



龍門核電廠數位儀控安裝與測試現況

台灣電力公司龍門核能電廠

儀控組李家光經理

98 年 12 月 16 日



台灣電力公司

龍門核能電廠



主要項目		內容概要
土地面積		480公頃
裝置容量		135萬千瓦(兩部)
主要設備型式		進步型沸水式反應器(ABWR)
年平均使用燃料		81公噸
反應器製造廠		美國奇異公司(G.E.)
汽機製造廠		日本三菱公司(M.H.I.)
放射性廢料處理製造廠		日本日立公司(HITACHI)
預定商轉時間	一號機	100年底(呈報經濟部核准中)
	二號機	101年底(呈報經濟部核准中)

DCIS 架構

- 龍門計畫之儀控系統採用全數位整合分散式控制系統(DCIS)。
- 現場儀控訊號經由網路送達主控制室
- 主控制室控制指令經由網路送到現場儀控
- 主控制室將現場資訊及控制置於
 - 寬顯示盤(WDP)
 - 主控制台(MCC)
 - 主值台(SSC)



DCIS設計製造

- 以美國EPRI之ALWR Utility Requirement Documentation為設計基準
- 核能系統由GE設計，汽機發電機由三菱設計/製造，廢料處理系統由日立設計/製造，平衡系統(BOP)由SW設計
- 核能系統由GE設計，並負責系統整合
 - GE將設備製造分包給不同廠家
 - GE負責各廠家製造之設備之測試及整合
- 各主要廠家如下





