

溫室氣體強度 GFI 與傳統燃油碳稅計算研究

陳寰頤、陳煜昕

【關鍵字】海洋環境保護委員會第 83 次會議、溫室氣體強度、碳稅、補救單位

【keywords】MEPC 83、GFI、carbon tax、Remedial unit, RU

本研究針對國際海事組織 (IMO) 於第 83 屆海洋環境保護委員會 (MEPC 83) 中提出的 Greenhouse Gas Fuel Intensity (GFI, 溫室氣體強度) 以及赤字措施計算方法進行探討[1]。研究首先說明溫室氣體強度 GFI 之定義與計算方式, 特別針對燃料全生命週期 (Well-to-Tank, Tank-to-Wake, Well-to-Wake) [2] 進行分析, 並引用 IPCC AR5 [3] 中對於甲烷 (CH_4)、氧化亞氮 (N_2O) 等溫室氣體當量換算係數。其次, 本研究建立船舶燃油的 GFI 數值與船舶赤字後購買補救單位之計算模式, 探討船舶在使用目前的主流傳統燃料 (HSFO 與 LSFO) 在 2028 年後所需要課徵碳稅, 並比

較不同年份與赤字分級 (Tier 1、Tier 2) 下應繳納之碳稅金額。研究結果顯示, 2028 年度船舶若使用高硫之傳統燃油 (HSFO) 將追加每噸 100 美金之碳稅成本且逐年上升, 因此未來船公司將需面臨燃料轉型與經濟壓力。本研究提供技術性方法與數據分析, 以協助業界理解 GFI 計算模式與碳稅影響, 亦對未來 IMO 碳定價政策及航運業減碳策略具有參考價值。

第一章 引言

隨著全球氣候變遷議題日益嚴峻, 國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO) 自 2011 年起積極推動航運業減碳政策, 陸續實施船舶設計能效指數 (Energy Efficiency Design Index, EEDI)、船舶現有能效指數 (Energy Efficiency Existing Ship

Index, EEXI) 及碳強度指標 (Carbon Intensity Indicator, CII) 等措施，並於2025年進一步提出溫室氣體燃料強度 (Greenhouse Gas Fuel Intensity, GFI) 機制。本研究聚焦於2025年4月7日至11日於英國倫敦舉行的IMO海洋環境保護委員會第83次會議 (MEPC 83)，探討其核心議題之一：基於 GFI 的全球碳稅徵收機制。

過往IMO所推動之能效與減碳方案 (如CII與EEXI)，多以船舶設計或營運效率為切入點，透過證書或合規要求來促使航商改善。然而，這些措施多屬一次性投資，缺乏持續性的經濟約束力，因此對航商的長期營運影響有限，被普遍視為過渡性政策。相較之下，MEPC 83引入的GFI指標則標誌著重大變革。該機制雖以「補救單位購買機制」(Remedial Unit, RU) 為名，但實質上具有「全球碳稅」的性質，其相關收入將納入IMO淨零基金，用於推動產業脫碳。此一機制將涵蓋所有船舶營運期間的燃油消耗，並自2028年起正式實施，勢必對航運業的成本結構產生顯著影響。

GFI的提出，主要用於衡量燃料在全生命週期 (Life Cycle Assessment, LCA) 中所產生的溫室氣體排放強度。與CII僅依據燃料消耗量換算碳排放總量不同，GFI的核心創新在於納入燃料自開採、煉製、運輸至燃燒使用的完整排放過程，即「油井到油櫃」(Well-to-Tank, WtT) 與「油櫃到尾流」(Tank-to-Wake, TtW) 兩階段之總

和，亦即「油井到尾流」(Well-to-Wake, WtW)。其計算單位為每百萬焦耳能量所對應的二氧化碳當量排放量 ($\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$)。

