

歐盟建置安全的駛上駛下型船舶之網路系統架構 研究- 歐洲駛上駛下型渡輪的安全性設計

之整合規畫方法

An Integrated Approach to Safe European Ro/Ro Ferry Design under Thematic SAFER EURORO Network

吳東明 Tong-Ming Wu¹

許智傑 Tsu-Jay Hsu²

摘要

在過去十餘年間，經由「安全性的設計(Design for Safety)」的主要議題，一種有關安全性文化的研究方法(Safety Culture Approach)已持續不斷提振推展，其目的係著眼將安全性的相關沿生費用成本(Safety Cost)，有效整合納入於船舶設計流程(Ship Design Process)中。在這些年間，有關安全性的首要考量領域(Safety-critical Areas)之許多研究開發工作，業已累積數量可觀的資料成果。在這些研究及開發工作(Research and Development Work)的主要項目之一，即係確保安全性概念能深植於船舶設計過程內，並且持續追求提昇，以改善現今海事安全事務的狀況。藉由倡導「安全性的設計」概念作業方向的跨步邁出前進，雖然起步稍嫌緩慢，卻是步履穩健，該作業方法被認為能夠對海洋運輸的安全性，作出全面成本有效性的改善提昇貢獻，同時，灌注撫育此一海運領域中合宜營運作業的演化進步。基於前述環境背景下，本論文試圖對過往十年間的相關研究發展計畫工作，進行一全面性徹底的綜合說明。並且特別強調的重點發展工作包括有部份關於「歐盟駛上駛下船的安全性計畫主題網路架構」(Thematic Network SAFER EURORO)及相關研究計畫等活動項目，其業已引領現今重大研究工作動機的開展，至於當前最主

¹ 中央警察大學水上警察學系專任教授。英國格拉斯哥大學造船暨海洋工程學博士。國立交通大學航海暨輪機工程學學士。英國劍橋名人傳記協會海洋工程專業傑出名仕獎。美國名人傳記協會海洋工程專業傑出名仕獎。歐盟國際工程技師。英國皇家工程技師。美國國家工程技師。行政院海洋事務委員。海巡署海洋事務委員、人員教育訓練委員及船舶建造暨研發審議委員。研考會專案審查委員。國科會專案審查委員。經濟部船舶產業諮詢委員。交通部專案審查委員。教育部公費留考口試委員。考選部特考典試委員。海巡特考口試委員。Una147@mail.cpu.edu.tw

² 中央警察大學水上警察學系碩士班研究生。行政院海岸巡防署海洋巡防總局北區機動海巡隊分隊長。中央警察大學七十二期二隊水上警察學系畢業。國立臺灣海洋大學運輸暨航海技術學系畢業。三等警察特考及格。一等船副特考及格。Leo.xu@msa.hinet.net

要的創新研究發展工作即為「SAFEDOR 整合計畫」，其亦被期待在未來數年間，能夠領導於「船舶安全性的設計」領域的研究發展工作。

關鍵詞：安全性的設計、船舶設計流程、成本有效性分析、歐盟駛上駛下船的安全性計畫。

ABSTRACT

For more than a decade, a marine safety approach has been emphasized through the scheme of Design for Safety, which aims at integrating safety cost effectively in the ship design process. There is the most valuable of information accumulated over recent years of research and development efforts on safety-oriented areas. One of principal elements of these research and development work is secured safety culture within ship design process, in the endless search for improving current states of relevant activities. Through courageous steps in the direction advocated by Design for Safety, it is slowly but steadily being recognized that this approach could contribute to the whole cost-effective improvement of safety in shipping while cultivating the evolution of comfortable practice in the field. Based on technological background, the paper carries out a comprehensive overview of relevant research and development work over the past decade. Particular emphasis is concentrated on the developments that have taken place as part of the activities of the Thematic Network SAFER EURORO and associated projects, which have led to the development of recent principal research initiatives, the Integrated Project SAFEDOR, which is expected to lead research development in these aspects for the next decades.

Keywords: Cost-effectiveness Analyses, Design for Safety, SAFER EURORO, Ship Design Process.

壹、前言

近期眾所週知的重大海洋災難事件(Recent Well-publicized Marine Disasters)觸動一連串的因應做法效應，其中不僅海事安全研究者，甚至連廣大社會大眾等，均提高重視海事安全意識(Safety Awareness)。有鑒於此，國際間共同合作極力將海事安全主題，推動成為現今發展的首要目標，並且採用科學方法(Scientific Approaches)加以評估海事安全，藉以替代傳統經驗法則的管理作法。因此，一種解決海事安全方案的清楚潮流趨勢逐漸形成，從過去預設規定方法轉變至第一基本物理法則及效能表現為基礎等方法(First-principles and Performance-based Approaches)，同時此方法正鋪砌開創海事安全設計變革(Evolutionary Changes in Design)的大道，從而海事安全可被視為一項結合重大經濟意涵(Serious Economic Implications)的中心議題，來加以審慎因應處理，而非一種簡化規定的循例辦理作法。

這些有關海事產業界的研究發展之共同努力成果，終於引導建置首項深具意義的「歐盟船舶安全性設計」主題網路架構(EU Thematic Network on Design for Safety)計畫，即為自西元 1997 年 10 月 1 日起，以 4 年為期的最初第一型主題網路架構計畫(Type 1 TN ; SAFER EURORO)，共計有 33 個合約參與機構。透過與該主題網路架構相關的聯合研究發展計畫活動，參與合作的組織或團體業已成長至 122 個，並且其涵蓋範圍遍及全面性的海事產業界。該「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)自西元 2001 年開始執行直至西元 2005 年，即為第二型主題網路架構計畫(Type 2 TN ; SAFER EURORO II)。

簡而言之，「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)的策略性目的在能確實有效整合攸關安全性的成本於船舶設計流程內，即係以安全性概念方式，直接「驅動」船舶設計工作的推展³。該主題網路架構計畫的涵蓋範圍在於提供必要的動機要素及激勵方案，藉以帶領一種正規切合現今工藝科技的設計方法(State-of-the-art Design Methodology)之研究開發，進而有效支援及培養一種在船舶設計作業流程(Ship Design Process)中，將海事安全性視為設計本身目標，而非其限制條件的安全性文化典範(Safety Culture Paradigm)。

有鑒於試圖將船舶安全性評估及設計作業流程(Safety Assessment and Design Processes)，加以格式化所必要的科技資訊之多樣性本質，整個研發計畫被架構為若干個別主題功能區塊的組合體，並且每一功能區塊均對應於船舶設計工作的個別專業領域。正因如此構想，計有五個功能領域業已被審慎考量，分別稱為「船舶結構安全性設計」(Design for Structural Safety)、「船舶及貨物存活率設計」(Design for Ship and Cargo Survival)、「乘客存活率設計」(Design for Passenger Survival)、「船舶適航性設計」(Design for Seaworthiness)、及「火災安全性設計」(Design for Fire Safety)等。同時此一主題網路架構計畫的組成架構亦包含有兩個橫向整合功能，即稱為「船舶安全性評估」與「安全渡輪設計」(Safety Assessment and Safe Ferry Design)等，其分別因應處理，以發展船舶安全性方法的設計(Design for Safety methodology)為主要目標之一般性及綜合性議題⁴。

貳、船舶安全性設計的推動

在西元一九九五年司托克先生⁵等人(Storch et al.)建議提出，應用第一基本物理法則於「生產船舶的設計」(Design for Production)，即是「使用常識」一般，

³ SAFER EURORO 1997, 2001 Design for Safety - An Integrated Approach to Safe European Ro-Ro Ferry Design, Contracts ERB BRRT-CT97-5015 and G3RT-CT-2001-05050, www.safereuroro.org.