龍門數位儀控系统主要的設計/製造廠家

USA

Japan

Spanish

German

Hitachi
Radwaste

獨立系統

MHI
T'B

①

GE
NSSS

設計Only

S&W / TPC*
BOP

②

設計Only

公司
區域

主要供應商↑

次要供應商↓

Hitachi
RC&IS

③

Invensys
MMI/BOP Control

④

DRS
ESF

⑤

NUMAC
RPS/NMS

⑥

Inabensa
MCR Panel

盤面設計

B&V
BONI

GEIS
SBPC/APR/RFC/FWC

⑦

Tecnatom
HFE

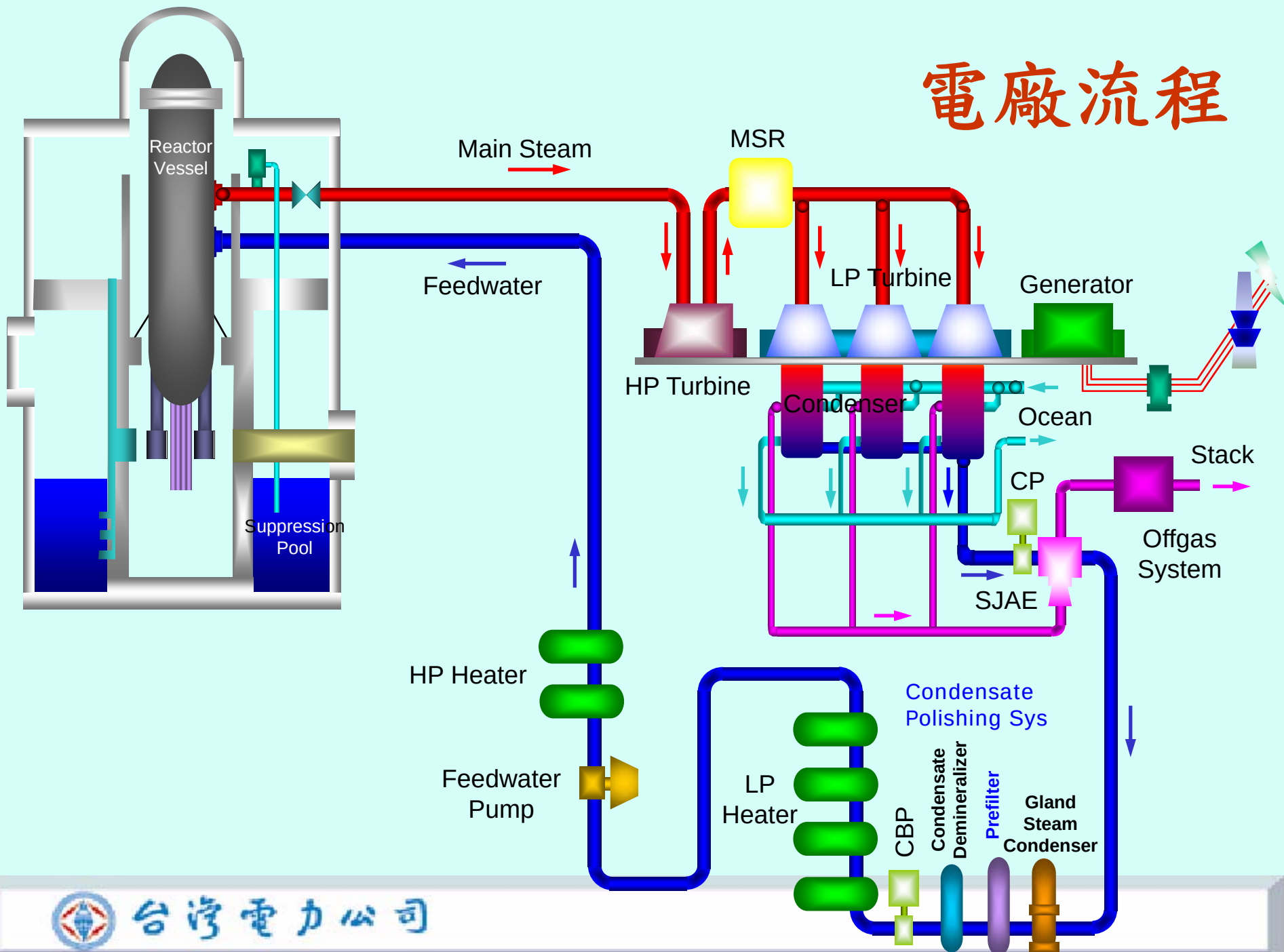
人因設計

* 2007年7月之後



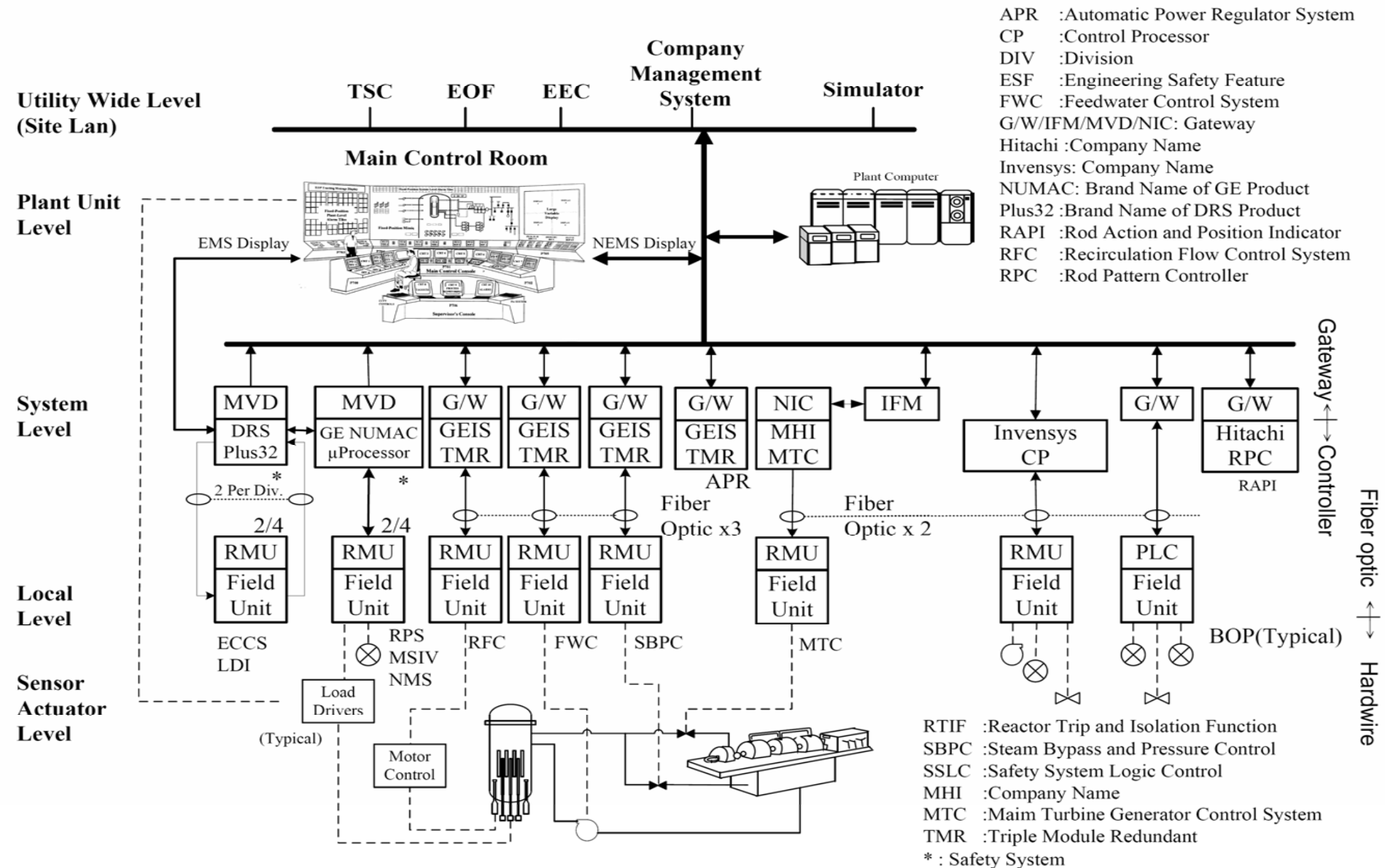
台灣電力公司

電廠流程

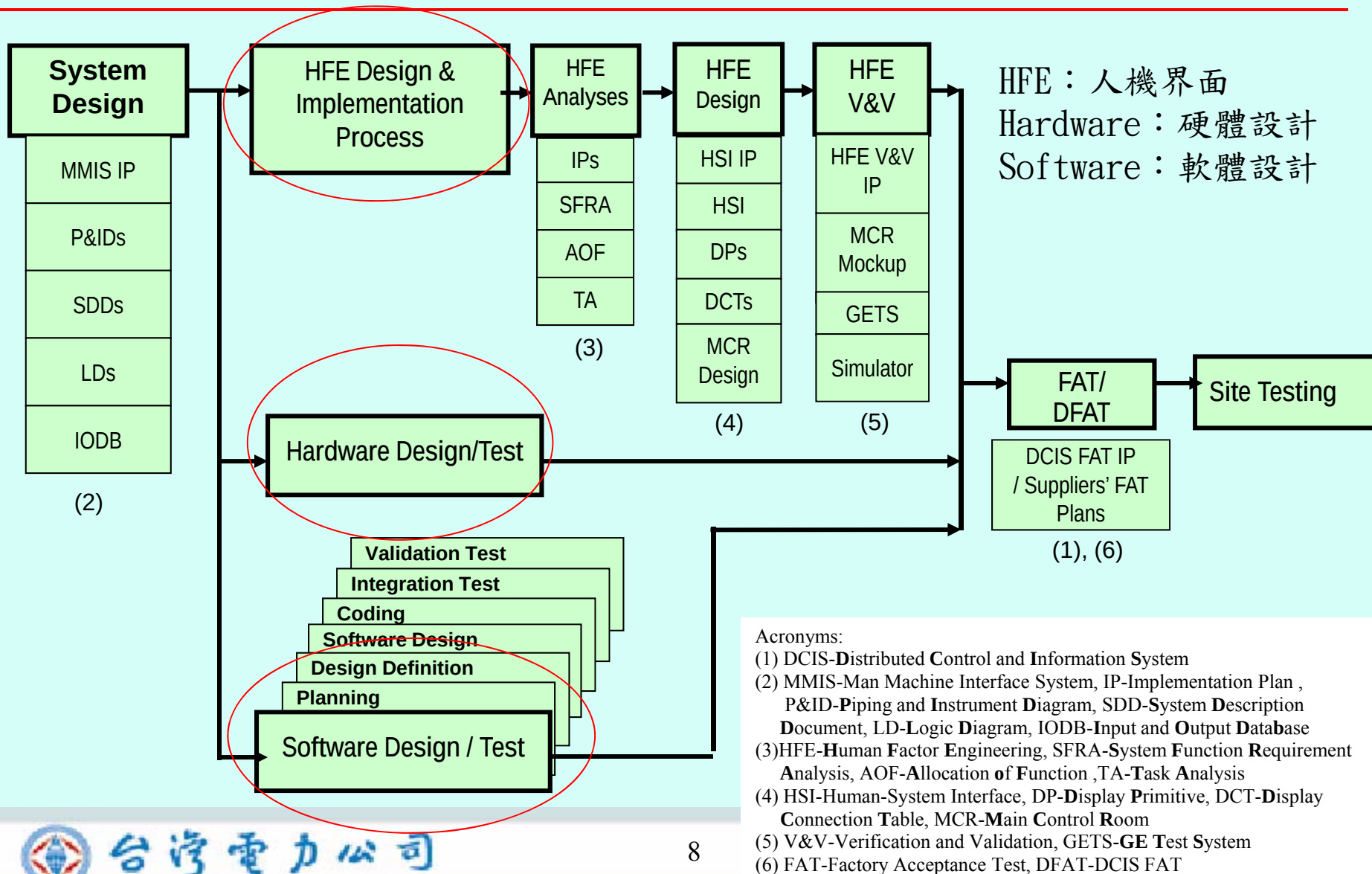


台灣電力公司

DCIS系統架構圖



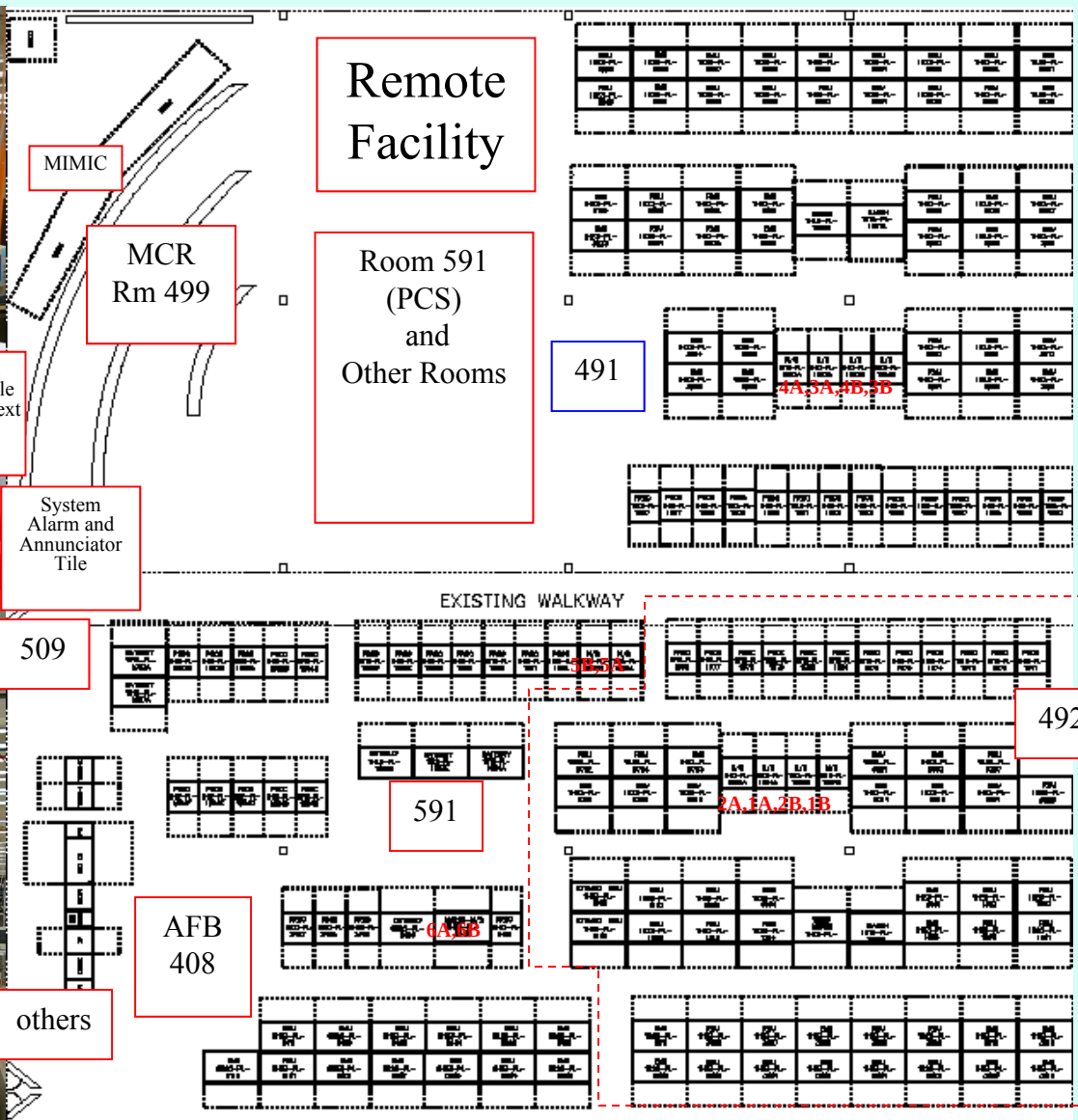
DCIS設計與建置流程



DCIS工廠接收測試- FAT

- FAT-Factory Acceptance Test,工廠接收測試
 - DCIS分由不同廠家製造
 - FAT是
 - 設備送至工地前發現設計錯誤之最後機會，
工地修改之花費約為工廠的10倍。
 - 也是台電工程師驗證系統功能的機會。
 - FAT採分區重疊方式進行
 - FAT約費時兩年



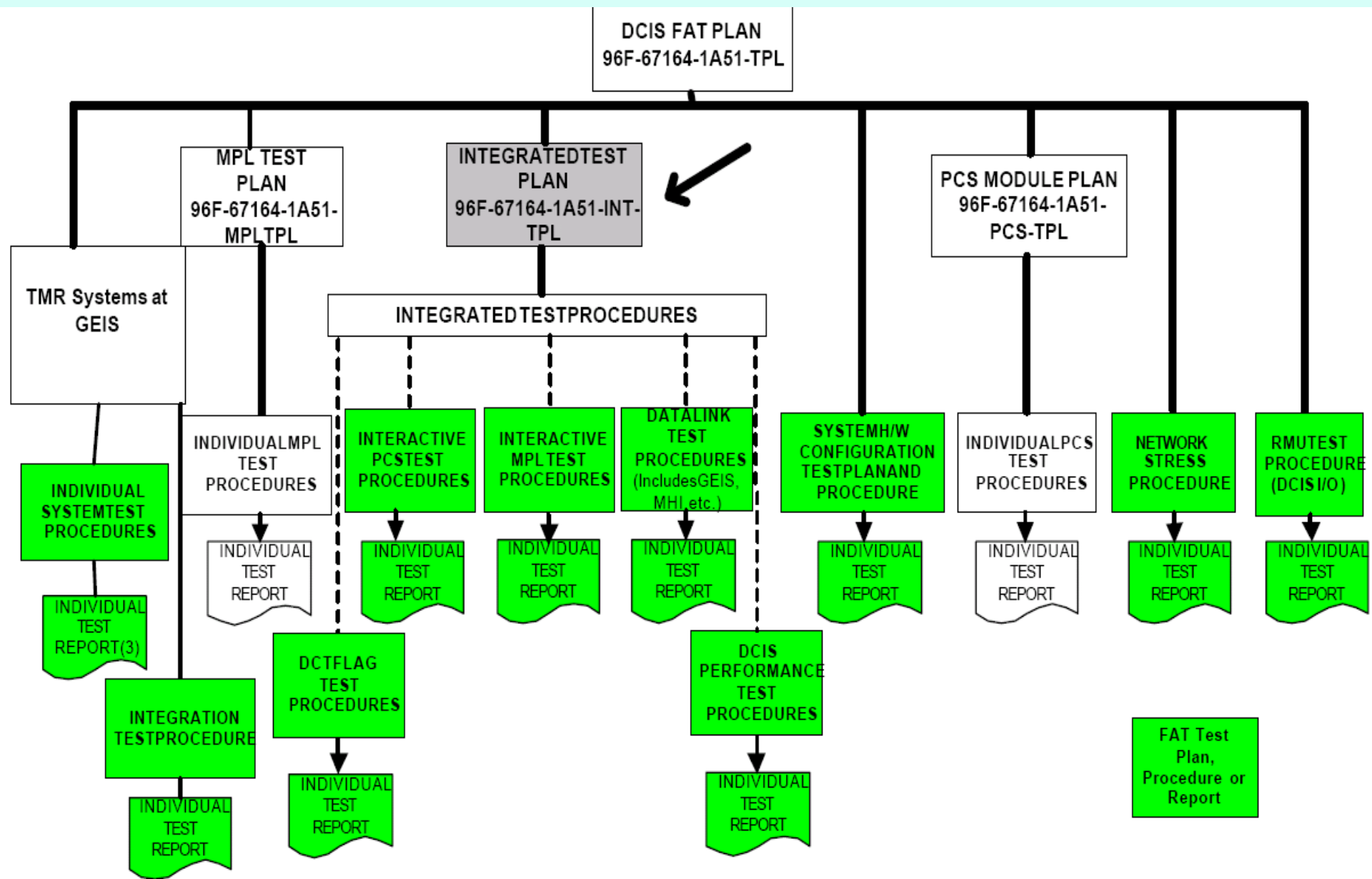


FAT需求與接收準則

- DCIS 系統實體檢查
 - ❖ 驗證輸出入設備已正確處理輸出入訊號
 - ❖ DCIS網路架構及負載能力驗證
 - ❖ 容錯設計(含網路與電源設計)之驗證
 - ❖ DCIS時間反應之驗證
 - ❖ 電磁干擾測試
- 電廠流程系統建置與系統整合測試
 - ❖ 電廠系統邏輯測試
 - ❖ 數位資料通訊介面(含Gateway)測試
 - ❖ 廠用電腦邏輯測試
 - ❖ 人機界面的測試
- 特定第三者系統介面測試
 - ❖ 驗證APR, FWC, RFC等三重控制系統介面功能

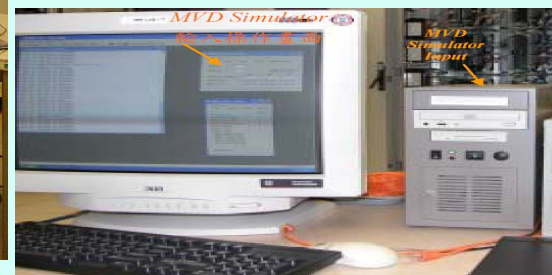


Invensys區塊的 測試計畫書與測試程序書



三重容錯控制系統測試

- 4個最重要的控制系統使用三重容錯控制(TMR):
 - FWC,SBPC,APR,RFC
- 軟體模組測試
 - 邏輯測試
 - 人機操作界面
- 廠家接收測試:
 - 硬體組態測試
 - 輸入及輸出測
 - 動態測試
- 整合測試
 - TMR系統+ Invensys人機界面
 - SBPC系統+ BPV閥
 - APR系統+ RCIS系統
 - 4個TMR系統+ PGCS系統



