

出國報告（出國類別：實習）

海洋溫差發電之環保評估技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林信呈

派赴國家：日本

出國期間：100 年 11 月 6 日至 11 月 15 日

報告日期：101 年 1 月 9 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：海洋溫差發電之環保評估技術

頁數 31 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

林信呈/台灣電力公司/環境保護處/水力評估專員/02-23667208

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：100 年 11 月 6 日至 100 年 11 月 15 日 出國地區：日本

報告日期：101 年 1 月 9 日

分類號/目

關鍵詞：海洋溫差發電、環境影響評估、OTEC

內容摘要：台灣東部海域離岸 3~5 公里處，水深達 1,000 公尺，加上黑潮暖流經過，其表層海水和深層海水間，經年保持 20°C 左右的溫差，海洋溫差能豐沛。然而，進行利用海洋溫差發電（Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC）時，對於大量抽取深層海水是否會影響當地海洋生態，有必要進行研討，研擬周延之環境保護對策。本次至日本佐賀大學海洋能源研究中心研習相關環境管理經驗，俾提供未來相關計畫環境保護對策參考，以降低環境影響並減少開發阻力。實習內容包括海洋溫差發電發展歷史、海洋溫差發電方式、運轉實績案例介紹，以及海洋溫差發電計畫環保相關法令、台灣溫差發電之發展潛力、規劃階段環境考量重要議題、施工營轉期間環境影響與減輕對策、環境監測計畫等，茲將實習所得彙整報告，供公司進行海洋溫差發電計畫環保規劃參考，以減低對環境影響及減輕開發阻力。

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

目 錄

頁次

| | |
|------------------------|----|
| 壹、出國目的 | 1 |
| 貳、出國行程 | 2 |
| 參、實習心得 | 3 |
| 一、前言 | 3 |
| 二、海洋溫差發電之歷史 | 5 |
| 三、佐賀大學海洋能源研究中心簡介 | 10 |
| 四、海洋溫差發電簡介 | 16 |
| 五、台灣海洋溫差發電現況與潛力 | 22 |
| 六、環保評估技術 | 26 |
| 肆、建議事項 | 30 |

壹、出國目的

因應未來全球氣候變化綱要公約發展需求及配合政府綠色電力政策目標，我國正積極推動再生能源發電之應用。我國東部海域地形陡峭，離岸不遠處水深達 1,000 公尺，加上黑潮暖流經過，其表層海水和深層海水間，經年保持 20 度左右的溫差，因此其有研發海洋溫差發電（Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC）的潛力。

進行利用溫差發電時，對於大量抽取深層海水是否會影響當地海洋生態，有必要進行詳細研討，研擬周延之環境保護對策，使溫差發電開發對環境影響降至最低，以作為是否開發此項能源之決策參考，冀希開發行為能獲得民眾信賴、學者專家及環保團體認同，並降低居民、漁民之反對聲音。

鑑於本項再生能源開發之環保評估技術，本公司缺乏實務作業經驗，而日本近年來投入大量研究並獲致實績，故本次派員赴日本佐賀大學海洋能源研究中心（Institute of Ocean Energy, Saga University, IOES）研習先進國家之相關環境管理經驗，俾利周全環境保護對策、降低環境影響、減少開發阻力。

貳、出國行程

一、日期：100 年 11 月 6 日

內容：往程

地點：台北—日本福岡—日本佐賀

二、日期：100 年 11 月 7 日至 14 日

內容：海洋溫差發電之環保評估技術

地點：佐賀大學

三、日期：100 年 11 月 15 日

內容：返程

地點：日本佐賀—日本福岡—台北

參、實習心得

一、前言

1970 年代的石油危機促使世界各國注意海洋溫差能的開發，美國、日本、印度等國紛紛投入海洋溫差發電的研究，並建立多個實驗性電廠。不過，隨著石油價格的回穩，加上海洋溫差發電在短中期內尚難成爲核心發電方式，致使許多研究計畫被迫中止。

我國自 1970 年代石油危機以後開始啓動溫差發電研究，並已陸續完成多項研究計畫，如台灣東部海域海洋溫差發電潛能研究計畫、和平海洋溫差發電預定廠址外海海床調查研究、樟原溫差發電廠址陸上及淺海區域地形測量、複合式溫差發電應用研究等，以及經濟部能源局的混合式溫差發電初步可行性研究、台灣東部海洋溫差發電多目標利用計畫(MPOP)、海洋溫差多目標利用初步可行性研究、中華民國海洋溫差發電全盤計畫(MOPR)、海洋溫差發電利用計畫等。

而近年來全球化石燃料日漸耗竭之問題引起關注，石油價格節節高漲每桶維持在 100 美元以上已是常態，加上全球氣候變遷加劇，環保意識逐漸升高，二氧化碳減量壓力迫在眉睫，燃煤、燃油等火力發電的前景因而受到限制，加上日本福島核災後，全球對於核能發電安全性所產生之質疑，因此未來我國必須採取合適的基載替代電力，配合近年來海洋工程技術的進步與深層海水的開發利用，加上台灣所處之地理位置，海洋溫差發電很可能是我國未來重要的發電方式之一。

但目前由於環保意識的抬頭，國家重要的開發計畫經常因環評等環保問題，造成開發計畫之延宕甚至取消整個預定計畫。因此，對於可能成爲未來國家重要的發電方式之海洋溫差發電，有必要先從環保評估技術方面先行進行探討，先期進行了解，俟海洋溫差發電技術、

經濟可行之日，且從環保角度所提出之專業意見可事先回饋，以減少未來開發時所面臨之阻力。

鑑於本項再生能源開發之環保評估技術，本公司缺乏實務作業經驗，而日本投入大量研究並獲致實績，故實有必要派員前往研習先進國家之相關環境管理經驗，俾周全環境保護對策、降低環境影響、減少開發阻力，此次實習依核定行程赴日本佐賀大學海洋能源研究中心（Institute of Ocean Energy, Saga University, IOES）研習海洋溫差發電計畫相關環境管理經驗，實習內容包括海洋溫差發電發展歷史、海洋溫差發電方式介紹、海洋溫差發電運轉實績案例，以及海洋溫差發電計畫環保相關法令、台灣溫差發電之發展潛力、規劃階段環境考量重要議題、施工營轉期間環境影響與減輕對策、環境監測計畫等，茲將實習所得彙整報告。

二、海洋溫差發電之歷史

OTEC 雖然是很先進的科技，卻有很長的發展歷史，在 19 世紀，就有許多嘗試性的發展與技術性的改進。以下將 OTEC 幾個重要發展的里程碑，整理概述如下：

表 1 OTEC 發展大事紀

| | |
|--------|---|
| 1881 年 | 法國物理學家達森瓦 (Jacques Arsene d' Arsoval) 提議開發海洋的熱能，是為海洋溫差發電的濫觴。 |
| 1926 年 | 達森瓦的學生克勞德 (Georges Claude) 在實驗室建立起試驗裝置，證實海洋溫差發電的可行性。 |
| 1931 年 | 克勞德在古巴哈瓦那附近海岸建立陸上型開放式循環溫差發電實驗廠，用低壓渦輪機 (low-pressure turbine)，首次成功發出 322kW 的電力，一共運轉 10 天，可惜因溫差發電的出力還不足以驅動所有的泵，當時的結論是海洋溫差發電無法產出淨電力。 |
| 1931 年 | 泰斯勒 (Nikola Tesla) 發表“未來動力”的論點，涵蓋了海洋熱能的開發，惟其結論是 OTEC 的工程浩大，不適合大規模發展。 |
| 1935 年 | 克勞德嘗試在巴西外海 120 公里的海域停泊的一個 1 萬噸的貨船上，蓋了一座設計容量為 2MW 的 OTEC，可惜因冷水管被海浪摧毀斷裂而失敗。 |
| 1956 年 | 克勞德又在亞必強 (Abidjan) 為非洲象牙海岸國家設計了一個陸基型封閉式 OTEC 發電廠，總電力為 10MW，淨電力為 7MW，因恰逢石油大量開採，大家利用便宜的石油發電，所以因經費沒有著落而功虧一簣。 |
| 1962 年 | 安德森 (J.H. Anderson) 針對克勞德在設計上的問題作改進發展，設計了封閉式循環系統 (closed-cycle)，並在 1967 年申請專利。 |

