

指向核能復興之羅盤

沒有完美的管制 改革不能間斷

非一成不變，經常往前邁進的動態安定性

作者：原子力安全基盤機構(JNES)安全情報部長 水町涉

譯者：行政院原子能委員會技正 石門環

*日文原文刊載於 2005 年 5 月 ENERGY 雜誌

NRC 總部所在地 洛克威爾持續在泡沫經濟盛況

華盛頓特區的中心-地鐵中心(Metro Center)的第 8 個車站 Bethesda，從深入地下的車站搭乘很長的電扶梯出來地面，正對面就是美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission，簡稱 NRC)的總部，Bethesda 是站名，實際上是馬里蘭州有名的城市洛克威爾(Rockville)。

在華盛頓波托馬克河岸的櫻花盛開的時節選出櫻花小姐，以往都是日本裔的美女，最近也選出穿著和服的金髮女郎，相當漂亮。在河的附近優雅點綴著白宮、國會大廈、史密斯博物館、國防部的五角大廈等政府單位，這些市中心區與以前相比並沒有什麼變化，但因最近 10 年美國的景氣，華盛頓郊區呈現著泡沫經濟時的盛況。

雖說美國經濟已進入衰退期，但今年(2005 年)第 2 次出差來此，完全沒有這種感覺。實際上，去年建造的住宅創下新高，今年的氣勢應該比去年成長 10% 以上。另外，個人的家庭資產扣除負債後的純資產在 2004 年底為 48.5 兆美元(5200 兆日元)，1 年間增加 8.7%，增加金額為 3.9 兆美元(450 兆日元)，創下過去最高記錄。

洛克威爾離華盛頓特區相當近，以前我常去停車的停車場已經變成購

物中心，舊的建築物拆除重建，到處都在建造大樓，如同泡沫經濟期的盛況。NRC 總部前，去年建造中的 Marriott 大飯店已經完成，這一次就是在此舉行管制資訊會議(RIC)，這個會議於每年春天舉行，此次為第 17 屆，去年以前在白宮旁邊的 Capital Hilton 大飯店舉行，據說因為洛克威爾地區的發展而改到 NRC 的前面。

我初次訪問此地是在原子能委員會(Atomic Energy Commission，簡稱 AEC)的時代。1954 年，原子能法宣示原子能的和平使用，成立 AEC。1975 年決定把原子能的管制與促進分離，核能管制委員會(NRC)因而誕生，作為管制當局，辦公大樓與當時相同，NRC 的招牌下面還可以看到 AEC 的字眼。

當時的洛克威爾雖然在華盛頓郊外，但還是一個鄉下小鎮，當時的高樓也只有 NRC 等，經過泡沫經濟期，NRC 的前方興建高樓大廈，我的朋友也住在那裡。另外，華盛頓內以國防部而聞名的五角大廈旁新建了所謂五角城市(Pentagon City)的大型購物中心，購物人潮不斷，極為熱鬧，宛如泡沫經濟期的盛況。

變革中求安定

去年(2004 年)ENERGY 月刊 5 月號中介紹上述 AEC 紀念安全管制 50 周年、TMI 事故 25 周年的第 16 屆 RIC 會議盛況，當時 NRC 的 Diaz 主席談到在美國核能持續好轉的情況下發生了 Davis Besse 問題，「成功衍生驕傲、驕傲衍生事端」，並以「反省之時，行動之時」為題，發表專題演講，強調「為了避免掉入管制太少與管制太多的陷阱，我以現實的保守主義(Realistic Conservatism)為信條」、「核能的安全運轉在專業知識(Know-how)之下，維持舊有的、良好的核能方法(Nuclear Way)相當重要」。

此次的專題演講以「變革中求安定」(Stability Amid Changes)為題，「美

國因管制制度(ROP)的改善，核能的成績相當良好，但是管制與檢查制度沒有一百分，必須經常改善。另一方面，管制的安定性也相當重要，如果朝令夕改的話，產業界就會陷入混亂，如果重點置於安定性，就無法改革，所以二者間的平衡相當重要。經常改革是必要的，安定性並非一成不變，所以我想提出往前邁進的動態安定性(Dynamic Stability)」。Diaz 主席再度創造出新的辭句。

