

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

海洋工程與技術學門學者專家赴美參訪

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2217-E-002-012-

執行期間：93年07月01日至93年12月31日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：蔡進發

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 2 月 2 日

一、前言

本次赴美考察海工學門相關領域之主要目的一方面是為了瞭解目前世界上在海工領域正在發展之新技術現況與未來發展的方向，另一方面也為國科會海工學門未來三年之重點研究計畫之規劃提供參考方向與意見。由於行程之安排僅能有七天左右，相當緊湊，經過審慎之評估，決定以夏威夷為海洋工程與水利相關領域之參訪地點，其中最主要為夏威夷大學、水資源局以及一家以海洋先進技術相當著名之 Oceanit 公司。而船舶與水下技術方面，則以美國西岸舊金山附近之 Naval Postgraduate School(NPS)及 Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) 兩個機構為主。

而為了讓海工學門之相關研究領域的教授能共同參與，特別由學門中邀請各大學老、中、青具代表性之教授參與，成員包括黃煌輝教授（成功大學）、林呈教授（中興大學）蔡進發教授（台灣大學）、辛敬業副教授（海洋大學）、王兆璋副教授（中山大學）以及學門召集人方銘川教授（成功大學）。其中黃煌輝教授與林呈教授為海洋工程與水利方面之專長代表，蔡進發教授與辛敬業副教授為船舶領域專長之代表，王兆璋副教授與召集人方銘川教授為水下領域專長之代表，各自負責相關領域之參訪與未來規劃。而事實上目前船舶領域與水下技術息息相關；因此學門中目前亦已將此兩領域合併為「船舶與水下技術領域」。

二、參訪經過與內容

● 7月21日

當地時間約10點左右抵達夏威夷歐胡島，為了節省交通費以及方便行動，採取租車方式。約12點左右住進旅館，於下午3點開始了本行程的第一站～參訪Oceanit公司總部，一進其公司大門，櫃臺旁即有一播放平台，顯示其公司目前最新發展之科技資訊；其中最有趣的一幕，即為兩船相間擦身而過產生之波浪對港口及船身周遭之影響模擬，在國內亦有類似之研究，只不過我們之重點為波浪中兩船之相對運動與周遭波浪之影響。此次參訪會談Oceanit公司相當重視，特別派出五位主管及研究人員參與會談，其總裁亦出面問好關切。

此次參訪該公司之主要目的係在於考察該公司在環境與工業部門中的深層海水淡化技術(deep ocean water for desalination)的發展現況，並汲取該公司在解決方案與對策部門中對於海岸侵蝕之控制及港灣發展與規劃等工作成果。

在美國國家科學基金會(NSF)之大力資助下，該公司於夏威夷州最南端之大島(Big Island)的Keahole Point，裝置了名叫「漩風塔」(Hurricane Tower)之海水淡化設施的原型廠房，再抽取使用來自美國夏威夷國家能源實驗室(National Energy Laboratory of Hawaii, NELH)之深層海水，利用先進之濃縮技術與流體力學中之二次流(secondary vortex)的流動特

性，進行快速有效率之淡化製程。在使用傳統之能源系統下，該設施以低於 0.90 美金的花費即可產出 1000 加侖的乾淨淡水，遠比一般海水淡化製程成本需 3.0 ~ 10.0 美金方能產出 1000 加侖來的便宜；若再與當地市政機關利用地下水產生乾淨水源之成本—1.8 美金方能產出 1000 加侖來相比較，也僅為半價之成本，便顯出利用此設施抽取深層海水進行淡化處理的高度可行性及具高遠景性。若再考慮深層海水中分離出來的多種珍貴副加產品的商業利益，則益顯實用性及經濟價值。目前國內也正如火如荼地準備於花東海岸進行深層海水的抽取及相關利用計畫，該公司的此一製程設施足可作為學習的範例。