| | |
|--------|---|
| 1974 年 | 美國在夏威夷 Kona 海岸建造了一間“夏威夷自然能實驗室”，很快就成了領導試驗 OTEC 技術的機構。由於夏威夷海面溫暖，其深海溫度又夠低，而且夏威夷的電費也是美國最高的，所以說夏威夷是 OTEC 的最佳場所。 |
| 1979 年 | 美國首次在夏威夷證實海洋溫差發電可發出淨電力，利用駁船改裝成一座 50 kW 海洋溫差實驗電廠，此即所謂 MINI-OTEC 計畫，這是個海上型封閉式循環的設計，總發電量 50kW，淨電力為 10~17kW。 |
| 1981 年 | 日本東京電器公司於南太平洋的諾魯島（Nauru）建立一個陸上型封閉式實驗電廠，為該類型的世界第一座，它的總發電量為 100kW，淨電力為 31kW，供給小學電力，為世界首次海洋溫差發電民生化，並證實海洋溫差發電可以提供穩定的電源。 |
| 1984 年 | 美國太陽能研究機構（現名為“國家再生能源實驗室”），發展一種垂直噴射式的蒸發器給開放式循環 OTEC，可將溫暖海水轉換成低壓蒸氣，其效率高達 97%（整個 OTEC 的總效率仍在幾個百分比之間）。 |
| 1993 年 | 美國在夏威夷建立一座陸上型開放式循環海洋溫差發電實驗廠，設計容量為 210kW，扣除其周邊附屬設備耗損後，其淨發電量約 50 kW，打破了在 1982 年日本系統生產的 40 kW 的電力紀錄。 |
| 1999 年 | 美國自然能實驗室試驗了一個 250kW 封閉式循環 OTEC，這是美國試驗過最大容量的 OTEC，從此他們就不再研究封閉式循環 OTEC，主要是能源生產的經濟因素。倒是印度政府對 OTEC 產生了興趣，已經蓋了並計劃試驗一個 1MW 漂浮式的封閉式循環 OTEC，並贊助這 OTEC 技術的各項研究與發展。 |
| 1999 年 | 印度國立海洋技術研究所（India Institute of Technology, NIOT）和日本佐賀大學合作在印度東南部海域建設世界第一套 1MW 的 OTEC 實驗裝置，並安裝日本佐賀大學校長上原春男研製的熱交換器。 |

海洋溫差發電可能成爲我國重要的替代能源，經濟部乃於 1988 年委託美國太平洋國際高科技研究中心，從事海洋溫差多目標利用規劃研究（簡稱 MPOP 計畫），其目標在設計、建造及試驗一個 5MW 的先導型實驗電廠，並將冷海水做養殖等多目標利用，以提高電廠的經濟效益。

另爲深入分析與評估海洋溫差發電的可行性，經濟部於 1992 年委託工研院能資所與國際林同倓公司進行海洋溫差發電全盤計畫（簡稱 MOPR）的初期研究，規劃結論指出台灣東部離岸 12 海浬內可設置 8 座 400MW 的電廠。

我國海洋溫差發電主要以上述 MPOR 及 MOPR 兩個架構爲指導基準，本公司於 1980 年起即開始注意海洋溫差發電在台灣的可能性。爲了解東部海域的地形及海水的物化性質，本公司於 1981 年開始執行海洋溫差發電相關技術資料的蒐集與研究，並擬定長期發展計畫，展開系列性的調查研究作業。國內海洋溫差發電研究著重於台灣海域海洋溫差發電潛能分析、合適廠址調查和經濟可行性分析，相關重要研究整理如下表。

表 2 台灣歷年海洋溫差發電研發計畫一覽表

| 計畫名稱 | 主辦機關 | 預算(萬) | 執行期間 | 執行單位 |
|--------------------------|------------|--------------------|--------------------|--|
| 1.東部海域大範圍水深調查 | 台電公司 | 80 | 1981.7~ 1981.9 | 台灣大學 海洋研究所 |
| 2.候選廠址環境資料調查 | 台電公司 | 340 | 1982.10~ 1983.7 | 海軍測量局 |
| (1)候選廠址海底地形測量 | | | | |
| (2)候選廠址海洋物理及海床取樣調查 | | | | |
| (3)候選廠址地球物理探測 | 160 | 1983.5~ 1985.12 | 文化大學 海洋研究所 | |
| 3.東部海域海洋溫差發電可行性評估及電廠概念設計 | 台電公司 | 870 | 1983.7~ 1984.1 | 新中光地球物理探測公司 |
| (1)海洋溫差發電講習及資料整理 | | | | |
| (2)海洋溫差發電可行性研究 | | | | |
| (3)電廠概念設計 | | | | 美國 Giannotti & Associates International Inc. |
| 4.混合式溫差發電初步可行性研究 | 經濟部 能源會 | 200 | 1984.8~ 1985.10 | 台電公司 |

| | | | | |
|----------------------------------|----------------|-------|---------------------|------------------------|
| 5.台灣東部海洋溫差發電多目標利用計畫(MPOP) | 經濟部 能源會 | N/A | 1988~ | PICHTR |
| 6.海洋溫差多目標利用初步可行性研究 | 經濟部 能源會 | 639 | 1988.4~ 1989.9 | 台電公司 交大土木系 台大海研所 |
| 7.和平溫差發電廠址環境資料補充調查(和平廠址外海海床調查研究) | 台電公司 | 650 | 1990.3~ 1991.11 | 台灣大學 海洋研究所 |
| 8.樟原溫差發電廠址陸上及淺海區域地形測量 | 台電公司 | 200 | 1991.12~ 1992.6 | 台電公司 |
| 9.中華民國海洋溫差發電全盤計畫(MOPR) | 經濟部 能源委員會 | N/A | 1992 | 工研院能資所、 國際林同倓公司 |
| 10.樟原溫差電廠海水管路技術研究 | 台電公司 | 374 | 1992.3~ 1993.8 | 海洋大學 理工學院 |
| 11.海洋溫差發電廠場址環境調查研究計畫 | 經濟部 技術處 | 500 | 1992.7~ 1993.12 | 台灣大學 海洋研究所 |
| 12.海洋溫差國際合作專案 | 經濟部 技術處 | 1,085 | 1992 | 工研院 能源與資源研究所 |
| 13.海洋溫差國際合作專案 | 經濟部 技術處 | 880 | 1994.7~ 1995.6 | 工研院 能源與資源研究所 |
| 14.海洋能技術 | 經濟部 技術處 | 1,000 | 1995.7~ 1996.6 | 工研院 能源與資源研究所 |
| 15.海洋溫差發電利用計畫 | 經濟部 能源委員會 | 990 | 2001.5~ 2002.5 | 中興工程 顧問公司 |
| 16.我國海域能源高潛能區之評估與利用研究計畫 | 經濟部 能源局 | 900 | 2006.3~ 2006.12 | 工研院 能源與資源研究所 |
| 17.複合式溫差發電示範電廠可行性研究初步設計 | 經濟部國營 事業委員會 | 198 | 2007.11~ 2007.12 | 台灣海洋大學 輪機工程系 |
| 18.多目標海洋溫差發電廠最佳參數設計之研究 | 行政院國家 科學委員會 | 45 | 2008.1~ 2008.12 | 清雲科技大學 電機工程系所 |

資料來源：本報告整理

綜整上述研究計畫，其重要結論為：以當時的時空環境及技術水準而言，興建海洋溫差電廠之技術風險仍高，大型冷水管之製造、施工與維護等技術尚待突破，生物附著問題嚴重，陸上可用廠址有地層滑動的潛在風險，颱風侵襲冷水管與電廠構造物的安全問題有待克服，發電成本遠高於傳統發電方式，尚不具經濟效益，需結合深層海

