

彰化風場航道海上交通管理之探討

蔡奇呈¹ 吳波²

¹ 中央警察大學水上警察學系助理教授

² 中央警察大學水上警察研究所研究生

摘要

海上交通管理即是以航道系統、助航設施與船舶交通服務等為主要執行項目。本文以彰化風場航道海上交通管理為探討對象，彙整國際海事組織（IMO）A.1158（32）決議案及國際燈塔協會（IALA）G1089 號準則對於 VTS 服務項目之建議，並以航道設計與環境等因素分析彰化風場航道，其中，航道設計因素主要為多股交通流匯流於警戒區，其將導致碰撞情勢之發生；環境因素則為風、流與浪對於船舶操縱之影響，尤其是秋冬兩季風力強勁的情況。根據分析結果提出建議，包括海上交通規則之擬定、因應碰撞情勢應提供的服務、加強海氣象資訊的提供與預測等建議，期能供主管機關做為後續發展之應用參考，具體增進航行安全。

一、前言

行政院於 2008 年發布「能源轉型，打造綠能科技島—綠能科技產業創新推動方案」，離岸風力發電為其重點項目之一，計畫在彰化及苗栗外海等海域大量建置離岸風力發電機組，期能達成 2025 年離岸風力發電 5.7GW 的目標。

因應離岸風力發電機組的大量建置，原有的海上交通型態勢必改變，海上交通管理制度之建立，即是確保航行安全最重要的手段；其中，航道系統（Ships' routing system）、助航設施（Aids to navigation, AtoN）以及船舶交通服務（Vessel traffic service, VTS）等為該制度主要項目。據此，交通部航港局於 2021 年 4 月 26 日核定公告發布「彰化風場航道」及其航行指南，並於同年 10 月 26 日正式實施，彰化 VTS 亦同時開始營運。然而，針對有關彰化風場航道航行安全之疑慮，學者曾發表多篇文章評論（陳彥宏，2016，2019，2020）；VTS 制度之健全，即是確保航道航行安全的重要手段之一，尤以離岸航道 VTS 更顯重要（Jeong and Jung, 2012）。

國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）近年陸續發布有關 VTS 之指南，包括其組織、法規、作業機制與訓練計畫等相關事項之建議，並授權國際燈塔協會（International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA）擬定相關細則。2021 年底至 2022 年初，IMO 與 IALA 陸續通過並發布 A.1158（32）決議案（Guidelines for Vessel Traffic Service），以及 G1089 號準則（Provision of A VTS）。彰化 VTS 如

何因應此最新國際規範之建議，提供符合該規範的服務項目，即引發本研究的強烈動機。

本文首先彙整 A.1158 (32) 決議案與 G1089 號準則有關 VTS 的作業機制之建議；繼而，說明彰化風場航道之現況，以航行安全為目的，透過航道設計與環境等兩個因素進行分析；進而歸納彰化風場海上交通管理之建議；最後，則提出結論與建議。

二、最新國際規範

依序簡介 IMO 與 IALA 針對 VTS 發布之最新決議案與規定。其中，本文以 VTS 應提供的服務項目為主要探討對象。

依據 A.1158 (32) 決議案對 VTS 之建議，其應具備提供及時資訊 (Timely and relevant information)、船舶交通監控與管理 (Monitoring and managing ship traffic) 以及發展中不安全情勢反應 (Responding to developing unsafe situations) 等服務；其中，提供及時資訊係指及時提供影響船舶動態及決策分析之相關因素，包括他船之動態、海事安全資訊等；船舶交通監控與管理係以確保航行安全與有效率的船舶動態為目的；發展中不安全情勢之反應則是指透過提供航行基本安全以降低不安全情勢之發生。

IALA G1089 號準則係將前述決議案之規範，進一步述明其服務項目。依序說明如下：

1. 提供及時資訊：航行狀況、航行警告、氣象資訊、氣象警告、水文資訊、電子助航設施、港口營運相關資訊等，彙整如表 1。
2. 船舶交通監控與管理：交通許可、錨泊管理、航行規則、水道管理等，彙整如表 2。
3. 發展中不安全情勢之反應：要求與識別、導航資訊、航行建議、航行警告、航行指示等，彙整如表 3。