特別值得提出的是，利用漩風塔所產出之潔淨水質中，氯化物(chlorides)含量僅 5 ppm，若與原海水或夏威夷 Kona 地區飲用水之氯化物含量(分別為 19000 及 265 ppm)相比較，顯示氯化物含量之微與漩風塔製程技術之進步。另外，有關其水質中不溶解固體總含量(Tot Dis Solids)亦僅 10 ppm，也比原海水或夏威夷 Kona 地區飲用水之 35000 ppm 及 712 ppm 小很多，在在證明該設施之精湛的先進技術，真是令人印象深刻。

此次參訪由該公司市場經理部門之 Ian 先生為我們做簡報，在 Oceanit 公司簡報資料中亦提出了在控制海岸侵蝕方面的工作成果—可愛島 Brennecke 海灘及海岸人工養灘保護計畫、與 Kualoa Regional Park 海灘侵蝕控制計畫。前者包括了現場地形測量、水質採樣分析、沙粒粒徑分佈

分析、波流場量測分析等，最終則提出了 Hoone Road 之保護方案及沙灘養灘的方式復建該沙灘。後者則包含密集的地形監測資料，以作為 1:100 比例尺之水工模型試驗的模型製作依據；並依水工模型，考量各種波浪條件作用下之沙灘與岸線變形，調校佈設海岸線及估算侵蝕率。另外，為了歐胡島北海岸之防洪保護，該公司也說明了環境基線監測計畫，涵蓋了水質採樣分析、地形變遷研究、海流調查研究、海底測量(benthic surveys)、波浪量測分析、海灘剖面量測、輸砂特性。其中有關水質採樣分析則包括了使用佈設於現場的先進探測器技術(in-situ sensor technology)進行即時監測、與安置即時資料於具顧客密碼保護之網際網路位址(client password-protected Extranet site)。最後，該公司亦以資料說明檀香山國際機場珊瑚礁跑道防止波浪侵蝕之保護結構評估、設計、施工及後續維修之成本分析計畫，也介紹在施工中及施工後之各種檢測成果，以期檢驗是否符合當時之設計基準。

簡報結束後，我們亦將國科會及海工學門以及我們參訪之代表大學的相關研究設施做簡單介紹，他們對於我們之硬體設施頗為驚訝，尤其是成大水工所之平面試驗大水槽。經過交談之後，對於彼此均有初步之瞭解，當然，是否能進一步促成一些相關國際合作也是雙方所希望的。由於 Oceanit 為一私人公司，他們希望能透過他們的技術移轉在國內能得到一些商機，而我們亦希望透過雙方合作研究得到一些技術上的進步以及對國內海洋工

程的研究趨向規劃的建議。雖然我們未能給予任何實質的承諾，但雙方已對未來合作的可能性有了初步的默契，希望能有進一步的接觸。此次會談進行約 2 小時，結束後該公司並安排本參訪團於 7 月 23 日至其茂宜島的研發實驗室參訪。

● 7 月 22 日

本日行程為參訪夏威夷大學土木工程系之海洋、水利研究組，主要是由一位來自國內之 Prof. C. K. Liu(劉成均教授)安排參訪。Prof. C. K. Liu 早期畢業於台大土木系，後來赴美取得學位後便留在美國服務，尤其在夏威夷大學服務已十九年，為夏威夷海洋工程與水利方面之專家，尤其是地下水資源之研究，有許多之研究計畫，跟國內亦有合作關係。首先參訪的是土木系教學研究設備，其中來自奧瑞岡大學的 Prof Teng (如相片一)正在進行孤立波潮溯上之實驗研究，雖然其研究設備無法與國內相關研究單位匹比，然而夏威夷大學對於海岸自然災害的發生與防治方法的研究十分的積極，另外夏威夷大學土木系亦已從事海洋環境生態變化之研究，此應為國內海洋工程學門首應注意的前瞻性研究主題，因為海洋工程的構建勢必影響到海洋環境繼而改變海洋生態，因此不可單以海洋工程的眼光從事海洋結構的興建，必需結合海洋環境與生態學者共同考慮，以推動跨學門的研究，此項工作仍是國內最欠缺的部份，但願日後學門的規劃能注重是項的重要性。

