

出國報告(出國類別：實習)

TOSHIBA 蒸汽汽輪機控制技術訓練

服務機關：台灣電力公司台中發電廠

姓名職稱：周志鴻 / 儀電工程師

派赴國家：日本

出國期間：99年12月18日 ~ 99年12月31日

報告日期：100年02月22日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：TOSHIBA 蒸汽汽輪機控制技術訓練

頁數 39 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力股份有限公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

周志鴻/台灣電力公司/台中發電廠/儀電工程師/(04)26302123~8311

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：99/12/18~99/12/31 出國地區：日本

報告日期：100/2/22

分類號/目

關鍵詞：TOSMAP-DS/D-EHC

內容摘要：(二百至三百字)

台中發電廠九、十號機蒸汽輪機控制系統，採用日本東芝(TOSHIBA)公司的 TOSMAP-DS/D-EHC 控制系統，是目前台電公司燃煤火力機組中唯一的日系控制系統。

本文內容包含：

- 一、 TOSMAP-DS/D-EHC 系統架構介紹；
- 二、 中九、十機 D-EHC 系統元件概述；
- 三、 中九、十機汽機控制系統可靠性分析；
- 四、 中九、十機 D-EHC 控制系統功能簡介。

最後以實習感想以及提出 TOSMAP-DS/D-EHC 控制系統日後的維護建議作為總結。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw>)

目 錄

| | |
|----------------------------------|----|
| 壹、 實習目的..... | 1 |
| 貳、 實習過程..... | 1 |
| 參、 實習心得..... | 2 |
| 3.1 東芝公司與實地點簡介..... | 2 |
| 3.2 TOSMAP-DS/D-EHC 系統介紹..... | 5 |
| 3.3 中九、十機 TOSMAP/D-EHC 系統概述..... | 8 |
| 3.4 中九、十機汽機控制系統可靠性分析..... | 26 |
| 3.5 中九、十機 D-EHC 控制系統功能簡介..... | 30 |
| 3.6 問題討論..... | 31 |
| 肆、 實習感想..... | 36 |
| 伍、 建議事項..... | 36 |
| 陸、 致謝..... | 39 |
| 柒、 參考資料..... | 39 |

壹、實習目的

台中電廠第九、十號機之蒸汽汽輪機 (Steam Turbine) 為日本東芝 TOSHIBA 公司設計製造，與中一 ~ 中八機美國 GE 公司製造之蒸汽輪機設備不同，雖然東芝公司與 GE 公司在汽輪機的機械設備上有合作關係，因此設計、製造上有相近的地方，但是卻各自有完全不同的控制系統。

東芝公司的汽輪機 TOSMAP-DS/D-EHC 控制系統是目前台電公司燃煤火力機組中唯一的日系控制系統，與公司其餘機組，如 GE 公司的 MARK V/VI 控制系統等，在設計與架構上存在許多不同之處。基於中九、十機運轉維護上的需要，奉派赴日本東芝 TOSHIBA 公司研習 D-EHC 控制系統之設計、維護技術，使中九、十號機蒸汽輪機控制系統更加穩定，運轉控制更加安全，得以降低中九、十號機蒸汽輪機運轉之風險；並深入了解東芝公司對於本廠中九、十機 D-EHC 控制系統的性能提昇或系統安全補強之建議，俾利日後 D-EHC 控制系統性能提昇及安全補強時之參考依據。

貳、實習過程

實習日期 99 年 12 月 18 日 ~ 99 年 12 月 31 日共計 14 日，行程規劃如表 2.1 所示。感謝東芝公司周世杰先生、水上秀行經理、中村大先生、窪田富雄先生及東山能里子小姐等人在本人研習期間的指導與協助，使行程順利完成。

表 2.1：研習行程表

| 日期 | 城市及機構 | 工作內容 |
|-------------------|----------------------|---|
| 99/12/18 | 台北→日本東京 | 去程 |
| 99/12/19~99/12/21 | Toshiba 總公司及東京區發電廠參觀 | 研習 TOSHIBA 公司之蒸汽汽輪機 D-EHC 控制系統之軟、硬體設計以及控制、維護技術 |
| 99/12/22~99/12/26 | Toshiba 府中事業所 | 赴東京府中事業所，研習 TOSHIBA 公司 D-EHC 控制系統軟、硬體設計，運轉、維護技術以及相關問題研討 |
| 99/12/27~99/12/30 | Toshiba 京濱事業所 | 赴京濱事業所，研習 TOSHIBA 公司之 D-EHC 控制系統軟、硬體設計維護技術 |
| 99/12/31 | 日本東京→台北 | 回程 |

參、實習心得

3.1 東芝公司與實習地點簡介

3.1.1 東芝公司簡介

東芝公司是由 2 家日本公司合併而成，其中之一是由田中久重先生於 1875 年所創立的田中製作所（於 1904 年更名為芝浦製作所）；第 2 家公司為 1890 年創立的白熱舍（於 1899 年改名東京電氣公司）。1939 年，東京電氣公司(Tokyo Electric Company)和芝浦製作所(Shibaura Engineering Works Co.)合併成為今日的東芝公司(TOSHIBA CORPORATION)，目前員工約有 204,000 名。

東芝公司產品橫跨半導體、家電、工業設備、電力系統等眾多領域。與發電設備相關的水力、火力事業部以及核能事業部等隸屬於基礎事業系統群(Infrastructure Systems Group)裡的電力系統公司(Power Systems Company)管轄。其企業組織如圖 3.1 所示。

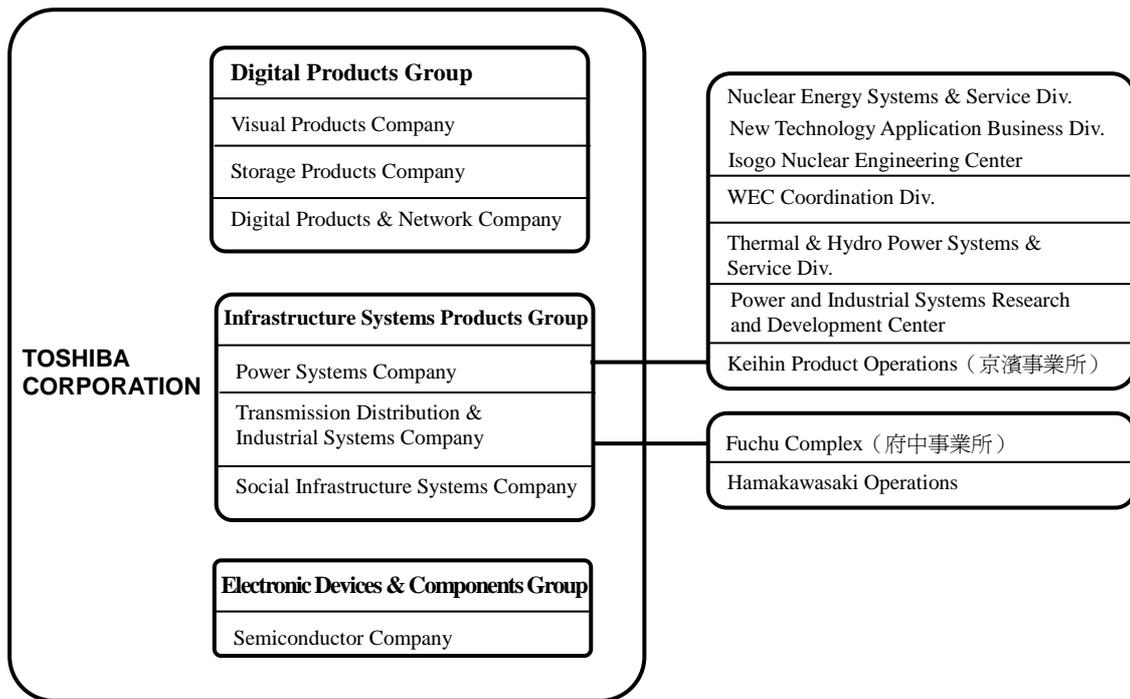


圖 3.1：東芝公司企業組織圖

東芝公司除了本身原有的核能技術，於 2006 年以約 50 億美金買下西屋公司(Westinghouse)之壓水式反應爐(PWR, Pressurized Water Reactor)核能技術，顯示其投資未來核能產業龐大利益的決心。

除此之外，東芝公司還是世界上晶片製造商中的重要成員。在 1980 年代東芝與 NEC 是世界上最大的兩家半導體製造商。自 1990 年代至今東芝一直是世界排名前 5 的晶片廠。2010 年東芝排名第 3，僅次於英特爾、三星電子、(德州儀器第 4)。因此，東芝公司的控制系

統在卡片模組的設計上，擁有來自集團的支援，具有相當的優勢。

3.1.2 東芝府中事業所 (Toshiba Corporation Fuchu Complex)：

府中事業所於 1940 年在東京都府中市成立，占地 723,000 M²，目前員工約有 9,200 人。主要產品有：發電監控系統、發電成套設備用控制系統、新能源與節能系統、核電程序監控系統、核電儀表監控系統、電力系統保護與控制系統、電力系統監控系統……等。為東芝公司包括電廠控制、交通控制以及各型控制系統的開發設計、生產製造中心。

3.1.3 東芝京濱事業所 (Toshiba Keihin Operations)：

1925 年設立鶴見工場，陸續擴建後於 1979 年正式成立京濱事業所，目前京濱事業所共有本工場、西分工場、入舟分工場等三個廠區，佔地共 511,000 M²，員工約 2,500 人。

本工場主要負責發電機組的製造、組裝與測試。主要產品有：汽輪機、水輪機、氣渦輪機、發電機等水、火力及核能發電設備。西分工廠主要為汽輪機及氣渦輪機轉子、機殼以及葉片的製造。廠區內還有東芝與 GE 公司合資，專門生產製造汽輪機組末二段葉片的 TGTC(Toshiba GE Turbine Component Co. Ltd)公司。

東芝汽輪機 D-EHC 控制系統雖然是由府中事業所負責開發及生產製造，但是銷售之後的技術服務卻是由隸屬於電力系統公司 (Power

System Company)，位在京濱事業所內的勤務工程事業部（Services Engineering Group）負責。

3.2 TOSMAP-DS/D-EHC 系統介紹

汽輪機是工作在高溫、高壓環境下的大型高速運轉原動機。隨著資訊與電子技術的突飛猛進，汽輪機控制系統從早期的機械液壓控制系統（MHC; Mechanical Hydraulic Control）發展到今日的數位式電子液壓控制系統(DEH; Digital Electronic Hydraulic)。控制系統的主要目的仍然是在確保汽輪機運轉安全下保證輸出電壓波形的頻率固定。

由於網路技術與半導體科技的發達，數位式電子控制系統的架構也由分散式、集中式再發展到如今的分散式控制架構。控制工作分散在不同的控制器執行，再利用通訊網路來傳遞訊息。控制器採用可程式規劃的 CPU，不但控制邏輯更有彈性，方便日後的監控維護與程式修改，也得以實現許多新的控制理論，使機組控制更加安全順利。

廣義的 DEH 控制系統包含了：1.蒸氣閥、伺服閥（Servo Valve）及驅動器（Actuator），2.電子液壓驅動系統，3.潤滑油系統與汽機保護系統，以及 4.數位電子控制器系統等四大部分。本文描述的 DEH 則將只偏重於數位電子控制系統上的介紹與討論。

各個汽輪機的製造商為了使運轉控制平順，都有整合本身技術經驗發展出的控制系統與其生產的汽輪機設備搭配銷售，如 GE 公司的 Speedtronic MARK 系列控制系統。東芝公司針對火力電廠控制需求也

發展出 TOSMAP (TOSHIBA Microprocessor Aided Power System control) 系列控制系統。如圖 3.2 所示為東芝與 GE 這兩家公司火力電廠控制系統發展歷程。表 3.1 為本廠目前中一 ~ 中十機汽輪機控制系統的統計表。

