

出國報告（出國類別：洽公）

主汽機與飼水泵汽機  
試運轉測試與維護經驗交流

服務機關：台灣電力公司 龍門核能發電廠

姓名職稱：康力仁 核能工程監

派赴國家：日本

出國期間：100年12月13日至100年12月17日

報告日期：101年1月11日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：主汽機與飼水泵汽機試運轉測試與維護經驗交流

頁數 46 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

康力仁/台灣電力公司/龍門核能發電廠/核能工程監/02-24903550 ext: 3630

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他（洽公）

出國期間：100 年 12 月 13 日～100 年 12 月 17 日 出國地區：日本

報告日期：101 年 1 月 11 日

分類號/目：G3/電力工程；G6/機械工程

關鍵詞：主汽機、飼水泵汽機、葉片、MFPT、轉子、MHI、非破壞檢測

內容摘要：

核能電廠之主汽機為發電主要設備，國內核能電廠之主汽機與轉子皆為歐美公司（西屋、西門子、ABB 等）設計製造，僅有龍門電廠之主汽機為日本三菱重工（MHI）製造，且友廠之主汽機僅包含一台高壓汽機與兩台低壓汽機，而三菱公司製造之主汽機則包含一台高壓汽機與三台低壓汽機，與傳統電廠設計不同，對於未來運轉與維護之優缺點，及是否有須特別注意之處，必須赴日本與原廠各有關部門工程與設計人員詳細討論。

本次洽公赴日本三菱重工工業公司汽機製造工廠高砂製作所，設定數項主題與原廠各有關部門工程與設計人員詳細討論，洽談。

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

# 目 次

一、目的 .....	1
二、過程 .....	2
三、心得 .....	7
四、建議事項 .....	8
附錄 .....	9
附錄 A .....	10
附錄 B .....	13
附錄 C .....	20
附錄 D .....	23
附錄 E .....	27
附錄 F .....	31

## 一、目的

核能電廠之主汽機為發電主要設備，國內核能電廠之主汽機與轉子皆為歐美公司（西屋、西門子、ABB等）設計製造，僅有龍門電廠之主汽機為日本三菱重工（MHI）製造，且友廠之主汽機僅包含一台高壓汽機與兩台低壓汽機，而三菱公司製造之主汽機則包含一台高壓汽機與三台低壓汽機，與傳統電廠設計不同，對於未來運轉與維護之優缺點、備品整備，及是否有須特別注意之處，必須赴日本與原廠各有關部門工程與設計人員詳細討論。

龍門電廠一號機主汽機與飼水泵汽機（MFPT）近日已成功地分別完成慢車迴轉與試運轉測試，目前正進行主汽機與飼水泵汽機的潤滑油與電子液壓控制（EHC）系統之試運轉測試。

由於主汽機與飼水泵汽機相關測試工作正全面展開，故派員赴原製造廠日本三菱公司，進行試運轉測試與維護經驗交流，期使汽機相關之測試與維護作業順利進行，並為後續之起動測試預作規劃。

## 二、過程

### (一) 出國行程

本次洽公之廠家為日本的汽機製造公司三菱重工業公司，任務期間從 100 年 12 月 13 日到 100 年 12 月 17 日止為期五天，出國行程表列如下：

起始日	迄止日	前往 機構名稱	國家城市 名稱	詳細工作內容
1001213	1001213			往程（台北→大阪→神戶）
1001214	1001216	三菱 重工業 公司	日本 兵庫縣 高砂市	主汽機與飼水泵汽機試運轉測試 與維護經驗交流（1216 宿神戶）
1001217	1001217			返程（神戶→大阪→台北）

本次洽公任務，於行程聯繫時，即設定七項研討主題，請 MHI 公司先行準備相關資料，故此行能有深入與詳細之討論，收穫頗多。研討交流內容摘述於下列各節。

### (二) 工廠參觀

高砂製作所（Takasago Machinery Works）位於日本兵庫縣高砂市荒井町，由神戶市出發可搭乘山陽電鐵（Sanyo Dentetsu），在荒井（Arai）站下車，步行 5 分鐘可抵達大門口。

本次洽訪高砂製作所，三菱公司共安排參觀兩類工廠，汽機葉片／轉子製造生產工廠與電子液壓控制（EH）設備維護工廠。

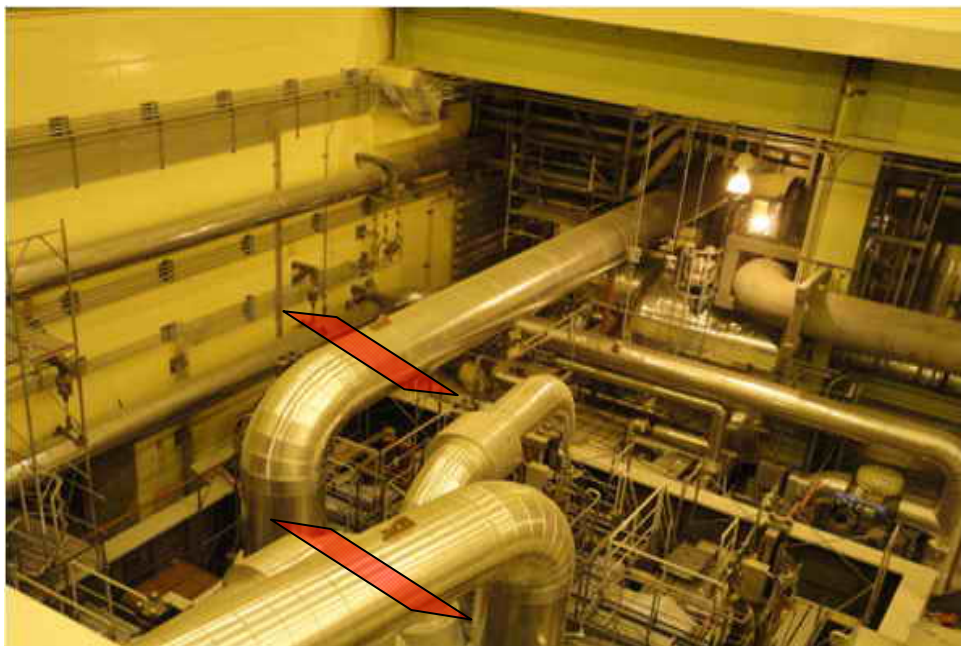
汽機葉片／轉子製造生產工廠，共參觀了包括大型葉片鍛造工廠（Large Blade Forging Shop, No. 8）、核能汽機鍛造葉片加工廠（Nuclear Turbine Forged Blade Shop, No. 10）、核能汽機專用工廠（Specialized Shop for Nuclear Turbine, No. 20）、大型機械加工廠（Large Machining Shop, No. 15），與組裝／測試工廠（Assembly and Testing Shop, No. 16）等，在大型葉片鍛造工廠中，看到三菱公司展示已製造出長達 74 英吋的核能汽機末級葉片（L-0 Blade），顯示業界對於汽機葉片的製造技術更上一層

樓。(附錄 A)

參觀電子液壓控制 (EHC) 設備維護工廠，MHI 公司引導員介紹電子液壓控制組件檢查保養的全套流程。當工廠接到日本電廠送來大修的設備時，即進入本工廠進行分解、PT/MT 檢查、大型零件清潔與小零件清潔，之後才送入「清潔室 (Clean Room)」進行組裝，組裝完成後，送入「測試室」進行控制組件與電磁元件測試，測試完成之成品，再集中於「裝運室 (Shipping Room)」包裝運出，送回給顧客 (電廠) 回裝。(附錄 B)

### (三) 高壓汽機排汽至 MSR 之 2 段排氣管增設法蘭之可行性研討

1. 問題描述：高壓汽機至 MSR 之 2 段排氣管路 (Cross-under Pipe) 過長，管路中間無法蘭設計，將來大修高壓汽機開蓋時，必須連長管節一起吊裝，吊運過程將與樓板產生干擾，且有碰撞其他設備疑慮。



2. 改善需求：於高壓汽機上方排氣管 (Cross-under Pipe) 之彎頭處新增法蘭 (如上圖紅色示意)，以利日後大修時能順利吊出高壓汽機外蓋。(南北側皆一樣)
3. 與 MHI 討論之具體規劃 (附錄 C)：
  - (1) 新製 2 節合法蘭的管節，運至工地一號機現場；
  - (2) 拆除一號機現有 2 支 Cross-under 管節；

- (3) 將含法蘭的 2 支新管節安裝至一號機(如此對施工或測試之衝擊可降至最低)；
- (4) 將已拆除之 2 支一號機現有管節，在龍門工地加工裝設新法蘭；
- (5) 拆除二號機現有 2 支 Cross-under 管節；
- (6) 將一號機加裝法蘭之 2 支管節安裝至二號機；
- (7) 將拆下之 2 支二號機管節，在龍門工地加工裝設新法蘭後儲存於倉庫，作為高壓汽機排汽管路的備品。

#### (四) 汽機扭轉振動相關議題交流 (附錄 D)

利用此次赴原廠洽公機會，將日前於核二廠參加龔博士 (Dr. George C. Kung) 講授習得之汽機扭轉振動 (Torsional Vibration) 相關知識與 MHI 公司進行交流，針對龍門電廠汽機葉片是否會有扭轉振動疑慮進行研討。

MHI 公司在設計製造供龍門電廠使用的 46" 級葉片與轉子後，將轉子利用高速平衡測試 (High Speed Balancing Test) 確認其振動特性 (vibratory characteristics)，而末三級 (L-0, L-1 & L-2) 葉片也分別搭配測試用轉子進行迴轉驗證測試 (Rotating Verification Test)，以取得 Campbell Diagram，證實 L-0, L-1 & L-2 Blades 皆已避開各段共振區。

附錄 D 的 Campbell Diagram，雖然標題為「1800rpm Advanced 44 inch Blade」，但 MHI 澄清附錄 D 確實為龍門電廠 46" 級葉片的 Campbell Diagram。

由附錄 D 的三份圖可以看出，L-0 葉片之自然頻率約為 105Hz，落在 3~4 Harmonics 之間；L-1 葉片之自然頻率約為 135Hz，落在 4~5 Harmonics 之間；L-2 葉片之自然頻率約為 250Hz，落在 8~9 Harmonics 之間。

#### (五) 主汽機與飼水泵汽機大修時非破壞檢測重點 (附錄 E)

主汽機與飼水泵汽機之轉子與葉片，在大修時皆會先進行噴砂除污，再交由檢測隊執行非破壞檢測，本次洽公特請 MHI 公司提供其建議之檢測重點供本廠參考。

MHI 公司使用之非破壞檢測方法，以 MT/PT 為主，VT 為輔。在 HP Rotor 部分，主要檢測項目包括：Shroud、Control Stage Blade Pin、MOP Impeller、Journal and

Gland、Shaft Coupling and Journal。在 LP Rotor 部分，主要檢測項目包括：Shroud、Snubber、Stellite Strip、Blade Root and Blade Groove End、Journal and Gland、Shaft Coupling and Journal、Side-lock Piece。在 MFPT 部分，主要檢測項目包括：Shroud and Tenon Caulking、Lashing Wire、Stellite Strip、Blade Root and Blade Groove End、Rotor。

#### （六）主汽機與飼水泵汽機大修排程經驗交流

MHI 公司以日本某一電廠大修排程為樣本，說明汽機大修之作法。因 MHI 公司無法將此細部大修排程提供筆者作為報告之附錄文件，故筆者僅能就排程內容作概要說明。

樣本中的大修作業排定 HP 與 LP-2 全檢，LP-1 與 LP-3 則檢修 GV、MSV、RSV、ICV 與油系統，最短時程為大修第 26 天油洗完畢。

飼水泵汽機的大修排程則為 1 台 MFPT 全檢，另 1 台則檢修油系統與 GV、MSV 等閥門，飼水泵汽機檢修時程必須於主汽機大修時程內完成，樣本中最短時程為 25 天。

與 MHI 公司交流本廠的大修策略。龍門電廠營運後，大修時程排定為每次大修主汽機部份全檢 1 台 LP，所以 3 台 LP 每五年（三次大修）全檢一次，HP 則每五年（三次大修）全檢一次。本廠配置有 3 台汽機驅動飼水泵（TDRFP），1 台馬達驅動飼水泵（MDRFP），大修時程則排定為每次大修全檢 1 台 TDRFP，所以 3 台 TDRFP 每五年（三次大修）全檢一次，MDRFP 則每五年（三次大修）全檢一次。

#### （七）備品購買原則討論

由於本公司備品預算有限，故以前僅分 2 批次先行購買主汽機與飼水泵汽機（MFPT）重要備品，本次洽公即與 MHI 公司討論汽機以外系統／設備之備品，共分爲：熱交換器（Heat Exchanger）、儀控元件（Instrument）、振動診斷系統（Vibration Diagnostic System, VDS）、控制閥（Control Valve）、柱塞閥（Piston Valve）、手動閥（Manual Valve）、汽機螺栓（Turbine Component Bolts, Nuts, Washers）等七大類。

經過討論確立原則後，即由 MHI 公司著手準備建議備品清單，MHI 公司待整理完成後，將提送龍門電廠進行選購。



## (八) MHI 核能汽機葉片技術簡報 (附錄 F)

本簡報介紹 MHI 公司研發之汽機葉片新技術與設計的可靠度驗證。MHI 公司汽機葉片的新技術包括：

1. Integral Shroud Blade (ISB): 將 Grouped Blade (GB)型式改為 ISB 型式，可增加葉片可靠度；
2. Improved Root/ Steeple Design: 增加 Steeple 之彎曲半徑，可降低離心應力，抵抗腐蝕環境造成之龜裂；
3. 3-Dimensional Design Blade: 增加葉片的彎曲弧度形成 3D 流場，可消除 Vortex，提高效率；
4. Longer Last Blade: 可降低出口損失，提高葉片效率。

為驗證新技術與設計的可靠度，MHI 公司建立以下的驗證程序：

1. 全尺寸葉片迴轉測試 (Full Scale Blade Rotating Test)：製造一測試專用的全尺寸葉片，利用迴轉測試進行葉片頻率調校 (Blade Frequency Tuning)，避開共振區；
2. 蒸汽負載測試 (Steam Loading Test)：製造一套較原尺寸大 50%的新低壓汽機完整模組，安裝至專用蒸汽測試廠房，利用蒸汽負載測試取得葉片振動應力數據與效率曲線。
3. 將測試模組置於實際環境與嚴苛環境中測試。
4. 測量流場 (Flow Pattern)。