Prof. C. K. Liu 對於我們國內之研究設備亦有瞭解，因此並未太強調他們的設備，而是對於他們所做之相關研究計畫；尤其於夏威夷整個用水的來龍去脈，有非常詳盡之介紹(相片二)，並安排參觀難得一見之夏威夷之地下水之水源(相片三)。此地下水源目前在 911 以後為防恐怖份子破壞，已禁止外人參觀，此次是 Prof. C. K. Liu 透過水資源局之一位喬治先生(曾來訪過台灣)才得以進入。此地下水水源，必從海平面上 165 英尺處之入口，坐一斜度為 30° 之地下纜車下去。內有一泵室，有三部抽水輸送設備，每天供應一千八百萬加侖之二千萬加侖之淡水。有兩部每分鐘各可抽 4200 加侖，另一部則為每分鐘 7000 加侖。此地水淡水事實上與外海相通，但由於夏威夷特殊的沈積岩，形成一天然之屏障，將海水與淡水分隔。而怕淡水遭到污染，他們對海洋污染亦相當重視，連農作物使用農藥亦有嚴格之限制。

參觀後，雙方人員包括夏威夷大學 Prof. C. K. Liu 共同聚餐，並討論日後合作研究的可行性。對於海岸工程的長波湖上之實驗及數值模式之建立，可由國內相關教授與夏威夷大學共同合作，甚至可透過雙方國科會取得 OSU(奧瑞岡大學)之實驗資料進行多邊性的合作研究。至於深層海水之取水、應用、發展可由海工學門與夏威夷大學，以及前一天參訪的 Oceanit 公司進行合作，以推動國內深層海水利用發展。

除了參訪海洋相關之設施外，亦拜訪其工學院院長陳惠發院士(如相片

四)。夏威夷大學亦有電機系從事 ROV 之研究，可惜，相關教授不在，未能與會，時間亦不允許。Prof. C. K. Liu 亦介紹其從事海洋相關研究之同仁並討論、提供了許多寶貴之經驗。由於時間緊迫，於 4 點 30 分離開夏威夷大學至機場，趕赴茂宜島。

● 7 月 23 日

一早即租車往 Oceanit 公司之研發實驗室出發，花了一個多鐘頭找到此實驗室，事實上，此地為許多高科技之研發園地。此實驗室專門作光學鏡片之研究；實驗室並不大，研究人員亦僅有五位，然而其技術卻是一流，尤其是該實驗室之防振實驗桌，更是靈敏到一有小風吹亦可感應(如相片五)。實驗室主持人 Dr. Dan 為我們講解了一個多小時，我們亦請教了一些有關 ROV 玻璃罩透視之相關問題。在園區中，另有一夏威夷大學的高效能計算中心(High Performance Computation Center)，本想再順道參觀，但由於其進行軍事相關計算，事涉門禁問題，也就因此作罷。

● 7 月 24 日、25 日

由於 7 月 24 日、25 日是星期六、日，亦為當地例假日，沒有行程可安排，於是在茂宜島稍作休息，便於 7 月 25 日上午返回歐胡島，再轉往舊金山，抵達舊金山已是晚上 9 點，租了車找到旅館已是午夜時分。

● 7 月 26 日

一早即開車往美國海軍研究院(Naval Postgraduate School 簡稱 NPS)

出發，行程約 2 小時，另一蒙特瑞灣海洋生物研究中心（Monterey Bay Aquarium Research Institute 簡稱 MBARI）亦在附近。這兩個單位參觀的對象是以自主式水下載具以及相關海洋生物研究為主。

