

出國報告(出國類別：實習)

三菱機組 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器 等維護實習

服務機關：南部發電廠

姓名職稱：張智信 經理

派赴國家：日本

出國期間：108.11.03~108.11.16

報告日期：108.11.22

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：三菱機組 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器等維護實習

頁數 39 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

台灣電力公司/南部發電廠/機械工程監/ (07) 3367801 ex 2500

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：108年 11月 03日至11月16日

派赴國家/地區：日本

報告日期：

關鍵詞：FMK8，F3 UPGRADE，

內容摘要：(二百至三百字)

由於目前本廠四號機氣渦輪機為三菱第三代產品，其運轉溫度為 1400℃，但三菱公司於利用其在 M501J(1600℃)之運轉實績，將其葉片材質及燃燒器做一更新，並於 501F 之機組上使用，稱為 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器。如此不僅能將效率提升，NO_x 也降低為 10ppm 以下，並可將維修周期由原先 8000EOH 延長至 32000EOH，為了使技術紮根，確保維護品質與運轉安全，將所學之關鍵技術傳授至其他維護同仁，以提昇整體機組系統維護品質及效能。本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

一、研習目的	1
二、研習過程	2
(一)緣起及簡介	2
(二)FMK8 燃燒器硬體簡介	4
(三)FMK8 燃燒器原理	10
(四)FMK8 燃燒器材質及冷卻	12
(五)F3 UPGRADE 熱元件	17
1. 材質	20
2. 冷卻	24
(六)塗層	30
三.心得及建議	34
參考資料	36

一、 研習目的

(一) 目的

本項計畫包含熱元件管理、機械設備工廠參訪等，研習內容涵蓋氣渦輪機維護、熱元件管理等範疇，與多項有關設備維護上所需必要基礎技術，例如一般維護理念、熱元件管理與規劃、故障排除等。日本為工業輸出大國並為本廠四號機之原廠，工業產品以質量精良著稱，藉由設備工廠參訪，了解國外先進工業自動化生產過程與良率品管效能提升之理念。本計畫包含研習與參訪，可結合理論與實務上經驗，提升工作技能。

(二) 排程

起迄日期	機構名稱	實習內容
108年11月3日	日本 大阪	往程（高雄→大阪）
108年11月4日 108年11月15日	日本 高砂 Takasago Turbine co. Ltd.	研習氣渦輪機熱元件再生技術
108年11月16日		返程（大阪→高雄）

二、 研習過程

由於目前本廠四號機氣渦輪機為三菱第三代產品，其運轉溫度為 14000℃，但三菱公司於利用其在 M501J(1600℃)之運轉實績，將其葉片材質及燃燒器做一更新，並於 501F 之機組上使用，稱為 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器。如此不僅能將效率提升，NO_x 也降低為 10ppm 以下，並可將維修周期由原先 8000EOH 延長至 32000EOH，為了使技術紮根，確保維護品質與運轉安全，須赴原廠家之訓練單位，進行完整之實習訓練以因應延長檢修周期所產生的維修問題。

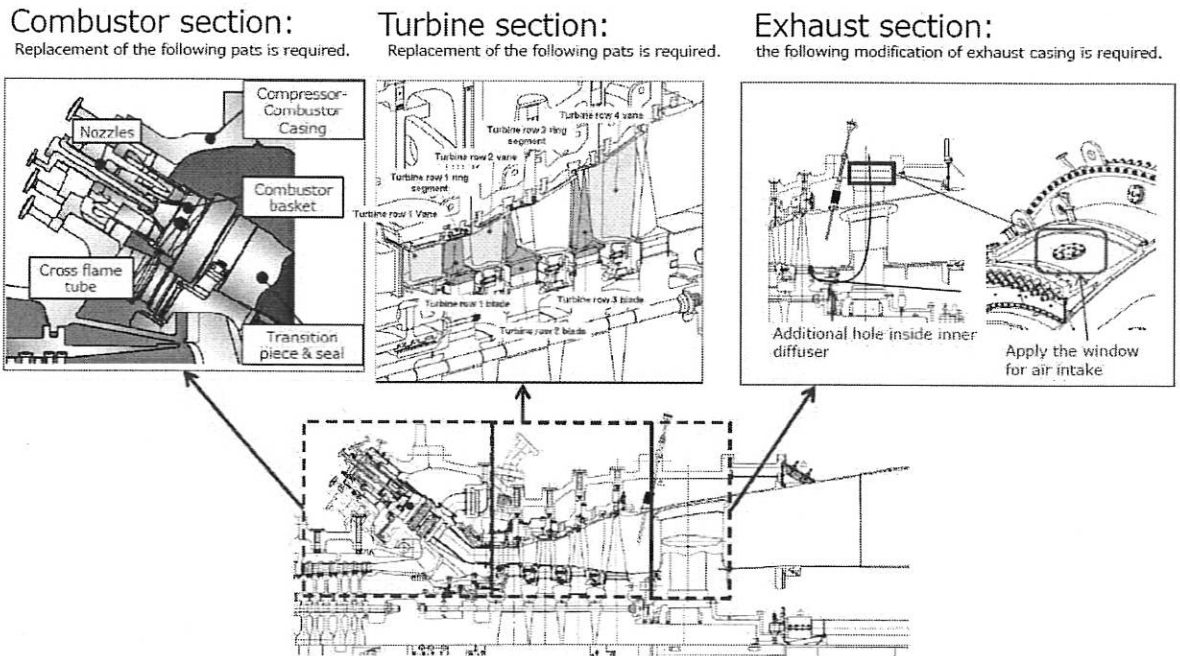
(一)緣起及簡介

此升級案源於 105 年 8 月，公司高層鑒於氣渦輪機熱元件皆向原廠採購，而其維修週期短(約 1 年)；故傾向改採非 OEM(Original Equipment Manufacturer)產品以達延長維修週期並降低發電成本，如此也可擺脫向原廠採購之枷鎖。遂於同年 10 月偕同修護處及綜研所同仁奉派至韓國及美國兩地參觀三家公司(SUNG-IL、GE 及 PSM)後並書寫報告⁽¹⁾，返國後便積極投入非 OEM 熱元件規範討論並決定於南火#4 三菱機組 M501F 試行。規範主要在著重在延長維修週期並將 NO_x 降至 10ppm 以下，熱元件範圍鎖定在燃燒系統及氣渦輪機配件(含#1~#4 動、靜葉片及間隔環)。

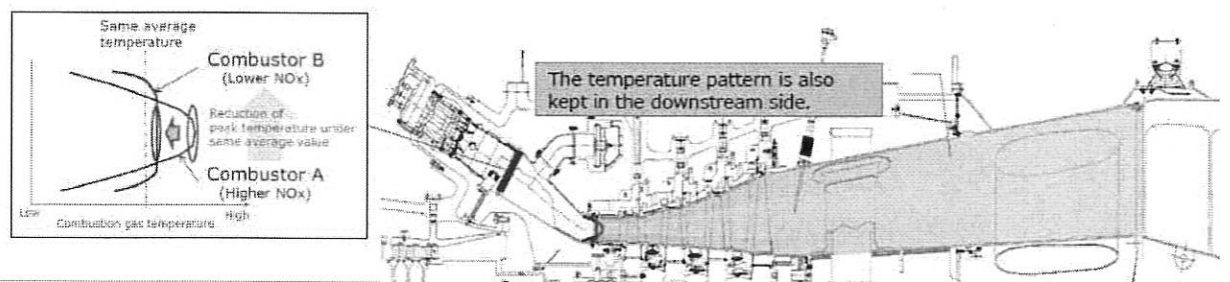
三菱公司於 106 年 3 月首次提出符合公司需求之方案 (FMK8 及 F3 UPGRADE)，將燃燒器改為 FMK8 型式，氣渦輪機配件部分改為 F3UPGRADE 型式⁽²⁾；經多次和三菱公司商談，三菱公司同意回購本廠使用壽命未到之熱元件及採統包方式(TURNKEY)於大修期間內完成改善案，本廠及發電處經多方考量及評估於 106 年 7 月經總經理簽准 FMK8 及 F3 UPGRADE 成行。

其改善範圍如圖一，燃燒器部分改為 FMK8 型式，此部分是利用其在 M701F 機型於新仙台(Shin- Sendai)之燃燒器運轉實績(<9ppm)修改而來；至於 F3 UPGRADE 修改範圍包含#1~#3 動葉片#1~#2 及#4 靜葉片和#1~#2 間隔

環，此部分已有實績且國內 IPP 廠也已升級完成(森霸 4 部機及彰濱 2 部機)；
 排氣殼增設冷卻孔則是因火燄溫度較為平均導致排氣殼外圍溫度比以往提高，所以需導入冷卻空氣；所有項目本廠已於 108 年 8 月完成。



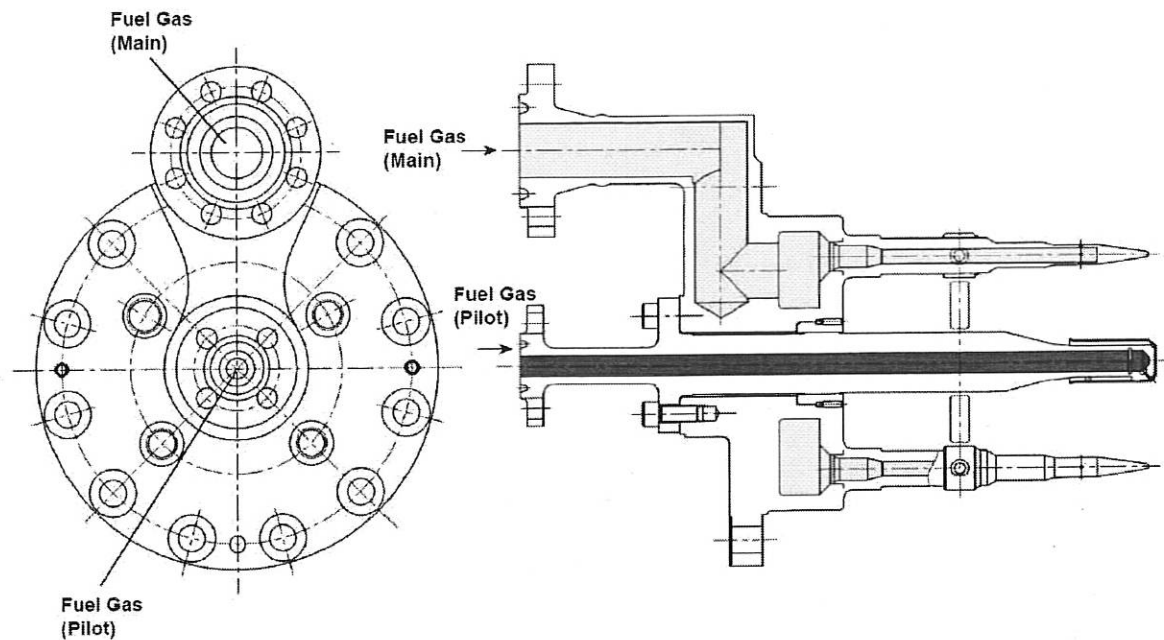
圖一：FMK8 及 F3 UPGRADE 改善範圍⁽³⁾



圖二：火燄溫度分佈改變⁽³⁾

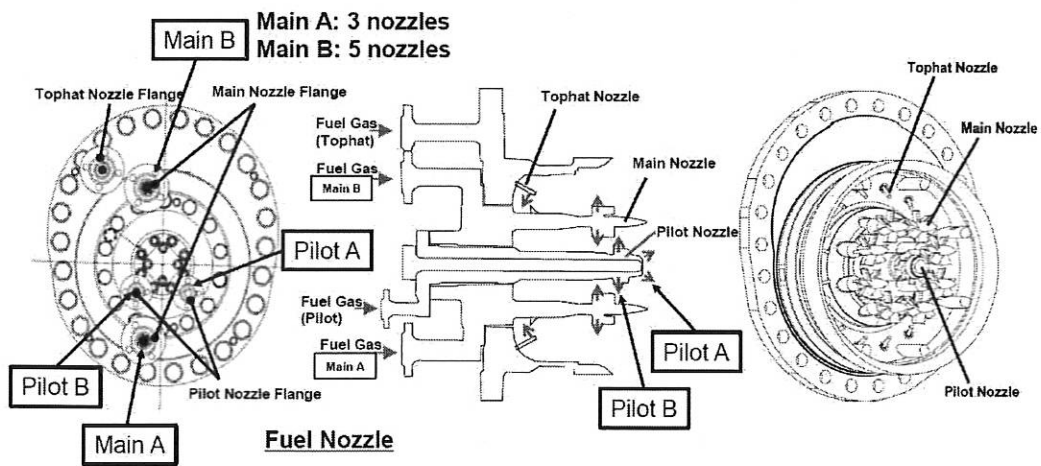
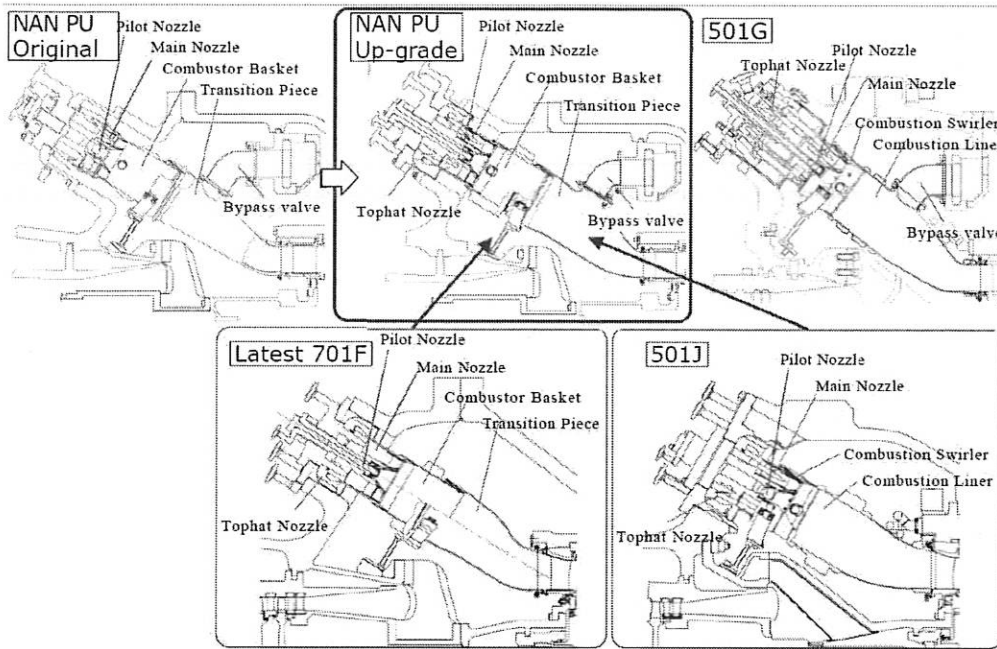
(二)FMK8 燃燒器硬體介紹