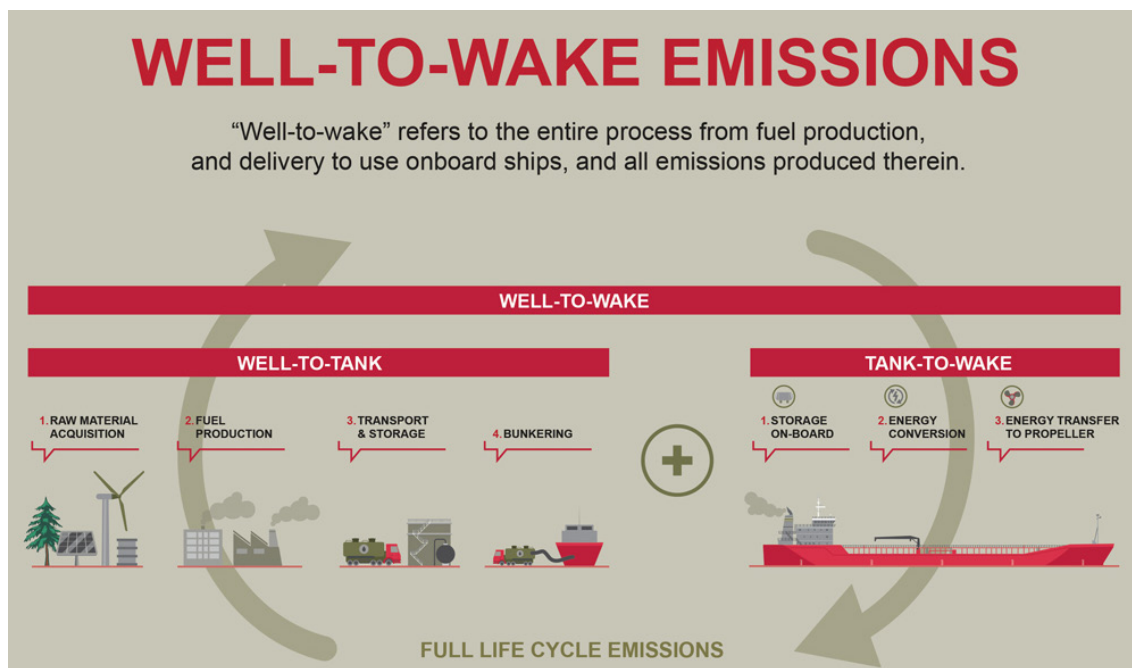
由於不同燃料在全生命週期中之排放強度差異顯著，對應的補救單位成本亦隨之不同。此種機制透過經濟槓桿，對高碳燃料施加額外成本壓力，並鼓勵航商轉向低碳或零碳燃料。因此，對於GFI計算框架與碳稅衍生效應進行系統性研究，不僅具有重要的理論意涵，也對未來航運業策略規劃及政策制定提供了實務參考。

第二章 GFI係數之定義與計算原理

溫室氣體燃料強度 (Greenhouse Gas Fuel Intensity, GFI) 的核心定義為：單位能量輸出 (每百萬焦耳, MJ) 所對應之二氧化碳當量排放量，其標準單位為 $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ 。該指標不僅涵蓋燃料燃燒過程直接產生的二氧化碳當量 Tank-to-Wake, TtW)，還需納入其自開採、煉製、運輸至加注過程的間接排放 (Well-to-Tank, WtT)，從而達成對燃料全生命週期排放之整體評估 (Well-to-Wake, WtW)。

2.1 WtT 階段計算

根據海洋環境保護委員會 (MEPC) 所制定的生命週期評估準則 (LCA Guidelines) [4]，每種船用燃料皆對應唯



圖表 1 顯示 Bureau Veritas (BV) 驗船協會對燃料全生命週期評估的闡釋 [2]。其中燃料的「油井到油櫃」(Well to Tank, WtT) 階段，涵蓋自原料開採、煉製、運輸直至加注至船舶油箱的所有環節。而「油櫃到尾流」(Tank to Wake, TtW) 階段，則指燃料在船舶上自儲存、處理直至在發動機中燃燒並最終轉化為推進動力及排放物的全過程。上述 WtT 與 TtW 兩階段排放之總和，即構成了「油井到尾流」(Well to Wake, WtW) 的完整生命週期概念，其表徵了燃料從生產到最終消耗所涉及的全程溫室氣體排放總量。

一的燃料路徑代碼 (Fuel Pathway Code)，以界定其特定供應鏈在 WtT 階段的排放強度 (WtT GHG intensity)。截至 2025 年 8 月，僅部分傳統燃料的數據已完成公布，例如：

- 高硫重油 (High-Sulfur Fuel Oil, HSFO) 之 WtT 排放強度 16.8gCO₂eq/MJ
- 低硫重油 (Low-Sulfur Fuel Oil, LSFO) 之 WtT 排放強度 14.1gCO₂eq/MJ
- 海運柴油 (Marine Diesel, MDO) 之 WtT 排放強度 17.7gCO₂eq/MJ

