

99-72-7481

MOTC-IOT-98-H2DB008

# 智慧型太陽能遙控近岸測量船 之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

99-72-7481

MOTC-IOT-98-H2DB008

# 智慧型太陽能遙控近岸測量船 之研究(1/4)

著者：邱永芳、郭振華、張富東、蔣敏玲

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目資料

智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究. (1/4) /

邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部  
運研所, 民 99. 05

面； 公分

參考書目： 面

ISBN 978-986-02-3611-8 (平裝)

1. 船舶 2. 太陽能發電 3. 導航 4. 遙感探  
測

444.11

99009567

智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究(1/4)

著 者：邱永芳、郭振華、張富東、蔣敏玲

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 99 年 5 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009901778

ISBN：978-986-02-3611-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

99  
智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究  
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1009901778

定價：100 元

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-3611-8（平裝）	政府出版品統一編號 1009901778	運輸研究所出版品編號 99-72-7481	計畫編號 98-H2DB008
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：張富東、蔣敏玲、蓋美瑛 聯絡電話：04-26587115 傳真號碼：04-26564418	合作研究：國立臺灣大學 計畫主持人：郭振華 研究人員：馬玉龍、李定橋、邱奕倫 地址：台北市羅斯福路4段1號 聯絡電話：02-33665739		研究期間 自98年3月 至98年10月
關鍵詞：無人船舶、導航定位、AIS，太陽能、路徑控制、海洋測量。			
摘要：  <p>本計畫之研究目標為設計、製作與測試一具自主式無人工作小船，此無人工作船採用穩定之船型設計，利用太陽能與充電電池驅動。本計畫研究內容包含建立自主式無人船舶之精密導航定位與路徑追隨自動控制系統，以及自主式無人船舶之路徑規劃與任務控制系統設計。此工作船配備船舶自動識別系統，可形成船隊船、船對岸之無人船舶量測網路，並可攜帶多種量測儀器，自動施行港口之大範圍以及長時間定點之水深、水流剖面、地形、沈積物資料蒐集與測量等工作，且可將資料藉由無線電波傳送至岸上之監控電腦。</p> <p>本研究成果將可以提升各港務局水深測量、海巡署搜救、各學術單位海岸調查、內政部國土測繪等無人遙控載具的運用與工作效率。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99年5月	100	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Solar-Powered Autonomous Surface Craft for Near-Shore Marine Observation (1/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3611-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901778	IOT SERIAL NUMBER 99-72-7481	PROJECT NUMBER 98-H2DB008
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Chang Fu-tung, Chiang Min-ling, Kai Mei-ying PHONE: 04-26587115 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO October 2009
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Guo Jen-hwa PROJECT STAFF: Ma Yu-long, Li Din-chao, Chiu I-lun ADDRESS: No.1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-33665739			
KEY WORDS: ASV, navigation, positioning, solar power, trajectory control, marine environmental monitoring			
ABSTRACT: <p style="margin-left: 40px;">The objective of this project is the development and integration of advanced technological systems to achieve an operation of an Autonomous Surface Craft (ASC) ensuring a fast data collecting and stable station keeping platform in a harbor and near-shore or shallow water environment. Research issues are examined including ASC design and advanced control, guidance and mission control.</p> <p style="margin-left: 40px;">The analysis and design methodology developed for this project will lead to deeper understanding of ASC systems that are efficient for marine observations. The advantages are expected that, in addition to being safer and less expensive than manned vehicles, this robotic vehicle can be effective for bathymetric survey, environmental monitoring and sampling, and coastal defense tasks.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2010	NUMBER OF PAGES 100	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目 錄 .....	III
圖 目 錄 .....	V
表 目 錄 .....	VII
第一章 前 言.....	1
第二章 自主式無人船舶設計 .....	7
2.1 無人船舶之主要元件與規格 .....	9
2.2 船型設計.....	19
2.3 船體阻力估算 .....	23
2.4 耐海性能預估 .....	27
第三章 太陽能供電系統設計 .....	33
3.1 太陽能發電系統組件特性 .....	33
3.1.1 太陽能電池.....	33
3.1.2 鋰電子電池特性.....	38
3.1.3 負載特性 .....	41
3.2 無人船太陽能發電系統模擬 .....	43
3.3 模擬結果與討論 .....	54
第四章 結論與建議 .....	57
4.1 結論.....	57
4.2 建議.....	58
4.3 效益與應用情形.....	58
參考文獻 .....	R-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附 1-1

附錄二 期末報告審查意見處理情形表.....	附 2-1
附錄三 期末報告審查簡報資料.....	附 3-1

## 圖目錄

圖 2.1 以船舶自動鑑定系統(AIS)為基礎之無人船遙控架構 .....	8
圖 2.2 自主式無人船舶設計與儀器配置概念 .....	8
圖 2.3 OTRON Torn UAIS TR-2500 外觀 .....	12
圖 2.4 水面攝影機 .....	13
圖 2.5 Model 1020 直流無刷推進器外觀 .....	15
圖 2.6 Workhorse Navigator Doppler Velocity Log WHN1200 外觀 .....	16
圖 2.7 NP12-12 外觀 .....	17
圖 2.8 eBOX530-820-FL 外觀 .....	18
圖 2.9 無人船外形 .....	21
圖 2.10 無人船的座標系及主要尺度 .....	21
圖 2.11 設計船型的殘餘阻力圖 .....	23
圖 2.12 設計船型的摩擦阻力圖 .....	23
圖 2.13 $L/D=6$ 的阻力圖 .....	24
圖 2.14 $L/D=12$ 的阻力圖 .....	25
圖 2.15 $d/D=2$ 的阻力圖 .....	25
圖 2.16 $d/D=3.5$ 的阻力圖 .....	26
圖 2.17 $2b/L=0.25$ 的阻力圖 .....	26
圖 2.18 $2b/L=0.6$ 的阻力圖 .....	27
圖 2.19 波高=0.5m, 不同週期對起伏運動的影響 .....	29
圖 2.20 波高=0.5m, 不同週期對縱搖運動的影響 .....	30

圖 2.21	波高=0.5m, 不同週期對橫搖運動的影響 .....	30
圖 2.22	週期=4.8s,不同波高對起伏運動的影響.....	31
圖 2.23	週期=4.8s,不同波高對縱搖運動的影響.....	31
圖 2.24	週期=4.8s,不同波高對橫搖運動的影響.....	32
圖 2.25	無人船體之照片，目前正進行系統整合測試.....	32
圖 3.1	太陽能電池等效電路.....	34
圖 3.2	(KI-PSP-130)在標準環境(1000W/m <sup>2</sup> 25°C)下的 I-V 曲線.....	37
圖 3.3	(KI-PSP-130)在標準環境(1000W/m <sup>2</sup> 25°C)下的 P-V 曲線.....	37
圖 3.4	鋰離子電池的開路電壓與 SOC 的關係[6] .....	40
圖 3.5	鉛酸電池的開路電壓與 SOC 的關係[25] .....	40
圖 3.6	工業電腦 eBOX530-820-FL 外觀 .....	42
圖 3.7	AIS 運作所需功率之實測 .....	42
圖 3.8	負載之 Duty ratio 定義[26].....	43
圖 3.9	無人船太陽能發電系統連接方式.....	44
圖 3.10	太陽方位定義[29] .....	45
圖 3.11	傾斜面上所受的日照強度[29] .....	49
圖 3.12	獨立型太陽能發電系統流程.....	50
圖 3.13	無人船太陽能發電系統之系統模擬流程圖.....	52
圖 3.14	由中央氣象局所購得之 2008 年太陽輻射量.....	53
圖 3.15	MATLAB 程式中使用者必須輸入之資訊.....	53
圖 3.16	不同電容量在各個月份之 LLP.....	54
圖 3.17	1800Wh 在不同負載耗電量下之各個月份 LLP.....	55

## 表 目 錄

表 2.1	AIS Message6 格式 .....	11
表 2.2	JOTRON Torn UAIS TR-2500 規格.....	13
表 2.3	水面攝影機規格.....	14
表 2.4	Model 1020 直流無刷推進器基本規格 .....	15
表 2.5	Workhorse Navigator Doppler Velocity Log WHN1200 規格.....	16
表 2.6	NP12-12 基本規格 .....	18
表 2.7	eBOX530-820-FL 規格 .....	19
表 2.8	無人船各項尺寸.....	22
表 2.9	船速資料.....	28
表 3.1	太陽能板模組(KI-PSP-130)規格 .....	36
表 3.2	季節相關係數[29] .....	47

## 第一章 前言

本計畫之目的為建立太陽能驅動之智慧型無人船舶，研發近岸海洋資料蒐集、測量、資料傳送與輔助救難之自動控制船舶相關技術。具有自動導航定位功能、攜帶多種探測儀器、使用太陽能與充電電池驅動之自主式無人船舶系統，可以做為海洋研究資料蒐集、測量與海上救難之輔助工具。在近岸、淺水域之工作之研究測量船隻，其作業之困難為無法做精確的路徑控制、測量信號受到風浪影響容易受到干擾，且工作小船之操縱需要人力，推進速度過高不利資料精度等，這些工作條件使得近岸海域研究與測量工作之成本昂貴且費時，在海況惡劣時甚至會危及人員的安全。本計畫之研究目標為設計、製作與測試一具自主式無人工作小船，採用穩定之船體設計，利用太陽能與充電電池驅動，建立其在淺海區域之精密導航定位與路徑追隨自動控制系統。此工作船可攜帶多種量測儀器，自動施行港口之水深、水流剖面、地形、沈積物資料蒐集與測量等工作，且可將資料藉由無線電波傳送至岸上之監控電腦。

自主式無人船舶(Autonomous Surface Craft; ASV, 或稱 Unmanned Surface Craft; USV)為 1990 年之後，基於衛星導航技術之大幅度進展而衍生出之構想與成品[1,2]，以做為海上之自動化資料蒐集與無人觀

測站。ASV 最新的研究主題在於提昇現有系統的技術水準，而主要的挑戰為：如何延伸水平通訊距離，以與操作母船或陸基做高頻聯繫；如何有效地施放與回收；如何提昇能源效率與從環境擷取能源；如何增進自主性能及提高可靠度等。近來新興的研究課題，則涵蓋連結 ASV 與自主式水下載具、無人飛行器的網路架構與載具之間的協同控制問題[3]。文獻[4]為一教學用 ASV 的設計架構，而文獻[5-9]則詳述 5 具最新的海洋科學用 ASV 的設計與導航控制系統之研發成果。文獻[10]展示使用 ASV 最為自主推進的海洋研究浮標的觀念，可以輔助傳統浮標需要長繫纜與維護不易的困擾，若結合多具 ASV，長期定位於海洋特定位置，則可形成一自主式的海洋觀測網路，十分有利於獲取長期、即時、大範圍的同步海象資料，對於海洋、大氣的研究與預報等提供目前所無法獲得的珍貴數據，將為未來研究 ASV 系統設計之主流方向。

本計畫所建立之無人船具有網路遙控功能，計畫成果可直接延伸成為海洋量測之無人船舶團隊，本計畫所研究之自主式無人船舶系統具備下列功能：

- 1.具有波浪與洋流中動態定位的能力；
- 2.可以量測各自由度之船舶運動；
- 3.具有目標點追蹤、自動化海域測量路徑規劃、測量路徑之導航追蹤的功能；

- 4.具有數據無線傳送、遙控運動控制與參數修改，以及量測儀器之遙控操作等介面；
- 5.具有長時間海上作業能力；
- 6.可彈性配掛不同的測量儀器，以支援不同的任務；
- 7.船體為模組式設計，易於拆裝搬運。

根據上述目標，本計畫擬研究下列必要課題：

1. 自主式無人船舶之船體設計
2. 自主式無人船舶之電路系統設計
3. 自主式無人船舶之操控系統設計
4. 自主式無人船舶之定位導航系統設計
5. 自主式無人船舶之路徑規劃與任務控制系統設計

本研究以四年為期，分年工作項目與主要研究內容如下：

1. 98 年度：自主式無人船舶之船體與電路系統設計

內容：建立自主式無人船舶船型、船體結構與電源電路系統。船體設計之重點為低阻力、高耐海性能、優良的穩定性與操控性、大空間以容納量測儀器。電路系統設計重點為太陽能與充電系統之設計、電能管理系統、推進與儀器用電路設計。

2. 99 年度：自主式無人船舶之操控系統設計

內容：建立舵機與螺槳轉速控制之類比系統、建立可程式邏輯控制器與無線數據傳輸、遙控操作介面，以及建立系統硬體監控程式。

### 3. 100 年度：自主式無人船舶之定位導航系統設計

內容：建立船舶定位之 DGPS 系統、整合衛星定位、方向計與都卜勒聲納導航資訊、船舶系統鑑定、建立船舶自動駕駛程式。

### 4. 101 年度：自主式無人船舶之路徑規劃與任務控制系統設計

內容：整合電子海圖與無人船舶之操控介面、建立自動測量路徑規劃程式、整合路徑規劃程式與自動駕駛程式。

本計畫預期可獲得下列成果：

1. 掌握自主式無人船舶系統之研發能力，建立海洋量測自動化作業技術。
2. 建立自主式無人船舶在淺海與碎浪區域之精密導航定位。
3. 建立自主式無人船舶路徑追隨自動控制系統。

本計畫效益及其應用：

1. 預期效益可以提升各港務局水深測量，海巡署搜救，各學術單位海岸調查，內政部國土測繪等無人遙控載具的運用，避免人力浪費。
2. 可以應用於提升國內自製的智慧型太陽能遙控船的技術能力。
3. 可以應用於提升水深測量、水流剖面、地形、沈積物調查時之遙控載具。
4. 可以應用於無人船舶利用無線電波監控之技術。

本報告為第一年之期末報告。本研究之成果在未來可以進一步延伸為架構在無線網路上之無人船隊系統，藉由無人船隻間之相互通訊，可以施行大規模的海岸測量與監控。

## 第二章 自主式無人船舶設計

本章介紹自主式無人船舶之系統規劃與元件規格。無人船舶系統的遙控與通訊架構如圖 1 所示。船舶通訊系統採用市售之船舶自動識別系統(Automatic Identification System, 簡稱 AIS), 分別在無人船舶與地面控制站上裝置各一套 AIS 裝置。地面控制站之顯示器上安裝電子海圖顯示系統, 將電子海圖與船舶定位及路徑資訊即時重疊標示於海圖上, 以供操作人員確認船舶位置, 並可經由鍵盤或觸控螢幕輸入路由點, 或修改無人船舶路徑, 以控制無人船舶之路徑。由無人船舶傳回之即時資料與衛星時間連結, 儲存於資料庫以供分析與查詢。使用 AIS 通訊之優點為其介面格式為標準規格, 可與海上其他船舶互相標定相對位置, 以互相識別及方便海域船舶管理, 而其通訊距離可達 40 海哩, 可有效延展無人船舶之海洋測量範圍。其可能缺點則為使用標準通訊格式, 限制通訊內容之彈性及通訊容量。例如, 影像資料或大量之水文資料傳送皆會受通訊頻寬之限制。因此如何修改 AIS 通信限制, 克服此頻寬限制, 使船舶間可傳送大量資料與指令為本計畫技術發展重要目標之一。

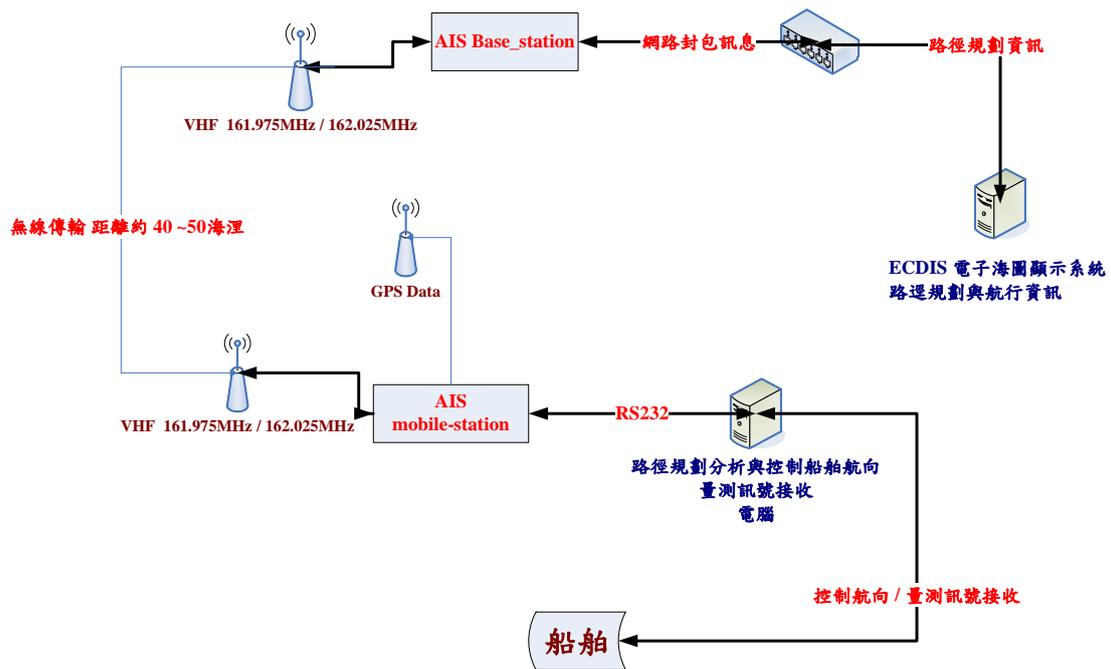


圖 2.1 以船舶自動鑑定系統(AIS)為基礎之無人船遙控架構

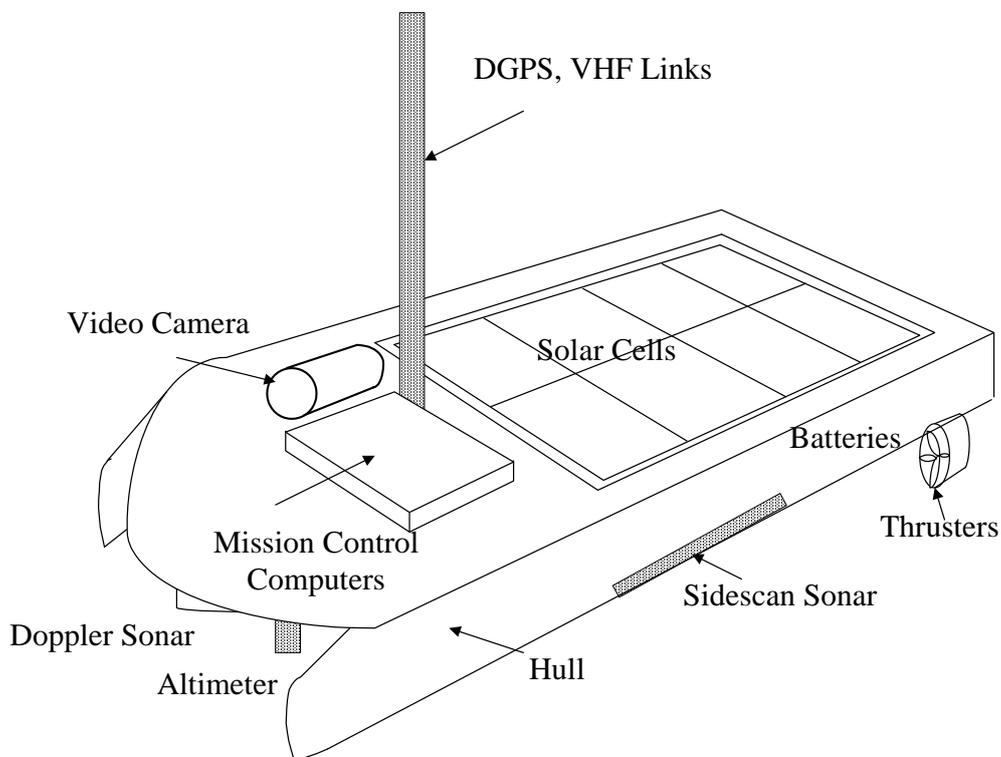


圖 2.2 自主式無人船舶設計與儀器配置概念

本計畫所規劃之自主式無人船之組成由沈浸於水中之二具長型電池圓桶為主結構，在此結構上，在水中裝置導航聲納、二具平行推進螺槳、測深聲納，以及側掃聲納。在水面上，則配置太陽能發電系統、控制電腦、AIS、與攝影機等。

## 2.1 無人船舶之主要元件與規格

### (1) 船舶自動識別系統(AIS)

AIS 是由船艦飛機的敵我辨識器發展而成，配合全球定位系統(GPS)，傳輸船舶之靜態訊息(Static Information)、動態訊息(Dynamic Information)以及航程相關訊息(Voyage Related Information)等，其中，靜態訊息包括船舶之 IMO 編號、呼號與船名、船長與船寬、船舶類型以及 AIS 天線固定位置，動態訊息包括船舶位置、協調世界時(Coordinated Universal Time; UTC)、對地航向(Course Over Ground; COG)、對地航速(Speed Over Ground; SOG)、船艏向(Heading)、航行狀態、轉率等，而航程相關訊息則包括吃水、危險貨物、目的港口與預定到達時間等。將這些資訊藉由特高頻海事無線電話(VHF)頻道向附近水域船舶及岸台廣播，使鄰近船舶及岸台能及時掌握附近海面所有船舶的動靜態資訊，並採取必要避讓行動因應，對船舶航行安全非常重要。

AIS 使用 VHF 頻段傳送訊息，所以 AIS 設備的成本相對於雷達設備要低，然而它的涵蓋範圍也較廣。也就是說在 VHF 涵蓋範圍內，只要有配備這套 AIS 系統，都能互相傳遞資訊，而它又可分為「船對船」或是「船對岸」兩種方式來傳遞與接收訊息。使用 SOTDMA 技術的 AIS，擁有快速的資料更新率，能夠更掌握船舶動態資訊，縱使船舶位於屏障物眾多的河道、峽灣或群島中，AIS 能夠建立起區域網路(LAN)來互相傳送資訊。由於這種特性，AIS 將為船舶提供一種有效的避碰措施，並增強雷達功能。而且，由於安裝 AIS 的船舶的航行訊息都是無線通訊傳播，因此當地 VTS 站也可以收到。為處理 AIS 訊息，VTS 只需配有 AIS 基站，操作員無須逐個查詢船舶，利用 AIS 就可以獲得所有裝有 AIS 船舶的完整的交通動態訊息。

AIS 除了加強了船舶間避免碰撞的措施，還增強了 ARPA 雷達、船舶交通管理系統、船舶報告的功能，在電子海圖上顯示所有船舶可視化的航向、航線、船名等訊息，改進了海事通信的功能，提供了一種與透過 AIS 識別的船舶進行語音和文本通信的方法。