表 1 提供及時資訊內容

資訊內容	項目範例
航行狀況， 包括交通與航道資訊	他船位置、識別、目的地與意圖等；有關 VTS 邊界、程序、無線電通訊與報告點資訊之修正與變更；船舶動態之強制報告；因他船或潛在障礙造成的航行限制；航路之暫停或取消。
航行警告	未圖示的障礙物；潛水作業；操縱失靈船舶。
氣象資訊	風向與風速；浪向與浪高；能見度；大氣壓力；浮冰資訊。
氣象警告	大風；暴風；海嘯；能見度受限。
水文資訊	海床狀況；水深準確度；潮高；潮流。
電子助航設施	GNSS、DGNS、AIS、LRIT 與 RACON 等。
其他資訊	港口資訊；領港或拖船請求；貨物資訊；健康狀態；港口國管制；ISPS 資訊。

資料來源：IALA G1089 (2022)。

表 2 船舶交通監控與管理內容

資訊內容	項目範例
交通許可	進入 VTS 範圍；開航或起錨；進入航道；可能造成航行阻礙的操縱。
錨泊管理	進入錨泊區的動態管理；錨位指示；錨位協助。
航行規則	速限；航道規則；領港要求；交通規則。
水道管理	航行計畫通報；報告點或線；無法回頭點的交通組織；航道限制與龍骨下餘裕；航行安全區與危險區；依據氣象、水文等資料之交通組織。

資料來源：IALA G1089（2022）。

表 3 發展中不安全情勢之反應內容

資訊內容	項目範例
要求與識別	船舶位置、航向與航速等識別；船舶設備；航行輔助之開始與結束。
導航資訊	岸標、航道或轉向點之方位距離；航行危險；進入航行巷道資訊。
航行建議	航向或航速改變；遠離船舶或區域。
航行警告	偏航或接近障礙物；水下作業；操縱失靈船舶。
航行指示	遠離危險區。

資料來源：IALA G1089（2022）。

三、彰化風場航道現況

因應我國能源轉型政策，彰化與苗栗外海等海域陸續建置離岸風力發電機組；據此，航港局於民國 110 年 4 月 26 日核定公告發布「彰化風場航道」及其航行指南，並於民國 110 年 10 月 26 日開始實施，風場航道位置如圖 1 所示。本文將針對彰化風場航道設計及其環境兩個因素進行討論；並以航行安全為目的，進行綜合分析。