DCIS安裝與現場測試現況

- 一號機DCIS盤體設備已全部於2007年送抵工地，並安裝完成：
- 現場測試分為：施工後測試、試運轉測試與啟動測試
 - 現正持續現場儀控及接線並測試中
 - 預定今年12月完成先備系統之接線及施工後測試
 - 明年燃料裝填前，執行各系統試運轉測試
 - 明年燃料裝填後，執行各功率階段起動測試
 - 完成起動測試後，始得宣布商轉



DCIS設備安裝數量

控制盤:388

硬體IO:約41,000

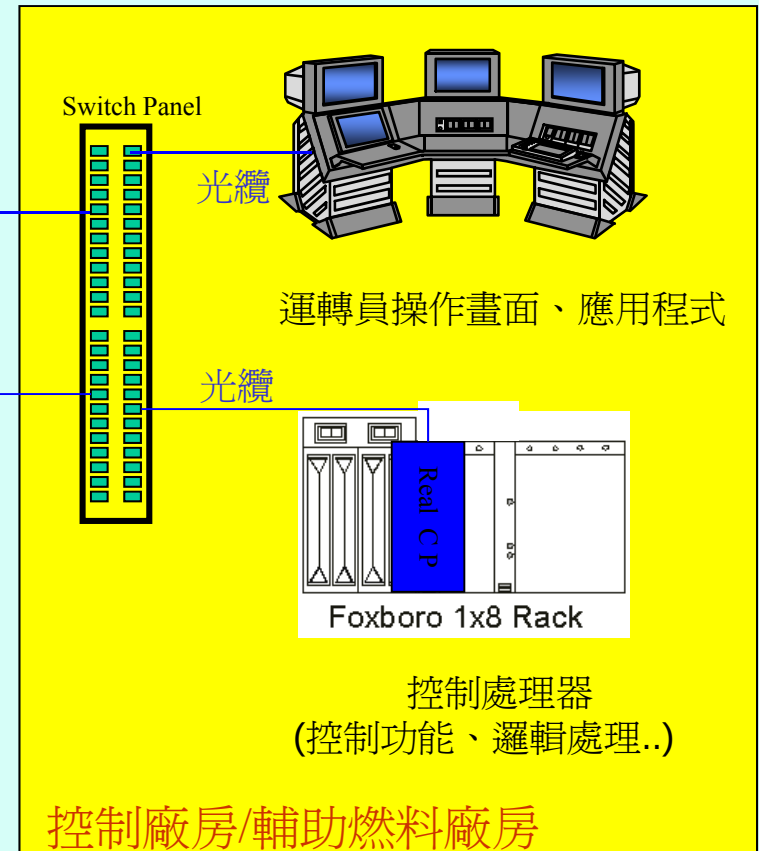
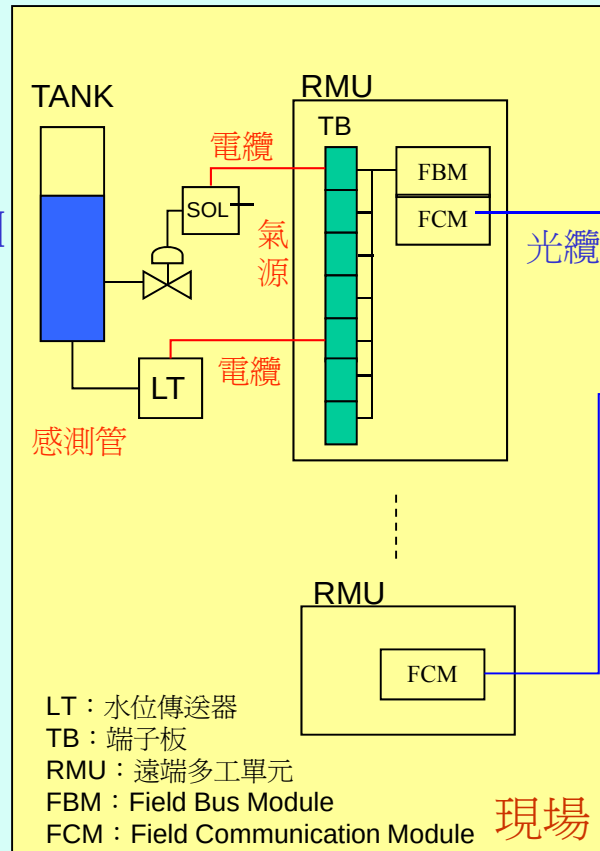
警報點:約23,000

光纜長度:約230,000M

光纖接頭:約23,000

感測器:約10,000

傳統電纜:約118萬米



標示	現場層部分	網路層	電源線、接地線
設備編號 電腦點	電纜、RMU盤面、端子板 接線箱、穿越器	光纜、控制處理器、 主機、畫面	所有盤面之接地線 及電源線

主控制室(499房間)



控制盤之內部



光纖接頭型式

主要採用美國康寧(Corning) UniCam接頭，完工品質較傳統現場研磨工法穩定優良，亦免除熔接工序。

工具包

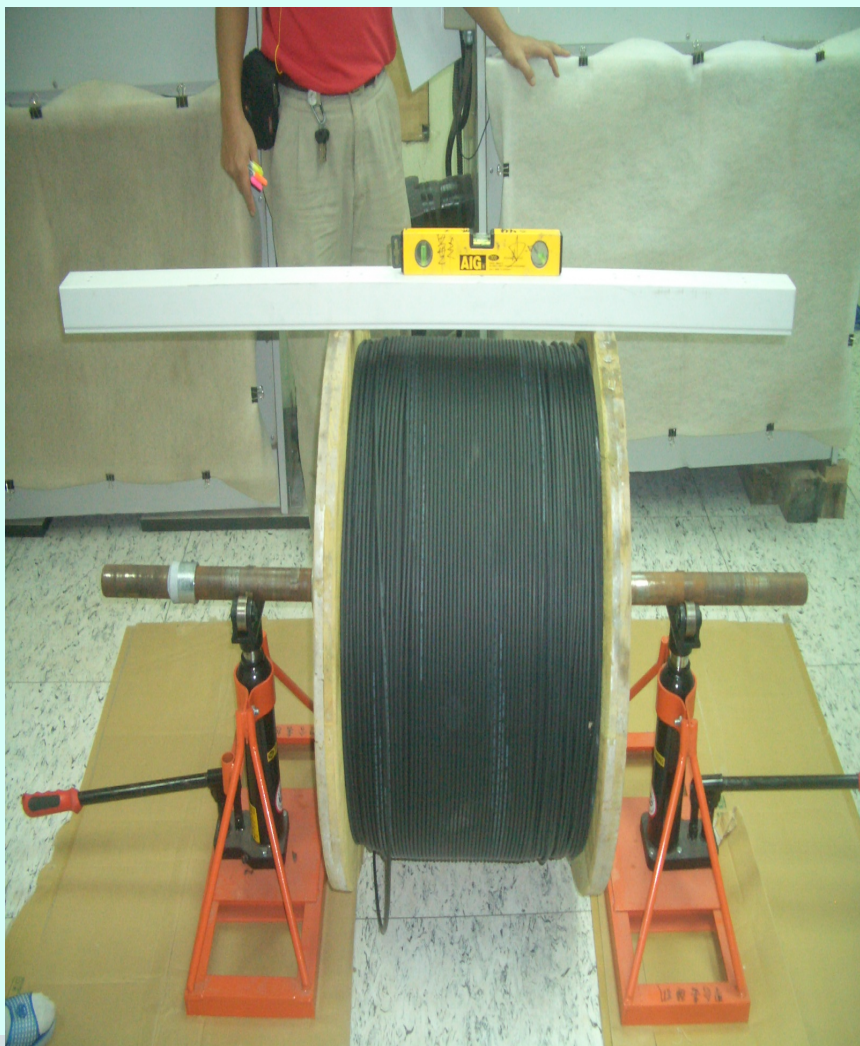


MT-RJ

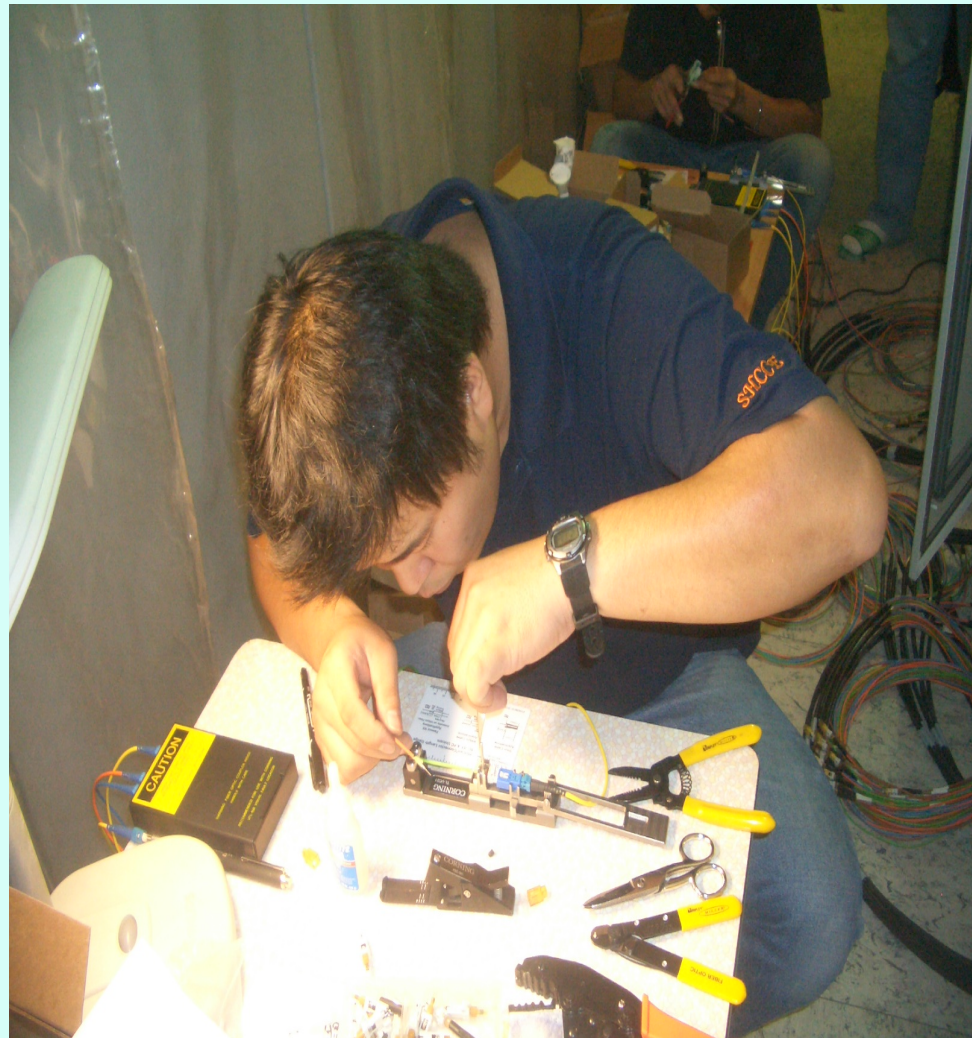


形式	規格	等級	數量	應用
MT-RJ	62.5/125 micron	Non-Safety	18166	Invensys
ST	200/230 micron	Non-Safety	404	GE
ST	200/230 micron	Safety	136	DRS
ST	62.5/125 micron	Non-Safety	712	DRS
ST	62.5/125 micron	Safety	2032	GE NUMAC
SC	62.5/125 micron	Non-Safety	20	Toshiba
FC	50/125 micron	Non-Safety	2400	Invensys

