

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：考察)

考察「微型氣渦輪機發電技術之發展與應用」

服務機關：台灣電力公司
出國人職稱：電源開發處 主管火力
姓名：陳意通
出國地區：日本
出國日期：90.05.15~90.05.24
報告日期：

G3 / CO9002368

考察「微型氣渦輪機發電技術之發展與應用」出國報告

目 錄

	頁碼
壹、考察目的	1
貳、行程安排	2
參、心得報告	3
一、微型氣渦輪機	3
(一)發展背景	3
(二)發展現況	4
(三)原理概述	8
(四)應用範圍	12
(五)運轉與維修	14
(六)日本之發展與應用	22
(七)待解決問題	25
二、KARITA 電廠	27
(一)KARITA 電廠簡介	27
(二)PFBC發電技術	27
(三)KARITA PFBC發電計畫	32
三、ISOGO 電廠	34
(一)ISOGO 電廠簡介	34
(二)ISOGO 電廠更新計畫	35
肆、結論與建議	40
一、結論	40
二、建議	42

表 目 錄

	頁碼
附表一、Microturbine 之研發廠商與產品簡介	6
附表二、Capstone Model 330 燃用不同燃料特性表	12
附表三、日本分散型電源併聯技術中保護繼電器規定	18
附表四、Capstone Microturbine內藏保護繼電器	18
附表五、Capstone Microturbine內藏保護繼電器實測結果	19
附表六、Capstone Model 330 各組件計畫檢修時程表	21
附表七、Capstone Model 330發電機組噪音實測結果	26
附表八、各種燃煤發電技術比較	28
附表九、運轉中之 ABB PFBC 機組	30
附表十、Karita PFBC 發電計畫概要	33
附表十一、ISOGO一號機主要設備簡介	36

圖目錄

	頁碼
附圖一、微型氣渦輪機系統流程圖	10
附圖二、微型氣渦輪發電機	11
附圖三、MT Stand-alone 操作模式下控制流程圖	16
附圖四、MT Grid Connection 操作模式下控制流程圖	17
附圖五、Microturbine 起停時程圖	20
附圖六、Model 330(燃氣)	23
附圖七、Model 330(燃煤油)	23
附圖八、Honeywell(GE)之Parallon 75機組	24
附圖九、PFBC 發電機組系統流程圖	28
附圖十、為ISOGO電廠第一部機	34
附圖十一、高塔式鍋爐與一般慣常鍋爐之比較圖	37
附圖十二、cloverleaf-type indoor coal silo	39

壹、考察目的

近年來，由於世界各國電業自由化之影響、新型發電技術之發展與市場競爭機制之變化，及為減少興建輸配電線所需之龐大投資與阻力，分散型發電(Distributed Power Generation)日益受到國內外學者專家及發電業之重視。台灣地區歷經民國 88 年 729 超高壓鐵塔崩垮與 921 大地震兩次大規模停電後，分散型發電逐漸受到不少專家學者之重視，冀望它能解決一部分目前台灣電力發展的困境。

可用來作為分散型發電之發電技術有很多種，除目前已成熟且已被大量使用之鍋爐汽力發電機組、氣渦輪機、柴油引擎發電機外，近幾年許多國家積極發展之微型氣渦輪機(Microturbine)及燃料電池(Fuel Cell)亦被視為未來最具發展潛力之分散型發電方式。其中，微型氣渦輪機發電技術因具有體積小、安裝、運轉維修容易及低振動、低噪音等優點，為小型氣渦輪機及柴油發電機組外，最具發展潛力之緊急電源及小型分散型電源。日本目前已有多家電力公司及廠商開始積極研發推展該項技術。為進一步瞭解微型氣渦輪機發電技術之發展及其應用，以作為本公司評估分散型電源及緊急電源與電源開發規劃之參考，爰奉核派前往日本考察。

貳、行程安排

日期	行程	住宿地
05/15(二)	台北—福岡	福岡
05/16(三)	拜會西日本環境能源株式會社(NEECO)	福岡
05/17(四)	參觀九州電力公司KARITA發電廠	福岡
05/18(五)	參觀NEECO公司海濱百道地區供熱中心及微型氣渦輪機實證機組	福岡
05/19(六)	福岡—東京	東京
05/20(日)	整理資料	東京
05/21(一)	參觀EPDC茅崎(CHIKASAKI)試驗所及微型氣渦輪機實證機組	東京
05/22(二)	參觀ISOGO發電廠	東京
05/23(三)	拜會電源開發株式會社(EPDC)	東京
05/24(四)	東京—台北	

參、心得報告

一、微型氣渦輪機 (Microturbine)

(一)發展背景

隨著經濟發展與生活水準的提昇，對電力供應的依賴與品質的要求也日趨提高，傳統大電力網供電因大電廠及輸配電線興建不易與停斷電事故不斷，供電品質日益受到消費者之質疑，且自 1980 年代起，全世界各國之電業逐漸自由化，紛紛開放民間興建發電廠，此一趨勢配合發電技術、燃料價格、與市場競爭機制之變化，發電設備朝多元化發展，不再侷限於開發大規模的集中型電廠，分散型電廠亦因此開始崛起。

台灣地區歷經民國 88 年 729 超高壓鐵塔崩垮與 921 大地震兩次大規模停電，及近來對核四是否續建的爭議，使小型、分散的在地發電逐漸受到不少專家學者之重視，冀望它能解決一部分目前台灣電力發展的困境。

分散型發電廠的種類甚多，如發展已有一段時日之汽電共生發電系統，及工廠、醫院或商業大樓所設置之自備電源或緊急發電設備等均屬之；而分散型發電廠之發電方式除目前已大量使用之鍋爐汽力發電機組、工業用氣渦輪機、柴油引擎發電機外，近幾年發展的微型氣渦機及燃料電池亦被視為未來最具發展潛力之分散型發電方式。為進一步瞭解微型氣渦輪機發電技術之發展及其應用，爰奉核派前往日本進行考察。

(二) 微型氣渦輪機發電技術發展現況

由於傳統大型電廠及輸配電線受民眾抗爭及投資龐大等因素影響，興建日益困難，在世界各國電業自由化之驅動下，分散型發電在未來電力系統中之重要性將逐漸增加。其中，微型氣渦輪機因具有體積小、低污染、低振動、運轉維修容易等優點，預估將成為未來分散型發電及緊急電源主流之一。

目前美、歐、日等先進國家均積極發展及推廣微型氣渦輪機發電系統，且已有多家廠商發展出 30~100kW 之微型氣渦輪機，已商業化者有 Capstone (Model 330)、Honeywell (Parallon 75)、Elliott (TA-45)、Inersoll-Rand Energy System (PowerWorks) 及 Turbec (T100) 等，上述廠商及所研發之微型氣渦輪機概要如下(摘要如附表一)：

1. 美國 Capstone 公司 (Model 330)

Capstone 公司為目前商業化生產微型氣渦輪機之廠商中業績最好的一家，該公司於 1998 年 12 月開始商業化生產之 Micro-Turbine Model 330 發電機組，全載淨輸出可達約 30kW，熱效率(LHV)約 25~27%，燃用氣體燃料時 NO_x 排放量(O₂ 15%)低於 9ppm，標準機組產生之噪音，於 10m 處低於 65dBA，氣渦輪機排氣溫度約 260℃，外觀尺寸高約 190 公分，寬約 71.4 公分，長約 134.4 公分，重量約 400~500kg，可使用天然氣、沼氣、柴油、煤油等燃料。

Capstone 公司可說是目前微型氣渦輪機發電技術之技術領導廠商。該公司成立於 1988 年，總部設於美

國加洲，其微型氣渦輪機係利用從噴射引擎所得到之技術，配合該公司專利之空氣軸承(Air Bearing)及儀控技術所研發製造，並於1998年12月開始第一部完全商業化微型氣渦輪機(Model 330)之產製。

2. 美國Honeywell公司(Parallon 75)

Honeywell公司之微型氣渦輪機技術最初為Allied-Signal公司所研發，後來賣給Honeywell，最近則被GE所併購。該公司開發之Parallon 75型微型氣渦輪機，發電容量約75kW，效率可達27~30%，NOx排放低於50ppm，一般噪音於10公尺處可低於65dBA，外觀尺寸高約216公分，寬約122公分，長約233公分，重量約1295kg。

3. 美國Ingersoll-Rand Energy System (PowerWorks)

PowerWorks微型氣渦輪機最初為Northern Research and Engineering corporation(NREC)所發展，現為Ingersoll-Rand Energy Systems所有，其微型氣渦輪發電容量為30~250kW，發電效率約33%，若作為汽電共生使用，則熱效率可達約80%，NOx排放低於9ppm。