水等多元化利用以提升開發價值，惟海洋溫差發電為未來重要能源之一，應持續研發。

台灣東部海域的海底地形陡峻，離岸不遠處水深即達 1,000 公尺，是極具有開發 OTEC 潛力的地區，政府也投入了經費研究與調查，但仍有許多問題需要考量與評估，如開發成本與經濟效益等。目前世界上發展 OTEC 技術的國家並不多，主要有美、法、日、英及我國，主要原因是擁有 OTEC 資源的地理區位係集中在熱帶及其鄰近地區（見下圖）。



圖 1 全球海域表層和 1 公里深海水之溫差情形分佈圖

資料來源：IOES 提供

上述五國中只有台灣具有此種地理條件，美國則局限在夏威夷地區，其他國家則需在南太平洋諸島嶼中尋找試驗地區。雖然海洋溫差發電的發展有百年以上的歷史，但仍然有些關鍵性技術尚待突破，例如熱交換器的材料、大口徑冷水管的製造與佈設等，惟伴隨技術研發的突破與進步，以及全球環保意識之抬頭，對於再生能源投注更多心力，假以時日，海洋溫差發電的商業化將可實現。我國得天獨厚，具有發展 OTEC 資源的潛力，如果政府能積極資助研發，極可能扮演全世界海洋溫差發電領頭羊的角色。

三、佐賀大學海洋能源研究中心簡介

本次實習係到位於日本九州之佐賀大學海洋能源研究中心參訪，簡介如下：

(一) 設立目的

本次參訪之佐賀大學海洋能源研究所 (Institute of Ocean Energy, Saga University, 簡稱 IOES) 是一座舉世聞名致力於海洋能源研究之機構，同時也致力於跨領域發展同時也是教育研究中心的功能，其目標是希望研究結果能對 21 世紀全球能源和環境的問題作出貢獻。IOES 研究的核心項目是以新的概念建立海洋溫差發電系統，並藉由海洋溫差發電時重新取得的海洋相關物質進行複合式利用研發，並分析研究因利用海洋能源所造成之環境問題，同時，也進行基礎研究的應用測試及實證工作。

(二) IOES 組織構想

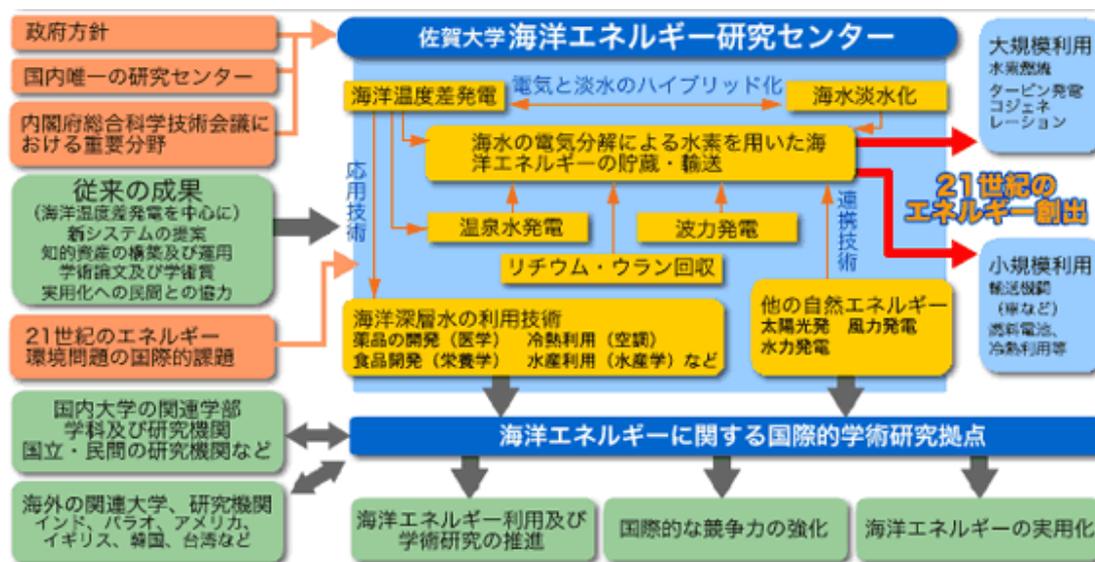


圖 2 IOES 組織構想圖

資料來源：IOES 提供

上圖所示是 IOES 成立運作之構想，配合政府方針進行各項海洋技術開發研究，並整合國內學界研究論文及民間實用科技成果，對於各項海洋能源進行開發，包括海洋溫差發電、波浪發電、海水淡化等，及深層海水富含之物質如金屬鎳等進行開發研究，希望能對於 21 世紀全球面臨之環境問題找尋解答。另也加

強國際的交流合作，包括於印度、帛琉、斯里蘭卡進行海洋溫差發電廠的新建合作，並與美國、法國、英國、瑞典、韓國、中國、台灣從事海洋能研究的大學或機構建立交流關係，以維持其於海洋能領域專業研究的競爭力。

(三) OETC 發展沿革

表 3 OTEC 成立發展大事紀

| | |
|-------------|--|
| 1973 年 4 月 | 開始海洋溫度差發電之研究 |
| 1979 年 10 月 | 建立日本第一個海洋溫差發電海上實驗(島根縣) |
| 1980 年 3 月 | 在伊萬里設立「海洋溫度差發電實驗所」 |
| 1981 年 4 月 | 在伊萬里建立 50 kW OTEC 實驗設施 |
| 1982 年 4 月 | 佐賀大學理工學院附設「海洋熱能轉換實驗設施」 |
| 1985 年 3 月 | 在伊萬里建設 75 kW OTEC 實驗設施 |
| 1987 年 4 月 | 在伊萬里設置「海水淡水化裝置」 |
| 1992 年 3 月 | 廢設佐賀大學「海洋熱能轉換實驗設施」 |
| 1992 年 4 月 | 佐賀大學理工學院附設「海洋溫差發電實驗設施」 |
| 1993 年 9 月 | 佐賀大學為「海洋溫差發電」申請國內著作專利 |
| 1994 年 3 月 | 「海洋溫差發電新實驗設施」完成，96 年增設新設備 |
| 1997 年 9 月 | 與海洋技術研究所 (NIOT) 在印度共同開發 OTEC 並簽定協定 |
| 1999 年 3 月 | 特別設置「實證溫度發電 50kW 上原循環系統」 |
| 2001 年 4 月 | 佐賀大學與和帛琉共和國簽定學術研究交流協定書 |
| 2002 年 2 月 | 佐賀大學和水產大學簽定共同研究協定書 |
| 2002 年 4 月 | 佐賀大學設置「海洋溫度差能源研究中心」 |
| 2002 年 10 月 | 「海洋溫度差能源研究中心」計畫獲選為 21 世紀 COE (Center of Excellence) 認證 |
| 2003 年 3 月 | 伊萬里的「伊萬里衛星研究所」成立 |
| 2005 年 3 月 | OTEC 成為 IEA 國際能源機構日本代表 |
| 2005 年 4 月 | 伊萬里的 IOES 成為正式運作的全國共同設施 |
| 2010 年 4 月 | IOES 已成為合資共同研究中心並開始運作 |

(四) 設施介紹

位於伊萬里市山代町の IOES 研究室耗資 45 億日元，目前所見的實驗室於 2003 年 3 月完工，建地占地面積 4500 m²，總樓版面積為 10,000m² 是一棟 3 層樓高的鋼骨結構建築，目前總計有研究人員約 40 人。

主體可分為研究棟和實驗棟，研究棟內設有管理室、事務室、研究室、及會議室，實驗棟可分為 5 個實驗室，包括溫差發電及海水淡化實驗室、波浪發電實驗室、溫泉水發電實驗室、海水元素實驗室及海洋深層水實驗室，相關設施如下圖所示。



