出國報告（出國類別：實習）

實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術

服務機關：台灣電力公司
姓名職稱：李亦堅　機械工程師
派赴國家：德國、比利時
出國期間：100 年 8 月 13 日至 8 月 26 日
報告日期：100 年 9 月 16 日

出國報告審核表

<table>
<tr><td colspan="4">出國報告名稱：實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術</td></tr>
<tr><td>出國人姓名(2人以上,以1人為代表)</td><td>職稱</td><td colspan="2">服務單位</td></tr>
<tr><td>李亦堅</td><td>機械研究專員</td><td colspan="2">台 灣 電 力 公 司</td></tr>
<tr><td>出國類別</td><td colspan="3">□考察 □進修 □研究 ■實習
□其他_____（例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）</td></tr>
<tr><td colspan="2">出國期間： 100 年 8 月 13 日至 100 年 8 月 26 日</td><td colspan="2">報告繳交日期：100 年 9 月 16 日</td></tr>
<tr><td>出國計畫主辦機關審核意見</td><td colspan="3">□1.依限繳交出國報告
□2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」）
□3.無抄襲相關出國報告
□4.內容充實完備.
□5.建議具參考價值
□6.送本機關參考或研辦
□7.送上級機關參考
□8.退回補正，原因：□不符原核定出國計畫 □以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 □內容空洞簡略未涵蓋規定要項 □抄襲相關出國報告之全部或部分內容 □電子檔案未依格式辦理 □未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
□9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
□辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。
□於本機關業務會報提出報告
□其他_____
□10.其他處理意見及方式：</td></tr>
</table>

說明：

一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。

二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

<table>
<tr><td>報告人</td><td></td><td>審核人</td><td>單位主管</td><td>主管處主 管</td><td>總經理副總經理</td></tr>
</table>

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術

頁數 58 含附件：□是■否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李亦堅/台灣電力公司/綜合研究所/機械研究專員/8078-2293

出國類別：□1 考察□2 進修□3 研究■4 實習□5 其他(開會)

出國期間：100.8.13~100.8.26　　出國地區：德國、比利時

報告日期：100.09.16

分類/號目：

關鍵詞：氣渦輪機（Gas Turbine）、複循環發電機組（Combined Cycle Power Plant）、早期監測預警系統（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）

內容摘要：(二百至三百字)

報告本次赴德國之興達、南部電廠氣渦輸機製造商(SIEMENS)及比利時之早期預警監測中心(LABORELEC)，實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術，實習主要內容為：

□ GT V84.2 型氣渦輪機效能改善技術更新計畫之整體規劃

- ■ Compressor Mass Flow Increase
- ■ Si3D Turbine Blades & Vanes
- ■ Wet Compression
- ■ HR3-Burner
- ■ Firing Temperature Increase
- ■ Lifetime Extension

□ 西門子公司最新型複循環機組效能改善技術

■ SCC5 8000H、SGT6 8000H 性能

□ 早期監測預警系統

- ■ LABORELEC 早期預警監測中心直接對客戶設備進行遠端監測分析。

實習心得總結報告為：

原廠針對興達、南部複循環機組之氣渦輪機（SIEMENS V84.2）效能提昇具

有多方案,其中涵蓋Power提升、加強performance, reliability, availability and flexibility,但並非每一項皆符合公司需求,且GT燃燒動態之穩定性是否會受更新計畫影響而具有潛在不確定因素,若需進行更新計畫仍須就潛在影響因素(燃燒穩定性)進行單項個別評估。

由對Siemens先進機組(SCC6 8000H)性能特性之了解,對公司目前進行之通霄電廠更新擴建計畫之機組性能需求, 可提供一評估參考。

機組事故早期預警系統SmartSignal之應用,可給於目前研究所建立GT燃燒穩定性監測與診斷系統依循參考。

氣渦輪機燃燒動態之複雜性及受上下游組件、條件改變影響甚大,機組之更新案不再只是單一元件或性能改善, 潛在影響因素需要有一完善之全盤評估。以公司之組織結構,建議應結合運轉單位(電廠)、政策推展單位(發電處)、研究單位(綜合研究所)及相關單位進行整體評估,才能獲得最佳效能。

本次實習Siemens先進機組(SCC6 8000H)性能特性後,對公司目前進行之通霄電廠更新擴建計畫,建議應先了解目前及未來燃料(Nature Gas)供應之品質,及目前各製造商(Siemens、Alstom、GE、MHI…等)之複循環機組特性後,依公司政策之需求制定出符合要求之複循環機組。

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

實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術

目　　錄

圖表目錄

圖目錄

壹、實習目的與行程

1.1 緣起與目的

近年來因環保要求愈趨嚴格，公司為追求機組高效率、低污染，且能確保穩定可靠運轉，採用複循環機組發電之重要性日益顯現，目前公司內部發電處及其所屬複循環機組電廠與綜合研究所積極合作推動氣渦輪機（Gas Turbine）燃燒穩定性調校技術，以期建立GT運轉維護之關鍵性技術，並能深耕公司相關部門之各使用階層，其中綜合研究所負責核心技術之建立與運作，並肩負將相關可應用實務技術推展轉移至電廠運轉維護等相關人員。

實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術，主要規劃在

- 現有運轉機組效能提昇技術。
- 新型機組燃燒效能提昇技術。
- 為提昇機組效能之監測系統建置與運用技術。

因此，本次出國實習工作內容為：

- 學習公司使用之西門子GT V84.2燃燒系統更新案之整體設計理念，評估與規劃應如何自行調校此型燃燒系統，以建立自主運轉維護技術。
- 對西門子公司在GT V84.2型氣渦輪機更新計畫之整體規劃進行實習，以期瞭解該公司在此種傳統單筒燃燒器(Silo combustor)發展之走向及性能(效率、NOx)極限,可作為公司未來是否繼續投資GT V84.2更新案之技術性參考依據。

- 西門子公司目前發展之最新型複循環機組 SCC5 8000H（50 Hz）、SCC6 8000H（60 Hz），文件顯示機組效率可達 60％，整廠輸出 SCC5 8000H 為 570MW（1 GT＋1 ST）、SCC6 8000H 為 410MW（1 GT＋1 ST），其中 50 Hz 之 SCC5 8000H 已進行商業運轉，60 Hz 之氣渦輪機組 SGT6 8000H 目前在測試運轉階段中，本次實習主要瞭解其新機組效率提昇之技術及目前 60 Hz 之氣渦輪機組 SGT6 8000H 測試運轉情形。

- 學習早期監測預警系統（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）在氣渦輪機燃燒穩定性之應用實務，位於比利時之電力研究中心,Laborelec目前為客戶進行訊號監測及早期預警(Smart-signal Earlier failure warming)服務，藉由分析早期運轉數據加以預測未來機組可能發生之問題，此應用技術在國外之氣渦輪機已使用多年，目前綜合研究所在氣渦輪機燃燒穩定性調校技術研發中亦有朝此方向進行，通霄及南部電廠已陸續自行開發即時監測系統,此次赴Laborelec電力研究中心實習相關技術,對未來開發GT早期預警系統之建置與分析能力助益甚大。

本次實習地點主要赴公司目前興達、南部電廠所使用之西門子GT V84.2機組位於德國總部，實習GT燃燒效能改善技術，及比利時,Laborelec電力研究中心使用GT燃燒早期預警系統之實例。

1.2 行程與內容

1.2.1 行程

日期	地點	拜訪公司討論內容
8/13	去程	
8/14-8/20 （含 2 日例假、1 日路程）	德國柏林西門子公司總部及測試中心	1. 西門子 GT V84.2 Combustor 燃燒系統更新案之整體設計理念。 2. 西門子公司在 GT V84.2 型氣渦輪機更新計畫之整體規劃。 3. 傳統單筒燃燒器(GT V84.2)發展之走向及性能(效率、Nox)極限。 4. SCC6 8000H 新機組效率提昇之技術及目前 60 Hz 之氣渦輪機組 SGT6 8000H 測試運轉情形。 5. 參觀製造工廠。 6. 參觀西門子最新型 8000H GT 測試中心。
8/21-8/25 （含 1 日例假）	比利時布魯塞爾 Laborelec 公司	1. 氣渦輪機燃燒穩定性訊號監測建置技術。 2. 早期監測預警系統在氣渦輪機燃燒穩定性之應用 。 3. 如何為客戶進行訊號監測及早期預警 (Smart-signal Earlier failure warming)服務。
8/25-8/26	返程	

1.2.2 行前規劃及實習內容

1.2.2.1 行前規劃實習主題

此次依出國任務之主題聯繫本公司複循環機組 GT 製造商-SIEMENS，及早期監測預警系統公司— Invensys，出國前規劃相關實習內容並與實習公司聯絡相關細節，其主要內容如下：

SIEMENS 公司：

Topic I：For the GT V84.2 （Existed units on TPC）

1.I would like to know the whole upgrade project（past and future）on the V84.2 related to compressor, combustion, turbine subsystems, and the HRSG boiler if it has been revised. It will concern with limits of the efficiency and NOx formation for the silo combustion type.

2. More detail design and testing reports on HR3 burner about flow, mixing and combustion simulation and tests.

3. To ask a question, the flowrate unbalance of fuel gas supply pipeline occurred on TPC and had be modified using orifice plate on the SIEMENS suggestion. I think it is not wisely design to balance two dynamic pipeline flow rates sourced from one pipeline splitted. Why would you design two flowrate control sets(using PCV and FCV) to control fuel gas flow rates supplied to two combustors.

4. Could I visit your testing facility or labs located my visited place nearby.

Topic II：For the SGT-8000H Part

- Could you explain more details about
  - Increase of combined cycle net efficiencies
  - Reduced emissions per produced kWh
  - High efficiency and low emission also in part-load operation
  - Fast start-up capability and operational flexibility
  - Lowest life cycle-costs
  - High reliability and availability
  - Fully air-cooled engine design

Up to 5% higher return on investment compared to F-class engine

- Could you introduce the conceptual design of listed parts below
  - Air intake system
  - Compressor
    i. Inlet Guide Vane
    ii. Evolutionary 3D compressor blade
  - Advanced Ultra Low NOx (ULN) combustion system
    i. Combustor, burners, nozzles
    ii. Fuel, air flow control system
    iii. Combustion stability technology(using diffusion/premix mode combustion, fuel/air mass flow rate control, others)
    iv. Combustion dynamics monitoring system and GT on-line protected system
  - High cycling capability due to advanced blade cooling system

i. Blade path temperature

ii. Cooling design and devices(film cooling, impinged cooling…)

- Integrated combined cycle process for economy and low emissions（more than 60% Combined Cycle efficiency）

ps. Thanks for your arrangements. I pay much attention to this visitation to SIEMENS. I hope that I can get more detailed knowledge and applied technologies on my concerned topics. Those messages can not be realized by SIEMENS' s presentations in TAIWAN. For instance, RH3 burner is suitable for our GT unit. Can I know the burner design, model testing reports/site(simulation/experiment), and pilot testing reports/site etc.

Topic III：Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System

1. The structure of your remote control system. How to communicate with Power Plant.
2. the applications of the early warning system, SMARTSIGNAL, especially on Combustion Turbine
3. The actual process running and cases with derived value.

貳、實習項目與心得

2.1 GT V84.2型氣渦輪機更新計畫之整體規劃

針對氣渦輪機組(Gas Turbine)效能改善，主要為使用者之需求而建立，依不同之目的可略分為：

1. Power 提昇：以單循環之 Gas Turbine 言，最顯著的方法是提昇 Compressor 出口壓力或是昇高 Turbine 進口溫度，但受限於 Compressor 效能、燃燒控制、材料耐溫、冷卻技術、及成本經濟性，並無法無限度提昇。
2. Efficiency 提昇：減少無用功與能（提高轉換效率），進而可提升效率，在工作流體之壓縮、熱釋放、作功過程中，提昇各過程之有效功與能，以增進整體效率。
3. Reliability and Availability：增加機組之可靠度及可用率，主要從縮短停機時數(計畫型停機檢修及非計畫臨時停機)著手，提昇組件品質，延長定期檢修週期，成熱穩定機組運轉技術，減少機組事故造成停機。
4. 降低 maintenance costs：計畫型或非計畫型停機時間影響機組可用率，提昇檢視及維修技術、或簡化拆修程序，皆能縮短停機時程。

興達複循環機組 no.1 至 no.5 及南部電廠複循環 no.1 至 no.3 均採用 Siemens V84.2(SGT6-2000E)氣渦輪機(如圖 1.西門子氣渦輪機型

式所示)，V84.2GT 在公司佔有重要地位，其機型早在 1980 年即已商轉，在這 30 年之氣渦輪機發展中，各項提昇性能、可用率等技術，已經過多次改革與更新，在公司使用之機型仍屬原型機，雖然西門子公司在 V84.2GT 更新過程中做了多項之修改，但目前使用之未修改 V84.2GT，運轉上仍保有其穩定性，針對西門子之改善建議(圖 2.西門子 V84.2 改善更新計畫流程，並具有改善後運轉實蹟)，但建議仍需加以評估其效能，及是否對其他重要組件有負面影響。以目前 GT 之發展，由於電力系統 50、60Hz 之不同，在設計上也各自發展其系統，西門子主要以先開發 50Hz 機型，再推展至 60Hz 機型，其在舊機組性能提昇上亦是如此，圖 3.為西門子針對與 V84.2 相同機型之 V94.2（50Hz）進行改善之時序流程圖，早在 2008 年即已完成更新計畫。

首先針對公司使用之 V84.2 GT 之特性說明，由於 V84.2 GT 採用單筒獨立式燃燒器，雖使用 DLN 燃燒器（Dean Lox Nox burners），但仍較具有穩定之燃燒動態。相對地，在使用燃料替換性上，也能有較大之裕度。採用獨立燃燒室再配合較少之燃燒器，相對地能有較快速之起動，簡單之機械結構也縮短了燃燒穩定度調校工作之時間與複雜度(註：若要進行調校程序時)。雖然具有以上之優點，但由於結構上之優點，也帶來了效率與輸出之限制，使用單筒燃燒室是無法設計到目前最新型複循環機組，效率可達 60%以及非常低之 Nox 排放。因此公司目前所使用之 V84.2GT，在未來運轉上，建議應著重在能維持一高可用率、有限度降低 Nox 排放、及機組效率之部分提昇為最主要目的。以下將以西門子對 V84.2GT 所進行之改案加以說明，其中包括：

1. Compressor Mass Flow Increase

2. Si3D Turbine Blades & Vanes
3. Wet Compression
4. HR3 Burner
5. Firing Temperature Increase
6. Life time Extension

針對以上各項更新案，報告中主要說明其修改之目的，以及若要進行更新計劃，應注意事項。對於西門子介紹之如何進行，將不在報告中說明，本次實習之目的著重在學習其提昇性能之技術及可能面臨之問題。

2.1.1 Compressor Mass Flow Increase

以一設計完成後之 GT，若要再提升空氣流量，個人認為廠家應可能之目的為：

a. 提昇 Power—提供更多的 Fuel/Air 產生更多的 Power。

b. 提升效能，降低 Nox—產生更低之 Equivalence ratio，以控制 Nox 濃度、燃燒控制最佳化。

由其資料顯示，本項更新主要是在提升 Power 輸出，並未變動燃燒動態設計範圍，其作法為更改 Compressor 前 4 級 blades 及 Vanes，以空氣動力學角度言，其目的在以 blades 驅使更多之 Kinetic Energy 給予空氣量的增加，修改後建議應注意輸出壓力是否提昇(雖然資料顯示效率未增加)；燃燒器 Wobbe Index 變化(單位體積熱釋放量改變)；TAT 出口溫度是否改變(檢視燃燒狀況是否改變)；增加空氣量提昇 Power，相對地 Fuel Gas 供應系統之調整與適應性亦需留意(燃燒動態之穩定性調校必要性)。

2.1.2 Si3D

西門子主要是針對 Turbine 之 blades 及 vanes 進行精進，將原有

2D 曲面設計之葉片更改為 3D 曲面結構，此種採用航空器級 Turbine 葉片之設計，目前為各 GT 製造廠發展之重點，其目的減少轉換能量之損失，採用最佳設計之冷卻技術及 Coating 以保護葉片、延長壽命。西門子將 4 級葉片分成兩階段進行，首先第一、二級葉片高壓高溫段進行修改，第二階段為 3、4 級葉片修改，由於此部分已位於燃燒下游端，純粹是在如何將高溫、高壓能量轉化成機械動能之技術與效率問題(尚包含材料之保護及壽命延長)，安裝後衍生之問題較少，唯一要注意的事 GT 出口溫度之改變，此將影響下游廢熱回收鍋爐系統。

2.1.3 Wet Compression

Compressor 採用 Wet Compression 技術之發展已有一段時間，雖然具有提昇 Power 優點(較適合 Peak Load 型 GT)以及 GT 運轉不再受環境因素影響之優點(Evaporative Cooling 效應)，但相對地需多一項水質的要求及 Spray system 之噴霧效果要求，對 Compressor 而言，液滴及水份對葉片之影響需再評估，且可預測的對 Air 的品質要求應更加嚴格，過多的氫(或 water gas)對燃燒動態結構之改變，Wobbe Index 變化及適應範圍都應留意；在 Turbine 部分，含有過多水份之 Cooling Air 對葉片冷卻管道之影響，TAT 溫度的改變及下游廢熱回收鍋爐之影響亦應加以追蹤。以個人之觀點看，採用 Wet Compression 對公司而言，其 evaporative cooling effect 優點較能改善環境溫度變化對 GT 之敏感性，若進行 power 提昇，其複雜性及影響層面較廣，雖然此技術在其它國外相同機型已有改善後運轉實績，但諸多影響問題仍需進一步釐清。

2.1.4 HR3-Burner

由圖 3.知西門子遠在 1998 年即已針對 V94.2(50Hz)之 Combustor

burner 進行 HR3 burner 更新，目前南部電廠已針對一機組進行更新，其燃燒器修改主要為強化 Fuel Gas 與 Air 之混合度，Premix Fuel Gas 為 based Load 主要能量來源，原型燃燒器（R3 burner）機置若在 Air 量不足時(尤其是事故發生造成局部 Air 量不足時)，由於結構因素極易造成 Flashback，進而燒毀下游端 Diagonal blades，改進型 HR3 burner 更換了 Fuel Gas 噴出裝置，避免了 Flashback 產生機置，重新設計噴出孔徑(尺寸更小)及位置，增加 Fuel Gas 與 Air 混合度及均勻度，由其降低 Nox 值即可看出其改善成效，以避免了燃燒局部高溫。在眾多改善案中，個人認為此項效益最高也最簡單達成，對 GT 其他方面影響也最小。

2.1.5 Firing Temperature Increase

在 GT 運轉中若要提昇 Power 及效率，最明顯的方法就是提高 Compressor 輸出壓力與提昇 Turbine 進氣溫度。其中提高 Turbine 進氣溫度，在上游端所要面臨的是燃燒空氣控制的問題，以及 Nox 濃度問值；在下游端則是 Turbine 葉片耐熱及冷卻問題，TIT 之改變似乎有些像在更改設計，此部分即為出國實習詢問西門子對於 V84.2GT 性能改善之極限在那? 由此項之改善可知應為最後手段（不包含使用者特殊需求之改善），由於 V84.2 GT 屬單筒燃燒器，廠家所能做的是在保有較高燃燒穩定度及較大燃料適應性優點下之原廠性能改善極限。

2.1.6 Life time Extension

GT 隨運轉隨時數(及起停次數)增加而性能劣化，不論是 Compressor、Combustor 或 Turbine 之損傷，往往是上游端損傷向下游方向之一連串性的破壞，且受損元件等待備品及維修時間耗

費時日，影響發電可用率甚大，計畫型停機檢視有其必要性，且當達到設定之運轉壽命周期（主要為材料疲勞問題）時，有必要進行重要組件(單價較高)進行進一步檢測分析。西門子訂定 V84.2 GT 之使用壽命周期為 100, 000 小時(3, 000 次起停)，不論公司是否委託原廠進行壽命評估或自行檢測分析，南部電廠未來幾年將面臨第一個 10 萬運轉小時，此項分析評估問題與技術值得提早準備。

