

國立臺灣大學理學院地質科學研究所

碩士論文

Department of Geosciences

College of Science

National Taiwan University

Master's Thesis



淺海型海底電磁儀的研發與元件驗證方法

Development and Component Validation of
Shallow Ocean Bottom Electro-magnetometer

陳又嘉

Yu-Chia Chen

指導教授：林日白 博士

林慶仁 博士

Advisor: Jih-Pai Lin, Ph.D.

Ching-Ren Lin, Ph.D.

中華民國 113 年 1 月

January, 2024

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

淺海型海底電磁儀的研發與元件驗證方法
Development and Component Validation of
Shallow Ocean Bottom Electro-magnetometer

本論文係陳又嘉（R10224114）在國立臺灣大學地質科學系暨研究所完成之碩士學位論文，於民國 113 年 1 月 4 日承下列考試委員審查通過及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department of Geosciences on 04/01/2023 have examined a Master's Thesis entitled above presented by Chen, Yu-Chia(R10224114) candidate and hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

林日白

(指導教授 Advisor)

林彦仁

(共同指導 co-Advisor)

系主任/所長 Director: _____

誌謝



研究的兩年半間不能說一路順遂，但也沒有特別坎坷，這條路上許多人給予了幫助，在此表達對這些貴人們的感激之意。

感謝慶仁老師兩年來，不管是在儀器的使用或是在電子知識的傳授上都耐心的指導，在我犯錯或腦袋不靈光的時候都給予包容，也教會我任何事情都一定想得出辦法解決，在研究上更腳踏實地。

謝謝日白老師的督促及提醒，讓我在論文的產出順利許多，支持我從古生物的世界轉換跑道到儀器領域，在生涯規劃上為我指點迷津。

感謝口試委員陳建志及張竝瑜老師撥空前來指導，針對需要加強的部分提供寶貴建議，讓我能清楚地呈現研究成果，論文更加圓滿。

感謝奇韋教我 Arduino 及在實驗室的日常提供我許多協助；豐盛在機構設計和 SolidWorks 上給予許多建議，在 SOBEM 的實現上讓我少繞了些遠路，也帶我初入 Fantasy 的世界；張 sir 艸清了許多電子上的想法，在電路設計及檢測上讓我避免燒掉實驗室的風險；金恒在我剛到台北時帶我融入地質系，在實驗、生活及課業上都幫忙了許多。感謝秀柏學長提供的 logger，讓我在兩年半順利畢業；感謝鼎竣學長在 MT 觀念及資料處理上的幫助。

感謝筱柔學姊和家昕，在研究上總是不吝給與幫助，迷惘的時候總是互相加油打氣，能和你們在同個實驗室相遇是件很幸福的事；感謝坐隔壁的健哲給予的溫暖，希望你能少喝點酒，找到快樂；感謝哭馬在論文審核沒過後幫我 P 超重要的圖，讓我能順利提交；感謝昇翰在對論文的疑問上總是耐心的回應；地質系的學弟妹們(俊鎰、振維、維哲等)在生活及學業上給予的幫助及關懷；R111 同梯但不常見面的健嘉，懷念一起磨薄片的時光，這段緣份得來不易；想念 325 研究室及出野外的各位，總是充滿快活的空氣。

感謝家人的支持，有你們在我才能無後顧之憂的完成學業；感謝元晶太陽能經理亮哥，在求職面試時花了一個半小時說服我念完碩班；感謝從當兵到碩班期間女朋友的陪伴，及趕論文時每個語音通話的夜晚，讓我擁有許多酸甜苦辣的回憶，謝謝妳們完整了我，也讓我成為更溫柔的人。

特別感謝舊體巨巨重訓團、化工女排、地質系排、台大野場、六九派對、



OA、一中棒球隊 OB、柒食貳、B15，我在台北的快樂泉源，不管是在球場上揮灑汗水，晚上的相約吃飯，還是深夜的黃湯下肚，沒有你們我無法想像要如何度過菸酒生的歲月。

最後謝謝不斷追尋與思考問題的自己，對這個世界的好奇及熱情仍會是往後人生的最大助力。

要感謝的人族繁不及備載，礙於篇幅無法一一提及，謹以此論文，獻給我所有最親愛的朋友及家人。

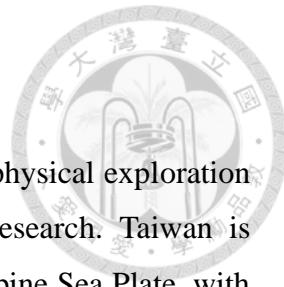


摘要

大地電磁法(Magnetotellurics, MT) 是一種非破壞性被動源的地球物理探勘方法，被廣泛應用在能源探勘和地球構造研究。臺灣位處於歐亞板塊和菲律賓板塊交界帶，地殼活動頻繁，自從 MT 法引入臺灣之後，已有許多學者與研究機構利用此套方法研究臺灣的電性構造。海洋電磁法(Marine magnetotelluric)是其中一種在海域進行的 MT 探勘技術，各國爭相發展海底大地電磁儀(Ocean Bottom Electro-magnetometer, OBEM)進行海底探勘的同時，國內也自主研發出佈放於深海的 OBEM。儘管過去數十年來 OBEM 在深海探勘研究已經蓬勃發展，但水深小於 300 公尺的淺海區僅有少量 MT 測量相關研究。與深海探勘相比，淺水及沿海地區進行地球物理探勘相對複雜，MT 方法需要測量的電磁訊號頻段容易受到海浪運動雜訊和人為設施的干擾。此外，具有足夠載重的研究船因吃水深度緣故在淺海地區難以行駛，頻繁的漁業活動也不利於研究進行，綜合上述原因，我們在前人的研究基礎之上，以深海型 OBEM 為參考，開發出可以使用小型船隻進行佈放與收回作業的淺海型 OBEM，並期望運用此儀器進行淺海區域的大地電磁高密度探測，解析臺灣淺海及附近區域地下構造。

關鍵字:大地電磁法(MT)、海洋電磁法、海底大地電磁儀(OBEM)、電性構造、
地球物理探勘

ABSTRACT



Magnetotellurics (MT) is a non-destructive passive source geophysical exploration method widely used in energy exploration and Earth structure research. Taiwan is located at the convergence zone of the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate, with frequent crustal activities. Since the introduction of the MT method to Taiwan, many scholars and research institutions have utilized this method to study Taiwan's electrical structure. Marine Magnetotellurics (Marine MT) is one of the MT survey techniques conducted in marine areas. While countries worldwide are actively developing Ocean Bottom Electro-magnetometers (OBEM) for seafloor exploration, domestic efforts have also independently developed OBEMs for deployment in deep-sea environments.

Despite the flourishing development of OBEMs in deep-sea exploration over the past decades, there has been limited research on MT measurements in shallow waters with depths less than 300 meters. Compared to deep-sea exploration, conducting geophysical exploration in shallow and coastal areas is relatively complex. The frequency range of electromagnetic signals that MT methods require measurements for is susceptible to interference from wave-induced motion noise and human-made facilities. Additionally, research vessels with sufficient payload capacity face challenges navigating in shallow sea areas due to draft limitations. Frequent fishing activities also hinder research efforts. Considering these factors and building upon previous research, we developed a shallow-water OBEM based on deep-sea OBEMs that can be deployed using small vessels. We aim to utilize this instrument for high-density electromagnetic exploration in shallow-sea regions, unraveling the underground structures of Taiwan's shallow seas and nearby areas.

Keywords: Magnetotellurics; Marine magnetotelluric;

Ocean Bottom Electro-magnetometer; Geoelectrical structure;

Geophysical Prospecting

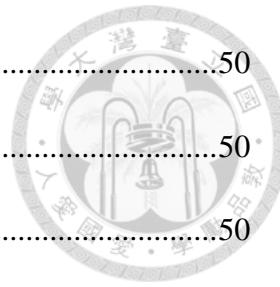
目次



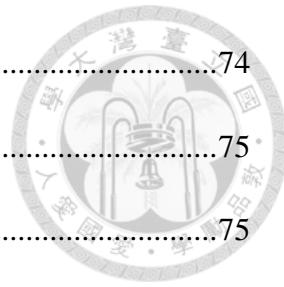
學位審定書	i
誌謝	ii
摘要	iv
ABSTRACT	v
目次	vi
圖次	x
表次	xv
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 論文架構	4
第二章 SOBEM 的設計	5
2.1 SOBEM 與深海型 OBEM 之差異	5
2.2 設計架構	6
2.3 SOBEM 元件詳細規格與功能	8
2.4 機構設計	11
2.4.1 儀器載台設計	11
2.4.2 儀器水密艙體設計	13
2.4.3 電極伸展臂設計	17
2.4.4 浮標設計	21
2.4.5 鋼碇設計	22



2.5 電路設計	22
2.5.1 SOBEM 電路系統設計	25
2.5.2 信號調整器	27
第三章 SOBEM 的檢測方法	35
3.1 機構部分	35
3.1.1 電極伸展臂測試	35
3.1.2 艙體水密測試	35
3.1.3 儀器重量測試	37
3.1.4 浮標載台測試	38
3.1.5 鐨碇測試	38
3.2 感測元件檢測方法	39
3.2.1 磁力感測器	39
3.2.2 Tiltmeter	40
3.3.3 非極化電極	41
3.3 資料記錄器檢測方法	43
3.3.1 背景雜訊	44
3.3.3 動態範圍	45
3.4 AIS 測試	46
3.5 電力消耗測試	47
3.6 整合測試	48
3.6.1 室內測試	48
3.6.2 港池測試	49



第四章 SOBEM 的檢測結果	50
4.1 機構部分	50
4.1.1 電極伸展臂測試結果	50
4.1.2 艙體水密測試結果	53
4.1.3 儀器重量測試結果	53
4.1.4 浮標測試結果	53
4.1.5 鐨碇測試結果	54
4.2 感測元件檢測結果	54
4.2.1 磁力感測器	54
4.2.2 Tiltmeter.....	57
4.2.3 非極化電極	57
4.3 資料記錄器檢測結果	60
4.2.2 線性度誤差檢測結果	62
4.2.3 動態範圍檢測結果	66
4.4 AIS 測試結果	66
4.5 電力消耗測試結果	67
4.6 整合測試結果	68
4.6.1 室內測試結果	68
4.6.2 港池測試結果	69
第五章 SOBEM 佈放收回方法	73
5.1 佈放與收回方法	73
5.2 佈放作業程序設計	73



5.3 收回作業程序設計	74
第六章 SOBEM 資料處理方法及初步成果.....	75
6.1 資料處理方法	75
6.2 野外資料處理初步成果	76
第七章 討論與結論	80
7.1 儀器水密艙體問題	80
7.2 資料紀錄器耗電問題	80
7.3 電場飽和	80
7.4 佈放問題	81
7.5 與日本製 SOBEM 比較	81
7.6 結論	84
7.7 未來展望	85
參考文獻	86
附錄 A 磁力感測器規格書	92
附錄 B Tiltmeter 規格書	103
附錄 C 非極化電極規格書	108
附錄 D 一次性鋰電池規格書	110
附錄 E AIS 網位儀規格書	112
附錄 F SOBEM 相關零件工程圖	115
附錄 G SOBEM 佈放 SOP	120
附錄 H SOBEM 收回 SOP	122

圖次

圖 1 淺海型 OBEM 功能方塊圖。	7
圖 2 SOBEM 儀器組合示意圖。	7
圖 3 儀器載台用的 FRP 格柵板。	12
圖 4 圖左儀器載台正面圖。圖右為儀器載台背面圖。	12
圖 5 水密艙體與艙體下蓋設計圖。	14
圖 6 艙體上蓋設計圖。	14
圖 7 使用 PE 蓋與 PE 柱夾住艙體。(a)側面圖(b)俯視圖。	15
圖 8 Tiltmeter 水密艙體圖。	16
圖 9 Tiltmeter 水密艙體蓋圖。	16
圖 10 Tiltmeter 艙體和磁力感測器一同鎖附在儀器載台上。	17
圖 11 電極伸展臂設計示意圖(修改自林豐盛)。	18
圖 12 紹鏈關節設計圖。	19
圖 13 電極伸展臂收合時。	20
圖 14 AIS 浮標原始設計示意圖(林豐盛提供)。	21
圖 15 AIS 浮標實際完成照片。	22
圖 16 潛水俠用鉛塊加工過程。	24
圖 17 鑄碇 1。	25
圖 18 SOBEM 電路設計圖。	26
圖 19 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的磁力感測器用信號調整 器電路及波德圖。	28
圖 20 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Tiltmeter 用信號調整器	



電路及波德圖。	28
圖 21 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Differential 非極化電極用信號調整器電路及波德圖。	29
圖 22 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Single-Ended 非極化電極用信號調整器電路及波德圖。	29
圖 23 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出磁力感測器信號調整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。	30
圖 24 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出 Tiltmeter 信號調整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。	31
圖 25 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出非極化電極用信號調整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。	32
圖 26 電路板完成後，使用動態分析儀的 sweep sine 功能測試的七個通道電壓增益及相位對頻率響應波德圖。	34
圖 27 SOBEM 機構部分於新海研二號船舷準備進行測試。	35
圖 28 (a) 艙體蓋，蓋上溝槽內裝有 O-Ring。(b) Tiltmeter 用水密艙體。	36
圖 29 將 Tiltmeter 用水密艙體綑繩於 PVC 管上之後以繩索垂放入海中進行測試水密功能。	36
圖 30 在塑膠桶中分別放入 SOBEM 各部分，以彈簧秤測量水中重量。	37
圖 31 AIS 浮標測試。AIS 浮標以繩索綁在甲板的欄杆上，以船隻拖行測試 AIS 浮標的運作情形。	38
圖 32 磁力感測器測試示意圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 X 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動。	39



圖 33 磁力感測器測試示意圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 Y 軸一公尺處，做一 公尺的横向移動。	40
圖 34 磁力感測器測試示意圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 Z 軸一公尺處，做一 公尺的横向移動。	40
圖 35 Tiltmeter 連接數位電表，隨傾斜角度的不同，電表上的讀數應該會有所變 化。	41
圖 36 塑膠桶內電極擺放位置圖。	42
圖 37 電極測試實驗設備連接圖。	42
圖 38 資料紀錄器外觀。左上方黃色部分為連接正負極形成短路的跳線。	44
圖 39 電力消耗測試設備連接圖。	47
圖 40 SOBEM 室內測試情形。	48
圖 41 選定海洋大學動力小船練習場做為港池測試地點。	49
圖 42 SOBEM 佈放示意圖。	49
圖 43 SOBEM 入水時因重心與浮心並沒有垂直，剛入水即呈傾斜狀態。	51
圖 44 於艙體和電極伸展臂間設置檔板，維持電極臂傾斜角度。	52
圖 45 將 SOBEM 從水中拉起。	52
圖 46 在甲板上曝曬的 AIS 浮標。	54
圖 47 磁力感測器測試結果圖。	55
圖 48 磁力感測器測試結果圖。	55
圖 49 磁力感測器測試結果圖。	56
圖 50 磁力感測器測試結果圖。	56
圖 51 非極化電極直流電壓檢測結果圖。	58

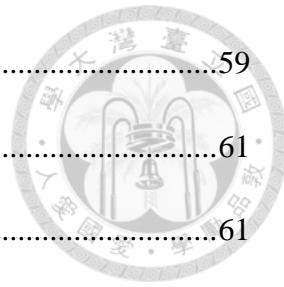


圖 52 非極化電極正弦掃頻試驗結果圖。	59
圖 53 磁力感測器背景雜訊測試圖。	61
圖 54 Tiltmeter 背景雜訊測試圖。	61
圖 55 非極化電極背景雜訊測試圖。	62
圖 56 資料記錄器 MX、MY、MZ 波道線性度圖。	63
圖 57 輸入磁力計波道的誤差百分率。	63
圖 58 資料記錄器 TX 和 TY 波道線性度圖。	64
圖 59 輸入 Tiltmeter 波道的誤差百分率。	64
圖 60 資料記錄器 EX 和 EY 波道線性度圖。	65
圖 61 圖中可以看到非極化電極波道所算出的誤差百分率。	65
圖 62 AIS 收發器所記錄的航跡畫面。	66
圖 63 AIS 測試結果。	67
圖 64 SOBEM 全磁場資料減去 41973 nT 的平均磁場強度和內城磁力站全磁場資料減去 45338 nT 平均磁場強度之對比結果。	69
圖 65 將儀器與錨碇之間的繩索解開，拆卸電極伸展臂，方便運送 SOBEM。	70
圖 66 運送 SOBEM 至港池邊後，將電極伸展臂裝上。	71
圖 67 由岸邊拍攝港池測試地點。	71
圖 68 由堤防拍攝港池測試地點。	72
圖 69 SOBEM 記錄到 7 天的時間序列圖。	77
圖 70 SOBEM 2023/11/13 00:00 ~ 2023/11/14 00:00 的資料。	78
圖 71 SOBEM 2023/11/13 15:00~18:00 記錄到的結果。	79
圖 72 日本開發的 SOBEM 示意圖(摘自 Ueda et al,2014)。	82

圖 73 本研究開發的 SOBEM。 83



表次



表 1 元件規格及功能表	10
表 2 儀器水密艙體鑽孔用途表	15
表 3 Tiltmeter 用水密艙體鑽孔用途表	17
表 4 各波道輸入/輸出電壓表	27
表 5 4組電極阻抗、自然電位、輸入 5V 感應電位測試表。	59
表 6 資料記錄器對不同感測器的 7 個波道短路後參數表。	60
表 7 電池需求與重量計算表。	68

第一章 緒論



1.1 研究動機

大地電磁法(Magnetotellurics, MT) 在能源探勘和地球構造的研究上已經是一種被廣泛應用之非破壞性被動源地球物理探勘方法。臺灣自 1995 年引進第一套大地電磁測勘系統以來，已經有許多相關利用 MT 方法的研究成果，例如臺灣的一維及二維電性構造研究(陳建志，1998; 徐煥銘，2006; Bertrand et al., 2009; 葉秀柏，2010; 周暉國，2017)、臺灣車籠埔國際鑽井計畫 TCDP 及集集地震孕震構造研究(Chen et al., 2002; Chen et al., 2007; Chiang et al., 2008)、臺灣大地動力國際整合計畫 TAIGER(Bertrand et al., 2009; Chiang et al., 2010; Bertrand et al., 2012)、臺灣天然電磁場之觀測研究(徐漢倫，2012)以及宜蘭清水地熱資源(Chang et al., 2014; Chiang et al., 2015)...等。但以上的研究皆為陸地上的 MT 方法應用，直到 2010 年起才有在臺灣周圍海域進行海底探勘(Hsu et al., 2014)。

臺灣在各國利用海底大地電磁儀(Ocean Bottom Electro-magnetometer ,OBEM)進行海域研究 (Constable, 2006, 2010; Kasaya and Goto, 2009; Chen et al., 2020) 的同時，也希望能發展此一技術進行深海探勘，然而因為儀器價格高昂及商業化設備供應來源短缺，促使國內為了降低成本，嘗試自主開發 OBEM (Lin et al., 2019)。

國內在 2009 年成功自行研發出海底地震儀(Ocean Bottom Seismographs, OBSs) (Wang et al., 2012)，也多次在臺灣周圍海域進行佈放，並成功蒐集海床地震資料，應用在板塊隱沒帶與地殼構造的研究上(Kuo et al., 2012; Kuo et al., 2014 ;Kuo et al., 2015)，有了先前改良並重新設計 OBS 的開發經驗，國立海洋大學地球科學研究所(National Taiwan Ocean University, Institute of Earth Science, NTOU) 於 2010 年時偕同國立臺灣大學海洋研究所(National Taiwan University, Institute of Oceanography, IONTU)、中央研究院地球科學研究所 (Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, IES) 及國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心(Taiwan Ocean Research Institute, National Applied Research Laboratories, TORI)共同研發出第一代 OBEM 設備。經多次近海實驗和精進儀器功能後，NTOU 和 IES 在 2018 年成功佈放於臺灣東北海域的沖繩海槽西側約 1400 公尺深處，兩個月後研究團隊成功執行收回儀器任務並完成資料蒐集工作(Lin et al., 2019)。



儘管過去數十年來深海探勘及研究蓬勃發展，特別是在水深超過 300 公尺的海域勘探(Chave et al., 1991; Constable and Srnka, 2007; Constable et al., 1998; Hoversten et al., 1998; Kasaya and Goto, 2009; Kaya et al., 2013; Key, 2012; Key et al., 2013)，水深小於 300 公尺的淺海區僅有少量電磁測量相關研究(Andréis and MacGregor, 2008; Hoversten et al., 2000; Mittet and Morten, 2013; Weiss, 2007)，而在水深 100 米內極淺海域的研究又更加稀少(Yoshimura et al., 2006)。

現實層面來看，淺水及沿海地區進行地球物理探勘相對困難，MT 方法需要測量的電磁訊號通常在 10^{-3} to 10^4 Hz 範圍內(Vozoff, 1991)，在 10^{-2} 到 1 Hz 的頻段內特別容易受到海浪運動雜訊的干擾 (例如 Webb, 1998; Webb and Crawford, 2010)。另外，具有足夠載重的研究船因吃水深度的緣故在淺海地區很難行駛 (Ueda et al., 2014) ，綜合上述原因，我們在前人的研究基礎之上，以深海型 OBEM 為參考，開發出能夠以小型船隻進行佈放與收回作業的低成本淺海型 OBEM (Shallow Ocean Bottom Electro - magnetometers, SOBEM) ，並運用此儀器進行海下大地電磁高密度測量，解析臺灣淺海及附近區域的地下構造。

1.2 文獻回顧

海洋電磁法 (Marine magnetotelluric) 是一種在海域進行的 MT 探勘技術，常被用於地下構造研究和海床資源探勘 (Chen et al., 2020)。此一方法的發展最早可追溯到 20 世紀 60 年代初期，Charles Cox 和 Jean Filloux 的研究團隊研發了首部適合深海海底 MT 和 CSEM 探測的設備 (Constable, 2010) ，1961 年他們先在加州近海 1000 多公尺深的水域中部署了記錄電磁場的儀器，接著 1965 年在四千公尺的深海區域佈放可控源海底電磁儀 (Marine Control Source Electro - magnetometer, MCSEM) (Filloux, 1967 ; Cox, 1970) 但在當時並沒有產生同步的電場與磁場紀錄，不過通過兩者與陸地測站的磁力觀測資料交叉比對，得到了海底的 MT 韻應。1980 年前後，日本的電磁儀公司 (Segawa et al., 1982) 相繼研發出海底磁力儀 (Ocean Bottom Magnetometer, OBM) 和海底地電儀 (Ocean Bottom Electrometer, OBE) (Hamano et al., 1984) 。1990 年後結合兩者之功能研發出外型以三顆玻璃球



為主體的 OBEM，並在 2001 年縮小儀器體積將三顆玻璃球簡化成兩顆，同時提升磁場量測解析度至 0.01nT (Baba et al.,2006)。

OBEM 探勘的深度由頻率決定，過去大多數 OBEM 接收取較長週期 (1,000 – 100,000 秒) 的數據，適合用於深部探測目標，例如研究地函結構 (Kasaya and Goto, 2009)；而短週期的電磁數據也是很重要，週期小於 1000 秒的電磁場資料可以用來調查較淺部的地下構造，像是探勘天然資源或地震帶的調查，故 Kayasa 和 Goto 研發取樣率高的 OBEM，除了縮小體積外，將非極化電極延伸臂改良成方便組裝和操作的折疊式機構，提升儀器佈放便利性，同時也將成本降低並且提高了儀器收回效率 (Kayasa and Goto, 2009)。

在 OBEM 應用上，近年來出現許多觀測海嘯的研究 (Ichihara et al.,2013; Zhang et al.,2014; Shimizu and Utada,2015)，因海水本身為一種導電流體，當海嘯發生時海水會在地磁場中運動而誘發電動勢，產生二次場電磁場變化 (Chave et al. 1989; Tyler et al. 2003)。透過觀測到的電場及磁場可推估海嘯的生成來源和波高，或由 OBEM 獲得的數據分析海嘯傳播方向來瞭解海嘯形成機制，進而研擬相關措施減輕海嘯發生時帶來的災害，達到減災的目的。而經由同時比較 OBEM 及 OBS 資料研究東太平洋南部的隆起構造 (Evans et al.,2005)，探討海底不同深度的地下構造變化。另外，甚至出現整合 OBEM 與 OBS 功能之海底電磁接收器和地震儀 (ocean bottom electromagnetic receiver and seismometer, OBEMS) (Chen et al.,2020)，使資料可以同步蒐集，解決成本、效率、位置偏差等問題。

OBEM 的應用除了在地震減災之外，也適用在地下能源與水資源的探勘。由於天然氣水合物通常與高電阻率有關，因此海洋電磁技術被認為是在海床淺部尋找天然氣水合物的有效方法之一 (Edwards,1997；Evans,2007；Ellis et al. , 2008;)。另外近年來有越來越多的研究顯示，全球在近海區域的海床下有淡水和微鹹地下水的存在 (Post et al.,2013)，利用此一技術找出潛在地下水資源，也可以解決全球性地層下陷帶來的嚴重問題。



1.3 論文架構

本文分為七章，第一章緒論，介紹研究動機與目的，並回顧過去前人研究與OBEM 的研發歷史。第二章描述儀器設計，包括儀器載台、水密艙體、電極伸展臂、浮標、錨碇及電路設計，並詳述內部元件的詳細規格及功能。第三章說明儀器內各元件及整體儀器的測試方法，包括室內和野外測試。第四章列出儀器內各元件及整體儀器的測試結果。第五章詳述儀器佈放收回的方法與程序設計。第六章詳述資料處理方法及初步成果。第七章則是討論儀器水密艙體設計、儀器耗電、電極放大倍率和儀器佈放收回問題、結論與未來展望。



第二章 SOBEM 的設計

海下觀測儀器依佈放收回方式可分為繫纜型、海纜型及沉浮式(無繫纜)，SOBEM 屬於前者。當儀器佈放到海床的時候需要有獨立的感測器以及資料記錄器用來接收與儲存資料，SOBEM 的感測器包含了磁通量閘傳感器 (Fluxgate)、電場感測器 (Electrode) 以及傾斜計 (Tiltmeter)。SOBEM 包含了放置感測器及資料紀錄器的儀器水密艙體、帶有網位儀的浮標和為了將儀器固定在海床上同時避免浮標移位而用繩索連接的錨碇。本章節將詳細說明，在研發 SOBEM 過程中，所使用的元件規格、材料以及設計概念。

2.1 SOBEM 與深海型 OBEM 之差異

深海型 OBEM 與 SOBEM 的主要差異在於佈放深度不同，深海型 OBEM 是屬於無繫纜設計，可以讓儀器佈放在幾千公尺的深海環境當中，而 SOBEM 的設計適合佈放在 300 公尺以內的海域，兩者佈放的環境不同，所以設計出了一樣的儀器構造和佈放方式。深海型 OBEM 是以自由落體方式佈放在海床上，當儀器佈放時，配置一個水中重量大於儀器浮力之錨碇，讓儀器藉由重力沉至海床上。當儀器要收回時，讓儀器與錨碇脫鉤，使儀器依靠自身的浮力，上浮到海面；SOBEM 則用在近岸海床的探勘，我們不希望有任何物品遺留在海床上，以免造成環境污染或破壞，故錨碇需和儀器一併收回，佈放時把用繩索連接的儀器本體、兩塊錨碇、浮標依序投放入海，儀器收回時再以相反的順序用繩索拉起。

在非極化電極的展距上，深海型有 4 ~ 5 公尺長，SOBEM 為了方便以較小型船隻進行佈放及收回作業，展距縮小到 3 公尺左右，也把電極伸展臂設計成易折疊方式，以利儀器收回作業。組成儀器的電子元件不能直接浸泡於海水中，因此電子零組件 (如資料紀錄器、信號放大器和電池等)，須封裝在能提供足以抵抗水壓的水密容器內，水下儀器通常採用玻璃儀器球或是金屬水密艙體，玻璃儀器球成本較低，能耐高壓，其水密性及浮力表現較佳；金屬水密艙體成本較高且浮力較小，需要依靠其他額外浮材提供浮力，但是在儀器組裝上有較高的便利性且不

容易因為撞擊造成損壞，SOBEM 則在耐壓設計上不需要太高，選用鋁合金做為水密艙體的材料，低密度的特性大幅降低了儀器整體的重量。



2.2 設計架構

依前一節所述，SOBEM 為一個有繫纜的海洋觀測儀器，考量到儀器佈放作業時使用的小型船隻甲板空間狹小，儀器體積的小型化及重量的輕量化為設計重點，儀器過於笨重不僅提高儀器製造成本，也增加了佈放的人力成本及難度。因此，綜合評估上述問題，本研究目標為打造一部具有高效率佈放、低成本、重量輕盈又相對體積小的 SOBEM。

以 OBEM 規格為藍圖，本研究構思 SOBEM 的整體架構包含：

- 1.三分量磁力感測器 (Fluxgate)。
- 2.兩組非極化電極 (Electrode)。
- 3.雙軸傾斜計 (Tiltmeter)。
- 4.精確之內部時鐘及具備資料儲存單元的高精度資料記錄器。
- 5.信號調整器。
- 6.電池組。
- 7.超過 100 公尺水深(或 10 大氣壓)之耐壓設計。
- 8.易折疊之電極伸展臂。
- 9.無磁性錨錠。
- 10.AIS 網位儀、水上浮標載台、旗幟。

根據以上的架構，本研究設計出的 SOBEM 功能方塊圖如圖 1 淺海型 OBEM 功能方塊圖。圖 2 是 SOBEM 儀器組合示意圖。

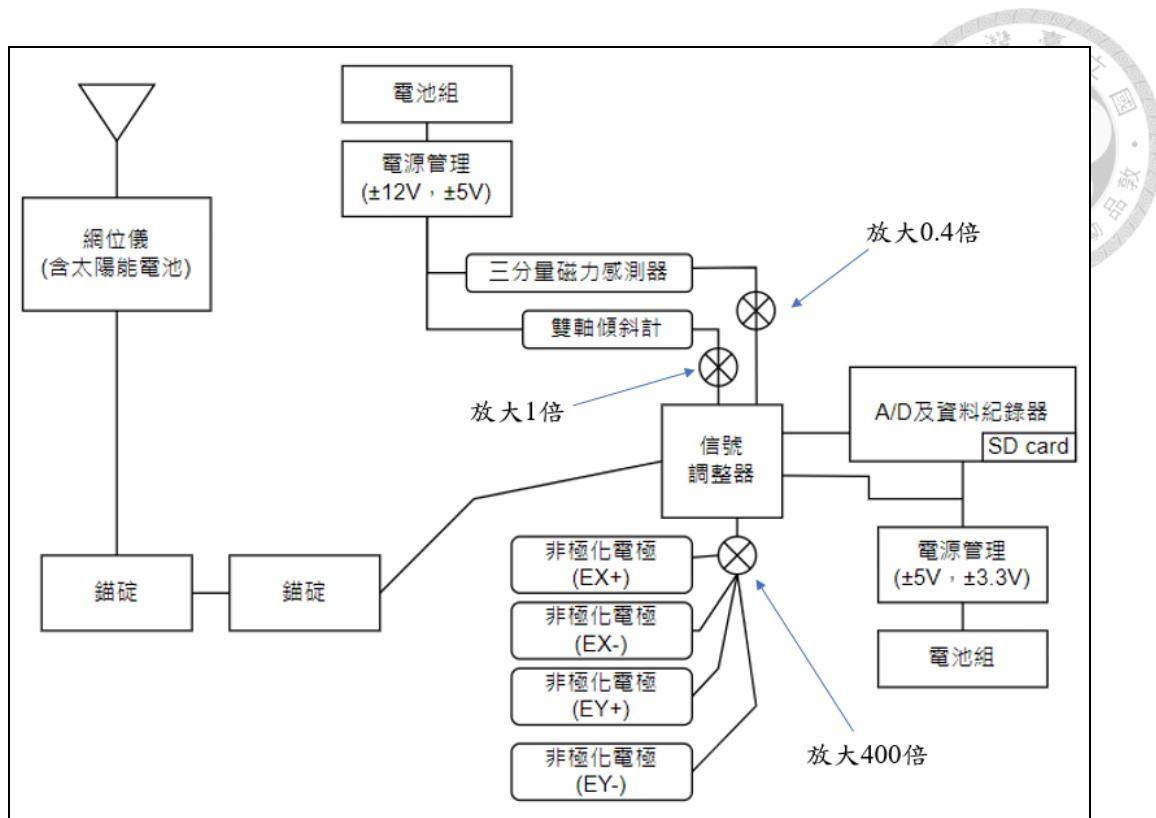


圖 1 淺海型 OBEM 功能方塊圖。

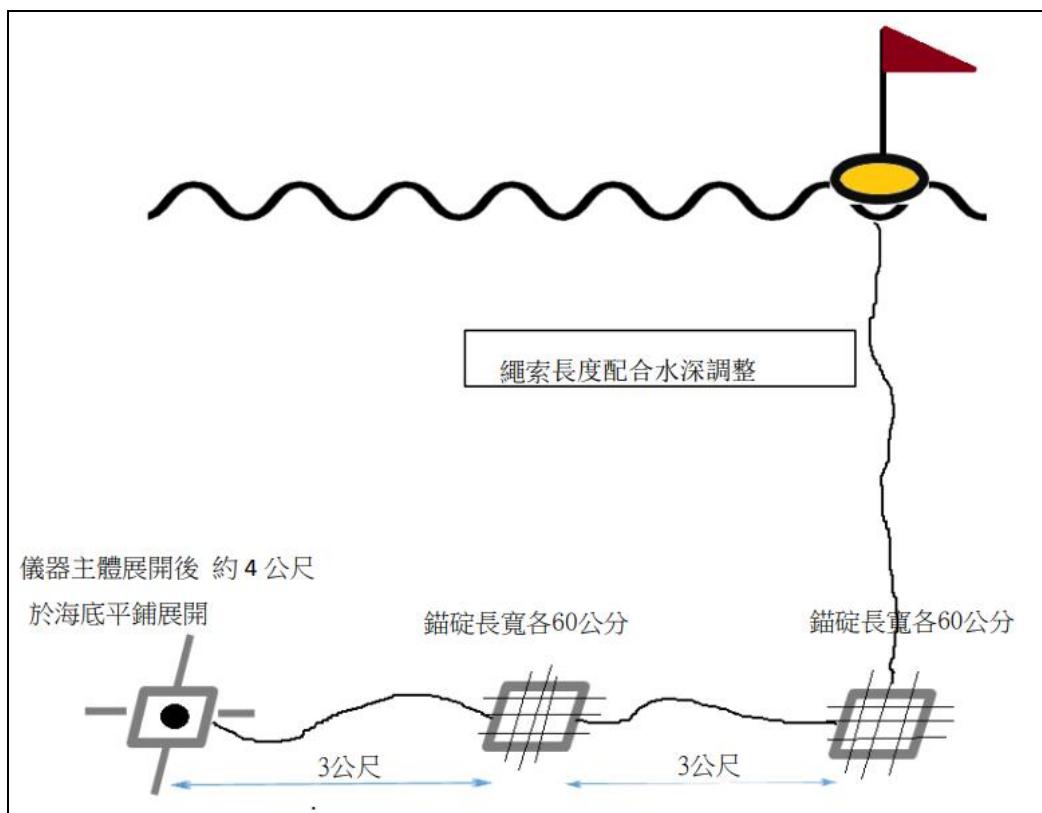


圖 2 SOBEM 儀器組合示意圖。



2.3 SOBEM 元件詳細規格與功能

依據圖 1 的 SOBEM 功能方塊圖，選用之元件詳細規格如表 1 所示，其中：

1. 三分量磁力感測器採用 Bartington 公司出品的 Mag-13MSS100 型防水 Fluxgate，能測量三分量磁場強度，範圍在 $\pm 100 \mu\text{T}$ 之間，感測靈敏度為 $100\text{mV}/\mu\text{T}$ ，背景雜訊小於 6 pT ，供應電源 $\pm 12 \sim 17 \text{ VDC}$ ，輸出電壓範圍 $\pm 10\text{V}$ (附錄 A)。
2. 雙軸傾斜計採用 TE Connectivity 公司出品的 G-NSDOG2-001 MEMS SERIES VOLTAGE INCLINOMETER (附錄 B)，作為修正磁力感測器的水平量測誤差。此傾斜計受到溫度影響的程度不大，具有高解析和低雜訊特性。量測範圍為 $\pm 25^\circ$ ，根據傾斜計相對於水平面的傾斜方向，向左或向下傾斜為負值，向右或向上傾斜為正值，供應電源 $8 \sim 30 \text{ V}$ ，輸出的電壓為 $0.5 \sim 4.5\text{V}$ 並以 2.5V 為 0° ，感測靈敏度為 7.2V/g ，可工作的溫度範圍為 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 。
3. 非極化電極採用 4 顆 (2 組) CLOVERTECH 公司出品的海底電位差計電極(附錄 C)來測量二軸水平電位場，分別以 EX+、EX-、EY+、EY-表示。此電極的陶瓷管內含有銀板和氯化銀粉末。銀板的中心焊有一條銀線和外部引線連接。非極化電極的背景雜訊小於 0.6mV ，安裝於折疊式電極延伸臂末端。
4. 資料記錄器採用 M487JIDAE 微處理器(Microprocessor control unit, MCU)並搭載 ADS1256-M487 類比數位轉換模組 (ADC) (<https://www.nuvoton.com/>)，ADC 具備 24 位元，取樣率可設定為每秒 100 sps (Samples Per Second)，輸入電壓為 $0 \sim 5\text{V}$ ，擁有 8 個波道可以同時輸入三分量磁場資料、雙軸向傾斜資料以及兩軸向電場資料，具備低雜訊、低功耗的優點。具備 SD 記憶卡插槽，採用 256 Gb 的記憶卡，能夠完整的儲存取樣率 100 sps 超過三年以上的資料。
5. Tiltmeter 用的水密艙體採用 GAINTA G113 壓鑄鋁盒 (<https://www.ltc.com.tw/Product/Detail?ICODE=CASG113>) 來改裝，盒身鑽孔安裝抽氣孔及防水纜線接頭。
6. 儀器水密艙體本體材質採用鋁合金，上蓋採用壓克力材質，裝載電池組、資料紀錄器及信號調整器等電子元件。水密艙體最深可佈放水下 100 公尺。



7. 儀器載台使用 60 cm x 60 cm 之纖維強化塑膠 (fiber-reinforced plastic, FRP) 格柵板，下方使用切半的 52mm PVC 管作為止滑裝置，上方安裝儀器水密艙體、傾斜計艙體、fluxgate 及由 PVC 管組合的絞鍊連接電極伸展臂。
8. 鐨錠 1 作為防止儀器被拉動緩衝用途，使用 60 cm x 60 cm 之 FRP 格柵板作為載台，上方安裝 13.5 kg 的無磁性潛水夫用鉛塊，噴上油漆並用熱縮膜將其包覆，避免汙染環境以及保障研究人員安全，在空氣中及水中的重量分別為 17.6 公斤和 11.5 公斤。
9. 鐨錠 2 作為固定浮標用途，使用 60 cm x 60 cm 之 FRP 格柵板作為載台，上方安裝 37kg 的無磁性潛水夫用鉛塊，噴上油漆並用熱縮膜將其包覆，在空氣中及水中的重量分別為 40 公斤和 32.6 公斤。
10. 鋰電池使用 TADIRAN TL-5930 (附錄 D)，每顆 3.6V，19Ah，串聯 4 顆製作成 14.4V 電池組，3 組 14.4V 電池組並聯成為 57Ah 電池組提供感測器使用，2 組 14.4V 電池組並聯成為 38Ah 電池組提供資料記錄器所需之電力來源，使儀器能夠連續運作 15 天以上。
11. 水上浮標載台以塑膠臉盆當作骨架，外面套上充飽氣的卡車內胎作為浮力來源，AIS 網位儀基座以不鏽鋼鐵絲固定於臉盆中央，將發泡填縫劑灌入臉盆內，再用尼龍繩與鐢錠 2 載台連接使之漂浮於海面上，上面插上橘色旗幟使浮標更顯眼。
12. AIS 網位儀使用 SKYNAV 公司出品的 AT-206 太陽能 AIS AtoN 浮標追蹤器 (<https://www.skynav.com.tw/article/134>) (附錄 E)，使用太陽能供電，具備高精度 GPS 與高增益天線，訊號發射距離 10~16 海浬，訊號發射時間每 1 分鐘回報一次，提供即時的浮標位置資訊，內建夜間警示燈，監控儀器設備的同時也避免遭到船隻碰撞，有效掌握儀器在海上的位置。