另外，就安定性而言，強調「管制機關與被管制者行動正確才能達成目標，所謂盡最大努力必須理解什麼是重要的，並以此為依據採取行動。必須將安全作為共同目標，如果沒有正確的答案，就去追求它，發現正確的答案後就傳達出去，特別是核能界，電廠的營運和管制必須努力應用這樣的原則。安定性就是要求有效管理，進而盡到說明的責任，並促成資訊的公開」。

支持布希的「核能安全而潔淨」

Diaz 主席持續說明：「核能安全必須經常置於所有業務的首要，我們的3個目標：安全、保防(Security)、以及防災之中，作為核心的綜合要素就是安全，NRC 是安全管制機關，所有的作為都是為了安全。

核能產業必須持續強化適當的設計、運轉、安全維護，避免掉落在自我滿足的陷阱，以免安全性不足。我們的目標就是取得認可者與 NRC 一起採行正確的行動，達成一個安定性，可以充份而確實保護一般大眾，也就是動態的安定性。

我確信核能電廠安全又安心運轉對美國的能源政策具有極為重要的貢獻。只要取得認可者與 NRC 專心致力於採行正確的行動，我確信核能就如同布希總統所說的，會是持續“安全而潔淨”的能源，而且今後也會對美

國有所貢獻」。Diaz 主席以此表示對布希總統國情咨文的支持。

反應爐的防恐對策

反應爐的防恐對策在 2004 年已大致完成，剩下的規則要件預定在 2006 年初期的委員會中決定。我們在保防方面的努力不僅針對反應爐，而是擴大範圍，延伸到各種管制上的責任，例如對運轉中反應爐的用過燃料池、獨立的燃料貯藏設施、除役的核電廠中仍留有用過燃料的用過燃料池、用過核燃料的運送、風險較高的輻射源等，一直採行保防措施。

用過燃料池是非常堅固的結構體，相信並不容易靠近或破損，此燃料池的構造不必加壓即可冷卻，存放低餘熱的用過燃料，有多種冷卻方法，也容易採行其他實用的保護手段，用過燃料的貯藏保證可以持續保護公眾衛生與安全。

取得認可者已經執行必要的事項，令人興奮的是有很多已經超出管制要件的範圍，而且 NRC 在過去、現在、未來也將嚴格而適時地監督，必要時也會要求採取改正行動。

取得認可者在防禦能力方面已有顯著的改善，我們也同時在綜合對抗訓練和評估方面進行大幅度的改善。911 以後，實施試驗性質的方案之後，將綜合對抗訓練與評估擴大，使方案更加充實後，才剛演練完成。NRC 每年監督綜合對抗訓練並評估其成效約 22 件，或是各廠址約 3 年 1 次，像這樣演練的次數頻率已有顯著的增加，而且取得認可者又以每季 1 次的頻率進行保防訓練。

更大規模的演練則請政府與軍隊加入。

設計事故(LOCA)的改革

Diaz 主席也強調這個會議的意義：「此一年度會議為眾所認知目前世界上所舉行核能與管制相關的唯一重要會議」。並宣示對核能設計基礎的設計事故(LOCA)進行改革。現在的設計事故為最大口徑管路的兩端破斷，也就是所謂的 LOCA，最新的 ABWR 主蒸汽管路直徑約 64cm、管壁厚度約 3cm、PWR 冷端管路(Cold Leg)直徑約 70cm、管壁厚度約 7cm，假想在瞬間(零秒)完全破斷，流體從破斷口兩側流出，這當然是不可能發生的事故，看到實物就知道，實際上並不會瞬間破斷。對於此事故，以事故管理(Accident Management)方式來處理，因此新的設計事故則偏向採用以前所謂的中型 LOCA，也就是中型尺寸的管路兩端破斷。」