圖 3 IOES 伊萬里研究實驗廠區配置圖

1. 研究棟



圖 4 會議室



圖 5 管理室



圖 6 教育用 OTEC 模擬裝置

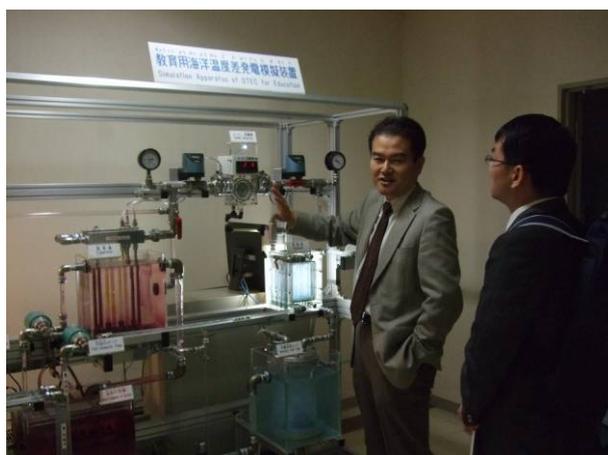


圖 7 教育用 OTEC 模擬裝置

2. 實驗棟



圖 8 溫差發電除氣設備



圖 9 溫差發電冷凝器



圖 10 關鍵元件熱交換版 圖 11 波浪發電實驗設施

(五) 佐賀大學 IOES 本部和伊萬里 IOES 研究中心的位置

佐賀大學 IOES 本部位於校內農學院農學部 4 號館西棟，從佐賀車站下車後可搭公車至佐大前站下車，再步行進入，學校位置圖及入口如下圖所示。

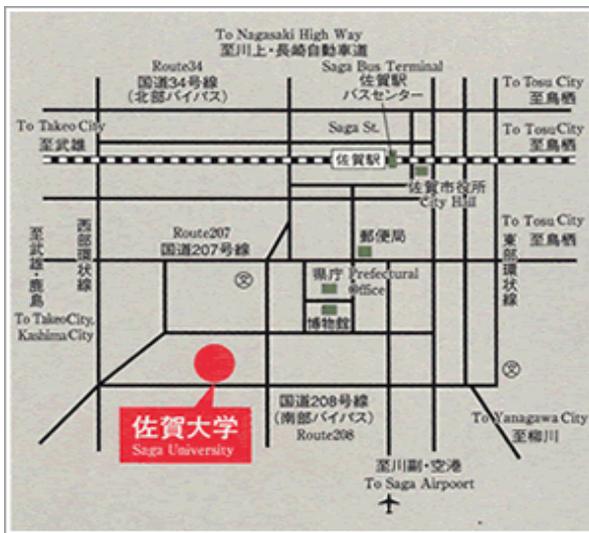


圖 12 佐賀大學本部位置圖

圖 13 佐賀大學入口

佐賀大學伊萬里分部的 IOES，位於日本九州伊萬里灣內、伊萬里大橋旁，如下圖所示。從佐賀大學本部到伊萬里分部，可從 JR 博多車站搭特急列車到有田車站，再轉松浦鐵道(MR)到伊萬里車站，時間約 100 分鐘，再從伊萬里車站搭車到 IOES

研究所大約 20 分鐘，亦可搭車至 MR 久原車站走路約 10 分鐘。



圖 14 伊萬里分部位置圖



圖 15 伊萬里分部建築物外觀



圖 16 伊萬里分部建築物外觀

四、海洋溫差發電簡介

海洋能包括海洋溫度差能、波浪能、潮流能、海流能、海水鹽差能、海洋生物能和海洋地熱能等幾種，這些能量是蘊藏於海上、海中、海底的可再生能源，屬新能源範疇，而在這些海洋能中，又以海洋溫差發電能量最大、最穩定且最具實質應用成效，是故一談到「海洋能」，幾乎意味的就是海洋溫差發電。海洋溫差發電（OTEC，Ocean Thermal Energy Conversion）又可稱為海洋熱能轉變，主要工作原理為海水吸收太陽能後，造成海水表面及下層溫度之差，如果採用適當的工作流體（介質）來搬運熱能推動汽渦輪機再驅動發電機即可發電。一般而言，當海水表層與底層的溫度差約在攝氏二十度左右，就可以發電了。

（一）溫差發電循環系統種類

海洋溫差發電的工作原理與目前使用的火力、核能發電原理相類似，其系統主要可分為密閉式、開放式及複合式循環系統。

1. 封閉式循環系統

封閉式循環系統是利用表層和底層海水的溫度差的發電方式，它利用沸點低的液體作為工作流體，當海洋表面的溫海水將液態工作流體轉變為膨脹蒸氣，便可推動渦輪機的葉片而發電，而經過汽輪機後的氣體，被海洋深處的冷海水冷卻成原來液狀的工作流體，此時，沸點低的工作流體就被密封在封閉管的回路中，形成密閉式循環。工作流體為低沸點的氨、丁烷、氟氯烷等，均為密度大、蒸氣壓力高的氣體冷凍劑。目前以氨及氟氯烷為最佳的工作流體。封閉式循環系統的能源轉換效率約在3.3~3.5%間。扣除泵的能源消耗，則淨效率約在2.1~2.3%間。封閉式循環系統主要組件包括蒸發器、冷凝器、渦輪機、工作流體泵以及溫海水泵與冷海水泵，因為工作流體係在封閉系統中循環，故稱為「封閉式循環系統」。

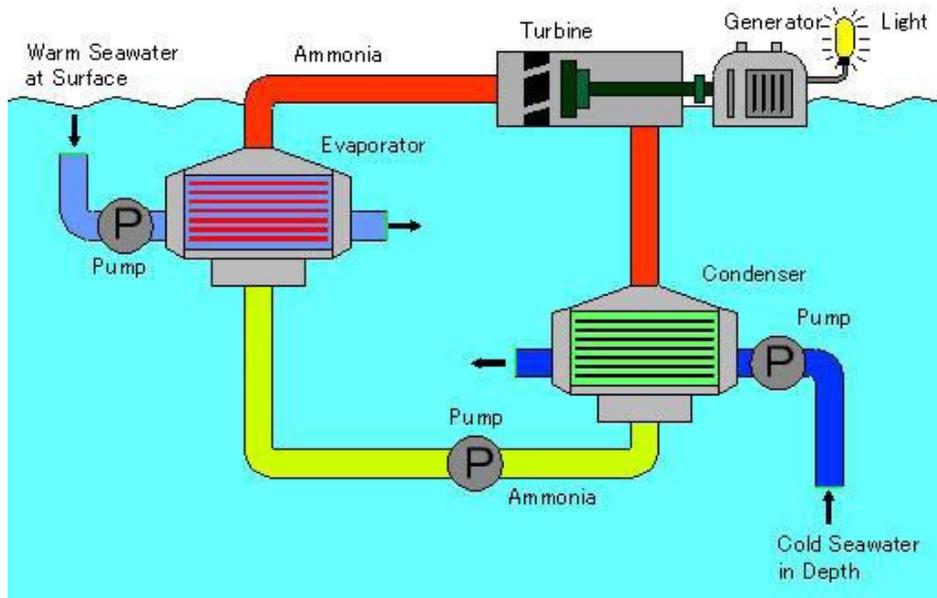


圖 17 密閉式循環系統示意圖

資料來源：IOES

2. 開放式循環系統

開放式循環系統並不利用工作流體作為媒體，而是直接使用溫海水，經除去CO₂等氣體後，將溫海水導入真空狀態的蒸發器使其部分蒸發成蒸汽，其蒸發壓力形成約只有25°C，約相當於0.03大氣壓力而已，此蒸汽推動低壓渦輪機，產生動力以驅動發電機發電，作完功之後，便引入冷凝器，由冷海水冷卻成液體，或是直接混入冷海水中。使用表面冷凝器的方式是附帶產製淡水的方法。雖然開放式系統的能源轉換效率較封閉式系統為高，但因低壓渦輪機的效率不確定，以及水蒸氣之密度與壓力較低，故發電的裝置容量較小，不太適合於大量發電。