表 1 元件規格及功能表



元件名稱	規格	功能
三分量磁力感測器	Bartington Mag-13 MSS100 型 Fluxgate 1. 量測範圍: $\pm 100 \mu\text{T}$ 2. 背景雜訊: $< 6 \text{ pT}$ 3. 感測靈敏度: $100 \text{ mV}/\mu\text{T}$	量測三分量磁場的變化量。
雙軸傾斜儀	TE Connectivity G-NSDOG2-001 Inclinometer 1. 量測範圍: $\pm 25^\circ$ 2. 輸出電壓: $0.5 \text{ V} \sim 4.5 \text{ V}$, $2.5 \text{ V} = 0^\circ$ 3. 靈敏度: 7.2 V/g 4. 適用溫度: $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$	量測儀器的水平傾角變化量。
非極化電極	CLOVERTECH Ag/AgCl 非極化電極 4 顆(2 組) 背景雜訊 $< 625 \mu\text{V}$	測量電極兩端之間的電位差。
資料紀錄器	M487JIDAE MCU & ADS1256-M487 模組 1. 位元數: 24 bit 2. 取樣率: 100 sps 3. 輸入電壓: $0 \sim 5.0 \text{ V}$ 4. 輸入波道: 8	將感測器輸出的類比訊號轉換為數位形式，並將資料存儲在 SD 卡中。
信號調整器	感測器的信號放大倍率: Fluxgate: 放大 0.4 倍 傾斜計: 放大 1 倍 非極化電極: 放大 400 倍	調整感測器輸出訊號電壓，使其達到資料記錄器所需的輸入電壓區間。
無磁性錨碇	潛水夫用鉛塊、玻璃纖維強化塑膠(FRP, Fiber-reinforced plastic)格柵板 錨碇 1 空氣中重量: 41 公斤 錨碇 2 空氣中重量: 17.5 公斤	增加儀器重量，使儀器能夠不被風浪帶走。
Tiltmeter 用水密艙體	GAINTA G113 壓鑄鋁盒 1. 尺寸: $115*90*55\text{mm}$ 2. 材質: 鋁合金 ADC-12(JIS) 3. 布放深度: 125m	安裝傾斜計用
儀器水密艙體	1. 筒身尺寸: $\Phi 210*200\text{mm}$ 。 T6061 鋁合金材質。 2. 上蓋尺寸: $\Phi 210*25\text{mm}$ 。	安裝電池組、資料紀錄器、信號調整器。



	3. 布放深度:200m	
電池組	TADIRAN TL-5930 鋰電池 1. 電壓: 3.6V 2. 電容量: 19Ah 3. 4 顆串聯成一組，兩組並聯形成 14.4V 38Ah 電池組，三組並聯形成 14.4V 57Ah 電池組。	57Ah 電池組提供感測器，38Ah 電池組提供資料記錄器所需之電力來源。
水上浮標載台	由丁基內胎、臉盆、網位儀基座、發泡填縫劑及旗幟組成。	安置 AIS 網位儀。
AIS 網位儀	SKYVAV AT-206 太陽能 AIS AtoN 浮標追蹤器 1. 可工作的溫度範圍: -10°C ~ 60°C 2. 訊號發射距離: 10 ~ 16 海浬	監控儀器設備的同時也避免遭到船隻碰撞，有效掌握儀器在海上的位置。

2.4 機構設計

2.4.1 儀器載台設計

用一個 FRP 格柵板 (圖 3)，來安置儀器水密艙體、Tiltmeter 水密艙體、塑膠鉸鏈、電極延伸臂。格柵板上的孔洞方便鎖附零組件。因儀器載台需鎖附磁力感測器，故使用之材料皆須為無磁性，以免干擾磁場測量。

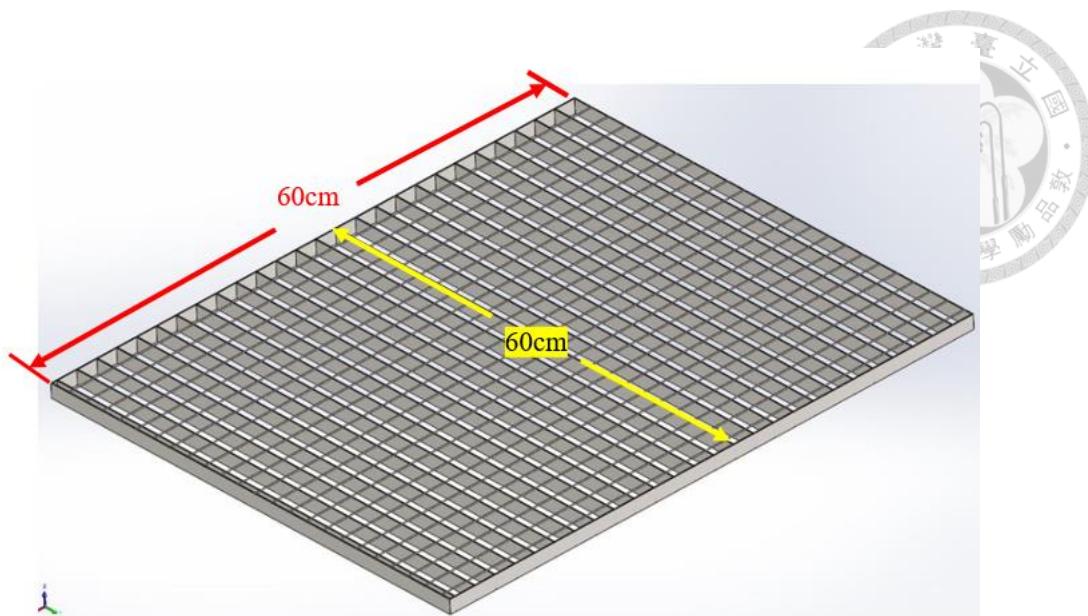


圖 3 儀器載台用的 FRP 格柵板。

儀器載台（圖 4）下方使用無磁性的鈦螺絲鎖附剖半的 PVC 管增加抓地力，周圍以 PVC 塑膠管作為柵欄，防止鎖附於其上的零組件滑脫。

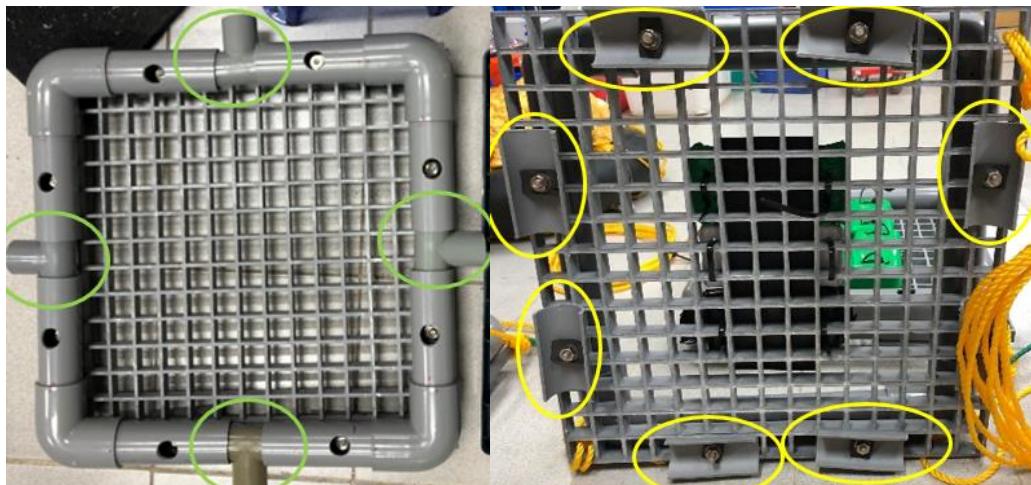


圖 4 圖左儀器載台正面圖。圖右為儀器載台背面圖。綠色圈起處為 PVC 三通管製成的絞鏈關節，可使電極伸展臂上下擺動。黃色圈起處為剖半的 PVC 管，用以增加抓地力。



2.4.2 儀器水密艙體設計

SOBEM 所需的電子配備包含資料紀錄器、信號調整器、電池組、傾斜計等皆為非防水的零組件，設計兩個無磁性水密艙體，一個是用來安置資料記錄器、信號調整器和電池的儀器水密艙體，另一個是用來作為 Tiltmeter 的水密艙體。儀器水密艙體的相關零件加工設計圖詳見附錄 F。

a. 儀器水密艙體

本研究佈放儀器的目標深度為 100 公尺內的海域，選用 6061-T6 鋁合金做為水密艙體的材質。6061-T6 鋁合金具一定強度、耐腐蝕、質量輕、塑性高等優點，(Lee et al., 2002)，低密度的特性使儀器整體保持輕巧，無磁性也保持磁力感測器不會受到磁性干擾。儀器水密艙體（圖 5）外部直徑為 210 mm，內部直徑 177.8 mm，高 200 mm，厚度為 16.1 mm，依 Solidworks 軟體計算，耐壓深度可達到 200 公尺。水密艙體的製作使用外徑為 210 mm、內徑 177.8 mm 的鋁製圓管，雖然 100 公尺深的耐壓設計管壁厚度可以更薄，但考量到加工成本的關係，管壁不再作額外的切削，僅在上下管孔兩側進行 O-Ring 槽加工。儀器水密艙體有兩側開口方便安裝，一側選用鋁製蓋子嵌入艙體內，另一側蓋子選用壓克力材質，使資料紀錄器能接收到 GPS 訊號。壓克力蓋上鑽有 4 個孔（如圖 6），其中 3 個開孔作為艙體內電路和艙體外感測器的線路通道，電腦連接線、磁力感測器、非極化電極與傾斜計透過開孔和艙體內電路板進行連接。防水接頭和儀器水密艙體之間使用材質為丁腈橡膠 (Nitrile Butadiene Rubber, NBR) 的 O-ring 作為密封。另一個開孔為抽氣孔，在 SOBEM 佈放前將艙體空氣抽離 30%，避免艙體中的水氣凝結成水珠，避免影響電子零件性能，也可以增加艙體上下蓋的吸附性。艙體下蓋安裝完成，安置電子零組件與電池於儀器水密艙體後，蓋上壓克力艙體上蓋，再以上下兩片厚 20mm 的 PE 板夾住，使用直徑 30mm 的 PE 柱與鈦螺絲鎖緊（圖 7），使艙體蓋不會鬆脫，維持艙體內的水密性。

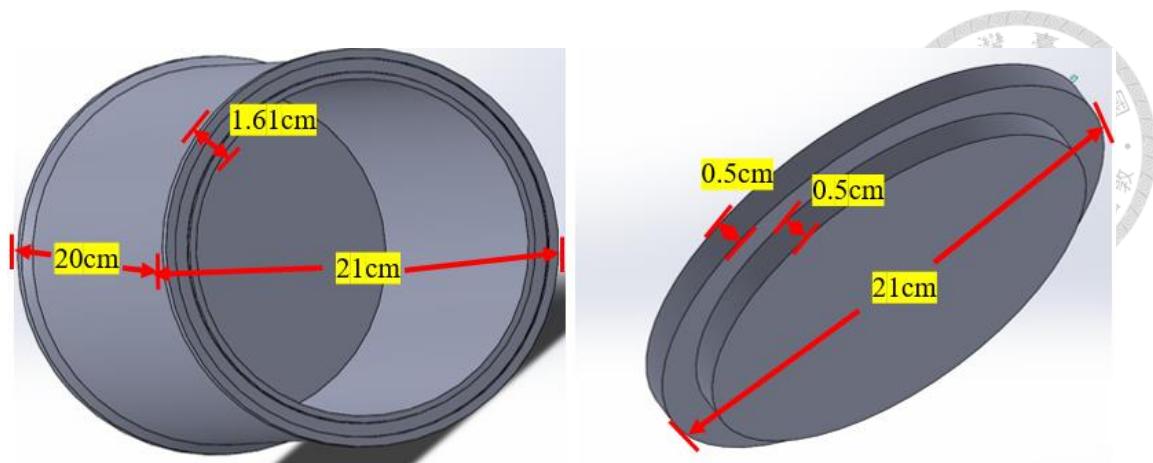


圖 5 水密艙體與艙體下蓋設計圖(詳細尺寸詳見附錄 F)

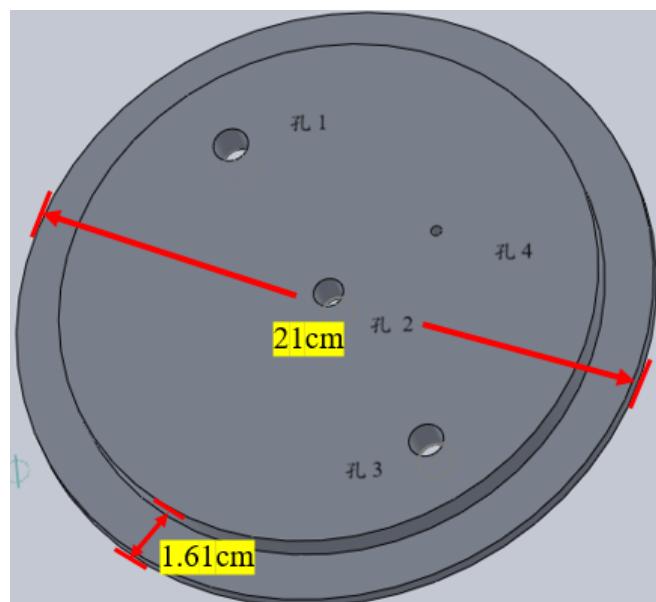


圖 6 艙體上蓋設計圖。材質為壓克力。

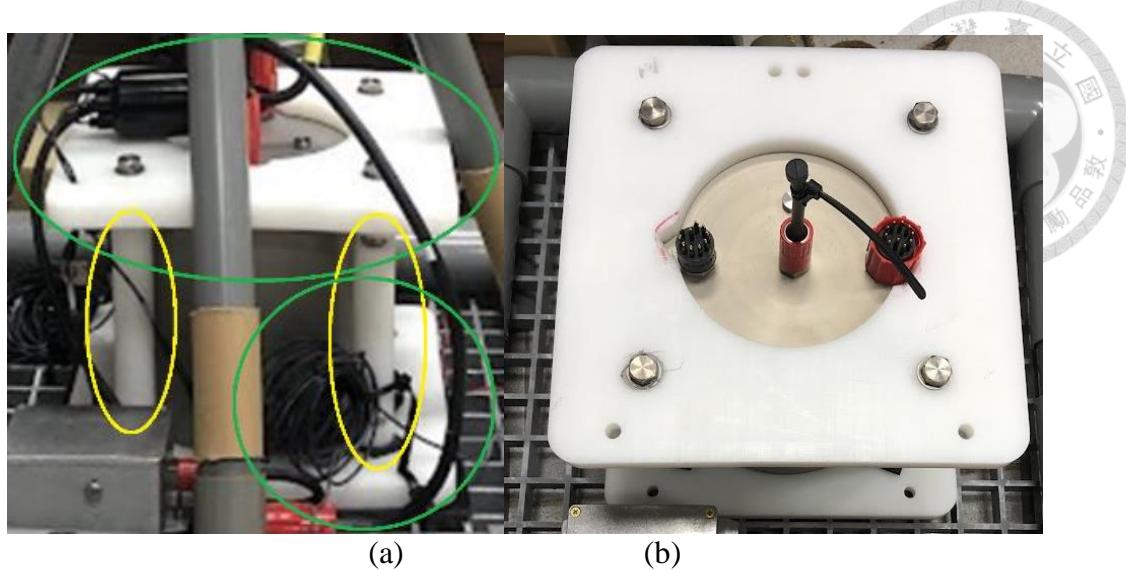


圖 7 使用 PE 蓋與 PE 柱夾住艙體。(a)側面圖(b)俯視圖。綠色圈起處為 PE 蓋，黃色圈起處為 PE 柱。

表 2 儀器水密艙體鑽孔用途表

	孔徑	連接頭 P/N:	用途
孔 1	1/2”	MCIL10F	磁力感測器連接線
孔 2	7/16”	MCBH10F	電腦控制線
孔 3	1/2”	MCIL10F	非極化電極及 Tiltmeter 連接線
孔 4	4mm	無	抽氣孔

b. Tiltmeter 水密艙體

Tiltmeter 用水密艙體使用現成的 GAINTA G113 壓鑄鋁盒來做改裝，外殼材質為 ADC-12 (JIS) 鋁合金，長 115 mm、寬 90 mm、高 55 mm。艙體厚度 3.58 mm，依 Solidworks 軟體計算，耐壓深度可達到 125 公尺。Tiltmeter 用水密艙體上鑽有 2 個孔 (如圖 8、表 3)，孔 5 做為防水纜線接頭開孔，用以連接 Tiltmeter 和資料紀錄器，孔 6 為抽氣孔，防止艙體中的水氣凝結，影響電子零件性能。Tiltmeter 用水密艙體蓋 (圖 9) 上的凹槽，於內設置使用材質為 NBR 的 O-Ring 作為密封，隔絕艙體與艙體蓋之間的空隙，待 Tiltmeter 於水密艙體安裝完畢後，把艙體蓋蓋上，再以銅螺絲鎖緊，維持艙體內的水密性。Tiltmeter 的安裝方向上，

TX 軸和磁力感測器的 MX 軸平行，TY 軸和 MZ 軸平行，對齊後將 Tiltmeter 和磁力感測器一同鎖附在儀器載台上(如圖 10)。

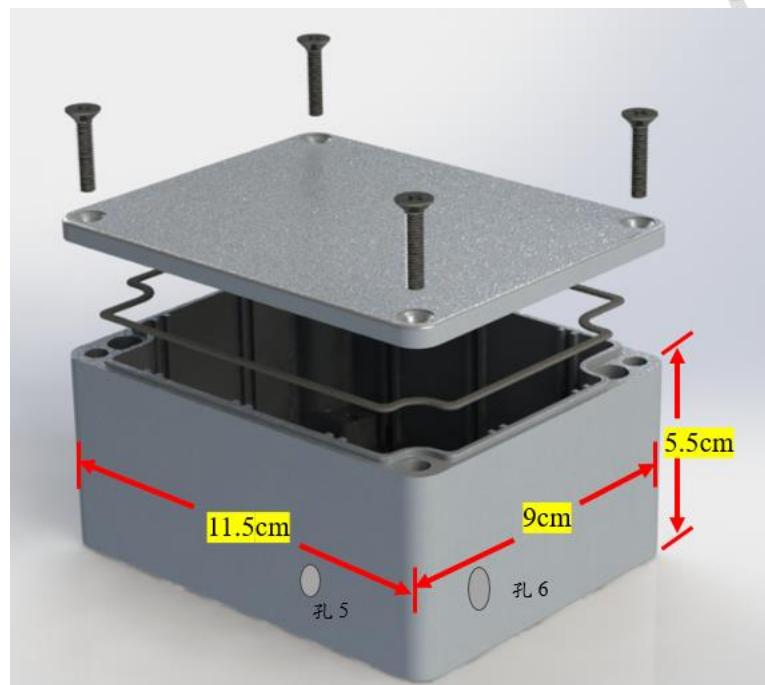


圖 8 Tiltmeter 水密艙體圖。

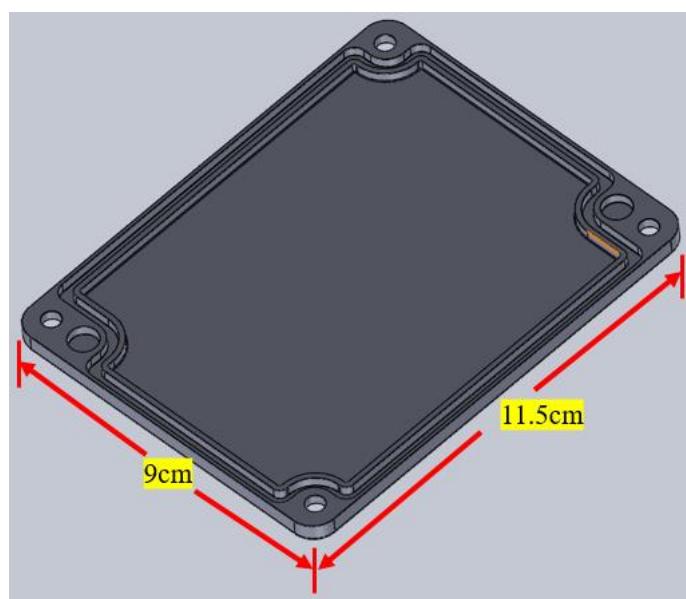


圖 9 Tiltmeter 水密艙體蓋圖。艙體蓋上的凹槽內裝有 NBR 材質的 O-Ring。

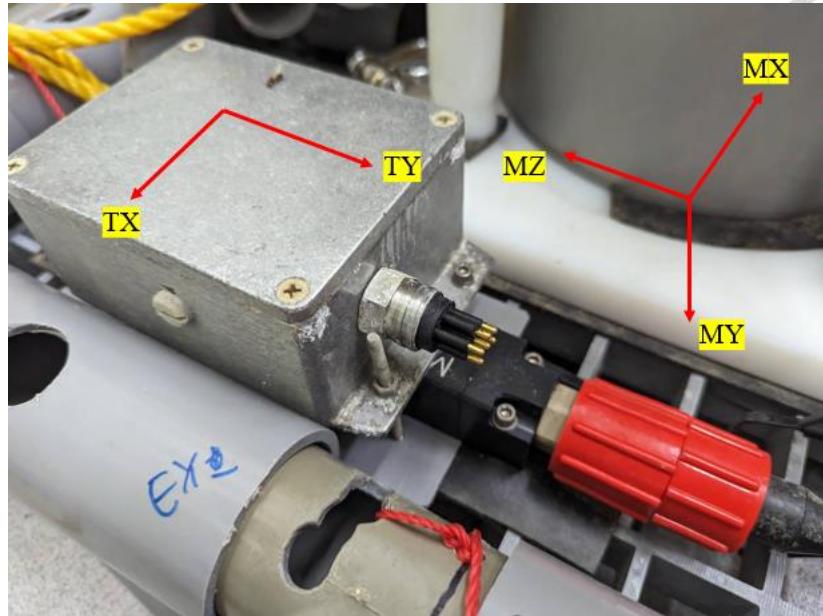


圖 10 Tiltmeter 艙體和磁力感測器一同鎖附在儀器載台上。TX 軸和 MX 軸平行，
TY 軸和 MZ 軸平行。

表 3 Tiltmeter 用水密艙體鑽孔用途表

	孔徑	連接頭 P/N:	用途
孔 5	1/2”	MCBH6F	Tiltmeter 連接線
孔 6	4mm	無	抽氣孔

2.4.3 電極伸展臂設計

OBEM 為了量測電場的電位差，需要足夠的展距，因此設計了電極展距延伸臂。電極伸展臂由 4 根 PVC 塑膠管組成，分別將 4 顆非極化電極安裝在電極伸展臂的端點，相互正交。每根 PVC 塑膠管長約 2 公尺，總展距包含儀器寬度為 4.5 公尺。電極伸展臂可以自動向下彎折，方便儀器收回作業(黃桂奕，2021)。

本研究為淺海型的 OBEM，考量到使用的船隻有尺寸及佈放限制，需要設計適當的電極延伸臂與絞鏈，能以方便使用小型漁船進行儀器佈放和收回作業。佈放時使電極臂在入水時展開，收回時電極臂能自然下垂方便收回。

我們重新設計了電極伸展臂 (圖 11、圖 13)，將每根電極伸展臂縮短至約 1.4 公尺，總展距包含儀器寬度約為 3.5 公尺。電極伸展臂的底座使用內徑 42mm 的 PVC 三通管，搭配安裝於 FRP 格柵板上的 52mm PVC 管柵欄成為塑膠絞鏈(圖

12)，使其可以上下活動。電極伸展臂由4根30公分長的35 mm PVC塑膠管，中間以內徑42mm、長10公分的紙管連接，四根伸展臂在儀器入水之前，往上折起並且用帶有廚房紙巾的細繩拉住，儀器佈放入水後廚房紙巾被海水溶解使四根伸展臂開展成正交水平姿態沉降至海床，經過大約一個小時之後，紙管將浸濕並脫離，儀器收回時電極伸展臂將可自然垂落並分節，方便儀器收回作業。

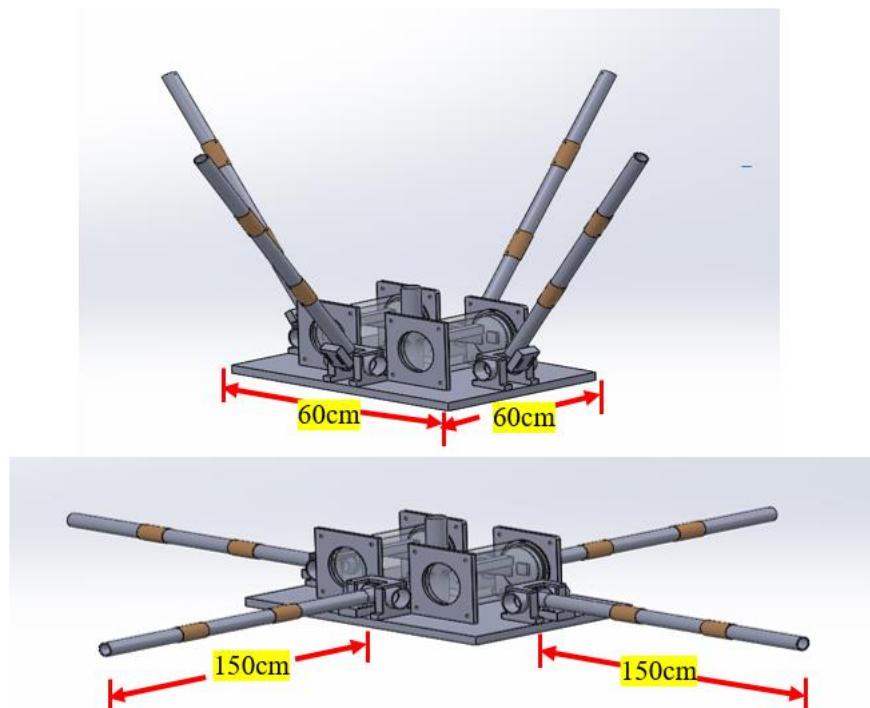


圖 11 電極伸展臂設計示意圖，上圖為收合時，下圖為展開後(修改自林豐盛)。

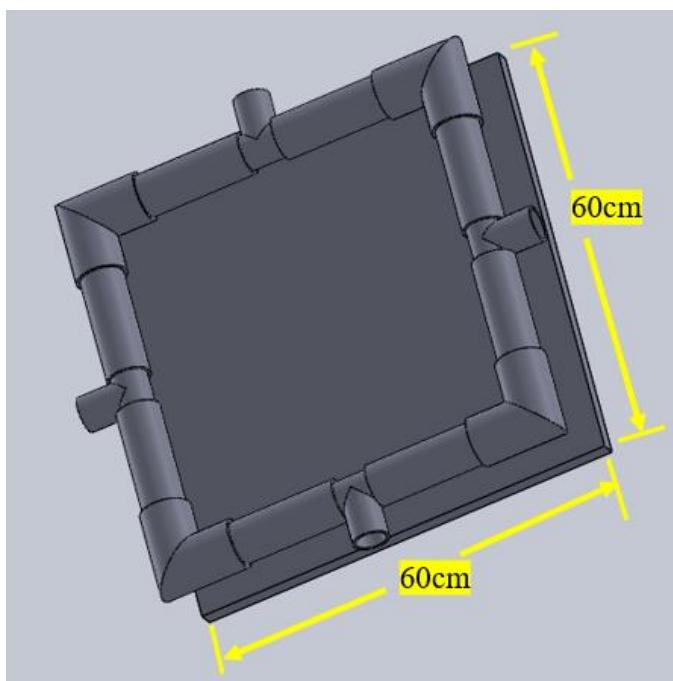


圖 12 紹鏈關節設計圖，使用內徑 52mm 之 PVC 管做為儀器載台柵欄，兩根 PVC 管中間安置內徑 42mm 的三通管做為紹鏈，使電極臂可以上下擺動。

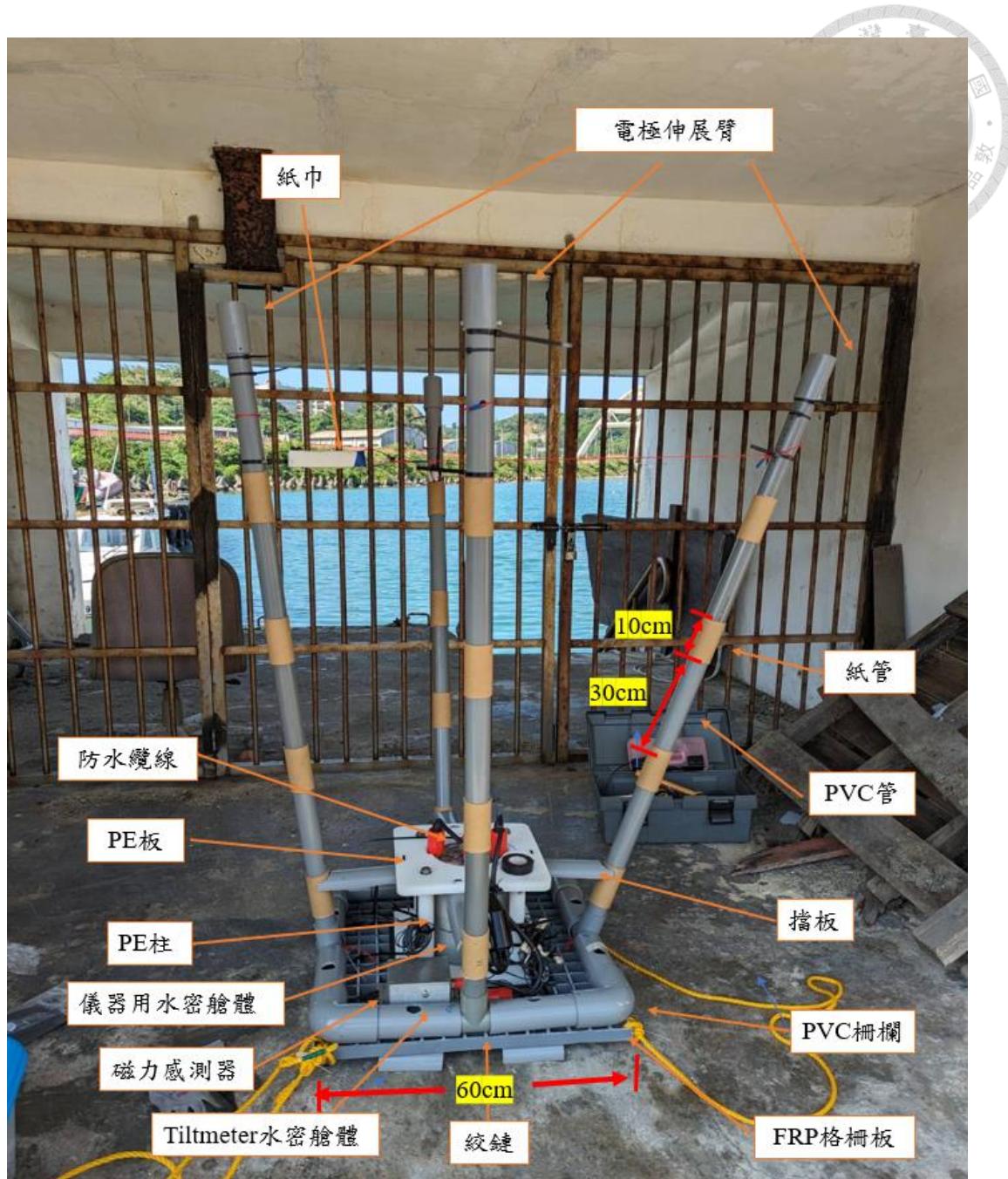


圖 13 電極伸展臂收合時。原設計為 3 段 PVC 管，後改為 4 段，每段 30 公分，中間以紙管連接。紙管會在儀器沉降至海床後被海水溶解，讓電極臂在收回時更方便，占用的面積更小。紙巾改綁在離格柵板 1 公尺高處，入水時才不會被噴濺的水花浸溼。擋板的功能在於不讓電極伸展臂向中心傾斜，如此一來佈放時才能順利開展。



2.4.4 浮標設計

設計一個水上浮標載台(圖 14)來安置網位儀(AIS，自動識別系統)，作為儀器位置標示之用，若儀器被海流帶走或漁民撈走，可立即追蹤到其位置。AIS 要架設在浮標上面，最初的設計考慮了使用不鏽鋼製成的圓型鐵架，外面套上充飽氣的汽車內胎。但鐵架設計成本太高且找不到適合的規格品，以塑膠臉盆取代鐵架當作 AIS 浮標的骨架使整體更為輕便。汽車內胎作為浮力來源，臉盆放置於內胎中間，AIS 基座以不鏽鋼鐵絲固定於臉盆中央，將發泡填縫劑灌入臉盆內，最後以鐵絲纏繞內胎固定，AIS 的天線綁上橘色旗幟使浮標更顯眼(圖 15)。

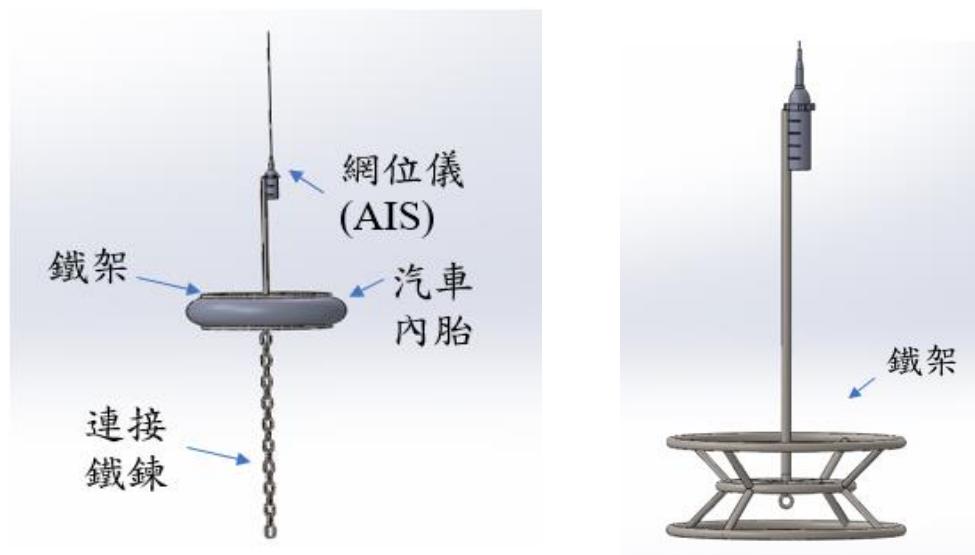


圖 14 AIS 浮標原始設計示意圖(林豐盛提供)。使用不鏽鋼製成的圓型鐵架，外面套上充飽氣的汽車內胎作為浮力來源，並用不鏽鋼鐵鍊連接錨碇。

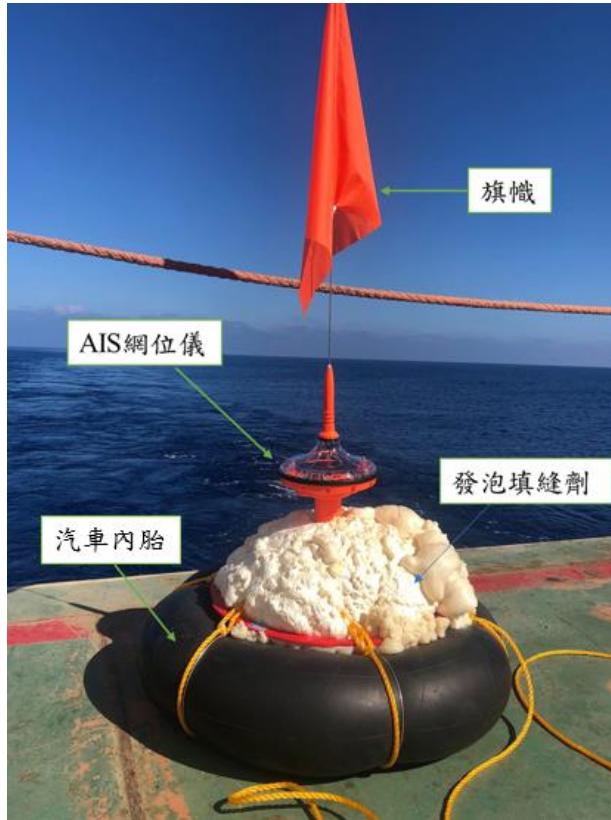


圖 15 AIS 浮標實際完成照片。改用不鏽鋼鐵絲和尼龍繩將臉盆固定於內胎中間，並將 AIS 底座以發泡填縫劑固定。

2.4.5 鋼碇設計

SOBEM 由浮標、繫泊纜繩、錨碇與儀器本體所組成。設置錨碇的目的是為了避免浮標被外力拖走偏離原本地點，在錨碇的重量上，我們根據公式(Yu et al., 2020: 10)對浮標所承受的外部負載進行計算。

浮標受到重力和浮力影響，環境的力包括波浪 F_{wave} ，風力 F_{wind} ，和海流 $F_{current}$ 。考量本儀器佈放地點可能位於臺灣海峽，故採用臺灣海峽的歷史氣象資料作為風浪大小的依據(資料來源:中央氣象局):

»工作深度: < 150 m;

»風速: < 17.1 m/s

»波高: < 4 m

»海流速度: < 0.4 m/s

由浮標的重量和浮力產生的合力 F_{Buoy} 如下:



2.1

其中 F_{Buoy}^H 是浮標的水平力， F_{Buoy}^V 是浮標的垂直力。又因重量等於浮力，

$$F_{Buoy}^V = 0.$$

浮標所承受風力 F_{Wind} 如下：

$$F_{Wind} = \begin{bmatrix} F_{Wind}^H \\ F_{Wind}^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{Wind}^H \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} C_p A_1 V_{Wind}^2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 2.2$$

其中 F_{wind}^H 是水平風力， F_{wind}^V 是垂直風力， $C = 0.5 \sim 0.8$ 是空氣阻力係數， $\rho =$

$0.1228 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 是空氣的密度； $A_1 = 0.1504 \text{ m}^2$ 是海面以上的浮標橫斷面積，得出

$F_{wind}^H = 2.16\text{kg}$ 。浮標所承受的海流力 $F_{Current}$ 如下：

$$F_{Current} = \begin{bmatrix} F_{Current}^H \\ F_{Current}^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{Current}^H \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} C_p A_2 V_{Current}^2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 2.3$$

其中 $C = 0.2 \sim 0.4$ 是水的阻力係數， $\rho = 104.49 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 是水的密度； $A_2 = 0.0292\text{m}^2$ 是海面以下的浮標橫斷面積，得出水平的海流力 $F_{Current}^H = 2.16\text{kg}$ 。浮標所受的

波浪力 F_{Wave} 如下：

$$F_{Wave} = \begin{bmatrix} F_{Wave}^H \\ F_{Wave}^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho C_{iH} A V_{01} \frac{4\pi^2}{T^2} \exp(-\frac{4\pi^2 D_{th}}{T^2 g}) \\ 0.5 \rho C_{DV} A^2 S_V \frac{4\pi^2}{T^2} \exp(-\frac{8\pi^2 D_{th}}{T^2 g}) \end{bmatrix} \quad 2.4$$

其中 $\rho = 104.49 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 是水的密度， $C_{iH} = 2$ 是相對於水平面的慣性力係數； $A = 6.8 \text{ m}$ 是最大波高， $V_{01} = 0.00448 \text{ m}^3$ 是浮標在水面下的體積， T 是波浪週期， g 是重力加速度， $D_{th} = 0.81 \text{ m}$ 是吃水深度。 $C_{DV} = 0.3$ 是相對於垂直面的阻力係數， $S_V = 0.1504 \text{ m}^2$ 是受浪面積，波浪週期為 12.8 秒。故可得出：

$$F_{Wave} = \begin{bmatrix} F_{Wave}^H \\ F_{Wave}^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.532\text{kg} \\ 26.2\text{kg} \end{bmatrix}$$