光纖鋪設前 支撐架水平調整



光纖接頭施作情形



光纖接頭施作情形

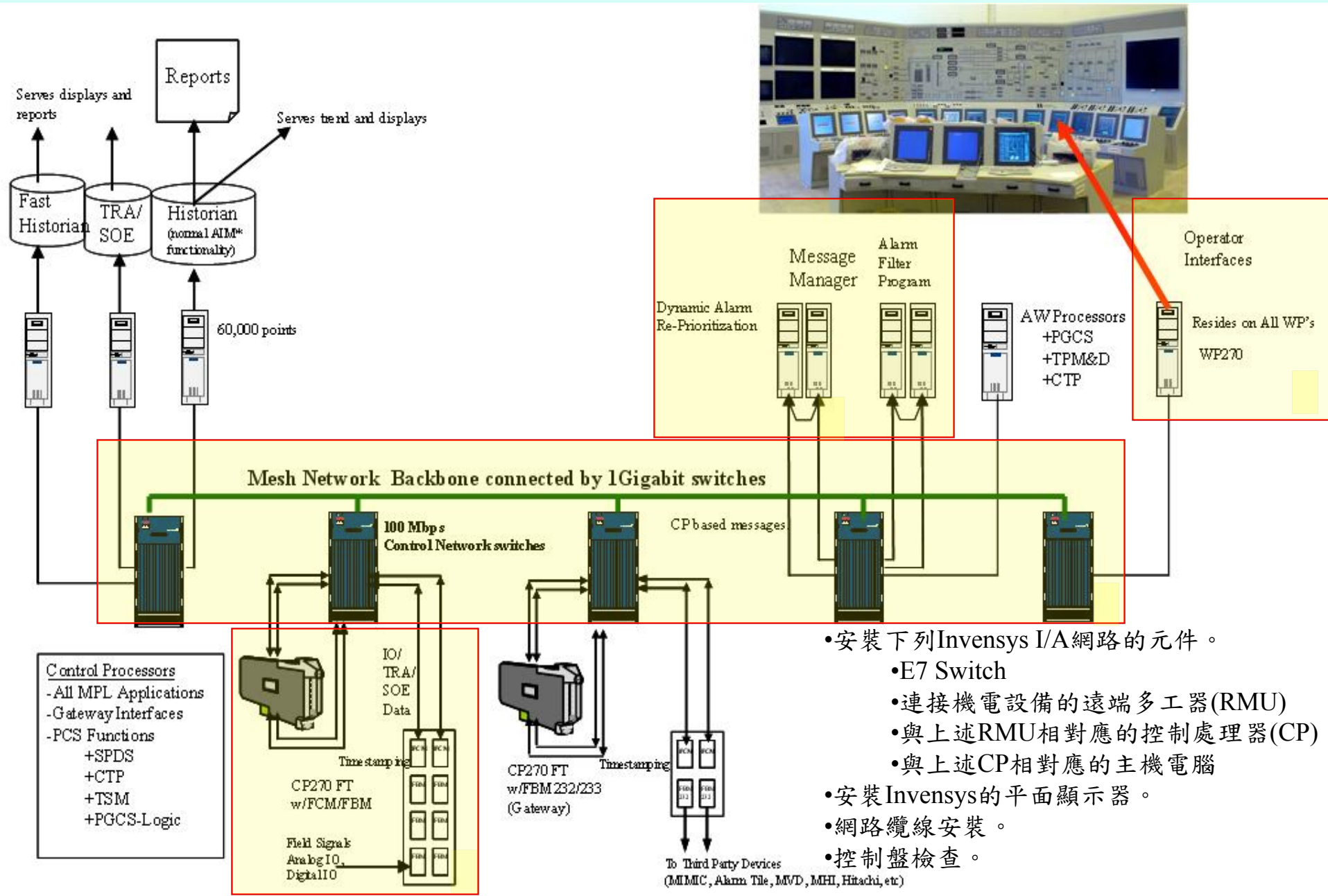


光纜檢驗(光功率計)



測試合格標準(<2dB)

Invensys系統骨幹網路建立



- 安裝下列Invensys I/A網路的元件。
 - E7 Switch
 - 連接機電設備的遠端多工器(RMU)
 - 與上述RMU相對應的控制處理器(CP)
 - 與上述CP相對應的主機電腦
- 安裝Invensys的平面顯示器。
- 網路纜線安裝。
- 控制盤檢查。

DST

CLOSE

HOME

DOMAIN

CLR MSG

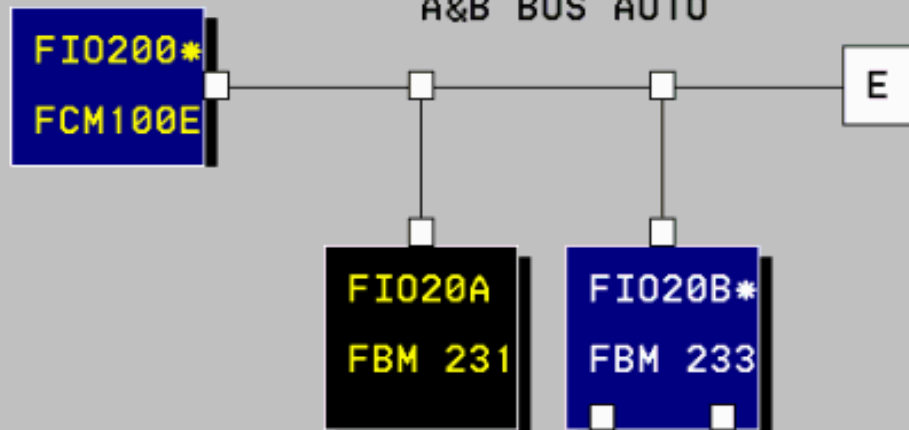
ACK CBL

BEGIN

END

PIO SUB NETWORK - SMON01 *-CP2702 *

A&B BUS AUTO



黑色：表示已選取

白色：表示正常

紅色：表示此設備有問題

黃色：表示此設備(Redundant)本身沒問題，但是設備的附屬設備有問題

“*”號：表示未確認

外框為“紅色”表示Cable有問題，會出示A Bus或 B Bus

內建診斷系統查對



EQUIP CHG

EQUIP INFO

NEXT LEVEL

CONFIG INFO

ONLINE DIAG

CALIB

DCIS現場測試

- DCIS現場測試分為下列三個測試階段
 - 施工後測試，自系統安裝完成開始至系統移交
 - 試運轉測試，自系統移交至初次燃料裝填為止。
 - 起動測試，自初次燃料裝填至功率遞升測試(Power Ascension Test)及保證試驗(Warranty Test)
- 依據R.G. 1.68之規定來執行試運轉測試及機組啟動測試，另依據IEEE7-4.3.2來執行多工系統之現場測試