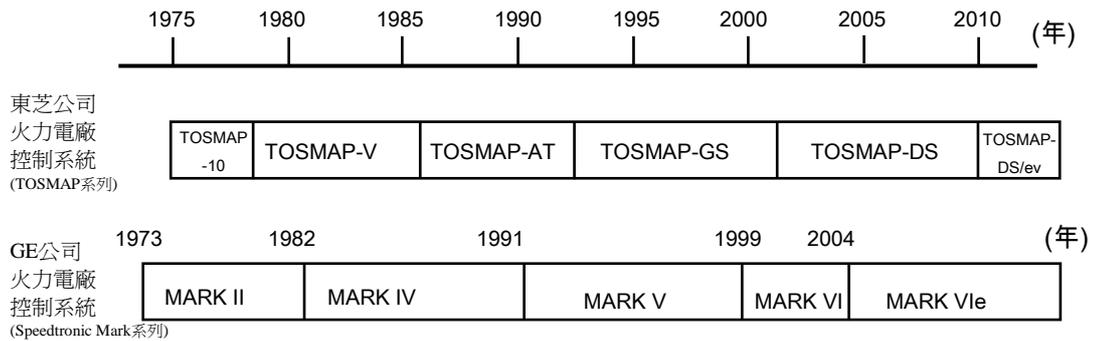


圖 3.2：東芝與 GE 公司火力電廠控制系統發展簡圖

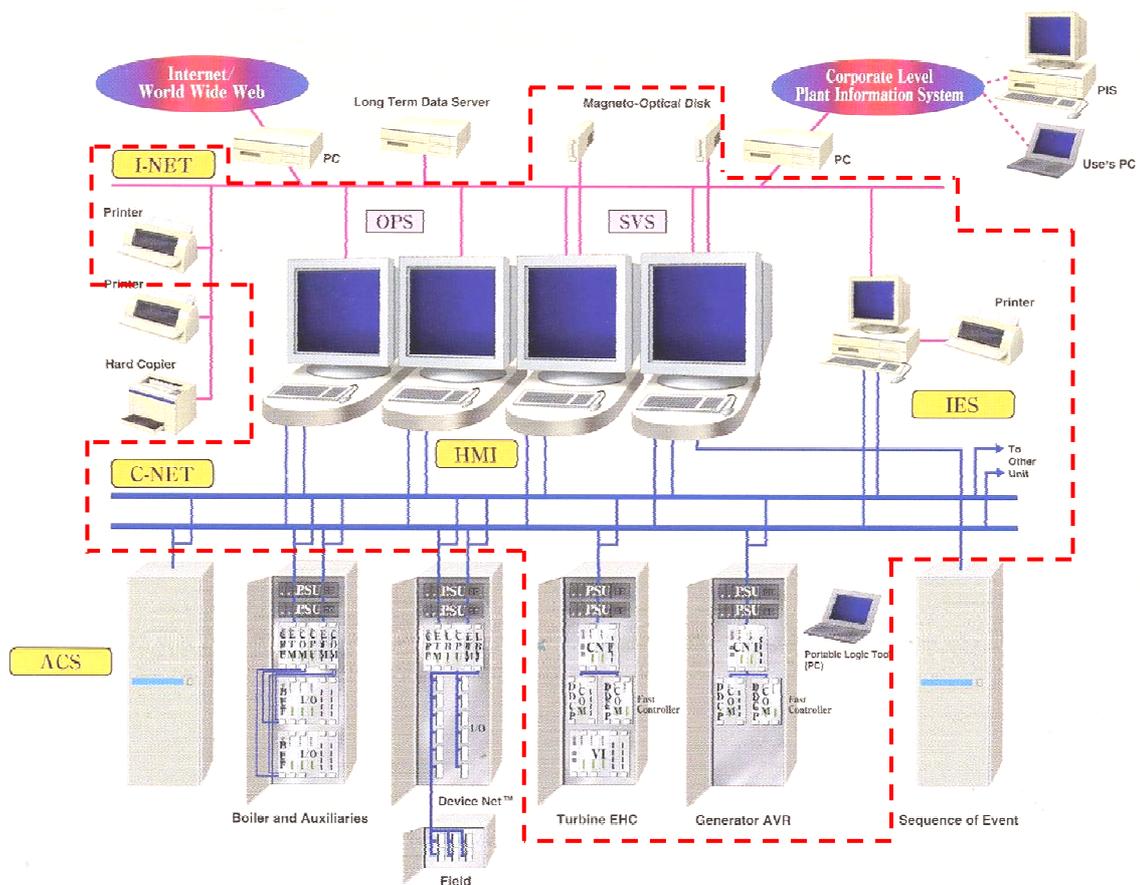
表 3.1：中一 ~ 中十機汽輪機控制系統統計表

| 機組別 | #1 ST | #2 ST | #3 ST | #4 ST | #5 ST | #6 ST | #7 ST | #8 ST | #9 ST | #10ST |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|
| 控制系統 | MARK VI | MARK VI | MARK VI | MARK VI | MARK V | MARK V | MARK V | MARK V | TOSMAP-DS/D-EHC | TOSMAP-DS/D-EHC |

說明：#1 ~ #4 機裝機時的控制系統為 MARK II A，目前已經全部更新為 MARK VI。

TOSMAP-DS (TOSHIBA Microprocessor Aided Power System control - DynaStream) 系統架構如圖 3.3 所示，是東芝公司針對火力電廠控制需求，發展出的分散式控制系統。TOSMAP-DS 從架構上可以分成的三大部分：1.人機介面 (Human-Manchine Interface; HNI)：包括操作站 (Operator Station; OPS) 以及伺服站 (Server Station; SVS)，2.通信網路：包括 I-NET、C-NET，以及 3.控制器 (Automatic Control System)。主要的機組控制功能由各個不同功能的控制器達成，相關的

訊息則是透過通信網路在各個控制器與人機介面之間傳遞。



- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| HMI : Human-Machine Interfac | C-NET : Control Network |
| OPS : Operation Station | I-NET : Information Network |
| SVS : Sever Sation | ACS : Automatic Control System |
| IES : Integrated Engineering Station | |

說明：虛線內為中九、十機汽輪機控制系統架構範圍

圖 3.3：TOSMAP-DS 系統架構圖

TOSMAP-DS 是一套包含汽機控制、鍋爐控制、BOP 控制、DAS 等完整的火力電廠控制系統。中九、十號機裝置的僅只包含圖 3.4 虛線範圍內的汽機控制 D-EHC (Digital Electro-Hydraulic Control System)、發電機控制 AVR (Automatic Voltage Regulator) 以及配合維

護、操作所需要的相關系統組件。中九、十機的 DCDAS 及 BIS 等系統則採用 YOKOGAWA 公司的 CENTUM - CS3000 控制系統。

相較於台中電廠僅裝置 TOSMAP-DS 的 D-EHC 及 AVR 的部份，國內的嘉惠、星能、豐德以及星元等民營複循環燃氣電廠（系統構成，請參照表 3.2）的控制則採用完整的 TOSMAP-DS 控制系統架構，如圖 3.4 為嘉惠電廠控制系統的架構簡圖。

表 3.2：嘉惠、星能、豐德及星元電廠的機組構成統計表

| 電廠名稱 | | 嘉惠電廠 | 星能電廠 | 豐德電廠 | 星元電廠 |
|------|------|------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|
| 發電量 | | 670MW | 480MW | 980MW (480MW x 2) | 490MW |
| 構成 | GT | 3 台 (GE) | 2 台 (MHI) | 2 台 x 2 (MHI) | 2 台 (GE) |
| | HRSG | 3 台 (DOOSAN) | 2 台 (Babcock-Hitachi) | 2 台 x 2 (Babcock-Hitachi) | 2 台 (DOOSAN) |
| | ST | 1 台 (TOSHIBA) | 1 台 (TOSHIBA) | 1 台 (TOSHIBA) | 1 台 (TOSHIBA) |

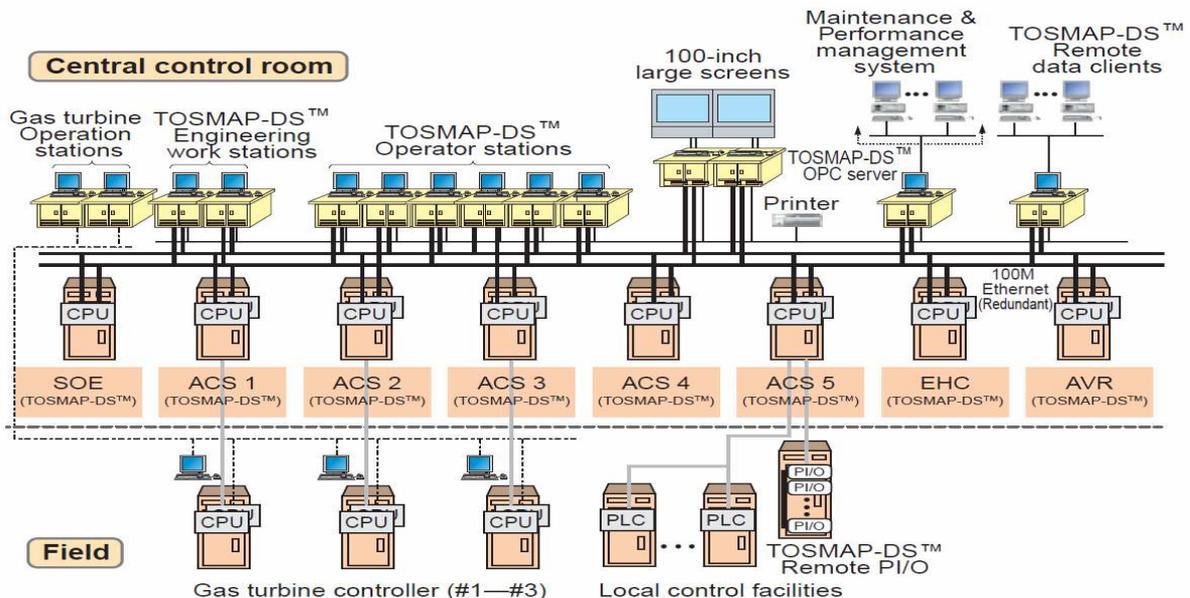


圖 3.5：嘉惠電廠控制系統架構（TOSMAP-DS System）

3.3 中九、十機 TOSMAP-DS/D-EHC 系統概述

中九、十號機的汽機控制系統如同 3.2 節所介紹，可以分為人機介面 (HMI)、通信網路以及 D-EHC 控制系統等三大部分。D-EHC 控制系統是以微處理機為基礎的分散式控制系統，採階層式架構，共有 3 個種類共 6 組的控制器。D-EHC 功能輪廓如圖 3.5 所示，負責汽輪機運所需的控制與保護功能，包括：

1. 汽輪機起動、停機的程序控制；
2. 汽輪機的轉速、負載、主汽機壓力以及閥位控制等調節控制；
3. 功率不平衡 (PLU)、Early Valve Action (EVA)、汽機之卸載及超速跳脫等保安控制。