NPS 主要之接待人為海洋系的 Prof. Steven(相片六)，亦來過台灣參加 ASIAX 東海計畫，對我們東沙群島之開發計畫亦相當有興趣，他特別安排我們見了美國海軍研究院的造船及機械系系主任，造船及機械工程系是造船系和機械系合併，該系的系主任是 Anthony Healey 教授，所主持的實驗室即是自主式水下載具為主，該實驗室所發展的自主式水下載具目前是第二代稱為 ARIES(Acoustic Radio Interactive Exploratory Server)(相片七)，外形是長方形圓角斷面的類軸對稱體，搭載有 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)、攝影機、全球定位系統及無線電傳輸系統，在浮出水面時可將資料透過無線電傳回母船或在空中的熱氣球或是飛機。該載具另一特徵是在前方設計有兩個 L 形的保護裝置，可以保護水平舵同時可做為拖曳物體(Towed Body)使用速度可達 6 節。該實驗室除來自己研發組裝的自主式水下載具外，也購買一部商用的水下載具 REMUS(Remote Environmental Monitoring Unit)(如相片八)，搭載有向下及向上的 ADCP、溫度感應器、側掃聲納、深度計及長基線定位系統，搭配自行開發的水下載具 ARIES 進行協同實驗。，其中該實驗室亦正進行一相當敏感之 AUV 水下量測計畫，還不允許我們照相其前端之裝置(如相片九)。事實上，其 AUV

在外型上並沒有特別講究，僅憑直覺簡單化去製造，其重點擺在內部控制之設計，因此其外部設計包括控制等均有改善的空間。

由於時間緊湊，下午 1 時 30 分直接就前往 MBARI 拜訪，這是一個由私人成立的基金會所成立的海洋科學研究機構。基金會為「The David and Lucile Packard Foundation」，主要贊助者即世界聞名惠普電腦公司的創辦人之一：David Packard（見相片十）。他熱愛海洋生物，因此為了回饋社會，便在蒙特瑞灣成立了世界聞名的「蒙特瑞灣水族館」。該處瀕臨太平洋，離岸不遠處就有數千公尺的蒙特瑞海底峽谷。也因為這個地理上的特性，為了就近一探深海的生物及奇景，Packard 便以基金會成立支援海洋生物科學研究的「蒙特瑞灣海洋研究所」。在這個機構中，海洋科學家和工程師各約一半，算是一個以成熟工程科技全力支援海洋科學研究的典範。因此早在十年前，該研究所的研究船出海佈放 ROV 時，使用微波將 ROV 所拍攝到的深海影像傳回陸地上，再轉送至水族館供現場參觀民眾欣賞。這樣的作法，不但拉近一般民眾和海洋間的距離，也因此科學學家和工程師不斷地互動激勵下，完成很多艱鉅的海底探索任務，如世界上首創以 ROV 進行深海岩心鑽探(如相片十一)。這個成就代表該研究所在整合科技新技術來支援基礎科學研究的成功。

由該所 2003 年的年報的內容發現，該所 2003 年共執行 60 個計畫，主要是蒙特瑞灣的地形調查及海洋生態調查。為了支援這些調查 60 個計畫中有

12 個與自主式水下載具研發有關的計畫，有 15 個與 ROV 研發有關的計畫。其中最大的計畫叫自主式海洋取樣網路(Autonomous Ocean Sampling Network—AOSN)，該計畫整合 AUV、ROV、水面船隻、有動力移動式浮球、熱氣球、飛機及衛星，組成一海洋的觀察及監控網路。在此系統中使用的 AUV 是一軸對稱體(如相片十二)，所示除了搭載側掃聲納、慣性導航系統、攝影機、全球定位系統及無線電傳輸系統外，還有次底層掃描器 (Sub_bottom Profiler)，可以掃瞄海底相當深度的剖面資料。AUV 直徑 21 英吋搭載的電池可以在海中運作 24 小時，但該載具所用的電池並非高能量密度的電池，而是安全性高的電池。AOSN 的企圖是建構一海洋監控系統，量測海洋的物理、化學及生物等特性，其最終的目的是建構一個海洋的預測模式，提供海上、海下作業、漁撈作業、軍艦潛艦的操作及觀光娛樂的正確海洋資訊。