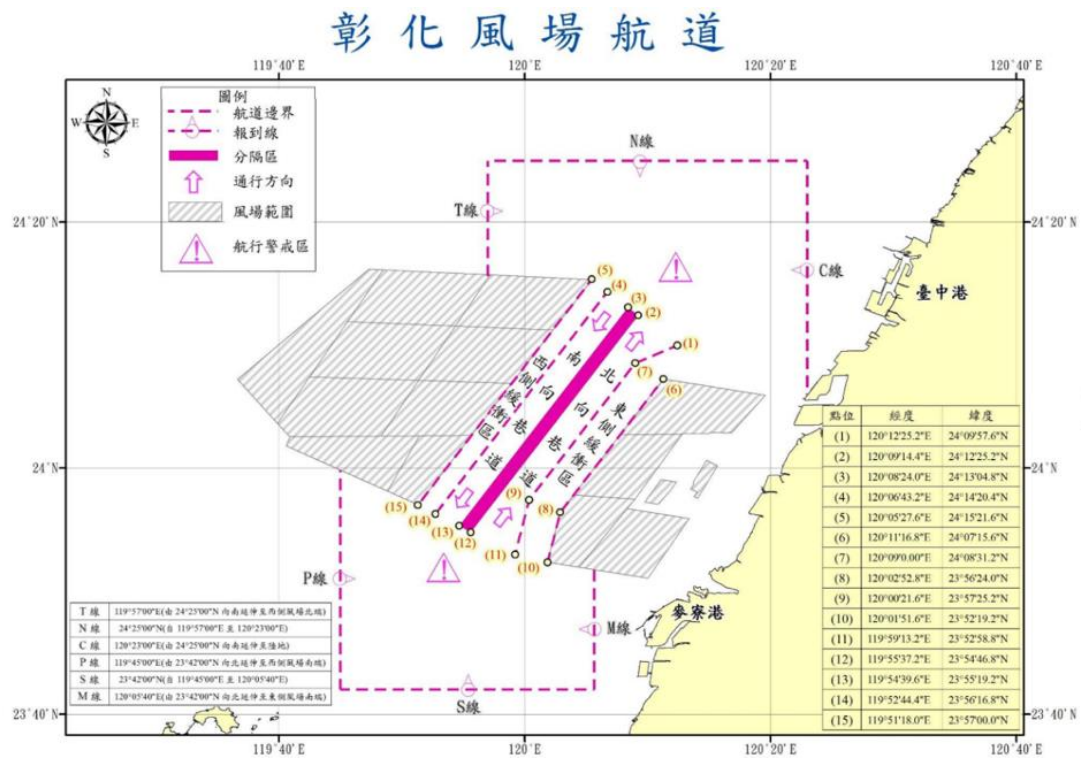
3.1 航道設計因素

彰化風場由東向西，航道系統之設計分述如下：

1. 彰化外海近岸航行區：主要提供總噸位未滿 300 的船舶或我國漁船航行。
2. 東側緩衝區：供漁船、風力發電工作船，且允許雙向交通，寬度為 2.5 海里。
3. 北向航道：我國軍事建制之艦艇及公務船、客船、非我國籍漁船、載運有害物質的船舶以及總噸位 300 以上且非屬我國籍漁船之船舶，此為單向航道，航向 035°，寬度為 2 海里。
4. 分隔區：非緊急避難時，不得使用，寬度 1 海里。
5. 南向航道：使用對象、寬度與北向航道相同，亦為單向航道，航向 215°。
6. 西側緩衝區：使用對象與航行方向與東側緩衝區相同，寬度為 0.5 海里。
7. 北側警戒區：為航道進出口端，且鄰近臺中港航道。

8. 南側警戒區：為航道出口端，且鄰近麥寮港航道。

航道系統設計，因各區域之劃設，將導致對向的船舶交通流或交通流匯集等現象，前者如緩衝區，後者則為警戒區，將影響船舶航行安全，尤其是增加航行船舶的碰撞危機。有關航道設計因素對於航行安全之影響，將於 3.3.1 分別討論之。



資料來源：交通部公告（2021）。

圖 1 彰化風場航道示意圖

3.2 環境因素

彰化風場鄰近地區因風力資源充足，而規劃大量風力發電機組之建置。依據臺中港附近海域之觀測資料（林達遠等，2020）彙整，風、流與浪等可能影響航行安全之環境因素彙整如表 4，並分述如下：

- 1. 風：平均風速 9.6 m/s（約 18.7 節），以冬季平均風速較高，13.0 m/s（約 25.3 節），其餘各季平均風速範圍在 8.2 m/s（約 15.9 節）至 10.6 m/s（約 20.6 節）；風向除夏季以西-南象限所占比例較高外，其餘三季均以東-北象限較高，尤以冬季佔有 91.4%；另由觀測資料顯示，臺中港附近各月平均風力以十至一月較強，最大風速達 28.3 m/s（55.0 節），已屬狂風（Storm）等級（24.5~28.4 m/s）。
- 2. 流：平均流速 37.8 cm/s（約 0.7 節）；冬季平均流速較其他季節高，43.6 cm/s（約 0.8 節），其餘三季流速範圍在 32.6 cm/s（約 0.6 節）至 37.9 cm/s（約 0.7 節）；春季與夏季流向均以西-北象限與東-北象限較高，秋季與冬季則以西-南象限與西-北象限較高。

3. 浪：平均波高 1.5 m，以冬季 2.1m 較高，其餘三季範圍在 0.9 m 至 1.8 m 之間；波向除夏季在東-北、西-南與西-北等象限分布較為平均，其餘三季均以東-北象限較高。

