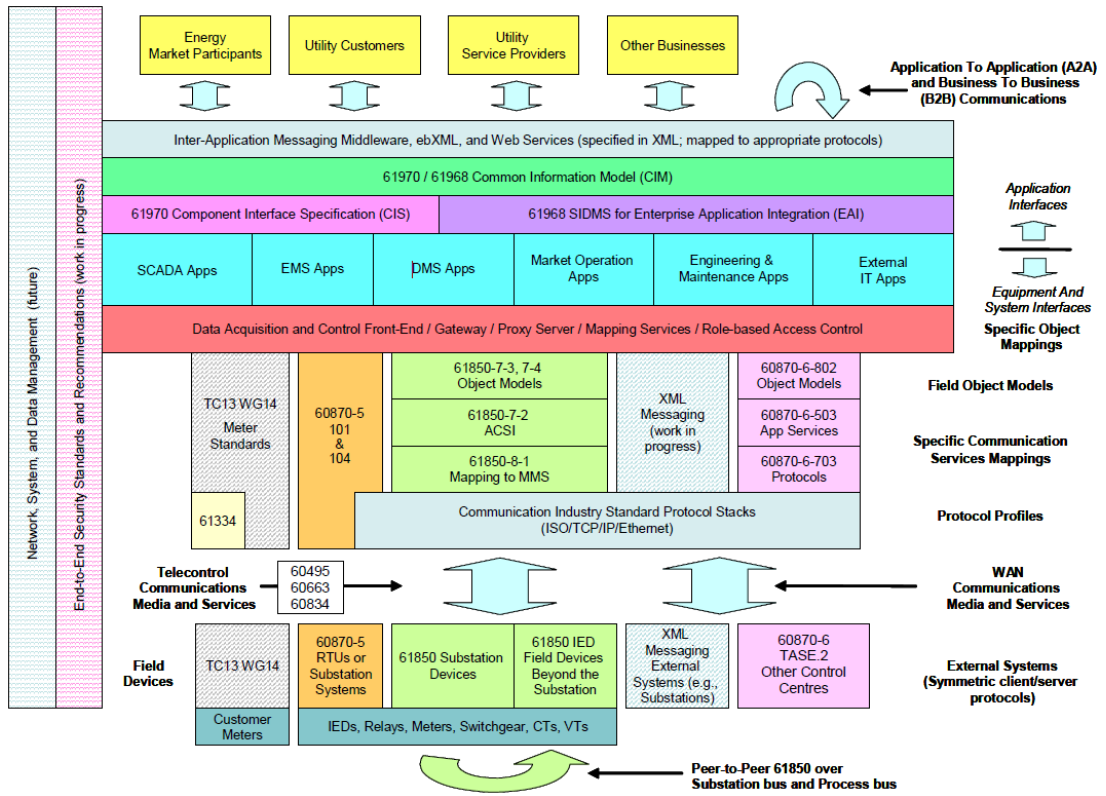


圖 2-2-18 目前 TC57 通訊需求參考架構圖[29]

### (三) 分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)整合之資通訊 技術評估研究

在本計畫之微電網測試場域中，設有太陽能板、儲能系統等的分散式能源，有其各自的通訊介面。為使各分散式能源的通訊能達到互操作性，通訊介面必須包含某些分散式能源特定的資訊。

IEEE 1547 “IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces”是 Standards Coordinate Committee 21 制定的第一個系列標準，標準涵蓋了分散式能源網路中的 Fuel Cells、Photovoltaics、Dispersed Generation、和儲能系統。此標準提供了最低且通用的技術與功能需求，有助於確保完整的連結。最新版(2018)的 IEEE 1547[24]第十章即為分散式能源通訊介面的規範，裡面規定了區域電力系統(Area Electric Power System, Area EPS)的 DER 通訊介面應提供的資訊及服務，如表 2-2-5 所示，各項資訊說明如下：

1. 名牌(Nameplate)資訊：為 DER 的基本資訊，包含製造商、序號、版本、最大/最小額定電壓等資訊；
2. 配置(Configuration)資訊：為目前 DER 的設定值，其數值可能與名牌的預配資訊相關聯，若配置與名牌資訊不相符時，應使用配置資訊作為參考；
3. 監控(Monitoring)資訊：為最新的量測資訊，例如實功率、虛功率、頻率、連接狀態等資訊；
4. 管理(Management)資訊：此資訊用以更新 DER 之模式及功能設定。以功率因數為例，IEEE1547 標準中的第十章規定了可調整的參數、其功能及其可調整範圍，如表 2-2-6。

表 2-2-5 通訊介面應提供的資訊及服務

<b>Information</b>	<b>R/W</b>	<b>Description</b>
Nameplate	R	The as-built characteristics of the DER
Configuration	R/W	The present capacity and ability of the DER to perform functions
Monitor	R	The present operation conditions of the DER
Management	R/W	Used to update functional and mode settings for the DER

表 2-2-6 管理資訊中功率因數相關規範

<b>Parameter</b>	<b>Description</b>	<b>Range</b>
Constant Power Factor mode Enable	Enable constant power factor mode	On/Off
Constant Power Factor	Constant power factor setting	0-1
Constant Power Factor Excitation	Constant power factor excitation setting	Over-excited or under-excited

IEEE 1547 第十章也包含了通訊協定的部分，如表 2-2-7，標準中規範 DER 中至少需涵蓋其中一種通訊協定。而在通訊介面的表現上也有其規範，例如由介面讀取資訊的反應時間不應超過 30 秒。

表 2-2-7 DER 通訊協定規範(至少需涵蓋其中一種)

<b>Protocol</b>	<b>Transport</b>	<b>Physical Layer</b>
SEP2	TCP/IP	Ethernet
DNP3	TCP/IP	Ethernet
Modbus	TCP/IP	Ethernet
	N/A	RS-485

IEEE 1547 在第十一章提供了測試及驗證規範，驗證範圍涵蓋標準中第四章至第十章的規範，滿足標準中對分散式能源的要求後，再依據 IEEE 1547.1 進行驗證。IEEE 1547 規範標準中所有分散式能源的要求必須由以下方法測試，如圖 2-2-19 所示，各項測試說明如下：

1. 類別測試(Type Tests)：類別測試用於單個分散式能源或由分散式能源組合之系統，必須測試在工廠內、實驗室內、或場域內的分散式能源上，其測試結果被允許代表額定功率在其 50%至 200%同一設計的軟、硬體系列產品。
2. 生產測試(Production Tests)：在送交給客戶前，應對每一單位的分散式能源與相互連接的設備進行生產測試，測試其可操作性。這些測試假設設備符合本標準的適用互連和互操作性要求，可以作為工廠測試進行，也可以作為分散式能源評估或使用測試的一部分進行。
3. 分散式能源評估(DER Evaluation)包含以下兩種評估：
  - (1) 分散式能源設計評估(DER Design Evaluation)：此評估為案頭研究(Desk Study)，在相互連接審查過程中，驗證所設計的系統內各個部分兼容(Partially Compliant)的分散式能源的組合滿足標準中的相互連接和互操作性要求。
  - (2) 分散式能源竣工安裝評估(DER As-built Installation)

Evaluation)：此為現場評估(On-Site)，此評估不需要測試，是在使用時的評估，以驗證交付和安裝的各個部分兼容的分散式能源的組合符合本標準的互連和互操作性要求。

4. 使用測試(Commissioning Tests)：使用測試是對一個設備或設備組合的測試和驗證，以確認設計、交付和安裝的系統滿足本標準的相互連接和互操作性要求。所有使用測試程序應根據書面測試程序進行，測試程序由製造商或系統設計人員提供，且經設備所有者與區域 EPS 操作員批准。使用測試應包括目視檢查，並可包括適用的可操作性和功能性能測試。
5. 週期性測試(Periodic Tests)：週期性測試是根據預定的時間或其他標準進行的測試和驗證，以確認一個已經相互連接的設備或組成系統的設備是否滿足本標準的相互連接和互操作性要求。所有相互連接相關保護功能和相關電池的週期性測試要求和間隔應由互連設備製造商或系統整合商提供，並由管理互連要求的權力機構 (Authority Governing Interconnection Requirements, AGIR) 或區域 EPS 營運商批准。重新測試的頻率應由區域 EPS 營運商保護系統測試政策或製造商要求確定。應保持定期測試報告或檢查日誌。

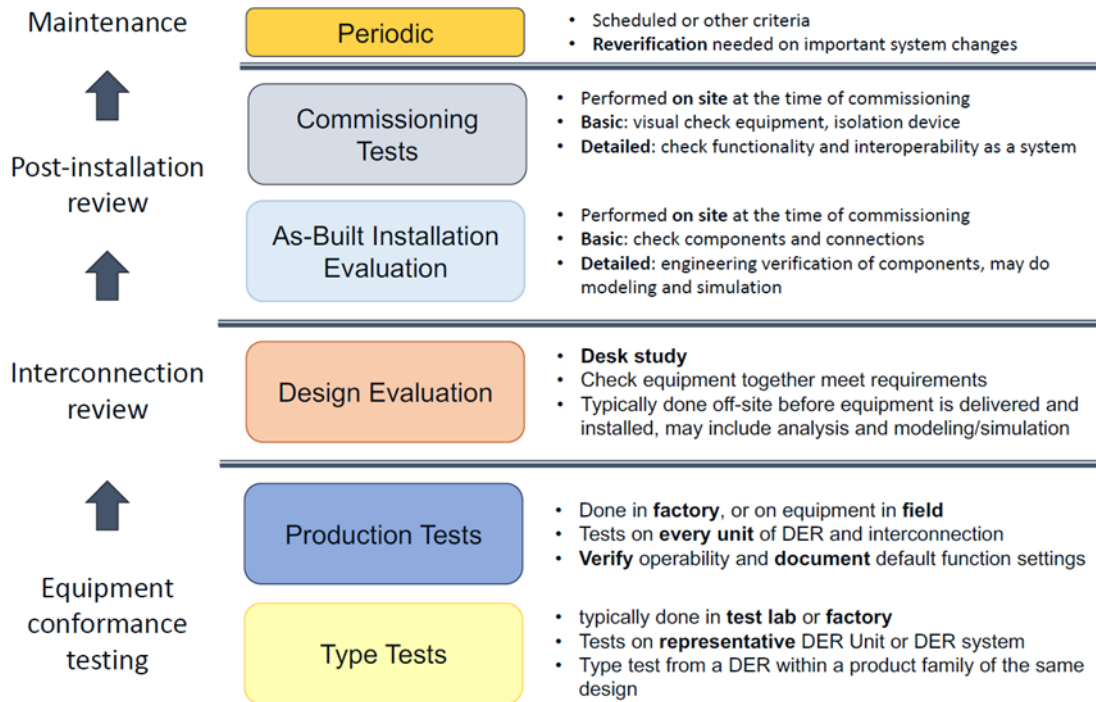


圖 2-2-19 IEEE 1547 測試及驗證方法關係圖[25]

## 1. DNP3 與 Modbus

分散式網路協定(Distributed Network Protocol, DNP3)由美國 Westronic(今GE Harris)於1993年開發，是現今電力設施資料採集與監控系統(Supervisory Control and Data Acquisition systems, SCADA)的主要通訊協定，也應用於石油、天然氣、水、廢水等工業領域。詳細介紹於附錄D。

Modbus於1979年由美國Modicon(今Schneider Electric)在程序控制系統中所開發，最初設計是為了簡化控制器和感測器間透過RS-232的傳輸過程，現今已成為工業領域通訊協定的業界標準(De

facto)，也是工業電子裝置之間常用的連接方式。詳細介紹於附錄E。

Modbus 和 DNP3 都是位元組導向(Byte-oriented)的通訊協定。Modbus 在 OSI 模型中隸屬於應用層，DNP3 則屬於含有偽傳輸層的應用層和資料連接層。這兩種通訊協定可廣泛應用於各種實體層，包含 RS-232、RS-422、RS-485 和 TCP/IP [18]。

Modbus 和 DNP3 兩者都是廣泛應用於工業或電力監控系統的通訊協定，但兩協定間的規範仍存在許多差異。Modbus 對於資料型態的定義未如 DNP3 嚴謹，整體運作架構謹遵循 Master-slave 模式，當 Modbus Master 發出請求封包時，Modbus Slave 才會回應響應封包；而 DNP3 Master 會定時向 DNP3 Outstation 讀取資料。此外，也可由 DNP3 Outstation 主動提出回應(Unsolicited Response)，無須等到 DNP3 Master 發出輪詢封包，事件發生時 DNP3 Outstation 就能立即回報給 DNP3 Master，降低系統的反應時間[20]。

### 1.1 取得資訊(輸入)

Modbus 以發送單一請求來讀取所有範圍和類型的輸入及輸出數值。標準的 Modbus 沒有事件或時間的概念，因此所有數據都被視為現值(Present Value)，當數據更新且未經過讀取和收集時，所有的內容都會被遺棄。

DNP3 規範支持多種單獨或群組的讀取輸入的方法。例如，除



了將多種型態的數據封裝在單一消息中，也可以使用包括時間戳記和數據質量的訊息提高傳輸效率。DNP3 也支援事件改變，透過輪詢功能，當僅有數值改變時才會回報，稱為異常回報(Report by Exception, RBE)，藉此 Master 能夠減少總體流量[18]。

## 1.2 運行控制(輸出)

Modbus 的運行控制是利用其讀取或寫入的數據類型，包含線圈(Coils)和保持暫存器(Holding Registers)。

DNP3 的運行控制除了可以讀取或寫入 DNP3 的輸出物件，也可利用輸出群組(Group)物件：Control Relay Output Block(CROB)和 Analog Output Blocks。讀取輸出物件會回傳輸出的統計訊息，即最後一個寫入的命令。透過二進制或類比輸入監視控制點的實際數值。DNP3 還支援了高安全性的兩步驟運行控制：首先發送「選擇請求」，從設備確認完畢後就會發送實際的「操作請求」。可確保控制命令的完整性[18]。

## 1.3 資料型態

Modbus 通常允許接收可程式化邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)的輸入和輸出。Modbus 通訊協定的標準未定義如何發送十六位元暫存器之數值，無論是高位元組(High-byte)、低位元

組(Low-byte)或有符號數(Signed)、無符號數(Unsigned)都能優先發送，甚至可以組成連續暫存器創建浮點數。Modbus 也能添加自定義擴充功能，以便將功能擴展到標準 Modbus 提供的功能之外，但這也使得 Modbus 設備原先簡易的互操作性變得更加困難。