⁴ Vassalos, D. and Konovessis, D., The Thematic Network SAFER EURORO : An Integrated Approach to Safer European RoRo Ferry Design, Vol. 45, No. 1, Journal of Marine Technology, SNAME, January 2008, pp. 2.

⁵ Storch, R.L., Ship Production, 2nd Edition, SNAME, 1995.

並且沒有任何活躍地新議題可被倡導，以建議「船舶設計暨安全性」(Design and Safety)概念，作為改善船舶安全性的當前要務⁶。無論如何，縱使優質船舶設計方案應該總是將安全性事項納入考慮，然而無可避免地，其向來被必要遵循船級規範法規的最低要求條件(Minimum Compliance with the Rules)，所主宰牽制著，因此經常無法適切表現於設計方案中。

或許多數人士仍持續爭論要點係即使適才稱職的船舶設計師總是努力工作，以期產出船舶安全性設計成品，然而當其考量如船舶安全性(Ship Safety)般的複雜且多種專業法則融合之課題時，過去歷史記錄明確地揭示，預擬構想並不能直接替代科學方法的作業處理結果(Methodological Treatment)。為此達到此一目的，該為設計安全船舶為宗旨的正規方法，必須融合以提昇安全性為設計作業流程的核心要項，而非一如往昔所見般，與船舶建造及營運作業等相互衝突，或與其他攸關船舶設計因素(Ship Design Factors)等，進行個別隔離方式處理。

經由對於國際海上人命安全公約(SOLAS)的發展，及相關安全性議題倡導者(Safety-related Drivers)的檢視等，進行深入的歷史調查探究(Historical Exploration)，指引我們在面對未來充滿全新挑戰時，必須更細心思索的發展趨勢。至於這些未來將面臨重要議題，概括條述如后：

1. 透過立法方式，強化船舶安全性議題的能見度。
2. 權責法規章主要關注於船舶本身，更應該注重船舶安全性的特定關鍵區域(諸如船舶艙區劃分)。
3. 在既定的權責法規(Prescriptive Regulations)中，有關海事安全的清楚目的及目標等正在流失。
4. 安全性法規及規定向來係由於船難災害發生及社會大眾要求加強等，所驅使設置的被動反應方式(Reactive Approach)。提昇安全性標準規範(Safety Standards)總是由災難事故所誘導催生，其中包括有相當大量的人命損失，或是財產損失，或是環境的損壞(Environmental Damage)。
5. 海事規定的立法發展進度直到現今依然持續緩慢。
6. 船舶安全性素來被視為個別獨立、與工程學科法則(Engineering Discipline)相互衝突的項目，欠缺成本有效性分析(Cost-effectiveness Analyses)，或是試圖瞭解其與其他設計因素間的相互影響關聯等的任何考慮作為。
7. 既得利益者總是拖延，或是經常迫使新訂海事法規的課稅條款失效，或是認定其為不智的或無可實施的，進而強制使其讓步妥協。因此，海事法令(Maritime Laws)制訂實施經常是曠日費時的，導致海難故發生後至立法預防重蹈覆轍時程需耗費相當長時間間隔。

⁶ Vassalos, D., Shaping Ship Safety : The Face of the Future, Vol. 36, No. 2, Journal of Marine Technology, SNAME, April 1999, pp. 61-76.

- 8.減少船舶財產損失及致命災難發生係為現今最基本考量趨勢，但那些事項必須與降低社會民眾的風險容忍度(Human Tolerance to Risk)相結合一併考慮，在現實操作上，風險將變得不可接受的，無論如何或能降低涉及大量人命損失悲劇事件的發生可能性。現今社會眾所共同體認的是，人命價值遠較以往更為珍貴。同時一個新興趨勢正在形成，即為民眾關心保護海洋環境(Protection of Marine Environment)的重要性，並且該海洋環保議題必是不可被輕忽草率應付的。
- 9.海洋運輸發展的速度遠較過去所累積經驗快上許多，因此傳統信賴的最佳作業實務之經驗及法規章程即係「變得更為薄弱的」。
- 10.過剩的運輸能量、供過於求的海事服務，及極為低微的營收利潤(Low Margins)等，促使若干優良海運公司及海上航行技術本位的核心人力均紛紛脫離海洋運輸產業。由於高齡船隊(Aging Fleet)、次標準船⁷(Substandard Ships)，及多國籍船員(Multinational Crews)等多種因素組合，導致現今存在諸多安全性問題。
- 11.全球化媒體播送(Global Media Coverage)帶動海難意外事故消息，迅速公諸於世，並且能強而有力的激盪社會大眾之情緒起伏。
- 12.隨著廣大社會的意識察覺，及在海事安全性事務中，人為因素所扮演角色漸受重視，導致海事安全性的聚焦重點自硬體方面轉移至軟體方面。
- 13.在近年來，科學及科技領域的突飛猛進發展，使得海洋運輸產業有機會迎接未來新生的挑戰，並且有效控管成本效益及安全營運。

綜觀前述議題，採納一種以風險管理為基礎的船舶設計方法(Risk-based Design Methodology)，其涵括創新概念及提昇基本物理法則工具的例行應用(Routine Utilization)，將導引處理海事安全性問題的船舶建造成本，更能夠符合成本有效應用的目標。並且其可更進一步誘導建構及維持競爭優勢，尤其是對於知識密集化及以安全性為要的船舶(Knowledge-intensive and Safety-critical Ships)，更是如此。其中有關知識密集化即係船舶概念充滿創新意象；另有關以安全性為要即係設計安全性概念其實正是一個船舶設計的「啟動者」。

參、「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」的建置目的及願景

該「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)主題網路架構內容在於落實執行自西元一九九七年至二〇〇一年，為期四年的「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」工作項目。至於其主要目的係為有效協調整合研究計畫的所有工作活動，以確保一套制式化「船舶安全性設計」作業方法被充分瞭解，並且實務應用於造船廠例行工作中(Routine Applications)的目標實現；藉由利用先進的設計技術，以整合及探究開發相關的關鍵科技(Critical Technologies)與以風險

⁷ 吳東明與王需楓，國際海事組織在港口國管制規定的現況發展研究，第八六六期，船舶與海運期刊，中華海運研究協會，中華民國九〇年十月。

管理為基礎作業架構(Risk-based Frameworks)；並且展示證明該提議工作方法於「駛上駛下型船舶」(Roll on/Roll off Ships)的設計與營運作業之實際可用性及其應用潛力(Practical Applicability and Potential)等。關於該「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)的特定技術目標，概括涵有：

