溫室氣體之衝擊與對策

— 我國之影響與因應措施

呂　鴻　光　　著

財團法人孫運璿學術基金會 贊助

第一篇　溫室氣體增加對全球暖化及環境之衝擊

本篇章節：

第一章　溫室氣體增加與全球暖化

第二章　台灣的氣候變遷

第三章　氣候變遷對台灣環境之影響

第一章 溫室氣體增加與全球暖化

歷史上關於溫室效應與全球暖化相關研究，可追溯至 1827 年法國數學家傅立葉（Jean-Baptiste Fourier）發表一篇探討地球溫度的文章，將大氣層吸收太陽輻射能而使環境加溫的過程，比喻為玻璃瓶內的封閉環境[1]，可謂溫室概念之先驅。瑞典科學家阿赫尼斯（Svente Arrehuis）於 1896 年進一步提出造成此效應的主角應為二氧化碳(Carbon Dioxide, CO_2)[2]，同時指出使用化石燃料將加速溫室效應。而 1940 年英國物理學家卡倫德（George Callender）指出二氧化碳的增加將導致氣候暖化現象[3]，但其成果卻遭世人忽略。

1958 年美國科學家基林（Charles Keeling）在夏威夷Mauna Loa山頂設置氣體分析儀，對大氣中CO_2濃度進行觀測及連續記錄，建立大氣中CO_2濃度的長期變化曲線（Keeling Curve），如圖 1.1 所示，顯示大氣中CO_2濃度有逐年增加的現象。

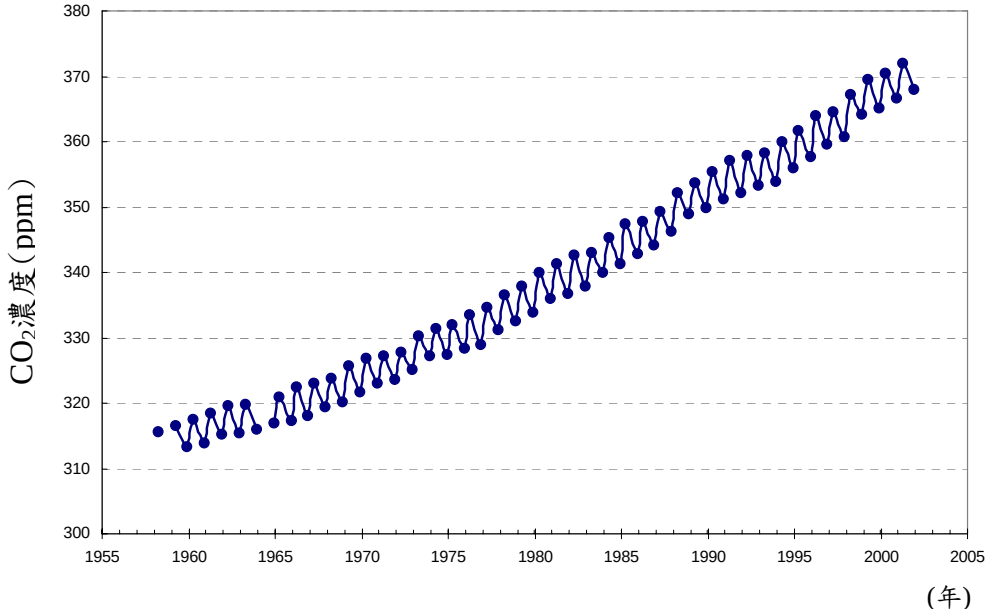


圖 1.1 大氣中CO_2濃度長期變化曲線（Keeling Curve）[4]

全球暖化現象的科學證據在二十世紀八十年代逐漸被證實與接受後，引起國際社會的重視。為了使這些科學證據能更有系統且具有利用價值，並廣為國際社會所參考使用，有其必要性與急迫性成立一個國際性專門組織以彙整評析全球暖化的相關資訊，因此世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）與聯合國環境

規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）於 1988 年成立氣候變化政府間專家委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），主要任務為評估全球氣候變遷的科學、技術及社會經濟相關研究報告。IPCC 既不從事新的研究，也不監測與氣候有關的數據資料，而是以發表其評估為基礎和集體評論科學與技術文獻為主。因此要了解全球暖化的科學證據與全球氣候環境變化，主要分析 IPCC 相關報告即可一窺全貌。

本章首先說明全球暖化的原因，並介紹 IPCC 組織架構，以及彙整 IPCC 相關報告中全球氣候環境變化、氣候變遷驅動因子變化及二十一世紀全球氣候環境預測等內容。

1.1 全球暖化的原因

抵達地球表面的太陽輻射（紫外線短波輻射），約有 2/3 的能量被地表所吸收，並藉由大氣和海洋環流重新分佈；而 1/3 的能量則被反射回大氣層再進入太空，且地球本身亦會釋放出長波（紅外線）輻射回太空。當進入地球的太陽輻射能量和地表所反射與輻射至太空之能量達到平衡時，地表溫度即呈現穩定狀態。若兩者不平衡，能量將累積在大氣層中而造成溫度上升，形成溫室效應（Greenhouse Effect），此即是全球暖化的過程（如圖 1.2 所示），全球暖化亦將造成全球氣候變遷。

各種可改變進出地球輻射量的因子，可由全球所獲得的淨輻射能量—「輻射作用量（Radiative Forcing）」，以評量單位面積所得到或散失的輻射能量。因子包括太陽本身的活動影響輻射能量多寡，以及影響地球大氣吸收輻射能量之各氣體與粒子濃度，例如溫室氣體（Greenhouse Gas）、氣膠及火山活動噴發的含硫氣體（主要是二硫化物）。正的輻射作用量將使地球表面和低層大氣增溫，而負的幅射作用量則使它們變冷。

大氣中可吸收地球長波輻射的氣體被稱為溫室氣體，其濃度增加時，會降低地表向太空的輻射率，減少熱量逸散至太空，所累積的能量促使低層大氣和地表溫度升高。常見的溫室氣體包括：二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氧化亞氮（N_2O）、氫氟碳化物（Hydrofluorocarbons, HFCs）、全氟碳化物（Perfluorocarbons, PFCs）及六氟化硫（Sulfur Hexafluoride, SF_6）、水蒸汽（H_2O）及

臭氧（O_3）等。

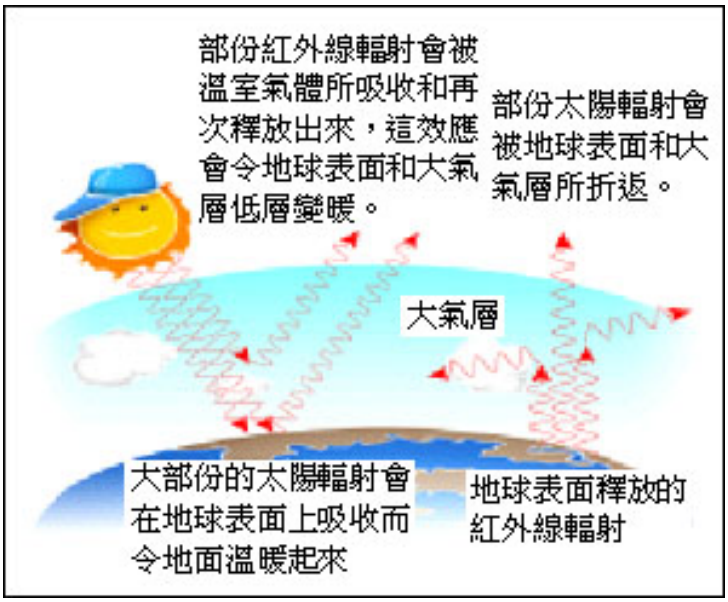


圖 1.2 溫室效應示意圖

表 1.1 為幾項重要的溫室氣體，並列舉說明其在 1750 年（工業革命前）、1998 年的濃度、1990~1999 年期間濃度的變化及它們在大氣中的存留時間（或稱生命週期）。在自然過程中排放至大氣的溫室氣體在被分解前，生命週期長的溫室氣體約可在大氣中存留至少幾十年或幾百年，甚至可長達幾千年，在此期間它們都對維持大氣輻射作用有著不可逆的貢獻。而分析歷年來的統計數據，人為的溫室氣體在大氣中的濃度，皆呈現顯著上升的趨勢。

表 1.1 受人類活動影響的溫室氣體[5]

項目 \ 氣體	CO_2 (二氧化碳)	CH_4 (甲烷)	N_2O (氧化亞氮)	CFCl-11 (氟氯碳化物-11)	HFC-23 (Hydrofluoro-carbon-23)	CF_4 (Perfluoro-methane)
1750 年濃度 (工業革命前)	About 280 ppm	About 700 ppm	About 270 ppb	0	0	40ppt
1998 年濃度	365ppm	1745ppb	314ppb	268ppt	14ppt	80ppt
濃度變化比[a]	1.5ppm/yr[b]	7.0ppb/yr[b]	0.8ppb/yr	-1.4ppt/yr	0.55ppt/yr	1ppt/yr
生命週期	5 to 200yr[c]	12yr	114yr	45yr	260yr	>50,000yr

[a] 只計算 1990~1999 年期間的濃度變化速率。

[b] 二氧化碳的濃度變化速率每年在 0.9~2.8ppm之間，而甲烷在 0~13ppb之間。

[c] 二氧化碳的生命期長短不一，這是由於不同的分解過程其更新速率不同。

1.2 IPCC 簡介

氣候變化政府間專家委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）於 1988 年成立以來，完成一系列的技術文件、特別報告和綜合性評估報告，並提供國際社會（包括決策者與一般大眾等）有關氣候變遷的科學性資訊，而這些資訊在氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）的簽署談判過程中扮演著重要的角色。

IPCC提供氣候變遷整體面的決策架構，例如：1990 年完成第一次對氣候變遷綜合性評估而彙編成第一次評估報告（First Assessment Report, FAR），1995 年完成第二次評估報告（Second Assessment Report, SAR），提供協商所需的關鍵資訊，促成 1997 年京都議定書(Kyoto Protocol, KP)的簽署。1994 年準備評估溫室氣體清冊的技術準則[6]，於 1995 年正式發行，而後在 1996 年提出修訂版[7]，並於 1997 年的京都會議中確認通過。此外，IPCC也進行各項重要主題的特別報告和技術文件，這些都是獨立性的科學資訊和建議，並視需要而準備，例如：在《公約》的要求下，IPCC於 2000 年準備一份“土地利用、土地利用變遷及森林”的特別報告。

IPCC 秘書處設置在瑞士日內瓦，工作成員來自世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）和聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）；而其辦事處成員則分別來自於聯合國五個分區區域。IPCC 的組織架構包括三個工作組和一個特別小組，茲說明如下：