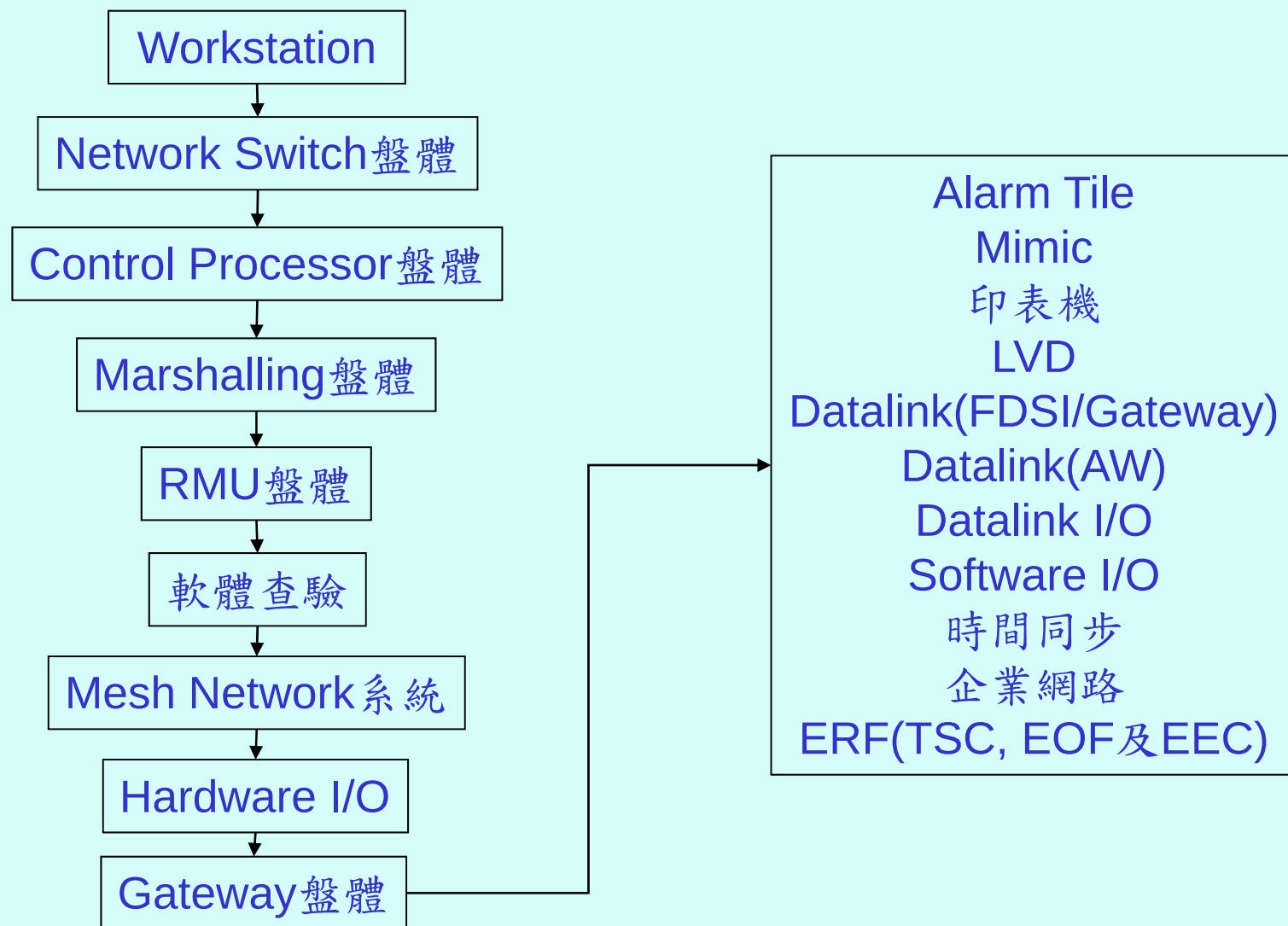


施工後測試

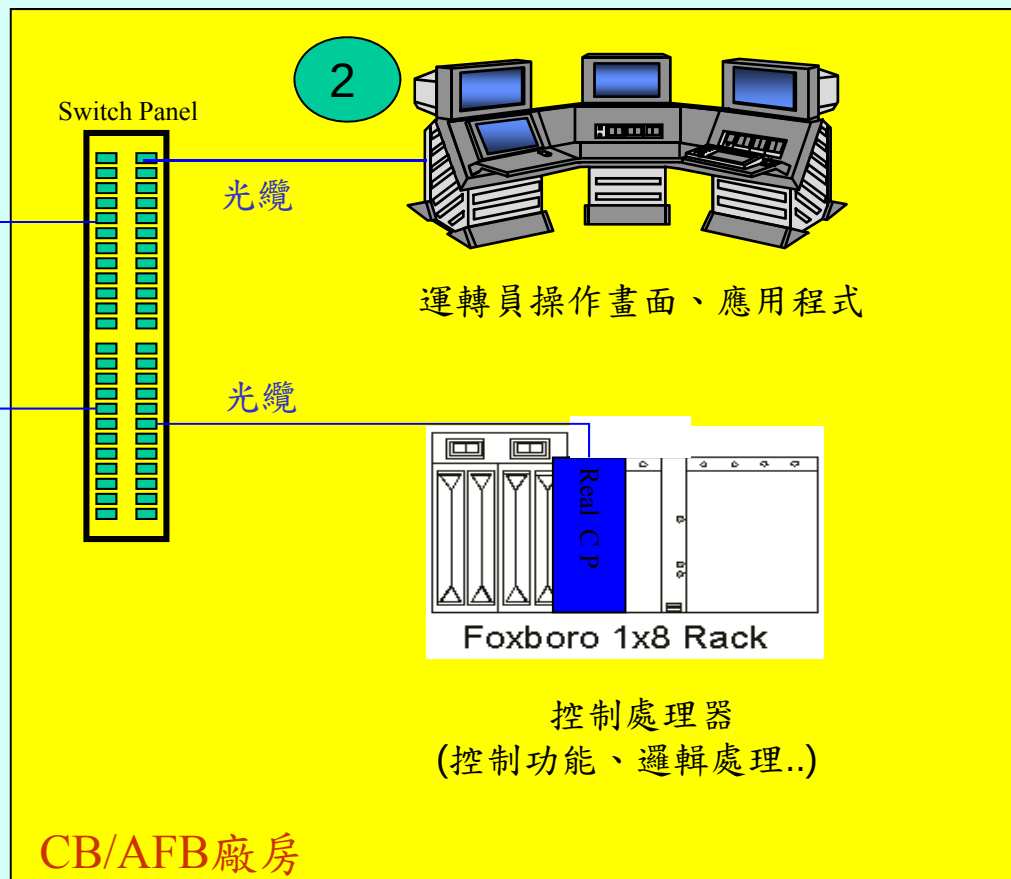
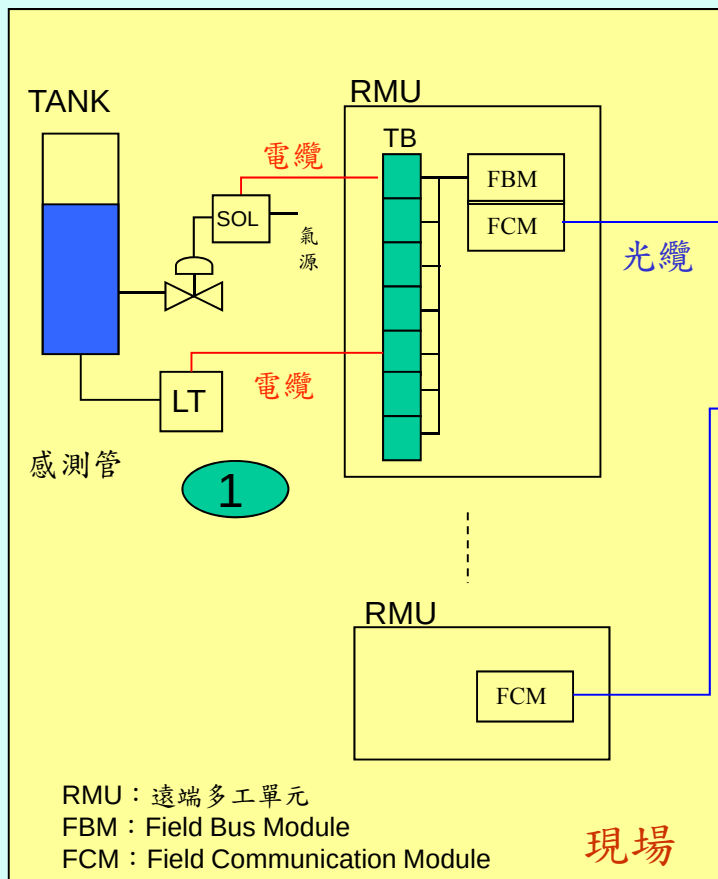
- DCIS相關之施工後測試程序書計67份，均已發行，主要工作內容為：
 - 纜線測試
 - 盤體測試：外觀檢查,絕緣測試,接地線路查核,初始系統送電檢查
 - 安裝軟體並檢查,內建之診斷功能檢查
 - 系統功能測試
 - 輸入/輸出信號測試
 - 容錯功能測試：雙重CPU切換測試,雙重電源切換..
 - 資料鏈功能測試
- DCIS Invensys系統整體測試之細目如次頁



Invensys系統整體施工後測試規劃



輸入/輸出測試



輸入測試：送4-20mA的訊號.在工程電腦上，

輸入電腦點查看相對應的工程值是否正確

輸出測試：在工程電腦上，輸出ON-OFF訊號,在現場設備查看AOV之動作情形，
並在AOV 閩關之電腦點上查看訊號是否正確

軟體驗證

FBM 軟體之版次

System Management Display Handler
06-15-04 13:07:21 SYSTEM MONITOR RESTCRED : H41SMN

HELP CLOSE HOME DOMAIN CLR MSG ACK CBL ACK

EQUIPMENT INFORMATION - SYSMON <-CP2701-CP2703

NAME	: CP2703	TYPE	: FBM207I 4AI/A0
RUN MODE	: On Line	DEVICE STATE	: On Scan
FAIL ACK STATE	: Acknowledged	ALARMING STATE	: Enabled
DOWNLOAD STATE	: Not Downloading	WARNING CONDITION	: No
		DEVICE ATT	: No
LAST CABLE ACCESS	: Both Cables Okay	FAIL DEV ATT	: No
COMPOUND NAME	: CP2701_ECB	FAIL DEV ACK	: Acknowledged
BLOCK NAME	: CP2703	POWER 1	: OK
HARDWARE TYPE	: 204	POWER 2	: Failed
SOFTWARE TYPE	: 2	DIAG STATUS 1	: 2
HARDWARE PART	: P0914SY	DIAG STATUS 2	: 1
HARDWARE REV	: 00	DIAG STATUS 3	: 0
SOFTWARE REV	: 204 1.05	DIAG STATUS 4	: 0
EEPROM REV	Rev 1.15G	PRIM CMD STATE	: 0
SERIAL NUMBER	: 01347009	IOM CMD STATUS	: 0
MANUF DATE	: 180134	IOM STATUS	: 4
LOGICAL ADDR	: 21	EXTENSION TYPE	: 0

▲ EQUIP CHG EQUIP INFO ▼ 1

Window OS

系統內容

一般 電腦名稱 硬體 進階 遠端

系統:
Microsoft Windows XP
Professional
Version 2002
Service Pack 2

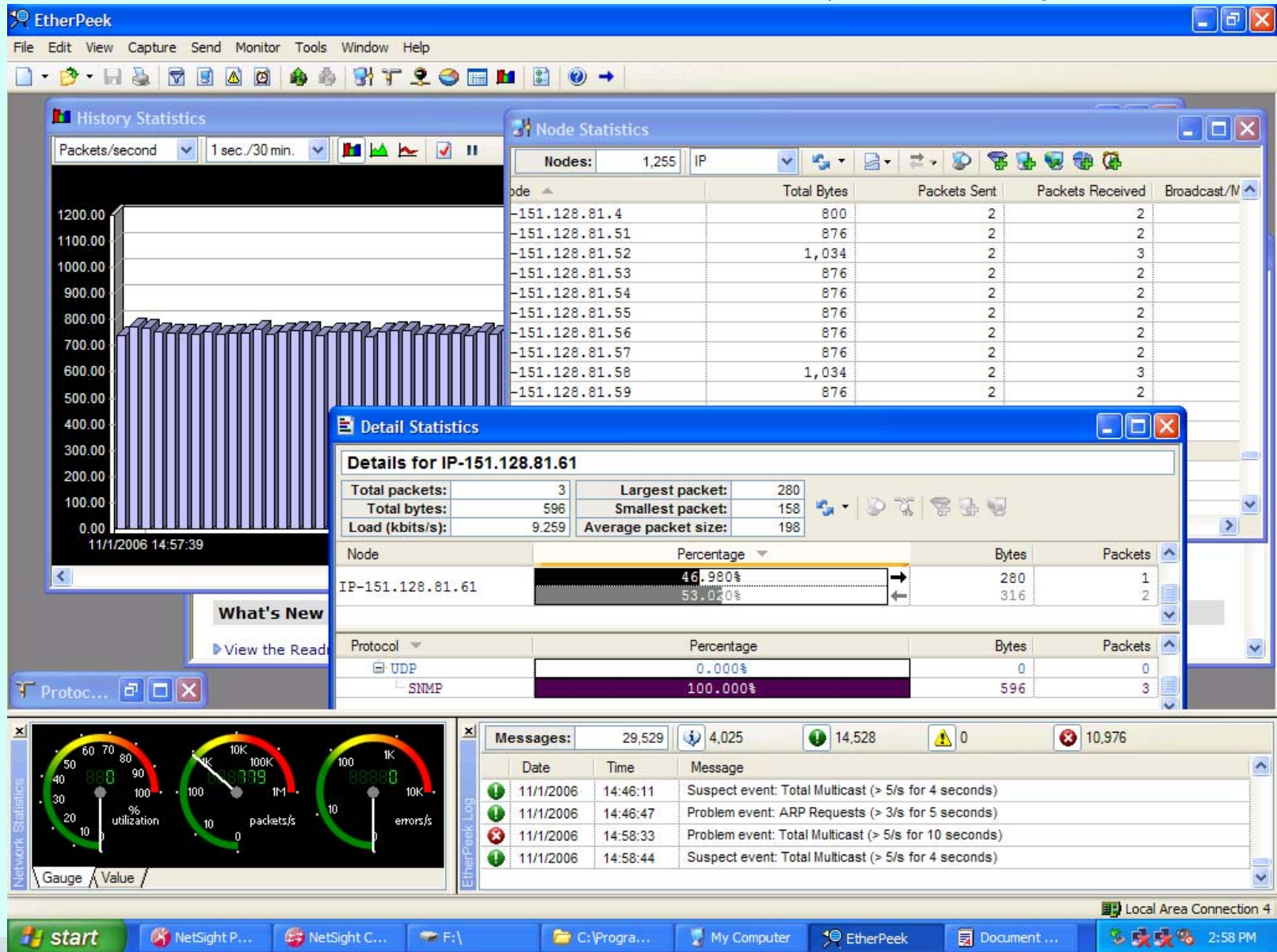
授權給:
user
55394-OEM-0011903-00107

製造及支援廠商:
IBM Corporation
Intel(R)
Pentium(R) 4 CPU 2.26GHz
2.26 GHz, 256 MB 的 RAM

支援資訊(S)