4. 瑞典Turbec公司(T100)

瑞典Turbec公司所研發之T100微型氣渦輪機一般均作為熱電共生系統(CHP)使用，發電容量約100kW，發電效率約30%，CHP總熱效率可達80%，NOx排放低於15ppm，外觀尺寸高約190公分，寬約87公分，長約292公分，重量約2000kg。一般噪音於1公尺外可低於

70dBA。

附表一、Microturbine 之研發廠商與產品簡介

項目 \ 廠家	Capstone (Model 330)	Inersoll-Rand Energy System (Power Work)
容量	28KW	70KW
效率	約 26% (ISO, LHV)	約 30% (HHV)
外觀尺寸(cm)	190H×71.4W×134.4D	
重量	490kg	
燃料	Diesel、LNG、naphtha、 propane、methanol、 Syngas、off-gas	
進氣溫度(TIT)	約 900°C	約 700°C
排氣溫度	約 260°C	
排氣量	475 scfm	
NO _x	9 ppm(氣體燃料) 35ppm(液體燃料)	9 ppm
噪音	65dB(距 10m 處) 85dB(距 1m 處)	
轉速	45,000~96,000rpm	

附表一、Microturbine 之研發廠商與產品簡介(續)

廠家	Honeywell (GE) (Parallon 75)	Elliott Energy (TA-45)
項目		
容量	75KW	45KW
效率	約 30% (HHV, Diesel) 約 27.3% (HHV, LNG)	約 30% (ISO, LHV)
外觀尺寸	6ft(H)×3ft(W)×5ft(D)	3ft(H)×2.5ft(W)×5.5ft(D)
重量		約 300lb
燃料	Diesel、LNG、naphtha、 propane、methanol、syn- gas、off-gas	Diesel、LNG、酒精、propane、 methanol
進氣溫度(TIT)	約 900°C	
排氣溫度	約 700°C (recuperator 進口處)	約 700°C(w/o recuperator) 約 315°C(w/ recuperator)
NO _x	<25 ppm	9 ppm (燃 LNG 更低)
噪音	65db(距 10m 處)	
轉速	85,000rpm	116,000rpm

(三) 微型氣渦輪機原理概述

Capstone 微型氣渦輪機發電系統流程如附圖一。空氣經壓縮機(Compressor)壓縮後與由燃料供應系統輸送之燃料(可為天然氣、煤油、液化石油氣、沼氣、輕油等)於燃燒室(Combustion Chamber)內混合燃燒，燃燒溫度約850~900°C。由於大部分因燃燒產生之氮氧化物(thermal NO_x)僅發生於1,300°C以上之反應溫度，因此，微型氣渦輪機因其低燃燒溫度，在不需額外增加脫硝設備之情況下仍可達到極低之NO_x排放濃度。燃燒後之高溫燃氣送至氣渦輪機膨脹做功帶動發電機轉軸發電，做功後之燃氣溫度降為約600°C。此燃氣經由微型氣渦輪機特有之再生器(Recuperator)回收部分熱量後溫度降為約260°C，該燃氣可直接由煙囪排放，或經引導至外加之熱交換器進一步回收剩餘熱量，以產製蒸汽/熱水或作為吸收式冷凍、除濕、乾燥或其它工業製程所需熱源之用。

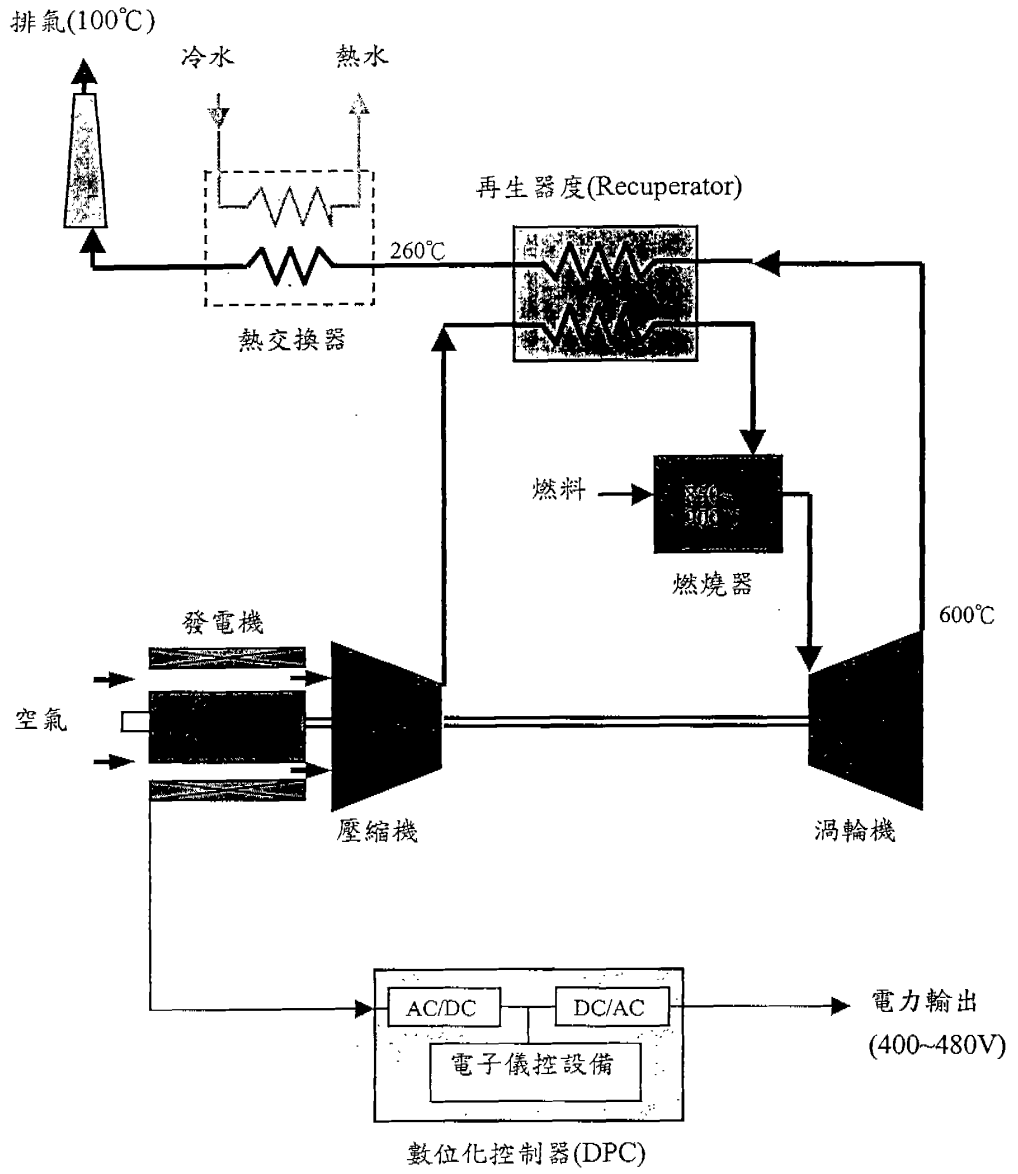
目前發展之微型氣渦輪機大多為高轉速設計(45,000rpm以上)，其發電機所產生之之高頻(750~1,600Hz)電流須經由發電機組本身配備之數位化控制器(Digital Power Controller, DPC)轉換為50/60Hz，400~480V之交流電輸出。

以Capstone Model 330之微型氣渦輪發電機組而言，其發電出力在ISO(15°C)狀況下約為28kW，發電效率約為26%，而若能將氣渦輪機排氣廢熱配合熱能需要作為熱電共生系統(Combined Heat and Power, CHP)，則總熱效率可達到約75%。微型氣渦輪發電機(Microturbine Generator)為整個發電系統最重要之元件，其構造如附圖二，主要元件包括壓縮機、再生器(Recuperator)、燃燒器、渦輪機及發電機等。

Capstone 微型氣渦輪發電機使用特殊之空氣軸承(Air Bearings)及設計，不需冷卻水及潤滑油系統，使運轉與維護變得更加簡便。而另一發展廠商Honeywell研發之微型氣渦輪發電機雖亦使用空氣軸承，惟因其儀控系統仍使用油冷卻，以運維便利性而言，似不及Capstone之微型氣渦輪發電機。