- 第一工作組（Working Group I, WG I）：負責氣候環境和氣候變遷的科學性基礎評估。
- 第二工作組（Working Group II, WG II）：負責評估氣候變遷對社會經濟和自然環境的影響、氣候變遷正負面衝擊結果及調適之策略方案。
- 第三工作組（Working Group III, WG III）：負責評估溫室氣體減量和減緩氣候變遷方案。
- 國家溫室氣體清冊特別小組（Task Force on National Greenhouse Gas Inventories , TFI）：負責執行國家溫室氣體清冊計畫（IPCC National Greenhouse Gas Inventories

Programme，IPCC-NGGIP），發展為國際認同之估算國家溫室氣體清冊的方法。IPCC-NGGIP 的技術支援單位（The Technical Support Unit，TSU）於 1999 年在日本成立全球環境戰略研究所（Institute for Global Environmental Strategies, IGES），接管 IPCC-NGGIP 工作。

在 2001 年，IPCC完成第三次評估報告（Third Assessment Report, TAR）[5,8,9]，並經《公約》第七次締約國會議（Seventh Session of the Conference of the Parties, COP7）所採納通過，TAR收集自 1995 年起各項氣候變遷最新科學發現，並將研究範圍涵蓋區域性和全球性尺度，其內容包括：

- 第一工作組：從科學方面評估氣候環境與氣候變遷，彙整成「2001 氣候變遷：科學性基礎」（Climate Change 2001：The Scientific Basis）報告[5]。
- 第二工作組：從科學、技術、環境、經濟及社會層面，評估氣候變遷對生態系統、社會經濟部門與人類健康的脆弱性（vulnerability），包括受氣候變遷衝擊的敏感度（sensibility）及適應能力（adaptability），並將議題分類為區域性部門與跨部門，彙整成「2001 氣候變遷：衝擊、調適、及脆弱性」（Climate Change 2001：Impacts, Adaptation, and Vulnerability）報告[8]。
- 第三工作組：從科學、技術、環境、經濟及社會層面，評估氣候變遷的減緩，並透過一個任務編組（跨領域小組）評估跨領域的議題（如公平、貼現率與決策架構），彙整成「2001 氣候變遷：減緩」（Climate Change 2001：Mitigation）報告[9]。

1.3 全球氣候環境變化

根據IPCC TAR全球歷年氣候環境的觀測發現：從 18 世紀後，CO_2濃度已提高 31%，在 20 世紀中全球平均地表溫度已增加 0.6±0.2 ℃。IPCC第一工作組科學性基礎報告中，依照溫度、降水與大氣濕度、雪蓋與陸、海冰範圍、海平面、大氣與海洋環流結構、氣候變異和極端天氣及氣候事件變化等項目，描述與氣候環境相關觀測的

變化情形，茲將其彙整於表 1.2。

表 1.2 IPCC WG I (2001)各項氣候環境之觀測結果概要[10]

項目	觀測到的變化
溫度	・自 1861 年有儀器記錄以來，20 世紀 90 年代是溫暖的 10 年，1998 年是最溫暖的一年。 ・全球主要變暖期有二：從 1910 年至 1945 年和從 1976 年至今。1976~1999 年大氣增溫發生情況幾乎是全球性的，其中最高的溫度增長發生在北半球大陸的中高緯度；1910~1945 年的大氣增溫主要集中在北大西洋；而 1946~1975 年北大西洋和北半球大部份地區明顯變冷，南半球大部份地區卻是增溫。 ・全球陸表升溫速度快於海洋表面。
降水與大氣濕度	・自 IPCC 第 2 次評估報告以來，北半球中高緯度（除東亞外）年陸地降水增加量為 0.5~1%／10 年；副熱帶地區，陸地地表平均降水以 0.3%／10 年之趨勢下降）；熱帶陸地表面降水於 20 世紀內增加約 0.2~0.3%／10 年。 ・過去幾十年間北半球多數地區的地面和對流層低層水汽有增加之情形。自 1980 年以來，平流層低層的水汽也可能每十年增加約 10%。
雪蓋與陸、海冰範圍	・衛星資料顯示自 20 世紀 60 年代以來，冰蓋的範圍很可能減少了約 10%，北半球陸地溫度的升高與冰蓋的減少有很高的相關，大量的證據支持高山和陸地冰川的撤退與 20 世紀增暖有關。過去 100 到 150 年，由地面觀測資料得知在北半球中-高緯度湖泊、河流的年流動期大約縮短了約 2 個星期。 ・1958~1976 年和 20 世紀 90 年代中的晚夏到初秋時間北極海冰厚度可能減少 40%，在冬季減少的更少。而南極海冰大的範圍變化趨勢不明顯。
海平面	・20 世紀全球平均海平面的升高速度為 1.0~2.0mm/年。 ・20 世紀海平面上升的平均速度大於 19 世紀的速度，但因蒐集的數據有限，並無檢測出 20 世紀明顯的海平面加速升高情形，與模式結果並不吻合。
大氣與海洋環流結構	・自 20 世紀 70 年代中開始，聖嬰的情況與 100 年前相比有很大的不同，聖嬰的暖位相比冷位變得出現更頻繁、持續和加強。其變化影響全球熱帶和副熱帶的降水和溫度變化，可能已經對未來幾十年全球溫度的升高產生了一些影響。 ・20 世紀 70 年代以來，冬季北大西洋振盪（NAO）經常處於促進強西風急流的狀態，此與歐亞冷季的增暖有關。南極振盪在同樣過去 15 年處於一個加強的正位相，使南大洋有較強的西風急流。
氣候變遷和極天氣、氣候事件變化	・北半球中-高緯度地區，由暴雨和極端事件引起的總年降水比率顯著增加—20 世紀以來 50 年大的降水事件頻率可能增加了 2~4%。 ・在 20 世紀（1900~1995 年），全球大陸地區所經歷的嚴重乾旱和嚴重潮濕增加相對較少，在亞洲和非洲的部份地區，其乾旱發生的頻率和強度在最近幾十年則有所增加。 ・自 1950 年以來，全球許多地區之溫度低於正常季節平均的頻率減少，但高於正常的季節溫度頻率稍增。

另外，WMO 最新統計 2002 年 1~11 月數據，顯示 2002 年的全球平均表溫為 1860 年以來，僅次於 1998 年的第二高溫，比 1961~1990 年的平均溫度高出 0.5℃（如圖 1.3）。由表 1.2 各項觀測結果及最近的氣候異常現象，顯示全球氣候環境確實有溫暖化傾向。

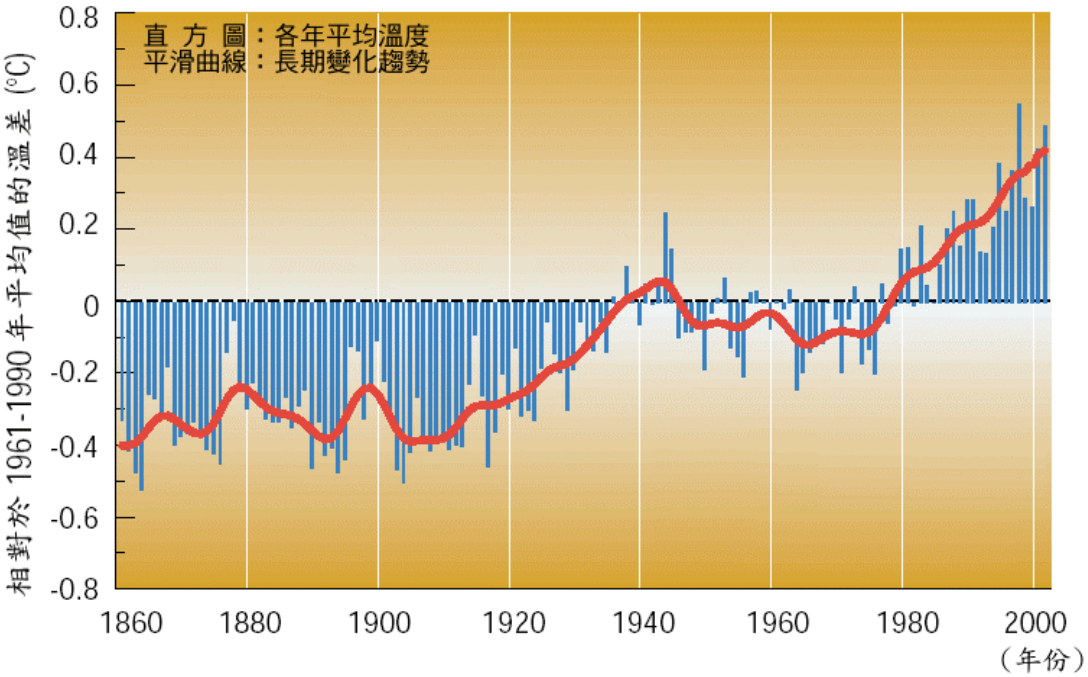


圖 1.3 全球平均溫度之變化（1860~2000 年）[11]

1.4 二十一世紀全球氣候環境預測[5,11]

預測全球氣候環境，需要複雜的物理氣候模式，以提供區域特性詳細的估算。IPCC 第三次評估報告（Third Assessment Report, TAR）使用的氣候模式包含全球三維格點，模式預測包含大氣中溫室氣體及氣膠濃度，簡要說明如下：

一、 溫度

1990~2100 年間，預測全球平均地表溫度將上升 1.4~5.8℃，係基於許多氣候模式在排放情景特別報告（Special Report on Emission Scenarios, SRES）35 個情景下所預測的結果。溫度上升的預測大於 IPCC 第二次評估報告預測值（約 1.0~3.5℃）。預測的暖化速率較二十世紀中的觀察值高出甚多，若根據古氣候資料，顯示很可能是過去一萬年來前所未有的。

據最近全球模式的模擬結果，幾乎所有陸地的暖化速率皆快於全球平均，特別是北半球高緯度地區的寒冷季節，最為顯著為北美洲北部及中亞北部，在每個模式中皆超過全球平均暖化約 40%；相反的，在南亞及東南亞的夏季、與南美的冬季的暖化則較全球平均為小。許多氣候模式預測，熱帶太平洋表面溫度趨向類似聖嬰現象，即東熱帶太平洋較西熱帶太平洋暖化程度高，而造成降水東移的現象。

二、降水

全球模式的模擬及各種情景預測，二十一世紀全球平均水蒸氣濃度及降水將會增加。二十一世紀後半期，北半球中高緯度地區及南極洲的冬季降水將可能增加。低緯度陸地區域降水的增加及減少皆會發生。大部份地區年降水將可能會有較大的變化，而平均降水預測將會增加。