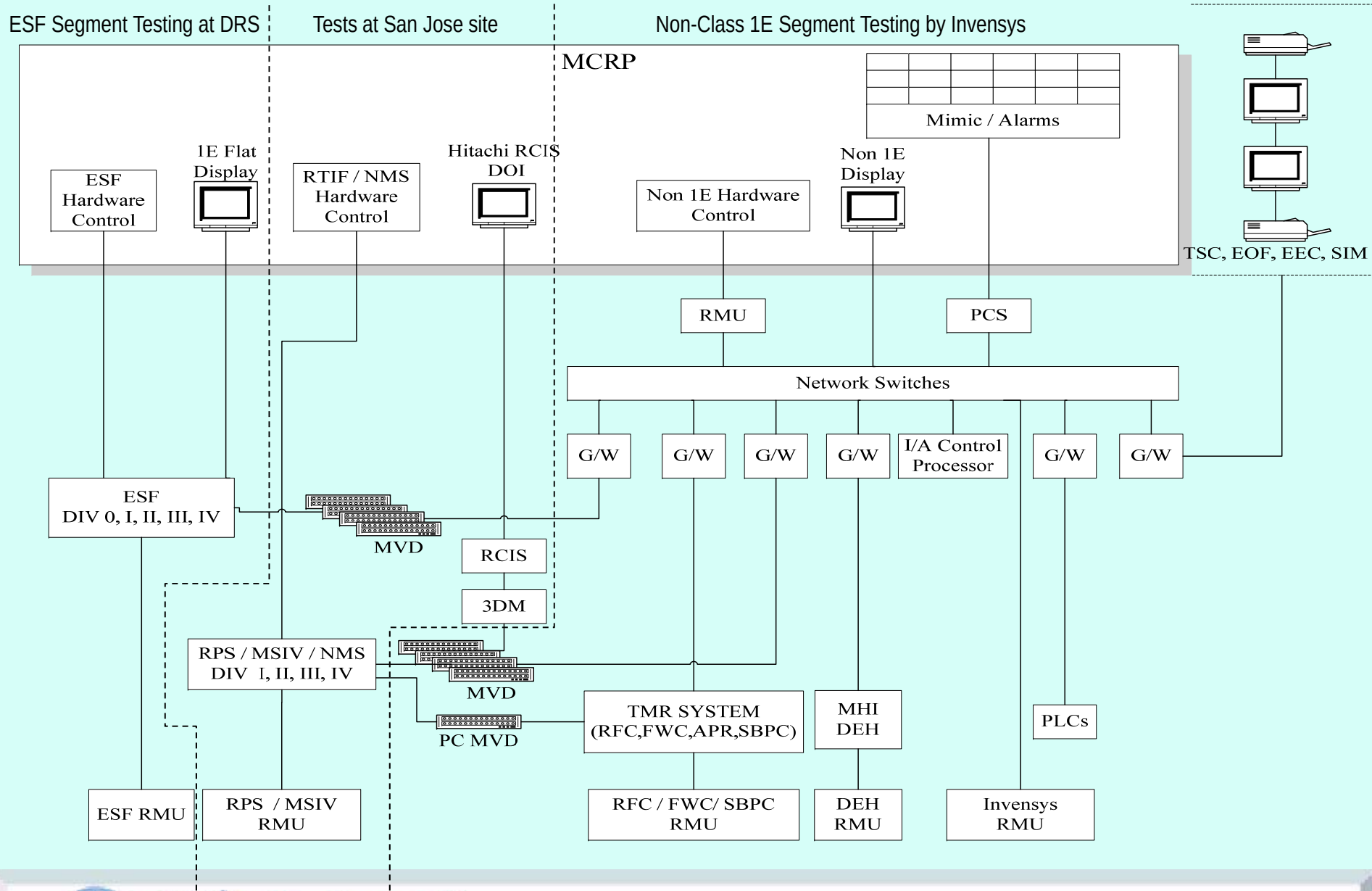
確定 取消 套用(A)

EtherPeek 檢查封包流量





跨區塊的資料鏈



連線測試

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\u780421>ping

Usage: ping [-t] [-a] [-n count] [-l size] [-f] [-i TTL] [-v TO]
          [-r count] [-s count] [[-j host-list] | [-k host-list]
          [-w timeout] target_name

Options:
  -t          Ping the specified host until stopped.
              To see statistics and continue - type Control-C.
  -a          Resolve addresses to hostnames.
  -n count    Number of echo requests to send.
  -l size     Send buffer size.
  -f          Set Don't Fragment flag in packet.
  -i TTL      Time To Live.
  -v IOS      Type Of Service.
  -r count    Record route for count hops.
  -s count    Timestamp for count hops.
  -j host-list Loose source route along host-list.
  -k host-list Strict source route along host-list.
  -w timeout  Timeout in milliseconds to wait for each reply.