當新技術獲得完整驗證後，MHI 公司會將新產品實際應用於電廠機組，並於初次運轉時，再度進行各項特性測量。

### 三、心得

(一) 本次出國洽公前，先進行資料收集，於行程聯繫時，即設定五項研討主題：

1. 高壓汽機排汽至 MSR 之 2 段排氣管增設法蘭之可行性；
2. 汽機扭轉振動相關議題；
3. 主汽機與飼水泵汽機大修時非破壞檢測重點；
4. 主汽機與飼水泵汽機大修排程經驗；
5. 備品購買原則討論。

上列題目皆已請 MHI 公司先行準備，故在筆者赴廠家洽公期間，與各工程師進行研討時，皆有深入與詳細之討論，收穫頗多。

(二) 本次洽公參觀了三菱公司高砂製作所廠區的各個工廠，發現各廠房的共通特點為廠房相當清潔、明亮，機具各有定位且地面標示清楚，使用中工具擺設整齊，工安警語隨處可見，例如：每扇門旁皆提醒開門者開門前須先出聲，以免撞傷另一側正要進門的人，筆者觀察引導員開門前也都有出聲；又，工作梯第一階一定標示人員踩踏之安全範圍，每一台階都畫上醒目黃色邊線，避免工作人員因踩到階梯邊緣導致梯子傾倒，人員摔傷。由此得以瞭解其廠務管理已落實到每一位工作者，成為工作人員的工作習性，本廠應持續推動核安文化，逐漸將安全習慣內化到第一線工作人員。

(三) 三菱公司擁有汽機相關設備之設計、製造、維修及備品供應的能力，故日本核能電廠汽機相關設備之維護可直接由三菱原廠承包，備品亦無須庫存，電廠在維修及備品準備方面皆無壓力，令人羨慕。本次參觀行程之一，三菱公司高砂製作所的「電子液壓控制 (EH) 設備維護工廠」，即專門承做各電廠送修之 EH 油系統設備。三菱公司建議龍門電廠自行建置一套「電子液壓控制 (EH) 設備維護工廠」，但因本廠僅維修自有設備，不若三菱公司對外接受維修訂單，維修設備數量龐大，故於廠內建置維護工廠之經濟效益與可行性不高。

## 四、建議事項

- (一) 日本工廠在工安管理上，相當用心與細心，筆者在心得(二)中提到一個例子：「工作梯第一階一定標示人員踩踏範圍，避免工作人員因踩到階梯邊緣導致梯子傾倒，人員摔傷。」可參閱下方照片，簡單標示，即可大幅提升工作安全。本項建議將轉為員工提案，請工安部門研議。



- (二) 在與三菱公司討論備品購買原則時，筆者即提出一項建議，要求三菱公司為龍門電廠製作或整理一套「MHI 設備備品項目總覽」，內含圖面、品名、材質、型號與工廠序號等資訊，因電廠未來營運期間，必須定期準備備品，在選購備品與確認規格時，與廠家之間才有共同語言，可減少反覆翻找圖面與澄清規範之時間，增加效率且減少錯誤。
- (三) 在高壓汽機排汽至 MSR 之 2 段排氣管增設法蘭之可行性研討時，三菱公司規劃之方法已具可行性，惟筆者當場亦建議另一選項，即：先拆下二號機的 2 支 Cross-under 管節，加工裝設法蘭後，置換一號機之管節，拆下的一號機 Cross-under 管節則加工裝設法蘭後，裝至二號機。如此可節省加購 2 段管節的費用，且一樣不影響一號機測試進度。此構想將待三菱公司依其規劃方案報價後，視新的 Cross-under 管節之價格高低，再決定是否增購新管節。

## 附錄

- A. MHI Machinery Works at Takasago
- B. Maintenance Facilities for the EH Control Oil Component at Takasago Machinery Works
- C. Modification of Cross-under Piping
- D. Campbell Diagram of Advanced 44-inch Blades
- E. Inspection Items for Main Turbine and Main Feedwater Pump Turbine (Typical Example)
- F. MHI Blade Technology

## 附錄 A

# MHI Machinery Works at Takasago

Access Transportation



■ Main Plant

2-1-1 Shinhama, Arai-cho, Takasago-shi, Hyogo 676-8686, Japan  
Phone: (079) 445-6125

■ By train

- By JR and taxi
- Get off at Himeji Station (Shinkansen side) and take a taxi for about 30 minutes to reach the front gate.
- Get off at Kakogawa Station and take a taxi for about 20 minutes to reach the front gate.
- By Sanyo Electric Railway and taxi
- Get off at Takasago Station and take a taxi for about 5 minutes to reach the front gate.
- By Sanyo Electric Railway and on foot
- Get off at Arai Station and walk for about 5 minutes to reach the front gate.

■ By car

Drive toward southwest from Kagokawa Bypass Kakogawa Nishi Interchange; it takes about 20 minutes to reach the front gate.

■ From the Airport

- [From Kansai International Airport] It takes 65 minutes by limousine bus for Kobe Sannomiya.
- [From (Osaka) Itami Airport] It takes 40 minutes by limousine bus for Kobe Sannomiya.
- [From Kobe Airport] It takes about 18 minutes by the Port Liner from Kobe Airport Station to Sannomiya Station.
- It takes about 16 minutes by the JR Kobe Line from Sannomiya Station to Akashi Station.
- It takes about 16 minutes by the Sanyo Electric Railway Express from Sanyo Akashi Station to Takasago Station.
- It takes about 2 minutes by a regular train on the Sanyo Electric Railway from Takasago Station to Arai Station; walk for about 5 minutes from Arai Station.

Production and Service Centers



Main Plant

Of all the business establishments in Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Takasago Machinery Works is unique in that it specializes in large rotating machinery. The products delivered from here, such as gas turbines supplying electricity that supports the foundation of our lives and our industries, steam turbines for thermal or nuclear power plants, water turbines, pumps and centrifugal chillers, have a good reputation both at home and abroad. Our technologies and products significantly contribute to the stable supply of electricity to support better lives for people around the world.

- |  |  |   |
|--|--|---|
| 1 Main Office  | 11 Third Blade Shop (Gas Turbine Blade)  | 22 Hot Parts Repair Shop                                      |
| 2 Office No.2  | 12 Welding Shop                          | 23 Pump and Large Refrigeration Machinery Shop                |
| 3 Office No.3  | 13 Piping Shop                           | 24 Large Refrigeration Machinery Shop No.2                    |
| 4 Office No.4  | 14 Heat Exchangers Machining Shop        | 25 Large Refrigeration Machinery Shop No.3                    |
| 5 Office No.5 (Design & Service Building)                                      | 15 Large Machining Shop                  | 26 Education and Training Center of Technical and Human Skill |
| 6 Control System Designing and Manufacturing Center                            | 16 Assembly and Testing Shop             | 27 Combined Cycle Power Plant for Verification Test           |
| 7 - 22 Turbine Shops   | 17 Combustor Shop                        | 28 Steam Turbine Load Testing Facility                        |
| 7 Small Blade Forging Shop   | 18 Fourth Blade Shop (Gas Turbine Blade) | 29 Takasago Research & Development Center                     |
| 8 Large Blade Forging Shop   | 19 Fifth Blade Shop (Gas Turbine Blade)  |   |
| 9 First Blade Shop (Steam Turbine Blade)                                       | 20 Specialized Shop for Nuclear Turbine  |   |
| 10 Second Blade Shop (Steam Turbine Blade) (Nuclear Turbine Forged Blade Shop) | 21 Assembly Shop for Gas Turbine         |   |



74in L-0 Blade  
After forging (Before machining)  
for  
Nuclear LP Turbine  
Material : 17-4PH



H23年12月

BA22A0  
BR5

L50

枚

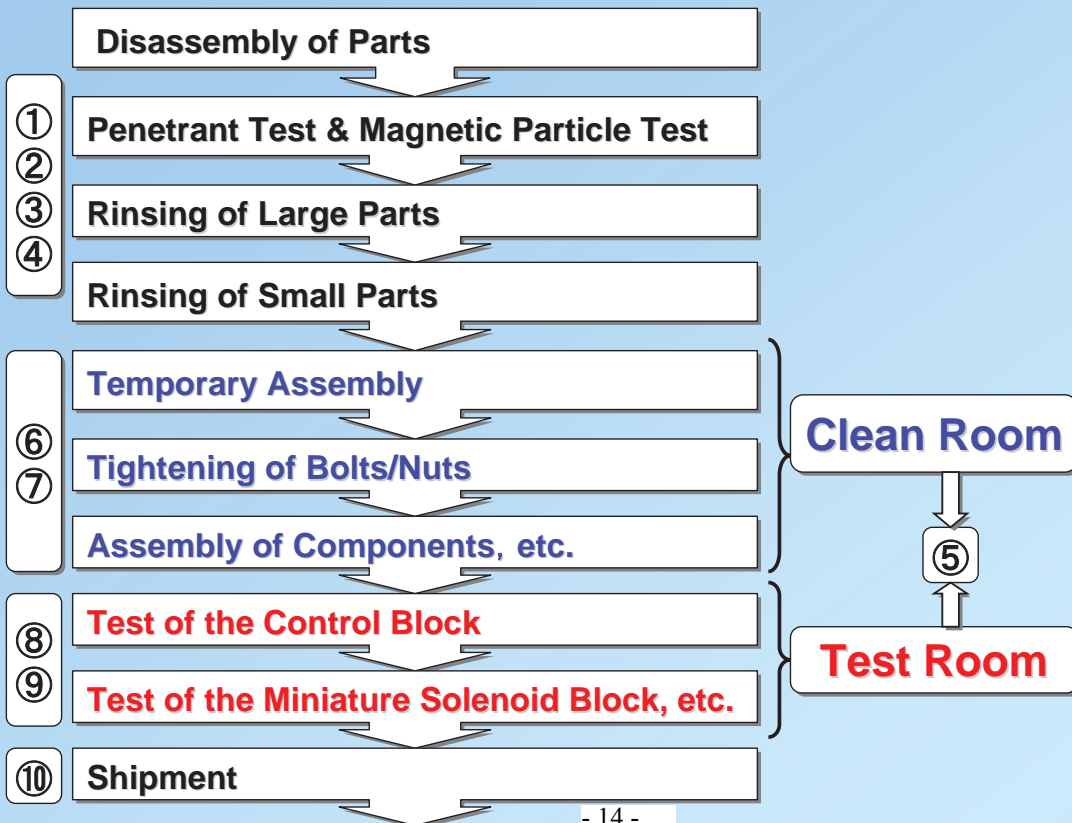
## 附錄 B

# Maintenance Facilities for the EH Control Oil Component at Takasago Machinery Works



**Maintenance Facilities**  
**for the EH Control Oil Component**  
**at Takasago Machinery Works**

**Work Flow at Takasago Machinery Works  
of the EH Control Oil Components**



# ① Disassembled Parts

at MHI Takasago Machinery Works



# ② Penetrant Test & Magnetic Particle Test

at MHI Takasago Machinery Works



PT



MT

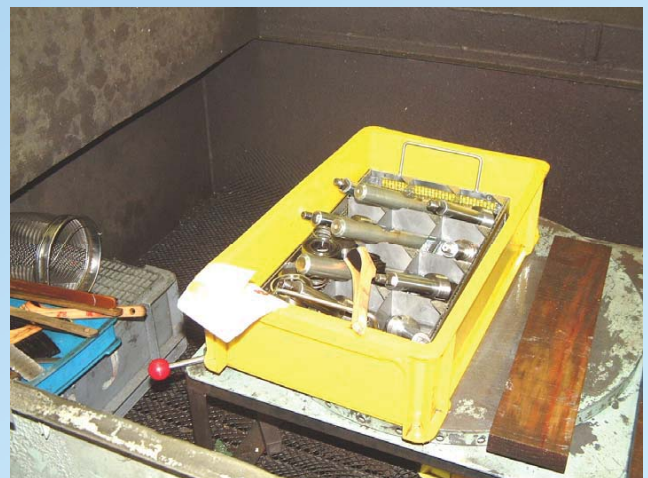
### ③ Rinsing of Large Parts

at MHI Takasago Machinery Works



### ④ Rinsing of Small Parts

at MHI Takasago Machinery Works



## ⑤ Assembly & Testing Facilities of the EH Control Oil Components

at MHI Takasago Machinery Works



Assembly & Testing Facilities



Clean Room



Test Room

## ⑥ Stands for Temporary Assembly and Bolt Tightening of the Hydraulic Cylinder

at MHI Takasago Machinery Works



For temporary assembly  
of the hydraulic cylinder



For tightening of  
bolts/nuts of the hydraulic  
cylinder with torque

## ⑦ Assembly of Components

at MHI Takasago Machinery Works



Hydraulic Cylinder



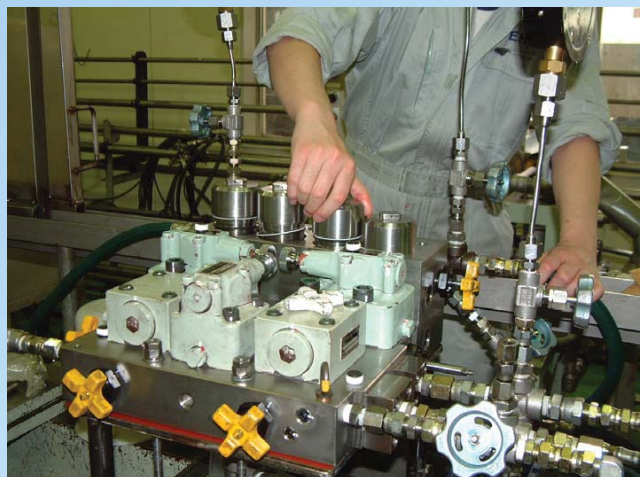
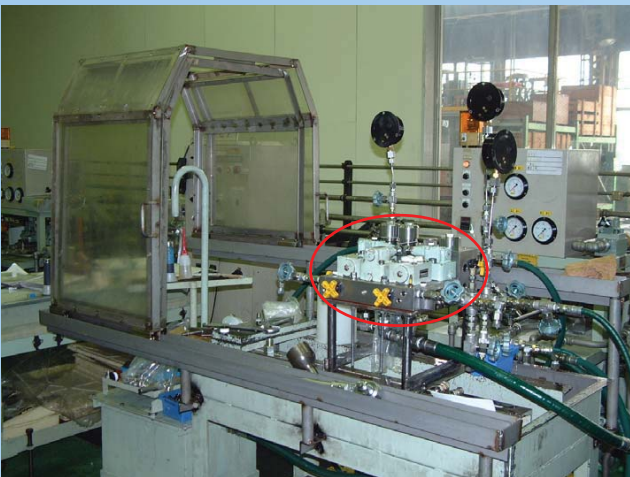
Actuator Blocks



Control Block

## ⑧ Test of the Control Block

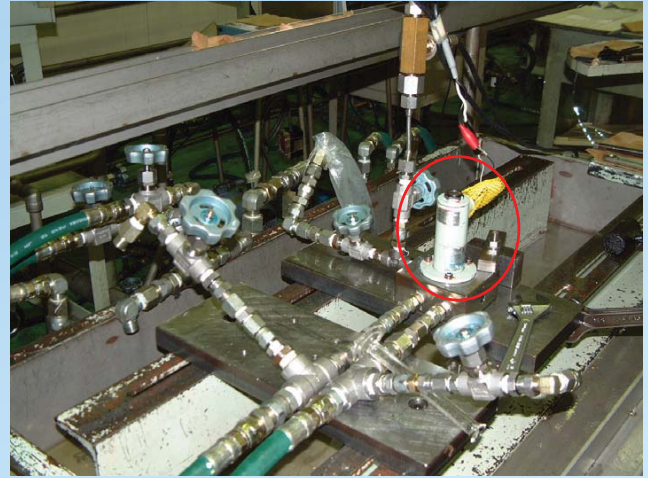
at MHI Takasago Machinery Works



- Install filters.
- Check the block for oil leakage.
- Check the block for functions, etc.