三、極端氣候事件

表 1.3 顯示對於二十世紀後半期極端天氣及氣候事件變化的觀察及預測二十一世紀中的變化的可信度評估。此評估根據觀察及模式的模擬，以及各種常用的情景對於未來的預測，在物理上的可能性則基於專家的判斷。對於部份極端的現象，其中許多可能對於環境及社會造成重大的衝擊，然而目前並無足夠的資料以評估最近的趨勢，而氣候模式目前缺乏詳細的空間資料以進行有效的模擬預測。氣候模式並未模擬極小規模的現象，如雷暴、龍捲風、冰雹及閃電。

四、聖嬰現象（El Niño Condition）

聖嬰現象一般指赤道東太平洋（祕魯與厄瓜多爾沿岸）附近熱帶太平洋海域海溫常常會異常升高，洋流產生異常變化，進而造成漁獲量減少之現象。然而目前所通稱的「聖嬰現象」，往往是指全球性與災難性的名詞。目前預測顯示未來一百年，聖嬰事件的強度僅有些微變化，即使聖嬰事件強度變化微小或無變化，全球暖化仍將導致許多區域更嚴重的乾燥與豪雨，並增加聖嬰現象之乾旱與氾濫發生的風險。

五、雪與冰

預測顯示北半球雪與海冰的覆蓋範圍將進一步縮減，且二十一世紀間冰河及冰帽將持續大範圍的後退。由於降雪量增加，南極冰原可能會增大；而格陵蘭冰原由於流失速度大於降雪量而可能縮

小。由於南極洲西部冰原位於海平面之下，其穩定性成為各界關心的焦點，然而目前仍缺乏其長期動態預測的結果。

表 1.3 極端天氣與氣候事件變化之觀察與預測可信度之估計[8]

氣候現象的變化	觀察所得變化的可信度（二十世紀後半期）	二十一世紀預測變化的可信度
幾乎所有陸地區域最高氣溫的上升及更多炎熱的日子	可能	很可能
幾乎所有陸地區域最低氣溫的上升及冷日子的減少	很可能	很可能
大多數陸地區域日間溫度差範圍的減小	很可能	很可能
陸地區域的熱指數增加	於多數地區皆可能	於多數地區皆很可能
更多豪雨	於多數北半球中高緯度陸地區域為可能	於多數地區皆很可能
夏季大陸更為乾燥並伴隨發生乾旱的危機	於少數地區可能	於大部份中緯度內陸皆可能
熱帶氣旋強度的增加	於少數可分析的案例並無觀察	於部份地區可能
熱帶氣旋之平均降水及最大降水量增加	缺乏足夠的資料	於部份地區可能

六、海平面

對於所有排放情景特別報告（SRES)情景，預測顯示全球平均海平面將於 1990~2100 年間上升 0.09~0.88 公尺。此現象主要原因在於熱膨脹及冰河與冰帽的損失。綜合以上氣候環境的預測，對於所有 SRES 的情景而言，全球平均溫度及海平面高度未來均將會持續上升。

七、IPCC 預測結果綜合分析

長效性的溫室氣體排放（如CO_2、N_2O、PFCs及SF_6）對於大氣組成、輻射作用量與氣候有持續性的影響。當溫室氣體濃度穩定後（甚至降為目前的濃度），由海洋熱膨脹所導致的全球平均表面溫度增加與海平面上升等現象，仍將持續數百年。氣候狀態穩定後，冰原將因氣候暖化而持續減小，即導致海平面持續上升。

氣候模式顯示，格陵蘭地區的區域暖化程度將可能為全球平均暖化程度的 1~3 倍。根據冰原模式顯示，假設溫度呈現上升的趨勢

於 2100 年為增加 4℃，至 2130 年後為增加 5.5℃並穩定維持 1000 年，單就導致格陵蘭冰原融化即可使海平面上升 3 公尺。目前的動態冰模式指出，西南極冰原於未來 1000 年將可能使海平面上升 3 公尺，但此模擬結果完全視氣候模式對於氣候變遷情景、冰動力學及其他因素的假設條件而定。各項預測結果均顯示，人為所造成的氣候變遷將持續數個世紀之久。

參考文獻

1. Fourier, J. ,moire sur les temperatures du globe terrestre et des espaces planetaires, Mem. de l'Academie Royale des Sciences de l'linstut de France, 7, 569-604, 1827.
2. Arrhenius, S., On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philosophical magazine and Journal of Science, 41: 237-276, 1896.
3. Callendar, G.S., Variation in the amount of carbon dioxide in different air currents. Q.J.Royal Met Soc., 66, 395- , 1940.
4. Keeling, C.D., T.P. Whorf, and the Carbon Dioxide Research Group, Atmospheric CO2 concentrations（ppmv）derived from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii. Raw Data, 2002.
5. IPCC, Climate Change 2001：The Scientific Basis,（The Third Assessment Report）, 2001.
6. IPCC, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1,2 and 3, 1994.
7. IPCC, Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996.
8. IPCC, Climate Change 2001：Impacts, Adaptation, and Vulnerability,（The Third Assessment Report）, 2001.
9. IPCC, Climate Change 2001: Mitigation,（The Third Assessment Report）, 2001.
10. 行政院環境保護署，因應氣候變化綱要公約決策支援專案計畫期末報告，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A096，2002 年。
11. Climatic Research Unit, University of East Anglia and Hadley Centre, The Met Office, homepage, 2002.

第二章 台灣的氣候變遷

歷年來在行政院環境保護署（以下簡稱環保署）與行政院國家科學委員會（以下簡稱國科會）的支持下，對我國氣候變遷與相關衝擊評估，已有一系列的研究成果發表。本章主要彙整國內各項研究成果與二○○○年國家通訊有關我國氣候的內容，分成台灣氣候概況、台灣長期氣候變遷趨勢及台灣未來氣候預測等，簡要說明我國氣候變遷的情形。

2.1 台灣氣候概況

台灣本島位於東亞季風帶，北端起自 25°38’N，南端迄 21°45’N 止，南北長為 394km；西邊則自約 120°E起，東邊迄約 122°E止，東西最寬 144km。全島面積約 36,000km^2，地形高聳，地勢 100m以下面積佔總面積 31%，高於 1000m的面積佔總面積 32%。中央山脈由北向南延伸，由於山脈的阻隔，造成台灣區域氣候複雜，由於位於季風區，因此冬季與夏季季風相當顯著。

根據童等（2002）[1]與我國國家通訊[2]的統計分析，依氣溫、降水量、盛行風與風速、相對溼度、總雲量及天氣現象等六項氣候因子，分別說明我國的氣候概況：

一、氣溫

氣溫主要因地形高度及季節而有所差異。台灣平地年均溫約在 22~25℃之間，年均溫隨高度降低，最高海拔 3996m 的玉山，年均溫則僅為 4℃。台灣冬季受東北季風影響，氣溫有較顯著的南北梯度，一月的月均溫由北而南約介於 14~20℃之間；夏季受西南季風影響，全省氣溫普遍都高，南北氣溫梯度較不顯著，七月平地均溫約介於 28~30℃，四月以後平均溫度達 20℃以上者長達九個月；一年中六至九月為高溫季，均溫約 27~29℃，平均最高溫度則在 30℃以上；從十一月到翌年三月溫度較低，各地最冷月均溫多在 15℃以上，平均最低溫亦在 12℃以上，氣候屬於涼而不冷，偶有寒流來襲時，溫度才會遽降。春秋兩季氣溫則介於冬夏之間。

二、降水量

台灣年平均降水量，平地約在 1,500~2,500mm，因受地形及季風影響，不同地區及季節雨量差異十分顯著，山區更可高達 4,000mm 以上，雨量十分充沛。一般而言，山區降水多於平地，東部多於西部，迎風坡多於背風坡。在季節方面，冬季時東北季風盛行，北部為雨季，但降雨強度不大，南部地區同一時期則為乾季；夏季時盛行西南季風，易生對流性雷雨，造成強度大且雨量集中的降水，再加上颱風帶來的豪雨，此一時期中南部的降水量約為全年的 80％以上，常為中南部地區帶來災害。

三、盛行風與風速

受季風影響，台灣冬季盛行東北風，夏季則盛行西南風，春秋兩季則介於其間，東北季風期間較長，一般本島平地的平均風速介於 1~7m/s，離島風速較大。整體而言，夏季除颱風天外，風速較小。

四、相對溼度

台灣為亞熱帶海島，平均相對濕度很高，一般於 78~85％之間，除中南部外，全年的相對溼度變化不大，北部地區冬季相對濕度高於夏季，南部則正好相反，中南部冬季相對濕度略低，但也在 70％以上。

五、總雲量

台灣平地測站的年平均總雲量，以東北部及東岸較多，西南部較小；東北部及東部的總雲量年變化以冬季較多，夏季較少，但西南部則反之。年日照率受到雲量影響，則以東北部及東部較少（介於 28~35％），中西部及西南部較多（介於 45~55％）。

六、天氣現象

霧日的分佈與地形有關，在台灣，霧日以山地較多，平地較少，一般在 10 日以下。雷暴日的分佈則以西部山坡最多，年雷雨日可達 70 天；平地較少，多在 30 天以下。雷暴雨則以夏季較多，冬季較少。颱風或熱帶氣旋為台灣主要的災變天氣，也是降水主要來源。西北太平洋和南海地區颱風發生數年平均 22.8 個，以 7、8 及 9 月最多，侵台颱風數年平均 3.5 個，也是以 7、8 及 9 月最多，登陸颱風年平均 1.7 個。颱風發生數和侵台數有顯著的年際變化，一般氣候的年際變化與聖嬰/南方振盪及東亞季風的年際變化關係較為顯

著。聖嬰年西北太平洋颱風發生數減少，且冬季傾向較為溫暖，隔年春季台灣西部地區傾向多雨。其他東亞季風年際變化與台灣氣候相關的研究，則少有定論。

2.2 台灣長期氣候變遷趨勢

要研究長期的氣候變遷趨勢，必須要有長期的氣候觀測資料以供統計及分析，而其研究結果又因所使用的統計方法、分析的氣象變數及氣候觀測資料之不同，而會有不同的結論。台灣的地面氣候觀測自 1896 年建立第一個測站開始後逐年增加，至 1910 年已有 8 個測站，1942 年則增至 16 個測站，近年來已增加至 25 個測站，因此，長期性的氣候觀測資料尚稱充足。