然而，多數替代燃料之完整排放數據仍待進一步研究與公布。

2.2 TtW 階段計算

在 TtW 階段，需依據 IPCC 第 5 次評估報告 (AR5) 所提供之全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, GWP)，將燃燒排放的各類氣體轉換為統一的二氧化碳當量 (gCO₂eq)。其主要轉換係數為：

- 甲烷 (CH₄) : 28 倍 CO₂
- 氧化亞氮 (N₂O) : 265 倍 CO₂

例如，以LSFO燃料為例，其燃燒排放量可近似表示為：

- 3.114g CO₂
- 0.00005g CH₄
- 0.00018g N₂O

經GWP係數換算後，其總二氧化碳當量為3.1631gCO₂eq/克燃料。再將該值除以燃料的低熱值 (Lower Calorific Value, LCV)，即可轉換為gCO₂eq/MJ。以LSFO為例，其TtW階段之排放強度為76.684gCO₂eq/MJ。

2.3 GFI 計算公式

GFI的總體計算為：

$$GFI_{fuel} = WtT_{fuel} + TtW_{fuel}$$

其中：

WtT_{fuel} ：燃料在WtT階段之排放強度 (gCO₂eq/MJ)

TtW_{fuel} ：燃料在TtW階段之排放強度 (gCO₂eq/MJ)

根據計算，傳統燃料之GFI結果如表格1

所示。

值得注意的是，當將GFI值除以燃料低熱值LCV時，可轉換為「每克燃料所產生之二氧化碳當量 (gCO₂eq/g)」。此數值在後續章節中將作為碳稅徵收的基礎依據。

第三章 「補救單位」 (remedial unit, RU) 計算方法 (碳稅)

在MEPC第83次會議中，雖未直接以「全球碳稅」之名進行表述，但會議決議明確規範：若船舶使用之燃料GFI值超過當年度設定之合規目標，則超額部分必須透過購買補救單位 (Remedial Unit, RU) 進行抵銷。此外，亦允許透過集體合規或配額儲存等方式履行義務 (本研究僅聚焦於單船補救單位計算)。

由於補救單位之計算涉及多層級費率，因此需將GFI進行分段計算。以下分別說明計算步驟與公式。

LCA 準則	WtT gCO2eq/MJ	LCV MJ/g	根據溫室氣體報告 IPCC AR5			WtW
			TtW			
	CO2 (x1)	CH4 (x28)	N2O (x265)	gCO2eq/MJ		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[1]+{[3]+[4]x28+[5]x265}/[2]
HSFO	14.1	0.0402	3.114	0.00005	0.00018	92.784
LSFO	16.8	0.0402	3.114	0.00005	0.00018	95.484
MGO	17.7	0.0427	3.206	0.00005	0.00018	93.932

表格 1 顯示高硫重油、低硫重油與海運柴油按照 LCA 準則計算，分別對應溫室氣體強度為 92.784、95.484 與 93.932gCO₂eq/MJ，其結果將用於後續章節計算補救單位。

3.1 計算邏輯

以低硫燃油 (LSFO) 為例，其 GFI 達成值為 $95.484 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ 。此數值之物理意義為：每消耗 1 MJ 能量，將產生 $95.484 \text{ gCO}_2\text{eq}$ 。若考慮燃料低熱值 ($LCV=0.0402 \text{ MJ/g}$)，則每克燃料之排放量為：

$$E_{fuel} = GFI \times LCV$$

$$E_{fuel} = 95.484 \left(\frac{\text{gCO}_2\text{eq}}{\text{MJ}} \right) \times 0.0402 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{g}} \right) = 3.838 \left(\frac{\text{gCO}_2\text{eq}}{\text{g}} \right)$$

其中 E_{fuel} 等於該種燃料每公克燃燒產生的溫室氣體排放量公克數

換算為每噸燃料排放量，則為 $3.838 \text{ tCO}_2\text{eq/tfuel}$ 。

3.2 合規基準值

MEPC83 提議以 $93.3 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ 作為基準值，並逐年收緊直接合規目標 (Direct Compliance Target) 與基本合規目標 (Basic Compliance Target)。其數值如

表格 2 所示。

補救單位被設計以 GFI 目標值以 $93.3 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ 作為基準值，並設立了逐年收緊的「直接合規目標 GFI_{direct} 」與「基本合規目標 GFI_{basic} 」。雙重標準，如表格 2。