3. 複合式循環系統

複合系統的工作流程包括封閉式循環及開放式循環，以IOES研究的混合式系統為例，第一階段為封閉式循環，第二階段為開放式循環。溫海水將液態工作流體（IOES採用氨和水混合），轉變成膨脹蒸汽，然後蒸汽用來蒸發低沸點液體，便可推動渦輪機的葉片而發電，並形成一個封閉的循環迴路；另溫海水再進入了

一個真空室，使其中一部份轉變為水蒸氣（過程非常相似開放循環蒸發過程），並經冷卻、去鹽化後產生淡水。此系統消除純封閉式循環無法產生淡水，及純開放式循環發電量受限制之缺點，並兼具開放式循環與封閉式循環兩者的優點，可提供較高之發電量，並避免溫海水對熱交換器所產生的生物附著，且有副產品淡水產生。

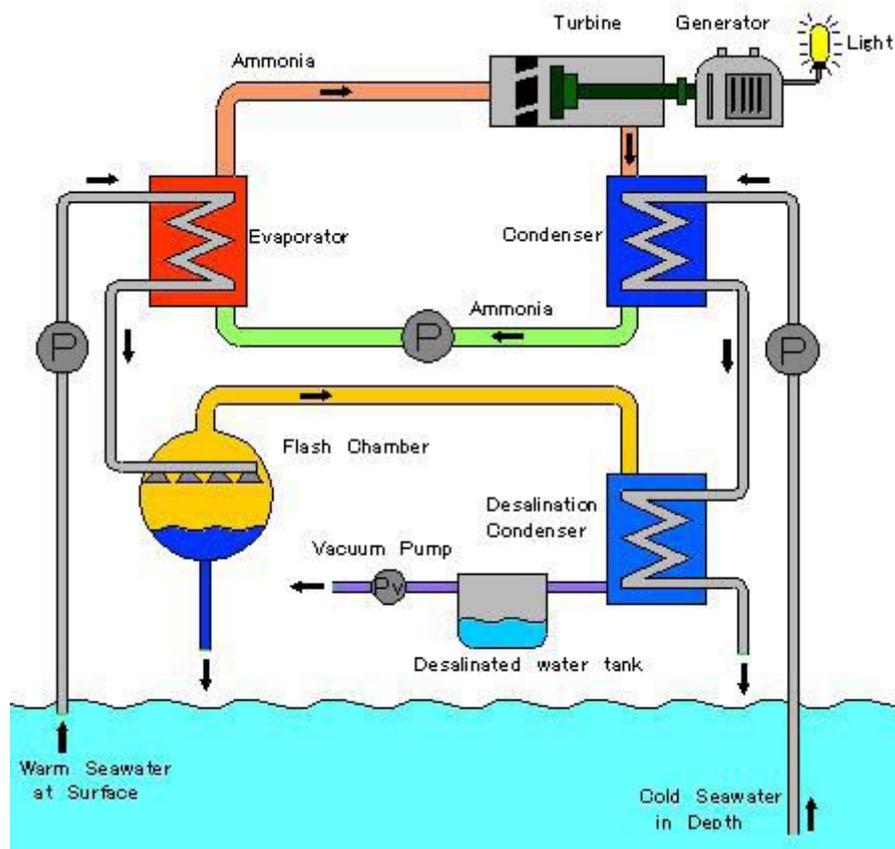


圖 18 複合式循環系統示意圖

資料來源：IOES

(二) 溫差發電系統

海洋溫差發電系統可分為三個子系統，分別是動力系統、海水管路系統與廠房基礎結構系統。茲分別敘述如下：

1. 動力系統

動力系統可再分為五個部分，即蒸發器、冷凝器、工作流體、渦輪發電機與泵。因海水有腐蝕性，故蒸發器與冷凝器經常採用鋁合金，壽命可達15~20年，

優點是質輕而且價錢可以省三分之二。

2. 海水管路系統

海水管路系統是OTEC發電很重要的一部分，其系統由三個組件組成，分別為取水用的溫水管與冷卻用的冷水管以及排水用的排水管，其中又以冷水管最為重要，是OTEC的技術關鍵所在。選擇海水管路時需考慮海水管的材質、大小、佈設與監測等，而冷水管材質要求高強度、防腐蝕、低生物附著及極佳的絕熱能力。

溫水管用來取表層海水，長度較短，佈設問題較少。冷水管佈設主要需確定水下位置及管壁的應力等，同時，在進水口的位置可量測海水的溫度與壓力，以求熱能損耗的數值。排水管的佈設則需考慮不能與表層的溫海水混合，而且不能危害到海中的生態，一般皆佈設於數百公尺深的地方。

冷水管的佈設是最困難的部分，因為冷水管尺寸大、長度長且放置深度深，在製造、強度、佈置及維護上都需要仔細設計，技術與經驗是冷水管系統能夠成功的兩個要件。冷水管基本上可以分成三段：近岸段係將管子埋在明溝之內，以防波浪與海流的所造成之損害；中段係用岩栓將管子繫在海床上，其繫留間隔大約3~6公尺；前段則只在該段的兩個端點繫栓在海床上而已，其餘讓它懸浮，呈倒鏈狀。此種佈設法的最大優點是節省佈放時間，並可避開不規則的海床地形。

(三) 溫差發電廠的型式

溫差發電廠建廠工程可分陸上型及海上型，又可分固定型及浮游型，浮游型是指可以航行移動或以纜錨固定於海底。

海上型的發電廠依浮沈程度，又可分為船型、潛水艇型、半潛水型、浮游圓盤型及潛水圓柱型，其中以半潛水型試驗後評價較高。

浮游式電廠，底部有長約800公尺、直徑10公尺之進水管伸往海底；固定式電廠有的是在深約800公尺海中設平臺，也有的在深約100公尺的岸外淺海設置平

臺，另拉出數公里長的進水管伸往深海；固定在岸上的建築成本較低，但必須用長水管從深海汲水，所以需要選擇特殊的地形，否則無法獲得適當的水源，且進水管及其保溫施工成本較高。

（四）深層海水的多目標利用

自深海抽取的冷海水，不但溫度低，而且無菌、又富營養分，有多種用途，如產製淡水、冷凍、空調、養殖、製藥等，可提高OTEC發電外的經濟價值，這方面的應用稱為「深層海水利用」，深層海水利用主要可分為重金屬提煉萃取、藻類、飲料水及海水淡化等運用方式。

由於深層海水所含微量元素遠較表層海水豐富，因此可同此提煉出鋰、鈾等重金屬，目前尤以鋰的濃縮比例最高，為工業電池之重要原料。而深層海水其藻類用途廣泛，可供養殖、海水肥沃化，或經提煉、萃取成為高單價生機、健康、醫藥與美容產品的重要原材料。

就海水水質情況分析，深層海水所含礦物質與微量元素遠較表層海水豐富，且無污染性，成熟穩定，但取得成本較高，深層海水提煉之淡化水適宜作為包裝水與飲料水用途。深層海水淡化作為飲料之價格，高出一般產品2至3倍，參考日本發展狀況，高知、富山與沖繩等地均具有競爭力的產品銷售，並可行銷至水質條件較差的大陸地區，成為一種深具潛力的產業，無論價格或市場接受度均具高度競爭優勢。

海水淡化主要是將抽取的海水，利用高壓泵浦與濾膜過濾氯化鈉，也就是逆滲透（reverse osmosis）原理脫鹽，獲得淡水的方式。影響逆滲透操作效率的因素可分為水質及設備如壓力、溫度、流速等，後者可從技術面改進，前者則需以良好海水來源為要件。另外，技術層面需要考慮深層海水溫度較低，會相對降低逆滲透作業效率。