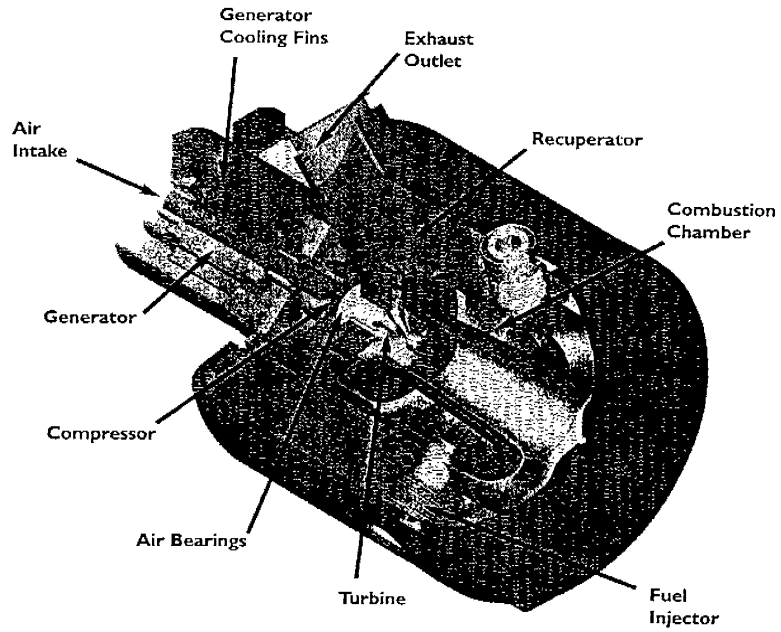
Capstone Microturbine Model 330雖可燃用多種不同燃料，如天然氣、煤油、液化石油氣、沼氣、輕油等，惟因使用氣體燃料與液體燃料時，其所需搭配之燃料供應系統不同。使用氣體燃料時，須使用特殊之氣體壓縮機(Fuel Gas Compressor)供應燃料；而使用液體燃料時，則使用一般之Fuel Pump即可。使用氣體燃料時，因其供氣壓力不同，其淨出力及發電效率亦會有所差異，附表二為Capstone Model 330微型氣渦輪發電機燃用不同燃料時之特性表，其污染排放可達到與大型燃氣氣渦輪機相近之程度。

附圖一、微型氣渦輪機(Microturbine)系統流程圖



附圖二、微型氣渦輪發電機(Microburbine Generator)

The Capstone Model 330 MicroTurbine Generator



CAPSTONE TURBINE CORPORATION

21211 Nordhoff Street, Chatsworth, CA 91311 Phone: 818-734-5300 Fax: 818-734-5320
www.microturbine.com

附表二、Capstone Model 330 燃用不同燃料特性表

燃料種類	淨輸出 (kW)	熱效率 (LHV)	NOx 排放濃度	燃料 耗用率
天然氣(15psig)	29±1	26±2%	<9ppm	440mJ/hour
天然氣(5psig)	28±1	26±2%	<9ppm	440mJ/hour
天然氣/丙烷(52~55psig)	30±1	27±2%	<9ppm	440mJ/hour
甲烷(40~80psig)	30±1	27±2%	<9ppm	440mJ/hour
#2 號輕油	29±1	26±2%	<35ppm	12.5l/hour

(四)微型氣渦輪機應用範圍

- 分散型電源/基載(Distributed Generation/Baseload)－利用微型氣渦輪機作為分散型電源可使電力公司能於短時間內小幅增加發電容量，以減少或減緩於特定廠址興建大型發電機組及輸配電線路所需之龐大投資與時間。
- 獨力電源(Stand-alone Power)－由於微型氣渦輪機體積小、安裝及運維簡便，適合提供大電力系統輸配電路無法或短時間內不及提供地區所需電力，如建築工地、大型戶外活動、小離島等。
- 備用電源及尖峰抑制(Standby and Peak Shaving)－微型氣渦輪機之低維修需求及低污染排放特性使其非常適合作為備用電源及抑低尖峰需電之用。對斷電損失較大且供電環境品質要求較高之工業及機構而言，利用微型氣渦輪機與由電池組提供電力之不斷電系統(UPS)

結合，可提供更為經濟可靠之備用電源。而在高尖峰電價之地區及時段，鼓勵用電戶使用微型氣渦輪機提供自用電力，除可減少用電成本外，亦可抑低部分尖峰用電。

- 資源回收(Resource Recovery)－Capstone微型氣渦輪機具有燃用低熱值高硫份燃料之能力，使其可將原廢棄不用之"flare"氣體轉換成具經濟效益之電力。如煉油及採煤、天然氣時產生之低品質燃料，或由垃圾或其它生質能產生之沼氣等。
- 熱電共生(Combined Heat & Power)－微型氣渦輪機除提供用戶所需電能外，其乾淨之排氣廢熱可作為餐廳、住宅、食品加工業、輕工業及其他製造業所需熱水、暖氣、吸收式冷凍、除濕、乾燥，及其他工業所需熱能。若能將氣渦輪機排氣廢熱配合熱能需要作為熱電共生系統(CHP)，則總熱效率可達到約75%。
- 電動車(Electric Hybrid Vehicles)－Capstone微型氣渦輪機可作為大型電動車之電池充電器(Battery Charger)、提供額外電力作為車輛空調、改善車輛加速性能，及降低車輛更換電池充電所造成之經濟損失與不便。

(五)微型氣渦輪機之運轉維修

1. 操作模式

Capstone Model 330微型氣渦輪發電機組之操作依與大電力系統併聯與否而有「獨立運轉(Stand Alone Operation)」、「系統併聯(Grid Connect Operation)」，及「雙模式運轉(Duel Mode Operation)」等三種運轉模式可供選擇。

(1) Stand Alone Operation：

微型氣渦輪機選擇採用Stand Alone模式運轉時，由於不需與系統併聯，因此可減少併聯所需相關保護設備及操作之複雜性，惟因無外來電源互為備用，當微型氣渦輪機發生故障停機時，用戶將面臨缺電之情形。因無外來電源可供機組起動之用，需於機組內部增設一大型蓄電池以供起動及負載昇降時作為電子"緩衝(buffer)"之用。附圖三為Capstone Model 330微型氣渦輪發電機組在Stand Alone模式下之控制流程圖。

(2) Grid Connect Operation：

當微型氣渦輪機採用Grid Connect模式運轉時，所提供之電力併入系統電力供負載使用，由於此時微型氣渦輪機僅作為電流提供者(current source)，而由系統提供所需電壓及頻率參照(voltage and frequency reference)，因此，當系統因故障或其它原因斷電時，微型氣渦輪機將馬上感應

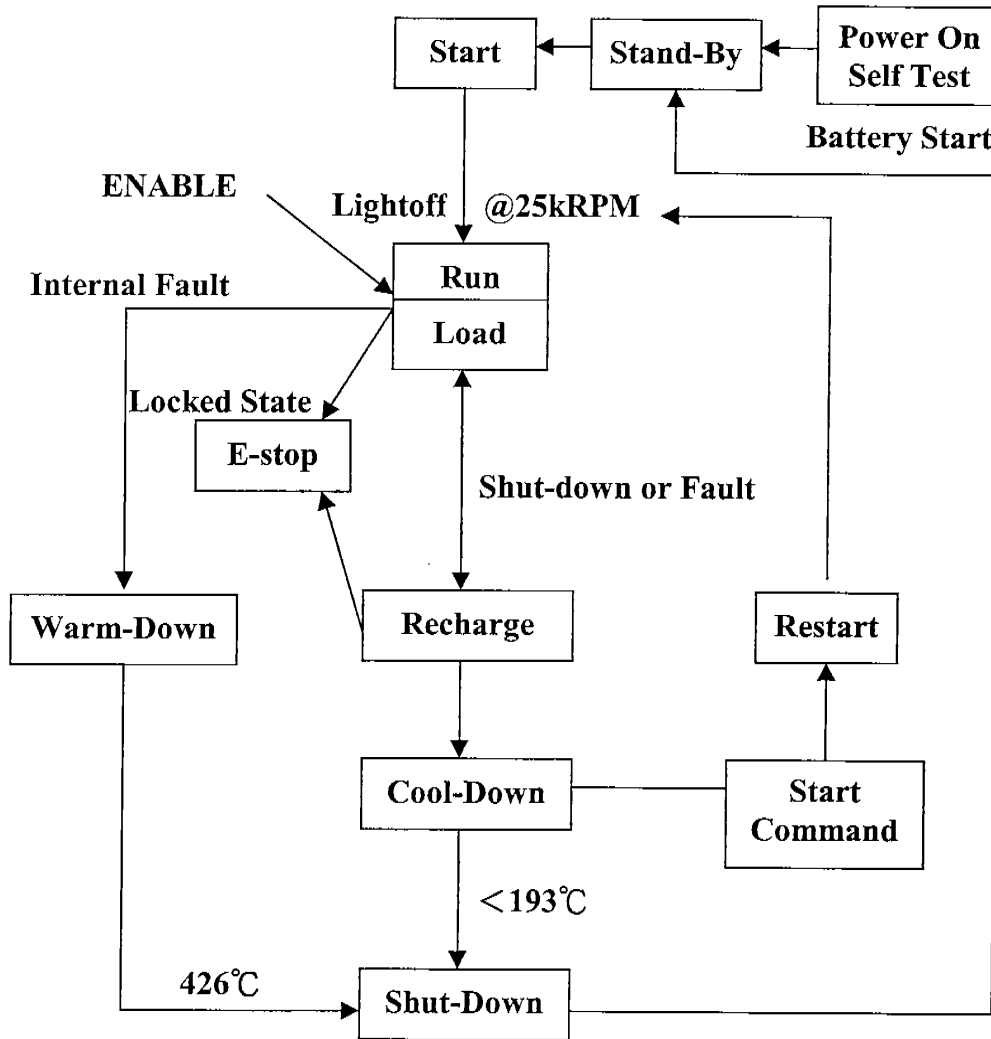
而立即與系統解聯，而當系統電力恢復正常時，微型氣渦輪機亦將自動重新起動恢復供電。