AIS 包含兩個 VHF 的 TDMA 接收機與一個 VHF 的 TDMA 發射機，一個 VHF(DSC)的接收機，GPS 衛星導航接收機及微處理機，與可連結其他系統與設備的通訊鏈路。微處理機將船名、船舶識別碼、對地航向、船速及位置等航行資訊形成一個封包，再經過 VHF 透

過無線電的方式來傳播，只要在 VHF 的涵蓋範圍並且有裝 AIS 設備的船舶或是基地站，皆可接收這些資訊。

基於 AIS 的這些特性，我們可以利用 AIS 將岸上基地站欲傳送給無人船之指令藉由 AIS 傳送，而無人船的航行資料也可藉由 AIS 回傳給基地站，用來當作下一時刻指令的依據，在 AIS 的眾多 Message 格式中，有空間可以由使用者來決定訊息內容的只有 Message6、Message8、與 Message14，我們選擇 Message6 格式來傳送指令，下列即為 Message6 之格式：

表 2.1 AIS Message6 格式

<i>Parameter</i>	<i>Number of bits</i>	<i>Description</i>		
<i>Message ID</i>	<i>6</i>	<i>Identifier for Message 6; always 6</i>		
<i>Repeat Indicator</i>	<i>2</i>	<i>Used by the repeater to indicate how many times a message has been repeated. Refer to § 4.6.1; 0 - 3; default = 0; 3 = do not repeat any more.</i>		
<i>Source ID</i>	<i>30</i>	<i>MMSI number of source station</i>		
<i>Sequence Number</i>	<i>2</i>	<i>0 - 3; refer to § 5.3.1</i>		
<i>Destination ID</i>	<i>30</i>	<i>MMSI number of destination station</i>		
<i>Retransmit Flag</i>	<i>1</i>	<i>Retransmit Flag should be set upon retransmission; 0 = no retransmission = default; 1 = retransmitted.</i>		
<i>Spare</i>	<i>1</i>	<i>Not used. Should be zero. <u>Reserved for future use.</u></i>		
<i>Binary Data</i>	<i>Max 936</i>	<i>Application Identifier</i>	<i>16 bits</i>	<i>Should be as described in § 3.3.8.2.4.1</i>
		<i>Application Data</i>	<i>Max 920 bits</i>	<i>Application specific data</i>
<i>Maximum Number of bits</i>	<i>Max 1 008</i>	<i>Occupies 1 to 5 slots subject to the length of sub-field Message Content <u>For Class B mobile AIS stations the length of the message should not exceed 2 slots.</u></i>		

Message6 可以讓我們指定發出訊息由哪一台移動站接收，接收

端的 MMSI 號碼在 Destination ID 可指定，而欲傳送指令則包裝在 Binary Data 中。

本計畫已購進兩台 Class A 的 AIS 系統，作為基地站與移動站，AIS 的製造商為 JOTRON 所生產的 Torn UAIS TR-2500，其外觀與基本規格分別為圖 2.3 與表 2.2 所示。



圖2.3 JOTRON Torn UAIS TR-2500 外觀

表2.2 JOTRON Torn UAIS TR-2500 規格

重量	2.8kg
外觀尺寸(L×W×H)	244×108×146 mm
電壓輸入	24VDC +30% / -10%
最大耗電量	100W

## (2) 水面攝影機

本無人船裝設水面攝影機，用來觀測水面環境。攝影機需能防水。本計畫選用防水最高規格的 IP68、由台灣 Tracer 公司所生產的 IP68 SEA(SALT) Water DSP Color Camera，其型號 TS-6051EHPSC，實體相片及規格如圖 2.4、表 2.3 所示。



圖 2.4 水面攝影機

表2.3 水面攝影機規格

Specifications

Model		TS-6050EHP3C / TS-6051EHP3C	
Scanning system		NTSC	PAL
Image sensor (device)		SONY EXVIEW HAD Ultra High Sensitivity CCD Sensor	
Image size		1/3" (approx. 4.8mm x 3.6mm)	
Outer casing material		NYLATRON M	
Screw on front outer casing		SUS316	
Front glass		5mm thickness reinforce glass	
Cable		Sea water cable	
		High Res. & Ex View	High Res. & Ex View
Picture element	All	811 (H) x 508 (V)	795 (H) x 596 (V)
	Effective	768 (H) x 494 (V)	752 (H) x 582 (V)
Horizontal Resolution		550 TV Line	
Minimum illumination		0.01 Lux AGC On 0 Lux Under Infra-red Illumination	
Light Wavelength		400-850nm Infra-red	400-850nm Infra-red
Infra-red Wavelength		780nm To 1100nm	
Optical black elements	Horizontal	3 : in front, 40 : in back	
	Vertical	12 : in front, 2 : in back	
Chip size		6.0mm(H) x 4.96mm (V)	
Synchronizing system		Internal Sync.	
Interface		2:1 interface	
Aperture correction		H aperture V aperture	
Video output level		1.0V(p-p) (75ohms, composite)	
Video S/N ratio		More than 50dB (AGC off)	
Day & Night		Under Light 2 Lux	
White Balance		ATW large range : 2400 °K To 1000 °K	
Electronic iris		Setting ON	
Lens Option		3.6mm, 6mm, 8mm, 12mm	
Auto Exposure(AE) system		Auto electronic iris:1/50 (1/60)-1/100,000 sec	
Back Light Compensation		Active Histogram plus windows weight BLC	
Gamma		1	
Built-in Lens		Board Lens 3.6mm Fixed iris F2.0	
Environmental conditions		Temperature:-10°C to +50°C, Humidity : within 90% RH	
Operating temperature		Temperature:-20°C to +70°C, Humidity : within 70% RH	
Storage temperature		Temperature:-20°C to +70°C, Humidity : within 70% RH	
Power Supply		DC Power Supplied From Coaxial Power Supply Unit / DC+12V	
Power consumption(approx.)		3W	
Dimensions (approx.)		φ 70x L 186.5(mm)	
Weight (approx.)		2.2kgs	
Accessories	Sea water cable	AC x 50M or 100M as optional	
		DC x 30M	
	Stainless Mounting Bracket & Sunshield		
	AC: Coaxial cable Power Supply		
DC: 1A Adaptor			

Coaxial cable Power Supply Specification

To Camera	VS1.0.Vp-p/75 ohm
To Monitor	VS1.0.Vp-p/75 ohm
Camera Power Supply System	DC Constant Current Over Coaxial cable
Maximum Cable Length	AC Type : 50M or 100M optional
	DC Type : 30M
Operating Temperature	Temperature:-15°C to +55°C
Humidity	Less Than 90%
Power Consumption(approx.)	6W
Power Requirements	110V AC/60,60Hz, 230V AC/50,60Hz
Dimensions	106mm(L) x 44mm(H) x 96mm(D)
Weight (approx)	600g

### (3) 推進器

螺旋槳的製造商為Tecnadyne所生產的Model 1020 直流無刷推進器。其外觀與基本規格分別為圖2.5與表2.4所示。



圖2.5 Model 1020 直流無刷推進器外觀

表2.4 Model 1020直流無刷推進器基本規格

水中重量	2.0kg
長度	管線19cm 螺槳34cm
電壓輸入	150VDC
正轉動力	22.7kg
反轉動力	14.5kg

#### (4) 都卜勒聲納

都卜勒聲納可量測船舶與海底或水層之相對速度，為無人船舶輔助GPS導航之主要感測器。都卜勒聲納的製造商為Teledyne RD Instruments所生產的Workhorse Navigator Doppler Velocity Log WHN1200。其外觀與規格分別為圖2.6與表2.5所示。



圖2.6 Workhorse Navigator Doppler Velocity Log WHN1200 外觀

表2.5 Workhorse Navigator Doppler Velocity Log WHN1200 規格

水中重量	6.1kg
外觀尺寸(L×W×H)	201.9×201.9×242.9mm
電壓輸入	20-50VDC
耗電量	3W

此都卜勒聲納能獲得無人船與海床相對速度，提供準確可靠的導

航及位置資訊並可知載具的傾斜狀況與水底之距離，另外此聲納具有羅盤以及溫度計功能，這些功能將有利於使用者進行無人船導航或控制以及收集海洋水文等相關資訊。

## (5) 電池

載具的電源系統分為兩個部份，第一部份是供應螺槳推進的電力，在雙體筒內個別放置 10 個 12 伏的電池串接。另一部份是供應電力給載具上的電腦及感測器，這部份的電力則運用太陽能板電池輔助發電。

螺旋槳電池的製造商為YUASA所生產的NP12-12。其外觀與基本規格分別為圖2.7與表2.6所示。

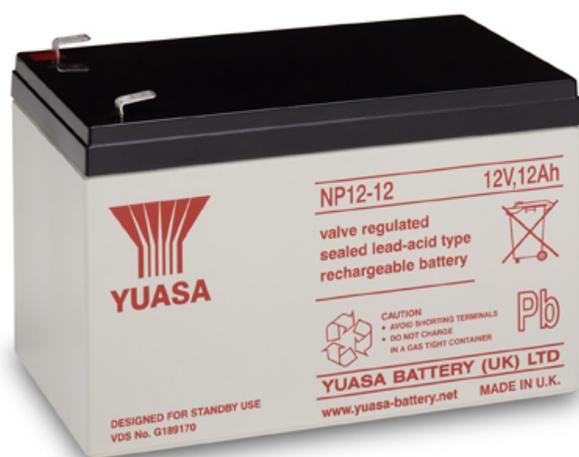


圖2.7 NP12-12 外觀

表2.6 NP12-12 基本規格

供應電壓	12VDC
外觀尺寸(L×W×H)	151×98×97.5mm
重量	4Kg
電池容量	12Ah

## (6) 電腦

由於電腦以及其他感測器設備都是運用太陽能供給電力，故在選用電腦時希望可以降低消耗功率以利每次任務進行時間。本計畫選用以 Intel Atom 處理器為基礎之的嵌入式工業電腦，以達到省電目的。選用艾訊股份有限公司的 eBOX530-820-FL，其外觀與基本規格分別為圖 2.8 與表 2.7 所示。



圖2.8 eBOX530-820-FL 外觀

表2.7 eBOX530-820-FL 規格

輸入電壓	5VDC
外觀尺寸(L×W×H)	132×95.4×47.5mm
重量	0.5Kg
CPU	Intel® Atom™ Z530 (1.6 GHz)
記憶體	2GB
硬碟	160GB

## 2.2 船型設計

本計畫選用 SWATH 船型作為實驗船，此船型有下列幾項特性：

- (1) 耐波性能佳：本計畫將會利用儀器探測水面與水下資訊，所以需要穩定的航行以利資料的擷取，選擇耐波性能佳的船體將可以避免在航行時的不穩定運動。
- (2) 從船體的構造來看，比起一般船體 SWATH 具有寬廣的平台面積和充裕的使用空間。這將有利於計畫中大型太陽能板的設計以及其他儀器設備(AIS、電腦等)在平台的佈置規劃。
- (3) 操縱航向穩定性好，尤其在低速時的回轉性能較佳。由於本計畫之所有任務皆採用低速航行或船舶原地定位的方式操作，以利聲

學、光學等感測器之運作，這項特點將有助於船體導航定位的準確性和方便性。

(4) 建造成本低，建造時間快。SWATH 幾乎全是平面和圓柱等單純的形狀組成，這將有利於設計、建造及降低成本。

綜合 SWATH 跟其他一般船型的比較，在性能、使用和建造等方面可以看出這種船型擁有優異的耐海性、寬廣的工作平台及良好的操縱穩定性能，因此 SWATH 目前主要被應用在噸位不大而又對耐海性能要求高的船，如海洋水文調查船、客運渡輪等，這些特性皆符合此計劃之需要。SWATH 缺點則在於船體浸水面積較大，相對的摩擦阻力也較大，所以與相當排水量的單體船相比，SWATH 在低速時的阻力會較大。

本計劃選用 FormSys 公司的 Maxsurf 軟體來進行船型的構圖以及尺寸係數的運算及性能。為簡化製作過程，船身皆採用圓形或直線造型，圖 2.9 所示為此船的形狀示意。

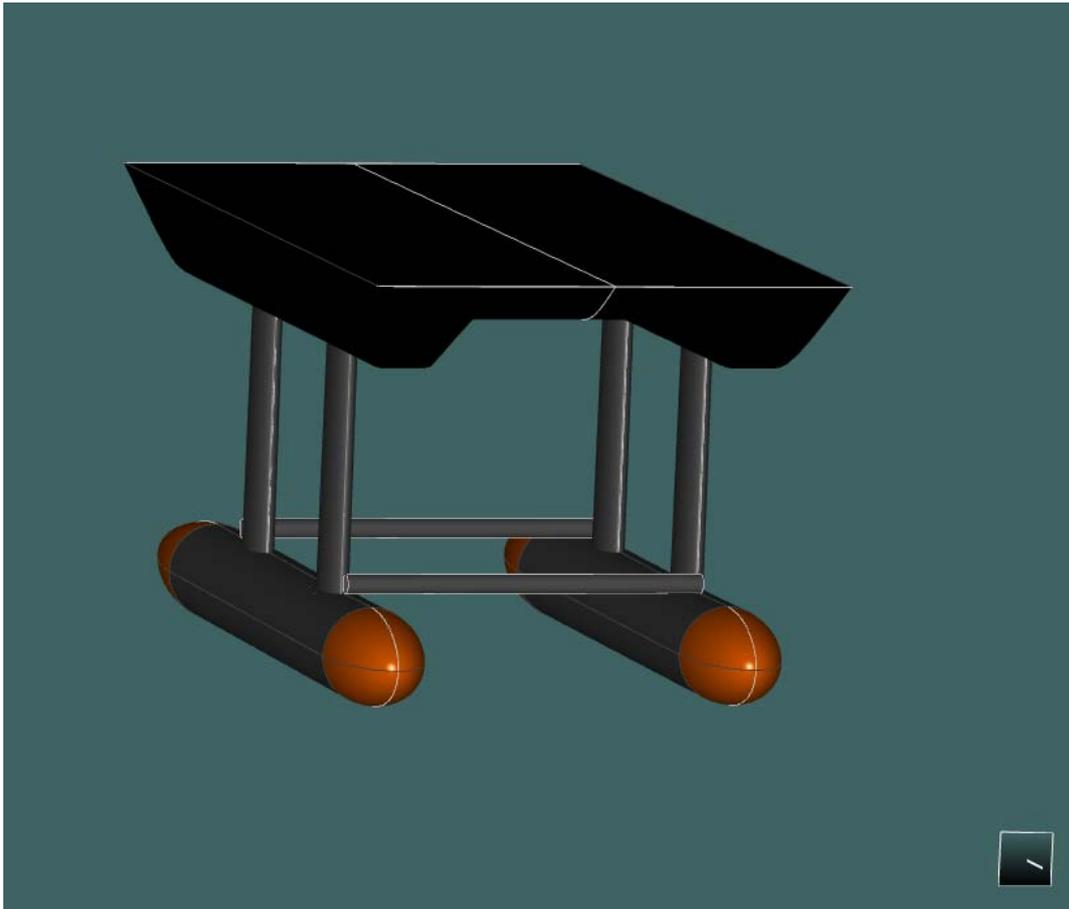


圖 2.9 無人船外形

無人船的座標系及主要尺度如下：

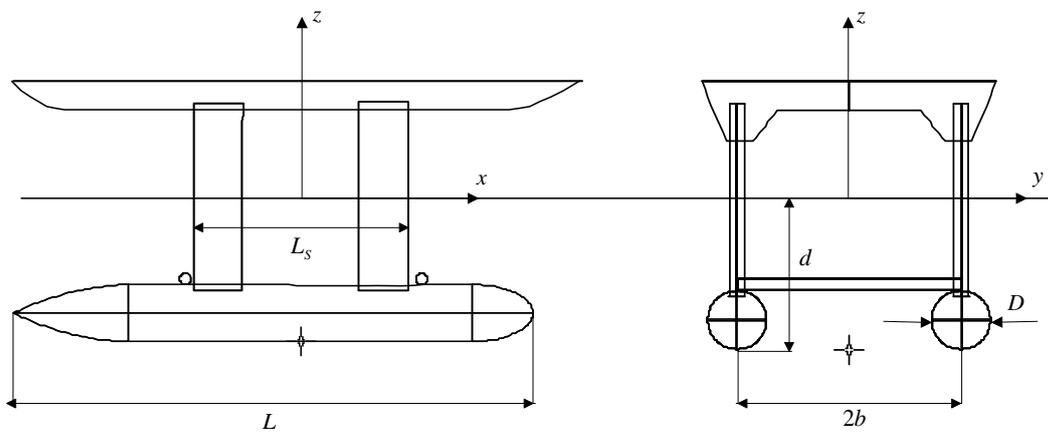


圖 2.10 無人船的座標系及主要尺度

表 2.8 為無人船性能預估所選擇的主要尺寸。圖 2.10 中之各參

數定義如下：

$L$ ：圓筒長度

$L_s$ ：支柱的水線長

$d$ ：吃水深

$D$ ：圓筒直徑長

$2b$ ：兩圓筒之間距

本船的主要規格為  $L=2.25$ 、 $L_s=0.935$ 、 $d=0.7$ 、 $D=0.25$ 、 $2b=0.95$

$L/D = 9$ 、 $d/D = 2.8$ 、 $2b/L = 0.42$ 。

表 2.8 無人船各項尺寸

項目	尺寸	單位
Displacement	0.2159	t
Draft Amidships	0.700	m
Length of main hull	2.25	m
Waterline Length	0.935	m
Beam max extents on waterline	1.016	m
Wetted Area	4.409	m <sup>2</sup>
Waterplane Area	0.041	m <sup>2</sup>
Prismatic coefficient. (Cp)	1.436	
Block coefficient (Cb)	2.518	
Waterplane area coefficient. (Cwp)	0.343	
GMt	0.203	m
GML	0.184	m

### 2.3 船體阻力估算

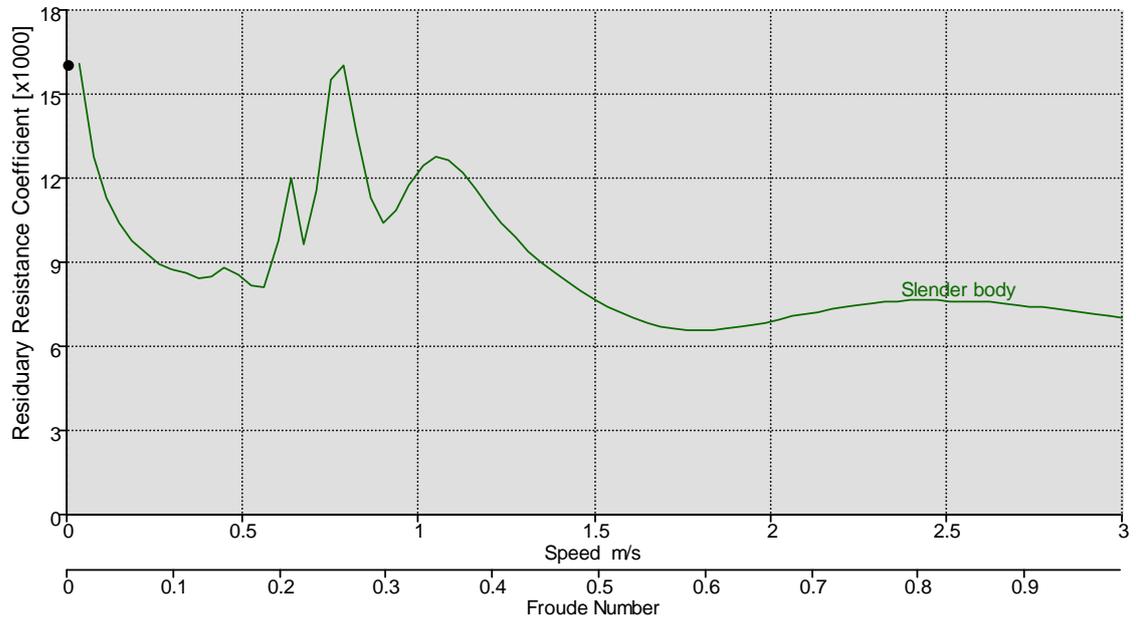


圖 2.11 設計船型的殘餘阻力圖

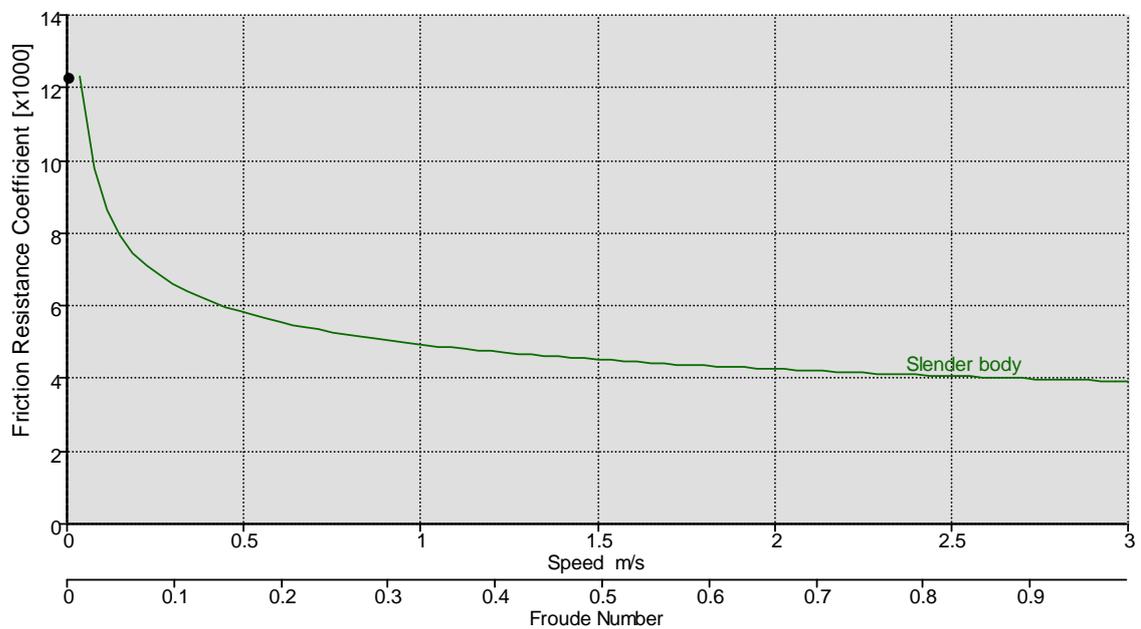


圖 2.12 設計船型的摩擦阻力圖

圖 2.11 與圖 2.12 分別為無人船的殘餘阻力及摩擦阻力的估算。

本船在進行任務時對船速的要求速度需為慢速以利於資料的擷取，故從 Froude number 小於 0.3 時的阻力係數曲線來觀察，綜合圖 2.11 及圖 2.12 來看，有兩處的阻力係數值較小，分別為速度在 0.39m/s( $fn = 0.13$ )以及速度在 0.55m/s( $fn = 0.18$ )時，故任務進行時選擇這兩種速度航行為佳。由此二圖可知，在低速時，摩擦阻力係數約為殘餘阻力係數之 64% ~72%。SWATH 船型在低速時之主要阻力來源為摩擦阻力。