我以前就一直如此主張，當我向 Diaz 主席表達：「這才是符合科學的改革，我非常贊成」時，Diaz 主席即與我握手表示同感。

美國下一代原子爐 超級車不如豐田車

接著 Merrifield 委員以風趣的講題「還沒到嗎？」(Are We There Yet?) 發表演講，「我是 3 個小孩的父親，老大 11 歲，和大家一樣，我也常常開車去兜風，小孩坐在後面，常常問：「還沒到嗎？」美國新核電廠的狀況也是一樣，馬上就要來了，但是還沒有抵達，那麼，現在到底在那裡呢？如果直截了當地回答，與以前相比，已經相當接近了。雖說如此，新核電廠的發包是比沙漠的海市蜃樓還近呢？還是像映照在鏡子那樣，真的比看到的感覺還接近很多？也許隨著時間的過去就會知道，考慮到那個時機的來臨，從現在開始就有必要採取行動。

到那個時候，與太過於革新的東西比較，我倒希望是漸進式的反應爐。我們必須注意的第一個教訓是革新所隱藏的危險性，美國人之所以不選擇

超級車(Super Car)而選擇豐田車也是同樣的道理，超級車又漂亮又有魅力，在車展(Motor Show)時雖然也有人垂涎觀看，但技術上還未完全成熟。另一方面，豐田車的外觀雖然和以前相比沒什麼變化，但經過不斷的技術改良，提升其安全性，實際上買車時還是選擇豐田或福特。

另外，還有第 2 個隱藏的危險必須避免，也就是對核能技術有關的能力和風險方面所作的說明，往往會有過度承諾、走過頭的傾向，對於核能的安全性，我確信應該只對真正可以實行的事作承諾」。Merrifield 委員在演講中說出真心話。

令人矚目的 Jaczko 新委員對 NRC 活動高度評價 聽眾也驚訝

被視為雅卡山(Yucca Mountain)反對派(?)的 Jaczko 被任命為新委員，令人相當矚目。Jaczko 以「Guiding Principles; Culture, Transparency, and Communication」(指導原則：文化、透明性，以及溝通)為題發表演講：「我想對最近幾年來大眾媒體對我偏見性的報導表示抗議，我對 NRC 的活動有很好的評價，我也認為核能管制的工作非常重要，首先是安全文化的養成具有相當的重要性，其次是所謂的透明性，我相當重視透明性，並將其定義為決策過程易於理解，另外一件重要的事就是傾聽公眾與產業界的意見，並作好溝通」。在演說中完全沒有提到雅卡山，雖有媒體報導 Jaczko 曾說過「不出席 NRC 決定雅卡山計畫的會議」，但實際上並沒有那樣的發言，Jaczko 曾經是反對派議員 Reid 的顧問，今後其言行頗受矚目。

只有核能不會帶來溫室效應

同是新任的 Lyons 以「Perspectives Upon Joining the Nuclear Regulatory Commission」(參與核能管制委員會之展望)為題，強調核能的重要性，並

在演講中提及「去年，有幾位環保方面的領導者已認同以核能因應未來之能源問題，在擔心排放地球溫暖化氣體之際，核能可以達成此任務。這些領導者之中，從原來的反核運動中轉變方向，也有人表明支持核能，最近幾個月，既是環保主義者、同時也是蓋亞(Gaia)理論提倡者的 James Lovelock 博士、前伯明罕(Birmingham)主教及地球之友會(Friends of the Earth)前會長的 Hugh Montefiore、綠色和平組織(Greenpeace)創建者之一的 Patrick Moore 均對此一問題發表直率的意見，其中一個例子就是 Moore 曾說：『核能是可以有效取代石化燃料的能源，是可以滿足世界上需求又不排放溫室效應氣體的唯一電力源』，為了這些環保主義領導者，我們這些核能專家必須加緊努力」。