三菱公司原有燃燒器只分為 Main 及 Pilot 兩種，如圖三所示；其中 Pilot 有一支噴嘴，Main 有 8 支噴嘴圍繞於其外；兩種噴嘴各有其獨自管路，管路上配置控制閥控制其流量，由此可知其流量控制將不夠精準



圖三：M501F 燃燒器⁽⁴⁾

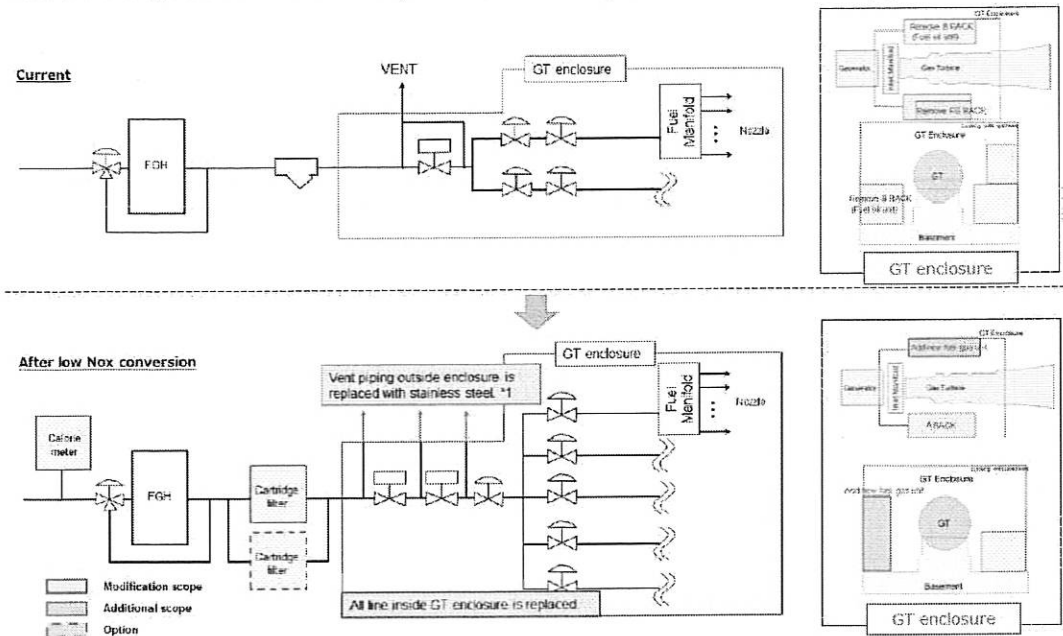
而新型 FMK8 燃燒器由 M501J 及最新型的 M701F 所改良而來(如圖四)，他將噴嘴概分三種：Main、Pilot 及 Tophat；其中 Main 及 Pilot 更細分為 A 及 B 兩種(如圖四)，所以共有 5 種燃料管控制天然氣流量(如圖五)，如此可做更精確之量控制。



Pilot nozzle: Stabilize combustion
Main and Tophat nozzle: Reduce NOx emission
 (Low flame temp. with uniform fuel/air mixture)
Combustion Swirler: Supply premixed fuel and air.

圖四：M501FMK8 燃燒器演進及噴嘴位置⁽⁵⁾

The following modification and replacement are required for combustor upgrade.


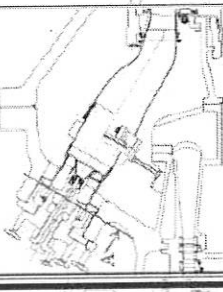
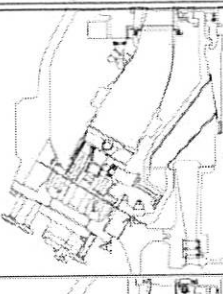
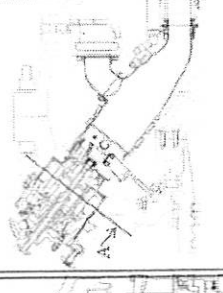
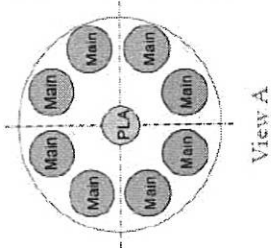
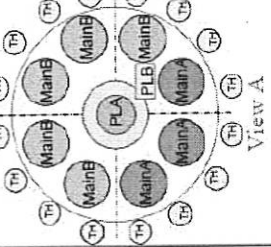
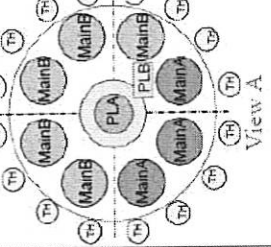
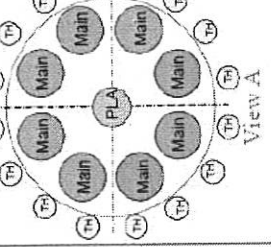


圖五：M501F3 及 M501FMK8 燃燒管分佈⁵⁾

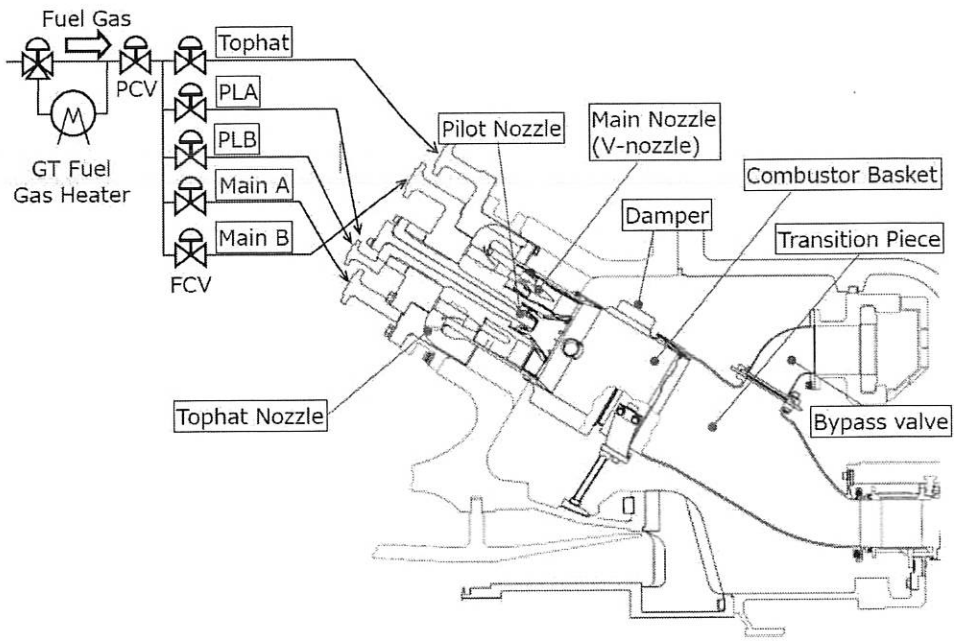
在 Pilot 噴嘴方面，在 Pilot A 燃料由噴嘴中央噴出，使其低負載時保持火焰穩定；而在 Pilot B 燃料則由噴嘴上導翼噴嘴孔噴出，使其在高負載時仍能維持低 NO_x。在 Main 噴嘴則使用在 501J 所研發之 V-nozzle，其為噴嘴與漩渦器合而為一；其原理類似 GE 公司之 Swozzle 及 SIEMENS 的 HR3 燃燒器(如圖六)，Main A 噴嘴有 3 支，而 Main B 噴嘴有 5 支，各類噴嘴分佈位置如圖七，而整個燃燒器構造如圖八。

	M501F	M701F	M501J	M501G
	Up-grade NAN PU	The latest F Japan	J Tung Hsiao	G Dah-tarn II
	1400	1500	1600	1500
Pilot Nozzle	 Pilot B Low NOx at Higher load			
Main Nozzle				

圖六：MHI 各種機型燃料動作⁽⁵⁾

	M501F	M701F	M501J	M501G
	Original	The latest F	J	G
	NAN PU	Japan	Tung Hsiao	Dah-tarn II
	1400	1500	1600	1500
				
Fuel staging	2 Fuel lines	5 Fuel lines	5 Fuel lines	3 Fuel lines
				

圖七：MHI 各種機型噴嘴分佈⁶⁾

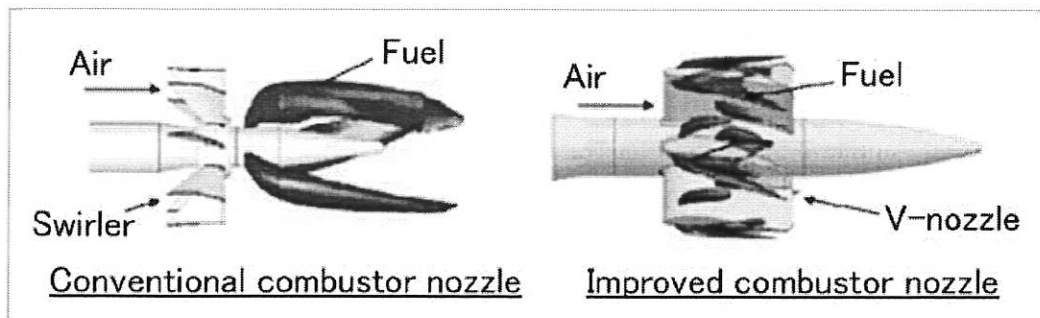


圖八：FMK8 燃料系統圖⁵⁾

(三)FMK8 燃燒器原理

燃燒技術方面主要是穩定度及 NOx 排放濃度，而火焰的長度及停留時間將影響 CO 及 NOx 排放量，所以在做燃燒測試時其火焰長度及擾流程度是低排放量的一個指標；由於環保條件日趨嚴格，以本廠最新之四號機為例也已經運轉於十六年，如環保署最終採計燃氣機組一樣採用總量管制，勢必影響本廠之發電量，如此將減少本廠供電量使日益嚴峻之電力系統更加脆弱，所以勢必降低 NOx 的排放量以爭取最大的發電量。因 FMK8 設計原理源自於 501J 之 MK8 燃燒器，所以底下將簡介 MK8 原理。

燃燒情形由圖九知，原本(型號 DLNMk7-4)，中心為導引噴嘴(Pilot nozzle)，其外圍均布了八個預混噴嘴。導引噴嘴採用旋流進氣，出口為擴張錐形型面，形成穩定的回流區，保證在擴散燃料比例較低的情況下也能夠穩定燃燒；外圍預混噴嘴採用旋流葉片，並在旋流葉片下游的中心體上開設若干個燃料噴口，在旋流作用下進行燃料/空氣預混，並優化旋流角度預防回火，外圍噴嘴的出口為扇形，即混合通道從圓環形轉為扇形；使用中噴嘴形成穩定的擴散燃燒火焰用於穩定外圍的預混火焰。火焰筒上布置旁通閥，用於調節點火、加速及低負荷下的燃燒區當量比，保證穩定的燃燒；在整個工作範圍內，導引噴嘴的擴散燃料一直工作。

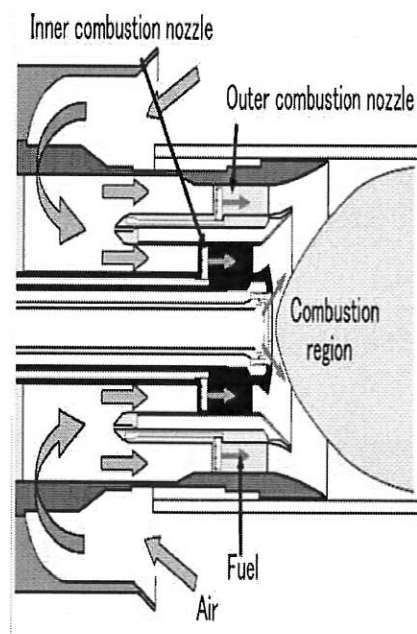


圖九：傳統及新型燃燒器之差異⁽⁷⁾

而新型 (型號 DLNMk8-4)燃燒(M501J)(圖十)，則是燃料和空氣在漩渦器內混合均勻，優化了噴嘴進口前來流均勻性；優化了外圍預混噴嘴，採

用透平葉片設計工具設計旋流葉片，並將燃料噴口開設在旋流葉片上，稱為「V」型噴嘴，大大提升了燃料/空氣混合均勻度，並使噴嘴內部速度分布與當量比分布更加匹配，從而降低了回火風險；優化了燃燒室氣動特性，增大主噴嘴擴張錐形出口的面積來提升擴散火焰穩定性，保證在極低的擴散燃料比例下仍能獲得穩定的擴散火焰；此外優化燃燒室外壁面形狀，減小預混噴嘴出口外圍附近的回流區面積，從而縮小高溫區範圍來降低 NO_x 排放。

每個燃燒器各有 8 支 Main Nozzle，分為 A(3 支)/B(5 支)兩組，藉由控制閥 A/B 兩組各個 Nozzle 的燃料流量來調整燃料/空氣之比率，最終控制燃燒火焰溫度，達到抑制 NO_x 排放量之目的；將 Swirler 及 Main Nozzle 結合成一體，Main nozzle 六片中空導翼中，正反各有 2 個燃料噴孔，Main nozzle 燃料噴孔由 3 孔變為 24 孔，可增加混合速率，使燃燒火焰較短，NO_x 濃度較低⁽⁶⁾。