## ⑨ Test of the Miniature Solenoid Block

at MHI Takasago Machinery Works



- Check the block for oil leakage.
- Check the block for functions, etc.

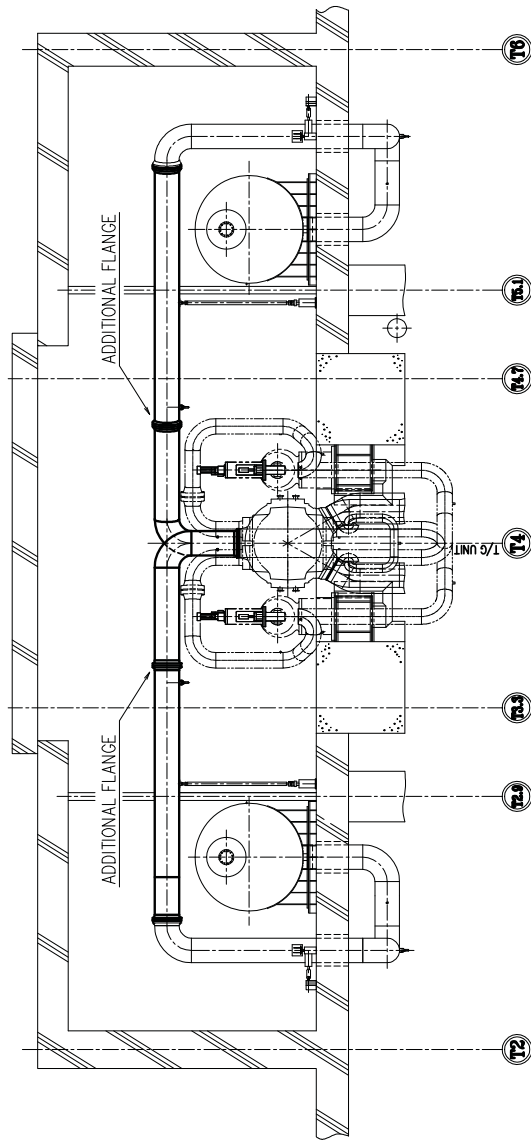
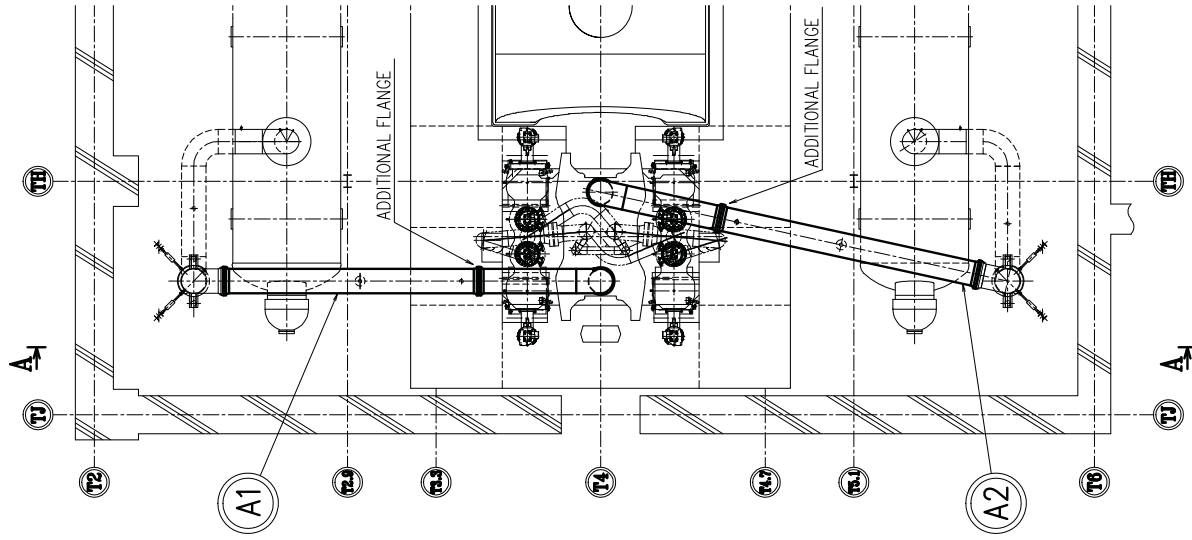
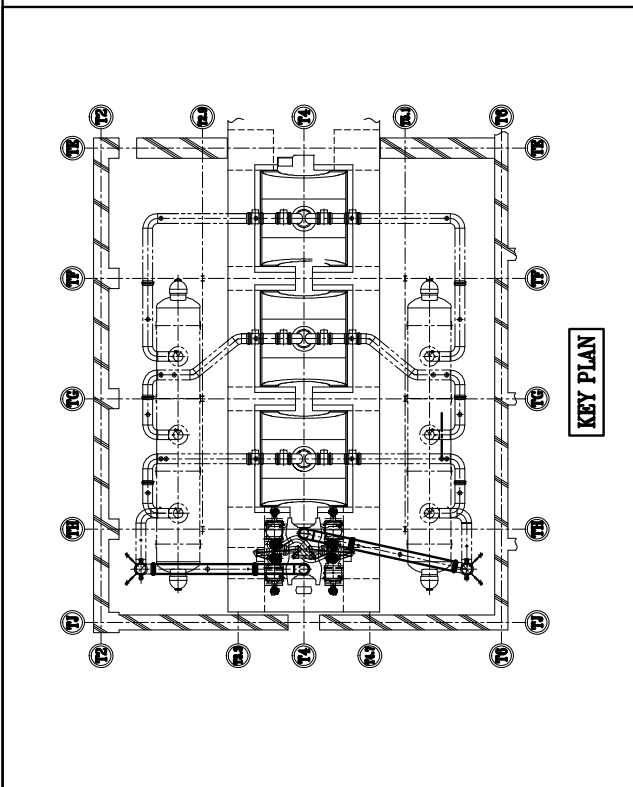
## ⑩ Shipping Room

at MHI Takasago Machinery Works



## 附錄 C

# Modification of Cross-under Piping



**SECTION AA**

**NOTES**

ADDITIONAL FLANGE DETAIL LOCATION WILL BE DECIDED AFTER DISCUSS WITH CUSTOMER.

**FIG.1**

TAIWAN POWER COMPANY  
LUNGMEN PROJECT  
FOURTH NUCLEAR POWER PLANT  
UNIT 1, 2

CROSS UNDER PIPE ASS'Y  
AFTER MODIFICATION OF ADDITIONAL FLANGE



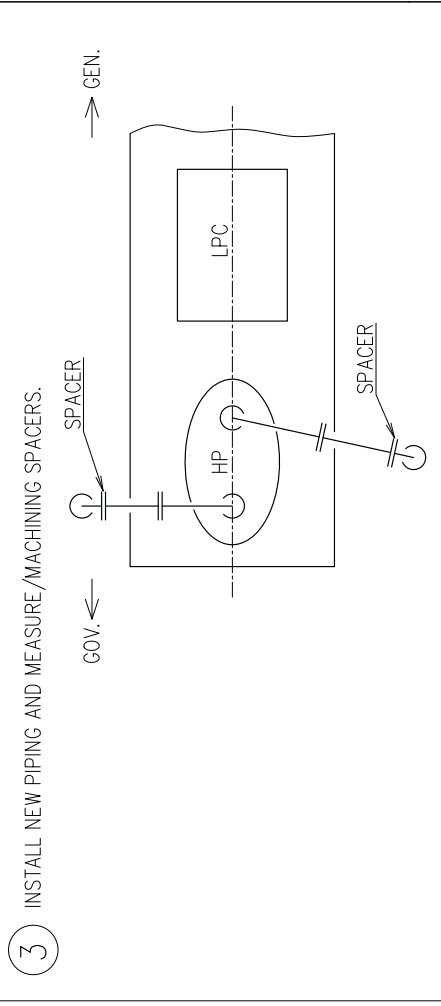
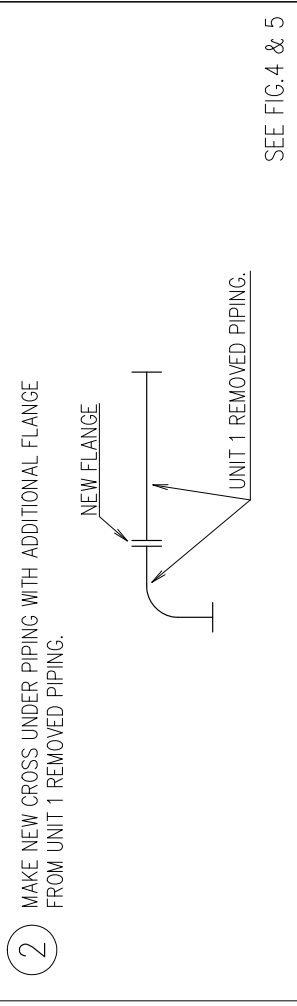
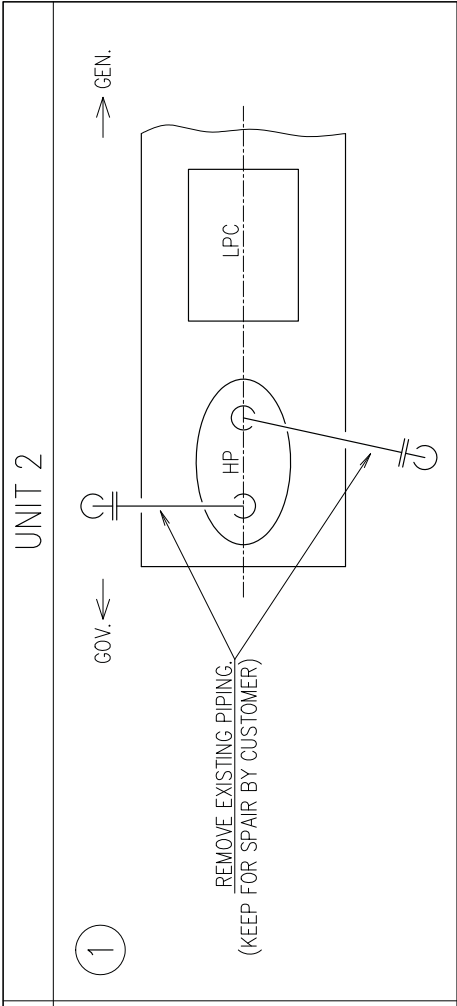
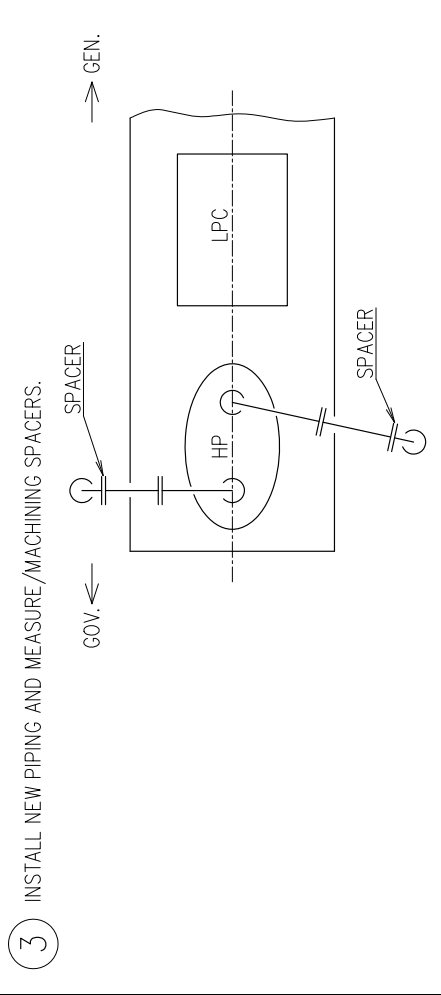
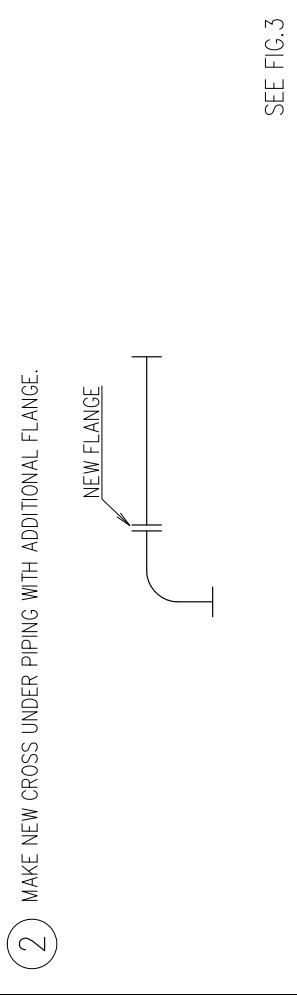
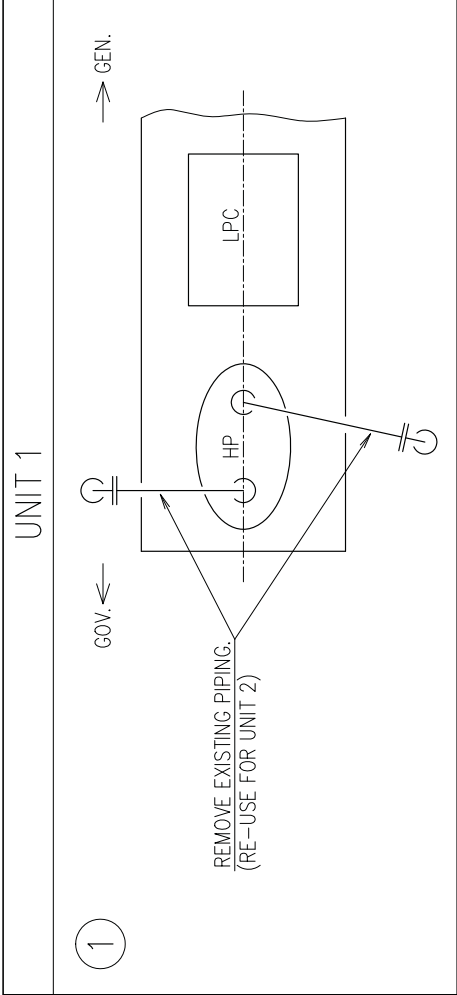