具有良好成績的美國核電

我的好朋友、美國能源部 Dyer 局長從去年起擔任此一 NRC 最大會議的主辦者，此次也在會議開始時表達歡迎之意，並相當驕傲地發表美國核電的良好成績。

圖 1 顯示美國核能發電量的變化，2003 年比 1987 年增加 70%，與 1997 年相比，亦增加 20%。因為沒有興建新的核電機組，所以是容量因素大幅提升以及功率出力提升所獲得的成果，增加 20%發電量相當於興建 20 部 100 萬瓩級的核電機組，可說是革命性的改善，圖 2 為容量因素改善的情形。

圖 3 為前 1 期文章中詳細敘述的努力降低曝露劑量的結果，美國自從 1997 年超越日本後就持續擴大差距。圖 4 顯示每部機組異常事件件數的演變，2003 年與 2004 年都是 0.02 件，也是大幅的改善，圖 5 為每部機組安全系統的故障件數，2004 年為 0.74 件，已有令人驚異的好成績，圖 6 為每部機組安全系統動作件數，2004 年為 0.24 件，改善成果相當顯著。

美國近年來有這樣良好的成績表現，申請提升出力功率的機組也增加，所以也在努力加速審查作業。

NEI 新會長強調緊密對話

美國核能協會新會長為 2005 年就任海軍核子潛艦負責人的 Bowman，他在午宴中發表以下的演講。

產業界與 NRC 在核電廠的安全運轉、以及保護一般民眾與從業者安全的基本目標上分享共通的利益，我們對這種責任也許採用稍有不同的方法，但是目的是一致的。

NRC 對國民及國會負有法律上的責任，必須維持高水準的安全與保防基準，NRC 總部、各地區分部、以及核電廠內的 NRC 職員，正如同我作為海軍反應爐部門主管擔任管制任務一樣，監視著極為重要的利益，也就是所謂的民眾安全。產業界也負有核子設施安全而且有效率運轉的管理責任與信任義務。

這兩個特徵，也就是安全與效率，可以保證核能方案(Program)的品質，我們和企業一樣，對從業員、社區、顧客、股東負有達成最佳效率與最高安全基準的責任，雖然責任與顧客層有些許差異，但產業界與 NRC 具有相同的基本目標，為了雙方都能確實成功，必須採取有效的溝通方式。

產業界與管制機關間的微妙平衡在本質上是相當脆弱的，雙方存在著緊張，這種緊張也應該存在。事實上，我們的關係也可說是具有不同意見的關係，如果兩者均忠於其職守，經常的立場相左是難以避免的。

但是，產業界與管制機關的這種關係，除非必要，否則過多的爭論是沒有意義的，最重要的是有效的溝通。

以上就是 Bowman 的演講內容。

筆者也曾在 1990 年初訪問 NRC，當時是 NRC 與電力公司爭吵不休的時代，NRC 完全不信任電力公司，每次發生異常事件，立即課以罰金，此次產業界代表 NEI 會長的演講顯示與當時相反的「緊張中的蜜月時代」，筆者感受到美國的大改變，感觸良深。

參考美國學習日本的方式進行改善

以上彙整 NRC 最大活動的管制資訊會議(RIC)中 Diaz 主席及主要人物的發言，看到各個講題就可知道，雖是簡單的英文，卻是內容豐富的演講。Diaz 主席強調「管制必須經常改善、往前邁進的動態安定性」，Merrifield 委員提及「以後新的反應爐與其選擇如同超級車的反應爐，不如選擇如同豐田汽車那樣的反應爐。核能相關人員往往會過度承諾、走過頭」，並要求自我約束。作為產業界代表，NEI Bowman 會長強調「管制者與產業界意見相左是當然的，NRC 負有安全的責任，產業界追求效率，但在追求效率之時，安全運轉是不可或缺的，在安全上的目標是一致的，不必要的爭論是沒有意義的」。