以下討論不同情況下的  $L/D$ 、 $d/D$  以及  $2b/L$  對航行時的阻力影響。

首先討論不同情況下的  $L/D$  對航行時的阻力影響：

(1). 目前的  $L/D = 9$ ，此外預測當  $L/D = 6$  以及  $L/D = 12$  時的阻力係數圖

(2). 目前的  $d/D = 2.8$ ，另外預測當  $d/D = 2$  以及  $d/D = 3.5$  時的阻力係數

圖

(3). 目前的  $2b/L = 0.42$ ，另外預測當  $2b/L = 0.25$  以及  $2b/L = 0.6$  時的阻力

係數。

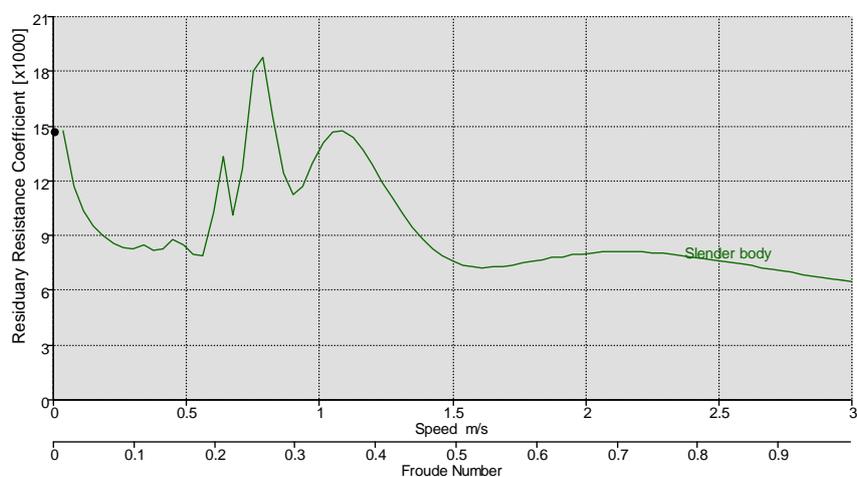


圖 2.13  $L/D = 6$  的阻力圖

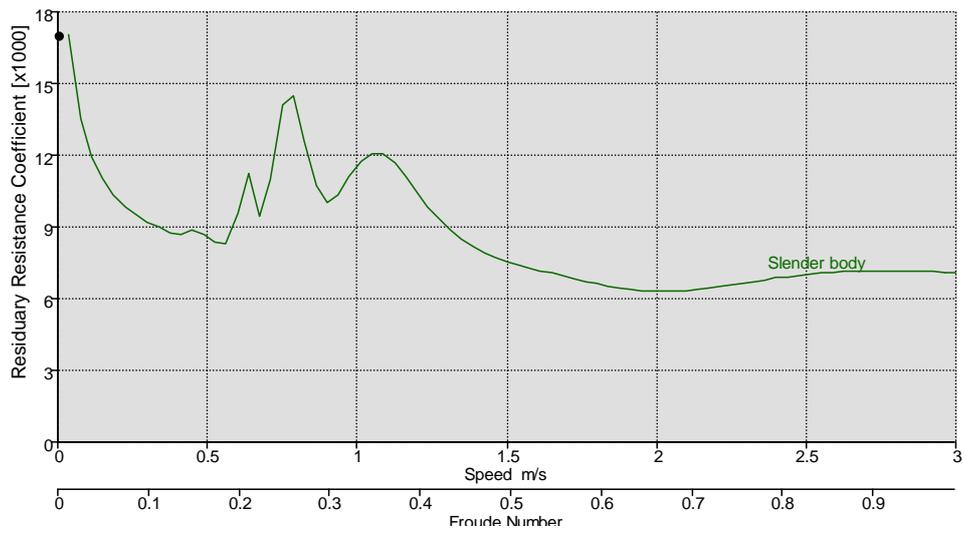


圖 2.14  $L/D = 12$  的阻力圖

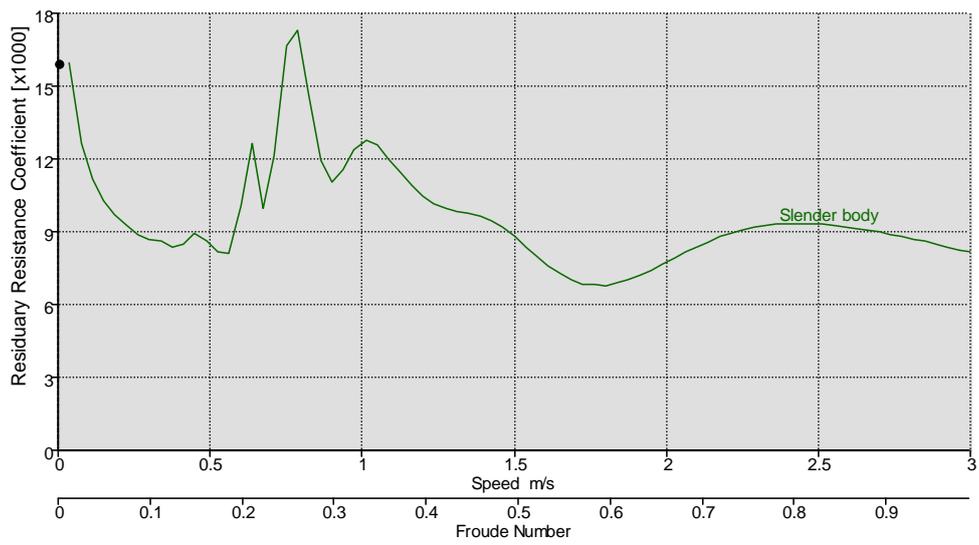


圖 2.15  $d/D = 2$  的阻力圖

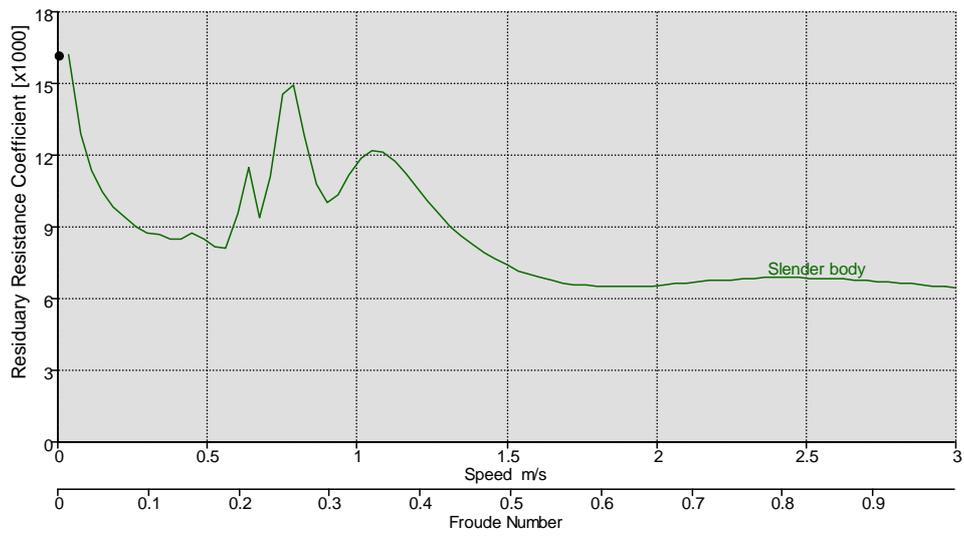


圖 2.16  $d/D = 3.5$  的阻力圖

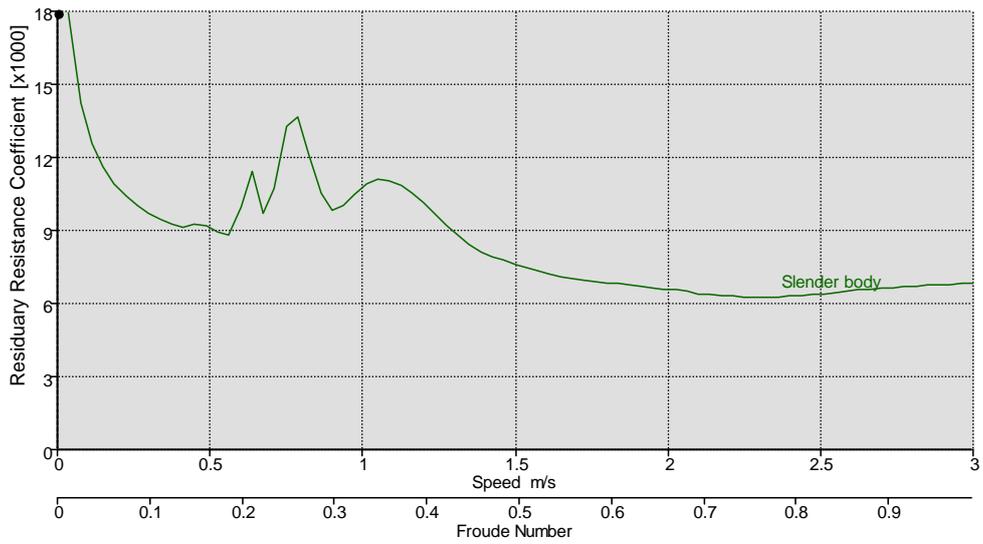


圖 2.17  $2b/L = 0.25$  的阻力圖

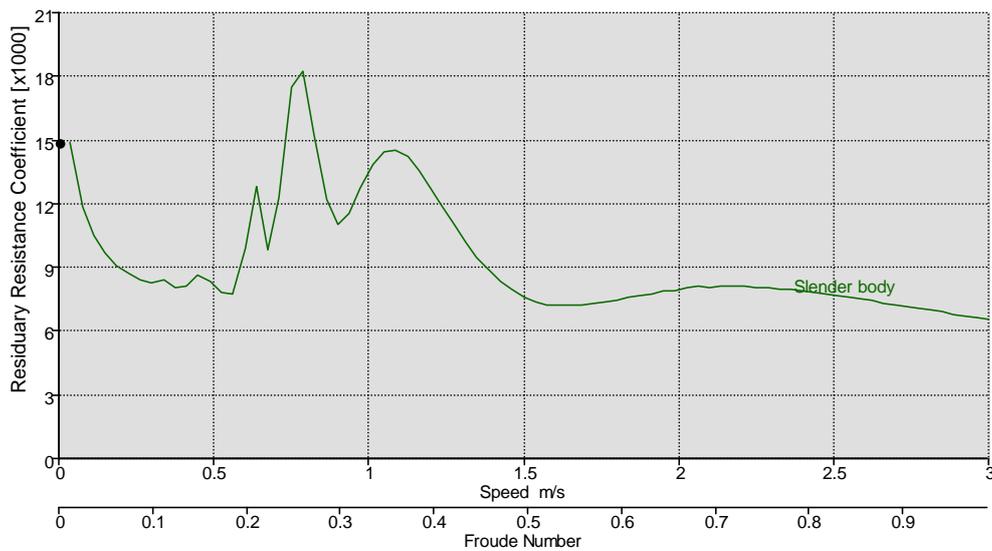


圖 2.18  $2b/L = 0.6$  的阻力圖

由圖 2.13 到圖 2.18 之結果與圖 2.11 比較可知， $L/D = 12$  或  $d/D = 3.5$  或  $2b/L = 0.25$  且速度大於  $fn = 0.2$  時的阻力係數比目前設計的船型要小。但本任務著重在  $fn$  小於 0.2 的速度下，以緩慢的速度航行時，這三項比值對阻力係數並無太大之影響，考慮儀器設備的安裝方便性，因此選定目前的尺寸設計。

## 2.4 耐海性能預估

SWATH 性能的最重要優點是具有優越的耐波性。在波浪中航行時，SWATH 比一般單體船在防止平台上浪有良好的優勢，這個特性可以避免平台上的儀器遭受到海水的波及導致損壞。

本節使用 Seakeeper 軟體進行無人船的起伏、橫搖及縱搖的運動性能估算。其中波浪的資訊參考中央氣象局台灣西部的海象統計數

據，同時假設船體在四種不同速度中行駛(請參照表 2.9)、由阻力預測出最佳的航行的速度 0.38m/s( $fn = 0.13$ )以及 0.55m/s( $fn = 0.18$ )以及較高速時 0.91 m/s( $fn = 0.3$ )。

表 2.9 船速資料

Froude number	Speed(m/s)
0	0.00
0.13	0.38
0.18	0.55
0.3	0.91

從圖 2.19 到圖 2.21 可以得到在不同平均週期下船體起伏、縱搖、橫搖運動結果，由結果可知，在同一波高的情況下週期越大則運動幅度越小。從圖 2.22 到圖 2.24 可以得到不同波高下船體起伏、縱搖、橫搖運動結果，由結果可知，在同一週期的情況下波高越大則運動幅度越大。

根據[30]，工作船的安全航行，縱搖值應不大於 7 度。若船舶裝有聲納裝置，水中存在的氣泡是聲音訊號收及發明顯減弱的一個重要原因，故在設計船載聲納系統時，除了保證音鼓不出水面外，設法不使聲納音鼓與氣泡接觸為一首要考慮。這些氣泡可能因碎波而存在於海洋表面。應使聲納音鼓浸水深度不小於一英尺。

我們可從上面的資訊限制出海條件，由中央氣象局的資料可知，

台灣西岸在 3 到 8 月的平均週期大約為 4.8s，若在此平均週期下波高若大於 0.7m 則船身縱搖值將會大於 7 度，故我們可以限制當平均週期為 4.8s 時波高需小於 0.7m 才能出海。