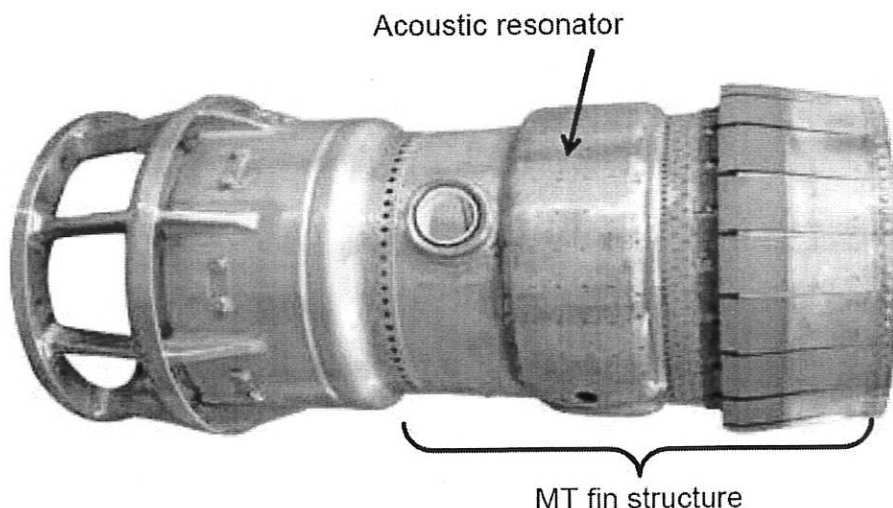


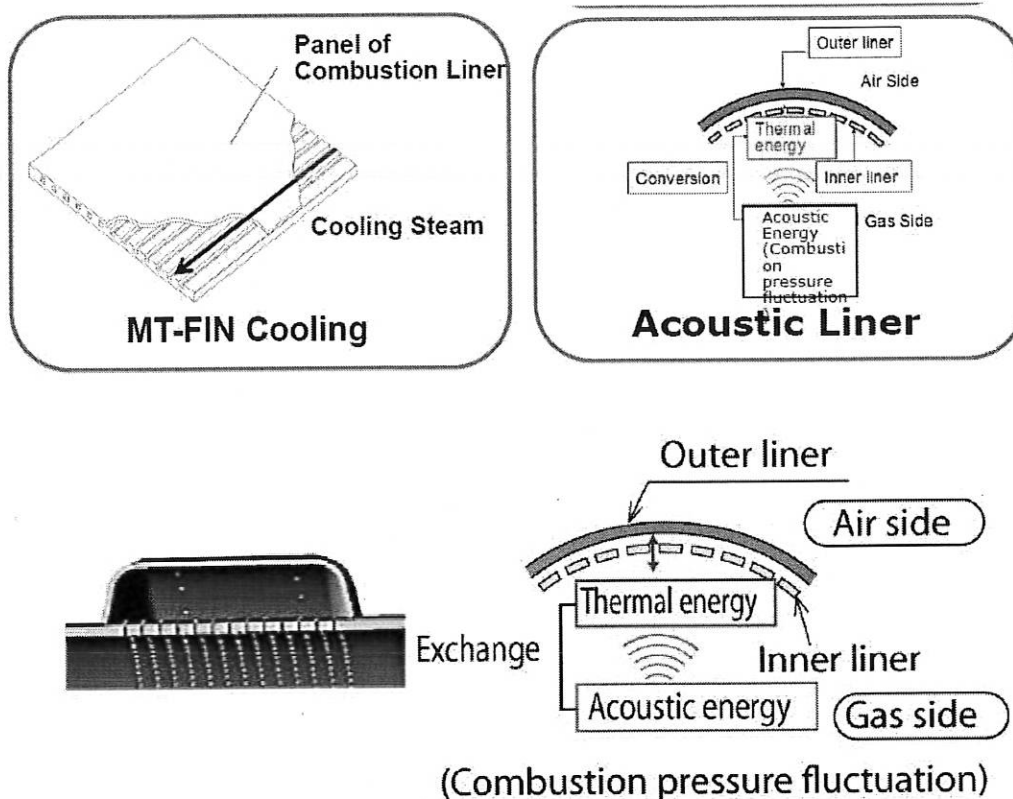
圖十：新型燃燒器(M501J 使用)⁽⁸⁾

(四)FMK8 燃燒筒材質及冷卻

雖然本公司使用的 M501F、M501G 燃燒筒及導火筒材料，經過可攜式 X 光分析儀分析，為 Hastelloy X 合金，但有文獻提到三菱重工可能使用其自行開發的 Tomilloy 合金製造燃燒內筒。Tomilloy 合金含 22% 鉻、8% 鈷、9% 鉬、3% 鎢、1% 鈦、0.3% 鋁，文獻顯示其在 800°C 之降伏強度與抗拉強度分別為 294 以及 441Mpa，相較於 Hastelloy X 合金在 760°C 之降伏強度與抗拉強度分別為 237 及 461Mpa 在 871°C 之降伏強度與抗拉強度分別為 194 及 310Mpa，Tomilloy 合金性質確實優異，並且其伸長率高達 110%，更是 Hastelloy X 合金或是 Inconel 617 材料所無法比擬。根據文獻 Tomilloy 合金在 850°C 高溫、10,000 小時長時間下，其金相尚未顯示出明顯的劣化⁽⁹⁾。然在文獻(4)中提及，燃燒筒(Basket)材質為 Hastelloy X 合金，而導火筒材質為 (Transition Piece) Tomilloy 合金。

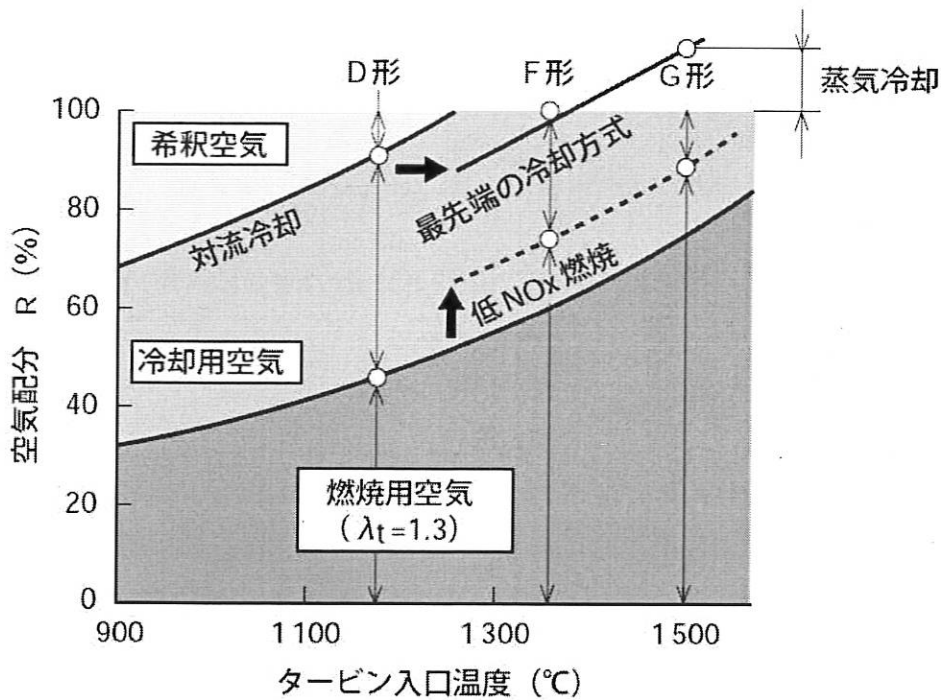
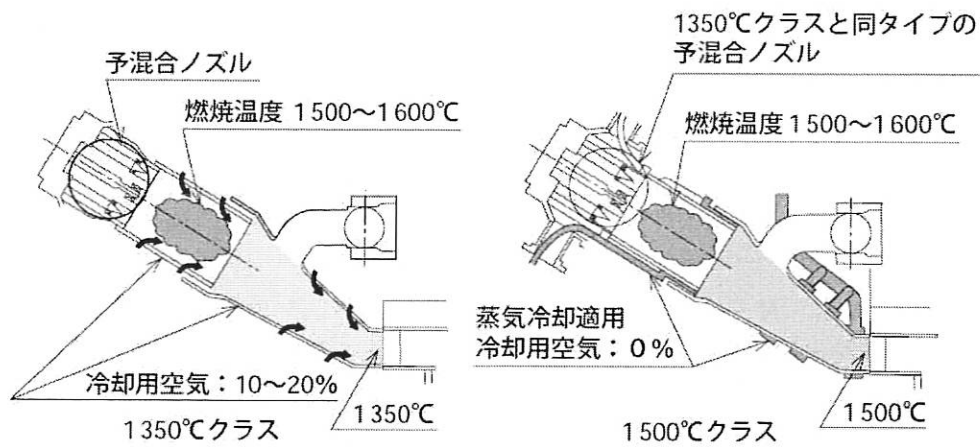
燃燒筒之外觀如圖十一，其在 FNA-04 中就開始加入所謂的 Acoustic Linear(Resonator)；其目的在於抑制燃燒在高頻(500~5000Hz)⁽¹¹⁾所產的振動，並且可以將再生周其由 8000EOH 延長至 12000EOH⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾，MT fine 構造則取代 Plate-Fin，其目的在於降低金屬溫度延長使用週期，。





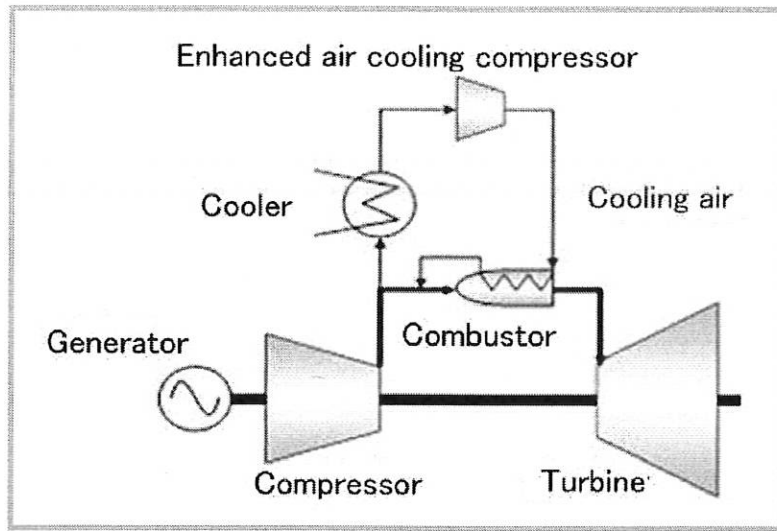
圖十一：M501 F3 UPGRADE 燃燒筒⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

M501G 為世上首先採用可回收蒸汽冷卻技術機組，F 型機組和 G 型機組有著相同的燃燒溫度(1500~1600°C)，但是卻浪費了 10~20%的空氣加以冷卻，導致其 TIT 降至 1350°C(圖十二上)，圖十二下則顯示空氣利用率和燃燒溫度關係，其和 F 型維持同樣低 NO_x 性能，原因在於依部分冷卻由蒸汽代替⁽¹³⁾。

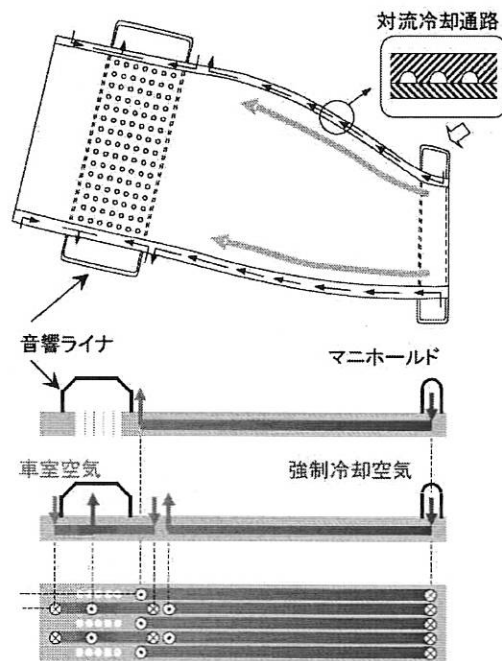


圖十二：M501F/501G 燃焼器比較⁽¹³⁾

MHI發展了M501JAC燃焼筒冷卻方式，其利用壓縮空氣冷卻並加壓後加以冷卻燃焼筒後；在進入燃焼室當燃焼空氣(如圖十三)⁽¹⁴⁾，如此不僅可利用壓縮空氣冷卻時所產廢熱以利蒸汽循環(bottoming cycle)，藉由最佳化燃焼筒冷卻技術其確效能優於或相當於蒸汽冷卻式，而且機組啟動時間相較於蒸汽冷卻將縮短。



