

動態定位系統運作暨操作人員之職前訓練

The Operation and Officers Induction Training for Dynamic Positioning System

許永恩 (Yong-En Hsu)^①、鄒明城 (Ming-Cheng Tsou)^②、徐育彰 (Yu-Chang Hsu)^③、
廖吉祥 (Chi-Hsiang Liao)^④

摘要

國際能源發展趨勢從傳統化石燃料已轉型聚焦在具有再生、永續及乾淨特色之綠色能源。曾幾何時，仰賴大量能源進口的島國，在富有黑水溝之稱的臺灣海峽也能向世界宣告風電綠能開發。海峽中段之特定水域更躍上國際舞台，並且被國內、外開發商形容為地球上少有之絕佳風場。離岸風電工程需要各式各樣之海事工程工作船，在特殊工法要求下，船舶在工程執行水域必須穩定船舶所在位置，最常使用之方案即仰賴動態定位操作系統，該系統常為執行此工作船舶之必備規格，軟體面更需配置合格之動態定位系統操作手。動態定位操作人員之養成需經過一系列訓練程序，動態定位系統操作是九成的例行工事，但要能處理一成的突發狀況。本文以動態定位系統操作入門課程作為討論重心，操作人員的訓練著重於基本學理的闡述以及模擬機實作，為實際海上實作以及正式取得動態定位操作證書打穩根基。

關鍵字：離岸風電、海事工程、動態定位操作

Abstract

Green energy leads energy development over conventional fossil fuel. It is

① 許永恩：國立高雄科技大學航運技術系副教授；聯絡地址：805 高雄市旗津區中洲三路 482 號，國立高雄科技大學海事安全研究中心；電話：07-8100888，分機 25131；e-mail: hhsu@nkust.edu.tw。

② 鄒明城：國立高雄科技大學航運技術系正教授。

③ 徐育彰：國立高雄科技大學航運技術系助理教授。

④ 廖吉祥：國立高雄科技大學輪機工程系助理教授。

subject to renewable, sustainable, and friendly to the environment. Being one of the green energies, wind energy can be exploited wherever there is breeze. Taiwan Strait was notorious for its rough sea conditions. However this notorious rough sea has become one of the best wind farm sites on the earth by international wind farm project planners. Offshore wind energy brings marine engineering and vessels involved in this kind of business are classified as the specialized vessel. Dynamic positioning operation is used to carry out such sophisticated work at sea. Dynamic positioning operators(DPO) are mariners with advanced training who are the only licensed personnel allowed to steer the dynamic positioning vessels. The induction training program for dynamic positioning operators is discussed. It is learnt that DPOs usually handle ninety percent of routine works and should be able to handle the ten percent of emergency events.

Keywords: Offshore Wind Energy, Marine Engineering, Dynamic Positioning Operation

壹、前言

臺灣身為海運大國，國內海事院校所栽培之學生多能在國際上定期航線及不定期航線商船上嶄露頭角並且開花結果。惟多年發展下來，我國歷經景氣之更迭循環，海運職場更不斷受到國際船員市場競爭之挑戰，再加上科技進步發展洪流，已悄悄將人工智慧以及無人操控船舶帶到跟前，更重要的是如何立自己的專業於不可取代之地位。專業之動態定位操縱船工作，搖身一變成為下一世代之航輪職涯工作選項。

臺灣地理位置處亞太海空運重要樞紐，天然環境素有颱風多、地震多著名。然而，要在逆境中學習成長，早已是每一

位臺灣人必備的心理素質。正面迎接挑戰以及常把「危機變成轉機」當座右銘。我國並無天然化石能源可供後代揮霍，當前臺灣需仰賴化石能源進口以維持國內經濟之正常發展，其所衍生之能源發展後座力則是環境污染與核電廠延役等高度敏感議題。綜觀國際能源發展趨勢，似乎發展再生、永續、綠色能源早已成為本世紀最能取代骯髒能源之不二選項。

生命自有出路，古語所形容之臺灣海峽黑水溝也能鹹魚翻身。臺灣海峽被國際風電開發大廠喻為地球上少有之絕佳風場，風力發電有其正當性，更有機會取代為人詬病之骯髒能源。然而在海上開發大面積之風電電場，歐美開發國家皆以傾全國之力將各項技術、重機具藉由船舶載運

到離岸風電工區施作，除了海事工程範疇內之硬體建置外，軟體所包括之人員、技術、管理等缺一不可。簡言之，執行離岸風電工程需要各式噸位之海上工作船，為讓此等工作船能勝任目前工作項目，大部分工作船皆以第二型之動態定位系統 (Dynamic Positioning, DP) 為其船舶操作之基本規格，要能讓船舶在工區及海上每日以 24 小時連續工作，至少需配備四位之動態定位系統操作手 (Dynamic Positioning Operator, DPO)。由此可預見未來要離岸風電工程順利之關鍵因素在於工作船舶與技術人員之配套是否完備。

國內尚無正式之國籍船舶動態定位系統操作手⁵，更遑論合格之國籍船舶動態定位系統訓練教官，動態定位操作人員之養成需經過一系列訓練程序，本文將針對入門課程做介紹。

貳、DP 功能與養成訓練

DP 是利用船上主機俾舵、多部推進器等透過電腦系統統籌成可用之出力來源，並在獲取本船在環境下所遇外部風、流、浪等外在天候海象狀況，依照指令將本船維持在指定位置上或推進駛至所需船位。DP 要確定外在環境影響，除了瞭解當前可用之感測器外，越多互斥之感測方式越能夠維持定位及外在影響因素等資料來源之獨立性，系統會抉擇需採用何種感測器所提供之資料來源，一般多採民主投票機制：多數方勝出。

DP 的養成概分為四大階段 (圖 1)：入門課程 (Phase A)、第一期海上實習 (Phase B)、模擬機課程 (Phase C) 以及第二期海上實習 (Phase D)。最後連同證書以及

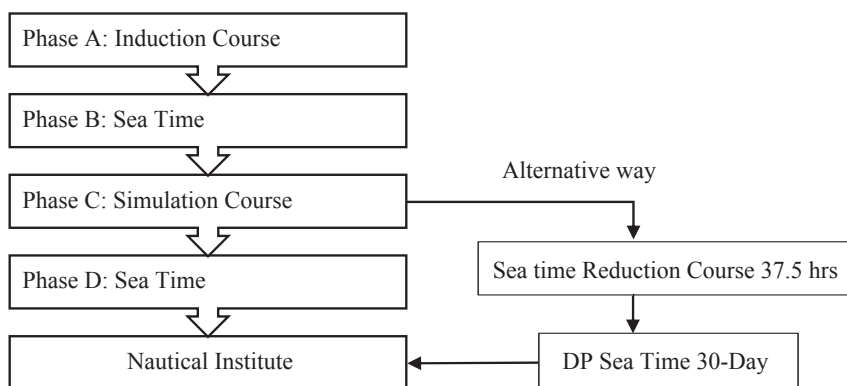


圖 1 訓練流程

⁵ 經查證國內首張由英國航海協會所核發之 DPO 證書於 2020 年 5 月發出。

專屬訓練記錄簿 (DP logbook) 寄送英國航海協會 (Nautical Institute, NI)，經該協會確認申請者之海上實習時數，簽證內容無誤，核發正式之 DP 適任證書。初始階段之入門課程耗時五個工作天，最後一日由 NI 寄發網路即時線上筆試 (40 題每題 2.5 分；以 78 分為最低及格分數)，筆試通過日為基準日起算，受訓者四年內須取得由英國航海協會所審批核准之 DP 證書。若該受訓者無法在此四年內取得證書，則必須再重新參加入門課程或由該 (DP) 訓練中心評估再回訓日數。

Phase A 入門課程為連續五日之入門課程 (Induction Course)，訓練內容由後面詳述之。基本上 Phase A 之門檻為海事甲板與輪機甲級船員⁶ (船副及管輪)，課程修習完成後，受訓學員即可稱為 DP 實習生 (Training DPO)⁷，由訓練中心核發考試及格證書與 DP 訓練記錄簿 (DP logbook)。Phase A 課程訓練還是有取證期限之限制，效期自結訓當日起算四年。順利結訓之船員即可上 DP 船舶見習，謂之第二階段 (Phase B)，即初次海上實習，共需 60 天 / 小時，海上實習泛指 DP Level 1 到 DP Level 3⁸ 船上資歷，每日 DP 系統開機⁹ 必須超過兩小時。若同時有超過一位之 DP 實習生，則每人見習時數皆應