C:\Documents and Settings\u780421>
```

System Management Display Handler
1A-22-A4 16:58:24 Modules load status primary & shadow loading

HELP CLOSE HOME DOMAIN CLR MSG ACK CBL ACK

EQUIPMENT INFORMATION - H21SMN *H51ZCP-H51126

NAME	: H51126	TYPE	: ERN 232
RUN MODE	: On-line	DEVICE STATE	: Not Failed
FAIL ACK STATE	: Acknowledged	ALARMING STATE	: Enabled
DB DOWNLOAD STATE	: Not Downloading	WARNING CONDITION	: No
		DEVICE ATT	: Yes
LAST CABLE ACCESS	: Both Cables Okay	FAIL DEV ATT	: No
COMPOUND NAME	: ZBM232_ETH	FAIL DEV ACK	: Acknowledged
BLOCK NAME	: H51126	POWER 1	: OK
HARDWARE TYPE	: 232	POWER 2	: OK
SOFTWARE TYPE	: 232	DIAG STATUS 1	: 0
HARDWARE PART	: P8926CH	DIAG STATUS 2	: 00
HARDWARE REV	: 0C	DIAG STATUS 3	: 0
SOFTWARE REV	: 232 HP5D56	DIAG STATUS 4	: 0
EEPROM REV	: 0092/0305	PRIM CHD STATE	: 0
SERIAL NUMBER	: 03520031	IOM CHD STATUS	: 0
MANUF DATE	: 180352	IOM STATUS	: 4
LOGICAL ADDR	: 22		

CONTINUED NEXT PAGE

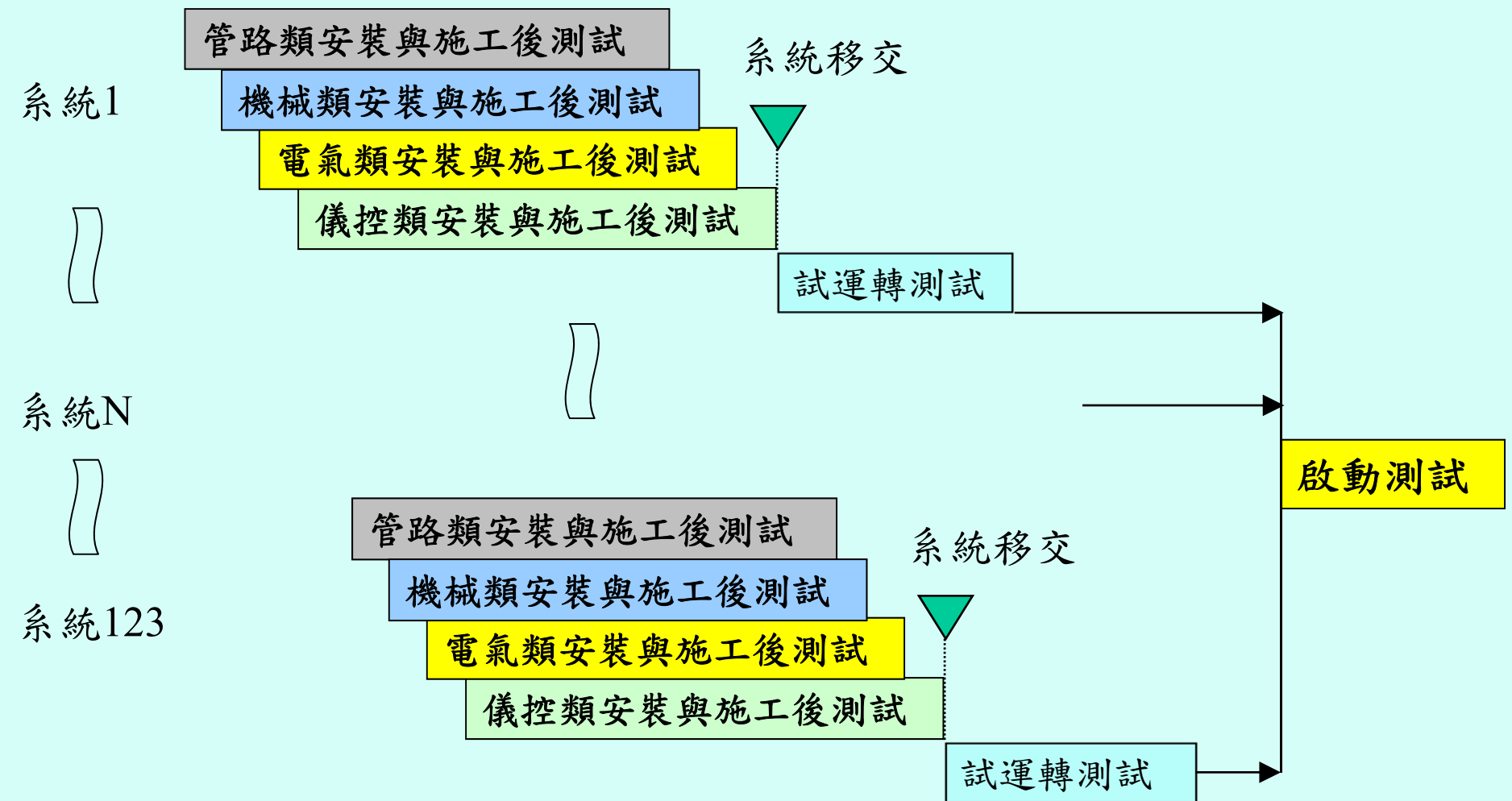
EQUIP CHG EQUIP INFO

驗證—於任何一個工作站，使用
指令“ping-n 25
XXX.XXX.XXX.XXX”

指令完成後呈現0% loss



安裝/測試/試運轉測試



試運轉測試

- 龍門電廠依個別功能之不同將全廠細分為123個系統，須逐一驗證各系統控制功能符合設計需求。
- 共302份程序書，經電廠運轉審查委員會(SORC)及聯試小組試運轉審查暨協調委員會(NSARC)審查後執行，測試時間長達一年。



試運轉測試

- 試運轉測試項目

- 人機介面測試(設計文件查核,動態組件狀態/資料查核表,控制組件功能查核表)
- 警報測試
- 多重信號測試
- 組件測試(例閥行程測試)
- 閥/泵邏輯測試表
- 系統運轉測試(含連鎖/跳脫/旁通)

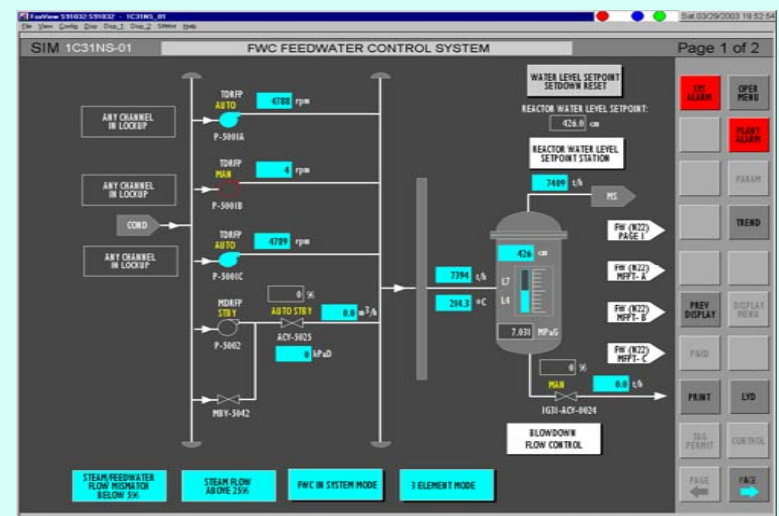


人機界面測試

	Number of Video Display Unit (VDU)
WDP	Safety Related: 9 sets
	Non-safety Related: 10 sets
MCC	Safety Related: 3 sets
	Non-safety Related: 20 sets
SSC	Non-safety Related: 3 sets
Total	12 (SR) + 33 (NSR) = 45 sets

	Number of Pictures (P&ID/Trend..)
Safety Related	237 pages
Non-safety Related	827 pages
Total	1064 pages

P&ID: 運轉模式, 流程參數, 設備狀態, 操作畫面

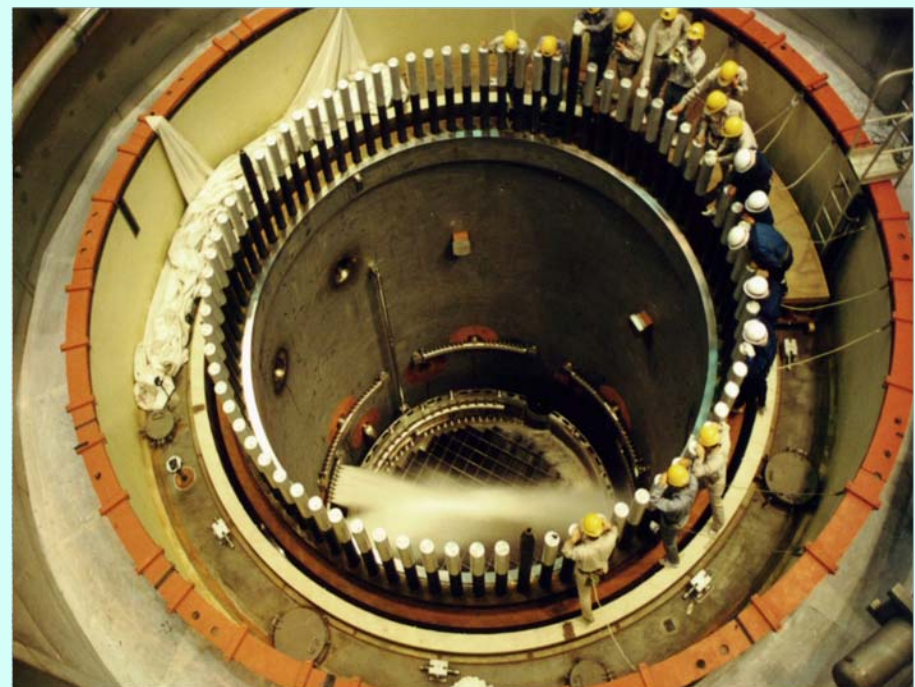
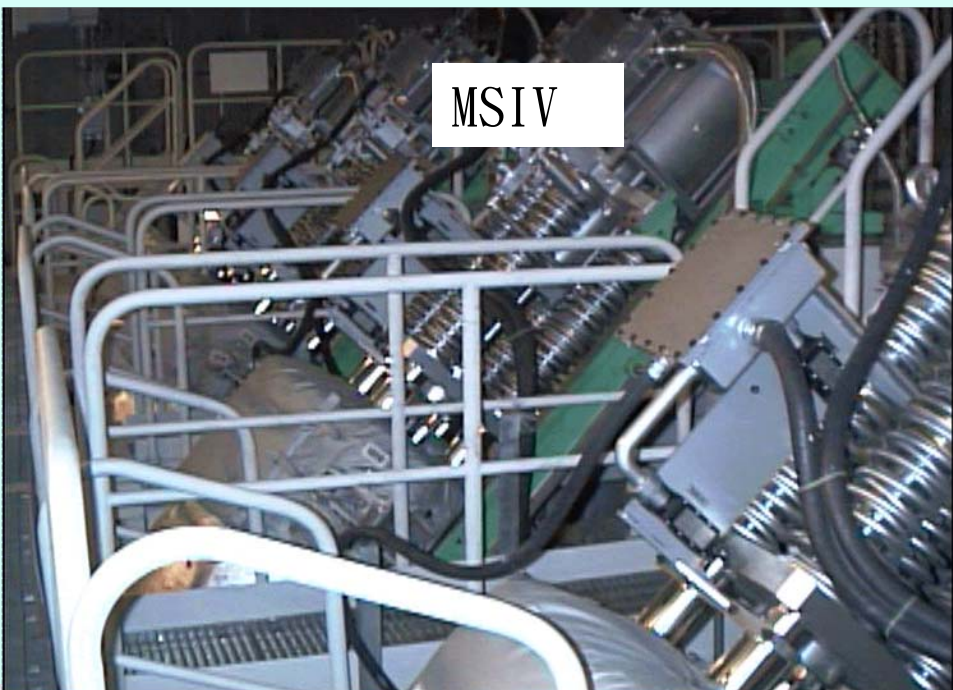


設備單機運轉/系統運轉測試

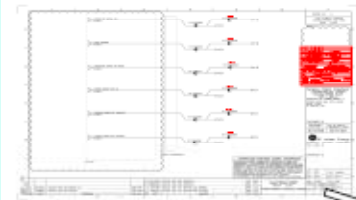
對泵、風扇、特殊閥等設備，確認試運轉結果與工場測試資料比較。

確認各種運轉模式的整合系統運作表現

ECCS 注入測試



試運轉測試

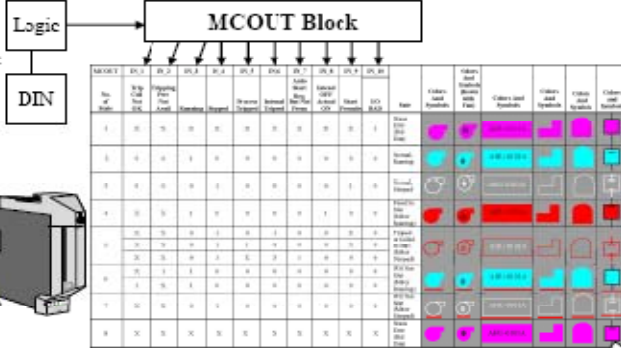


邏輯及連鎖

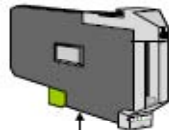
Display & Logic Development

Control Processor Domain

16 bit input/packed boolean output



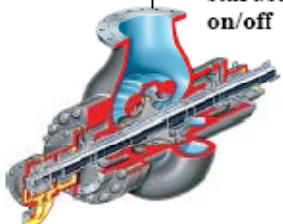
Defined by
GE-LD



Process IO

輸入/輸出

i.e Pump
start/stop
on/off



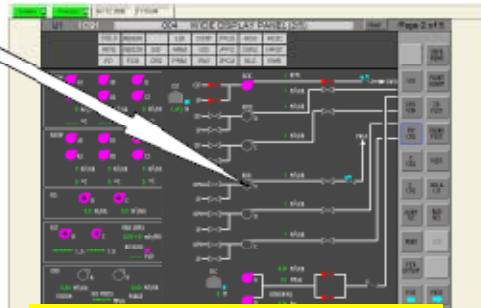
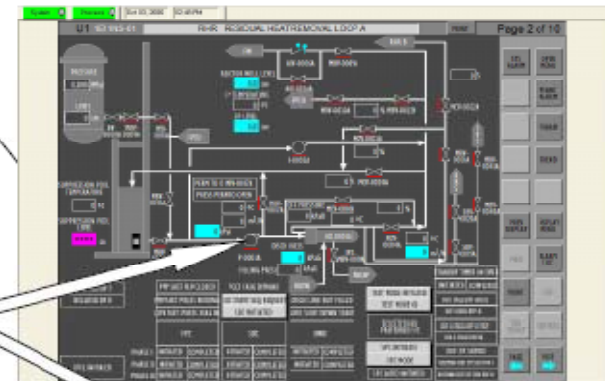
RMU Cabinet