(五) 溫差發電的優點

前已說明溫差發電的基本原理及系統種類，而其優點概述如下：

1. 海洋能來自太陽能，取之不盡用之不竭，且不需要燃料，沒有燃料出產、運輸的問題，亦即沒有燃料價格變化之影響。
2. 溫差發電是連續性的輸出，不因日夜、夏冬產生太大的變化，不像太陽能、風力、波浪、潮汐等能源，會受時間、季節、氣候等影響而隨時變動。
3. 溫差發電過程產生污染甚少，對環境破壞的也相對最小。
4. 溫差發電廠往往建於海中，遠離城市及海濱，對於居住環境沒有干擾及不良影響，也無土地取得、購置之問題。
5. 溫差發電副產品可產生淡水，以 100MW 的電力系統而言，每天可分餾出一百萬加侖的淡水；可供食用及農業灌溉、養殖用。
6. 溫差發電過程產生的廢熱，可以回收利用，供小型動力機械或農漁業使用。
7. 溫差發電廠發產出的電能，除了供給城市用電，也可以就近設廠製造淡水、食鹽、海產加工、製取氫氣等。

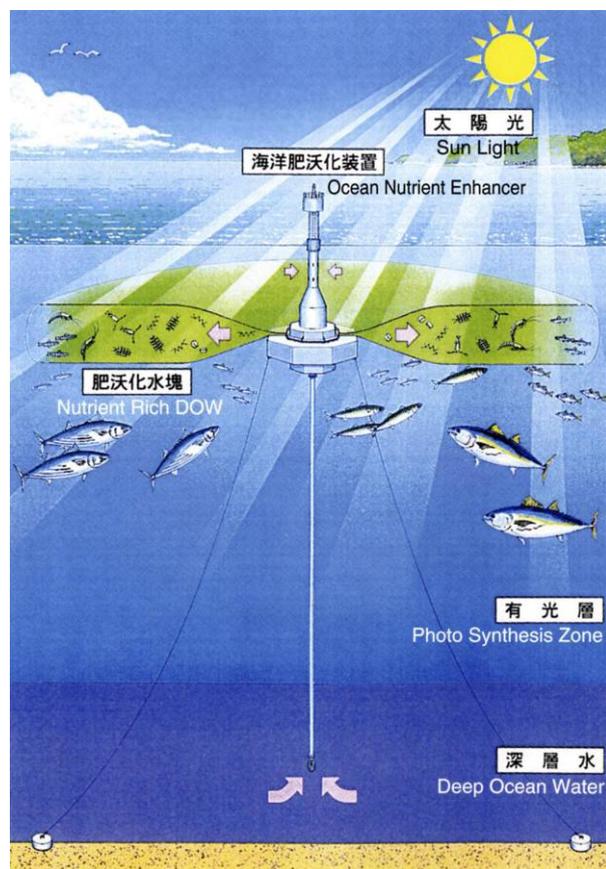


圖 19 溫差發電示意圖 資料來源：IOES

五、台灣海洋溫差發電現況與潛力

面對氣候變遷的挑戰及全球資源日益匱乏的問題，各國積極發展替代能源，日本雖然沒有好的OTEC場所，但對於OTEC的技術發展卻仍積極進行，對於海洋溫差發電進行研究公司及研究機構逾24家所以上，包含東京電力、三菱綜合研究所、九州電力、電力中央研究所、海洋技術研究所、佐賀大學等，每年投入的研究經費即逾新台幣1,500萬元以上。據池上康之教授指出，全球有98個國家具有海洋溫差發電潛力，而日本海域預估的可發電量達1,014kW／年，根據日本再生能源技術白皮書（NEDO，2010年）規劃OTEC發展歷程和目標為：

- （一）2015年：~1MW電廠，均化發電成本40~60日圓／kW；
- （二）2020年：~10MW電廠，均化發電成本15~25日圓／kW；
- （三）2030年：~50MW電廠，均化發電成本8~13日圓／kW。

此外，為因應日本2011年3月11日發生規模9.0大地震所引發之福島核災事件，提案建造10MW OTEC電廠彌補東京電力缺口。

參照日本所規劃OTEC發展的目標，應可給予台灣相當大的鼓舞，OTEC電廠最讓人望之卻步的發電成本議題，如未來能一如計畫目標於2030年降至發電均化成本8~13日圓／kW，約折合新台幣每度電 3~5元，將具有相當大的市場競爭力，加上台灣發展OTEC電廠的地理條件優於日本，因此，長期來看發電成本問題將不是阻礙OTEC發展的絆腳石。

日本除於國內設置實驗性的發電廠址外，更積極洽談國際合作的案件。本次參訪之佐賀大學海洋能源研究中心，近年來與帛琉、印度、斯里蘭卡、諾魯等國合作興建OTEC電廠，並積極參與台灣OTEC相關研究。

而近年來我國政府積極投入發展再生能源，於2005年設定再生能源推動目標，2010年再生能源之占比將達10%，並隨著目標量逐年提高，2025年目標量需達15%，這也將面臨更多的挑戰，像是我國陸地面積狹小致使發展風力、太陽能

等再生能源受限問題，因此如何開闢新興再生能源將是重要課題。

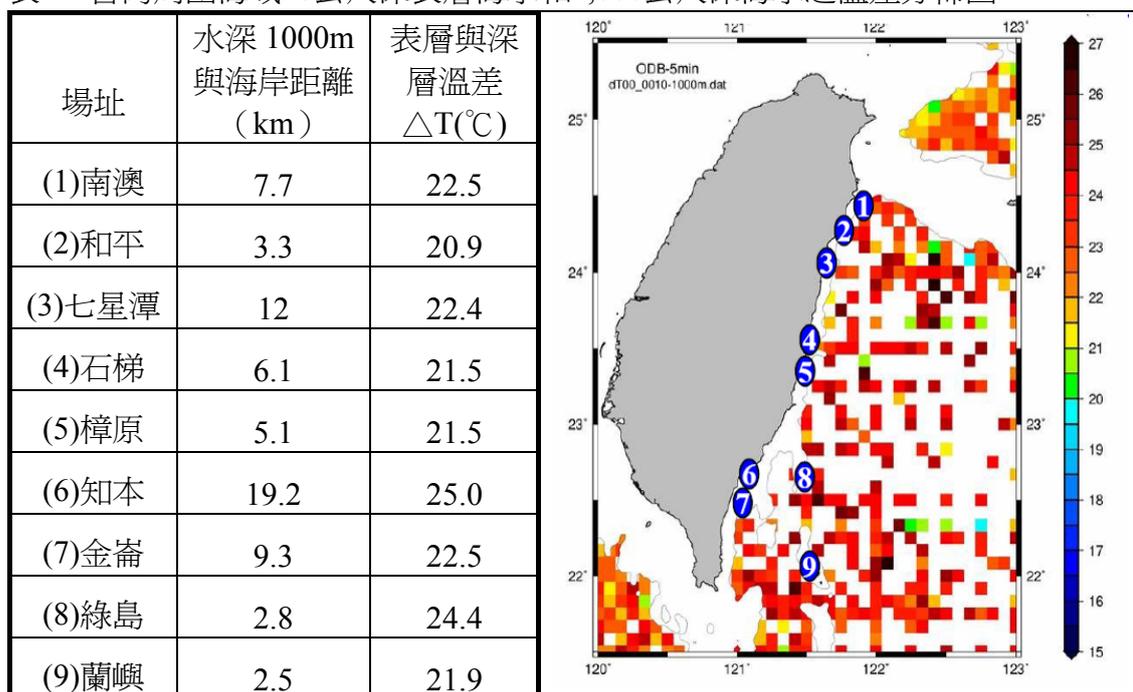
然而台灣由於自產資源之限制，一直找不到一個比較穩定的新能源，或許海洋溫差發電是個不錯的選擇。台灣四面環海，海岸線長達1,448公里，蘊藏之海洋能量不容忽視，海洋能源將是另一極龐大而不可忽視之新興再生能源。而在這些海洋能中，於台灣較具開發潛力的，分別為溫差發電、波浪發電及海流發電，以其蘊藏裝置容量而言，又以溫差發電最具潛力。