3.3 赤字分段與費率

若燃料 GFI 值高於合規目標，則需分區間繳納補救單位費用如圖表 2：

1. 區間 Δ_1 (合規區)：低於直接合規值，不需額外費用。
2. 區間 Δ_2 (低費率區)：介於直接合規值與基本合規值之間，需以 $100 \text{ USD/tCO}_2\text{eq}$ 計算。
3. 區間 Δ_3 (高費率區)：超過基本合規值之部分，需以 $380 \text{ USD/tCO}_2\text{eq}$ 計算。

數學表達如下：

$$E_{fuel} = GFI \times LCV$$

$$= (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) \times LCV$$

$$= \Delta_1 \times LCV + \Delta_2 \times LCV + \Delta_3 \times LCV$$

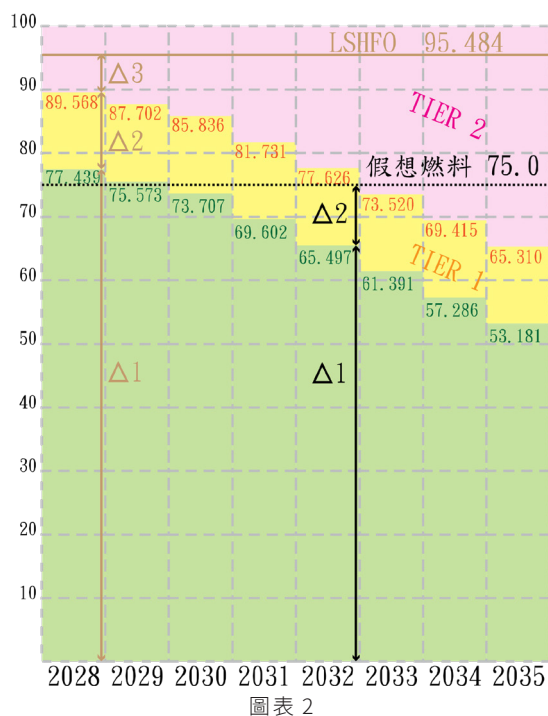
年度	直接合規目標 (%)	直接合規值 ($\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$)	基本合規目標 (%)	基本合規值 ($\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$)
2028	83.0%	77.439	96.00%	89.568
2029	81.0%	75.573	94.00%	87.702
2030	79.0%	73.707	92.00%	85.836
2031	74.6%	69.602	87.60%	81.731
2032	70.2%	65.497	83.20%	77.626
2033	65.8%	61.391	78.80%	73.520
2034	61.4%	57.286	74.40%	69.415
2035	57.0%	53.181	70.00%	65.310

表格 2 顯示以 $93.3 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$ 為基礎，乘以該年度直接與基本合規目標便得到直接與基本合規數值。

$$C_{RU}=(\Delta_1 \times LCV \times 0) + (\Delta_2 \times LCV \times P_1) + (\Delta_3 \times LCV \times P_2)$$

其中

- $E_{fuel} = GFI \times LCV$
- C_{RU} = 補救單位之金額按每噸
- $\Delta_1 = (GFI_{direct} - 0)$
- $\Delta_2 = (GFI_{basic} - GFI_{direct})$ 或 $(GFI - GFI_{direct})$ 之兩者較小值
- $\Delta_3 = (GFI - GFI_{basic})$ (若小於 0 則為 0)
- P_1, P_2 分別為低費率與高費率 (2030 年前為 100USD 與 380USD)



圖表 2

圖表2以年份為橫軸，GFI值為縱軸，展示了合規目標的逐年變化趨勢。圖中綠色區域代表直接合規區，其上限值逐年遞減，落

於該區域的排放無需承擔額外成本。黃色區域為基本合規區，排放強度位於此區間的船舶需為其超額部分購買適用較低費率的補救單位。粉紅色區域則表示排放已超出基本合規標準，該部分超額排放須適用更高費率購買補救單位；以低硫重油 (LSHFO) 在 2028 年的情形為例，其 GFI 值同時跨越了黃色與粉紅色 2 個區間，因此需分別按低、高 2 種費率分段計算應徵費用。而在 2032 年，作為示例的假想燃料其 GFI 達成值未超過基本合規標準，故僅需就 GFI 達成值與直接合規限值之間的差值部分，按較低費率購買補救單位。

