

漁船油電複合動力推進系統

郭正元、沈聖智

國立成功大學漁船及船舶機械研究中心

摘要

漁船長期依賴柴油作為主要推進能源，導致高營運成本與顯著碳排放。本研究針對臺灣典型小型至中型漁船，首次導入油電混合動力系統並進行實船測試，系統性評估其節能與減碳效益。研究對象包含北部燈火漁業與南部延繩釣漁船，分別安裝柴油主機搭配 27 kW 電動馬達與 20 kWh 鋰鐵電池模組，並透過燃油流量計與電池管理系統蒐集能耗數據。結果顯示，燈火漁業單航次燃油消耗由 210 L 降至 144 L，碳排放減少 28%；延繩釣漁船則由 358 L 降至 228 L，碳排放減少 33%。節能效益主要集中於長時間照明與低速收放繩等階段，電動馬達能有效分擔主機負載並提升效率。經濟分析指出，每航次可節省新台幣 953 – 1947 元，年節省 22 – 45 萬元，投資回收期僅需 2 – 3 年。綜合而言，本研究證實油電混合系統能顯著降低漁船燃油消耗與碳排放，並具備快速回收成本的潛力，對臺灣漁業能源轉型與永續發展提供了實證依據與推廣價值。

關鍵詞：油電混合動力、漁船、節能減碳、淨零碳排。

緒論

漁船是海洋運輸與漁業生產中能源密集度最高的部門之一，長期依賴柴油燃料，不僅導致高昂營運成本，也造成顯著的溫室氣體排放^[1]。全球漁船每年約消耗 400 億公升柴油，排放超過 1 億噸二氧化碳當量，使漁業在氣候變遷議題下備受關注^[2]。尤其亞太地區小型與中型漁船占比極高，能源效率普遍偏低，能源轉型需求迫切^[3]。

國際間已逐步導入油電混合系統。歐洲與北美的研究指出，混合動力系統能有效降低燃油消耗，特別是在低速與間歇性作業情境下效率更為顯著^[4-5]。例如，挪威已推動全電或混合電池漁船^[6-7]，加拿大 P.E.I.亦展開龍蝦漁船混合化示範^[8]，顯示漁船能源轉型已成國際趨勢。

此外，國際海事組織(IMO)與歐盟皆針對航運部門提出減碳路徑，目標在 2030 年前減少 40% 能耗、2050 年達成淨零^[9]。相關措施包括推動低硫燃料、岸電供應、漁具電氣化與混合動力推進技術^[10-11]。研究也指出，混合動力不僅能減少二氧化碳排放，對降低氮氧化物與懸浮微粒亦有顯著效益^[12-13]。

然而，目前針對漁船實際作業條件的實證數據仍有限。多數文獻著重於燃油效率或替代

燃料潛力(如 LNG、氫能、氨等)，缺乏油電混合系統在漁業場景的量化成效^[14-16]。因此，本研究針對臺灣不同漁法(如燈火、一支釣與延繩釣)之漁船進行油電混合系統實船測試，透過燃油與電力數據比較，系統性分析節能率與碳排減量。研究目標在於：(1)評估油電混合系統於不同漁業操作模式下的能源效益；(2)建立可供國際比較的漁船能源與碳排量化方法；(3)探討其在臺灣能源轉型與漁業減碳政策推廣上的應用價值。透過此研究，期望補足文獻缺口，並為亞太及全球永續漁業提供實證依據。

材料與方法

本研究旨在開發並評估一艘以油電混合動力為核心的漁船，透過系統性設計與實船測試，驗證其在沿近海作業中的性能與可行性。研究方法分為船舶設計、系統選型、改裝與實驗測試三個主要階段。船舶設計以現有 5–30 噸級柴油漁船為基礎，重新配置動力系統、電池艙與配電系統，以滿足油電混合化所需的空間與安全要求。在系統選型方面，針對主推進馬達與減速齒輪、鋰鐵電池模組與電池管理系統(BMS)、以及岸電與船上發電機的充電介面，均依據漁船作業型態、功率需求與耐用性進行篩選與配置。此外，為提升系統穩定性，電池模組採用具備熱管理設計之鋰鐵電池，BMS 則具備過壓、過流及溫度保護機制。