滿足每日兩小時 (及以上)，舉例而言，船上備有四位見習 DPO，則 DP 模式每日至少應操作長於八小時 (4 人 × 2 小時)，才能滿足此四位 DP 見習之一日天數。當滿足 60 天海上 DP 操作見習日後，即可申請參加 DP 岸上模擬機課程 (為期五天)，課程修習評量及格後，需再累積 60 天海上 DP 見習；若學員選擇一額外課程：岸上模擬機操作 (37.5 小時機上操作)，則此 Phase D 僅需累積滿 30 天；以上兩途徑滿足最低要求後，個人之 DP logbook 由船長 (有 DP 證書) 或資深 DPO 簽核，以聲明該見習 DPO 之適任性，英文名稱為 Statement of Suitability。此簽證 (驗收) 完成之 logbook 記錄送至英國導航協會審批合格，該名見習 DPO 自此才可稱作為正式 DPO。

參、指導準則內容

3.1 法源

DP 之法源依據可以回溯至 1994 年國際海事組織 (IMO) 海事安全委員會 (Maritime Safety Committee; MSC) 編號 645 通告 (Circular 645) 以及更新版 2017 年編

⁶ 未持有適任證書 (Certificate of Competence; CoC) 之甲級、輪機人員，得參加入門課程，但必須在下次岸上 DP 訓練課程前，取得合格之 CoC。

⁷ Training DPO 在船上可支援、輔助資深 DPO。

⁸ DP 等級自 DP Level 0 到 DP Level 3 共分 4 級。

⁹ DP 開機指 DP 不擺在備便模式 (STAND-BY MODE) 下運作。

號 1580 通告 (Circular 1580)，此二通告皆為 DP 之指導原則，不過關於 DP 系統相關需求規範，則應尋求船級社規範之。

645 通告專門針對 1994 年 7 月 1 日後新船搭載 DP 系統規範出一世界標準。目的在推薦 DP 的設計範疇、必要裝備、操作要求以及一個風險降低之測試與文件系統^⑩。DP 船舶所有人 (船東) 應負符合此準則之最大責任。

3.2 章程

移動式近海鑽探裝置建造及設備章程 (Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units; MODU Code)(交通部航港局, 2020) 規範在海上工作船舶之構造強度、穩度、機械、無線電及起居空間之要求，以配合離岸風力發電作業及海上鑽探作業需求。

3.3 DP 操作模式

五種 DP 操作模式分別為手動 (Manual)；自動 (Auto)；獨立搖桿 (Independent Joystick)；動態定位 (Dynamic Position)；以及緊急 (Emergency)。645 通告定義「DP 船」為一船舶 (或相似單元) 利用推進器 (完全) 自動維持自身的位置^⑪。「DP

系統」為動力暨電力系統、推進器系統以及 DP 控制系統^⑫。電力系統^⑬ 泛指供給 DP 系統「電力」所需之全部組成系統。而此電力系統包括：有必要之輔助系統含管線之主動力、發電機、配電盤以及分配系統。推進器系統^⑭ 則為供給 DP 系統推進力與方向之全部系統組成。該推進器系統包括側推器及重要輔助系統含管路等；有 DP 系統可控制之俾舵；推進器控制電子設備；手動推進器控制；以及相關線路及拉線方式。DP 控制系統^⑮ 泛指船舶動態定位相關之一切控制元件系統軟硬體。DP 控制系統含：電腦系統 / 搖桿系統；感知器；顯示系統 (操控台)；位置參考系統 (PRS)；以及相關線路及拉線安排。

3.4 船舶六大運動

船舶在水中運動概分為六類：橫搖 Roll、縱搖 Pitch、起伏 Heave、縱移 Surge、橫移 Sway 以及平擺 Yaw。前三者由相關感知器偵測，DP 作業主要觀測 Pitch 與 Roll 之變化，並對本船做補償。Heave 則較為次要，一般多應用於直升機作業等。後三者船舶運動則由 DP 推進器來控制 (圖 2)。DP 感知器基本上分為三種：風 (風速 / 風向)；運動參考單位

^⑩ 風險泛指 DP 操作時所影響到之人員、船舶、他船設施、水下設備及環境。

^⑪ 位置 (Position) 意指固定位置或預先設定之航線。

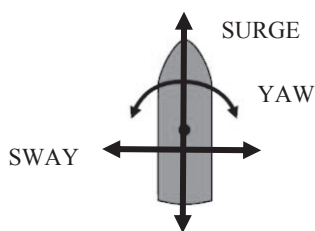
^⑫ 見 IMO MSC Circular645#1.3.2 小節。

^⑬ 見 IMO MSC Circular645#1.3.4 小節。

^⑭ 見 IMO MSC Circular645#1.3.5 小節。

^⑮ 見 IMO MSC Circular645#1.3.6 小節。

(Motion Reference Unit, MRU)；以及電羅經 (提供艏向)。船上推進設備 (Thrusters) 則專指控制橫移 (Sway)、縱移 (Surge) 以及平擺 (Yaw)。其中左右與前後之控制依據來自定位參考系統 (PRS) 之回饋，而平擺之控制則交由電羅經 (Gyro) 偵測之。



資料來源：Bray (2008)。

圖 2 左右、前後及平擺

3.5 失效模式與效果分析

失效模式與效果分析 (Failure Mode Effect Analysis, FMEA) 之檢測是假設在 DP 操作時，針對單一故障所生成之情境，而 FMEA 檢測 DP 系統之順序則依序為動力系統 (Power System)、推進器系統 (Thruster System) 到控制系統 (DP Control System)。

3.6 停工準則

1580 通告 (IMO MSC circular 1580, 2017) 揭示停工準則 (Activity Specific Operational Guides, ASOG)，船上停工之依據 (例如天候、海象標準 / 限制等) 由船東、租方 (契約甲方)、船長、DPO 共同制訂。

3.7 電力系統

DP 所謂之電力 (動力) 系統 (Power System) 泛指船舶輔機、發電機、配電盤、配電設備、不斷電系統以及 DP2、DP3 所要求之電力管理系統 (Power Management System, PMS)。

3.8 系統備案

DP 系統中所謂的備案 / 冗餘 (Redundancy) 係指當系統有故障情事時，還能維持 DP 系統之正常運作 (僅適用於 DP2 與 DP3)。系統備案之精神則在於：「讓船舶有時間撤離」，其積極的作為是「只給硬體，但並沒有所謂第二套軟體！」，也就是指 DP 系統並不設置主-從 (Master-Slave Stations)，但指定於上線 (主機；Master On-line) 以及主機下線 (Master Off-line) 兩種模式運作。

肆、DP 等級分類

IMO 對 DP 的等級分類由 Class 1 到 Class 3；相關的船級協會也對 DP 系統做類似之分類等級 (表 1)。

本文以 ABS 美國驗船協會所使用之分類等級做敘述：DPS-0 指該船僅有搖桿 (joystick) 系統，可控制船艏向；DPS-1 意謂僅有一套 DP (系統) 以及一部獨立之搖桿

表 1 DP 等級分類

IMO DP Class	ABS	LRS	DNV-GL
-	DPS-0	CM	AUTS (DPS0)
1	DPS-1	AM	AUT (DPS1)
2	DPS-2	AA	AUTR (DPS2)
3	DPS-3	AAA	AUTRO (DPS3)

系統；DPS-2 代表有兩套獨立電腦系統^⑥，惟不考慮火災、進水等可能會失去一整個艙間之情境 (Loss of a compartment)；DPS-3 則代表一 DPS-2 外加克服失去一整隔艙間之假設情境。舉例而言，鑽油平台業經相當之風險評估後，通常就會指明要求該平台之 DP 等級必須要求至 DPS-3 等級。

DP 等級是有可能被降級的，DP 系統無時無刻總想著最壞的打算 (the worst cases)。以 DP-0 來說，最壞的情形可能發生在當艏推進器故障時。以 DP-1 來說，可能單一控制系統故障，即視作最壞情況，而此時的 DP-1 則會被降評為 DP-0。DP-2 為典型常用之有系統備案 (Redundancy) 之 DP 等級，圖 3 即表示該等級之 DP (Class 2) 動力配置，而在打算最壞情形時，皆假設若此動力配置中有一套失效，DP-2 可以在此最壞狀況發生時，仍能維持其目前船位，同時爭取緊急撤離之時間 / 機會。編號 1 ~ 5 之出力裝置 (編

號 1 / 編號 2：艏推進器；編號 3：艉推進器；編號 4 / 編號 5：左、右俾)，當有一裝置失效時 (任一裝置)，本船仍可以剩下之四套動力出處維持本船所需之 Surge、Sway 以及 Yaw 運動。

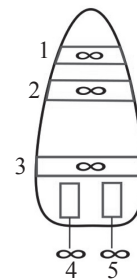


圖 3 DP2 等級動力配置

以電力系統論之 (圖 4)，配電模式可用來決定船舶 DP 系統是否屬於 DP1 或 DP2 等級。從一號機軸發電機 (SG1) 至 3 號艉推進器 (TH3)，配線設計若恆關則 DP2 降級為 DP1。