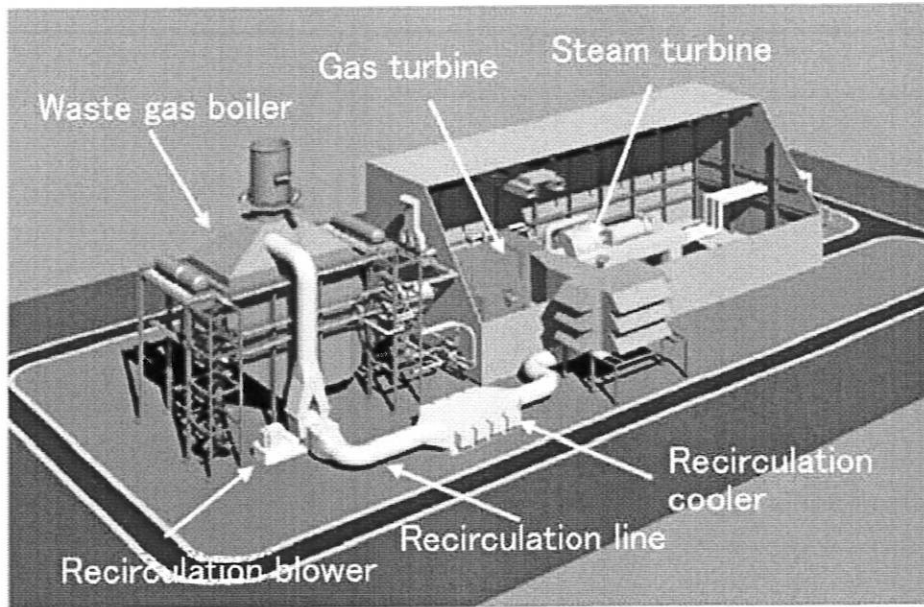
圖十三：M501JAC 燃燒器冷卻概圖⁽¹⁶⁾



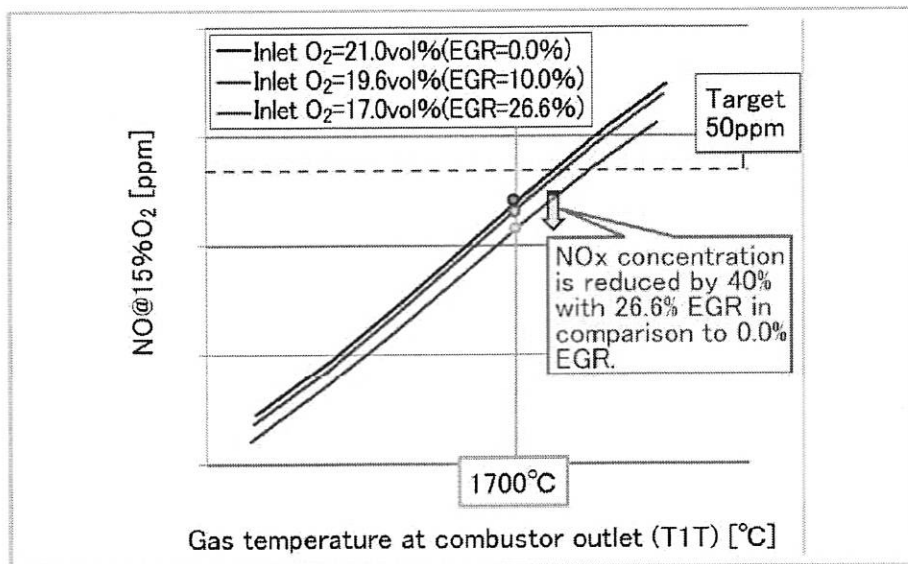
圖十四：M501JAC 燃燒器冷卻⁽¹⁵⁾

目前三菱公司正在發展中的機組(1700°C)，由於其進氣溫度過高將導致 NO_x 排放量超高，為了將 NO_x 排放量降低，MHI 採取 EGR 技術(Exhaust gas Recirculation, EGR)(圖十五)，他利用排放至熱回收鍋爐的廢燃氣(約 90°C)將其冷卻(約 34°C)後再混合外部空氣(15°C)送入空壓機內(20°C)，因為廢燃氣之含氧量少，所以其 NO_x 排放量將降至 50 ppm⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾，由圖十六可以看出，

當 EGR 達 26.6%時其 NO_x 排放量將較 EGR 0%NO_x 降低 40%，也就是低氧燃燒將得到低 NO_x 值。



圖十五：1700°C EGR 概圖⁽¹⁷⁾

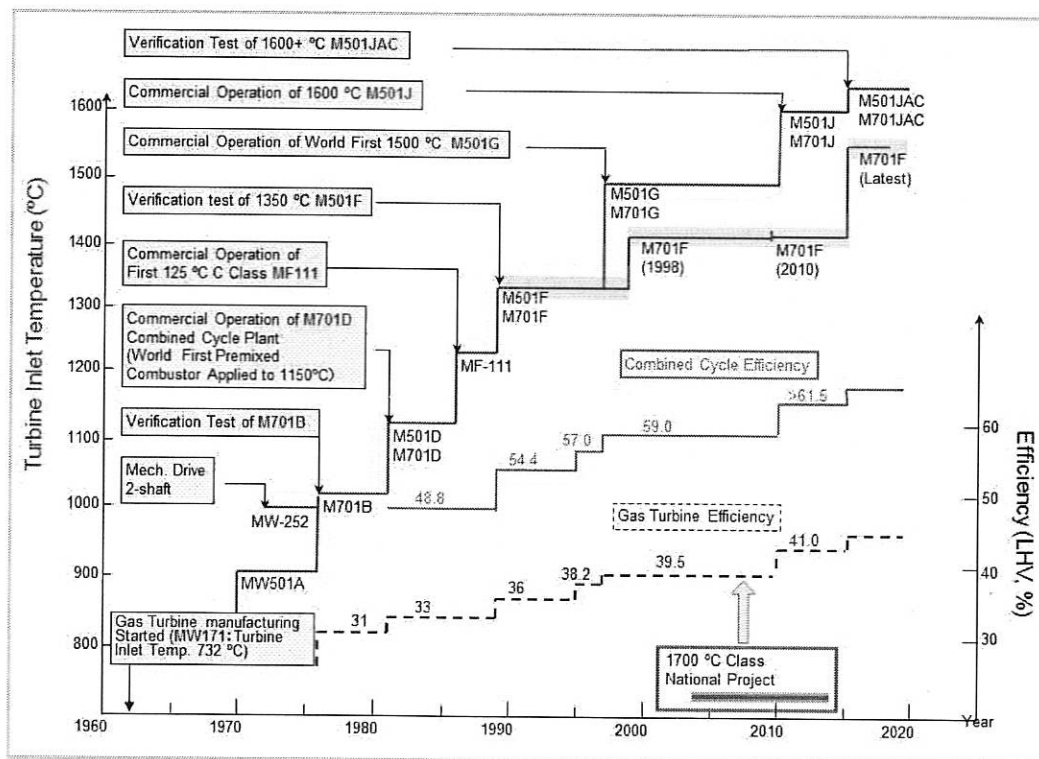


圖十六：溫度和 NO_x 比較圖⁽¹⁷⁾

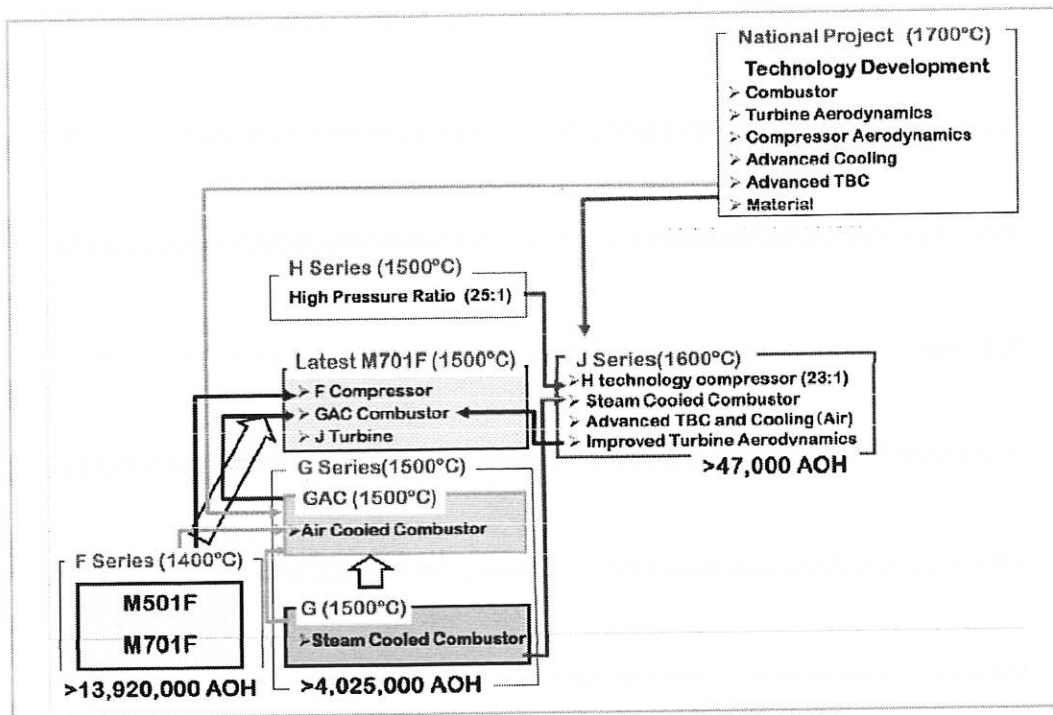
(五)F3 UPGRADE 熱元件

其實 MHI/MHPS 從 1960 年度開始，當時進口溫度為 732°C 的氣渦輪機，一路走來；於 1989 年推出 1350°C 的 M501F 級；1997 年推出首部蒸汽冷卻的 1500°C 的 M501G；並在 2004 年加入 1700°C 的國家計畫，並利用其所獲的技術於 2011 年在高砂(Takasago)的試驗電廠 T Point 成功發展 1600°C 級 M501J (圖十七)。在圖中 M7**代表其為 50Hz 的機組，M**JAC 代表其為空氣冷卻的機組；一般氣渦輪機當發展出新型機組時，便會將其新技術運用於舊機組上號稱為升級，如此不僅提升發電量及效率，甚至可提高氣渦輪機進口溫度；如 M701F 系列，由 701F1 到 701F5，過去 20 年間其發電量提升達 1.5 倍，而效率提高超過 12%⁽¹⁹⁾(圖十八)。

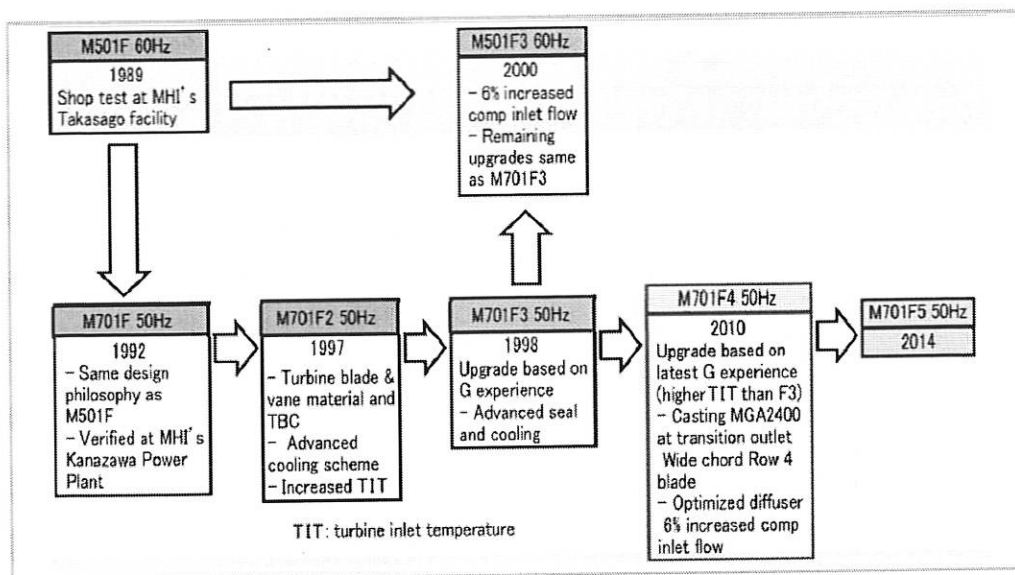
至於本廠所設置之 501F，其正確名稱應為 M501F3，其進口溫度為 1400°C，不僅氣渦輪機世代間技術可以交流，甚至 M7*系列和 M5*系列也可以交流⁽²⁰⁾ (圖十九)。