為保護系統設備及用戶之安全，如欲採用Grid Connect模式運轉，則需安裝相關保護設備。附表三為日本分散型電源系統併聯技術中有關保護繼電器(protective relay)之規定。Capstone Model 330機組之內藏式保護繼電器詳如附表四。附表五為日本對Capstone Microturbine內藏保護繼電器之實際測試結果。附圖四為Capstone Model 330微型氣渦輪發電機組在Stand Alone模式下之控制流程圖。

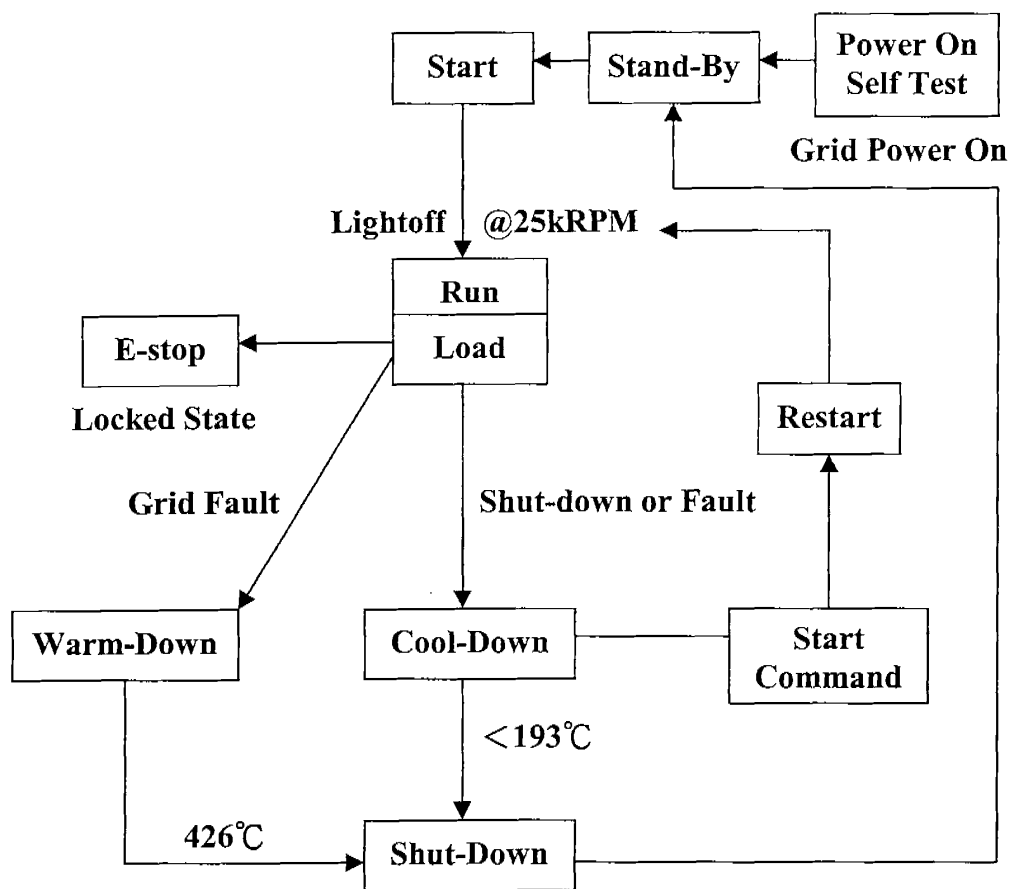
(3) Duel Mode Operation :

如微型氣渦輪機組配備Duel Mode Operation設備與功能，其控制系統軟體可讓使用者選擇切換採用 Stand Alone Operation 或 Grid Connect Operation運轉模式。當以Duel Mode運轉而因系統故障須從Grid Connect運轉模式切換成Stand Alone運轉模式時，控制系統會先將運轉中之微型氣渦輪機組停機(shut down)，而後進行電力輸出引接切換，之後再重新起動微型氣渦輪機組以Stand Alone運轉模式供電。

附圖三、Microturbine Stand-alone 操作模式下控制流程圖



附圖四、Microturbine Grid Connection 操作模式下控制流程圖



附表三、日本分散型電源系統併聯技術中保護繼電器規定

保護繼電器種類		標準整定值	
		檢出標準	檢出時限
過電壓	OVR	115%	1秒
不足電壓	UVR	80%	1秒
周波數上昇	OFR	51.0Hz/61.2Hz	1秒
周波數低下	UFR	48.5Hz/58.2Hz	1秒

附表四、Capstone Microturbine內藏保護繼電器

保護繼電器種類		檢出標準(相電壓)	檢出時限
過電壓 OVR	Primary Trip	$V_{OV1}=V_N \sim 305V(120\%)$	$T_{OV1}=0.01 \sim 10$ 秒
	Secondary Trip	$V_{OV2}=V_{OV1}+26$	$T_{OV2}=0.5 \times V_{OV1}$
	Fast Trip	$V_{OV3}=V_N \sim 346V$	$T_{OV3}=10ms$
不足電壓 UVR	Primary Trip	$V_{UV1}=208V(82\%) \sim V_N$	$T_{UV1}=0.01 \sim 10$ 秒
	Secondary Trip	$V_{UV2}=V_{UV1}-26V$	$T_{UV2}=0.5 \times T_{UV1}$
	Fast Trip	$V_{UV3}=0V \sim V_N$	$T_{UV3}=10ms$
周波數上昇	OFR	$50/60Hz \sim 65.0Hz$	0.01~10秒
周波數低下	UFR	$45.0Hz \sim 50/60Hz$	0.01~10秒

附表五、Capstone Microturbine內藏保護繼電器實測結果

保護繼電器種類	內藏繼電器設定值		實測值	
	檢出標準	檢出時限	檢出標準	檢出時限
過電壓 OVR	528V(115%)	1秒	525(114%)	1.02秒
不足電壓 UVR	368V(80%)	1秒	363V(79%)	1.07秒
周波數上昇 OFR	61.2Hz	1秒	61.21Hz	1.2秒
周波數低下 UFR	58.2Hz	1秒	58.14Hz	1.19秒

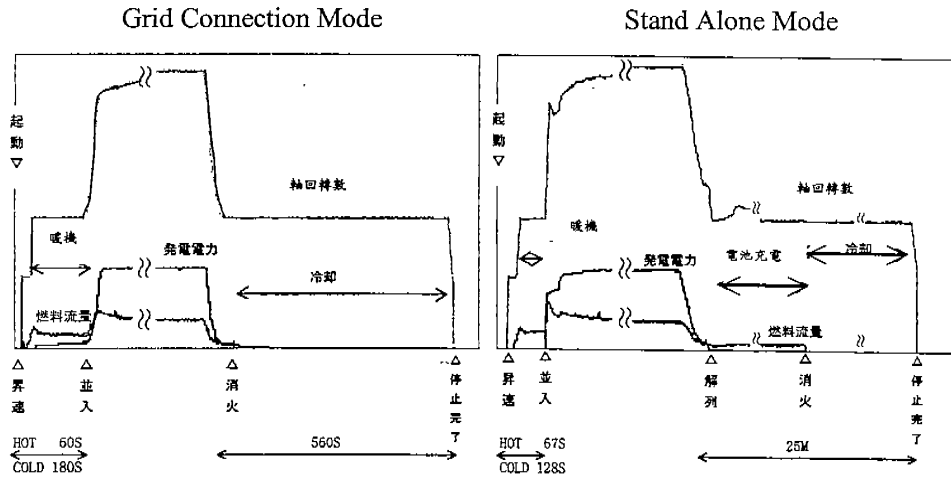
2. 運轉維修

一般而言，微型氣渦輪發電機組之運轉相當簡單，由附於機組之控制面板輸入所需起停時間及電力輸出等指令，發電機組即可自動執行所有指令，不需額外之運轉人員。另外，亦可藉由控制線路或電腦網際網路之連接，而由控制室甚或遠距離外之任何地點進行監控。附圖五為起停所需時程圖，新型微型氣渦輪發電機組從按鈕起動至滿載運轉僅需約2分鐘。