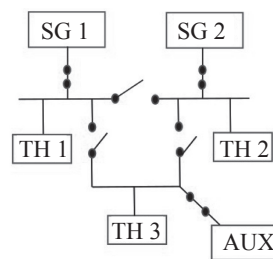


圖 4 DP 等級配電圖

^⑥ DPS-2 有 Master-Online 及 Master-Offline 兩套系統在船。

伍、DP 系統原理

DP 之系統運作原理即藉由船上各式偵測儀器，發揮整合之功能，對外部訊息進行 DP 船舶位置解算(圖 5)；解算數值與預設數值比對，再由動力單位 (Thrusters Main) 進行必要之出力修正。

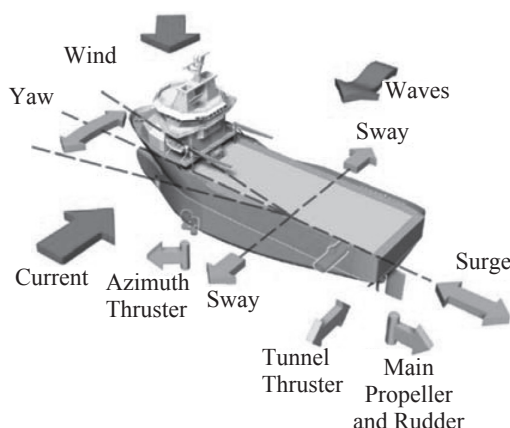
外部力量簡單分成風、流與浪。風的數值由船上風速計 (Wind Sensor) 偵測之。除了船上定點設置數個風速計外，新成船可透過海工測試算得相當風對船舶之外部影響 (External Effect)，若遇現成船改裝成 DP 船，則可藉改裝後之船舶總布置圖 (General Arrangement Plan) 填入數據。以此類推，風、流與浪對船舶的影響皆可由數學模式解算之。

有了外部影響的數值，DP 系統就可

以派任動力單位進行出力調整。出力調整則仰賴推進器分配 (Thruster Allocation)，推進器分配模式(圖 6)可分作：

- A. VARIABLE
- B. FIX PORT
- C. FIX STBD
- D. DIVING
- E. STEERING
- F. FORCE BIAS
- G. MANUAL FIX

在【Variable】模式下時，船舶俾、舵是擺在固定的方向(正舵)，僅在出力上作調控；【DIVING】是供設置月池 (Moon Pool)、有潛水用途之 DP 船選用；【FORCE BIAS】則是兩具全方位推進器 (Azimuth Thrusters) 採對開方式，即 NO.4 與 NO.5 推進器出力抵銷備便，特別適用



資料來源：Kongsberg (2018A)。

圖 5 外力

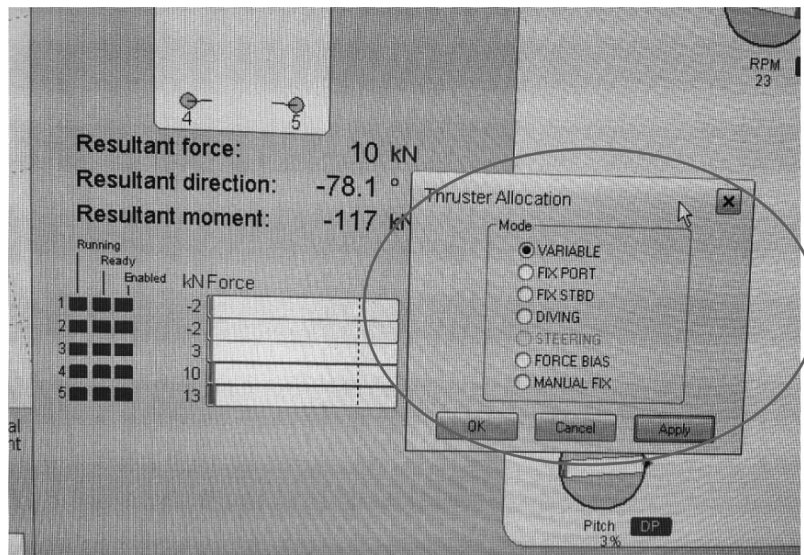


圖 6 推進器分配模式 (拍攝自 DP 模擬機 K-POS)

在應付突發狀況用。出力應注意方(位)向調整與出力情況，DP 系統也會在出力消耗 (Power Consumption) 時檢測出力負載控制。

5.1 DP 水流

船舶所遭遇之外部影響，簡單分作風、流與浪的影響，本節探討的 DP 水流不同於一般航海所稱呼之海流 (current)，它比較近似於航海學理所認知的「廣義水流」(Bowditch 1995)。

推進器設置點回饋 (Thruster Set-point Feedback) 可用作解算廣義水流後之處置。一般 DP 推進器設定是從設置點 (Set-point) 到回饋 (Feedback)，再計算得出誤

差。為了求出此廣義水流 (DP Current)，系統之高曼濾波器 (Kalman Filter) 將測量到之位置與艏向比對 (減去) 預測之位置與艏向 (Predicted Position & Heading)，得到的即是本節所指的誤差。

廣義水流簡單解算為期望位置值與實際位置值之差額向量值。圖 7 為此種誤差之示意，而這裡所解算之廣義水流含括船舶三種影響 (Surge、Sway 與 Yaw)，即實際水流再加上 DP 之系統誤差。此系統之誤差必須減到最低¹⁷，一個簡單偵錯的方法：當系統顯示有流水存在時，本船轉向 090°/270°，觀測流向也跟著 90° 變化，表示系統存在可能的人為誤差。

¹⁷ 流的計算，一般得花上 5~30 分鐘不等。

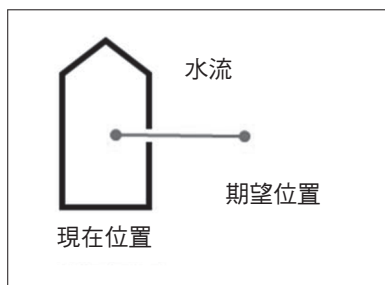


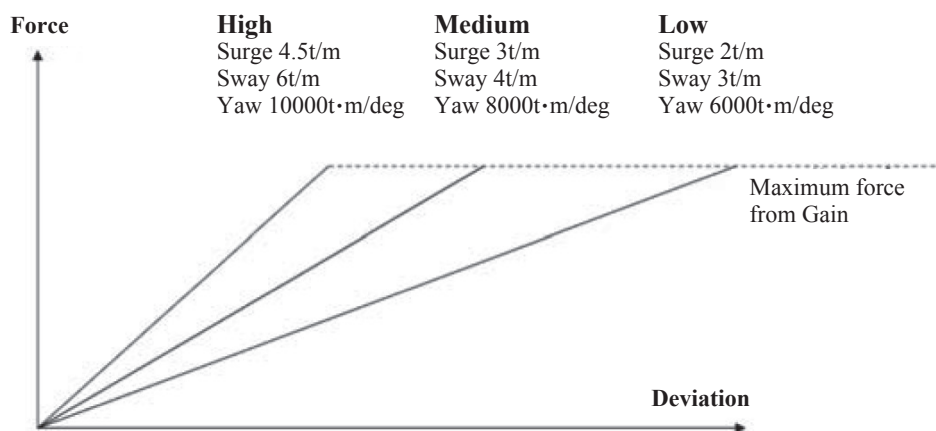
圖 7 廣義水流

5.2 基礎控制理論

DP 控制 (Controller) 屬 DP 系統原理之中段，主要有前饋 (Feed Forward)、阻尼 (Damping) 以及增益 (Gain) 三者。此項 DP 控制是為了提供推進器分配 (Thruster Allocation) 所需之解算出力需求 (Resulting

Force Demand)。前饋提供外部力量 (風與廣義水流) 之補償；阻尼則負責將速度維持在零；而增益則負責修正船位以及控制艏向之偏移 (差)。

增益的控制 (Gain Control) 有兩種：一是控制者模式^⑩(DP Controller Mode)，可再細分作高精確度 (High Precision)^⑪、放鬆 (Relaxed)^⑫ 與環保 (Green)^⑬ 三者；另一是對該增益級別 (Gain Level) 分作高、中、低以及客製化處理 (圖 8)。增益級別 (大小) 控制出力 (Force) 與偏移量 (Deviation)。低增益出力 (例如：2 t/m)，若本船欲向前移動 50 公尺，則這段行程之出力為 100 噸 (50 m × 2 t/m)。