由於 Modbus 未嚴格定義資料型態，因此需要了解設備間如何發送數據，以便解釋發送的數據。例如，為了確保正確讀取所有設備，主站必須配置為可讀取高位元優先或低位元優先數據，這為 Master 設定增加了額外的複雜步驟。

Modbus 的浮點數通常會被分解到特殊範圍內，例如，保持暫存器具有位址 40001 至 49999。由於 Modbus 支援讀回輸出值的概念，因此大多數 Modbus 設備僅實現「輸出」資料型態，透過此實現，所有輸入都會被當成輸出，可被讀取和尋址。

DNP3 規範定義了大量的資料型態，每一型態也支援多種型態變化。這些型態變化可將數據描述成十六位元或三十二位整數值發送、三十二位元或六十四位元浮點值數值發送、有無時間戳。Modbus 和 DNP3 的資料型態比較表，如表 2-2-8 所示[18]。

表 2-2-8 Modbus 和 DNP3 資料型態比較表

<b>Data Types</b>	<b>Modbus</b>	<b>DNP3</b>
<b>Boolean Inputs</b>	Discrete Input	Binary Input
<b>Boolean Outputs</b>	Coil	Control Relay Output Block (CROB)
<b>Double-bit Boolean Inputs</b>	No	Double Bits
<b>16-bit Input</b>	Input Register	16-bit Counter 16-bit Frozen Counter 16-bit Analog Input 16-bit Frozen Analog Input
<b>16-bit Output</b>	Holding Register	16-bit Analog Output Block
<b>32-bit Input</b>	No	32-bit Counter 32-bit Frozen Counter 32-bit Analog Input 32-bit Frozen Analog Input
<b>32-bit Output</b>	No	32-bit Analog Output
<b>32-bit Floating Point (IEEE-754)</b>	No	Short Floating Point Analog Input
<b>64-bit Floating Point (IEEE-754)</b>	No	Long Floating Point Analog Input
<b>32-bit Floating Point Output (IEEE-754)</b>	No	32-bit Floating Point Output
<b>64-bit Floating Point Output (IEEE-754)</b>	No	64-bit Floating Point Output
<b>Analog Deadband</b>	No	Analog Input Reporting Deadband
<b>Strings</b>	No	Octet string
<b>Virtual Terminal</b>	No	Virtual Terminal Output Block
<b>Time and Date</b>	No	Time and Date Time Delay
<b>File Transfer</b>	No	File Transfer

表 2-2-9 為 Modbus 和 DNP3 的簡要概述與比較[18]。Modbus 的主要優點是對於具有 Modbus 介面的設備，無論設備的大小和數量都易於操作，被廣泛應用在程序控制系統和 SCADA 系統。DNP3 則設計用於 SCADA 系統應用，具有高度標準化、相對較高的相容性和不同設備間的互操作性。DNP3 和 Modbus 都有獨立的技術委員會，致力於確保互操作性並為新功能建立標準。

表 2-2-9 Modbus 和 DNP3 的比較表

<b>Feature</b>	<b>Modbus</b>	<b>DNP3</b>
<b>Open Domain</b>	Yes	Yes
<b>Active Users Group</b>	Yes	Yes
<b>Active Technical Committee</b>	Yes	Yes
<b>Comprehensive certification procedures</b>	Yes	Yes
<b>Multiple Data Types</b>	Yes	Yes
<b>Standardized data formats</b>	No	Yes
<b>Time-stamped data</b>	No	Yes
<b>Data quality indicators</b>	No	Yes
<b>Report by Exception (RBE)</b>	No	Yes
<b>Unsolicited RBE</b>	No	Yes
<b>2-pass control operations</b>	No	Yes

### 三、 能源服務程式之測試與驗證研究

本計畫除進行各標準研究分析外，亦於核研所在臺南沙崙測試場域進行能源作業系統(EOS)之程式操作及功能測試。場域配置如圖 2-1-2，其中設備包含太陽能面板、儲能系統、負載機及前述各項各配有的電表、斷路器(Breaker)及換流器(Inverter)，EOS 將收集來的各裝置之資訊及中顯示，本節將描述依照核研所提供之測試劇本，測試 EOS 之步驟與實驗結果如本章節(一)小節。並依據 IEEE 2030.7 規範在微電網架構中控制系統核心功能測試之概念流程圖，設計一針對訊息傳遞延遲的測試架構圖，功能設定及測試項目如本章節(二)小節描述。

#### (一) EOS 於沙崙場域測試

本節之場域測試程序皆根據核能所提供之書面測試程序而進行，包括隨插即用(Plug & Play)、自動組態(Automatic Configuration)、電力平衡等測試。以期符合 IEEE 1547.1 標準內所規範之使用測試(Commissioning test)。

為測試隨插即用及自動組態，本測試將 USB 集線器上之各裝置按不同順序重複插拔，觀察 EOS 顯示之狀態並記錄之。電力平衡則設計一情境如述：一開始以太陽能面板供應負載機，接著慢慢提升負載耗電，觀察 EOS 是否切換供電。

以下為利用此獨立式微電網，建立儲能匯流排(Bus 0)、太陽能供電匯流排(Bus 4)、負載匯流排(Bus 6)，進而模擬太陽能輕載發電情境和滿載發電情境的應用案例。

## 1. EOS 全黑啟動(啟動 Bus 0)

- (1) 啟動友達儲能系統：先分別手動開啟友達電池機櫃內六個電池機箱上 ON 開關，再按下 EMU 機箱上 ON/RESET 鍵，待每個電池機箱面板狀態指示燈顯示綠色，表示電池正常，如圖 2-3-1 所示。



圖 2-3-1 友達儲能系統之開機狀態

(2) 啟動施耐德儲能換流器：手動開啟友達儲能輸出(48VDC)斷路器(B0)為 ON，將 48V 直流電源送至施耐德儲能換流器，此時施耐德儲能換流器面板顯示“Stb”，表示換流器準備就緒(Standby)，可以開始工作，如圖 2-3-2 所示。



圖 2-3-2 施耐德儲能換流器之開機狀態

(3) 啟動施耐德儲能換流器輸出 240V 交流電源：手動操作施耐德儲能換流器的通訊轉換盒(COMBOX)，將換流器工作模式(Operating Mode)由 Standby 改為 Operating，如圖 2-3-3 所示，並手動開啟斷路器(B1)為 ON，如此便將 AC 電源輸出至施耐德斷路器及電表盤櫃，此時換流器面板顯示數值為 0.12(kW)，如圖 2-3-4 所示。



圖 2-3-3 施耐德儲能換流器的通訊轉換盒



圖 2-3-4 施耐德儲能換流器之面板顯示



- (4) 啟動 EOS 平台：EOS 平台包含電腦主機和螢幕，將電腦主機和螢幕開啟為 ON，由於電腦主機和螢幕耗電量約為 10W，故施耐德儲能換流器面板顯示數值應為 0.13(kW)。
- (5) 建立友達儲能系統通訊：手動將連接友達儲能系統之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 16 秒內，在 EOS 系統日誌中顯示“AUTO Battery DetectedID=1”，表示 EOS 已經與友達儲能系統建立通訊連線，並可顯示儲能系統電池電壓值及 SOC(充電狀態 State of Charge)值，如圖 2-3-5 所示。



圖 2-3-5 EOS 全黑啟動及建立 Bus 0 設備的連結(友達儲能系統)

- (6) 手動將連接施耐德儲能換流器之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 13 秒內，EOS 系統日誌中顯示“Schneider Inverter Charger DetectedID=1”，表示 EOS 已經與施耐德儲能換流器建立通訊連線，並可顯示輸出之交流電壓值及頻率值。至此 EOS 全黑啟動完成，如圖 2-3-6 所示。

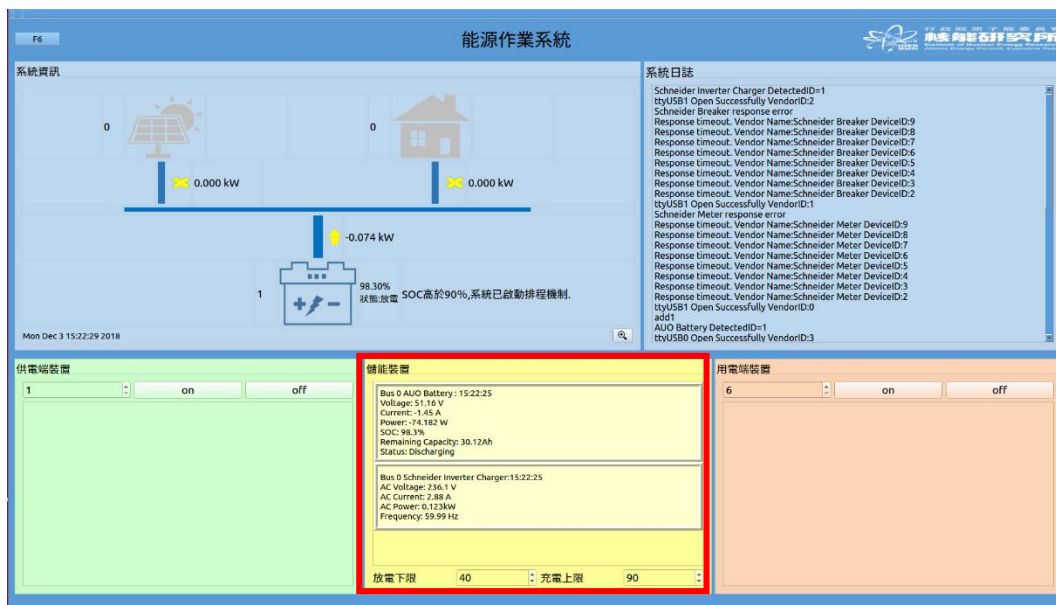


圖 2-3-6 EOS 全黑啟動及建立 Bus 0 設備的連結(施耐德儲能換流器)

- (7) 為維持 EOS 可正常獨立運轉，EOS 在全黑啟動後，Bus 0 上的設備不允許被移除及插拔。

## 2. 啟動 EOS 太陽能供電(啟動 Bus 4)

- (1) 建立施耐德 IEM3155 電表(N4)通訊：手動將連接施耐德 IEM3155 電表(N4)之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB 實際測試結果可在 6 秒內，EOS 系統日誌中顯示“Schneider Meter DetectedID=6”，表示 EOS 已經與施耐德 IEM3155 電表(N4)建立通訊連線，並可顯示量測之交流電壓值及頻率值。
- (2) 建立施耐德斷路器(N4)通訊：手動將連接施耐德斷路器(N4)之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 10 秒內，EOS 系統日誌會顯示“Schneider Breaker DetectedID=6”，表示 EOS 已經與施耐德斷路器(N4)建立通訊

連線，並在人機介面上實際點選“on”和“off”按鈕，確認可以正常控制。

- (3) 建立施耐德換流器通訊：手動將連接施耐德換流器之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 10 秒內，EOS 系統日誌中顯示“Schneider PV Inverter DetectedID=6”，表示 EOS 已經與施耐德換流器建立通訊連線，接著將施耐德斷路器(N4)設定成 ON，人機介面如圖 2-3-7。

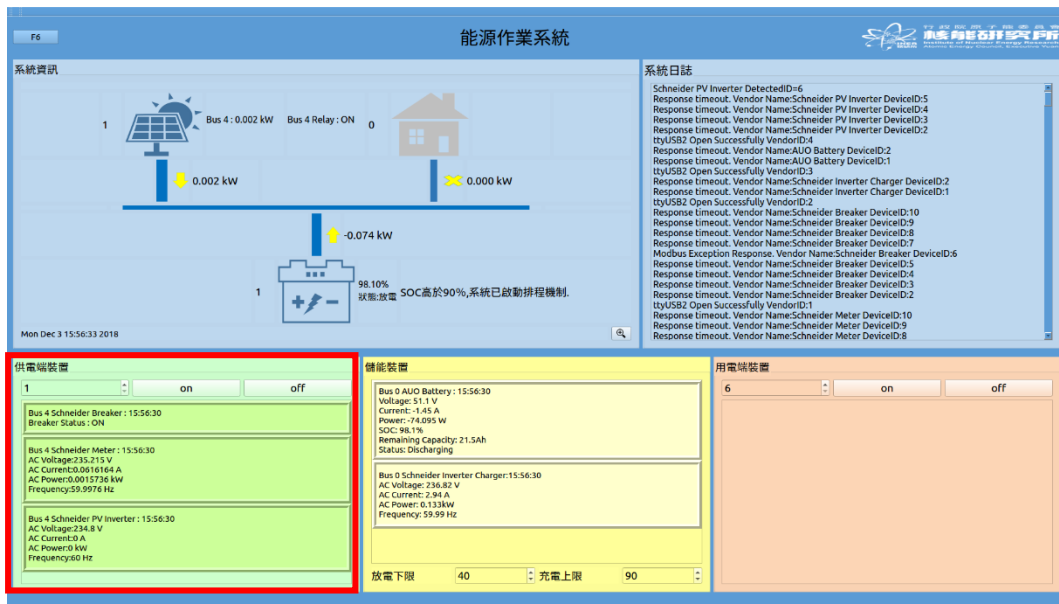


圖 2-3-7 EOS 建立 Bus 4 設備的連結(太陽能供電)

### 3. 啟動 EOS 負載(啟動 Bus 6)

- (1) 建立施耐德 IEM3155 電表(N6)通訊：手動將連接施耐德 IEM3155 電表(N6)之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 10 秒內，EOS 系統日誌中顯示“Schneider Meter DetectedID=8”，表示 EOS 已經與施耐德 IEM3155 電表(N6)建立通訊連線，並可顯示量測之交流電壓值及頻率

值。

- (2) 建立施耐德斷路器(N6)通訊：手動將連接施耐德斷路器(N6)之 USB 轉 RS485 轉接器插入 USB HUB。實際測試結果可在 12 秒內，EOS 系統日誌會顯示“Schneider Breaker DetectedID=8”，表示 EOS 已經與施耐德斷路器(N6)建立通訊連線，並在人機介面上實際點選“on”和“off”按鈕，確認可以正常控制。
- (3) 啟動電子負載：在人機介面上將施耐德斷路器(N6)設定為 ON，其次把致茂電子負載電源打開，並設定電流為 5A、最大電流為 8A，使負載固定消耗為 1kW，使得施耐德 IEM3155 電表(N6)上顯示功率為 1kW。至此，應用案例環境設定完成，如圖 2-3-8。