FIG. 2

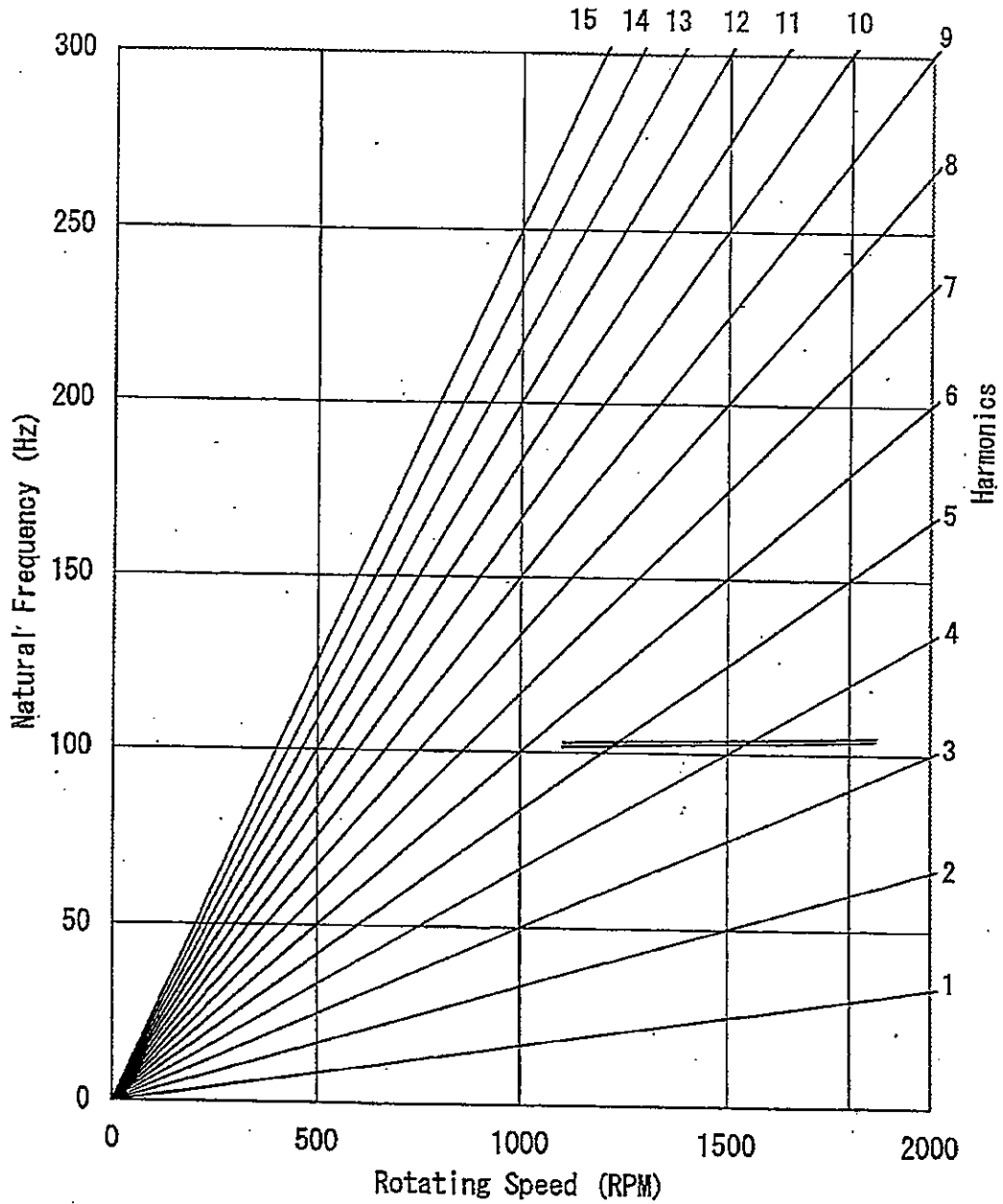
TAIWAN POWER COMPANY  
LUNGMEN PROJECT  
FOURTH NUCLEAR POWER PLANT  
UNIT 1, 2

MODIFICATION FLOW OF ADDITIONAL FLANGE  
FOR CROSS UNDER PIPING

## 附錄 D

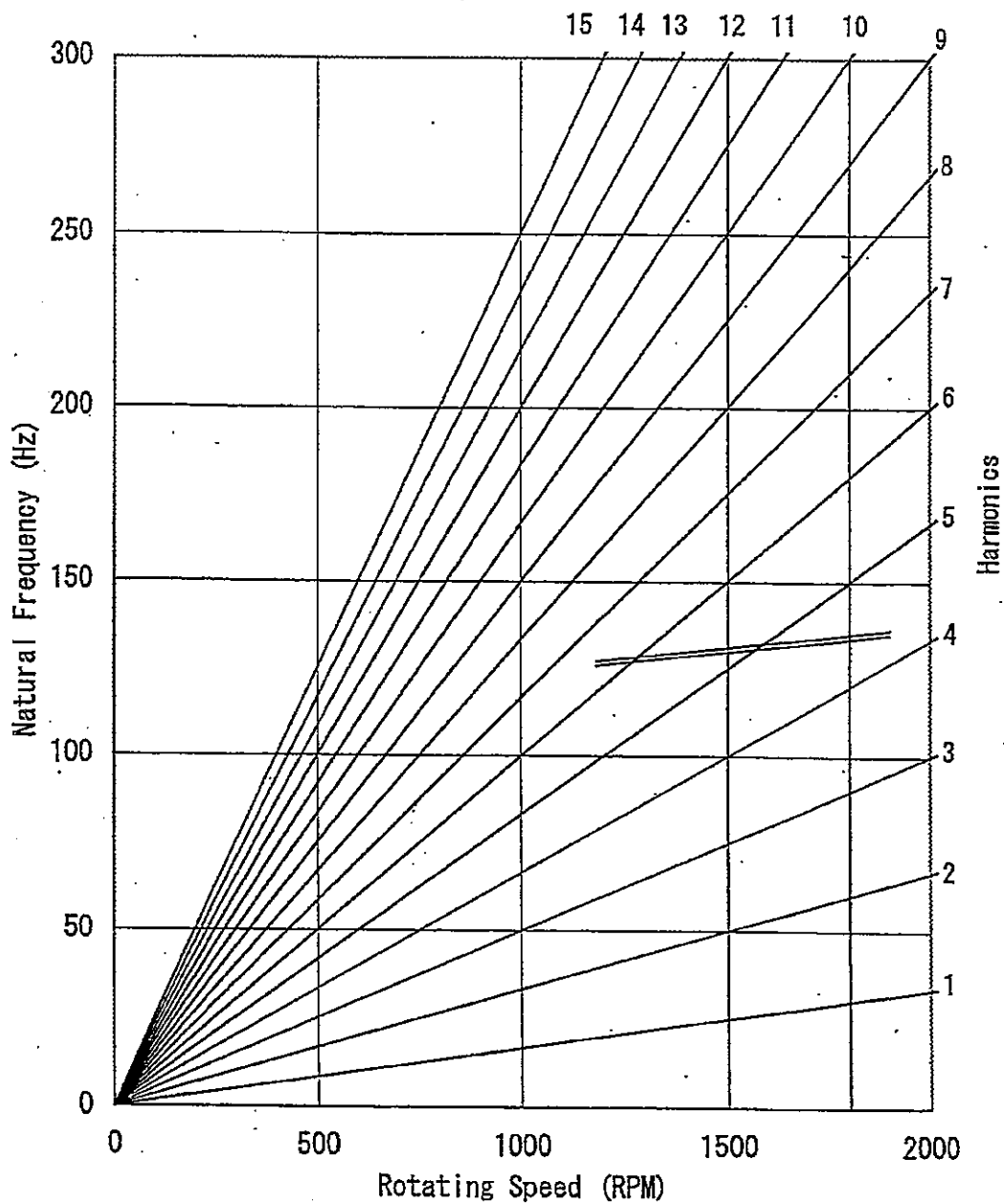
# Campbell Diagram of Advanced 44-inch Blades