表 4 風、流與浪等分析資料彙整表

	平均風速(節)	風向	平均流速(節)	流向	平均波高(m)	波向
春	15.9	N-E	0.6	W-N N-E	1.3	N-E
夏	12.8	S-W	0.7	W-N N-E	0.9	W-N N-E
秋	20.6	N-E	0.7	S-W W-N	1.8	N-E
冬	25.3	N-E	0.8	S-W W-N	2.1	N-E
全期	18.7	N-E	0.7	S-W N-E	1.5	N-E

資料來源：林達遠等（2020）。

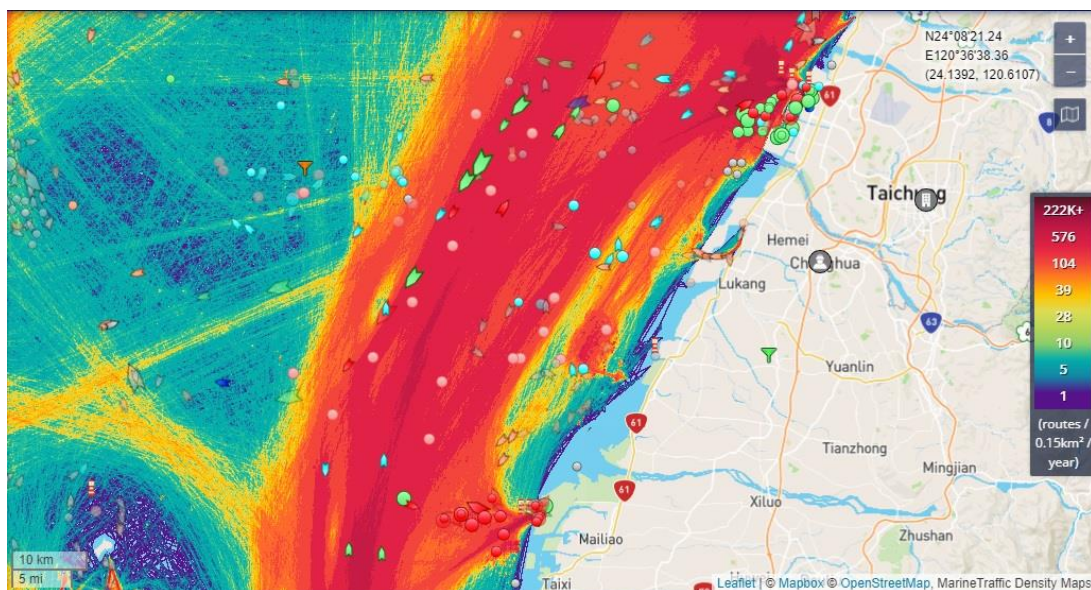
3.3 綜合分析

依序分析航道設計與環境等因素對於航行安全之影響，據以做為海上交通管理之建議。

3.3.1. 航道設計因素

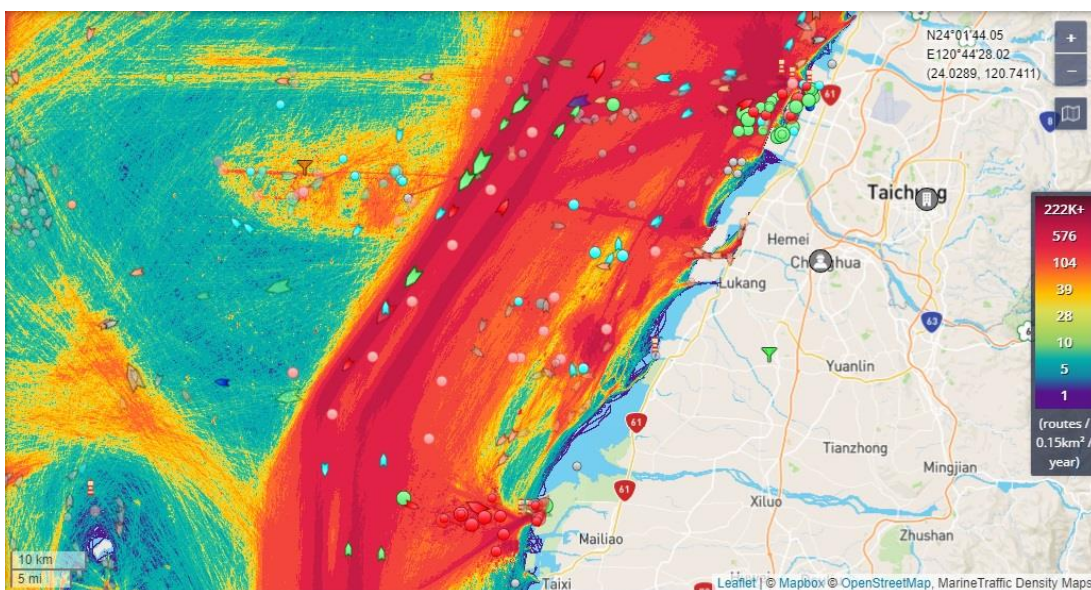
經過統計，每日行經臺灣海峽的船舶約有 483 艘次（Chai and Xue, 2021），尤以航行於西部沿海基隆、臺北、臺中以及高雄等港之船舶為主，船舶交通流量較大。而彰化風場航道劃設後，將原本航路寬度 25 至 30 海里限縮至南北航道各 2 海里的範圍（陳彥宏，2020），單位面積之船舶密度勢必增加，造成匯流處與航道內航行安全之疑慮。其次，由 2020 與 2021 年臺中至麥寮間全年之船舶軌跡分佈圖（如圖 2、圖 3）可知，除前述船舶交通流由原本寬闊水域限縮至航道內造成風險外，圖 3 顯示臺中港與麥寮港附近另有東西向的交通流與南北航向之航道系統匯流，此即為兩港之進出港航道。此外，由交通部航港局發布之航行指南可知，東側與西側緩衝區適用於漁船與風電工作船，且允許在 2.5 海里與 0.5 海里寬的航道內雙向航行。