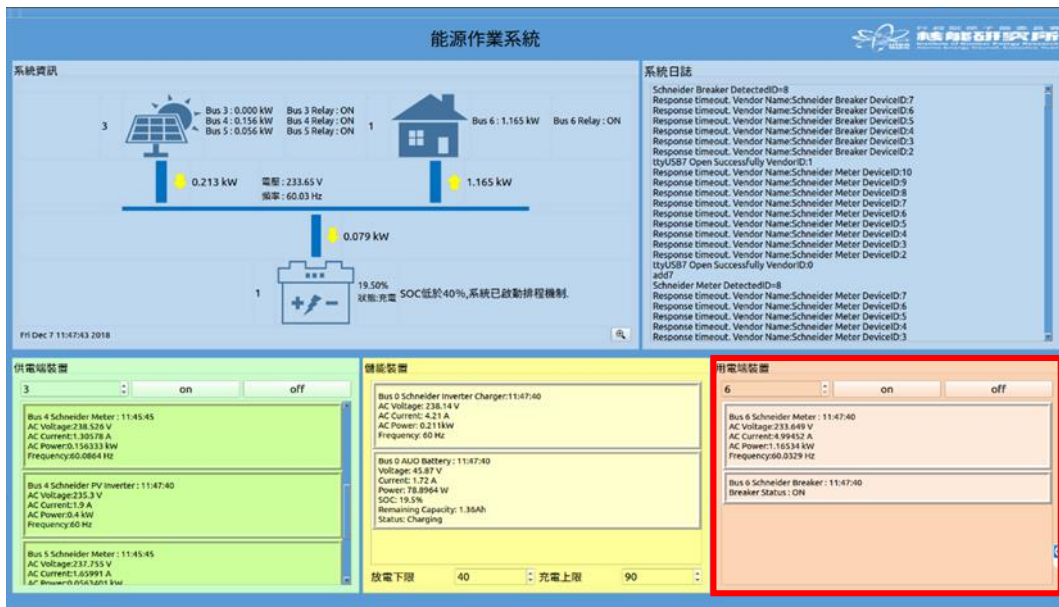


圖 2-3-8 EOS 建立 Bus 6 設備的連結(負載)

#### 4. 應用案例一(日照不足情境)

操作人員設定電子負載，使得電子負載數值大於目前太陽能供電數值，並確認 EOS 獨立運轉進行測試時其系統電壓與頻率皆可符合允收準則。此時施耐德換流器為輕載輸出，EOS 的 Bus 0 應顯示放電狀態，如圖 2-3-9。

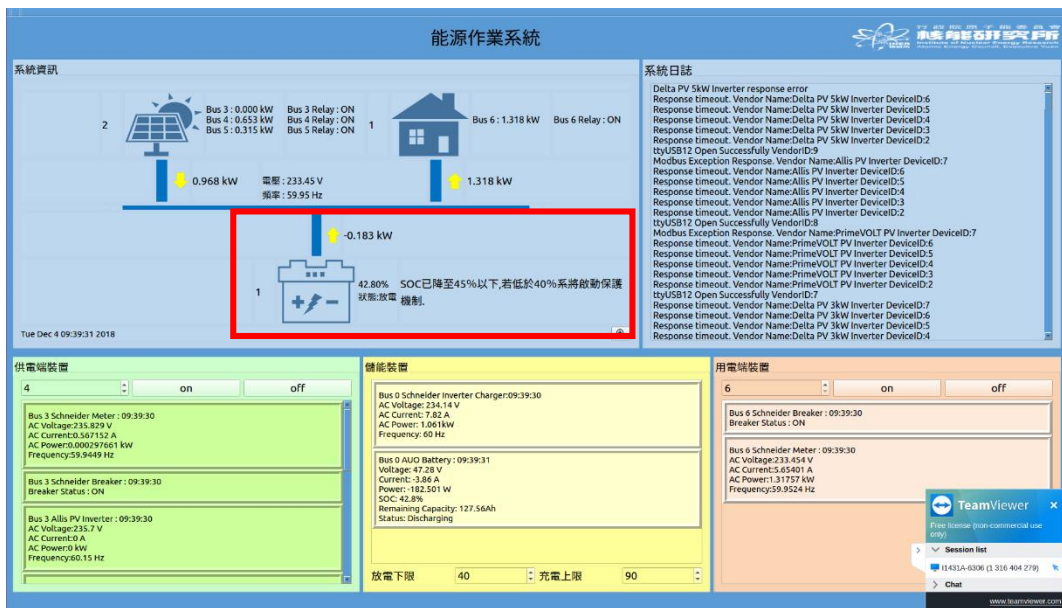


圖 2-3-9 模擬日照不足時 EOS 獨立運作

#### 5. 應用案例二(日照充足情境)

操作人員設定電子負載，使得電子負載數值小於目前太陽能供電數值，確認 EOS 獨立運轉進行測試時其系統電壓與頻率皆可符合允收準則。此時施耐德換流器為滿載輸出，EOS 的 Bus 0 應顯示充電狀態，如圖 2-3-10。



圖 2-3-10 模擬日照充足時 EOS 獨立運作

## (二) DDS 相關測試

本節測試提出一個基於 IEEE 2030.7 在微電網架構中控制系統核心功能測試之概念流程圖，設計一針對訊息傳遞延遲的測試架構圖，如圖 2-3-11 所示。

### 1. DDS 配合電表數值，切換繼電器開/關

本節 DDS 測試中，首先以 DDS 數據模型建立出自己的 IDL 檔案，接下來利用 RTI Connex DDS 的函數 `rtiddsgen` 將 IDL 檔轉換成 C/C++ 檔案，最後再將編譯出的程式碼進行我們需要發布/訂閱的動作。

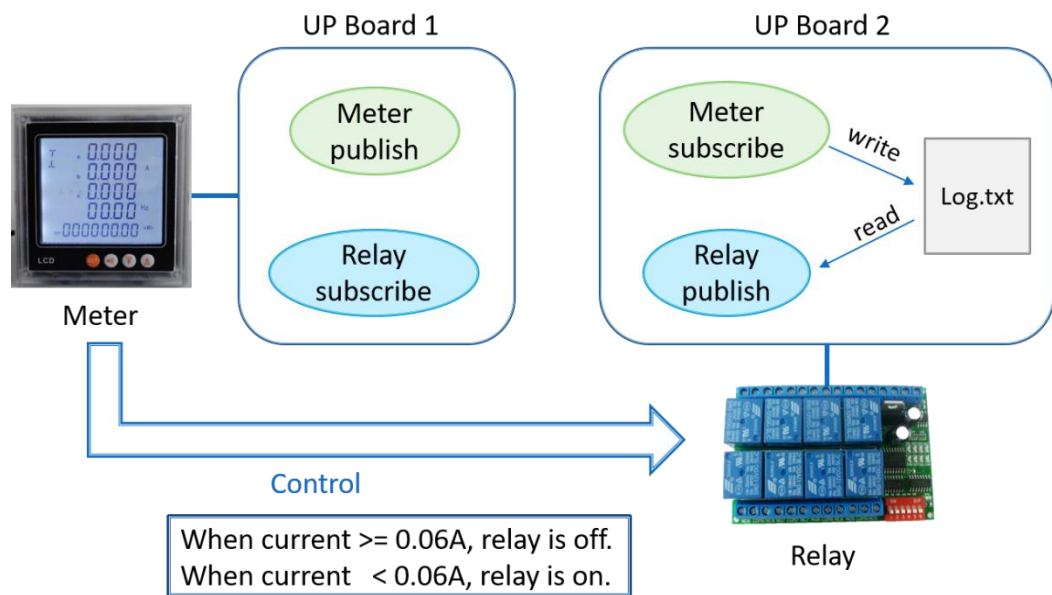


圖 2-3-11 DDS Demo 之框架

目前於成功大學實驗室中裝置以電表(Meter)、負載(電風扇)、繼電器(Relay)和兩台單板電腦(研揚產品 UP Board，系統以 Ubuntu 16.04 LTS)為主，Meter 量測負載後，量測數值(如：實功率、電壓、電流、頻率和功率因數)先經由 Modbus 協定傳輸至第一台 UP Board(單板電腦)，UP Board 讀取數值後，這些數值再經由預先自定義好的 DDS 數據模型，發布 Meter 資訊為一個主題(Topic)。同時訂閱 Meter 的第二台 UP Board 將訂閱到的電流資訊寫入 Log.txt 檔案，而 Relay 讀取 Log.txt，以 Meter 去控制 Relay 的切換，我們設定讀取的電流超過 0.06 安培時，Relay 會切換為關，反之電流低於 0.06 安培則會切換為開。發布 Relay 的開關資訊也會成為一個 Topic。可以同時發布訂閱多個主題，以達到用 DDS 傳輸協定做通訊，這部分已經實現完成。對於第貳章二、(一)小節針對 QoS 配置做說明，評估後以 Reliability、Deadline、History、Durability、及 Latency QoS 為主，並針對 DDS 中的延遲 Latency QoS 做相關測試。

由圖 2-3-12 架構進行測試，發現傳輸時間會將近 3 秒才會進行 Relay 的切換，因此我們使用圖 2-3-12 的測試架構圖測試，將 Meter 拿掉並以兩台 PC 做測試，以自定義值之電流數值取代，量測狀態之反應時間，如圖 2-3-12 中的 t1\_relay\_response 和 t2\_relay\_response，我們以 889 次來回傳輸去計算出在 PC 1 和 PC2 的反應時間，如圖 2-3-13 和圖 2-3-14，還有利用公式  $t_{dds\_transmission} = t1\_relay\_response - t2\_relay\_response$ ，算出 DDS 的傳輸時間，此架構測試後的傳輸時間為 0.105 秒，如圖 2-3-15 所示，因此我們認為 Modbus 傳輸時間的問題才造成 Relay 切換時間的延遲。

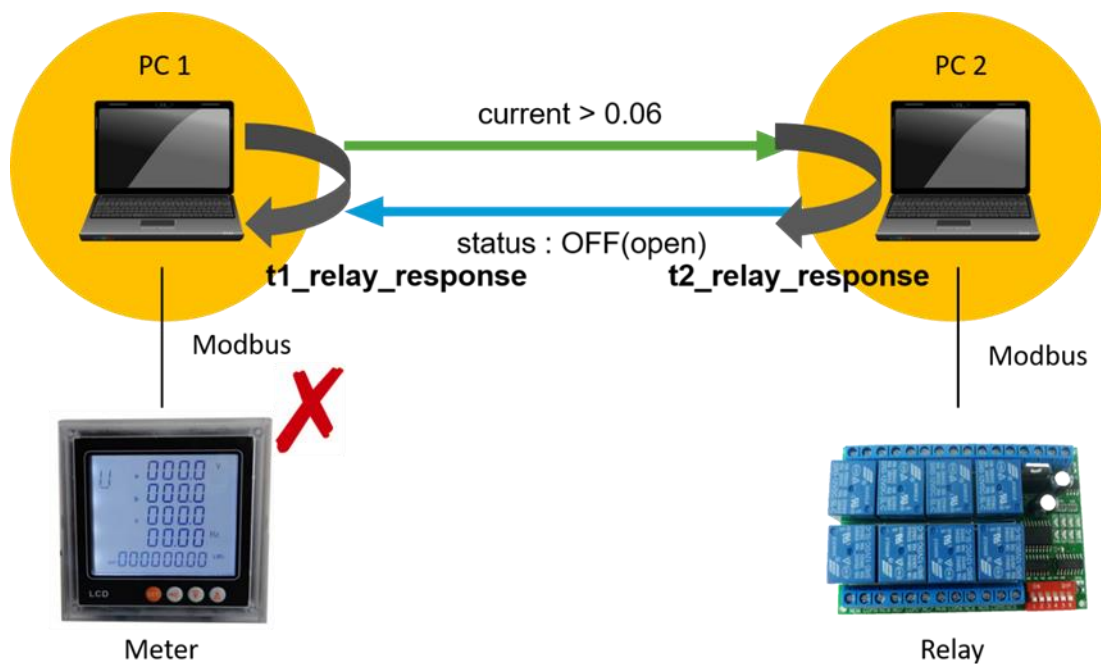


圖 2-3-12 來回時間測試架構圖



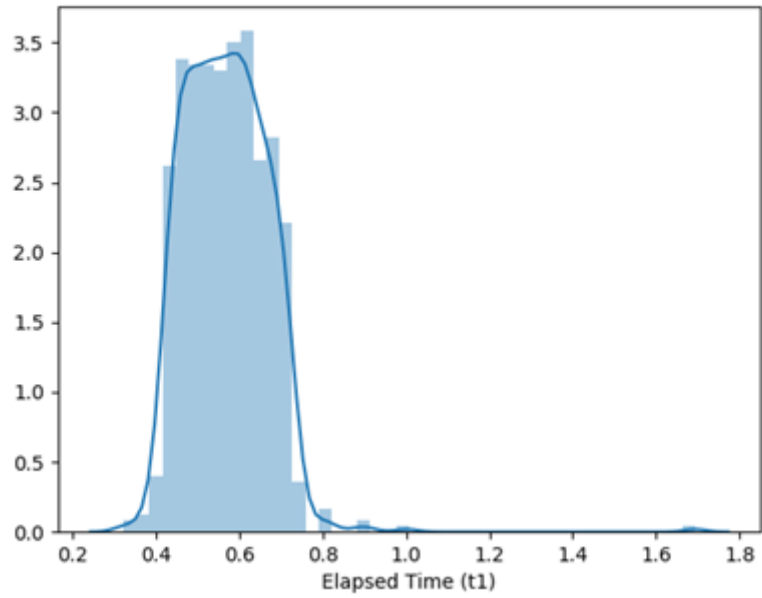


圖 2-3-13 t1 反應時間分布圖  
(t1\_relay\_response: 0.5683524159330818 sec)