圖 2.25 所示為本計畫所建造的無人船照片，今年度已完成船體之製作，正在進行組裝以供性能測試。

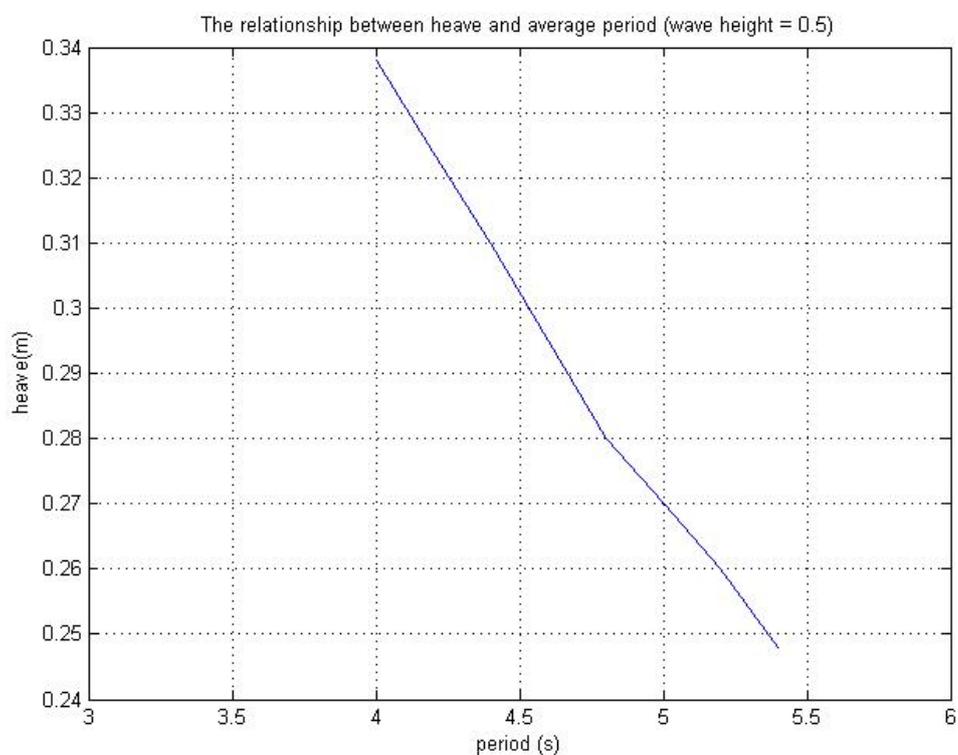


圖 2.19 波高=0.5m，不同週期對起伏運動的影響

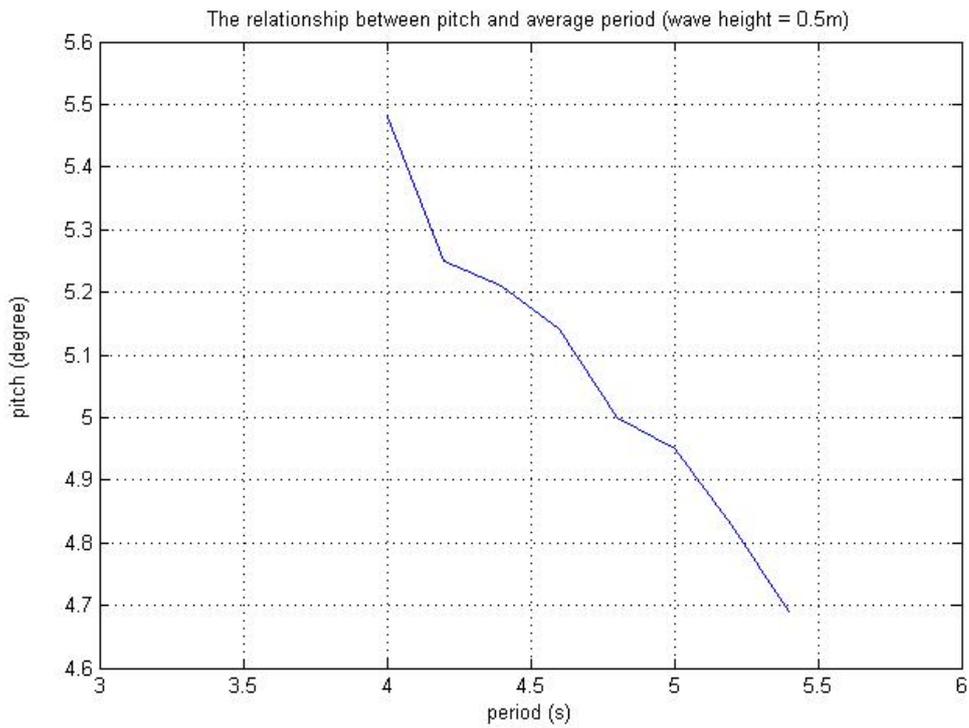


圖 2.20 波高=0.5m, 不同週期對縱搖運動的影響

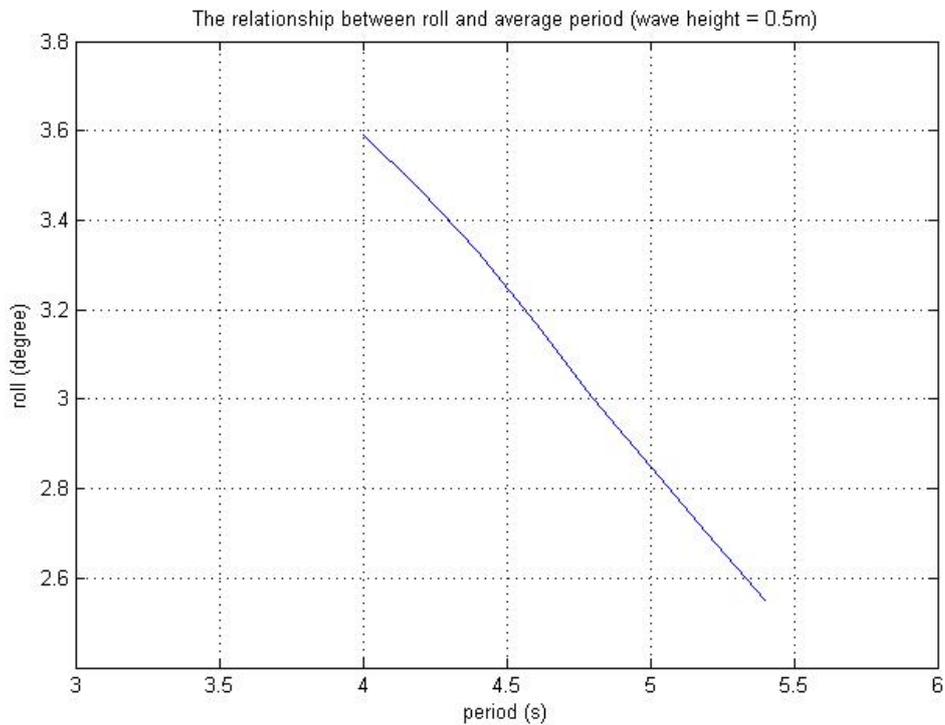


圖 2.21 波高=0.5m, 不同週期對橫搖運動的影響

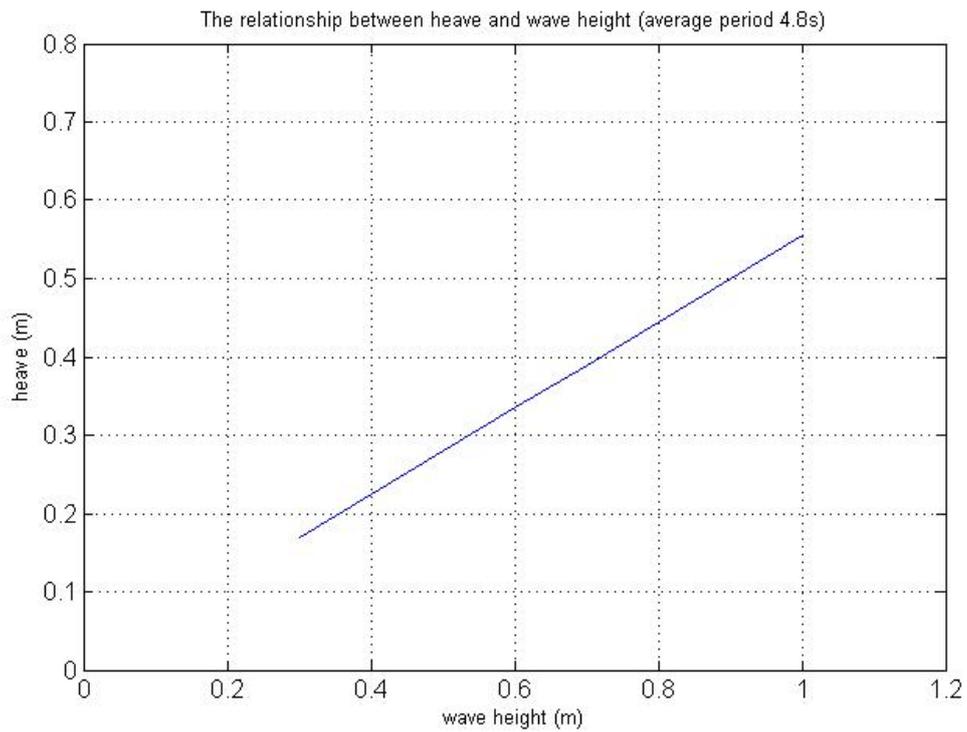


圖 2.22 週期=4.8s,不同波高對起伏運動的影響

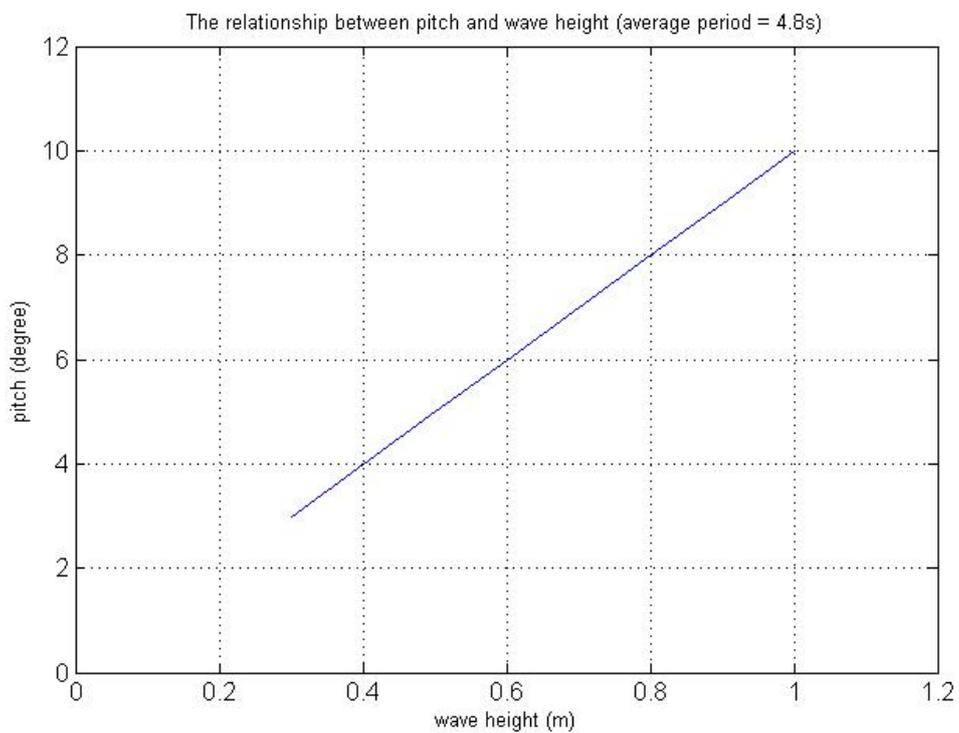


圖 2.23 週期=4.8s,不同波高對縱搖運動的影響

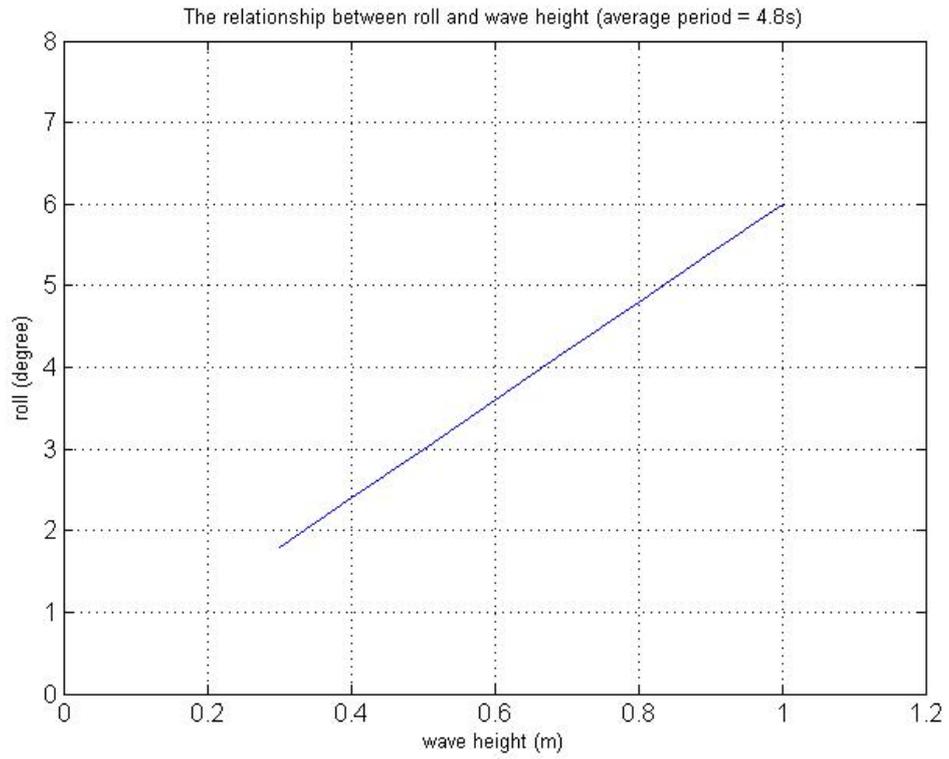


圖 2.24 週期=4.8s,不同波高對橫搖運動的影響



圖 2.25 無人船體之照片，目前正進行系統整合測試

## 第三章 太陽能供電系統設計

本章描述無人船太陽能發電系統之架構。參考國內外太陽能發電系統的分析架構以及系統匹配規格，在考慮採購之太陽能板及無人船內部負載等特性後，建構出應用於無人船的獨立型太陽能發電系統分析模型。同時利用中央氣象局購得之輻射量資料，以 MATLAB 模擬程式來進行整個太陽能電力系統的分析，並使用 LLP(Loss of Load Probability)作為供電之可靠度指標，以評估供電系統是否可以提供負載穩定的輸出電力。

本節分為三個部分，分別是：太陽能發電系統組件特性、太陽能發電系統模擬分析、以及模擬結果與討論。

### 3.1 太陽能發電系統組件特性

無人船的太陽能發電系統主要由三種組件所構成，包括：(1).發電組件－太陽能電池;(2).蓄電組件－鋰電池;(3).負載組件－工業電腦，AIS 及其他感測器。而將這三種組件整合成一獨立系統則需要太陽能控制器。

#### 3.1.1 太陽能電池

一般來說，太陽能電池是由 P-N 接面的二極體所組成，並能將光

能轉換成電能，因此我們可以將太陽能電池視為一獨立電流源來供給負載電力。太陽能電池之等效電路可由圖 3.1 來表示，其中  $I_{ph}$  表示太陽能電池經陽光照射後產生之電流， $D_j$  表示一 PN 接面二極體，而  $R_{sh}$  與  $R_s$  則分別表示材料內部的等效串聯及並聯阻抗[19]，通常  $R_{sh}$  值很小，因此為了簡化分析過程而可將之忽略不計。 $V_{pv}$  及  $I_{pv}$  分別表示輸出至外接負載  $R_L$  的電壓及電流。

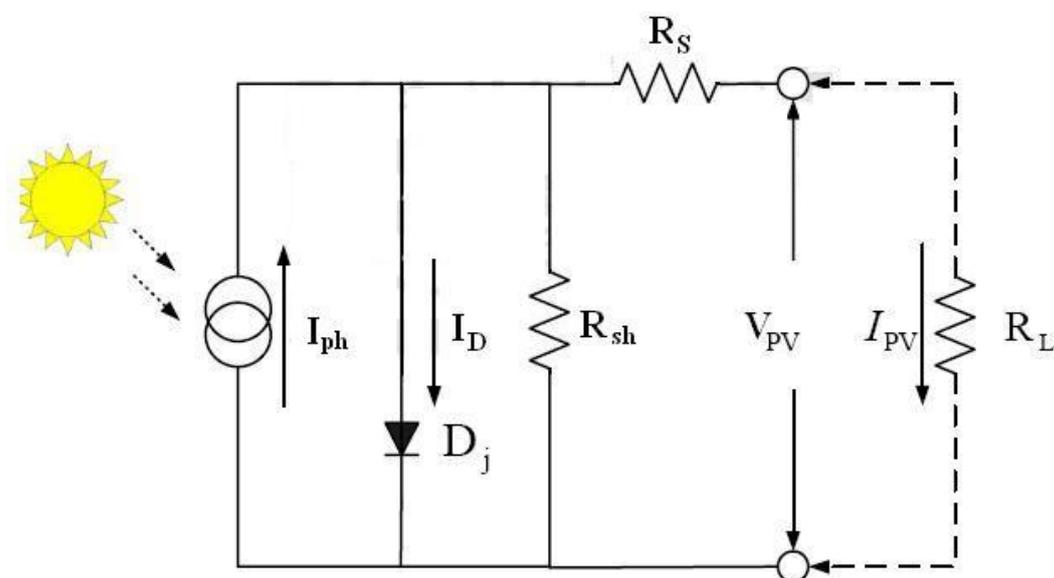


圖 3.1 太陽能電池等效電路

省略  $R_{sh}$  後的電路模型與(Walker, G, 2001)所提出的等效電路模型[20]相同，因此我們可以根據(Walker, G, 2001)的數學方程式將太陽能電池的輸出電流表示成(3-1)式。

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left( e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AK_bT}} - 1 \right) \quad (3-1)$$

上式中各參數定義為：

$I_{pv}$ ：太陽能電池的輸出電流(A)

$V_{pv}$ ：太陽能電池的輸出電壓(V)

$I_{ph}$ ：太陽能電池短路電流(A)

$I_{sat}$ ：二極體的逆向飽和電流(A)

$K_b$ ：波茲曼常數( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)

$A$ ：太陽能電池的二極體因數( $A=1 \sim 2$ )

$q$ ：一個電子所含電荷量( $1.6 \times 10^{-19}$  C)

另外，太陽能電池的逆向飽和電流  $I_{sat}$  與溫度的變化相關，因此可以使用數學方程式(3-2)來表示：

$$I_{sat} = I_{Tr} \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\frac{qE_{gap}}{AK_b} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)} - 1 \quad (3-2)$$

$T_r$ ：太陽能電池參考溫度(K)

$I_{Tr}$ ：太陽能電池在溫度( $T_r$ )時的逆向飽和電流(A)

$I_{Tr}$ ：太陽能電池在溫度  $T_r$  (K)時的逆向飽和電流(A)

$E_{gap}$ ：半導體材料跨越能間帶間隙時所需能量(eV)

而太陽能電池所產生的電流 則會隨著日照強度及溫度變化而改變，其數學方程式為(3-3)

$$I_{ph} = GI_{scr} (1 + K_0(T - T_r)) \quad (3-3)$$

$I_{scr}$ ：太陽能電池於參考溫度和日照強度為  $1\text{KW}/\text{m}^2$  時所量測到之短路電流值(A)

$K_0$ ：太陽能電池短路電流的溫度係數(mA/K)

$G$ ：太陽日照強度( $G=1$  即為  $1000\text{W}/\text{m}^2$ )

從以上的數學方程式可以得知，日照強度及溫度是影響太陽能電池功率的最大因素。藉由聯立(3-1)、(3-2)及(3-3)式，我們可以描繪出太陽能電池的輸出 I-V 曲線及 P-V 曲線在不同的日照強度及溫度下的關係。本計劃所使用的太陽能電池是從貿翔國際有限公司出產之單晶矽太陽能模組(KI-PSP-130)，其詳細的電力規格如表 3.1 所示。

表 3.1 太陽能板模組(KI-PSP-130)規格

Parameter	Symbol	Typ	Unit	condition
Maximum power	Pmax	130	W	irradiance: $1000\text{W}/\text{m}^2$ temperature: $25^\circ\text{C}$
Maximum power voltage	Vpm	17.54	V	
Maximum power current	Ipm	7.45	A	
Open circuit voltage	Voc	21.66	V	
Short circuit current	Isc	7.93	A	
Module efficiency	$\eta$	13.9	%	

將前述之數學方程式(3-1)、(3-2)及(3-3)建立於 MATLAB 中，代入表 3.1 所列出之各項參數後，可以簡單地描繪出太陽能板模組(KI-PSP-130)在日照強度  $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、溫度 25 度的環境下的 I-V 曲線及 P-V 曲線(圖 3.2, 圖 3.3)。

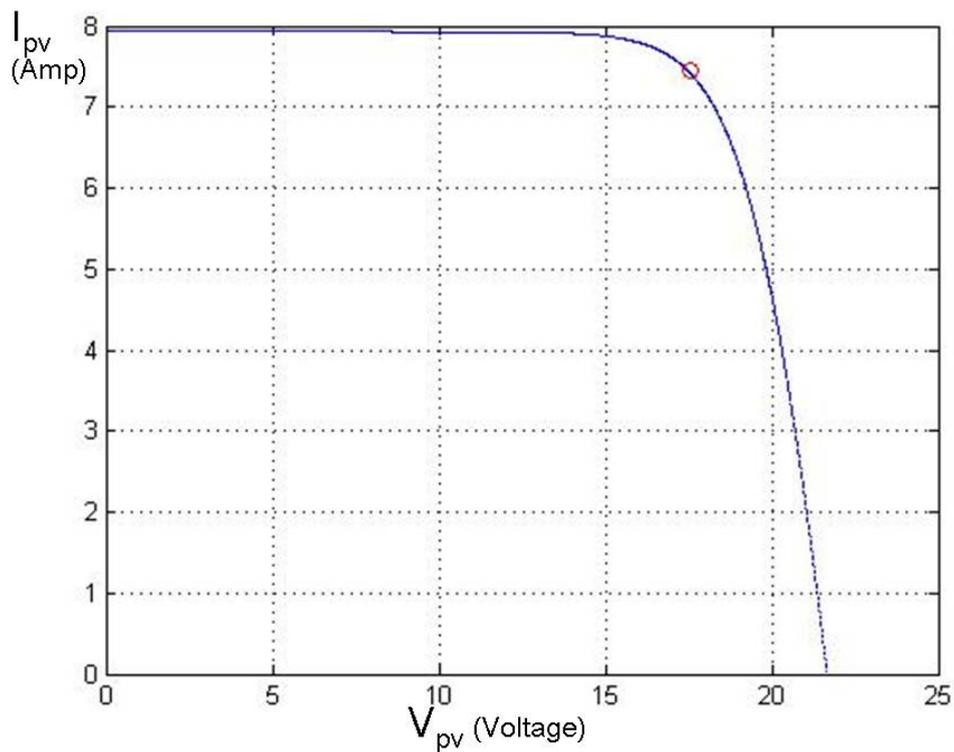


圖 3.2 (KI-PSP-130)在標準環境(1000W/m<sup>2</sup> 25°C)下的 I-V 曲線

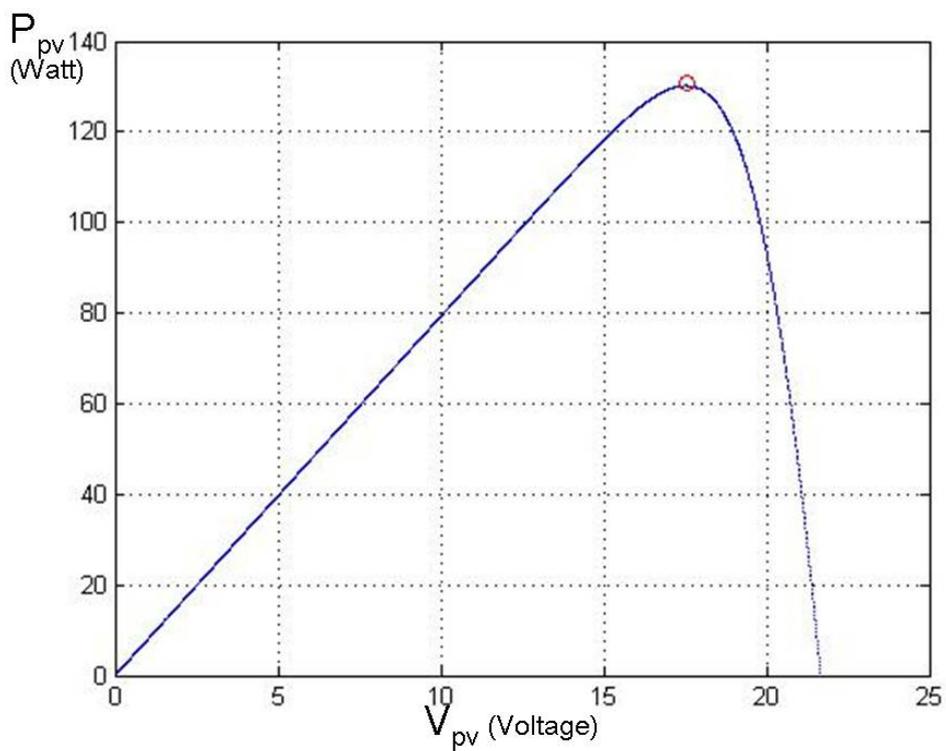


圖 3.3 (KI-PSP-130)在標準環境(1000W/m<sup>2</sup> 25°C)下的 P-V 曲線

圖 3.2 及圖 3.3 中的紅色圈圈及為廠商所提供之參數：在標準環境且最大功率  $P=130$  的情況下，電壓  $V=17.54$  及電流  $I=7.45$  的大小；用以確認模擬程式及數據是否正確。

確認 MATLAB 程式可以準確地模擬太陽能模組(KI-PSP-130)後，即可輸入任何日照與溫度條件以得到太陽能模組之發電量，這部份最後會應用於模擬程式中的發電量估測。

### 3.1.2 鋰離子電池特性

理想的電池應該具備高輸出密度、高重量能量密度、高體積密度及高能量轉換率等各種優點；而鋰金屬氧化電位低(-3.03V)且密度較其他電池材料來的小( $0.534\text{g/cm}^3$ )，因此單位重量所能產生的電能相當的大，並提供很高的能量密度，是目前最受矚目的二次電池[21]。

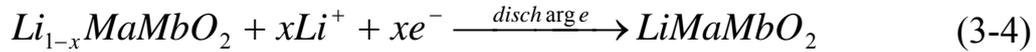
鋰離子電池正極使用鋰離子與金屬氧化物，負極使用石墨或焦炭，而電解液則使用溶解鋰鹽的非質子(non-proton)性有機溶劑[22]。鋰離子電池的正極材料最常見的有三種：鋰鈷氧化物( $\text{LiCoO}_2$ )、鋰鎳氧化物( $\text{LiNiO}_2$ )與鋰錳氧化物( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )，使用不同的正極材料，其能量密度也會有所不同。

鋰離子電池於正極與負極之間填入具有導電性的液態電解液，藉由鋰離子往返其中與極板以起氧化還原反應而產生電能。以下為鋰離

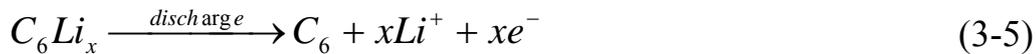
子電池放電的化學反應式，將反應式的箭號顛倒即為充電反應式

[22]。其中 Ma 及 Mb 為參雜金屬。

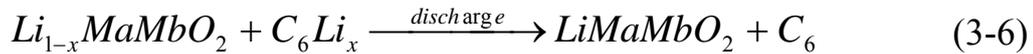
正極



負極



全部反應



單體鋰離子電池的公稱電壓值為 3.6V，而其對應的最大電壓為 4.1V。而典型鋰電池合適的充電電流在  $0.1C^\circ \sim 1.5C^\circ$  之間，雖然充電電流小會拉長其充電時間，然而充電電流過大時，則會破壞電池內部的材料結構，造成電池壽命縮短，因此使用鋰離子電池必須要裝配防止電池過充電、過放電的保護電路。

在鋰電池殘電量(state of charge, SOC)估測的部份，根據(Sabine Piller)等人所整理提出的電池殘電量檢測法[23]，包括：直接放電法、開路電壓法及安培小時法等等；直接放電法是求得電池殘電量最直接及可靠的方法，但是缺點是每做一次需要花費許久時間，且電池必須與系統斷開才能檢測，因此不適用於無人船的系統，而開路電壓法則必須考慮電池的特性，如圖3.4所示[24]，鋰離子電池的開路電壓與

SOC的關係並不像鉛酸電池呈線性變化[25]，在判斷SOC時容易因為測量上的誤差而導致誤判，因此最適合應用於無人船平台的估測方法為一安培小時法。

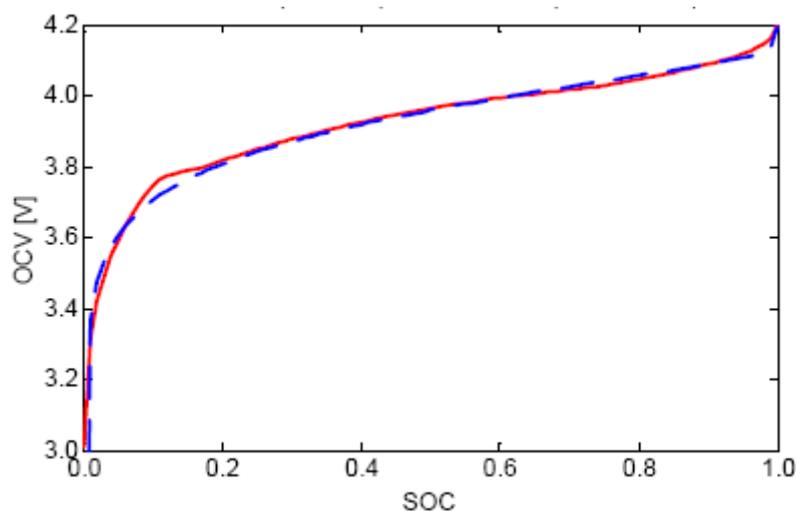


圖 3.4 鋰離子電池的開路電壓與 SOC 的關係[6]