吳等 （1992）[3] 首先以統計方法分析台灣過去 100 年的氣候資料，顯示台灣的氣溫除冬季外有增加的趨勢，夏季尤為顯著。年降水量部份，東部及東北部有增加趨勢，但中部及西南部則出現減少的趨勢。根據童等（2002）[1] 指出，我國其他長期氣候變遷趨勢重要研究的結論包括：台灣有雨日減少及降水強度變大的趨勢；台灣溫度的上升主要是最低溫的升高，尤以 1970 年代以後更為顯著；西部地區氣溫上升則伴隨霧日顯著減少。

許等（2001）[4] 主要針對台灣各測站的日均溫與累積雨量的頻率分佈，以分析其極端值是否呈現明顯的變遷，再利用線性回歸進行趨勢分析，得知極端氣候的頻率與強度分佈是否有所改變，並估計出頻率分佈。其探討的氣候變數除了氣溫與雨量外，尚包括降雨強度及雨量季節的變化等，主要的研究發現如下：

一、氣溫的長期變化趨勢

台灣發生高溫的頻率在 20 世紀逐漸升高，低溫也有逐漸往較高溫偏移的情形，但是相對而言，幅度較小；高溫的偏移程度大於低溫的偏移程度，顯示年溫差有逐漸增大的趨勢。根據許等（2001）研究[4]，台灣主要有以下兩個氣溫變化的現象：

- 台灣日均溫的分佈並非是高斯分佈，而是略呈雙峰分佈，並且以高溫發生的頻率較高。

- 台灣日均溫有明顯的系統性氣候變遷特性，而且主要發生於氣溫較高的一端。

台灣氣溫分佈往高溫偏移的現象，在 20 世紀初就已經非常明顯。因此，上述現象主要導因於氣候變遷，而非因台灣都會區發展所致的熱島效應，造成都會區的溫度上升。

二、降水量及降雨強度的變化趨勢

許等（2001）[4]研究 1950~1999 年間，每 10 年的日雨量頻率分佈，結果顯示大部份測站在 1990~1999 年間，小雨發生的機率普遍小於之前的 40 年期間的發生機率，1990~1999 年間較大雨勢發生的機率較之前的 40 年期間為高；豪大雨發生的頻率增加與否在各測站間則較無一致性；台灣有些測站豪大雨發生頻率有增加的長期趨勢，但是並非全台性的現象，而且機率的增加相當有限。

月雨量與日雨量變化無明顯的系統性，台灣各個氣象測站的降雨強度資料亦顯示，降雨強度無系統性增強或減弱的變化趨勢；根據有限的資料分析顯示，在可以比對的測站中，並未發現極端暴雨發生頻率偏高的現象。在台灣大部份氣象測站中，20 世紀前半段的颱風季雨量明顯高於後半段，而且颱風季也比較早發生，從世紀初到世紀末，相差了約 10 天。

三、雨量季節的變化趨勢

梅雨季雨量呈現明顯的年代季變化，大部份測站的梅雨季雨量，在 20 世紀初最低，世紀中最高，之後則逐漸減少；梅雨季開始時間在西部測站有延後的趨勢。台灣的秋雨以東部與東北部最為明顯，而且也有明顯的變化趨勢。以花蓮、台東及淡水為例，20 世紀初的秋雨雨量偏小，然後逐漸增加，在 1950~1979 年達到最高值，之後有減少的趨勢。整體而言，秋雨雨量的變化特性與梅雨季相當類似。

童等（2002）[1]分析 1942~2001 年的氣象觀測資料，針對交通部中央氣象局定義的北中南東四個氣候分區，及台灣各地區氣壓、氣溫、降水、相對濕度、風速及日照等六種氣象變數，對年數作線性迴歸分析，依各項斜率表示逐月長期趨勢，來定量評估台灣的區域氣候變遷趨勢，綜合其定量研究結果，彙整於表 2.1。

表 2.1 台灣各地區 1942~2001 年各項氣候變化趨勢[1]

區域 氣象	北部	中部	南部	東部	全台
氣壓	除 11 月與 12 月外，皆減少。	4、5、8 月降低，但 6、7 和 11、12 月升高。	全年升高。	2、6、9、11 及 12 月增加，但 3、4、5、8 及 10 月減少。	在 6、7 月和 11、12 月增加。
氣溫	全年溫度升高，以夏季最大，六月的增溫率為 0.021℃/年。	全年溫度上升，10 月幅度最大達 0.016℃/年。	全年溫度上升，幅度最大的 6 月與 7 月達 0.016℃/年	全年溫度增加，幅度最大的 10 月達 0.018℃/年	全年增加。
降水量	2、5、8 及 10 月增加，6、7、9 及 11 月份減少。	夏季顯著減少，6 月幅度最大達 -2.8mm/年。	夏季減少，幅度最大的 6 月達 -2.54mm/年。	在 2、5、8 及 10 月增加，3、4、6、7、9、11 及 12 月減少。	6 及 7 月減少，3、4、10 及 11 月增加。
相對溼度	全年降低。	全年降低。	全年降低。	全年降低。	全年減少。
風速	除 8 月外其餘月份皆減少。	全年略降。	夏半年增加，冬半年減少。	全年減少。	全年減少。
日照	除 12 月份持平外，其他月份減少。	全年降低，最大幅度的五月達-0.198%。	除 6 及 7 月外其他月份減少。	在 2、5、8、9、10 及 11 月減少，6 及 7 月略為增加。	全年減少。

根據表 2.1 結果顯示，以過去 60 年氣候變遷趨勢而言，全年氣溫上升，夏季幅度略大，降水有夏季減少及秋季增加的趨勢。氣壓的上升主要在 6、7 月及 11、12 月，由此推測可能是夏季太平洋高壓增強的影響所致，相對濕度的降低可能和氣溫升高有關，風速的降低也可能和都市化有關，不能完全歸因於全球變遷。日照率減少可能和雲量增加或空氣品質不佳有關，值得進一步深入研究。[1]

綜合各項研究結果，雖然降水、降雨強度及極端氣候的頻率等變化趨勢，仍待各研究詳細探討，但是氣溫上升的確是各研究中確定的趨勢，台灣在過去百年來，經歷了全台性的暖化現象，與全球暖化趨勢一致，氣溫上升速率約在 1.0~1.4^{o}C/百年[2]。台灣的暖化

現象不只發生在都會區，玉山等無明顯開發地區也有顯著的暖化現象。

2.3 台灣未來氣候預測

一般氣候模擬時，所謂一倍CO_2濃度的氣候預測情景（以下以1xCO_2表示），乃指一倍的 1990 年CO_2平均觀測濃度，該濃度為355ppm，所以一倍CO_2的模擬即為模擬 1990 年時氣候；而二倍CO_2濃度的氣候預測情景（以下以 2xCO_2表示），亦即指二倍於 1990 年CO_2平均觀測濃度下的情景，該濃度為 710ppm，若依照IPCC 2001－SRES中各項情景，2xCO_2濃度的模擬約為預測 2085 年左右的氣候變遷。

林等（2001~2002）[6,7]研究中，對 1xCO_2與 2xCO_2兩種氣候變遷預測情景的模擬輸出資料，並進行降尺度（downscale）的模式耦合模擬，其研究結果可歸納如下：

一、全球氣候模式模擬結果：

在 2xCO_2的情境下，地面溫度有明顯的增加，且增加的幅度隨經度的增加而增大。另外冬季的增溫也比夏季來得多，但台灣的季節差異則較不明顯。而台灣冬季會有較多的降水，但夏季降水反而減少。

二、區域氣候模式的模擬結果：

在 2xCO_2的情境下，氣溫、風場、降水等氣候變數的預測如下：

（一）氣溫的變化

台灣各地普遍有增溫的現象，增溫幅度約在 1.2～3.9°C間。其中冬季增溫主要在北部地區，春季及初夏時期主要增溫則在台灣西部地區。七及八月間主要增溫出現在台灣東部。整體而言，台灣在 2xCO_2的情境下，高溫出現的頻率大大的增加，而低溫（寒潮）的出現頻率反而減少。

（二）風場的變化

由於增溫使得冬季大陸高壓的勢力減弱，因而使得原來的強勁東北季風變為較弱，然而暖季中的西南風（或東南信風）則會明顯的增強。

（三）降水的影響

$2xCO_2$的情境對台灣降水的影響，可歸納為台灣豪大雨出現的機會明顯增多。這與過去百年觀測資料的分析結果一致，即台灣降水日數有變少的趨勢，但總降水量卻沒有減少。配合溫度變化，可發現降水越多的地區，氣溫的增幅就越小，而最大增溫區也與最小降水區一致。

根據童等（2002）[1]研究指出：高解析度的區域氣候模式之模擬，能忠實反應出台灣區域氣候的特徵，因而應用於未來區域氣候變遷評估時能有更高的信心。分析其預報結果顯示：

- 在 $2xCO_2$的情境下，氣溫將全面升高，導致急端高溫日增加，而極端低溫日減少。
- 極端降水（豪大雨）日數增加。
- 無法掌握颱風的發生數和強度氣候模式，但根據研究結果預期颱風強度（近中心最大風速）可能增加，颱風平均降水量和最大降水量皆可能增加。

綜合歷年氣象資料的統計分析及各項氣候區域模型的模擬預測結果，顯示大氣中溫室氣體增加，會引起台灣氣溫的升高。根據林等（2001~2002）[6,7]研究指出：在 $2xCO_2$的情境下，增溫的幅度大約在 1.2～3.9°C間；其他的氣候變數，如降水與颱風等的統計分析與預測，國內各項研究的變化趨勢雖然有所差異，但是可以確定的是這些氣候變數皆會因為溫暖化而加劇，亦顯示我國會受全球溫暖化的影響，導致區域性氣候環境產生變化，最終會衝擊到區域的水文、生態、森林、海平面、農漁產業、社會、經濟及人文等層面。

參考文獻

1. 童慶斌、吳明進、張裴章、林裕彬、謝龍生、李明旭、柳文成，氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置---氣候、水文、生態部份期末報告，行政院環境保護署專案計畫，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A100，2002 年。
2. 行政院環境保護署，二 000 年中華民國國家通訊，2002 年。
3. 吳明進，台灣的氣候變遷—氣溫和降水，大氣科學，20，295-318，1992 年
4. 許晃雄、邊孝倫，台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-氣候變遷 （III），行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC-89-2621-Z-002-037，2001 年。
5. 陳正達、謝坤璋，區域氣候變遷模擬系統之整合與應用整合計劃，子計畫五：多重模式的系集預測系統在區域氣候變遷的應用發展研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC90-2621-Z-003-001，2001 年。
6. 林沛練、曾仁佑、盛揚帆、賴信志，台灣氣候變遷預設情境模擬之初步研究，氣候變化綱要公約資訊速報，第 30 期，2001 年 10 月。
7. 林沛練、曾仁佑、許晃雄等，CCM3/MM5 對短期氣候變遷與區域氣候變遷模擬之研究與應用（I），行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC91-2621-Z-008-003，2002 年。
8. 柯文雄、張西亞、鄭守成、許晃雄、許武榮，PRM（普渡區域模式）應用於台灣短期氣候模擬和氣候變遷，行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC-90-2621-Z-002-011，2001 年。
9. 許晃雄、柯文雄、徐光蓉、鄒冶華、陳正達，台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-氣候變遷 （II），行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC 89-2621-Z-002-014，2001 年。