3.4 實例計算 (2028 年，LSFO)

以 2028 年為例，LSFO 的 GFI 值為 95.484gCO₂eq/MJ，LSFO 燃料低熱值 LCV 為 0.0402MJ/g，並查表格 2 確定直接合規值為 77.439gCO₂eq/MJ、基本合規為 89.568gCO₂eq/MJ：

- $\Delta_1 = 77.439 \text{gCO}_2 \text{eq/MJ}$
- $\Delta_2 = 12.129 \text{gCO}_2 \text{eq/MJ}$
- $\Delta_3 = 5.916 \text{gCO}_2 \text{eq/MJ}$

計算每噸燃料應繳納之補救單位：

$$C_{RU}=(\Delta_1 \times LCV \times 0) + (\Delta_2 \times LCV \times P_1) + (\Delta_3 \times LCV \times P_2)$$

$$C_{RU}=(77.439 \times 0.0402 \times 0) + (12.129 \times 0.0402 \times 100) + (5.916 \times 0.0402 \times 380)$$

$$C_{RU}=139.13 \text{USD}$$

3.5 各燃料比較

重複上述計算過程，即可以按照年分，將GFI數值拆分為3個區間($\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3$)並分別乘上燃料低熱值，即可計算出所需要購買低費率的二氧化碳當量與購買高費率的二氧化碳當量，並計算出最終須支付之補救單位，且以相同之方法亦可將高硫重油、低硫重油、MGO等已公布LCA準則之燃料一併計算出如表格3。

燃油類型 年度	LSHFO	HSFO	MGO
2028	\$139.13	\$97.89	\$122.60
2029	\$167.64	\$126.39	\$152.88
2030	\$196.14	\$154.90	\$183.15

表格 3 顯示現行之傳統燃料在 GFI 框架下，每噸燃料在不同年度需要追加的支付金額。

第四章 實例分析與比較

為探討補救單位 (RU) 對實際營運成本的影響，本研究以30萬載重噸級，超大型油輪 (VLCC) 作為數據模擬進行分析。

假設條件如下：

- 燃料消耗量：每日消耗低硫燃油 (LSFO) 約 60 噸
- 航行天數：315 天／年
- 年度總油耗：18,900 噸
- 燃油價格 (2024 年市場均價)：
- LSFO：500USD／噸
- HSFO：420USD／噸

4.1 燃料成本與補救單位支出 (LSFO)

以LSFO為例，2024年度燃油成本為：

$$C_{fuel}=18900 \times 500 = \$9450000$$

若考慮2028年GFI框架下需繳納補救單位，每噸燃料需額外支付139.13USD (見第三章計算)。則年度補救單位成本為：

$$C_{RU}=18900 \times 139.13 = \$2629557$$

因此2028年度總燃料相關成本為：

$$C_{TOTAL}=C_{fuel}+C_{RU}=\$12079557$$

4.2 燃料成本與補救單位支出 (HSFO)

若改用高硫燃油 (HSFO)，在安裝脫硫塔 (Scrubber) 的前提下，可使用低價燃料。2024年度燃油成本為：

$$C_{fuel}=18900 \times 420 = \$7938000$$

考慮2028年度HSFO的補救單位成本 97.89USD／噸燃料，則年度RU成本為：

$$C_{RU}=18900 \times 97.89 = \$1850121$$

因此2028年度HSFO總燃料相關成本為：

$$C_{TOTAL}=C_{fuel}+C_{RU}=\$9788121$$

4.3 成本比較

計算後確認LSFO與HSFO在不同年份之成本比較如表格4所示。

年度	LSFO 總成本	HSFO 總成本	成本差異
2024	945 萬 USD	794 萬 USD	151 萬 USD
2028	1208 萬 USD	979 萬 USD	229 萬 USD
2029	1262 萬 USD	1033 萬 USD	229 萬 USD
2030	1316 萬 USD	1086 萬 USD	230 萬 USD

表格 4 顯示模擬 VLCC 船型燃料成本與補救單位支出比較 (百萬 USD)

4.4 分析結果

綜合比較可得以下觀察：

1. 成本結構轉變：2028 年後，燃料成本已不僅取決於燃油單價，而是「燃油價格 + 碳稅成本」的組合。此將迫使航運公司重新評估燃料策略。
2. 脫硫塔設備之經濟效益提升：由於 HSFO 單價低於 LSFO，且其補救單位成本增幅相對較小，配備脫硫塔的船舶將在短期內保有成本競爭力。
3. 潛在風險：若未來 IMO 對 HSFO 設定更嚴格的 GFI 或附加管制，則此優勢可能逐漸削弱。