繩繩上所受到的合力上是 F_{Buoy} 、 F_{Wind} 、 $F_{Current}$ 和 F_{Wave} 的總合，即



$$T_{moor} = F_{Buoy} + F_{Wind} + F_{Wave} + F_{Current}$$

因此，總繫泊力可以向量形式表示如下：

$$T_{moor} = \begin{bmatrix} 1.532\text{kg} \\ 26.2\text{kg} \end{bmatrix} = +\sqrt{(T_{moor}^V)^2 + (T_{moor}^H)^2} = 26.61\text{kg}$$

由上式結果可得出我們所選用之錨碇重量需大於 26.61kg。

錨碇的設計上我們採用了潛水俠用鉛塊（圖 16）固定在 FRP 格柵板作為錨碇（圖 17）重量來源。鉛塊本身是沒有其他材質包覆的裸鉛，然而鉛金屬已經被許多研究證實對人體和生態環境的危害甚鉅(Hall,1972; Landrigan et al.,1994; Mehrpour et al.,2012; Negahdari et al.,2021)，故我們先在鉛塊表面噴上一層油漆，再用熱縮膜包覆，萬一在佈放時熱縮膜有破損的情況，噴漆仍會將外界與鉛塊隔絕，達到雙重防護的作用。



圖 16 潛水俠用鉛塊加工過程。表面噴上一層油漆，再使用熱縮膜包覆，使千塊不會接觸外界造成海洋汙染。

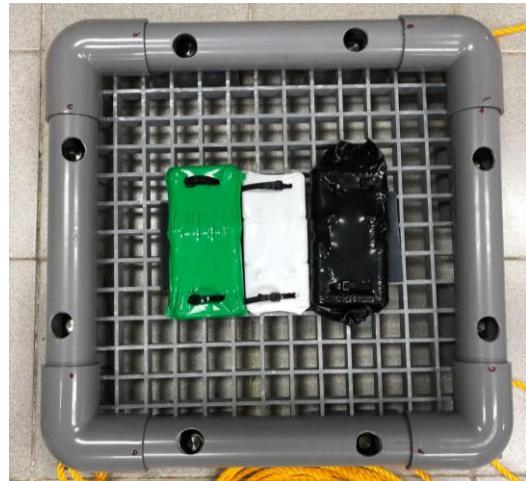


圖 17 鐵碇 1。於 FRP 格柵板與 PVC 塑膠管組成的儀器載台上安裝 13.5 kg 的鉛塊而成。

2.5 電路設計

2.5.1 SOBEM 電路系統設計

我們設計了 SOBEM 電路系統的架構(圖 18)，對感測器、信號調整器、資料紀錄器、DC/DC 轉換器和電源供應系統等元件的整合，確保元件間彼此以正確的方式連接，並使各個元件都可以獲得穩定的電源，才可以有效地對淺海電場和磁場信號進行感測和記錄。

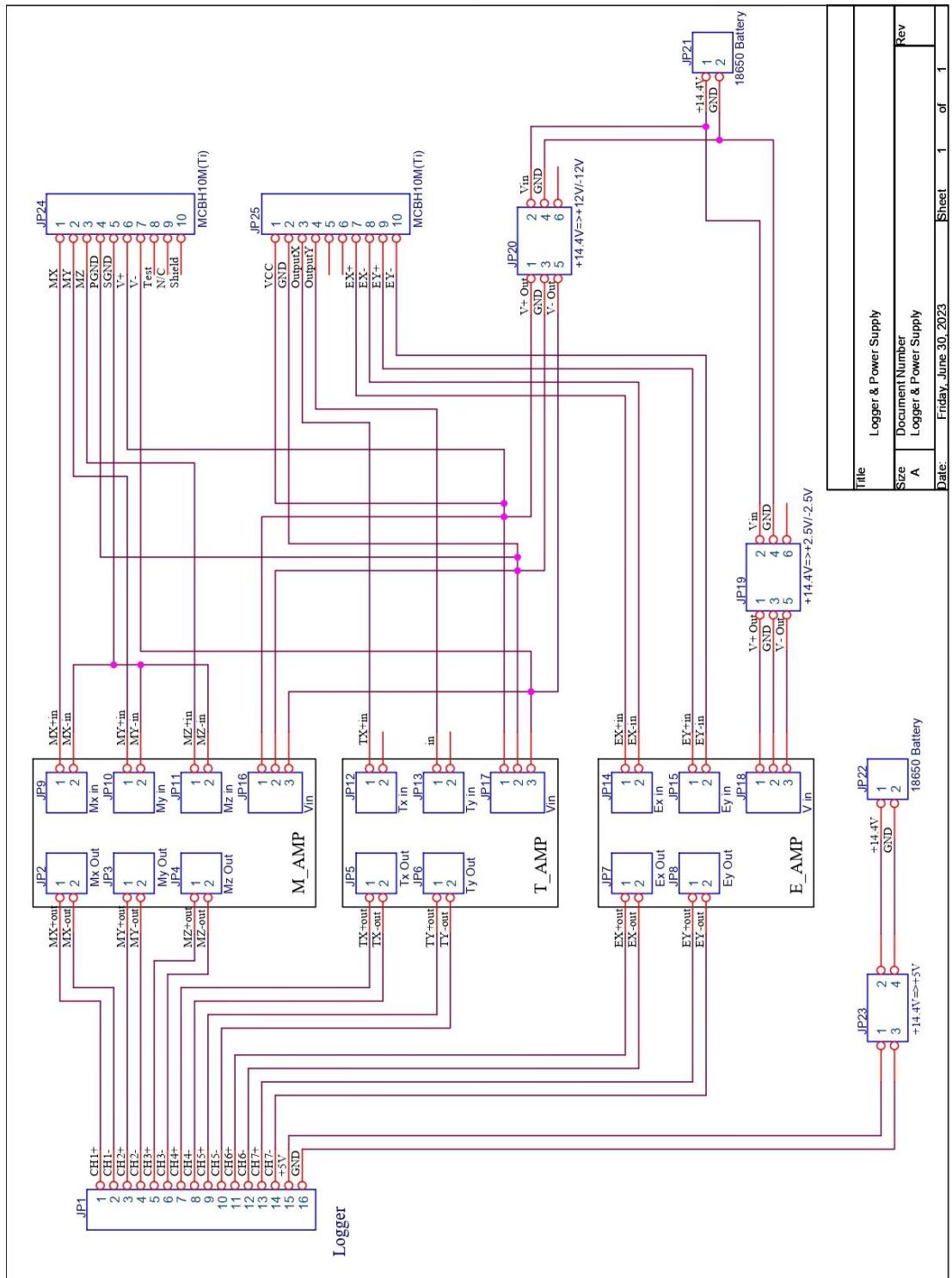


圖 18 SOBEM 電路設計圖。



2.5.2 信號調整器

設計 SOBEM 的信號調整器時，根據感測器訊號和資料記錄器的電壓輸入範圍，選擇適當的放大倍率（表 4）。配合感測器輸出信號及資料記錄器的輸入電壓，設計不同放大倍率的 50Hz 低通濾波器作為信號調整器。透過 Texas Instruments 公司開發之 Filter Pro 2.0 軟體畫出波德圖與電路設計圖（圖 19、圖 20、圖 21、圖 22），Filter Pro 2.0 需要設定的參數有濾波器的類型、pole 的數量、增益和訊號輸入方式。接著由 Filter Pro 2.0 產生的電路圖提供的電阻和電容數值，使用 OrCAD Lite 畫出實際上要製作的電路圖（圖 23、圖 24、圖 25），進行電路板的製作和元件的焊接。

焊接完成後，七個波道的信號調整器都經過動態信號分析儀測試，掃描頻率從 1 ~ 100 Hz，得到由儀器分析的七個通道電壓增益及相位對頻率關係圖（圖 26），再與原本 Filter pro 提供的波德圖做比較。經過動態信號分析儀分析後，可發現 MX、MY、MZ、TX、TY 與設計的頻率響應相差不遠，高頻截止頻率在 46 ~50 Hz 左右，相位也在呈線性延遲，EX 和 EY 則差異較大，分別是 34 Hz 與 69 Hz。

表 4 各波道輸入/輸出電壓表

	輸入/輸出電壓	訊號調整倍率
MX	-10V ~ +10V / -4V ~ +4V	放大 0.4 倍
MY	-10V ~ +10V / -4V ~ +4V	放大 0.4 倍
MZ	-10V ~ +10V / -4V ~ +4V	放大 0.4 倍
TX	0.5V ~ +4.5V / 0.5V ~ +4.5V	放大 1 倍
TY	0.5V ~ +4.5V / 0.5V ~ +4.5V	放大 1 倍
EX	-0.0125V ~ +0.0125V / -5V ~ +5V	放大 400 倍
EY	-0.0125V ~ +0.0125V / -5V ~ +5V	放大 400 倍

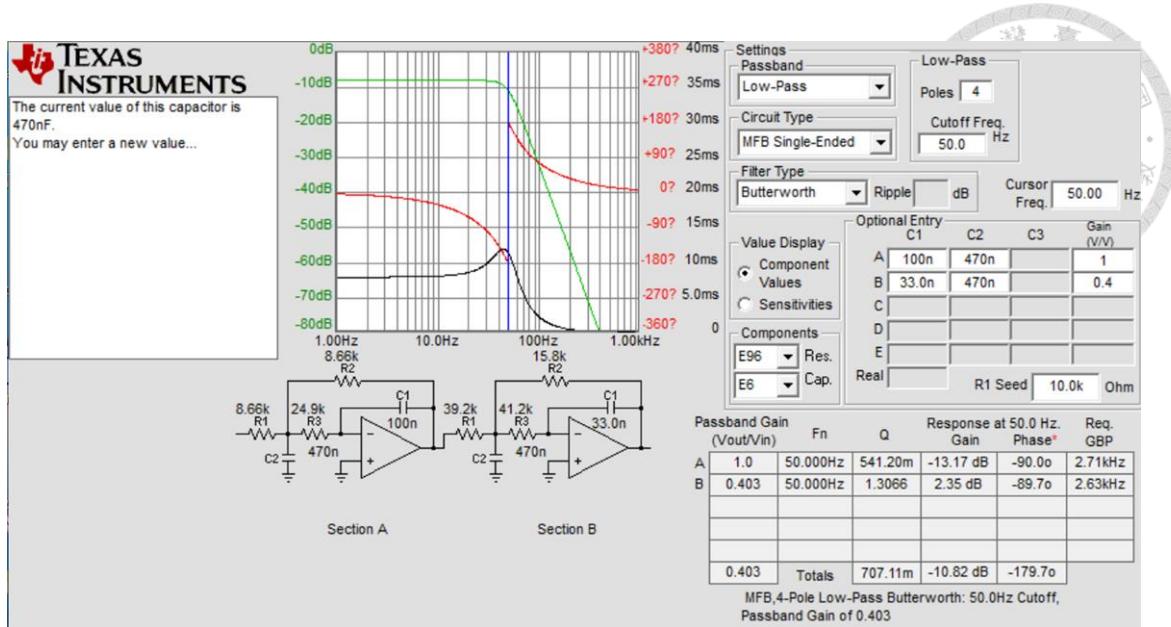


圖 19 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的磁力感測器用信號調整器電路及波德圖。

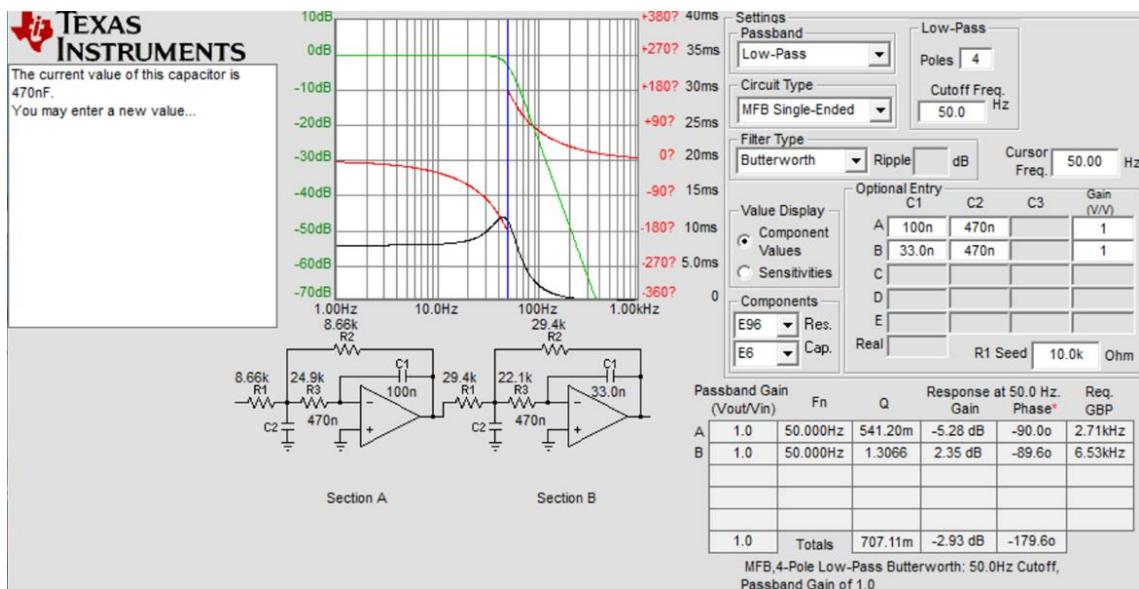


圖 20 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Tiltmeter 用信號調整器電路及波德圖。

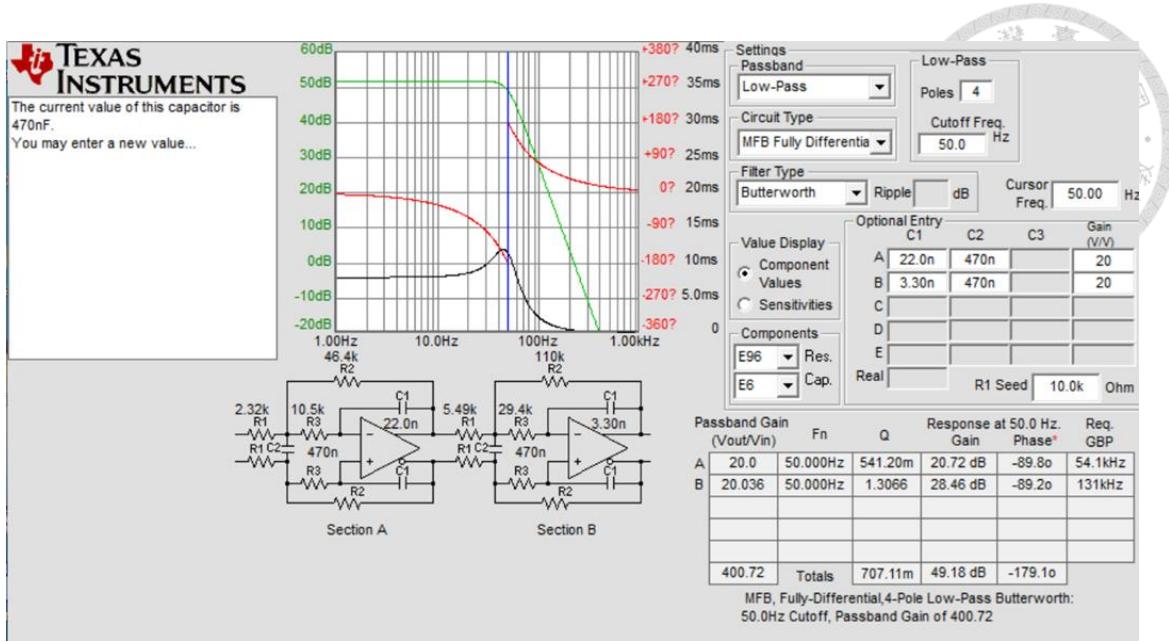


圖 21 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Differential 非極化電極用信號調整器電路及波德圖。

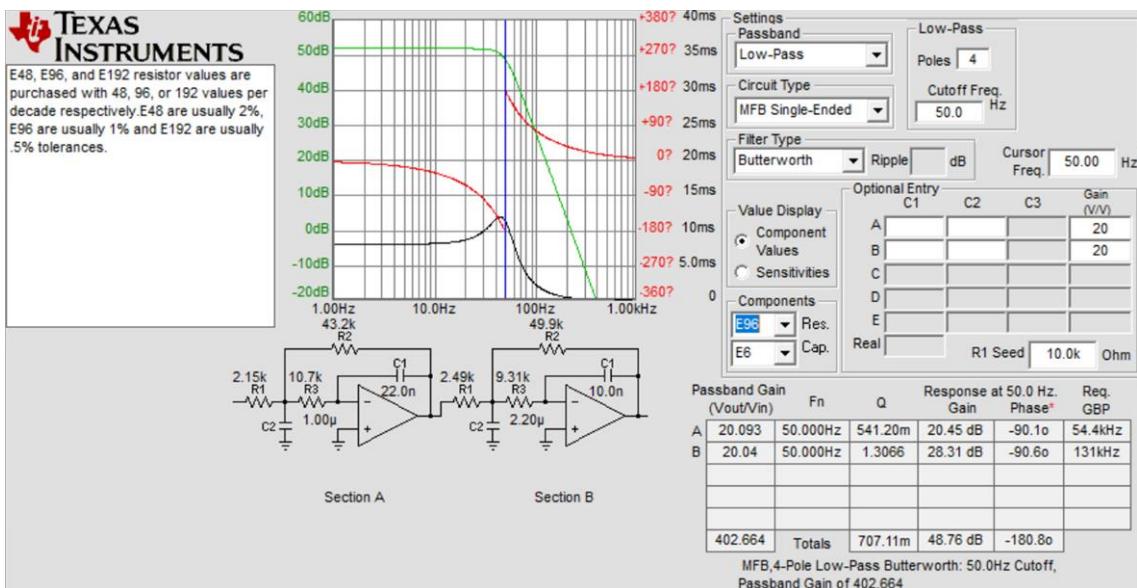


圖 22 使用 Filter Pro 2.0(TEXAS INSTRUMENTS)所畫出的 Single-Ended 非極化電極用信號調整器電路及波德圖。

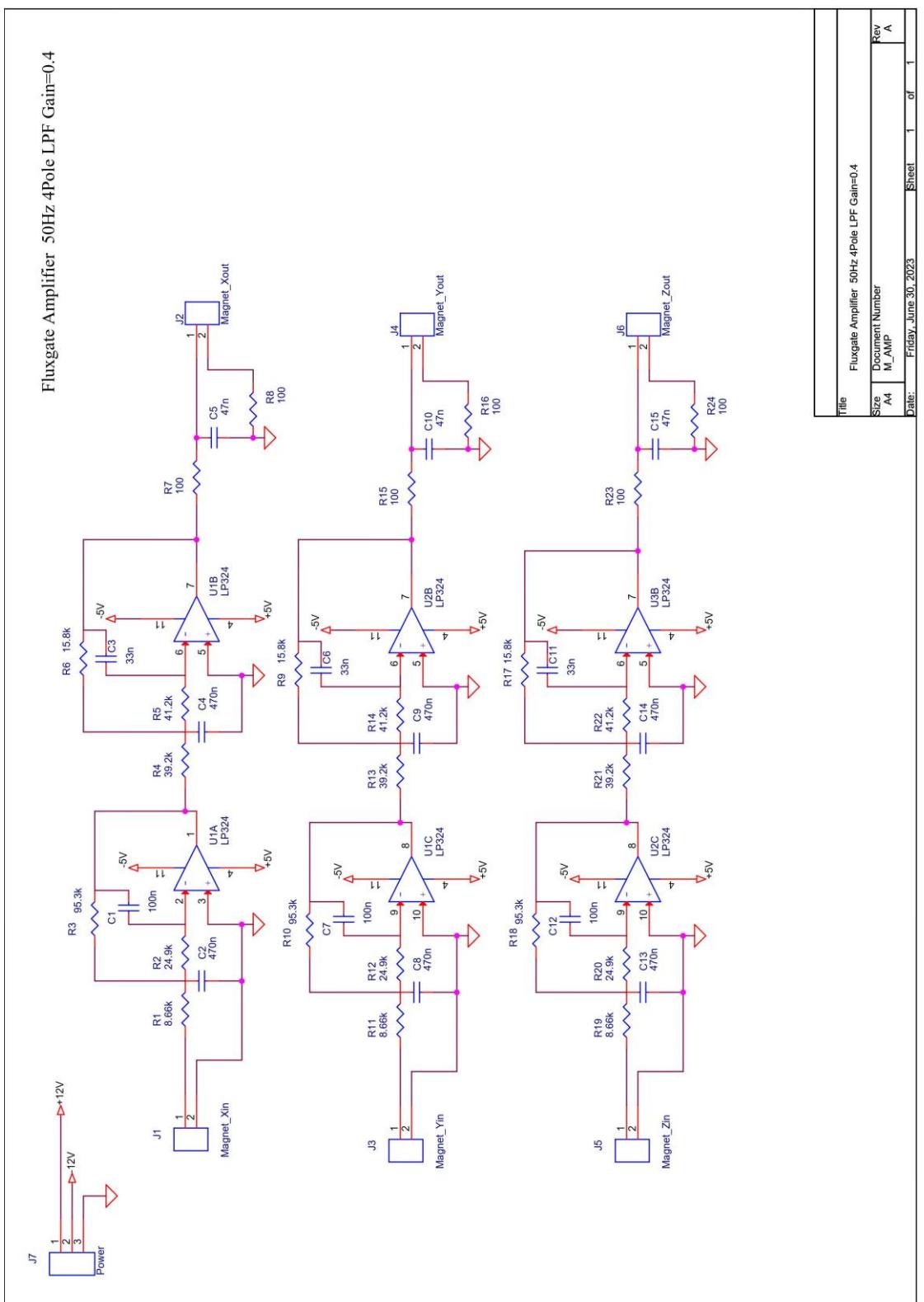


圖 23 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出磁力感測器信號調
整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。

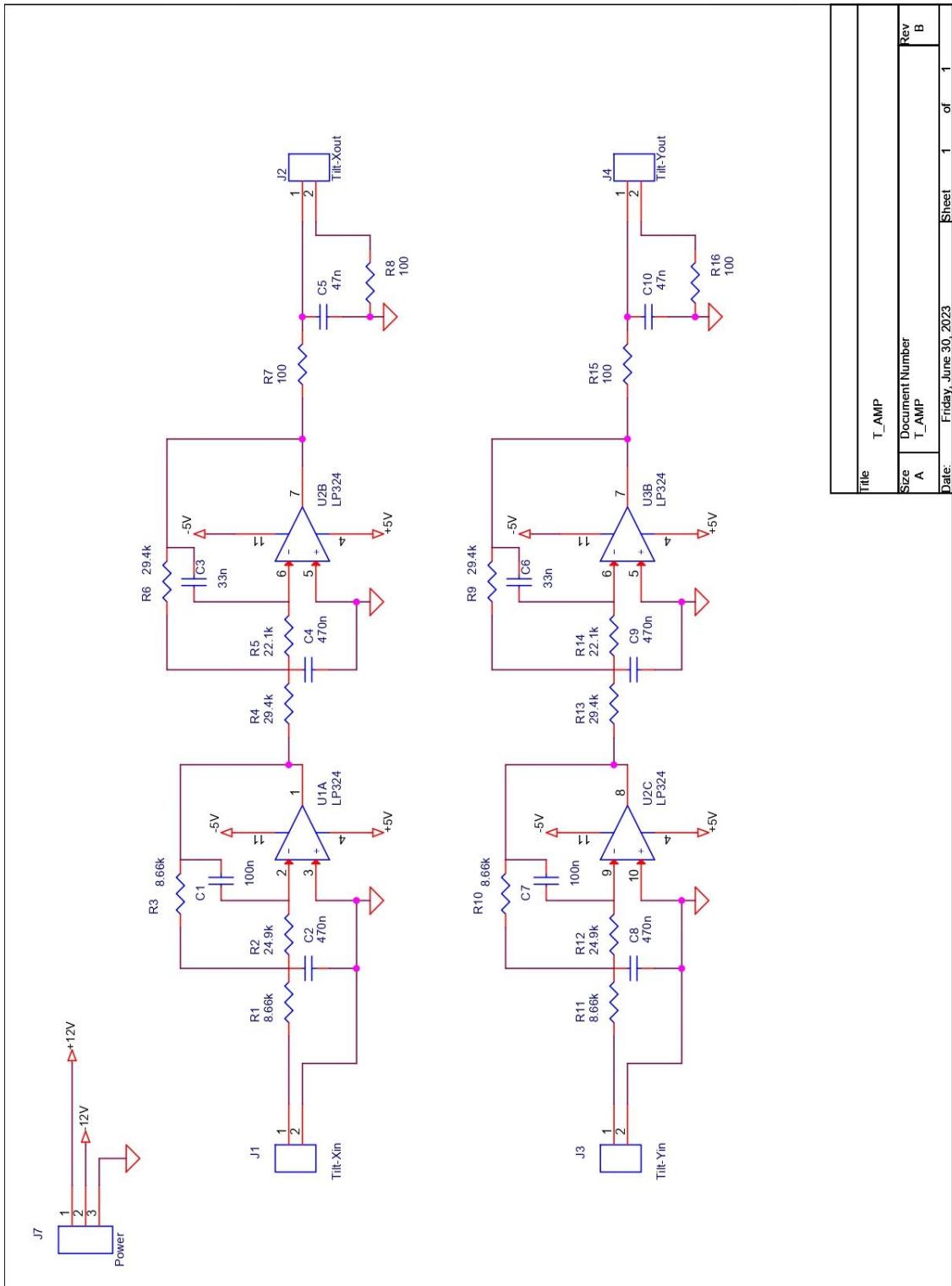


圖 24 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出 Tiltmeter 信號調整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。

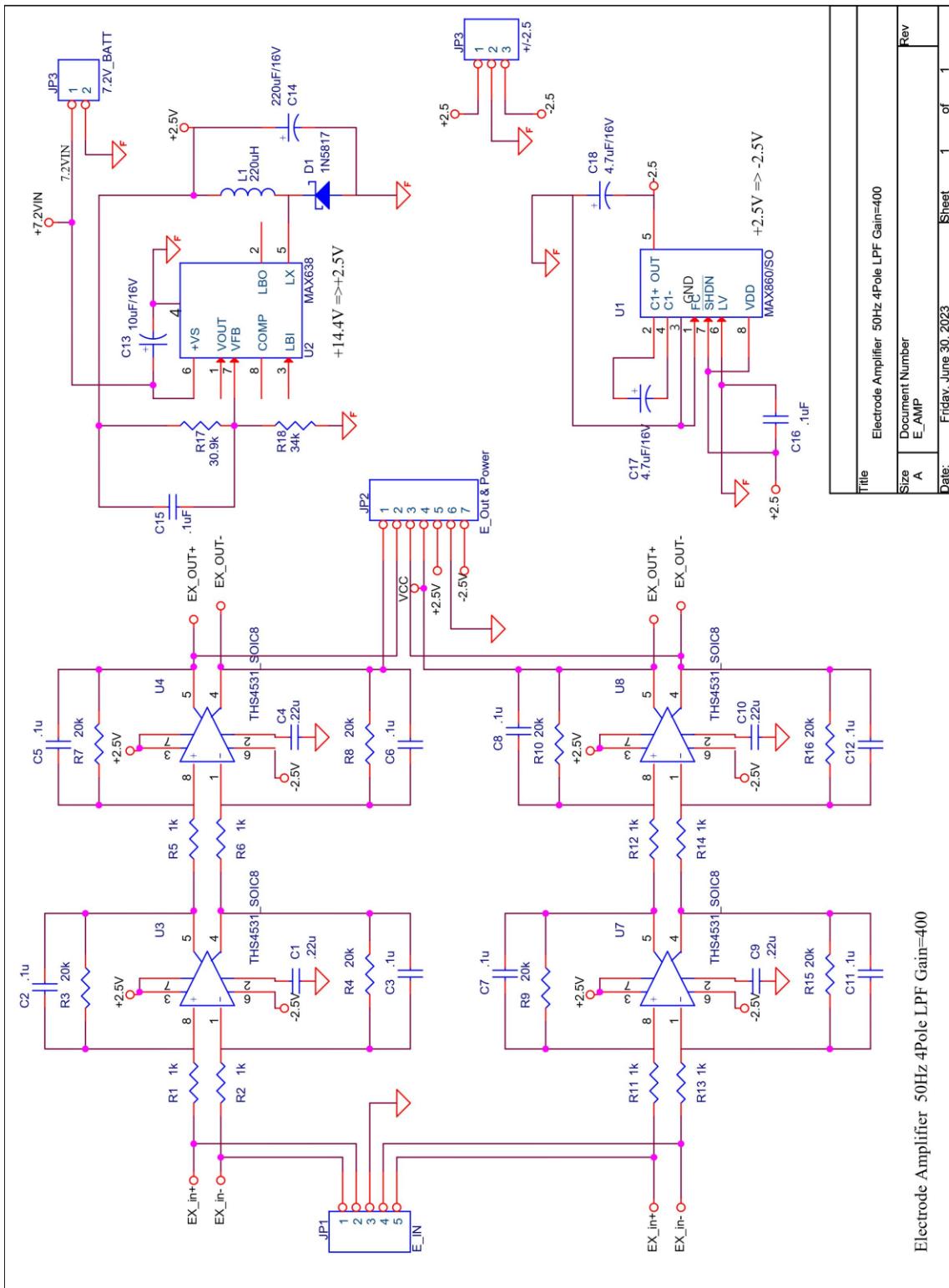
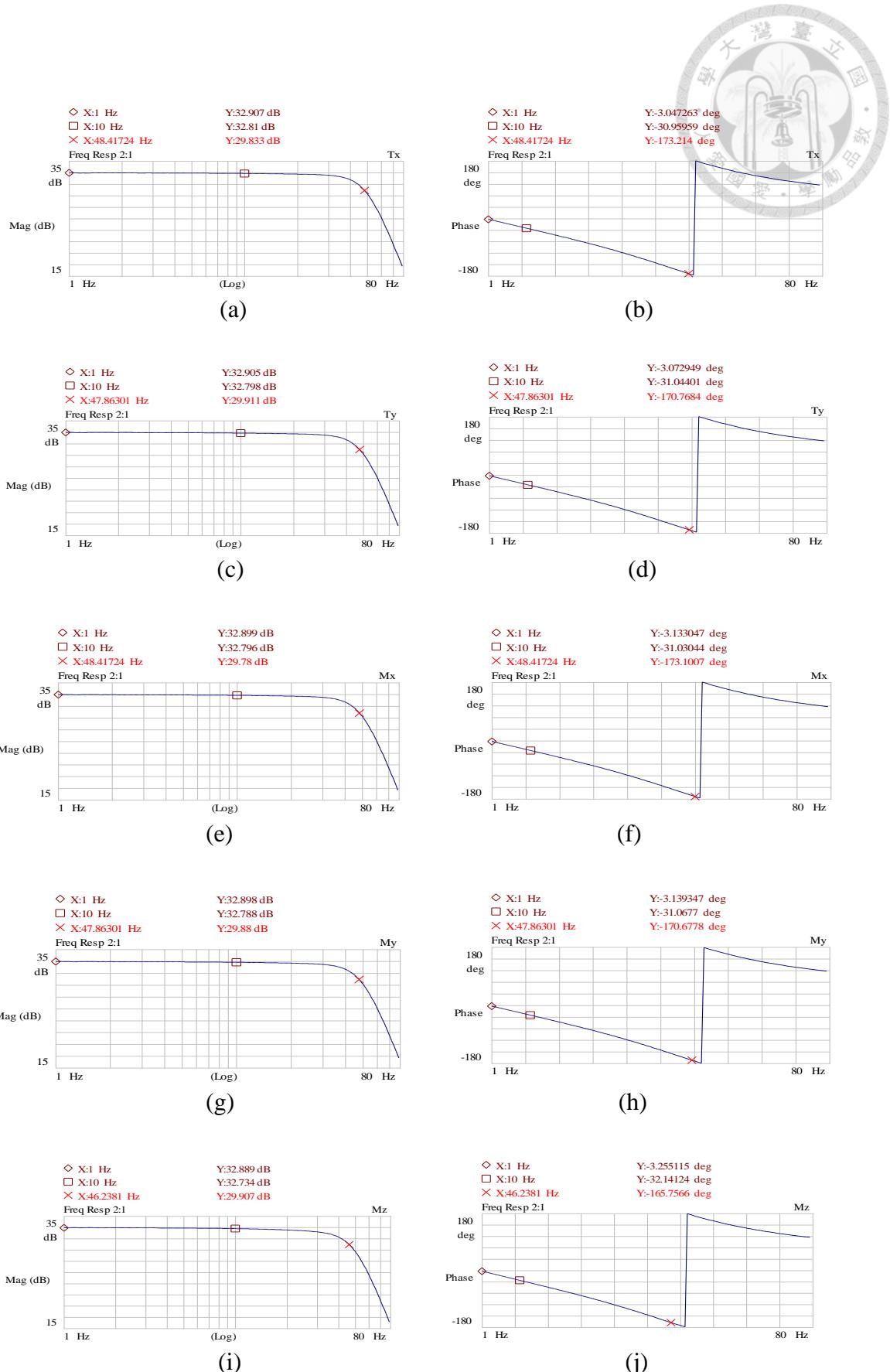


圖 25 參考 Filter Pro 2.0 畫出的電路圖，使用 OrCAD Lite 畫出非極化電極用信號調整器電路圖，方便將電路製作成 PC 板。



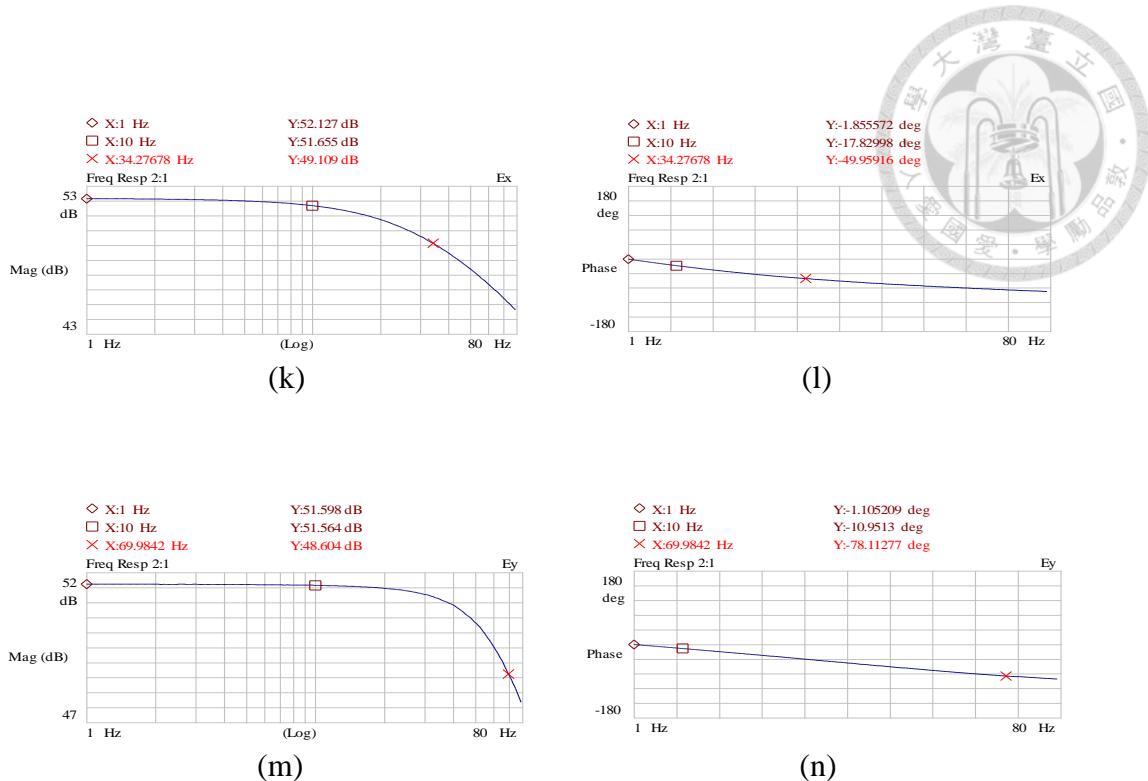


圖 26 電路板完成後，使用動態分析儀的 sweep sine 功能測試的七個通道電壓增益及相位對頻率響應波德圖。

- (a) MX 波道的振幅-頻率響應圖，(b) MX 波道的相位-頻率響應圖
- (c) MY 波道的振幅-頻率響應圖，(d) MY 波道的相位-頻率響應圖
- (e) MZ 波道的振幅-頻率響應圖，(f) MZ 波道的相位-頻率響應圖
- (g) TX 波道的振幅-頻率響應圖，(h) TX 波道的相位-頻率響應圖
- (i) TY 波道的振幅-頻率響應圖，(j) TY 波道的相位-頻率響應圖
- (k) EX 波道的振幅-頻率響應圖，(l) EX 波道的相位-頻率響應圖
- (m) EY 波道的振幅-頻率響應圖，(n) EY 波道的相位-頻率響應圖

第三章 SOBEM 的檢測方法



3.1 機構部分

設計並製作出 SOBEM 的機構部分後，需要測試儀器在水中可否正常使用，包括測試機構結構的可靠性、防水性、機構的操作性及耐水壓。我們使用新海研二號研究船在基隆港邊佈放儀器（圖 27），藉此測試佈放可行性及操作流程，SOBEM 的機構測試分為電極伸展臂測試、艙體水密測試、儀器重量測試、浮標載台測試及錨碇測試。



圖 27 SOBEM 機構部分於新海研二號船舷準備進行測試。

3.1.1 電極伸展臂測試

電極伸展臂佈放置海床時須完全展開，才能使非極化電極收到正確的大地電場資料。我們使用研究船上的吊臂將儀器吊掛至水面，測試電極伸展臂能否在 SOBEM 入水時展開，收回時電極伸展臂可以自然下垂，以利收回作業。

3.1.2 艙體水密測試

艙體水密性的測試對 SOBEM 的安全運作至為關鍵，如果水進入儀器，可能導致電子元件毀損、電氣系統短路，甚至完全損壞儀器。良好的水密性確保儀器在水下操作時免受海水侵害，有助於執行任務時有效且可靠地工作。我們分別對 Tiltmeter 用水密艙體及儀器用水密艙體進行水密測試。



3.1.2.1 Tiltmeter 用水密艙體

Tiltmeter 用水密艙體內放置乾燥衛生紙(圖 28)，將 O 環抹上矽油，蓋上鋁蓋後鎖緊。綁上 PVC 管(圖 29)以繩索垂吊至水下 8 公尺深，待 30 分鐘後將水密艙體收回，再觀察是否有海水滲透入內。

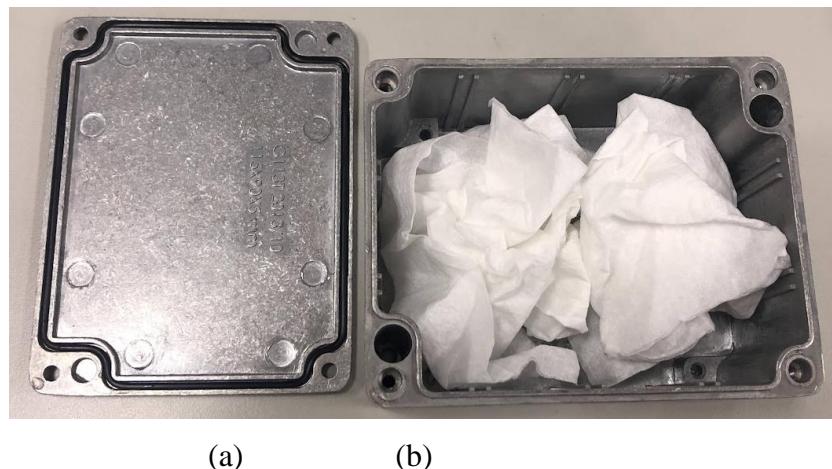


圖 28 (a) 艙體蓋，蓋上溝槽內裝有 O-Ring。(b) Tiltmeter 用水密艙體，內置衛生紙，以便測試艙體水密功能。



圖 29 將 Tiltmeter 用水密艙體(綠色圓圈處)綑綁於 PVC 管上之後以繩索垂放入海中進行測試水密功能。



3.1.2.2 儀器用水密艙體

將儀器用水密艙體的 O 環抹上矽油，把艙體兩側的艙體蓋蓋上，再以厚 20mm 的 PE 板壓住，使用直徑 30mm 的 PE 柱與鈦螺絲鎖緊，維持艙體內的水密性。接著將儀器用水密艙體裝上儀器載台，接上防水纜線，與感測器相連接，確保電路系統的所有部分皆與海水隔絕。待 30 分鐘後收回，再觀察是否有海水滲透入內。