圖十七：MHI/MHPS 氣渦輪機發展史⁽¹³⁾



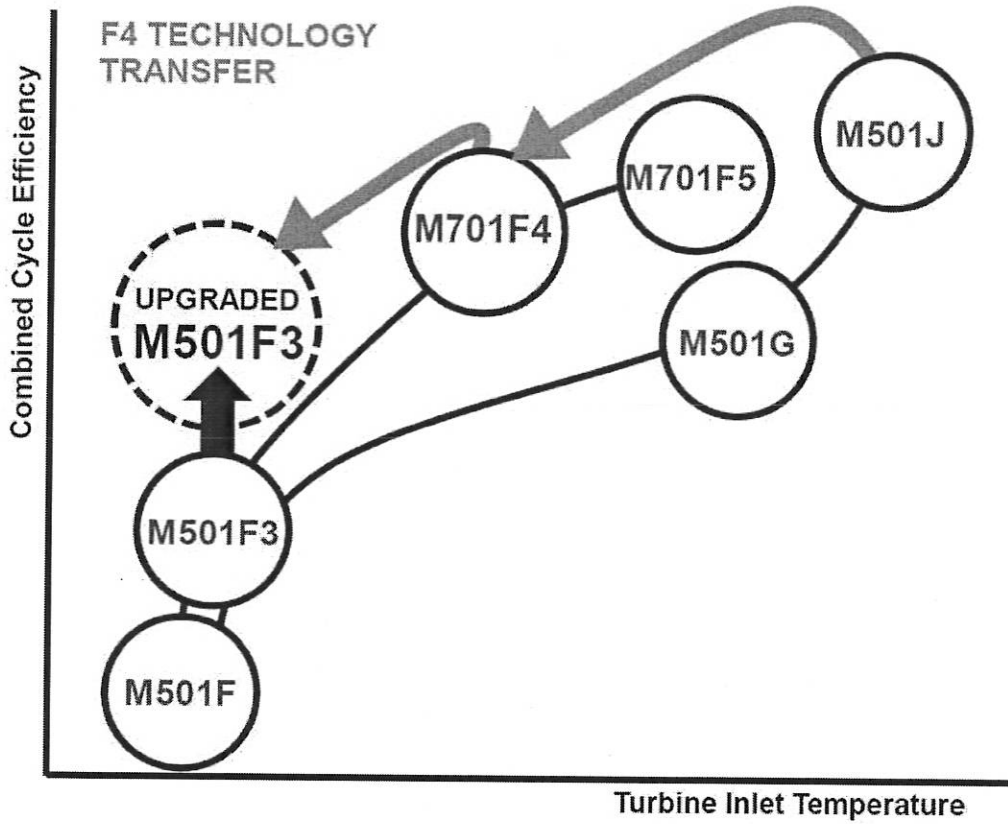
圖十八：MHI/MHPS 升級⁽¹⁶⁾



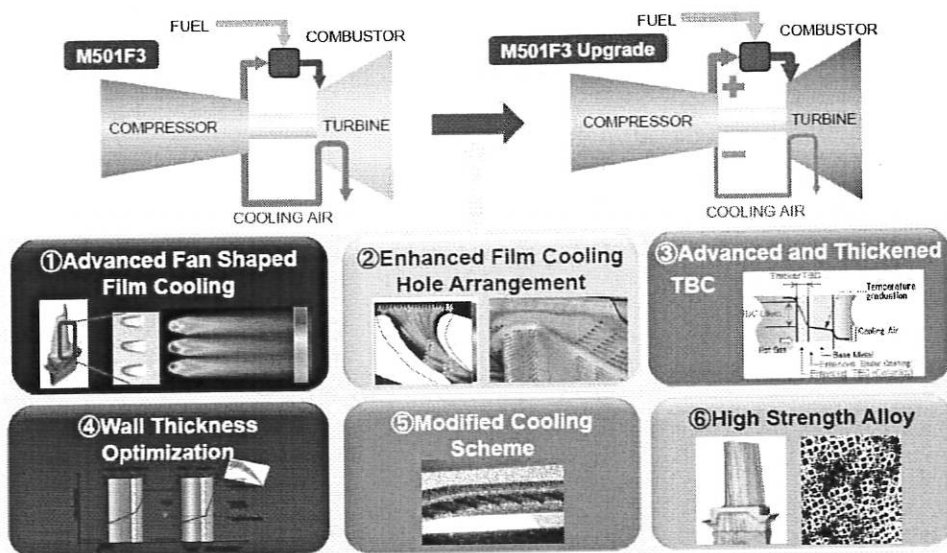
圖十九：F 系列關聯圖⁽²⁰⁾

M501F3 UPGRADE 主要是由 M701F4 所改造而來，而 M701F4 升級案則來自於 M501J(如圖二十)，由於使用以下六種先進技術(1)先進薄膜冷卻，(2)強化薄膜冷卻孔排列，(3)先進且較厚的 TBC 塗層，(4)葉片厚度最佳化，(5)

修正冷卻孔排列，(6)使用高強度合金；如此將得到兩種好處，一是冷卻空氣減少使得空壓機出口壓縮空氣進入燃燒器燃燒之空氣增加；二是增加燃燒所做的功(如圖二十一)



圖二十：三菱 F 型氣渦輪機升級關聯圖⁽²¹⁾



圖二十一：F3 升級後效益簡圖⁽²²⁾

1. 材質

一般氣渦輪機熱元件材料為超合金(Superalloy)，主要為二類：鎳基(Ni-base)、鈷基(Co-base)，雖然鈷基其銲接性較鎳基⁽²³⁾⁽²⁴⁾好，但是由於氣渦輪機氣進口溫度越來越高；所以材料鑄造方式也由等相性凝固(Conventionally Cast, CS)，提升為方向性凝固(Directionally Solidified, DS)，甚至單晶(Single Crystal, SC)，所以合金並無類似碳之類的晶界(grain boundary)強化元素；然而鈷基材料含許多碳，且其主要強化機制依賴碳化物(carbide)⁽²⁴⁾，所以鈷基材料逐漸退出市場。一般氣渦輪機製造廠商都會研發自己的材質編號，如三菱公司都以MGA(Mitsubishi Gas Turbine Alloy, MGA)代表加上自行編號，如MGA1400及2400等，下表就是本廠舊型及F3 UPGRADE後之對照表，其中X45為鈷基材料。其中MGA2400是IN 939的更新版⁽²⁵⁾，MGA1400則類似於IN792⁽²⁶⁾，其主要元素表如表二。

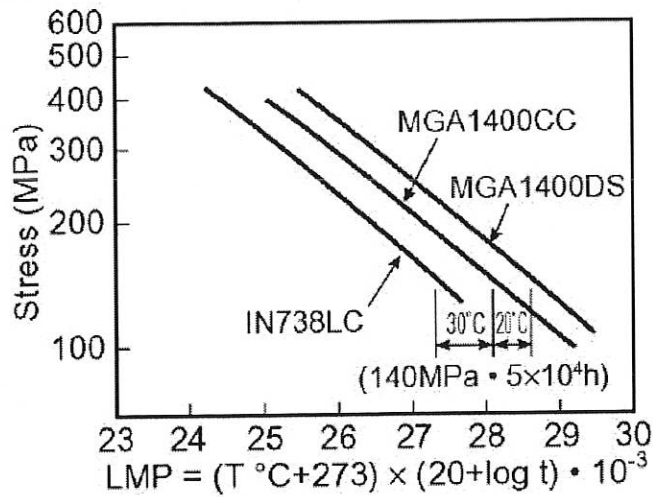
	本廠舊型	501F3 UPGRADE
第一級動葉片	MGA 1400+TBC	MGA1400(DS)+A.TBC
第二級動葉片	MGA 1400+TBC	MGA 1400+A.TBC
第三級動葉片	MGA 1400	MGA 1400+A.TBC
第四級動葉片	MGA 1400	MGA 1400
第一級靜葉片	MGA 2400+TBC	MGA 2400+TBC
第二級靜葉片	MGA 2400+TBC	MGA 2400+TBC
第三級靜葉片	MGA 2400	MGA 2400
第四級靜葉片	X45	MGA 2400
第一級間隔環	X45	MGA 2400
第二級間隔環	X45	MGA 2400

表一：新舊熱元件型材值對照表⁽²²⁾

Alloy	Ni	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta
MGA 2400	Balance	19	19	—	6	1.9	3.7	1	1.4
MGA 1400	Balance	10	14	1.5	4.3	4	2.7	—	4.7
X-45	10	Balance	25	—	8	—	—	—	—

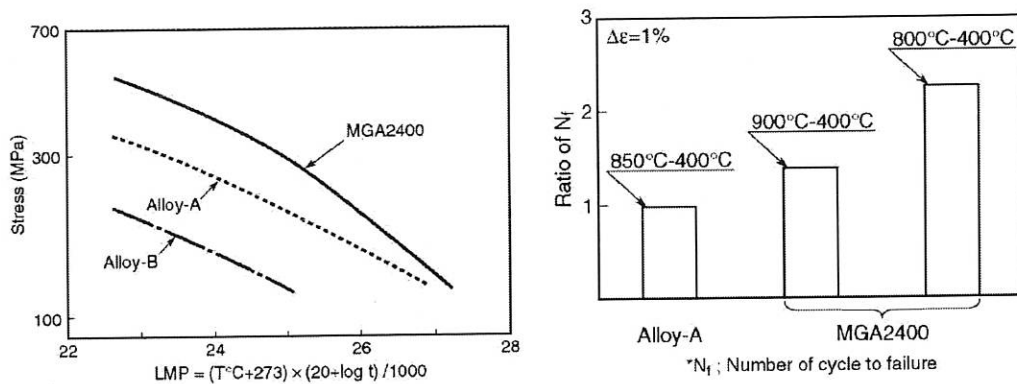
表二：材質主要元素表⁽⁴⁾⁽²²⁾

至於方向性凝固為何逐漸取代等相性凝固?由圖二十二可知,利用800~1000°C溫度範圍測試潛變,我們發現抗潛變強度溫度高約20°C,而且MGA1400DS在固溶化及時效熱處理方面優於MGA1400CC⁽²⁸⁾。所以MGA1400DS使用於M501G級M501F701F的升級版。



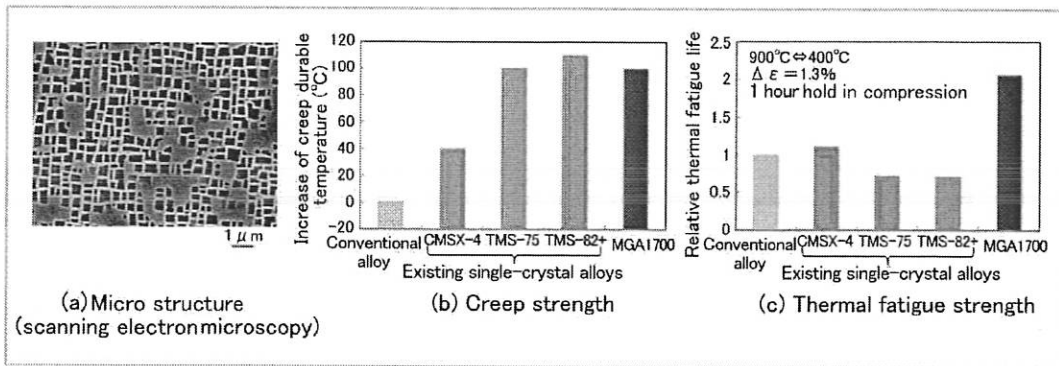
圖二十二：MGA1400潛變強度⁽²⁷⁾

至於MGA2400其優異的抗潛變強度及熱疲勞強度(圖二十三)，它已經使用於M501G的靜葉片上，



圖二十三：MGA2400潛變強度(左圖)及熱疲勞強度(右圖)⁽²⁷⁾

為了建造1700°C級氣渦輪機，MHPS也開始發展單晶(Single Crystal, SC)材質MGA 1700；圖二十四為其和其他單晶材料在潛變強度及熱疲勞強度的比較，可以發現其具有優異的表現，和其他單晶材料不同之處，為了得到優異高強度而加入特殊的元素，如銻(Re)⁽²⁸⁾，而銻的加入是第二代單晶材質以後所加入，最主要是改善潛變強度。

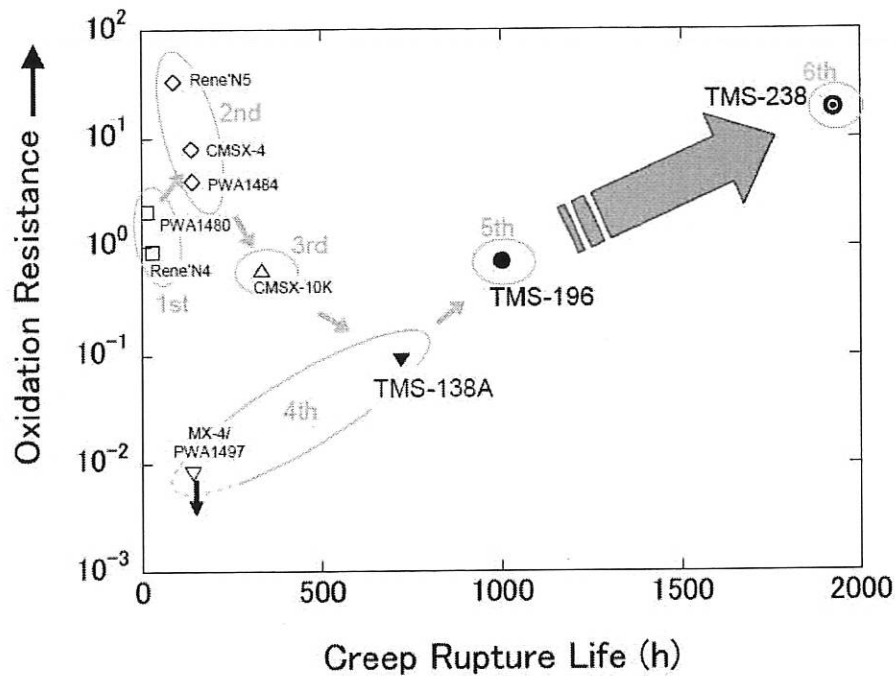


圖二十四：MGA1700和其他單晶材質的潛變強度及熱疲勞強度比較⁽²⁸⁾

目前單晶材料已發展製第六代，表三列出部分單晶材料成分；表中發現第三代的Re增加到6%以提高其高溫穩定性，GE公司也在第三代加入鈦(Ru)，因為第三代材料減少Cr含量，以減少TCP(Topolgically close-packed)沉澱；所以添加Ru以維持其高溫潛變強度⁽²⁹⁾。第六代單晶在各方面表現皆優於各代(圖二十五)

Alloy Generations		Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	Hf	Re	Ru	ρ
2 nd	CMSX-4	6.5	9.0	0.6	6.0	5.6	1.0	6.5	0.1	3.0	-	8.70
	PWA1484	5.0	10.0	2.0	6.0	5.6	-	9.0	0.1	3.0	-	8.95
	Rene [®] N5	7.0	8.0	2.0	5.0	6.2	-	7.0	0.2	3.0	-	8.63
3 rd	Rene [®] N6	4.2	12.5	1.4	6.0	5.75	-	7.2	0.15	5.4	-	8.98
	CMSX-10	2.0	3.0	0.4	5.0	5.7	0.2	8.0	0.03	6.0	-	9.05
	TMS-75	3.0	12.0	2.0	6.0	6.0	-	6.0	0.1	5.0	-	8.89
4 th	MX-4/PWA1497	2.0	16.5	2.0	6.0	5.6	-	8.3	0.15	6.0	3.0	9.20
	MC-NG	4.0	0	1.0	5.0	6.0	0.5	5.0	0.1	4.0	4.0	8.75
	TMS-138	3.2	5.8	2.9	5.9	5.8	-	5.6	0.1	5.0	2.0	8.95
	TMS-138A	3.2	5.8	2.9	5.6	5.7	-	5.6	0.1	5.8	3.6	9.01
5 th	TMS-162	3.0	5.8	3.9	5.8	5.8	-	5.6	0.1	4.9	6.0	9.04
	TMS-173	3.0	5.6	2.8	5.6	5.6	-	5.6	0.1	6.9	5.0	9.11
	TMS-196	4.6	5.6	2.4	5.0	5.6	-	5.6	0.1	6.4	5.0	9.01