成本佔航運公司總營運支出的比重極高，此一結構性變化將對企業獲利模式產生實質衝擊。

以 VLCC 營運為例，若仍使用 LSFO，2028 年度燃料總成本將增加超過 27%。此情況將迫使航商必須重新考慮燃料策略，包括：

- 是否繼續依賴傳統燃料並承擔額外碳稅；
- 是否暫時轉向 HSFO 並透過脫硫塔設備降低成本；
- 或是積極規劃向低碳燃料過渡。

5.2 替代燃料挑戰

雖然 GFI 機制的設計目的在於推動低碳或零碳燃料的採用，但截至 2025 年 8 月，能完全以替代燃料運行的商用船舶仍屈指可數。其限制主要來自：

- 供應網絡不完善：甲醇、LPG、LNG 等燃料雖具潛力，但目前全球加注基礎設施尚未普及，特別是對非固定航線船舶而言，缺乏穩定的燃料供應將成為營運風險。
- 成本與技術障礙：新型燃料動力系統與雙燃料引擎需更高投資，且維護與操作要求複雜，使部分船公司採取觀望態度。
- 能量密度與儲存挑戰：部分替代燃料能量密度低，需更大體積儲存空間，將直接影響商業運載能力。

第五章 討論

本研究之結果顯示，GFI 與補救單位 (RU) 機制將對航運公司營運產生深遠影響。此一制度不僅體現了國際社會在減碳上的決心，亦將迫使航運公司調整燃料選擇與營運策略。以下分別從燃料成本結構、替代燃料挑戰、數據不確定性與政策意涵 4 方面進行討論。

5.1 成本結構轉折點

2028 年將成為航運公司面臨重大轉折的關鍵節點。在此年度起，傳統燃料（如 HSFO 與 LSFO）將因補救單位費用而大幅增加成本，直接削弱其市場競爭力。由於燃料

因此，在短期內，傳統燃料仍將在航運業佔據主導地位，但同時伴隨高額碳稅壓力。

5.3 數據不確定性與燃料路徑差異

根據IMO的生命週期評估（LCA）準則，目前已提出多達128種燃料生產路徑（Fuel Pathway Codes）。以LNG為例，其碳排放強度因生產來源與技術不同而差異顯著。例如：

- 若 LNG 來自傳統天然氣開採，其 WtT 階段排放相對較高；
- 若為合成 LNG，則需追溯二氧化碳捕捉方式、氫氣來源與電力供應型態，若電力來源為再生能源，則可顯著降低其全生命週期排放。

此顯示即使同為「LNG」，因生產方式不同，其GFI值亦將出現顯著差異。由於目前WtT階段數據尚未取得全球共識，替代燃料的實際碳排放效益仍存在不確定性，亦可能影響補救單位之計算準確性。

5.4 政策與產業意涵

相較於歐盟碳排放交易體系（EU ETS）側重總量控制，或IMO CII強調營運效率，GFI更直接聚焦於燃料屬性本身，對航運業的衝擊更為根本。此一機制不僅將改變燃料經濟性評估的方式，也可能重塑全球燃料供應鏈布局。

此外，GFI與補救單位機制亦將：

- 推動燃料多元化發展：迫使航商逐步考慮甲醇、或再生能源燃料。
- 促進技術創新：如碳捕捉技術（Carbon Capture and Storage, CCS）或混合動力解決方案，將成為減碳替代選項。
- 加劇市場分化：大型航商可能因資本與技術優勢而率先轉型，中小型航商則可能因成本壓力而退出市場。

5.5 小結

綜合而言，GFI機制在理論上可有效促進低碳燃料的採用，並內部化燃料使用所造成的環境外部成本。然而，其實際推動效果仍受制於「替代燃料供應不足」與「數據不確定性」。因此，短期內傳統燃料與碳稅成本的組合，將成為航運公司最直接的挑戰。

第六章 結論

本研究針對MEPC第83次會議提出之溫室氣體燃料強度（Greenhouse Gas Fuel Intensity, GFI）指標與補救單位（Remedial Unit, RU）機制進行技術性探討與案例分析。透過建立計算模型與數據模擬，驗證了GFI機制對傳統燃料與航運成本結構的影響。主要結論如下：