3.1.3 儀器重量測試

量測儀器在水中的重量可用於確定浮力是否與重力平衡。如果儀器的密度恰好等於水的密度，儀器將完全浮在水中，其浮力等於其重力，達到平衡狀態。這對於儀器能否沉降至需要的深度至關重要。量測 SOBEM 在空氣中及水中的重量，也能估算佈放和收回儀器時所需人力。我們使用彈簧秤吊掛儀器，可得出空氣中重量。接著將水注入塑膠桶內，並把儀器各塊分別放入桶中（圖 30），使用彈簧秤吊掛，得出的數值即為 SOBEM 水中重量。



圖 30 在塑膠桶中注滿水，接著分別放入 SOBEM 各部分，以彈簧秤測量水中重量。



3.1.4 浮標載台測試

浮標載台測試的目的是確保 AIS 浮標在實際海洋條件下可以正常浮起並運作。在測試開始前，將 AIS 浮標以繩索綁在甲板的欄杆上，以船隻拖行（圖 31），測試浮標能否在海面上正常浮起，測試完成後收回浮標，確認有無受損。



圖 31 AIS 浮標測試。AIS 浮標以繩索綁在甲板的欄杆上，以船隻拖行測試 AIS 浮標的運作情形。

3.1.5 鐨碇測試

將鐢碇投放入海中，測試整體結構和外部保護層的穩固性。在投放鐢碇之前，確認鐢碇的結構完整，熱縮膜和噴漆完好無損，檢查鉛塊是否完全被保護，沒有露出。通過船隻上的起重機和吊臂將鐢碇吊掛至水中，確保投放過程平穩，避免對鐢碇造成不必要的衝擊。30 分鐘後撈起鐢碇，檢查熱縮膜和噴漆是否仍然完整覆蓋鉛塊，各部件是否保持連接，沒有鬆動或損壞，以評估鐢碇的耐久性。



3.2 感測元件檢測方法

檢測 SOBEM 上的感測器的功能是否正常，需要進行相應的測試。以下分別針對磁力感測器、傾斜計和非極化電極進行測試：

3.2.1 磁力感測器

將磁力感測器連接資料紀錄器放置於地面上，於地面標示 MX、MY、MZ 之方向，在距離磁力感測器一公尺處，用強力磁鐵來回移動(圖 32、圖 33、圖 34)，查看三軸是否有出現磁場強弱變化。另外把磁力感測器放置於無磁性的架子上記錄一段時間，將所記錄到的 MX、MY、MZ 三分量磁場換算成全磁場，並對照宜蘭縣員山鄉內城磁力觀測站的全磁場資料，來檢驗磁場資料記錄的品質。

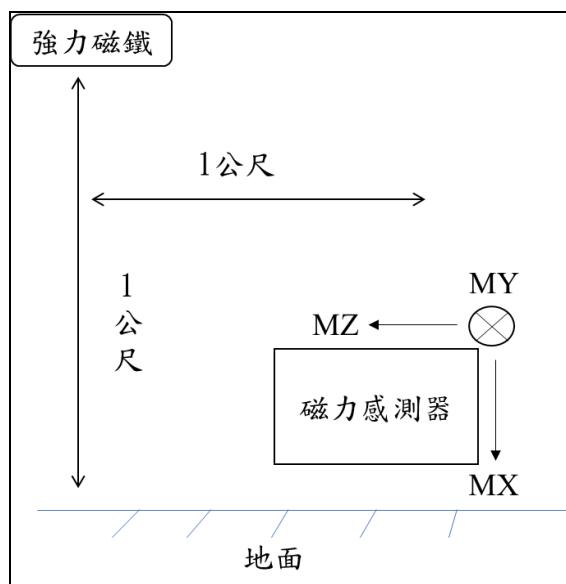


圖 32 磁力感測器測試示意圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 X 軸一公尺處，做一公尺的横向移動。

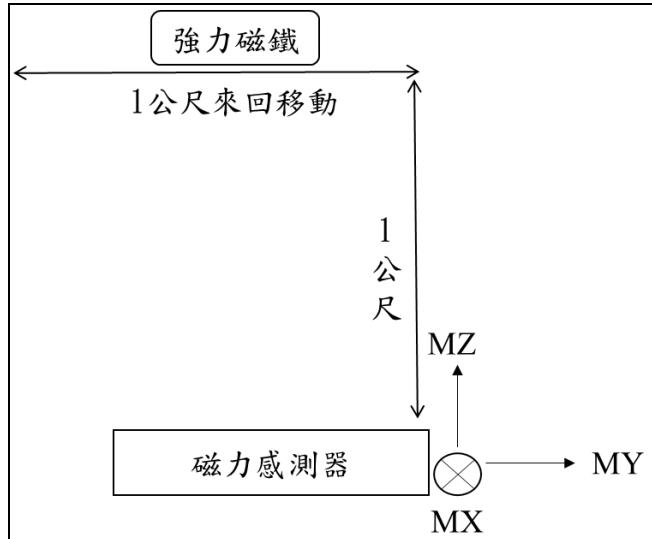


圖 33 磁力感測器測試示意圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 Y 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動。

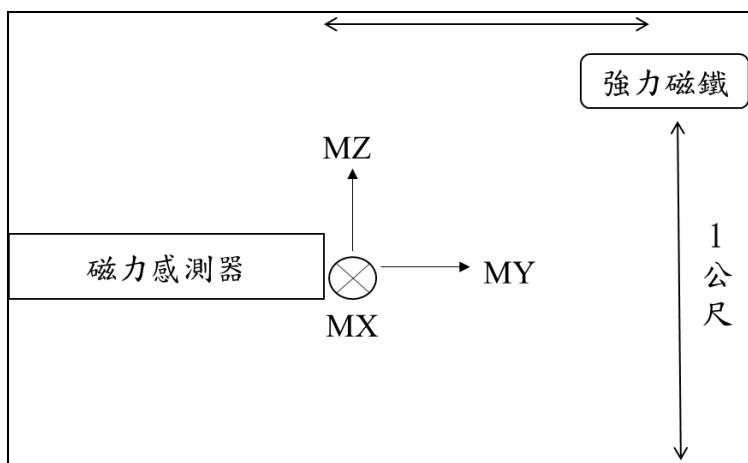


圖 34 磁力感測器測試示意圖。使用強力磁鐵在距離磁力感測器 Z 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動。

3.2.2 Tiltmeter

將 Tiltmeter 連接數位電表 (圖 35)，查看 X、Y 軸傾斜角度與電壓讀數的關係，以檢測傾斜計對於水平變化的感測能力，並確認所記錄電壓讀數之正負值是否與規格書上載明的一致。



圖 35 Tiltmeter 連接數位電表，隨傾斜角度的不同，電表上的讀數應該會有所變化。

3.3.3 非極化電極

在檢測非極化電極上，本研究使用了長 68 公分寬 50 公分高 50 公分的長方形塑膠桶，倒入深度約 15 公分的海水，將非極化電極的正極和負極兩兩一組，相隔 40cm 浸於海水中（圖 36）。分別自然感應電位、相對電阻值、對於交流和直流信號的感應能力，測試如下：

- a. 連接數位電表，以此量測非極化電極的自然感應電位和相對電阻值（圖 37）。
- b. 在塑膠桶長邊兩側以同樣浸於海水中的不鏽鋼棒發送 2V，1-100Hz 的正弦掃頻(sweep sine) 信號，以此來量測非極化電極對於交流信號的感應能力浸於海水中的不鏽鋼棒為媒介。待掃頻完，插入磁碟片收取動態信號分析儀的資料，比對後可知道電極之穩定度和優劣。
- c. 透過浸於海水中的不鏽鋼棒發送 0.5V-5V 的直流電壓來檢測非極化電極的電位感應能力。

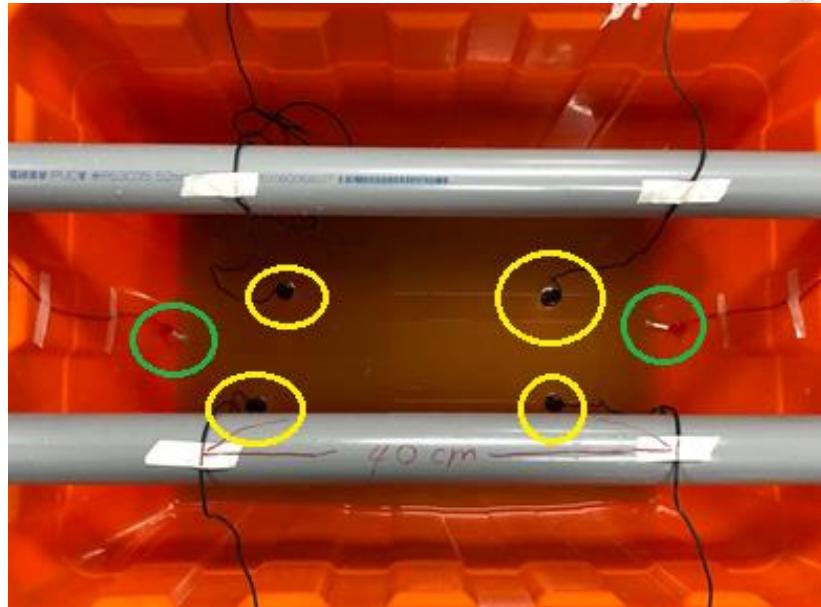


圖 36 塑膠桶內電極擺放位置圖。將非極化電極的正極和負極兩兩一組，相隔 40cm 浸於海水中。塑膠桶內裝有海水，黃色圈起處為電極，綠色圈起處為不鏽鋼棒。



圖 37 電極測試實驗設備連接圖。電極與不鏽鋼棒置於裝有 15cm 高的海水的橘色塑膠桶內，並連接動態信號分析儀和數位電表進行量測。



3.3 資料記錄器檢測方法

資料記錄器的主要功能是記錄和傳輸準確的數據，進行資料記錄器檢測可確保儀器的精確性，以及在不同環境條件下佈放的可靠性。透過檢測，可以識別資料中的任何錯誤或不確定性，以確保最終的資料品質和可信度。佈放前檢測可以發現潛在的問題或故障，並在實際操作之前解決，從而降低系統的故障率，提高可用性，也可以節省後期維護和修復所需的成本，預防性的檢測和維護通常比遇到問題後進行修復更經濟。另外資料記錄器在長期監測和實驗計劃中通常需要長時間連續運作，進行測試有助於確保儀器能夠在整個操作期間保持穩定運行，減少數據丟失或損壞的風險。

因此我們設計了檢測 SOBEM 資料記錄器的方法，分別對背景雜訊、線性度誤差以及動態範圍進行詳細的檢測，方法如下：

- a. 背景雜訊：資料記錄器上總共有 7 個波道，第 1 到 7 個波道分別為 Fluxgate 的 MX、MY、MZ，雙軸傾斜計的 TX、TY 和非極化電極的 EX、EY，測量背景雜訊時會分別連接此 7 個波道的正負極以跳線連接形成短路（圖 38），接著讓資料紀錄器紀錄約 60 秒，取出資料並根據式 3.1 進行計算。
- b. 線性度誤差與動態範圍：進行檢測的過程中，會使用電壓源校準器(Datel DVC-350, chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.calibratorsinc.com/images/DVC-350Adatasheet.pdf) 產生精準的輸出電位，將電壓源校準器的正極分別連接 MX、MY、MZ 和 TX、TY，而電壓源校準器的負極則與資料記錄器的接地(GND)，EX、EY 則是分別將電壓源校準器的正、負極與非極化電極的正極和負極連接。接著便開啟 SOBEM，在記錄資料時，分別給予 MX、MY、MZ -10 ~ +10V 的電壓，TX、TY -5 ~ +5V 的電壓，EX、EY -0.012V ~ +0.012V 的電壓，在磁場分量以及傾斜計的供電上皆是以 1V 為單位循序調整，而電場的分量則是以 0.001V 來調整，每一次調整會間隔 30 秒鐘讓 OBEM 記錄，待記錄完之後取出資料，並分別依公式 3.1、3.2、3.3 及 3.4 進行計算。



圖 38 資料紀錄器外觀。左上方黃色部分為連接正負極形成短路的跳線。

3.3.1 背景雜訊

背景雜訊指的是當資料記錄器未連接到感測器時，由資料記錄器本身電路產生的雜訊。計算背景雜訊的目的不僅在於評估資料記錄器內部雜訊的大小，同時也是為了後續在各個參數計算中提供重要的數據。通常我們使用均方根值（root mean square, RMS）來表示背景雜訊的大小，背景雜訊 N_{rms} 是經由式 3.1 所計算出的背景雜訊，定義如下：

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} (A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2)} \quad 3.1$$

3.3.2 線性度誤差

線性度誤差是指在測量中，實際輸出與理論值之間的差異，用以描述系統的準確性和精確度，分為線性度和誤差兩個部分。線性度評估電壓輸入與輸出訊號之間的比例是否隨著輸入信號的增加而維持不變，當儀器在不同輸入條件下呈現線性時，使用者更容易信任並預測儀器的性能。誤差則可看出輸出訊號測量的精密度，通常以百分比來表示。線性度誤差小的儀器通常更可靠，因為它們能保持多次測量的結果之間的一致性。

儘管感測器的規格已經標明了可量測的區間，但在經過儀器內部的信號調整器、類比數位轉換器、資料記錄器等元件傳輸後，輸出的訊號很可能會因衰減和



誤差而受影響。因此，透過式 3.2 和 3.3 的計算，我們能夠得知誤差的百分比，確保輸出訊號的準確性。

$$A = \text{Average}\left(\frac{\text{Average}(V_o) - \text{Average}(V_0)}{V_i}\right)$$

A 為放大倍率 V_i 代表輸入電壓，Average(V_o) 代表紀錄到輸入 V_i 時所得到的輸出電壓值。每一個電壓都會記錄 20 秒左右，並將這 20 秒的所有紀錄點求得一個平均的電壓值。Average(V_0) 是將輸入電壓為 0 時。紀錄到的所有值平均後得到的電壓值，藉由這個計算方式，能夠得知放大倍率。並可藉由感測器規格書中的可量測範圍去換算 1V 電壓相當於多少的物理量，像是 Fluxgate 可輸入電壓的範圍 $\pm 10V$ ，對應於可量測磁場範圍為 $\pm 100,000$ nT，計算出 1V 電壓相當於 10,000 nT。雙軸傾斜計可測到的傾斜角度範圍為 $\pm 25^\circ$ ，靈敏度為 $7.2V/g$ ，傾角 90° 相當於 $1g$ ，因此可知 1V 相當於 12.5° 。

$$\text{Error \%} = \left[\frac{A_i - A_T}{A_T} \right] * 100 \quad 3.3$$

A_i 代表輸入電壓 V_i 後求出的放大倍率， A_T 是輸入電壓 i 時，所得到之放大倍率進行平均後的平均放大倍率。

3.3.3 動態範圍

動態範圍是指資料紀錄器所記錄到的資料中所能解析的最小訊號到最大滿格 (Full scale) 訊號之間的比值。此範圍中，最小訊號通常對應於儀器內部的背景雜訊，Full scale 則代表儀器可以記錄到的最大振幅。動態範圍必須確保訊號落在這個範圍之內，這樣才能準確地記錄資料。如果背景雜訊過大，可能會掩蓋掉訊號；而最大振幅太小，則可能導致訊號無法完整地被記錄下來。動態範圍的確保是非常重要的，因為它使儀器能夠記錄到各種不同振幅的訊號，進而確認資料的準確性。這個範圍可以透過式 3.4 來計算，使儀器的性能符合所需的測量標準。

動態範圍以式 3.4 來表示

$$D = 20 \log\left(\frac{V_{max}}{N_{rms}}\right) \quad 3.4$$

V_{max} 是資料記錄器所能記錄的最大數值，在 SOBEM 的感測器中，MX、



MY、MZ 三軸能量到的最大電壓值為 10.0 V；TX、TY 為 5.0 V；EX、EY 為 0.0125 V。 N_{rms} 是透過公式 3.1 得出的背景雜訊。

3.4 AIS 測試

AIS 是一種安裝在船舶上的自動追蹤系統，經由自動識別系統發送的訊息包括水上行動業務識別號碼（MMSI）、船名、位置、航向和航速，透過與附近船舶、AIS 岸臺和衛星等設備交換電子資料。除了將 AIS 資料提供給海事雷達以優先避免海上交通事故，它還能廣播海象資料和危險警示區，供船舶接收，提高航行安全性。我國建置 AIS 座基站及航標臺，用於監測和提高海上交通安全性，減少事故風險，並支援海域管理與規劃。

將 AIS 網位儀安裝於預先製作好的浮標進行海上測試。AIS 浮標用尼龍繩繫緊於甲板的欄杆後佈放於海面上，測試 AIS 網位儀在海面是否可以正常收訊，並準確傳輸浮標的座標位置。



3.5 電力消耗測試

SOBEM 的電源供應使用 TADIRAN TL-5930 鋰電池，每顆 3.6 V，19 Ah，串聯 4 顆製作成 14.4 V 電池組共 5 組，其中 3 組 14.4 V 電池組並聯成為 57 Ah 電池組，並將電壓轉換為 ± 12 V，提供給磁力感測器和傾斜計使用；2 組 14.4 V 電池組並聯成為 38 Ah 電池組，將電壓轉換為 5 V 供應給資料紀錄器。電力消耗測試(圖 39)經由同時使用兩組電錶量測兩組電池組的輸出，分別記錄資料紀錄器和感測器的電流消耗，並計算所需消耗電量，再根據計算出的消耗電量得出配備的電池數量。

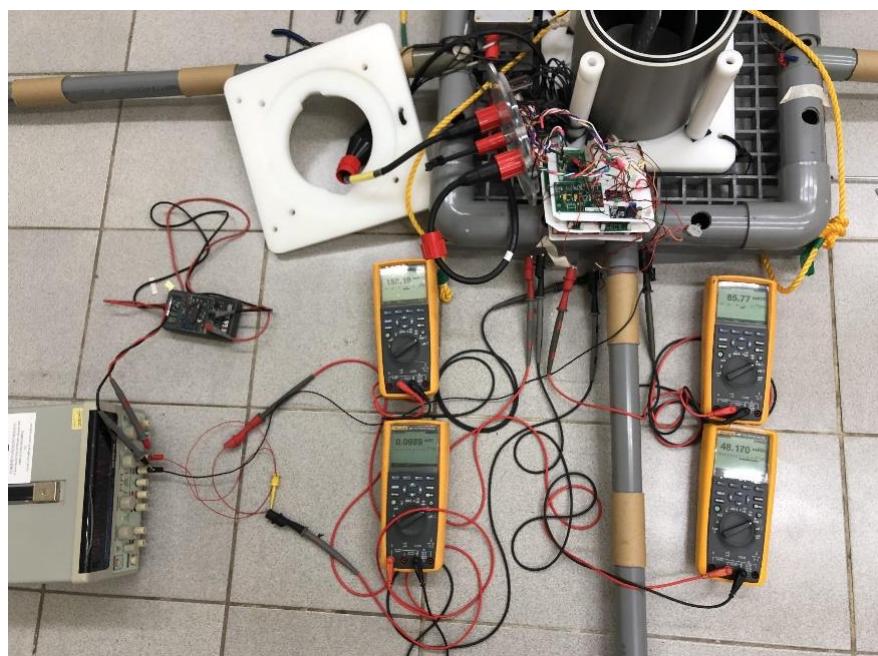


圖 39 電力消耗測試設備連接圖。經由同時使用兩組電錶量測兩組電池組的輸出，分別記錄資料紀錄器和感測器的電流消耗。



3.6 整合測試

分別測試完 SOBEM 的機構、資料記錄器、感測器及電力消耗後，將整套 SOBEM 組裝起來，進行整合測試。整合測試分為室內測試及港池測試。

3.6.1 室內測試

室內測試(圖 40)是為了確保儀器的各個功能正常運作，假如在室內測試階段發現問題，可以及時進行修復和調整，使儀器具有穩定和可靠的性能。室內測試環境相對受控，有助於進行校正，確保儀器能夠提供精確的測量結果。這有助於讓儀器在實地佈放之前，處於良好的工作狀態。靜置於室內收取 1 天的大地電磁資料。因陸地上無法獲得非極化電極數據，故檢視磁場資料作為儀器能否正常運作的基準。

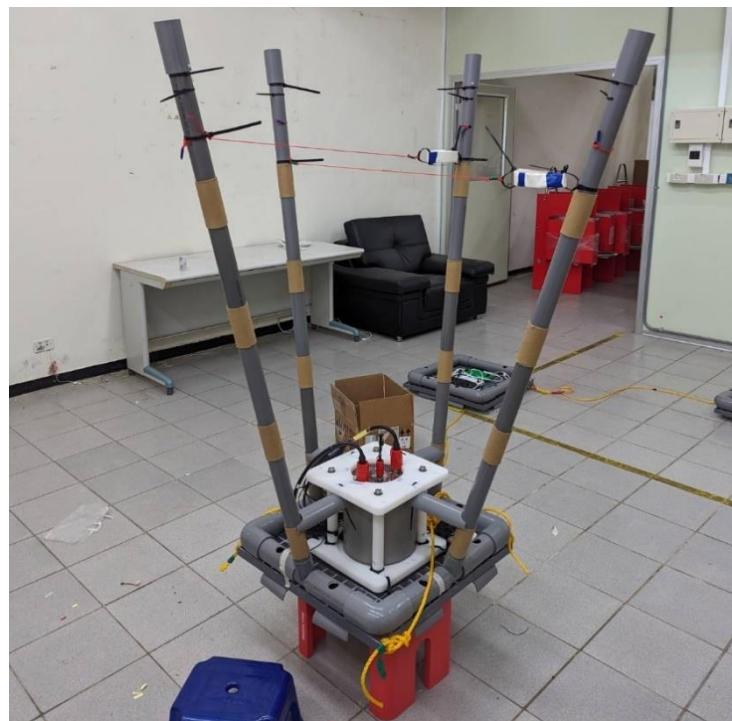


圖 40 SOBEM 室內測試情形。為避免磁力感測器受到建築物地板內鋼筋影響，將 SOBEM 墊高離地約 40 公分。將 SOBEM 開機後靜置一天，收取大地磁場資料。



3.6.2 港池測試

SOBEM 需經過港池測試才能提供更全面、真實且可靠的評估。港池測試提供了更接近實際佈放環境的測試條件，獲得的數據更貼近實際情況，反映儀器在實際環境中的表現。我們選定基隆海洋大學的動力小船練習場做為測試地點（圖 41），預計按照第五章所述之佈放與收回方法，使用動力小艇進行佈放（圖 42），將 SOBEM 佈放於遠離堤防的水域中央，避免收取的磁場資料受到鋼筋等磁性物質影響。

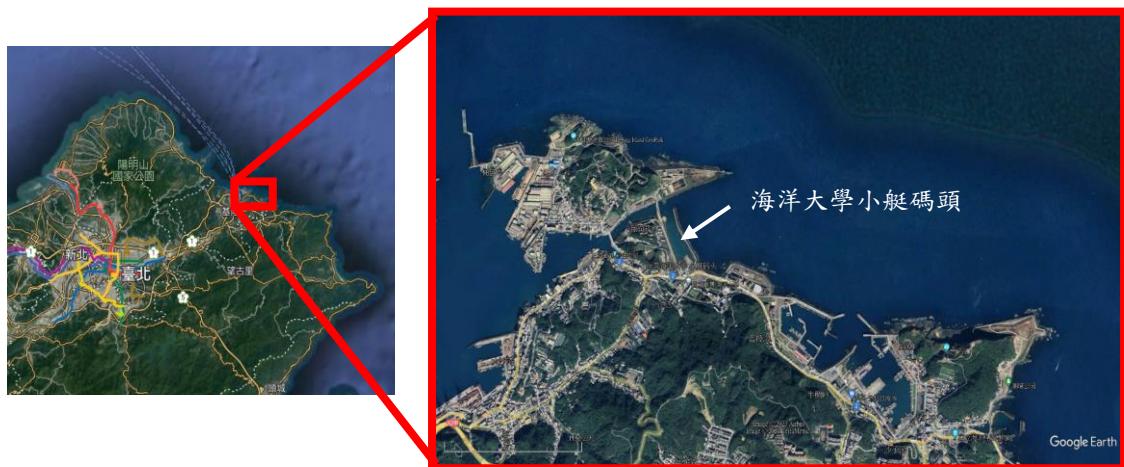


圖 41 選定海洋大學動力小船練習場做為港池測試地點。

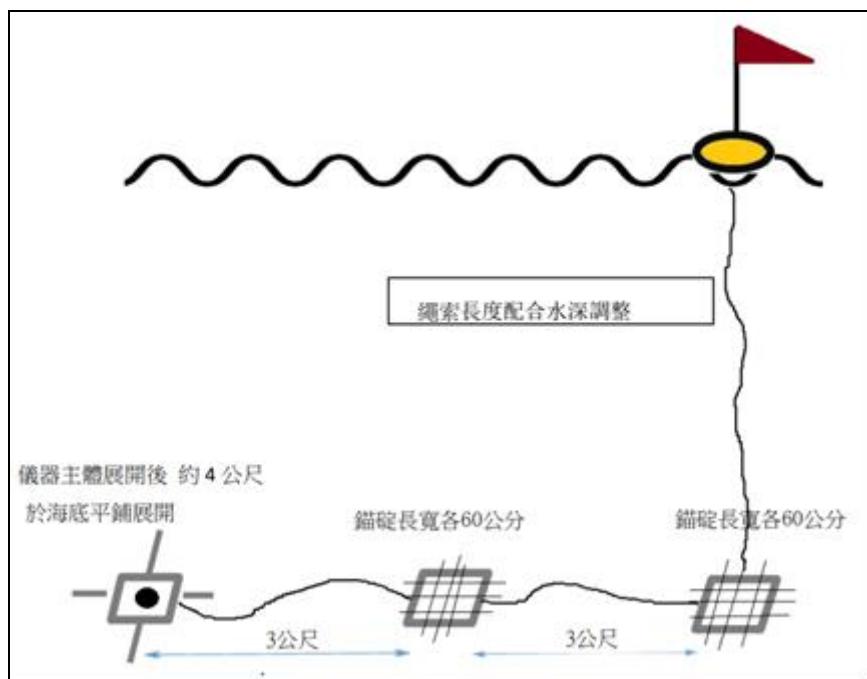


圖 42 SOBEM 佈放示意圖。

第四章 SOBEM 的檢測結果



4.1 機構部分

經過基隆港邊佈放 SOBEM 機構部分後發現，各塊之間以繩索連接造成搬運不便，將繩子裝上卸扣，搬運時拆開，移至甲板後再連接在一起會比較方便搬運。另外各塊體間繩索長度受水深影響大，繩索長度至少要超過 1.5 倍水深，避免在佈放時前一塊尚未沉底，甲板上另一塊就受到繩索拉扯，造成佈放和收回上困難。其他各機構部分之測試結果，以下分別討論。

4.1.1 電極伸展臂測試結果

SOBEM 由起重機和吊臂垂放至海面，剛入水時重心立即偏向一側（圖 43），使連接電極伸展臂與艙體間之廚房紙巾遇水溶解後，電極伸展臂無法正交開展。必須對浮心和重心重新進行計算，使重心與浮心垂直，使 SOBEM 入水時不會傾斜，並將衛廚房紙巾綁在較高位置，避免儀器載台入水當下水花噴濺，造成廚房紙巾立即溶解，並在艙體與電極伸展臂間設置檔板，使電極伸展臂維持開展角度，不會向儀器中間傾斜，電極伸展臂入水時得以正交展開（圖 44）。

於港中佈放 30 分鐘後，由吊臂自水中拉起 SOBEM，此時電極伸展臂上連接各節 PVC 管的紙捲已被海水溶解（圖 45），電極伸展臂自然下垂於儀器側邊，使收回過程更為便利。



圖 43 SOBEM 入水時因重心與浮心並沒有垂直，剛入水即呈傾斜狀態，且紙巾綁在較低處，故立即浸溼使電極伸展臂無法正交展開。

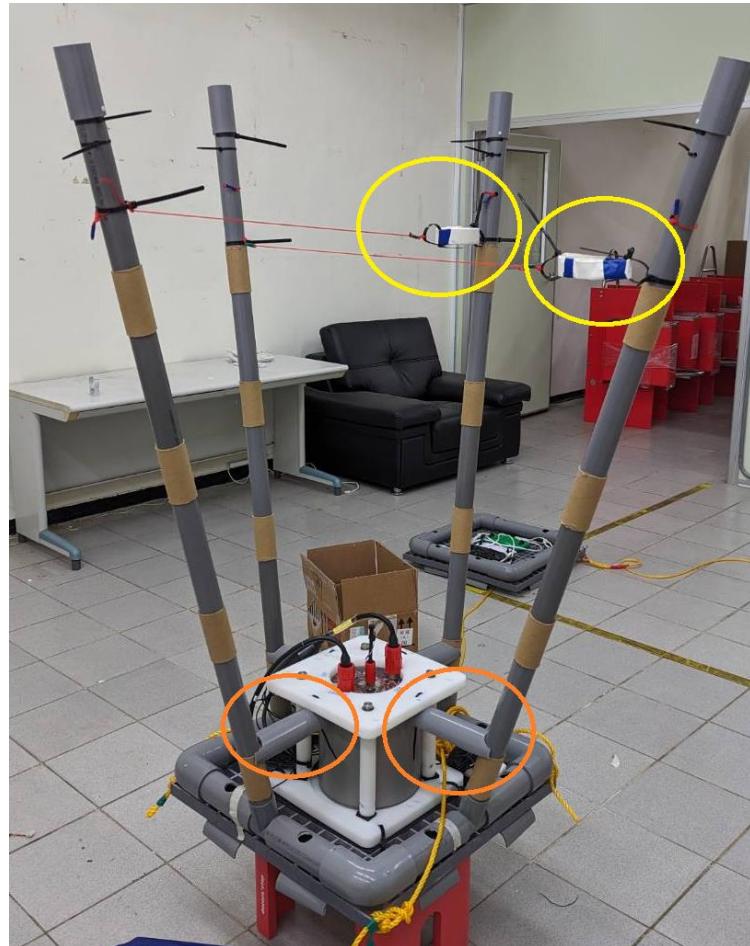


圖 44 於艙體和電極伸展臂間設置檔板，維持電極臂傾斜角度。黃色圓圈處為改綁在較高處的廚房紙巾，這樣入水時就不會立即浸溼，橘色圓圈處為新設置的擋板，使電極臂不會向中心傾斜。

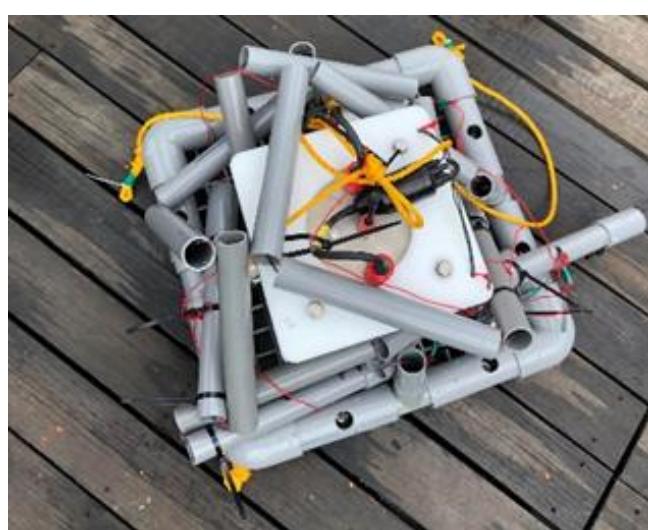


圖 45 將 SOBEM 從水中拉起，連接各段 PVC 管間的紙管已被海水溶解，電極臂自然下垂，縮小面積，使收回過程更為便利。



4.1.2 艙體水密測試結果

a. 儀器用水密艙體

自水中拉起 SOBEM，打開儀器用水密艙體，艙體外部及 O-Ring 外側有水珠附著，艙體內部及 O-Ring 內側呈現乾燥狀態，代表艙體的水密性良好。

b. Tiltmeter 用水密艙體

從水中拉起 PVC 管，打開 Tiltmeter 用水密艙體，裡面放置的衛生紙仍保持乾燥。O-Ring 內側無水滲透入內，O-Ring 外側有些許水滴，顯示 O-Ring 起到了密封的作用，也證明了艙體的水密性良好。Tiltmeter 用水密艙體的內壁冰冷且出現了一些小水珠，推測為內部存在之水氣，應先將艙體抽真空再進行佈放，以免造成內部 Tiltmeter 功能失常。

4.1.3 儀器重量測試結果

將 SOBEM 各塊分別放入裝有水之塑膠桶中，並以彈簧秤分別測量空氣中及水中之重量。量測結果為儀器本體空氣中重量 25.1 kg，水中重量 6.9 kg；錨碇 1 空氣中重量 17.6 kg，水中重量 11.5 kg；錨碇 2 空氣中重量 40 kg，水中重量 32.7 kg。SOBEM 各部分的重力皆大於浮力，故佈放時可以成功的沉降至海床上。

4.1.4 浮標測試結果

在停船時佈放浮標，浮標可以穩定漂浮於海上；開船時因受繩索拖拉前端重心偏下易翻覆，改變繩結位置後在施行時可頂浪前進，不會翻覆。在實際佈放 SOBEM 時，浮標會被海床上的錨碇拉住，固定在同一位置，僅受風浪影響擺動，因此不容易有翻覆問題產生。

浮標佈放測試完成後，將 AIS 浮標放置在甲板上無遮蔭處曝曬數天（圖 46），再與船艙內的 AIS 浮標作對比。發泡填縫劑明顯泛黃，但並無脫落或毀損情形，丁基橡膠內胎及繩索也無龜裂破損。顯示 AIS 浮標可承受多日之太陽曝曬，在溫度較低的海面上應可以正常運作。

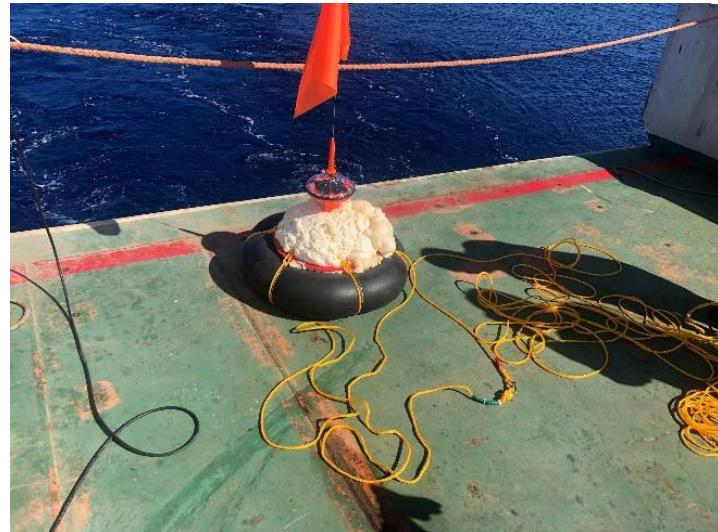


圖 46 在甲板上曝曬的 AIS 浮標。測試浮標是否能承受海面上的烈日曝曬。

4.1.5 鋼碇測試結果

從海床將 SOBEM 拉起，鋼碇整體結構仍然保持完好，鉛塊外部保護層也未脫落，熱縮膜和噴漆完好無損，鉛塊沒有露出。各部件依然保持穩固連接，沒有鬆動或是損壞情形發生，顯示鋼碇及連接之繩索可以經得起佈放和收回時的拉力。

4.2 感測元件檢測結果

4.2.1 磁力感測器

使用強力磁鐵在距離磁力感測器 X 軸一公尺處，進行一公尺的上下移動（圖 47），磁力計的各個分量出現了明顯的變化；接著在距離磁力感測器 Y 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動（圖 48），MX 分量的變化最為明顯；最後在距離磁力感測器 Z 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動（圖 49），MY 分量的變化最為明顯。

在繞圈及來回移動測試完畢後移開強力磁鐵，磁力計的各個分量都回到了背景值，磁力感測器靜置時（圖 50），可由圖中可看出，當無磁性物質靠近感測器時，便不會產生磁場強度變化的訊號。

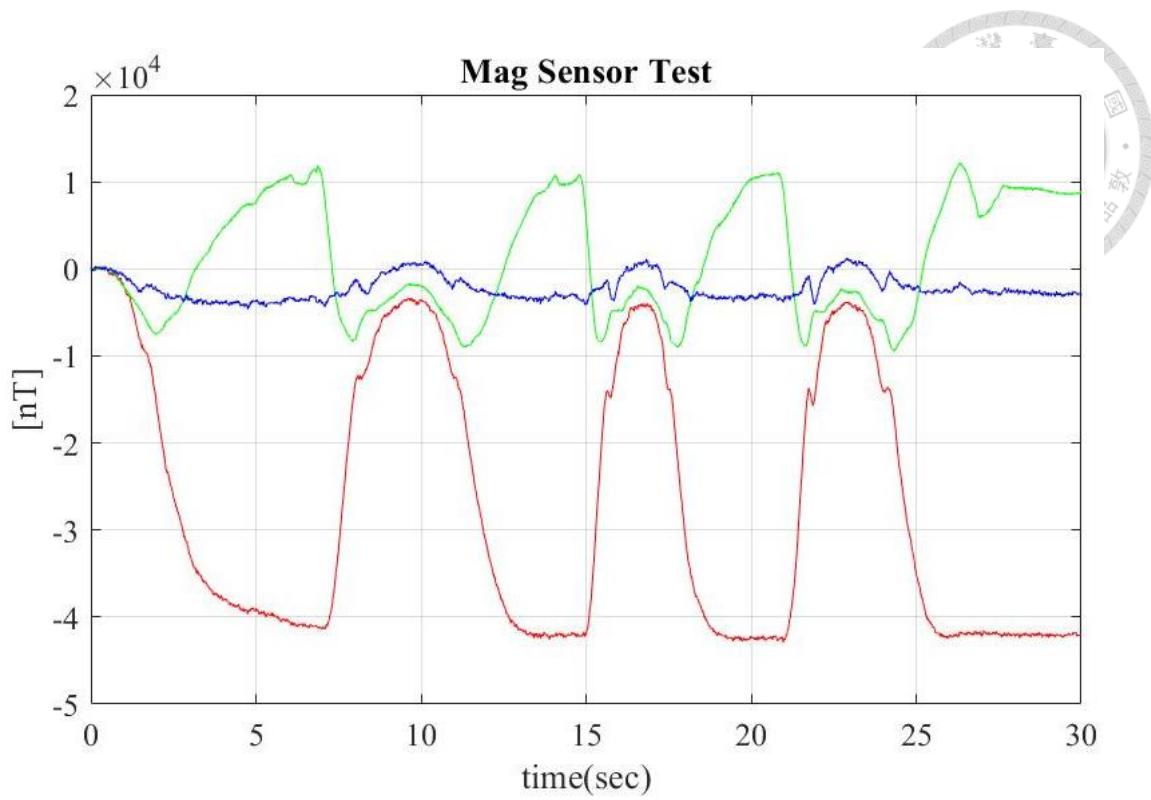


圖 47 磁力感測器測試結果圖。使用強力磁鐵在距離磁力感測器 X 軸一公尺處，進行一公尺的上下移動。磁力計的各個分量出現了明顯的變化。

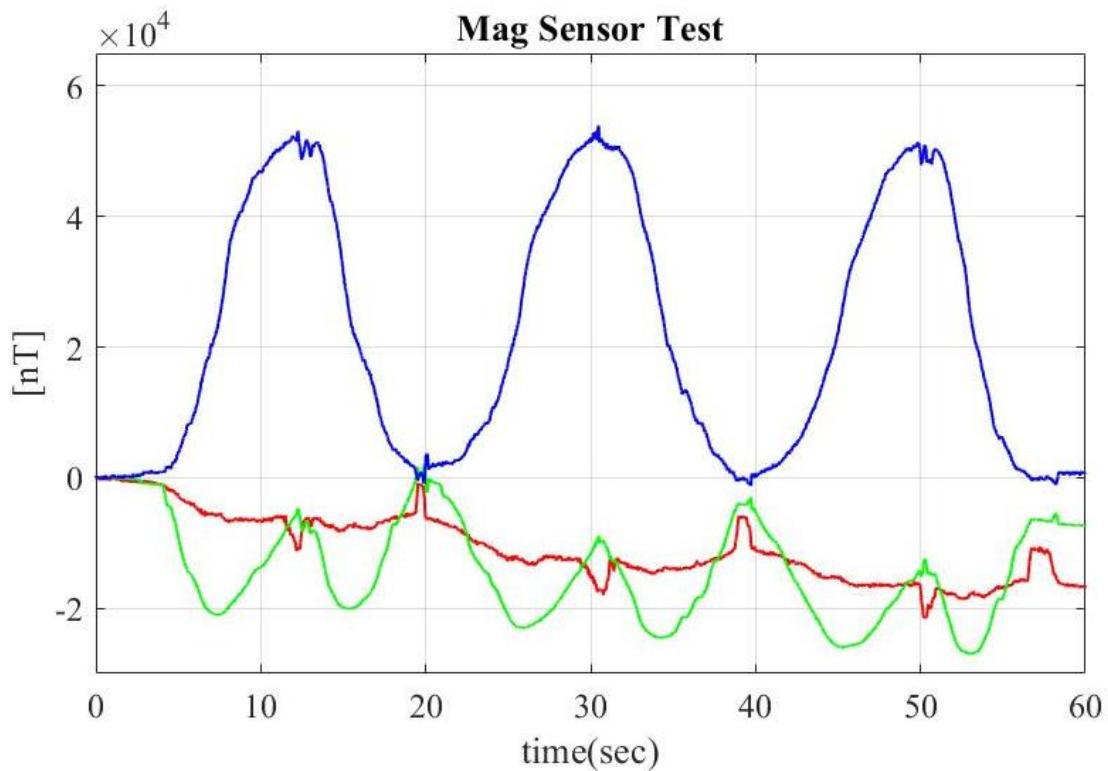


圖 48 磁力感測器測試結果圖。強力磁鐵在距離磁力感測器 Y 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動，磁力計的各個分量出現了明顯的變化。