完成改裝後，研究團隊進行港內靜態測試與外海實航測試。靜態測試主要針對電池充放電效率、馬達輸出特性與系統整合穩定性進行量測，並模擬不同推進負載與輔助設備運轉情境。實航測試則涵蓋不同漁業操作模式，包括低速進出港航行、燈火作業與捕撈作業等，分別記錄柴油消耗量、電力耗能、推進效率及碳排放差異。每次測試均搭配 GPS 航跡紀錄與環境參數，以確保數據之完整性與可比性。所得數據將作為性能評估與能源效益分析之依據，並提供後續在電池容量選擇、馬達功率配置與操作策略上的優化方向。

一、實驗船與作業類型

本研究選擇臺灣典型小型至中型漁船進行油電混合動力系統之實船測試，涵蓋兩種不同作業類型：燈火漁業與延繩釣漁業。不同作業模式具有差異化的能源需求特徵：燈火漁業需長時間高功率照明，對電力供應依賴度高；延繩釣漁業則主要耗能於低速航行與漁具放收操作，對推進效率與穩定性要求較高^[5]。這些差異有助於比較油電混合系統在不同作業條件下的能源效益。

表 1、本研究北部與南部實驗船資料表

| | 北部 | 南部 |
|----------|-------|-------|
| 母港 | 基隆外木山 | 東港鹽埔 |
| 主要漁法 | 燈火漁業 | 延繩釣 |
| 噸位 | 9.38 | 35.27 |
| 主機馬力 | 190ps | 350ps |
| 通常作業人數 | 2 人 | 5 人 |
| 油電系統傳動方式 | 皮帶 | 鍊條 |



圖 1、北部燈火漁業實驗船(右)與南部延繩釣實驗船(左)

二、油電混合系統配置

實驗船舶均安裝柴油主機與輔助電動馬達組成的油電混合推進系統。柴油主機維持原有推進能力，而電動馬達額定功率 27kW，並搭配鋰鐵電池模組(容量 20kWh)。電池模組具備熱管理與保護設計，可確保在長時間作業下維持穩定輸出。為確保作業安全，船舶亦配置岸電充電裝置以及船用發電機，於泊港與非高負載情境下為電池充電。此配置允許船舶在低速航行與待機階段以電力為主，並於高負載或長程航行時切換至柴油動力。

圖 2 顯示本研究油電漁船的設計概念圖。整體系統由柴油主機、電動馬達、鋰鐵電池模組、電池管理系統(BMS)、以及岸電/船用發電機充電介面所組成。概念圖呈現了推進動力如何在「柴油模式」、「電動模式」與「混合模式」之間切換：當船舶進出港或低速航行時，優先使用電池供電；當負載較大或長時間作業時，切換至柴油動力；在非高負載情境下，則可利用發電機或岸電為電池充電。此設計不僅降低了油耗與碳排放，還提供了更高的操作彈性與能源管理效率。