2.2 西門子公司新一代複循環機組 SCC6 8000H

目前世界各知名氣渦輪機組製造商無不積極發展新一代高效率、低污染及提高 Availability, Maintainability，例如 MHI 之 J-type、Siemens 之 8000H 、Alstom 之 GT24 及 GE 之 9FB 下一代產品，其複循環發電效率最大可達 60%，NOx 污染排放最小可低於 10ppm，並且機組之操作與維護更具有便利性。本次實習氣渦輪機燃燒效率提昇研究中，實際瞭解西門子 SGT6-8000H 之 Pilot site 測試及效率提昇技術。

西門子在發展新一代機組為先開發 50Hz 之 SGT5-8000H 型(目前在德國 Irsching 電廠 4 號機 550MW 商轉中)，進而推展至 60Hz 之 SGT6-8000H，本次實地瞭解在柏林測試中心之 SGT6-8000H 原型機測試，依廠家之報告，目前 60Hz 之 SGT6-8000H 型已獲得南韓、美國之電廠合約，預計 2013 年進行商轉。

在目前西門子最新一代複循環機組（SCC5 8000H）效率可達到 60%並能控制 NOx 排放低於 25ppm 下，其高效率除可降低營運成本外，對 CO_2 減量亦為正向貢獻。在機組效率之提昇上，氣渦輪

機組主要以提昇 Compressor 壓縮比，昇高 Turbine 進氣溫度，天然氣 NG 預熱及增進各主件功能運轉效能；在廢熱回收鍋爐(HRSG) 上，採用 Once-through supercritical steam generator，此較傳統 Sub-critical steam generator with drum 更具有高效率。

在 Compressor 方面，提昇壓縮比至 19.5，最佳化壓縮流體流場分布，使空氣能有效提昇 Kinetic Energy，進而轉化成 Potential Energy 具有最佳效率，Air 量控制系統採用 4 級 VIGV，此部份在燃燒控制系統上值得進一步了解其技術。在 Combustor 上使用 annular multi-can 排列之燃燒器(公司目前無此種設計之燃燒系統)，其燃燒系統具有主要特點為：

1. Dry-low NOx 燃燒技術(目前各製造商皆採用技術)。
2. Baskets 之燃燒區下游端 transition 位置使用 Air 冷卻，在提昇 TIT 環境下，仍使用 Air 冷卻，相對於使用 steam 冷卻具有其優勢，Air 直接由 Compressor 提供，不需額外設備產生或導引 HRSG 之 steam。對起動時，無需 steam 等待時間而可縮短起動時間及加裝之 Steam cooling system 維護保養費用。此外在燃料適應性方面(Fuel Flexibility)，Wobbe Index 容許範圍可在 ±5%至 10%內改變，此一特性對公司未來對天然氣源是否能掌控品質非常重要。

在 Turbine 部份，採用 4 級動靜葉片，在前 2 級葉片採用 Film Cooling 孔，以保護葉片。

除整體 GT 之性能外，機組之維護保養亦為一值得留意問題，停機後檢修上，在燃燒器部份無需開蓋即可拆除燃燒器(Combustors)，

在 Turbine 部份也無需開蓋即可拆換第一級動、靜葉片(此應屬 can-annular type 特點)，第 4 級動、靜葉片由出口側即可拆裝，Compressor 之葉片無須 rotor life 即可拆換，在以上之葉片檢視更換簡化過程中，可有效縮短停機維修時間。此外對於計畫型停機檢測(MI、MO)週期，在新型機組上延長了運轉時數，原 Combustor 檢視(MI)由 8,000 小時延長至 12, 500 小時(約 1 年之停機檢視可延長至 1.5 年)，熱通道延伸至 25, 000 小時(或 900 次起停)，主要檢測(MO)由 30, 000 小時延伸至 50, 000 小時(或 1800 次起停)，使用壽命週期由 100, 000 小時延伸至 160, 000 小時，縮短了維護費用及提昇機組可用率。

複循環機組另一特性為可依負載要求進行快速起動，若機組進行 cycling operation 時，此特性較為重要(若未來 Fuel Gas 成本過高時)。西門子 8000H 複循環機組保證在 Hot start 條件下，由起動、點火、加速、昇載至 540MW 於 30 分可完成。

綜觀一新機組各項優點，各製造廠除致力於機組效率之提昇，及 NOx 排放之降低外，皆有其獨特發展特性，但以一使用者觀點言，追求最新技術之產品不如考慮發電之需求性，諸如

1. 運轉模式：屬 Base load、Cycling、或 Peak Load。

2.性能之要求：整廠效率，排放要求，可用率。

3.燃料可替換性之能力：未來進口 NG 來源穩定性

4.運轉之穩定性：Compressor, Combustor, Turbine 及 HRSG 運轉穩定性、操控便利性。

5. 運轉維護：運轉維護費用之產生包含

a. 廠家規定必需更換組件費用（MI、MO）。

b. 停機拆裝便利性，影響檢修時間長短，直接反映在維修費用及停機損失之發電收益。

c.廠家提供零組件費用高低，由於各家 GT 製造商皆各自發展其機組特性，因此機組重要組件互通性甚小，組件更新之材料費用高低完全決定於製造商。

6. 運轉維護週期：在計劃型停機檢修中，不論是 MI、MO 或是 Lifetime Extension，其週期時間長短影響機組可用率，減少維護費用進而降低發電成本。

2.3 早期監測預警系統

GT 效能之提昇，包含了機組運轉多年後性能之衰退、局部組件性能或功能異常造成整體效能降低後，進行改善以回復原始狀態，但往往機組潛在劣化因素造成運轉異常或引發機組故障跳電可能，尤其是氣渦輪機採用之熱-功循環系統中，Turbine 所產生的動能回饋給空氣產生壓縮能程序中，迴路系統中任一環節產生故障極易引起機組動力消失而跳機，而在燃燒系統中，燃料產生之化學能直接進入 Turbine 轉換為機械能，其能量之轉換皆藉由單一流體進行，其運轉之敏感性較高，加上目前講求高效率、低 NOx 排放，造成機組穩定性運轉範圍較窄。在諸多限制下，一般廠家在運轉安全保護系統內

建立了定載、降載及停機等防護措施，以保護昂貴的氣機組件，基於此建立氣渦輪機監測系統擷取相關重要數據，進行分析、診斷，以期達到早期預知故障發生原因，減少機組非計劃性停機及組件之損傷具有其價值性。基於此對於本次赴 Laborelec 公司進行對發電機組重要設備進行資料監視，分析及警示之技術進行瞭解與學習。Laborelec 公司目前主要針對電廠及化工廠進行振動、性能、燃燒及電力化工設備進行遠端監測分析服務。綜觀其發展過程，早期先由即時監測系統開始，進而推展即時診斷，目前本所進行之 GT 監測分析預警系統亦朝此方向發展研究，本次實習瞭解到建立過程中幾項關鍵重點：

1. 監測資料之重要性、完整性高於全面性。
2. 監測系統資料之統計分析結果為提供診斷分析人員判斷之工具，而非最後結果。
3. 診斷之結果如何轉化成電廠可用資訊。
4. 氣渦輪氣之燃燒動態監測分析具有較高之複雜性及不確定性。
5. 選擇較佳之資料擷取及統計分析軟體為工具，可更有效增加分析診斷人員快速、正確之判斷。

基於上敘之學習心得，參考 Laborelec 公司人員進行之遠端監測早期預警工作之成功案例，目前已著手進行南部電廠 V84.2GT 及通霄電廠 GT11NM 監測系統建立工作，若能引進類似 Smartsignal 之監測、分析軟體，將可有效縮短自行開發設計擷取系統，而進入第二階段—診斷分析之研究工作。

參、綜合結論與建議

●本次出國實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術之結論：

1. 原廠針對興達、南部複循環機組之氣渦輪機（SIEMENS V84.2) 效能提昇具有多方案，其中涵蓋 Power 提升、加強 performance, reliability, availability and flexibility，但並非每一項皆符合公司需求，且 GT 燃燒動態之複雜性會受更新計畫影響之潛在因素存在，若需進行更新計畫仍須就潛在影響因素(燃燒穩定性)進行單項個別評估。
2. 由對 Siemens 先進機組(SCC6 8000H)性能特性之了解，對公司目前進行之通霄電廠更新擴建計畫之機組性能需求,提供一評估參考。
3. 機組事故早期預警系統 SmartSignal 之應用,可給於目前研究所建立 GT 燃燒穩定性監測與診斷系統依循參考。

● 本次出國實習氣渦輪機組燃燒效能改善技術之建議：

1. 氣渦輪機燃燒動態之複雜性及受上下游組件、條件改變影響甚大，機組之更新案不再只是單一元件或性能改善, 潛在影響因素須有完善之全盤評估。以公司之組織結構，建議應結合運轉單位（電廠）、政策推展單位（發電處）、研究單位（綜合研究所）及相關單位進行整體評估，才能獲得最佳效能。
2. 本次實習 Siemens 先進機組(SCC6 8000H)性能特性後,對公司目前進行之通霄電廠更新擴建計畫,建議應

先了解目前及未來燃料（Nature Gas）供應之品質，及目前各製造商（Siemens、Alstom、GE、MHI…等）之複循環機組特性後，依公司政策之需求制定出符合要求之複循環機組。

肆、參考文獻

Website:” http://www.siemens.com/entry/cc/en/ ”

Website:“http://www.laborelec.be/ ”