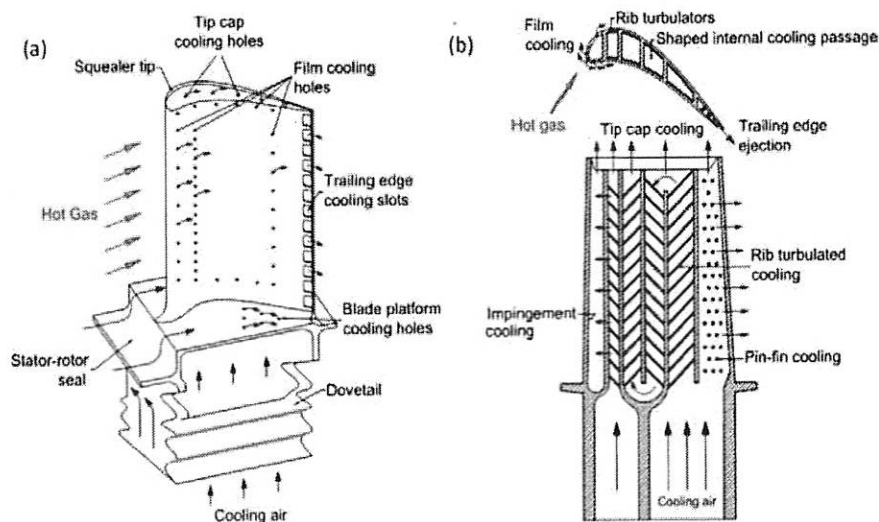
表三：材質主要元素表⁽²⁹⁾



圖二十五：各代單晶材質在潛變(1100°C/137Mpa)及抗氧化(1100°C)比較⁽²⁹⁾

2. 冷卻方式

一般氣渦輪機葉片冷卻，如以冷卻位置劃分可分為內部及外部冷卻，外部主要為薄膜冷卻(film cooling)；內部主要為 Jet impingement cooling、rib turbulators、dimples及pin-fin cooling⁽³⁰⁾，葉片各部分(如leading edge、pressure and suction surface及tip region)則由上述冷卻加以組合⁽³⁰⁾。

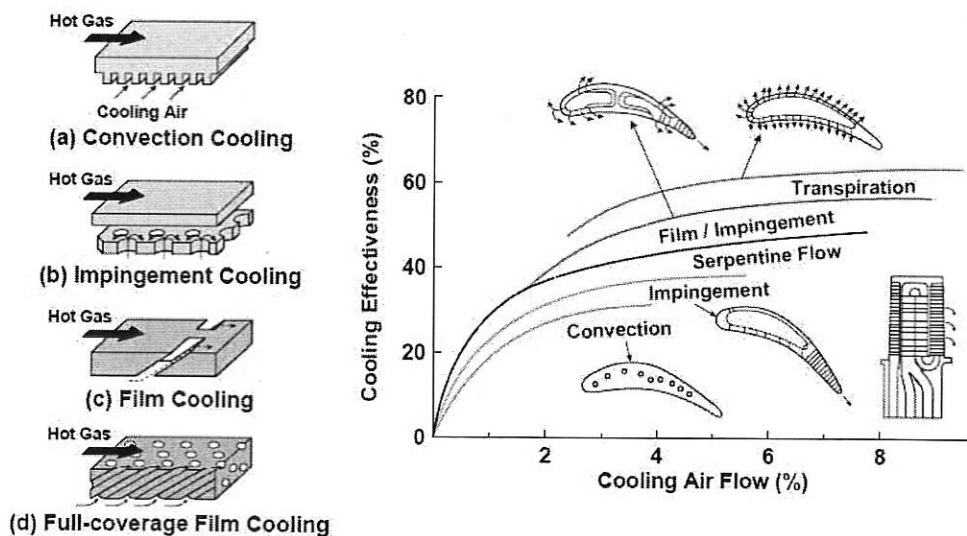


圖二十五：氣渦輪機葉片外外(a)及內部(b)冷卻方式⁽³⁰⁾

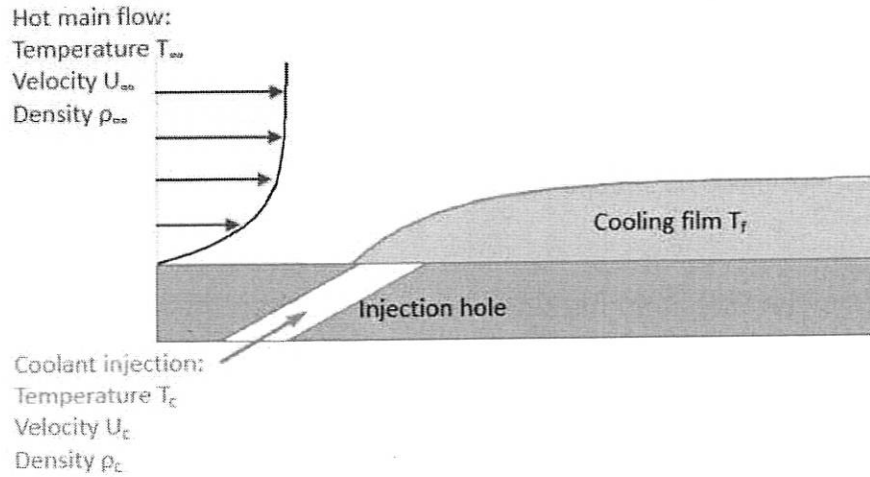
若以冷卻的技術化分則有對流冷卻(convection cooling)、衝擊冷卻(impingement cooling)、薄膜冷卻(film cooling)及全覆蓋式薄膜冷卻(full coverage film cooling)等。為了達到更加理想的冷卻效果，現在多採用以上幾種冷卻方式的組合，對流冷卻多用於高溫部件的內部，將渦輪葉片做成空心葉片，在內部形成冷卻通道，當冷氣從冷卻通道通過時，就可以將高溫燃氣傳給葉片的熱量帶走，達到對葉片冷卻的目的。但對流冷卻效果不明顯，而且會在葉片表面形成很強的壓溫度梯度，縮短葉片的使用壽命。

衝擊冷卻主要是利用高速氣流沖刷被冷卻表面，以完成冷卻，其多用於高溫部件的內部冷卻，特別是渦輪葉片的前緣部位。工作時，高速氣流從內部沖刷被冷卻部位，帶走另一側燃氣所吸收的熱量。它的主要缺點是壓力損失大，容易造成被冷卻部件產生較大的溫度梯度，引起熱應力。

薄膜冷卻技術的基本原理是：在壁面附近沿一定方向向主流噴入冷氣，這股冷氣在主流的壓力和摩擦力作用下向下游彎曲，粘附在壁面附近，形成溫度較低的冷氣膜，將壁面同高溫燃氣隔離，並帶走部分高溫燃氣或明亮火焰對壁面的輻射熱量，從而對壁面起到良好的保護作用(圖二十七)；而全薄膜冷卻則是由多排薄膜冷卻孔所組成冷卻介質覆蓋所有要冷卻保護的區域⁽³¹⁾⁽³²⁾。



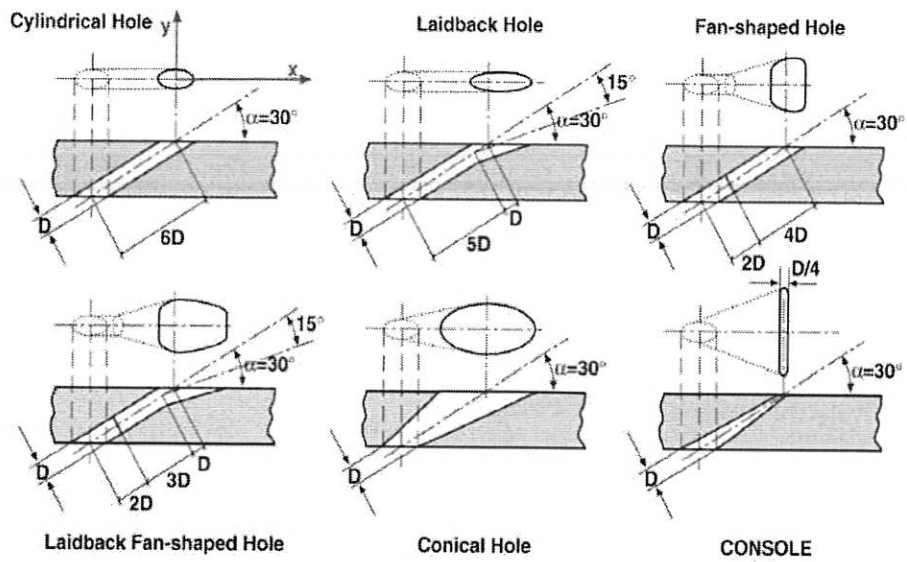
圖二十六：冷卻方式示意圖及比較⁽⁴⁾



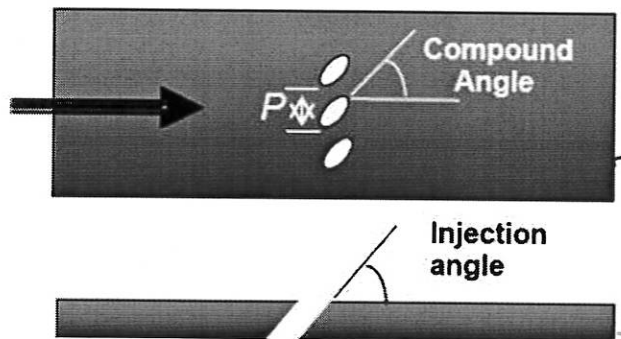
圖二十七：薄膜冷卻示意圖⁽³³⁾

至於冷卻的介質則分為空氣及蒸汽，空氣一般利用壓縮機各級出口當作冷卻介質；進入葉片的通道吸收熱量後再排入燃氣通道。蒸汽冷卻顧名思義利用水蒸汽當作冷卻介質，將熱回收鍋爐所產生的蒸汽引入冷卻通道吸收熱量；一般又分為開迴路及閉迴路⁽³¹⁾⁽³²⁾，所謂閉迴路即式蒸汽吸收熱量後再進氣蒸汽系統內做功，如此將不浪費熱量，反之則為開迴路。蒸汽比熱較空氣大，所以冷卻效率自然較空氣冷卻較為有效率，曾有人做過以上三種冷卻方式比較，閉迴路蒸汽冷卻優於開為路蒸汽冷卻及空氣冷卻⁽³²⁾。

冷卻孔大部分為圓柱型，當吹洩率小時，噴射角度(injection angle)較好；反之則為大角度；大部分薄膜冷卻孔其噴射角度為 $25\sim 35^\circ$ 。而一般冷卻孔幾何形狀(圖二十八)也影響冷卻能力，當複合角度(compound angle)(圖二十九)越大則冷卻效率越好，尤其在較高的吹洩率下；當在側邊有膨脹孔徑時如Fan-shaped Hole，因增加其側邊冷卻液擴張，所以可幫忙設計者的冷卻能力設計⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾。

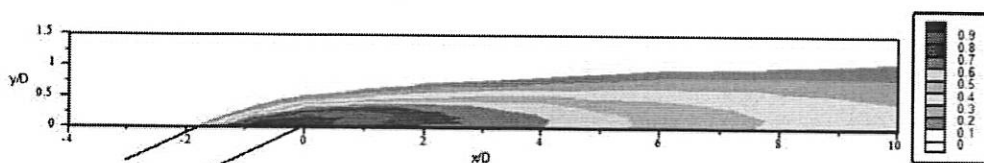


圖二十八：冷卻孔幾何形狀⁽³⁴⁾



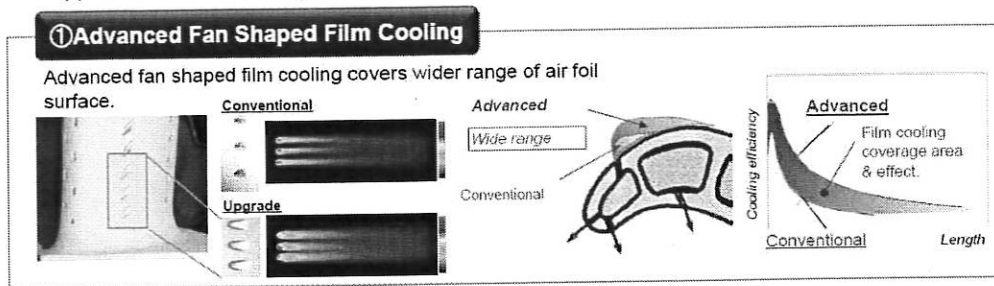
圖二十九：薄膜冷卻孔角度區分⁽³⁵⁾

當冷卻介質離開薄膜冷卻孔時，其溫度分布如圖三十，當噴射角度越大，冷卻介質噴射的區域月大；但是會將低薄膜冷卻效果。而複合角度同樣影響熱傳率，研究指出當複合角度 60° 時其熱傳係數大於複合角度 0° 15%。

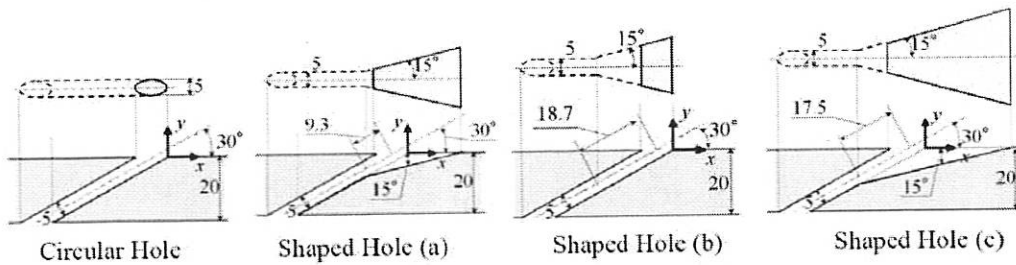


圖三十：冷卻介質離開薄膜冷卻孔溫度分佈⁽³⁵⁾

回到F3 UPGRADE所利用的冷卻技術，MHPS稱為Advanced Fan Shaped Film Cooling，看到其薄膜冷卻孔形狀式向外擴散如扇形一般(圖三十一)，其噴射角度和複合角度則不知，文獻(36)中則有呈現部分薄膜冷卻孔形狀，感覺較像Shaped Hole(c)(圖三十二)。