在故障檢修及保養維修方面，簡單之故障排除可由使用者依使用操作手冊解決，而無法解決時則需由廠商或訓練合格之維修人員前進行檢修。由於微型氣渦輪發電機組體積小重量輕，若遇無法現廠拆修之情況，亦可運回廠商之維修中心進行檢修，以節省使用者所需維修空間及機具。

Capstone Model 330微型氣渦輪發電機組燃用氣體燃料時，各組件計畫檢修時程如附表六。

附圖五、Microturbine 起停時程圖



附表六、Capstone Model 330 各組件計畫檢修時程表

組件項目	檢修/更新	檢修區間(小時)	備註
Air Filter (Microturbine)	Replace	8,000	
Air Filter (Electronics)	Clean	8,000	
Fuel Filter (Internal)	Inspect	8,000	
Fuel Filter (External)	Replace	8,000	
Turbine Exhaust Thermocouple	Replace	16,000	
Ignitor	Replace	16,000	
Fuel Injectors (3)	Replace	16,000	
Rotary Flow Compressor (RFC)			
Inlet Gas Pressure			
34kPA(5psig)	Replace	3,000	
52kPA(7.5psig)	Replace	5,000	
69kPA(10psig)	Replace	8,000	
103kPA(15psig)	Replace	16,000	

(六)日本之發展與應用

日本由於地狹人稠且政府及民眾對環保之要求很高，大型電廠及系統輸配電線之興建非常困難，因此各大電力公司對分散型發電技術之發展極具興趣，除已發展多年之燃料電池外，近幾年方近發展成熟之微型氣渦輪機發電技術亦吸引眾多之注意，由於預期該項發電技術將於未來取代部分發電設備及用電市場，目前已有多家日本電力公司(如東京電力、EPDC、九州電力等)及製造廠商(如MHI等)投入研發或成立子公司推廣應用，以期先取得市場先機。

目前日本有四家公司取得美國Capstone公司微型氣渦輪機之代理權，分別為Takuma、Kanamoto、Mitsubishi及Meidensha。而此次拜會之NEECO公司及EPDC(Active Power)則分別為Kanamoto及Mitsubishi授權，負責微型氣渦輪機之技術發展及推廣應用。

1. NEECO公司

NEECO公司為日本九州電力公司(KyEPCo)轉投資之子公司，KyEPCo股份約佔75%，其它投資者為日本西部煤氣公司(股份約20%)，及福岡市政府(股份約5%)。NEECO公司主要業務為地區集中供熱、環保工程、分散型電源及其它能源之設計、採購、施工與諮詢顧問。

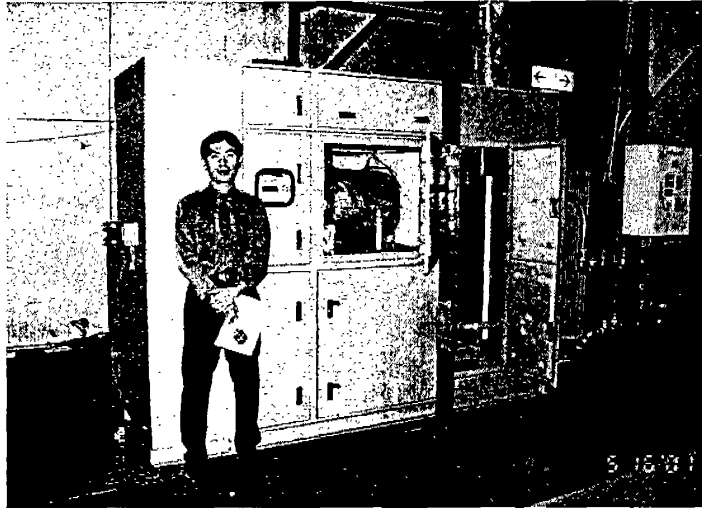
該公司目前有三部微型氣渦輪機實證機組，其中有兩部為Capstone Model 330機組，一部機使用天然氣為燃料(詳附圖六)，另一部機使用煤油(Kerosene)為燃料並加裝額外之隔音箱作為噪音防制實驗(詳附圖七)，該二部機分

別於1999年1月及2000年10月開始運轉，至目前(2001年5月)為止之累積運轉小時分別為8,101及2,178小時，起動次數分別為324次及173次。以NEECO至目前之運轉實績來看，Capstone Model 330機組之運轉可靠性相當穩定。而NEECO之第三部微型氣渦輪機為Honeywell(GE)之Parallon 75機組(詳附圖八)，依NEECO人員告之，由於Parallon 75機組之發電機採用油冷卻式，機組本身及運轉維護較為複雜，且其Fuel Gas Compressor為往復式，其運轉噪音較Capstone之回轉式Fuel Gas Compressor為大。

附圖六、Model 330(燃氣)



附圖七、Model 330(燃煤油)



附圖八、Honeywell(GE)之Parallon 75機組



NEECO公司目前推廣應用微型氣渦輪機之範圍如下：

- 旅館、醫院及體育館—除提供所需電力外，尚可結合熱電共生系統提供熱水。
- 休閒浴場(SPA)及老人安養中心—以提供熱水為主，可降低熱能成本。
- 農牧業(溫室)設施—結合照明及溫水供農牧業使用。
- 建築工地及緊急電源—由於微型氣渦輪機體積小重量輕且燃料彈性大，適合作為移動式電源供建築工地或

緊急供電使用。

- 集合住宅—微型氣渦輪機可作為集合住宅之中央熱水供應系統，並提供額外電力。

2. EPDC(Active Power)

EPDC及其為推廣微型氣渦輪機及小型分散型電源所成立之Active Power子公司，目前推廣應用微型氣渦輪機之範圍如下：

- 熱電共生—如旅館、醫院、浴場、護理中心、超市、學校、辦公大樓、工廠、洗衣店，或其它需要熱源提供冷、熱水、空調、乾燥之用戶。
- 資源回收—微型氣渦輪機可燃用食品製造廠、工業廢棄物處理廠、一般垃圾處理廠及污水處理廠所產製之Bio-Gas，將廢棄物轉換為具高經濟性之電/熱能。同時亦可燃用油/氣井、煤礦及燃料儲存產生之低熱值或高酸性氣體副產品。
- 不斷電系統—對於資訊業及其它無法承受斷電風險而又擔新輸配系統電力長時間中斷之用電戶，微型氣渦輪機可與由電池組提供電力之不斷電系統(UPS)結合，提供長時間可靠之不斷電電源。

(七)待解決問題

1. 燃料供應—日本與台灣一樣地小人稠，尤其在都會地區，發電用天然氣管線之鋪設非常困難且價格高昂；而若使用煤油或柴油為燃料，除需考慮燃油運輸儲存

之安全性外，依日本之運轉實例，燃用煤油時，因煤油中雜質造成之磨蝕，使得Fuel Pump壽命極低，約每運轉2,000小時即須更換一次，造成成本及運轉之不便，此一問題目前仍由發展廠商設法改善中。

2. 經濟性—由於目前微型氣渦輪發電機組之單位投資成本仍相當高昂(大於1,000US\$kW)，且淨發電效率僅約26%(LHV)、機組壽年約40,000小時，在使用價格高昂之天然氣狀況下，其發電成本將較系統發電成本高出甚多，除非能於未來大幅降低單位投資成本及結合熱電共生使用、提高效率，否則其經濟性仍不高。
3. 環保問題—燃氣微型氣渦輪發電機組之空氣污染物排放值極低，應可符合現行環保法規，惟其噪音在不增設額外噪音防制箱之情況下，其距機組一公尺處之噪音值仍高達約85dBA(詳附表七)，以住宅區、醫院、旅館、辦公大樓等之標準而言，恐無法接受上述噪音值。

附表七、Capstone Model 330發電機組噪音實測結果

出力	最大值(dB)	測定位置	廠商公布值
停機時	56	全面	
25%	74	正面、背面、右前方	
50%	76	正面、左前方、背面	85dB(1公尺處)
75%	82	背面	
100%	84	背面	