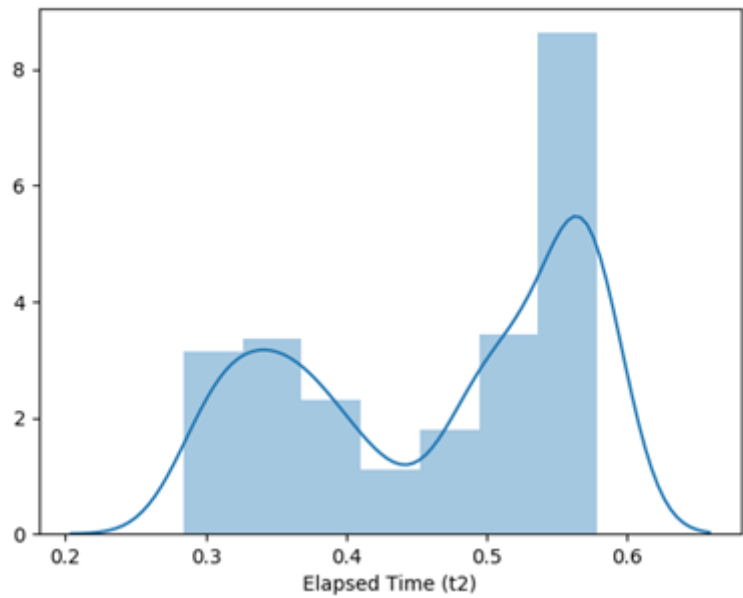


圖 2-3-14 t2 反應時間分布圖  
(t2\_relay\_response: 0.4638368870744753 sec)

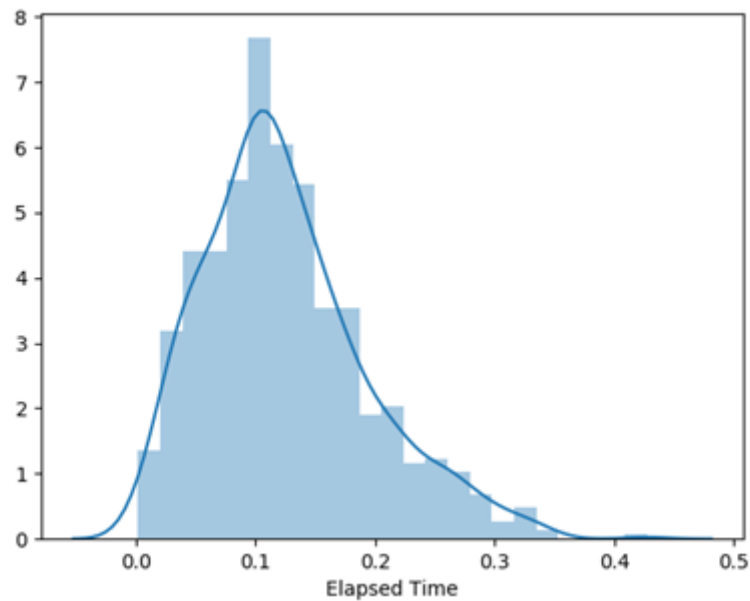


圖 2-3-15 DDS 傳輸時間分布圖

(t\_dds\_transmission: 0.12475684360044087 sec)

如上述所說，本計畫已經在兩台 UP Board 實現 DDS 傳輸。在上一小節中，會以 UP Board 在沙崙場域 EOS 中實現 DDS 傳輸，目前還在進行中。

除了上述之來回時間外，本小節亦使用校時功能測試訊息傳遞延遲，利用網路時間(Network Time Protocol, 以下簡稱 NTP)將兩台 UP Board 對應至同一時間準位，進行傳輸並量測訊息出發與抵達之時間點，由於兩台 UP Board 時間已對齊，將抵達時間與出發時間相減即為傳遞時間。

以下將前述實作的過程使用 Wireshark 進行觀察，Wireshark 介面分為三大部份，顯示封包清單、封包內容、及位元組窗格，如圖 2-3-16，使用 RTPS 過濾器，觀察封包內容主要分四種: HEARTBEAT、ACKNACK、INFO\_TS、及 DATA[28]。

- (1) HEARTBEAT：告知編寫器中有可用數據的子訊息（用於控制訊息的周期性）；
- (2) ACKNACK（肯定/否定確認）：由讀取器發送以確認接收數據或請求丟失數據；
- (3) INFO\_TS：一子訊息，包含有關已發送消息的時間戳的訊息；
- (4) DATA：包含我們想要傳輸的數據的子訊息。

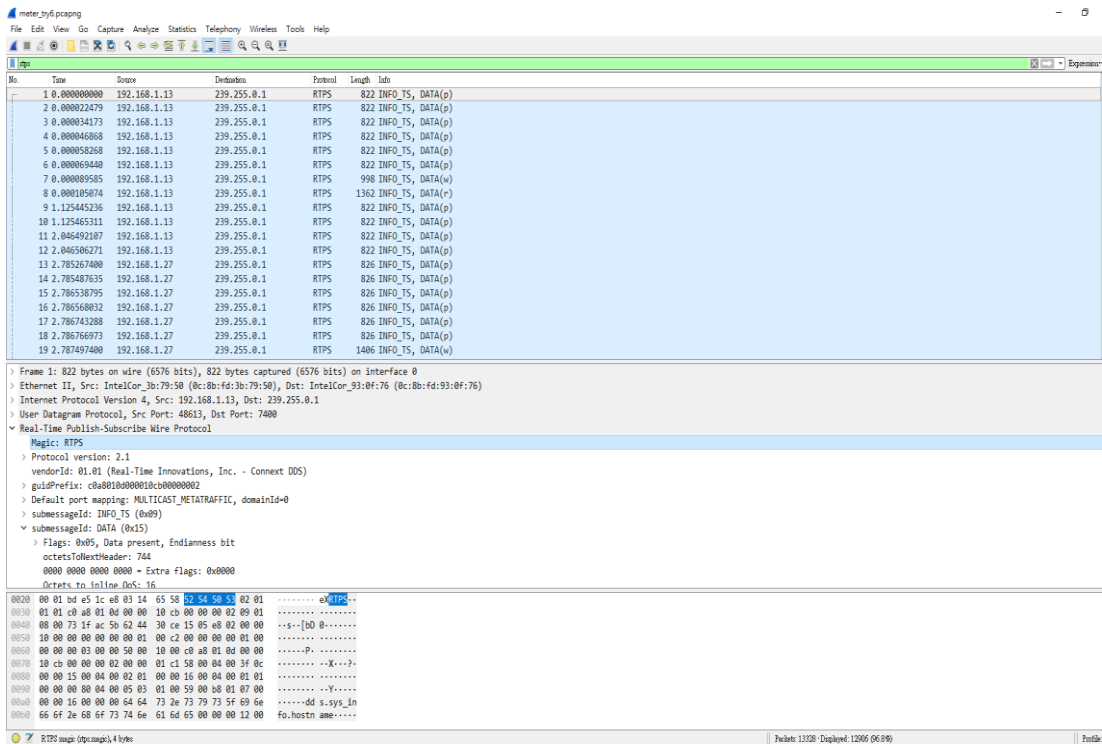


圖 2-3-16 Wireshark 監控介面

經上述測試，已完成 DDS 的資料傳輸功能、及訊息傳遞延遲等測試。其中，來回時間測試架構的訊息傳遞延遲之結果：最佳情況為 0.0018393993377685547 秒、最差情況為 0.4271965026855469 秒，平均為 0.125 秒以下。利用 Wireshark 觀察封包內容，可以看出 Relay

與 Meter 的狀態、傳送與到達的時間，進而進行 DDS 的資料傳輸測試。

## 2. DDS 結合 EOS 於沙崙場域測試

本節測試方案係基於沙崙場域單線圖，預計達成 EOS 與 DDS 結合之通訊測試。測試中使用上一節之兩台 UP Board 配合場域中裝置進行測試，其配置如圖 2-3-17，將太陽能面板、儲能系統及負載機之電表連接於 UP Board A；上述裝置之繼電器控制連接於 UP Board B。

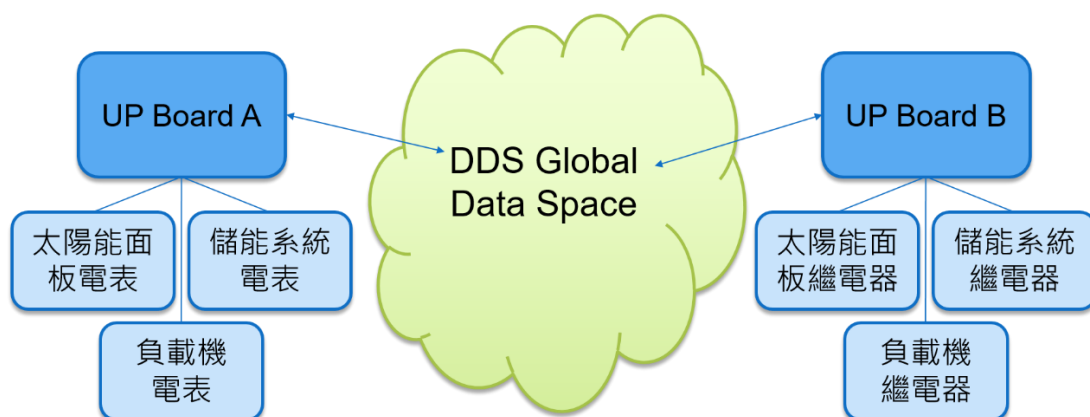


圖 2-3-17 DDS 結合沙崙場域裝置之測試配置架構圖

兩台 UP Board 如下運作：

- (1) UP Board A 中的 EOS 發布太陽能面板、儲能系統及負載機之各項資訊之主題，並訂閱繼電器資訊之主題。EOS 亦同時顯示前述之資訊。

(2) UP Board B 中的 EOS 訂閱太陽能面板、儲能系統及負載機之各項資訊之主題後，控制對應各裝置之繼電器。EOS 亦同時顯示前述之資訊。

為驗證上述功能運行，將使用 EOS 於沙崙場域之測試劇本，藉由改變負載，測試是否能成功切換電力來源；並使用 DDS 的資料傳輸方法測量其傳輸時間。

## 參、 主要發現與結論

為了實現不同供應商或廠家之再生能源設備之間的資訊共享，並建立具競爭優勢的通用型再生能源作業系統，本計畫報告首先確認核研所測試場域之整體架構，並進行能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究，其次針對不同之資通訊技術進行探討，最後則說明 EOS 程式的功能及操作測試與實作 DDS 測試之成果。

在本計畫中，主要發現與結論如下：

### (一) 能源服務程式之功能需求及資通訊標準研究

- IEEE 2030.7 旨在規範微電網控制器之基本功能需求，可提供建置微電網的控制系統或分散式能源管理系統之參考；
- IEEE 2030.8 則是規範前述基本功能之測試需求，提出了一套微電網控制系統的標準化測試程序；
- IEC 62898 系列標準除了提供微電網規劃及規範之指引外，亦涵蓋了微電網應用、資源分析、發電和負載預測、以及運轉與控制等內容，內容包含獨立型微電網、併網型微電網與其模式切換，涵蓋大部分應用層面的工作項目。

前述都沒有實際規範標準數值，訂定的內容較為相似，依循上述標準，可讓不同控制器與元件之間具有互操作性，使擴充更加彈性。

### (二) 能源服務程式之資通訊技術評估研究

- OpenFmb 架構中，使用 DDS、MQTT、AMQP 等發布/訂閱物聯網資通訊技術；為實現互操作性等功能，OpenFmb 架構中，使用 IEC61850 數據模型及共同資訊模型(CIM)；
- IEC61850 與 CIM 都定義了數據模型規範，兩者為不同層級之模型：IEC61850 模型之建立旨在達成裝置間相互溝通，而 CIM 則是提供 EMS、SCADA 等介面監控用之模型。在 RMQ.26 提及，作為傳輸下可使用 IEC 61850 的模型，CIM 可用來管理數據資料；
- IEEE 1547 描述實際數值的部分居多，設計分散式能源通訊介面與 DDS 實作中 QoS 設置可參考 IEEE 1547 和 RMQ.26.7 來套入 OpenFMB。

### (三) 能源服務程式之測試與驗證研究

- 本計畫依照核研所提供的 EOS 操作手冊進行校閱 EOS 軟體安裝步驟，已將建議修正內容回覆給核研所；
- 目前已在臺南沙崙測試場域進行核研所之 EOS 程式的功能及操作隨插即用、自動組態、電力平衡等測試，也將核研所提供的測試劇本進行 EOS 全黑啟動、模擬日照不足及日照充足的情境；
- 提出一個以沙崙場域為測試環境的 DDS 結合 EOS 之測試架構。

本計畫之執行結果，將可提供國內外關於能源服務程式之功能需求及資通訊標準的核心研究之參考，並包含其中各項標準的評估。並亦於臺南沙崙場域完成各項資通訊標準的傳輸功能、及傳輸延遲之效能實測。



## 肆、 参考文献

- [1] Terry Saxton, “OpenFMB - Role of CIM in Interconnecting DER devices in the IoT”, CIMug European 2017 Conference, June 14, 2017. (<http://cimug.ucaiug.org/Meetings/EU2017/Erlangen%20CIMug%20Presentations/CIM%20Users%20Group%20Day%201/Terry%20Saxton%20Ralph%20Mackiewicz%20-%20SGIP%20OpenFMB.pdf>)
- [2] Stuart Laval (Director, Emerging Technologies, Duke Energy), Stuart McCafferty (Vice president, EnergyIOT, Hitachi Americas Ltd), “Open Field Message Bus (OpenFMB)”, SEPA Grid Evolution Summit, July 25 – 27, 2017 (<http://2017-grid-evolution-summit-pdfs.s3.amazonaws.com/TECHNICAL-PROGRAM-PDFS/OpenFMB%20Grid%20Evolution%20Summit.pdf>)
- [3] North Energy Standards Board (NAESB), Open Field Message Bus (OpenFMB) Model Business Practices, RMQ.26, Nov 13, 2015.
- [4] *IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers*, IEEE 2030.7, Dec. 6, 2017.