第三章 氣候變遷對台灣環境之影響

台灣本島海岸線全長達 1,140 公里，沿海地區蘊育眾多生物，西部海岸尤其以河口、溼地區域之物種最為豐富。島上蘊藏豐富龐雜之生態資源，但環境具高度脆弱性，一旦面臨全球暖化、海水面上升及極端氣候頻率增加等威脅，將使海岸侵蝕加劇、國土漸趨喪失、生態體系轉變及水資源重新分配，並連帶影響到產業活動及民眾健康等問題。本章依各環境項目，分別敘述溫室效應對台灣的海岸環境、水文系統、森林資源、生態及民眾活動之衝擊影響，希望能引起國人的重視。

3.1 海平面上升對台灣海岸環境的影響

一、觀測及研究

（一）海平面升降[1]

根據過去 90 年來 14 驗潮站之長期累積資料，台灣周遭的海平面在東北側、西北側及南部區域均有增加趨勢，例如：基隆與高雄站位的潮位分別以每年 0.35 及 0.61mm 速率上升；但中部的海平面卻呈現下降結果，例如：台中港的潮位便以每年 3.64mm 的速率降低。

此外，若考慮台灣目前地層下陷的問題，則影響甚巨。根據經濟部水利署的調查，台南和宜蘭兩地沿海區域的地層下陷速率每年均在 1cm 以上，若加上海平面上升因素，則此兩處之海平面上升效應將達每年 1.5cm 以上。

（二）海岸線變動[1, 2]

西部海岸線，以雲林縣受侵蝕情況最為嚴重，平均以 120cm/yr 之速度後退，彰化、嘉義及高雄海岸亦普遍受到侵蝕，且外傘頂洲與台南外側沙洲等海埔新生地面積均有縮小和變遷的情形發生。東部海岸線從宜蘭至台東，約以 20~53cm/yr 的速度後退，特別在台東縣信義至富岡一帶的海岸線，20 年來已後退 20~50m。

二、衝擊評估

IPCC TAR[3]針對全球氣候環境觀測結果，顯示 20 世紀全球平均海平面的上升速度為每年 1.0～2.0mm，並預測 1990 年至 2100 年間全球海平面將上升 0.09～0.88m。蘇等（2002）[4]參考聯合國環境規劃署（UNEP）海岸地區評估準則，分別以海平面上升 0.5m與 1.0m 作為評估情景，提出結果彙整如表 3.1。

表 3.1 海平面上升之衝擊評估[4]

<table>
<tr><td colspan="3">項目</td><td>海平面上升 0.5m</td><td>海平面上升 1.0m</td></tr>
<tr><td colspan="3">海岸線變化</td><td colspan="2">1.以西海岸地區（尤其為西南沿海）及蘭陽平原變化較大
2.離島地區：主要受影響區為部份沙灘</td></tr>
<tr><td rowspan="8">自然衝擊</td><td rowspan="2">保護(留)區</td><td>無堤</td><td>損失 5,006 公頃</td><td>損失 11,994 公頃</td></tr>
<tr><td>有堤</td><td>損失 2,608 公頃</td><td>損失 3,244 公頃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">濕地*</td><td>無堤</td><td>損失 1,053.4 公頃(8.6%)</td><td>損失 3,801.7 公頃(31.1%)</td></tr>
<tr><td>有堤</td><td>損失 565.5 公頃(4.6%)</td><td>損失 817.5 公頃(6.7%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">澎湖望安綠蠵龜保護區</td><td>損失 0.7 公頃(1.31%)</td><td>損失 1.41 公頃(2.64%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">紅樹林生態</td><td>若陸緣土地可獲得，
仍可存活</td><td>向陸的演化會承受
相當大的壓力</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">地下水位上升及鹽化</td><td colspan="2">地下水位含水層結構敏感區位：嘉南平原及屏東平原</td></tr>
<tr><td>屏東平原鹽化趨勢
向陸增加 67m</td><td>屏東平原鹽化趨勢
向陸增加 137m</td></tr>
<tr><td rowspan="8">社會經濟衝擊</td><td colspan="2">損失面積(無堤)</td><td>105.1 平方公里</td><td>272.1 平方公里</td></tr>
<tr><td colspan="2">損失面積(有堤)</td><td>41.1 平方公里</td><td>55.1 平方公里</td></tr>
<tr><td colspan="2">風險中面積</td><td>1,237.6 平方公里(3.4%)</td><td>1,382.0 平方公里(3.9%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">風險中人口</td><td>1,664.9 千人(臨界值**)</td><td>1,854.6 千人(臨界值)</td></tr>
<tr><td colspan="2">危險區位</td><td colspan="2">西南沿海低窪地區：台南縣市、雲林縣、嘉義縣及彰化縣</td></tr>
<tr><td colspan="2">土地利用影響</td><td colspan="2">濁水溪附近主要影響以養殖用地(32%)及農地(30%)為主</td></tr>
<tr><td colspan="2">海水浴場
沙灘流失</td><td>56.7 公頃</td><td>91.9 公頃</td></tr>
<tr><td colspan="2">影響古蹟數</td><td colspan="2">14 處</td></tr>
<tr><td rowspan="2">設施影響</td><td colspan="2">港灣及
保護設施</td><td colspan="2">設施安全性降低、損毀及維修頻率增加：以一般國內設計水位係考量 50 年暴潮偏差為例，若海平面上升 1.0m，原 50 年復限期之暴潮偏差設計將降為 10 年以下</td></tr>
<tr><td colspan="2">河口及排洪</td><td colspan="2">河口溢淹風險增加、排洪設備設計容量不足</td></tr>
</table>

* 濕地損失比例以台灣濕地面積約 12,200 公頃為基準

** 位於風險中的人口大於 500 千人

3.2 氣候變遷對台灣水文環境的影響

一、觀測及研究

台灣地區平均每人每年可分配之水量僅有世界各國平均值（約 26871 m^3）的 1/6 左右，加上降雨常集中在少數幾個月內，因此水文的不確定性相當高，造成水資源利用的困難。

在降雨趨勢方面，如第二章 2.2 節所述，許等（2001）[5]研究 1950～1999 年的 50 年期間，每 10 年的日雨量頻率分佈，在月雨量與日雨量變化均無明顯的系統性；且豪大雨發生頻率的增加與否在各測站間亦無一致性；梅雨季開始時間在西部測站有延後的趨勢；20 世紀前半段的颱風季雨量明顯高於後半段，且颱風季也較早發生。童等（2002）[6]分析統計台灣各地區於 1942～2001 年，降水量有夏季減少而秋季增加的趨勢。

此外，極端氣候事件發生影響水文環境，則有徐等（2000）[7]針對氣候變遷中之短週期聖嬰事件，分析 1955 年 1 月至 1999 年 12 月，雨量資料及河川流量的乾旱程度。研究成果顯示聖嬰強度在中度以上，則河川流量主要會分佈在平水年到豐水年之間；強度在中度以上的反聖嬰事件，河川流量主要會分佈在平水年到枯水年之間。而輕度的聖嬰和反聖嬰事件，其河川流量則無一致的分佈。

二、衝擊評估

童等（2002）[6]完整模擬分析集水區流量、水資源供需、地下水補注量及防洪系統，其短、中及長期所受到氣候變遷的衝擊，將結果彙整如表 3.2。

3.3 氣候變遷對台灣陸域與海域生態的影響

一、觀測與研究[1]

台灣全島森林覆蓋面積約 210 萬公頃，約佔土地面積 58.5%，意即陸域生態系與森林生態系為主體，其生態系統分佈易受全球氣候變遷的影響。

表 3.2　水文環境之衝擊評估[6]

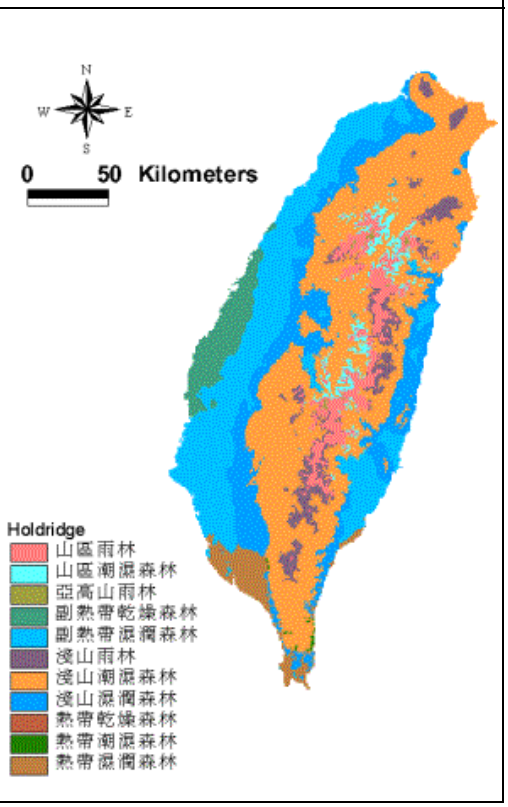
<table>
<tr><th>項目</th><th>短期</th><th>中期</th><th>長期</th></tr>
<tr><td>集水區流量</td><td>• 流量減少導致魚類生存受威脅
• 枯水期流量減少將使河中污染物濃度升高；豐水期流量增加將帶入更多污染源</td><td colspan="2">• 豐枯水期流量差異越趨增大，水資源調配困難
• 年最大月流量增加之區域顯示洪水量及頻率的增加
• 中、南及東部部份區域之枯水期流量減少，則有乾旱之危機
• 工業區開發與人口成長，將加速水資源耗竭</td></tr>
<tr><td>水資源供需</td><td>• 中南部河川下游需水量增加，致使流量變動加劇
• 灌溉用水需求集中與新工業區規劃將增加供水系統之壓力
• 水庫集水區之壽命限制，降低水資源調配運作</td><td colspan="2">• 北部水資源系統負擔降低（因新店溪、大漢溪在各試驗情景中分別增加流量）
• 中部水資源系統之負擔因模式不同而異
• 南部水資源系統負擔增加，有缺水危機</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地下水補注量</td><td>• 減少0.8%</td><td>• 減少11.2%</td><td>• 減少14.2%</td></tr>
<tr><td colspan="3">• 豐枯水期間有極端化傾向：豐水期補注量增加，枯水期減少
• 豐水期之補注量對全年全省之補注量影響甚大，北部之豐枯水期補注量較為平均，南部之枯水期甚至有負補注現象</td></tr>
<tr><td rowspan="2">防洪系統</td><td>• 洪峰流量增加28%</td><td>• 洪峰流量增加24%</td><td>• 洪峰流量增加44%</td></tr>
<tr><td colspan="3">• 有溢堤之潛在危機；監測站網系統需補強更新
• 河川抽水站及排水系統設計標準需重新擬定；整體防洪操作規劃需重新調整
• 增加新建防洪系統之投入成本；災害規模將擴大，增加防災管理成本</td></tr>
</table>