資料來源：Kongsberg (2018B)。

圖 8 增益出力

^⑩ DP 控制器 (CONTROLLER) 負責計算要維持船在設定位置所出力，即利用推進器與舵調整。

^⑪ 高精確度控制是用於各種天候海象，代價是不計耗損 (機件、油)。

^⑫ 放鬆模式採較柔順手段，適合於平靜海象，所以不能保證永遠在位。

^⑬ Kongsberg 專屬，為了能節能 (20%) 而設計，藉劃定一水域，可任用該船漂移。

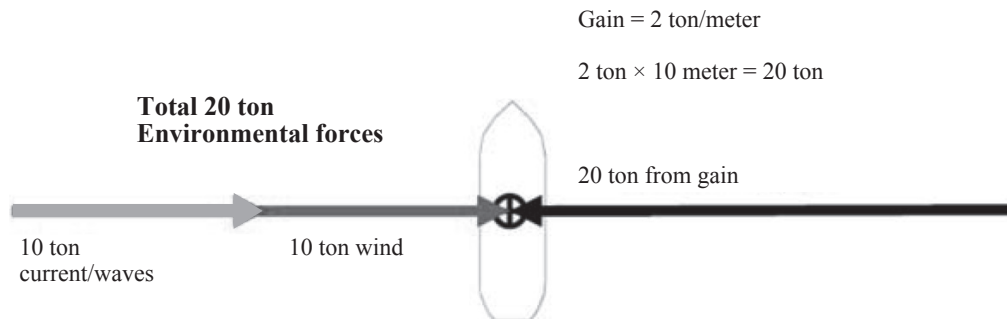
5.3 前饋

前饋控制 (Feed Forward) 是 DP 系統中的一個路徑，專門將外部信號 (風與流等) 傳遞進 DP 之控制器 (DP Controller)。在沒有前饋信號時 (圖 9)，一般在 DP 增益控制 (Gain Control)：低 (LOW; 2 t/m)，假若風有 10 噸，廣義流有 10 噸，總和則為 20 噸，屬於環境外力總和，則 DP 為了要抵禦這 20 噸的外力，折算出： $20 \text{ t} = 2 \text{ t/m} \times 10 \text{ 公尺}$ ；相對應之公式為： $\text{Environmental Force} = \text{Low Gain} \times$

Distance，即產生 10 公尺的偏移。

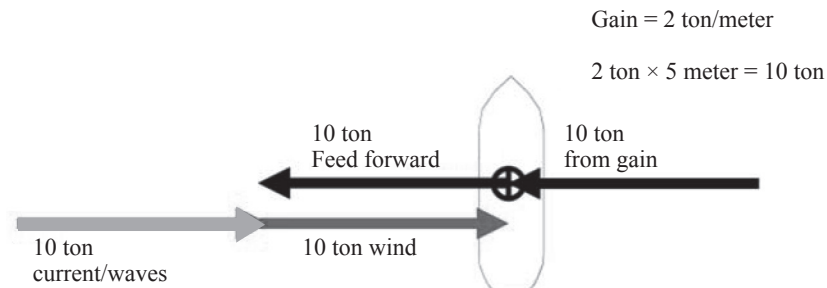
承上，相同環境但有加上風的前饋 (Wind Feed Forward)，則船舶 DP 對風的效應作出反應，系統中僅剩廣義的流對 DP 的外力尚未考慮，一消一長得出 10 噸之流 / 浪效應，相當於 5 公尺之偏移量 (圖 10)。

至此，系統大致底定所謂之誤差力量前饋 (Error Force Feed Forward)，即全歸納成 DP 水流，向此系統呈現平衡，不須再有來自增益之力 (圖 11)。



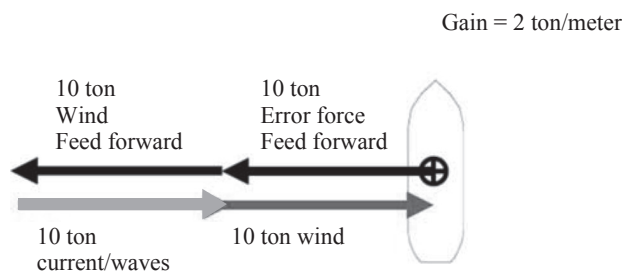
資料來源：Kongsberg (2018B)。

圖 9 平衡點產生 10 公尺偏移量 / 無前饋



資料來源：Kongsberg (2018B)。

圖 10 平衡點產生 5 公尺偏移量 / 有前饋



資料來源：Kongsberg (2018B)。

圖 11 風與誤差力道前饋

前饋 (Feed Forward) 代表誤差力道的對立修正 (Kongsberg, 2018B)。而找尋此力道可藉由知道船舶真實位置及艏向，系統模組僅憑力道來預估船位，所有介於量測船位與預估船位之差，皆納入所謂的未知力道 (Unknown Forces)。將力道解算納入此模組進行持續修正，模組在自我的解算中，使用正確的總和力道 (在模組與現狀吻合時)，精確的船位量測以及更新率亦主宰整個系統功能性。

5.4 傳感器

DP 系統的運作仰賴船位之偵測與解算。船上必須配備一系列之傳感器 (Sensors)：艏向傳感器、運動傳感器、風傳感器、吃水傳感器以及其他相關傳感器。

1. 艏向傳感器可分為電羅經 (Gyro Compass)、光纖羅經 (Fiber Compass) 以及 GPS 羅經。電羅經誤差一般在 $\pm 0.5^\circ$ 之間；光纖羅經在 $\pm 0.01^\circ$ ；GPS 羅經在 $\pm 0.1^\circ$ 之間。艏向之誤差控制在

2° 以內，若有超出 2° 情形，系統採民主機制 (Voting)。

2. 運動傳感器擁有數個類似的稱呼：垂直參考傳感器 (Vertical Reference Sensor, VRS)；運動參考單元 (Motion Reference Unit, MRU)；垂直參考單元 (Vertical Reference Unit, VRU)。圖 12 為典型運動傳感器，運動傳感器之誤差亦控制在 2° 以內，若有超出 2° 情形，系統亦採民主機制投票 (Voting) 決定。運動傳感器主要目的在量測縱搖 (Pitch)、橫搖 (Roll) 以及垂直移 (Heave)。
3. 風傳感器不同形式分作：超音波傳感器 (Ultra-Sonic Sensor)、風傳感器 (Lambrecht



圖 12 運動傳感器

Wind Sensor) 以及傳統機械式傳感器 (Mechanical Sensor)。形式上概分機械以及超音波偵測。風感測器的數據，除了基本風向、風速外，系統納入每一座風速儀之高度值，如此 DP 才能將風的效應做精確計算，將所受之風力轉換成前饋補償。DP2 以上要求：至少配置兩套風感測器，不走民主投票 (Voting) 機制，但選擇那一部風傳感器端賴 DPO 之睿智。假若 DP 船在接近一海上平台時處於下風處，風傳感器所測得風會大於船體實際所受風力，此時易造成 DP 系統運算成 / 視作推進器力道，進而向上風處 (平台) 橫移，更有可能在近距離與平台發生碰撞情事；另外一種情況，但平台船由鑽油井取代，DP 船體受風，但風感測器遭上風處油井遮蔽，當風力明顯增強時，船體被吹離油井，系統無風速明顯增強，則將此位移向量認作廣義的水流。

4. 吃水傳感器，可由感測器或手動輸入，吃水數據會直接影響船舶之風場模組以及流力模組。風場模組通常以船舶出場時之上層結構配置為運算依據，若船舶經改裝與物件加裝易受風影響之物件 (例如；貨櫃等)，整個船舶受風之模組會產生誤差，全都被導入所謂廣義的水流中。
5. 其他傳感器：如轉向率傳感器 (ROT Sensors) 可以協助穩舵之應用，可供高速行駛船舶或船型設計上導致難以穩舵時之協助。

DP 系統都應該要量測到外部力量事件 (External Forces Incident) 與其他任何外力的的影響，並且介入到 DP 系統中，一旦有這外力，DP 系統會以推進器去補償。以海底電纜為例，海纜斷裂時，拉力中斷，系統偵測到隨即將推進器力道降下，並維持本船在既定航道上。但若此斷纜外力並未由 DP 系統得知，所產生之力道變成殘餘力道 (Residual Force)，一般而言，DP 系統會需要 10 ~ 30 分鐘才能察覺此狀況，同時船舶已經過分超過了，在此對操作模式與計算船位所在後，大幅度偏差只能拒絕位置參考系統 (PRS)，有經驗的 DPO 就會強勢介入，並將船舶穩住。

5.5 警報與信息

DP 系統提供給 DPO 一系列警報與信息 (Alarms & Messages)，就如同電子海圖 (Electronic Chart Display and Information System, ECDIS) 給予駕駛台船副警報信息，船副要從 ECDIS 警示視窗中掌握電子海圖提供船舶定位狀況，任何定位之不確定狀況，皆仰賴系統提供之音響及燈光警告，所有作為落在操作者 (End-User) 上。

DP 信息系統將扮演重要角色，DPO 的挑戰在於要知道什麼時間該怎麼處置：DPO 要隨時備便，假如系統出錯，警報所代表意義以及可能帶來的後續影響。DPO 的職責在於馬上找出系統警報原因，並知道如何處置以避免船舶陷於險境。DP 信息的優先順序分作：

緊急 (Emergency) → 警報 (Alarm) → 警告 (Warning) → 訊息 (Information)