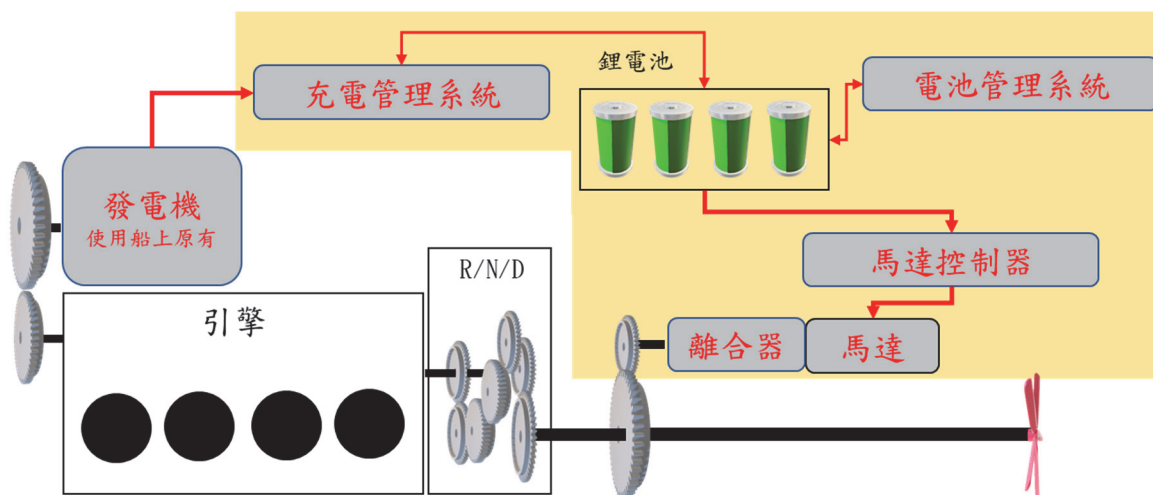


圖 2、本研究油電漁船設計概念圖

三、能源消耗與作業數據蒐集

圖 3 顯示本研究油電漁船的設計概念與作業流程比較。傳統漁船在整個作業過程中均依賴柴油主機驅動，主機轉速範圍約介於 1500–2200 rpm，無論進出港、航行或捕撈皆持續燃油運轉，造成高油耗與高碳排放。相較之下，油電混合作業模式則能依據不同作業階段靈活切換：

- 航行階段：以柴油主機提供推進，維持長程航速與穩定性。
- 燈火漁業：使用電池與柴油主機混合供能，電池支援照明與集魚燈，降低燃油使用量。
- 延繩釣作業：於放繩與收繩時，電池輔助馬達提供額外推力與穩定性，減少柴油主機的負載。
- 待機或低速階段：可完全以電池供電，減少油耗與噪音。

整體而言，油電作業的特點在於「重負載用主機，輔助作業用電池」，能有效降低柴油消耗與碳排放，同時提升能源管理彈性。此配置允許船舶在低速航行與待機階段以電力為主，並於高負載或長程航行時切換至柴油動力。

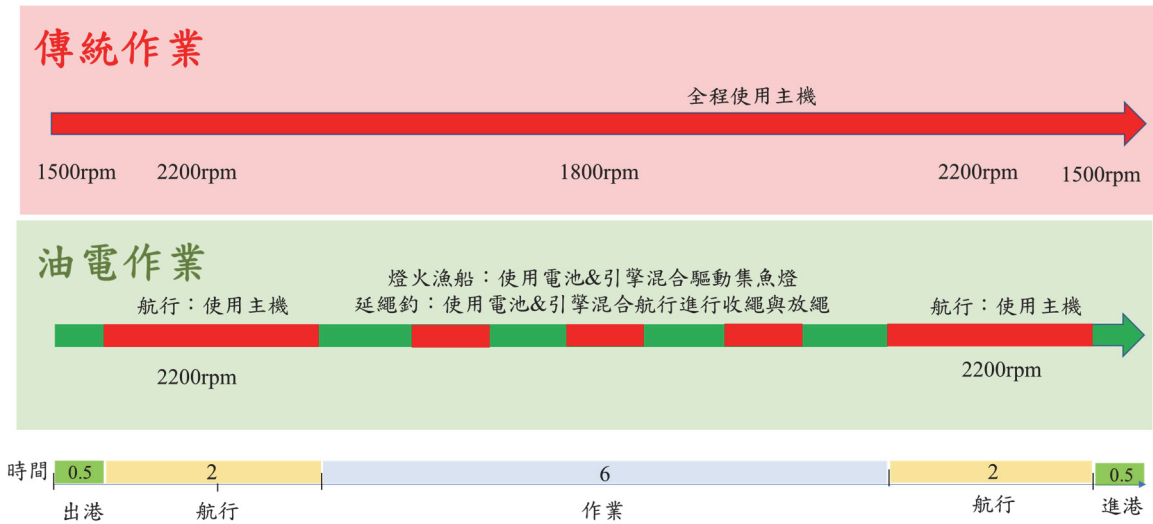


圖 3、本研究油電漁船航行與作業測試標準程序圖

四、碳排放計算方法

首先，傳統柴油漁船之碳排放主要來自燃料燃燒，其碳排放量可依據燃油消耗量與碳排係數乘積計算，公式如下：

$$E_{\text{diesel}} = V_{\text{diesel}} \times EF_{\text{diesel}}$$

其中， E_{diesel} 為傳統柴油漁船於單次作業或單位時間內之二氧化碳排放量(kgCO₂e)， V_{diesel} 為實際消耗之柴油體積(公升)，而碳排係數 EF_{diesel} 依據環境部公告值為 3.29kgCO₂e/L。相較之下，油電混合動力漁船則結合柴油與電力兩種動力來源，碳排計算需同時考量柴油燃燒與電力消耗兩部分。其碳排放估算公式如下：