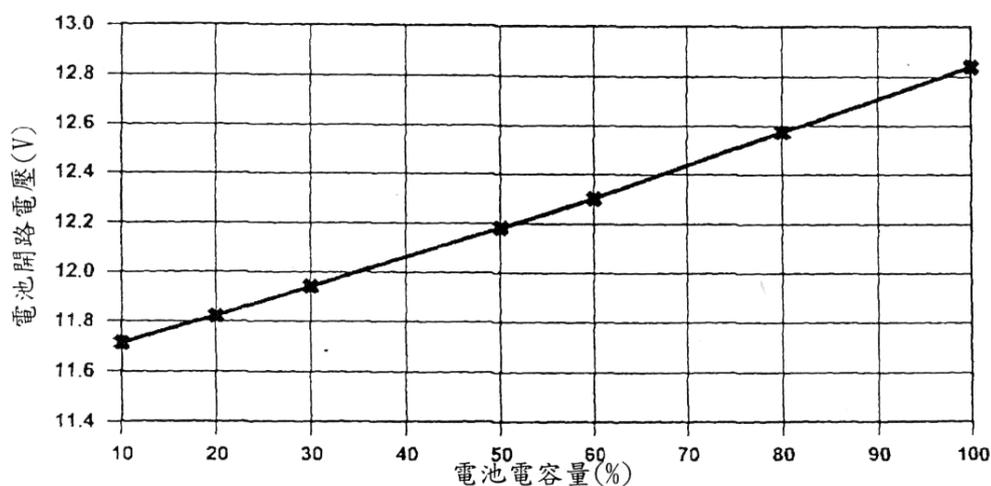


圖 3.5 鉛酸電池的開路電壓與 SOC 的關係[25]

安培小時法是利用能量平衡的原理，量測流入或流出電池的電流量：充電時，由初始 SOC 值加上電流對充電時間的積分值；放電時，則由初始 SOC 減去電流對放電時間的積分值，如此便可以得出任何

時刻的 SOC 值。其計算公式如下[21]：

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t I_{batt}(t) dt \quad (3-7)$$

其中  $t$  表示充放電時間， $t$  為目前時間， $t_0$  為初始時間，SOC 為目前殘電量值， $SOC_0$  為初始殘電量值， $C_N$  為公稱電壓， $I_{batt}$  為電池的電流(流入為正，流出為負)[21]。

本章最後會針對不同電池的電容量(Ah)來進行模擬，以評估出適用於無人船太陽能發電系統的最佳電容量大小。在確認電池電容量大小後，未來將會把鋰離子電池的充放電保護及 SOC 殘電量的估測建立於系統硬體中。

### 3.1.3 負載特性

無人船的太陽能發電系統主要的負載為工業電腦、船舶自動識別系統(AIS)及一些感測器如水下攝影機及都卜勒聲納。而負載的部份又可以分成需要一直維持開機狀態的常駐負載，以及每間隔固定時間開啟一次的漸歇性負載等。

常駐負載：在無人船平台中需要長時間維持運轉的負載為一工業電腦及都卜勒聲納 WHN1200；目前工業電腦選用艾訊股份有限公司的 eBOX530-820-FL(圖 3.6)，其啟動與正常運作所需功率約 15W。另外根據其他廠商所提供的規格，都卜勒聲納運作所需功率僅需 3W。



圖3.6 工業電腦eBOX530-820-FL外觀

漸歇性負載：在無人船平台中可以間隔固定時間啟動的負載有一 AIS 及水下攝影機(TS-6051EHPSC)。其中水下攝影機運作所需功率也只需 6W，而 AIS 在經過實際進行收發 GPS 訊號測試時，觀測其電源供應器所示電壓為 24V，電流為 1A(如圖 3.7)，因此 AIS 運作所需功率為 24W。



圖3.7 AIS運作所需功率之實測

然而根據(Mukund R. Patel)[26]所提出的負載耗電量估測方法(如圖 3.8)，實際耗電量等於負載耗電乘上週期時間內的實際工作周期 (Duty ratio)。因此考慮無人船定位的實際運行模式，每隔二十分鐘開啟所有間歇性負載一次，同時每次開啟五分鐘來進行無人船的 GPS

定位來計算，平均一個小時 AIS 所需要的電量為

$$24(W) \cdot \frac{5(\text{min}) \cdot 4(\text{times})}{60(\text{min})} = 8(\text{Wh}) \quad (3-8)$$

同時考慮水下攝影機的實際運作狀況，平均一小時約有二十分鐘的運作時間，因此其所耗電量約為

$$6(W) \cdot \frac{20(\text{min})}{60(\text{min})} = 2(\text{Wh}) \quad (3-9)$$

將(3-7)、(3-8)式加總後，可得間歇性負載一小時所需電量約為 10Wh。

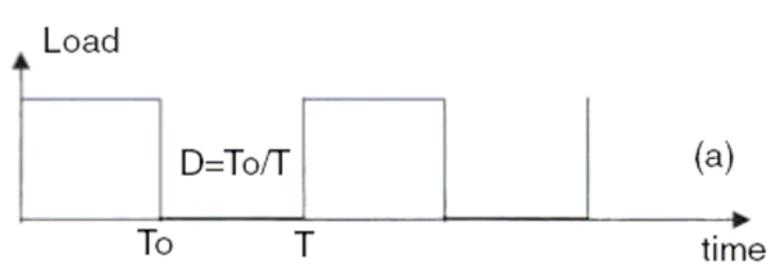


圖3.8 負載之Duty ratio定義[26]

最後將常態負載一小時所消耗的電量 18Wh 與間歇性負載的消耗電量 10Wh 加總後，即可得出無人船平台每一小時負載平均所需電量為 28Wh。這部份最後將帶入 MATLAB 程式中來進行模擬。

### 3.2 無人船太陽能發電系統模擬

無人船太陽能發電系統的連接方式可由圖 3.9 所示，將太陽能電池、鋰離子蓄電池與負載三個組件並聯，根據 [27]指出，太陽能電

池發電量大於負載用電量時，其多餘電量可由蓄電池吸收，相反的當太陽能電池發電量小於負載時，則蓄電池將會補足不夠的電量，因此鋰離子電池在整個無人船太陽能發電系統中扮演著能量管理的重要角色。

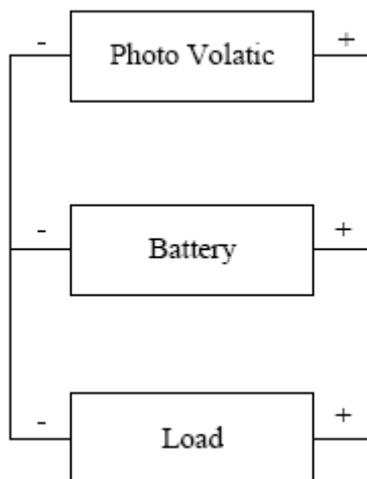


圖3.9 無人船太陽能發電系統連接方式

然而為了選定適合應用於無人船系統的蓄電池容量大小，程式必須長期地模擬整個無人船系統的發電與放電情況，以避免系統過度設計的情況產生。分析主要分為幾個部份：(1)取得逐時日照強度資料以換算成發電量；(2)利用系統能量平衡的原理，分析太陽能發電量、鋰電池的充放電與負載之間各組件的關係。(3)MATLAB 模擬程式建構。

為了要針對無人船太陽能發電系統做長期分析模擬，必須要先得知太陽相對於太陽能板的移動軌跡以估出全年的日照強度理論值，接

著再導入從氣象局所構得之太陽輻射資料以作為修正，即可得出較準確的太陽能輻射資料，最後將此資料代入 3.1 節中太陽能板 (KI-PSP-130) 的 MATLAB 模擬程式，即完成無人船的太陽能發電量模擬，並可從此模擬結果做無人船系統匹配。

根據 Ptolematic 對於太陽的運動觀念[28]，以方位角(surface azimuth angle，向南為 0 度，東為正值，西為負值)和太陽高度角(solar elevation angle)來表示太陽相對於地球上觀察者的位置(如圖 3.10)。

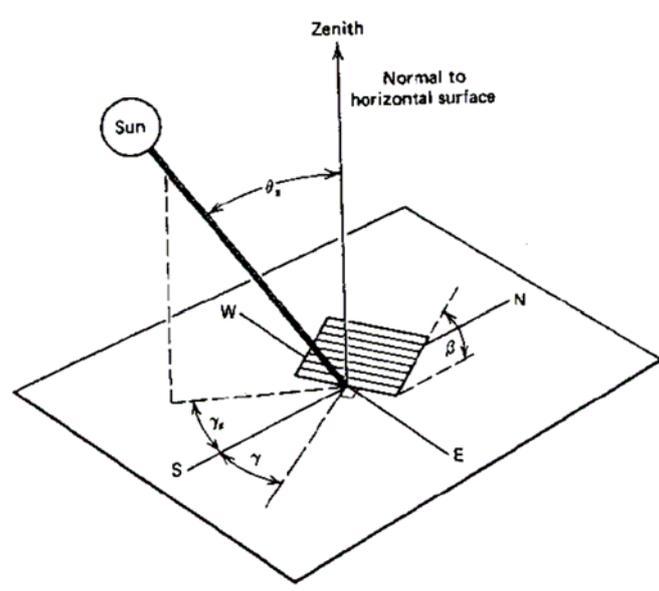


圖3.10 太陽方位定義[29]

上圖中各參數定義為：

$\beta$ ：觀察者所在傾斜面與水面之夾角

$\theta_z$ ：水平面上觀察到的太陽高度角

$\gamma_s$  : 為方向角

$\theta$  : 太陽光相對於傾斜面法線的入射角

$\omega$  : 時角(hour angle)

$\delta$  : 太陽赤緯(solar declination)

$\phi$  : 緯度

$d$  : 一年中的第  $d$  天

有了以上的定義，就可以從參考點的方位資料及時間得到太陽相對於參考點的位置。而以上各參數間關係如下列公式：

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cdot \\ & \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3-10)$$

$$\gamma_s = \sin^{-1}(\sin \phi \sin \omega + \cos \phi \cos \omega \cos \delta) \quad (3-11)$$

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360(284 + d)}{365}\right] \quad (3-12)$$

考慮到無人船航行受波浪影響以至於太陽能電池無法維持水平的因素，必須考慮太陽能電池與水平面的夾角  $\beta$ 。依據太陽工程學的幾何公式與經驗公式可計算斜面所照射到的日照強度[28]，本節先計算出(step1.)晴空下水平輻射量的理論值  $I_c$ ，接著(step2.)導入氣象局的水平輻射資料  $I$ ，並藉由經驗公式將輻射量資料分離成直達輻射量  $I_b$  及漫射輻射量  $I_d$ ，(step3.)最後再將這兩種輻射量轉換至斜面上。

**(step1).**

根據[28]的所述， $I_c$ 可看成是由直達輻射量 $I_{cd}$ 與漫射輻射量 $I_{cb}$ 所組成。假設 $I_o$ 為太氣層外相對於觀察者所在的水平面的晴天日照強度，其公式如下所示：

$$I_o = 1363 \cdot [1 + 0.033 \cdot \cos(\frac{360d}{365})] \cdot \cos \theta_z \quad (3-13)$$

$$I_{cb} = I_o \cdot \tau_b \quad (3-14)$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-K/\cos \theta_z} \quad (3-15)$$

其中 $\tau_b$ 為穿透係數；而 $a_0$ 、 $a_1$ 及 $K$ 是在考慮季節因素後，晴空下觀察位置為離海面高度 $h$ 的參數，其單位為公里。

$$a_0 = [0.4237 - 0.00821 \cdot (6 - h)^2] \cdot r_0 \quad (3-16)$$

$$a_1 = [0.5055 + 0.00595 \cdot (6.5 - h)^2] \cdot r_1 \quad (3-17)$$

$$K = [0.2711 + 0.01858 \cdot (2.5 - h)^2] \cdot r_K \quad (3-18)$$

(3-16~3-18)式中 $r_0$ 、 $r_1$ 、 $r_K$ 為季節參數，其數值可由表 3.2 得知。

表 3.2 季節相關係數[29]

天氣類型	$r_0$	$r_1$	$r_K$
春	0.95	0.98	1.02
夏	0.97	0.99	1.02
秋	0.99	0.99	1.01
冬	1.03	1.01	1.00

接著考慮漫射輻射量 $I_{cb}$  如下式所示。其中  $\tau_d$ 為漫射係數。

$$I_{cd} = I_o \cdot \tau_d \quad (3-19)$$

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939\tau_b \quad (3-20)$$

最後再將直達輻射量 $I_{cd}$  與漫射輻射量 $I_{cb}$  加總，即可得出晴空下水平輻射量的理論值 $I_c$ 。

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \quad (3-21)$$

### (step2).

接著導入從氣象局所得到的資料。假設從氣象局取得之水平輻射量 $I$ ，同樣可分成直達輻射量 $I_b$ 及漫射輻射量 $I_d$ ，然而由於兩種輻射量轉換至斜面的方式不同，因此必須先將之分離。

$$I = I_b + I_d \quad (3-22)$$

其分離的方式是根據 Stauter and Klein[29]所提出之公式，先求得參數  $m=I/I_c$  其中  $I_c$  為 step1 中的晴空下水平輻射量的理論值。接著將  $m$  代入下列經驗公式，即可求得水平漫射輻射量  $I_d$ ，由(3-22)式則可求得水平直達輻射量  $I_b$ 。

$$\begin{aligned} I_d / I &= 1 - 0.1m & 0 \leq m < 0.48 \\ I_d / I &= 1.11 + 0.0396m - 0.789m^2 & 0.48 \leq m < 1.10 \\ I_d / I &= 0.2 & 1.10 \leq m \end{aligned} \quad (3-23)$$

### (step3).

在分離出漫射輻射量  $I_d$  及直達輻射量  $I_b$  後，利用下圖 3.11 所描述之水平面夾角  $\beta$  的幾何關係，即可將直達輻射量  $I_b$  轉換成傾斜面上的直達輻射量  $I_{tb}$ ；而漫射輻射量  $I_d$  及轉換成傾斜面上的直達輻射量  $I_{td}$ 。

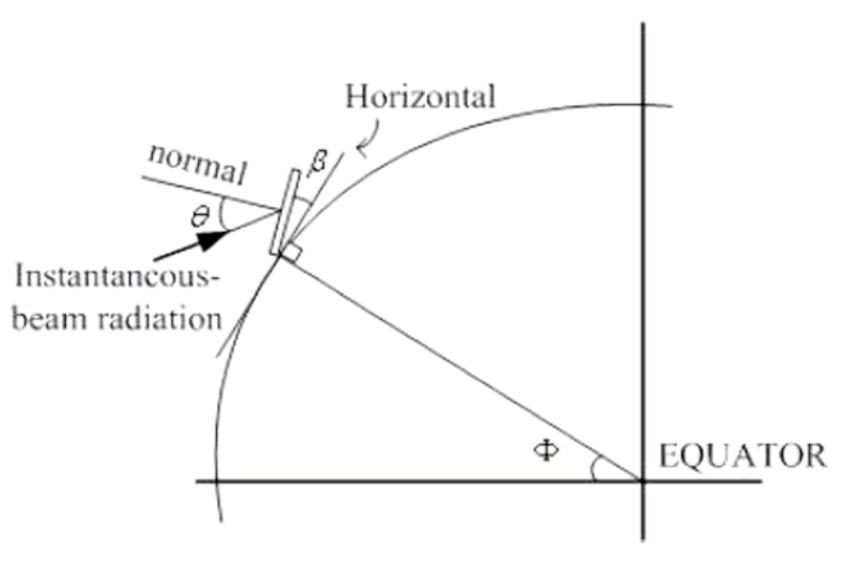


圖3.11 傾斜面上所受的日照強度[29]

$$I_{tb} = I_b \cdot \cos \theta \quad (3-24)$$

$$I_{td} \cong I_d \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (3-25)$$

除了直達及漫射輻射量之外，還必須考慮地面的反射率  $\rho$  的影響。根據Liu和Jordan的建議， $\rho$  在一般地面上為0.2，在水面上為0.7[29]。假設反射輻射量為  $I_G$ ，其式子為(3-26)所示：

$$I_G \cong I \cdot \rho \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3-26)$$

最後將上述三種輻射量加總後可得出總輻射量 $I_t$ 。

$$I_t = I_{tb} + I_{td} + I_G \quad (3-27)$$

得出總輻射量後，將此資料代入3.1節中太陽能板(KI-PSP-130)的 MATLAB模擬程式，以完成無人船的太陽能發電量之分析。

參考圖3.12[29]之流程，將之引入無人船的獨立型太陽能發電系統。

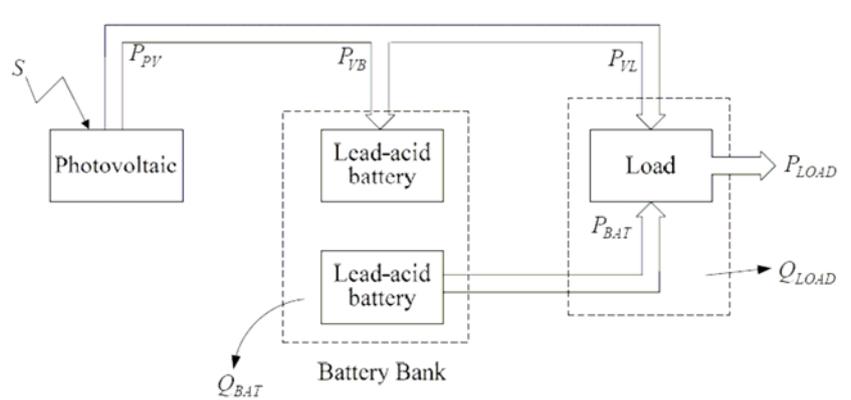


圖3.12 獨立型太陽能發電系統流程

其中 $P_{VB}$ 是太陽能發電進入電池的電量， $P_{VL}$ 是太陽能發電供應負載的電量，而 $P_{PV}$ 則為太陽能電池的總功率。接著考慮蓄電池在充放電時的熱能損耗功率 $Q_{BAT}$ ，以及負載運作時所額外產生之損耗 $Q_{LOAD}$ ，我們可以將整個無人船太陽能發電系統看成下列 (3-28)式 [29]：

$$\int_{t_1}^{t_2} (P_{PV} - Q_{BAT} - Q_{LOAD}) dt = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{dP_{LOAD}}{dt} + \frac{dE_{BAT}}{dt} \right) \quad (3-28)$$

其中  $t1 \sim t2$  為模擬的時間區間， $P_{LOAD}$  為負載所需之功率， $P_{BAT}$  為電池進入負載之功率。接著就是以(3-28)式所描述的數學模型為核心，配合3.1.2節的太陽能輻射量分析及3.1節太陽能板發電量模擬的程式，來進行整個無人船太陽能發電系統的模擬，圖3.13即為詳細的模擬流程。在模擬程式中，使用者必須先讀入由氣象局所購得之逐時太陽能輻射資料(圖3.14)，接著再輸入所在地理位置的經緯度、高度、太陽能傾斜角、負載耗電量上限以及鋰電池蓄電量上限等資料(圖3.15)。為了探討太陽能系統的可靠度，本文使用LLP(Loss-of-Load)來作為參考指標。負載停載機率(LLP)定義為系統設計下之太陽能板與蓄電池，無法提供負載足夠電量之機率[29]。若以小時為單位，一年365天中有  $k$  個小時負載停載，則LLP為