MBARI 之行由 Dr. James 出面接待，並為我們作了簡報(相片十三)，在作簡報之同時，讓我們最驚訝的是在其旁邊之一電腦螢幕正播放一由 ROV 在海下現場傳回的一手影像資料，亦即在 MBARI 本部即可第一時間即時掌握到研究船在海上搜尋到現場狀況(相片十四)。除此之外，Dr. James 亦先帶領我們對 MBARI 之相關之重要部門、工廠及實驗設施做參觀。

我們發現他們有一組非常堅強之工廠技術人員可從事許多器具之設計與製造，例如 AUV 與 ROV 之相關設備(相片十五)，尤其是其中一特殊之深海

捕魚器，令人印象深刻。其實驗水槽範圍不大約為 16 公尺 x 9 公尺，但深度達 11 公尺，可做許多水下載具與儀器之測試，MBARI 之最主要任務為收集與分辨各種海洋生物；資料庫相當龐大，而且有一套管理系統值得學習。參觀後，我們與 Dr. James 與 Prof. Steven 做進一步討論，也為未來合作之可能性做了初步之討論，可能預定明年可邀訪 MBARI 之相關人員來訪。最後我們一行人亦登上其中一艘研究船上做參觀並瞭解其 AUV 之運作(相片十六)。似乎目前他們都已進入到利用 AUV 來做偵搜以節省相關成本，但仍有部分利用 ROV 來探測並捕捉海生物。因國內目前似乎就是想 MBARI 當初開始之階段，由 ROV 開始，但似乎是可與 AUV 齊頭並進，畢竟我們的技術尚未純熟。

● 7 月 27 日，7 月 28 日

由舊金山返回台北

三、參訪後之建議

由參訪的訪談及參訪單位所提供的資料可發現，AUV 的發展目前已到第二代或第二階段。第一階段是 AUV 原型的開發，其中包含 AUV 本體的幾何、推進系統、壓力殼等，以及照明攝影設備等。第二階段則是 AUV 在實海域

的實際量測作業系統的開發，其中包含通訊、導航、定位及量測設備等。接下來 AUV 的研發要往那些方向前進呢？由參訪單位的執行中的計畫可看出海洋的監控需要各種不同的系統整合運作，才能有效率的完成。這其中包含 AUV、ROV、海底繫泊站、浮標、水面船隻、熱氣球、UAV(Unmanned Aerial Vehicles)、飛機及衛星等的協同運作，在此情境下第三代 AUV 的研發應朝以下幾個方向進行：

(1)AUV 群協同操作模式的研發

一般而言 AUV 大約 3 至 6 米長，巡航速度也只有四節，若可以連續操作 24 小時，一天也只能前進 96 海浬，其所經歷的量測也只不過是一條線而已。這對於三維廣大的海洋量測是非常的不足，因此目前的發展趨勢是以量來克服，可同時有很多 AUV 分散在不同的路徑與層級上執行相同的作業，形成一如同網路的系統。此時由於海洋環境的多變，此些執行相同任務的 AUV 群，需要彼此溝通、協調、指揮或是接受指揮，來協同完成任務的系統是一重要的研發方向。

(2)AUV 長期運作系統的研發

AUV 的操作目前已非常穩定，接下來的目標是讓 AUV 可以長期停留在海中執行任務。但因為 AUV 所搭載的能源受到限制，無法長期停留海中，因此有必要開發一海中的繫泊系統，可以 AUV 自動繫泊、充電及回傳所量測的數據。此系統包含：海底繫泊站、海底電纜、AUV 自動繫泊定位