- [5] *IEEE Standard for the Testing of Microgrid Controllers*, IEEE 2030.8, 2018.
- [6] Object Management Group, *Data Distribution Service (DDS) Version 1.4*, April 2015, 90-113.
- [7] DDS Tutorial, Quality of Service (<http://download.prismtech.com/docs/Vortex/html/ospl/DDSTutorial/qos.html>)
- [8] Real-Time Innovations, Inc. COMPANY CONFIDENTIAL, DDS Quality of Service, Feb 2018.
- [9] RTI, RTI Shapes Demo User's Manual Version 5.3.1, U.S.A., February 2018.
- [10] RTI, RTI Connex DDS Core Libraries User's Manual Version 5.3.0, U.S.A., June 2017.
- [11] Gerardo Pardo, Ph.D., CTO, RTI & Ruffin White, UC San Diego, DDS Security concepts for SROS, 2018.
- [12] Gerardo Pardo-Castellote, Ph.D., OMG Data-Distribution Service: architectural overview, Real-Time Innovations, Inc. 2003 IEEE.
- [13] Dr. Douglas C. Schmidt, An Overview of the OMG Data Distribution Service (DDS), Vanderbilt University. (<https://slideplayer.com/slide/4703004/>)

- [14] Pinchen Cui, Comparison of IoT Application Layer Protocols, Auburn, Alabama, April 2017.
- [15] OASIS, MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01, December 2015 (<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>)
- [16] Microsoft Corporation, Introduction to AMQP 1.0 , October 2015 (<https://onedrive.live.com/view.aspx?resid=123CCD2A7AB10107!732068&ithint=file%2cpptx&lor=shortUrl&app=PowerPoint>)
- [17] OASIS, Advanced Message Queuing Protocol(AMQP) Version 1.0, October 2012. (<http://docs.oasis-open.org/amqp/core/v1.0/amqp-core-complete-v1.0.pdf>)
- [18] Technical Report, "Modbus and DNP3 Communication Protocols" Triangle Microworks, Inc, [Online] available at ([www.TriangleMicroWorks.com](http://www.TriangleMicroWorks.com))
- [19] 陳韶羽，整合 DNP3 與 Modbus 協定實現電力系統監控，碩士論文，台北科技大學自動化科技研究所，2015。
- [20] 王昱峰，開發使用共享記憶體之 DNP3/Modbus 閘道器，碩士論文，台北科技大學自動化科技研究所，2017。
- [21] 王子昂，設計與實現 Modbus 與 DNP 3.0 協定之優化架構於 CAN 匯流排，碩士論文，中山大學電機工程學系研究所，

2013 .

- [22] Sampo Turunen. “Protection of Microgrids and Distributed Energy Resources based on IEC 61850”, Master of Science thesis, Tampere University of Technology, Feb. 3, 2016.
- [23] Naumann, A., Bielchev, I., Voropal, N., Stycznski, Z. Smart Grid Automation Using IEC 61850 and CIM Standards. Control Eng. Pract. Jan. 22, 2014.
- [24] IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces, IEEE Std 1547, Feb. 15, 2018.
- [25] Mark Siira, "IEEE 1547-2018 Standard", Solar Energy Industries Assotiation(SEIA), Codes & Standards Symposium, San Diego, California, March 28, 2018.
- [26] *Microgrids - Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification*, IEC/TS 62898-1, May 18, 2017.
- [27] *Microgrids - Guidelines for Microgrid Operation (and Control)*, IEC/TS 62898-2, May 26, 2017.
- [28] Jesús Rodríguez-Molina, OrcID, Belén Martínez, Sonia Bilbao and Tamara Martín-Wanton, “Maritime Data Transfer Protocol (MDTP): A Proposal for a Data Transmission Protocol in

Resource-Constrained Underwater Environments Involving Cyber-Physical Systems”, *Sensors*, 17(6), 1330, 2017.

- [29] IEC Smart Grid Standardization Roadmap, IEC SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), June 2010.

## 附錄 A – 數據分散式服務(DDS)

### ● A.1 DDS 介紹

數據分散式服務(Data Distribution Service, DDS) 為對像管理組織(Object Management Group, OMG)制定的通訊協定。DDS 通訊為機器對機器(Machine to Machine, M2M)傳輸，及用於實時(Real-time)系統與發布-訂閱(Publish-Subscribe)的通訊架構，也常實現可擴充、實時、可靠、高性能及可互操作的裝置。

然而，DDS 是一中介層(Middleware Layer)，在分散式系統中，中介層存在於系統和應用程式之間的軟體層，使得系統的各個裝置與設備更容易進行通訊和共享數據，而 DDS 基於發布和訂閱的通訊與簡單及分散式體系架構相結合。

### ● A.2 訊息模型(Message Model)

DDS 規範描述了兩個層級的介面[A9、A10]，如圖 A-1 所示。

(a) DCPS：以數據為中心的發布-訂閱(Data-Centric Publish-Subscribe)，旨在提供傳遞訊息之功能；

(b) DLRL:數據本地重建層(Data Local Reconstruction Layer)，是 DCPS 之上的可選層(optional layer)，旨在處理與應用程式的整合。

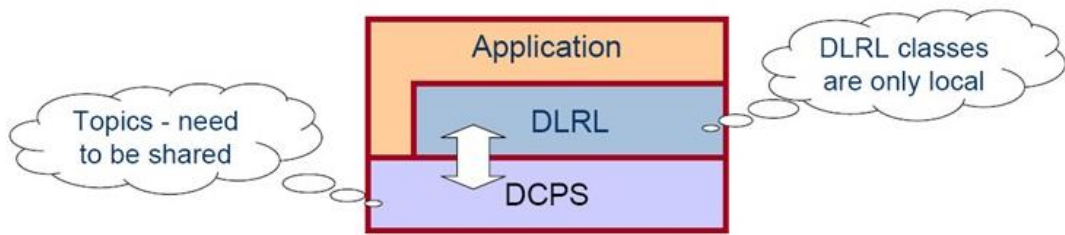


圖 A-1 DDS 之應用架構層[13]

因為 DDS 主要核心是以數據為中心的發布訂閱為標準，所以我們只對 DCPS 模型做介紹，以下將各以基礎結構模塊 (Infrastructure Module)、主題定義模塊 (Topic-Definition Module)、發布模塊 (Publication Module)、訂閱模塊 (Subscription Module)、及域模塊 (Domain Module) 做說明 [12]，如圖 A-2 所示。

- (a) 基礎結構模塊 (Infrastructure Module)：包含 DCPSEntity、QoSPolicy、Listener、Condition 和 WaitSet 類別 (class)；
- (b) 主題定義模塊 (Topic-Definition Module)：包含 Topic 和 TopicListener 類別，以及應用程式定義數據類型、創建主題及將 QoS 策略附加到它們所需的內容；
- (c) 發布模塊 (Publication Module)：包含 Publisher (發布者)、DataWriter (數據寫入器) 和 PublisherListener 類別；
- (d) 訂閱模塊 (Subscription Module)：包含 Subscriber (訂閱者)、DataReader (數據讀取器) 和 SubscriberListener 類別；
- (e) 域模塊 (Domain Module)：包含 DomainParticipantFactory，以及 DomainParticipant (域參與者) 類別。

此外，DDS 將通訊網路之空間定義為域(domain)，每個域包含發布者/訂閱者的容器(container)稱為域參與者。Publisher 用於數據發布，可以發布不同類型的數據，而附加在 Publisher 的每個 DataWriter 皆綁定一種類型的數據。Subscriber 用於接收不同類型的數據，並使其可用於接收應用程式，而附加在 Subscriber 的每個 DataReader 皆綁定一種類型的數據。因此，發布/訂閱的內容由 Publisher/Subscriber 提供，並由 DataWriter/DataReader 描述。DataWriter / DataReader 與主題相關，每個主題也與主題名稱、數據類型和 QoS 策略相關[14]。然而，DDS 提供 21 種不同的 QoS 策略來因應環境的需求，詳細介紹參考第貳章二、(一)小節。

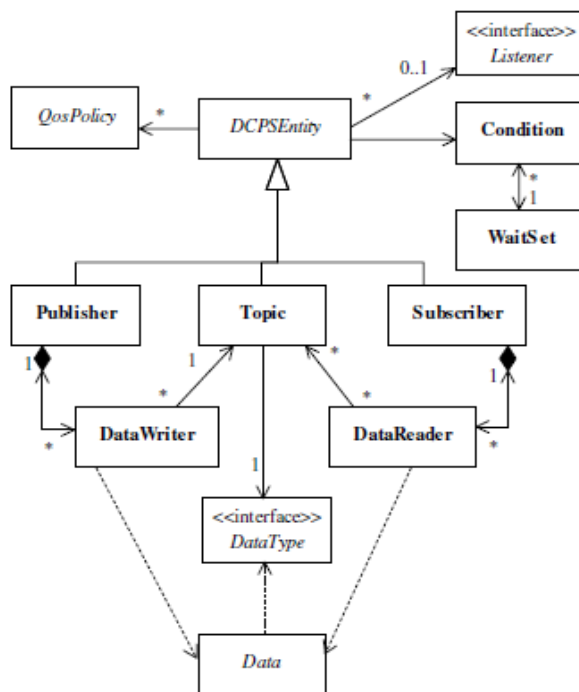


圖 A -2 DCPS 模型[12]



### ● A.3 訊息格式(Message Format)[14]

DDS 沒有定義自己的有線協定，而是使用實時發布訂閱(RTPS)協定作為其有線協定。RTPS 協定旨在運行多播(multicast)和無連接(connectionless)之傳輸，如 UDP/IP。此外，RTPS 也可以在特定情境實現中運行 TCP/IP。

RTPS 訊息是由一標頭(Header)及一可變量的子訊息(Submessages)組成，如表 A-1 所示。

表 A - 1 RTPS 之訊息格式[14]

Byte	0	1	2	3
Byte 0	Header			
Byte 16	SubMessage			
... ..	... ..			
Byte n	SubMessage (if any)			

#### ● A.3.1 標頭格式(Header Format)[14]

RTPS 訊息之 Header 長度為 16 個字節(Bytes)，分四個主要部分，如表 A-2 所示。首先是長度為 4 Bytes 的協定字段，該值需設置為“RTPS”；第二個字段是 Version，長度為 2 Bytes，用於表示 RTPS 的版本；第三個字段是 Vendor ID，長度為 2 Bytes。每個 RTPS 皆須從 OMG 得到 Vendor ID 才能實現；最後一個字段是 GuidPrefix，長度為 8 Bytes；每個實體(Publisher/Subscriber/DataWriter/DataReader)

都有屬於自己的全局唯一標識符(Globally Unique Identifier, GUID)，此字段包含此 Guid，以指示來源及目標。

表 A - 2 RTPS 之訊息標頭格式[14]

Byte	0	1	2	3
Byte 0	R	T	P	S
Byte 4	Version		Vendor ID	
Byte 8	GuidPrefix			
Byte 12				

● **A.3.2 子訊息格式(Header Format)[14]**

子訊息包含兩個主要部分：子訊息標頭(Submessage header)和有效負載(Payload)，如表 A-3 所示。子訊息標頭包括三個字段，第一個 Submessage ID 字段用於指示子訊息的類型；第二個 flags 字段可由不同類型的子訊息使用以提供一些功能；最後一個 octecsToNextHeader 字段指示有效負載的長度。

表 A - 3 RTPS 之子訊息格式[14]

Byte	0	1	2	3
Byte 0	Submessage ID	flags	octecsToNextHeader	
Byte 4	SubMessage Payload			

## 附錄 B – 訊息序列遙測傳輸(MQTT)

### ● B.1 MQTT 介紹

訊息序列遙測傳輸(Message Queuing Telemetry Transport, MQTT) 為 IBM 和 Eurotech 共同製定的通訊協定。MQTT 是為物聯網所設計的 M2M 通訊協定，網路頻寬與硬體需求非常少，是極為輕便的通訊協定。2014 年十月，MQTT 正式變成一個開放的 OASIS 國際標準 (Organization Advancement Structured Information Standards，資訊標準架構促進會，一個制定電子商務、網路服務和電子出版的非營利機構)。MQTT 通訊協定是基於 TCP/IP 連線，提供不同 QoS 層級的訊息傳遞，適用於網路連線不佳的環境、CPU 較弱的嵌入式裝置。

### ● B.2 訊息傳遞原理

MQTT 通訊為一對多的 M2M 傳輸，使用發布(Publish)/訂閱(Subscribe)的訊息傳送機制，此機制中包含 4 個主要的元素，發布者(Publisher)、訂閱者(Subscriber)、主題(Topic)、代理者(Broker)，如圖 B-1 所示。發布者為訊息的來源，傳送帶有 Topic 資訊的訊息至 Broker，訂閱者向 Broker 註冊想要接受到之訊息的 Topic。Broker 可儲存發布者的訊息，在發布者中斷連線的情況下，提供訂閱者最近更新的訊息。發布者和訂閱者都是用戶端(Client)，Broker 為伺服

器(Server)，由於兩個用戶端之間有伺服器當作中繼站，因此兩邊並不需要知道彼此的 IP 位址。

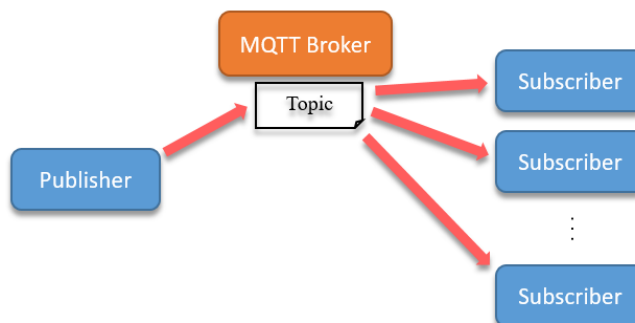


圖 B - 1 MQTT 訊息傳送機制

### ● B.3 訊息類型(Message Type)

MQTT 通訊協定會依照訊息類型完成相對應的工作，訊息類型為 4 bit 數字，意即 0~15 共 16 位數，各數字代表之功能如表 B-1 [15]。

表 B - 1 訊息類型功能對照表

名稱	代表值	說明
Reserved	0	保留之後使用
CONNECT	1	發出連線請求
CONNACK	2	連線請求的ACK (確認符)
PUBLISH	3	發佈訊息
PUBACK	4	發佈訊息ACK(QoS 1)
PUBREC	5	已收到發佈訊息(QoS 2)
PUBREL	6	釋放發布訊息(QoS 2)
PUBCOMP	7	訊息發佈完成(QoS 2)
SUBSCRIBE	8	發出訂閱請求
SUBACK	9	請求訂閱的ACK
UNSUBSCRIBE	10	發出取消訂閱請求
UNSUBACK	11	請求取消訂閱的ACK
PINGREQ	12	Ping請求
PINGRESP	13	Ping回應
DISCONNECT	14	請求斷線
Reserved	15	保留之後使用