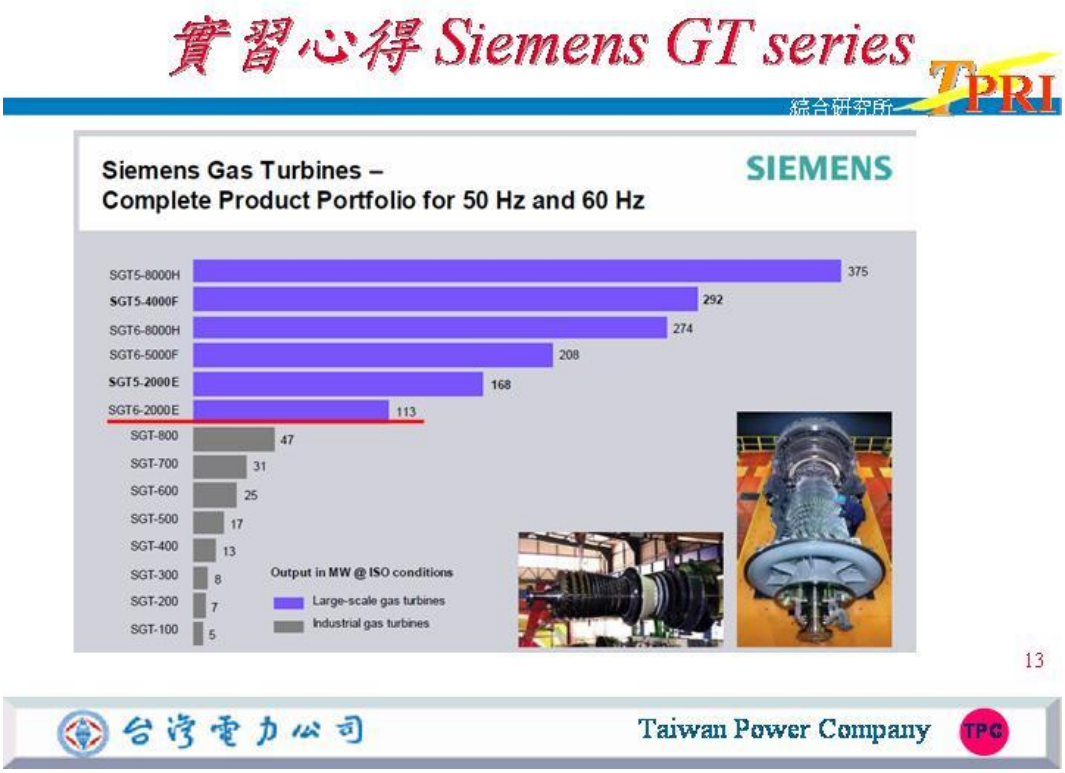


圖 1　Siemens GT series

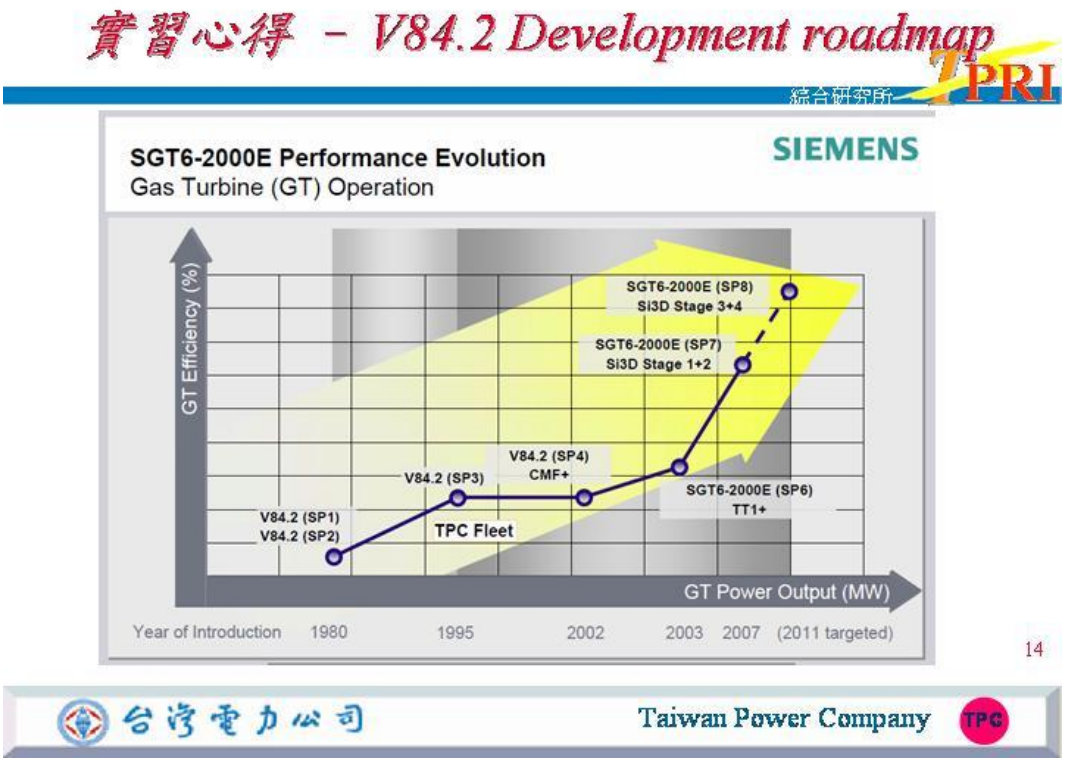


圖 2　V84.2 Development roadmap

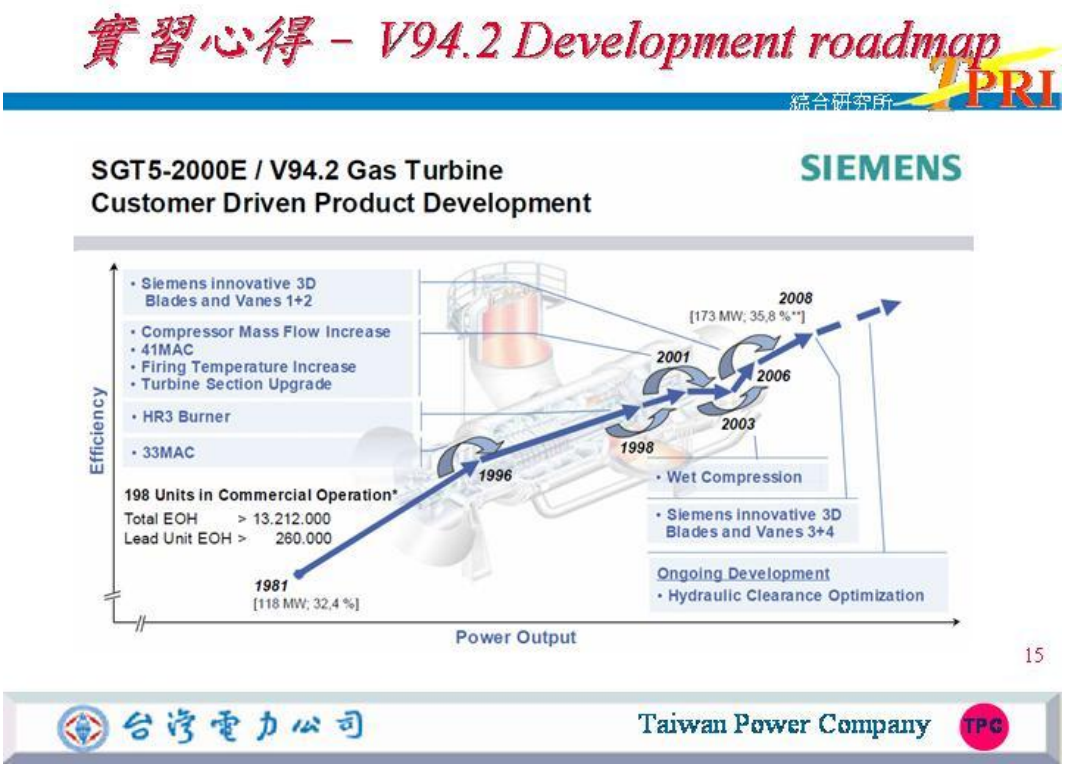


圖 3　V94.2 Development roadmap

圖 4　Technology update of V84.2

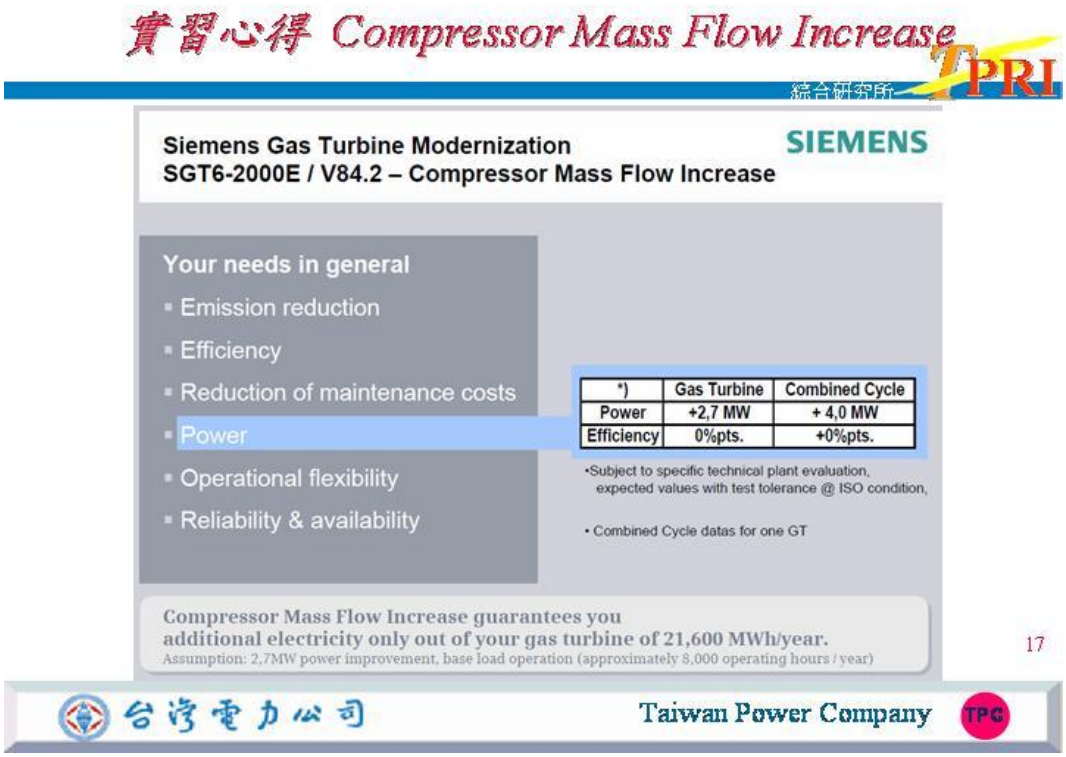


圖 5　Compressor Mass Flow Increase

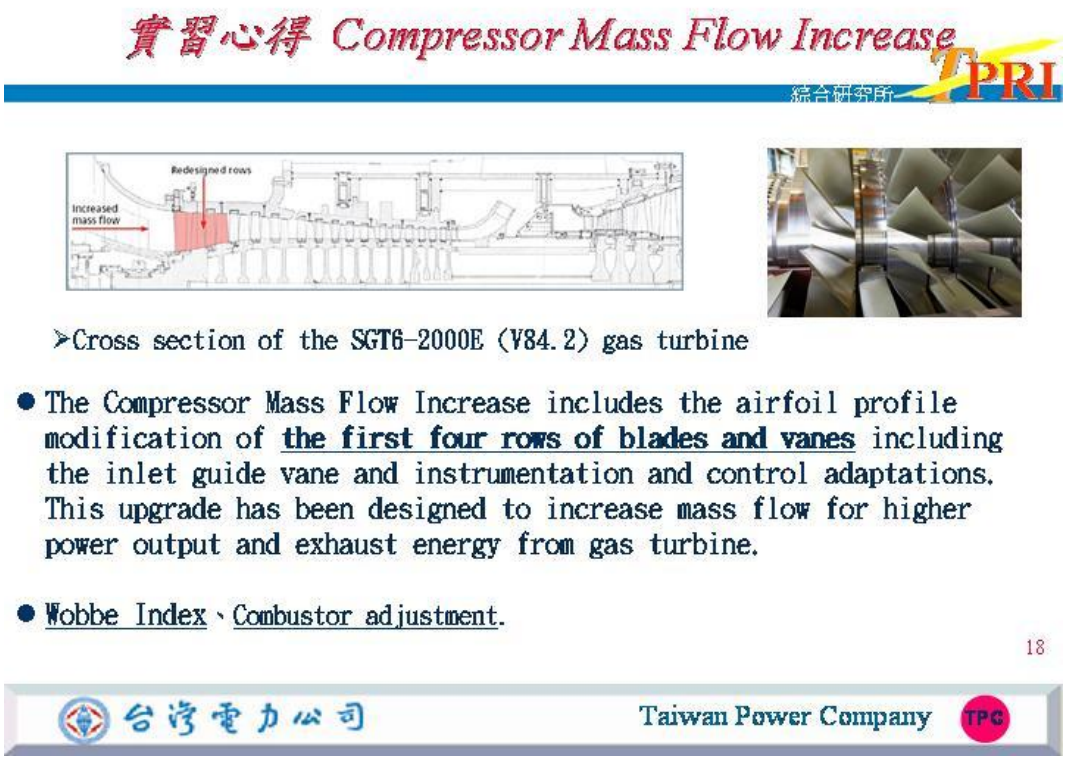


圖 6　Compressor Mass Flow Increase

實習心得 Compressor Mass Flow Increase

綜合研究所 TPRI

- The scope of this upgrade includes:
  - Replacement of the first four rows of blades and vanes
  - New inlet guide vane position sensor
  - Disk modification for blade locking (BM 800168 and earlier)
  - Instrumentation and control modification for surge control
  - Thermal barrier coating on turbine stage 1 and 2 (if not present).
- Siemens recommend that the installation of this upgrade be performed at a Major Outage (MO).

19

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 7　Compressor Mass Flow Increase

實習心得 Si3D

綜合研究所 TPRI

- Siemens innovative 3-Dimensional blades and vanes are characterized by an aerodynamic blade and vane design with optimal efficiency as well as ability for retrofitting during service life.
- This generation of turbine stages blades and vanes has a new, **optimized aerodynamic airfoil** designed with
  - To enhanced material, coatings
  - An improved cooling air path
  - A reduction of parasitic losses.

20

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 8　Si3D

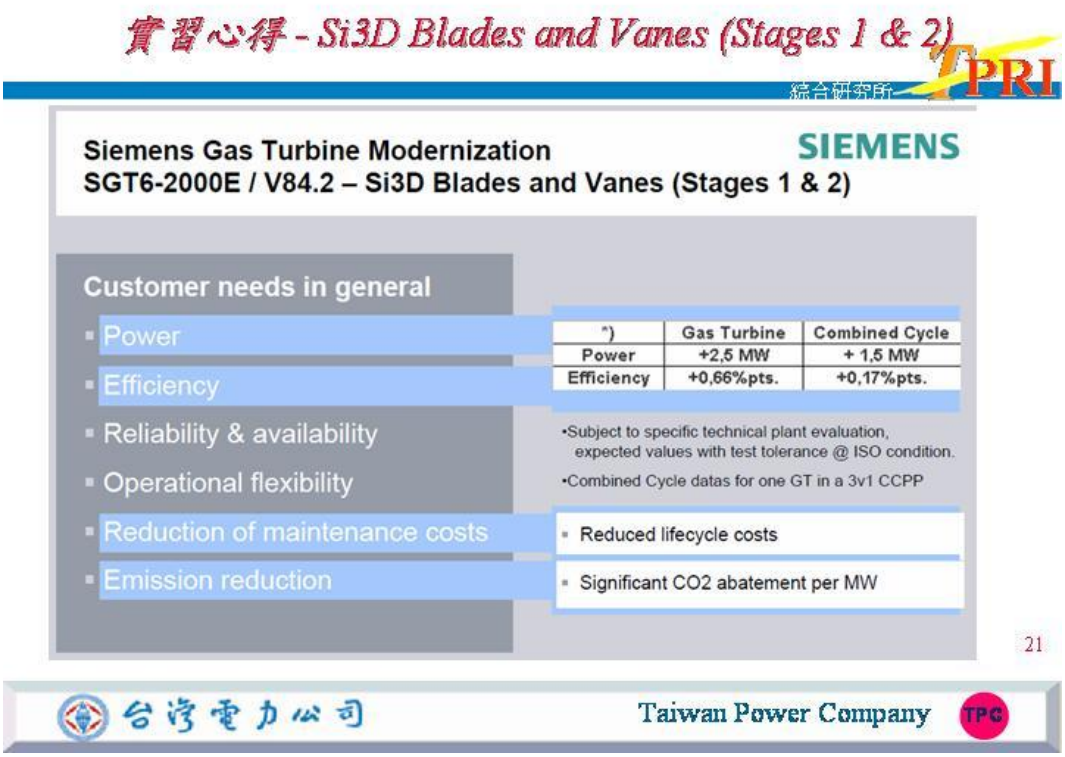


圖 9　Si3D Blades and Vanes (Stages 1 & 2)

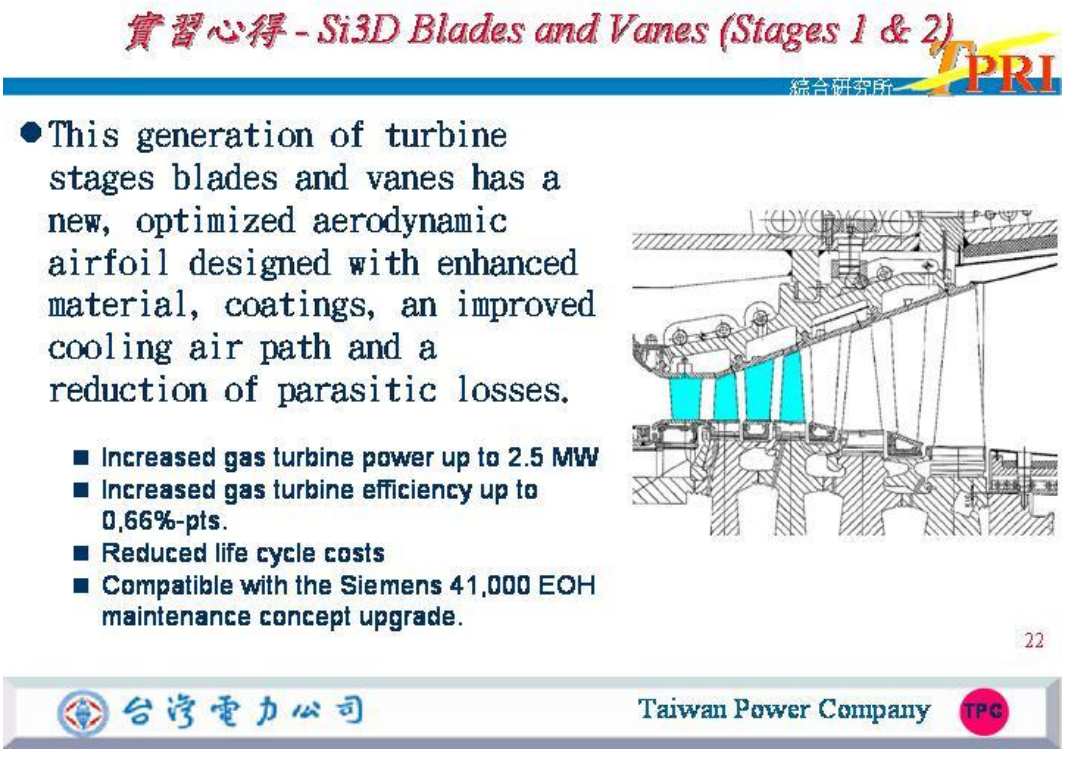


圖 10 Si3D Blades and Vanes (Stages 1 & 2)

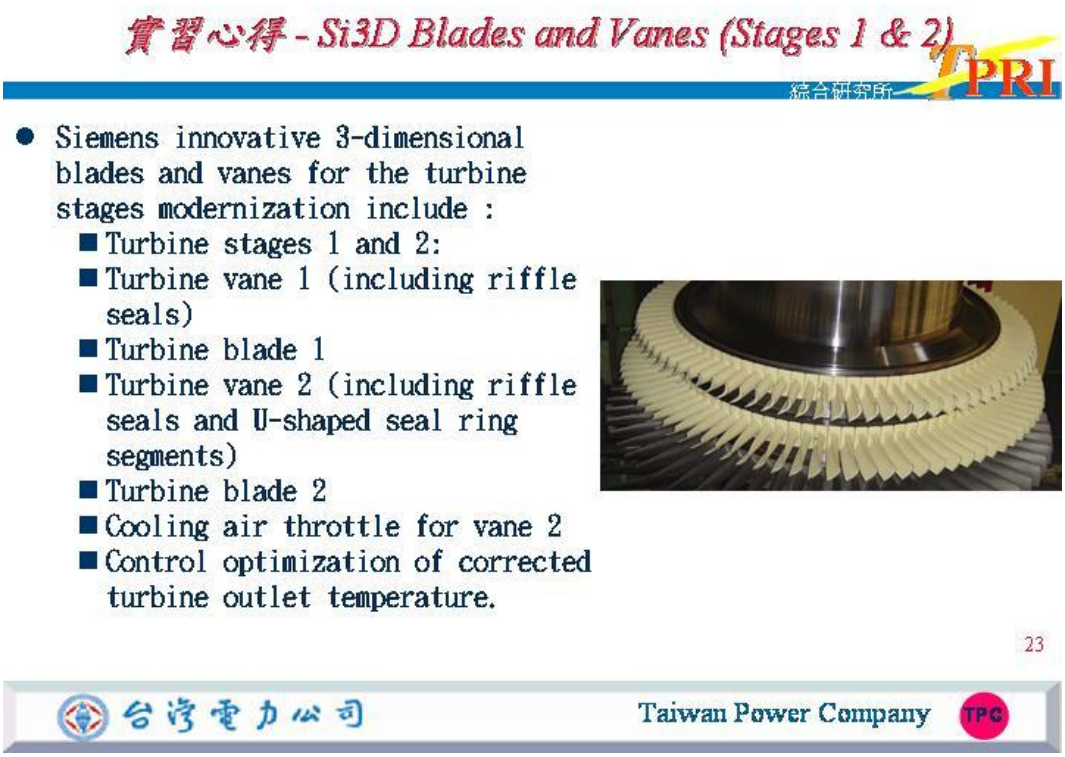


圖 11 Si3D Blades and Vanes (Stages 1 & 2)

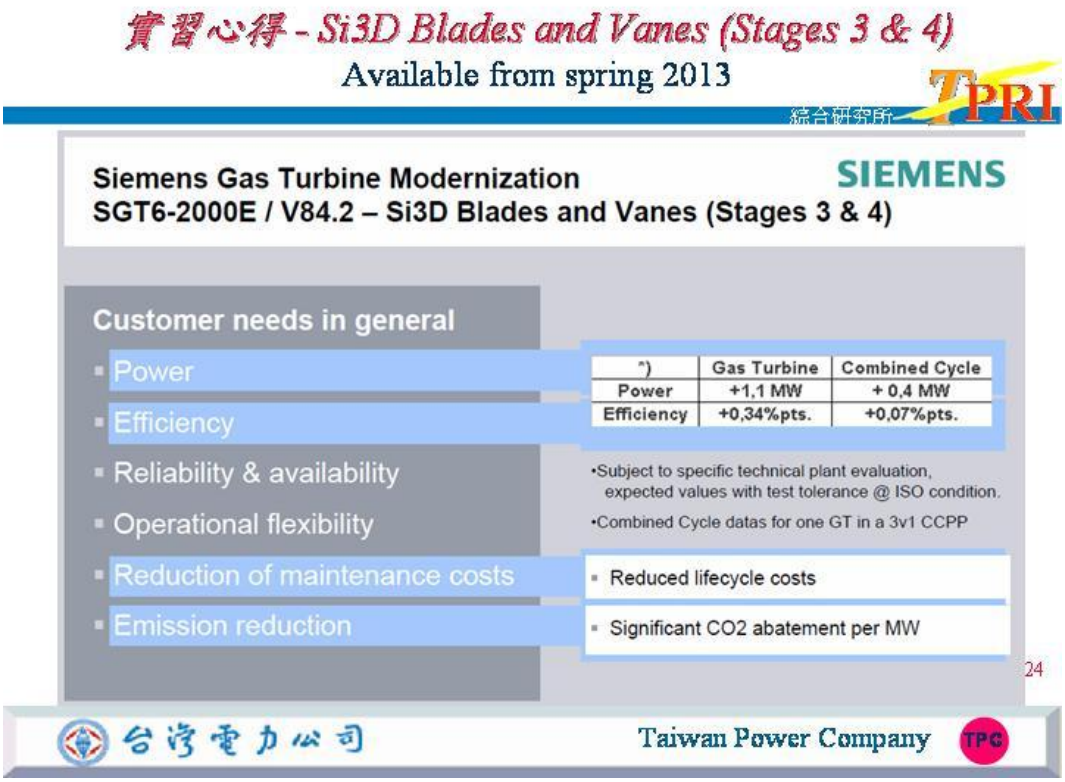


圖 12 Si3D Blades and Vanes (Stages 3 & 4)