目前我國於溫差發電方面的推動，除了前面敘述的相關研究外，僅有工研院2008年於新竹工研院新竹院區建立5kW之實驗裝置，另2010年於花蓮台肥深層海水園區建立首座kW級的示範系統運轉測試，目前正進行耐久測試。有關OTEC的裝置發展，已大幅落後美、日、印度等國。

但就潛能而言，台灣東部海岸所具有的優勢，可說是上天賦與台灣獨天得厚的資產，使得此地擁有豐沛的海洋能溫差條件，從冷海水來源而言，此處海底地形陡峭，離岸不遠處水深達 1,000m、溫度為 4°C~5°C；從溫海水來源而言，因黑潮暖流通過東部海域，使得海水表層水溫長年達 25°C 以上；根據歷年來我國相關溫洋溫差發電之研究及調查結果顯示，台灣東部花蓮外海、台東外海 1,000 公尺之深層海水溫度與表層海水溫度差已達 20°C 以上（參見表 4），為適合發展海洋溫差發電的場址，加上地形陡峭可節省海管佈設長度，降低設置成本，因此台灣東部海岸是發展海洋溫差發電極為難得的場址。

預估台灣東部我國領海 12 海浬內之海域，理論上蘊藏量達 30,000MW 以上的海洋溫差能源有待開發；另若以離岸 30 公里內之溫差發電潛力而言，依本公司過去委託之調查報告評估結果，裝置容量約可達 52,500MW；若東部外海離岸 12 海浬內之海洋溫差蘊藏量以 10%做為可開發量估算，裝置容量初估可達 3,000MW 以上，其發電量預估每年可達 260 億度，將對於台灣電力供給帶來很大的助益。

表4 台灣周圍海域10公尺深表層海水和1,000公尺深海水之溫差分佈圖



資料來源：IOES 提供

從國土規劃觀點來看，台灣東部地區希望朝向發展觀光產業路線規劃，台灣東部海岸如發展海洋溫差發電是具有正面的意義。在推動海洋溫差發電的同時，政府也可藉此機會推展海洋教育，讓民眾能多了解我們身邊的這片海域，也對於東部開發，能夠走與西部不同的路，避免過去以耗竭式的資源開發方式，讓東部可以以緩慢而優雅的方式，發展觀光業、海洋溫差發電、生產海洋深層水等海洋相關產業，保護東部這塊淨土，成為台灣發展綠能的基地，有別於台灣西部以工商發展為導向，這或許也是東部發展的另一契機。

以發展之時機來看，由於台灣能源倚外程度高，99%以上皆為外來能源且燃料價格長期而言有上昇的趨勢，溫差發電為台灣自有能源，可確保電力安全；加上我國於 100 年 11 月宣布新能源政策，核能電廠除役後基載電力不足，海洋溫差發電不受天候影響，可全年全日連續運轉，充實基載電力；另溫差發電無傳統基載電力（核能、火力）所產生空氣、廢料等污染物，運轉時無須繳納空污費，未來亦無須繳納碳稅，可為因應全球暖化之潔淨能源；另由於台灣水庫淺碟化及

水資源不足，海洋溫差發電可一併疏解未來將面臨缺水的問題。

綜上所述，發展海洋溫差發電有諸多的正面意義，惟尚須考量經濟層面、技術層面等問題，茲將發展溫差發電之優缺點以 SWOT 方式分析如下。

表5 我國推動開發海洋溫差發電SWOT分析

| 優勢 (S) | 弱勢 (W) |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1.客觀條件上為全球最適合發展OTEC之國家。 2.不需倚外供給燃料，可全日24小時穩定發電，適合作為基載電力。 3.具有3,000MW以上淨裝置發電容量。 4.80%相關產業技術能量可於國內培植，並扶植相關產業鍊。 5.可藉由海水淡化疏解台灣水資源不足問題。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.大型化電廠建置成本高，資金不易聚集。 2.大管徑冷水管製作技術、鋪設、維修不易，關鍵元件研發製作能力尚未建立，如：熱交換器。 3.國際上尚無商業化運轉電廠。 4.國內尚無大型化OTEC之開發經驗與能力。 5.政府投入研究之經費每年低於1000萬，對相關產業無激勵效果。 6.台灣東部海域每年約有3~5次之颱風損害威脅。 |
| 機會 (O) | 威脅 (T) |
| <ol style="list-style-type: none"> 1.配合政府新能源政策主軸「打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」。 2.國內已有小型OTEC實驗機組開發經驗。 3.國際上尚無商業型電廠，於此時切入，可建立我國在OTEC技術上之領先地位。 4.若搭配淡水產製，大型化OTEC之發電成本約為3~5元/度，極具有競爭力。 5.國家正積極推動深層海水相關產業。 | <ol style="list-style-type: none"> 1.日本、美國、印度已具有百kW~MW先導型機組建置與運轉經驗，技術領先。 2.未來我國設置OTEC電廠須先通過環境影響評估，增添開發計畫的變數。 |

六、環保評估技術

我國未來如要進行海洋溫差發電之開發，除了考量國家政策、發電成本、發電技術、運轉維護等措施及問題外，也必須務實面對相關環境議題。目前從相關研究報告皆以技術及經濟可行為探討重點，對於環境議題之相關評估，也應隨著海洋溫差發電可行性提高逐步落實，茲從下列角度來看待海洋溫差發電之環保評估技術：

（一）法規規定

依據「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 29 條第 1 項第 8 款規定，凡設置潮汐、潮流、海流、波浪或溫差發電機組皆須辦理環境影響評估，但經目的事業主管機關核准之試驗性計畫，不在此限。所以 OTEC 電廠開發也要做好環境影響評估，使其對環境影響降到最低，才能維護開發計畫、環境與人三者間之最大利益。

（二）海水交換之影響

OTEC電廠並無污染物產出，但由於原抽取之大量的冷海水排放在海面，會不會造成一種環境的衝擊呢？依部分海洋生物學者及日本IOES的經驗，一般認為它的結果是正面的，因為深層海水含有大量養分，排放後之冷海水於海面表層受到陽光的照射，可行光合作用，生長出浮游性植物，是為海洋最基礎的食物，因此冷海水可提高海洋的生產力。根據台灣部分海域開發的經驗，如於海域施工、營運經常需面臨漁業權補償問題，但如能有海洋生物庫資料做為佐證，或可據此與相關團體進行溝通，說明OTEC開發是促成雙贏的開發計畫，請取得其支持，目前日本包括OTEC計畫及離岸風力計畫即依此模式進行，漁民團體反對意見很少。而或許使用過之冷熱海水對環境影響造成些許之影響，但只要用過的冷熱海水混合排放在溫度相近之水深，就可以使不良影響減到最小。

(三) 調查監測事項

海洋溫差發電係屬再生能源範疇，無直接排放之污染物，但其設施對環境仍造成一定程度之影響，茲以進行環境影響評估時，調查評估、施工及營運各階段對於調查監測事項進行說明。

1. 調查評估階段

對於海洋溫差發電廠址之篩選，除海底地形測量、海床取樣調查外，應加強海洋生態環境調查，如發現有生態敏感區位，應儘可能避開以減少對生態環境之影響。另海洋生態調查應包括當地魚類棲地及魚類、藻類之種類、數量分佈，並應先建立長期、完備之資料庫，俾供營運後進行比對，說明其影響情形。

2. 施工階段

施工期間海管佈設其佈設路徑，海域生態項目應進行監控，以掌握長期變化趨勢，若因施工機具或工程行為造成生態環境之損害，應儘速啓動防護因應措施。另施工期間機具所產生之噪音影響，也應監測其數值，避免長期對海洋生物產生影響，尤其台灣東部沿岸為抹香鯨、偽虎鯨、領航鯨、喙鯨、大翅鯨等鯨豚類經常出沒、迴游的場所，低頻噪音對海洋哺乳類動物之影響等，更應謹慎。而施工準備場址應儘可能避開岸邊候鳥型海鳥的棲息地，以降低其傷害。