每次會議都是發自內心的真誠議論，成熟而穩健的言論令人感佩，在日本很難有這樣的肺腑之言，對於核能的必要性以及謹慎而且安全運轉的重要性，應該拋棄千篇一律的老套，開誠佈公地展開議論。在這一系列指向核能復興之羅盤文章中常常談到美國核能在 1980 年代被日本超越之後，徹底學習日本的優點，產官學協商、評估長期性經營等，負責管制的 NRC 與電力公司間消除爭論，採行美國獨自的技術，導入 ROP 而持續維持良好成績。

日本具有技術上的優良性，實應認真學習國外的良好事例，產官學互相協調努力，使核能電廠之運轉更加安全，支撐起國家能源的主幹。

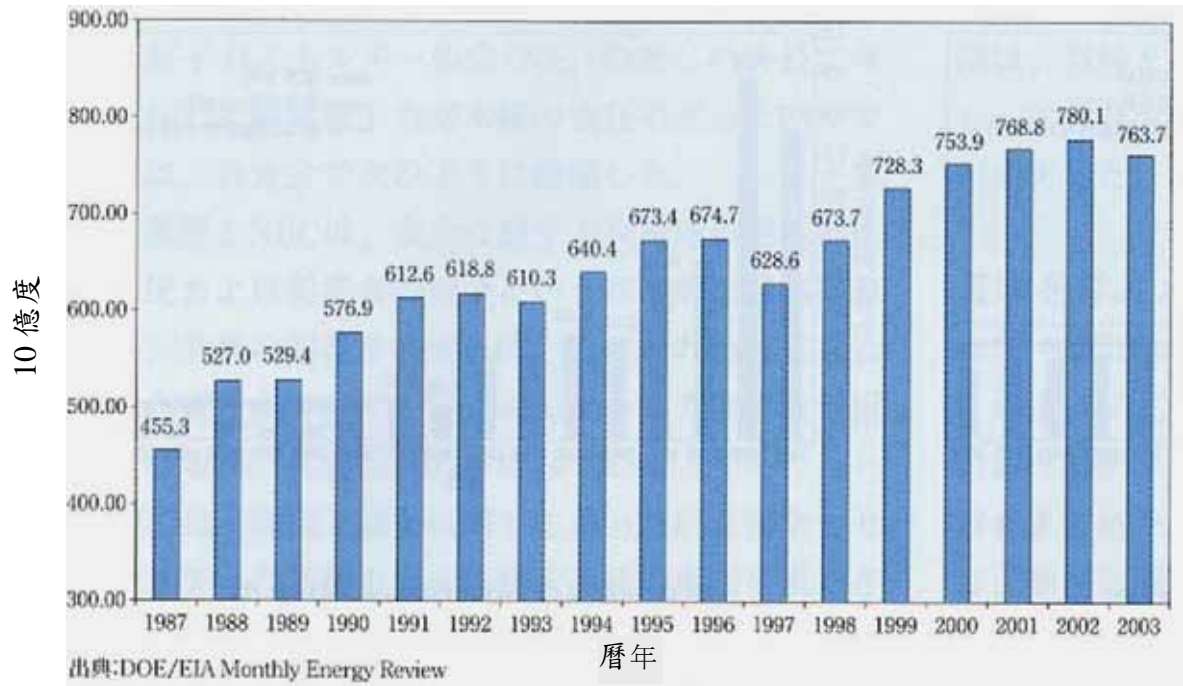