任何嚴重之系統故障皆屬緊急 (Emergency)，需立刻檢查原因與影響；當狀況嚴重地影響 DP 的能力與表現時，即以警報釋出；若是提供操作者狀況發生時，若不處理，會衍生非預期之系統反應或者最終會完全故障等，信息功能以警告 (Warning) 示之；訊息為最低 (安全) 等即信文，主要通知操作手目前狀況值得注意，但並不會對系統有嚴重影響。警報與警告值是可在以下數值作決定：

- 定位偏移量
- 艏向偏移量
- Pitch, Roll 與 Heave
- 位置 / 交叉偏移
- 張力設備裝置
- 升降管 (Riser) 角度

任何來自推進器 (Thrusters)、動力 (Power) 及其他系統的警報，都會影響維持目前船況所做的努力。

陸、大地基準與推進器

基準 (Datum) 是在利用數學算式去描述地球的形狀。可分作國家型基準、區域型基準以及全球型基準。國家型的大地基準如臺灣座標系統 TWD97，專屬於自

己國家所用；區域型大地基準涵蓋多國，例如歐洲常用之 ED50 (European Datum 1950)；全球型大地基準提供衛星導航系統 - 全球型大地基準，最具代表性的基準非 WGS84 莫屬。

海事工程常用之座標格式，即 UTM (Universal Transverse Mercator) 座標系統，六度分帶，顧名思義，係將整個地球，每六度為一 UTM 區域，全球共可分作 60 區，南北範圍自南緯 80 度至北緯 84 度。第一區自 180 度西經起向東起算，臺灣 120°E ~ 121°E 屬 UTM 第 51 區。UTM 投影發展於 40 年代末，此座標系統皆以公尺為長度單位，不同於一般航海用之麥卡托式 (Mercator) 海圖，此範圍內所量測之距離皆等值，因此大幅減小海圖變形之情事。UTM 亦是將狀似球體的地球轉換成二度空間顯示。此過程稱之投影，其每幅圖皆有一代表之中央經度 (Central Meridian)，越接近中央經度，圖與真實地形是越貼切的，換言之離中央經度越遠，海圖變形越嚴重。

DP 船上常見^②之動力推進大略可分為：主要俾、舵 (Main Propellers & Rudders)；隧道式推進器 (Tunnel Thruster)；方位推進器 (Azimuth Thruster)；以及吊艙式推進器 (Azipod Thruster)。

主要俾舵泛指單俾舵或雙俾舵，可選用有導流罩 (Nozzle) 裝置，分為可變螺

^② 其他種類之推進系統概有 water jet、Gill jet、Voith-Schneider 以及 Air Thrusters。

距或固定式螺距 (Variable Pitch and fixed RPM ; Fixed Pitch and Variable RPM ; Variable Pitch and RPM)，舵板選用傳統式舵或襟翼式 (Conventional or hi-lift rudder)，一般而言在 DP 運行中，較方位推進系統之油耗差。

隧道式推進器控制船舶橫移 (Sway) 運動，當船舶前進或者退後時，顯得效果大減，除此，船舶在縱搖 (Pitch) 時，效果也差，DP 操縱也比方位推進系統之油耗差。

(全) 方位推進系統 (Azimuth thrusters) 為 360 度全方位推進控制，螺距分固定及可變，轉速 (RPM) 亦同，主體可分固定式及伸縮式。方位推進對擱淺一事非常脆弱，雖然可用作船舶主要推進用，但是就較主要俾舵無油耗效率。

吊艙式推進也可以作 360 度全方位推進，也可應用在主要動力推進，型式為固定螺距及可變轉速。

柒、定位參考系統

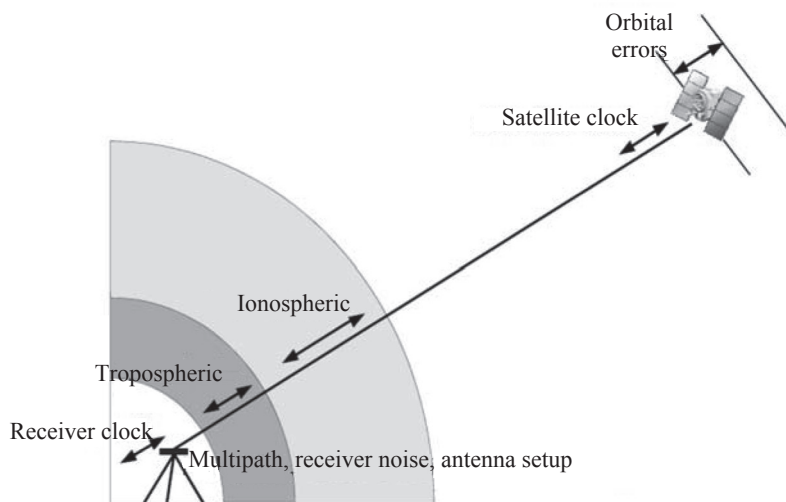
本節討論 DP 船常用之定位參考系統 (Position Reference System, PRS)。船用系統 PRS 依信號傳遞方式分成：無線電波、聲波、雷射光、微波以及機械控制等。

7.1 GPS

GPS 以太空中布放衛星以視線 (Line of Sight) 可及範圍，傳送信號給地球上之接收者以供定位。GPS 可以提供 DP 船所在位置，每一顆衛星負責廣播本身的位置以及廣播發出時間；在地球上之衛星訊號接收機 (Satellite Receivers) 則負責計算出與該衛星之距離 (旅行時間乘以光速)，基本上需要接收到至少四顆衛星訊號，才能計算出所在經緯度、高度以及接收器之時鐘補償。美國國防部宣稱 95% 之信賴區間 GPS 可達三公尺或更佳之精確度 (NOAA, 2020)。首先並解析 GPS 定位含括多種誤差來源 (圖 13)，但實際誤差大小仍有賴使用儀器良莠空中衛星數量以及大氣環境狀況。大致上，軌道及衛星時鐘差可藉差分修正，電離層 (Ionosphere)^② 誤差可用雙頻 (L1、L2) 修正，對流層 (Tropospheric) 如雲層等之干擾則無法避免，陸地上接收器時鐘與接收到的衛星數量有關，多路徑 (Multi-path) 指的是高處障礙物之干擾，接收器噪音與附近收發天線有關，天線設定也會關係到整個誤差來源。

雖然接收器接收到四顆衛星訊號即可，但並非每一顆衛星都能給予良好的幾何位置線 (Geometry)，因此除了尋求空間

^② GPS 現有頻道 L1/L2，將擴充到多個民用頻道：L2C、L5 以及 L1C。



資料來源：Kongsberg (2014A)。

圖 13 GPS 誤差

中最多衛星數量外，也可藉接收其他不同衛星定位系統之衛星訊號²⁴。大多數的 DP 工作需要更精確、更完整 (Integrity) 之定位資訊，差分定位扮演重要角色。差分定位是設立一獨立衛星觀測岸基接收機，並將誤差修正訊號傳遞給海上船舶。傳統差分增進服務 (Differential Augmentation Service)，當地參考站提供兩千公里內之差分修正信號，使用者誤差隨著離該岸台愈遠愈大。差分訊號通常可用如 IALA、Inmarsat、Spot Beam 等服務商提供，而船上則備有相關天線及解碼器來處理差分信號。

7.2 HPR/HiPAP 高精度音響定位

High Precision Acoustic Position (HiPAP) 主要目的是計算與海底置放之應答裝置之相對位置。聲波頻率介於 21 ~ 31 kHz，速率介於 1400 ~ 1540 m/s (一般多採 1485 m/s 為初始設定值)。音頻信號傳播速度與溫度、海水密度及壓力成正比。HiPAP 在 DP 船上專門提供定位參考，也可套用在遠端無人水下載具 (Remotely Operated Vehicle, ROV) 追蹤感測器監控、監控防噴器 (Blow Out Preventer, BOP)。HiPAP 可應用於：

²⁴ GLONASS/Galileo/Compass 衛星定位系統。

- 水下設施：船舶定位與水下目標定位；
- 單錨卸載：船舶定位、管閥定位、錨向監控及張力監控 (yoke tilt/tension monitoring)；
- 鑽探：船舶傳感器 (SSBL/LBL 定位、傾斜遙測器、防噴器控制遙測器)，子船可配防噴器控制系統、船舶 ROV 沉入水下扮演應答器，鑽管近海底處則有傾斜發射器、傾斜差分發射器及定位發射器；以及
- 水下測量：ROV 定位、Autonomous Underwater Vehicle (AUV) 定位、拖魚追蹤與遙測通訊。

HiPAP 操作站介面有：收發器單位、MRU、電羅經及 DP/測量輸出。另外可選用 Seapath system、GPS 輸入、水深感測資料、艏向及 HAIN。以 HiPAP500 傳感器規格為例：接收器窄波束介於 $\pm 5^\circ$ 間；船下操作區域 $\pm 100^\circ$ ；操作距離可達