- 1.為求持續地發展及強化網路鏈結與協同合作於每個功能主題架構區塊內，並且為求確保每個功能區塊間的有效整合(Effective Integration)，當考量被船舶設計及營運作業的進化提昇所主導的功能需求時，必須應用同步工程(Concurrent Engineering Practices)於造船實務中。
- 2.探索利用系統化的監控(Systematic Monitoring)、審視、資料分析，及科技發展移轉至每個主題功能區塊內，藉以有效支援以風險管理為基礎的作業方法⁸ (Risk-based Methodologies)，及設計整合工作進程(Design Integrative Processes)。
- 3.經由適當且涉及相關研究計畫的多樣研究活動之進度規畫，藉以有效同步整合所有研究能量。並且透過特定組織籌辦的協商會議及工作研討會報，及透過適當的宣導傳播(Appropriate Dissemination)及知識轉移遞送(Knowledge Transfer)，促使每個功能計畫間相互加成及協同合作等所產生優點助益，得以充份發揮，進而達成最大的績效目標及應用可用多樣性成果。
- 4.辨識及整合相關跨網際的研究活動(Transnetwork Research Activity)，尤其是在成本、營利、性能及安全計畫的主題網路架構(TN CEPS)內，其設計為其核心。其中一個成本、營利、性能及安全計畫(Cost, Earning, Performance and Safety ; CEPS)，即為 CRASH COASTER 研究計畫係「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)目標中的一項重要事項，並且擁有一個科技平臺(Technology Platform)，即為 VRSHIPS-ROPAX 2000 研究計畫，其正展現「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)，及成本、營利、性能及安全計畫(CPES)間聯合努力的工作成果。
- 5.在這方面，為求維持及支援研究方向，對於產業界未來發展目標係為足夠清楚及確切合適，同時兼顧考量「海事產業研發主體計畫」的內容與優先順序，並且倘若確有需要時，藉以提供後續更新升級的適切建議。
- 6.為求持續強調現行制度的一般性本質，藉以確認所有安全首要船舶(Safety-critical Vessels)考量的有關廣泛船舶安全性議題的應用能量。該相關議題或有諸如船舶使用期問題(Life-cycle Issues)、環境、作業、管理、生產、人因工程(Human Factors Engineering)及立法等等，並且促進整個歐洲地區研究能量的整合成形，專注於「船舶安全性設計」(Design for Safety)的基本優先理念。

⁸ Vassalos, D., Risk-Based Design : From Philosophy to Implementation, 2nd International Conference on Design for Safety, Osaka, Japan, October 2004, pp. 1-11.

肆、系統建置的成就及架構

在過去十年以來，該「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)對於海事產業界(Maritime Industry)，所帶來的衝擊早已是多面向化的，但是其中截至現今最為重要者，顯然係必須灌輸一個強而有力的信仰予海事產業界，即是「藉由設計，以實現船舶安全性」(Safety by Design)係為一項可行的提議，從而將有助於提昇整個專業領域的安全性文化(Safety Culture)。並且透過該「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)的各項執行作業，在達成成本有效性的安全性概念(Cost-effective Safety)之困境衝突下，若干主要的目標成果包括有：

- 1.在任何其他時期，投注於船舶安全性(Ship Safety)議題幾乎未曾較現今更為特別重視。因此「安全性」正演變成為海事產業團體的重要核心議題。海洋產業界的傳統慣性(Traditional Inertia)業已面臨一個新興更強大的「船舶安全性」再生議題所淹沒挑戰。至於該安全性議題即為重要，既不能如往常般隔離單獨地來考量，亦不可被定位為附屬品等閒視之，因為長時間不適當認知(Long Overdue Realization)，將導致缺乏安全性概念，或是無效的處理安全性方法終將迫使業者被摒棄於海運業務之外。
- 2.該主題網路架構輸出成果的國際化傳播，對於權責管理作業流程(Regulatory Process)的顯著貢獻(Significant Contribution)，及海事產業界應用科學方法，以處理船舶安全性問題的認知提昇，提供絕佳獨特的機會，以建造及維持其競爭優勢(Competitive Advantage)。其業已協助創造一種積極動量，並且現正證明可以提供「動力來源」，及朝向所欲達成「主題網路架構」目標的前進激勵。
- 3.更重要的是，在歐盟海事產業的所有主要之參與及業務關係等團體間，必須有效共同合作(Effective Cooperation)，進而更為緊密的協同努力(Closer Collaboration)，並且增強每個合作夥伴間彼此潛能及實力的相互信任及尊重。

歐盟執行委員會(European Commission)業已主動積極地針對前述所及的重大挑戰，以致提具 12 個 FP4 及 1 個 FP5 等 13 個研究計畫，完全聚焦投注於「船舶安全性設計」主題上，並且透過「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)以整合為之。至於該計畫中計有 9 個關注於更安全的駛上駛下型船舶與客輪(RoRo/passenger Ships)，及 3 個涉及高速船舶(High-speed Craft)的安全性等子題。另尚有 4 個更進一步規劃執行計畫係在「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)架構下實施，其中包括有火災逃生、指揮、羅經及安全載具等研究項目(FIRE EXIT, COMAND, COMPASS, and SAFECRAFTS)。再者，透過採用一個開放式合作結構方式(Open Structure Partnership)，使得其他區域及其他合作協力夥伴團體，可以加入此主題網路架構中，終致一個專注於海上安全(Safety at Sea)為主題的真正歐洲研究領域，亦因而被創造出來，並且正持續

地被培育及提振發展。

有關「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EUORO)樞紐架構及「速率安全性」樞紐架構(SAFETY AT SPEED Cluster)等細節，個別闡述如圖一及圖二等所示。