二、衝擊評估

（一）森林〔8,9〕

表 3.3 為Holdridge生態區類別，就台灣中高海拔地區而言，植群型分佈對溫度的反應較靈敏，例如 2~3℃的差異，衝擊評估模擬預測時，植群型分佈就會產生位移；而年雨量則要 400~500mm的差異，植群型分佈才可能產生位移。就現在氣候狀況與 2050 年（CO_2倍增時）比較的結果，顯示植群型分佈會有往低海拔位移的趨勢，某些測站雨量範圍無法附和溫度變化者，植群型分佈會往比較乾燥的區域移動，大部份仍維持現有的植群組成，僅比例分配不同，表示 2050 年我們可能觀測不到植群型分佈的改變。

表 3.3 台灣Holdridge之生態區類別與面積分佈[8]

Holdridge生態區	面積(公頃)	比率(%)	分　佈　圖
北方地帶(亞高山)雨林	5,500	0.152	
冷溫帶(山區)雨林	218,300	6.065	
冷溫帶(山區)潮濕森林	82,800	2.300	
副熱帶雨林	174,600	4.851	
副熱帶乾燥森林	160,000	4.445	
副熱帶潮濕森林	1,463,488	40.663	
副熱帶濕潤森林	1,367,600	37.999	
熱帶乾燥森林	300	0.008	
熱帶潮濕森林	4,800	0.133	
熱帶濕潤森林	121,600	3.378	
合計	3,598,988	100.0	

（二）海洋生態〔1〕

氣候變遷會影響海洋水溫與洋流的改變，也會影響海域中魚類及其他生物的生態。水溫對魚類生理、新陳代謝及行為、迴游分佈等均會產生影響。若水溫增加 10℃，則魚類體內的生化反應會增加 6～10 倍；若溫度改變 1～2℃，則會改變魚類生殖產卵季節，通常是低溫延後產卵，高溫提前產卵。

3.4 氣候變遷對台灣產業的影響

一、觀測與研究

（一）漁業〔1〕

近海漁業方面，1997 年鰻魚因聖嬰現象而大量減產，1998 年才恢復，研究亦顯示聖嬰現象發生 11 個月後，台灣南部海域表面水溫即增高 0.5～2℃，鯊科稚魚產量即降低一半以上。近年來台灣週邊海域的水溫持續增高，造成烏魚無法南下產卵，甚而改變生態

迴游至宜蘭灣產卵，例如 1998 年僅捕獲 16 萬尾，相較於平常年之 150~300 萬尾，可謂天差地別。

我國乃是世界上第二大鮪魚業國，但聖嬰/反聖嬰的發生對西太平洋鮪漁場及漁獲量均造成影響。聖嬰發生年，熱帶西太平洋溫暖海水降溫，使我國在西太平洋的鮪漁場向東偏移達 5.6 千公里之多，造成產量減少；反聖嬰發生時，鮪漁場更朝西太平洋集中，使產量增加，以我國鰹鮪圍網為例，1999 年產量大為提高，導致魚價大跌。

（二）農業〔10〕

以 1968~2000 年月氣候值分別與一與二期稻作產量作相關分析發現，嘉義、恆春、宜蘭、成功及台東，甚至大武地區的稻作生育期受到風速、日照量及乾溼度等氣候條件不同而有所差異。若比對颱風侵襲不同地域的減產程度，顯示宜蘭地區受到影響情況最為顯著。

二、衝擊評估

表 3.4 就整體經濟、農業、畜產及水產養殖部份，個別評估CO_2濃度增加、溫度增高及海平面上升等現象所造成之衝擊。簡要說明如下:

（一）整體經濟

1. 1996年Mendelsohn假設情景：溫度上升2.5℃，則平均降雨量增加8%，大氣中CO_2濃度達550ppm，海平面上升44 cm，將造成太平洋四周包括台灣之20 等國家損失高達每年370 億美金。

- 市場項目（農業、海岸、能源、林業及旅遊）損失較小，平均約佔0.1%的GDP。
- 非市場項目（生態與民眾健康）衝擊較大。對已開發國家而言，其損失在可忍受範圍內；但對開發中國家而言，其損失所佔的 GDP 百分比就相當高。台灣的損失約達 13 億美金，佔 0.6%GDP。

（二）農業

- 全球增溫會促使生長季增長，可能會使作物產量增加。

- 台灣地區兩種水稻栽培品種(台農67號和台中秈10號)產量隨CO_2濃度升高而降低。其食用與烹調品質分析指出:隨CO_2濃度增高，直鏈澱粉含量有降低的趨勢，而粗蛋白質含量則有升高的趨勢。
- 若考慮國際管制能源措施，將因能源價格上升，直接衝擊台灣各地區農作物生產面積：甘蔗、玉米、稻米及高粱等作物面積會大幅減少；反之茶卻會增加。總體而言，台灣地區農作物面積仍將呈現下降趨勢。

（三）畜產

- 家禽：若溫度上升，則家禽性成熟延遲，肉雞體重下降，蛋雞產蛋率降低。
- 豬隻：若溫度超過肉豬最適宜生長溫度一度則採食量會減5%，活動量降低7.5%。

（四）水產養殖

- 海平面之上升影響蛤蜊及九孔之生產面積，而氣候變遷可能影響貝類的產卵期並縮短成長期。
- 若氣候變遷而使地球等溫線北移，將可能改變本省魚種組成之地理分佈類型。

3.5 國內研究現狀與展望

根據IPCC TAR〔11〕各環境的脆弱性與影響評估應包括：「水資源」、「農業與食物安全」、「陸地和淡水生態環境」、「海岸與海洋生態環境」、「人體健康」、「人居、能源與工業」、「保險及其他金融服務」等七項，而本章並未涵括「人居、能源與工業」與「保險及其他金融服務」兩項，前者將於下一章的政策措施中加以討論，後者則因國內尚無此相關資料而未能加以討論。

我國在受氣候變遷衝擊調適的研究工作，可追溯至 1988 年成立國際地圈生物圈計畫（International Geosphere Biosphere Programme, IGBP）中華民國委員會，並於 1989 年在國科會支持下，以「海洋領

表 3.4　產業衝擊評估[1, 9]

項別	衝　　擊
整體經濟	• 1996年Mendelsohn假設情景：溫度上升2.5℃，平均降雨量增加8%，大氣中CO_2濃度達550ppm，海平面上升44 cm，將造成太平洋四周包括台灣之20 餘國家損失高達每年370 億美金。 a.市場項目（農業、海岸、能源、林業及旅遊）損失較小，平均約佔0.1%的GDP。 b.非市場項目（生態與民眾健康）衝擊較大。對已開發國家而言，其損失在可忍受範圍內；但對開發中國家而言，其損失所佔的GDP百分比就相當高。台灣的損失約達13 億美金，佔0.6%GDP。
農業	• 全球增溫會促使生長季增長，可能會使作物產量增加。 氣溫上升與降雨量減少等氣候條件變化，將使玉米減產10~20%，小麥減產7~8%。 • 若考慮國際管制能源措施，將因能源價格上升，直接衝擊台灣各地區農作物生產面積：甘蔗、玉米、稻米及高粱等作物面積會大幅減少；反之茶卻會增加。然總體而言，台灣地區農作物面積仍將呈現下降趨勢。 • 台灣地區兩種水稻栽培品種(台農67號和台中秈10號)產量隨CO_2濃度升高而降低。其食用與烹調品質分析指出，隨CO_2濃度增高，直鏈澱粉含量有降低的趨勢，而粗蛋白質含量則有升高的趨勢。 • 若考慮國際管制能源措施，將因能源價格上升，直接衝擊台灣各地區農作物生產面積：甘蔗、玉米、稻米和高粱等作物面積會大幅減少；反之茶卻會增加。總體而言，台灣地區農作物面積仍將呈現下降趨勢。
畜產	• 家禽：若溫度上升，則性成熟延遲，肉雞體重下降，蛋雞產蛋率降低，蛋重降低(如產生軟殼蛋)，蛋白質品質下降，飼料吸收率降低，糞便中氮與磷含量增加。 • 豬隻：若溫度超過肉豬最適宜生長溫度一度則採食量會減5%，活動量降低7.5%。 • 乳牛：其受胎率與溫度有密切關係。當環境溫度上升到27℃時，乳牛的動情週期較不明顯，發情徵候減弱，動情期會縮短，且受胎率降低與胚胎死亡率增高。
水產養殖	• 海平面之上升影響蛤蜊及九孔之生產面積，而氣候變遷可能影響貝類的產卵期並縮短成長期。 • 水溫對魚類生理、新陳代謝、行為及分佈等皆會產生影響。若溫度改變2℃，則會改變魚類生殖產卵季節，高溫會導致提前產卵；若水溫增加10℃，則魚類內的生化反應會增加6~10倍。 • 若氣候變遷而使地球等溫線北移，將可能改變本省魚種組成之地理分佈類型。

域之黑潮邊緣交換作用研究」參與國際全球變遷計畫。1991 年政府將「全球變遷」設為重點發展項目〔12〕，並列入國家科技發展六年計畫，促使各領域專家學者先後投入台灣受氣候變遷之各項衝擊評估及調適策略研究，而全面性整合計畫直到 1999 年開始，以國科會及農委會為首，才展開較具規模的初步研究〔1〕。

綜合本章呈現成果，以氣候、水文及海岸環境領域之相關研究較為完整，此乃因國內已累積相當豐富的氣候資料，方便於進行氣候模擬及降雨預測，但由於許多氣候模式的解析度過低，無法針對面積狹小與地形陡峭的台灣本島特性，以模擬其複雜的區域氣候，導致預測能力有限。未來除繼續發展應用模式外，還須增加觀測資料以加強邊界條件之給定，降低區域氣候模擬的不確定性與誤差。而陸域與海域生態環境，或是產業與公共衛生方面，受氣候變遷的影響研究資料寥寥無幾，甚至付之闕如，似乎顯示國內的氣候變議題尚侷限於地球科學領域。