航道設計因素對於航行安全之影響，概可由警戒區、南北向航道與緩衝區分別探討之。南北警戒區內，由於航道寬度由原本 25 至 30 海里限縮至 2 海里之航道內，南北向匯流之船舶將造成船舶追越情勢（Overtaking）之發生，亦即一船由另一船正橫後 22.5°駛近且含有碰撞危機的情況；其次，以北側警戒區為例，包括離開或進入航道、臺中港進港或出港、離開或進入緩衝區等數股交通流匯流，亦將造成迎艏正遇（Head-on situation）與交叉相遇（Crossing situation）等碰撞情勢，其中，前者為相反航向或幾乎相反航向駛近，且含有碰撞危機的情況，後者則為兩船航向交叉且含有碰撞危機的情況。南北向航道內，因船舶匯流後，無論航速或船舶尺度差異之船舶均被限縮在 2 海里的寬度中，將有追越情勢之發生。緩衝區內，則因航道內允許雙向通行，有別於南北向的航道內僅允許單向航行，將產生迎艏正遇之碰撞危機。



資料來源：MarineTraffic（2022）。

圖 2 2020 年臺中至麥寮間船舶軌跡分佈圖



資料來源：MarineTraffic（2022）。

圖 3 2021 年臺中至麥寮間船舶軌跡分佈圖

3.3.2.環境因素

由表 4 可知，航道附近秋冬季以東-北象限的風向、流向以西-南象限較為強烈；夏季時，風向以西-南象限、流向則以西-北與東-北象限為主；另由航道設計可知，南向航道之航向為 215° ，北向航道 035° 。據此，風向與流向對於船舶操縱之影響概可分為三種情況（蔡坤澄，2010；徐國裕，2011）：其一，航向相同，將導致船艙易於向任一側偏轉；其二，與航向相反，則有剎車效果，船舶操縱性較佳，然而，若風速過大，如前述冬季最大風速達到 55 節狂