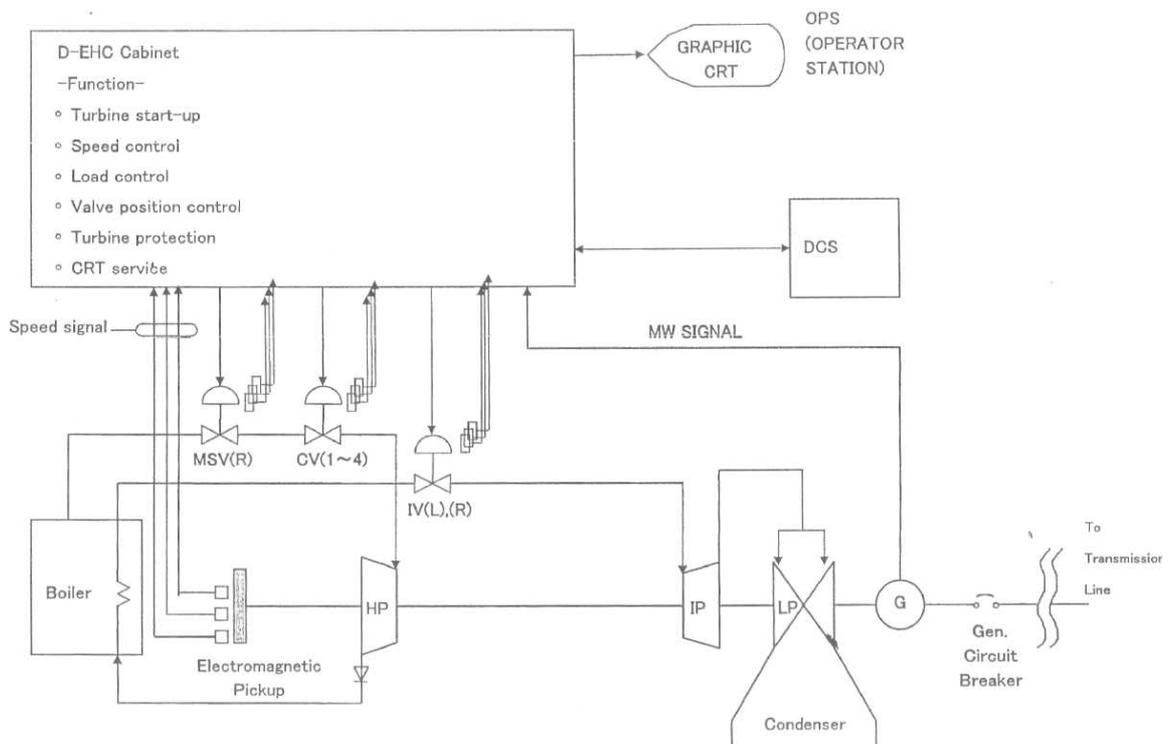
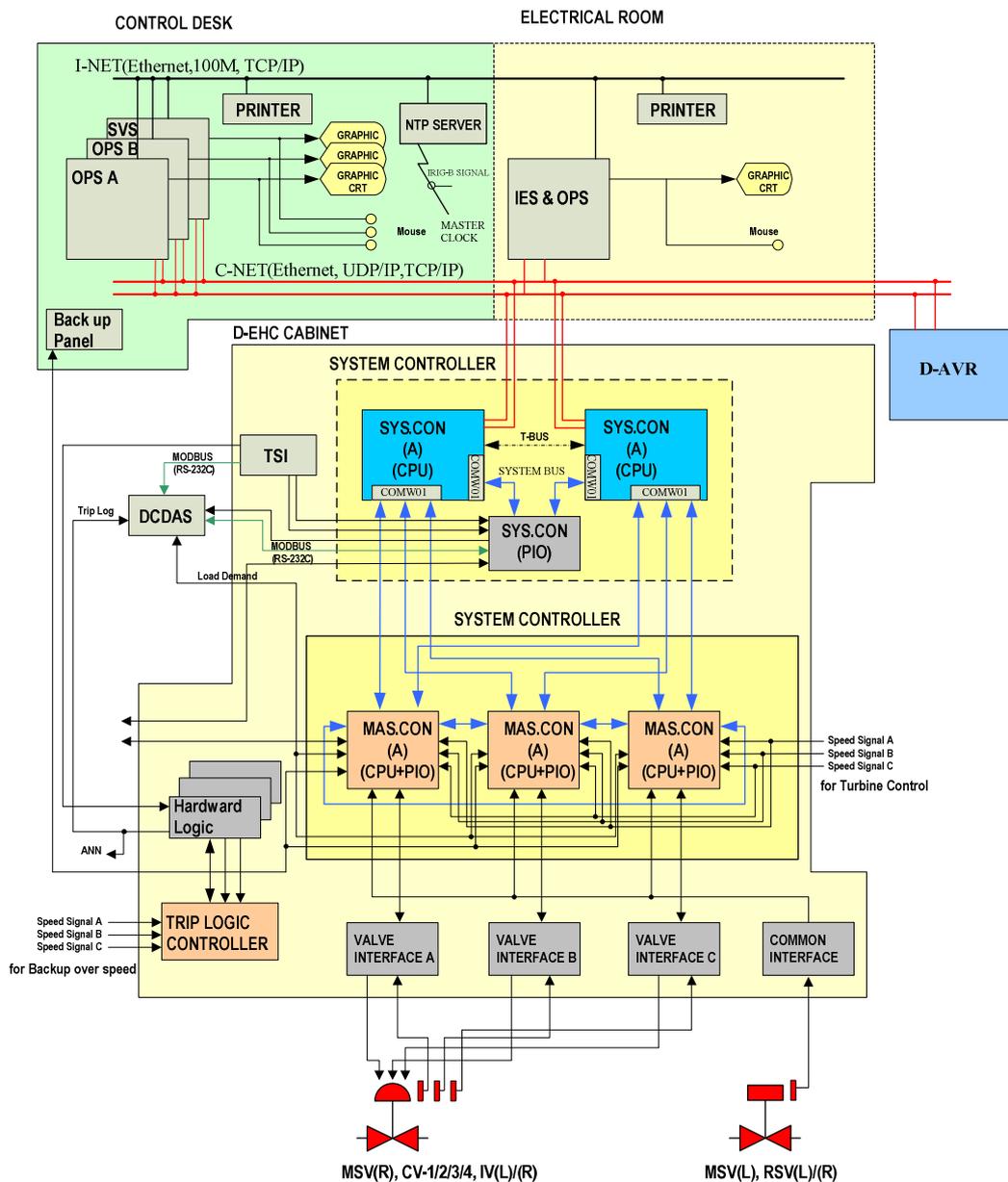


圖 3.5：D-EHC 功能概要圖

3.3.1 中九、十機汽輪機控制系統架構簡介

東芝公司的 TOSMAP-DS 系統架構具有模組化，富有相當彈性，可以依照客戶的需求而有不同的組態。圖 3.6 為中九、十機汽輪機的控制系統架構，各主要的元件將在以下的章節中介紹。



說明：

1. HMI 及 IES 的作業系統為 WIN2000。
2. HMI 為 Independent 配置。
3. System Controller 配置採 Dual Redundant。
4. Master Controller 採 Triple Modular Redundant 配置。

圖 3.6：中九、十機 TOSMAP-DS/D-EHC 控制系統架構

一、人機介面 (HMI)：

人機介面 (HMI) 提供對汽輪機運轉狀態的操作與監視，可以傳送操作人員的指令或接收即時的運轉資料。TOSMAP-DS 系統裡有 2 種型態的 HMI：OPS (Operator Station) 以及 SVS (Server Station)，中九、十機各自配置 2 台 OPS 及 1 台 SVS。

OPS 與 SVS 都裝置在以 WINDOWS 2000 為作業系統的工業級電腦內。OPS 需要安裝 Microsoft Office 的 EXCEL 軟體，而 SVS 還必須安裝 Microsoft Office 的 ACCESS 軟體。

就功能而言，不論 OPS 或 SVS 都有預先規劃好的操作畫面以及運轉趨勢曲線圖，可以透過 C-NET 網路與系統控制器 (System Controller) 通信傳遞資料。而 SVS 除了具有全部 OPS 的功能外還另有儲存檔案資料 (archival data) 的功能 (配置磁性光碟；MO)。中九、十機由於未選配 Long Term Data Sever，運轉歷史資料僅存放於 SVS 內，資料的大小會受到 SVS 硬碟容量的限制。

中九、十機汽機控制系統的 OPS 與 SVS 架構上屬於平行式的佈置，每一台 OPS 或 SVS 的功能都獨立於其它的 HMI，任何一台 OPS 或 SVS 故障都不會影響到其它 HMI 的功能。另一種常見的 HMI 架構為主從式 (Client-Sever) 架構，操作人員接觸到的是 Client 端的 OPS，所有的訊息都要透過 Sever 端的電腦來

蒐集。一但 Sever 電腦故障，所有的通信即將無法進行，運轉人員將處在不知道系統運轉狀態的困擾。因而一般採用 Client-Sever 架構的 Sever 端電腦多採用 REDUNDANT 冗餘配置；如 GE 公司的 MARK VI，以增加系統的可靠性。表 3.3 為這兩種架構的比較。

整合工程師站（Integrated Engineering Station; IES）同樣也是建構在以 WINDOWS 2000 為作業系統的工業級電腦上，除了有安裝程式編輯、維護等相關的軟體外，也具備有與 OPS 同樣的功能，但是東芝公司並不把 IES 歸類為 HMI。

表 3.3：平行佈置與 Client-Sever 架構比較表

| | 平行式佈置架構 | Client-Server 架構 |
|----|---|--|
| 特點 | <ol style="list-style-type: none"> 1.所有的站都與控制網路冗餘連接，各自根據顯示的畫面內容收集控制網路中傳遞的即時數據並進行顯示； 2.操作員的操作指令由 HMI 站通過控制網路直接以指令格式發往相對應的控制器；系統所有的即時數據被分散在各個 HMI 站內。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.OPS、歷史紀錄站不與控制網路直接連接，系統的即時數據資料由 SEVER 通過網路進行收集，然後向 Client 發佈； 2.操作員的指令需要經過 Sever 向網路發給對應的控制器；系統所有的即時資料被集中在 Sever 站內。 |
| 優點 | <ol style="list-style-type: none"> 1.HMI 站的即時資料顯示與更新的速度較快； 2.對於網路的性能要求較不高。 3.即時資料冗餘度較大。 | 系統配置和管理簡便。 |
| 缺點 | 對於 HMI 的電腦硬體配備要求較高。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.對 Sever 電腦的硬體，及網路的性能要求較高。 2.即時資料的冗餘度較小。 |

二、通信網路 (NETWORK)

如圖 3.6 所示，TOSMAP-DS 系統架構有 2 個階層的網路，分別是訊息網路 (Information Network; I-NET) 及控制網路 (Control Network; C-NET)。除此之外，在 D-EHC 控制器內有系統匯流排 (System Bus) 來聯繫 System Controller、Master Controller 以及 Triple Logic Controller 等各個控制器。

I-NET 連接各個 HMI、IES、印表機、時間伺服器，還可透過 ROUTER 與外界系統連接。網路架構為 100 Mbps Ethernet，通信協定為 TCP/IP。透過 I-NET，各個 HMI 及 IES 可以達到時間同步以及資料列印等需求。

C-NET 是 REDUNDANT 的 100 Mbps Ethernet 架構，HMI 透過 C-NET 與 System Controller 通信以傳遞控制資訊，IES 則可以透過 C-NET 與 System Controller 連接，進行程式編輯、下載，信號監視、模擬等作業。IES 也可以透過 C-NET 對 HMI 進行顯示畫面的維護。

D-EHC 的控制訊息透過 System Controller 與 HMI 通信。當有大量資料傳遞時，會採 UDP/IP 通信協定，一般週期性的通信則採用 TCP/IP 協定。因為 UDP/IP 是一個無連結的通信協定。與 TCP/IP 協定比較，它是一個「不可靠」的協定；因為 UDP/IP 不會檢查資料封包是否已經到達目的地，也不保證它們是否按