Fig.2(a) Campbell Diagram  
 1800rpm Advanced 44 in Blade L-OR



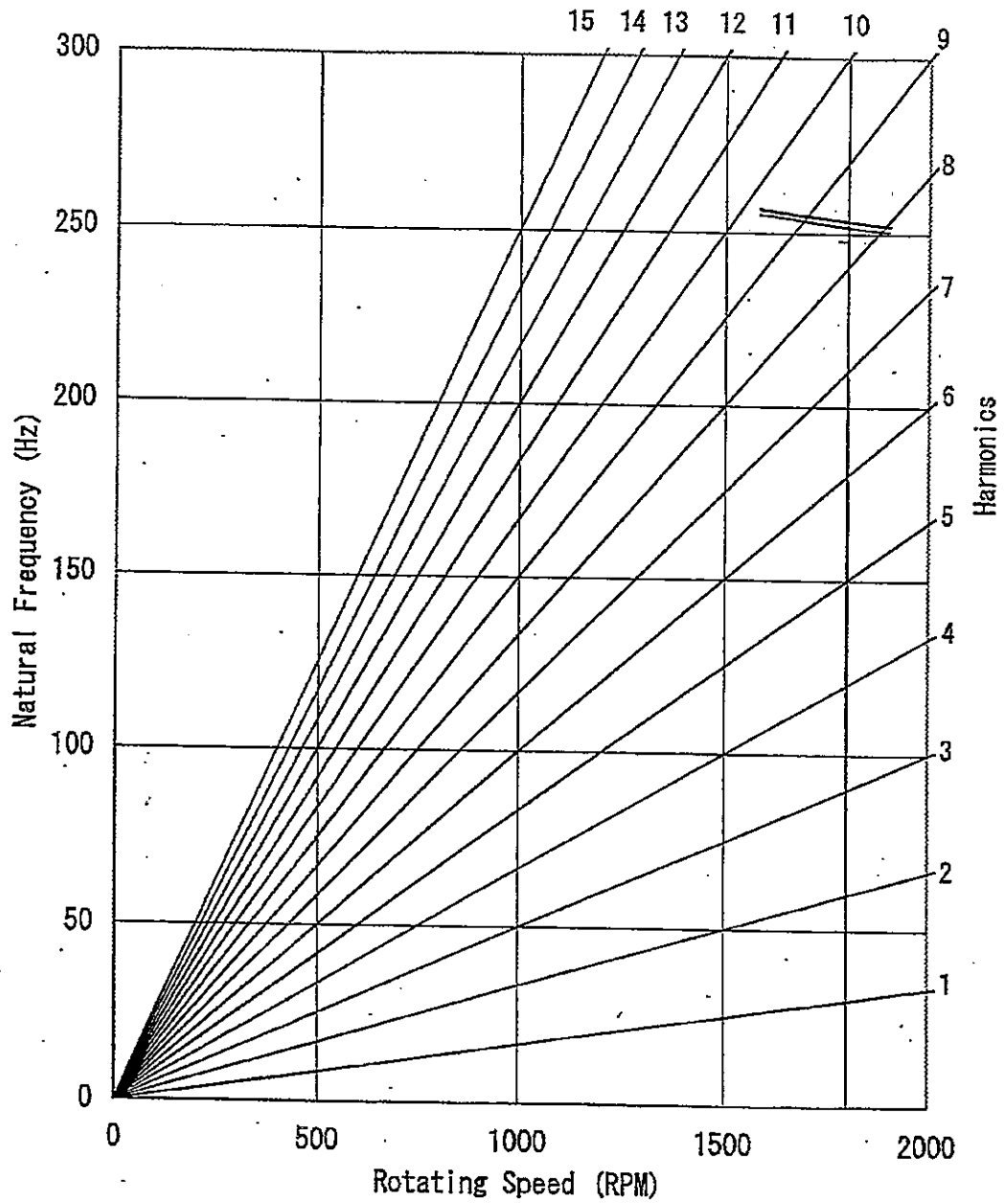
4.6-77

Fig.2(b) Campbell Diagram  
1800rpm Advanced 44 in Blade L-1R



4.6-78

Fig. 2(c) Campbell Diagram  
1800rpm Advanced 44 in Blade L-2R

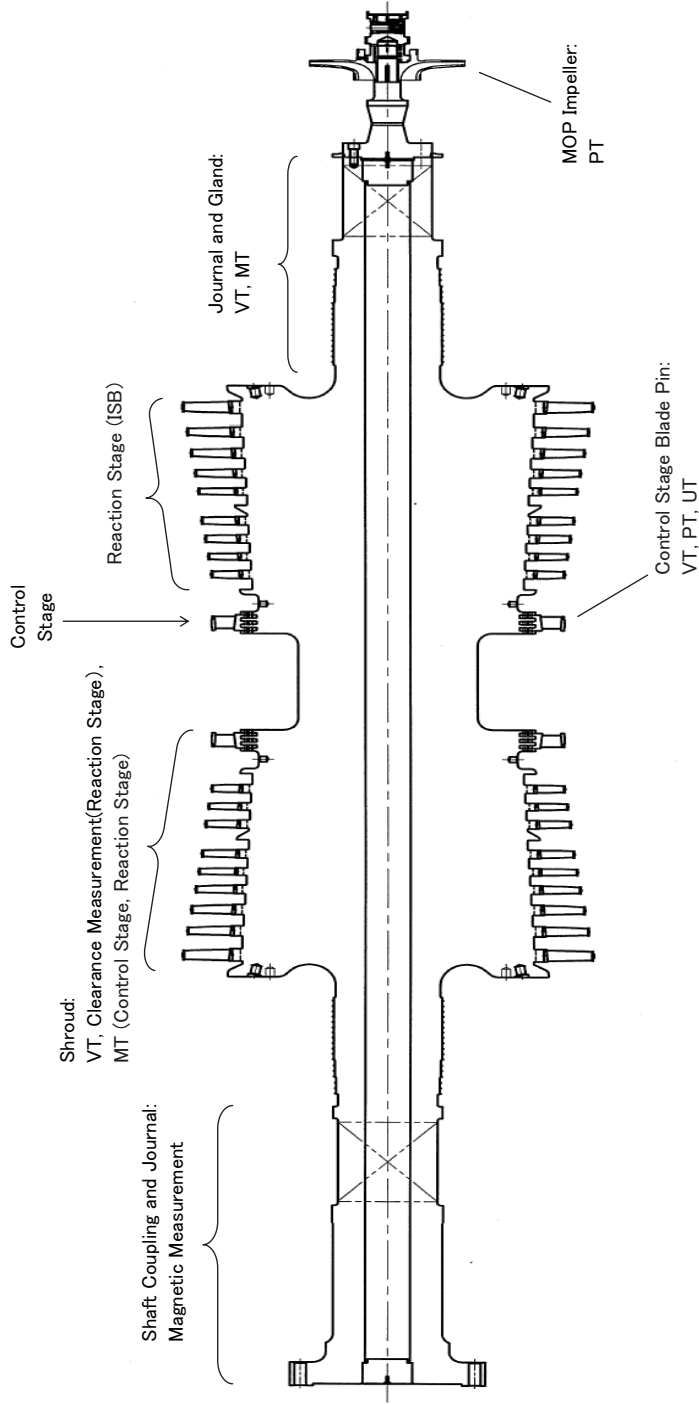


4. 6-79

## 附錄 E

# Inspection Items for Main Turbine and Main Feedwater Pump Turbine (Typical Example)

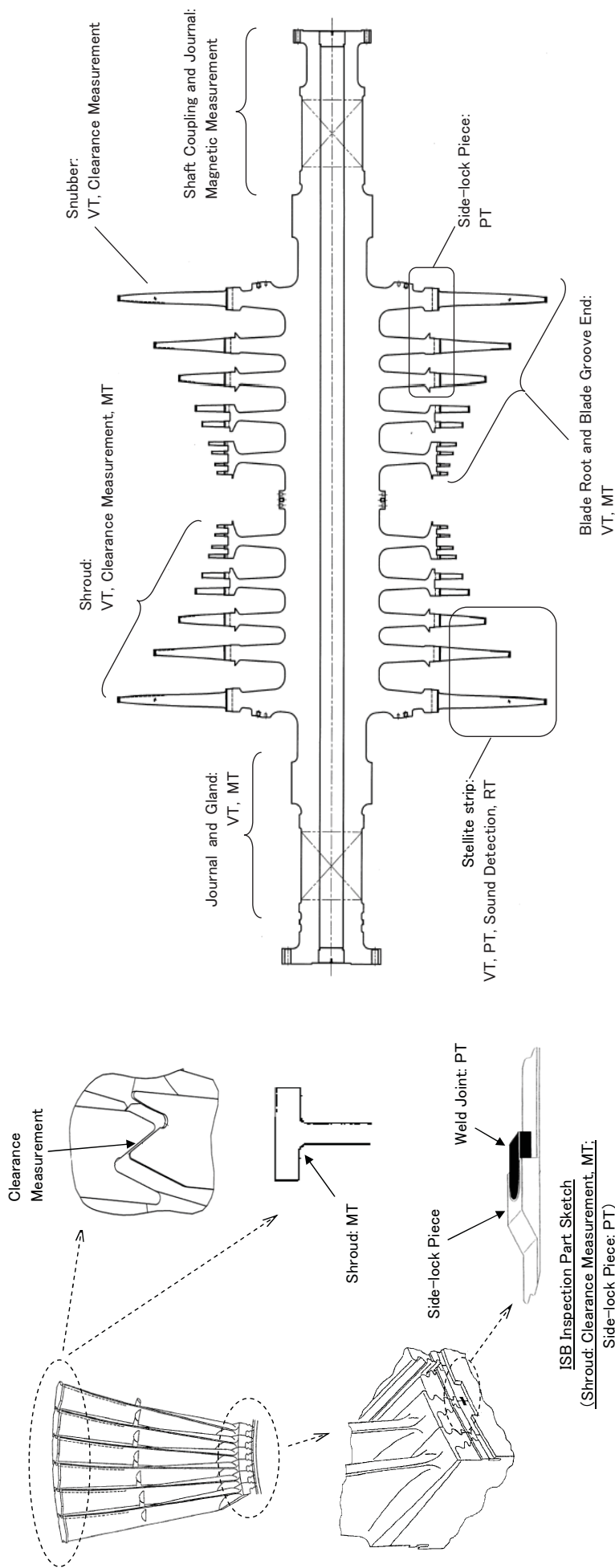
HP TURBINE ROTOR INSPECTION ITEM ( Typical Example )



No	Parts	Inspection Item
1	Shroud	VT
		Clearance Measurement
2	Control Stage Blade Pin	MT
		(Rotor Caulking Area)
3	MOP Impeller	VT
		PT
4	Journal and Gland	UT
		VT, MT
5	Shaft Coupling and Journal	VT
		Magnetic Measurement

Note) General VT for all over rotor is excluded.

LP TURBINE ROTOR INSPECTION ITEM ( Typical Example of ISB Turbine)



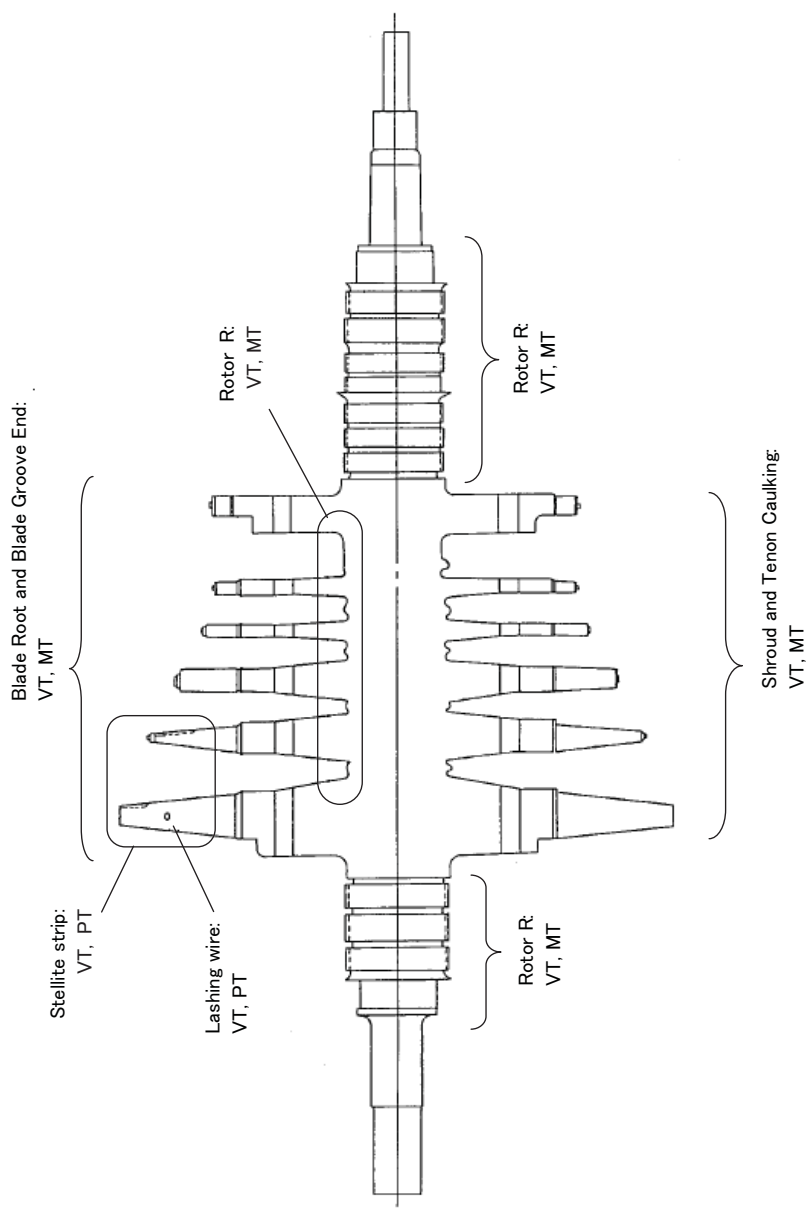
ISB Inspection Part Sketch  
 (Shroud: Clearance Measurement, MT;  
 Side-lock Piece: PT)

No	Parts	Inspection Item
1	Shroud	VT
		Clearance Measurement
		MT
2	Snubber	VT
		Clearance Measurement
3	Stellite strip	VT, PT, Sound Detection, RT (5%)
4	Blade Root and Blade Groove End	VT, MT
5	Journal and Gland	VT, MT
6	Shaft Coupling and Journal:	Magnetic Measurement
7	Side-lock Piece	VT, PT

Note) General VT for all over rotor is excluded.



M F P T INSPECTION ITEM ( Typical Example )



No	Parts	Inspection Item
1	Shroud and Tenon Caulking	VT, MT
2	Lashing wire	VT, PT
3	Stellite strip	VT, PT
4	Blade Root and Blade Groove End	VT, MT
5	Rotor R	VT, MT

Note) General VT for all over rotor is excluded.

## 附錄 F

# MHI Blade Technology

# *Mitsubishi Nuclear Steam Turbine Blade Technology*

Nov., 2010

 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

MHI PROPRIETARY CLASS B

This document contains information proprietary to Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) ; it is submitted in confidence and is to be used solely for the purpose for which it is furnished. This document and such information is not to be transmitted, disclosed or used otherwise in whole or in part without authorization of MHI.

# *Contents*

1. Feature and Design Technology
2. Verification of MHI Design

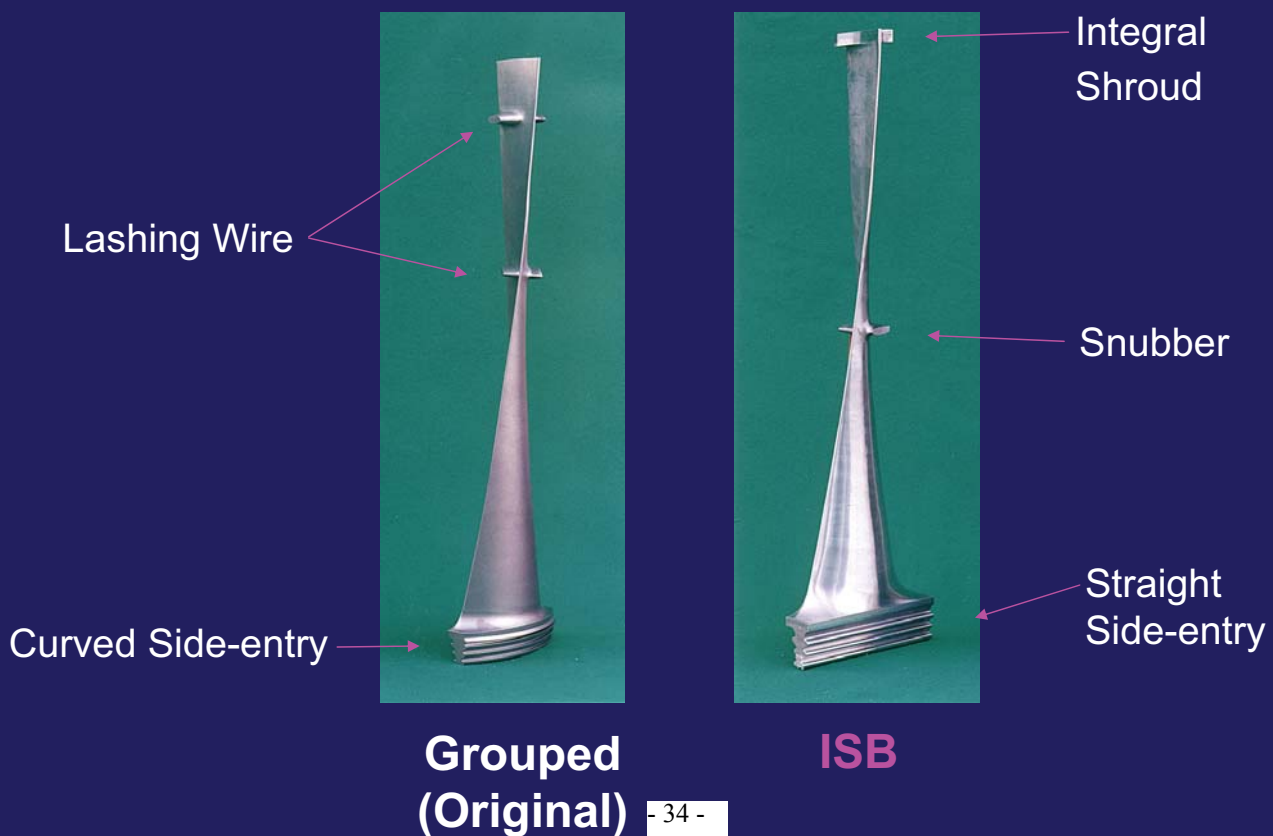
# *1. Feature and Design Technology*

# Design Features Reliability Enhancement and Efficiency Improvement

Technology	Purpose
(1) Integral Shroud Blade	Enhance the reliability
(2) Improved Root/Steeple Design	Enhance the reliability against SCC & CF
(3) 3-Dimensional Design Blade	Higher Efficiency
(4) Longer Last Blade	Higher Efficiency (Reduce exit loss)