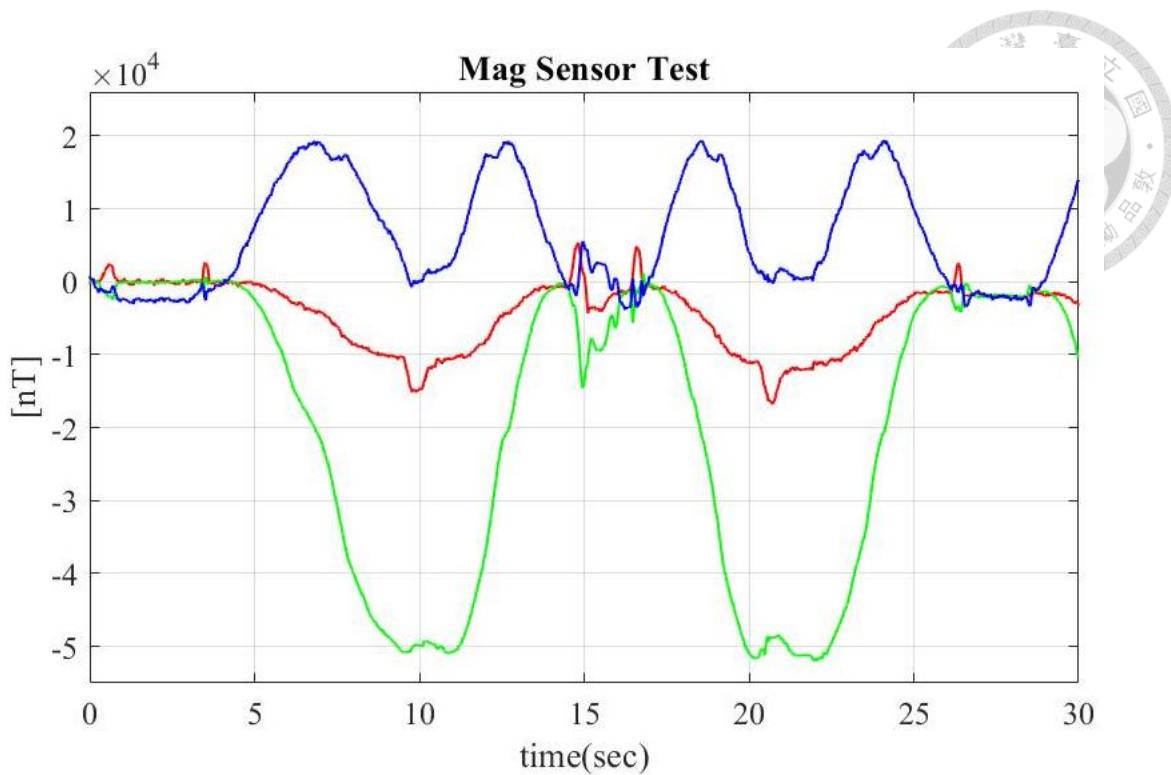


圖 49 磁力感測器測試結果圖。使用強力磁鐵在距離磁力感測器 Z 軸一公尺處，做一公尺的橫向移動，磁力計的各個分量出現了明顯的變化。

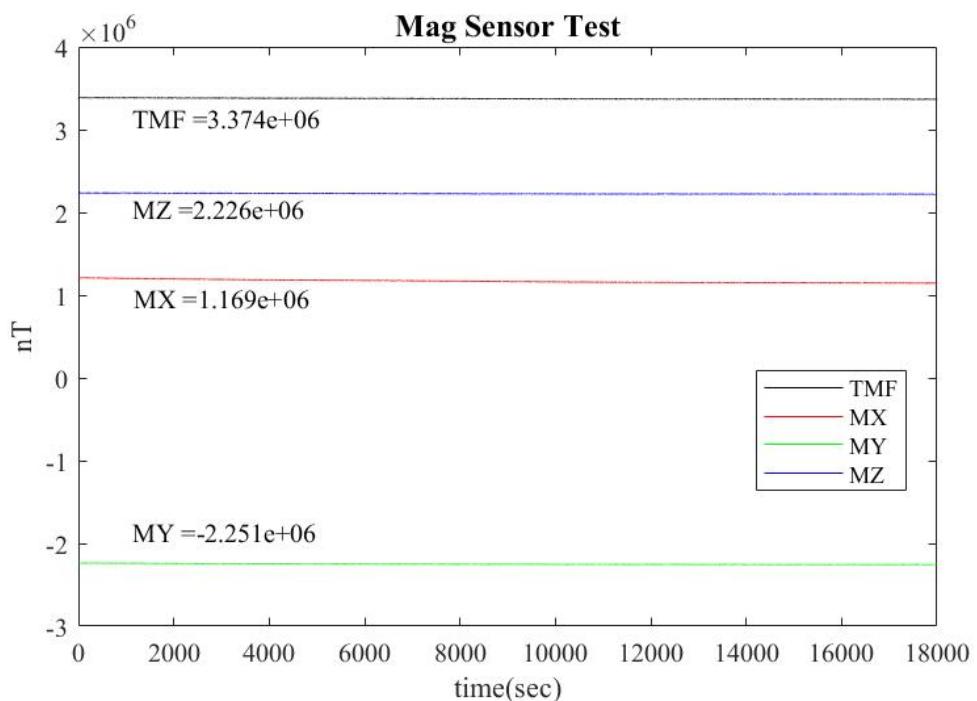


圖 50 磁力感測器測試結果圖。磁力感測器靜置時圖中可看出，當無磁鐵靠近感測器時，便不會產生磁場強度變化的訊號。



4.2.2 Tiltmeter

測試傾斜計時，手持 Tiltmeter 進行搖動來產生傾斜，依據說明書上所述，相對於水平面的傾斜方向，向左或向下傾斜為負值，向右或向上傾斜為正值。將傾斜計往右及往上傾斜時，此時電表所記錄到的電壓讀數為正值，當把傾斜計向左及向下時則出現了負值，這樣的變化符合了規格書上傾斜計各分量的方向。

4.2.3 非極化電極

用不鏽鋼棒傳送 $0.5\text{ V} \sim 5.0\text{ V}$ 的直流電壓時，所記錄到的數值隨傳送的電壓增加，非極化電極感測到之電壓值也以線性方式穩定升高（圖 51），隨著施加電位提升，感應電位也越大。橫軸為不鏽鋼棒之輸入電壓信號，縱軸為電極感應電壓信號。由不鏽鋼棒發送 2.0 V 之固定電壓，頻率 1 至 100Hz 的弦波掃頻信號，結果如圖 52 所示。電極經測試，經由不鏽鋼棒發送電壓為 2.0 V ， $1 \sim 100\text{ Hz}$ 的 sweep sine，圖中顯示 SOBEM01 和 OBEM02 的電極經過 sweep sine 測試，頻率越高，感應的電位愈大，依線性度可大致分為三段。當頻率從 2Hz 變化到 10Hz 時，輸出與輸入電壓值的比值由 0.08 提升至 0.125；從 10Hz 變化到 30Hz 時，斜率升高，比值由 0.125 提升至 0.187，； 30Hz 變化到 100Hz 時，斜率趨緩，比值由 0.187 提升至 0.229。表 5 為 4 組電極阻抗、感應自然電位、輸入 5V 感應電位測試表。

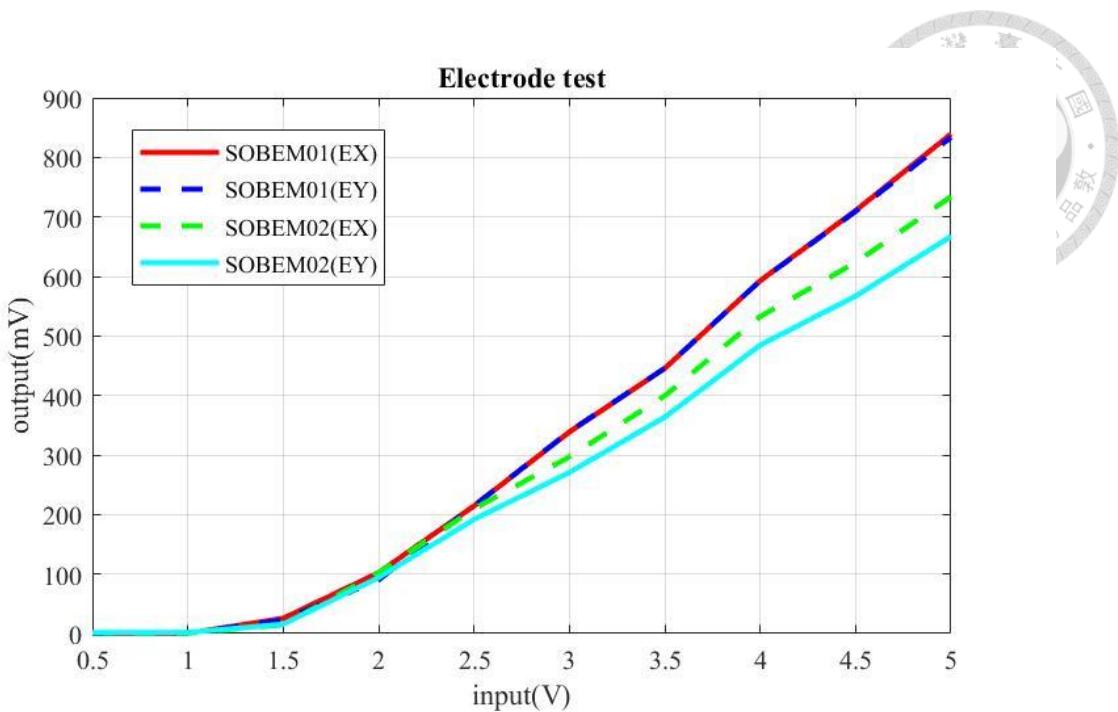


圖 51 非極化電極直流電壓檢測結果圖。用不鏽鋼棒傳送 0.5 V ~ 5.0 V 的直流電壓時，所記錄到的數值隨傳送的電壓增加，非極化電極感測到之電壓值也以線性方式穩定升高。

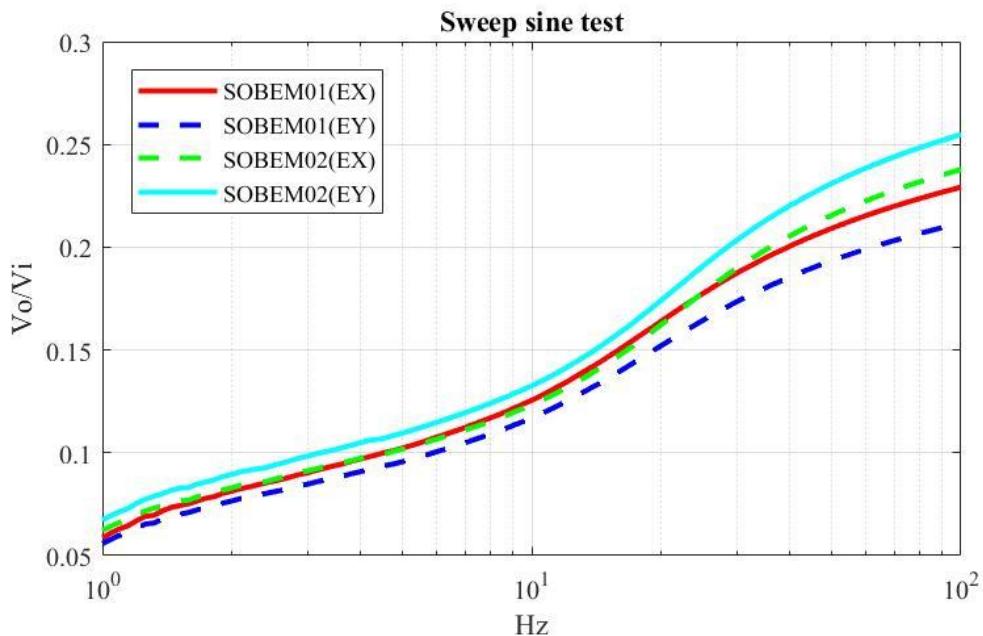
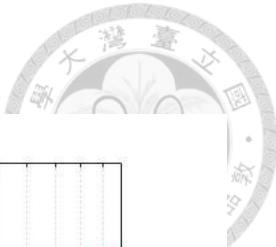


圖 52 非極化電極正弦掃頻試驗結果圖。經由不鏽鋼棒發送電壓為 2.0 V，1 ~ 100 Hz 的 sweep sine，圖中顯示 SOBEM01 和 OBEM02 的電極經過 sweep sine 測試，頻率越高，感應的電位愈大，依線性度可大致分為三段。當頻率從 2Hz 變化到 10Hz 時，輸出與輸入電壓值的比值由 0.08 提升至 0.125；從 10Hz 變化到 30Hz 時，斜率升高，比值由 0.125 提升至 0.187；；30Hz 變化到 100Hz 時，斜率趨緩，比值由 0.187 提升至 0.229。

◦

表 5 4 組電極阻抗、自然電位、輸入 5V 感應電位測試表。

	Impedance	Electrical potential	input DC5V, induced voltage
SOBEM01(EX)	311.81Ω	0.0011mV	839.2mV
SOBEM01(EY)	346.83Ω	-0.0004mV	833.7mV
SOBEM02(EX)	238.48Ω	-0.802mV	733.9mV
SOBEM02(EY)	240.33Ω	0.888mV	667.2mV



4.3 資料記錄器檢測結果

4.3.1 背景雜訊檢測結果

經過計算 MX 、 MY 、 MZ 的背景雜訊值分別為 0.348mV(8.7nT) 、 0.443mV(11.075nT) 、 0.297mV(7.425nT) ， TX 、 TY 的背景雜訊值分別為 0.195mV(0.0024°) 、 0.15mV(0.0019°) ， EX 、 EY 的背景雜訊分別為 0.00051mV 、 0.00034mV (表 6) 。從圖 53 、圖 54 和圖 55 中可以分別看到在各波道短路時，資料記錄器上對應於 磁力感測器、 Tiltmeter 和非極化電極的訊號。資料記錄器雜訊度偏高，不太能適用於水中環境，未來仍有改善空間。

表 6 資料記錄器對不同感測器的 7 個波道短路後參數表。

	背景雜訊(V)	Full Scale(V)	動態範圍(dB)
M _X	0.000348	10	89.17231
M _Y	0.000443	10	87.06627
M _Z	0.000297	10	90.53331
T _X	0.000195	5	88.1925
T _Y	0.00015	5	90.43073
E _X	5.09E-07	0.0125	87.80384
E _Y	3.36E-07	0.0125	91.41141

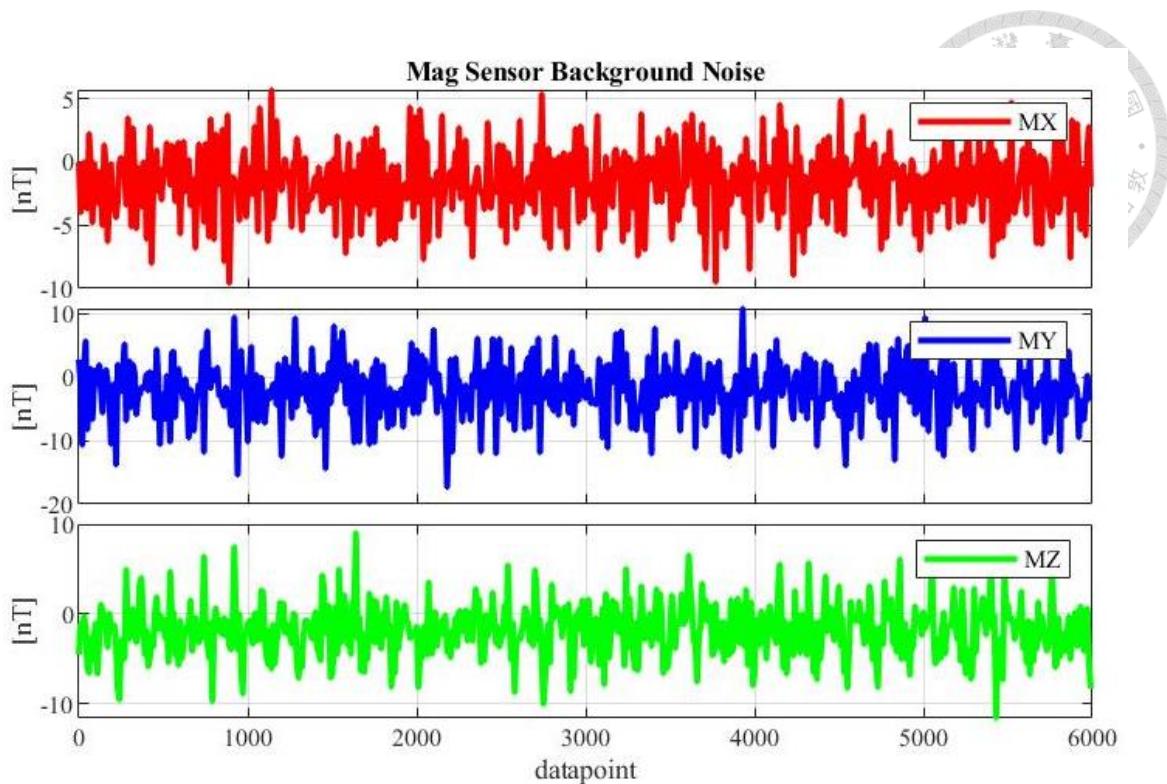


圖 53 磁力感測器背景雜訊測試圖。資料記錄器未和磁力感測器連接時，三個波道的 offset 值 MX 約為-1.67nT、MY 為-1.97nT、MZ 為-1.98nT。背景雜訊稍大。

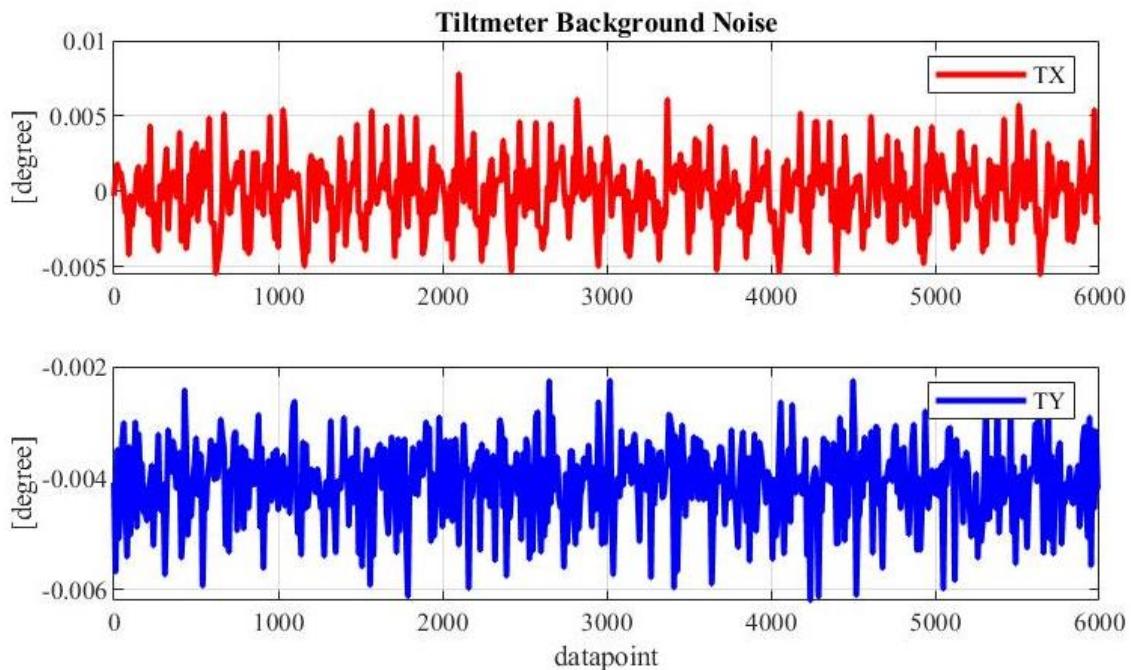


圖 54 Tiltmeter 背景雜訊測試圖。資料記錄器未和 Tiltmeter 連接時，TX 的 offset 值約為-0.00002°、TY 為-0.00031°。

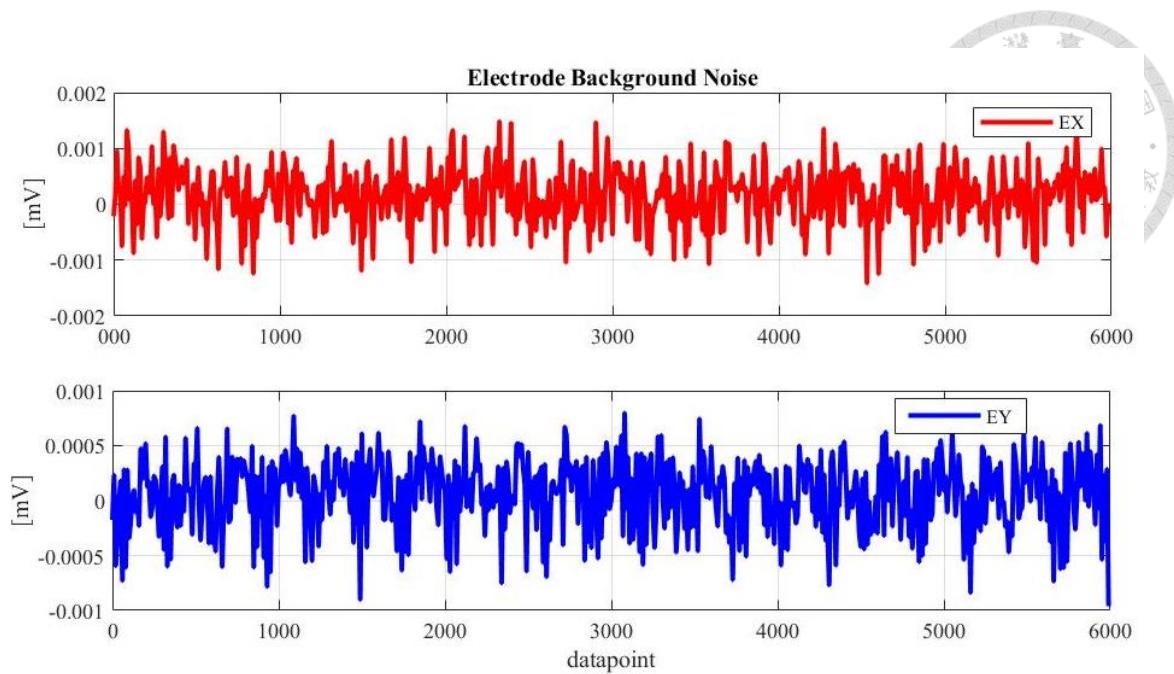


圖 55 非極化電極背景雜訊測試圖。資料記錄器未和非極化電極連接時，EX 的 offset 值約為-0.00016mV、EY 為 0.00006mV。

4.3.2 線性度誤差檢測結果

圖 56、圖 58 和圖 60 中可直接看出 7 個波道的線性度都十分良好，而圖 57、圖 59 和圖 61 中則是透過式 2.4 計算出誤差百分率後的關係圖，在圖 57 中可以看出，輸入磁力計波道的誤差百分率在 0 % ~ 3.5 % 之間，越靠近 -10V 與 +10V 時，得到的誤差百分率越大。圖 59 中可以看到 Tiltmeter 波道所算出的誤差百分率在 0 % ~ 1% 之間，可信度是很高的。圖 61 中可以看到非極化電極波道 EX 所算出的誤差百分率在 0 % ~ 1.3 % 之間，EY 所算出的誤差百分率在 0%~1.2% 之間。

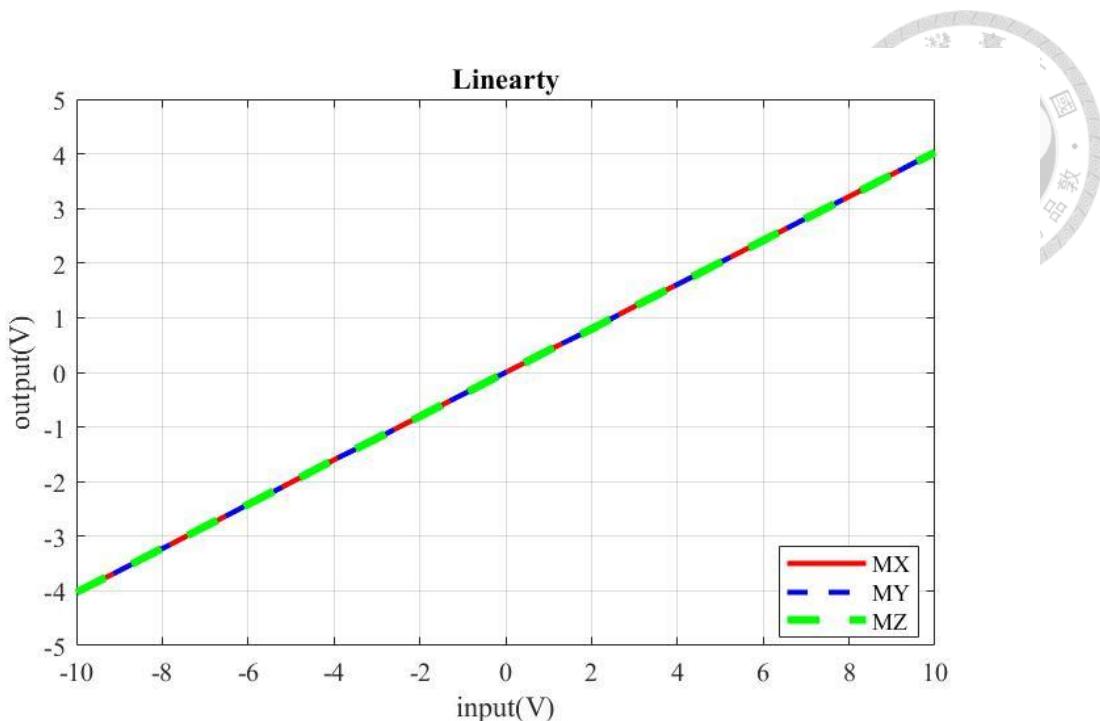


圖 56 資料記錄器 MX、MY、MZ 波道線性度圖。對磁力感測器波道送入 -10.0 V ~ +10.0 V 直流電壓，並計算磁力感測器各波道線性度。

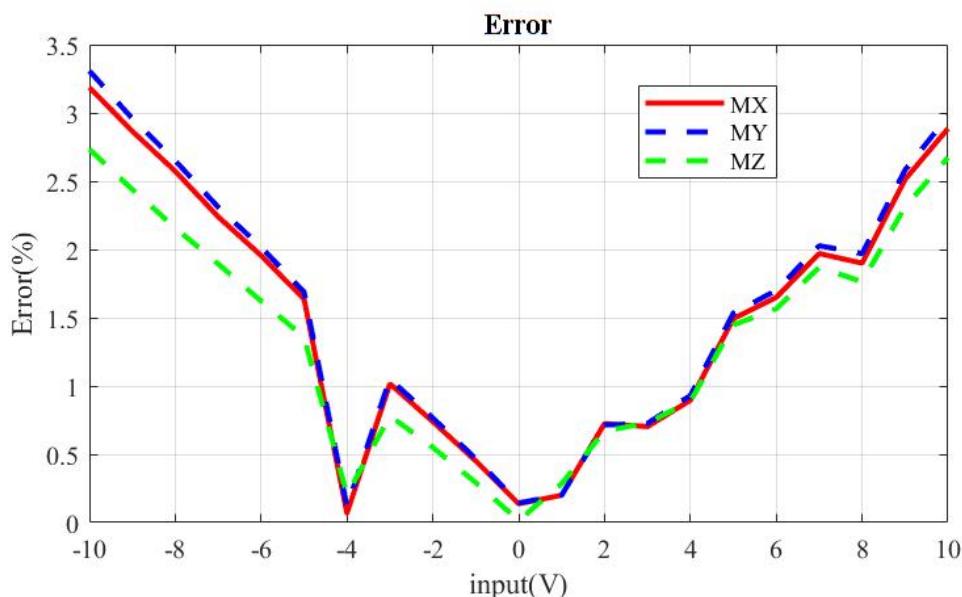


圖 57 輸入磁力計波道的誤差百分率在 0 % ~ 3.5 % 之間，越靠近 -10.0 V 與 +10.0 V ，得到的誤差百分率越大。將來需要將誤差降低，才能得到更精確的測量結果。

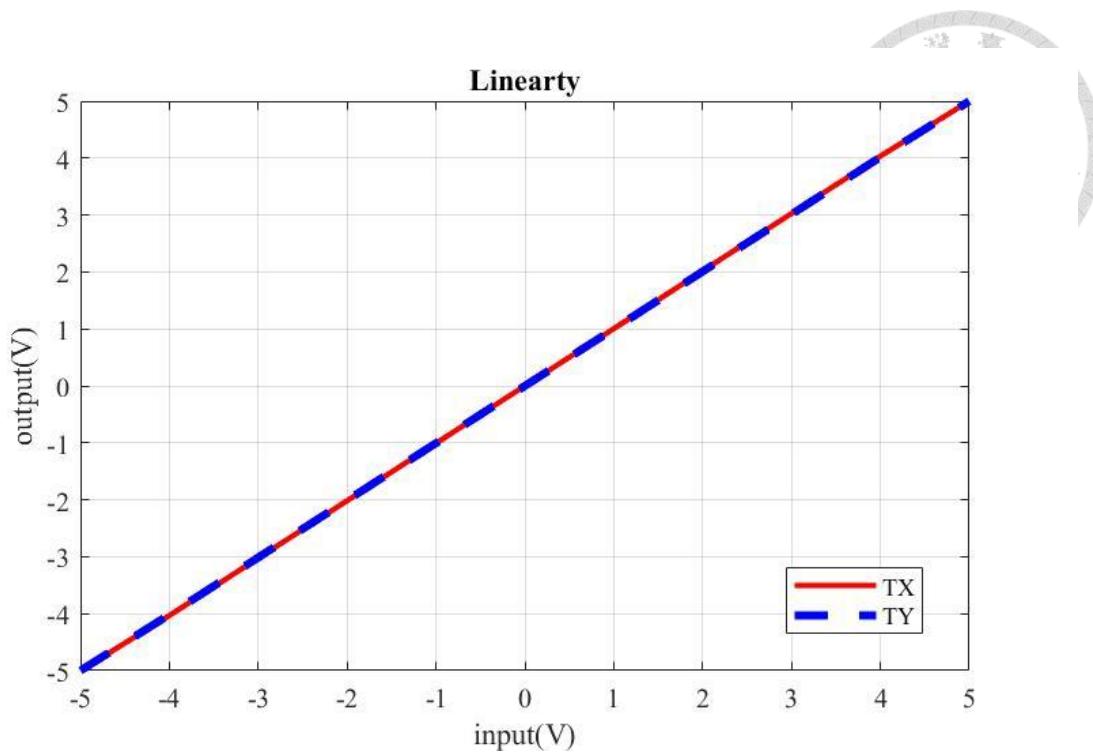


圖 58 資料記錄器 TX 和 TY 波道線性度圖。對 Tiltmeter 波道輸入-5.0 V ~ +5.0 V 直流電壓，並計算 Tiltmeter 各波道之線性度。

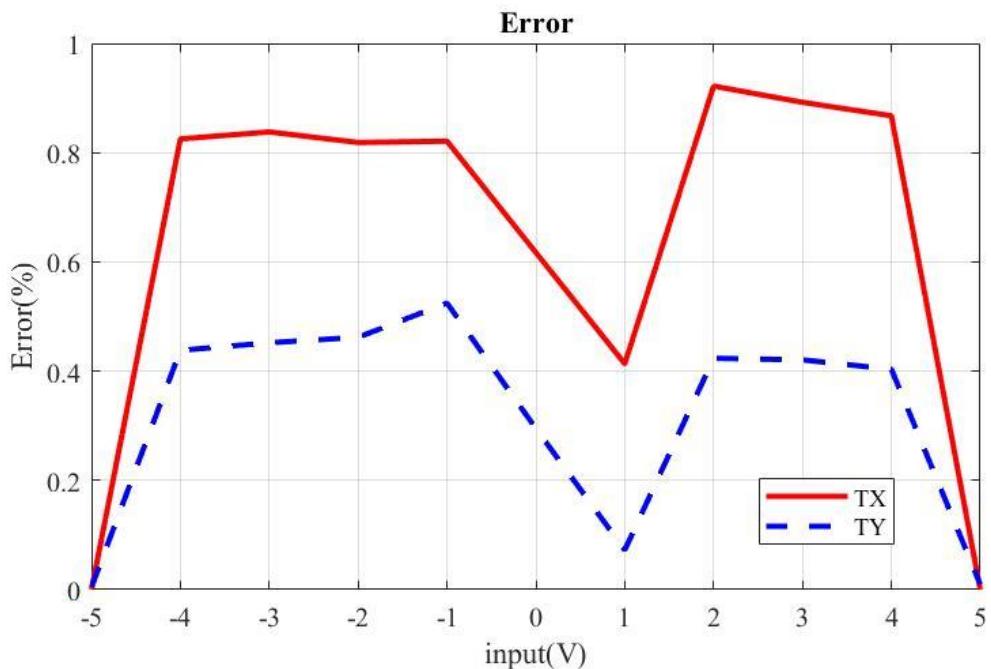


圖 59 輸入 Tiltmeter 波道的誤差百分率小於 1 %，可信度是很高的。

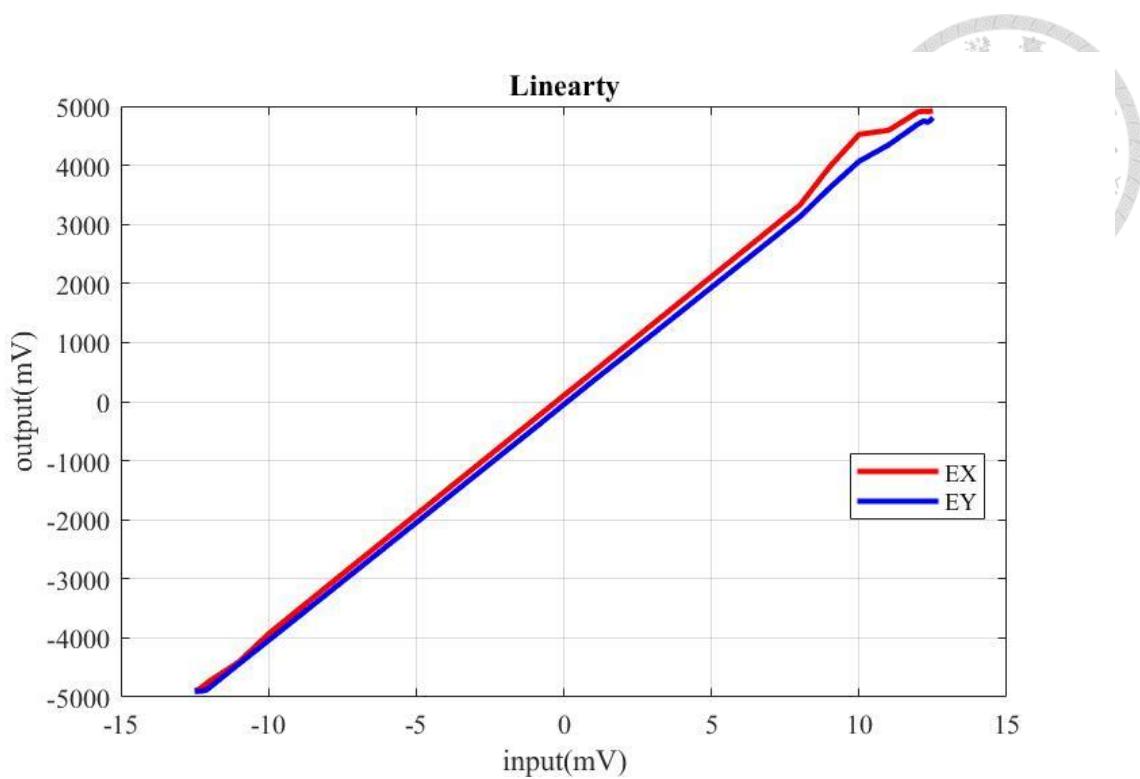


圖 60 資料記錄器 EX 和 EY 波道線性度圖。對非極化電極波道送入 $-0.0125\text{ V} \sim +0.0125\text{ V}$ 直流電壓，並計算非極化電極各波道線性度。

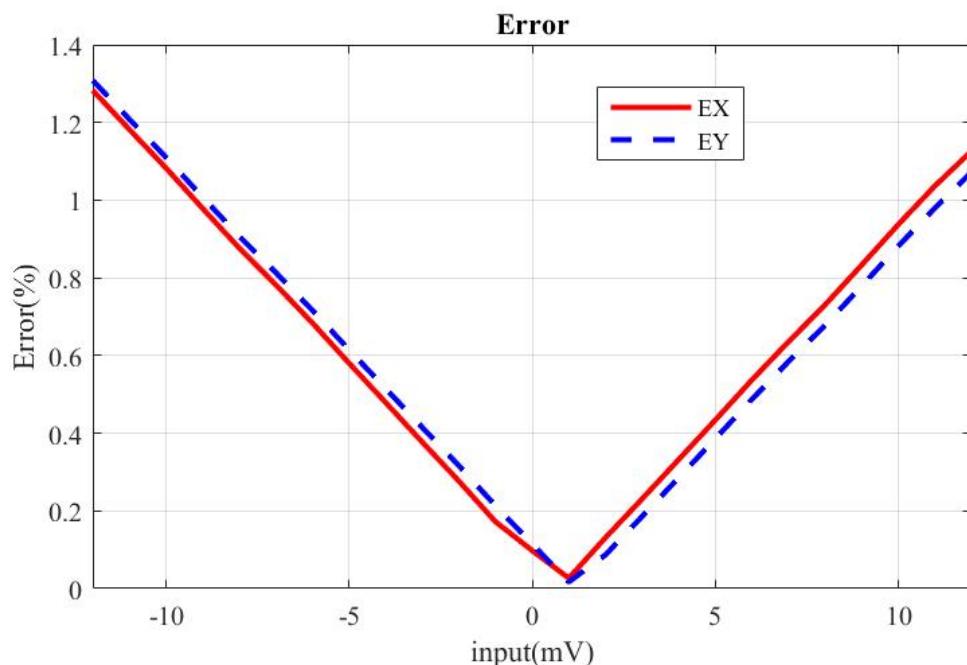


圖 61 圖中可以看到非極化電極波道所算出的誤差百分率在 $0\% \sim 1.3\%$ 之間，訊號可信度是很高。誤差百分率隨著輸入電壓升高而增高 仍有需要改善的空間。