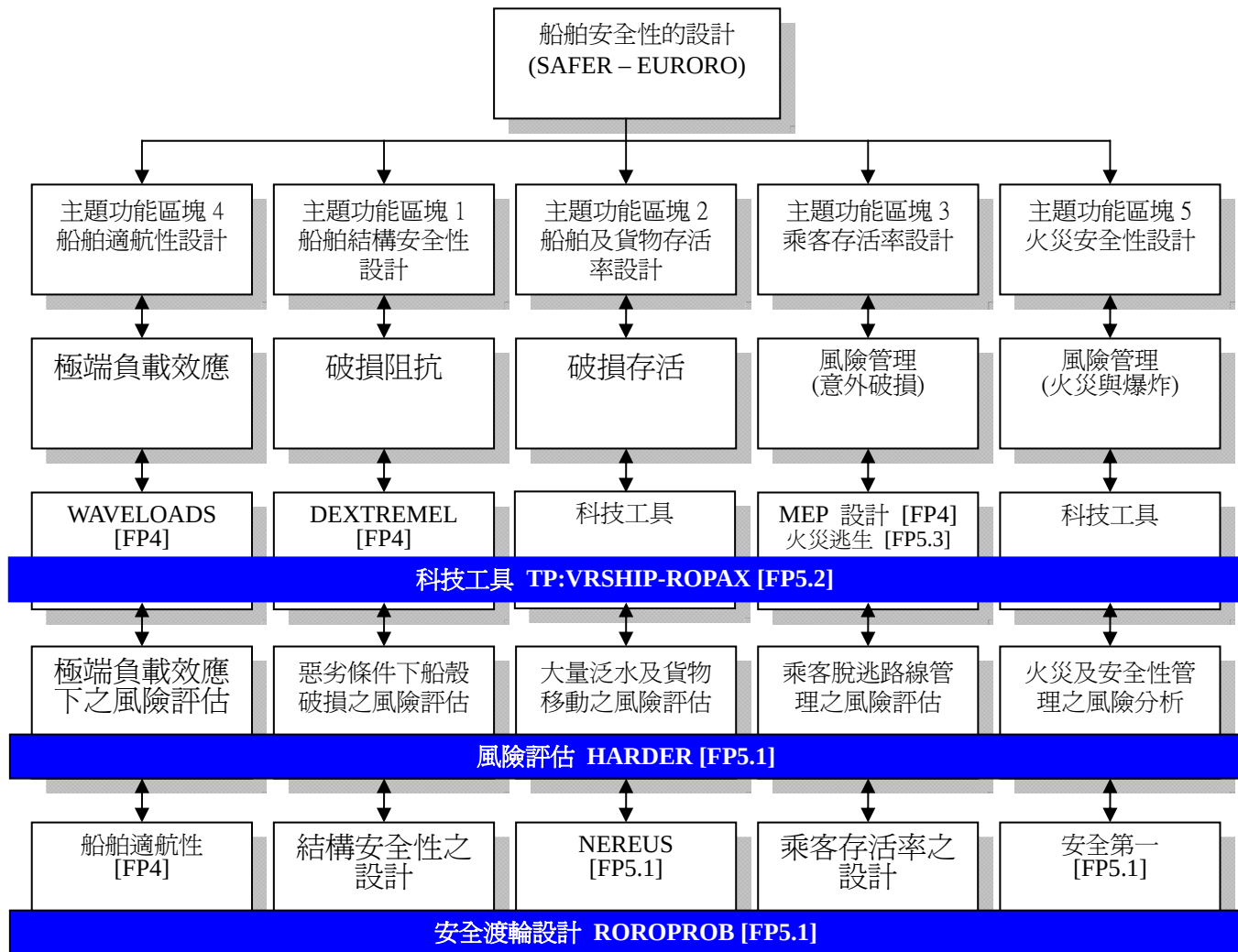


圖 1 「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」樞紐架構

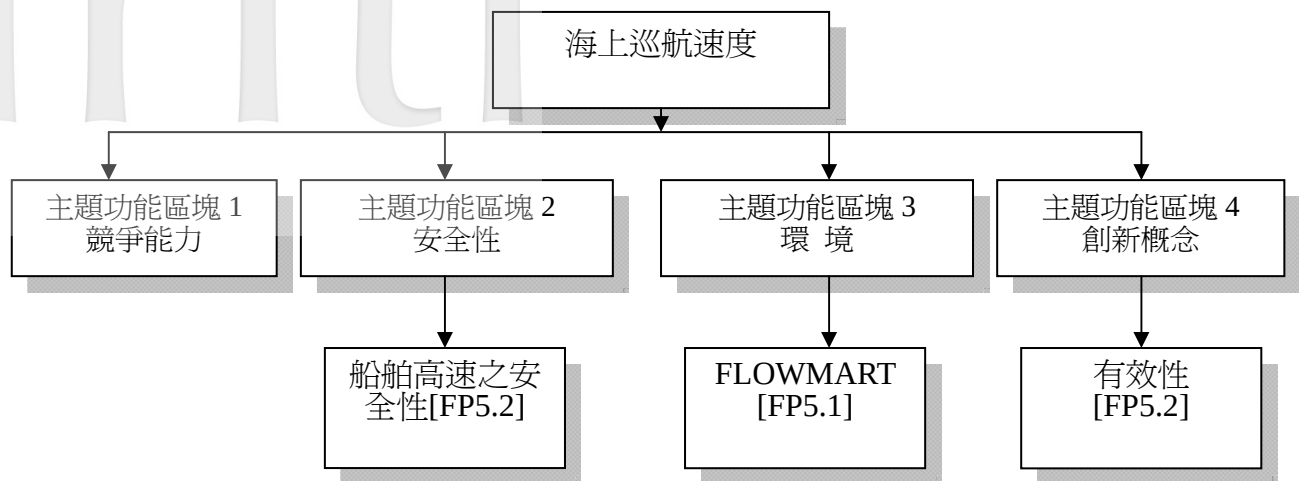


圖 2 「速率安全性」樞紐架構

至於「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)的推展成功，係主要仰賴這些計畫開發的所有成果之完美整合，進而融注於「設計工具」(Design Tools)中，導致符合成本有效的更安全船舶(Cost-effective Safer Ships)目標的實現。同時在一個更為通用基礎上，有關安全性的海上議題之研究及發展活動等，業已在關鍵科技(Critical Technologies)、風險管理為基礎架構(Risk-based Frameworks)及整合設計環境(Integrated Design Environments)等方面⁹，貢獻相當開發成就，詳分項說明如后：

- 1.關鍵科技(Critical Technologies) - 此乃參照一系列可計量化的、立即可用的及創新演進成熟的工具及技術(Evolutionary Tools and Techniques)等發展，使得所有組織架構、作業程序、營運操作、科學技術、工作環境，及海上安全性相關的人為關聯因素(Human-related Factors)等議題的分析工作可以順利推展。同時更為廣大的目標係在於有效預測一艘船舶在有關營運操作、意外事件、或是極端惡劣情境等限制狀態下，所可以展現的性能。
- 2.風險管理為基礎架構(Risk-based Frameworks) - 此係描述適當的風險管理之技術及方法(Risk-management Techniques and Methodologies)，其中包括有工具及技術的適切利用之指導守則，並且該開發技術係應用於海事系統的運動行為預測及模擬(Behavioural Prediction and Simulation)。緊接著這些風險管理概念提供一個基本作業架構，以為海事安全性的一致性對策做法、設計及營運操作、海事法條規定發展，及改善海上安全性的重要領域等參考。

⁹ Vassalos, D. and Konovessis, D., The Thematic Network SAFER EURORO : An Integrated Approach to Safer European RoRo Ferry Design, Vol. 45, No. 1, Journal of Marine Technology, January 2008, pp. 4-5.

3.整合設計環境(Integrated Design Environments) - 利用如在其他產業廠商業已開發完成的先進設計技術(Advanced Design Techniques),並且加以適當的修改及架構化處理,諸如虛擬實境(Virtual Reality)、成品模型化及組立整合(Product Modeling and Integration)等,將提供一個作業基礎,以為探究該關鍵技術及以風險管理為基礎架構等研發成果的全面性助益,並且以有效能且有效性的工作概念,宏觀處理船舶安全性議題。

伍、風險考量的船舶設計邏輯

根據吾人對於該以風險管理為基礎的船舶設計(Risk-based Design),係仰賴於設計作業流程階段中的風險分析工作(Risk Analysis)的系統化整合(Systematic Integration)之認識,確有必要將該系統化整合概念應用於所有設計工作的任一階段中,尤其是在船舶設計初期階段中,因在其間主要設計決定項目將會對造價成本及船舶性能等,產生關鍵性影響,並且其船舶設計的決定自由度(Freedom to Make Decisions)亦擁有最大活動空間。為求能在設計初期聚焦於船舶安全性議題,相關處理以安全性為設計目標,及以成本有效性為最終決策(Decision-making for Cost Effectiveness)等所沿生的成本、營利及性能等資訊,即是最為關鍵要務¹⁰。

在實務作業上,船舶概念設計階段(Concept Design Stage)係真正擁有最主要的潛在能力,以引進創新產品及安全性創新理念(Safety Innovations)。事實上,船舶設計(Ship Design)尤其是俱有其獨一特性,若干有關船舶的最為重要決策均係於設計作業流程的初期階段,即已被完成確認。因此將船舶整體架構雛型大致完成整備,在後續設計作業中亦僅容許極小的變更可能性,以致明顯影響其成本費用及操作性能等。無論如何,後續設計工作概念係無可避免地被早期設計決定的整體規劃架構所牽制,其實際運作情形說明,詳請參看圖三所示。