$$LLP = K / (365 \cdot 24) \quad (3-29)$$

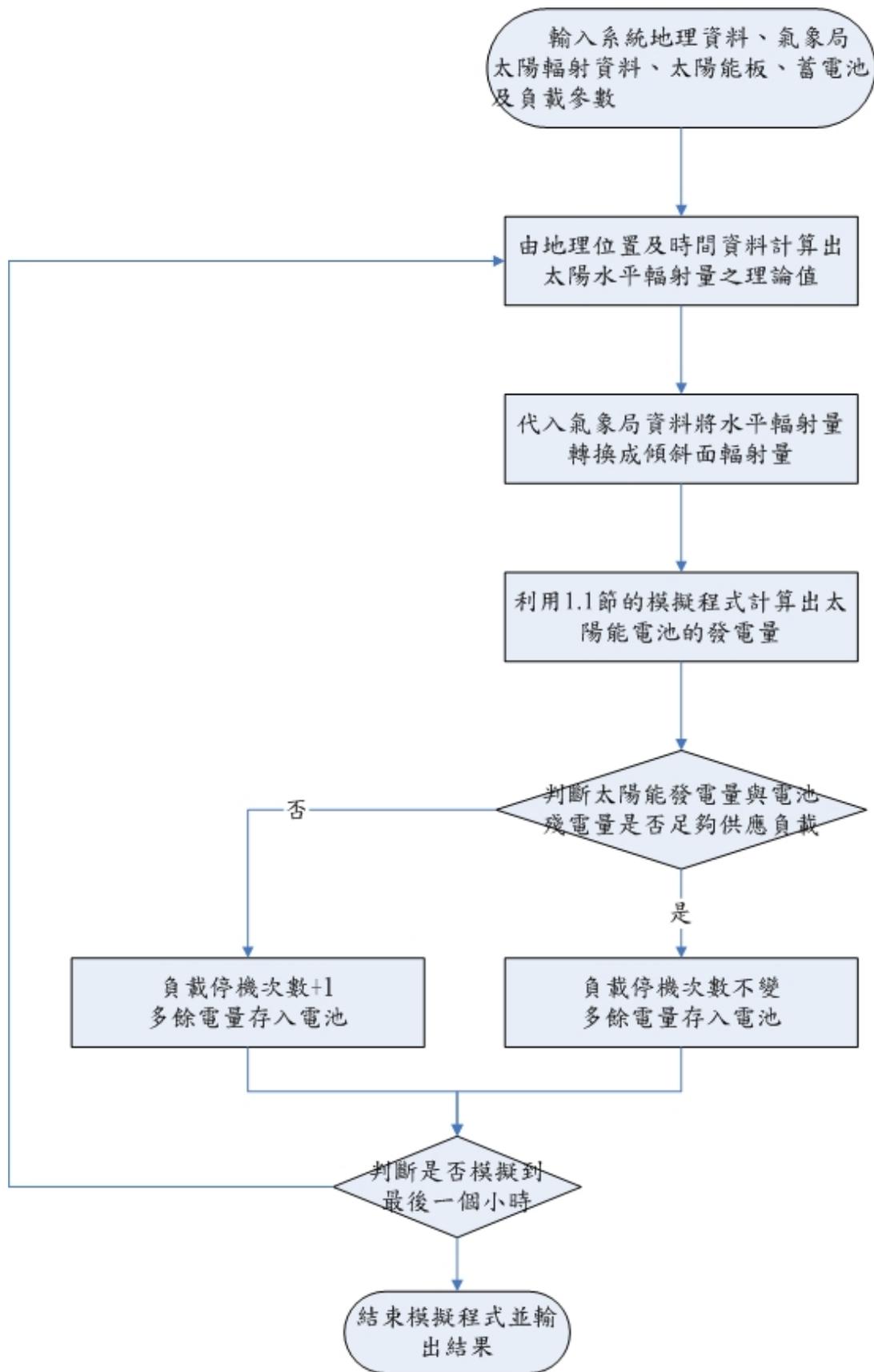


圖3.13 無人船太陽能發電系統之系統模擬流程圖

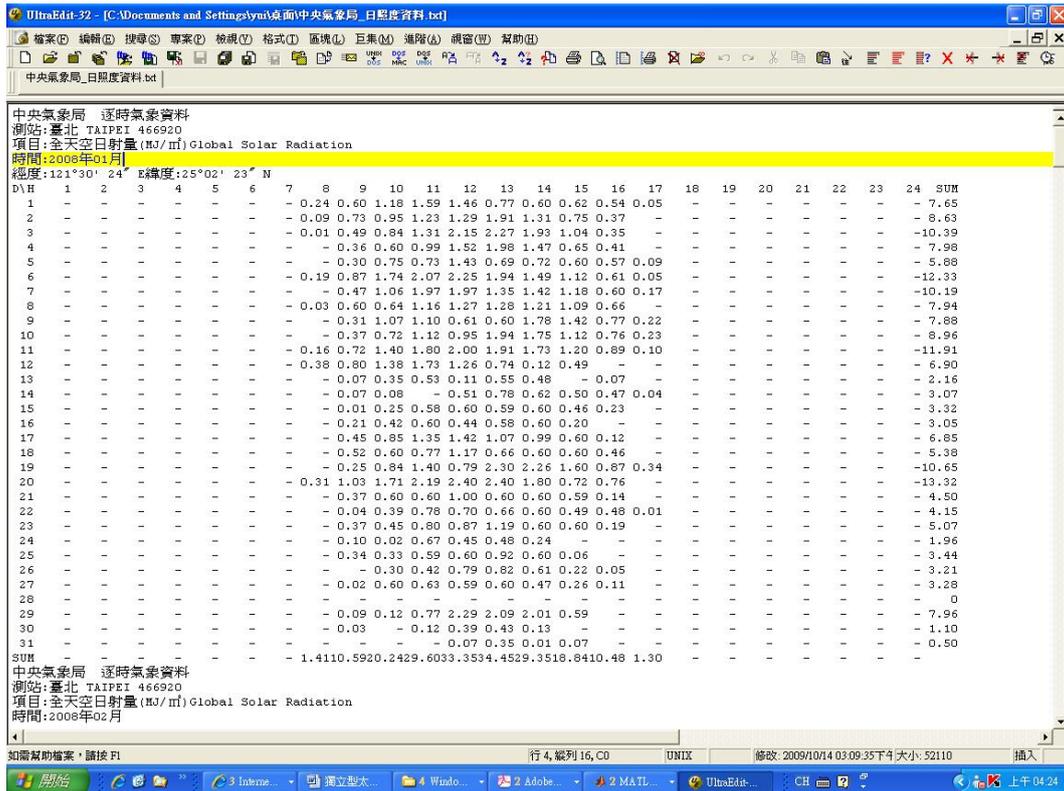


圖3.14 由中央氣象局所購得之2008年太陽輻射量

```

1 clear all;
2 database1=textread('solar_irradiation_1.txt');
3 database2=textread('solar_irradiation_2.txt');
4 database3=textread('solar_irradiation_3.txt');
5 database4=textread('solar_irradiation_4.txt');
6 database5=textread('solar_irradiation_5.txt');
7 database6=textread('solar_irradiation_6.txt');
8 database7=textread('solar_irradiation_7.txt');
9 database8=textread('solar_irradiation_8.txt');
10 database9=textread('solar_irradiation_9.txt');
11 database10=textread('solar_irradiation_10.txt');
12 database11=textread('solar_irradiation_11.txt');
13 database12=textread('solar_irradiation_12.txt');
14 year07_irrdata=[database1;database2;database3;database4;database5;database6;database7;database8;database9;database10;database11;database12];
15
16 Longitude=121.5; %系統在地球經度
17 latitude=25; %系統在地球緯度
18 Height=0; %太陽能板所在高度
19 Angle=0; %太陽能板放置的傾斜角
20 TaC=25; %太陽能板溫度
21
22 W_load=45; %負載平均耗電量
23 e_charge=1; %電池充電效率
24 e_discharge=1; %電池放電效率
25 % Wbat=1200; %電池容量Wh
26 % bat=1200; %電池容量Wh
27 open_time=0; %系統啟動時數(歸零)
28 gg=0; %系統停載時數(歸零)
29
30 for Month=1:12
31 [day_st,day_end]=MonthToDay(Month)
32 Wbat=2400; %電池容量Wh
33 bat=2400; %電池容量Wh
34 open_time=0; %系統啟動時數(歸零)

```

圖3.15 MATLAB程式中使用者必須輸入之資訊

### 3.3 模擬結果與討論

在模擬程式中輸入無人船的相關參數，由於受限於無人船所設計的體型大小，目前最多只能搭載2片太陽能板模組(KI-PSP-130)，因此可知其最大發電量為260W。在負載方面，則代入如3.1.3節所述每小時所消耗之電量為28W。接著假設要搭載的鋰電池蓄電量規格分別為1200Wh、1800Wh及2400Wh，則對三種不同的電容量作模擬來比較其結果。下圖即為三種電容量在不同月份下之LLP。

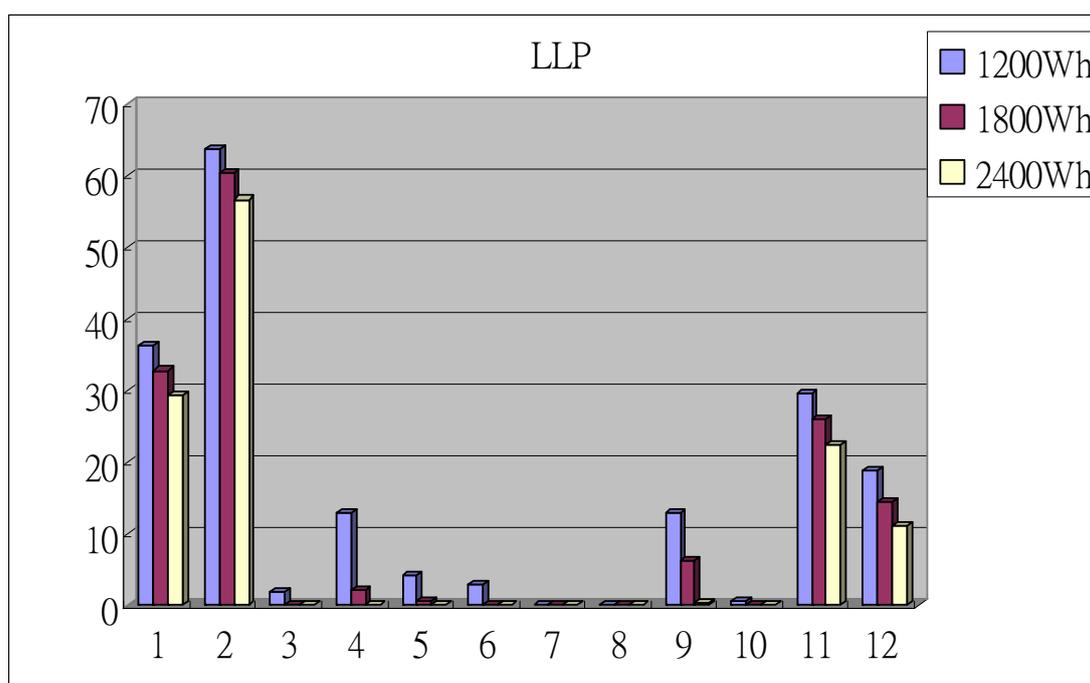


圖3.16 不同電容量在各個月份之LLP

由模擬結果可以發現，其電池的電容量越大，就越能有效地降低系統的停載機率LLP；但相對的，其成本與整體重量也會大幅度地增加，因此在考慮不因重量而影響無人船運動特性的情況下，本計劃決

定採用1800Wh的系統匹配組合。

實際應用時，負載可能因熱量散失或異常等其他因素，造成負載消耗電量高出預設值，因此我們另外假設平均每小時負載為30Wh、32Wh時，其1800Wh的電容量於各個月份之LLP。

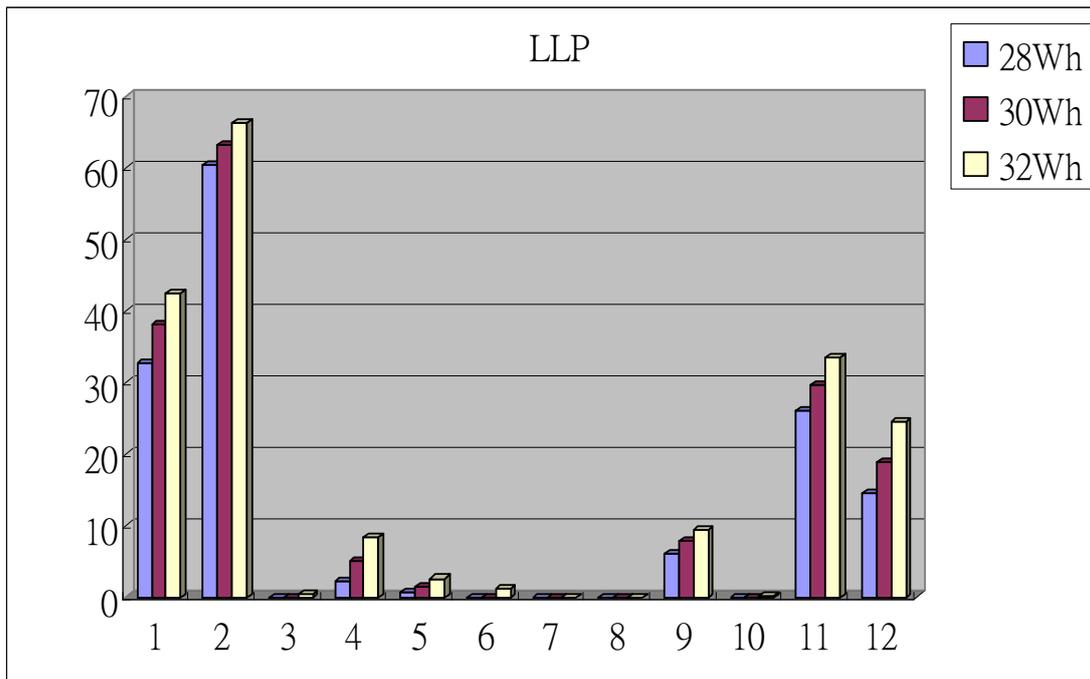


圖3.17 1800Wh在不同負載耗電量下之各個月份LLP

從結果中顯示，當鋰電池為1800Wh的電容量時，不僅在穩定負載為28Wh的情況下有不錯的表現，在系統出現其他的負載狀況時也能維持穩定的表現，因此無人船的太陽能發電系統決定使用260W的太陽能電池，及鋰電池電容量為1800Wh之匹配組合。

## 第四章 結論與建議

在近岸、淺水域之工作之研究測量船隻，其作業之困難為無法做精確的路徑控制、測量信號受到風浪影響容易受到干擾，且工作小船之操縱需要人力，推進速度過高不利資料精度等，這些工作條件使得近岸海域研究與測量工作之成本昂貴且費時，在海況惡劣時甚至會危及人員的安全。

本計畫之研究目標為設計、製作與測試一具自主式無人工作小船，利用太陽能與充電電池驅動，建立其精密導航定位與路徑追隨自動控制系統。此工作船可攜帶多種量測儀器，自動施行港口之水深、水流剖面、地形、沈積物資料蒐集與測量等工作，且可將資料藉由無線電波傳送至岸上之監控電腦。無人船舶之監控與通信採用船舶自動識別系統，因此本研究之成果在未來可以進一步延伸為架構在無線網路上之無人船隊系統，藉由無人船隻間之相互通訊，可以施行大規模的海岸測量與監控。

### 4.1 結論

本研究所獲得之結論有如下幾點：

1. 本計畫旨在建立太陽能驅動之智慧型無人船舶，研發近岸海洋資料蒐集、測量、資料傳送與輔助救難之自動控制船舶相關技術；其具有自動導航定位功能、攜帶多種探測儀器、採用穩定之雙胴

體設計、使用太陽能與充電電池驅動之自主式無人船舶系統，可以做為海洋研究資料蒐集、測量與海上救難之輔助工具。

2. 本年期報告說明無人船舶之主體結構、通訊與遙控介面、儀器之規格與配置，以及太陽能電池與充電系統之規劃，本年度已完成自主式無人船舶之船體與電路系統設計，內容包含建立自主式無人船舶船型、船體結構與電源電路系統。
3. 船體設計之重點為低阻力、高耐海性能、優良的穩定性與操控性、大空間以容納量測儀器。電路系統設計重點為太陽能與充電系統之設計、電能管理系統、推進與儀器用電路設計。

## 4.2 建議

本研究以四年為期，具體建議後續工作項目與主要研究內容如下：

1. 自主式無人船舶之操控系統設計：建立舵機與螺槳轉速控制之類比系統、建立可程式邏輯控制器與無線數據傳輸、遙控操作介面，以及建立系統硬體監控程式。
2. 自主式無人船舶之定位導航系統設計：建立船舶定位之 DGPS 系統、整合衛星定位、方向計與都卜勒聲納導航資訊、船舶系統鑑定、建立船舶自動駕駛程式。
3. 自主式無人船舶之路徑規劃與任務控制系統設計：整合電子海圖與無人船舶之操控介面、建立自動測量路徑規劃程式、整合路徑規劃程式與自動駕駛程式。

## 4.3 效益與應用情形

本研究之成果效益，以及可以提供本所或政府機關之後續應用情

形有下列幾項：

1. 提升各港務局水深測量，海巡署搜救，各學術單位海岸調查，內政部國土測繪等無人遙控載具的運用，避免人力浪費。
2. 應用於提升國內自製的智慧型太陽能遙控船的技術能力。
3. 應用於提升水深測量、水流剖面、地形、沈積物調查時之遙控載具。
4. 應用於無人船舶利用無線電波監控之技術。

## 參考文獻

1. V Bertram, “Unmanned Surface Vehicles – A Survey,” Technical Report, ENSIETA, 2008.
2. M Caccia, “Autonomous Surface Craft: Prototypes and Basic Research Issues,” Proc. 14th Mediterranean Conference on Control and Automation, June, 2006.
3. H Ferreira, R Martins, E Marques, J Pinto, J Almedida, J Sousa, P Silva, “SWORDFISH: an Autonomous Surface Vehicle for Network Centric Operations,” OCEANS 2007, 2007.
4. J Holler, A Striz, K Bretney, K Kavett, B Bingham, “ Design, Construction, and Field Testing of an Autonomous Surface Craft for Engineering and Science,” Oceans 2007, 2007.
5. J Majohr, T Buck, “Modelling, Simulation and Control of an Autonomous Surface Marine Vehicle for Surveying Applications,” “Advances in Unmanned Marine Vehicles, Chapter 16, IEE Press, London, 2006.
6. M Caccia, “ A Practical Approach to Modeling and Identification of Small Autonomous Surface Craft,” IEEE J. Oceanic Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 133-145, April, 2008.
7. E Desa, et. al., “A Small Autonomous Surface Vehicle for Ocean Color Remote Sensing,” IEEE J. Oceanic Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 353-364, April, 2007.
8. N Cruz, A Matos, S Cunha, S Silva, RDR Frias, “ZARCO-Na Autonomous Craft for Underwater Surveys,” Proceedings of the 7th Geomatic Week, Barcelona, Spain, Feb, 2007.
9. J Alves et. al., “Vehicle and Mission Control of the DELFIM Autonomous Surface Craft,” Proc. 14th Mediterranean Conference on

- Control and Automation, June, 2006.
10. J Curcio, C Kitts, CA Santa Clara, “Self-Positioning Smart Buoys, The “Un-Buoy” Solution: Logistic Considerations using Autonomous Surface Craft Technology and Improved Communications Infrastructure,” Oceans 2006, 2006.
  11. 莊定諺, “運用太陽能與滑翔翼板增加水下載具續航時間之評估”, 國立成功大學系統與船舶機電工程學系碩士論文, 2008
  12. 王鈺翔, “應用太陽能作為無人載具飛行”, 國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文, 2003.
  13. M. R. Patel, “Wind and Solar Power System—Design, Analysis, and Operation” 2ed Edition, 2005.
  14. J. Jalbert, et. al., “Solar-powered Autonomous Underwater Vehicle Development,” Proceedings of the 13th International Symposium on Unmanned Underwater Vehicle, Durham, NH, 2003.
  15. M. Murtedjo and E. B. Djatmiko, “Prediction of Motion Characteristics on SWATH Type Floating Structure Using Two-dimensional Frank Close-fit Technique,” Journal Mekanikal Bil.18, 46-65, 2004.
  16. T. Li, Y. Lin and Z. Ji, “Optimized SWATH Form Design with High Speed and Seakeeping Performance, ” The International Society of Offshore and Polar Engineer, 2005.
  17. M.C. Fang and W.J. Shyu, “The Improved Prediction for Hydrodynamic Characters of SWATH Ship in Waves, ” Proc. of National Science Council. ROC, Vol.18 No.5 pp495-507, 1994.
  18. V. Dubrovsky, K. Matveev and S. Sutulo, Small Waterplane Area Ships, Backbone Publishing, N.J., 2007.
  19. 張建偉, “太陽能電池最大功率追蹤點之研究”, 國立成功大學

- 航空太空工程學研究所碩士論文，2009。
20. G. Walker, "Evaluating MPPT Converter Topologies Using a MATLAB PV Model," *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 21, No.1, pp.49-55, 2001.
  21. 黃奕超, "太陽能車用能量儲存系統設計與製作", 國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文, 2007。
  22. 洪裕桓, "智慧型鋰電池管理系統之研製", 國立中山大學電機工程學研究所碩士論文, 2005。
  23. S. Piller, M. Perrin, A. Jossen, "Methods for State-of-charge Determination and Their Applications," *Journal of Power Sources*, Volume 96, Issue 1, pp. 113-120 2001.
  24. G. L. Plett, "Advances in EKF SOC Estimation for LiPB HEV Battery Packs," *Proceedings of the EVS-20, Long Beach, CA, 2003*
  25. 林威佐, "電池電容量檢測技術之研究", 國立台灣大學電機工程學研究所碩士論文, 2001。
  26. R. Chedid, S. Rahman, "Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-solar Power Systems," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 12, No. 1, pp. 79-85, 1997.
  27. 何榮文, "太陽能車發電系統控制", 國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文, 2001
  28. H. C. Hottel, "A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation Through Clear Atmospheres," *Solar Energy*, Vol.18, pp.129-137, 1976.
  29. J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3<sup>rd</sup> Edition, Wiley Interscience, New York, 2006.
  30. 陸磐安, *造船原理-船舶動力學*, 國立編譯館, pp.378, 1999

# 附錄一 期中報告審查意見處理情形表

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

### 期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號： MOTC-IOT-98-H2DB008

計畫名稱：智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究(1/4)

執行單位：國立台灣大學工程科學及海洋工程系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>方志中 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 船體設計：吃水為何？阻力特性、耐海性能特性？甲板上浪問題。</li> <li>2. 負荷電力計算來考量，推進所需電力？(期末報告)波浪能量？</li> <li>3. AIS 耗電為 100W，耗電量大且未考量後電力分析中。</li> <li>4. 方向控制之設施及電力分析。</li> <li>5. 岸電充電設備規劃(ppt有)。</li> <li>6. 本船 payload 之限制。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 吃水為 0.7 公尺，阻力與耐海性能之預估將於期末報告中專章敘述。本計畫所發展之無人船根據耐海性能估算而有作業之海況限制，其航速設計為 0.4-0.5m/s，甲板上浪問題並不在本計畫所考量範圍。</li> <li>2. 推進電力之計算將在下一年度報告。波浪能之擷取將考量其可行性後決定。</li> <li>3. AIS 之耗電及太陽能發電系統之電力分析將於期末報告中詳述。</li> <li>4. 方向控制將採用水平置放之兩具螺槳，操控之電力分析將在下一年度之工作探討。</li> <li>5. 本計畫尚未考慮特殊之岸電充電設施。</li> <li>6. 本船之主要酬載設備為測深儀與側掃聲納。其電量分析將在期末報告與太陽能發電系統一起考慮。</li> </ol>	<p>列為後續追蹤。</p> <p>列為後續追蹤。</p> <p>列為後續追蹤。</p> <p>列為後續追蹤。</p> <p>列為後續考量探討。</p> <p>列為後續追蹤。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>黃明志 教授</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫工作平台為一具自主式無人工作小船，其設計重點為「低阻力、高耐海性能，優銀的穩定性與操控性」。期中報告中已提供船舶設計草圖，但未見任何與船舶設計有關之計算與試驗，是否滿足上述需求，請加予補充。電源供應是否足夠所有量測儀器使用??</li> <li>2. 報告中應說明 VTS 站 (P.9)。</li> <li>3. 水面攝影機之 P.68 SEA(SALT) Waten Dsp Color Camera 與 TS-6051EHPSC 應統一 (P.12)。</li> <li>4. 電池 10 個 12V 串接是否足夠提供螺槳(150V) 使用(P.14,P16)。</li> <li>5. (KI-MSP-85 圖 2.2)應為圖 10 筆誤(P.20)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參照委員意見辦理，本計畫期末報告將估算無人船舶之阻力與耐海性能特性，設計航速及作業海況。太陽能電力系統之設計與酬載電力估算等亦將於期末報告中詳述。</li> <li>2. 已於 p.9 加入 VTS (Vehicle Traffic Services)的簡短說明。</li> <li>3. 已於 p.12 中修改。</li> <li>4. 電池串接雖未達 150V，已足以提供螺槳電能，唯其推力性能較 150V 電壓情況下低。</li> <li>5. 已修改。</li> </ol>	<p>列為後續追蹤。</p> <p>已修改。</p> <p>已修改。</p> <p>列為後續考量探討。</p>
<p>邱永芳 主任：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請計畫主持人依據本所之研究主題與重點，檢討改進研究方向，期中審查結論與建議將列入期末審查追蹤考核。</li> <li>2. 政府機關研究計畫 GRB 表請計畫主持人趕快上網填寫。</li> </ol>	<p>遵照委員意見辦理。</p>	<p>同意。</p>

## 附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號： MOTC-IOT-98-H2DB008

計畫名稱：智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究(1/4)

執行單位：國立臺灣大學(工程科學及海洋工程系)