$$E_{\text{hybrid}} = V_{\text{diesel-h}} \times EF_{\text{diesel}} + (P_{\text{shore}} \times T_{\text{shore}} \times EF_{\text{electric}}) + (V_{\text{gen}} \times EF_{\text{diesel}})$$

其中， $V_{\text{diesel-h}}$ 為油電系統實際消耗之柴油量(L)， V_{gen} 為發電機為電池充電所消耗之柴油量(L)， P_{shore} 、 T_{shore} 岸電來源電池的平均功率輸出與使用時間(kW)，而電力之排放係數 EF_{electric} 依據經濟部公告為 0.495kgCO₂e/kWh。此公式可有效反映油電系統之動態運作特性與不同作業階段下碳排來源的結構。為進一步量化減碳效益，可透過傳統與油電系統之碳排放總量差異進行比較，其公式如下：

$$\Delta E = E_{\text{diesel}} \times E_{\text{hybrid}}$$

$$\text{Reduction Ratio} = \frac{\Delta E}{E_{\text{diesel}}} \times 100\%$$

其中， ΔE 為單次作業碳排減量(kgCO₂e)，Reduction Ratio 則為減碳百分比，有助於呈現油電系統在不同漁法與作業條件下之效能差異。

實驗結果與討論

一、實驗船油電系統

在完成漁船改裝後，油電混合系統的核心模組已成功安裝於機艙之內，如圖 4 所示。整體傳動架構由電動馬達、減速齒輪組、離合器與螺旋槳主軸所組成，並透過鏈條與支撐座連結。馬達模組提供輔助推進與低速航行的動力來源，而減速齒輪組則負責將馬達輸出轉速調整至適合的推進需求。離合器的設計允許系統在「傳統動力」與「油電動力」之間靈活切換，確保不同作業階段能有效分配動力來源。此種模組化的設計不僅提升了系統運轉的彈性，也便利日後的維護與升級。



圖 4、完成安裝的油電系統馬達與傳動系統組

二、北部實驗船能耗分析

表 2 彙整了北部燈火漁業實驗船在不同作業階段下的能耗數據。結果顯示，傳統動力漁船在整個作業過程中總油耗達 210.1 公升，對應碳排量 691.23kgCO₂e。而在改裝為油電混合系統後，總油耗下降至 144 公升，並搭配 48kWh 電力使用，碳排量則降至 495.79kgCO₂e，整體減碳率約 28.3%。

進一步分析可發現，油電混合系統的節能效果主要集中於點燈作業階段。傳統動力船於此階段耗油量高達 118L，而改裝後僅需 60L，並輔以 36kWh 電力，燃油消耗減少近一半。由於燈火漁業需長時間使用集魚燈，電池能分擔照明負載，使柴油主機的平均油耗大幅下降，成為最主要的節能來源。相較之下，航行與進出港階段的油耗差異較小，顯示油電系統的優勢在於「定置高耗能設備」的電氣化。