4.3.3 動態範圍檢測結果

經過計算 MX、MY、MZ 的動態範圍分別是 89.17dB、87.06dB、90.53dB，TX、TY 的動態範圍分別是 88.19dB、90.43dB，EX、EY 的動態範圍分別是 87.80dB、91.41dB(表 6)。

4.4 AIS 測試結果

透過 AIS 接收器上的畫面可以看到，浮標上 AIS 網位儀與新海研一號所記錄到的航跡高度吻合，說明了 AIS 網位儀的位置足夠精確，能夠及時進行數據傳輸，在海面上可以穩定運作。AIS 收發器所記錄的航跡畫面（圖 62），AIS 所記錄到之紅色軌跡，和新海研一號所紀錄之棕色航跡大致相符。圖 63 為從衛星接收到 AIS 記錄到的航跡畫面。在 MarineTraffic 的網站上 (<https://www.marinetraffic.com/>)也可搜尋到 AIS 浮標的即時位置。

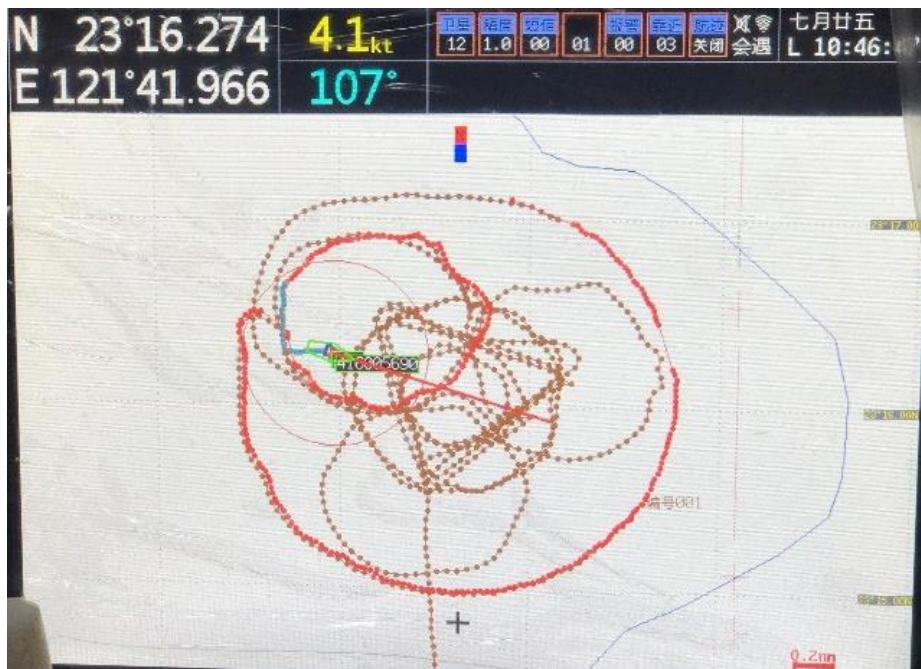


圖 62 AIS 收發器所記錄的航跡畫面，AIS 所記錄到之紅色軌跡，和新海研一號所紀錄之棕色航跡大致相符。

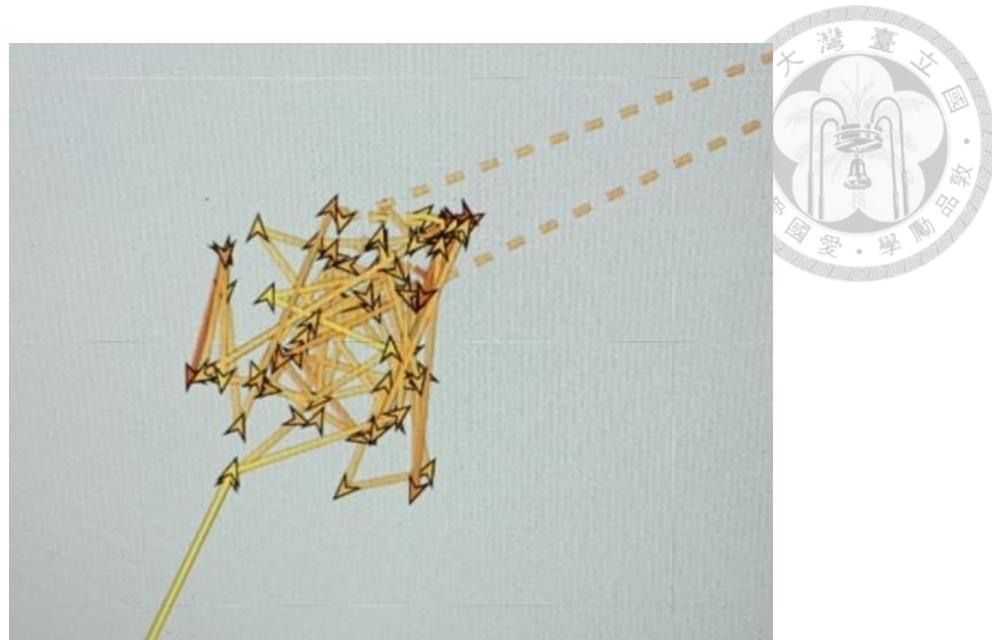


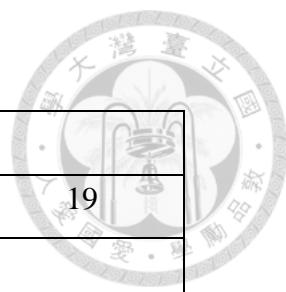
圖 63 AIS 測試結果。從衛星接收到 AIS 記錄到的航跡畫面。在 MarineTraffic 的網站上(<https://www.marinetraffic.com/>)也可搜尋到 AIS 浮標的即時位置。

4.5 電力消耗測試結果

依據 3.6 節的方法測試，資料記錄器的平均消耗電流為 93.8mA，而感測器的平均消耗電流為 137.9mA，計算後得出總電力消耗為 3.245W (表 7)，根據表 7 中的計算，並以布放 7 天的水下作業為目標，代入電池需求，可以算出總共需要 20 顆 3.6V，19Ah 的鋰電池，總重量為 1860 公克。

SOBEM 的電源供應使用 TADIRAN TL-5930 鋰電池，每顆 3.6V，19Ah，串聯 4 顆製作成 14.4V 電池組共 5 組，其中 3 組 14.4V 電池組並聯成為 57Ah 電池組，並將電壓轉換為 $\pm 12V$ ，提供給磁力感測器和傾斜計使用；2 組 14.4V 電池組並聯成為 38Ah 電池組，將電壓轉換為 5.0 V 供應給資料紀錄器。

表 7 電池需求與重量計算表。



電池型號	TL-5930		
單顆電池電壓(V)	3.6	電池容量(Ah)	19
<hr/>			
電池用途	資料記錄器		感測器
使用電壓(V)	14.4(串聯四顆電池)		14.4(串聯四顆電池)
消耗電流(mA)	93.8		137.9
單組電池可用天數	8.44		5.74
布放目標天數	14 天		
所需電池組	1.66		2.44
電池數量(顆)	8		12
單顆電池重(g)	93		
電池總重量(g)	1860		

4.6 整合測試結果

4.6.1 室內測試結果

我們檢視 SOBEM 於室內所收到的磁場資料作為儀器能否正常運作的基準。當磁力感測器靜置於室內時，主要接收到的是地球的背景磁場，這樣的測試方法可以用來檢測儀器自身的性能，確保它在實際工作時能夠準確地記錄磁場變化。因此我們比對了 2023/8/18 08:00 ~ 2023/8/19 08:00 SOBEM 與宜蘭員山鄉內城測站所收到的全磁場資料，圖 64 為 SOBEM 全磁場資料減去 41973 nT 的平均磁場強度和內城磁力站全磁場資料減去 45338 nT 平均 磁場強度之對比結果。黑線為 SOBEM 的全磁場數據 41973 nT，紅線為內城測站的全磁場數據 45338 nT，兩者相差 3365 nT，推測因建築物內充斥鋼筋及其他磁性物質，造成 SOBEM 資料與磁力站資料有如此大的差異。

內城磁力站有 40 nT 左右的日變化，SOBEM 則是有 150 nT 左右的劇烈浮動，推測是因為室內測試場地緊鄰機房重地，受到空調及其他機器開啟及關閉影響，造成磁力感測器收到之磁場產生劇烈變化。

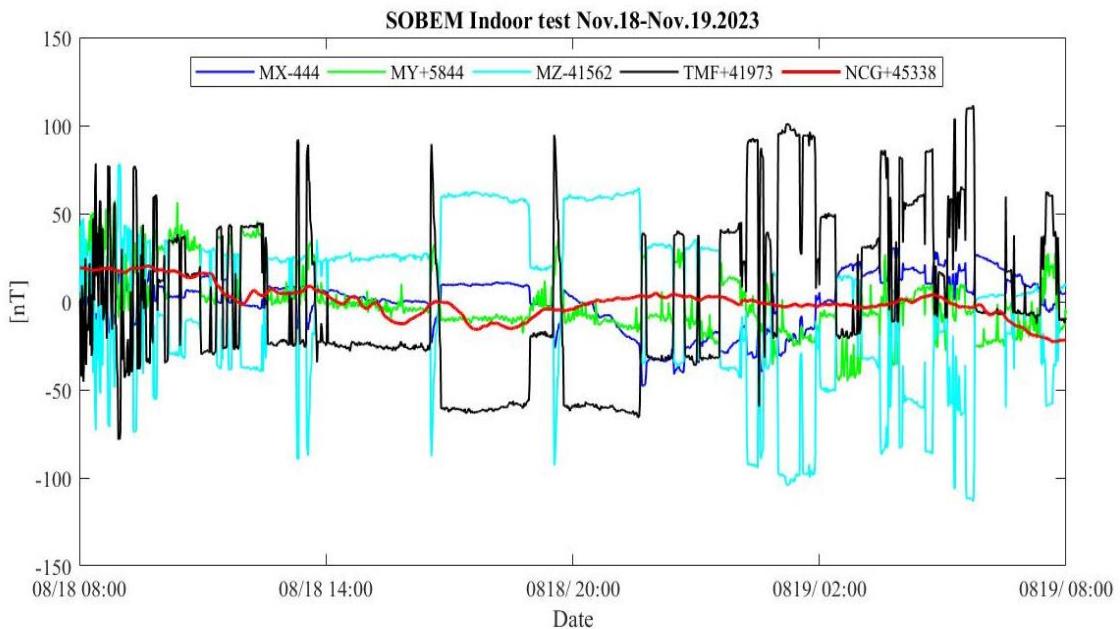


圖 64 SOBEM 全磁場資料減去 41973 nT 的平均磁場強度和內城磁力站全磁場資料減去 45338 nT 平均磁場強度之對比結果。黑線為 SOBEM 的全磁場數據，紅線為內城測站的全磁場數據，推測因建築物內充斥鋼筋及其他磁性物質，造成 SOBEM 資料與磁力站資料有如此大的差異。

4.6.2 港池測試結果

依原訂佈放地點，於基隆海洋大學的動力小艇練習場進行港池測試，港池水深漲潮時可達 2.5 米，退潮時可低至 1 米。原先計畫使用動力小艇進行佈放，因船隻租借問題及協調困難，最終決定使用獨木舟配合潛水人員進行 SOBEM 佈放作業。

在實驗室先將儀器與錨碇之間的繩索解開，並拆卸電極伸展臂（圖 65），運送至港池邊後，再將電極伸展臂裝上（圖 66）。佈放前兩名潛水人員在佈放測試地點（圖 67、圖 68）待命，將 AIS 網位儀開機，把非極化電極的透水蓋換上以收取電場資料，接著將強力磁鐵靠近儀器水密艙體蓋上 ON 處開機，等待資料紀錄器收取 GPS 訊號，並確認開始記錄後，兩人駕駛獨木舟分別將儀器本體及錨碇分批從港邊運送至港池中央。因獨木舟船體兩側狹窄，若船上人員起身將儀器抬至水中，



恐造成翻覆意外。因此分別將儀器各部分交予水中的潛水人員，由潛水人員潛至水底放置。待儀器各塊體皆放置於測試地點，潛水人員用繩索將儀器與錨碇連接起來，並將繩索拉直以免浮在水中，增加經過船隻絞入風險。

待 SOBEM 於港池中放置一週，收取 7 天的大地電磁資料後，收回 SOBEM。收回時潛水人員先解開各塊體之間繩索，並由船上人員先將 AIS 浮標運送至岸上。接著用繩索將獨木舟與浮水碼頭綁住，划至 SOBEM 佈放地點，潛水人員一手持錨碇，一隻手搭在獨木舟船尾，船上人員再將獨木舟划至浮水碼頭。如此進行 3 趟，將 SOBEM 所有部分運送回岸上。



圖 65 將儀器與錨碇之間的繩索解開，並拆卸電極伸展臂，方便運送 SOBEM。

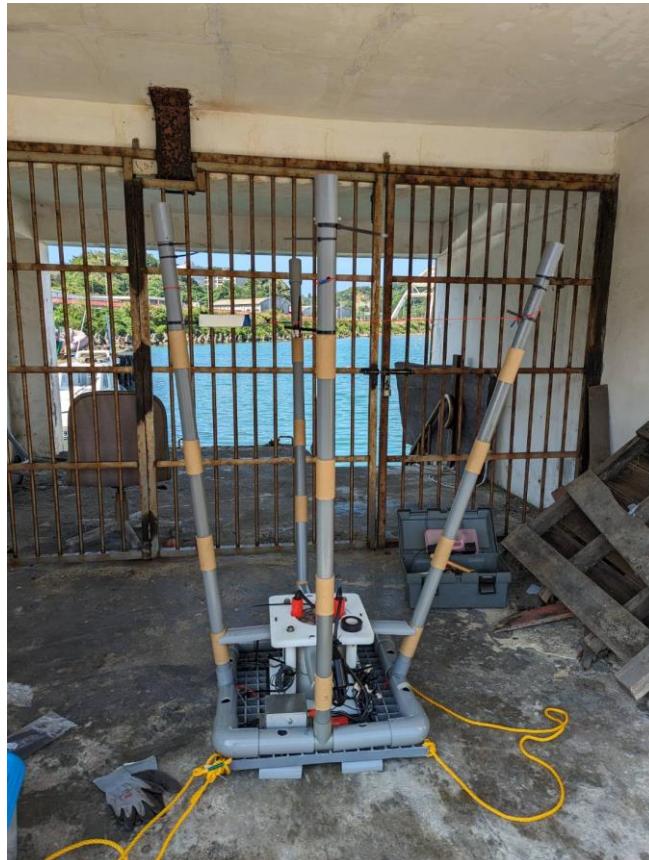


圖 66 運送 SOBEM 至港池邊後，將電極伸展臂裝上。

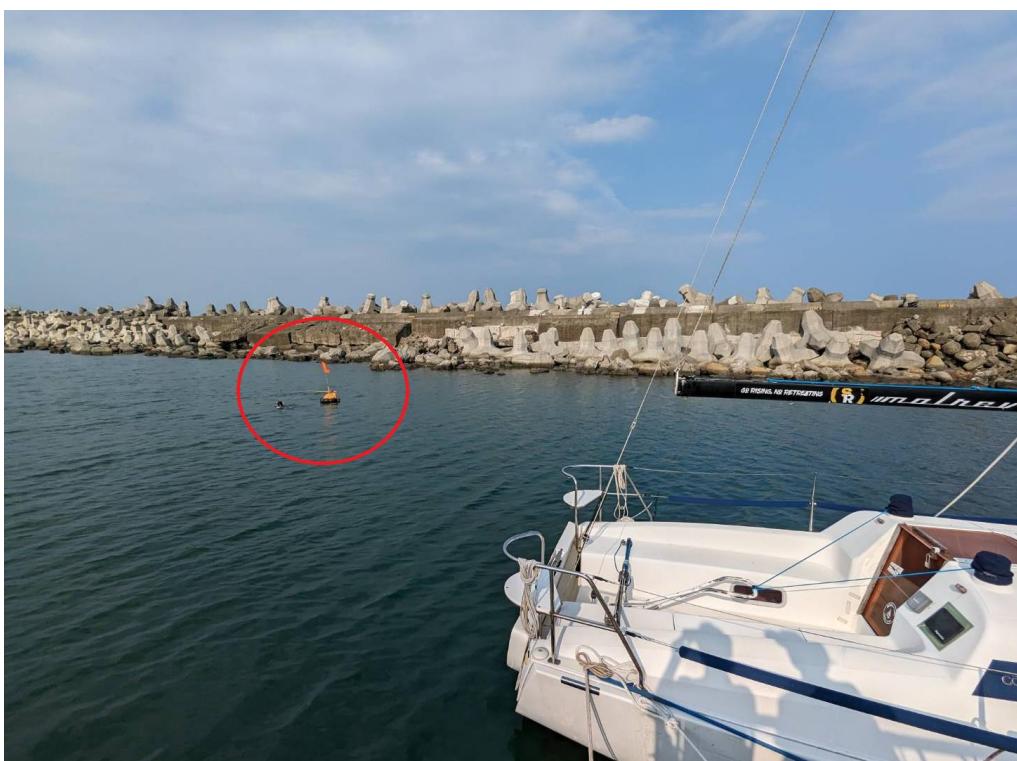


圖 67 由岸邊拍攝港池測試地點，圖中紅色圓圈處為 AIS 浮標。



圖 68 由堤防拍攝港池測試地點，圖中紅色圓圈處為 AIS 浮標。

第五章 SOBEM 佈放收回方法

儀器在出海佈放時，佈放人員必須遵循的標準流程。佈放和收回的標準作業程序可確保所有人都在同一標準下作業，按照文件上的步驟依序執行可避免遺漏重要事項，從而提高工作的效率和一致性。另外，對於通過定期審查和更新佈放和收回的標準作業程序，可以不斷改進工作流程，以應對不同佈放收回需求的變化。佈放與收回 SOP 文件詳見附錄 G、附錄 H。

5.1 佈放與收回方法

使用動力小船裝載儀器設備，航行至預定佈放地點。利用船上的起重設備，將儀器吊掛至海面，開始佈放程序。首先，將儀器本體平穩地放入水中，脫勾後等待儀器沉底。當儀器穩定沉底後，船向前行駛約三公尺，投放第一塊錨碇。等待第一塊錨碇完全沉底後，再行駛三公尺，投放第二塊錨碇。最終，將 AIS 浮標輕放在海面上，最後將 AIS 浮標放置於海面上，完成佈放程序。

儀器在水中靜置約 7 天，接收並紀錄大地電磁資料。實驗結束後，進行儀器收回程序。收回時先將船駛近 AIS 浮標，將 AIS 浮標收至船上後，接著利用起重設備掉掛起第二塊錨碇；再將船開至第一塊錨碇放置地點，掛起第一塊錨碇；最後駛近儀器本體布放處，收回儀器本體，完成儀器收回程序，這樣的流程確保了儀器的安全佈放和收回。

5.2 佈放作業程序設計

1. 將電極延伸臂裝上 SOBEM。
2. 使用十字起子旋開電極延伸臂末端塑膠螺絲，將電極蓋換成透水蓋後鎖回螺絲。
3. 將 AIS 網位儀開機。
4. 使用接收器或上網確認 AIS 已開啟。
5. 用磁鐵在 ON 處輕觸一下，使資料紀錄器開機。
6. 確認開機燈號及收到 GPS 訊號。
7. 紀錄開機日期、時間與經緯度。

8. 將儀器本體移至船舷，盡可能靠近水面後放入水中。
9. 將船往前開 3 公尺後釋放第一塊錨碇。
10. 待第一塊錨碇沉底後，再將船往前開 3 公尺，釋放第二塊錨碇。
11. 待第二塊錨碇沉底後，把浮標放置於海面上，完成佈放作業。



5.3 收回作業程序設計

1. 收回浮標，並將 AIS 網位儀關機。
2. 順著繩子拉起第二塊錨碇。
3. 將船往前開拉起第一塊錨碇。
4. 再將船往前行駛小心拉起儀器本體。
5. 使用磁鐵在 OFF 處輕觸一下，將資料紀錄器關機。
6. 紀錄關機日期、時間。
7. 使用十字起子旋開電極延伸臂末端塑膠螺絲，將透水蓋換回電極保護蓋。
8. 用淡水沖洗儀器並放置於陰涼處。

第六章 SOBEM 資料處理方法及初步成果



6.1 資料處理方法

將儀器佈放於野外後，經過資料處理和驗證是確保儀器可用性的關鍵步驟，檢查資料是否有缺失、異常或過高雜訊，以及是否符合預期的範圍，確認從儀器收集到的原始資料的品質，這可以透過對比參考資料進行資料驗證，有助於保證從儀器收集到的資料是可靠和準確的。我們對本次水下測試所收集的數據進行初步處理，畫出時間序列曲線作為儀器測量精準度的判斷基準。資料記錄器記錄到的 7 軸數值皆為電壓，經過還原各波道的放大倍率得到的數值，才是感測器的原始電壓讀數，再透過說明書上所標示的電壓與物理量換算，得到所觀測的地球物理資料數值。

資料記錄器的採樣率為每秒 100 點，因雜訊較高，可能使得真實訊號被淹沒在雜訊中，從資料中提取有意義的信息變得更加困難，也使訊噪比下降，真實訊號相對於雜訊的幅度變得更小，低訊噪比會降低對真實信號的可靠度和可見性，讓資料難以解釋。我們進行了時序平均，將採樣率降為每 60 秒 1 點，這種方法可以幫助平滑資料，減少瞬態雜訊的影響，有助於提高訊噪比。以下分別對磁場、傾斜角度及電場的資料處理進行說明。

1. 磁場

磁力感測器記錄到的磁場資料有三軸，分別為 MX、MY、MZ，可以利用公式 5.1 計算此三軸分量求得全磁場(TMF)，計算方式如式 6.1:

$$TMF = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2} \quad 6.1$$

接著比較 SOBEM 的 TMF 與中央氣象局地球物理資料庫管理系統 (<https://gdms.cwa.gov.tw/map.php>) 地磁資料之間的差異。野外佈放地點位於基隆，因此我們選擇了距離較近的宜蘭縣員山鄉內城測站(NCG)做為參考測站。內城測站距離 SOBEM 所佈放的基隆海洋大學動力小艇練習場距離約有 50 公里，依據全球地磁強度分布圖，經緯度的不同會造成觀測到的磁場數值有所差異，因此我們將原始資料扣掉各自的平均值，再比對日變化。



2. 傾斜角度

傾斜計記錄到的資料有 TX 及 TY 兩軸，SOBEM 在水中時會受到水流、風浪和其他環境因素的影響，儀器可能會發生傾斜，藉由記錄到的角度變化可得知儀器在水下的傾斜角度是否有變動。通過比對傾斜計和磁力感測器及電極的資料，找出傾斜角度分別對磁場和電場造成的影响。

3. 電場

非極化電極記錄到的電場資料有兩軸，分別為 EX 和 EY。

6.2 野外資料處理初步成果

SOBEM 所記錄到之全磁場值與內城磁力觀測站於 2023/11/07 至 2023/11/14 所收到之全磁場值比較圖，如圖 69 (a) 所示，減去 45765 nT 的平均磁場強度和內城 (NCG) 磁力站全磁場資料，減去 45330 nT 平均磁場強度之對比結果。由此圖可看出，兩筆資料之平均磁場強度相差 435 nT，SOBEM 記錄到的磁場資料除了第一天的日變化與內城磁力站全磁場資料差異較大外，第二天至第七天的日變化與測站資料大致吻合。圖 69 (b) 顯示 Tiltmeter 收到的資料，TX 軸傾斜角度在 -2° ~ -3° 間，TY 軸傾斜角度在 -4° ~ -5° 間。圖 69 (c) 顯示 EX 軸因電極波道使用之放大倍率 400 倍過高，出現飽和，EY 軸記錄到的電場在 3 mV ~ 3.5 mV 之間。

圖 70 為 2023/11/13 00:00 ~ 2023/11/14 00:00 的資料，直到 2023/11/13 15:00，MX 和 MZ 軸變化都與 SOBEM 全磁場資料一致，但 2023/11/13 15:00 後卻與 SOBEM 全磁場資料出現悖離，可以看到 TX 和 TY 軸發生角度變化時，MX 軸及 MZ 軸也跟著產生變化。圖 71 為 2023/11/13 15:00 ~ 18:00 記錄到的結果。11/13 16:00 記錄到的 MX 軸磁場是 32.07 nT，TX 軸傾斜角度 0.042°；11/13 18:00 記錄到的 MX 軸磁場是 85.62nT，TX 軸傾斜角度 0.2578°。11/13 16:00 記錄到的 MZ 軸磁場是 62.99 nT，TY 軸傾斜角度 0.174°；11/13 18:00 記錄到的 MZ 軸磁場是 37.02 nT，TY 軸傾斜角度 0.0637°。經過換算，TX 軸每傾斜 0.1° 會出現 24.81 nT 的磁場變化，TY 軸每傾斜 0.1° 會出現 23.54 nT 的磁場變化。隨著角度改變，EY 軸並無出現明顯變化。

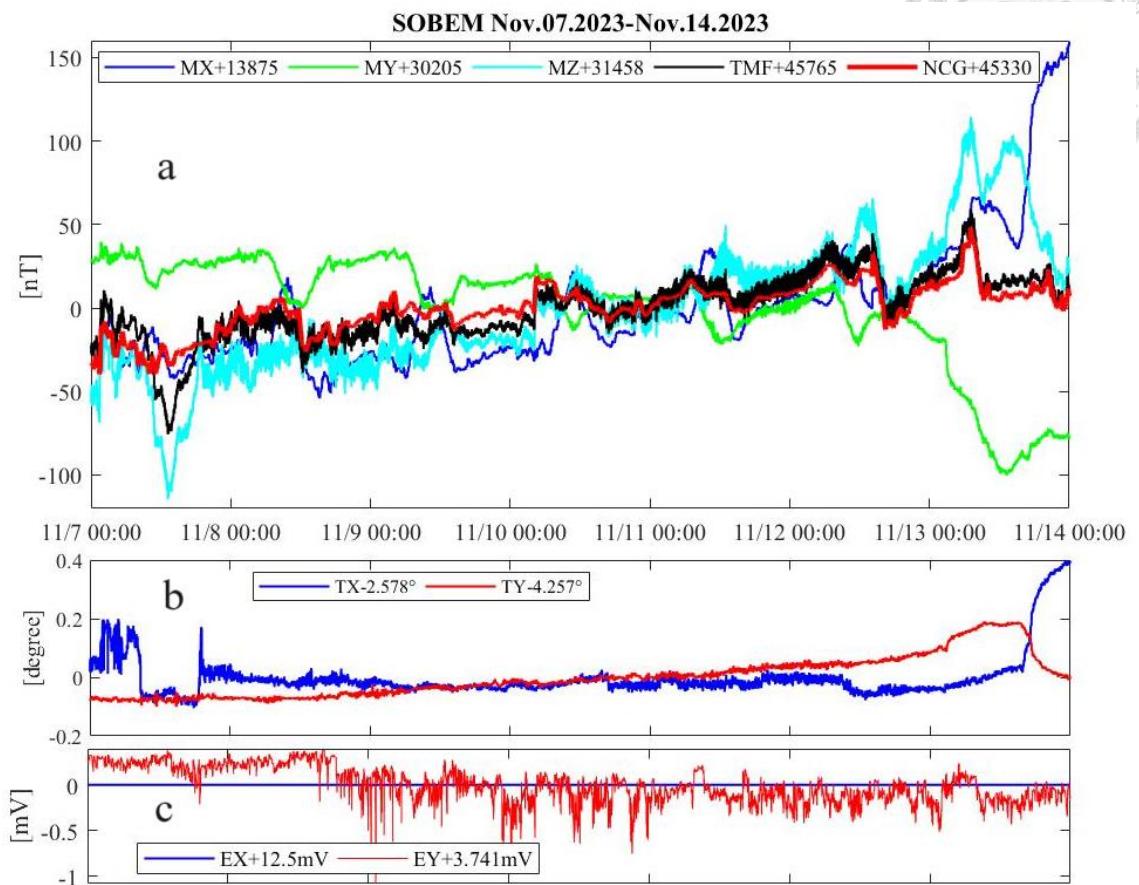
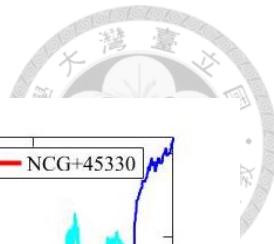


圖 69 SOBEM 記錄到 7 天的時間序列圖。紅色線條為氣象局宜蘭內城測站資料，與 SOBEM 收到的磁場資料(黑色線)大致吻合。TX 軸在 $-2^\circ \sim -3^\circ$ 間，TY 軸在 $-4^\circ \sim -5^\circ$ 間。EX 軸因放大倍率過高，出現飽和的情形，EY 軸記錄到的電場在 3 mV ~ 3.5 mV 之間。

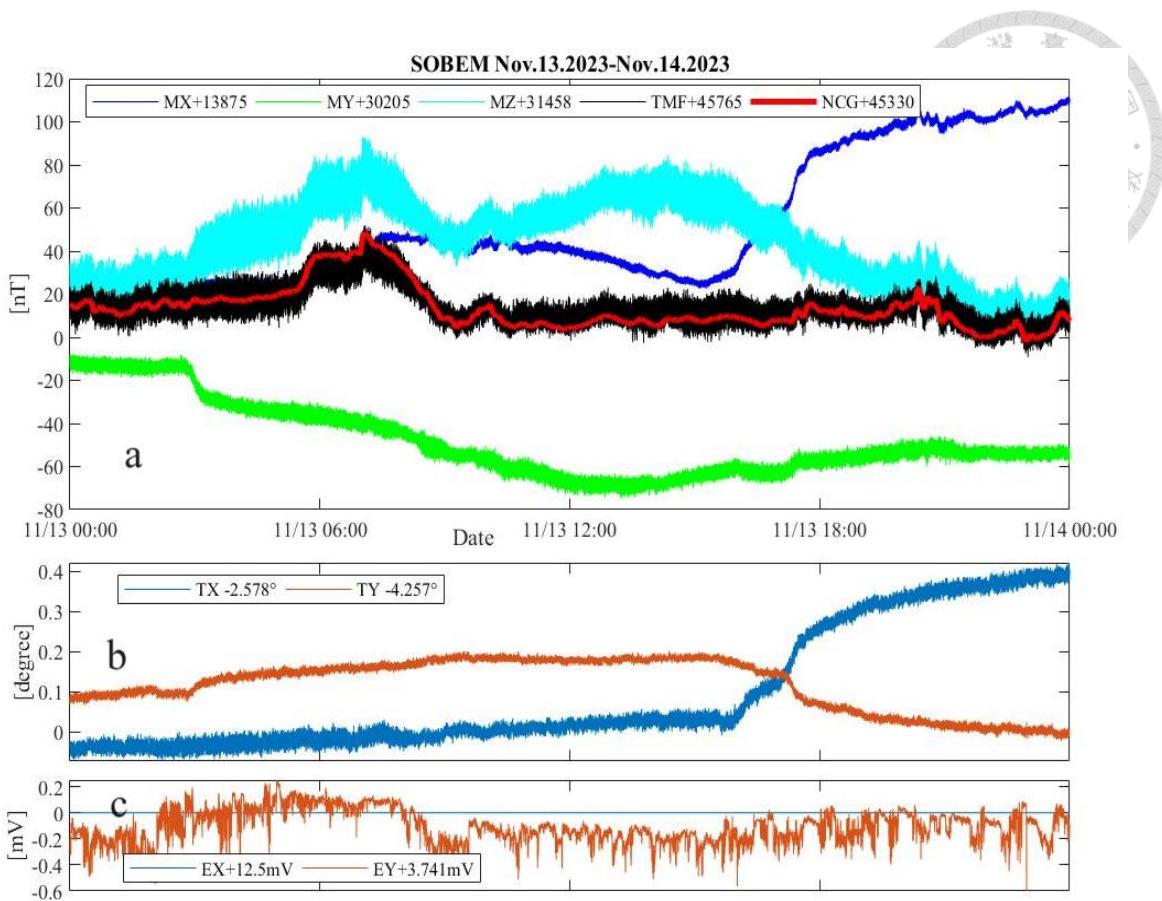


圖 70 SOBEM 2023/11/13 00:00 ~ 2023/11/14 00:00 的資料。直到 2023/11/13 15:00，MX 和 MZ 軸變化都與 SOBEM 全磁場資料一致，但 2023/11/13 15:00 後卻與 SOBEM 全磁場資料出現悖離，可以看到 TX 和 TY 軸發生角度變化時，MX 軸及 MZ 軸也跟著產生變化。

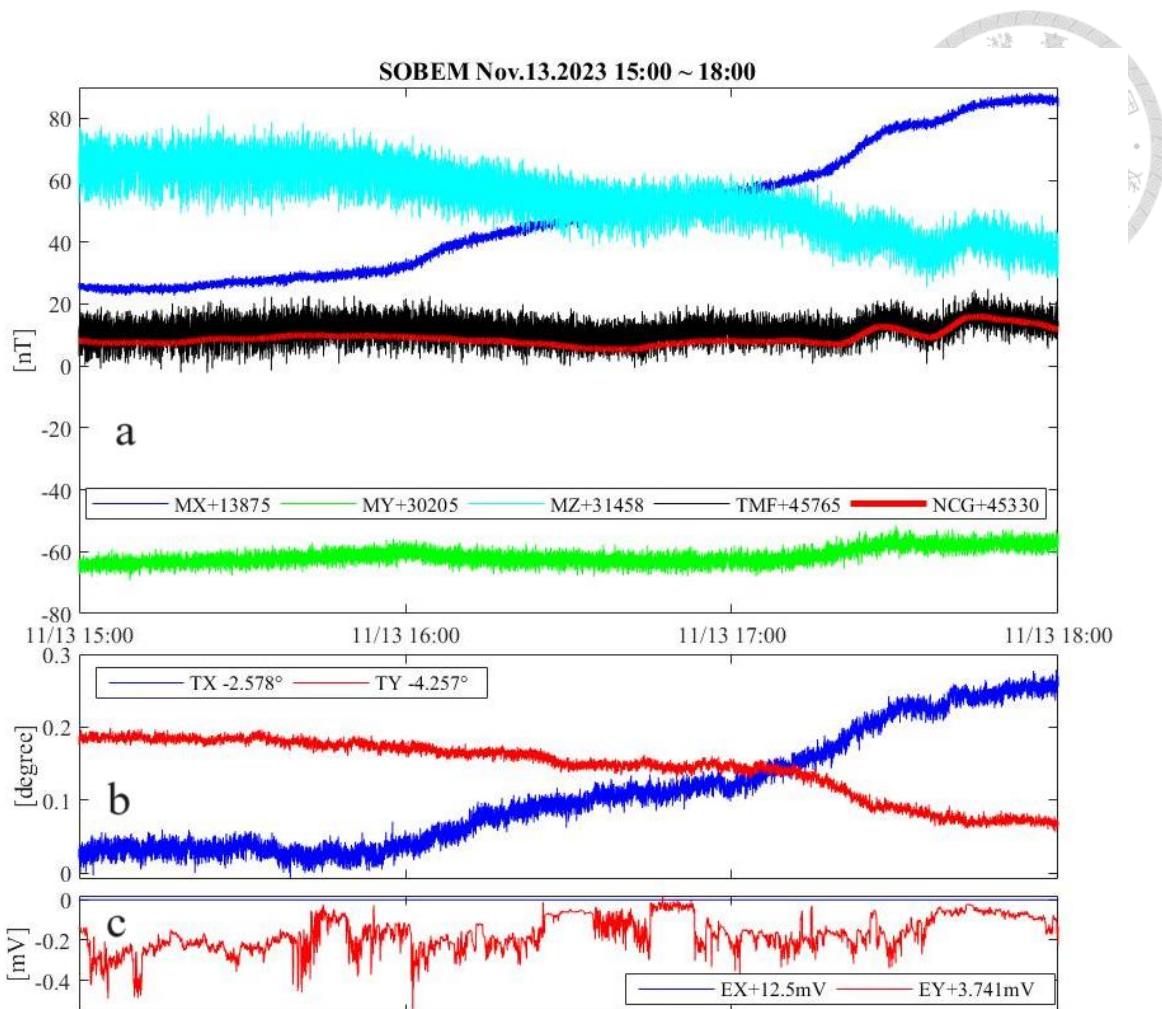


圖 71 SOBEM 2023/11/13 15:00~18:00 記錄到的結果。11/13 16:00 記錄到的 MX 軸磁場是 32.07 nT，TX 軸傾斜角度 0.042°；11/13 18:00 記錄到的 MX 軸磁場是 85.62nT，TX 軸傾斜角度 0.2578°。11/13 16:00 記錄到的 MZ 軸磁場是 62.99 nT，TY 軸傾斜角度 0.174°；11/13 18:00 記錄到的 MZ 軸磁場是 37.02 nT，TY 軸傾斜角度 0.0637°。經過換算，TX 軸每傾斜 0.1°會出現 24.81 nT 的磁場變化，TY 軸每傾斜 0.1°會出現 23.54 nT 的磁場變化。隨著角度改變，EY 軸並無出現明顯變化。

第七章 討論與結論



7.1 儀器水密艙體問題

在設計艙體時要先考慮到所有裝置電池的容量，設計步驟的順序很重要，應先完成整體儀器的電力消耗測試，以預期佈放天數推估所需電池數量後，考慮所有空間配置再決定艙體大小。原先計畫使用 18650 電池作為電力來源，如此可以重複充電使用，相較於一次性的鋰電池成本較低。由於依據 OBEM 的消耗功率為參考去設計艙體空間，但 SOBEM 所選用的資料紀錄器耗電較高，導致能放入的電池不足以支持預期佈放天數，故改用比較昂貴的 TADIRAN TL-5930 3.6 V 19Ah 一次性鋰電池，才足以放入原先設計的水密艙體之中，進行為期 7 天的佈放。

7.2 資料紀錄器耗電問題

目前的資料紀錄器採樣率為 100sps，若將採樣率降低為 1sps 甚至更低，可使消耗功率降低，延長佈放天數，但仍需視乎應用的層面。大地電磁場的變化可以發生在不同的時間尺度上，因此採樣率的選擇應該根據所關心的現象而定，例如地磁通常可以使用較低的採樣率，例如每分鐘或每小時 1 個採樣點以上；地電場的變化需要更高的採樣率，例如每秒 1 個採樣點以上，因其變化可能與天氣、地下水位或其他瞬態事件相關。若要進行頻譜分析，那麼根據奈奎斯特定理，採樣率應該至少是所感興趣頻率的兩倍，才能滿足頻率範圍。由上述可知道量測電磁場僅需要 1sps，未來將降低資料紀錄器的採樣率再進行測試，看是否能達到更好的電池使用效率。

7.3 電場飽和

量測到 EX 軸的電場資料出現飽和，說明信號調整器使用的 400 倍放大倍率過高。之所以使用 400 倍放大倍率，是因為 OBEM 收到的深海資料放大 400 倍是可以的。但顯然淺海的跟陸上資料差不多，陸地的存在會引入來自城市、人造結構和其他人類活動的電磁干擾；深海的水體深度較深，而水的導電性相對較低，

因此在深水中，電場的強度可能會降低。地質差異也讓陸地的地質通常具有相對較高的導電性，高導電性的地層有助於電場的傳播，因此陸地電場相對較大，相比之下，海底的沉積物如泥沙、淤泥通常導電性較低。綜合上述原因，未來 SOBEM 會將放大倍率調低為 200 倍作為解決方案，使收到的資料可以使用。



7.4 佈放問題

這次的港池測試使用獨木舟配合潛水人員佈放 SOBEM，與標準作業程序不符，會影響港池測試的可靠性和一致性。標準作業程序用以確保測試的正確執行，未經過實際測試的標準作業程序將無法驗證實際操作時遇到的困難。在標準作業程序中，應使用動力小艇或是小型漁船進行佈放，由潛水人員將儀器放置海床的方式與使用動力小艇佈放有極大差異，無法驗證儀器是否能平穩沉降於海床上，以及在各塊體間之繩索浮於水中的問題該如何解決。另外在收回儀器時若動力小艇上沒有起重機與吊臂，需要配置多少人力回收 SOBEM 無從得知。未來將再次進行港池測試或野外測試，來確認標準作業程序的可行性。