4000 公尺；距離偵測準確度 ≤ 0.2 公尺；單機版角度精確度 $\leq 0.30^\circ$ 。圖 14 顯示 HiPAP500 是由 241 個傳感器元件所組成並且同時執行傳送與接收。

HiPAP 定位可分三種方式 (圖 15)：

1. 長基線系統 (Long Baseline System, LBL)
2. 短基線系統 (Short Baseline System, SBL)
3. 超短基線系統 (Super Short Baseline System, SSBL)

長基線系統 LBL 需要三至四個發射器 (最多八個) 組成陣列，兩兩發射器可得一基線。船舶藉由依序詢問每一個在海底之發射器，測得在發射器陣列中與各發射器之距離而得定位。在陣列中 LBL 訊答頻道 (LBL interrogation channel, LIC) 可供所有發射器之詢問，海底之發射器以不同頻率回復信號，不同時序，船舶定位與陣列原點相關，一般海底基線 (兩發射器之距離) 約 50~2000 公尺。

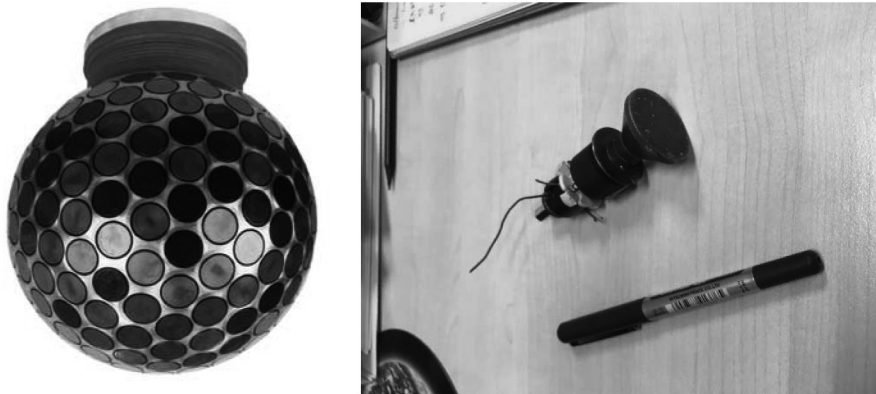
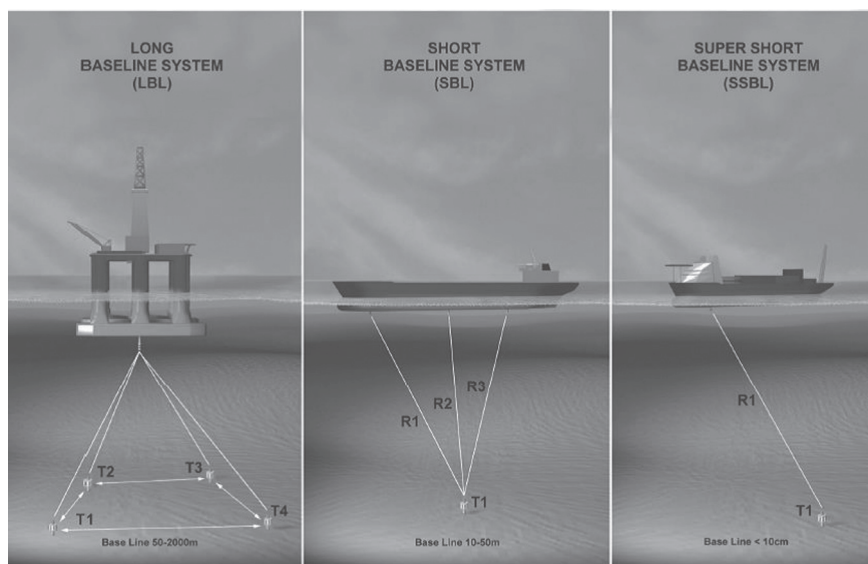


圖 14 HiPAP500 傳感器



資料來源：Kongsberg (2014B)。

圖 15 HiPAP 定位原理

短基線系統 SBL 定位原理量測海底單個發射器到數個傳感器的距離。相對於 LBL，SBL 的基線則是船舶傳感器之間定義的，發射器的位置是相對於船舶之所在，傾斜距離精確小於 5%。

超短基線系統 SSBL 定位原則亦與 LBL 及 SBL 類似，不過船上與海底之發射器及傳感器各為一台。當船舶傳感器發出一詢問脈波給發射器(海底)，發射器會回覆一組回應脈波，利用時間與聲波速度量測可算出距離。定義方向則使用波束

成形 (beam forming) 技術。量測每一個傳感器傳入信號之相位及振幅可以計算出到達該發射器之方向，SSBL 之基線是介於傳感器元件間之距離，並且應在計算式當中。

三種 HiPAP 定位方式各有優缺點(見表 2)，HiPAP 定位方式中實體儀器很重要的一具即發射器。發射器為接收 HiPAP 的音頻信號，並以一相關之信號模式回答；應答器則是藉由線控模式，當脈波擊發時，隨即回覆，所以僅有一個音頻路徑。

表 2 HiPAP 模式優缺點

	LBL	SBL	SSBL
優點	深水區準確度高 (1500 公尺水深，準確度一公尺)	傾斜範圍，僅一個發射器，即使傳感器故障也能維持	只需一個發射器，準確度佳，設定與操作簡單
缺點	海床必須放數個發射器，陣列校準耗時且複雜，更新率慢	昂貴(需數個傳感器)，推進器噪音及氣泡易干擾	深水時，更新率慢 (1500 公尺水深大於 2 秒) 準確度差

水中信號的拍發型式可分為：發射器 (Transponder)、應答器 (Responder) 以及陣列 (Array)。發射器含聲頻接收及發射；置於海床上、遙控載具 ROV 或其他水下結構物上。動作是藉音頻信號擊發，本身之電源供應使用電池。應答器則是一音頻發射器，置於水下遙控載具上，由連接之躋帶線供給電源，藉由電子脈波來作擊發 (躋帶)。陣列的布置則專指在長基線系統 LBL 定位時海底所布放之發射器群。

7.3 雷射定位參考系統

雷射定位參考系統使用雷射波傳遞船舶與工作 (鑽油) 平台 (井) 等之間以定義該船所在位置 (距離及方位數據)，一般型式分為：Spot-track、Fanbeam 及 Cyscan 三種。Spot-track 是船以一對三 (或更多) 的反射器 (工作平台上) 去調整本船位置。Spot-track 因重要及轉動元件均包覆在機具內，較不受外部天候所影響，在不斷之雷射波傳輸間，量測船與平台之方位、距離。Fanbeam 為方位 - 距離雷射系統，專門提供 DP 距離以及相對方位數據。Fanbeam 系統涵括：掃測元件 (見圖 16)、控制元件、監視器以及裝設在平台上之目標元件。

Fanbeam 可做 18 ~ 20 度之垂直掃射雷射波，容許正負 15 度之傾斜，不過工作距離限制在 1 公里，誤差距離值為 0.2 公尺，方位為 0.02°，以 1 公里來算，有 35 公分之別，統整考慮各項誤差，則 1 公



圖 16 Fanbeam 掃測元件

里之傳輸可得 8.7 公尺誤差。Cyscan 與 Fanbeam 類似，可做 16 度之垂直掃測，外加正負 20 度之傾斜調整，Cyscan 傾斜模式分做：零調整、手動調整以及吃水自動調整，Cyscan 的強項在於會對縱搖 (Pitch) 與橫搖 (Roll) 運動作補償。

7.4 調頻連續波雷達

調頻連續波雷達 (Frequency Modulated Continuous Wave; FMCW) 概分 RADIUS 及 RADASCAN 兩種，使用微波技術進行定位，並將距離與相對方位值傳回 DP 系統，一般 FMCW 之工作距離介於 10 公尺至 1000 公尺之間，DP 工作則取至 10 公尺至 200 公尺即可滿足。

RADIUS 可同時對一個或多個平台發射器作詢答以求得方位、距離，距離測量技術即應用 FMCW：掃出發射信號並將已發射信號及接收回波信號作整合，理論上發射之信號會隨著回收信號之旅行時間而改變其頻率、量測發射到接收之頻率

差，並且與距離該發射器成二倍數關係。RADius 詢答元件針對所接收信號作相位差分析，可得方位值。

RADASCAN 工作頻寬在海事雷達工作頻率內，較易受 X 頻 (3 公分) 雷達干擾，儀器安放位置應相互遠離，藉由安放在平台之應答器測得反射信號，該信號為特殊編碼易為系統所辨識，可增進識別與追蹤之效率。RADASCAN 感應器為一全方位三百六十度旋轉天線，以每分鐘一轉 (1 Hz)。表 3 為應用 FMCW 技術之優缺點比較。