整體而言，北部燈火漁業實驗船的測試結果證實，油電混合系統能顯著降低油耗與碳排放，尤其在長時間照明的捕撈作業中具備高度效益，對臺灣沿近海漁業具有良好的示範價值。

表 2、北部實驗船在燈火漁業捕撈測試方式下能耗狀態

| | 作業時間 | 航速 | 傳統動力 | | 油電動力 | |
|----|--------------------------|-----|----------|----------|--------|---------------------------------|
| | | | 油耗 | 實測用油 | 油耗 | 實測能耗 |
| 出港 | 0.5h | 3 節 | 8.4L/hr | 4.2L | | 電 6kWh |
| 航行 | 2hr | 7 節 | 21L/hr | 42L | 21L/hr | 油 42L |
| 點燈 | 6hr | 0 | 19.6L/hr | 118L | 10L/hr | 油 60L 電 36kWh |
| 航行 | 2hr | 7 節 | 21L/hr | 42L | 21L/hr | 油 42L |
| 進港 | 0.5hr | 3 節 | 8.4L/hr | 4.2L | | 電 6kWh |
| | | | 小計 | 油 210.1L | | 油 144+電 48kWh |
| | 排碳量(kgCO ₂ e) | | | 691.23 | | 473.76+22.03 =495.79(71.73%) |

三、南部實驗船能耗分析

表 3 顯示南部延繩釣實驗船在不同作業階段下的能耗比較。傳統動力船在整體航次中總油耗達 358 公升，對應碳排量 1177.82kgCO₂e。改裝為油電混合系統後，油耗降低至 228 公升，並搭配 74kWh 電力使用，碳排量下降至 786.75kgCO₂e，整體減碳率約 33%。

細部觀察可發現，油電系統的節能效果主要來自收放繩作業階段。在傳統動力下，6 小時作業耗油高達 180L，而混合系統僅需 60L，並由電池補充 62kWh 的能量，燃油使用量減少約三分之二。由於延繩釣作業需要低速且頻繁變速的航行，電動馬達能更有效率地供能，減少柴油主機在低負載下的油耗浪費。

相較之下，航行至漁場及返航階段的油耗差異不大，兩者均維持在 84L 左右，顯示長時間恆速推進仍以柴油主機為主要動力來源，電力僅扮演輔助角色。

整體而言，延繩釣漁業的測試結果證實油電混合系統在「間歇性、低速操作」情境下具有顯著優勢，不僅有效降低作業油耗與碳排放，也改善了主機負載效率，展現其在南部遠近海延繩釣作業中的應用潛力。

表 3、南部實驗船在延繩釣捕撈測試方式下能耗狀態

| | | | 傳統動力 | | 油電動力 | |
|--------------------------|-------|--------------|--------|---------|--------|---------------------------------|
| | 作業時間 | 航速 | 油耗 | 實測用油 | 油耗 | 實測能耗 |
| 出港 | 0.5h | 3 節 | 10L/hr | 5L | 0 | 電 6kWh |
| 航行 | 2hr | 7 節 | 42L/hr | 84L | 42L/hr | 油 84L |
| 收放繩 | 6hr | 3.5 節 加減速 | 30L/hr | 180L | 10L/hr | 油 60L+ 62kWh |
| 航行 | 2hr | 7 節 | 42L/hr | 84L | 42L/hr | 油 84L |
| 進港 | 0.5hr | 3 節 | 10L/hr | 5L | 0 | 電 6kWh |
| 總計 | | | | 油 358L | | 油 228L+電 74kWh |
| 排碳量(kgCO ₂ e) | | | | 1177.82 | | 750.12+36.63 =786.75(66.80%) |

四、油電漁船碳排量比較分析

表 4 彙整了北部燈火漁業與南部延繩釣漁船在各作業階段下的碳排放量。整體而言，兩型漁業在導入油電混合系統後皆呈現顯著的碳排減量。

以北部燈火漁業為例，傳統動力船單航次總排放量約 692kgCO_{2e}，而油電混合船則降至 496kgCO_{2e}，減碳率達 28%。其中，點燈作業階段的減排效果最為顯著，傳統漁船碳排高達 388kgCO_{2e}，混合系統則降至 215kgCO_{2e}，顯示電池替代照明用油能帶來近一半的減碳效益。

南部延繩釣的差異更為明顯。傳統動力船單航次排放量約 1178kgCO_{2e}，混合系統則降至 787kgCO_{2e}，減碳率約 33%。其中，收放繩作業的碳排由 592kgCO_{2e} 大幅下降至 228kgCO_{2e}，減碳幅度超過 60%，顯示電動馬達在低速、變速航行中的效率優勢。