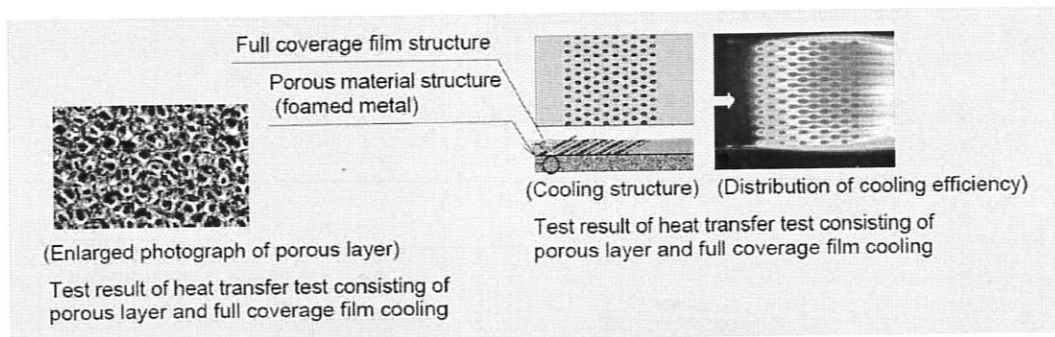


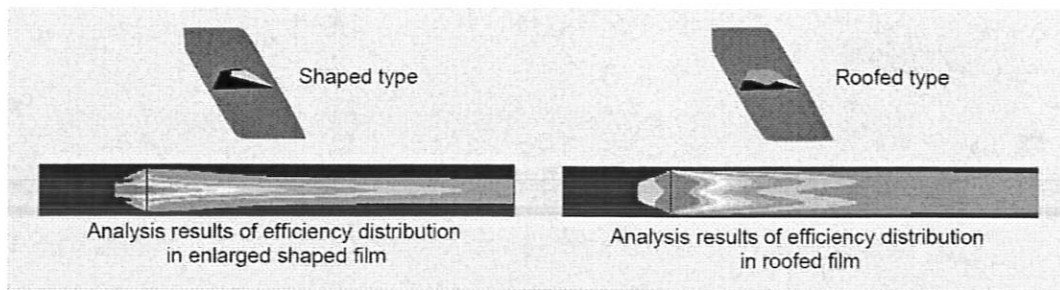
圖三十一：冷卻介質離開薄膜冷卻孔溫度分佈⁽²²⁾



圖三十二：薄膜冷卻孔形狀⁽³⁶⁾

在1700°C氣渦輪機計畫中，MHPS嘗試蒸發(transpiration cooling)式冷卻系統，它結合一層多孔性材料以及全薄膜冷卻方式，如此冷卻效果較一般好；冷卻孔形狀則由Shaped Type改為Roofed Type後將得到將為一致及寬的薄膜而得到較好的冷卻效果⁽³⁷⁾(圖三十三)。

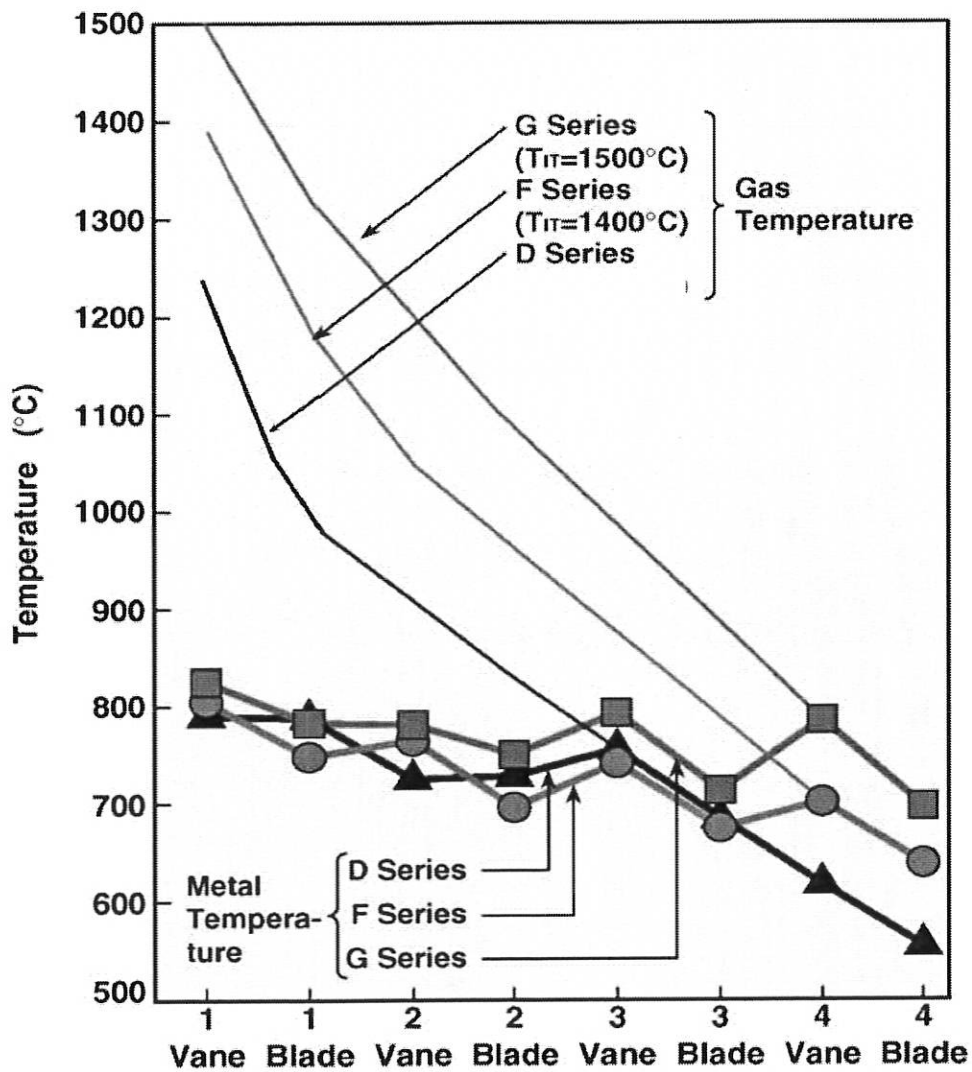




圖三十三：蒸發式冷卻系統(上)及新型薄膜冷卻⁽³⁷⁾

(六)塗層

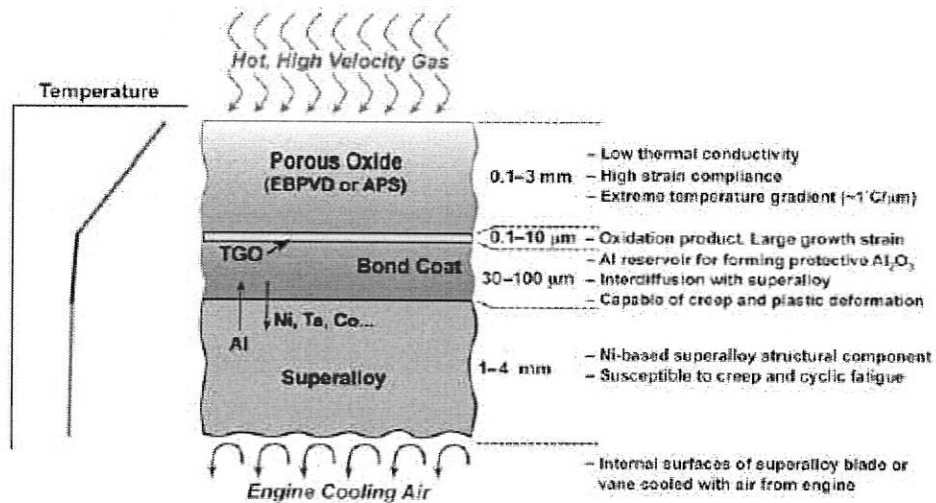
由於近來氣渦輪機進TIT溫度逐漸提高而使其效率越來越好，但超合金 (superalloy)研發並無法如此快速，所以都歸功於冷卻及塗層(coating)的功用，讓即使金屬表面溫度維持不變，而TIT溫度則可以大幅提升(圖三十四)；



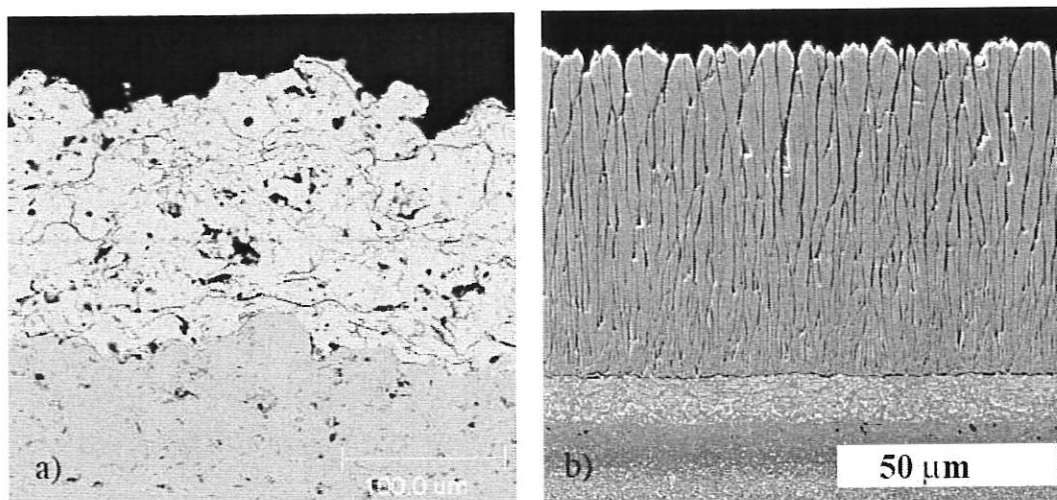
圖三十四：MHI歷代各級葉片表面和金屬溫度⁽³⁸⁾

一般TBC塗層分為四層:表面層(Top-Coat, TC)、氧化物層(Thermally Grown Oxide, TGO)、結合層(Bond-Coat, BC)及基層(Base Metal, BM)()圖(三十五),以噴塗方法而言,表面層一般使用空氣電漿噴塗(Air Plasma Spray, APS)或電子束物理蒸汽附著(Electron Beam Physical Vapor Deposition, EB-PVD),

結合層則採用真空電漿噴塗(Vacuum Plasm Spray, VPS)。最新表面塗層都含有氧化鋯(ZrO_2)而形成高溫穩定的四方相(tetragonal)，藉著添加釔(Y)可使四方相穩定並形成三氧化二釔(Y_2O_3)，大約在常溫下可保持6~8%的三氧化二釔($ZrO_2+6\sim 8\% Y_2O_3$ or YSZ))，這也成為最常見的表面塗層⁽⁴⁰⁾。APS是層狀組織，其空孔是融滴滴入基材所致，而且平行於基材，如此空孔也提供熱流動的阻力而使熱傳導率低；EB-PVD法則是柱狀組織並垂直於基材面，所以在噴塗時工件須轉動以便獲得良好的空孔率⁽⁴¹⁾，TBC如使用APS方法其熱傳導率為 $0.8\sim 1.7 \text{ w/m}^2 \text{ K}$ ，而EB-PVD則在 $1.5\sim 2 \text{ w/m}^2 \text{ K}$ ，然而APS法則較EB-PVD法其塗層耐久性不足⁽⁴²⁾。



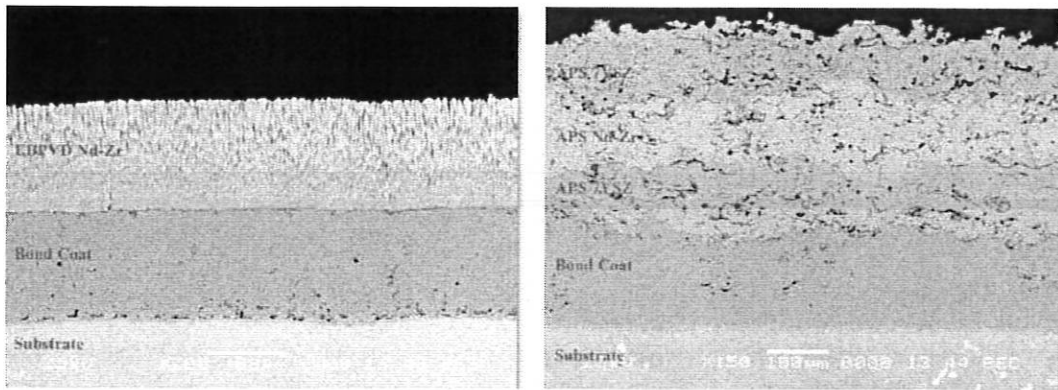
圖三十五：一般TBC塗層各層名稱⁽³⁹⁾



圖三十六：APS(左)及EB-PVC(右)塗層結構⁽⁴¹⁾

結合層通常為PtNiAl及MCrAlY alloy，其中M代表鈷(Co)、鎳(Ni)、鐵(Fe)元素，它含有7~10%的鋁以便在表面層和結合層間形成一個保護層，即是TGO:當運轉時間越久其厚度越後，文獻中顯示5~6 μm 厚度為其TBC塗層失敗的關鍵厚度⁽⁴²⁾。YSZ在1200°C以上將產生相變化而片狀剝離導致體積變化，另在長時間運轉下，塗層將剝離而導致熱傳導係數增加；所以有人將原有表面層外再增加一層MoSi₂，因為此層可在裂縫中生成SiO₂，而使其有自我修護能力；而且此層藉由阻止結合層的氧化而抑制TGO在MCrAlY表面形成而延長TBC使用期限⁽⁴⁰⁾。