值得注意的是國內各領域專家學者對此狀況亦憂心忡忡，於 2001 年「第六次科技會議」中，「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」兩課題被提出後，便推派 19 位成員進行規劃此項由行政院所列管之計畫。目標在 2008 年完成整合不同課題模組的整合模式，以定量預估我國氣候與環境變遷，並進行衝擊影響評估與模擬各因應策略之效益〔13〕。

然而短期內累積國內研究成果及調查資料的同時，還陸續有其他學者投入研究，以補充現今之不足，例如環保署於 2002～2003 年所執行「氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置—氣候、水文、生態部份」專案計畫，將有助於初步建立較完整的生態衝擊及調適資料，包括生物多樣性、稻米、鳥類、黑熊、海洋生物、漁業及水產養殖等項目〔14〕。

由於氣候變遷的影響，除洪水、乾旱及聖嬰等極端氣候事件會立即造成自然與社會損害外，其他關於海平面上升、生態環境及公共衛生項目，皆是以緩慢且不易察覺的速度在變遷著，但經年累月所累積的衝擊卻不容忽視。因此國內應成立一專責機構，並持續建置資料庫，長期負責蒐集基礎資料，以便提供各類模型測試分析及適當評估風險，全方位掌握變化趨勢與衝擊情況，方能據以擬定最佳因應策略。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，二〇〇〇年中華民國國家通訊，2002 年。
2. 俞何興，台灣永續發展與海岸變遷的關聯，全球變遷與永續發展研習營論文集，2003 年。
3. IPCC, Climate Change 2001：The Scientific Basis,（The Third Assessment Report）, 2001.
4. 蘇國旭、王嘉弘、許珮蒨，氣候變遷海平面上升對我國之衝擊評估與適應策略，氣候變化綱要公約資訊速報，第 33 期，2002 年 8 月。
5. 許晃雄、邊孝倫，台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-氣候變遷 （III），行政院國家科學委員會專題研究計畫，計畫編號：NSC-89-2621-Z-002-037，2001 年。
6. 童慶斌、吳明進、張裴章、林裕彬、謝龍生、李明旭、柳文成，氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置—氣候、水文、生態部份（一）期末報告，行政院環境保護署專案計畫，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A100，2002 年。
7. 徐年盛、雷浩仁，聖嬰—南方振盪現象氣候預報對台灣水資源之潛在影響與最適規劃(II)，行政院國家科學委員會計畫，計畫編號：NSC89-2621-Z-002-039，2000 年。
8. 馮豐隆、吳昶清、王駿穠、李宣德，氣候變遷對台灣森林植生分佈與生產力影響評估(一) —台灣森林植生分布模式與生態地位評估模式之建立-生育地因子考量，行政院國家科學委員會計畫，計畫編號：NSC90-2621-Z005-001，2001 年。
9. 楊政川，氣候變遷對林業影響研究，行政院農業委員會計畫，計畫編號：88 科-1.11-林-01，1999 年。
10. 申雍，氣候變遷及農業氣象對農作物的影響研究，行政院國家科學委員會科學技術資料中心，90 農科-1.4.3-糧-Z1(z)，2001 年。
11. IPCC, Climate Change 2001：Impacts, Adaptation, and Vulnerability,（The Third Assessment Report）, 2001.
12. 魏國彥、許晃雄，全球環境變遷導論，台灣大學全球變遷研究中

心，1997 年。

13.柳中明、王作台、李德貴、宋鴻樟、林美聆、林曜松、林能暉、夏復國、孫志鴻、許銘熙、許晃雄、黃宗煌、隋中興、張長義、楊盛行、廖述良、歐善惠、劉紹臣、陳于高，「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」推動規劃，行政院國家科學委員會專題研究計畫 91 年度成果報告，計畫編號：NSC 91-2621-Z-002-001，2002 年。

14.童慶斌、吳明進、李國添、戴昌鳳、李培芬、陳瑤湖、邱祈榮、呂學榮、李明旭，氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置—氣候、水文、生　態部份（二）第一次工作進度報告，行政院環境保護署專案計畫，2003 年。

第二篇　氣候變化綱要公約與京都議定書

本篇章節：

第四章 氣候變化綱要公約與京都議定書的制訂過程

第五章 《公約》的發展進程

第四章 氣候變化綱要公約與京都議定書的制訂過程

由於氣候變遷之科學研究與相關議題仍持續進行中，且對於溫室氣體排放導致全球暖化之影響程度仍有爭議存在，加上各國因經濟、科技發展、公平正義觀點相左及環境利益衝突等諸多限制，往往使一項新的國際法之制訂常採「綱要公約」（framework convention）模式，即先以原則性或廣泛性用語建立綱要性的內容架構，不明確界定應執行之義務與約束，主要目的在於凝聚國際共識。當各國經過協商溝通出較具體之細節內容後，便將實際的管制措施行諸文字以「議定書」（protocol）方式呈現[1]，此乃氣候變化綱要公約（UNFCCC）與京都議定書（KP）訂定的由來。

4.1 國際性議題及共識形成

聯合國於 1972 年在瑞典斯德哥爾摩召開「人類環境會議」，其目的在促使各國政府與人民注意人類的活動正在破壞自然環境，將造成人類生存與發展的嚴重威脅。而世界氣象組織（WMO）於 1979 年在瑞士日內瓦舉辦第一屆世界氣候大會（First World Climate Conference），將全球暖化問題推上國際舞台。會議中強調人類活動所製造出之CO_2濃度不斷增加，將使溫度上升而影響全球氣候變遷。此時全球暖化問題已經引起科學界的普遍關注，隨後美國能源部亦邀請經濟、政治及科學等各領域之專家學者，共同評估氣候變遷對社會環境衝擊的可能影響。

1985 年來自 29 個已開發與開發中國家的科學家齊聚於奧地利 Vilach，參加由聯合國環境規劃署（UNEP）、WMO與國際科學理事會（International Council of Scientific Unions, ICSU）所召集之會議，其結論指出：若大氣中CO_2等溫室氣體濃度若以此趨勢繼續增加，直到 2030 年左右，CO_2濃度將增加為工業革命前的兩倍，而全球平均溫度可能提高 1.5~4.5℃，導致海平面上升 0.2~1.4m[3]。會議中並要求各國政府及研究組織將評估未來氣候變遷視為一項迫切之任務。

1987 年聯合國第 42/184 號決議文「環境領域之國際合作」要求 UNEP、WMO 及 ICSU 以氣候變遷議題加強研究合作。UNEP 與

WMO 於 1988 年 11 月成立氣候變化政府間專家委員會（ IPCC），邀集全球將近 2000 位科學家及專家參與氣候變遷的相關科學研究，並分析氣候變遷對於環境、社會及經濟的潛在衝擊，同時提出減緩與調適氣候變遷問題的因應策略。聯合國於 1988 年 12 月的大會通過第 43/53 號決議文「為現在與後代人類保護全球氣候」（Protection of global climate for present and future generations of mankind），決定對全球氣候變遷問題採取及時的行動。

1988 年在加拿大Toronto「改變中的大氣：對全球安全的意義（International Conference on the Changing Atmosphere: Implications for Global Security）」會議，提出地球的氣候正在發生迅速的變化，導因於人類不斷擴大能源消費等活動，未來將對世界經濟發展與人類健康帶來重大威脅。此會議號召全球採取政治行動，呼籲立即著手制定大氣保護之行動計畫，建議於 2005 年前降低CO_2排放量較 1988 年減少 20%[4]。

1989 年荷蘭海牙會議，共有 24 個環境首長參加，法國、挪威及荷蘭三國並在會議後發表海牙宣言（Hague Declaration），呼籲制定國際條約以因應國際氣候變遷，必須採取強硬手段來推展地球溫室效應的防止對策，並組織具有決策力的國際性權威機構[5]。該年的大氣污染與氣候變遷環境首長會議，則有 67 國首長參加，以荷蘭、瑞典、挪威及法國為首發表那德威克宣言（Noordwijk Declaration），對於造成溫室效應的CO_2等溫室氣體濃度予以穩定化的觀念獲得共識，具體目標將於IPCC討論，而減量時程則在 1990 年第二屆世界氣候大會中討論，並最遲在 1992 年訂立有關氣候變遷的國際條約[5]。

IPCC 於 1990 年出版第一次評估報告（First Assessment Report, FAR），其結論說明大氣中人為溫室效應氣體的持續累積將使得下個世紀的「溫室效應增強，造成全球地表平均氣溫暖化」，避免全球暖化的唯一途徑就是採取有效措施以停止不斷增加的溫室氣體排放量[6]。

4.2 協商制訂氣候變化綱要公約[6]

一、氣候變化綱要公約政府間談判委員會

聯合國為回應 IPCC 的建議，於 1990 年通過第 45/212 號決議文，設立由聯合國全體會員參加的氣候變化綱要公約政府間談判委員會（Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change），並授予其起草公約條文及法律措施之權利。 1991 年 2 月至 1992 年 5 月歷經五次談判，參與者達 150 國，就溫室氣體減量時程、財務機制、技術轉移、已開發國家及開發中國家之共同但程度不同之責任等議題進行協商。1992 年 5 月 9 日在紐約聯合國總部通過氣候變化綱要公約（草案）。

二、里約地球高峰會（Earth Summit）

聯合國於 1992 年通過《公約》，隨即於 6 月在巴西里約熱內盧地球高峰會中開放簽署，會議期間共有 154 個締約國簽署（Signature）。但「簽署」之效力僅代表認同該約定，並非承諾願意執行，而隨各國體制及程序相異而有「簽署（Ratification）、接受（Acceptance）、核准（Approval）或加入（Accession）」的最終遵約承諾，才有受到法律約束力[7]。依據《公約》第二十三條：本公約自第五十份簽署、接受、核准或加入的文書交存日後第九十天起生效，至 2002 年底已有 186 個締約國簽署《公約》。

里約地球高峰會後，政府間談判委員會（Intergovernmental Negotiating Committee ,INC）又陸續召開六次會議，直到 1995 年德國柏林召開第一次締約國大會（the First Conference of Parties, COP 1）後，INC 才結束階段性的任務，改由締約國大會（COP）繼續執行履行《公約》的各項程序。

4.3 協商制訂京都議定書[6]

第一次締約國大會(COP 1)順利於 1995 年 3 月在德國柏林召開，並對已開發國家所承諾 2000 年前將溫室氣體排放量減少至 1990 年之目標進行審查，結果顯示該自發性措施並未有預期效果，包括美國在內的許多國家仍繼續排放大量的溫室氣體，根本無法實現《公約》的目標。因此與會國家通過第一號決議，聯合發表「柏林授權」（Berlin Mandate），除不得為開發中國家增加新義務外，同意採取適當行動措施以加強工業國家的承諾，並開始針對各工業國家溫室氣體排放量限制與削減承諾進行談判，期能於 2000 年後減