1. GE provides IO database, LD and DPDS/DP
2. Invensys implements CP logic and graphics
3. Detailed testing on FSIM

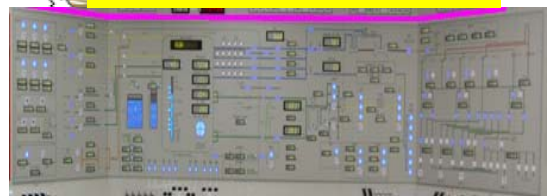
操作畫面

Works

Screen

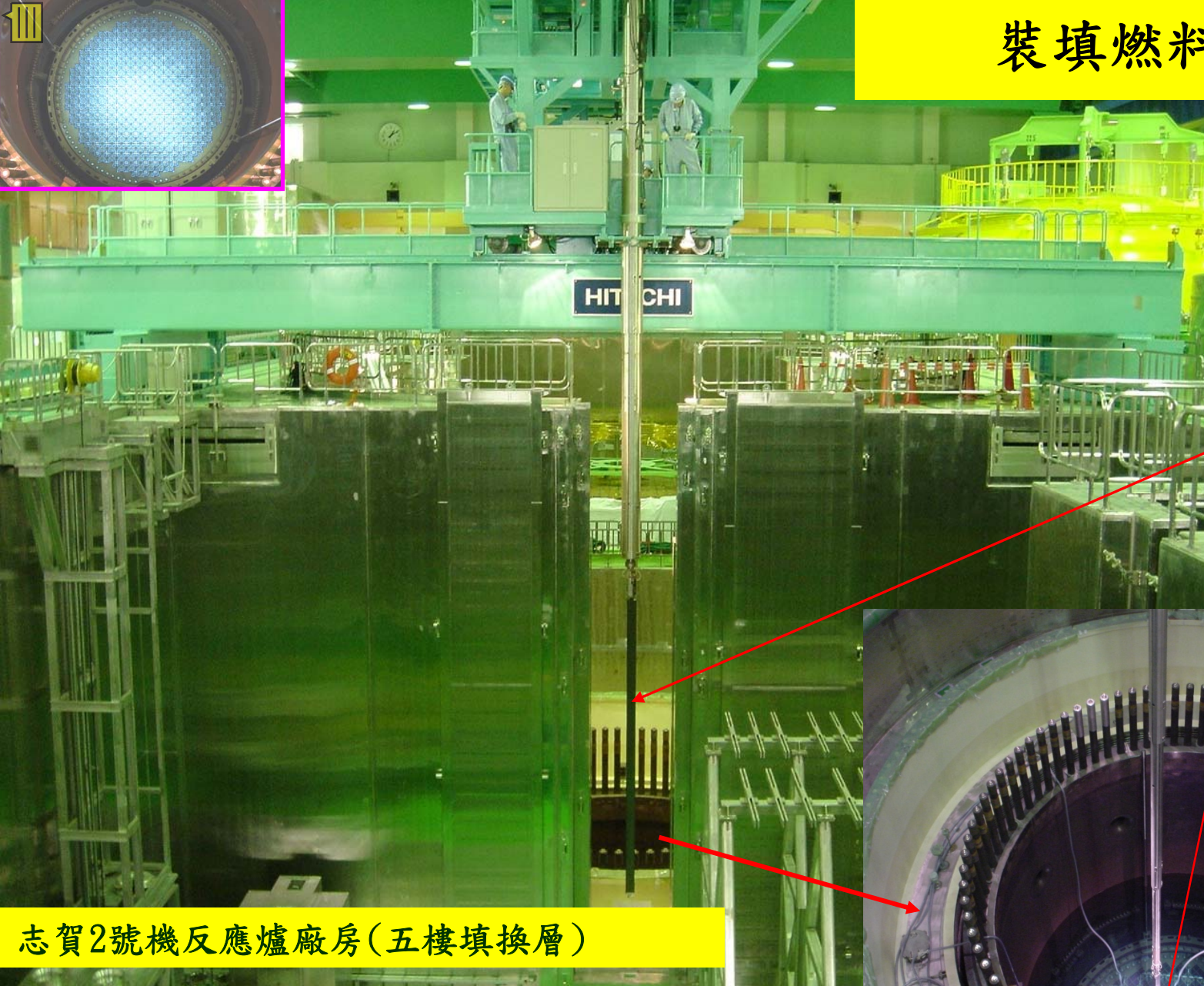
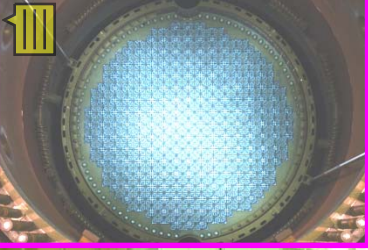


警報及MIMIC指示

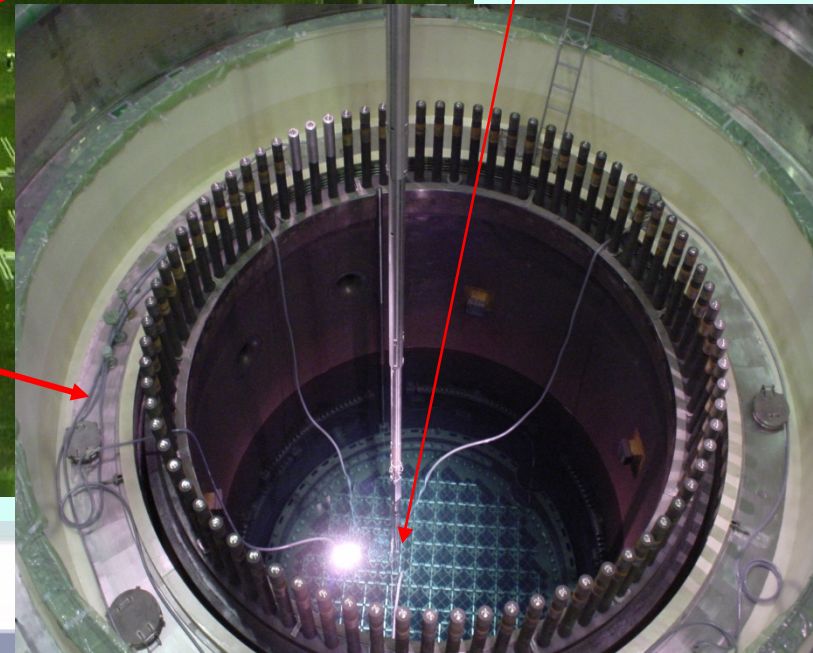


設備/系統運轉測試

裝填燃料工作



燃料束



志賀2號機反應爐廠房(五樓填換層)

起動測試

- 目的：
 - 確認設計基準；
 - 儘可能證明機組的運轉與反應如設計上對預期暫態與假設事故的要求；
 - 機組保證測試如合約與系統和設備規範的要求。
- 從裝填燃料至額定功率止按步循序(Step by Step)進行測試，分5個階段執行
 - 開蓋
 - 加熱
 - 低功率
 - 中功率
 - 高功率測試



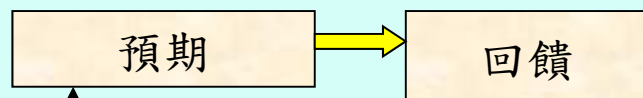
起動測試概念說明

目標：
確認新建機組運轉的穩定性與安全性。

經由

- 1) 執行全部實操的各種測試
- 2) 資料收集與評估

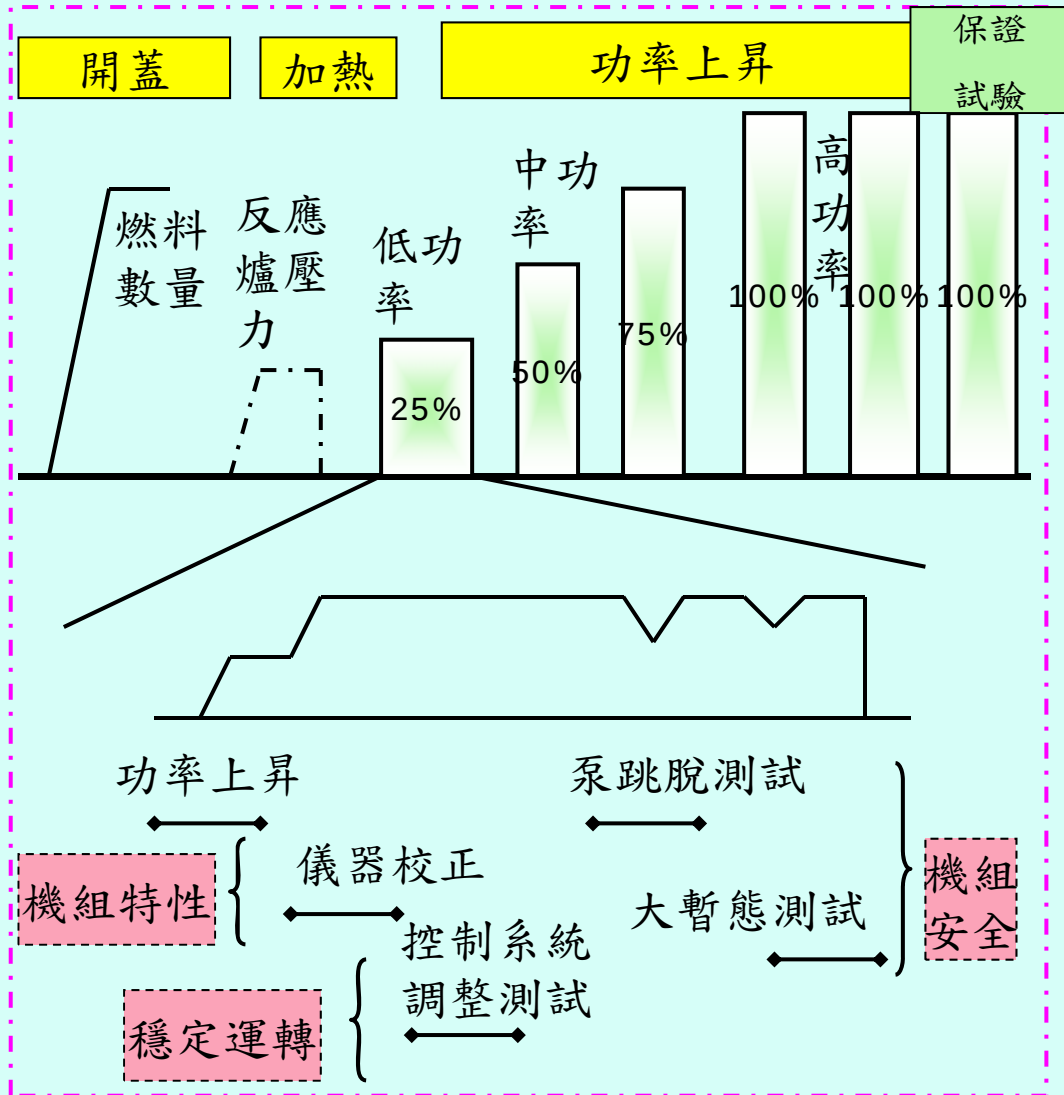
要點：執行測試順序要安全與穩定



(分析)

參考廠

試運轉結果



故障

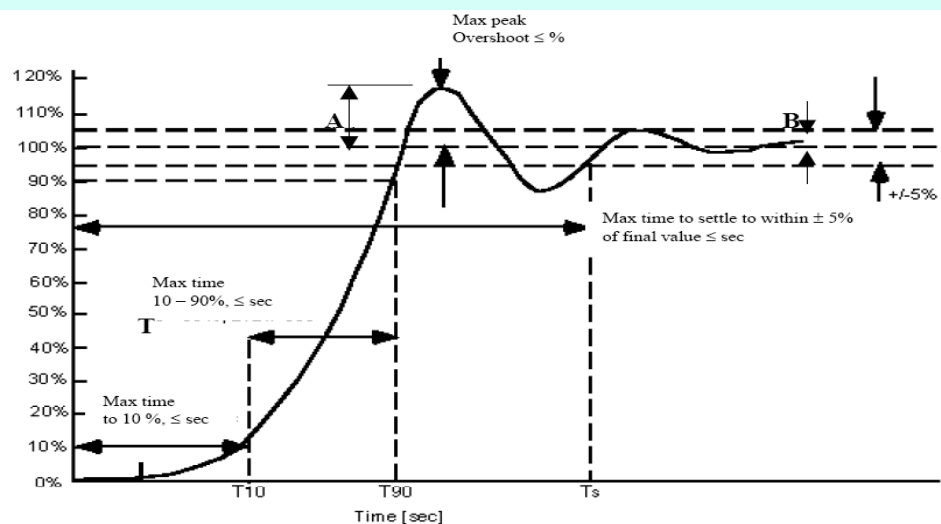
對策

事件評估
肇因分析



起動暫態測試項目

- 機組異常反應(暫態)測試以驗證控制系統性能



- 喪失飼水加熱器
- 飼水泵跳脫
- 跳脫1台爐內泵(RIP)
- 跳脫3台爐內泵
- 喪失廠外電源及汽機/發電機跳脫
- 汽機跳脫
- 快速回退卸載(Fast Load Winddown)
- 反應爐隔離

一號機測試現況

- Invensys網路系統已建立並執行試運轉測試.
- DRS網路系統已建立,待執行試運轉測試
- 其餘網路系統尚建立.
- 一號機161KV已正式送電,DCIS系統已能顯示61KV之設備狀態及操作相關電氣斷路器.
- 電力系統已部分完成試運轉測試,DCIS系統已能支援上述電力系統
- 另16個系統已完成施工後測試,一個系統已完成試運轉測試,另個正在執行試運轉測試中.
- IO測試現況：全部IO進度19.97 %
 - INVENSYS 5456筆(~ 13.09%)
 - DRS 2871筆(~ 6.88 %)



測試偏差

➤ 軟體

一 畫面

- VDU畫面與設計文件不一致
 - 修改MVD Sample Plan，以使安全及非安全兩側之顯示一致
 - VDU畫面資訊與現場不一致，包括設備開/關狀態、或運轉數值。
 - 電腦點與畫面之連結不正確
- 一 邏輯錯誤(含設定點)
- 一 修正Invensys網路測試發現之問題



測試偏差

➤ 軟體(續)

— IO資料庫

- 設計值不匹配：Range Scaling
- 變更接點位置

➤ 硬體

- 設備故障
- 設備不匹配：電氣使用電驛內阻過高
- 現場儀器之種類與DCIS之輸入卡片之類型不匹配
- 接線設計錯誤或實際接線錯誤



網路雙重通訊故障時 終端設備之反應(Fail Output)

- 斷電復歸網路組態之測試時，發生現場加壓斷路器跳脫。分析肇因為Invensys現場輸出元件之設定不合理所致。
- 現場輸出元件，在失去與控制處理器的雙重通訊情況下，會依照事先規劃之輸出值輸出，以保護現場運轉中的設備，此稱為Fail Output。
- Fail Output依輸出類別，可分數位及類比信號
 - 數位 ON、OFF、Hold
 - 類比 LOW、HI、ANY Scale、Hold



網路雙重通訊故障時 終端設備之反應(Fail Output)

- 清查Invensys IO Database，共有：
 - 81個系統，3628點輸出點
 - 類比輸出：456點
 - 數位輸出：3172點
- 至11/20止共召開10次檢討會，檢討上述IO點並完成審查
- 審查結果送請設計部門處理(發行設計變更)

結語

- 龍門電廠的儀控系統由世界上知名的儀控公司所設計/製造，其提供的產品在核能界或工業界有使用經驗。
- DCIS重要的廠家測試(FAT)時，台電公司均派員參與，以增加對系統安裝、測試、維修、設計技能。
- DCIS之現場測試由電廠主導，測試偏差之檢修及分工由電廠執行，由於電廠深入的參與大量的測試與檢修工作，累積之工作經驗對將來電廠正式運轉後的維修技能有極大的助益。
- 已規劃並陸續請核能、火力電廠支援資深的工程師/領班協助大量的測試與檢修工作。



結語(續)

- 在安裝與測試期間，會同原廠技師協助安裝、測試與測試偏差之處理，減少安裝/測試所造成設備故障之風險，同時增加安裝、測試及維修之技能。
- 與各設計廠家維持和諧的關係有助於龍門計畫的各項測試工作。
- 廠家接收測試持續2年，施工後測試持續2年，試運轉預定測試1年，啟動測試預定1年完成，經過長達6年且嚴密的各項測試，DCIS系統一定能支援全廠的機電設備之運轉。



請指教