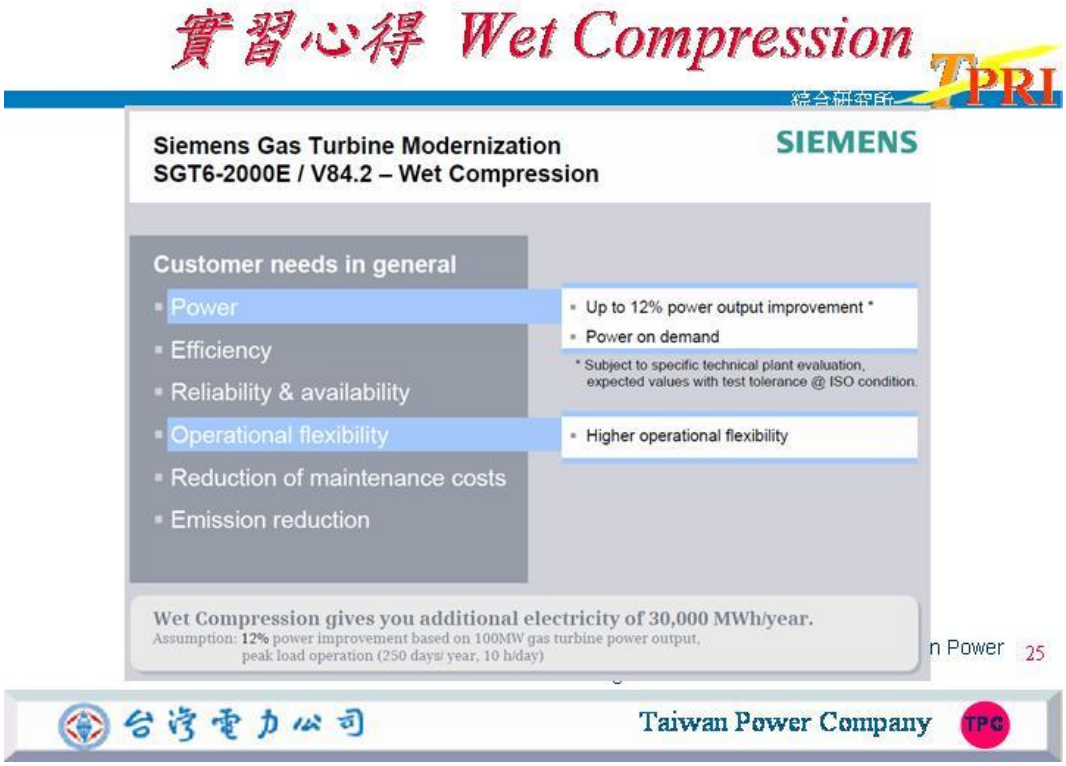


圖 13　Wet Compression

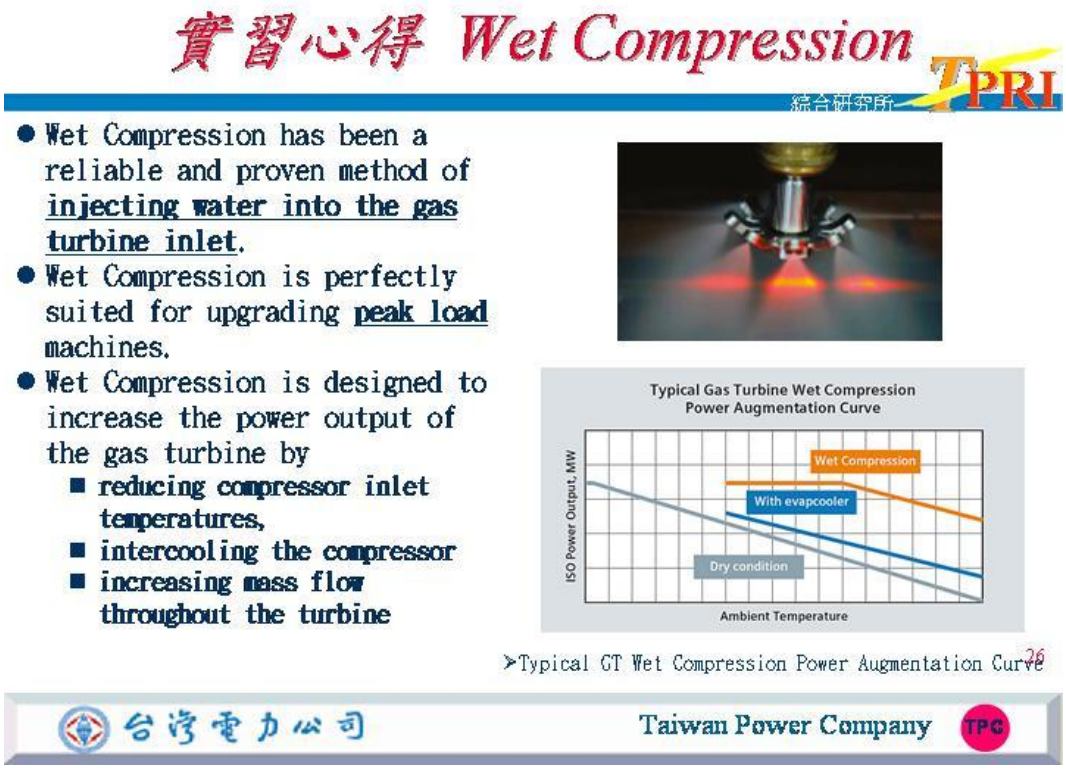


圖 14 Wet Compression

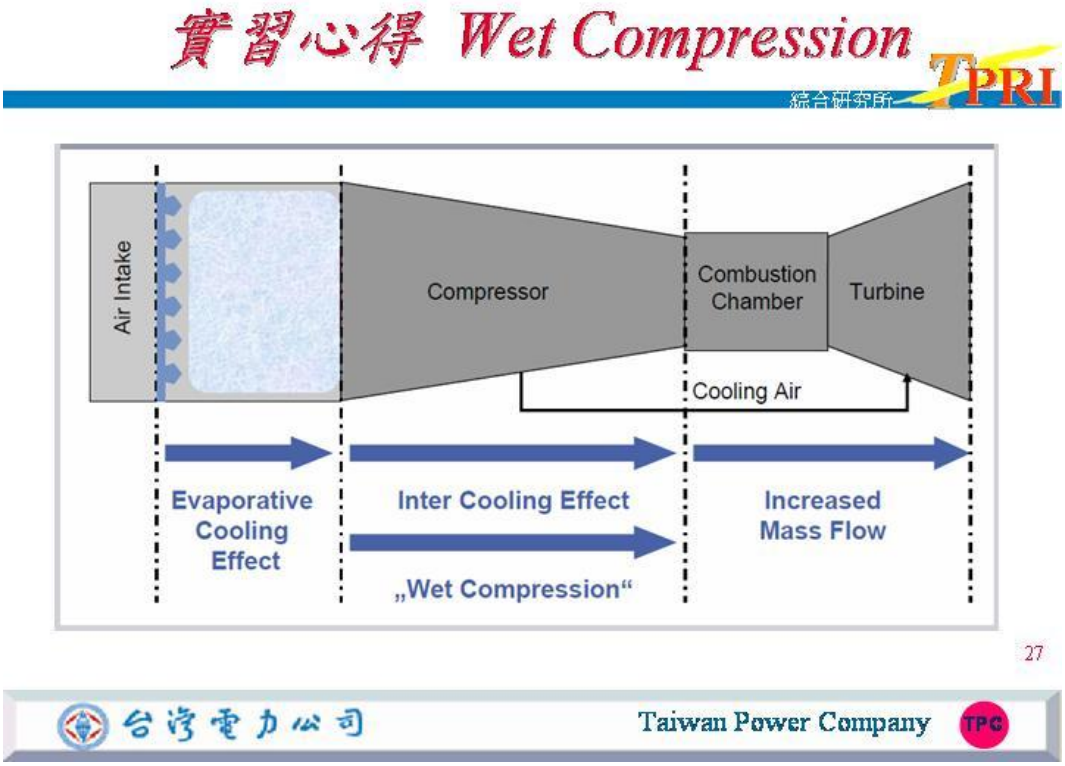


圖 15 Wet Compression

圖 16 Wet Compression

實習心得 Wet Compression

綜合研究所 TPRI

- Besides a diligent original equipment manufacturer assessment of the gas turbine and the involved power plant components, the scope of this modernization includes:
  - Compressor inlet Wet Compression water distribution system with nozzles
  - Inlet duct treatment
  - Wet Compression pump skid
  - Piping between pump skid and distribution system
  - Compressor coating (where required by gas turbine frame and version)
  - Compressor upgrade (depending on gas turbine frame and version)
  - Modification of existing control logic Gas turbine customization.

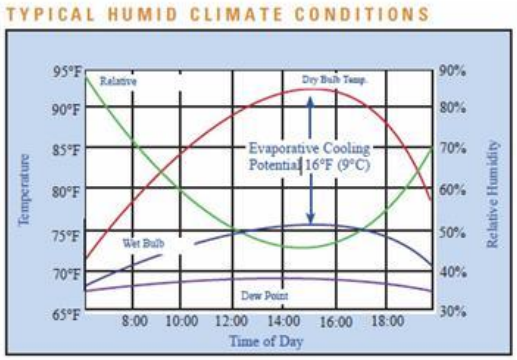
29

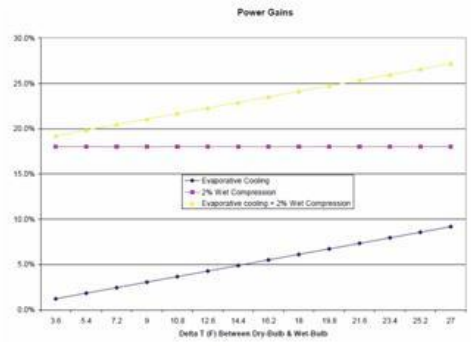
台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 17 Wet Compression

實習心得 Wet Compression

綜合研究所 TPRI





- Wet Compression is largely independent of the ambient relative humidity.

30

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 18 Wet Compression

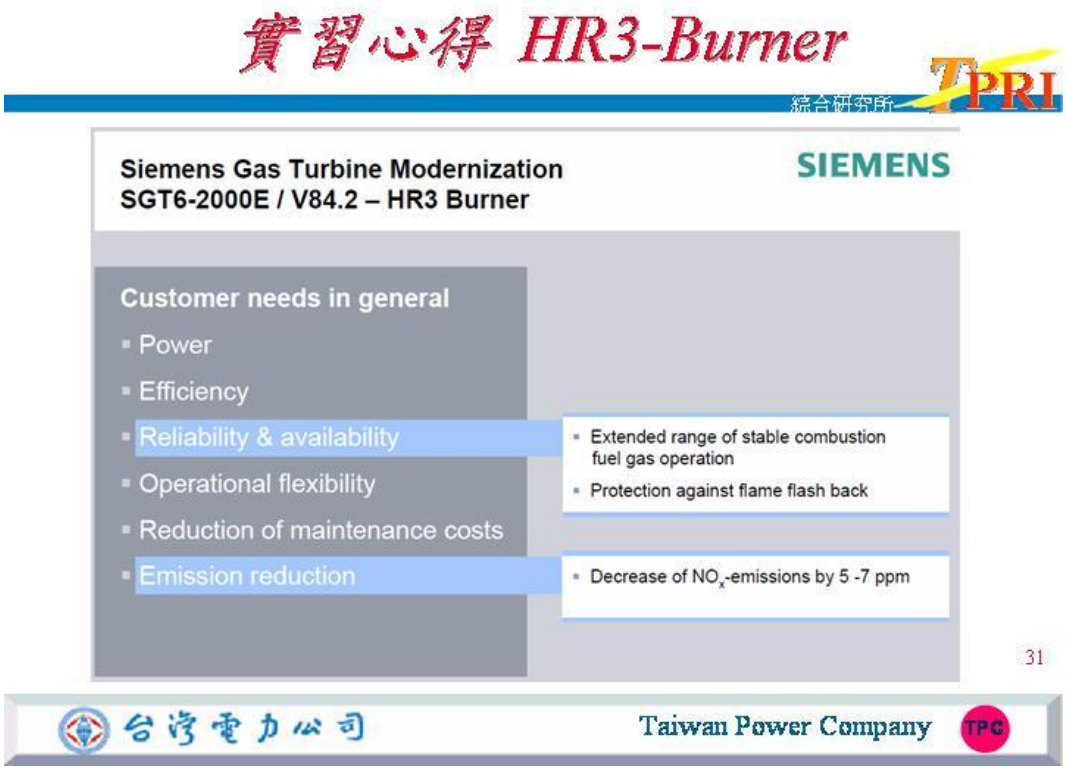


圖 19 HR3-Burner

圖 20 HR3-Burner

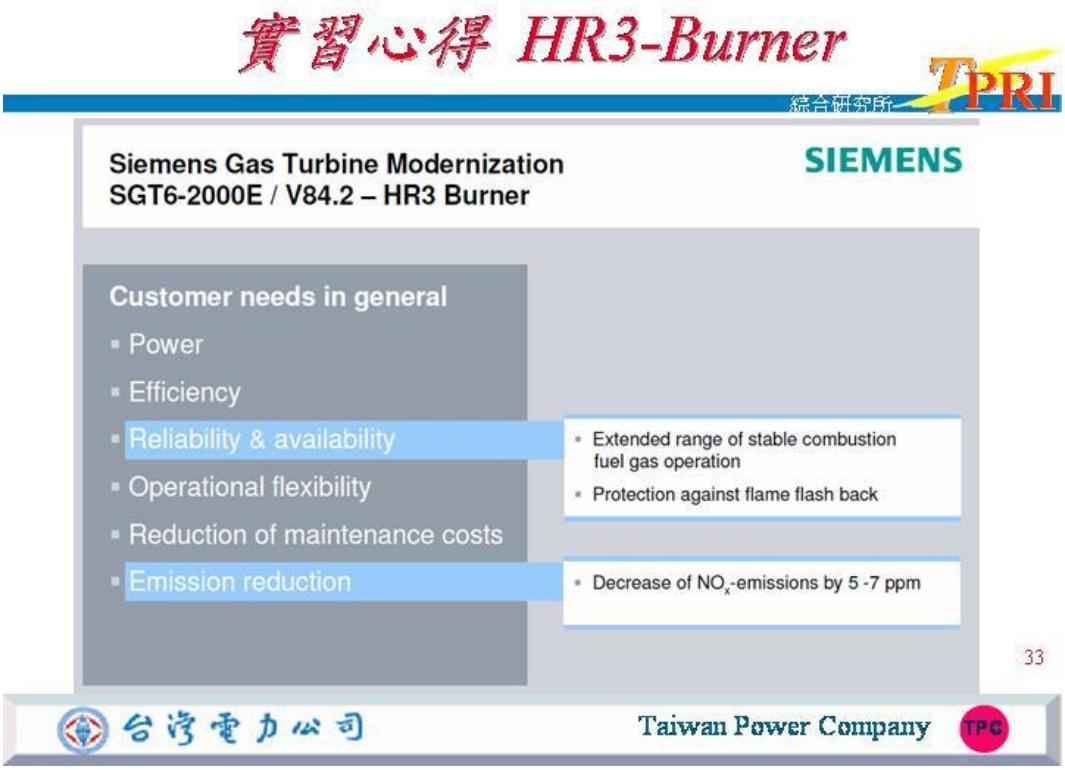


圖 21 HR3-Burner

圖 22 HR3-Burner

圖 23 HR3-Burner

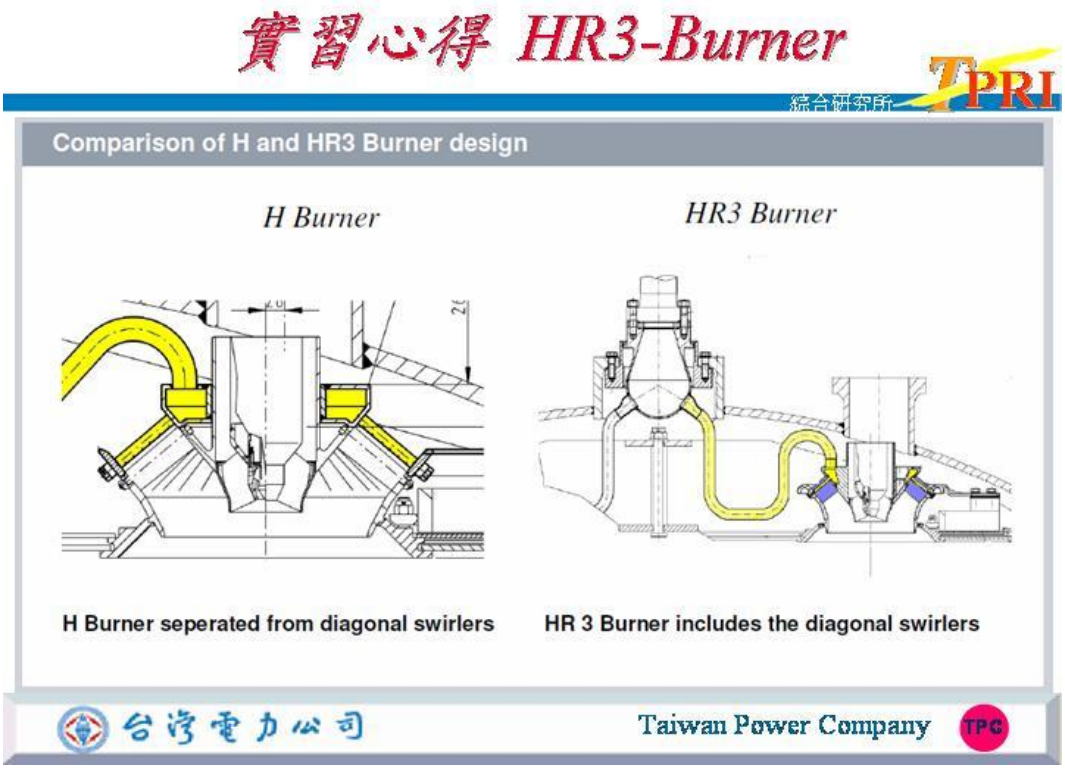


圖 24 HR3-Burner

圖 25 HR3-Burner

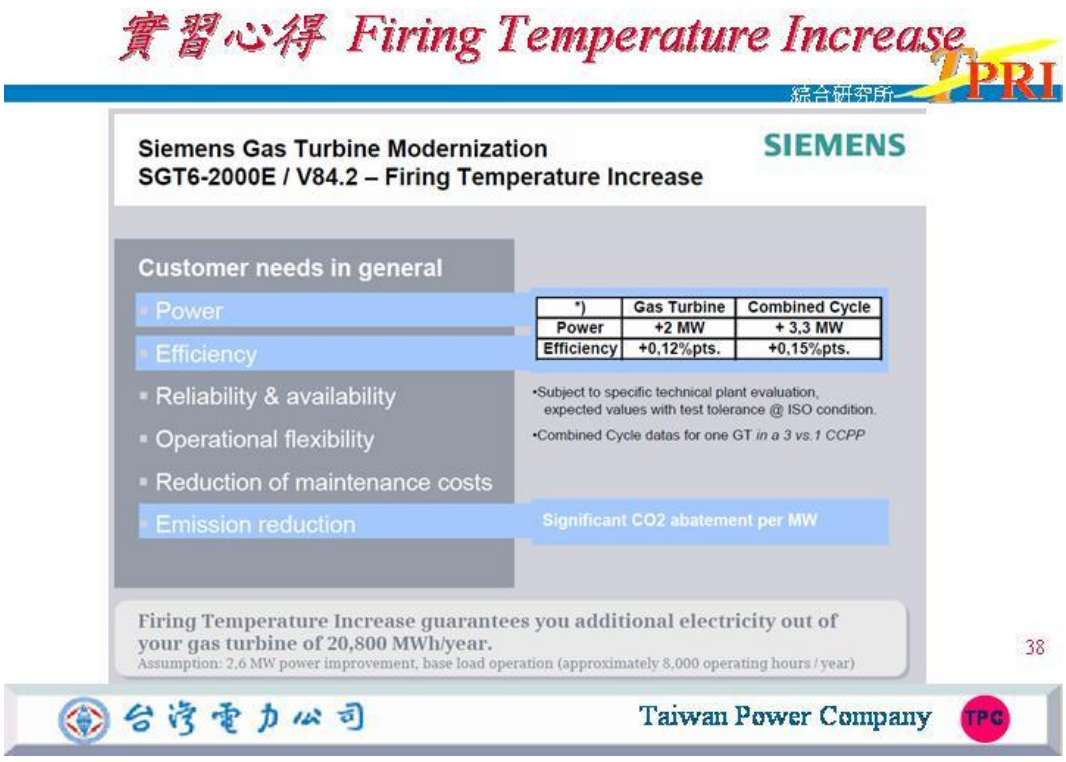
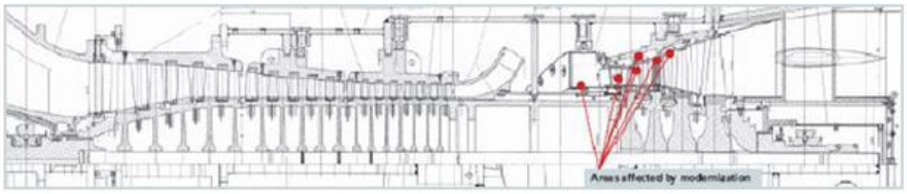


圖 26 Firing Temperature Increase

實習心得 Firing Temperature Increase

綜合研究所 TPRI

- The Firing Temperature Increase modernization involves the replacement or modification of key turbine components, which allows for an increase of the firing temperature. This modernization can yield **a power increase, heat rate improvement** and **additional exhaust energy.**



➢Firing Temperature Increase modernization increases turbine inlet temperature while maintaining periods of operation

39

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 27 Firing Temperature Increase

實習心得 Firing Temperature Increase

綜合研究所 TPRI

- The Siemens Firing Temperature Increase is just one of the many innovative modernization packages available.
- The scope of this modernization includes:
  - Advanced mixing chamber design
  - Advanced inner casing design
  - New coatings and aluminized inner surface on turbine blades and vanes stage 1 and 2 and on turbine vanes stage 3
  - HR3 burner and flame tube modification
  - Fast exhaust thermocouples recommended

40

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 28 Firing Temperature Increase

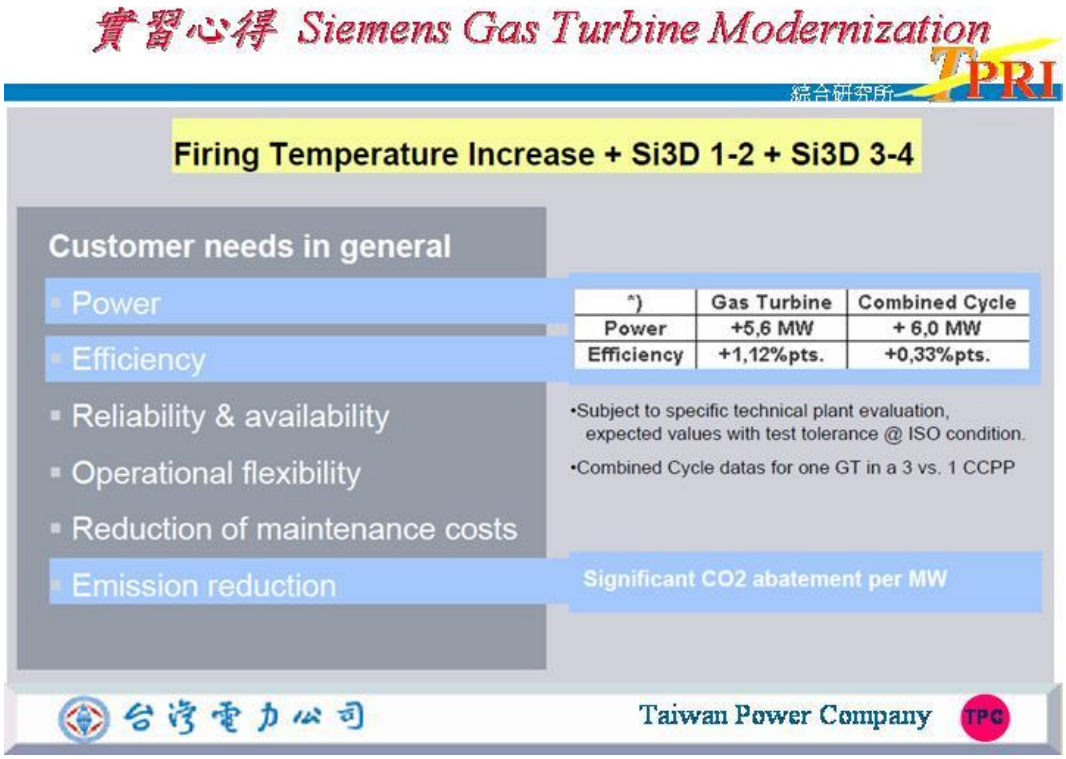


圖 29 Siemens Gas Turbine Modernization

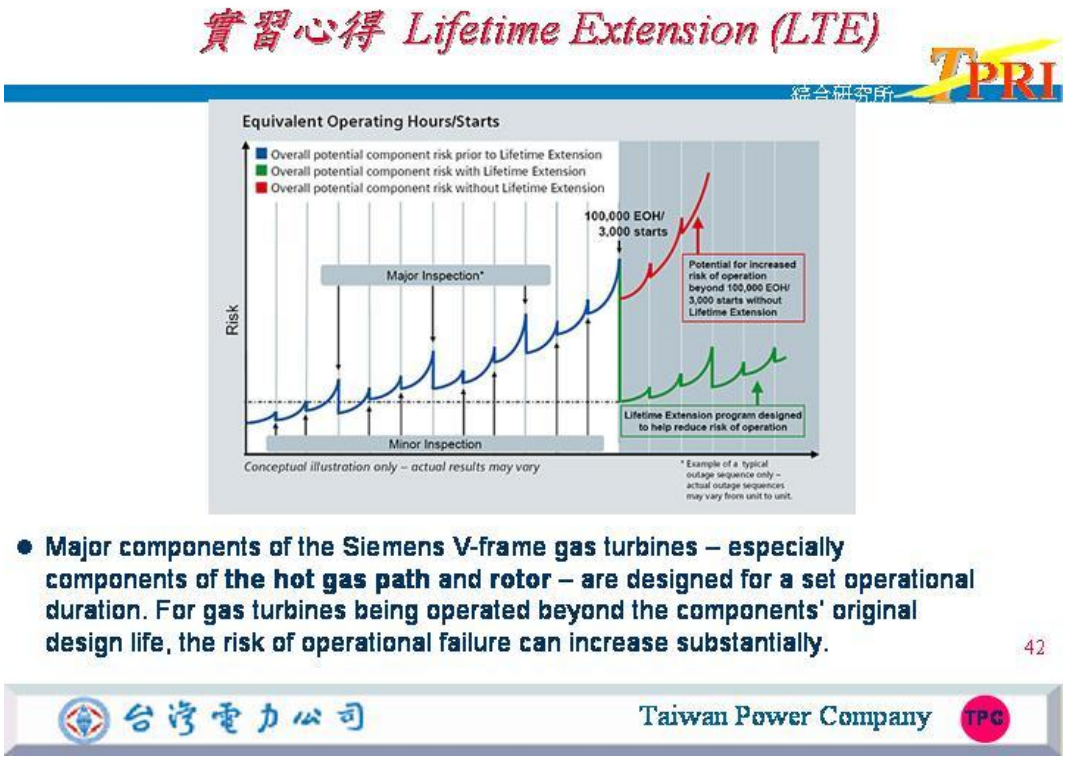


圖 30 Lifetime Extension (LTE)