照順序到達。因此當有大量資料需要在短時間內傳遞時（如機組發生異常），UDP/IP 比 TCP/IP 通信協定較不會佔據太大的頻寬。

D-EHC 控制器內部的 SYSTEM BUS 通訊是採 RS-232 通信介面，以光纖為通信實體，速度為 1.25 Mbps。

三、D-EHC 控制系統

參考圖 3.6，D-EHC 控制系統由系統控制器（System Controller）、主控制器（Master Controller）、跳脫邏輯控制器（Trip Logic Controller; TLC）、閥介面（Valve Interface, Common Interface）、系統匯流排和輸入輸出卡片模組、汽機監視系統（Turbine Supervisory Instrumentation; TSI）、電源模組、接線端子板、通信纜線等元件組成。

兩個 System Controller 採用雙重冗餘結構，以一個運行一個備用的 Hot-Standby 方式運轉。而三組 Master Controller 則採三重冗餘（Triple Modular Redundancy; TMR）方式運轉；Valve Interface 採用類比電路通過選中值票選邏輯來選擇其中一個 Master Controller 的輸出作為輸入信號，控制控制閥的開度，使其完全對應於開度命令信號。

3.3.2 中九、十機 D-EHC 控制系統介紹

中九、十機 D-EHC 的控制系統依照功能的不同，分別裝置在 5 個卡片櫃內，如圖 3.7 所示，各元件說明如下：

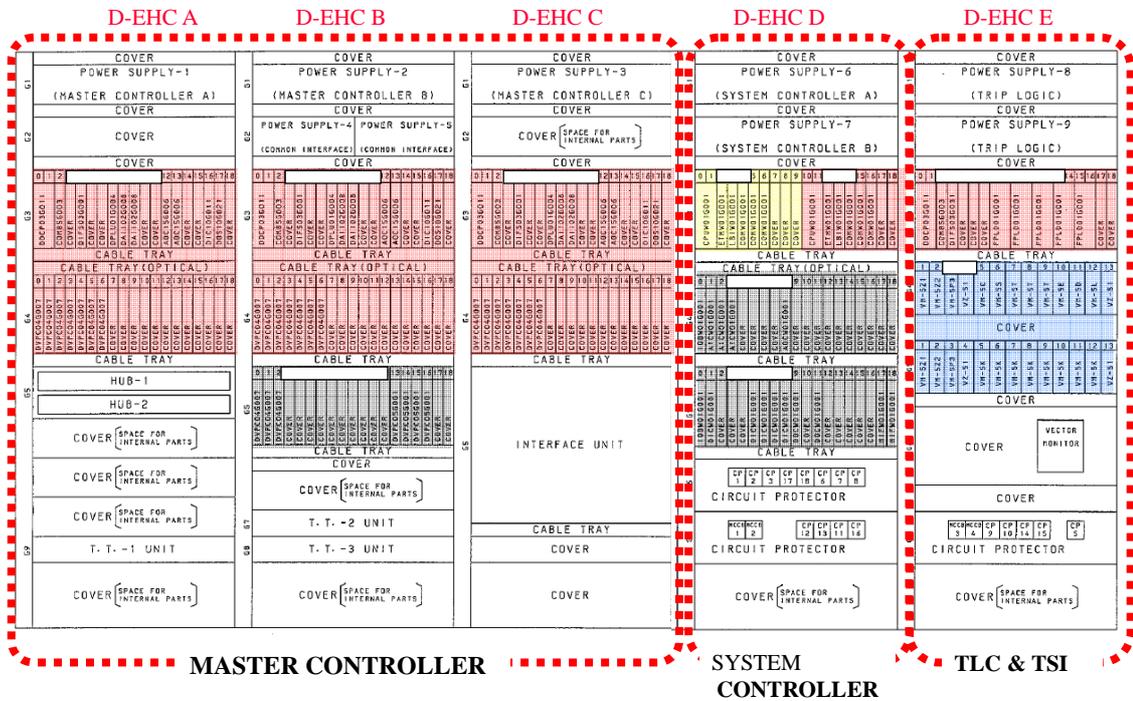


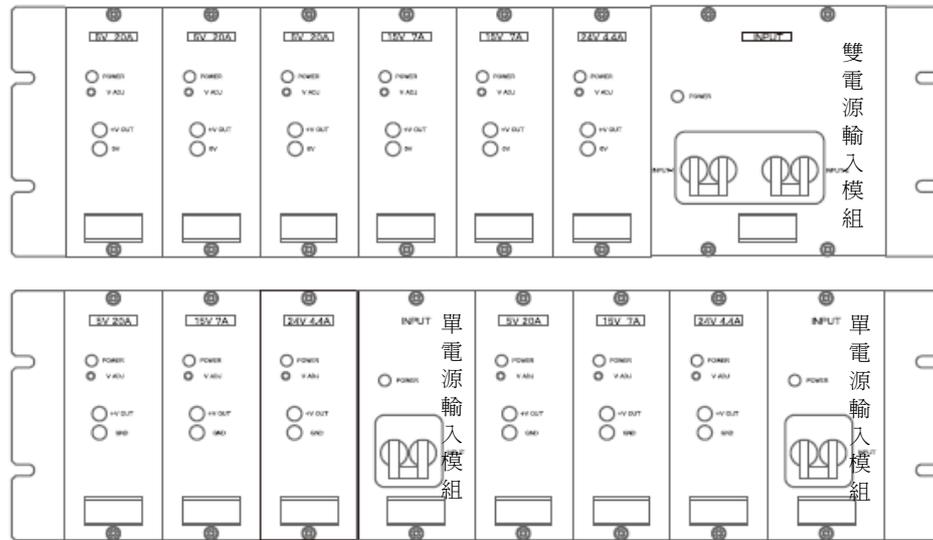
圖 3.7：中九、十機 D-EHC 控制器控制機箱（前箱）佈置圖

一、電源模組：

電源模組裝置在每個卡片櫃的最上方 2 個卡片架 (RACK)，電源模組採用日本 TOACK 公司出品的 MEP 系列電源供應器。此系列的電源供應器為模組化型式，輸入模組可以選用單一電源 (AC 或 DC) 或是雙電源 (AC/DC)，輸出模組也可以依照控制系統的需求組合出不同電壓輸出等級的型式。

圖 3.8 中，上圖為輸入電源為雙電源時的模組配置方式，下圖的輸入電源模組為單電源型式，但同一 RACK 配置不同的電

源輸入時的配置方式。每個電源模組的外表上有 LED 燈號用以顯示其運作狀態。



說明：上圖右方為雙電源輸入模組，下圖為同一 RACK 配置 2 組不同輸入電源時的配置方式

圖 3.8：D-EHC 電源模組配置圖

二、控制器：

D-EHC 控制系統採分散式控制架構，依照功能性質將順序控制、閉回路調節控制以及汽機保護等不同功能分散到 System Controller、Master Controller 以及 Trip Logic Controller 處理，階層式的架構如圖 3.9 所示，採用階層式控制架構的優點有：

1. 可以減少各控制器處理的 I/O 數量：輸入/輸出信號依照它們的功能用途分類，速度、閥位等與維持電廠穩定運轉有關的信號由 Master Controller 處理，較不重要或僅提供運轉人員機組資訊等信號由 System Controller 處理。

2. 工作分散後，擔任調節控制的 Master Controller 因程序控制工作分擔給系統控制器，所以可以使用較快的運算週期工作，提高系統的反應速度。
3. 即使雙重冗餘的 System Controller 全部無法工作，仍能藉由 Master Controller 的控制，維持系統正常運轉。但是在如此狀況下，因為失去 System Controller 的通信功能，操作員將無法透過 HMI 得知機組的運轉狀況。

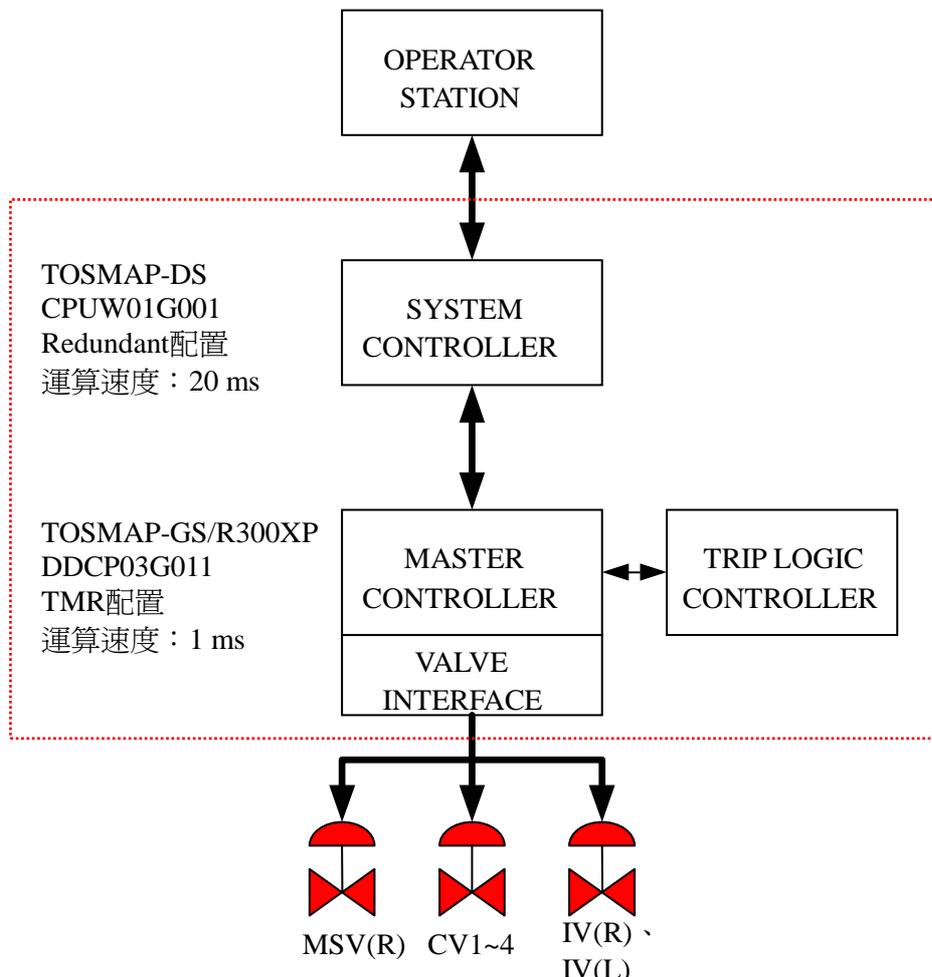


圖 3.9：D-EHC 階層式系統架構圖

東芝公司的 D-EHC 控制系統裡所指的控制器並非單純只是 CPU 模組而已，而是包含了卡片櫃上的其他模組。D-EHC 控制系統事實上是結合了 TOSMAP-DS 以及 TOSMAP-GS 這兩個不同時期的技術，System Controller 是屬於較晚期的 TOSMAP-DS 技術，而 Master Controller 及 TLC 則是屬於較早期的 TOSMAP-GS 技術；詳細說明如下。

(一)、系統控制器 (System Controller)

System Controller 是由兩組控制器單元及一組程序 I/O 單元所構成，達成雙 CPU、單一 I/O 的雙冗餘架構。負責汽輪機的自動起、停控制以及負載自動調整 (Automatic Load Regulator; ALR) 等順序控制功能。System Controller 經由 HUB 連接到 C-NET 與 HMI、IES 連接，接收、處理一般的監視信號。並且透過 MODBUS 與 DCDAS 系統通信。

System Controller 的冗餘架構如圖 3.10 所示。2 個電源獨立且功能平行的處理器共用 1 組 I/O 模組。這兩個控制器的 CPU 模組之間以 T-BUS 光纖網路連接，追蹤彼此的內部資料。正常時由 System Controller A 為 PRIMARY，負責程序 I/O 的處理，另一組 System Controller B 為 STAND-BY。當偵測到 PRIMARY 處理器故障時，STAND-BY 自動切換成 PRIMARY 來處理程序 I/O 的資料。