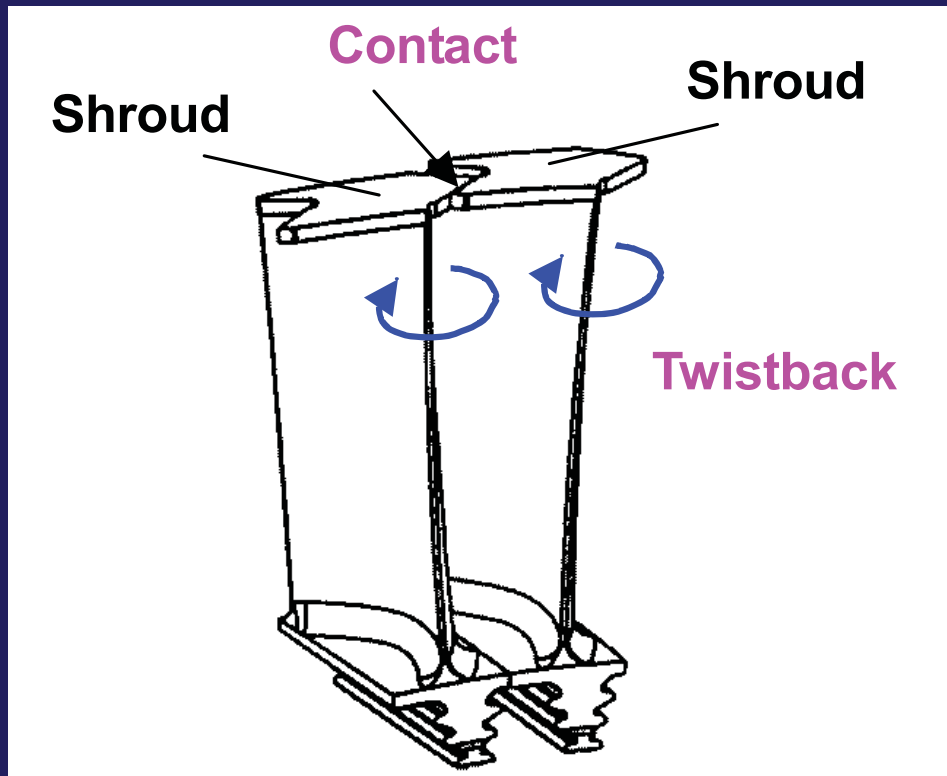
5

## (1) Integral Shroud Blade (ISB)



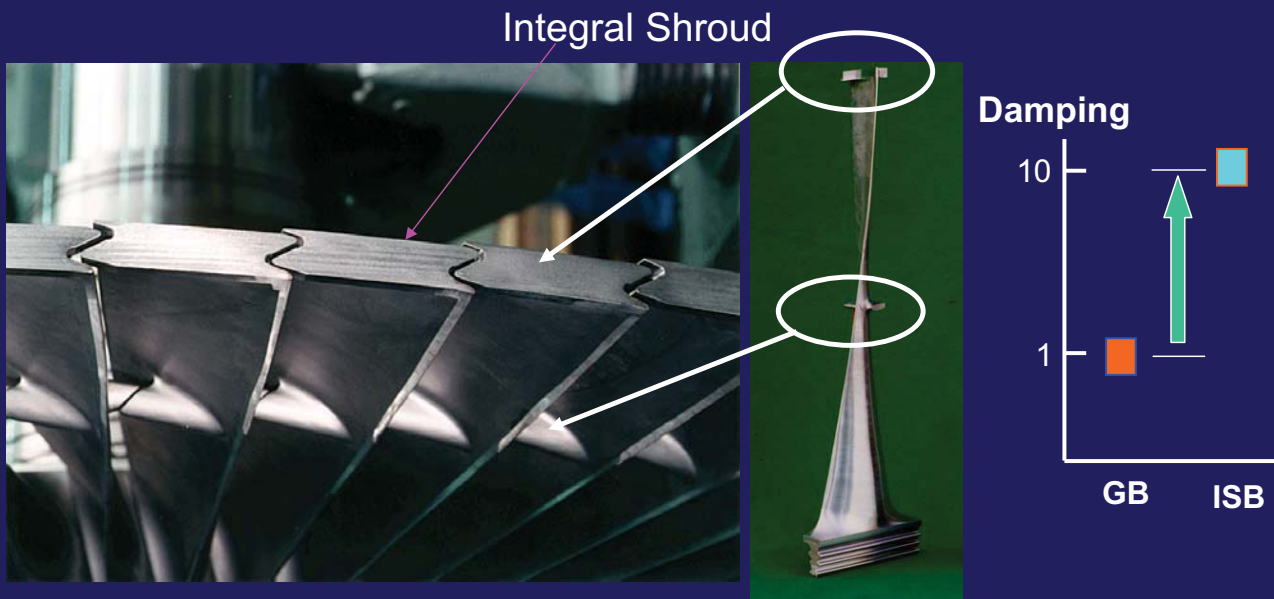
6

# Integral Shroud Blade Construction



7

# Integral Shroud Blade



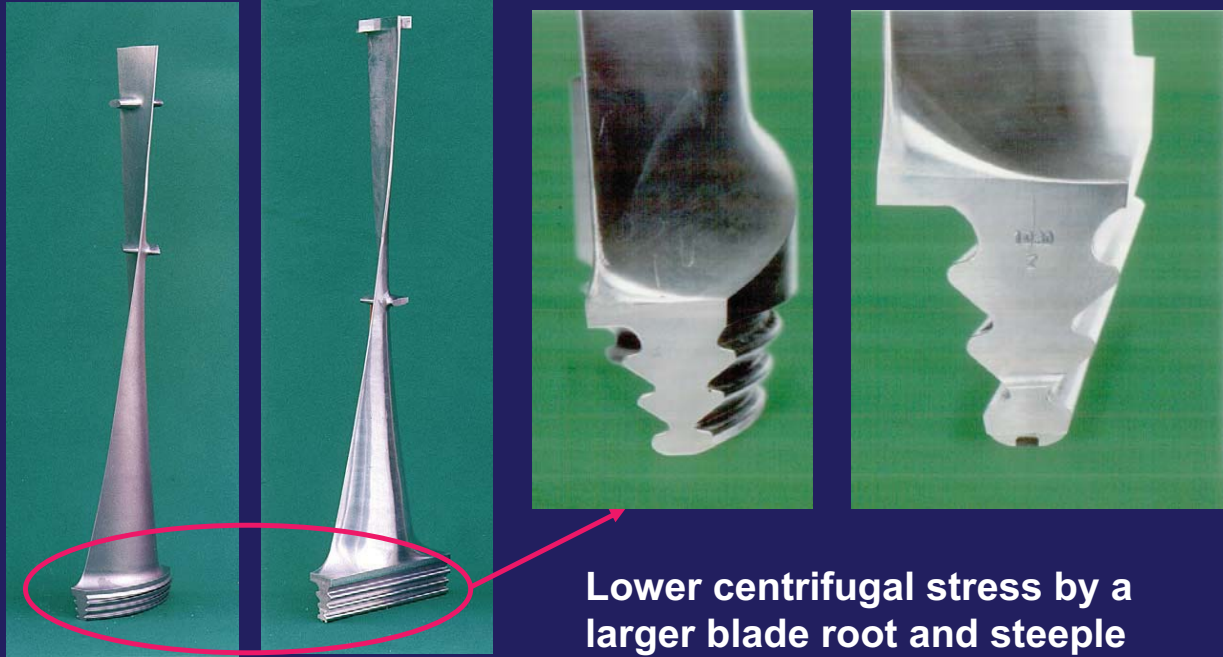
Larger damping by the contact at the shrouds and snubbers



Vibratory Stress Reduction in High and Low Flow Conditions

8

## (2) Improvement of Root and Steeple Design



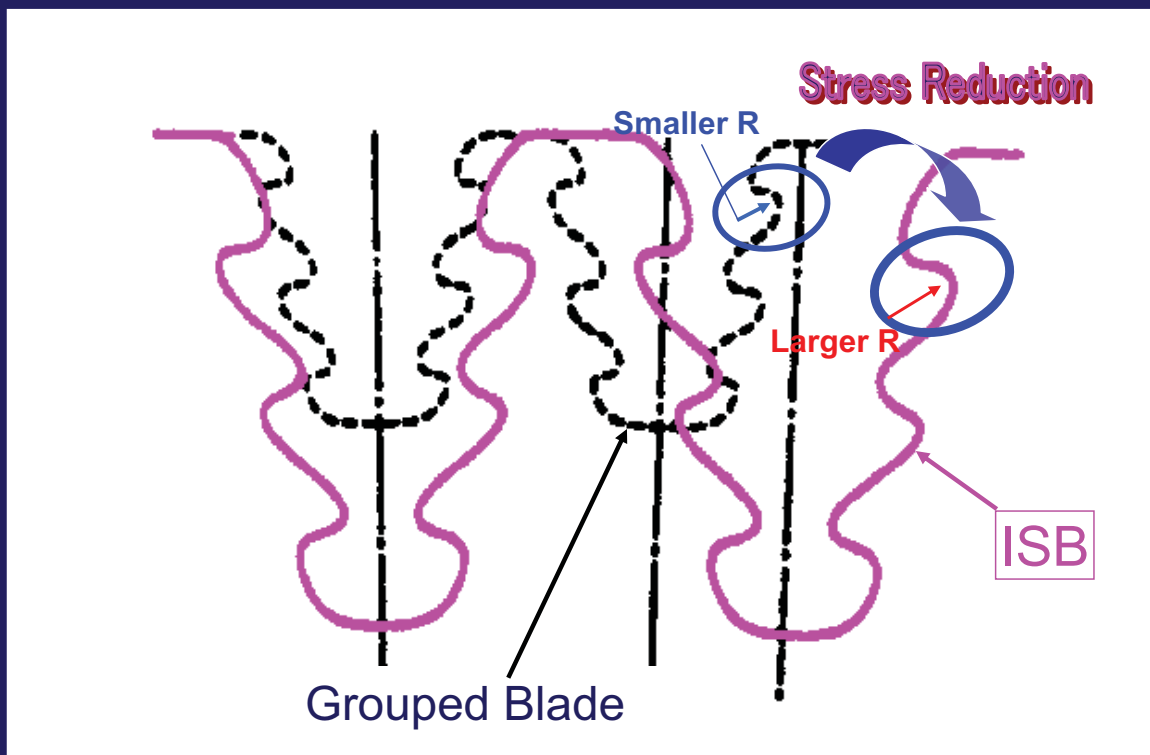
Original Grouped Blade

ISB

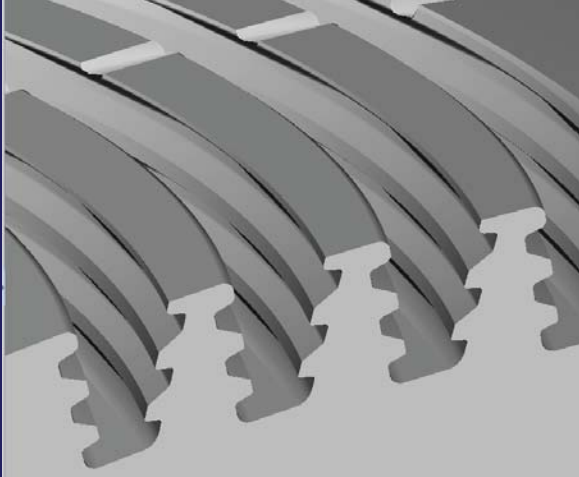
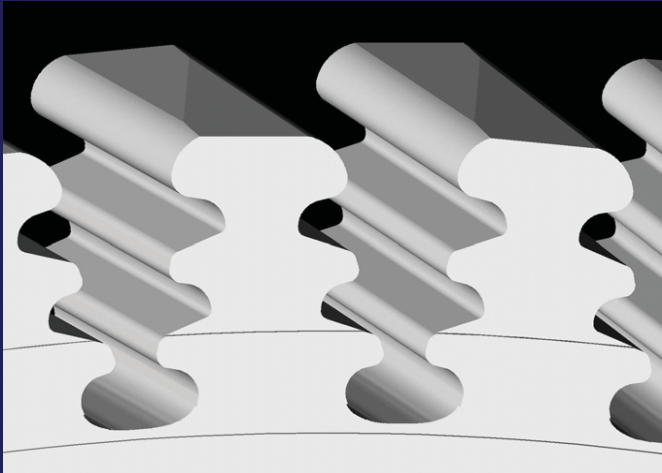
Lower centrifugal stress by a larger blade root and steeple

Enhancement of Reliability for Corrosive Environments

## Improvement of root and steeple strength



# Steeple Design Comparison

W Design	Mitsubishi Design (ISB)
 <p data-bbox="437 972 593 1016">Curved</p>	 <p data-bbox="1040 976 1209 1021">Straight</p>

11

## Features of Integral Shroud Blade

**(1) One-Piece Designed Construction**

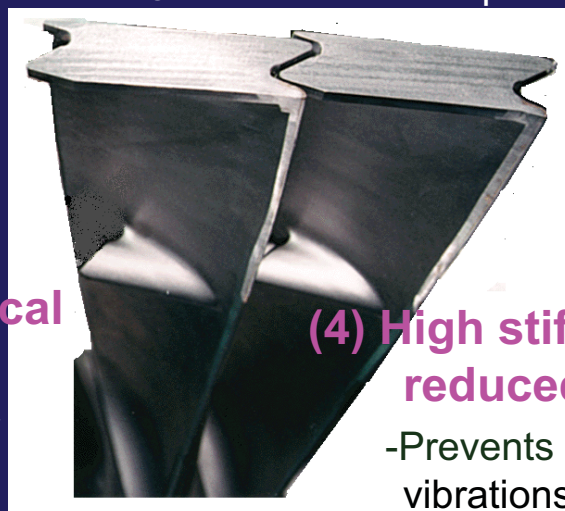
-Reduces stress concentrations eliminating tenon-rivetting