圖 1 美國核能發電量之演變

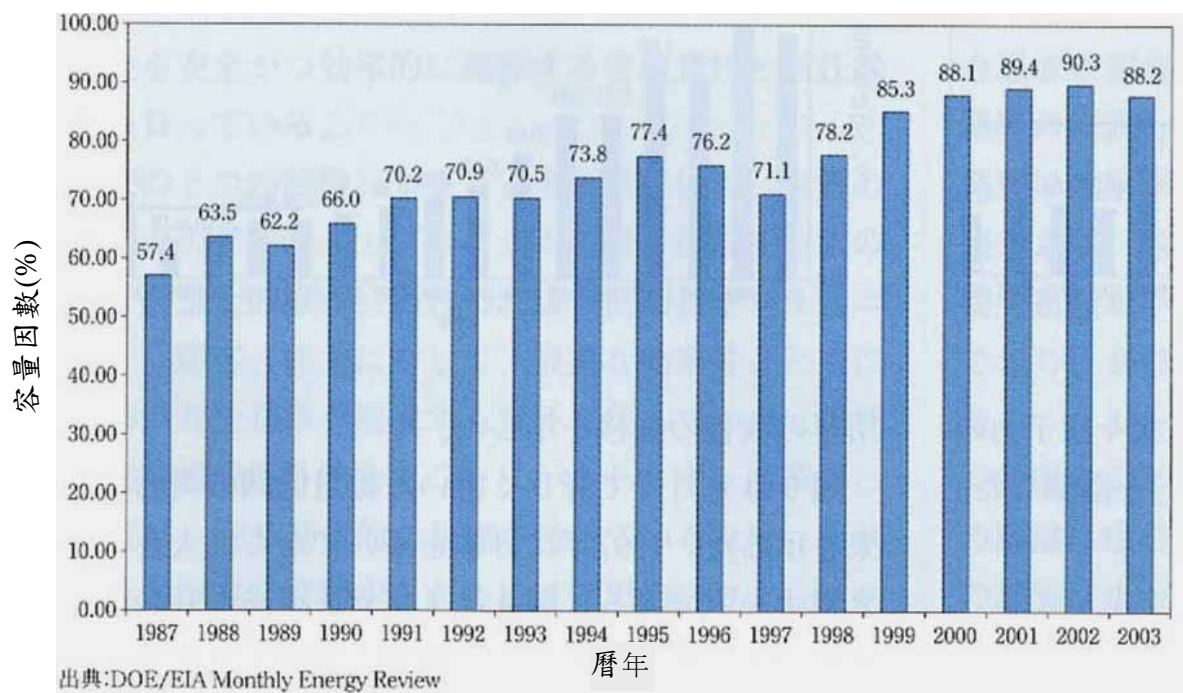


圖 2 美國核能發電容量因素之演變

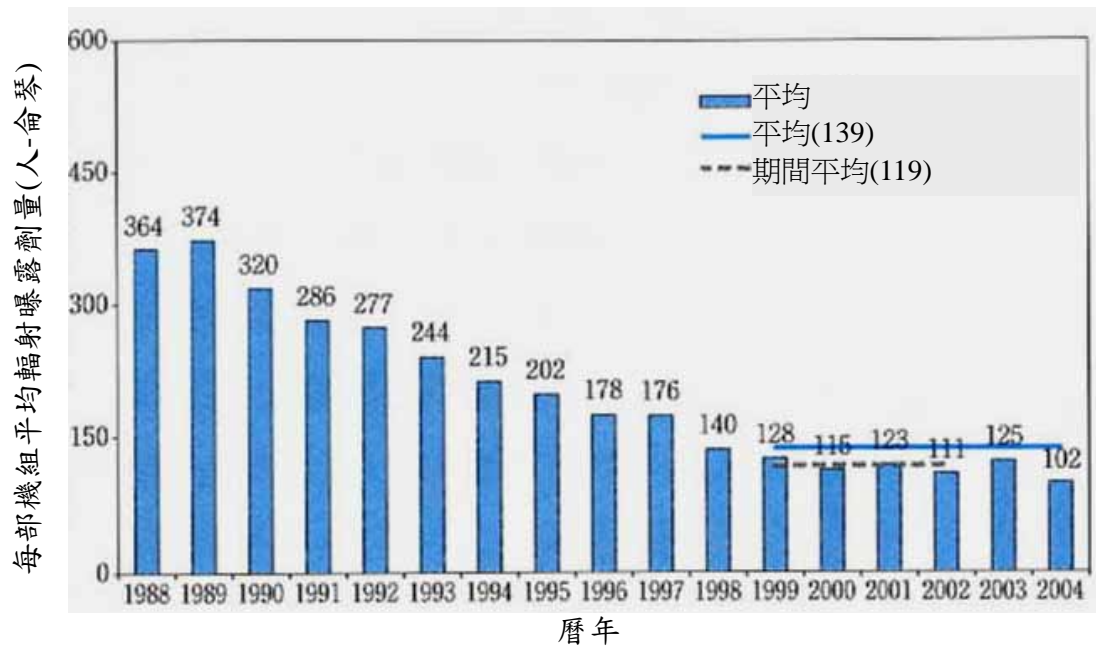


圖 3 美國降低劑量之演變

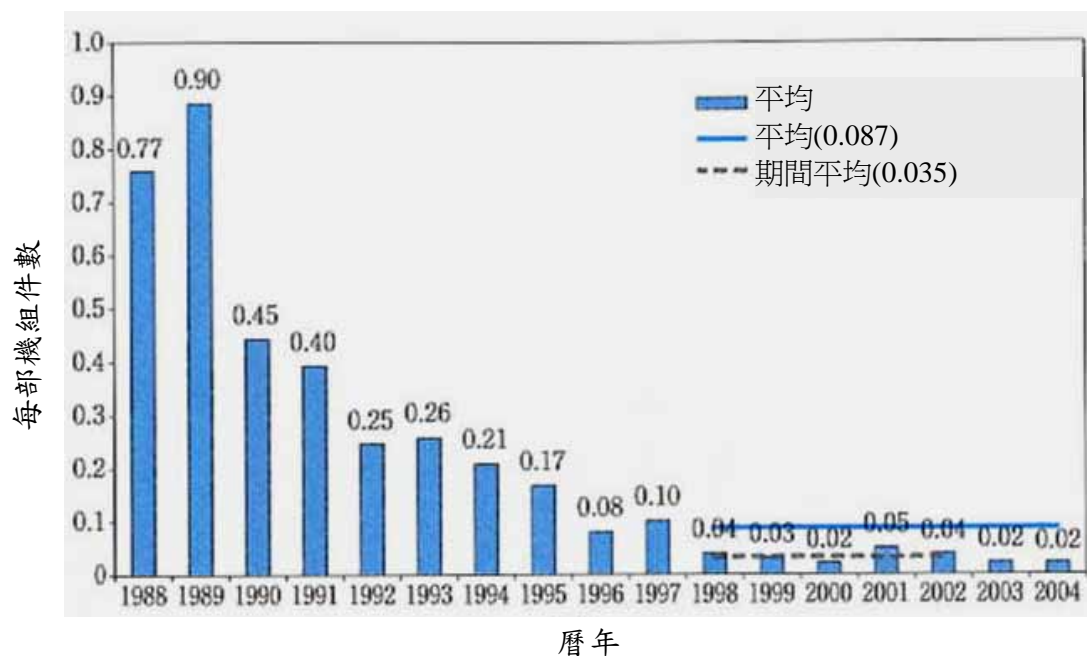