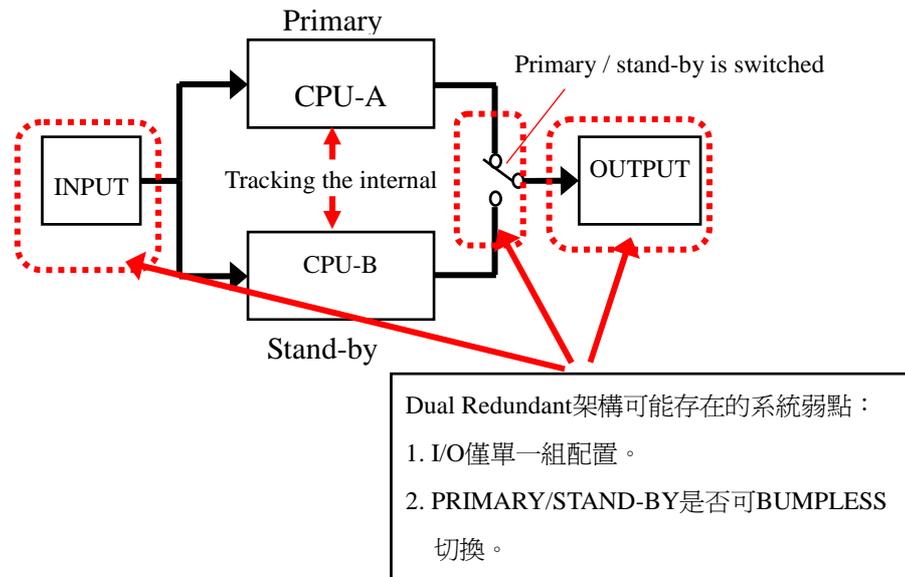


圖 3.10：System Controller 的冗餘架構簡圖

System Controller 採 Hot-Standby 設計，於發生切換時可以保證所有控制程序平順轉移，不會影響到系統的正常運作。2 個控制器分別以 COMW01 通信模組連接到程序 I/O (Process I/O; PI/O)，如圖 3.11 所示。

依照 D-EHC 的設計，2 個 CPU 模組以 T-BUS 連接，比對彼此的內部資料信號，當 STAND-BY 的 CPU 發現與 PRIMARY 的內部信號不同時，會自行將本身的狀態由 RUN 轉成 INIT/TEST 模式，不會執行程式命令，避免切換時造成誤動作的發生。D-EHC 採用單一 I/O 的優點是不會造成 2 個控制器之間的輸入信號不一致；缺點是系統僅有一組 I/O，當發生故障時沒有備分可用。但是因為 System Controller 僅負責汽輪機的起、停控制，所以當 I/O 故障時並不會危害到機組的正常運轉。

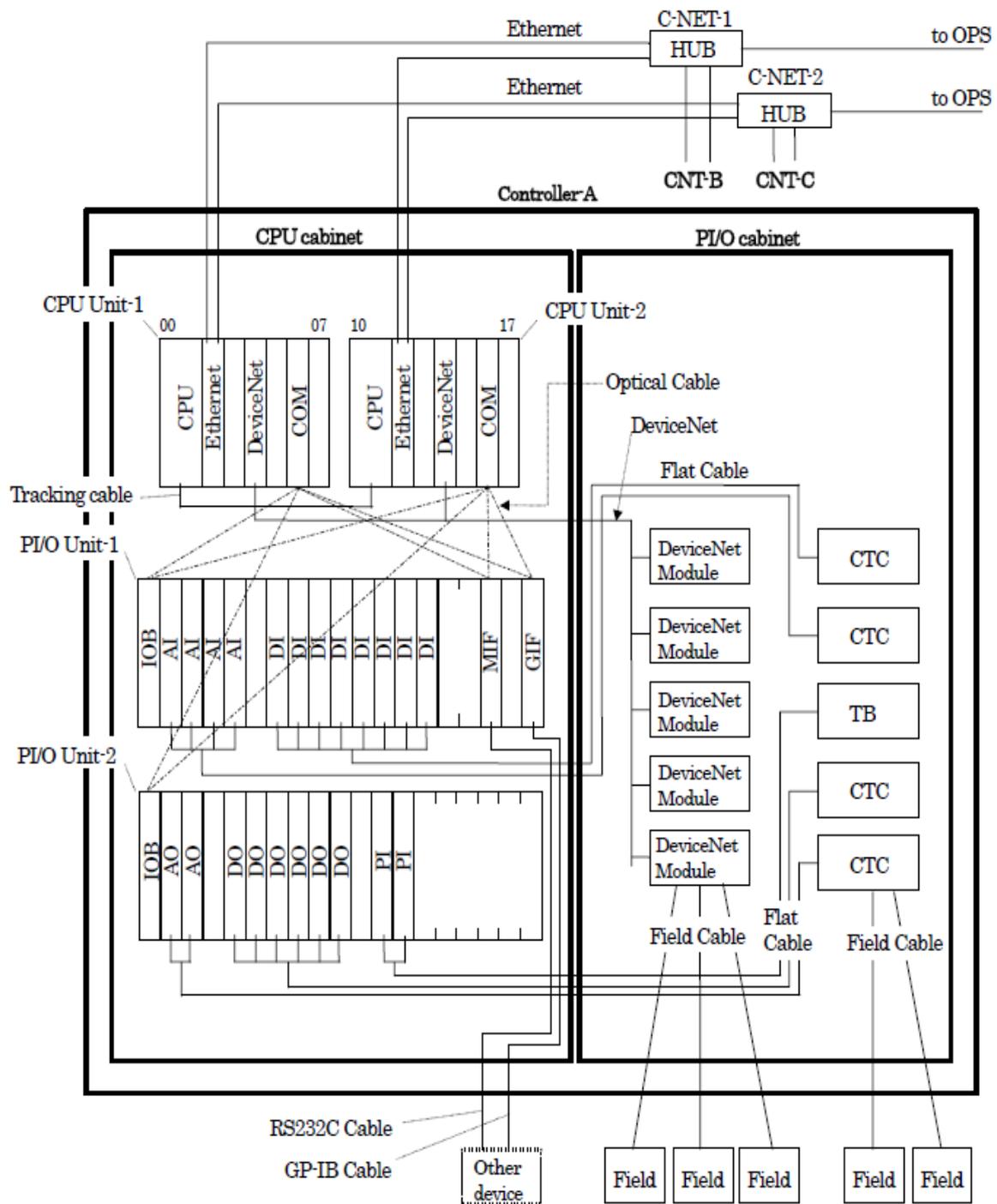


圖 3.11：System Controller 信號連接簡圖

System Controller 除了 CPU 模組外，還有各種型式的通信模組來與外界設備通信連接：

1. 透過 Ethernet 模組 (ETMW01G001) 與 C-NET 連接。
2. 透過 DeviceNet 模組 (LBIW01G001) 模組與 DeviceNet 設備

(外界的溫度信號，透過 DeviceNet 輸入) 連接；

3. System Controller 上各有 3 片 COM 模組 (COMW01G001)。

其中 1 片分別與三組 Master Controller 連接 (請參考圖 3.14)。

另 1 片 COM 模組與 PI/O UNIT 上的 I/O Buffer Board 模組 (IOBW01G001) 連接，以得到 PI/O 的輸入信號或送信號到 PI/O 的輸出模組。

最後 1 片 COM 模組連接到 PI/O UNIT 上的 MIF (Modem Interface Board) 模組 (MIFW01G001) 上，再透過 MIF 模組連接到 DCDAS 系統與 DCDAS 交換運轉資料。

(二)、主控制器 (Master Controller)

D-EHC 的 Master Controller 為 TOSMAP-GS 的技術。架構上可以依照客戶的需求而採用單一、雙冗餘或是三重冗餘配置；中九、十機的配置採用三重冗餘架構，其架構簡圖如圖 3.12 所示。

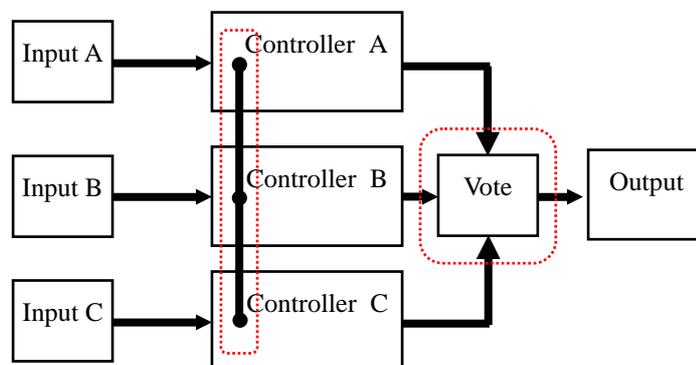


圖 3.12：Master Controller 的三重冗餘架構簡圖

Master Controller A、B、C 分別裝置在 D-EHC 的第 1~3 個卡片櫃內，擔負汽輪機的速度控制、負載控制、初始壓力控制、進汽閥閥位控制等主要控制項目。每個 Master Controller 都擁有自己的 I/O 模組。不管是數位或類比的 I/O 模組都是通用型的 I/O，以不同型式的接線端子板做為外界信號與 I/O 模組之間的信號轉換。除此之外還有作為速度信號輸入的 DIFS03G001，作為 PLU (Power Load Unbalance) 偵測的 DPLU016G004 模組，以及控制閥位的 Valve Interface 模組 (DVPC04G007)。

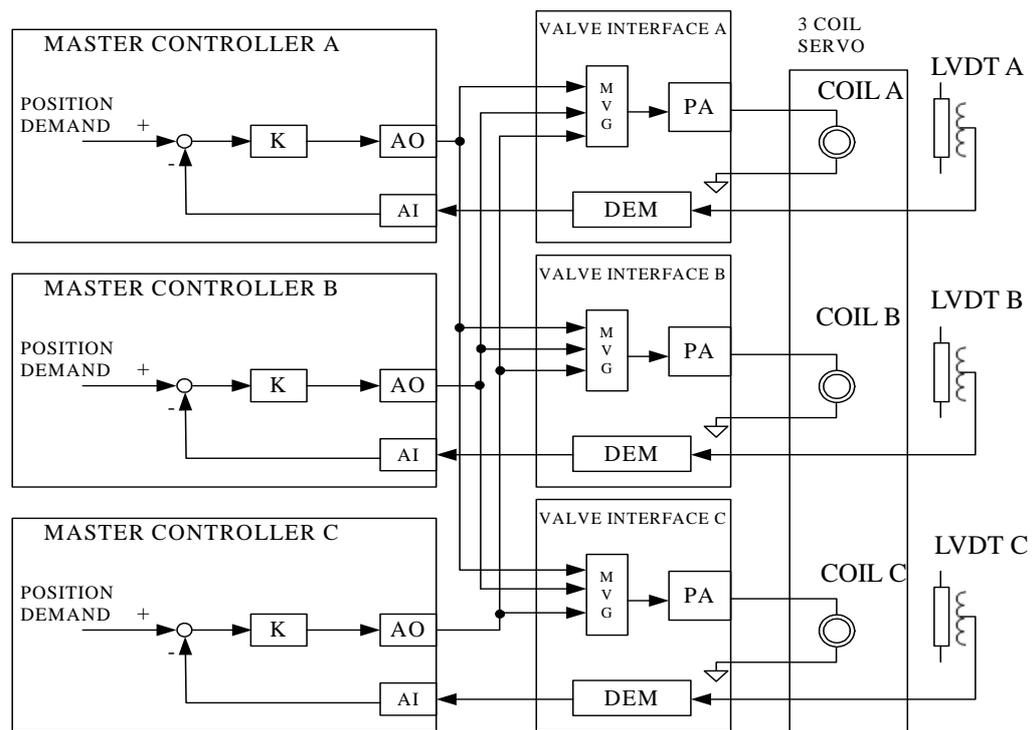
與 GE 公司的 MARK 系列控制系統不同，D-EHC 控制系統幾乎沒有特殊用途的 I/O 模組。因為有 System Controller 來分散工作，因此 Master Controller 的 CPU 可以用較快的速度運作，將所有的計算邏輯功能都以軟體方式來實現。