**(2) Shrouds continuously coupled by untwist deformation**

-Reduces number of resonant responsive vibration modes

**(3) Higher Mechanical Damping**

-Minimizes vibratory stresses



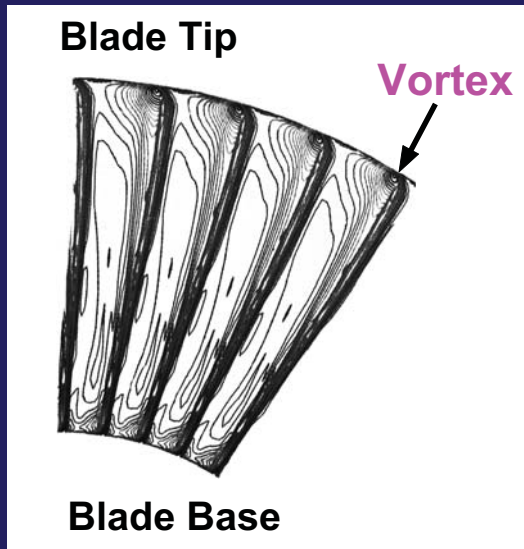
**(4) High stiffness and reduced vibration mode**

-Prevents non-synchronous vibrations  
-Increase back pressure operational limits

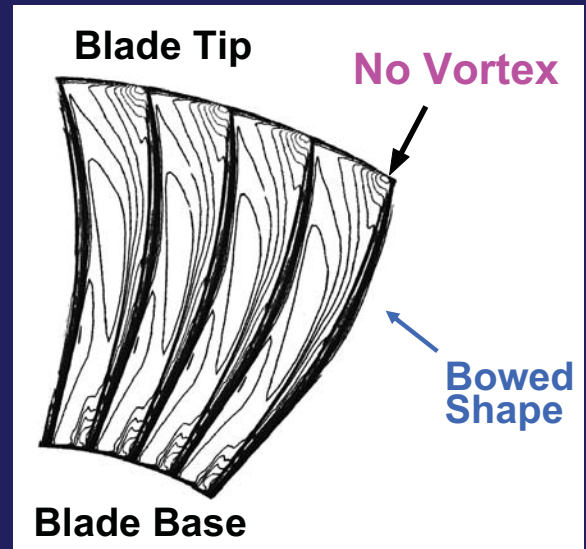
12



# (3) 3-Dimensional Flow Control Design



Conventional Design



3-Dimensional Flow Control Design

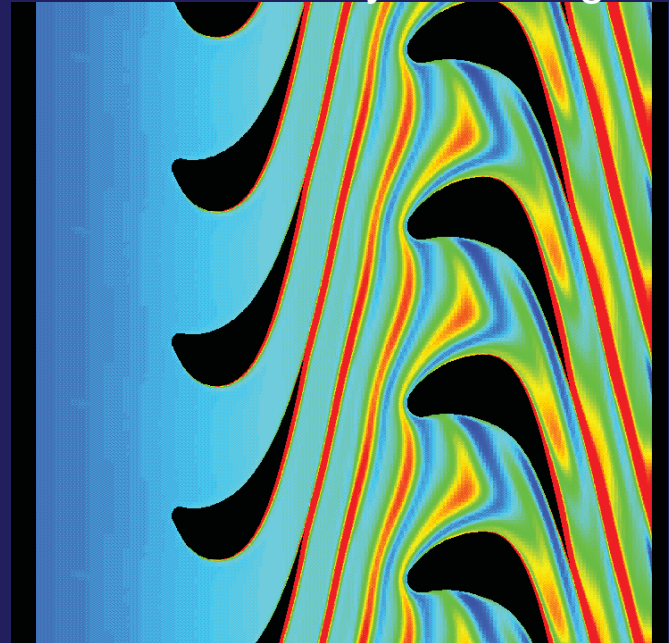
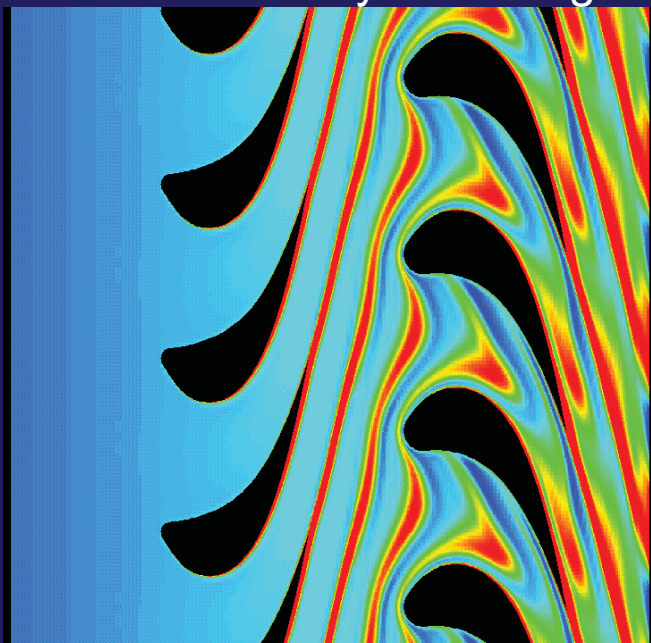
## CFD Flow Analysis Result

Original

New

Stationary Rotating

Stationary Rotating



Interaction between stationary blade wake & rotating blade boundary layer

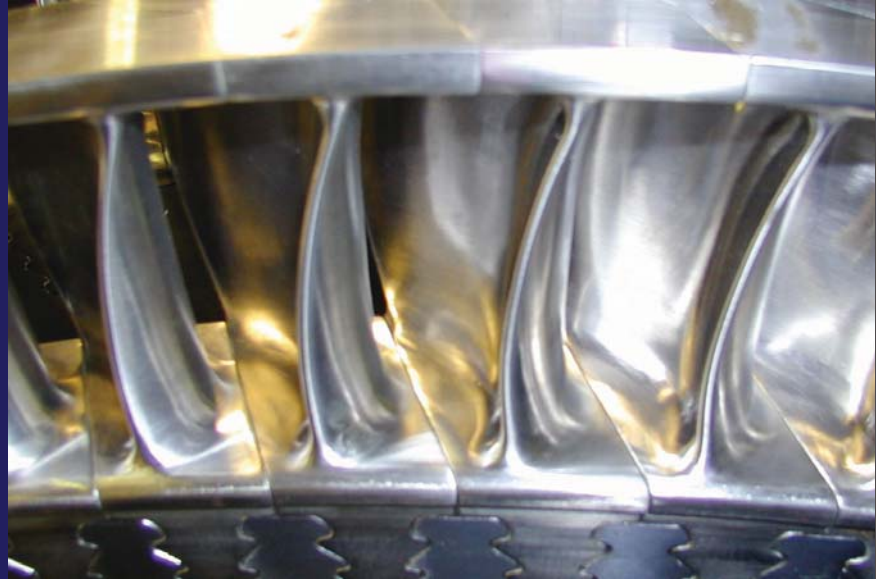
No Interaction

Entropy Distribution (Mean Height)

# 3-Dimensional Flow Design Blade

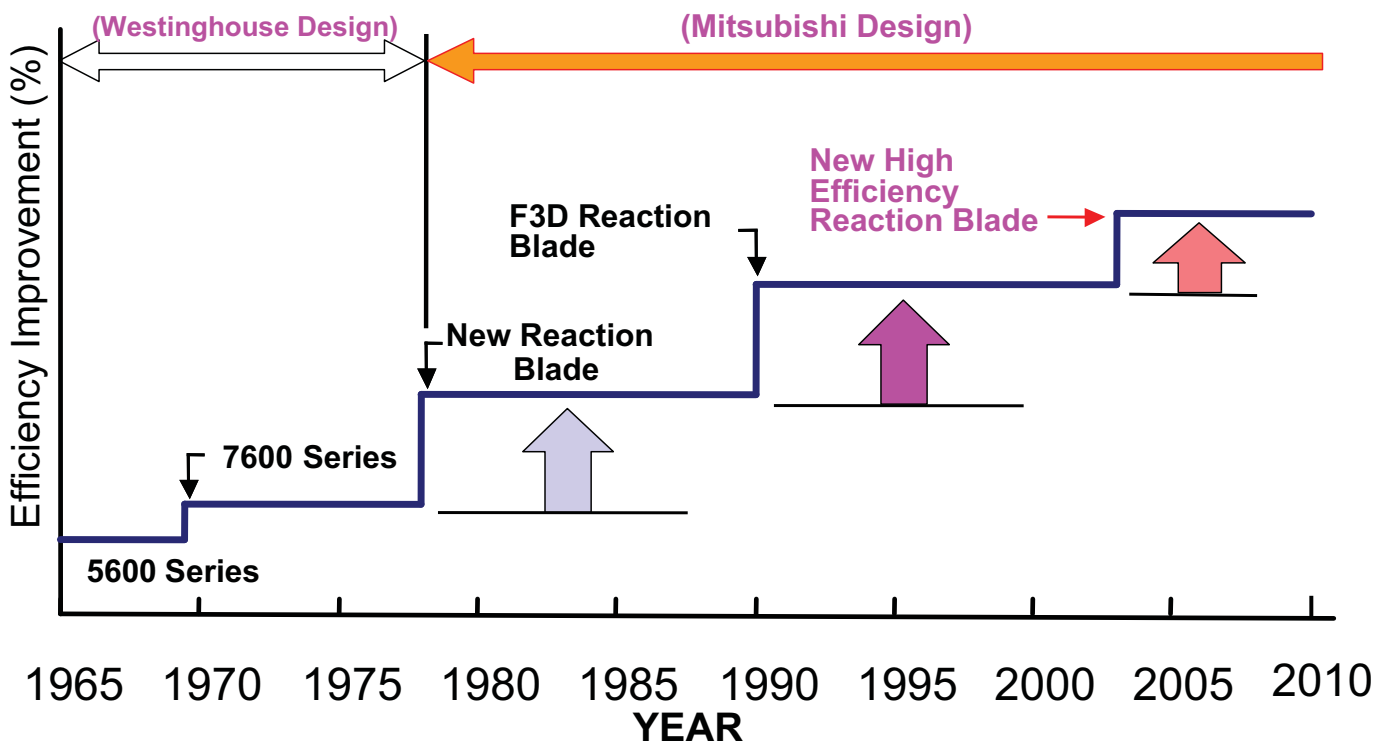


Stationary blade



Rotating Blade

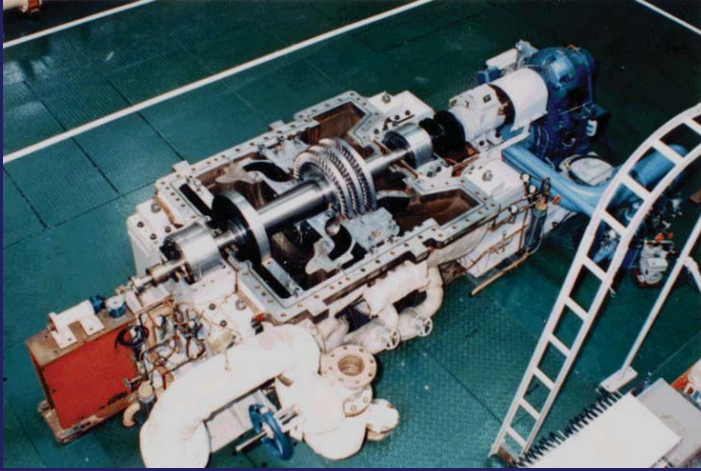
# Efficiency Improvement of Mitsubishi Reaction Blade



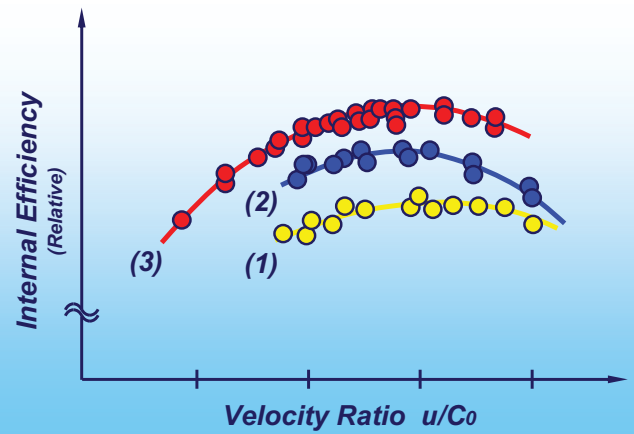
# Performance Verification of the F3D Reaction Blade

## Efficiency Verification Test at the Laboratory

### Test Equipment (Air Turbine)



### Efficiency Measurement

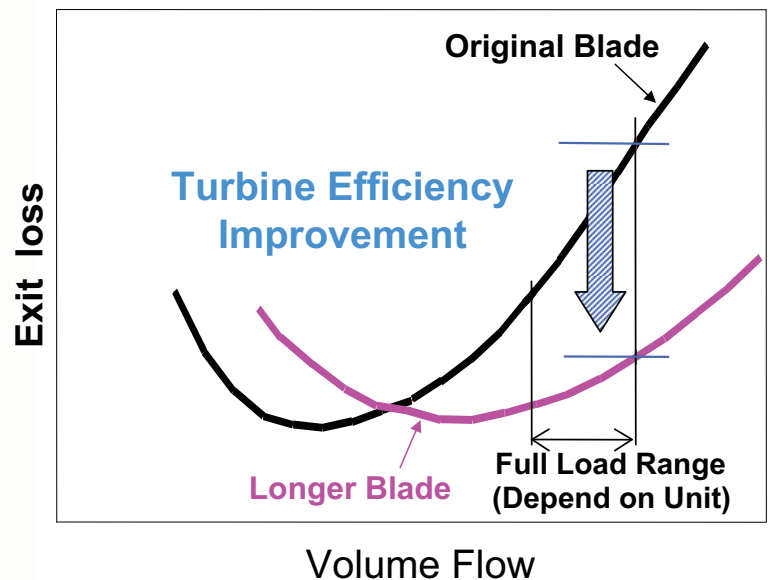
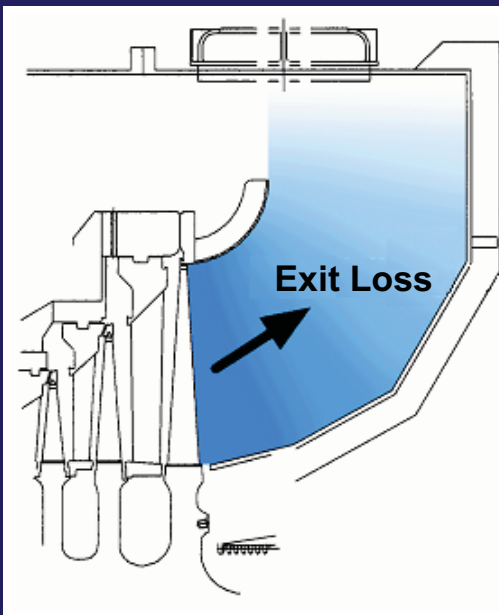