7.5 Artemis

Artemis 為微波定位系統，操作距離從 10 公尺到 30 公里不等，但 DP 作業時，最大距離則約為 5 公里。工作頻率與 X 頻雷達 (9.2 GHz ~ 9.3 GHz) 相同，通常應用在接駁油輪上。Artemis 並不需要 Gyro 訊號佐證，因為可由裝置在平台上已知真北及天線方位角 (固定式) 回推得船舶本身之 (真) 方位、距離。另一種方式是移動型天線搭配電羅經，成為船台主要配備，平台上則置放一信標 (Beacon)，船台天線與信標間可得距離，相對移動天線方位 (Relative Mobile Antenna Bearing) 加上電羅經數據可求得平台 (真) 方位。

Artemis 的優點有：較長程系統 (比起 FanBeam、CyScan、RADASCAN、RADius 以及 LTW)；方位距離準確度高；以及信賴度高。缺點則有：易受風浪影響；需要能清楚目識其他天線；平台上固定式站台需合格技師執行設定；每一個天線僅能給一個使用者；船台、岸台都須有電力支援；Artemis 船台、岸台設備高昂。

7.6 海上基線測距儀

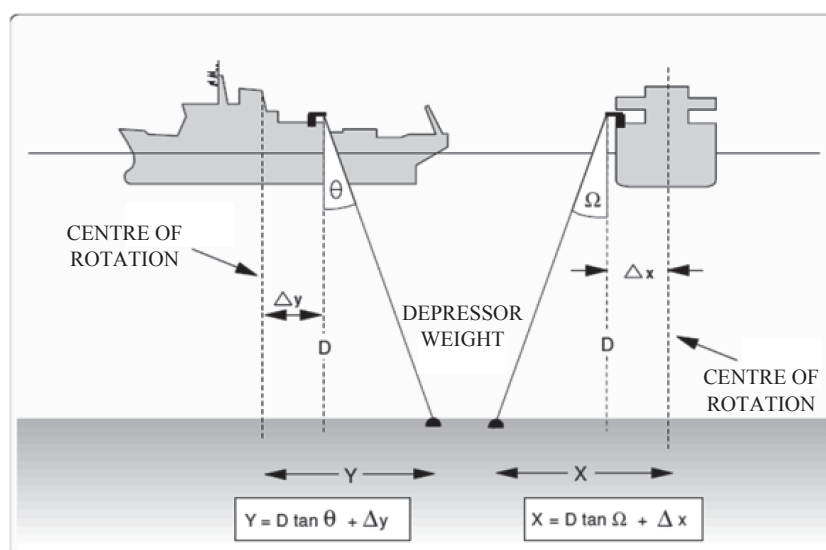
海上基線測距儀 (Taut wire) 屬機械式位置參考系統，是利用連接到海底之鉛錘提供相對於 DP 系統之方位與距離。一船用鉛錘重達 350 公斤，工作水深約在 200 公尺以內、鋼索為 6 mm 執行張力控制。Taut wire 淺水很準，需藉現場 / 當地操作以控制 Taut wire，一般需在 200 公尺水深內以維持一定之定位誤差。此外，海底不能有油管等障礙物，鉛錘雖重仍有被水流拖著走的機會，因此不可不防。Taut wire 定位原理，簡單區分為船體旋轉中心之橫向及縱向位移量 (圖 17)。

捌、計畫與執行

DP 的工作付諸執行前，需針對緊急

表 3 FMCW 優缺點

優點	全天候工作 / 多個發射器配置 / 多個詢答機制 / 無活動之機件即可工作
缺點	工作距離有限 / 發射器吃電池並需每年更換 / 可能與 Artemis 互相干擾 / 可能與三公分雷達互相干擾 / 近距離嚴重橫搖、縱搖時，易斷訊 / 發射器位置至關重要



資料來源：Kongsberg (2014C)。

圖 17 Taut wire 定位原理

狀態、可能遭遇情形以及配套措施做好事前規劃。在計畫開始時，可以檢視以下議題：

- A. 誰（代表船東）能對船舶功能設計以及設下之操作準則？
- B. 誰（代表船長）要對船舶在功能設計範圍內及所設下之操作標準做核對？
- C. 哪一個是必須連續監控及檢查之系統或操作項目？
- D. DP 工作要如何安全地執行？

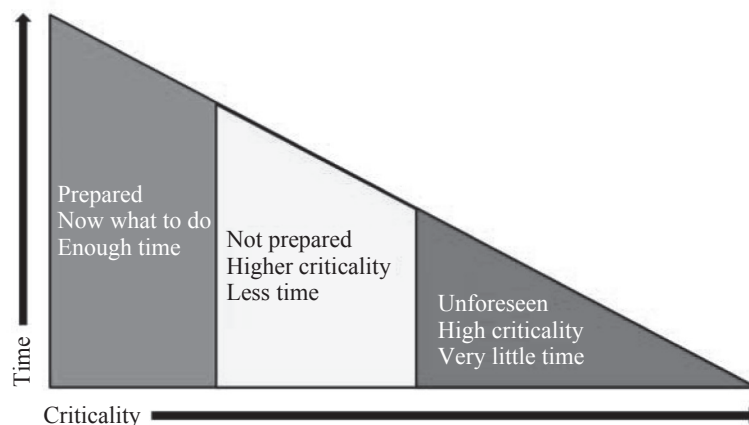
DP 的工作是「九成的例行公事，一成的突發狀況！」。因此事前充分的計畫，至關重要。圖 18 為 DP 作業時，所耗時間與處境嚴重程度的對比。依顏色分為三區塊：綠色代表充分準備，有足夠時間應付；黃色代表未準備，反應時間有限，置

自身於高風險狀態；紅色則顯示未見事件，高風險以及幾乎沒有時間應變。

事先計畫的精神就在於壓縮黃色及紅色的版塊，將大部分歸納於綠色色塊，使得 DP 有完善的計畫，降低突發事件產生頻率，搭配良好決策及安全的操作，讓 DPO 在正確的時間，作出正確的決定。

需事前妥善計畫事項多元，以下條列常見事項：

1. 工區、水下附近、水面上結構物及頭上的危險對應本船所在；
2. 固定位置或工作型態會對船舶操縱或撤离路徑之影響程度；
3. 任何產生外力進而影響船位維持之工作；
4. 工區天候預報；



資料來源：Kongsberg (2013)。

圖 18 DP 作業三色塊

5. 潮流方向與速度以及預報值的可信度；
6. 船舶動力輸出以及推進器對配置；
7. 工區及附近之水深；
8. 船舶裝置的等級以及工作所要求之配置；
9. 以上各點考慮所需多冗餘 Redundancy 及有效動力；
10. 位址參考、備用位置參考系統的可用性以及釐清任何可能導致 PRS 無效之原因；
11. 因為現場施工導致船舶操作或布放水下硬體設施時產生之各種限制；
12. 在任何階段，有附近船舶或駁船的存在以及對本船操控或 PRS 完整性之影響；
13. 本船針對天候或動力狀態改變時之應變能力。

計畫存在之目的在於為最壞狀況作打算。DP 船之事前檢查可能包含：五百

公尺警戒申請、DP 行前檢查、各式定位系統在不同時間點之確認及手、自動操作之切換時機等。本質上，每一個計畫雖不同，但都不離四大原則：

- A. 評估：資訊收集；
- B. 計畫：作業內容分析與標示危險之所在；
- C. 執行：可用檢查表一一查對，嚴密監控船舶以確保計畫之執行；
- D. 觀察：評估成果並且從錯誤中汲取經驗。

8.1 電力與電力管理

電力系統 (Power System) 在 645 通告第 1.3.4 節 (IMO 1994) 闡明為支持 DP 動力系統之所有構件與系統，包含：

1. 含管線重要輔機系統之主動力；
2. 發電機；

3. 配電盤；

4. 配電系統（電纜布線）

直到 2017 年新版 1580 通告 (IMO 2017) 則在第 1.2.20 節，以 645 通告為本；增加第 E 及第 F 項單元：

5. 電源供給（含不斷電系統）；

6. 電力管理系統

典型柴油機電力裝置擁有上述 1 ~ 6 項，永遠以推進器動力為首要考慮，其次是配發剩餘動力給作業負載（如吊車、貨泵、壓艙水泵、鑽探負荷等）及生活負載（如空調、暖氣、廚房、照明等），因此發電機（數個）的選項可以依據任何時間負載情形作調整，以 DP2 為例，電力管理可以讓船當要結束工作，也可保證撤離之安全，換言之，在最差狀況 (the worst case)，DP2 及 DP3 動力輸出都足以應付並將船位維持穩定。

電力管理系統 (Power Management System, PMS) 並沒有在 1994 年的 645 通告明載，僅提到當有 PMS 時，系統冗餘 (Redundancy) 及信賴度需滿足主管機關之要求。直到 1580 通告才正式要求 DP2 及 DP3 至少需備有一部自動 PMS^⑤，也應有冗餘 Redundancy 之設置以及防止跳電措施，目的在於全時維持船上足夠之電力供應，唯有監視以及控制可用之電力配置才能符合安全操作及冗餘 Redundancy 之要求。