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>張順雄 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已完成第一年(98 年度)自主式無人船舶船型、結構及電源電路系統設計，並考慮船體空間容納儀器。電路系統設計重點兼顧太陽能及充電系統之設計。</li> <li>2. 完成無人船太陽能發電系統之系統模擬，負載效率應再多討論，考慮系統擴充性。</li> <li>3. 自主式無人船舶路徑追隨自動控制系統在本年度中尚未提及，宜在結語部份列出已完成及待工作事項。</li> <li>4. 期中報告委員之意見及修訂後型式應再更正符合出版規定。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員評論。</li> <li>2. 遵照委員意見辦理，目前太陽能發電系統之模型已建立，未來將考慮酬載與推進系統等負載。</li> <li>3. 遵照委員意見辦理。</li> <li>4. 遵照委員意見辦理，期中審查意見處理情形表及期末審查意見處理情形表附加於期末報告附件。</li> </ol>	<p>—</p> <p>列為後續追蹤。</p> <p>—</p> <p>—</p>
<p>劉景毅 組長</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 應加強說明所設計無人船舶在追蹤測量之應用，比較其與一般測量之優劣。</li> <li>2. 研究具實用性，未來無人船舶可作為多方面之測量、工作載具。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理，未來將加強探討無人船舶的量測精確度與其電量、酬載、路徑規劃間的關係。</li> <li>2. 謝謝委員的評論。</li> </ol>	<p>列為後續追蹤。</p> <p>—</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>黃明志 教授</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. SWAIIH 船型摩擦阻力較大，但報告中 2.3 節船體阻力估算以 Residuary resistance (剩餘阻力)呈現，是否合適，請再加評估。</li> <li>2. 2.4 節 耐海性能預估利用 Seakeeper 軟體內建 P-M 波譜估算，並不適合沿岸波浪描述。</li> <li>3. 報告內並無附錄一、二，P8 應修正。</li> <li>4. Camera 名稱應統一。</li> <li>5. 圖 2.8 與圖 3.6 重覆。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已於期末報告中加入船舶之摩擦阻力估計值。在低速運動下，摩擦阻力之成分約占剩餘阻力之 70%。</li> <li>2. 已於期末報告中將沿岸波浪之波高及週期改用氣象局統計資料，而刪去原 P-M 波譜之估算值。</li> <li>3. 遵照委員建議，已修正。</li> <li>4. 遵照委員建議，已修改圖 2.4 與表 2.3 之 Camera 名稱。</li> <li>5. 已修改重覆之圖示。</li> </ol>	<p>已修改。</p> <p>已修改。</p> <p>已修改。</p> <p>已修改。</p> <p>已修改。</p>
<p>薛憲文 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請說明如何達到 P.2 所述之動態定位的能力。</li> <li>2. 請說明無人船舶之吃水量設計為何?適合於最淺之水深為何?</li> <li>3. 請說明整體系統之量測設備及 sensor 有那些? 所有設備及 sensor 之 payload 為何? 浮力與重心之設計思考為何?</li> <li>4. 所有設備及 sensor 之電力需求為何?蓄電池及太陽能板之電力是否可匹配?</li> <li>5. 請說明測深儀之規格選與無人船舶適合水深測量是否匹配。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫將使用 AIS 上所配置之衛星定位儀，搭配無人船都卜勒聲納與方位計、傾斜儀估測船位，並回授給控制器驅動螺槳將船的位置控制在設定之地點附近，達到動態定位的目的。</li> <li>2. 吃水設計為 0.7 公尺。依照其耐海性能估算，比較台灣中部沿岸海域之波高與波浪週期，其適用水深約為 10 公尺。</li> <li>3. 無人船配備之量測設備為測深儀與側掃聲納。其重心位置在橫向為傳之形狀中心、在縱向為底面高度 0.15 公尺處。橫向定傾 (GMT) 為 0.053 公尺、縱像定傾(GML)為 0.034 公尺。其設計原則為考量無人船之配置後，所能達到的最低重心位置及最大之 GML。</li> <li>4. 本計畫所發展之太陽能發電系統是針對無人船酬載所需電力配置，並可預估各月份出海成功的機會。</li> <li>5. 測深儀為委託單位現有之</li> </ol>	<p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p> <p>同意。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	設備，其適用水深較 10 公尺為深，故在無人船之配置上，可以選用較淺水深所適用的規格。	
邱永芳 主任： 1. 符合規劃需求。 2. 成果豐碩。	感謝委員肯定。	—

## 附錄三 期末報告審查簡報資料

# 智慧型太陽能遙控近岸測量船之研究(1/4)

郭振華

台灣大學工程科學及海洋工程系

## 目的

- 建立太陽能驅動之智慧型無人船舶，研發近岸海洋資料蒐集、測量、資料傳送與輔助救難之自動控制船舶相關技術。

## 進度規劃

### 98年度：自主式無人船舶之船體與電路系統設計

內容：建立自主式無人船舶船型、船體結構與電源電路系統。船體設計之重點為低阻力、高耐海性能、優良的穩定性與操控性、大空間以容納量測儀器。電路系統設計重點為太陽能與充電系統之設計、電能管理系統、推進與儀器用電路設計。

### 99年度：自主式無人船舶之操控系統設計

內容：建立舵機與螺槳轉速控制之類比系統、建立可程式邏輯控制器與無線數據傳輸、遙控操作介面，以及建立系統硬體監控程式。

### 100年度：自主式無人船舶之定位導航系統設計

內容：建立船舶定位之DGPS系統、整合衛星定位、方向計與都卜勒聲納導航資訊、船舶系統鑑定、建立船舶自動駕駛程式。

### 101年度：自主式無人船舶之路徑規劃與任務控制系統設計

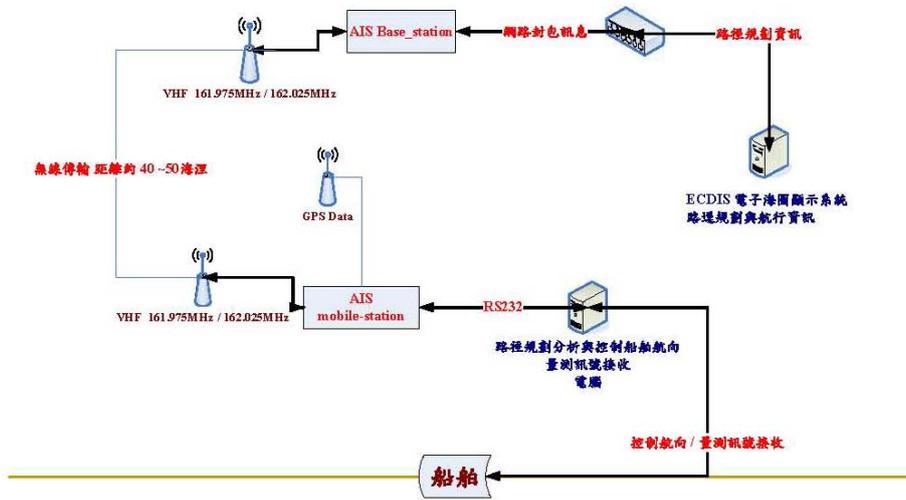
內容：整合電子海圖與無人船舶之操控介面、建立自動測量路徑規劃程式、整合路徑規劃程式與自動駕駛程式。

## 主要成果

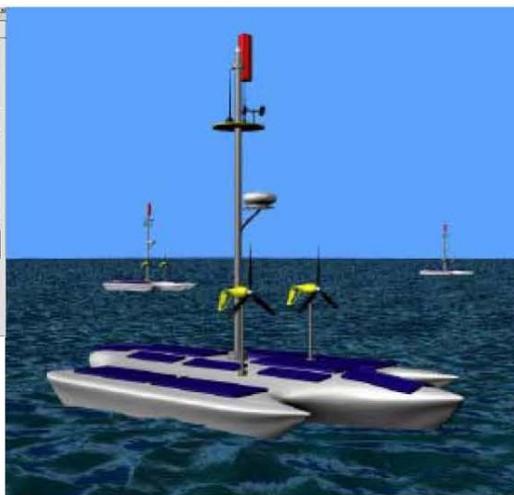
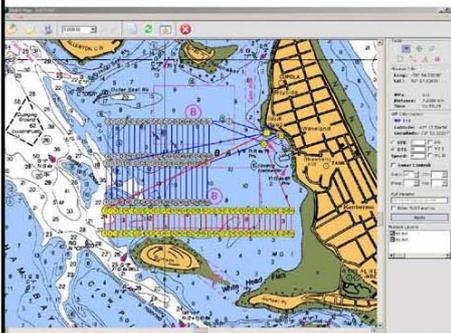
- 無人船舶遙控系統
- 無人船舶設計
- 無人船舶太陽能電力系統規劃

# 主要成果

## 一、無人船舶遙控系統

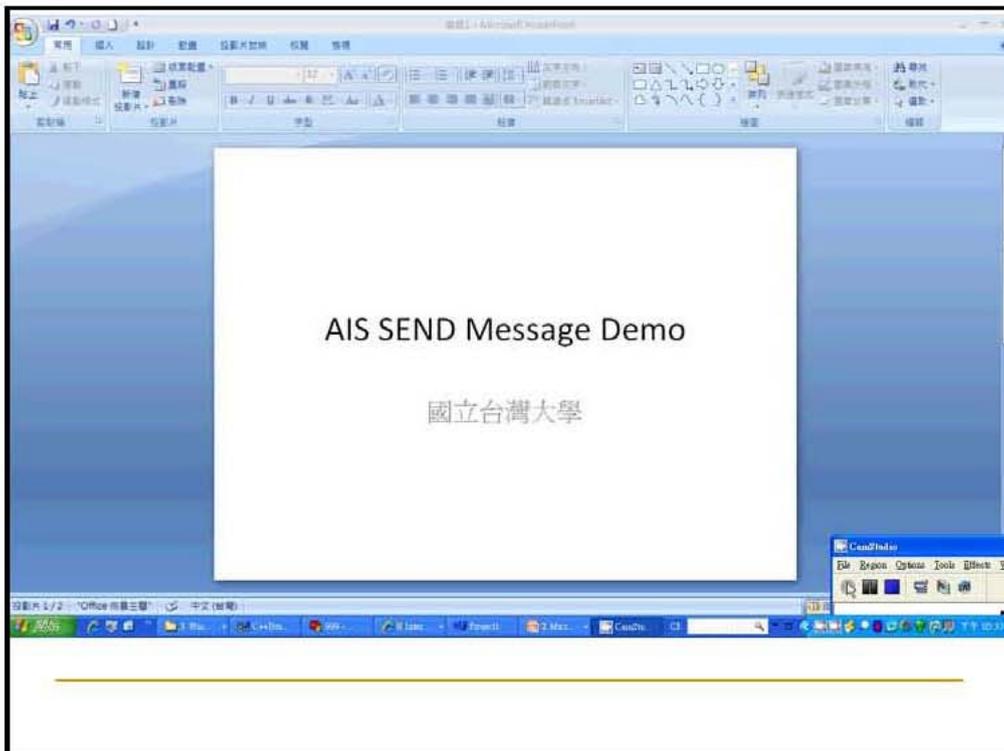


# 設計目標



<http://www.iver-auv.com/index.html#>

Courtesy NASA Ames Research Center, Jesse Haitt, UCSC.



## 主要成果

### 二、無人船舶設計

- 船型設計
- 船體阻力估算
- 耐海性能預估



## 船型設計

- 本計畫選用SWATH船型作為實驗船，此船型有下列幾項特性：
  - 1. 耐波性能佳
  - 2. 具有寬廣的平台面積和充裕的使用空間。
  - 3. 操縱航向穩定性好
  - 4. 建造成本低，建造時間快

## 無人船座標系及規格

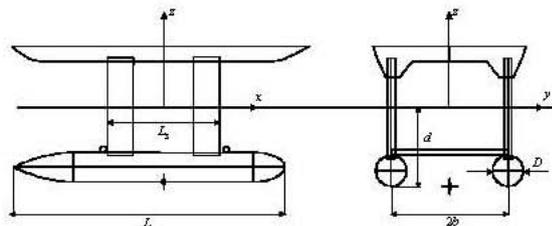


圖 2. 無人船的座標系及主要尺度

$L$ ：圓筒長度

$L_s$ ：支柱的水線長

$d$ ：吃水深

$D$ ：圓筒直徑長

$2b$ ：兩圓筒之間距

本船的主要規格為  $L=2.25$ 、 $L_s=0.935$ 、 $d=0.7$ 、 $D=0.25$ 、 $2b=0.95$

$$\frac{L}{D} = 9、\frac{d}{D} = 2.8、\frac{2b}{L} = 0.42 \circ \circ$$



## 船體阻力估算

- 本船在進行任務時對船速的要求速度需為慢速以利於資料的擷取，故從Froude number小於0.3時的阻力係數曲線來觀察。
- 有兩處的阻力係數值較小，分別為速度在0.39m/s( $fn = 0.13$ )以及速度在0.55m/s( $fn = 0.18$ )時，故任務進行時選擇這兩種速度航行為佳。

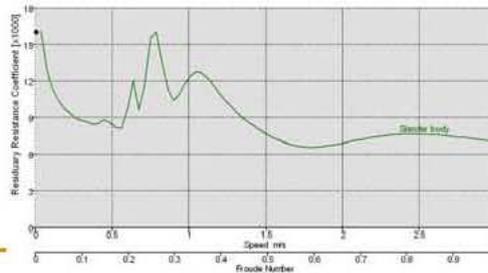


圖3. 設計船型的阻力圖

## 不同情況下的L/D對航行時的阻力影響

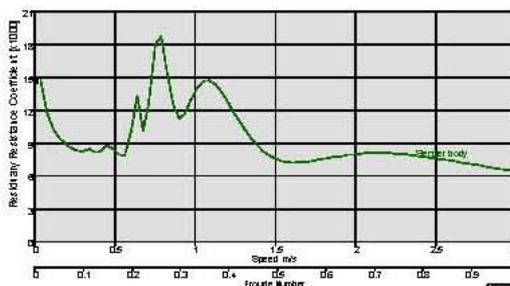


圖4. L/D = 6 的阻力圖

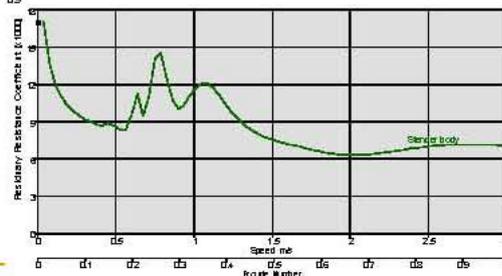


圖5. L/D = 12 的阻力圖

## 不同情況下的d/D對航行時的阻力影響

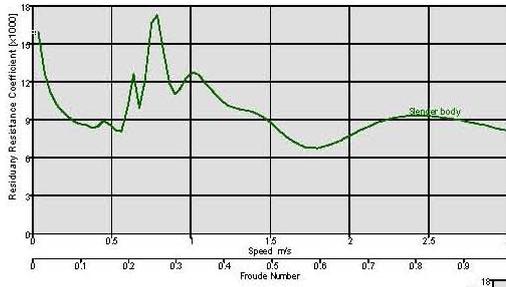


圖6.  $d/D = 2$  的阻力圖

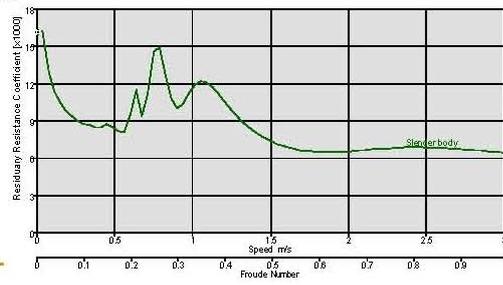


圖7.  $d/D = 3.5$  的阻力圖

## 不同情況下的 $2b/L$ 對航行時的阻力影響

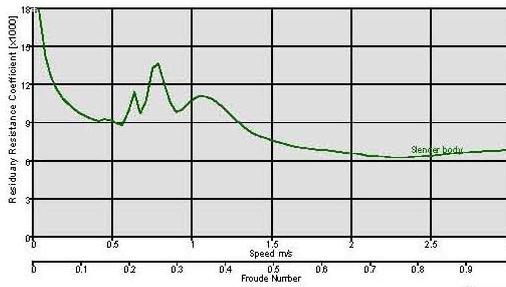


圖6.  $2b/L = 0.25$  的阻力圖

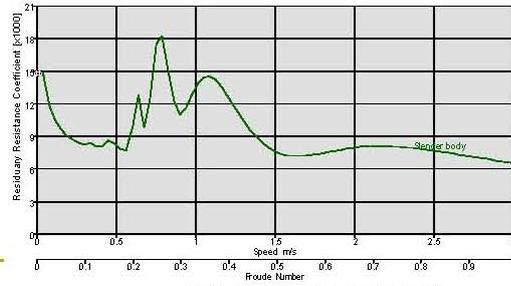
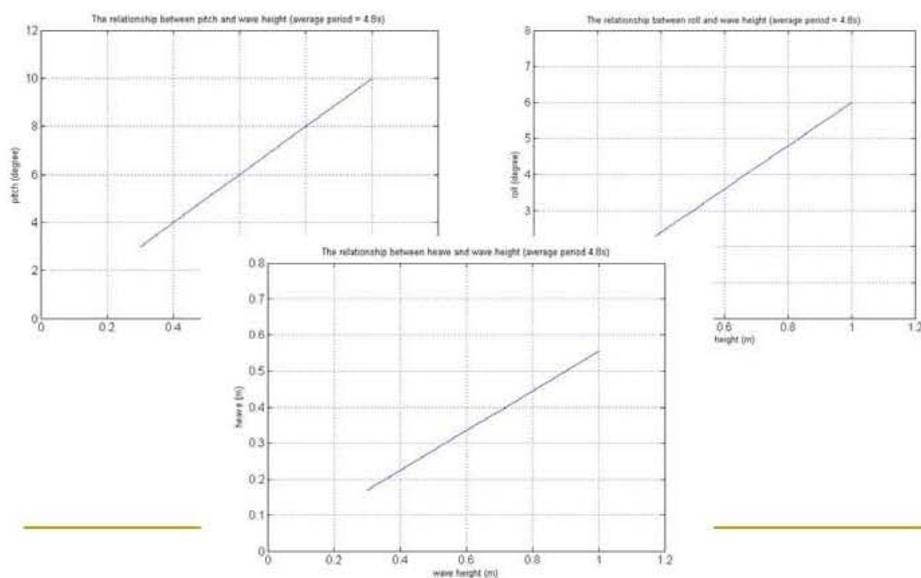


圖7.  $2b/L = 0.6$  的阻力圖

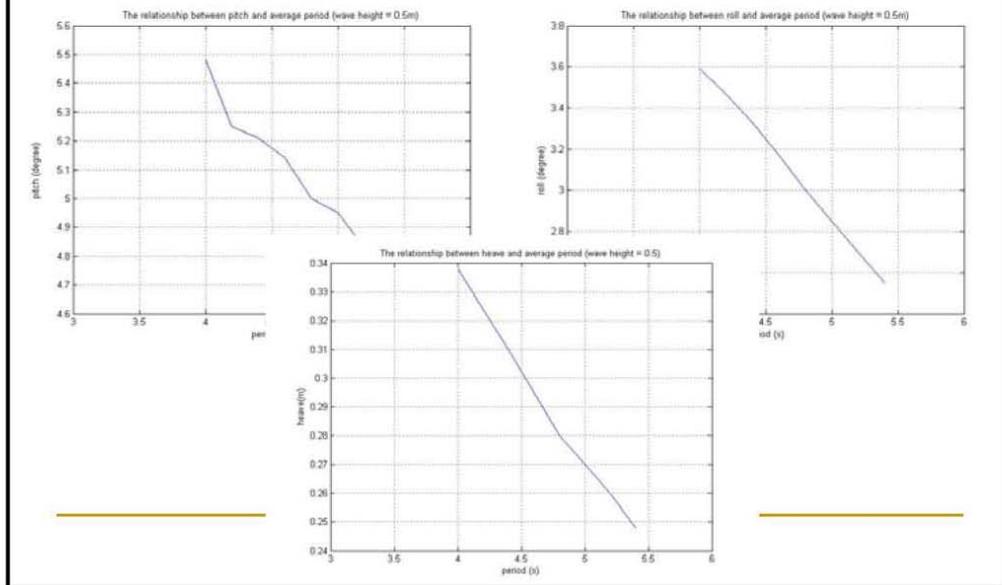
## 耐海性能預估

- 此處考慮不同波高及週期對無人船的縱搖、橫搖及起伏運動的影響。
- 波高及週期的資訊參考中央氣象局台灣西部的海象統計數據。

## 不同波高對無人船耐海運動的影響



## 不同週期對無人船耐海運動的影響

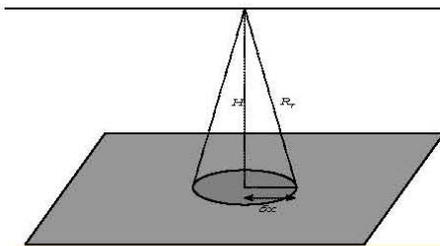


## 測深機的限制

測深機規格

### PSA-900 Progamable Sonar Altimeter

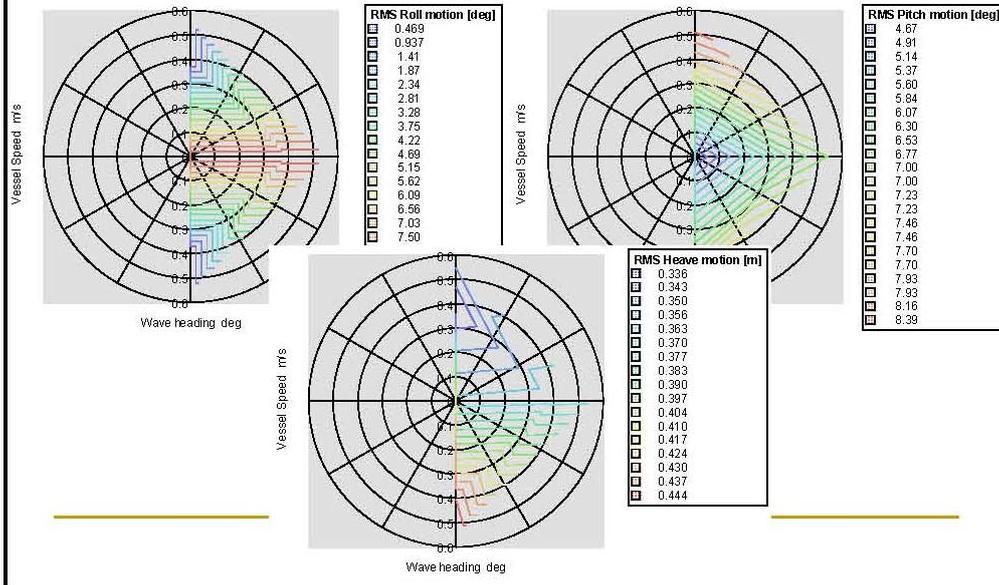
Operating Frequency: 200 kHz (nominal)  
 Beam Width: 8° conical typical  
 Pulse Length: 350 ms standard  
 Repetition Rates: 10 pps, 1pps, .1pps, or external user selectable  
 Range\*: .75-30 meters with 1 cm resolution or .75-100 meters with 10 cm resolution (user selectable)



$$\delta x = \sqrt{R_r^2 - H^2} = \sqrt{\left(\frac{C(T_b + T)}{2}\right)^2 - \left(\frac{C(T_b)}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{CT}{2}\right)^2 + \frac{C^2 T T_b}{2}}$$

$$\delta x = \sqrt{\left(\frac{CT}{2}\right)^2 + \frac{C^2 T T_b}{2}} \approx \sqrt{\frac{C^2 T T_b}{2}} = \sqrt{HCT}$$