系統、海中充電系統及海中資料傳輸系統等。

(3)不同類型 AUV 之發展

基於協同操作以及長期運作的需要，對於 AUV 的運作方式便有不同的想法，近來所發展的水下滑翔艇(Underwater Glider)即應用重力或熱的變化，使得載具可以長時間的運作於水下，雖然其速度很慢，但在協同操作下，可以進行小區域的偵測即監視，甚至由一群水下滑翔艇形成監視群。水下滑翔艇需要的能源很少，更具備靜音的優點，是各研究機構積極發展的一種 AUV。

(4)深海現場檢測裝置的研發

AUV 一般使用於潛水人員無法到達的深海，在該深度的海洋生物或是化學特性在取樣回到水平面時，其所遭受的環境壓力由 10 個大氣壓的高壓，降至 1 個大氣壓後，便會死亡與遭到破壞。因此深海海生物或是海洋化學性質的檢測，必須要能在現場檢測，才能得到正確的數據。同時受到 AUV 負載的限制及大量的量測需求，此些深海現場量測裝置應以微機電(MEMS)的模式開發，以將其設備的幾何尺寸降到最低，同時也能自動完成取樣與檢測並將數據記錄的工作。

(5)深海機器手臂的研發

AUV 在深海從事各種量測與檢測，在很多情況下均需要使用機器手臂來取樣，如在海底火山附近的異常環境下，AUV 或 ROV 無法靠得太近的情況下，

便需要機器手臂的幫忙。本報告所謂的深海是指 100 公尺深以上的海洋，在陸上機器手臂已是成熟的工具，如何將其改造成可在深海中可以運作的機器手臂，是一值得投入的研發方向。

(6)AUV 即時通訊系統的研發

AUV 在水下運作由於是無人系統，若在海中遇到控制程式無法解決的問題，可能導致 AUV 的損失，此時先前所得到的資料，若沒有即時傳出便會跟著損失。先以 MBARI 為例，其 ROV 的訊號透過工作母船由衛星即時傳回 MBARI 的總部。因此不管發生任何狀況，均不會產生資料損失的問題。AUV 的通訊牽涉到由水中到空氣中通訊系統的整合，也是一值得研發的方向。

(7)AUV 群協同運作 3D 模擬系統

AUV 群在海底運作，如何規劃其功能及互相協同的能力，在真正的現場實測前，應先開發 3D 模擬系統，來確認 AUV 群間的互動與協調情形。因為 AUV 實質上是由一中央處理器控制，在模擬系統上模擬與實務上的操作幾乎是一模一樣的，因此模擬系統可確保任務的可靠性，也可用來追蹤與修改現場 AUV 群的任務。對於控制中央處理器的即時模擬系統的應用與開發，例如 Linux 系統的應用，也是一必須配合的工作。

由以上 AUV 的發展，可以看出水下載具的研發，不論在配備與運作上，傾向於立體配置、協同操作、網路型態監控的方向，雖然由此次參訪，發現 AUV 是國外目前發展的重點，但專家們也都提到在海底蒐集實體(collect

something)及取得物品(get something)方面，ROV 仍可能是較佳的選擇，也就是說，ROV 事實上也是構建水下載具群的要件。因為如此，水下載具的發展必須具備系統的觀念，其中包含了各種不同專業的配合，也因此，我們建議在水下研發體系上，進行以下可能的步驟：

(I) 鼓勵跨自然與工程處的協同研究

AUV 的研發是工程領域的研究主題，但 AUV 的主要研究對象是海洋科學領域的研究主題，如海洋地質、海洋物理、海洋化學、海生生物及海洋氣象等。工程領域與科學領域分屬國科會不同處的業務，建議國科會鼓勵跨領域的協同研究計畫，MBARI 即是一領域整合最佳的例子。科學研究人員可以有工程研究人員的設備支援而可以開發新的研究領域，工程研究人員亦可因科學研究的需求，更進一步提升工程領域的研究成果。