進一步比較可發現，航行至漁場與返航階段兩者差異不大，皆維持在傳統柴油模式下的排放水準，說明長時間恆速推進仍以柴油主機為主要動力來源；而定置或間歇性高耗能階段(燈火、收放繩)則是油電系統最能展現效益的情境。

綜合來看，油電混合動力不僅能降低總體碳排放，亦能針對不同漁業的能源需求提供差異化效益：燈火漁業以「照明用油」減排為主，延繩釣則以「作業低速推進」減排為主。此結果顯示油電混合技術對臺灣主要漁法皆具可行性，並能成為推動漁業減碳的重要途徑。

表 4、油電漁船碳排量分析結果

| | | 出港(0.5h) | 航行至漁場 | 捕撈作業 | 航行至回港 | 進港(0.5h) |
|----------------|----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 燈火 漁業 北部 | 傳統 動力 | 14 kgCO _{2e} | 138(2hr) kgCO _{2e} | 388(6hr) kgCO _{2e} | 138(2hr) kgCO _{2e} | 14 kgCO _{2e} |
| | 油電 動力 | 3 kgCO _{2e} | 138(2hr) kgCO _{2e} | 215(6hr) kgCO _{2e} | 138(2hr) kgCO _{2e} | 3 kgCO _{2e} |
| | 減排 比例 | 減量 4.6 倍 | 使用 引擎航行 | 減量 0.5 倍 | 使用 引擎航行 | 減量 4.6 倍 |
| 延繩釣 南部 | 傳統 動力 | 16 kgCO _{2e} | 276(2hr) kgCO _{2e} | 592(6hr) kgCO _{2e} | 276(4hr) kgCO _{2e} | 16 kgCO _{2e} |
| | 油電 動力 | 3 kgCO _{2e} | NA | 228(6hr) kgCO _{2e} | NA | 3 kgCO _{2e} |
| | 減排 比例 | 減量 5.3 倍 | 使用 引擎航行 | 減量 2.6 倍 | 使用 引擎航行 | 減量 5.3 倍 |

五、油電漁船成本效益評估

表 5 彙整了北部 10 噸級燈火/一支釣漁船與南部 30 噸級延繩釣漁船在導入油電混合系統後的經濟比較。從航次能耗成本來看，10 噸級燈火漁船在傳統柴油模式下每航次耗油約 210L，成本新台幣 3558 元；改裝為油電混合系統後，油耗降至 144L，並輔以 48kWh 電力，總成本僅 2605 元，每航次可節省 953 元。若以每年平均出海 234 日計算，年節省金額約 22 萬元，投資回收期約 3 年。

在 30 噸級延繩釣漁船部分，傳統動力每航次耗油 358L，花費約 6063 元；改裝為油電混合後，油耗降至 228L 並搭配 74kWh 電力，成本降至 4116 元，每航次可節省 1947 元。若同樣以每年出海 234 日計算，年節省金額達 45 萬元，投資回收期僅需約 2 年。

雖然油電混合系統的設備初期投入成本高於傳統柴油配置(10 噸級由 70 萬元提高至 130 萬元，30 噸級由 100 萬元提高至 180 萬元)，但考量其長期燃料節省效益，實驗結果顯示油電系統具備良好的經濟可行性。以投資回收期計算，延繩釣漁船的回本速度更快，代表在能源需求較大、低速作業時間長的漁業型態中，油電系統能展現更高的成本效益。

此外，施工面向亦顯示油電系統的導入可在短時間完成，僅需上架 3 日與安裝配置 6 日，即可投入使用，顯示該技術具有實際推廣潛力。

表 5、油電漁船成本效益評估表

貨幣：新台幣 NTS

| | 10 噸燈火/一支釣漁船 | | 30 噸延繩釣漁船 | |
|--------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| 出海日數 | 234 日 | | | |
| 傳統航次花費 | 210L | \$3558 元 | 358L | \$6063 元 |
| 油電航次花費 | 144L+48kW | \$2605 元 (省 953 元) | 228L+74kW | \$4116 元 (省 1947 元) |
| 設備成本差距 | 傳統 主機+發電機 70 萬元 | 油電 發電機+馬達+電池 130 萬 | 傳統 主機 100 萬元 | 油電 主機+馬達+電池 180 萬 |
| 回本(出海 234 日) | 年省 22 萬，約 3 年 | | 年省 45 萬，約 2 年 | |
| 施工時間 | 上架 3 日；安裝配置 6 日 | | | |