¹⁰ 吳東明,強化船艇性能設計知識及建造維修實務經驗對我水上警察未來發展的重要性,第廿八卷,第四期,警學叢刊,中央警察大學,中華民國八十七年一月。

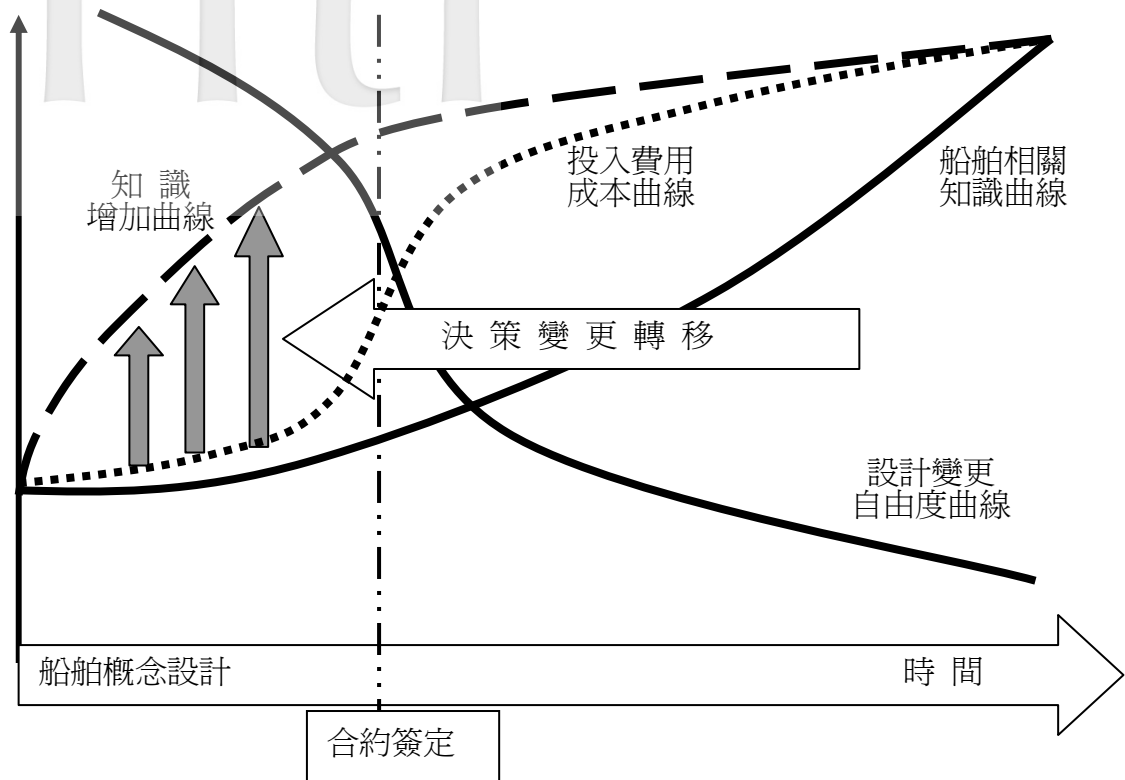


圖 3 船舶設計作業流程的關鍵要素

當整個船舶設計作業流程進行時，有關船舶設計的必要知識勢必逐漸增加，然而正當同時能夠改變船舶設計的自由度亦隨之相對減少，其係因為若干船舶設計變更將伴隨大量成本費用的支出。為使船舶設計能更俱競爭優勢，在合約簽訂的前置階段 (Pre-contract Stage)，船舶設計決策的調整修訂 (Decision-making Shift) 確有其必要性，並且必須將工作能量投注其中，以擴大應用船舶設計知識成果，然而亦僅能借重先進的首要原則工具 (Advanced First-principles Tools)，以達成最適應用效果。並且強調以首要原則為基礎所作計算 (First-principles Calculations) 的船舶安全性作業方法，亦僅能與目標設定及性能展現為主的基準 (Performance-based Standards) 所需之船舶安全性全面性考慮需要，有效相互結合起來。因此在此一方面，該被設計以降低風險的創新對策措施之範圍願景，勢應必須遠大於非僅企圖將災難影響最小化而已。

在傳統概念上，船舶設計實務慣例係強調於技術與經濟的平衡考量，倘若不是一個船舶設計完成的事後考量構想，能夠儘可能將船舶安全性需求 (Safety Requirements) 列入設計週遭考慮項目即為佳作。再者，在傳統船舶設計作業實

務(Conventional Ship Design Practice)中，任何與安全性相關的考量皆須遵循既定法令規章條文(Prescriptive Regulations)，審慎因應處理之。在此一長久以來氛圍籠罩下，安全性被視為船舶設計作業流程中的一項限制，如此認知業已導致產業視投資安全性事項，勢必妥協衝擊到營運報酬收益的負面效應概念(Ill-based Concept)。其次更進一步觀察相關性議題結果顯示，該傳統設計方法正阻礙著在船舶設計、建造生產、營運操作等各階段中的知識移轉(Transfer of Knowledge)，因此造成既不容許基於合理基礎的競爭性設計(Competitive Designs)開發，亦不容許設計人員能力發揮等情形發生。

在另一方面來看，該以風險管理為基礎的船舶設計(Risk-based Ship Design)，透過一種正規制式化的設計方法(Formalized Design Methodology)，以促進設計最適化(Design Optimization)概念的應用。在設計作業流程中，該設計方法系統化地整合風險分析工作(Risk Analysis)，藉以規避及降低對於人命安全、財產安全及環境危害等風險發生的機會，並且將其視為一個共存設計目標(Design Objective)。同時諸多船速、貨物裝載容量、乘客數量及船舶設計反覆次數等標準設計目標，同樣地均係再行透過先進首要物理原則工具的例行應用(Routine Utilization)以完成之。如此一來，船舶安全性問題將成為一個船舶生命週期的中心議題(Central Life-cycle Issue)，在設計工作流程中，應儘可能愈早被提示其重要性為佳。適當地將典型風險分析技術(Risk Analysis Techniques)與首要物理原則方法及工具等相互聯結，以提供若干需求的潛在可能性，諸如不僅是提供設計輸入及必須被安裝於設計作業流程等所需，並且能夠協助海事法規與規章的有效性，及合宜標準提案(Proposal of Appropriate Criteria)等的開發及評估。至於有關以風險管理為基礎的船舶設計架構邏輯說明，詳請參看圖四所述。