(II) 水下載具系統整合的人員培訓與招攬

國內造船相關科系近年來大都將系名朝向“系統工程”修改，也都希望進行系統相關的研發，而要發展自己的特色，應不在於招攬其他科系可提供之不同專業人員，而在於可以進行系統整合的專業人員，由於造船工業原本就是一系統主導的工業，因此在此方面相關各院校是足以升任的。

(III) 對水下技術基礎研究的加強

雖然 ROV 技術在國外已相當成熟，但在國內仍屬於起步階段，其基礎研究能力仍待加強，並以發展本土化之特殊功能之 ROV 為目標，亦可同時培

養並提升 AUV 之自製能力。

(IV) 水下載具相關工業的培植

國內水下載具的發展，可以看到的最大瓶頸是沒有相關工業的配合支援，這種情況下，研發的結果可能都是為人作嫁，此次的參訪，我們發現國內有很好的實驗與研發設備，也就是在“學”上面已有一定的基礎，如何在這基礎上，使得水下與海洋工程的相關工業(“產”)萌芽成長，應是政府力量(“官”)介入的最好切入點。如果國科會的大小產學計畫、經濟部的科專計畫能重點支持，由工研院與聯合船舶設計發展中心引導業者投入，不論是監測儀器的整合開發、導航儀器引進與修改、載具的製造應用等都可以逐漸建立。我們也希望對於水下與海洋工程產業的態度應是要或不要，而不能單純由市場機制決定，此次參訪的各機構，以及我們所知的不同國外相關研發機構，事實上大都是由政府科專計畫以及私人特定基金所支持的，而由他們研發成果對於人類未知領域的開展與啟發—不論是人類生存空間的延續、各類能源的探究開發與保護，可以由研究人員熱誠與滿足看出，而歸根結柢，理由應該是很簡單的，那就是海洋佔了地球的 70% 面積。

有關海洋工程與海域空間以及海洋深層水，尤其是水資源方面，可與夏威夷大學及 Oceanit 公司加強聯繫合作，他們的確有許多創新措施與新的觀念值得我們參考。



相片一：參訪 夏威夷大學土木工程系教學研究設備, Prof Teng (左二), Prof. Liu(右二)