風等級時，將大大降低船舶航速，甚至無法前進；其三，風向、流向與航向不完全相同或相反時，相對風向與流向將產生風壓力矩與流壓力矩，兩者之合力若大於船舶之舵壓力矩，則產生風壓差，使船舶朝向下風處偏轉，嚴重者，則將導致船舶無法保持航向。其中，第三種情況在限制水域常有事故發生，如 *Regal Princess* 於 2001 年在澳洲凱因港（Port of Cairns）出港，事發當時風速達 15-20 節，該船在引水人領航情況下，仍因風壓過大，導致擱淺事故發生（徐國裕，2011；Australia Transport Safety Bureau, 2002）。

四、彰化風場航道海上交通管理建議

誠如前述，海上交通管理之主要手段為航道系統、助航設施與 VTS 等。彰化風場航道及 VTS 則於 2021 年 10 月 26 日正式實施；IMO A.1158（32）決議案與 IALA G1089 號準則等為目前最新有關 VTS 之國際規範。本文以 IMO 與 IALA 建議之服務項目，對應前述分析的彰化風場航道設計與環境等因素，彙整如表 5，並依序說明如下，據以歸納並提出彰化風場航道海上交通管理之建議。

航道設計因素對於航行安全之影響，主要係因船舶交通之匯流，導致船舶碰撞情勢之發生，包括追越、迎艏正遇以及交叉相遇等情勢；針對船舶避碰，對應最新國際規範的項目即包括：

1. 提供及時資訊：航行狀態、航行警告等。
2. 船舶交通監控與管理：交通許可、航行規則以及水道管理。
3. 發展中不安全情勢之反應：要求與識別、航行建議以及航行警告等。

其中，有關交通許可、航行規則以及水道管理等均與海上交通法規相關，惟我國目前係以參採國際公約方式執行，其有必要將相關國際規範內國法化，使海上交通管理及 VTS 之執行具備法源依據。航行狀態、航行警告、要求與識別、航行建議等，則可由 VTS 對於水域狀況之掌握，定時或者在船舶請求時提供，據以增進航行安全。

另一方面，環境因素係風、流與浪等對於船舶操縱性能之影響，以 IMO 及 IALA 之建議而言，即是提供及時資訊的氣象資訊與氣象警告。其可透過定時推播海氣象資訊及其預測，供航行員做為船舶操縱之參考；當風力過大時，則應進一步評估船舶通過航道之安全性，必要時則應管制船舶通過航道，避免船舶因操縱困難而無法保持航向，導致海難事故之發生，例如船舶碰撞或者觸撞發電機組。事實上，袁順光等人（2011）以概念性、測試性與保守性等原則，評選出一套半經驗暨半解析的船舶操縱概估公式，透過易取得之船舶基本要項資料（Ship's particular），配合海氣象資料，即可評估舵壓力矩是否大於風壓力矩與流壓力矩之合力，判斷船舶是否具備保持航向能力；換言之，VTS 應可透過此等評估模式，在船舶進入航道前先行評估其是否具備保持航向能力，做為航道管制之參考，據以增進航行安全。

表 5 彰化 VTS 因應策略彙整表

國際規範		船舶避碰	操縱性能
提 供 及 時 資 訊	航行狀態	●	
	航行警告	●	
	氣象資訊		●
	氣象警告		●
	水文資訊		
	電子助航設施		
	其他資訊		
船 舶 交 通 監 控 與 管 理	交通許可	●	
	錨泊管理		
	航行規則	●	
	水道管理	●	
發 展 中 不 安 全 情 勢 之 反 應	要求與識別	●	
	導航資訊		
	航行建議	●	
	航行警告	●	
	航行指示		