結 論

本研究針對臺灣典型小型至中型漁船進行油電混合動力系統改裝與實船測試，結果顯示該系統在能源效率與減碳效益方面具備高度可行性。經由北部燈火漁業與南部延繩釣兩型漁船的比較實驗，均證實油電混合系統能有效降低燃油消耗與碳排放。

在燈火漁業中，油電混合系統透過電池取代部分照明用油，使單航次燃油消耗量減少約 32%，碳排放降低約 28%。在延繩釣漁業中，電動馬達於收放繩等低速變速階段發揮顯著效能，使燃油消耗量減少約 36%，碳排放降低約 33%。整體而言，油電系統的節能優勢主要集中於長時間高耗能或間歇性低速作業，與漁船實際操作需求高度契合。

經濟性分析亦顯示，雖然油電混合系統的初期投入成本高於傳統柴油配置，但因每航次可節省 953–1947 元不等的燃料費用，在年均 234 航次的假設下，投資回收期僅需 2–3 年，展現良好的經濟可行性。施工面向方面，僅需約 9 日即可完成上架與安裝，顯示技術具備快速導入與推廣的潛力。

綜合以上結果，本研究證實油電混合系統能兼具環境與經濟效益，對於推動臺灣漁船節能減碳與漁業永續發展具有重要價值。未來可進一步透過增加電池容量、優化馬達控制策略、以及導入岸電或再生能源補充機制，提升系統效能，並建立更完整的產業推廣模式。

誌 謝

本研究能順利完成，感謝農業部漁業署的計畫經費支持(計畫編號 114 農科-11.2.2-漁-01)，以及中信造船、存富造船之大力協助，國立成功大學之協助與資源提供。

參考文獻

1. Parker, R.W.R., et al. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8, 333–337.
2. Greer, K., et al. (2019). The global carbon footprint of fisheries. *Nature*, 574, 186–189.
3. Tyedmers, P.H., et al. (2005). Fueling global fishing fleets. *Ambio*, 34(8), 635–638.
4. Pálsson, O.K., et al. (2020). Energy use and efficiency in small-scale fisheries. *Fisheries Research*, 229, 105610.
5. Baldi, F., et al. (2015). Hybrid propulsion for ships: A study on fuel savings. *Energy Conversion and Management*, 91, 418–428.
6. Andersen, P., et al. (2020). Operational patterns of fishing vessels and implications for energy efficiency. *Fisheries Research*, 224, 105448.
7. Li, Y., et al. (2019). Hybrid electric propulsion in marine transportation: A review. *Applied Energy*, 251, 113313.

8. Nguyen, T., et al. (2021). Hybrid systems for ships: A comprehensive review. *Energy*, 229, 120757.
9. Su, H., et al. (2021). Alternative fuels in fishing vessels: LNG and hydrogen perspectives. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 151, 111579.
10. Bucci, V., et al. (2020). Hydrogen and ammonia as potential fuels for sustainable shipping: A review. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126465.
11. Minami, T., et al. (2016). Development of a hybrid fishing vessel for CO₂ and NO_x reduction. *Marine Engineering Journal*, 51(6), 112–119.
12. Hou, J., et al. (2018). Shore power supply for ships: Current status and future prospects. *Energy Policy*, 120, 581–590.
13. Halff, A., et al. (2019). Energy transition in shipping: International policy frameworks and pathways. *Energy Research & Social Science*, 52, 1–12.
14. Huang, S.C. (2001). Study on energy consumption and improvement strategy of Taiwan's coastal fishing vessels. *Journal of Fisheries Society of Taiwan*, 28(3), 209–220.
15. Maritime CleanTech. (2021). World's first fully electric fishing vessel launched in Norway. *Maritime CleanTech News*.
16. CBC News. (2022). P.E.I. lobster boat gets hybrid retrofit to cut fuel costs and emissions. *Canadian Broadcasting Corporation*.