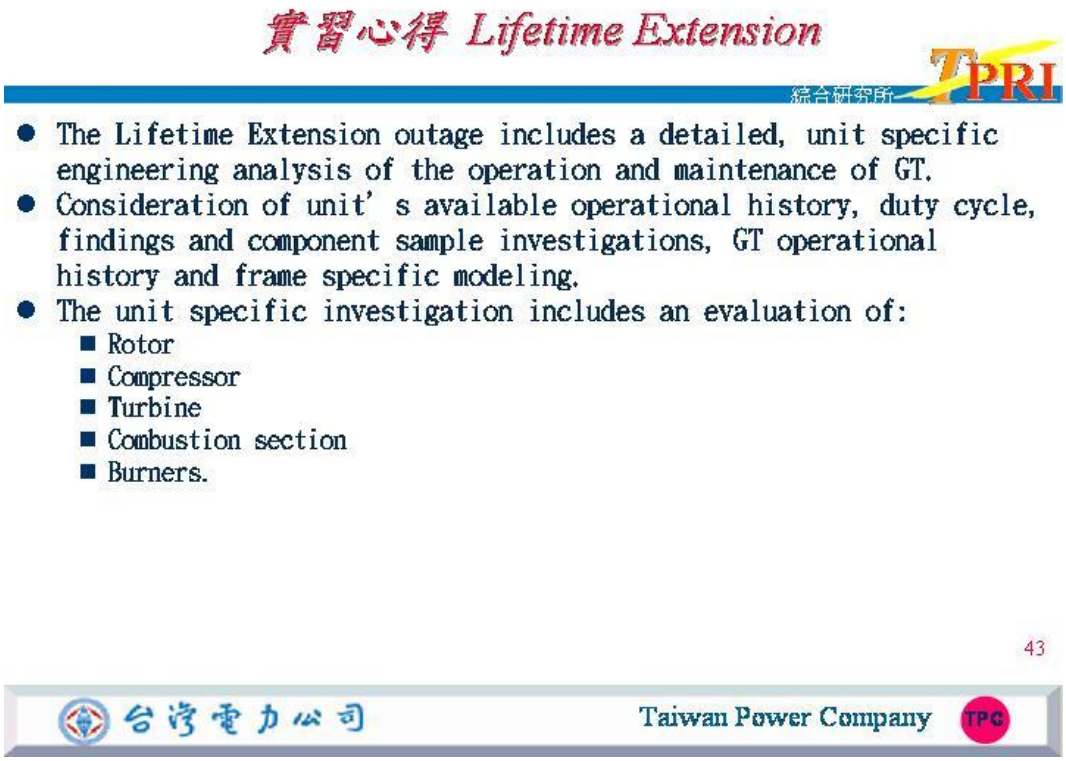
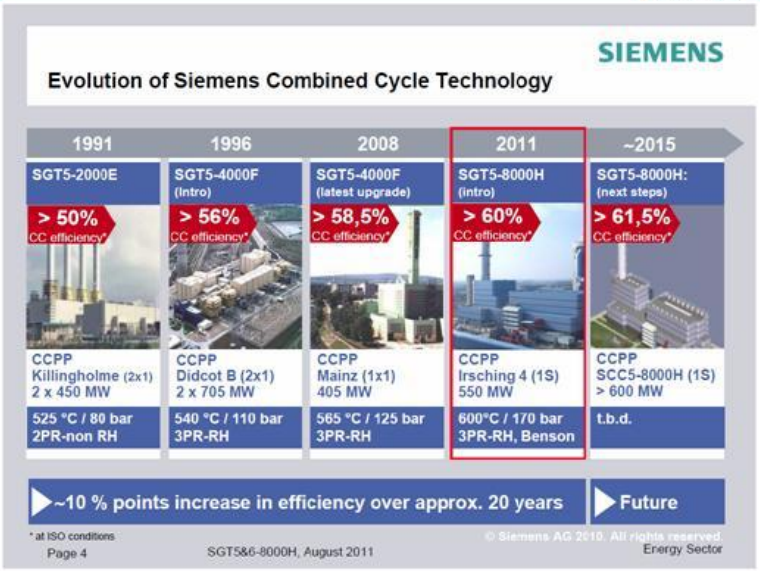