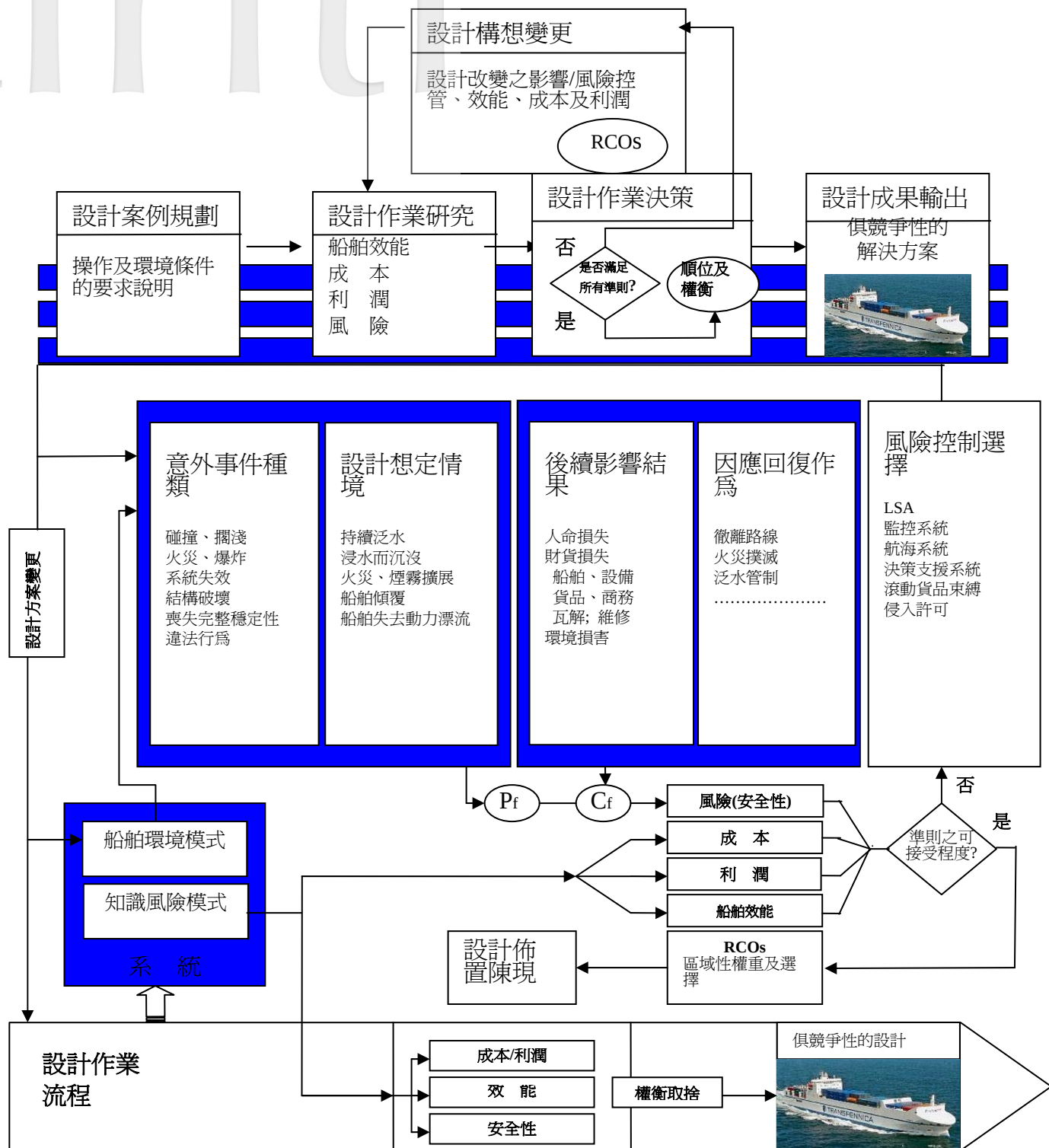


圖 4 以風險管理為基礎的船舶設計架構邏輯說明

爲促使以風險管理爲基礎的船舶設計更具可行性及可有效管理性，甚至可實用性，最佳方法即是從一些事實推演得到，正如一個由上至下的程序流程，該船舶的安全性議題僅被少數因素所宰制管理，當其可被個別單獨或混合整體考量評估，可定義成一套設計想定情境(Design Scenarios)的限制系列，並且結合海難事故發生的可計算或然率及影響結果(Calculable Probabilities of Occurrence and Consequences)，因此其可整合量化船舶於海上遇險的生命週期風險(Life-cycle Risk)。基於前述邏輯，雖然一個量化風險的絕對數值或可能有所疑慮，但至爲重要，但是這些被想定設計情境的相對風險數值，可以使得風險控制或船舶設計變更(Risk-control Options or Design Changes)的選擇優先順序有所依循，進而最適化達成船舶設計目標。從傳統來說，正如圖五所顯示的海難發生情境，提供一種「結構性鏈結」(Structural Links)概念，可被應用於以風險爲基礎的設計方法(Design Methodology)之開發工作，其中亦包括有若干關鍵要素，分述如后：

- 1.已開發的先進首要原則工具(First-principle Tool)可以預測重大事件的發生頻率及可能導致後果。因此相關技術、成本、意外事件及發生事件的統計數據係極爲重要的。
- 2.在一般通用程度下，全面性的及數值化的有效率預測之風險及成本模型(Risk and Cost Models)，說明船舶系統、營運服務、功能，及特性與重大災害及風險(Principal Hazards and Risks)相關等知識。
- 3.以風險管理爲基礎的設計架構(Risk-based Design Framework)之發展及整合，藉以促進在設計階段的風險分析工作之系統化整合(Systematic Integration of Risk Analysis)，並且建構一個程式軟體功能平臺，以「緊密的」結合各式不同的設計工作活動，同時提供船舶設計者於設計創造過程中的一般通用的支援協助。
- 4.一個整合的設計環境(Integrated Design Environment)得以容納傳統設計工具及以風險管理爲基礎的模擬工具(Risk-based Simulation Tools)間的鏈結整合，並且有效支援在俱競爭力的設計方案(Competitive Design Solutions)之搜尋過程中的決策工作。

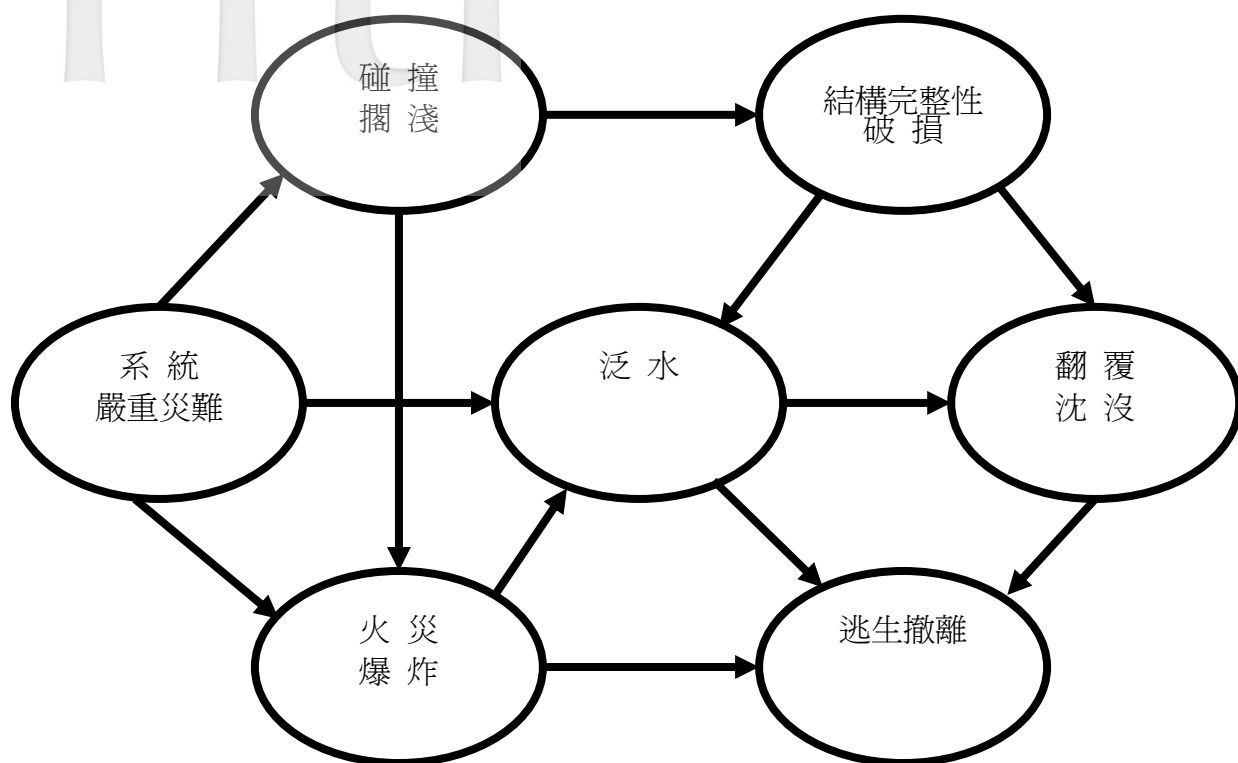


圖 5 海難發生情境的「結構性鏈結」概念

陸、系統應用程式工具的開發情形

正如相關研究發展計畫工作活動的部份作業項目一般，諸多列入考慮的相關關鍵科技(Critical Technologies)之應用工具、作業方法及流程步驟等業已被進行開發。其主要研究工作項目概分有結構負荷與反應，破損穩度與存活能力，船舶運動，人員逃生撤離，滅火消防，整合設計環境，風險評估，及安全性設計等八大類組。有關各研究計畫工作項目及研發計畫的執行成果等簡略說明，請參看表一所述。至於各類組下的研發計畫項目及執行成果等，詳分述如后。