- (1) Conventional Design Reaction Blade
- (2) New Controlled Reaction Blade
- (3) F3D Design Reaction Blade

17

## (4) Longer Last Blade Application

- Longer blade application significantly reduces Exit Losses



18

# Mitsubishi ISB LP-End Blades

All LP End Blades are ISB with Excellent Operating Experience

62 and 74IN Blade are Now Under Development



## 2. Verification of MHI Design

# *Established Verification Process*

## *(Why No Risk ?)*

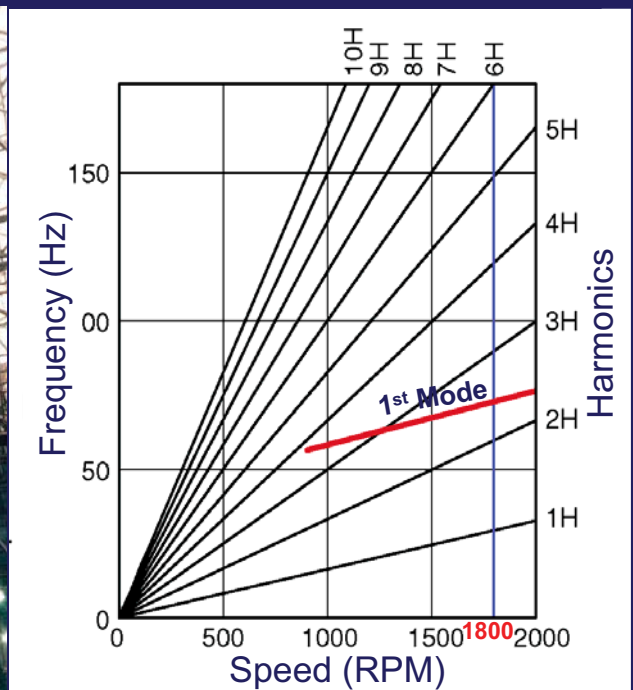
Design New LP End Blades

- ① **Manufacture Full Scale Blade and Rotating Test**
- ② **Steam Loading Test (Scale / Full Scale)**
- ③ **Test under Actual and Severer Conditions**
- ④ **Measure Blade Stress / Flow Pattern**
- ⑤ **Apply to First Unit after the confirmation**

21

# *54 inch Rotating Test*

**Blade Frequency Tuning Verified By Full Scale Rotating Test**



54IN Rotating Test Rotor

22

# MHI Steam Turbine Test Facility

## Turbine Casing

Control Room

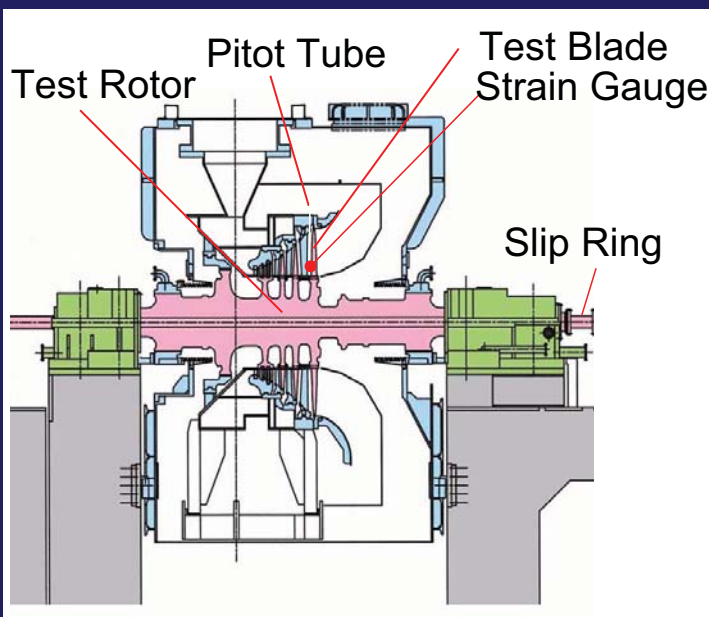
Condenser



1000 X 10<sup>3</sup> lb/h steam can be supplied to test facility.

# LP Turbine Test Rotor

Manufacture New LP Turbine Complete Model (Larger than 50% Scale)  
 Install in Test Facility with Special Measurement Instrumentation

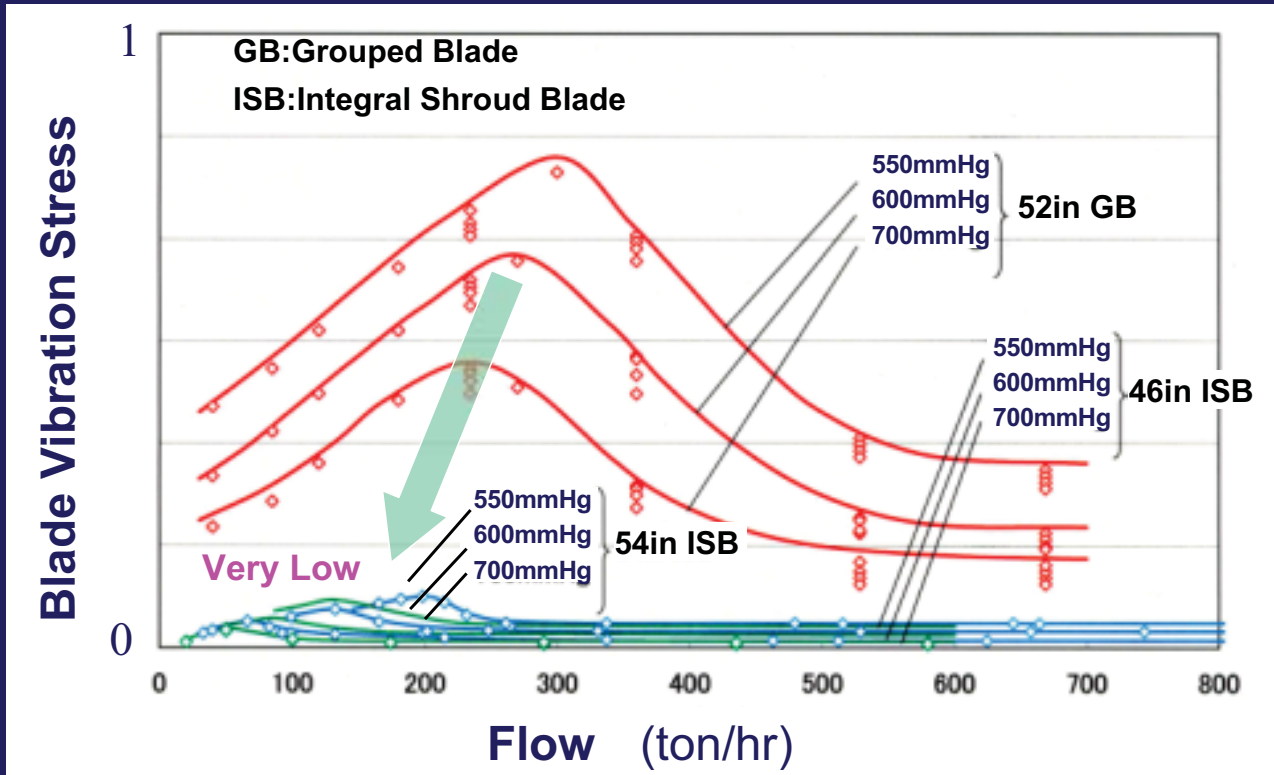


Longitudinal Section of Test Turbine



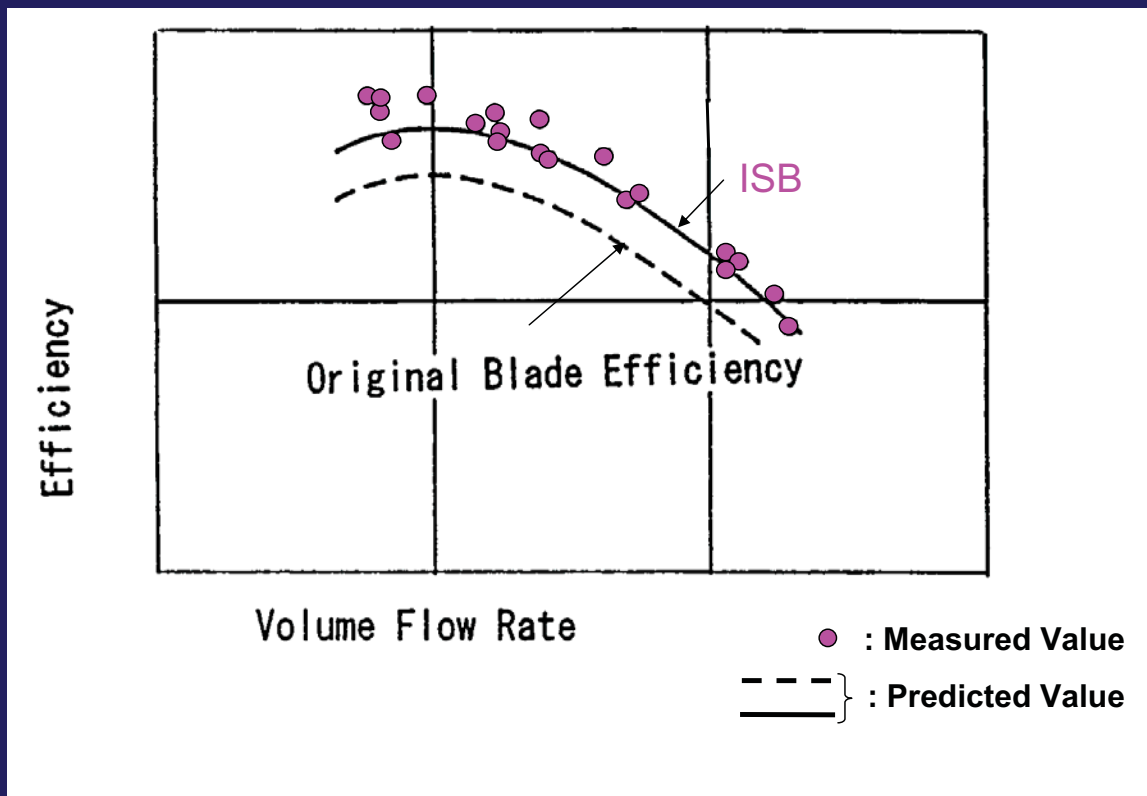
54IN Test Rotor

# Blade Vibration Stress Results by Steam Loading Tests



25

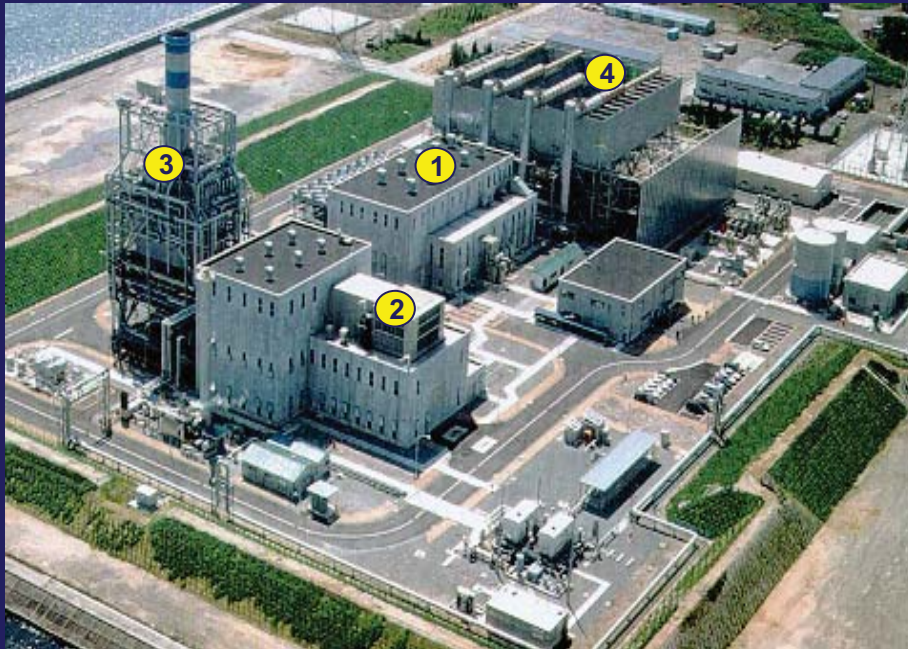
# Efficiency Test Results



26

# New Technology Verification at In-house Power Plant

Periodically Updating New Technology Application at In-house Combined Cycle Power Plant Steam Turbine for Verification



**330MW C/C Plant**  
(Takasago Machinery Works)

**Initial Operation :**  
June, 1997

**Total Output :**  
330MW

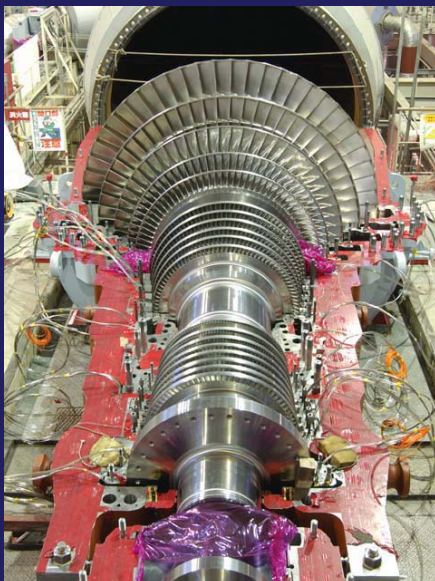
(ST 105 MW)

(GT 225 MW)

- ① : Steam Turbine Building
- ② : Gas Turbine Building
- ③ : HRSG
- ④ : Air-cooled Condenser

# New Technology Verification at In-house Power Plant Steam Turbine

Special Measurement for New Technology in Actual Plant Operation



**Special Measurement**  
(LOWER CASING & ROTOR INSTALLATION)



**Special Measurement**  
(UPPER CASING INSTALLATION)