7.5 與日本製 SOBEM 比較

與日本製的 SOBEM (Ueda et al., 2014) (如圖 72)相比，本研究(圖 73)在設計上有一些顯著的差異，主要體現在以下方面：

1. **AIS 浮標的添加：** 本研究相較於日本製的 SOBEM 加裝了 AIS 浮標，提供了更準確的儀器定位與海上監測能力。
2. **無安裝水流計：** 相對於日本的 SOBEM，本研究在儀器設計中沒有安裝水流計，在資料收集過程中缺乏水流速度的相關資料。
3. **錨碇的選擇：** 日本的 SOBEM 使用了能夠嵌入海床的鐵錨，而本研究的 SOBEM 則在錨碇的選用上有不同的考量，使用 FRP 格柵板搭配易於組合以調整重量的潛水俠用鉛塊。
4. **電極臂展距：** 本研究中電極臂的展距約為 3.5 公尺，相較於日本製 SOBEM 的 5 公尺展距來說縮短許多，在佈放上更為容易，但在電場測量的靈敏度和解析度上仍有待討論。



5. 儀器載台的形狀：本研究中儀器載台採用了正方形，而日本的 SOBEM 則採用了三角形的設計。
6. 艙體材質：本研究使用了無磁性的鋁合金作為艙體材質，而日本的 SOBEM 使用不鏽鋼，在重量上我們開發的 SOBEM 更為輕巧。
7. 磁力感測器的配置：本研究使用防水的磁力感測器 (Fluxgate)，而日本的 SOBEM 則將感應線圈安置於無磁性的艙體內。
8. 塑膠電極絞練的設置：本研究中設置了塑膠電極絞練，用來控制電極伸展臂的收合與展開。日本的 SOBEM 則沒有折疊機構。在佈放和收回上本研究更為便利。

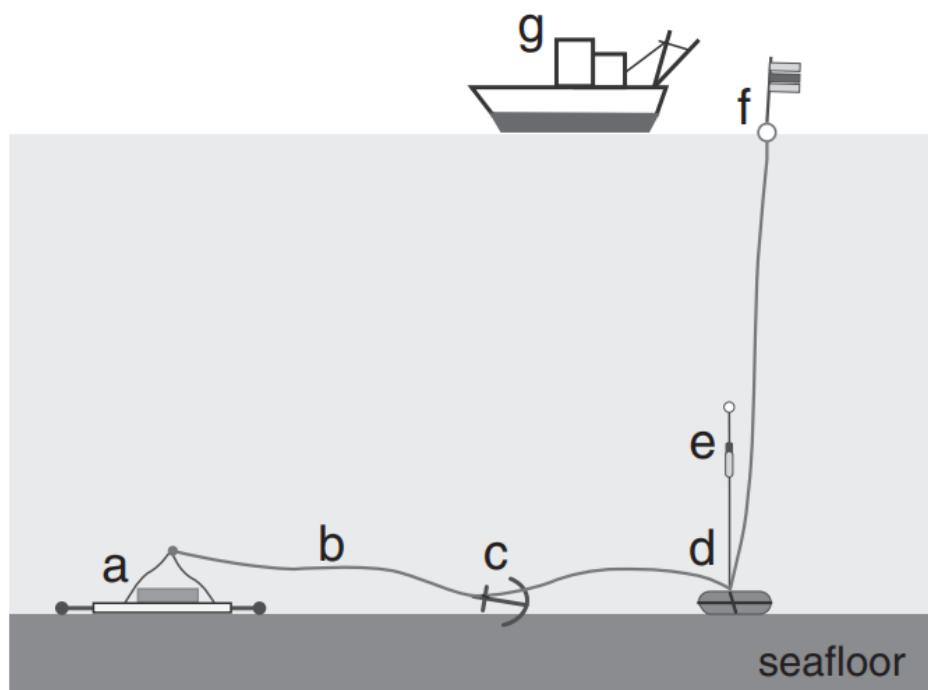


圖 72 日本開發的 SOBEM 示意圖(摘自 Ueda et al,2014)。



圖 73 本研究開發的 SOBEM。



7.6 結論

我們開發了一種新型態的 OBEM，可應用於淺海區域，稱為 SOBEM。儘管過去數十年來 OBEM 在深海探勘研究已經蓬勃發展，但水深小於 300 公尺的淺海區只有少量 MT 測量相關研究。與深海探勘相比，淺水及沿海地區進行地球物理探勘相對複雜，MT 方法需要測量的電磁訊號頻段容易受到海浪運動雜訊和人為設施的干擾。此外，具有足夠載重的研究船因吃水深度緣故在淺海地區難以行駛，頻繁的漁業活動也不利於研究進行，綜合上述原因，我們於前人的研究基礎之上，以深海型 OBEM 為參考，開發出一種可以用小型船隻佈放的新型態 OBEM，可應用於淺海區域。

目前的 SOBEM 為國內第一版的原型測試機，也僅經過一次的港池測試，未經歷過開放海域下的佈放作業，仍需要更多的海域佈放實測才能更完善 SOBEM 的功能。但是經過前幾章所述多項的測試後，可以得出以下幾點：

1. 經由本研究所採取的各項室內測試，可以有效的檢測儀器外部的各種感測器到內部的資料記錄器是否正常，而 SOBEM 在本研究經過測試後，確認儀器各項功能正常。
2. SOBEM 經過水下測試後，能夠確定各個感測器在淺海作業時可以良好運作，資料紀錄器也可以準確地將資料記錄下來，正常的進行海底大地電磁測量。然而儀器的佈放與收回並未遵循原先設計的作業程序，未來仍需按照標準的作業流程實際佈放 SOBEM，確保沒有任何環節出現問題。
3. 在經過與日本的 SOBEM 進行比較之後，本研究所設計出的 SOBEM 和日本在儀器架構設計上有相似之處，但使用的材料差異甚鉅；功能相比於日本各有所長，在收回作業的便利性上更勝一籌，而且由於 SOBEM 是國內自行研發設計，因此能夠更有效的控制成本。



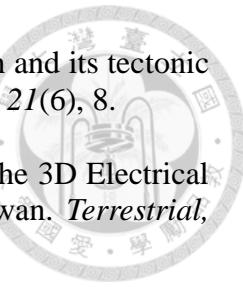
7.7 未來展望

本研究雖然已經研發出了第一版的 SOBEM 原型機，但是仍舊停留在測試改進的階段，實際尚未開始應用在地下構造和能源探勘的領域，目前利用 OBEM 進行研究的學者們也非常的多。將來 SOBEM 完成測試後，相信能將 MT 技術由深海區域延伸至較少有學者研究的淺海區域。我們期望運用此儀器進行淺海區域的大地電磁高密度探測，解析臺灣淺海及附近區域地下構造，並進行地下能源與水資源的探勘。除了在海床淺部尋找天然氣水合物以延緩全球能源日益短缺的問題外，在近海區域的海床下尋找潛在地下水資源，也可以解決臺灣西南部地層下陷帶來的嚴重影響。在傳統的構造研究以及能源探勘之外，也能將 SOBEM 用於近岸斷層監測，因臺灣位處歐亞板塊和菲律賓海板塊交界帶，地震活動頻繁，對於國家及人民安全帶來許多保障。

參考文獻



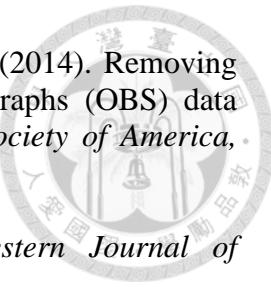
- Andréis, D., MacGregor, L. (2008). Controlled-source electromagnetic sounding in shallow water: principles and applications. *Geophysics* 73, F21–F32.
- Baba, K., Chave, A. D., Evans, R. L., Hirth, G., & Mackie, R. L. (2006). Mantle dynamics beneath the East Pacific Rise at 17°S: Insights from the Mantle Electromagnetic and Tomography (MELT) experiment. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B2).
- Bertrand, E. A., Unsworth, M. J., Chiang, C. W., Chen, C. S., Chen, C. C., Wu, F. T., Türkoglu, E., Hsu, H. L., & Hill, G. J. (2012). Magnetotelluric imaging beneath the Taiwan orogen: An arc-continent collision. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B1).
- Bertrand, E., Unsworth, M., Chiang, C. W., Chen, C. S., Chen, C. C., Wu, F., Türkoglu, E., Hsu, H. L., & Hill, G. (2009). Magnetotelluric evidence for thick-skinned tectonics in central Taiwan. *Geology*, 37(8), 711-714.
- Chang, P. Y., Lo, W., Song, S. R., Ho, K. R., Wu, C. S., Chen, C. S., Lai, Y. C., Chen, H. F., & Lu, H. Y. (2014). Evaluating the Chingshui geothermal reservoir in northeast Taiwan with a 3D integrated geophysical visualization model. *Geothermics*, 50, 91-100.
- Chave, A. D., Filloux, J. H., & Luther, D. S. (1989). Electromagnetic induction by ocean currents: BEMPEX. *Physics of the earth and planetary interiors*, 53(3-4), 350-359.
- Chave, A.D., Constable, S.C., Edwards, R.N. (1991). Electrical exploration methods for the seafloor. In: Nabighian, M.N. (Ed.), Electromagnetic methods in applied geophysics. Applications part B, 2. *Society of Exploration Geophysicists, Tulsa*, pp. 931–966.
- Chen, C. C., Chen, C. S., & Shieh, C. F. (2002). Crustal electrical conductors, crustal fluids and 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake. *Terrestrial Atmospheric And Oceanic Sciences*, 13(3), 367-374.
- Chen, C. C., Chi, S. C., Chen, C. S., & Yang, C. H. (2007). Electrical structures of the source area of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake: Spatial correlation between crustal conductors and aftershocks. *Tectonophysics*, 443(3-4), 280-288.
- Chen, K., Deng, M., Wu, Z., Luo, X., & Zhou, L. (2020). A compact ocean bottom electromagnetic receiver and seismometer. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 9(1), 213-222.
- Chiang, C. W., Chen, C. C., Unsworth, M., Bertrand, E., Chow-Son, C., Kieu, T. D., &



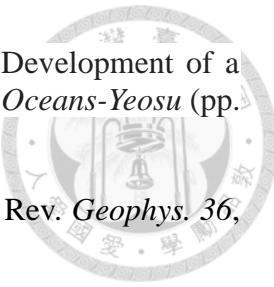
- Hsu, H. L. (2010). The deep electrical structure of southern Taiwan and its tectonic implications. *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 21(6), 8.
- Chiang, C. W., Hsu, H. L., & Chen, C. C. (2015). An Investigation of the 3D Electrical Resistivity Structure in the Chingshui Geothermal Area, NE Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 26(3).
- Chiang, C. W., Unsworth, M. J., Chow-Son, C., Chen, C. C., Lin, A. T. S., & Hsu, H. L. (2008). Fault zone resistivity structure and monitoring at the Taiwan Chelungpu Drilling Project (TCDP). *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19(5), 4.
- Constable, S.C., Orange, A.S., Hoversten, G.M., Morrison, H.F., (1998). Marine magnetotellurics for petroleum exploration Part 1: a sea-floor equipment system. *Geophysics* 63, 826–840.
- Constable, S. (2006). Marine electromagnetic methods—A new tool for offshore exploration. *The Leading Edge*, 25(4), 438-444.
- Constable, S. (2010). Ten years of marine CSEM for hydrocarbon exploration. *Geophysics*, 75(5), 75A67-75A81.
- Constable, S.C., Srnka, L.J., (2007). An introduction to marine controlled-source electromagnetic methods for hydrocarbon exploration. *Geophysics* 72, WA3–WA12. Constable, S.C., Orange, A.S., Hoversten, G.M., Morrison, H.F., 1998. Marine magnetotellurics for petroleum exploration Part 1: a sea-floor equipment system. *Geophysics* 63, 826–840.
- Cox, C. (1970). Electromagnetic studies of ocean currents and electrical conductivity below the ocean floor. *The sea*, 4, 637-693.
- Edwards, R.N. (1997). On the resource evaluation of marine gas hydrate deposits using sea-floor transient electric dipole–dipole methods. *Geophysics* 62, 63–74.
- Ellis, M., Evans, R. L., Hutchinson, D., Hart, P., Gardner, J., & Hagen, R. (2008). Electromagnetic surveying of seafloor mounds in the northern Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 25(9), 960-968.
- Evans, R. L., Hirth, G., Baba, K., Forsyth, D., Chave, A., & Mackie, R. (2005). Geophysical evidence from the MELT area for compositional controls on oceanic plates. *Nature*, 437(7056), 249-252.
- Evans, R.L. (2007). Using CSEM techniques to map the shallow section of seafloor: from the coastline to the edges of the continental slope. *Geophysics* 72, 105–116.
- Filloux, J. H. (1967). *OCEANIC ELECTRIC CURRENTS, GEOMAGNETIC VARIATIONS AND THE DEEP ELECTRICAL CONDUCTIVITY STRUCTURE OF THE OCEAN-CONTINENT TRANSITION OF CENTRAL CALIFORNIA*. University of California, San Diego.



- Hall, S. (1972). Lead pollution and poisoning. *Environmental Science & Technology*, 6(1), 30-35.
- Hamano, Y. (1984). Seafloor measurement of natural electric field by use of newly developed instrument. In *Proceedings of conductivity anomaly research symposium, 1984* (pp. 259-265).
- Hoversten, G.M., Morrison, H.F., Constable, S.C., (1998). Marine magnetotellurics for petroleum exploration part 2: numerical analysis of subsalt resolution. *Geophysics* 63, 826–840.
- Hoversten, G.M., Constable, S.C., Morrison, H.F. (2000). Marine magnetotellurics for base of-salt mapping: Gulf of Mexico field test at the Gemini structure. *Geophysics* 65, 1476–1488.
- Hsu, S. K., Chiang, C. W., Evans, R. L., Chen, C. S., Chiu, S. D., Ma, Y. F., et al. (2014). Marine controlled source electromagnetic method used for the gas hydrate investigation in the offshore area of SW Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 92, 224-232.
- Ichihara, H., Hamano, Y., Baba, K., & Kasaya, T. (2013). Tsunami source of the 2011 Tohoku earthquake detected by an ocean-bottom magnetometer. *Earth and Planetary Science Letters*, 382, 117-124.
- Kasaya, T., & Goto, T. N. (2009). A small ocean bottom electromagnetometer and ocean bottom electrometer system with an arm-folding mechanism (Technical Report). *Exploration Geophysics*, 40(1), 41-48.
- Kaya, T., Kasaya, T., Tank, S.B., Ogawa, Y., Tuncer, M.K., Oshiman, N., Matsushima, M. (2013). Electrical characterization of the North Anatolian Fault Zone underneath the Marmara Sea, Turkey by ocean bottom magnetotellurics. *Geophys. J. Int.* 193, 664–677.
- Key, K. (2012). Marine electromagnetic studies of seafloor resources and tectonics. *Surv. Geophys.* 33, 135–167 ([ishttp://link.springer.com/article/10.1007/s10712-011-9139-x](http://link.springer.com/article/10.1007/s10712-011-9139-x)).
- Key, K., Constable, S., Liu, L., Pommier, A. (2013). Electrical image of passive mantle upwelling beneath the northern East Pacific Rise. *Nature* 495, 499–502.
- Kuo, B. Y., Crawford, W. C., Webb, S. C., Lin, C. R., Yu, T. C., & Chen, L. (2015). Faulting and hydration of the upper crust of the SW Okinawa Trough during continental rifting: Evidence from seafloor compliance inversion. *Geophysical Research Letters*, 42(12), 4809-4815.
- Kuo, B. Y., Wang, C. C., Lin, S. C., Lin, C. R., Chen, P. C., Jang, J. P., & Chang, H. K. (2012). Shear-wave splitting at the edge of the Ryukyu subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 355, 262-270.



- Kuo, B. Y., Webb, S. C., Lin, C. R., Liang, W. T., & Hsiao, N. C. (2014). Removing infragravity-wave-induced noise from Ocean-Bottom Seismographs (OBS) data deployed offshore of Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(4), 1674-1684.
- Landrigan, P. J., & Todd, A. C. (1994). Lead poisoning. *Western Journal of Medicine*, 161(2), 153.
- Lee, S. H., Saito, Y., Sakai, T., & Utsunomiya, H. (2002). Microstructures and mechanical properties of 6061 aluminum alloy processed by accumulative roll-bonding. *Materials Science and Engineering: A*, 325(1-2), 228-235.
- Lin, C.R., Chiang, C.W., Huang, K.Y., Hsiao, Y.H., Chen, P.C., Chang, H.K., Jang, J.P., Chang, K.H., Lin, F.S., Lin, S.W., and Kuo, B.Y. (2019). Evaluations of an ocean bottom electro-magnetometer and preliminary results offshore NE Taiwan. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 8(2), 265-276.
- Mehrpour, O., Karrari, P., & Abdollahi, M. (2012). Chronic lead poisoning in Iran; a silent disease. *DARU Journal of pharmaceutical Sciences*, 20, 1-2.
- Mittet, R., Morten, J.P., 2013. The marine controlled-source electromagnetic method in shallow water. *Geophysics* 78, E67–E77.
- Negahdari, S., Sabaghan, M., Pirhadi, M., Alikord, M., Sadighara, P., Darvishi, M., & Nazer, M. (2021). Potential harmful effects of heavy metals as a toxic and carcinogenic agent in marine food-an overview. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 52(3), 379-385.
- Post, V. E., Groen, J., Kooi, H., Person, M., Ge, S., & Edmunds, W. M. (2013). Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. *Nature*, 504(7478), 71-78.
- Segawa, J., Yukutake, T., Hamano, Y., Kasuga, T., & Utada, H. (1982). Sea floor measurement of geomagnetic field using newly developed ocean bottom magnetometers. *Journal of geomagnetism and geoelectricity*, 34(10), 571-585.
- Shimizu, H., & Utada, H. (2015). Motional magnetotellurics by long oceanic waves. *Geophysical Journal International*, 201(1), 390-405.
- Tyler, R. H., Maus, S., & Luhr, H. (2003). Satellite observations of magnetic fields due to ocean tidal flow. *Science*, 299(5604), 239-241.
- Ueda, T., Mitsuhata, Y., Uchida, T., Marui, A., & Ohsawa, K. (2014). A new marine magnetotelluric measurement system in a shallow-water environment for hydrogeological study. *Journal of Applied Geophysics*, 100, 23-31.
- Vozoff, K. (1991). The magnetotelluric method. In: Nabighian, M.N. (Ed.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Applications Part B*, vol. 2. *Society of Exploration Geophysicists, Tulsa*, pp. 641–711.



Wang, C. C., Chen, P. C., Kuo, B. Y., & Lin, C. R. (2012, May). Development of a geophone-based ocean bottom seismometer in Taiwan. In *2012 Oceans-Yeosu* (pp. 1-7). IEEE.

Webb, S.C., 1998. Broadband seismology and noise under the ocean. *Rev. Geophys.* 36, 105–142.

Webb, S.C., Crawford, W.C. (2010). Shallow-water broadband OBS seismology. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100, 1770–1778

Weiss, C.J., 2007. The fallacy of the “shallow-water problem” in marine CSEM exploration. *Geophysics* 72, A93–A97.

Yoshimura, K., Okubo, S., & Yamane, K. (2006). A feasibility study for characterizing subsurface faults and hydrogeological information with marine electromagnetic prospecting. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, 115(3), 400-415.

Yu, J., Zhang, S., Yang, W., Xin, Y., & Gao, H. (2020). Design and application of buoy single point mooring system with electro-optical-mechanical (EOM) cable. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9), 672.

Zhang, L., Baba, K., Liang, P., Shimizu, H., & Utada, H. (2014). The 2011 Tohoku Tsunami observed by an array of ocean bottom electromagnetometers. *Geophysical Research Letters*, 41(14), 4937-4944.

周暉國，(2017)。「運用自行開發之同時序多頻道大地電磁儀於台中大坑地區地下構造之研究」，國立中央大學，碩士論文。

徐煥銘，(2006)，「臺灣東部利稻池上地區深部電性構造」，國立中央大學，碩士論文。

徐漢倫，(2013)，「臺灣天然電磁場觀測研究」，國立中央大學，博士論文。

陳建志，(1998)，「大地電磁法應用於臺灣地區地殼電性構造之研究」，國立中央大學，博士論文。

黃桂奕，(2021)。「海底電磁儀的檢測方法與改善研究」，國立臺灣海洋大學，碩士論文。

葉秀柏，(2010)，「應用大地電磁法研究臺灣地區之電性構造」，國立中央大學，碩士論文。

Nuvoton:

<https://www.nuvoton.com/>

Gainta:

<https://www.ltc.com.tw/Product/Detail?ICODE=CASG113>

SkyNav:

<https://www.skynav.com.tw/article/134>

Bartington Instrument:

<https://www.bartington.com/products/high-performance-magnetometers/mag-13-three-axis/>

TE connectivity:

https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-160017%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_108-160017_B.pdf%7FCAT-TSI0007

Clovertech website:

<http://www.clovertech.co.jp/products-electrode.html>

Tadiran Batteries:

<https://tadiranbat.com/technical-data/product-data-sheets/>





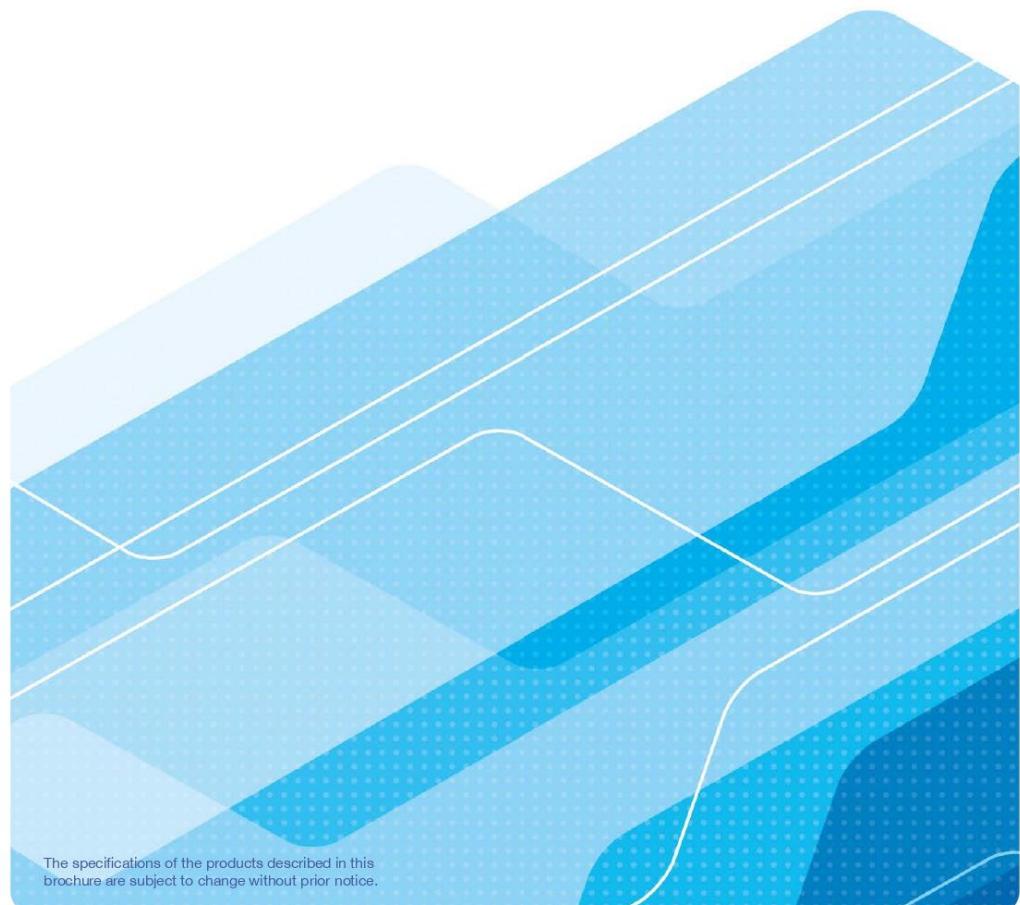
附錄 A 磁力感測器規格書

(摘自 Bartington Instrument:

<https://www.bartington.com/products/high-performance-magnetometers/mag-13-three-axis/>)



bartington.com



The specifications of the products described in this brochure are subject to change without prior notice.

Bartington Instruments Ltd
5, 8, 10, 11 & 12 Thorney Leys Business Park
Witney, Oxford OX28 4GE. England

Telephone: +44 (0)1993 706565
Email: sales@bartington.com



Bartington®
Instruments

Mounting Accessories

A range of mounting accessories are available.

Specification	
Mag-BR	Mounting bracket for use with the Mag-13MC
Mag-T	Tripod
Mag-TA	Tripod adaptor
Mag-LP	Levelling platform for use with the Mag-T, Mag-TA and Mag-MR
Mag-MR	Mounting rack for the installation of Mag-LP and Mag-13 sensors, available in lengths of 1 metre and multiples



Compatibility

The Mag-13 range is compatible with the following data acquisition and power supply units from Bartington Instruments.

- PSU1 Power Supply Unit
- Magmeter-2 Power Supply and Display Unit
- Spectramag-6 Data Acquisition Unit
- SCU1 Signal Conditioning Unit
- Mag-03DAM Data Acquisition Module (adaptor cable required)
- Decaport Analogue Interface Module
- DAS1 Data Acquisition System
- DecaPSU Power Supply Unit

(Outputs for the test coil and temperature sensor are presently only available with the DecaPSU).



Mating Connectors

Mating connectors for the Mag-13MC and Mag-13MS models are supplied free of charge.
Submersible mating connectors are not supplied.

Cables

The standard cable length is 5m; alternative lengths are available on request.

All cables are terminated with a Hirose RM15TPD10S, suitable for connection to Bartington Instruments' range of data acquisition and power supply units.

Mag-13MC, Mag-13MS

Conductors	7/0.2 PVC insulated conductors, overall braided screen and PVC sheath
Type no.	7-2-8C Black to Def Stan 61-12, part 4
Conductor resistance	0.092Ω/m
Capacitance	100pF/m core to core 170pF/m core to screen

Mag-13MCD, Mag-13MSS submersible cable

Conductors	8 conductors, 3x shielded twisted pairs, 2x untwisted, overall screen and polyurethane sheath
Conductor resistance	20.5Ω/km at 20°C
Weight	0.2kg/m (in air) 0.075kg/m (in seawater)
Cable bending radius	95mm (static) 130mm (dynamic)



Mag-13® Three-Axis Magnetic Field Sensors

Environmental	
Operating temperature range	-40 to +70°C
Storage temperature range	-40 to +70°C
Compliance (CE, etc.)	EMC BS EN 61326:2013 & RoHS
Additional environmental qualifications	Mag-13MCD 550bar hydrostatic pressure test
Environmental protection / sealing	
MC	IP67
MS	IP67
MCD	IP68 (5000m)
U	N/A (unpackaged)
U-TPU	N/A (unpackaged)
MSS	IP68 (200m)

Mechanical						
Package options	Cylindrical (MC)	Square (MS)	Square Submersible (MSS)	Cylindrical Deep Submersible (MCD)	Unpackaged (U)	Unpackaged 2-part (U-TPU)
Dimensions	Ø 25.4 x 203mm	32 x 32 x 203mm	30 x 30 x 251mm	Ø 60 x 301mm	Ø 23.2 x 150mm	Probe: Ø23.2 x 43mm Electronics: 19.5 x 129mm Harness length max 5m
Weight	82.5g	222.6g	300g	950g	23.5g	157g (max cable length)
Enclosure material	Acetal & PEEK	Acetal	Acetal	PEEK	n/a	n/a
Connector	Fischer AL-1731-DEU-1031-A010-SR-11-11-G-12		SubConn MCBH10FNM (under-water mateable)	SubConn MCB-H10F (under-water mateable)	Molex 53047-0810	Molex 53047-0810
Mating connector	Fischer AL-2211-S-1031-A010-SR-11-11 with E3-1031.2/6.2		SubConn MCOM10M or MCIL10M (underwater mateable)		Molex Pico-blade 51021-0800	Molex Pico-blade 51021-0800

MTBF	
MTBF – MIL-HDBK-217F:	
Ground Fixed - 70°C	60,000 hours
Ground Fixed - 50°C	86,000 hours
Ground Benign - 70°C	95,000 hours
Ground Benign - 50°C	157,000 hours

Mag-13® Specifications

Performance								
Number of axes	Three							
Polarity	+ve when pointing North							
Full Scale Measuring Ranges	$\pm 70\mu T$	$\pm 100\mu T$	$\pm 250\mu T$	$\pm 500\mu T$	$\pm 1000\mu T$			
Scaling	143mV/ μT	100mV/ μT	40mV/ μT	20mV/ μT	10mV/ μT			
Scaling error	$\pm 0.5\%$							
Scaling Temperature Coefficient	< $\pm 60\text{ppm}$							
Linearity error	0.0015% (least squares fit)							
Frequency response at 50 μT peak	DC to 1kHz ($\pm 5\%$)							
Max Bandwidth at 50 μT peak	3400Hz	3100Hz	3000Hz	3000Hz	3000Hz			
Max Bandwidth at full scale	3000Hz	2500Hz	1100Hz	700Hz	300Hz			
Primary Resistance	$10\Omega \pm 1.5\Omega$							
Primary Inductance	1000 μH typical							
Secondary Resistance	$36\Omega \pm 4\Omega$							
Secondary Inductance	5600 μH typical							
Noise:								
Standard	$\leq 10\text{pT rms} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1\text{Hz}$							
Low noise (L)	$< 6\text{pT rms} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1\text{Hz}$ (70 and 100 μT range only)							
Zero Field Offset	$\leq \pm 30\text{nT}$		$\leq \pm 40\text{nT}$	$\leq \pm 50\text{nT}$				
Offset Temperature Coefficient	$\leq \pm 0.6\text{nT}/^\circ\text{C}$		$\leq \pm 1\text{nT}/^\circ\text{C}$					
Perming (Magnetisation Hysteresis)	<2nT (at 1 x Full-scale, when powered)							
Orthogonality error between axes	$< \pm 0.1^\circ$ ($< \pm 0.2^\circ$ for MCD)							
Alignment to datum face/s	$< \pm 0.1^\circ$ (Mag-13MS only)							
Excitation Breakthrough	<5mV pk-pk 15.625kHz typical							
Start-up/Settling time	<100ms							
Warm-up drift time	15 minutes to meet specifications for scaling <60 minutes to meet specifications for noise							

Electrical	
Supply Voltage	± 12 to 17V
Current Consumption – Positive	35 to 41mA in zero-field
Current Consumption – Negative	13 to 17mA in zero-field
Power Supply Rejection Ratio	120dB
Power-on Surge	+90mA, -25mA, 20ms
Analogue Output	$\pm 10\text{V}$
Output Impedance	10Ω
Test function field in each axis	-1 $\mu T \pm 10\%$
Maximum cable length	1.5km

Mag-13° Three-Axis Magnetic Field Sensors

Product Identification

Product name	Package	Noise	Range in μT
Mag-13	MC = Circular enclosure MS = Square enclosure MCD = Deep submersible circular enclosure U = Unpackaged U-TPU = Unpackaged 2-part MSS = Submersible square enclosure	No code = Standard noise L = Low noise	70 = $\pm 70\mu\text{T}$ 100 = $\pm 100\mu\text{T}$ 250 = $\pm 250\mu\text{T}$ 500 = $\pm 500\mu\text{T}$ 1000 = $\pm 1000\mu\text{T}$

Example: Mag-13U-TPUL100 = An low noise unpackaged 2-part Mag-13 with a measuring range of $\pm 100\mu\text{T}$.

Sensors with ranges $\geq 250\mu\text{T}$ are only available in standard noise option.



Features

- Wide range of enclosures; unpackaged and submersible versions available
- Noise levels down to $<6\text{pTrms}/\text{Hz}$ at 1Hz
- Measuring ranges from $\pm 70\mu\text{T}$ to $\pm 1000\mu\text{T}$
- Bandwidth of up to 3kHz
- Environmentally sealed and shielded from electrical interference

Typical Applications

- Magnetic field monitoring
- Use as feedback sensors in active magnetic field cancellation systems
- Magnetic signature measurements
- Electromagnetic surveys



Mag-13® Three-Axis Magnetic Field Sensors



Mag-13® Three-Axis Magnetic Field Sensors

The Mag-13 range of sensors provide high precision measurements of static and alternating magnetic fields. Different combinations of noise level, measuring range, and a range of enclosures, make the sensors suitable for use in many applications. These include defence, physics, geophysics, bioelectromagnetics and mineral exploration.

All sensors have an integral test coil that removes the need for a separate calibration unit, and a temperature sensor.



Bartington is a registered trade mark of Bartington Holdings Limited in the following territories: Argentina, Australia, Brazil, Canada, Chile, China, European Union, Hong Kong, Iceland, India, Israel, Japan, Malaysia, Mexico, New Zealand, Norway, Russia, Singapore, South Korea, Switzerland, Taiwan, Turkey, United Kingdom, United States of America, and Vietnam.

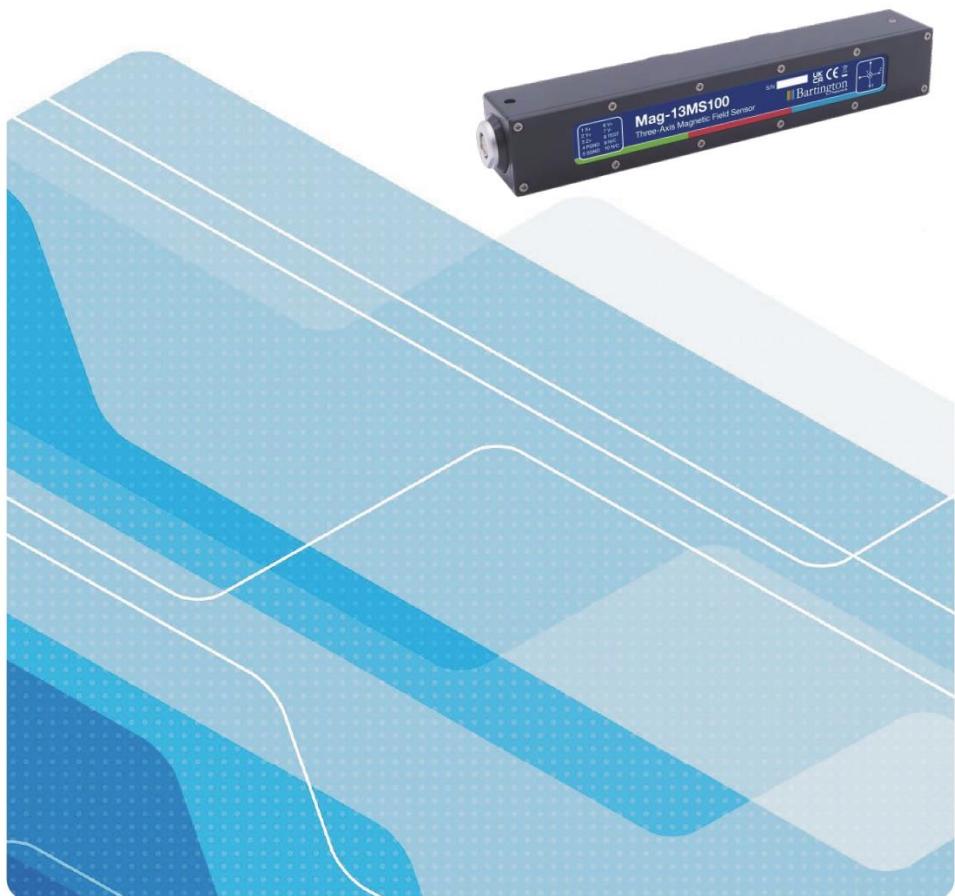
Bartington is used under licence by Bartington Instruments Limited.

Mag-13 is a registered trade mark of Bartington Holdings Limited in the following territories: European Union, United Kingdom, and United States of America.

DS3143/17

Mag-13®

Three-Axis Magnetic Field Sensors



bartington.com

 **Bartington®**
Instruments



附錄 B Tiltmeter 規格書

(TE connectivity:

https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-160017%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_108-160017_B.pdf%7FCAT-TSI0007)

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

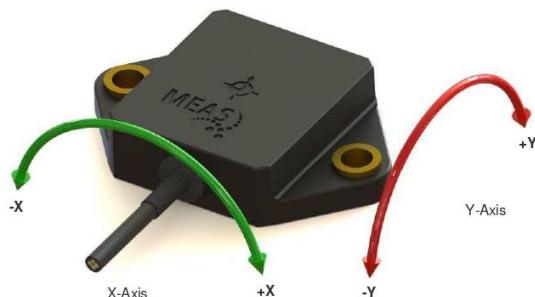
[TE Connectivity:](#)

[G-NSDOG2-002](#) [G-NSDOG2-003](#) [G-NSDOG2-001](#)



DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE INCLINOMETER

FUNCTION VIEW



This DOG2 MEMS series voltage inclinometer is designed for floor mount application.

ORDERING INFORMATION

PART NUMBER	NAME	DESCRIPTION
G-NSDOG2-001	25DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE	Dual axis inclinometer, floor mount, range $\pm 25^\circ$, supply 8 to 30 VDC, output voltage 0.5 to 4.5 V
G-NSDOG2-002	45DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE	Dual axis inclinometer, floor mount, range $\pm 45^\circ$, supply 8 to 30 VDC, output voltage 0.5 to 4.5 V
G-NSDOG2-003	45DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE	Dual axis inclinometer, floor mount, range $\pm 90^\circ$, supply 8 to 30 VDC, output voltage 0.5 to 4.5 V

For other orientations, measurement ranges or supply voltages please contact TE Connectivity sales representatives.

NORTH AMERICA

Measurement Specialties, Inc.,
a TE Connectivity Company
Phone: 800-522-6752
Email: customerservice.hmp@te.com

EUROPE

MEAS Deutschland GmbH (Europe)
a TE Connectivity Company
Phone: 800-440-5100
Email: customerservice.tse@te.com

ASIA

Measurement Specialties (China), Ltd.,
a TE Connectivity Company
Phone: 0400-820-6015
Email: customerservice.shzn@te.com

TE.com/sensorsolutions

Measurement Specialties, Inc., a TE Connectivity company.

Measurement Specialties, TE Connectivity, TE Connectivity (logo) and EVERY CONNECTION COUNTS are trademarks. All other logos, products and/or company names referred to herein might be trademarks of their respective owners.

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics which are intended for illustration purposes only, is believed to be reliable. However, TE Connectivity makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. TE Connectivity's obligations shall only be as set forth in TE Connectivity's Standard Terms and Conditions of Sale for this product and in no case will TE Connectivity be liable for any incidental, indirect or consequential damages arising out of the sale, resale, use or misuse of the product. Users of TE Connectivity products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for the specific application.

© 2015 TE Connectivity Ltd. family of companies All Rights Reserved.