表 1 各研究工作計畫項目及研發計畫的執行成果

<u>工作項目</u>	<u>研發計畫名稱</u>	<u>研發成果</u>	<u>備 註</u> (西元年)
1. 結構負荷與反應	(1)極端負荷下的結構安全性設計(德國驗船協會)。 (2)波浪引致負荷的精進預測方法(德國驗船協會)。 (3)改善航行安全的船舶設計。 (4)抗撞存活的船側結構研究。	(1)快速結構損壞強度的評估模擬方法。 (2)開發波浪引致負荷的數值預估方法。 (3)建立極端意外的水動力負荷及相關水彈性反應之預估方法。 (4)系統化探討船側結構的抗撞強度。	1997 - 2004
2. 破損穩度與存活能力	(1)抗翻覆破損阻抗的基本物理法則設計方法(卡勒海運公司)。 (2)緊急應變的決策支援系統(海洋科技公司)。	(1)船舶翻覆風險評估的創新設計方法。 (2)整合船舶泛水控制的決策支援系統。	2000 - 2005
3. 船舶運動	(1)高效能低阻力船型研究(英國史查士克里德萊大學)。 (2)減緩乘客暈船改善舒適度的合理方法。	(1)高速船造波特性的計算流體動力方法及應用軟體。 (2)乘客暈船預測的數學模式及全尺寸的實船試驗。	2000 - 2005

表 1 各研究工作計畫項目及研發計畫的執行成果(續)

<u>工作項目</u>	<u>研發計畫名稱</u>	<u>研發成果</u>	<u>備 註</u> (西元年)
4. 人員逃生撤離	(1) 乘客召集及逃生設計的科學理論基礎。 (2) 經由智慧模擬評估及大尺寸實際測試的立即應變及逃脫策略研訂(英國海事科技公司)。 (3) 安全的棄船程序及現行救生設備系統改善計畫。	(1) 改善乘客召集及逃生的預測軟體程式。 (2) 結合人員召集、船舶運動、火災及棄船等要項的船舶逃生模擬機。 (3) 在極端天候海況下的最適救援系統概念之模型試驗及全尺寸實船試驗。	1997 - 2008
5. 滅火消防	(1) 安全性設計(船舶火災工程分析工具箱組合)。	(1) 應用 IMO 船舶火災設計規定的風險評估之消防安全工具箱。	2000 - 2003
6. 整合設計環境	(1) 生命週期的虛擬實境之船舶系統(英國史查士克里德萊大學)。	(1) 建置支援船舶生命週期中設計、生產及營運的船舶系統功能整合之軟體平臺。	2001 - 2005
7. 風險評估	(1) 法令規定及設計合理性的調和計畫(挪威驗船協會)。	(1) 確認應用或然率破損穩度計算，可被完全有效接受。 (2) 彙整研究建議成為格式化法令規定。	2000 - 2003

表 1 各研究工作計畫項目及研發計畫的執行成果(續)

工作項目	研發計畫名稱	研發成果	備 註 (西元年)
8. 安全性設計	(1) 機率法規為基礎的駛上駛下客船之最適設計方法(戴達海事公司)。 (2) 高速船舶的安全性設計(丹麥海事研究所)。 (3) 有效節能的安全創新快速船舶設計。	(1) 應用或然率概念的客輪艙區劃分之設計方法及示範建置。 (2) 滿足最低生命週期成本的尖端高速船艇之整合設計工具。 (3) 改善燃料及船殼效率、性能、降低排放，及下洗伴流等的創新空氣緩衝與潤滑技術。	2000 - 2005

一、結構負荷與反應

1. 極端負荷下的結構安全性設計(德國驗船協會) - 駛上駛下船舶結構損壞後的剩餘強度(Residual Strength)的預測模擬方法，可以提供創新的快速評估作業(Rapid Evaluations)。正規化初步設計作業指導守則的具體訂定¹¹。
2. 波浪引致負荷的精進預測方法(德國驗船協會) - 結構構型(Structural Configurations)的強度分析。開發波浪引致負荷(Wave-induced Loads)的實用數值預估技術，並且輔以拖曳水槽(Towing Basin)的系統化模型試驗(Systematic Model Tests)結果佐證。提供結構改善及法條規範研發等工作的指導守則及建議¹²。
3. 改善航行安全的船舶設計 - 建立極端意外事件的水動力負荷(Hydrodynamic Loading)及相關水彈性反應(Hydroelastic Response)之預估工具及方法。建置水動力、結構分析、水彈性耦合的數值，及模型水槽耐航、船舶水力衝擊試驗(Water Impact Test)的實驗結果¹³。
4. 抗撞存活的船側結構研究 - 系統化探討船側結構的抗撞強度，藉以提昇沿岸

¹¹ DEXTREMEL Project 2001 Final Public Report, January 2001, <http://research.germanlloyd.org/Projects/DEXTREMEL/index.html>.

¹² WAVELOADS Project, Schellin, T.E., Beiersdorf, C., Chen, X.B., Fonceca, N., Guedes Soares, C., Maron Loureiro, A., Papanikolaou, A., Perez De Lucas, A. and Ponce Gomez, J.M., Numerical and Experimental Investigation to Evaluate Wave-induced Global Design Loads for Fast Ships, SNAME Paper.

¹³ SEAWORTH Project, Final Public Report, August 2001.

型及中型駛上駛下貨輪於結構破損後的存活能力¹⁴。

二、破損穩度與存活能力

- 1.抗翻覆破損阻抗的基本物理法則設計方法(卡勒海運公司) - 以風險評估(Risk Assessment)為基礎的創新設計方法，其中引用基本法則模型(First-principles Models)，以模擬船舶於泛水過程中的物理狀態¹⁵。
- 2.緊急應變的決策支援系統(海洋科技公司) - 建立整合船舶泛水控制(Flooding Control)的決策支援系統(Decision Support System ; DSS)，以適用於現今安全管理系統(Safety Management System ; SMS)的各式船型¹⁶。

三、船舶運動

- 1.高效能低阻力船型研究(英國史查士克里德萊大學) - 開發高速船的造波及下洗特性(Wave- and Wash-making Characteristics)評估的計算流體動力(Computational Fluid Dynamics)方法及應用軟體，並且透過模型試驗(Model Tests)及全尺寸實船海上試驗(Full-scale Trials)等結果佐證。開發創新示範設計船體線型¹⁷。
- 2.減緩乘客暈船改善舒適度的合理方法 - 建置乘客暈船的預測模式及乘客舒適度(Passenger Comfort)的相應標準，並且開發數學預測模型(Mathematical Modelling)，及全尺寸實船海上試驗、實驗室測試(Laboratory Tests)等工作¹⁸。

四、人員逃生撤離

- 1.乘客召集及逃生設計的科學理論基礎 - 研究原生系統的設計特徵效應，藉以引導乘客、或走廊、樓梯間等設計，進而提供改善船舶在行進中、傾斜或橫搖等狀態下的可走動程度。改善乘客召集及逃生(Mustering and Evacuation)的預測軟體程式。進行實際數據測試及評估作業¹⁹。
- 2.經由智慧模擬評估及大尺寸實際測試的立即應變及逃脫策略研訂(英國海事科技公司) - 建立能夠整合人員召集、船舶運動、火災及棄船等要項的船舶逃生模擬機(Ship Evacuation Simulator)。並且開發概念設計程式軟體(Concept Design Software)，使得在船舶設計初期，即可進行概念設計構想測試工作²⁰。
- 3.安全的棄船程序及現行救生設備系統改善計畫 - 在救生設備(Lifesaving Appliances ; LSA)規定考量下，提昇乘客及船員存活能力(Passenger/Crew Survivability)的逃生撤離系統之概念改善。在極端天候海況下，最適救援系統

¹⁴ CRASH COASTER Project 2004 Final Public Report, October 2004, <http://crashcoaster.rtdproject.net>.