## ● B.4 訊息格式(Message Format)[15]

MQTT 的訊息格式包括：控制標頭(Control Header)、剩餘長度(Remaining Length)、可變標頭(Variable Header)、負載(Payload)，其中 Control Header 和 Remaining Length 組成固定標頭(Fixed Header)，為傳輸訊息時必要出現的，如圖 B-2 所示。可變標頭為參數設置的部分，會根據不同類型的訊息有所不同，設置有些訊息並沒有可變標頭。負載為訊息主要的內容，可以負載字串訊息、圖片、影片等類型的檔案。

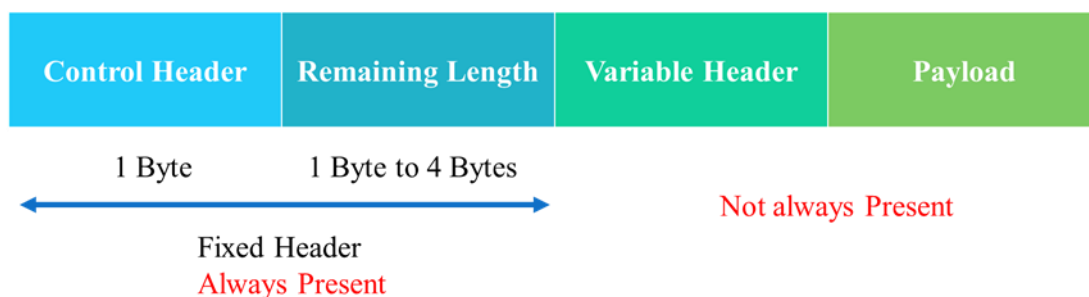


圖 B - 2 MQTT 訊息格式

控制標頭固定為 1byte，如表 B-2 所示，第 0 個 bit 為 Retain 旗標，只在 PUBLISH 的訊息類型中使用，表示是否保留；第 1 與第 2 個 bit 為 QoS 級別設定，因為 QoS 有三種故需要 2bits 儲存，只在 PUBLISH、PUBREL、SUBSCRIBE、UNSUBSCRIBE 使用；第 3 個 bit 為 DUP 旗標，用以標記此訊息是否為重複；第 4 至 7bit 為訊息類型，因為訊息類型有 14 種故需要 4 個 bits 儲存，如表 B-2 所示。

剩餘長度用以記錄當前訊息的總長度，為可變長度至多可達 4

個 bytes，最多資料容量可達 256MB。

表 B - 2 固定標頭內容

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	Message Type				DUP	QOS		Retain
byte 2	Remaining Length							

不同的訊息類型會有對應的可變標頭或甚至沒有，舉例訊息類型為 CONNECT 時，可變標頭會有主要四個字串：協定名稱(Protocol Name)、協定級別(Protocol Level)、連接旗標(Connect Flags)、保持連接(Keep Alive)，如表 B-3 所示。協定名稱在此舉例為 MQTT，版本號碼為 4。保持連線指的是當 Broker 多久沒手收到 Client 發送的訊息下，要判斷此連線已經斷線，透過此設定可以讓 Broker 不需要等待時間較長的 TCP/IP 逾時來得知此連線狀態。

Connects Flags 又包含：使用者名稱旗標(User Name Flag)、密碼旗標>Password Flag)、是否保留(Retain)、是否 QoS(Will QoS)、是否旗標(Will Flag)、清除設定(Clean Session)。

Clean Session 若為 0 時，當 Client 斷線，Broker 必須將此 Client 訂閱的主題紀錄，並在 Client 斷線期間若有 QoS1 或 2 的訊息被發布，Broker 必須將訊息儲存下來，等待 Client 恢復連線後再一一傳送：若 Clean Session 為 1，當 Client 斷線後，Broker 將會把此 Client

的所有設定清除。

Will Flag、Will Qos、Will Retain 為最後遺囑機制所使用，當 Client 建立時，會將遺囑的 Topic、QoS 設置，當 Client 在不正常的情形下斷線，Broker 將會針對此主題發送一訊息，啟動此機制的方方法為將 Will Flag 設置為 1，最後可以透過 Will Retain 設定此則遺囑是否要保留在 Broker 上。

使用者名稱旗標和密碼旗標說明此連線是否包含帳號與密碼，若開啟此設定，需要在負載裡傳遞帳號與密碼。

表 B - 3 CONNECT 訊息的可變標頭內容

	Description	7bit	6bit	5bit	4bit	3bit	2bit	1bit	0bit
<b>Protocol Name</b>									
byte1	Length MSB(0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte2	Length LSB(4)	0	0	0	0	0	1	0	0
byte3	'M'	0	1	0	0	1	1	0	1
byte4	'Q'	0	1	0	1	0	0	0	1
byte5	'T'	0	1	0	1	0	1	0	0
byte6	'T'	0	1	0	1	0	1	0	0
<b>Protocol Level</b>									
byte7	Level(4)	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Connect Flags</b>									
byte8	User Name Flag(1) Password Flag(1) Will Retain(0) Will Flag(1)	1	1	0	0	1	1	1	0

	Clean Session(1)									
	Reserved(0)									
<b>Keep Alive</b>										
<b>byte9</b>	Keep Alive	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MSB(0)									
<b>byte10</b>	Keep Alive	0	0	0	0	1	0	1	0	
	LSB(10)									

### ● B.5 主題(Topic)名稱

MQTT 的主題名稱為 UTF-8(萬國碼)編碼的字串，可自行決定主題名稱，也支援類似檔案路徑的階層式命名方式，舉例來說，要命名住家裡某房間的紅外線感測器，其主題名稱可命名為：住家/臥室/紅外線感測器。主題層級分隔符號使用斜線符號“/”切割每個層級。MQTT 主題還有一個特色為萬用字元，可以使用特殊字元一次訂閱多個主題，這些字元稱為萬用字元，多層級萬用字元“#”、單一層級萬用字元“+”，使用功能差別如圖 B-3 所示。

- 住家/一樓/#
  - ✔ 住家/一樓/房間/電燈
  - ✔ 住家/一樓/房間/冷氣
  - ✔ 住家/一樓/廚房/冰箱
  - ✘ 住家/二樓/房間/電燈
  
- 住家/一樓+/電燈
  - ✔ 住家/一樓/房間/電燈
  - ✔ 住家/一樓/廚房/電燈
  - ✘ 住家/一樓/房間/冷氣
  - ✘ 住家/二樓/房間/電燈
  - ✘ 住家/一樓/房間/廁所/電燈

圖 B - 3 萬用字元功能說明



## 附錄 C – 高階訊號序列標準(AMQP)

### ● C.1 AMQP 介紹

高階訊號序列標準(Advanced Message Queuing Protocol, AMQP)是應用層協定的一個開放標準，為訊息導向的中介層通訊協定，用戶端應用程式和代理程式之間的通訊。傳統的一旦選取特定的廠商訊息代理程式，就必須使用該廠商的程式庫來連接用戶端應用程式與該代理程式，若要將應用程式移植到其他產品，將需要變更所有已連接應用程式的程式碼。此外，不同廠商要互相連接也不容易，需要應用程式層級的橋接功能，才能在不同系統間移動訊息，轉換成各自系統專屬的訊息格式，諸如此類。為了解決以上問題，建立了一個開放式標準訊息通訊協定，讓使用不同語言、架構及作業系統所建置的元件，能夠建置強大的跨平台訊息應用程式。在兩個用戶端定義安全、可靠且有效率的訊息傳輸機制。AMQP 1.0 由 ISO 與 IEC 核定為 ISO/IEC 19464:2014 的國際標準。在 2011 年 10 月，開發工作移轉到 OASIS 內的一個技術委員會，並在 2012 年 10 月發佈 OASIS AMQP 1.0 標準。

### ● C.2 型態系統(Type System)

AMQP 定義一種可自行描述的編碼方案，允許各種常用的型態

形成可互用性的表示法。它還允許使用附加註解來解釋型態資料，例如可以對特定字串進行註解，以便將其理解為 URL。同樣地，如果是一組數值包含「名稱」、「地址」等，需要傳送或映射至其他系統，可以將其註解為「客戶」類型表示。型態系統用於定義訊息格式，允許標準和擴展元數據(Meta-data)能表示和被處理實體所理解。

### ● C.3 AMQP 傳輸

AMQP 傳輸連接分為三個步驟：Connection、Session、Link，如圖 C-1。Connection 為網路方面的傳輸(通常為 TCP)，牽涉到 TLS 和 SASL 安全性，提供可靠的通訊連接；Session 為窗口式的控制流模型，屬於平台資源的管理；Link 則為應用程式層級的訊息流管理。

[16]

AMQP 將通訊程式稱為容器(Container)，其中包含端點(Endpoint)，也就是這些容器內的通訊實體。AMQP 允許多工處理，所以單一 Connection 可以有許多通訊路徑；例如，應用程式用戶端可以同時從一個佇列接收，並透過相同的網路連線傳送到另一個佇列。

建立傳輸 Connection 之後，容器會各自宣告它們願意處理的幀(Frame)大小上限，也會宣告支援的並行通道數量，通道是以

Connection 為基礎的單向輸出虛擬傳輸路徑。

接著 Session 再從相連的 Connection 取得通道，以形成雙向通訊路徑。Session 具有以窗口為基礎的流量控制模型，建立 Session 時，會宣告它願意在窗口內接受的幀數目。當各方交換時，幀會填入該窗口，當窗口佔滿時傳輸將停止，直到窗口接收到重設或擴展的指令。

AMQP 透過 Link 傳輸訊息，Link 為在 Session 中建立單一方向傳輸訊息的通訊路徑。任一容器可以在現有的 Session 中隨時建立 Link，這使 AMQP 不同於其他許多通訊協定（如 HTTP 和 MQTT），其起始傳輸和傳輸路徑為開啟通訊端連接方獨有特權。起始容器便詢問另一端是否接受 Link 連接並選擇為接收者或發送者，因此任一容器可以開啟單向或雙向的通訊路徑，Link 便命名並和端點產生關聯。最後建立好 Link 連結，即可透過此連結傳輸訊息。

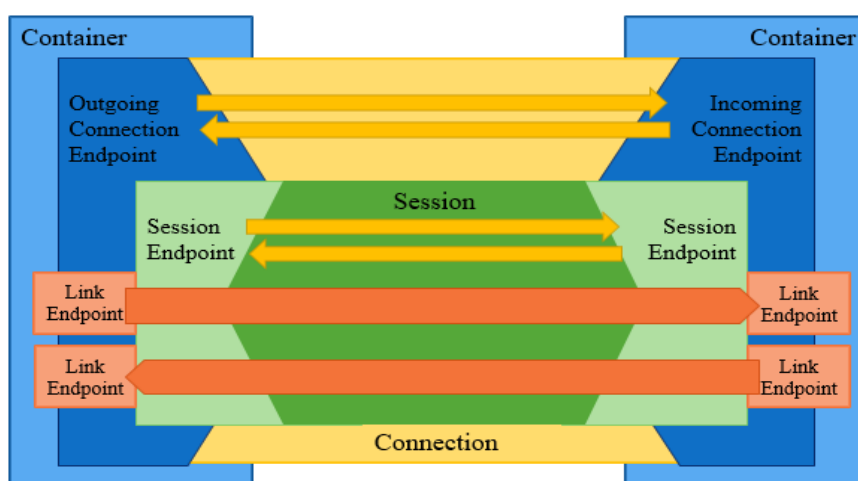


圖 C - 1 AMQP 傳輸連接示意圖

## ● C.4 AMQP 幀(Frame)

AMQP 幀分為三個部分：固定長度的幀標頭(Frame header)、可變長度的延伸標頭(Extended header)和可變長度的幀主體(Frame body)，如圖 C-2 所示。[17]

- (a) 幀標頭：長度固定為 8byte 且放在開頭的一個幀，包含描述整體幀大小的 Size、延伸標頭長度的 Offset、選擇 AMQP 或是 SASL 幀的 Type 和設定通道的 Channel 四個部分。
- (b) 延伸標頭：為可變長度置於幀主體前的幀，提供未來需要擴增功能所用。
- (c) 幀主體：幀主體為一連串可變長度的位元組，格式由幀標頭裡的 Type 選擇而有所不同，圖 C-2 為 Type 0 時所含之內容。  
幀主體又分為兩部分：實現行為(Performative)、負載(Payload)，如圖 C-2 右半部分。實現行為用以描述 AMQP 運作，總共有九個行為：

- (a) Open：開啟 connection；
- (b) Begin：開始通道裡的 session；
- (c) Attach：附屬 link 到 session 上；
- (d) Flow：更新 link 狀態；
- (e) Transfer：轉移一個訊息；
- (f) Disposition：更新轉移狀態；

- (g) Detach：從 session 分離 link 端點；
- (h) End：結束 session；
- (i) Close：connection 關閉。

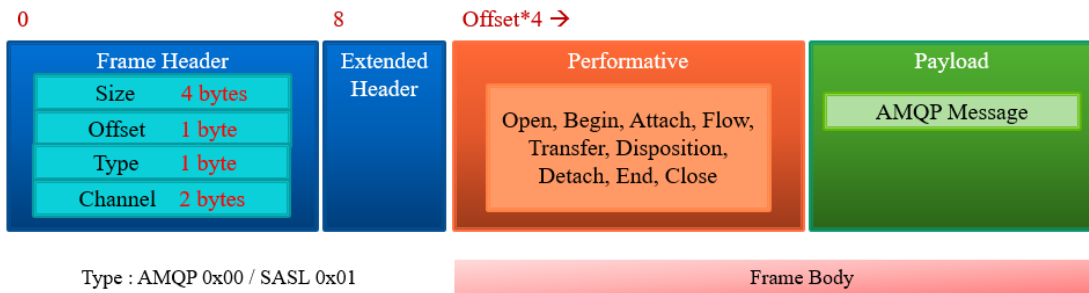


圖 C - 2 AMQP 幀

負載裝著 AMQP 的訊息，訊息格式內容如圖 C-3 所示，包含標頭 (Header)、傳送註解 (Delivery-annotation)、訊息註解 (Message-annotation)、屬性 (Properties)、應用屬性 (Application-properties)、訊息主體 (Message body)、Footer。屬性、應用屬性和訊息主體三個部分又稱為 Bare Message，為傳送者發送出的不可變訊息，接收者將會看到所有訊息包含標頭、傳送註解、訊息註解和 Footer。