8.2 位置參考系統之處理

處理位置參考系統 (PRS Handling) 為一統計方法，可從原始測量界定原始位置，得出船位所在到系統模組的更新。

原始量測 (Raw Measurement) 收集來自電羅經以及 MRU 的資料，並將其轉換成通用參考點 (Common Reference Point)，即船舶中心參考點。此階段位置資料透過凍結測試 (Freeze Test)，針對各項定位方式決定相關權重，其中 HPR/HiPAP 以及 Taut Wire 肯定，而 Fan Beam、RAD、Artemis 以及 DGPS 否定之。另外此階段資料亦透過粗略預期測試 (Rough Prediction Test) 再經過變異計算 (Variance Calculation) 以解算出資料變異數 / 標準差。此時解算之變異數及標準差會同原始定位資料 (Raw Position) 以及 DPO 本身對系統可接受之設定 (天氣好 / 壞，對應選項：Narrow/Normal/Wide)，系統執行預期測試 (Prediction Test)，系統至此產出一位置 (Position)，此資料分別送入變異數測試、差異測試 (Divergence Test) 以及中位數測試 (Median Test)。變異數測試將原始位置之變異數 / 標準差以及期望之精確度^⑥ (一般約介於 1.0 ~ 5.0) 解算 PRS 高變異數值及高噪音。差異測試則是將位置 (Position) 資料合併預期測試 (Prediction Test) 產出之限制資訊得出補償 (PRS High Offset)，差異測試值可制定在最小預期測

^⑤ 1580 通告 3.2.6 節。

^⑥ 期待之準確度，以 GPS 為例約在 1.5 公尺，以 HPR 為例則在 2.2 公尺。

試誤差 (Min. Pre. Err.) 的七成。中位數測試又名投票機制，PRS 最好選單數以得較佳之結果，一般最少應有 3 個線上的位置參考系統，最小預期誤差限制 (Minimum Prediction Error Limit) 為 80%，當有超過一項之 PRS 越過此中位數測試邊際時，離中位數 (位置) 值較遠的 PRS 會被排除²⁷。

整合凍結測試值、變異數測試值、差異測試值以及中位數測試值可得權重控制值，把它連同已解算出之船位數值，搭配使用者的權重調整以及誤差橢圓法 (GPS、HiPAP、Hain 作啟 / 閉設定)，則系統統整權重值並計算船位，此時將數值匯入系統模組以每秒一次之頻率 (1 Hz) 更新。

8.3 結果與能力分析

DP 結果分析 (Consequence Analysis) 是系統內之一軟體功能，專門針對單一錯誤最差狀況也能維持船舶位置之功能。DP2 以上皆須配備此電腦軟體，由於軟體的使用權完全掌握在 DPO 的手上，因此當此軟體之警報響起時，DPO 需意識到操作狀況正在惡化，應立即採取措施以確保船舶之安全。

IMO 645 通告 (3.4.2.4) 與 1580 通告都載明 DP2 等級 (及以上)，須配有結果分析 (Consequence Analysis) 功能軟體，讓該船舶在單一事件 / 最壞情況發生時，仍

能全身而退。此分析應該要能確立推進器 (645 通告)、俾舵 (1580 通告) 在最壞情況發生時，仍能提供與先前相當之動力輸出。假若在結果分析時，發覺因動力不足而無法維持船位或艏向，應向系統提出警報。當工作特殊 (如海底鑽探工程) 需一段時間才能結束，結果分析應納入天候海象趨勢。

DP 系統每一分鐘進行一次結果分析，要有連續三次模擬嚴重情況才會提出警告，因此當狀況惡化時，需等待三分鐘才會有系統警告。此分析可以在所有操作台，分析訊息會由主操控台回報；由 DPO 啟動，而此分析則在 Auto Position 模式下才可執行。以 Kongsberg K-Pos. 的結果分析為例，分作：開始 DP 等級之結果分析、結果分析終止、及結果分析之漂流警告。

8.4 失效模式與影響分析

系統的故障或人為疏失的代價將難以估計，浪費的時間、儀器的損害與喪失，更甚者造成環境的破壞與污染都是不可承受之重。要能清楚辨認可能發生之意外，減少錯誤發生的機會、防止意外的發生，甚至於無法避免時，還能將傷害降到最低，都是引進失效模式與影響分析 (Failure Modes & Effects Analysis, FMEA) 或人為介入可為之事。

²⁷ 中位數設定分為關閉、警告與拒絕三種選項。

執行 FMEA 的工具具有：操作手冊（描述船舶及其設備之用途）；程序書（確認儀器操作正常）；檢查表（雙重確認）；以及 ASOG/WSOG[®]（預防惡化）。FMEA 是在意外發生前，利用系統性方式辨識可能在設計上、程序執行上產生之錯誤。依 FMEA 結果可回饋至設定與程式的改進，甚至是操作過程亦可被改善。FMEA 的執行為一輪迴：1. 偵測錯誤模式；2. 評估嚴重程序；3. 評估機率；4. 定義危機程序；5. 採取行動與檢查。

IMO 及各船級社針對 DP2 以上等級之系統執行 FMEA，業主更會要求執行 FMEA 以確認該船是否能勝任工作。更深入 FMEA 檢查 DP 的控制系統架構電腦與作業台、PRS 與其感應器、發電機及其管理與電力分配系統、推進器及俾葉系統、DP 警示及其他通信系統，最後人為因素則與船級社所要求的部分一併受檢。

玖、小結

動態定位系統操作人員之職前訓練為具有航輪背景船員提供最初階的系統認識課程。動態定位系統操作人員之專業養成有一套國際通用之訓練課程、學習履歷制度、海上實習資歷認列以及三明治型教學再訓練等標準程序。每一位適任之操作

手皆經過反覆訓練、實船與模擬機交叉操作才得以授予合格之操作證書。由於離岸風力正逢國家綠色能源發展盛事，近期臺灣海峽風電工區將湧現各型海事風電工作船，風場內機具組裝工程將仰賴各式裝備動態定位系統之工作船舶。我國應正視此類專業人員在地化之迫切需要，更能貼切國家綠能之技術移轉政策，我國新一代船員全方位技能之培育，寄望能在全球再生能源發展之浪潮，以離岸風力發電海事工程領域從臺灣出發而後放眼全球。現今國內正式之國籍動態定位系統操作手屈指可數，更遑論合格之國籍船舶動態定位系統訓練教官，因此現階段離岸風電工程船之系統操作手仍需仰賴外籍人士，臺籍操作人員之授證過程又必須仰賴類似師徒制之海上資歷簽證程序，每當遇到外籍操作手評量自身在工作船上之工作機會時，便有可能替是否幫臺籍船員簽證產生許多變數，這不單是委由船東、開發商去改善此操作實習之師徒關係，更需要認真看待實際工程的配合與臺籍、外籍操作手間之合作模式。

動態定位系統是為一電腦統籌系統，憑藉對外部力量之觀測，審視自身俾、舵、推進器等之有效能量，循規蹈矩對計畫中之船舶運動計畫，以動力輸出完成計畫船舶運動之任務，看似科技成分高取代多數時間之人力介入，

[®] ASOG 全名為 Activity-Specific Operating Guidelines，WSOG 全名為 Well-Specific Operating Guidelines。

卻不減動態定位操作手之地位，一個訓練有素的動態定位操作手，並不是在冗長的當值過程中完成各項既定之定位任務，操作手的價值是在系統出現疑問、錯誤或者錯誤動作時，能夠冷靜處理並且維持船舶於安全之地。

參考文獻

交通部航港局，2020，採用海上移動式鑽探裝置構造和設備章程及國際船舶極區水域營運章程因應航運需求，<https://www.motc.gov.tw/>，2020 年 05 月 21 日。

Bowditch, N., 1995. *The American Practical Navigator*, National Imagery and Mapping Agency, Maryland, 113-142.

Bray, D., 2008. *DP Operator's Handbook*, The Nautical Institute, London.

IMO, 1994. *Maritime Safety Committee Circular 645, Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems*.

IMO, 2017. *Maritime Safety Committee Circular 1580, Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems*.

Kongsberg, 2013. *Planning Worksite Approach and DP Set-up*, Kongsberg DP Induction Course, p. 5.

Kongsberg, 2014A. *GNSS*, Kongsberg DP Induction Course, p. 9.

Kongsberg, 2014B. *HPR / HiPAP*, Kongsberg DP Induction Course, 1-38.

Kongsberg, 2014C. *Taut Wire*, Kongsberg DP Induction Course, p. 8.

Kongsberg, 2018A. *Dynamic Position Introduction*, Kongsberg DP Induction Course, 1-31.

Kongsberg, 2018B. *K-Pos 8.2 DP System Principles*, Kongsberg DP Induction Course, 1-20.

NOAA., 2020. *GPS Accuracy*, <https://www.gps.gov/> (accessed 18 February 2020)