二、KARITA 電廠

(一)KARITA 電廠簡介

KARITA 電廠為日本九州電力公司所屬發電廠，位於日本福岡縣，廠址面積約二十七公頃，廠內原設置兩部慣常汽力機組，一號機為裝置容量為220MW之慣常燃煤機組，二號機為裝置容量375MW之慣常燃油機組，兩部機分別於1963年及1972年完工運轉。

由於日本民眾環保意識高漲及環保法規趨嚴，九州電力公司遂於1988將已運轉二十五年之一號機停機拆除，並開始進行機組更新之規劃工作，於1991年提出以壓力式流體化床複循環(Pressurized Fluidized Bed Combustion Combined Cycle, PFBC)作為機組更新之計畫，該計畫於1995年完成環境保護協議，於1996年5月開始施工，預定於今(2001)年七月完工商轉。

(二)PFBC 發電技術

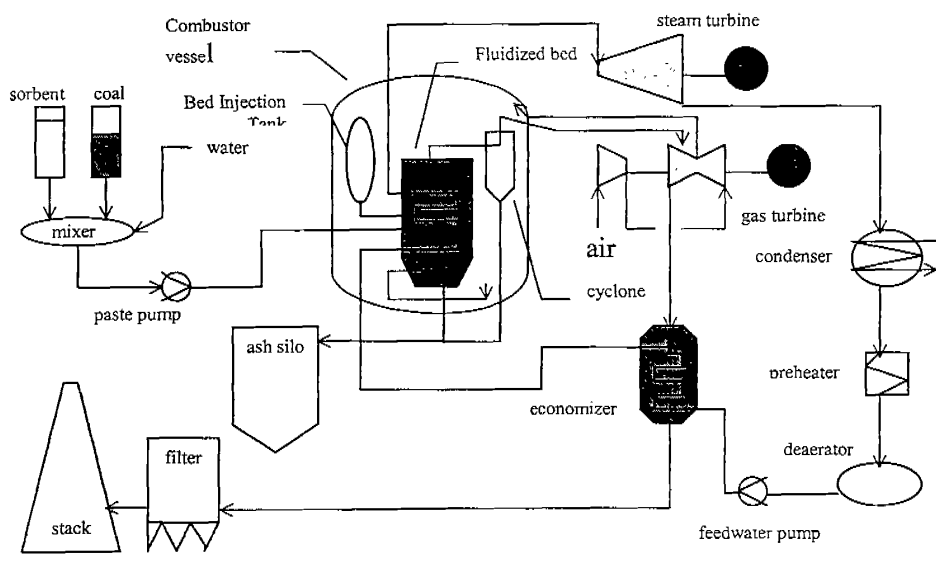
1. PFBC 發電技術簡介

PFBC 發電技術因具有高效率、低污染及佔地小等優點，為目前世界上淨煤發電技術研究發展主流之一。PFBC 發電系統流程如附圖九，主要包括三大部份，即壓力式流體化床燃燒爐(PFB combustor)、汽輪發電機及氣渦輪發電機。

空氣經氣渦輪機之壓縮機壓縮後送入壓力式流體化燃燒爐使爐內壓力保持在所需之操作壓力(12~18Bar)並提供流體化床所需之氣流。燃煤及吸收劑(limestone 或

dolomite)混合後在流體化床燃燒，燃燒所產生之高溫煙氣除用來加熱爐內管排產製蒸汽供汽輪機發電外，煙氣於燃燒過程中去除硫份後，經旋風過濾器除塵後以注氨方式去除氮氧化物後送至 G/T 作功，作完功後之煙氣再以 EP 做第二階段之除塵後由煙囪排出。

附圖九、PFBC 發電機組系統流程圖



2. ABB PFBC 機組發展情形

ABB(ALSTOM)公司為 PFBC 發電技術之領導廠商，該公司研發之 PFBC 發電機組有兩種模組(Module)，分別為 P200 及 P800，其發電機組之出力，汽輪發電機

佔約 80%，氣輪發電機佔約 20%，在大氣溫度 15°C 之情況下，淨出力分別為 85Mwe 及 360MWe，淨熱效率(HHV)分別為 40.5%及 43%。附表八為 PFBC P800 發電機組與慣常燃煤發電機組及 IGCC 機組之比較表。

附表八、各種燃煤發電技術比較

發電技術	PC	PFBC	IGCC
煤種	視鍋爐設計	Lignite to Anthracite	Lignite to Anthracite
進煤方式	乾式	乾/濕式	乾/濕式
CO2 排放	Base	≐-5%	≐-10%
DeSOx	Flue gas de-SOx	In-bed de-SOx	Syngas de-SOx
DeNOx	Flue gas de-Nox	Flue gas de-NOx	Flue gas de-NOx
除塵	Flue gas de-Dust	H.P. Flue gas de-Dust	H.P. Flue gas de-Dust
Sulfur recovery	Gypsum	Mix. of gypsum and CaO	Sulfur or gypsum or sulfur acid
Area for ash disposal	Base	Large than PC	-40%
Hot sea water discharge	base	≐-10%	≐-30%
Net eff. (HHV)	≐36~40%	≐40~42%	≐42~44%
Eff. Improvement	Steam condition	Steam condition	G/T inlet T.

自從 1991 年 4 月第一部 PFBC P200 機組完工運轉以來，該公司目前在世界上共有四部 PFBC 機組完工運轉，詳附表九。

附表九、運轉中之 ABB PFBC 機組

廠址	Vartan	Tidd	Escatron	Wakamatsu
Utility	SEP	AEP	ENDESA	EPDC
Purpose	Cogeneration	PFBC demo	PFBC demo	PFBC demo
Output (MWe/MWth)	135/224	70 MWe	79.5 MWe	71 MWe
Unit	2*P200	1*P200	1*P200	1*P200
First coal fire	Jan., 1990	Nov., 1990	Nov., 1990	end of 1993
Net efficiency	89 % (LHV)	35 % (HHV)	36.4 % (HHV)	37.5 % (HHV)
Emission data				
SOx (mg/MJ)	30	90% removal	90% removal	50
NOx (mg/MJ)	50	150	150	45
Dust(mg/MJ)	5	14	40	7
Technical data				
Bed height (m)	3.5	3.5	3.5	3.5
Pressure (bar)	12	12	12	12
Sorbent	dolomite	dolomite	Limestone	limestone
Combustion temp.	860°C	860°C	860°C	860°C
Steam data (bar/°C)	137/530	90/496	94/513	103/593
Fluidizing velocity	0.9 m/s	0.9 m/s	0.9 m/s	0.9 m/s
Coal data				
Type	bituminous	Bituminous	Black lignite	bituminous
Heating value(MJ/kg)	22-29, LHV	23-28, HHV	8-19, HHV	24-29, HHV
Sulfur content	0.1-1.5%	3.4-4.0 %	2.9-9.0 %	0.3-1.2 %
Moisture content	6-15 %	5-15 %	14-20 %	8-26 %
Ash content	8-21 %	12-20 %	23-47 %	2-18 %

其中，Vartan 電廠 PFBC 機組為世界上第一部商業運轉之 PFBC 機組，位於瑞典首都斯德哥爾摩市，為斯德哥爾摩能源公司(Stockholm Energi)所有，主要係提供斯德哥爾摩地區之部份電力及都市用暖氣，共裝置 ABB P200 型 PFBC 機組二部，其機組配置方式為二台 G/T、二座壓力式流體化床燃燒爐及一台 S/T，淨出力為 135Mwe 電力及 224MWth 蒸汽。依當地環保法規規定，硫氧化物之年平均排放量須低於 60mg/MJ(170mg/Nm³)，氮氧化物則須低於 50mg/MJ(140mg/Nm³)，而粒狀污染物之排放為 5~10mg/MJ(14~28mg/Nm³)。本廠 PFBC 機組於 1991 年 4 月正式運轉後，其各項污染物排放濃度經測定如下：SO₂<40mg/MJ；Nox<30mg/MJ，N₂O<10mg/MJ；CO<5mg/MJ；粒狀物 2mg/MJ，其排放值均符合當地環保要求。

該 PFBC 機組以進口之煙煤為燃料，燃煤儲存於地下岩洞，經研磨後加入石灰石等吸收劑混和成漿狀後，由岩洞經所鋪設之管路送入鍋爐燃燒。因該 PFBC 機組主要係用來供應斯德哥爾摩冬天所需熱能，運轉期間通常自美每年 10 月至次年 4 月底，在運轉期間則需配合熱能需求調整出力。運轉初期 G/T 葉片曾發生嚴重的積垢(deposit)及腐蝕(erosion)現象，主要係因使用不當的床料及主旋風式過濾器操作不當所致。另亦曾發生升載時供煤系統失控，出灰不及，致旋風式過濾器阻塞之現象。經修改部份不當設計及累積操作經驗後，其機組可用率已可達到 90%以上。