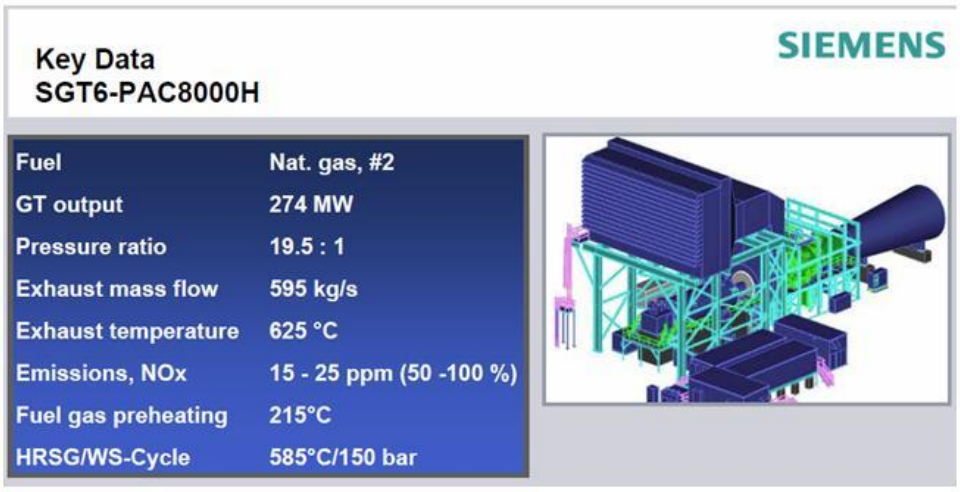
圖 31 Lifetime Extension

圖 32 Siemens SGT5/6-8000H



45

圖 33 Siemens SGT5/6-8000H



46

圖 34 Siemens SGT5/6-8000H

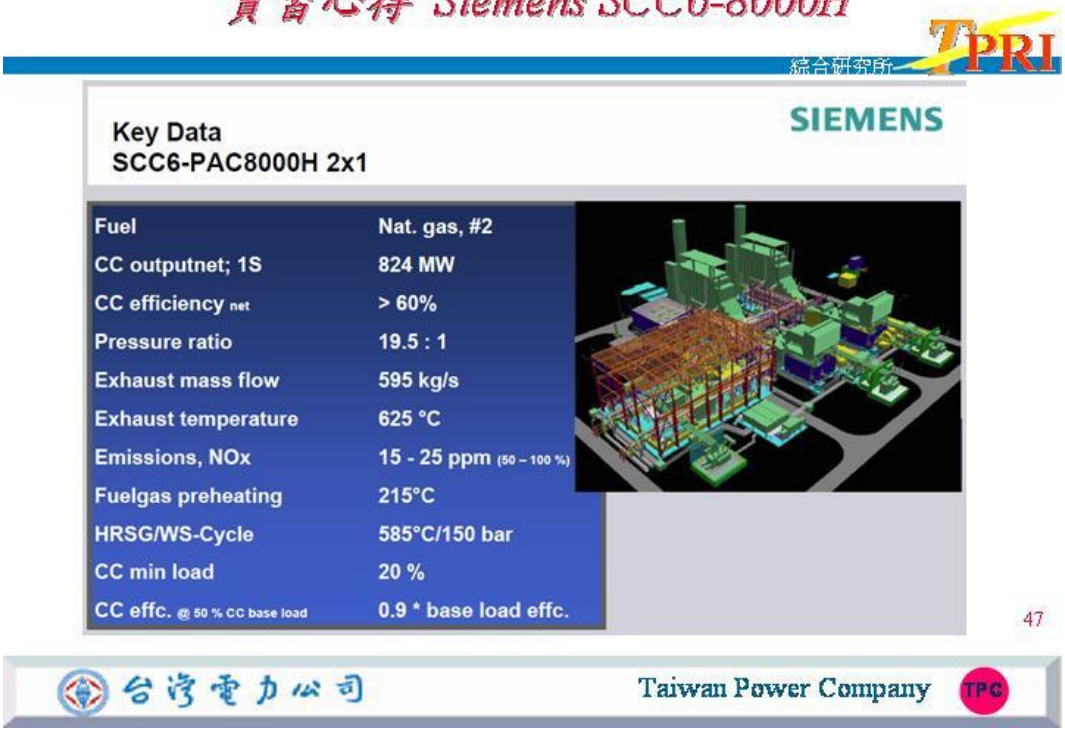


圖 35 Siemens SCC6-8000H

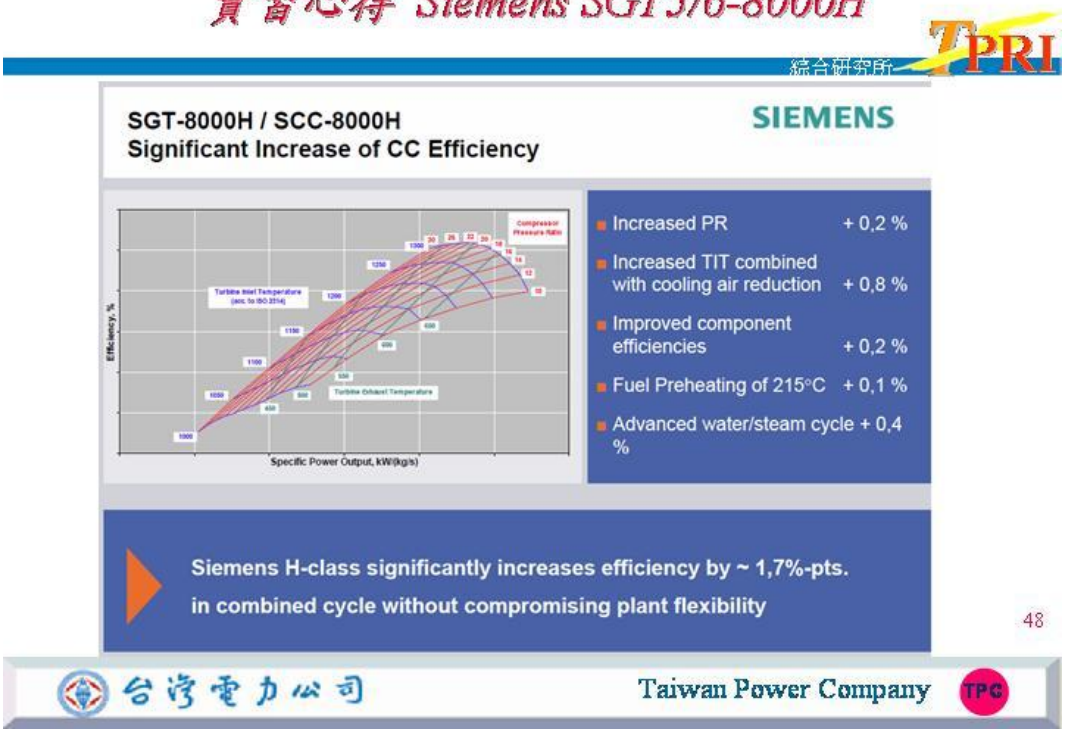


圖 36 Siemens SGT5/6-8000H

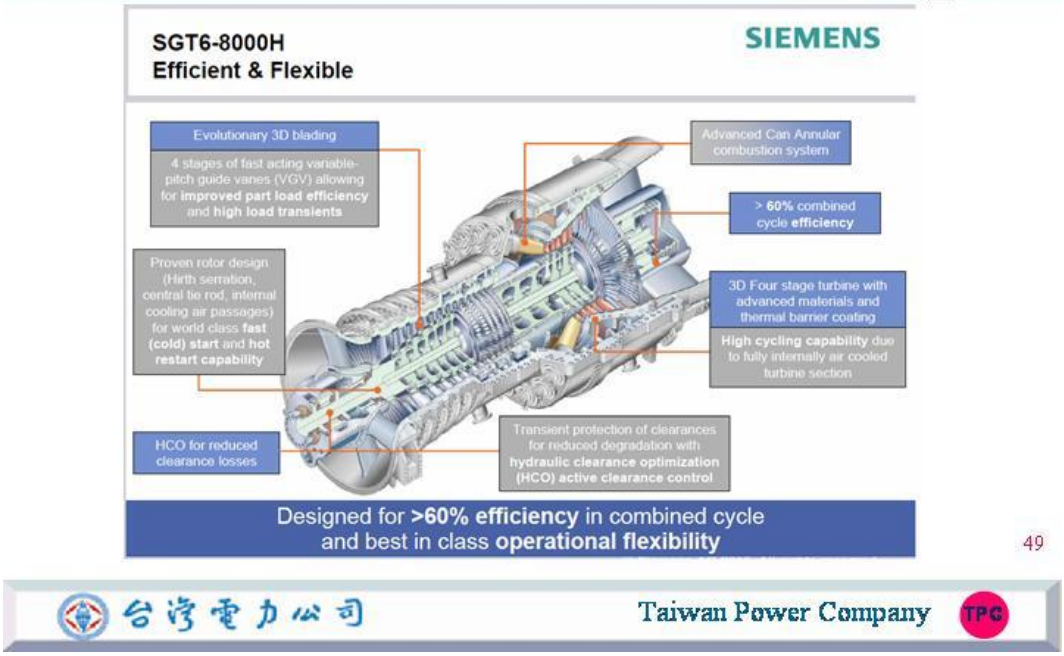


圖 37 Siemens SGT5/6-8000H

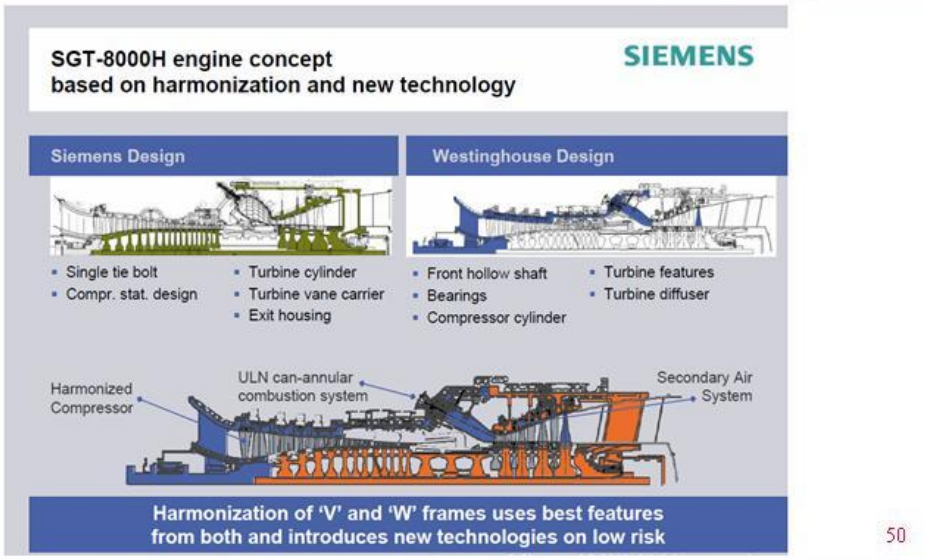


圖 38 Siemens SGT5/6-8000H

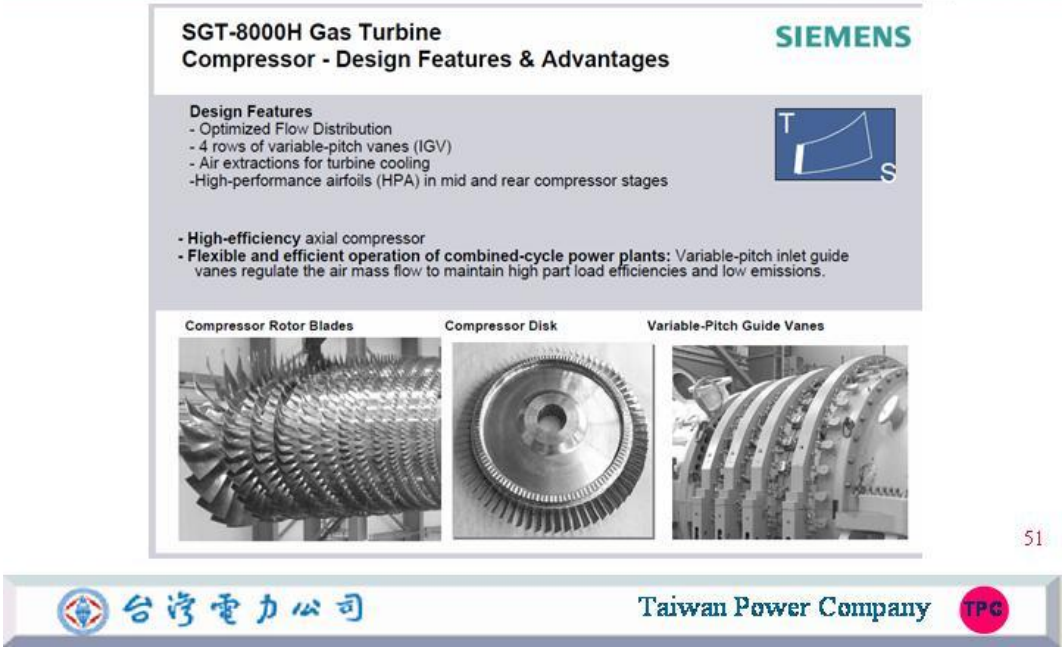


圖 39 Siemens SGT5/6-8000H

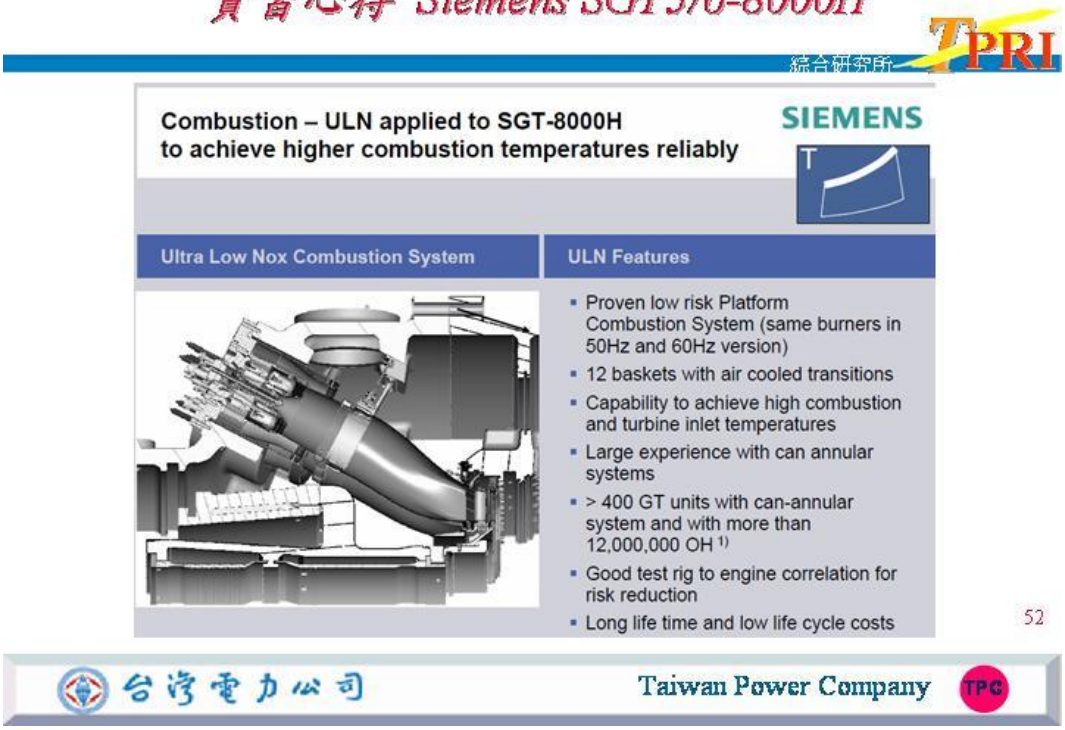


圖 40 Siemens SGT5/6-8000H

圖 41 Siemens SGT5/6-8000H

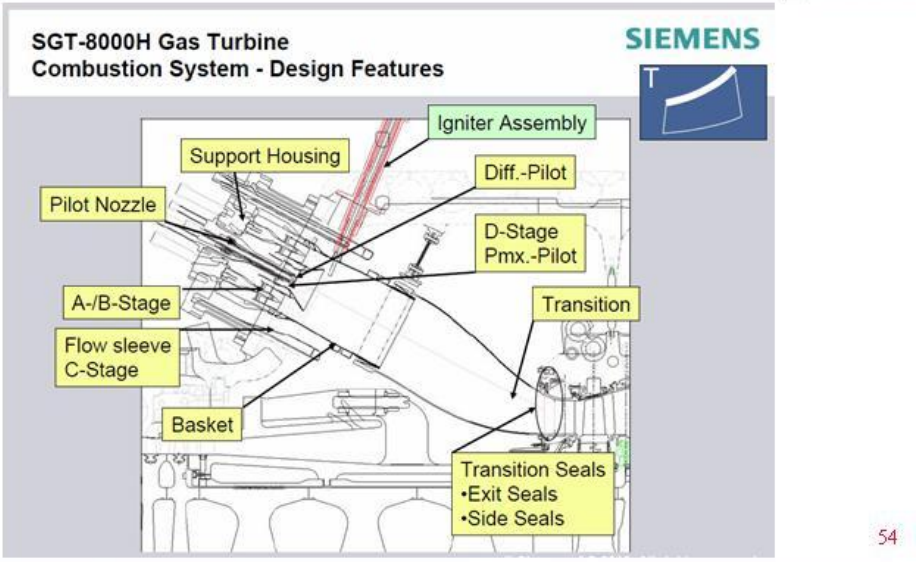


圖 42 Siemens SGT5/6-8000H

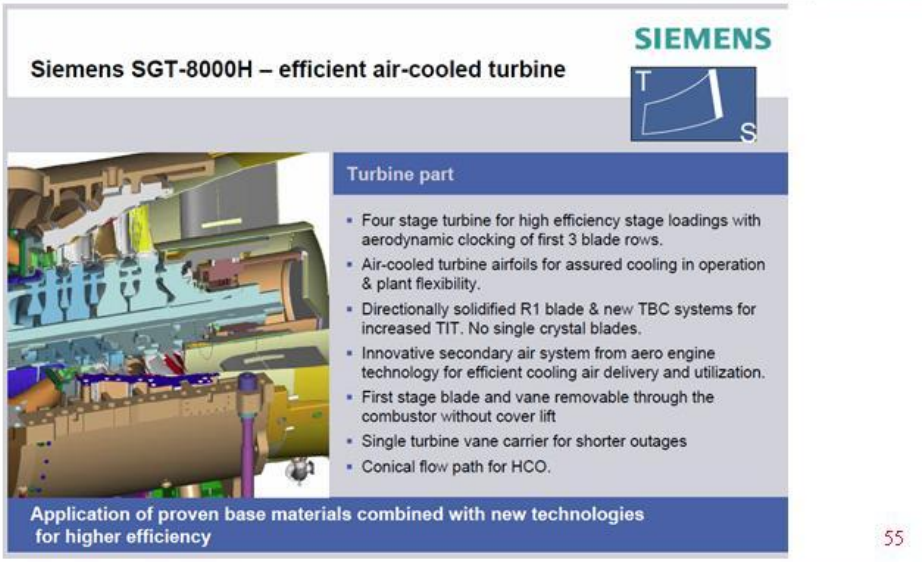


圖 43 Siemens SGT5/6-8000H

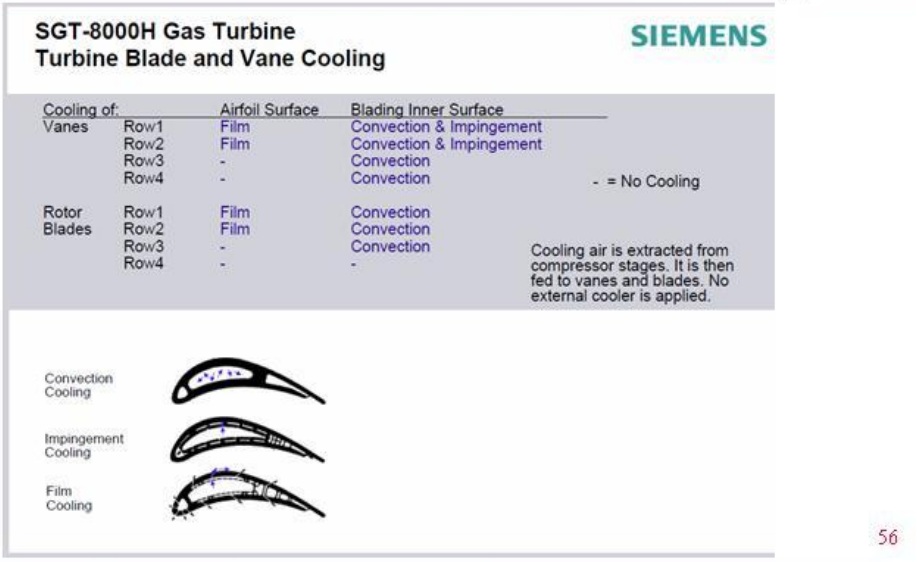


圖 44 Siemens SGT5/6-8000H

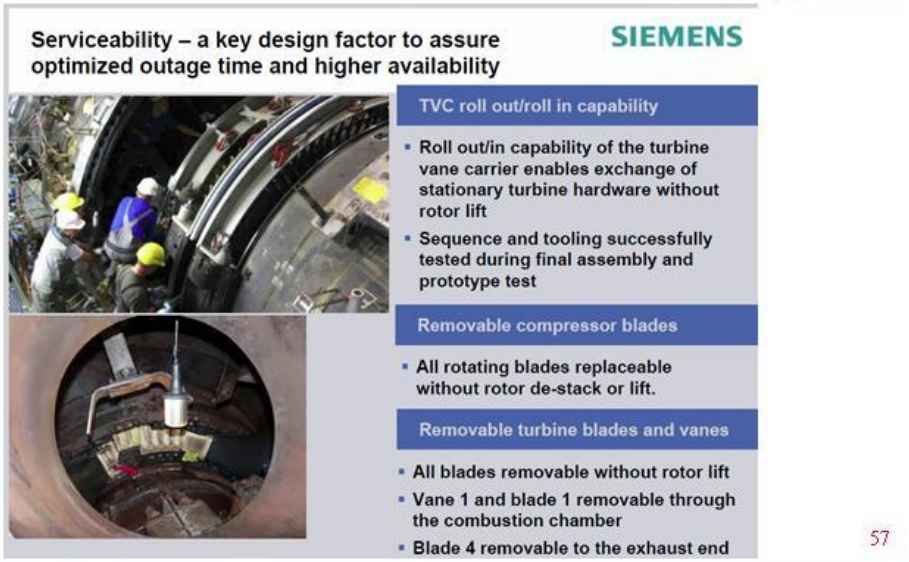


圖 45 Siemens SGT5/6-8000H

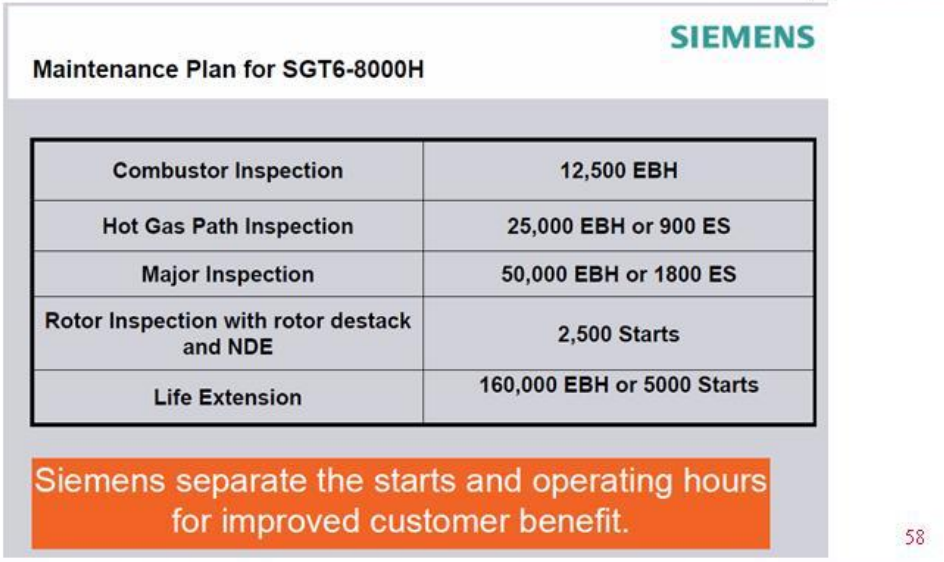


圖 46 Siemens SGT5/6-8000H

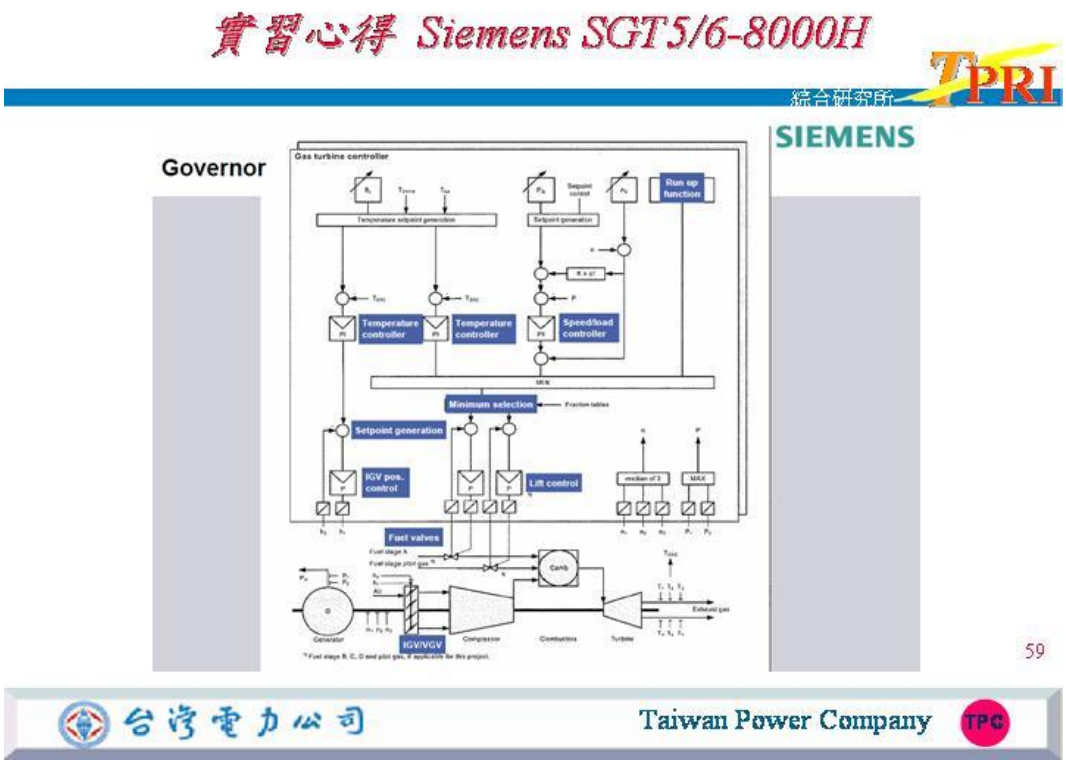


圖 47 Siemens SGT5/6-8000H

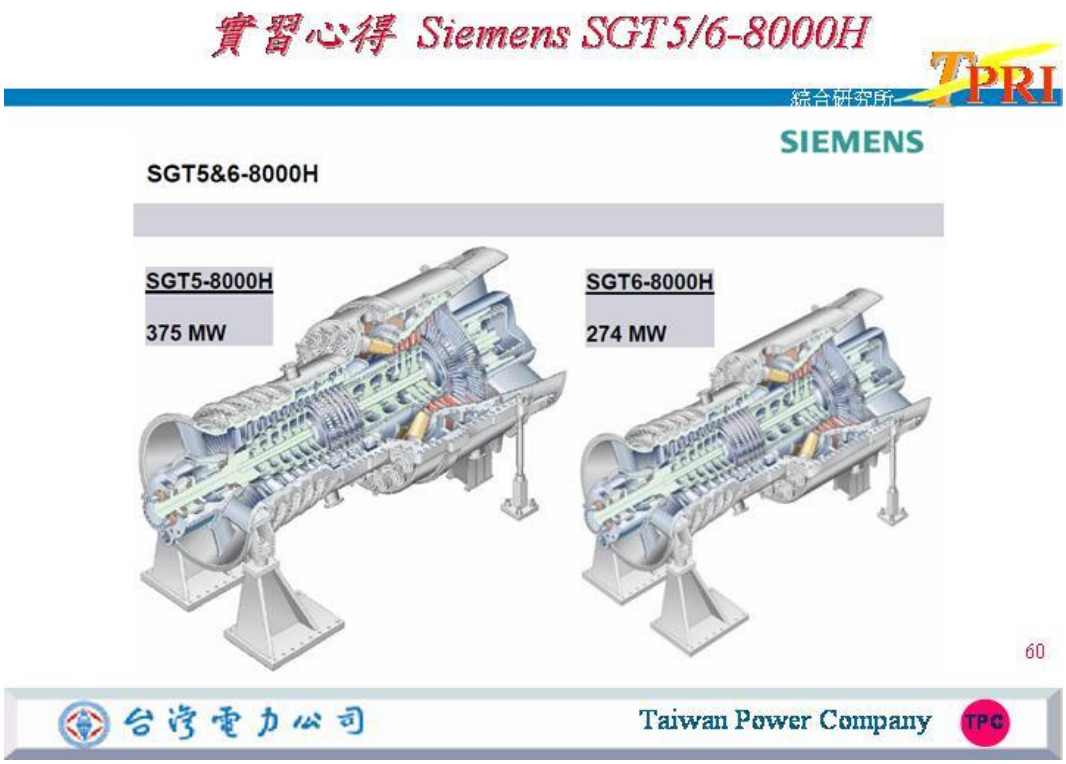


圖 48 Siemens SGT5/6-8000H