¹⁵ NEREUS Project 2003 Final Public Report, May 2003.

¹⁶ COMAND Project, Contract Ref. G3ST-CT-2002-50361.

¹⁷ FLOWMART Project, Final Public Report, April 2003.

¹⁸ COMPASS Project, www.compass.cetea.it.

¹⁹ MEP Design Project 2001 Skjong, R. and Courcoux, L., Evaluation of Pragmatic Value, May 2001.

²⁰ FIRE EXIT Project, www.bmtproject.net/fire-exit.

概念的模型試驗及全尺寸實船試驗等²¹。

五、滅火消防

1. 安全性設計(即為船舶火災工程分析工具箱組合) - 應用國際海事組織(International Maritime Organisation ; IMO)所頒定擇用船舶火災設計規定(Alternative design Regulations)，開發執行火災風險評估(Fire Risk Assessment)的消防安全工具箱組合²²。

六、整合設計環境

1. 生命週期的虛擬實境之船舶系統(英國史查士克里德萊大學) - 建置一個程式軟體平臺，以促進真實船舶系統所需功能的整合及文件整備，進而能夠有效支援船舶生命週期各階段中的相關設計、生產及營運等工作²³。

七、風險評估

1. 法令規定及設計合理性的調和計畫(挪威驗船協會) - (1)確認或然率概念的破損穩度(Probabilistic Damage Stability)計算，可被完全有效接受。(2)彙整研究建議成為格式化法令規定(Regulatory Format)²⁴。

八、安全性設計

1. 機率法規為基礎的駛上駛下客船之最適設計方法(戴達海事公司) - 研發設計方法，並且建置於設計示範工具(Design Demonstrator)，其中應用或然率概念於破損穩度及最適化工具與方法，及駛上駛下客輪的有效艙區劃分(Effective Subdivisions)等工作²⁵。
2. 高速船舶的安全性設計(丹麥海事研究所) - 建置一套整合設計工具，得以使尖端高速船艇(Advanced High-speed Craft)設計，在滿足安全性所必要層級下的最低生命週期之可能費用成本(Possible Through-life Cost)，並且得以進行安全性相關參數的變化所引致費用成本的合理評估(Rational Assessment)工作²⁶。
3. 有效節能的安全創新快速船舶設計 - 應用非傳統創新空氣緩衝與潤滑技術(Air-cushion/Air-lubrication Techniques)於船級審定通過的雙胴體船型(Approved Catamaran Configurations)，以期改善燃料及船殼效率(Fuel and Hull Efficiency)、性能、降低排放，及洗流/伴流(Wash/Wake)等²⁷。

²¹ SAFECRAFTS Project, www.safecrafts.org, March 2004.

²² SAFETY FIRST Project, Contract Ref. G3RD-CT-1999-00031

²³ VRSHIPS-ROPAX 2000 Project, 2000 www.vrs-project.com

²⁴ HARDER Project 2003 Final Public Report, July 2003, http://projects.dnv.com/harder_int.

²⁵ ROROPROB Project 2003 Final Public Report, May 2003.

²⁶ SAFETY AT SPEED Project 2004 Final Public Report, July 2004.

²⁷ EFFISES Project, Contract Ref. G3RD-CT-2000-00539.

柒、現今研發主題 – 「船舶安全性的設計、營運及法規系統」

一個歐洲共同體為期四年的「船舶安全性的設計、營運及法規系統」(Design, Operation, Regulation for Safety)整合計畫，業已自西元 2005 年 2 月開始正式運作，其主要目標在於透過創新計畫作為(SAFEDOR 2005)，藉以強化海事安全(Maritime Safety)工作成效。明顯確定的是此一計畫自衝擊到海運業界至其被完全贊同前，仍將須持續耗費一些時間，然而經由多年內於「歐盟駛上駛下船的安全性計畫」(SAFER EURORO)及其他相關計畫下的工作經驗，業界均擁有高度的期待及堅強的信念，並且若干計畫理念業已調整至合適、成熟的狀態。至於前述殷切的期待已被清楚地反映在「船舶安全性的設計、營運及法規系統」(Safe Design, Operation and Regulations ; SAFEDOR)整合計畫的戰略目標中，簡述如后，這些成就將可預見整個海事產業界會產生更大幅改變，並且冀望將會更臻佳境：

- 1.開發一個以風險管理為基礎及國際性普遍接受的權責管理架構(Regulatory Framework)，藉以促進應用基本物理法則方法(First-principles Approaches)，進而達到船舶安全性的終極目標。
- 2.開發船舶設計方法及應用工具等，藉以評估船舶在營運的、極端的、意外的，及重大災難等事件情境中，牽涉到人為因素所佔比率情形，並且整合前述可能發生因素及狀況，納入設計環境考量之中。
- 3.開發創新的解決方案(Innovative Solutions)及商用產品等，得以確保船舶能安全的、穩當的，及經濟效益營運。
- 4.生產歐洲以安全為要船舶(European Safety-critical Vessels)的先導型設計(Prototype Designs)，藉以確認其所提案方法係為有效，並且證明其俱有實務可行能力(Document Its Practicability)。
- 5.系統化轉送攸關安全知識給予更寬廣的海事產業族群，並且增添一種海事安全文化(Safety Culture)發展的激勵動機。
- 6.改善大學教育的訓練內容，及海事業界從業人員的專業能力等，以便適當因應創新的科技、作業方法及權責法規等發展狀況。

捌、結論與借鏡

為求有效回應眾所週知的重大海洋災難事件(Marine Disasters)，海洋產業者積極透過國際性的共同協力合作，竭力型塑落實安全性的重要議題。然而在由來已久的慣性及傳統等重重包袱(Burdens of Inertia and Tradition)下，此一進程顯得有些緩慢，惟無論如何，其所有努力皆朝著正確方向推展。再者欲有效維持及增進船舶安全性至一定合適妥當程度上，我們所需要努力的事項必定遠超過，僅是災難發生後才有所反應(Disaster-triggered Reactions)，進而推動檢討改

善作為。這個需要有系統的全方位應用科學方法(Systematic Use of Scientific Method)，並且結合所有民眾對於安全性議題態度的改變，及從建立制度至永續維持的意願等。

在過去時日中，對於有效回應船舶安全性議題的能力及認知是極為缺乏的。至於現今社會中，倖賴科學及科技的突飛猛進(Scientific and Technological Breakthroughs)，提供人們千載難逢的機會，在提昇船舶安全性議題上，得以開創迥異以往的嶄新作爲。在前述重要作為中，確有一項具體工作事項即係在「船舶安全性的設計」(Design for Safety)主題下，建置「歐盟駛上駛下船的安全性主題網路架構」(Thematic Network SAFER EURORO)，並且現今業已雷厲風行地規劃，推動前所未有的最大型歐盟共同資金贊助之安全性研究計畫(EU-funded Research Project)，即爲「船舶安全的設計、營運及法規系統」²⁸(Safe Design, Operation and Regulations ; SAFEDOR)，其將給予人們對於處理海事安全工作，擁有立竿見影的重大改變之所有冀望及視野。

²⁸ SAFEDOR 2005 Design, Operation and Regulation for Safety, Integrated Project 516278, www.safedor.org.