## 波高 0.7 m、平均週期 4.8 s



## 海象限制條件

- 綜合以上無人船耐海預測，建議當波浪平均週期大約為4.8s左右時，波高於0.7m時為作業範圍。
- 波浪的週期及波高預報由中央氣象局網站獲得。

## 台灣中西部海域波浪特性分析

縣市	區域	測量(分析)單位	測量(分析)期間	波浪特性
嘉義縣	外傘頂洲北側海域	港灣技術中心	79/10   80/04	冬季波浪示性波高介於 0.75~1.75 m，以示性波高 1.5 m，週期約 6 sec 佔大部分。(實測)
	鰲鼓海埔地	經濟部工業局	81	冬季發生示性波高 0.72 m 與 2.5 m 之機率分別為 28.9% 與 28.3% (對應週期為 3.7 sec 與 6.5 sec)，夏季發生示性波高 0.7 m 與 2.0 m 之機率分別為 15.5% 與 4.1% (對應週期為 3.6 sec 與 5.7 sec)。(推算)
雲林縣	台西海域 (THL1)	成大水工所	81/11   88/10	夏季示性波高大於 1.0m 的機率約為 14%，示性週期的主要範圍介於 4~6sec，波向主要為 SW 方向與 NW 方向。 冬季示性波高大於 1.0m 的機率約為 50%，示性週期的主要範圍介於 5~7sec，平均波向主要集中在 NNW 方向。
彰化縣	崙尾海域 (CH7W)	成大水工所	80   82	2、3 月期間示性波高則集中於 1~2m，示性週期集中於 6.0~8.5sec，波向集中於 NW。 4~6 月期間示性波高大部分小於 0.5m，示性週期集中於 6.0~8.0sec，波向集中於 W-NW 之間。 8~10 月期間示性波高大部分小於 1m，示性週期集中於 6.0~9.0sec，波向集中於 WNW-NW 之間。
	崙尾海域 (CH7W)	成大水工所	80/08   87/03	示性波高以 5 至 7 月為最小，平均在 0.5m 以下；4 月、8 月及 9 月則變化較大；在缺乏 12 月及 1 月的現場資料下，一般以 11 月的示性波高為最大；較大波高主要來自 N-NE 及 SW-W 方向。
	崙尾海域	工研院能質所	82/11~12	11、12 月之示性波高集中於 1.0m~3.0m，示性週期則介於 2.90sec~9.06sec 之間。
台中縣	台中港區	港灣技術中心	83/10   85/03	夏季季風期間，示性波高平均為 0.5 m，小於 0.5 m 約佔 67%，介於 0.5~1 m 佔 28%；示性週期平均為 4.2sec，介於 3~4sec 佔 41%，介於 4~5sec 佔 23%，介於 5~6sec 佔 17%。 冬季季風期間，示性波高平均為 1.9 m，其中大於 2 m 約佔 53%，介於 1.0~2.0 m 佔 33%；示性週期平均為 6.0sec，介於 4~5sec 佔 12%，介於 5~6sec 佔 31%，介於 6~7sec 佔 43%。

資料來源：  
港灣技術研究中心

## 主要成果

### 三、無人船舶太陽能電力系統規劃

- 1. 太陽能發電系統組件特性
  - 1.1 太陽能電池特性
  - 1.2 鋰離子電池特性
  - 1.3 負載組件
- 2. 太陽能發電系統模擬分析
  - 2.1 太陽能移動軌跡模擬
  - 2.2 太陽能日照強度模擬
  - 2.3 SWATH 太陽能發電系統分析與程式建構
- 3. 模擬結果分析與結論

# 1. 太陽能發電系統組件特性

## 1.1 太陽能電池

根據(Walker, G., 2001)的數學方程式，太陽能電池輸出電流表示成(1-1)式。

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left( e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AK_bT}} - 1 \right) \quad (1-1)$$

$I_{pv}$ ：太陽能電池的輸出電流(A)

$V_{pv}$ ：太陽能電池的輸出電壓(V)

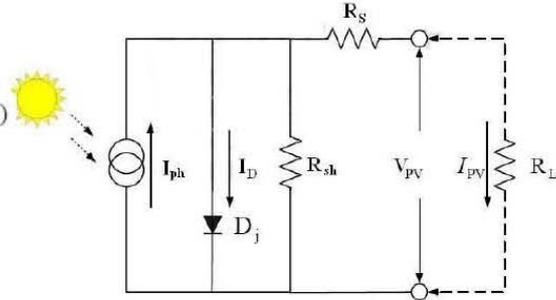
$I_{ph}$ ：太陽能電池短路電流(A)

$I_{sat}$ ：二極體的逆向飽和電流(A)

$K_b$ ：波茲曼常數( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)

$A$ ：太陽能電池的二極體因數( $A=1 \sim 2$ )

$q$ ：一個電子所含電荷量( $1.6 \times 10^{-19}$  C)



太陽能電池的逆向飽和電流 $I_{sat}$ 與溫度的變化相關，因此可以使用數學方程式(1-2)

$$I_{sat} = I_{Tr} \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\frac{qE_{gap}}{AK_b} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)} - 1 \quad (1-2)$$

$T_r$ ：太陽能電池參考溫度(K)

$I_{Tr}$ ：太陽能電池在溫度 $T_r$  (K)時的逆向飽和電流(A)

$E_{gap}$ ：半導體材料跨越能間帶間隙時所需能量(eV)

太陽能電池所產生的電流則會隨著日照強度及溫度變化而改變，其數學方程式為(1-3)

$$I_{ph} = GI_{scr} (1 + K_0(T - T_r)) \quad (1-3)$$

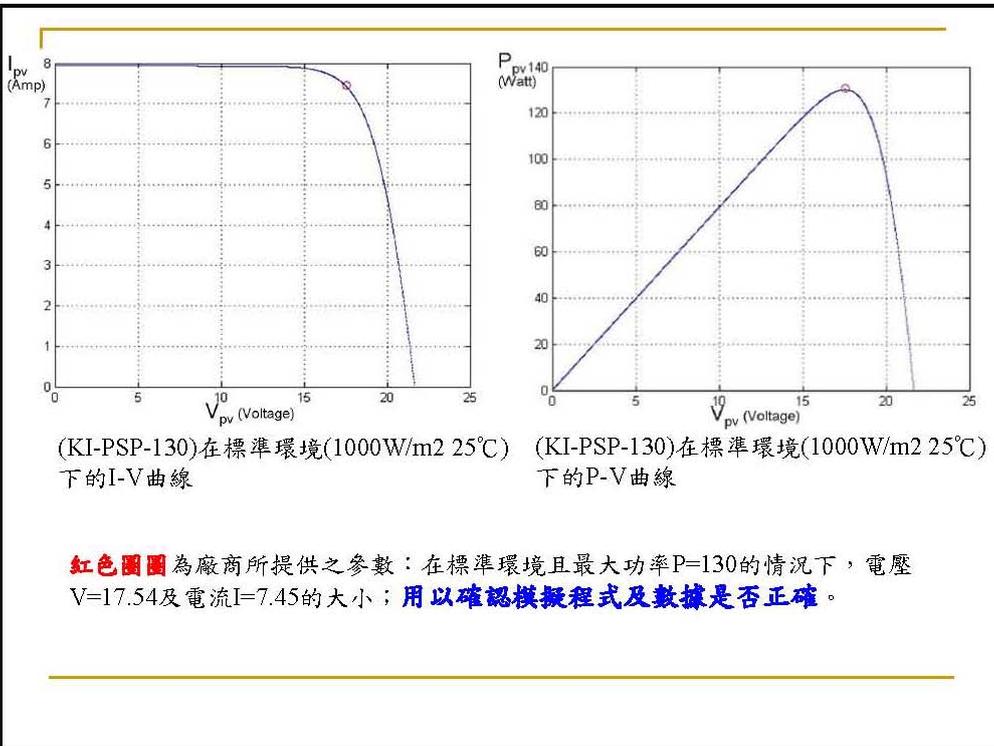
$K_0$ ：太陽能電池短路電流的溫度係數(mA/K)

$G$ ：太陽日照強度( $G=1$  即為  $1000 \text{W/m}^2$ )

貿翔國際有限公司出產之單晶矽太陽能模組(KI-PSP-130)

Parameter	Symbol	Typ	Unit	condition
Maximum power	Pmax	130	W	irradiance: 1000W/m <sup>2</sup> temperature: 25°C
Maximum power voltage	Vpm	17.54	V	
Maximum power current	Ipm	7.45	A	
Open circuit voltage	Voc	21.66	V	
Short circuit current	Isc	7.93	A	
Module efficiency	η	13.9	%	

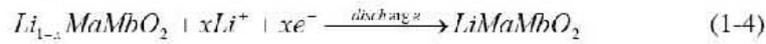
將前述之數學方程式(1-1)、(1-2)及(1-3)建立於MATLAB中，代入以上所列出之各項參數後，可以簡單地描繪出太陽能板模組(KI-PSP-130)在日照強度1000W/m<sup>2</sup>、溫度25度的環境下的I-V曲線及P-V曲線。



## 1.2 鋰離子電池特性

以下為鋰離子電池放電的化學反應式，將反應式的箭號顛倒即為充電反應式

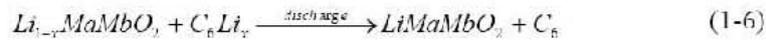
正極



負極



全部反應



單體鋰離子電池的公稱電壓值為3.6V。

典型鋰電池合適的充電電流在0.1C~1.5C之間，使用鋰離子電池必須要裝配防止電池過充電，過放電的保護電路。

## 鋰電池殘電量(state of charge, SOC)估測

### ■ 直接放電法

- 求得電池殘電量最直接及可靠的方法，但每做一次需要花費許久時間，且電池必須與系統斷開才能檢測，因此不適用於SWATH的系統。

### ■ 開路電壓法

- 鋰離子電池的開路電壓在判斷SOC時容易因為測量上的誤差而導致誤判。

### ■ 安培小時法

- 利用能量平衡的原理，量測流入或流出電池的電流量；充電時，由初始SOC值加上電流對充電時間的積分值；放電時，則由初始SOC減去電流對放電時間的積分值。

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t I_{batt}(t) dt \quad (1-7)$$

t為目前時間

t<sub>0</sub>為初始時間

C<sub>N</sub>為公稱電壓

I<sub>batt</sub>為電池的電流

SOC為目前殘電量值

SOC<sub>0</sub>為初始殘電量值

### 1.3 負載特性

常駐負載：工業電腦及都卜勒聲納



工業電腦eBOX530-820-FL

每小時消耗：15Wh



都卜勒聲納WHN1200

每小時消耗：3Wh

**常駐負載每小時消耗18Wh的電量**

間歇性負載：AIS及水下攝影機



AIS運作所需功率之實測

$$24(W) \cdot \frac{5(\text{min}) \cdot 4(\text{times})}{60(\text{min})} = 8(\text{Wh})$$



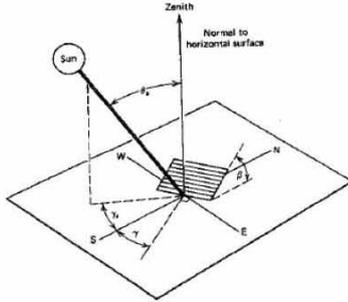
水下攝影機TS-6051EHPSC

$$6(W) \cdot \frac{20(\text{min})}{60(\text{min})} = 2(\text{Wh})$$

**間歇性負載每小時消耗10Wh的電量**

## 2. 太陽能發電系統模擬分析

### 2.1 太陽能移動軌跡模擬

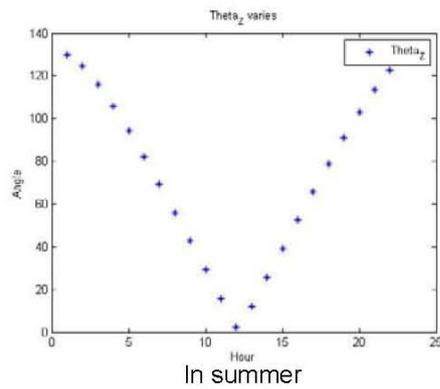
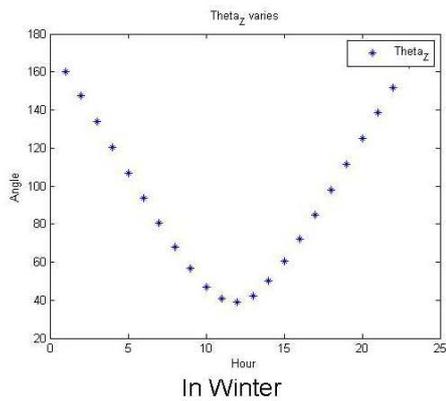


- $\beta$  : 觀察者所在傾斜面與水面之夾角
- $\theta_z$  : 水平面上觀察到的太陽高度角
- $\gamma_s$  : 為方向角
- $\theta$  : 太陽光相對於傾斜面法線的入射角
- $\omega$  : 時角 (hour angle)
- $\delta$  : 太陽赤緯 (solar declination)
- $\phi$  : 緯度
- $d$  : 一年中的第  $d$  天

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cdot \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(284 + d)}{365} \right]$$

If  $\beta=0$  then  
 $\cos \theta_z = \cos \theta$



## 2.2 太陽能日照強度模擬

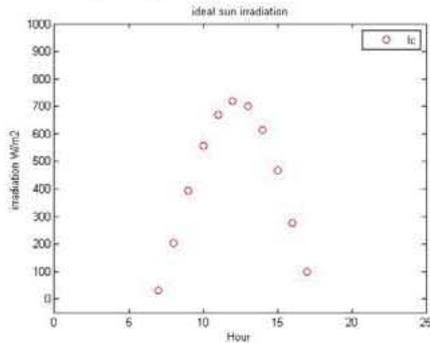
### Step1. 晴空下水平輻射量的理論值 $I_c$

假設  $I_o$  為太氣層外相對於觀察者所在的水平面的晴天日照

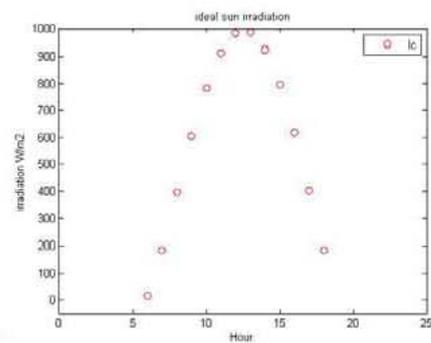
$$I_o = 1363 \cdot \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360d}{365}\right) \right] \cdot \cos \theta_z$$

$I_c$  可看成是由直達輻射量  $I_{cd}$  與漫射輻射量  $I_{cb}$

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \quad I_{cd} = I_o \cdot \tau_d \quad I_{cb} = I_o \cdot \tau_b$$



In Winter



In summer

### Step2. 導入氣象局的水平輻射資料，並藉由經驗公式將輻射量資料分離成直達輻射量 $I_b$ 及漫射輻射量 $I_d$

分離的方式是根據 Stauter and Klein[11] 所提出之公式，先求得參數  $m = I/I_c$

接著代入下列經驗公式

$$\begin{aligned} I_d / I &= 1 - 0.1m & 0 \leq m < 0.48 \\ I_d / I &= 1.11 + 0.0396m - 0.789m^2 & 0.48 \leq m < 1.10 \\ I_d / I &= 0.2 & 1.10 \leq m \end{aligned} \quad (1-23)$$

即可求得水平漫射輻射量  $I_d$

### Step3. 將這兩種輻射量轉換至斜面上

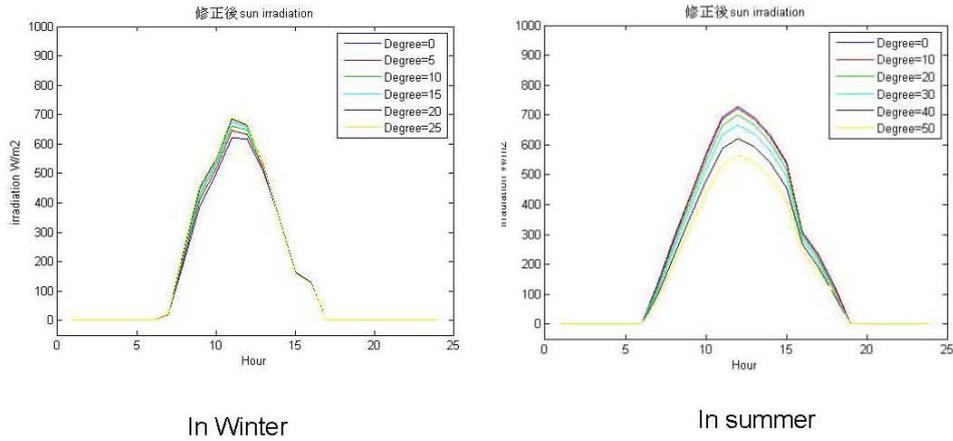
分離出漫射輻射量  $I_d$  及直達輻射量  $I_b$  後，考慮水平面夾角  $\beta$  的影響：

1. 可將直達輻射量  $I_b$  轉換成傾斜面上的直達輻射量  $I_{tb}$  
$$I_{tb} = I_b \cdot \cos \theta$$

2. 而漫射輻射量  $I_d$  及轉換成傾斜面上的直達輻射量  $I_{td}$  
$$I_{td} \cong I_d \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

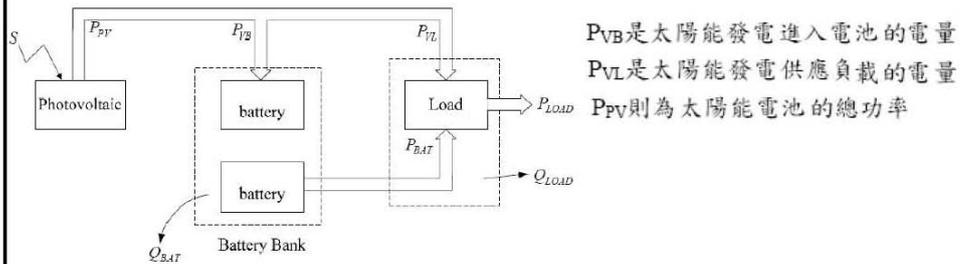
3. 最後將兩者相加

## Result



在冬天時，調整角度 $\beta$ 的會使總輻射量略微提高；  
夏天則因為太陽已經很接近頭頂，調整角度 $\beta$ 反而  
會使總輻射量降低。

## 2.3 SWATH太陽能發電系統分析與程式建構



$P_{VB}$ 是太陽能發電進入電池的電量  
 $P_{VL}$ 是太陽能發電供應負載的電量  
 $P_{PV}$ 則為太陽能電池的總功率

我們可以將整個SWATH太陽能  
發電系統看成下列

$$\int_{t_1}^{t_2} (P_{PV} - Q_{BAT} - Q_{LOAD}) dt = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{dP_{LOAD}}{dt} + \frac{dE_{BAT}}{dt} \right) dt \quad (1-28)$$

蓄電池在充放電時的熱能損耗功率  $Q_{BAT}$   
負載運作時所額外產生之損耗  $Q_{LOAD}$

以(1-28)式所描述的數學模型為核心，配合2.1.2節的太陽能輻射量分析及1.1節太陽能板發電量模擬的程式，來進行整個SWATH太陽能發電系統的模擬。

### LLP(Loss-of-Load)

負載停載機率(LLP)定義為系統設計下之太陽能板與蓄電池，無法提供負載足夠電量之機率。

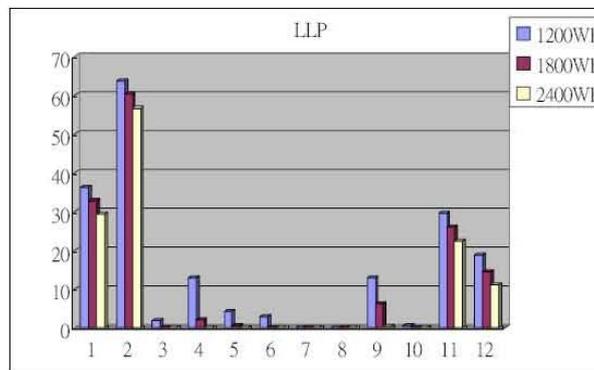
以小時為單位，一年365天中有k個小時負載停載，則LLP為

$$LLP = K / (365 \cdot 24)$$



### 3. 模擬結果分析與結論

- 最大發電量260W(受限於SWATH所設計的體型大小，目前只搭載2片太陽能板模組)
- 負載方面，則代入每小時所消耗之電量為28W
- 鋰電池蓄電量規格分別為1200Wh、1800Wh及2400Wh



不同電容量在各個月份之LLP

## 結論

- 本計畫之研究目標為設計、製作與測試一具自主式無人工作小船，利用太陽能與充電電池驅動，建立其精密導航定位與路徑追隨自動控制系統。此工作船可攜帶多種量測儀器，自動施行港口之水深、水流剖面、地形、沈積物資料蒐集與測量等工作，且可將資料藉由無線電波傳送至岸上之監控電腦。無人船舶之監控與通信採用船舶自動識別系統，因此本研究之成果在未來可以進一步延伸為架構在無線網路上之無人船隊系統，藉由無人船隻間之相互通訊，可以施行大規模的海岸測量與監控。
- 本報告說明無人船舶之主體結構、通訊與遙控介面、儀器之規格與配置、無人船舶主體架構之製作組裝以及太陽能電池與充電系統之規劃。