AMQP 訊息格式內容如下：

- (a) 標頭：包含耐久 (durable)、優先 (priority)、存活時間 (time to live in milliseconds)、首要取得者 (first-acquirer)、傳送次數 (delivery-count)。

- (b) 傳送註解：用以描述非標準標頭屬性的訊息，傳送註解為從發送端發送資訊給接收端，如果接收者不了解此註解，將無法起到作用。
- (c) 訊息註解：用以描述非標準標頭屬性的訊息，主要目的為用在基礎建設上，在每個傳送步驟裡都要能被傳播，訊息註解為發送有關訊息的資訊。
- (d) 屬性：不可變的訊息屬性，內容包含 message-id、usr-id、to、subject、reply-to、correlation-id、content-type、content-encoding、absolute-expiry-time、creation-time、group-id、group-sequence、reply-to-group-id 標準訊息屬性。
- (e) 應用屬性：相同於 MQ 訊息屬性，用以建構應用資料，中介者可以使用此建構的資料做過濾或傳送之目的。
- (f) 訊息主體：訊息主題即為訊息傳送的負載，乘載著傳送的內容，可為二進制的資料、單一數值(包含 null)或一系列編碼數值。
- (g) Footer：有關訊息或傳送的細節，只能在所有 bare message 建構好或看見才能被計算或評估，例如：message hashes、HMACs。

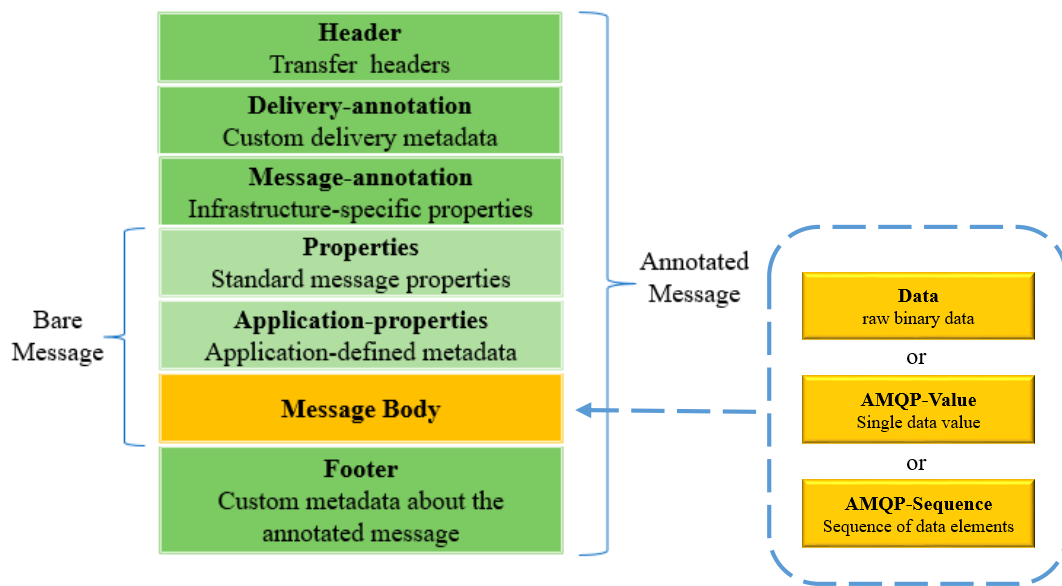


圖 C - 3 AMQP 訊息格式內容

## 附錄 D – 分散式網路協定(DNP3)

### ● D.1 DNP3 介紹

分散式網路協定(Distributed Network Protocol, DNP3)由美國 Westronic(今 GE Harris)於 1993 年開發，是現今電力設施數據採集監控系統(Supervisory Control and Data Acquisition systems, SCADA)的主要通訊協定，也應用於石油、天然氣、水、廢水等工業領域。DNP3 主要是為各種類型的數據採集和控制設備之間的通訊而開發，如：SCADA 主站(又稱控制中心)、遠程終端單元(Remote Terminal Units, RTUs)和智慧電子設備(Intelligent Electronic Devices, IED)。

DNP3 是開放式系統互連通訊參考模型(Open System Interconnection Reference Model, OSI)的簡化模型，如圖 D-1 所示，僅只有三層：應用層、資料連接層和實體層，稱之為增強性能架構(Enhanced Performance Architecture model, EPA)。DNP3 同時也屬於主從式架構(Client - Server model)，在 DNP3 中用戶端稱為 Master，能夠傳送請求訊息，伺服器稱為 Outstation，支援主動提供的回應，不必等到 Master 要求在事件發生時能直接從 Outstation 傳送數據到 Master。



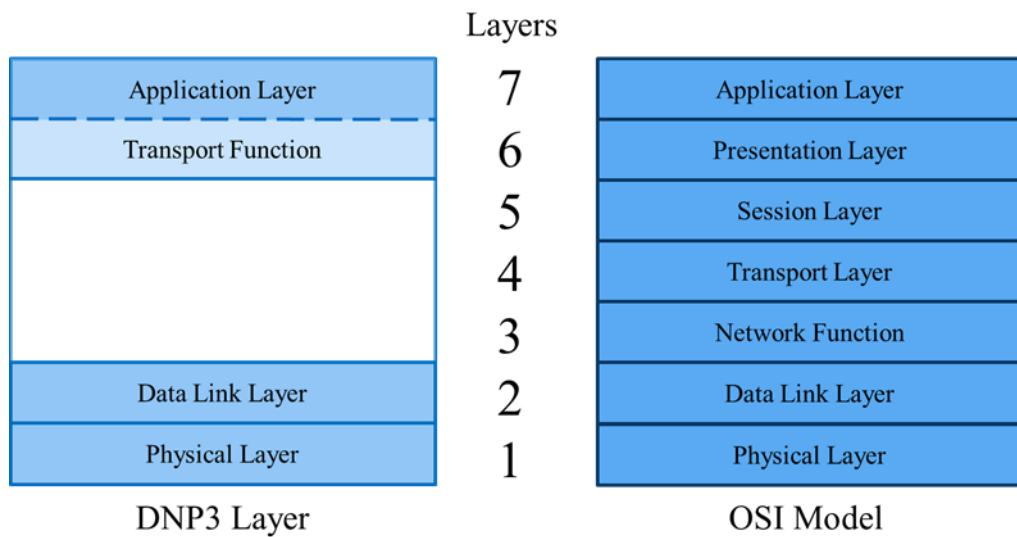


圖 D - 1 DNP3 模型和 OSI 模型比較

DNP3 支援多種資料型態，封裝成單一封包的形式提升效率，同時也有資料品質和時間戳記的資訊；支援事件改變，當只有數值更動時才會被回報，稱為 Report by Exception(RBE)，可以縮減整體的通訊量。另外，DNP3 還支援 DNP3 Outstation 主動提供的回應 (Unsolicited Response)，不必等到 DNP3 Master 的要求，當事件發生時可立即將資訊從 DNP3 Outstation 傳送至 DNP3 Master。

## ● D.2 應用層(Application Layer)

應用層是 DNP3 增強性能架構的最上層，為使用者或程式與網路溝通的操作介面，應用層片段格式如圖 D-2 所示，分別定義應用層資訊，包含三個部分：

- (a) 應用層標頭(Application Header)：定義訊息目的。
- (b) 物件標頭(Object Header)：定義資料的型態與形式。

(c) DNP3 物件(DNP3 Object)：資料本體



圖 D - 2 應用層片段格式

● **D.3 應用層標頭**

應用層標頭分為要求標頭(Request Header)和響應標頭(Respond Header)兩種，要求標頭用於定義 Master 對 Outstation 所要求的動作或回應訊息；響應標頭用來表示 Outstation 回應 Master 所要求的動作或訊息。要求標頭和響應標頭都包含有一個位元組的應用控制(Application Control)、一個位元組的功能碼(Function Code)，而響應標頭則多了兩個位元組的內部指示(Internal Indication)。其中應用控制又分為一個位元的 FIR、FIN、CON、UNS 和四個位元的 SEQ，如圖 D-3 所示。

- (a) FIR 表示是否為第一個應用層片段，當 FIR 為 1 時表示是第一個應用層片段，FIR 為 0 時表示不為第一個應用層片段。
- (b) FIN 表示是否為最後一個應用層片段，FIN 為 1 時表示是最後一個應用層片段，FIN 為 0 時表示不為最後一個應用層片段。
- (c) CON 表示接收端是否要回傳確認訊息，當 CON 為 1 時接收端必須回應應用層訊息，CON 為 0 時接收端無須回應應用

層訊息。

- (d) UNS 表示是否為主動回報功能，當 UNS 為 1 表示為 Outstation 主動發起的應用層片段，當 UNS 為 0 時表示此為回應 Master 要求的應用層片段。
- (e) SEQ 是用來防止重複接收或遺漏應用層片段，大小為四位元，所以可定義範圍是 0~15，以 1 為間隔依序遞增，除以 16 後的餘數就做為序列號碼。若序列號碼為 15 時，下一個號碼則從 0 開始重新計算。而序列號碼又分為請求(solicited)和主動(unsolicited)兩組，一組用於請求、要求和確認；另一組則用於主動回報和確認，這兩組序列號碼之間沒有任何關係。

功能碼用來表示資料功能的目的，如果是 Master 的要求訊息，功能碼為 0x01~0x80，如果是 Outstation 的回覆訊息則為 0x81~0xFF，例如 0x01 為讀取 0x81 為回應，0x00 是確認功能碼，從 Master 送到 Outstation 確認有接收到應用層片段。

內部指示用來表示 Outstation 的狀態和錯誤情況，例如 IIN1.7 表示第一個位元組的第七個位元，若 Outstation 因為任何因素而重新開機時，此位元則為 1。當 Master 接收 IIN1.7 為 1 時，則告知 Outstation 要將 IIN1.7 設置為 0。

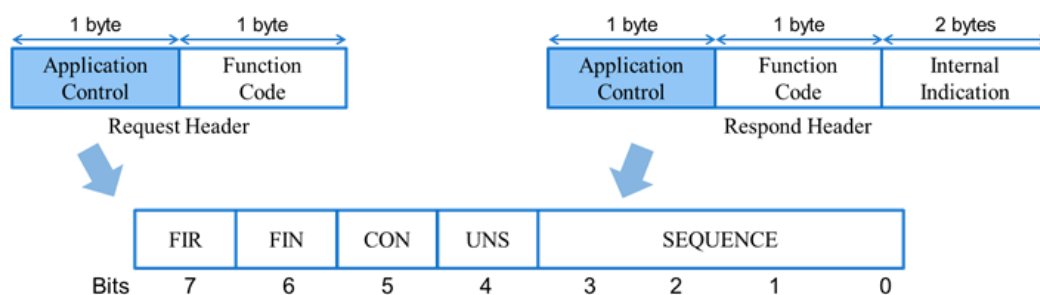


圖 D - 3 應用層控制標頭格式

#### ● D.4 物件標頭

物件標頭用來標示跟隨在後的 DNP3 物件資料，提供資訊使 DNP3 的 Outstation 可以知道所需資料型態和形式包含物件型態欄位 (Object Type Field)、限定符欄位 (Qualifier Field)、範圍欄位 (Range Field)，如圖 D-4 所示。

物件型態欄位含有一個位元組的 Group 和一個位元組的 Variation，Group 用來表示資料型態 (類比輸入輸出、二進位輸入輸出)，Variation 用來表示資料形式 (例如 16 位元類比輸入或 32 位元類比輸入)。

限定符欄位和範圍欄位是相關的，因為範圍欄位的結構和內容都取決於限定符欄位。限定符欄位為一個位元組，分為三個部分，如圖 D-5 所示：

保留位元 (RES)，字節欄位通常會設為 0，提供未來做使用；

物件前綴碼 (Object Prefix Code)，在 DNP3 物件前設置說明的前綴，例如物件以索引值作為前綴或是以物件大小作為前綴；

範圍說明碼(Range Specifier Code)，則是規定範圍欄位的內容與大小，用來指示是否要使用後面的範圍欄位，如果要使用的話會在這邊先決定。

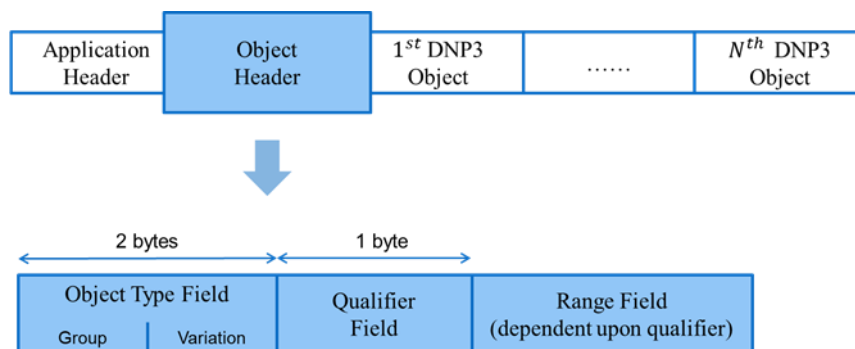


圖 D - 4 應用層物件標頭格式

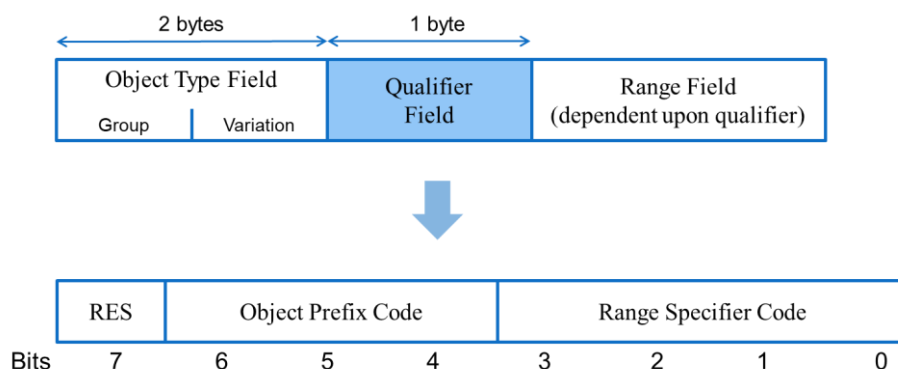


圖 D - 5 應用層限定符號欄位格式

## ● D.5 傳輸功能層(Transport Function Layer)

傳輸功能層實際上是應用層的子層，又為傳輸層(Pseudo-transport layer)的稱號，作為應用層和資料連接層之間的橋樑，應用層的訊息長度可能大於資料連接層所允許的長度，因此需要將這些資訊分割成資料連接層允許的長度，並加上一個位元組的