Master Controller 所採用的三重冗餘架構 (Triple modular redundancy; TMR) 是一種常見的容錯系統型式。以三個獨立系統處理同一個程序。各自讀取對應的輸入模組信號，三個 CPU 模組同步且透過資料匯流排相互溝通，各自執行邏輯運算後，將結果送到對應的輸出模組，經過三個輸出端進行投票(VOTE)選擇。重複配置的目的是為了增加系統的可靠度。

如果是數位信號，會被送到 TLC 的 Logic Control 模組 (FPL01G001) 作 3 選 2 邏輯選擇；類比的閥位信號則是送到

Valve Interface 模組 (DVCP04G007) 作選中值邏輯，再輸出到對應的控制閥伺服閥線圈。如此方式，可以提升控制系統的可靠性，不會因為單一元件的故障就造成機組的運轉危險，Master Controller 與 Valve Interface 的連接方式，如圖 3.13 所示。

如果是 MSV(L)、RSV(L)、RSV(R)等全開/全關控制的閥體，則僅有開度信號送到 DVCP04G007 模組之後再分別送到三組 Master Controller 的類比輸入模組。D-EHC 系統將此類的 DVCP04G007 模組稱之為 Common Interface 以與上述的 Valve Interface 做區分。



說明：MVG: Medium Valve Gate DEM: Demoulator
PA: Power Amplifier

圖 3.13：D-EHC 伺服閥控制方塊圖

其它不是閥位信號的類比輸出信號則是送到 DVP05G001 類比輸出模組作選中值邏輯後再輸出到外界設備。

(三)、跳脫邏輯控制器 (Trip Logic Controller; TLC)

TLC 與 System Controller 相同，都是屬於較早期的 TOSMAP-GS/R300XP 產品，CPU 模組都是採用 DDCP03G011 模組 (DDCP03G011 內建 2 只 32 位元微處理器)。

TLC 負責執行汽機的各项跳脫保護邏輯，與 Master Controller 以光纖的 SYSTEM BUS 連接，進行信號聯繫，於跳機時通知 System Controller 執行各項關閉進汽閥的動作，將汽機安全地帶到停機狀態。

TLC 的 CPU 模組除了負責後備超速跳脫 (111.5%) 信號偵測外，僅負責與其它控制器通信。真正負責跳脫邏輯執行的是 Logic Control 模組 (FPL01G001)，FPL01G001 模組以現場可程式規劃邏輯陣列 (Field-Programmable Gate Arrays; FPGA) 為核心，實現 3 選 2 跳脫邏輯的執行。可以透過修改 FPGA 的規劃來改變跳脫邏輯。

如圖 3.14 所示，Master Controller 與 TLC 的 CPU 模組具有通信埠，配合控制器上的 COM85 通信模組與 System Controller 上的 COMW01G01 模組連接，構成 SYSTEM BUS，為控制器之

間傳遞資料的匯流排。SYSTEM BUS 架構為冗餘配置，通信實體採用光纖，RS-232 介面，以 12.5 Mbps 的速度通信。

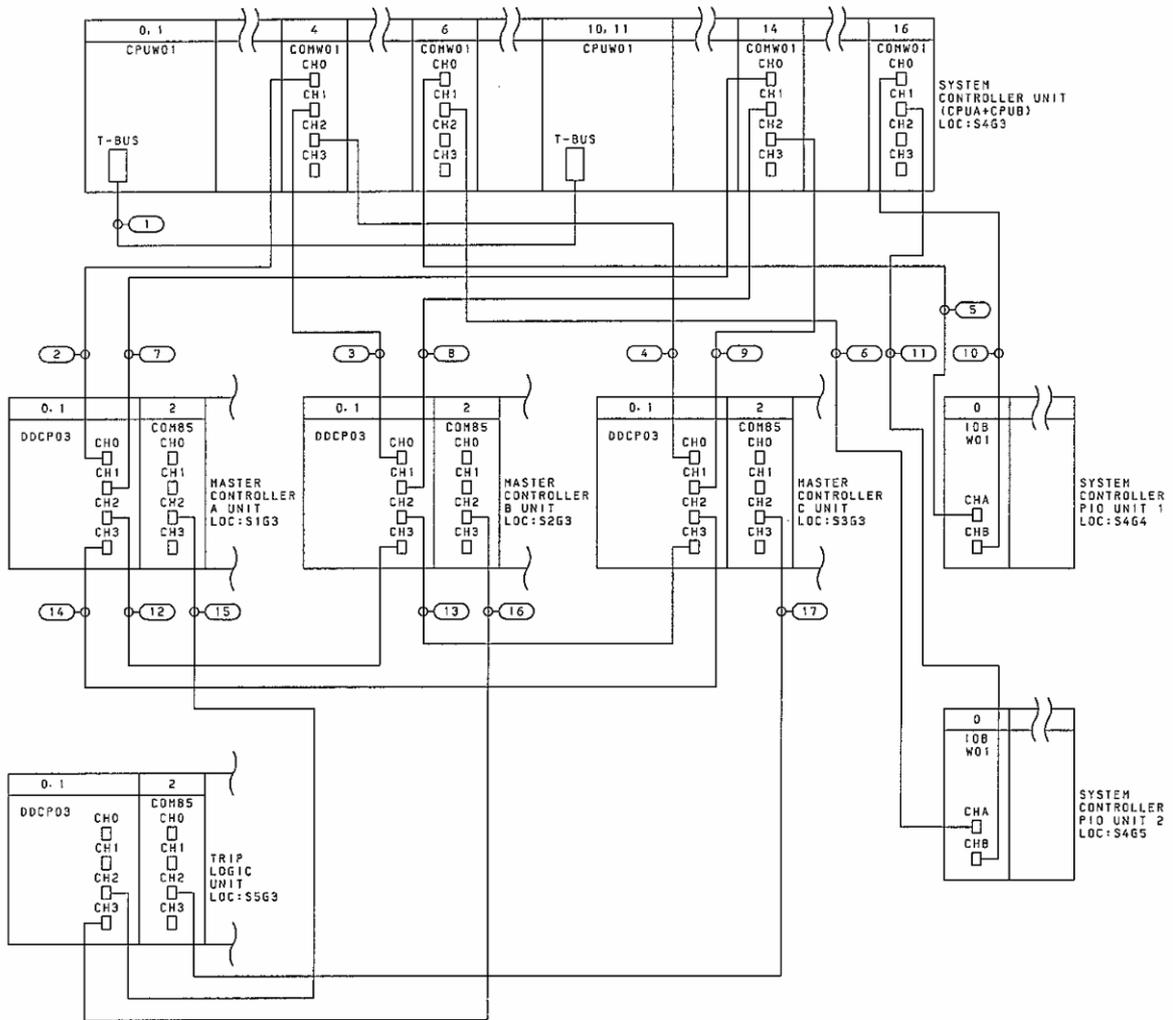


圖 3.14 : D-EHC SYSTEM BUS 架構簡圖

三、汽機監視系統 (Turbine Supervisory Instrumentation; TSI)

TSI 採用日本新川 (SHINKAWA) 公司的產品，雖然與本公司多數電廠使用的美國 BENTLY NEVADA 3300/3500 系列產品不同，但是功能卻幾乎完全相同。

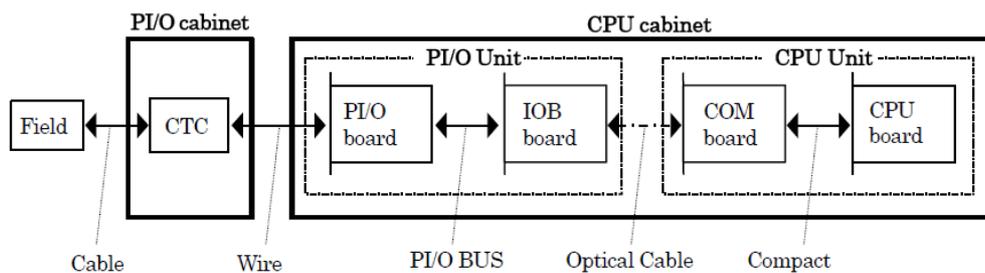
TSI 裝置於 D-EHC 控制系統第 5 個卡片櫃，負責監視汽機

的軸承振動、軸偏心、軸位移、高/低壓差膨脹、零速等汽機運轉狀態。與 GE MARK V/VI 不同，D-EHC 直接接受 TSI 輸出的 4~20 mA 信號到 Master Controller 來做控制處理，而不是使用專用卡片接受現場由 Proximitor 傳來的振動信號。

TSI 的跳脫信號則是送到 TLC 的 FPL01G001 模組，進行跳脫邏輯運算。

四、程序 I/O 單元 (Process I/O UNIT; PI/O)

D-EHC 的 System Controller 沒有本身的 I/O 模組，必須透過通信網路連接共用的 I/O 模組，稱之為 PI/O。PI/O 模組在設計上都是通用型的輸出/數入信號模組，藉由不同的接線端子板 (CTC) 做信號轉換以與外界的設備相容。信號傳遞的示意圖如圖 3.15 所示。



| I/O 模組 | 信號格式 |
|----------------|-----------|
| DI(DICW01G001) | 乾接點 |
| DO(DOCW01G001) | 24 Vdc |
| AI(AICW01G001) | 1 ~ 5 Vdc |
| AO(AOCW01G001) | 4 ~ 20 mA |

圖 3.15：PI/O 信號傳遞簡圖

3.4 中九、十機汽機控制系統可靠性分析

一個控制系統在設計時就必須考慮到可靠性的設計原則以提高其可靠性。日本橫河（YOGOKAWA）公司曾提出利用冗餘設計可以使系統的每一個元件在發生故障時自動切換，不受故障影響，以及不易故障、發生故障時容易檢修等可靠性設計準則。以下對 D-EHC 控制系統各元件的冗餘配置情形討論如下：

一、控制器：

1. System Controller：控制器採 Redundant（雙重 CPU）配置，共用單一組 PI/O。
2. Master Controller：Triple CPU+I/O 以中值閘（MVG）或 3 選 2 邏輯輸出的 TMR 架構。
3. TLC：單一 CPU，三組 Logic Control 模組與 Redundant sensors。

就控制器而言，System Controller 與 Master Controller 都具有冗餘架構，TLC 雖然僅單一 CPU，但是若發生故障時除後備超速跳脫（111.5%）功能失效外，並不會影響到機組的正常運轉。