圖 4 美國異常事件之演變

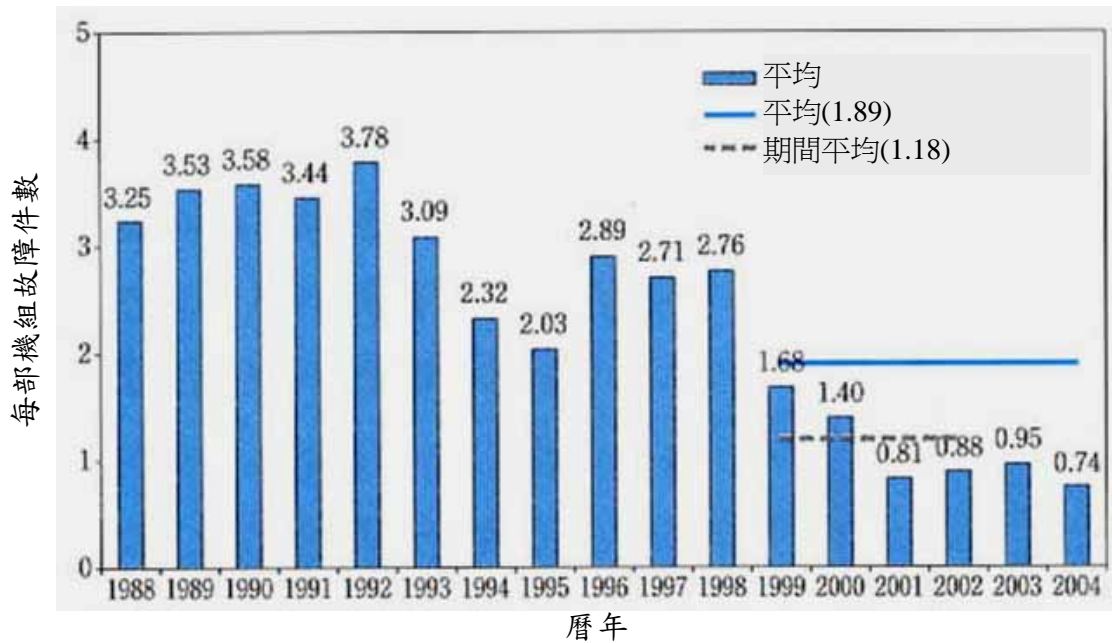


圖 5 美國每部機組安全系統故障件數之演變

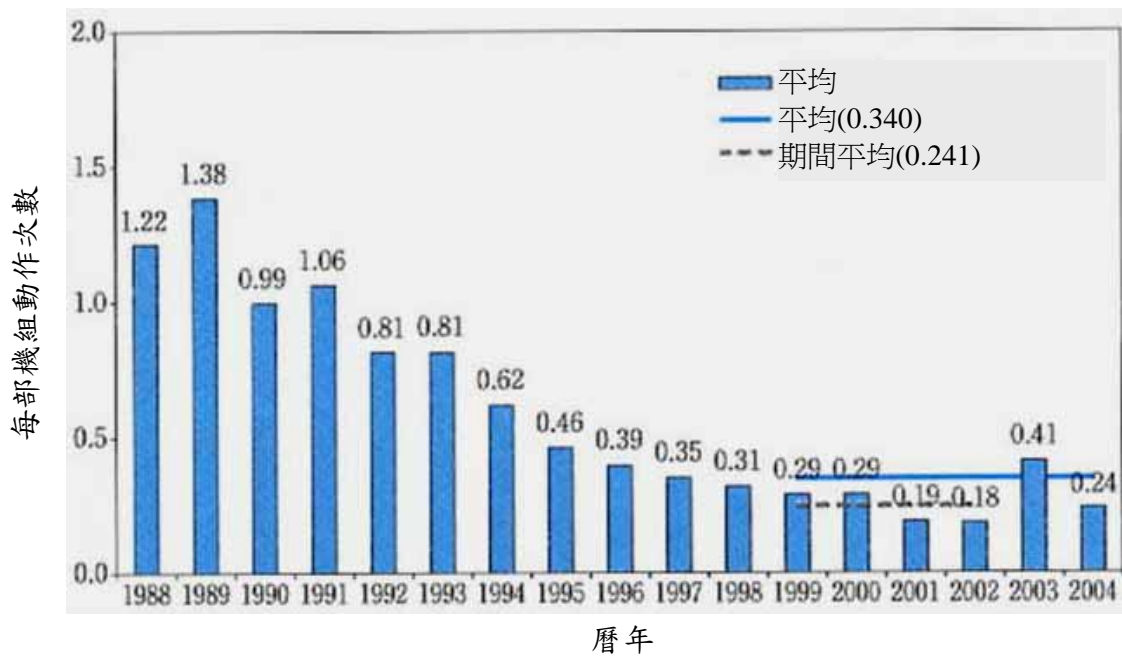


圖 6 美國每部機組安全系統動作件數之演變