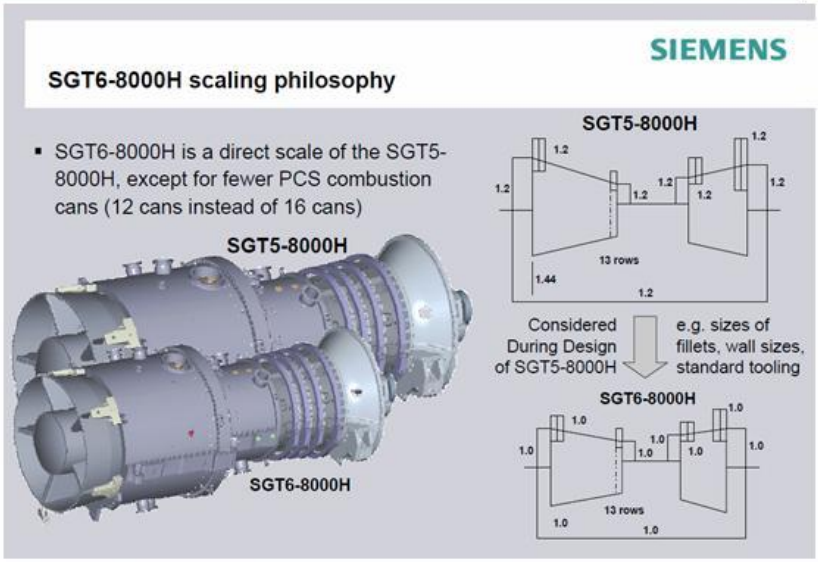


圖 49 Siemens SGT5/6-8000H

圖 50 Siemens SGT5/6-8000H

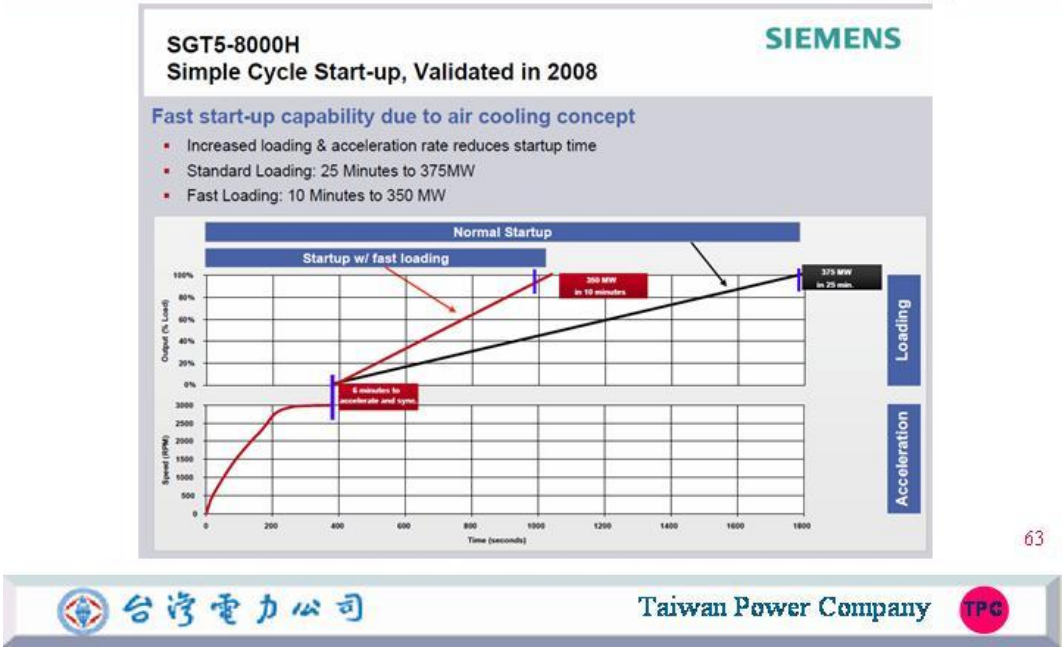


圖 51 Siemens SGT5/6-8000H

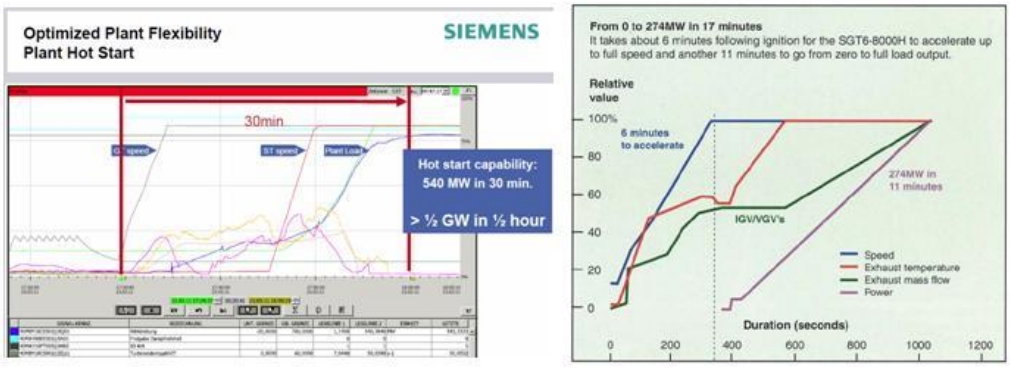


圖 52 Siemens SGT5/6-8000H

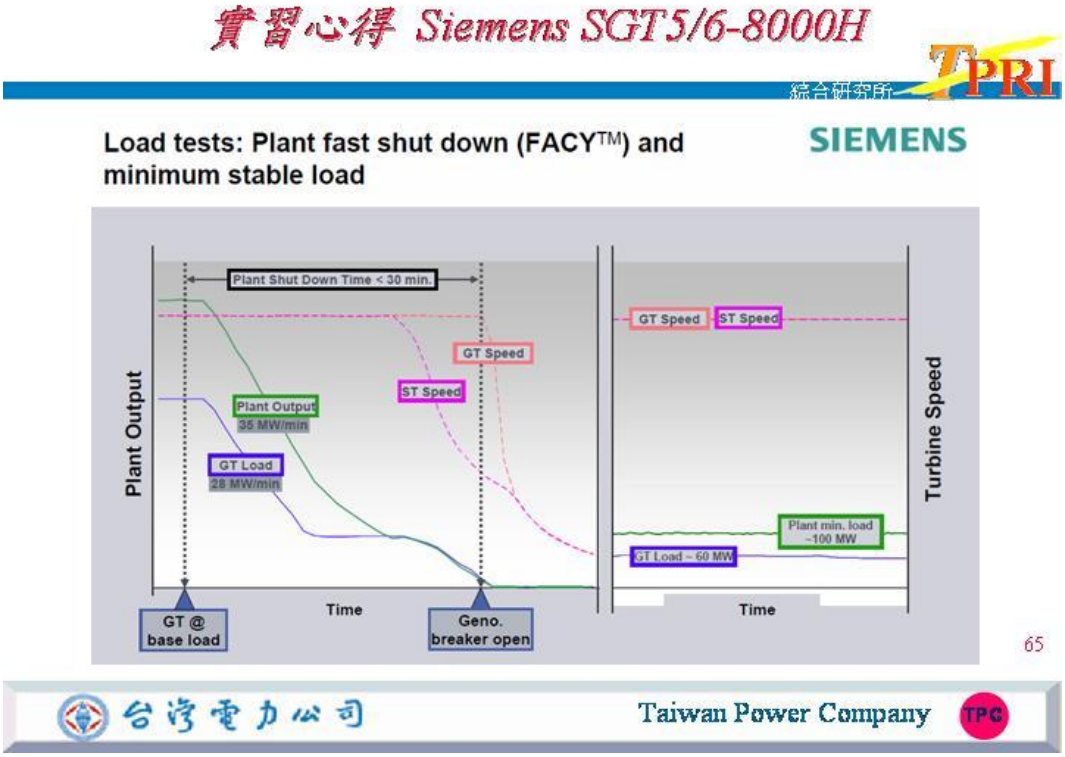


圖 53 Siemens SGT5/6-8000H

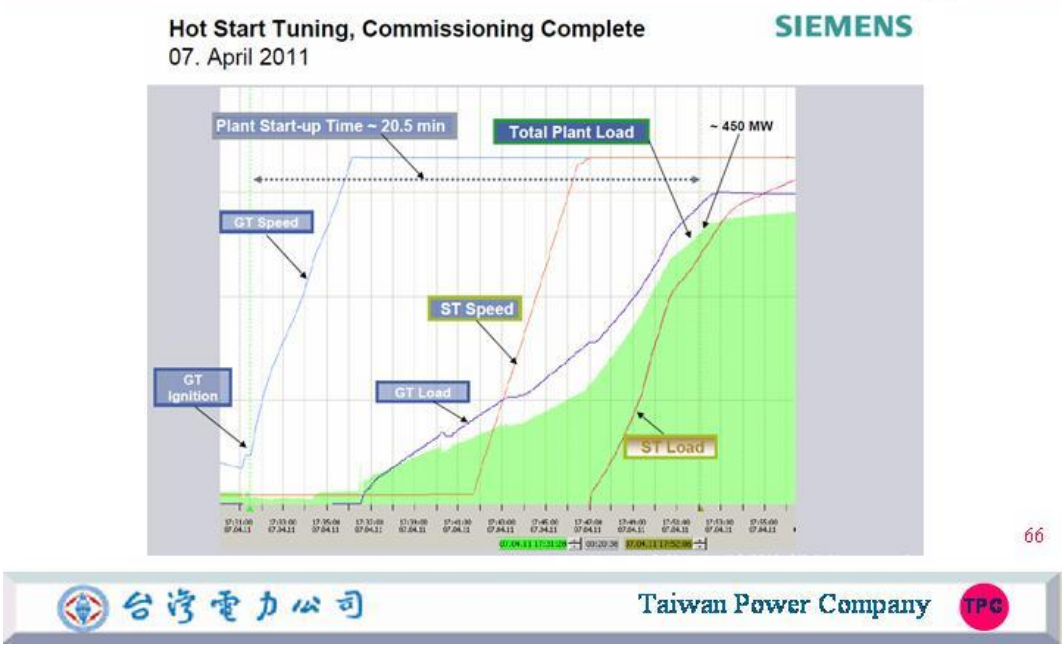


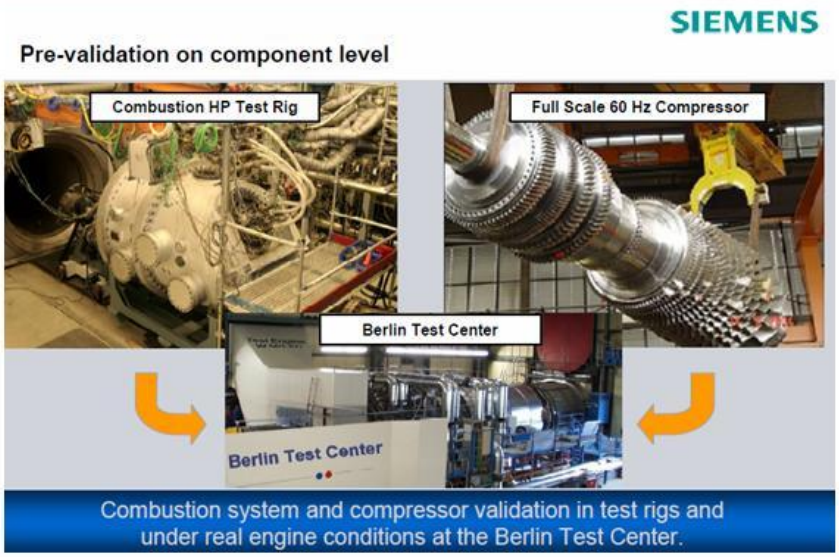
圖 54 Siemens SGT5/6-8000H

圖 55 Siemens SGT5/6-8000H

圖 56 參觀製造工廠

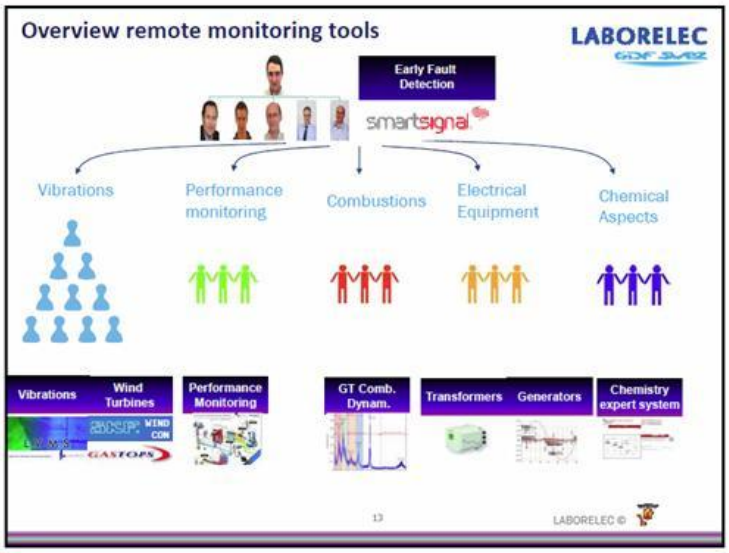
69

圖 57 參觀 SGT6-8000H Test Center



70

圖 58 參觀 SGT6-8000H Test Center



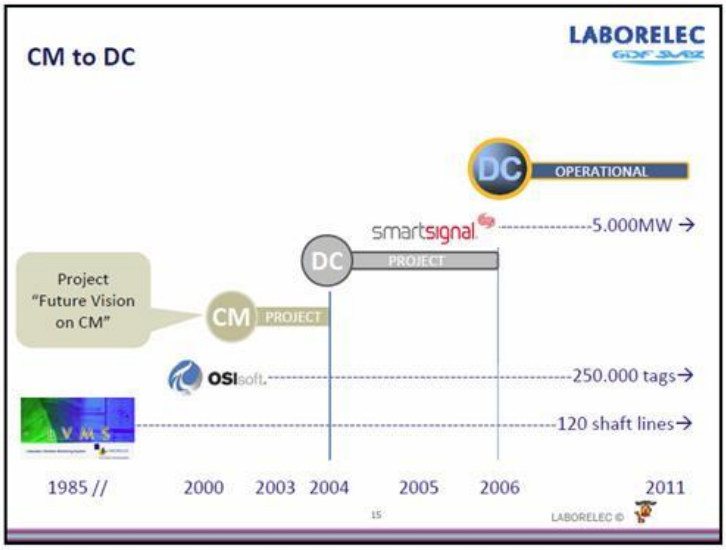
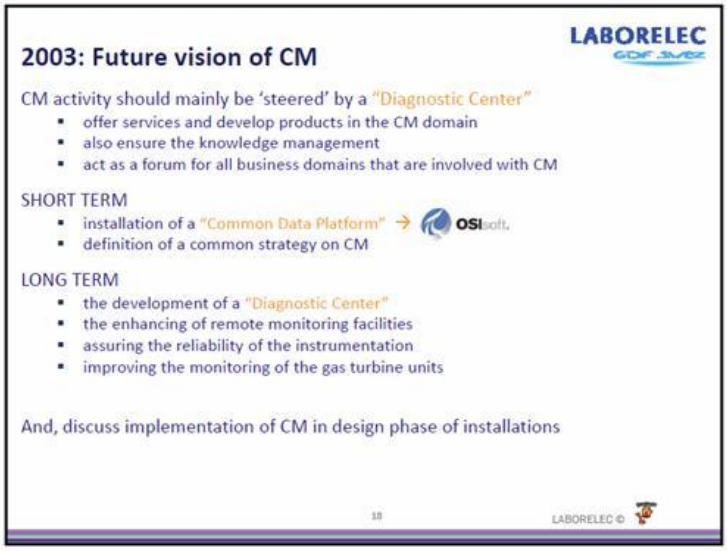
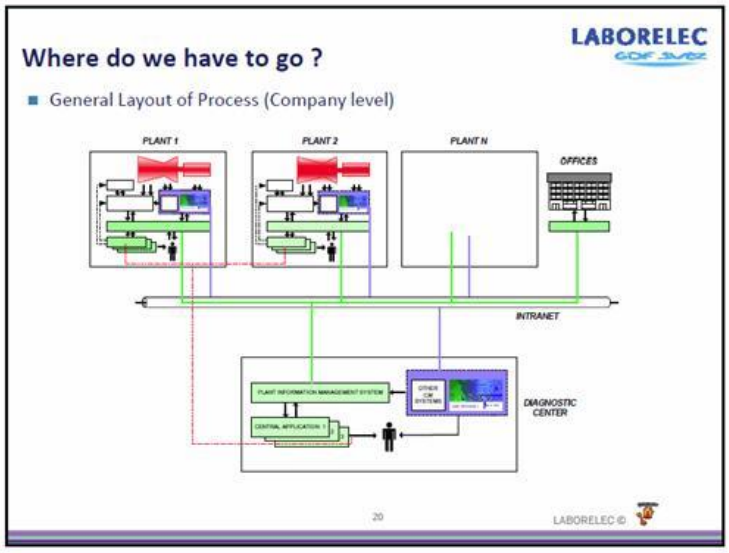


圖 59 早期監測預警系統

(Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System)



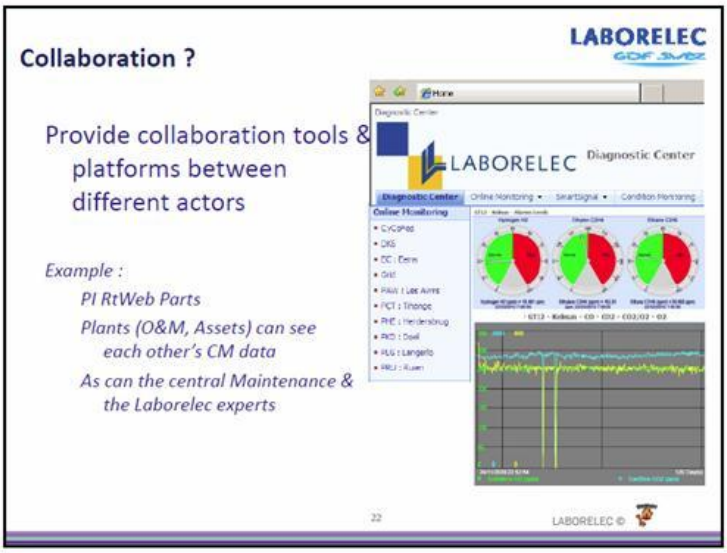
73



74

圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）



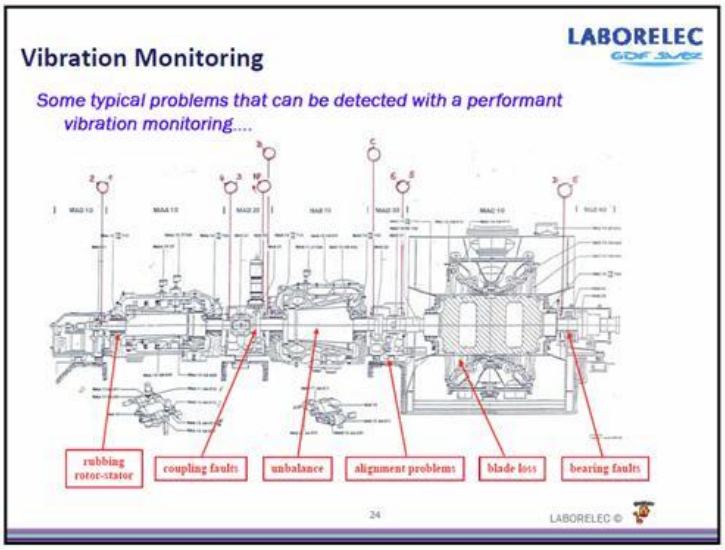


圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）

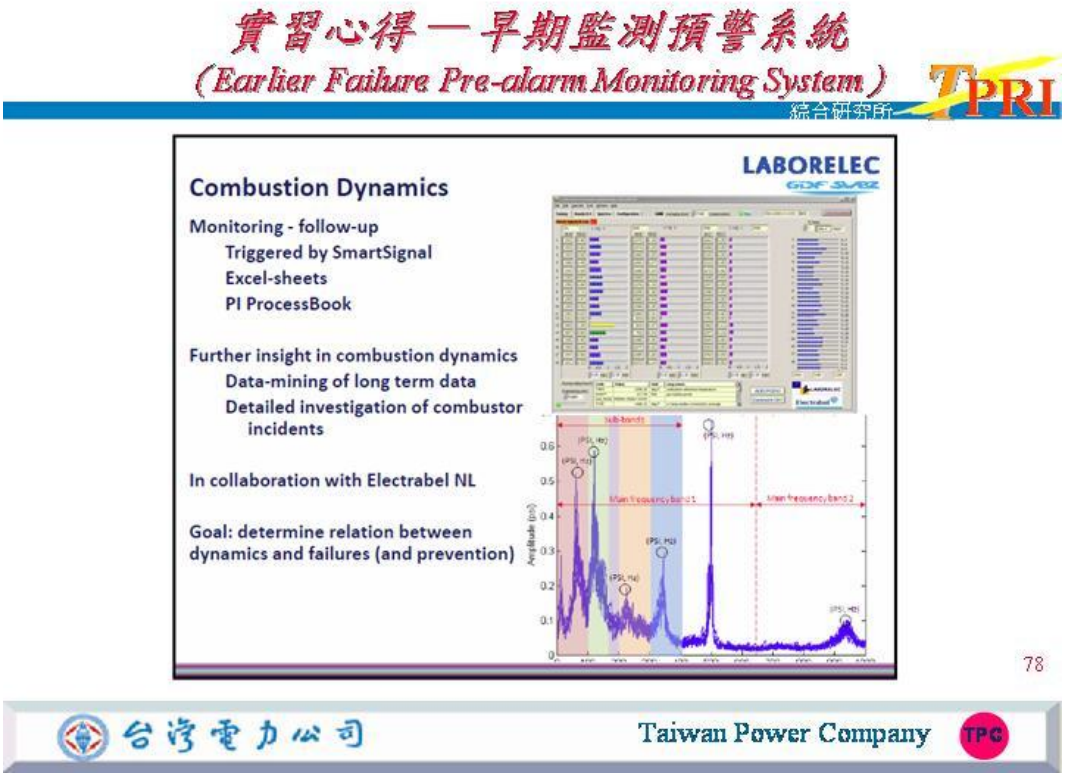
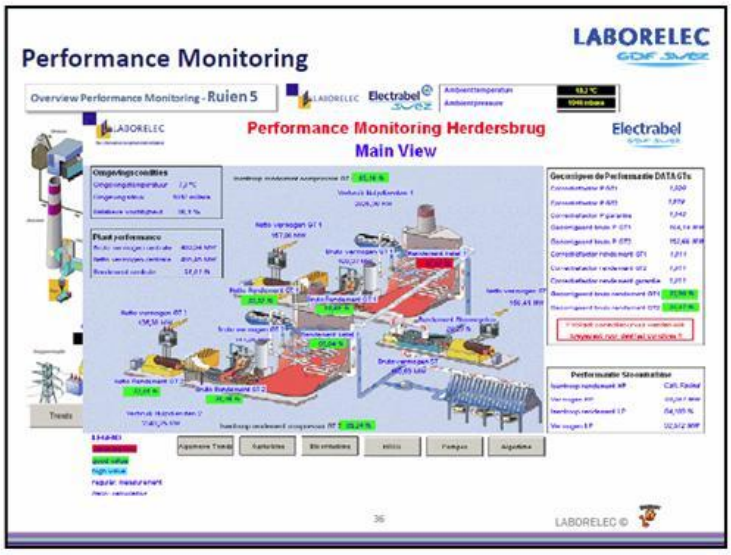
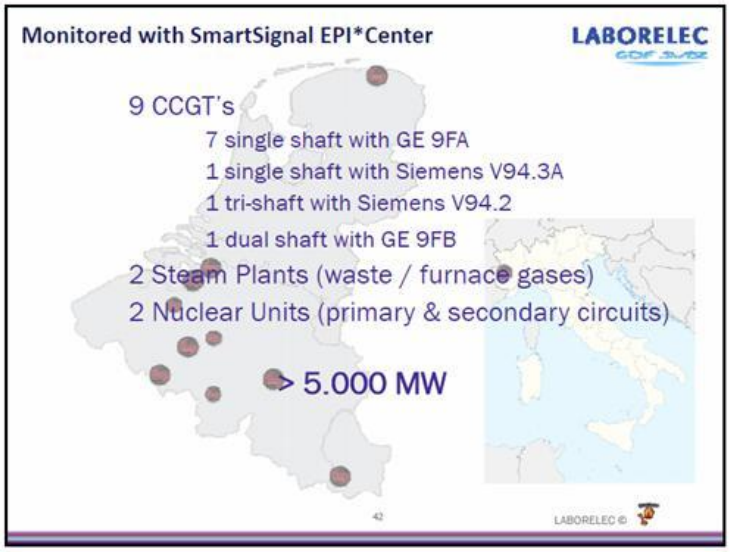


圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）



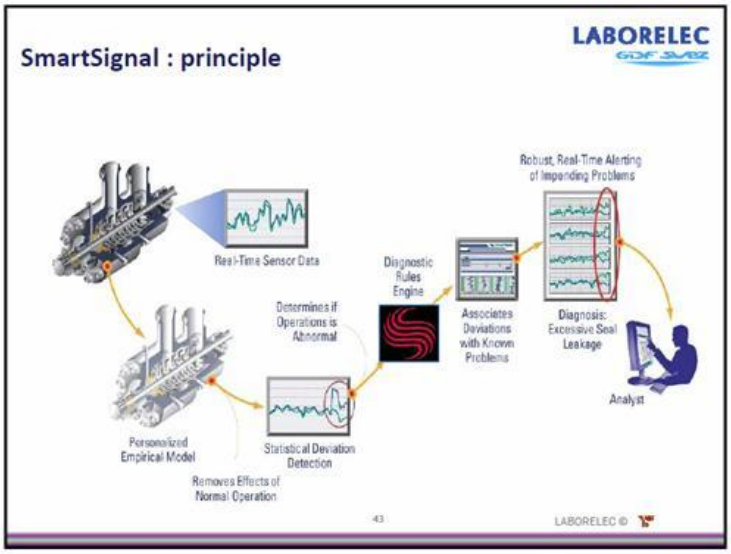
79



80

圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）



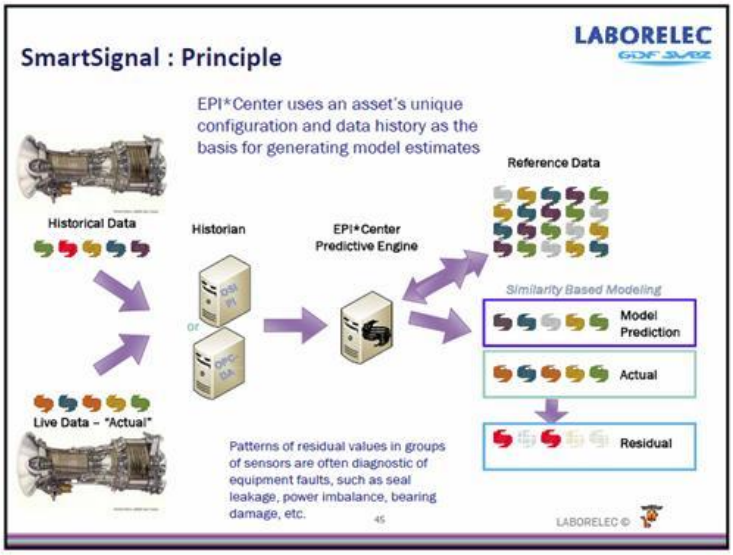
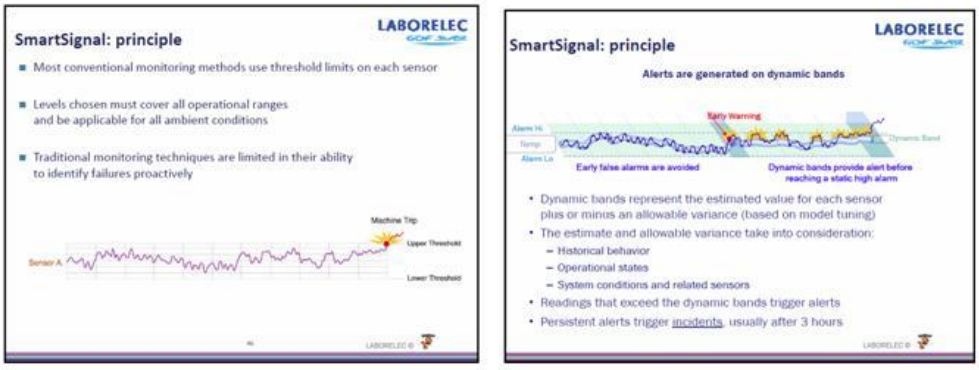


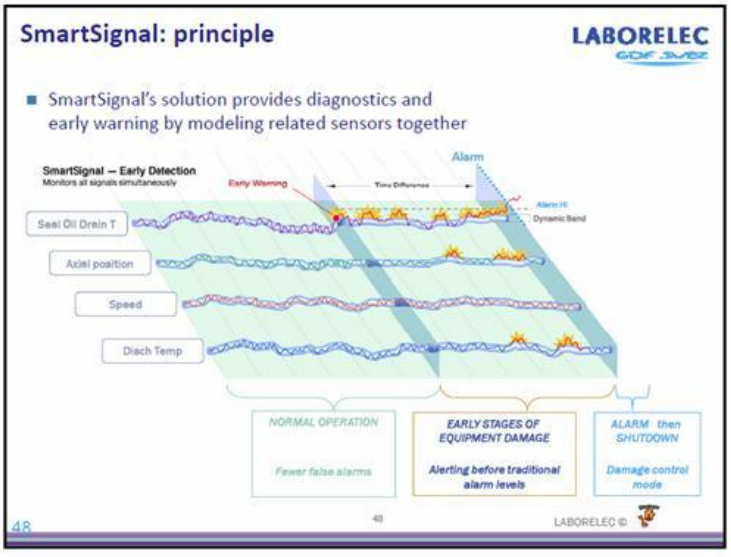
圖 59 早期監測預警系統

(Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System)



83

實習心得－早期監測預警系統
（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）
綜合研究所

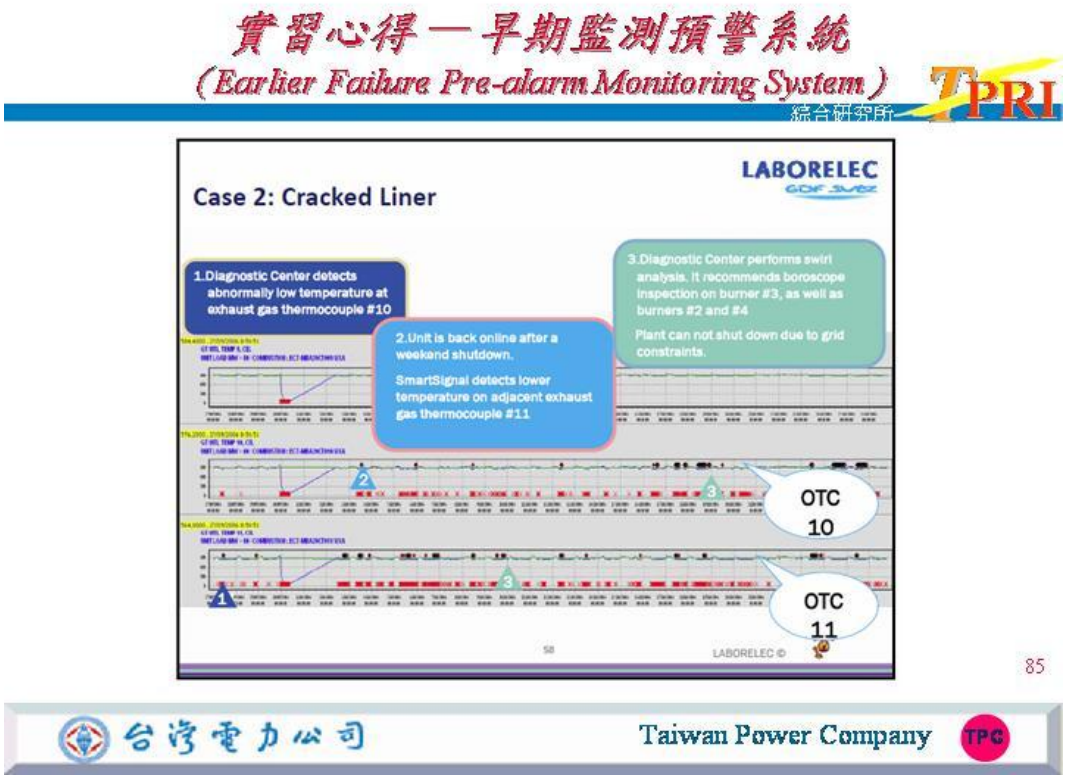


84

台灣電力公司 Taiwan Power Company TPC

圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）



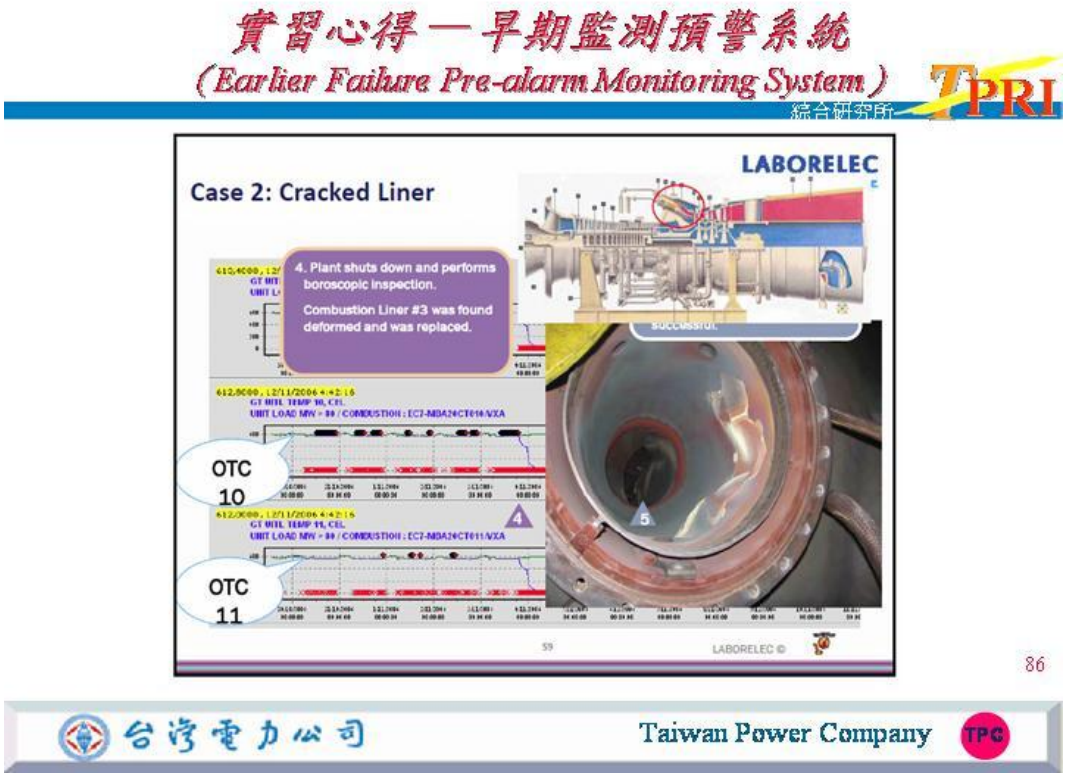
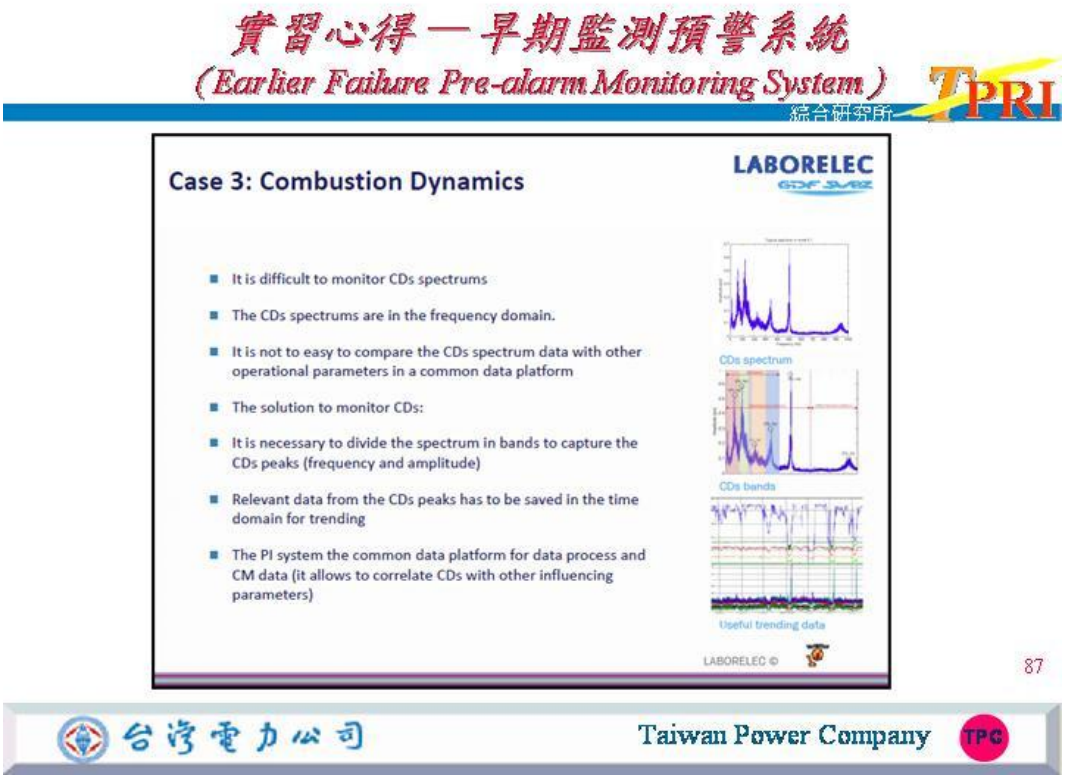


圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）



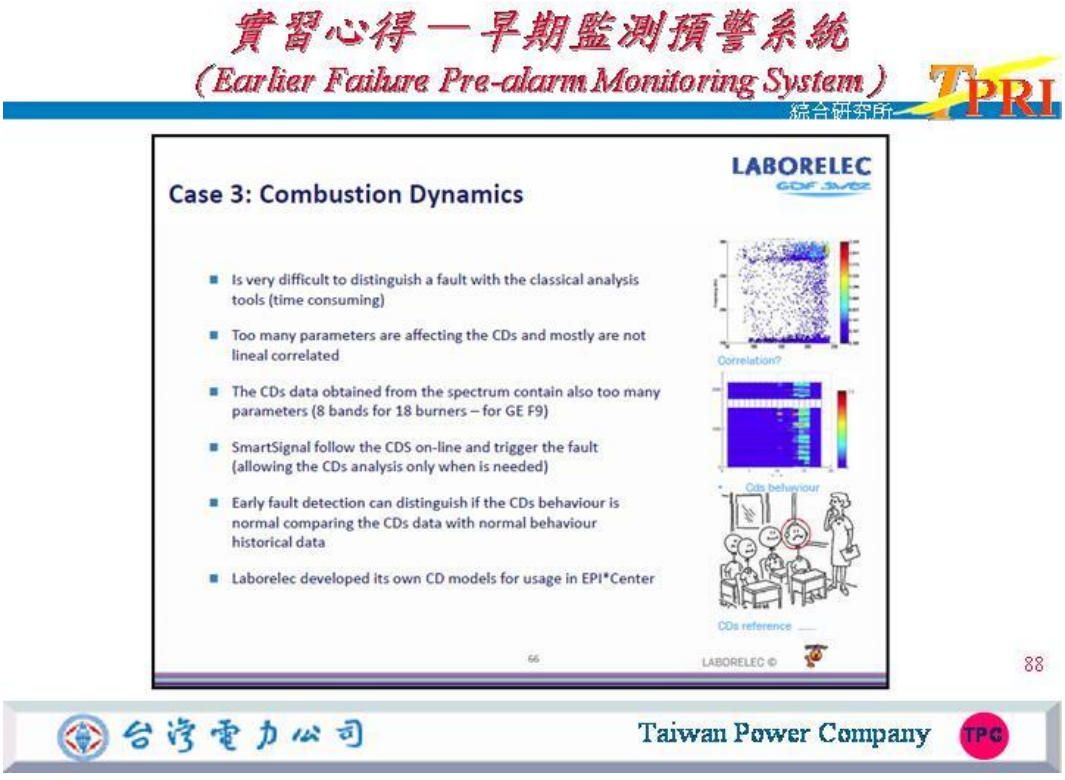


圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）

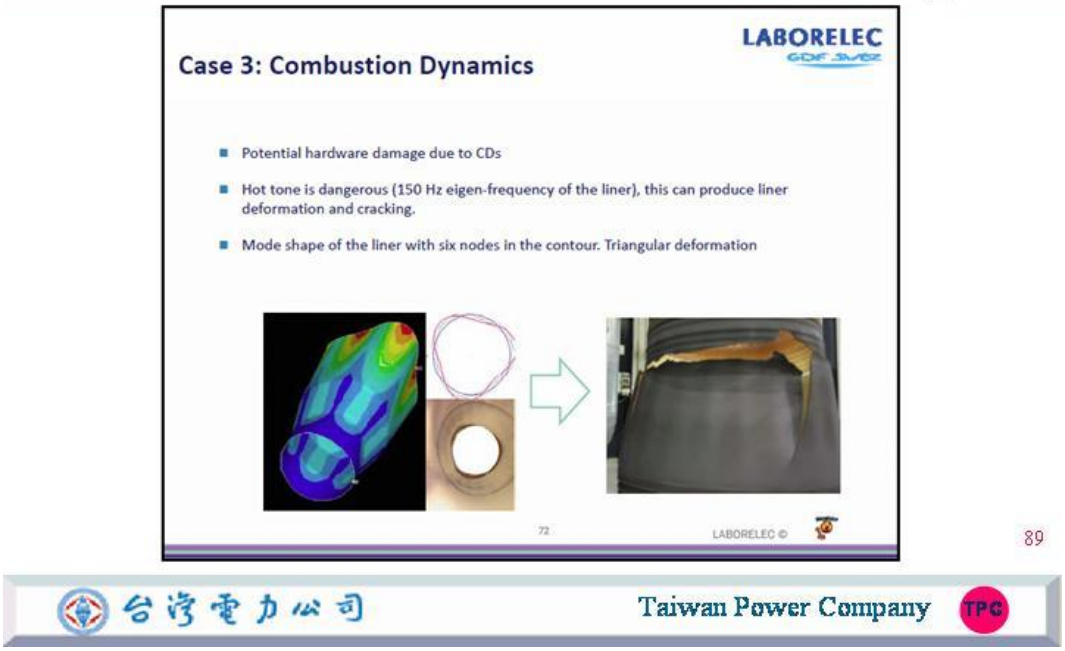


圖 59 早期監測預警系統

（Earlier Failure Pre-alarm Monitoring System）