二、電源：如圖 3.16 所示，系統中的各個元件電源都有依照冗餘原則設計，電源端來自 AC 與 DC 雙電源。電壓輸出模組有經過高值閘並聯，提高電源可靠性。

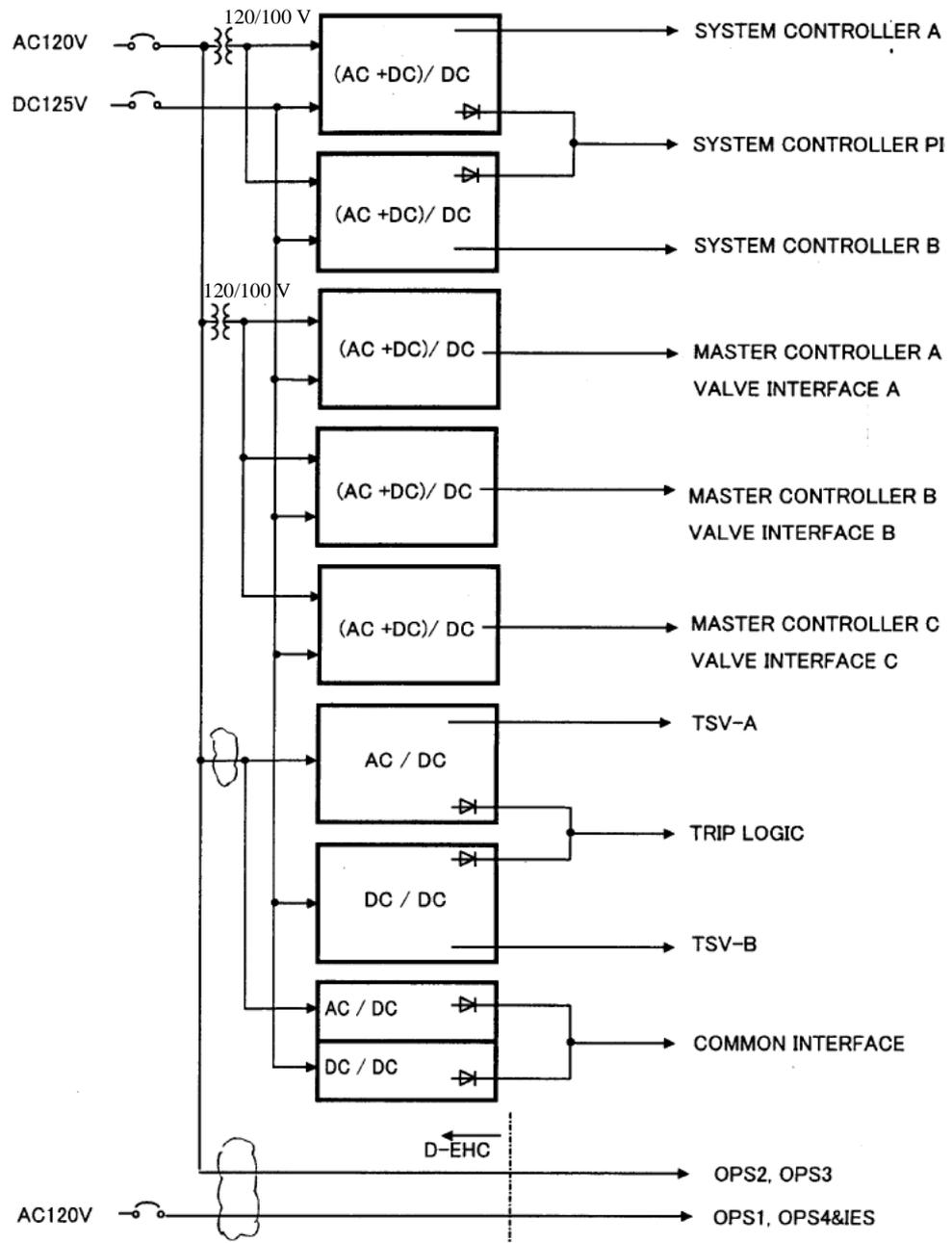


圖 3.16：D-EHC 電源配置

三、偵測器 (SENSORS)：各種型式的偵測器配置原則是如果控制

用的偵測器即以冗餘配置，情形如下：

1. 速度偵測器：三重式（3 支供控制使用，3 支供保護使用）

2. 壓力偵測器：三重式（但是第一段蒸汽壓力與再熱蒸汽壓力為單一配置）
3. 熱電偶溫度偵測器：除了排氣殼溫度偵測器採三重式配置外，其餘為單一配置。
4. 閥位偵測器：除了全開/全關控制的閥體採單一配置外，其餘控制閥採三重式配置。

四、驅動器（ACTUATORS）：

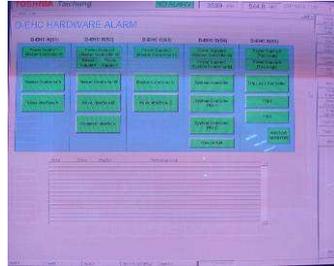
1. 蒸汽進器控制伺服閥，如 MSV(R)、CV 1 ~4、IV(R)、IV(L)等採三重式配置。
- 2..跳脫電磁閥（Trip Solenoid Valve; TSV）採雙重式配置。

五、HMI 及網路：C-NET 為冗餘配置，HMI 則為 2 台 OPS、1 台 SVS 的平行配置。I-NET 則是單一方式配置。

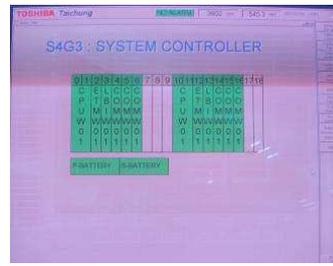
除此之外，D-EHC 控制系統卡片的 IC 元件多採用表面黏著（SMT）技術，減少插槽（SOCKET）的使用，也可以避免元件因為積垢或是插槽接腳鬆動造成系統的誤動作。

中九、十機的 HMI 上建構有警報訊息及 Error Log 作為維護用。並且還提供 D-EHC Hardware Alarm 畫面，顯示 D-EHC 卡片的健康狀態，可以由此迅速獲知故障點。除此之外，也可以利用 IES 或維護

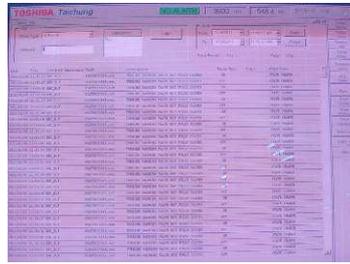
用筆電（Portable Logic Tool）與 System Controller、Master Controller 連線，讀取控制器 CPU 模組內部存放的 Error Logging 故障訊息，如此可以有效地縮短檢修時間。



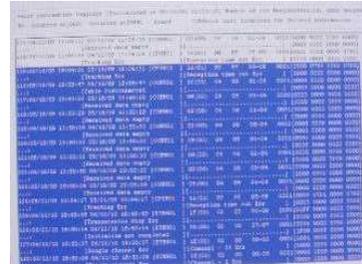
D-EHC HARDWARE ALARM 畫面-1



D-EHC HARDWARE ALARM 畫面-2



D-EHC Error Log 畫面



System Controller CPU 內部記憶的 Error logging

圖 3.17：D-EHC 的各種診斷畫面

3.5 中九、十機 D-EHC 控制系統功能簡介

D-EHC 主要功能如表 3.4 所示，D-EHC 的功能有一部分為選配方式，表中紅色虛線的範圍為本廠未選購者。

D-EHC 依照功能性質整合，將相關的功能放置在 HMI 的同一畫面上顯示，方便運轉、維護人員了解系統狀態，如圖 3.18 所示為其中的一個控制畫面。

表 3.4：中九、十機 D-EHC 控制系統功能表

| Standard Functions | Optional Functions |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> TURBINE SPEED CONTROL | <input type="checkbox"/> INITIAL PRESSURE REGULATION (IPR) |
| <input type="checkbox"/> LOAD CONTROL | <input type="checkbox"/> POWER LOAD UNBALANCE (PLU) |
| <input type="checkbox"/> LOAD LIMITING | <input type="checkbox"/> EARLY VALVE ACTION (EVA) |
| <input type="checkbox"/> LINE SPEED MATCHING (LSM) | <input type="checkbox"/> LOAD LIMIT/REFERENCE FOLLOWER (FLR) |
| <input type="checkbox"/> FA/PA VALVE TRANSFER | <input type="checkbox"/> VACUUM UNLOADER (VUL) |
| <input type="checkbox"/> CV CHEST WARMING | <input type="checkbox"/> AUTOMATIC FREQUENCY CONTROL (AFC) |
| <input type="checkbox"/> AUTOMATIC TURBINE START-UP | <input type="checkbox"/> AUTOMATIC LOAD REGULATOR (ALR) |
| <input type="checkbox"/> THERMAL STRESS CALCULATION | <input type="checkbox"/> TURBINE BYPASS VALVE CONTROL |
| <input type="checkbox"/> TURBINE TRIP | |
| <input type="checkbox"/> TEST -TURBINE VALVES | |
| <input type="checkbox"/> TURBINE OVERSPEED | |
| <input type="checkbox"/> BACK-UP OVERSPEED GOVERNOR | |

說明：紅色虛線範圍為本廠未選配者

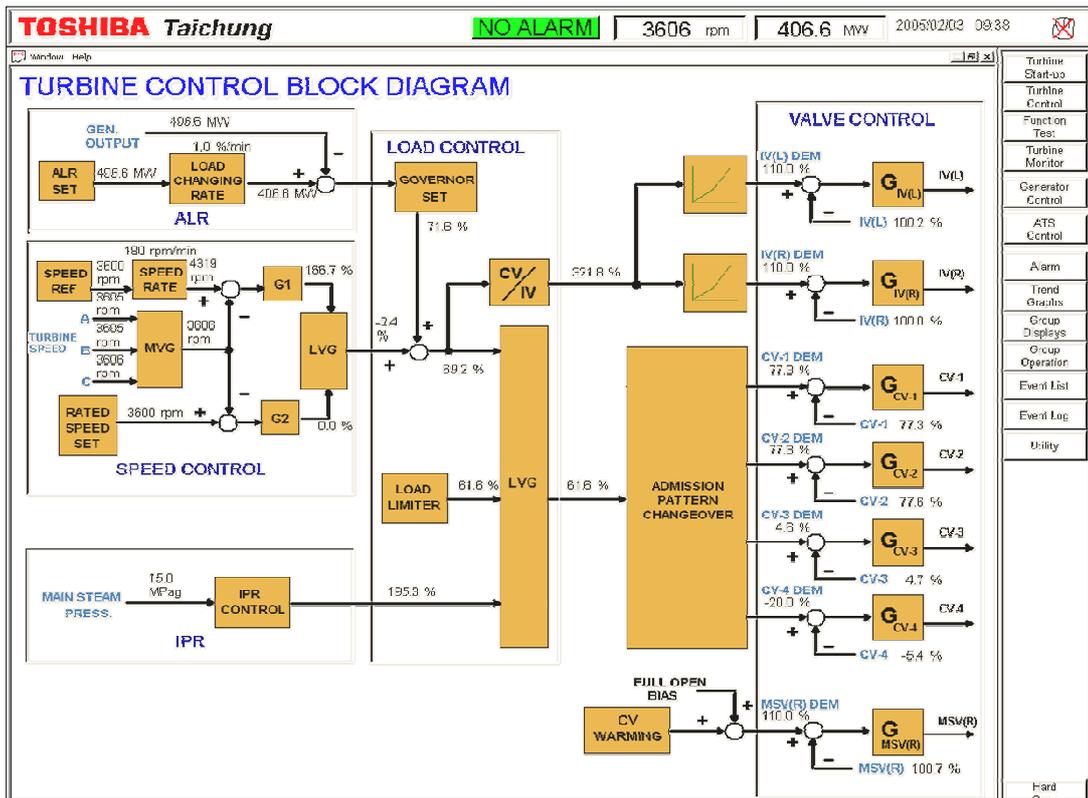


圖 3.18：控制方塊畫面

3.6 問題討論

本次前往東芝公司實習，除了研習東芝公司 TOSMAP-DS/D-EHC 汽機控制系統技術外，也收集本廠中九、十機運轉迄今所遭遇到的問題及本廠的改善方法與東芝公司人員討論。如：DeviceNet 溫度偵測模組因為溫度補償線設計及施工錯誤造成量測誤差、控制閥開度回授信號因 LVDT 固定件設計不良，造成的開度信號晃動……等問題的回饋，本廠的改善方法也獲得東芝公司的肯定。