傳輸標頭(Transport Header)，用來排序這些被分割的資料片段；傳輸層也能將分割後的區段還原成應用層所能讀取的資料，被切割的傳輸資料稱為傳輸區段(Transport segment)，用來傳送一個應用層資料的一連串傳輸區段稱為傳輸區段串(Transport segment-serials)，如圖 D-6 所示。



圖 D - 6 傳輸區段

### ● D.6 傳輸標頭

傳輸標頭由一個位元組組成，是傳輸區段的第一個位元組，傳送時每一個應用層資料都會加入一個傳輸標頭再傳給資料連接層；接收資料時傳輸功能層會移除標頭後再將應用層資料進行重組再傳回應用層，如圖 D-7 所示。

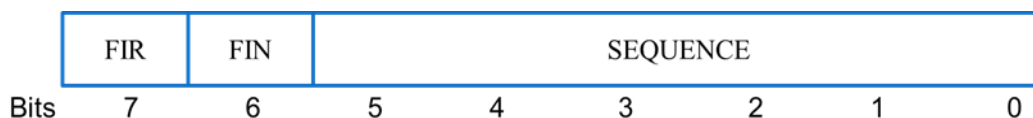


圖 D - 7 傳輸標頭格式

FIR 表示是否為此傳輸過程中的第一個區段，當 FIR 為 1 時表示是此傳輸過程的第一個區段，FIR 為 0 時表示不為此傳輸過程的第一個區段。

FIN 表示是否為此傳輸過程中的最後一個區段，當 FIR 為 1 時表

示是此傳輸過程的最後一個區段，FIR 為 0 時表示此區段後面還跟隨著其他的區段。

SEQ 編號是用來防止重複接收或遺漏應用層片段，大小有 6 位元所以可以編號範圍可從 0 到 63。

### ● D.7 資料連接層 (Data Link Layer)

DNP3 中資料連接層主要有兩個目的，第一是提供應用層資料雙向傳輸與目標裝置相連的通訊通道，執行傳送任務時，資料連結層將上層傳來的傳輸區段進行編碼，建構成資料連接訊框，再送往通訊通道；執行接收任務時，傳輸區段從被驗證過的資料連結框中提取出來並傳遞到上層。第二是資料連結層可以管理資料連結框的同步、流量控制、錯誤處理和提供連接狀態的指示。User Data 指的是使用者資料，最多可以有 250 個位元組，每一區塊最多 16 個位元組，如圖 D-8 所示。

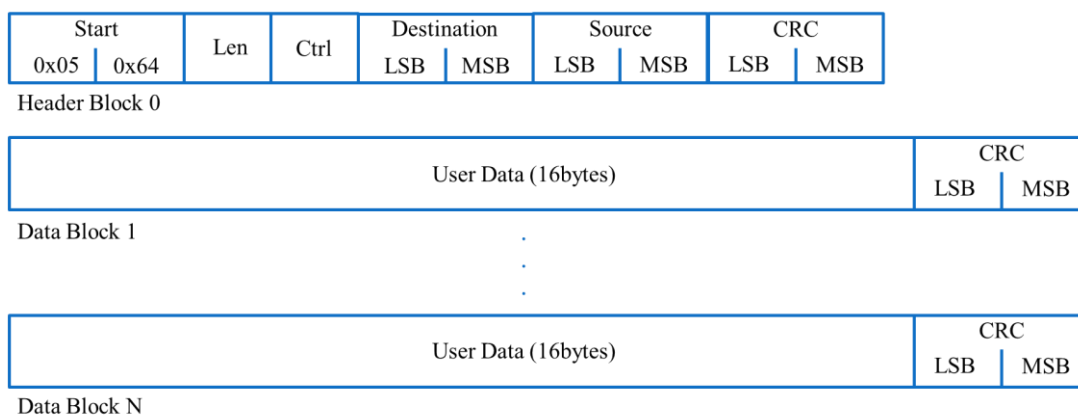


圖 D - 8 資料連接層之訊框格式

## ● D.8 資料連接層標頭

資料連接層的標頭由兩個位元組的 Start、一個位元組的 Length、一個位元組的 Control、兩個位元組的 Destination、兩個位元組的 Source 和兩個位元組的 CRC 組成，如圖 D-9 所示。

Start 的第一個位元組為 0x05，第二個位元組為 0x64，Length 是指 Control、Destination、Source 及主體 User Data 部分的長度總和。如果沒有 User Data 則 Length 最小值為 5，而包含 User Data 最大值則為 255。Control 包含訊框傳送方向、流量控制、功能碼等資訊，如圖 D-9 所示。Destination 由兩個位元組所組成目標位址；Source 由兩個位元組所組成來源位址；CRC 錯誤檢查碼則確保有效的資料才會被傳送或接收；LSB(Least Significant Byte)、MSB(Most Significant Byte)分別表示最低有效位元組和最高有效位元組。

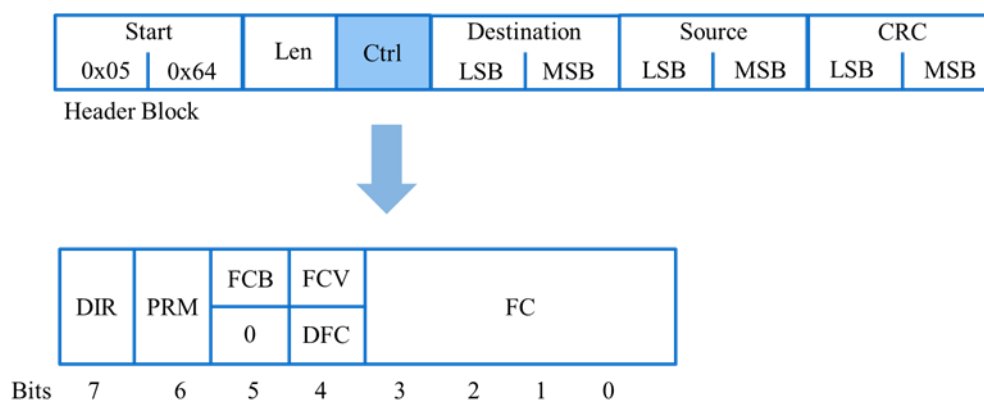


圖 D - 9 Control 位元組各位元之定義

Control 位元組各位元定義說明如下：

(a) DIR(Direction)位元：傳送裝置應正確設置此位元，接收裝



置可以忽略。

- (b) PRM(Primary Message Bit)位元：0 表示接收端到傳送端，由 Master 或 Outstation 完成資料連結層的資料交換；1 表示傳送端到接收端，由 Master 或 Outstation 發起資料連結層的資料交換。
- (c) FCB(Frame Count Bit)位元：用於偵測傳送端到接收端是否重複或遺漏。
- (d) FCV(Frame Count Valid)位元：指定是否檢查 FCB 位元。
- (e) DFC(Data Flow Control)位元：出現在接收端發送的回應中，用於告知資料連接層緩衝器不足以接收新的資訊，表示處於忙碌狀態，0 表示準備就緒，1 表示忙碌中。
- (f) FC(Function Code)：根據 PRM=0 或 1 代表各 16 種共 32 種不同的功能控制項目。

## 附錄 E – Modbus

### ● E.1 Modbus 介紹

Modbus 通訊協定於 1979 年由美國 Modicon(今 Schneider Electric)在程序控制系統中為方便使用可程式化邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)，所開發的串列通訊協定，最初設計是為了簡化控制器和感測器間透過 RS-232 的傳輸過程，現今已成為工業領域之通訊協定的業界標準(De facto)，也是工業電子裝置之間常用的連接方式。由於 Modbus 發表至今年代長久，且已公開發表，使用上也無須支付稅金，相較於其他通訊協定對於資料型態的要求較為簡單，因此 Modbus 在許多工業設備上被廣泛應用於傳遞資料與控制訊息。依據通訊方式的不同，分為三種版本：TCP、RTU 和 ASCII。TCP 使用網路 TCP/IP 方式連接，而後兩者使用串列通訊方式，前述三種方法在 Modbus 的資料型態和功能呼叫上皆相同，唯有封包格式有所差異[20]。

### ● E.2 Modbus 通訊模型

Modbus 使用主從式架構(Master-Slave)進行通訊，其中只有一個 Modbus Master 可以啟動事件，對其他 Modbus Slaves 下達命令，發出請求(Query)封包；Master Slaves 收到 Modbus Master 的請求封包

後，會根據其請求封包內容回送響應(Response)封包。Modbus Master 可以各別傳送請求封包給各 Master Slave，也可以廣播將消息發送給所有 Master Slaves；然而響應封包只能單獨回送，無法回應來自廣播的請求。Modbus 的通訊模式如圖 E-1 所示。

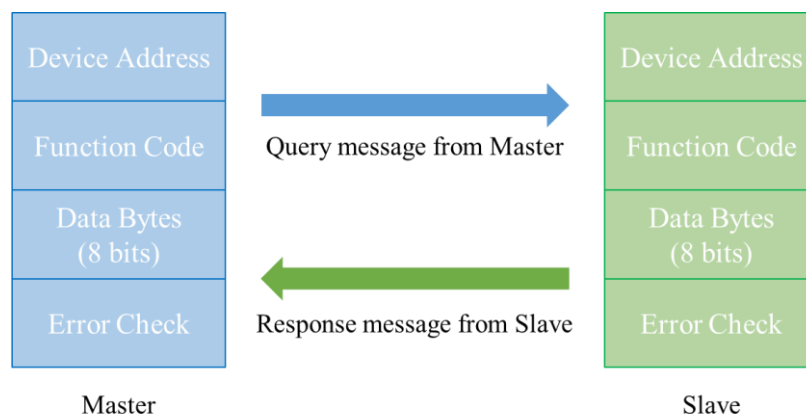


圖 E - 1 Modbus 通訊模式

- (a) 請求封包(Query)：Modbus Master 請求封包中之功能代碼 (Function Code) 定義被搜尋的 Modbus Slave 要採取何種動作；Data bytes 包含其他有關 Modbus Slave 執行功能的訊息，依據各功能代碼而有不同的詳細定義，Modbus Slave 會根據這兩個欄位的資訊做出響應動作。例如，Function Code 03 表示為「read holding registers」定義為從保存暫存器的記憶體中擷取資料，並且回傳給 Modbus Master。Data Bytes 則必須包含告訴 Modbus Slave 從哪個暫存器開始以及要讀取的暫存器數量；Error Check 則提供方法給 Modbus Slave 去驗

證消息內容的完整性。

- (b) 響應(Response)：如果 Modbus Slave 做出正確的響應，在響應封包中的功能代碼會對請求封包中之功能代碼做出相同的回應。Data Bytes 包含從 Modbus Slaves 所收集的數據，例如暫存器的數值或狀態。如果發生錯誤，功能代碼會做出修改以表示此響應是錯誤的響應，並且在 Data Bytes 中描述錯誤的代碼；Error Check 則使 Modbus Master 確認消息內容是否正確有效。

### ● E.3 Modbus 的資料型態

每一個 Modbus Master 的請求封包都詳細定義了 Modbus Slave 的位址、功能代碼、相關暫存器位址和相關資訊，只有相對應的 Modbus Slave 在收到請求封包後才會執行功能並回傳響應封包。Modbus 基本且常用的功能包含對 Modbus Slave 寫入和讀取暫存器的單一位元、寫入和讀取完整暫存器等，對應之資料型態如下表 E-1 所示[21]。

表 E - 1 Modbus 基本資料型態

Data Type	Modbus Data Type
<b>Boolean Inputs</b>	Discrete Input
<b>Boolean Outputs</b>	Coil
<b>16-bit Input</b>	Input Register
<b>16-bit Output</b>	Holding Register

## ● E.4 Modbus/TCP

Modbus/TCP 通常以乙太網路作為傳輸介面，此版本沒有本身的錯誤校驗和，依賴 TCP/IP 本身的校驗機制。Modbus/TCP 的封包格式，如下表 E-2 所示，含有六位元組的應用標頭(Modbus Application Header, MBAP)，其中包含：兩個位元組的 Transaction ID、兩個位元組的 Protocol ID(總是為 0x0000)和兩個位元組的封包長度，列入長度計算的包含 Modbus Slave 位址、功能代碼與資料，其後跟隨兩個位元組的 Unit ID(Modbus Slaves 位址)、一個位元組的功能代碼和 N 個位元組的資料[21]。

表 E - 2 Modbus/TCP 的封包格式

Transaction ID	Protocol ID	Length	Unit ID	Function Code	Data
16 Bits	16 Bits	16 Bits	8 Bits	8 Bits	n*8 Bits

## ● E.5 Modbus RTU

Modbus RTU 於傳輸過程東採用二進位編碼，相較於 ASCII 編碼的傳輸較為緊湊，傳輸效率較佳。Modbus RTU 的封包格式，如下表 E-3 所示，包含至少 3.5 個字元的起始位元(Start-of-Frame, SOF)和結束位元(End-of-Frame, EOF)、8 位元的 Modbus Slaves 位址、8 位元的功能代碼，0 至 255 位元組的資料和 16 位元的循環冗餘校驗(Cyclical Redundancy Check, CRC) [21]。

表 E - 3 Modbus RTU 的封包格式

Start	Address	Function Code	Data	CRC Check	End
3.5 CHARs	8 Bits	8 Bits	n*8 Bits	16 Bits	3.5 CHARs

● **E.6 Modbus ASCII**

Modbus ASCII 是以 ASCII 為編碼方式進行傳輸，雖然傳輸效率較 Modbus RTU 差，但特色是其 ASCII 編碼方式較容易閱讀。Modbus ASCII 的封包格式，如下表 E-4 所示。Modbus ASCII 的封包起始位元為 1 個字元的「：」(0x3A)，結束位元為 2 個字元的 CR(Carriage Return, 0x0D)和 LF(Line Feed, 0x0A)，其他還包含 2 個字元的 Modbus Slaves 位址、2 個字元的功能代碼、0 至 255 字元的資料和 2 字元的縱向冗餘校驗(Longitudinal Redundancy Check, LRC) [21]。

表 E - 4 Modbus ASCII 的封包格式

Start	Address	Function Code	Data	LRC Check	End
1 CHAR :	2 CHARs	2 CHARs	n CHARs	2 CHARs	2 CHARs