(三)KARITA PFBC 發電計畫

KARITA PFBC 發電計畫概要如附表十。其空氣污染物防制設備及排放濃度說明如下：

1. Nox 排放濃度

NO_x 依形成之機制，可分成三大類，即 thermal NO_x、fuel Nox 及 prompt NO_x。因 thermal NO_x 僅生成於 1300℃ 以上之反應溫度，而 PFBC 之燃燒溫度僅約為 850℃ 至 900℃，此溫度遠低於慣常鍋爐之 1600℃，因此 PFBC 發電中幾乎沒有 thermal NO_x 之產生，此為 PFBC 發電機組具低 NO_x 排放濃度之主要原因。因 prompt NO_x 僅佔全部 NO_x 排放量中極低之比例，因此 PFBC 所排放之氮氧化物幾乎全為 fuel NO_x。PFBC 可藉簡單之注氮或加裝 SCR 進一步抑低其 NO_x 使其排放濃度低於 60ppm(含氧量 6%) 以下。

2. SO_x 排放濃度

PFBC 係以石灰石或白雲石混合煤粉於燃燒過程中進行脫硫，因此不需裝設 FGD，其脫硫效率可達 90 至 95%。以本計畫而言，其 SO_x 排放濃度約為 60ppm，遠低於日本國內環保法規標準。

3. 懸浮微粒(Particulate)排放濃度

PFBC 發電機組之除塵分兩階段進行，在第一階段中，燃氣通過設於壓力容器內之兩級式旋風過濾器，除去燃氣中大部份之粒狀物後進入氣渦輪機膨脹作功，第二階段除塵則在氣渦輪機後加裝靜電集塵器或 bag house 使由煙囪

排放之懸浮微粒排放濃度低於 30mg/Nm³。

附表十、Karita PFBC 發電計畫概要

鍋爐	Pressurized Bubbling Fluidized Bed
出力	
G/T	75MW
S/T	290MW
合 計	360MW
蒸汽條件	
主蒸器壓力	24.1Mpa (246kg/cm ²)
SH/RH 溫度	566/593°C
燃氣條件	
壓力	13kg/cm ²
溫度	≒ 850°C
De-SO _x 設備	In-bed De-Sox with CaCO ₃
De-NO _x 設備	SCR
De-Dust 設備	2-stages cyclones & EP
污染排放物濃度	
SO _x	76ppm
NO _x	60ppm (6%O ₂)
Dust	30mg/Nm ³ (6%O ₂)
商轉日期	2001/7(預計)

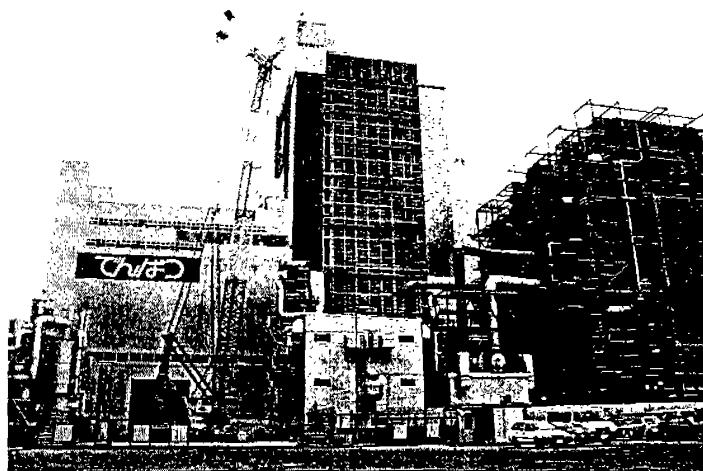
三、ISOGO 電廠

(一) ISOGO 電廠簡介

ISOGO 電廠為日本電源開發株式會社(Electric Power Development Co., EPDC)所屬發電廠，位於日本橫濱市，面臨東京灣，廠址面積約12.4公頃，廠內原設置兩部單機容量265MW燃煤慣常汽力機組，兩部機分別於1967年5月及1969年9月完工運轉。

為達成(1)增加電力供應，(2)老舊機組更新，(3)降低氮氧化物排放等三大目標，及回應地方民眾對電廠環保及景觀之要求，EPDC於1992開始進行ISOGO電廠機組更新計畫之規劃與環評作業。由於廠址空間狹小，為使本項更新計畫施工期間原有兩部老舊機組仍能維持正常運轉以提供所需電力，EPDC爰決定採用"邊建邊拆(Build and Scrap & Build)"方式施工。本計畫於1996年7月奉准，於1996年9月開始施工，預定於2002年4月完成第一部機商轉。附圖十為ISOGO電廠第一部機。

附圖十、為ISOGO電廠第一部機



(二)ISOGO電廠更新計畫

本計畫機組為單機容量600MW之超超臨界(Ultra-Supercritical, USC)燃煤汽力機組。鍋爐採用超臨界變壓貫流式鍋爐(Supercritical Variable-pressure Once-through Boiler)，汽輪機為再熱再生式汽輪機(Reheat Regenerative Turbine)，主/再熱蒸汽溫度為600℃/610℃，主/再熱蒸汽壓力為25Mpa(g)/4.41Mpa(g)，較一般超臨界(Supercritical, SC)機組之主/再熱蒸汽溫度及壓力(566℃/566℃/24~25Mpa)為高，本計畫USC機組之毛發電效率(HHV)，燃日本國內自產煤(硫份0.2%)時可達41.6%，燃進口煤時(硫份0.6%)時可達42%，廠用電約6.2%，換算為淨發電效率(HHV)，則燃自產煤時可達39%，燃進口煤時時可達39.4%，較本公司目前採用之次臨界汽鼓式鍋爐機組淨發電效率(36%，HHV)高約3%。本計畫一號機主要設備概況如附表十一。

因本計畫廠址空間狹小，且由於供電需要，本項更新計畫施工期間原有兩部老舊機組仍須維持正常運轉以提供所需電力，因此，本計畫鍋爐、汽機及環保設備之設計及施工方式上作了許多改進及變更，以下為本計畫之特色說明：

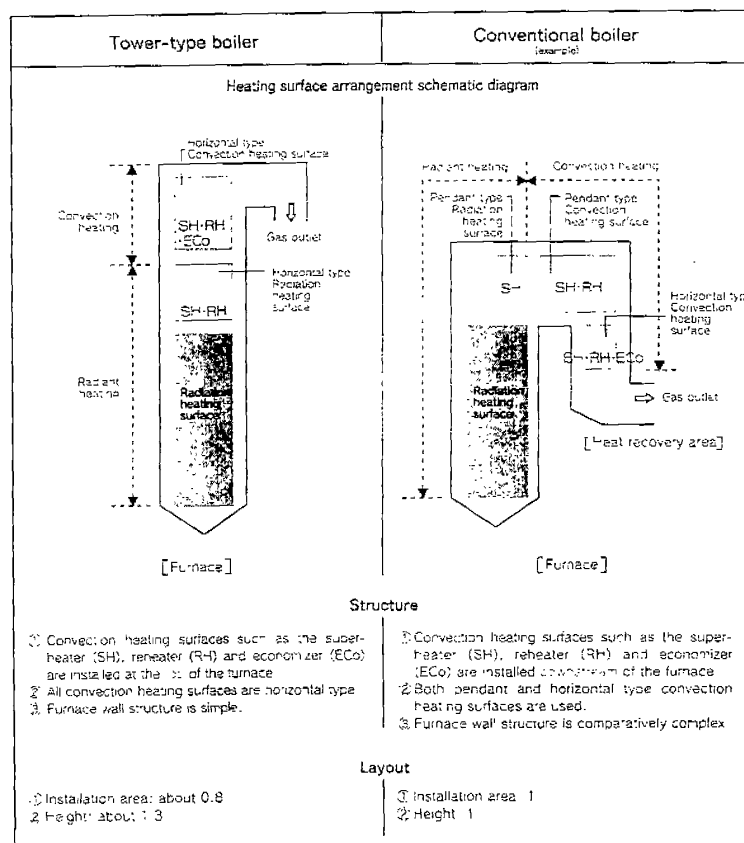
附表十一、ISOGO一號機主要設備簡介

主要設備		
鍋爐	型式	Radiant reheating supercritical variable-pressure once-through boiler (indoor tower type)
	蒸發量	1,710t/h
	壓力/溫度	27.48MPa(g)/605°C (boiler outlet)
汽輪機	型式	Tandem compound, reheat regenerative turbine
	輸出	600MW
	壓力/溫度	Main stop valve inlet 25Mpa(g) , 600°C Reheat stop valve inlet 4.41Mpa(g) , 610°C
主變壓器	型式	Outdoor forced-oil, air-cooled 3phase transformer
	容量	640MVA
	電壓	Primary 18.525kV , Secondary 154±1.75×8kV
環保設備	De-NOx	Dry catalytic reduction type of nitrogen with ammonia
	EsP	Dry low-temperature electrostatic precipitator
	FGD	Dry activated char adsorption with sulfuric acid recovery
煙囪	型式	2 cylinder centralized stacks
	高度	200m
主建物	鍋爐房	60m(L)×70m(W)×100m(H)
	汽機房	40m(L)×80m(W)×50m(H)