另外也有發展出所謂的low K coating，所謂的low k就是低的熱傳導率(thermal conductivity)，依NASA確認low K coating的優點包含熱傳導率在2400°F(約1315°C)下熱傳導率是YSZ的一半、塗層耐久性是現有的兩倍、將抗燒結力及相穩定度提升至3000°F(約1649°C)、相同塗層厚度下金屬溫度較低及原件壽命較長等優點⁽⁴³⁾，low K也可適用ED-PVD噴塗方法單獨使用(圖三十七左側)或和APS方法合併TBC多層使用(圖三十七左側)。文獻也確認M501F熱元件(燃燒筒和導火筒)使用low K塗層(CT1702)在使用7846EOH運轉後經目視及渦電流檢查後確認可再運轉8000小時⁽⁴⁵⁾。



圖三十七：EB-PVD (左)及EB-PVC(右) low K塗層⁽⁴⁴⁾

然而本廠此次F3升級中對於TBC塗層部分，三菱公司僅以先進TBC塗層增加厚度及此塗層使用於F4及J系列上，並無明敘是何種塗層；猜測應該不是low K塗層，而在文獻⁽⁴⁶⁾中，說明最佳塗層厚度為550 μm ，所以猜測應該是採多層塗層的方式。

三、 心得與建議

- (一) 此次到MHPS參訪，原本想要參觀他們所謂的試驗電廠T-POINT；但是剛好遇到他們因測試JAC系列發現其搭配之廢熱鍋爐及汽輪機其容量不足以應付氣渦輪機產生之廢燃氣；所以再蓋一個新的試驗電廠，根據規畫為單軸機組，且為無人運轉操作，現場預計利用機器人巡視現場，並於現場裝設大量的偵測器及攝影鏡頭，即時將現場狀況回傳控制室，並預計2030年推出無人電廠，希祈明年年初運轉時可以有幸再來參觀。
- (二) MHPS為降低CO₂而規劃利用新型燃料一氫，來設計氣渦輪機，目前只有利用一組燃燒器做測試，詢問其TIT約為1400°C；可見MHPS的遠見並不滿足於現狀TIT溫度的提升而已，而已經規劃下一代燃料的規劃。此遠見值得公司學習，開始要找本業以外的下一代藍海。
- (三) 參觀葉片加工及維修工廠，雖名為工廠，但是現場除了有機器運轉的聲音外；其地面及周遭環境真的乾淨得有些誇張，每一個工作母機旁都擺設此項加工特點，並以英日語對照，應該是平日都多有人來參觀，而讓他們做得有些像觀光工廠，並且年輕人為數眾多，和公司內目前現場工作人員年齡層偏高不同。
- (四) 本廠F3 UPGRADE #1動葉片鑄造方式由CC改為DS，其做法在於將殼模外側加入一組加熱器，當融熔的金屬液倒入殼模時，利用加熱器將葉端到葉根保持一個溫度梯度使金屬液冷卻也有一個溫度梯度而產生DS凝固。但單晶葉片目前MHPS雖有研究但是似乎並不想投入，因為其鐸補困難。
- (五) 此次研習也發現其空壓機葉片材質也實驗性的改為碳纖維來做，自己用手秤，重量差很多，而且他們著重在前八級空壓機葉片的設計；而前八級葉片是利用桿狀之金屬鍛造出雛形後再加以加工，而後幾級葉片則是利用塊狀金屬直接加工而成，葉片形狀則改成類似傳推進器螺旋槳型式，葉片本身非常的薄。
- (六) 現場鐸工部分，年輕人非常多；而且他們鐸工還有分級，類似金字塔等級區分，每升一級才能做相對應鐸接工作，而其升級全部式員工自己自發性工作，而不是由公司單方面強迫；可見誘因應該非常的大。
- (七) 對於新科技利用，他們大數據分析，使用Mahalanobis Taguchi Method分

析之前運轉數據，當有異常數據出現時，立即出現肇因分析原因以減少事故分析時間，但是先決條件是需要長期監控運轉數據，而不是事後再找數據分析；其系統重點在於長期監控分析運轉數據。

(八) 和三菱公司計師對談時，發現提出任何問題他們都毫無保留一一詳述，但是都只針對問題回答；並不會多說甚麼；而且自己一定要充分準備才能挖掘更多東西。

(九) 熱元件的製造學問大，如導火筒，它是利用一塊以加工好冷卻孔及完整薄板，內夾一層鎳片經熱處理爐加熱將兩片薄板結合後，在予以彎曲成型後銲接成一導火筒。而葉片上的冷卻孔更是利用放電加工一孔一孔加工而成，諸如此類，所耗費人工時十分繁雜，目前他們雖有引進3D列印技術，但是尚停留在列印間隔環製造複雜的冷卻孔，尚未投入在葉片製造上。

參考資料:

- 1、張智信,“氣渦輪機熱元件非OEM公司再生製程技術能力及委託再生可行性評估”,出國研習報告,台電公司南部發電廠,2016年11月
- 2、“Economical Evaluation for TPCFMk8 and F3 Upgrade Parts”,Mitsubishi公司簡報資料, March, 2017
- 3、“NOx Reduction・Performance Improvement・Inspection Interval Improvement”, Mitsubishi公司簡報資料, June, 2017
- 4、“On Site Training Material”, Mitsubishi公司簡報資料, 2003
- 5、“Instruction of MHPS Gas Turbine and Combustion Tuning”, Mitsubishi公司簡報資料, Sep., 2018
- 6、付鎮柏 蔣洪德 張珊珊 呂煊,“G/H級燃氣輪機燃燒室技術研發的分析”, 2016
- 7、Masanori Yuri, Junichiro Masada, Keizo Tsukagoshi, Eisaku Ito, Satoshi Hada, “Development of 1600°C-Class High-efficiency Gas Turbine for Power Generation Applying J-Type Technology”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 50 No. 3, September, 2013
- 8、Eisaku Ito, Keizo Tsukagoshi, Yasuro Sakamoto, Junichiro Masada, Keiji Saito, Satoshi Takiguchi, “Development of Key Technologies for an Ultra-high-temperature Gas Turbine”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 48 No. 3 Sep., 2011
- 9、李日輝,“氣渦輪機熱元件再生及自製技術研習”,出國研習報告,台電公司南部發電廠,2016年11月
- 10、“Technical Information”, ME-150546, Mitsubishi公司
- 11、Katsunori Tanaka, Koichi Nishida, Wataru Akizuki, “Gas Turbine Combustor Technology Contributing to Environmental Conservation”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 46 No. 2 (September 2009)
- 12、“GTU: 12k FNA-04 Combustor Upgrade” GTUP11-0010, Mitsubishi公司
- 13、福泉靖史,潮 成弘, 有村久登, 馬越龍太郎, 内田澄生, “大容量ガスタービンの最新技術動向”, 三菱重工技報 Vol.40, No.4, 2003
- 14、Masanori Yuri, Junichiro Masada, Satoshi Hada, Susumu Wakazono, “Operating Results of J-series Gas Turbine and Development of JAC”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 54 No. 3 Sep. 2017
- 15、桑原正光, 羽田哲, “大容量ガスタービン高温化, 高效率化の歩みと今後展望”, 日本ガスタービン学会誌 Vol.43, No.5, 2015
- 16、Keita Takamura, Takayoshi Iijima, Susumu Wakazono, Satoshi Hada, Masanori

- Yuri, Masahito Kataoka, "Development of 1650°C Class Next Generation JAC Gas Turbine based on J Experience", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 56 No. 3 Sep. 2019
- 17、Yusuke Tanaka, Masakazu Nose, Mitsuhiro Nakao, Keijiro Saitoh, Eisaku Ito, Keizo Tsukagoshi, "Development of Low NO_x Combustion System with EGR for 1700°C-class Gas Turbine", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 50 No. 1 Mar. 2013
- 18、伊藤栄作,塚越敬三,武石賢一郎, "1700°C級産業用ガスタービンの要素技術開発", 高温学会誌, Vol.33, No5, Sep.2007
- 19、Junichiro Masada, Masanori Yuri, Toshishige AI, Kazumasa Takata, Tatsuya Iwasaki, "Technology Application to MHPS Large Frame F series Gas Turbine", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 55 No. 1 March 2018
- 20、Toshishige AI, Junichiro Masada, Eisaku Ito, "Development of the High Efficiency and Flexible Gas Turbine M701F5 by Applying "J" Class Gas Turbine Technologies", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 51 No. 1 March 2014
- 21、"F4 Technology Performance Upgrade" GTUP12-0009, Mitsubishi公司
- 22、"Hot Gas Path Parts for F3 Upgrade", ME-160348, Mitsubishi公司
- 23、岡田郁生,鳥越泰治,蟹川昌也,河合久孝,高橋孝一, "1500°C級ガスタービン静翼用新Ni基合金(MGA2400)の開発", 三菱重工技報, Vol.36 No.1, 1999
- 24、J.Q.Peng, H.Z.Zhang, Y.F.Li, "Review of Blade Materials for IGT", Procedia Engineering, 130, 2015, p668-675
- 25、J.B.Wahl, K.Harris, "Superalloys in Industrial gas Turbine-An Overview", 9th World Conference on Investment Casting, Oct. 1996, 13-16
- 26、Nader El-Bagoury, "NI Based Superalloy: Casting Technology, Metallurgy, Development, Properties and Applications", International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Mar., 2016
- 27、I. Okada¹, T. Torigoe, K. Takahashi, D. Izutsu, "Development of Ni Base Superalloy For Industrial Gas Turbine", Superalloys, 2004
- 28、Hidetaka Oguma, Koji Tsukimoto, Saneyuki Goya, Yoshifumi Okajima, Kouichi Ishizaka, Eisaku Ito "Development of Advanced Materials and Manufacturing Technologies for High-efficiency Gas Turbines", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 52 No. 4 December 2015
- 29、El-Bagoury Nader, "NI Based Superalloy: Casting Technology, Metallurgy,

- Development, Properties and Applications” , International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 5(2): February, 2016
- 30、Prakash Santosh Patil, Sachin Lotan Borse, “Recent Studies in Internal Cooling of gas turbine blade: a Review” , International Journal of Applied Engineering Research, Vol.13, Sep.,2018 pp. 7131-7141
- 31、 “燃氣輪機葉片冷卻技術的發展” <https://kknews.cc/zh-tw/news/rj4e3qn.html>
- 32、Yousef S.H. Najjar, Abdullah S. Alghamdi, Mohammad H. Al-Beirutty, “Comparative performance of combined gas turbine systems under three different blade cooling schemes” , Applied Thermal Engineering 24 ,2004, 1919 – 1934,
- 33、Song Xue, Wing F. Ng, “Turbine Blade Tip External Cooling Technologies” , 5, 90; Aerospace 2018
- 34、Onieluan Tamunobere, “Heat Transfer and Film Cooling on a Gas Turbine Blade and Shroud” , Louisiana State University,2015
- 35、D. G. Bogard, K. A. Thole, “Gas Turbine Film Cooling” , JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, Vol. 22, No. 2, March – April 2006
- 36、K. Takeishi, “Progress of Film Cooling in Industrial Gas Turbine Vanes and Blades” ,Proceedings of 12th European Conference on Turbomachinery Fluid dynamics & Thermodynamics, ETC12, April 3-7, 2017
- 37、Keizo Tukagoshi, Yutaka Kawata, Akimasa Muyama, Junichiro Masada, Sumiu Uchida, Ikuo Okada, Eisaku Ito, “Latest Technology for Large-Capacity Gas Turbine” , Technical Review Vol. 42 No. 3 Oct. ,2005
- 38、 “Tung Hsiao Power Plant Renewal Project Instruction of Mitsubishi Gas Turbine” , GCH-150091 Gas Turbine Engineering Department
- 39、David R. Clarke , Matthias Oechsner , and Nitin P. Padture Guest Editors, “Thermal-barrier coatings for more efficient gas-turbine engines” , MRS(Materials Research Society) BULLETIN,VOL. 37,OCT. 2012
- 40、Satish Tailor, R. M. Mohanty, A. V. Dub, “Development of a new TBC system for more efficient gas turbine engine application” , Materials Today: Proceedings 3 2016, 2725 – 2734
- 41、Kang N Lee, “4.4.2 Protective Coatings for Gas Turbines”
- 42、Julian D. Osorio, Alejandro Toro, Juan P. Hernández-Ortiz, “Thermal Barrier Coatings for Gas Turbine Applications: Failure Mechanisms and Key Microstructural Features” , Dyna, No. 176, Medellin, Dec., 2012 ,pp. 149-158.
- 43、謝式儒, “低熱傳導絕熱塗層與熱元件大修週期延長評估” ,2013
- 44、Lucy Liu, Thomas Eckert, “New low K coating for gas turbine components” ,

Modern Power Systems, Dec. 2010

- 45 · John Scheibel, Kirk Fick, Shane Elbel, Jeffery S. Smith, “Gas Turbine Low Conductivity Thermal Barrier Coating Validation and Demonstration” , The Future of Gas Turbine Technology 8th International Gas Turbine Conference 12-13 Oct. 2016
- 46 · Vishnu Sankar, Ramkumar P B, Deepak Sebastian, Doyel Joseph, Jithu Jose, Abraham Kurian, “Optimized Thermal Barrier Coating for Gas Turbine Blades” , Materials Today: Proceedings 11, 2019, 912 – 919



出國報告(出國類別：實習)

三菱機組 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器 等維護實習

服務機關：南部發電廠

姓名職稱：張智信 經理

派赴國家：日本

出國期間：108.11.03~108.11.16

報告日期：108.11.22

出國報告審核表

出國報告名稱：**三菱機組 F3 UPGRADE 及 FMK8 燃燒器等維護實習**

出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
張智信	經理	南部發電廠
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：108年11月03日 至 108年11月16日		報告繳交日期：108年11月22日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正,原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式:

報告人： _____ 單位： _____ 主管處： _____ 總經理： _____
 主管： _____ 主管： _____ 副總經理： _____

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「公務出國報告資訊網」為原則。