除此之外，還曾請教東芝公司對於中九、十號機控制系統在運轉維護上的建議，整理如下列兩點：

一、問題一：

| 問題內容 | 東芝回答 |
|---|--|
| 台中 #9、#10 機目前使用的 D-EHC 控制系統： (1).東芝公司對於 D-EHC 控制系統是否有更新或是停產的計畫？備品供應情形如何？ (2).其它電廠使用的 D-EHC 控制系統是否發生過問題，本廠是否需要做因應的改善？ (3).D-EHC 備品供應情形如何？ | (1).我們正在擬議 EHC 的升級 (upgrade/ Migration) 計畫。並將提出改善建議。 (2).從未曾發生過。 (3).東芝公司保證裝機後 10 年內供應備品，之後 5 年負責維修，但是有部份卡片已將停產，可以用新的相容卡片取代。 |

問題分析：

(1).東芝建議 D-EHC 與 AVR 應在 5 年完成升級更新，理由如下：

a. 通信卡片內嵌 Microsoft WIN2000 的通訊軟件，依照 Microsoft

對其產品的保證僅到 2010 年，如果升級到 XP 雖然可暫時度

過，但是不久（2014 年）又將遭遇同樣問題；因此建議直接將控制系統升級到新開發出的 TOSMAP-DS/ev 控制系統。

b. Master Controller 卡片模組已有停產計畫，但時間仍未定。

c. 新的版本為 TOSMAP-DS/ev D-EHC 及 AQR

(2). 從東芝公司提供的 D-EHC 備品報價單進行分析，可以得知：

| 項目 | 說 明 | 安裝時型號 | 新的型號 | 報價 |
|----|--|-------------|-------------|----|
| 1 | CENTRAL PROCESSING PCB | CPUW01G001 | CPUW01G021 | |
| 2 | NETWORK COMMUNICATION CONTROL PCB | ETMW01G001 | ETMW01G021 | |
| 3 | DEVICE NET INTERFAVE PCB | LBIW01G001 | LBIW01G021 | |
| 4 | SYSTEM BUS CONTROL PCB | COMW01G001 | COMW01G021 | |
| 5 | ANALOG INPUT PCB | AICW01G001 | AICW01G022 | |
| 6 | ANALOG OUTPUT PCB | AOCW01G001 | AOCW01G022 | |
| 7 | PROCESS I/O CONTROL BUFFER PCB | IOWW01G001 | IOWW01G021 | |
| 8 | DIGITAL INPUT PCB | DICW01G001 | DICW01G021 | |
| 9 | DIGITAL OUTPUT PCB | DOCW01G001 | DOCW01G021 | |
| 10 | MODBUS INTERFACE PCB | MIFW01G001 | MIFW01G021 | |
| 11 | ANALOG OUTPUT PCB | AOC12G0006 | AOC12G0006 | |
| 12 | DIGITAL INPUT PCB | DIC10G011 | DIC10G011 | |
| 13 | DIGITAL OUTPUT PCB | DOS10G021 | DOS10G021 | |
| 14 | SYSTEM BUS CONTROL PCB | COM85G003 | COM85G003 | |
| 15 | LOGIC CONTROL PCB | FPLP01G0001 | FPLP01G0001 | |
| 16 | CENTRAL PROCESSING PCB | DDCP03G011 | DDCP03G011 | |
| 17 | ANALOG INPUT PCB | DAII02G008 | DAII02G008 | |
| 18 | FREQUENCY TO DIGITAL CONVERTER PCB | DIFS03G001 | DIFS03G011 | |
| 19 | VALVE INTERFACE PCB | DVPC04G007 | DVPC12G007 | |
| 20 | ANALOG OUTPUT WITH MIDDLE VALUE GATE PCB | DVPC05G001 | DVPC05G001 | |
| 21 | POWER LOAD UNBALANCE PCB | DPLU01G004 | DPLU01G004 | |

1. 項目 1 ~10 項，System Controller 的備品都有經過改版，顯示

TOSMAP-DS 為發展中的產品，所以仍有人在負責研發。

- 2.項目 1，2 因為有關 C-NET 通信，所以更換時必須將 System Controller A 及 B 的 CPU 及 ETM 模組，共 4 片模組同時更換。
- 3.項目 11~21 項，Master Controller 系統的備品大多維持裝機時的版本，顯示 TOSMAP-GS 為已經是發展成熟的產品，所以產品線已無人負責研發。
- 4.項目 14，COM85 通信模組，東芝公司表示已經停產，也無備品可以供貨，但是仍可以提供維修服務。
- 5.TOSHIBA 表示控制卡片的壽命約為 15 年。

結論：

- 1.判斷即使不更新 Windows 2000 相關的通信軟體，也不至於對控制系統造成危險。
- 2.中九、十機控制系統雖然裝機至今才約 9 年，但是 D-EHC 控制系統中，因為有使用到較早期的 TOSMAP-GS 產品，所以有關 Master Controller 及 TLC 的備品，可以預期售價會提高或是因停產而無法購得。
- 3.當務之急需要先行採購足夠的備品；平日需要注意電子室溫、溼度的控制，以延長控制系統的使用壽命。

二、問題二：

| 問題內容 | 東芝回答 |
|--------------------------------------|---|
| D-EHC 控制系統的電源模組其產品生命週期如何，平日該如何維護/檢測？ | (1).建議每5年更換電源模組內的電解質電容，最好是更換整個電源供應模組。 (2).建議平日依表 3.5 檢測。 |

表 3.5：東芝建議的電源模組檢查表

| Check item | Check for | Check method | Citation |
|--------------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| Power unit | Abnormal sound | Check | No abnormal sound |
| Power unit | Lamp operation | Visual check | Must be normal |
| Power unit | Input voltage | Measure with a digital voltmeter | Must be within the power unit specification |
| Power output | Output voltage | Measure with a digital voltmeter | Unit case terminals must have +5.1V and +15.05V |
| Power output | Measure output ripple | Measure with a digital synchroscope | Must be less than or equal to 60mV P-P ($\pm 15V$) 100mV P-P (+5V, 24V) 280mV P-P (+28V) 480mV P-P (+48V) |
| Power output | Test duplex System | Check the operation | Normal operation |

問題分析：

- 1.本組於實施 D-EHC 設備巡檢時均有將電源模組列入巡視重點執行，但是顧慮機組運轉安全，並沒有使用電表或示波器量測。
- 2.於大修時，本組均有使用電子負載加載測試，並測量電壓品質。也有實施電源負載複聯切換測試，確保設備能正常運行。
- 3.檢查電源模組，於電路板上均有濾波、穩壓用的電解質電容器。依照 TOSHIBA 維護手冊 6F6S0016 建議 5~7 年（依照室溫而定）更換電解質電容。

結論：

- 1.檢查電源模組電路板上的電解質電容，均屬工業級電容，而且控制系統裝置在電子室的溫度維持在 25°C 以下，預估電容器的壽命應可達 10 年以上。
- 2..擬先採購電解質電容備品於 D-EHC 模擬盤上試用，若使用情形良好，計劃利用機組大修期間實施電解質電容更換及測試。

肆、實習感想

- 一、日本對事情的處理態度讓人敬佩：本次赴日實習，深深感受到日本對人的用心及對事物的細心。在安排參觀工廠前，事先就規劃好停留的時間、路線與接待人員，一到參訪地點就有專人負責接待解說，並且於現場的液晶螢幕上都會先打出參訪者的姓名及公司、職稱等資料，對於提出的問題也都有問必答，讓人印象深刻、深受感動。
- 二、東芝公司的工廠內力行 5S 現場管理，工作環境相當整齊，不僅可以增加工作效率也可以減少工安事故發生的可能。
- 三、語言能力對專業技術的提升相當重要：此次參訪雖然可以用英語和東芝公司人員溝通，但是雙方使用彼此並不熟捻的語言來做為溝通工具，總是有隔閡不便的地方。感受到除了英語外，日語也必須加強練習，平日多聽、多講，有助於本身專業技術的提升。

伍、建議事項

一、本廠應事先作好中九、十機 D-EHC 控制系統升級的準備：

中九、十機 D-EHC 控制系統自裝機迄今已運轉約 9 年，以 15 年的控制系統使用週期來說，電路板各元件功能已經進入產品的衰退期，東芝對於 TOSMAP-DS 產品也已經有停產、升級的計畫。

本廠除了必須預先精確估算所需的備品數量，購置充足的備品外，更應落實控制系統的巡檢與維護工作，除了平日維持控制室的溫、溼度，大修期間更要落實對卡片的檢測工作，掌握控制系統的 Condition，以延長控制系統的生命週期。

同時需要留意東芝公司控制系統的發展情形，審慎評估控制系統更新的時機，避免造成投資浪費或是錯失系統更新時機而增加機組運轉的風險。

二、新設電廠於裝機後，廠商須提供日後技術聯繫窗口平台：

由於資訊的發達，以 e-mail 通訊相當方便迅速，往日要與東芝、GE 等廠商聯繫都要透過台灣分公司，不僅曠日費時且答案經常答非所問。建議能於合約中規範廠商需指定專屬部門作為日後的技術諮詢管道。

控制系統廠商日後發行的技術資訊文件（Technical Information Letters; TILS）以及產品的汰舊、更新訊息都必須通知電廠，以掌握維修技術資訊，並確保備品之充足。

三、新建電廠的控制系統及人機介面應盡量統一：

整個電廠控制系統的單一化可以減少維護上的技術投資與人力配置，降低備品採購量，有效地降低營運成本。運轉人員面對統一的操作介面，也可以避免因不同的操作方式而造成的操作錯誤。

四、控制系統的電源模組規格應與電源一致，確保產品壽命：

如圖 3.16，D-EHC 控制系統的電源配置有增加 1 只變壓器，將電廠提供的 120 V UPS 電源轉換成電源模組額定的 100 V 輸入電壓，如此配置方式可以確保電源模組的電子零件使用壽命。

由於設備生產製造商所在的國家不同，設備規格也不盡相同，建議公司內的其它既有或新建的控制系統必須注意電源模組的電壓規格，如果與電廠提供的電壓不同時，可以考慮增加變壓器轉換。

五、建議公司的台電網路學院增加日語訓練教材：

日本的東芝、三菱、日立等公司都是電力設備業界裡的領導廠商，本公司各電廠已經建置有不少日系的發電設備，將來新裝置的機組也勢必會出現越來越多的日系設備與控制系統，為了提升同仁與日本技師的溝通、交流能力，建議公司能於台電網路學院中增加日語訓練課程以方便並且鼓勵同仁學習。

陸、致謝

本次出國實習任務，感謝廠長、鄭副座、經理以及課長等各級長官的栽培，才能有本次出國實習的機會。

從接獲公司核准到出國僅短短 2 週，時間相當匆促，感謝人資組同仁的幫忙協助才能順利完成相關公文的簽辦。最後還要感謝本課的所有同仁，於出國的期間分擔我的工作，讓我沒有後顧之憂。對此，本人表達最誠摯的謝意。

柒、參考資料

- [1] Hiroyuki Satio , Takeshi Dozono and Michihau Takashima, "Control System for Overseas Combined - Cycle Power Plants", Toshiba Review Vol.61 No.2 ,pp.48-51, 2006.
- [2] TOSHIBA, "INSTRUCTION MANUAL OF D-EHC [6F2K0257]", TOKYO: TOSHIBA ,2002.
- [3] TOSHIBA, "SYSTEM DESIGN DESCRIPTION FOR MAIN TURBINE D-EHC [5B2K0425]", TOKYO: TOSHIBA ,2000.
- [4] TOSHIBA, "ACS HARD MANUAL[6F6S015]", TOKYO: TOSHIBA ,1999.
- [5] 吳小郎,「汽輪機控制系統軟硬體設計、操作及設備維護訓練」,台北：行政院及所屬各機關出國報告， 2003。
- [6] 翁勝欣,「奇異汽力機組運轉維護條件及方法之比較應用」,台北：行政院及所屬各機關出國報告， 2004。