1. 採用高塔式鍋爐 (tower-type boiler)

本計畫採用高塔式鍋爐以降低所佔土地面積(高塔式鍋爐所需面積約為一般慣常鍋爐之80%)，高塔式鍋爐與一般慣常鍋爐之比較詳附圖十一。高塔式鍋爐亦曾為其它國家採用，而若採一般方式將一般慣常鍋爐轉換成高塔式鍋爐，其高度將達約120公尺，為降低鍋爐高度，本計畫一號機採用continuous clinker discharge、創新之鍋爐設計(減少鍋爐上方爐管所佔空間)及鍋爐結構，並將鍋爐基礎降低至地下十公尺等方式將鍋爐房高度減至地平面上為100公尺。

附圖十一、高塔式鍋爐與一般慣常鍋爐之比較圖



2. 採用串列式汽輪機(Tandem compound steam turbine)

大型汽輪機通常具有高、中、低壓輪機。此三種輪機可以以串列方式(Tandem compound)沿一單軸佈置；或以交叉排列(cross compound)方式，將高壓及低(中)壓輪機置於一軸，而將中(低)壓及低壓輪機置於平行之另一軸。為將汽輪機房所需樓板面積降至最低，ISOGO一號機採用Tandem compound汽輪機佈置，以達到減少建物寬度之目的。

3. 採用乾式活性炭除硫(dry activates char desulfurization)系統

電廠採用之慣常除硫系統多為濕式之石灰石-石膏法(wet limestone-gypsum)，惟因ISOGO電廠廠址土地狹小，新建之一號機爰採用所需建築面積較少之乾式活性炭除硫系統。與濕式除硫法相較，乾式除硫系統尚可減少用水量及廢水排放。而其所產生之副產品(硫及硫酸)，亦與濕式除硫法之副產品(石膏)不同。

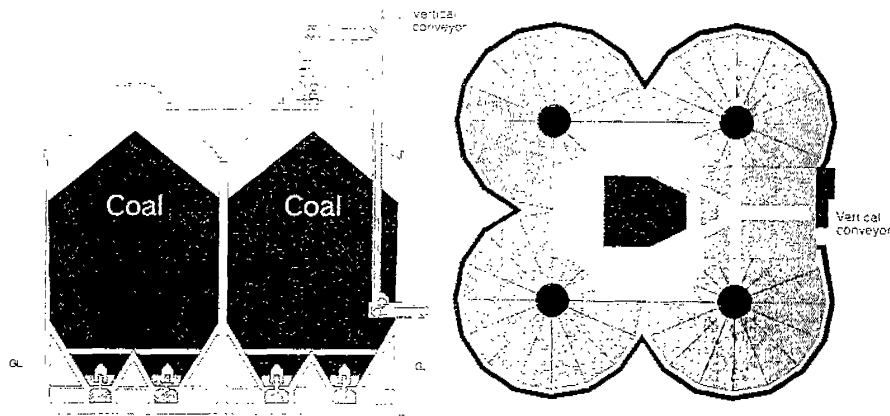
4. 煙氣除氮(Flue gas denitrification) 系統

ISOGO舊有之兩部機組係採用低氮氧化物燃燒器(low-Nox burner)及兩階段燃燒(two staged combustion)等方式降低煙氣中之氮氧化物，由於廠址空間受限，無法再設置煙氣除氮系統。為使新建之ISOGO一號機達到最佳之環保排放，本更新計畫除採用低氮氧化物燃燒器外，另裝設ammonia selective catalytic reduction 乾式除氮系統，且為減少所需空間，將煙氣除氮設備整合設計置於鍋爐房中。

5. 採用cloverleaf-type indoor coal silo

本計畫設置一座具有四個bin的cloverleaf-type indoor coal silo，詳附圖十二。每個bin可儲煤約25,000噸，全部儲煤量共約100,000噸。此種cloverleaf-type coal silo之設計可較四個同容量獨立設置之bin節省空間。

附圖十二、cloverleaf-type indoor coal silo



6. 施工方式

由於廠址空間狹小，為減少施工所需空間，本計畫採用多種特殊之施工方式與技術。許多設備及工料先於製造工廠完成模組(module type)後以駁船運至廠址，再以Jack-up及Jump-up & slip方式於廠址完成組裝施工，另外，本計畫亦採用just in-time transportation方式減少器材堆置所需空間。

肆、結論與建議

一、結論

1. 近年來，由於世界各國電業自由化之影響、新型發電技術之發展與市場競爭機制之變化，及為減少興建輸配電線所需之龐大投資與阻力，分散型發電日益受到國內外學者專家及發電業之重視。
2. 微型氣渦輪機發電技術因具有體積小、運轉維修容易及可燃用多種燃料等優點，為小型氣渦輪機及柴油發電機組外，為最具發展潛力之緊急電源及小型分散型電源。
3. 微型氣渦輪機可應用範圍很廣，包括分散型電源、獨立電力電源、備用電源及尖峰抑制、資源回收利用及熱電共生等。
4. 微型氣渦輪發電機組操作簡單、起動迅速，可由附於機組之控制面板輸入操作指令，或藉由控制線路或電腦網際網路之連接，而由控制室甚或遠距離外之任何地點進行監控，不需現場運轉人員。
5. 微型氣渦輪發電機可靠率相當高。由於微型氣渦輪發電機組體積小重量輕，若遇無法現廠拆修之情況，亦可運回廠商之維修中心進行檢修，以節省使用者所需維修空間及機具。
6. 日本由於地狹人稠且政府及民眾對環保之要求很高，大型電廠及系統輸配電線之興建非常困難，因此

各大電力公司對分散型發電技術之發展極具興趣，由於預期微型氣渦輪機發電技術將於未來取代部分發電設備及用電市場，目前已有多家日本電力公司及製造廠商投入研發或成立子公司推廣應用，以期取得市場先機。

7. 在推廣及應用微型氣渦輪機發電技術方面，目前尚有發電成本高昂、燃料供應困難及噪音控制等問題待克服解決。
8. PFBC 發電技術具有高效率、低污染及佔地小等優點，與 IGCC 發電技術同為目前世界上淨煤發電技術研究發展之主流。日本 KARITA PFBC 發電機組容量 360MW，為目前世界上最大容量之 PFBC 機組，已於 1999 年 8 月完工併聯，預計於今(2001)年七月商轉。該機組淨發電效率可達約 42% ，較超臨界鍋爐燃煤汽力機組之淨發電效率 38~40% ，高出約 2~4% 。
9. ISOGO 電廠更新計畫預計於面積僅約 12.4 公頃之狹小廠址內以 " 邊建邊拆 " 之方式興建兩部單機容量 600MW 之超超臨界燃煤汽力機組。由於供電需要，本項更新計畫施工期間原有兩部老舊機組仍須維持正常運轉，因此，本計畫鍋爐、汽機及環保設備之設計及施工上採用多種特殊之方式及技術，如高塔式鍋爐、乾式活性炭除硫系統、cloverleaf-type indoor coal silo 及採用 Jack-up 與 Jump-up 施工法等，值得本公司參考。

二、建議

微型氣渦輪機發電技術之發展與應用，目前因投資成本高、發電效率低及機組壽年短等因素，造成單位發電成本偏高，尚不具經濟誘因。惟台灣與日本一樣，由於地狹人稠且政府及民眾對環保之要求日益增高，大型電廠及系統輸配電線之興建非常困難，因此，分散型發電極具發展潛力。而微型氣渦輪機因投資成本及發電效率尚有大幅改善空間，可能於未來取代部分發電設備及用電市場。本公司應密切注意該發電技術之發展，並可參考日本電力公司作法，於時機成熟時成立「微型氣渦輪機及分散型發電」研發推廣單位，作為本公司未來多角化經營選項之一。