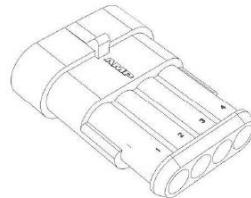
DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE INCLINOMETER

PARAMETERS

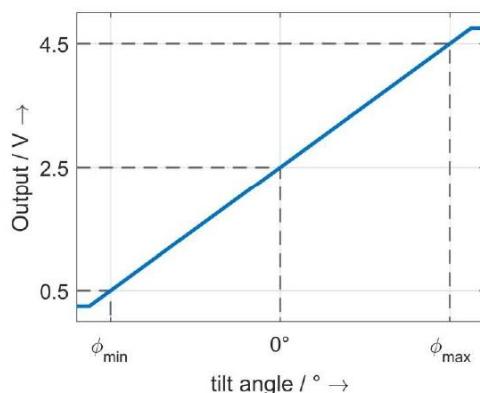
Parameter	Value	Comment
Range	$\pm 25^\circ$, $\pm 45^\circ$ or $\pm 90^\circ$	Dual axis sensor
Accuracy, typ.	0.5°	T = -40 °C to 85 °C
Accuracy, typ.	0.15°	T = 25 °C
Resolution	12 bit	
Refresh rate	100 Hz	Internal processing
Startup time	<1 s	Valid output signal
Supply/excitation voltage	8 to 30 V	Direct current (DC) stabilized
Supply current, typ.	15 mA	No load
Output	0.5 to 4.5 V	-25° to 25°, -45° to 45° or -90° to 90°
Connector	AMP Superseal 1.5-Series, 4-pos. cap housing, TE Connectivity part-no. 282106-1	Requires 4-pos. plug housing, AMP Superseal 1.5-Series at connecting harness, TE Connectivity part-no. 282088-1
Cable	4 wire 0.25 mm ² , outer diameter Ø3.9 mm	PUR, length incl. connector 400 mm, full temperature range, flexible
Operation temperature range	-40 °C to 85 °C	
Storage temperature range	-40 °C to 85 °C	
Weight, typ.	60 g	
Dimensions	70.5 mm x 45 mm x 15 mm	W x D x H

CONNECTOR PINNING

Pin	Function	Description
1	V _{CC}	8 to 30 VDC supply input (+)
2	GND	GND
3	Output X	0.5 to 4.5 V, X axis output
4	Output Y	0.5 to 4.5 V, Y axis output



TRANSFER CHARACTERISTIC



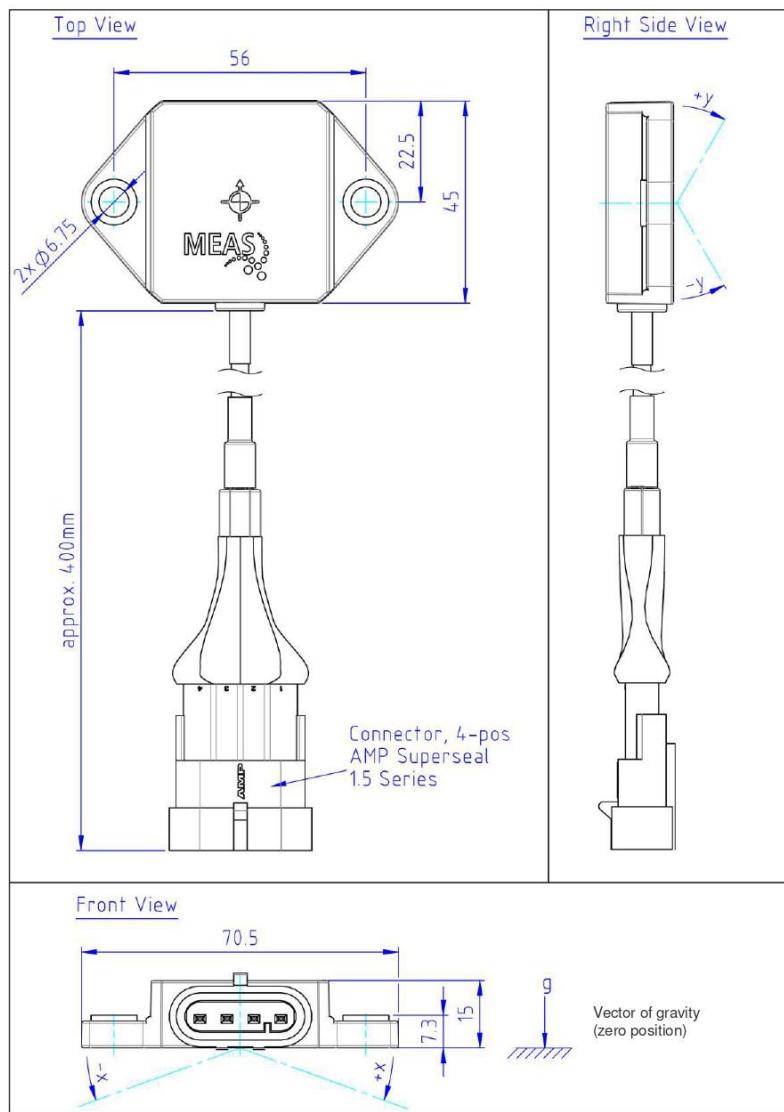
Part-No.	ϕ_{\min}	ϕ_{\max}
G-NSDOG2-001	-25°	25°
G-NSDOG2-002	-45°	45°
G-NSDOG2-003	-90°	90°

Linear transfer characteristic between ϕ_{\min} and ϕ_{\max}



DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE INCLINOMETER

Dimensions [mm]





✓RoHS

CE

FEATURES

- ◆ 8 to 30 VDC supply voltage
- ◆ Digital signal processing includes
 - filter (e.g. vibration damping)
 - temperature compensation
- ◆ 12 bit resolution
- ◆ 100 Hz refresh rate
- ◆ -40 °C to 85 °C temperature range
- ◆ Accuracy typically
 - 0.5° | -40 °C to 85 °C
 - 0.15° | 25 °C

APPLICATIONS

- ◆ Mobile and stationary cranes
- ◆ Lift platforms
- ◆ Building control
- ◆ Weighing systems
- ◆ Truck chassis leveling
- ◆ Vehicle applications
- ◆ Road construction machines

DOG2 MEMS SERIES VOLTAGE INCLINOMETER

SPECIFICATIONS

- ◆ Dual axis inclinometer
- ◆ Measurement ranges ±25°, ±45° and ±90°
- ◆ Voltage output

The **DOG2 MEMS-Series inclinometer** dual axis is mainly developed with focus on platform leveling, dynamic engine management, tip-over protection and tilt alarm.

A fast response time and good accuracy makes this device the ideal choice for mobile leveling applications. It features digital signal processing including temperature compensation.

The integrated filter improves performance and allows using the sensor in many noisy environments (e.g. vibrations).

The inclinometer includes a powerful digital signal processing that offers various filteralgorithms and allows customer specific OEM solutions. It is possible to adjust the sensor to different environments yielding an optimized performance. Customization can also be made in terms of angular range and connectivity, i.e. cable and connector.

The PA6.6 housing is very compact in size and has compression limiter bushings for safe installation of the sensor. It is compatible with oil, grease and fuel also. Therefore it is frequently used for engine and vehicle applications.

附錄 C 非極化電極規格書

(Clovertech website:

<http://www.clovertech.co.jp/products-electrode.html>)



ホーム > 製品情報 > クローバテック開発製品 > 海底電位差計電極

クローバテック開発製品

製品別

> クローバテック開発製品

> 地震計

> その他

海底電位差計電極



メーカー別

> クローバテック

> Nanometrics

> Lennartz

> Silicon Audio

> その他

OBE用の銀-塩化銀電極です。

OBE用電極は、研究者の方々が手作りをされる事が多く、製作および評価に多くの時間が必要とされていました。

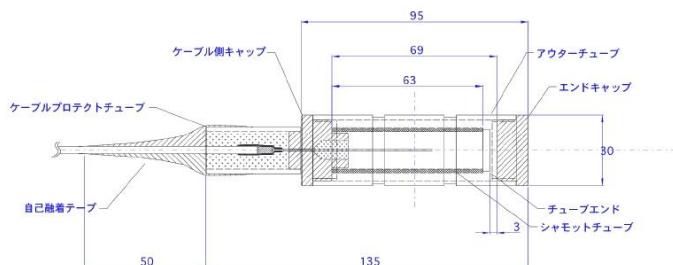
弊社では、従来の電極に種々の改良を加えたうえで、製造マニュアルを整備し、個々の電極の評価試験を実施することによって安定した品質の電極をお届けします。

電極の構造

電極の構造を示します。透明なアクリルケース内に見える白い筒はセラミックスのパイプです。

セラミックパイプの中に、銀板をコイル状に巻いた物と塩化銀の粉末が入っています。

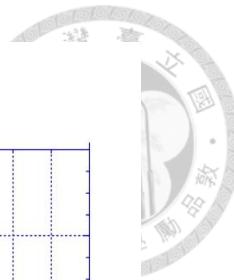
コイル状の銀板のセンターは銀線が溶着されており、上図のプロテクトチューブ内で銀線と外部のリード線を接続しています。



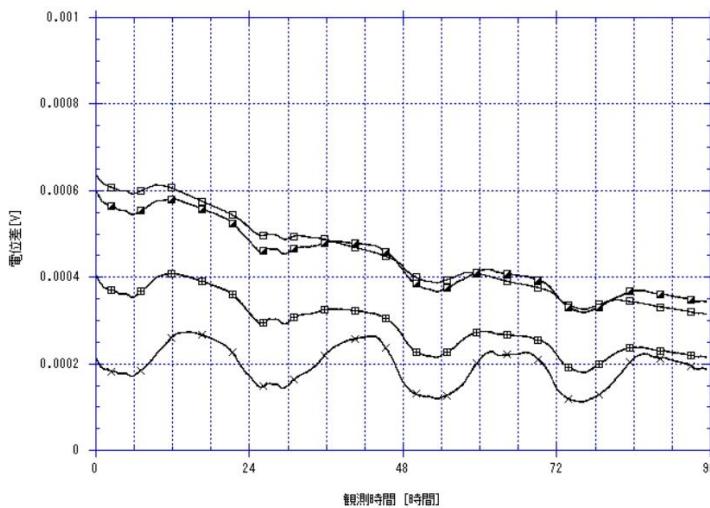
電極特性例

比較的特性の揃った4本の電極の電位変動を下図に示します。

この記録は、5本の電極を塩水中につけて、基準となる1本と他の4本の電位差を連続記録したデータから4



日分を抜粋したものです。



諸元

外形寸法	直径 ϕ 30mm 長さ 約185mm
重量	200g
銀板の表面積	37.5cm ²
リード線	Seacon RMA-MP 水中コネクタ付き2mケーブル
付属品	観測用キャップ

本電極の基本構造は、J.H.Ux, "Instrumentation and Experimental Methods for Oceanic Studies" in Geomagnetism Vol. 1, J. A. Jacobs, Eds. (Academic Press Inc., Florida, 1987), Chap. 3, pp. 143-248. に基づいています。

これに、耐久性・操作性・生産性などの改良を加え開発しました。

本電極の開発に当たっては神戸大学大学院 理学研究科 島伸和教授の御指導をいただきました。

[Page Top](#)

附錄 D 一次性鋰電池規格書

(Tadiran Batteries:

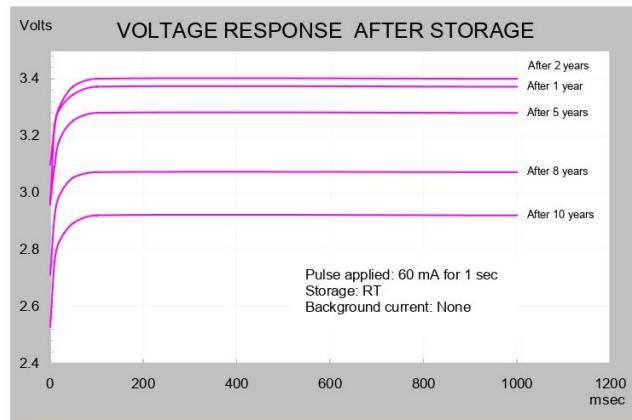
<https://tadiranbat.com/technical-data/product-data-sheets/>)



TL-5930

CELL FEATURES

- 3.6 V Primary lithium-thionyl chloride (Li-SOCl₂)
- Fast voltage recovery after long term storage and/or usage
- High energy density
- Low self discharge rate
- Bobbin construction
- Hermetic glass-to-metal-sealing
- Non-flammable electrolyte
- Restricted for transportation (Class 9 worldwide)
- Non-restricted within the US



**TADIRAN
LITHIUM
BATTERIES**

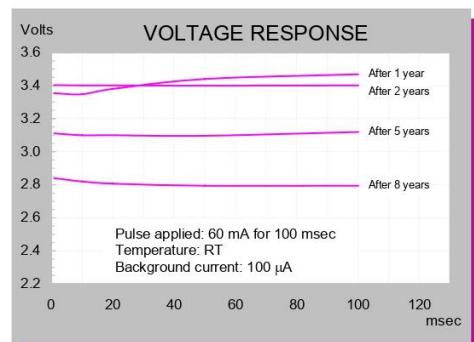
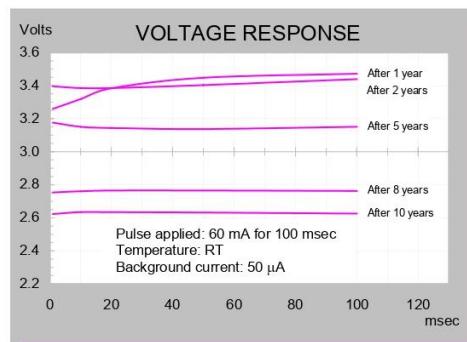
MAIN APPLICATIONS

- Utility meters (elect., water & gas)
- Automatic meter reading
- RF systems
- Sensors & monitoring systems
- Tracking systems
- Wireless security systems
- Automotive electronics
- Industrial electronics
- Ultra Low Power (ULP) devices
- Others

STORAGE CONDITIONS

- Cells should be stored in a clean & dry (less than 30 % RH) area
- Temp. should not exceed +30 °C

For updated information please visit our website www.tadiranbat.com



iXtra - Long Term High Performance

Note: Any presentations in this data sheet concerning performance are for information purpose only and are not construed as warranties either expressed or implied, of future performance.

ECN 1501879 Rev. C 11/08

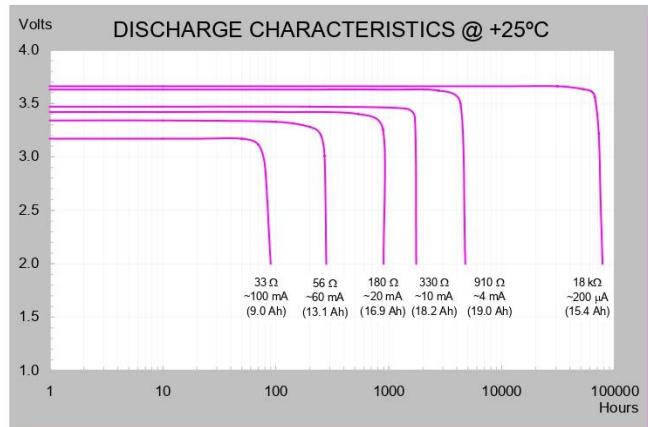
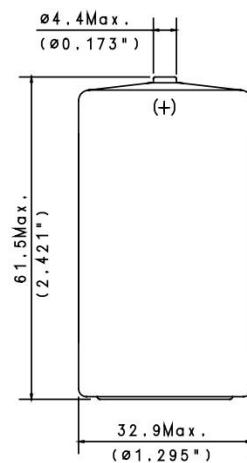
MODEL TL-5930

International size reference: D, ER32L615

TECHNICAL DATA

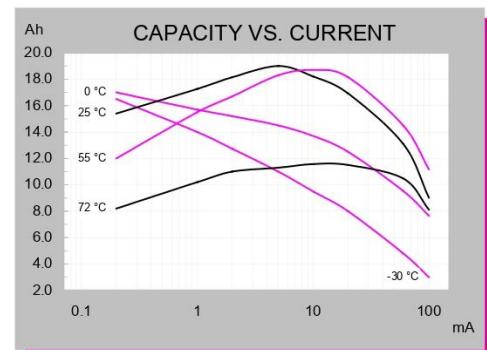
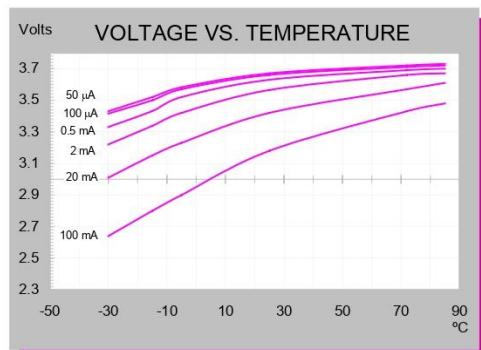
(Typical values @+ 25°C for batteries stored for one year or less)	
■ Nominal capacity @ 4 mA, to 2 V	19 Ah
■ Rated voltage	3.6 V
■ Maximum recommended continuous current	230 mA
■ Maximum pulse current capability	500 mA
■ Weight	93 g (3.28 oz)
■ Volume	51 cc
■ Operating temperature range	-55 °C to +85 °C
■ Li metal content	approx. 5 g
■ UL Component Recognition, MH 12193	

TADIRAN
LITHIUM
BATTERIES



TERMINATIONS & ORDERING NO.

SUFFIX -IS STANDARD 15-5930-21500
SUFFIX -IT SOLDER TABS 15-5930-31500



iXtra - Long Term High Performance

Note: Any presentations in this data sheet concerning performance are for information purpose only and are not construed as warranties either expressed or implied, of future performance.
ECN 1501879 Rev. C 11/08

附錄 E AIS 網位儀規格書

(SkyNav:<https://www.skynav.com.tw/article/134>)



is the suitable device to manage your marine asset.

An advertisement for the SkyNav AT-206 Solar Power AIS AtoN Buoy Tracker. The top half shows a photograph of a fishing boat operating in a fish farm with several circular aquaculture pens. The bottom half contains product information and a technical diagram.

SkyNav
Nav Your Life

System Solutions
Innovative robust products
AIS Transceivers, Buoy Trackers, Antennas, Networks

AT-206 Solar Power AIS AtoN Buoy Tracker

HIGH-QUALITY AIS TRANSMITTER

High-Sensitivity GPS and efficient AIS communication technology help you manage your buoy by immediate addressing. Install on the buoy or other marine asset in the sea or lake for collision avoidance.

SKYNAV Technology, Inc.
Tel: +886-2-2687-0869 / Fax: +886-2-2687-0096
www.skynav.com.tw / service@skynav.com.tw



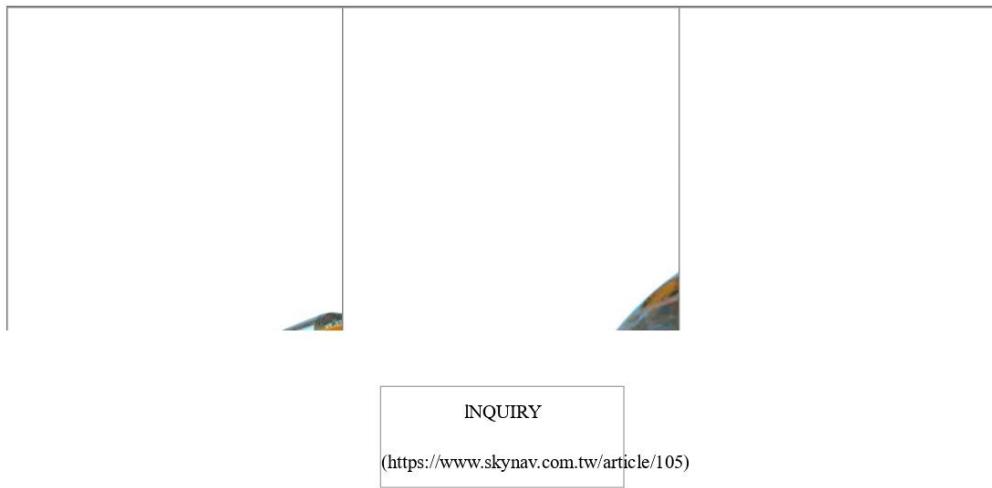
Brief description

High-Sensitivity GPS and efficient AIS communication technology help you manage your buoy by immediate addressing.

Install on the buoy or other marine asset in the sea or lake for collision avoidance.

Features

- Transmission range: 10~16 NM
- Easy to install, Easy to track
- Interval setting: (Every 1~6 minutes)
- Built-in night warning light
- Weather-proof and high gain antenna
- Drop-proof and weather-proof housing
- Waterproof : IPX8
- Night lighting and SOS button (optional)



INQUIRY

(<https://www.skynav.com.tw/article/105>)

Product description

AT-206 is a solar powered AIS AtoN device that is a high-quality and cost-effective marine asset tracker. Install this device, you can monitor, identify and manage their buoy or other target immediately. AT-206 provides the buoy or other marine asset position, battery power and MMSI immediately.

The owners can manage their buoy or other target and for collision avoidance. Dramatically increase the effectiveness and decrease the cost of management.

AT-206 is easy to install on buoy. The full battery status can be operated continue up to one year. This



Specification	
Model	AT-206
Quad Band	161.975 MHz / 162.025 MHz
Baud Rate	9600 b/s+50ppm(GMSK)
Bandwidth	25 kHz
Output Power	2 W (can be customized)
Transmission Range	10 ~16 NM
Antenna	External 1m VHF antenna
GNSS Chipset	ublox
GPS Receiving Channels	72 channels
Tracking Sensitivity	-160 dbm
Position Accuracy	2.5 m CEP
Battery	12.6V 3200 mAh
Battery Type	Rechargeable Li-ion battery
Operating Time	Over than 1 year
I/O port	5 pin waterproof connector
Size (Main Body)	19.7 cm x 21.2 cm
Weight (Main Body)	850g
Waterproof	IPX8
Operating Temperature	-10°C~60°C
Storage Temperature	-20°C~70°C
LED Indication	
Flashing 1~10 sec (red & green)	Battery level 10~100%
Fast Flashing 10 sec (red)	Low power warning
Flashing /sec (green)	GPS signal searching
Flashing 3 sec (red & green)	AIS data transmitting

SKYNAV Technology, Inc.
Tel: +886-2-2687-0869 / Fax: +886-2-2687-0096
www.skynav.com.tw / service@skynav.com.tw



TEL:886-2-26870869



FAX:886-2-26870096



6F., No 105, Xicheng Rd., Banqiao Dist., New Taipei City 220,
Taiwan (R.O.C)

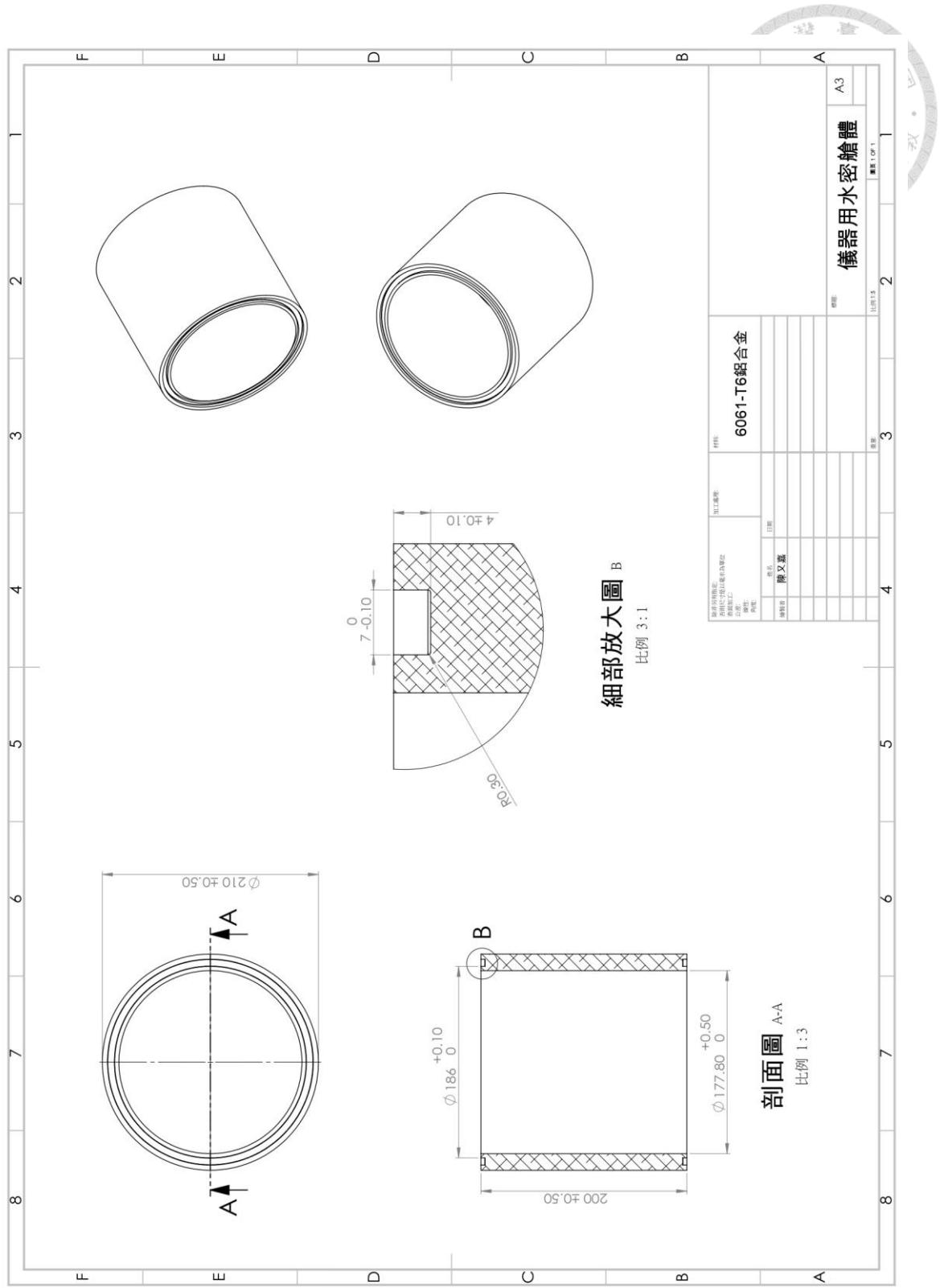
service@skynav.com.tw

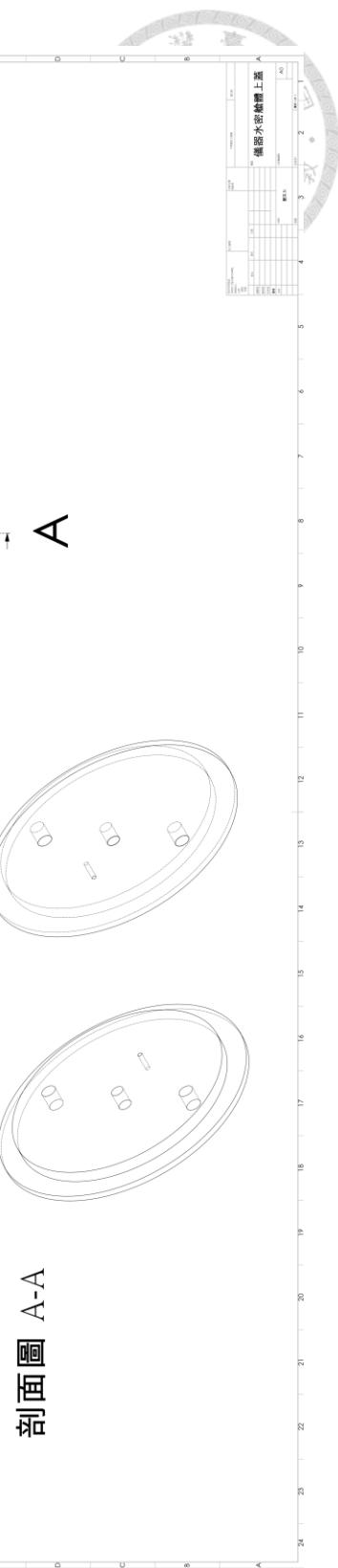




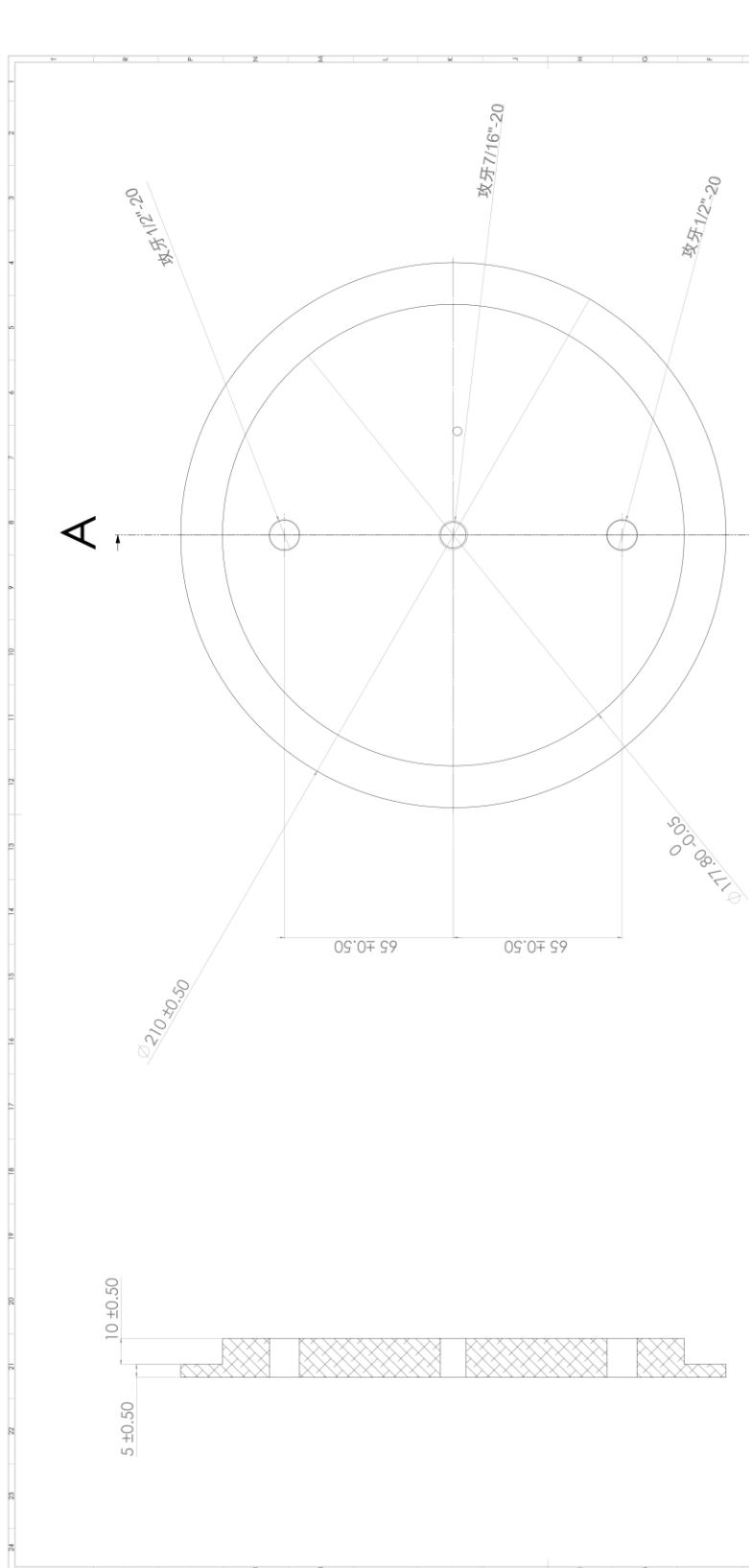
附錄 F SOBEM 相關零件工程圖

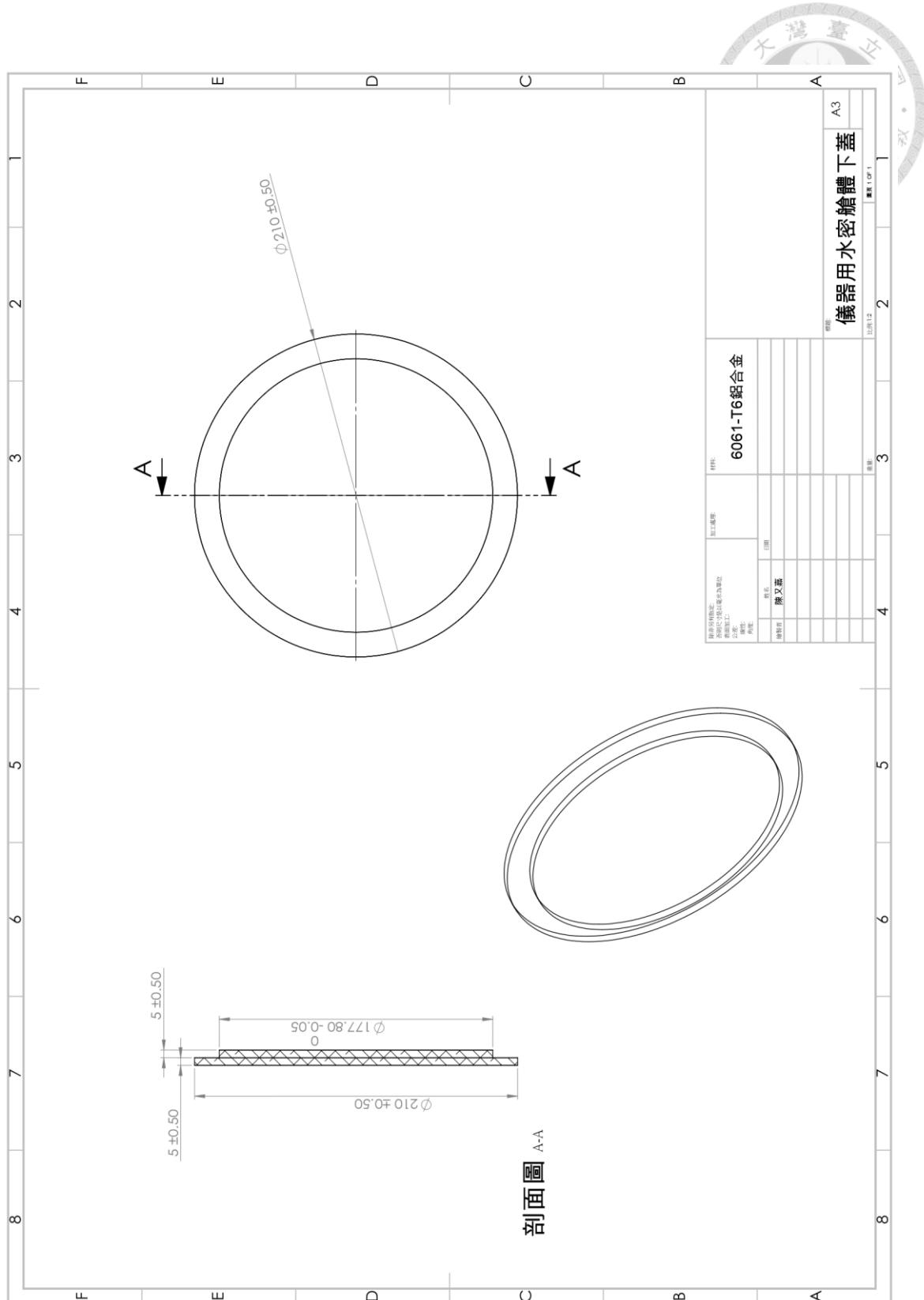
此附錄為本研究設計的 SOBEM 相關零組件的三視圖及尺寸。

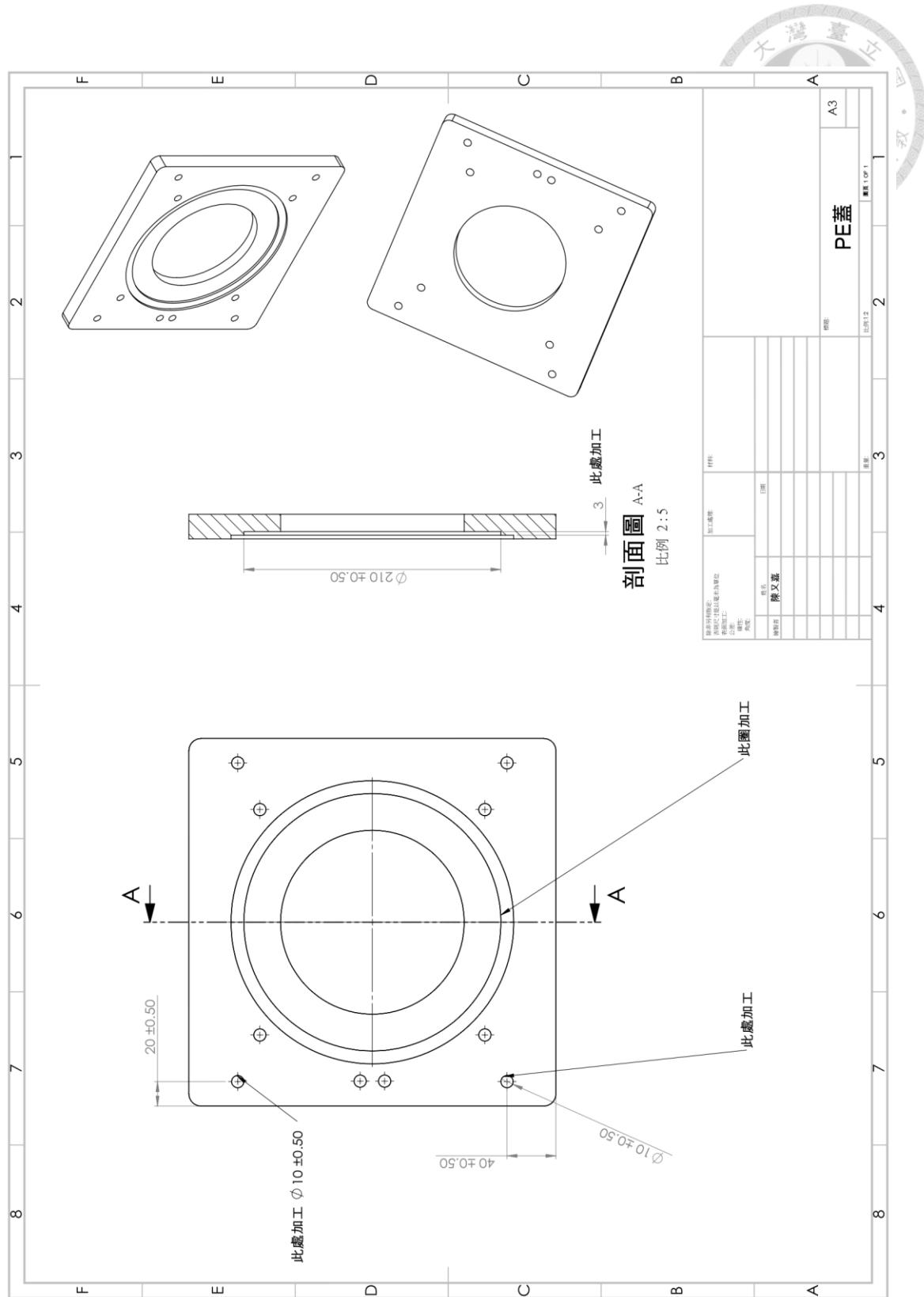




剖面圖 A-A









附錄 G SOBEM 佈放 SOP

此附錄為 SOBEM 在出海佈放時，佈放人員必須遵循的 SOP 流程。

淺海型海底電磁儀 SOBEM deployment record



Date: _____.

佈放時間(GMT): _____,(現場時間) _____.

SOBEM S/N: _____ Site Name: _____ Site No. _____

N _____, E _____, Deep: _____ m

Configuration record:

Data Logger: _____

Fluxgate: _____

Tiltmeter: _____

Electrode: _____

Start deployment

- 1. 將電極延伸臂裝上 SOBEM，確認電極接上防水纜線。
- 2. 使用十字起子旋開電極延伸臂末端塑膠螺絲，將電極蓋換成透水蓋後鎖回螺絲。
- 3. 將 AIS 網位儀開機，確認閃燈。
- 4. 使用接收器或上網確認 AIS 已開啟。
- 5. 用磁鐵在 ON 處輕觸一下，使資料紀錄器開機。
- 6. 確認開機燈號及收到 GPS 訊號(橘燈閃爍)。
- 7. 確認 Data Logger 開始記錄(綠燈閃爍)。
- 8. 紀錄開機日期、時間與經緯度。
- 9. 將儀器本體移至船舷，盡可能靠近水面後放入水中。
- 10. 將船往前開 3 公尺後釋放第一塊錨碇。
- 11. 待第一塊錨碇沉底後，再將船往前開 3 公尺，釋放第二塊錨碇。
- 12. 待第二塊錨碇沉底後，把浮標放置於海面上，完成佈放作業。

紀錄者簽名: _____



附錄 H SOBEM 收回 SOP

此附錄為在收回 SOBEM 時，佈放人員必須遵循的 SOP 流程。

淺海型海底電磁儀 SOBEM recovery record



Date: _____.

佈放時間(GMT): _____,(現場時間) _____.

SOBEM S/N: _____ Site Name: _____ Site No. _____

N _____, E _____, Deep: _____ m

Configuration record:

Data Logger: _____

Fluxgate: _____

Tiltmeter: _____

Electrode: _____

- 1.收回浮標，並將 AIS 網位儀關機。
- 2.順著繩子拉起第二塊錨碇。
- 3.將船往前開拉起第一塊錨碇。
- 4.再將船往前行駛小心拉起儀器本體。
- 5.使用磁鐵在 OFF 處輕觸一下，將資料紀錄器關機。
- 6.紀錄關機日期、時間。
- 7.使用十字起子旋開電極延伸臂末端塑膠螺絲，將透水蓋換回電極保護蓋。
- 8.用淡水沖洗儀器並放置於陰涼處。

紀錄者簽名: _____