- 一、GFI 能有效反映燃料之全生命週期排放差異

相較於傳統僅以排放總量為基礎之政策，GFI指標更能精準揭示燃料屬性差異。模擬結果顯示，自2028年起，傳統燃料（HSFO與LSFO）將因補救單位成本導致每噸燃料額外增加100~200美元之稅負且逐年上升，對小型航商而言可能構成營運壓力。

二、LSFO 與 HSFO 在經濟性上的反轉效應

雖然LSFO在環保層面優於HSFO，但由於需經過脫硫製程，其GFI數值反而略高於HSFO，導致補救單位成本上升。模擬顯示，在安裝脫硫塔的前提下，HSFO在2028年度之總燃料成本仍低於LSFO，顯示傳統燃料經濟性將出現結構性反轉。

三、補救單位機制將成為推動燃料轉型的核心驅動力

碳稅成本將迫使航商積極評估低碳燃料（如 LNG、LPG、甲醇）之可行性。然而，由於替代燃料的GFI數據尚未完全公開，且供應鏈基礎設施尚未普及，航運業仍處於過渡階段。

四、雙燃料與過渡策略的重要性

雙燃料船舶提供一種降低風險的過渡解決方案，使船公司在燃料市場與政策尚未

完全確定前，能保有一定的彈性。然而，由於造船成本上升與金融風險增加，部分航商可能選擇延後投資，以降低資本曝險。

學術貢獻

本研究提出一套基於GFI的補救單位計算框架，將燃料全生命週期排放數據轉換為可量化的碳稅成本，並結合實例模擬，提供一個可供後續學術研究與政策分析使用的計算模型。此研究亦揭示不同燃料在WtT與TtW階段之差異，對航運碳定價的計量化研究提供新視角。

實務意涵

對航運公司而言，本研究提供了成本評估工具，可用於模擬不同燃料下的總營運成本，協助船公司制定燃料策略與財務規劃。對於尚未全面投資替代燃料的船東而言，研究結果顯示短期內HSFO+脫硫塔的組合可能仍具經濟優勢，但需持續關注GFI與碳稅政策的演進。

政策建議

本研究建議：

1. IMO 應加速公布替代燃料的完整 GFI 數據，以降低產業決策的不確定性。
2. 各國應推動替代燃料供應鏈建設，尤其在主要航運樞紐港口，建立甲醇、

氨、LNG 等燃料的加注基礎設施。

3. 碳稅收入應回饋產業，例如投入研發基金或基礎設施建設，以減緩產業因轉型所承受的經濟壓力。

總結

GFI與補救單位機制不僅是一種碳稅形式，更代表了航運業邁向低碳轉型的制度性轉折。雖然短期內仍存在燃料供應不足與數據不確定性等挑戰，但從長期而言，該機制將逐步推動航運業燃料結構重塑，成為驅動全球海運脫碳的重要工具。

參考文獻

1. CR 財團法人驗船中心，adopted 12 APR 2025，CR 驗船中心掌握 MEPC 83 會議結論 -IMO 溫室氣體減排中期措施定案，2028 年起實施。<https://www.crclass.org/wp-content/uploads/2025/08/MEPC83%E6%9C%83%E8%AD%B0%E5%BF%AB%E5%A0%B1202504121.pdf>
2. BV 法國驗船協會，adopted 22 Dec 2023，WHAT WELL-TO-WAKE DECARBONIZATION MEANS FOR SHIPOWNERS，[https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/business-insights/what-well-wake-decarbonization-](https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/business-insights/what-well-wake-decarbonization-means-shipowners)

means-shipowners

3. IPCC, adopted 2014, AR5 Climate Change 2014: Synthesis Report. (P.87), <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/synthesis-report/>
4. MEPC 81/16/Add.1, adopted 22 MAR 2024, RESOLUTION MEPC.391(81)-2024 GUIDELINES ON LIFE CYCLE GHG INTENSITY OF MARINE FUELS (2024 LCA GUIDELINES), <https://www.crclass.org/wp-content/uploads/2024/08/1-14-MEPC.39181---2024-GUIDELINES-ON-LIFE-CYCLE-GHG-INTENSITY-OF-MARINE-FUELS-2024-LCA-GUIDELINES.pdf>



(圖片來源：AdobeStock)