3. 營運階段

因溫差發電廠採用潔淨再生能源作為動力，無須燃料屬無污染之再生能源電廠，故溫差發電廠完工運轉後，其佈置設施或許對當地景觀、漁業及航運帶來程度不等之影響，這除了規劃階段事先評估外，也需要運轉階段之意見回饋，隨時修正相關設施之外觀顏色、警告標示、燈光等。

而營運階段最需要關注的項目，是因 OTEC 電廠動力系統需有工作流體（如氬氣等）進行密閉循環作用，需防範其自工作流體循環管線中洩露至廠房空間，或是自蒸發器中洩漏至溫海水循環系統，或是自冷凝器中洩露至冷海水造成污

染。

為監控工作流體（以氨氣為例）洩露至廠房，可採用固定式偵測系統如 GTF300-VOC 等機型加以監控；但如氨氣洩漏至海水，將對水質造成污染，因此可於熱交換器水測出口端設置線上水質 pH 值監測器，以進行即時監控，一旦發生洩露與水質污染，需啟動緊急停機程序，查明洩露原因，並將受污染的水處理去氨後，才能繼續運作。

（四）強調附加價值

OTEC 電廠除了主產品電力輸出外，尚有氫氣、飲用水、海洋深層水、鋰、海洋肥沃化、區域供冷、降低溫室效應、水產養殖等附加價值（如下圖所示）。其中台灣尤以水資源不足，更應是 OTEC 電廠進行環保評估時所應強調的重點。

台灣飲用水環境不如美日，水源取得亦相對困難，加上工商及民生用水需求快速攀升，降雨不均與地下水位下降等因素，利用海水淡化作為民生及工業用水來源，逐漸成為一種共識。而台灣西部海域因已受相當程度的污染，非但表層海水所

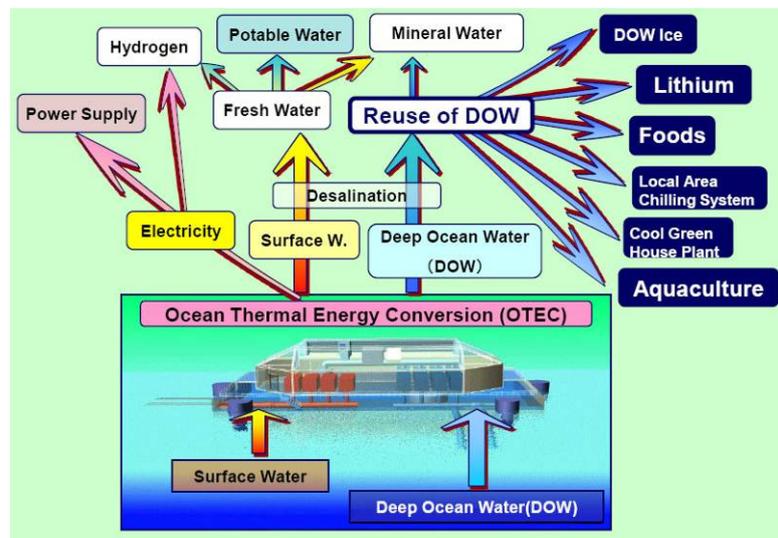


圖 20 OTEC 多元產品分析圖

資料來源：IOES 提供

含的懸浮物質多，各種沉澱物質也不少，均會阻塞濾膜，影響海水淡化效率，東部深層海水成為重要來源。

另台灣東海岸深層海水的溶解鹽類大約是表層的 15 倍以上，此種高濃度的營養鹽類有助於海水養殖、製藥或生物科技的發展，冷海水的冷度可用於空調、

冷藏或農業生產等區域供冷需求上，這可爭取農漁民朋友對於 OTEC 電廠之支持。OTEC 電廠所產出之電力，同時也降低台灣對於傳統基載電力之需求，換算其所折抵之火電廠所產出之溫室氣體，對全球環境更是有正面助益；另 OTEC 電廠還有教育、觀光及遊憩方面的價值，這些均會降低海洋溫差發電的成本，故於社會、經濟面分析時，不宜忽略 OTEC 電廠的多元利用價值。

（五）必要性之說明

面對全球氣候變遷，我國電力政策必須採行因應措施，加強對溫室氣體排放之管控，而面對用電仍持續成長，傳統火力發電廠勢必因溫室氣體排放總量之限制，而無法再大幅增加。政府於 100 年 11 月公布新能源政策後，核能電廠除役之後所衍生基載電力不足之缺口，勢必要找尋合適的替代能源以彌補這一缺口。

雖然台灣可發展太陽能、風力、潮汐、波浪等再生能源，而電力供應面也應朝多元化方向發展，但太陽能、風力受限於場地因素，尚待開發之容量有限，而潮汐、波浪等發電方式因技術面及蘊藏能量均落後於溫差發電，反觀海洋溫差發電蘊藏量大，所產生之環境污染或影響相較於核能或火力等發電方式，其環境影響可說是微不足道，發展海洋溫差發電有其必要性及前瞻性，對於新興電力規劃面臨之種種困難挑戰，OTEC 電廠或許將對台灣之電力供應帶來助益。

肆、建議事項

一個新興科技的興起，政府的大力支援是使它成熟的重要關鍵，而目前國內對於海洋溫差發電的研究尚處於起步階段，每年投入的研究經費大幅落後於美、日等國家。但台灣發展海洋溫差發電的潛力是無庸置疑的，就算以全球而言仍是數一數二的，而未來台灣的能源發展勢必將朝多元化發展，海洋溫差發電很有可能將扮演未來台灣電力能源的重要角色之一。因此，有必要對於海洋溫差發電之相關技術事先做好準備，藉由本次至日本 IOES 實習其環保評估技術，提出以下建議事項：

- 一、台灣東部海域擁有發展海洋溫差發電之良好天然條件，雖然目前而言溫差發電仍未達商轉的經濟規模，尚待技術進一步提昇及機組大型化方有經濟性價值，惟本公司仍應積極參與相關研究及國內外實驗計畫，俾利掌握最新技術發展資訊及經驗。
- 二、建立海洋溫差發電潛在廠址篩選機制，除了海底地形測量、海床取樣調查外，應加強海洋生態環境調查，俾利事先避開或排除生態敏感區位，以降低未來開發成本及阻力。
- 三、海洋溫差發電對於環境造成影響之主要項目應及早進行調查研究，例如對海洋生態（包括魚類棲地及魚類、藻類之種類、數量分佈）之影響、陸上生態（包括候鳥棲息地等）、低頻噪音對海洋哺乳類動物之影響等，皆為環保團體極為關切之議題，應及早研究因應。
- 四、OTEC 電廠規劃初期應朝整合廠房建築外觀及海上浮台造型、色彩、警示照明之整體妥善規劃，因其本身為綠色電力、潔淨能源，可成為當地觀光景點，並兼具有教育、觀光、休憩方面的價值。
- 五、海洋溫差發電藉由深層海水含有豐富藻類，可使海洋肥沃化，增加近岸魚類種類數量，塑造形成海洋新牧場，增加漁民漁獲量，達成開發業者與漁民雙

贏的結果，此項論點可加強宣導、溝通，化解漁民對開發計畫之疑慮。

六、推動海洋溫差發電時應一併強調其附加價值，尤其水資源可能可創造高附加產值，減少開發 OTEC 電廠之成本壓力；另如本公司將深層海水開發萃取提煉出”鋰”金屬元素，進而研發生產冠以”台電”為品牌之鋰電池，將有很高的機會可搶攻電池市場佔有率，並拓展本公司多角化經營業務。

七、核能及火力電廠溫排水水量大，放流口溫度平均約在 30°C，如能運用成爲 OTEC 電廠之溫海水來源，將是溫差發電技術另一種潛在方案，可對電力朝多元化方向發展帶來助益。