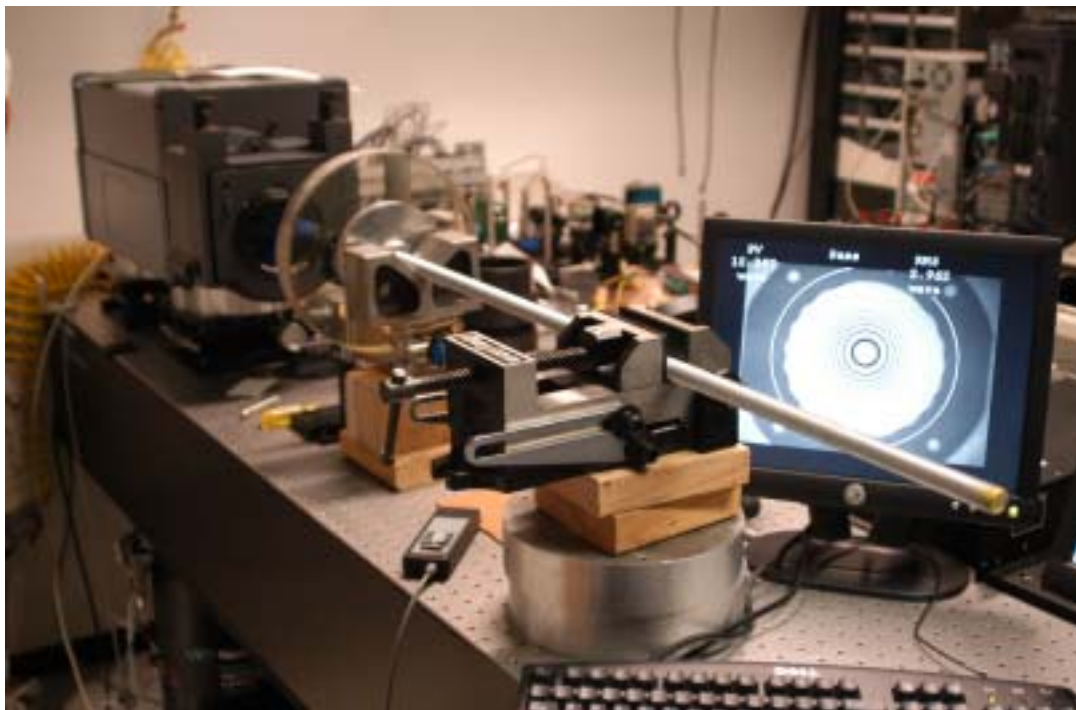
相片二：拜訪陳惠發院士



相片三：夏威夷用水系統說明



相片四：參觀夏威夷地下水源



相片五：Oceanit 研發實驗室之光學防振桌



相片六：拜訪 NPS Prof. Steven



相片七：NPS 的自主式水下載具 ARIES



相片八：NPS 的自主式水下載具 REMUS



相片九：NPS 水下量測 AUV



相片十：MBARI 創辦人 David Pakard



相片十一：MBARI 以 ROV 進行深海岩心鑽探



相片十二：MBARI 的自主式水下載具



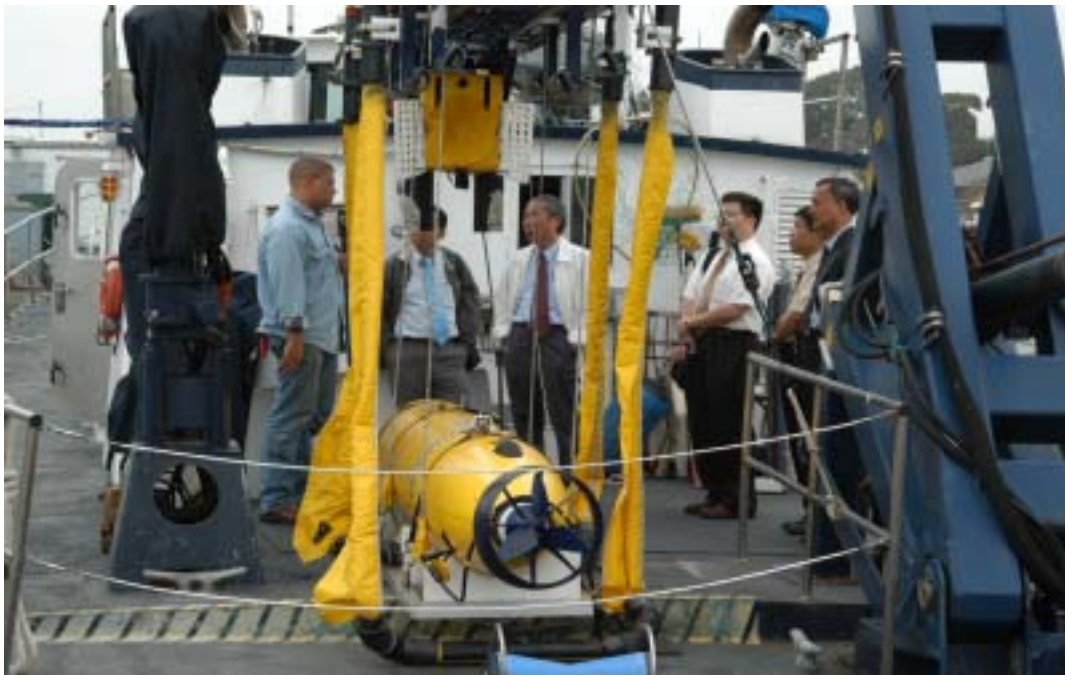
相片十三：與 MBARI Dr. James 簡報討論



相片十四：MBARI 的 ROV 由現場傳回的即時深海影像



相片十五：MBARI 之研究 ROV 之一



相片十六：參觀 MBARI 研究船