註：●表示最新國際規範對應至彰化風場航道設計與環境等因素應提供的服務項目。

資料來源：本研究整理自 IMO A.1158 (32) (2021) 與 IALA G1089 (2022)。

五、結論與建議

海上交通管理即是以航道系統與 VTS 為主要執行項目。本研究以彰化風場航道海上交通管理為探討對象，首先彙整 IMO 與 IALA 陸續發布的 A.1158 (32) 決議案以及 G1089 號準則等 VTS 提供服務之建議，包括提供及時資訊、監控與管理船舶交通、發展中不安全情勢反應等；繼而，以航道設計與環境等因素等分析彰化風場航道，以航道設計因素而言，其即與船舶避碰有關，概因南北兩側警戒區內匯流多股船舶交通流，而航道與緩衝區內另有追越與迎艏正遇等碰撞情勢；環境因素係因風場範圍內，風力資源旺盛，但風、流與浪等環境因素對於船舶操縱性能之影響甚大，不僅可能造成船舶無法前進甚至倒退，亦有可能導致船舶無法保持航向，而造成海難事故。最後，則是依據前述分析，提出彰化風場航道海上交通管理之建議，包括：為健全海上交通管理與 VTS 執行之依據，有必要擬定海上交通規則；其次，VTS 應針對航道範圍內之船舶進行監控與管理，並及時提供相關資訊，諸如航行狀態、航行警告、要求與識別、航行建議等；此外，強烈建議 VTS 應定時提供相關海氣象資訊或預報，或進一步透過船舶操縱性能之評估，針對風力過大情況進行管制，避免海難事故之發生。本研究成果期能提供主管機關做為後續改善之參考，據以增進航行安全。

參考文獻

1. 行政院新聞稿（2021 年 8 月 13 日），「能源轉型，打造綠能科技島—綠能科技產業創新推動方案」，行政院重要政策。取自：<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/f0c0d485-a977-40cc-acab-5e19e210fd85>，擷取時間：2021 年 11 月 23 日。
2. 交通部公告（2021 年 4 月 26 日），「彰化風場航道」。取自：https://odmdoc.motc.gov.tw/IFDeWebBBS_MOTC/ExternalBBS.aspx?ThirdDocId=110RD01717，擷取時間：2021 年 5 月 30 日。
3. 經濟部能源局（2020），能源轉型白皮書（核定本），經濟部。
4. 陳彥宏（2016），「總編輯評論：有關離岸風力電場與船舶航行安全的議題」，台灣海事安全與保全研究學刊，第 7 期第 6 卷，2016 年，第 59-69 頁。
5. 陳彥宏（2019），「總編輯評論：離岸風場的海上航行風險與因應機制」，台灣海事安全與保全研究學刊，第 10 期第 3 卷，第 1-17 頁。
6. 陳彥宏（2020），「總編輯評論：白話文的海上交通風險—談彰化水道離岸風電分道通航」，台灣海事安全與保全研究學刊，第 11 期第 6 卷，第 1-23 頁。
7. 林達遠、羅冠顯、張維庭（2020），「臺中港海氣象觀測及特性分析」，第 42 屆海洋工程研討會論文集，第 435-442 頁。
8. 蔡坤澄（2010），操船學，倫悅企業有限公司。
9. 徐國裕（2011），船舶操縱—理論與實務，第二版，五南圖書出版公司。
10. 袁順光、蔡奇呈、黃俊誠、林晉璋、陳志立（2011），「大型船舶進入基隆港之安全評估模式」，航運季刊，第 20 卷第 3 期，第 19-37 頁。
11. Jeong, J. Y. and Jung, C. Y. (2012). Empirical Study on the Performance Analysis and Function of Jindo Coastal Vessel Traffic Service, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety 18(4), pp.308-315.
12. IMO (2021). A.1158 (32), Guidelines for Vessel Traffic Service, Adopted on 15 December 2021.
13. IALA (2022). G1089 Provision of A VTS, IALA Guideline, 2nd edition, 2022.
14. Chai, T. and Xue, H. (2021). A study on ship collision conflict prediction in the Taiwan Strait using the EMD-based LSSVM method”, PLOS ONE, 16(5), e0250948.
15. MarineTraffic (2022). Vessel Historical Track, <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:120.2/centery:24.0/zoom:10>，擷取時間：2022 年 4 月 21 日。
16. Australia Transport Safety Bureau. (2002). Marine Safety Investigation Report—Regal Princess (Report No. 166).