少溫室氣體排放。島國聯盟提出的議定書草案要求附件一國家(詳如表 5.1)必須在 2005 年前將CO_2排放量降低至 1990 年之目標，並建立各種溫室氣體的減量時程表，但美國對此議定書草案採否定態度。歐盟支持包括所有溫室氣體的廣泛性議定書，強調COP 1 應開始進入談判，並認為所有締約國的承諾須有差異性。石油輸出組織(OPEC)與G77/China集團認為目前缺乏科學性資訊與附件一國家的國家通訊，在沒有談判基礎的情形下進入議定書談判則略早。但會議中仍決議通過成立柏林授權特設小組（Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, AGBM），執行擬定議定書之談判。從 1995 年 8 月至 1997 年 10 月該特設小組共舉行 8 次會議，歷次會議討論的議題示於表 4.1。

在 AGBM 會議的同一時期，COP 2 於 1996 年 7 月在瑞士日內瓦舉行，超過 100 個國家或集團代表發表聲明支持議定書能儘早通過，並贊成將 IPCC 第二次評估報告（Second Assessment Report, SAR）作為基礎，當中以歐盟及其成員最為支持。美國則改變一貫反對立場，首次支持減少溫室氣體排放量之時程表以實現柏林授權，同時也要求各工業國家的配合。但部份 OPEC 國家對 SAR 一些不確定性與矛盾的資料表示懷疑，反對將 SAR 當作未來議定書談判的基礎，此外，亦強調公平原則的重要性，要求大會對 SAR 作平衡性決議。而島國聯盟指出氣候變遷的結果，對他們的國家產生潛在威脅，強烈支持島國聯盟的議定書草案。東歐的經濟轉型國家，則強調其面臨經濟與政治變革下的各種努力，要求《公約》設定承諾必須有彈性。G77/China 集團要求應建立一定時限內的政策措施及量化限制排放目標以強化已開發國家的承諾。

1997 年 12 月在日本京都舉行 COP 3 期間，各國仍不斷進行談判斡旋，部份工業國家拒絕提出溫室氣體排放量化指標；美國為減輕自身排放義務，要求主要開發中國家如中國大陸和印度等，亦應承擔管制溫室氣體之責任，並以自願承諾方式降低溫室氣體排放；而開發中國家因應之道乃是要求大會確實遵守《公約》與「柏林授權」決議。

各國經過多方妥協，終在COP 3 中以第 1/ CP.3號[註]決議通過京都議定書，規範各工業國應履行溫室氣體排放減量控制的量化目

[註] n/CP.m為《公約》決議文編號的方式，CP.m表第m屆締約國會議，n表決議文之序號。

標，立法管制六種溫室氣體的排放，於 2008~2012 年間平均減少排放量較 1990 年水準至少減低 5%，其中美國減量 7%、日本 6%、歐盟與會各國 8%。

表 4.1 AGBM 1~8 之各次討論議題

會議名稱	時間	主要討論事項與決議
AGBM 1	1995.8	• 評估附件一國家溫室氣體減量的政策與方法
AGBM 2	1995.10/11	• 繼續分析評估政策與方法 • 一定時間內量化的排放減量目標（QELROs） • 《公約》條文 4.1 的實行
AGBM 3	1996.3	• 德國提出兩階段CO_2減量目標 • 附件一國家分配與分擔新的承諾 • 繼續討論政策與方法及 QELROs
AGBM 4	1996.7	• 完成議定書與其他法律文件的深度分析 • 針對政策與方法、QELROs，及附件一國家新的承諾影響評估
AGBM 5	1996.12	• 由 14 個成員或集團加強承諾與《公約》條文 4.1 的實行 • 請公約秘書處準備編撰文件
AGBM 6	1997.3	• 討論歐聯提案：所有工業國家在 2010 年前將溫室氣體排放量減低較 1990 年減少 15% • 繼續討論政策與方法、QELROs
AGBM 7	1997.7/8	• 加強政策與方法、QELROs
AGBM 8	1997.10	• 討論政策與方法、QELROs、《公約》條文 4.1

由於《議定書》管制CO_2排放，將直接衝擊各國能源配與產業結構，影響各國經濟發展，甚至損及國際競爭力。COP 3 後可以很清楚地發現國際態勢已由過去的東西意識型態對抗，轉變成南北對立，已開發國家與開發中國家之競爭，甚至可稱為富有國家與貧窮國家之戰爭。

COP 3 通過《議定書》，並於 1998 年 3 月 16 日開放為期一年的簽署，至 1999 年 3 月 15 日，計有 84 個國家完成簽署。根據《議定書》第二十五條：本議定書應在不少於 55 個《公約》締約國、包括其合計CO_2排放總量至少占附件一所列締約國 1990 年CO_2排放總量的 55%的附件一所列締約國已經交存其簽署、接受、核准或加入的文書日後第九十天生效。由 2003 年 7 月 10 日聯合國所發表之統計

資料中，共有 111 個締約國簽署[8]，已遠超過《議定書》規定之 55 個締約國條件，然而附件一所列締約國累計之 1990 年CO_2排放總量僅達 44.2%，不符合 55%條件。

由於CO_2排放量位居第一的美國（36.1%）早在 2001 年表明拒絕簽署《議定書》，若欲促成《議定書》生效，則需填滿 1990 年CO_2排放總量 11.1%的落差，僅剩排放量位居第二（17.4%）的俄羅斯應允，目前包括歐盟與日本積極遊說此關鍵國家，期盼《議定書》能順利生效[9]。

參考文獻

1. 葉俊榮，全球環境議題—台灣觀點，巨流圖書公司，1999 年。
2. World Meteorological Organization, World Climate Conference: Extended Summaries of Papers Presented at the Conference, Geneva, February 1979.
3. World Meteorological Organization, Report of the International Conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts, Villach, Austria, 9-15 October 1985, WMO No.661., 1986.
4. Leonie Haimson, A History of Climate Change Negotiations. http://www.gristmagazine.com/heatbeat/negotiationsa.asp
5. 陳正平、賈儀平、劉家暄，5.3 國際環保條約彙整，地球環境概論。http://aerosol.as.ntu.edu.tw/earth/ch5/sec5-3.htm。
6. 行政院環保署， 因應氣候變化綱要公約決策支援與資訊之建立期末報告，計畫編號：EPA-87-FA04-03-79，1998 年。
7. United Nations, United Nations Treaty Collection—Treaty Reference Guide, 1999.
8. UNFCCC website: http://unfccc.int/
9. 行政院環保署，因應氣候變化綱要公約決策支援專案計畫期末報告，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A096，2002 年。

第五章 《公約》的發展進程

本章將介紹《公約》對締約國的分類、目的、基本原則及締約國的責任與義務，並依序介紹各締約國會議議題的發展、《議定書》議題的進展及截至 2003 年 7 月簽署情形，藉以了解歷年《公約》之議題發展進程。

5.1 《公約》與《議定書》簡介

據《公約》第二條，《公約》主要目標為：「將大氣中溫室氣體的濃度維持在氣候環境免受人為干擾與危害之條件下，此條件應足以使生態環境能自然地適應氣候變遷，以確保糧食生產免受威脅，並使經濟能夠永續發展。」〔1〕，而《議定書》的制訂主要為協助《公約》達成此目標，以及促進締約國減少溫室氣體排放量。

《公約》共有 26 項條文與 2 個附件（即附件一與附件二，詳如表 5.1），其 2 項附件係為締約國分組名單；《議定書》則有 27 項條文與 2 個附件，分別是定義溫室氣體種類、排放源及匯部門分類的附件 A(詳如表 5.2)，與《公約》附件一國家減量承諾百分比的附件 B(詳如表 5.3)。附件一國家、附件二國家、經濟轉型國及附件 B 國家之比較詳如附表 5.4。

《公約》第三條第一款：「各締約國應在公平的基礎上，且根據其共同責任和各自的能力與承諾，為人類目前與後代的利益而保護氣候環境」。因此《公約》將其締約國分成附件一國家與非附件一國家。已開發之附件一國家須制訂國家政策和採取相對應的措施，並管制人為溫室氣體排放以減緩氣候變遷，以及提供資金與技術支援發展中之附件二國家；而開發中之附件一國家為俄羅斯與東歐經濟轉型國家，主要承諾為具有彈性基準年之排放限制，並無提供資金與技術援助之義務。

《議定書》承襲《公約》中國家的分類，將附件一國家須負起的溫室氣體削減承諾百分比，列於《議定書》附件 B，故有須負擔減量承諾的附件 B 國家的說法，但因減量承諾、國家通訊編製規範及溫室氣體清冊統計規範等《公約》的要求與規範之差異，是以附件一國家及非附件一國家來區分，所以對於各國參與《公約》與

《議定書》的作法與訴求，仍以附件一國家及非附件一國家作區分。

表 5.1 《公約》附件一及附件二國家

附件一國家	1.美國 2. 英國 3.歐洲聯盟 4.澳洲 5.法國 6.日本 7. 俄羅斯 8.奧地利 9.白俄羅斯 10.比利時 11.保加利亞 12.加拿大 13.克羅地亞 14.丹麥 15.德國 16.捷克 17.愛沙尼亞 18.芬蘭 19.希臘 20.匈牙利 21.愛爾蘭 22. 義大利 23.冰島 24.拉脫維亞 25.列支敦士登 26.立陶宛 27.盧森堡 28.摩納哥 29. 荷蘭 30.紐西蘭 31.挪威 32.波蘭 33.葡萄牙 34.羅馬尼亞 35.斯洛伐克 36. 斯洛文尼亞 37.西班牙 38.瑞典 39.瑞士 40.土耳其 41.烏克蘭
附件二國家	1. 美國 2. 英國 3. 德國 4. 歐洲聯盟 5. 日本 6. 澳洲 7. 奧地利 8. 比利時 9. 加拿大 10. 丹麥 11. 芬蘭 12. 法國 13. 希臘 14. 冰島 15. 愛爾蘭 16. 義大利 17. 盧森堡 18. 荷蘭 19. 紐西蘭 20. 挪威 21. 波蘭 22. 葡萄牙 23. 西班牙 24. 瑞典 25. 瑞士 26. 土耳其

表 5.2 《議定書》附件 A

溫室氣體:	二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)及六氟化硫(SF_6) 。	
部門/源類別:	能　　源	1.燃料燃燒:能源工業、製造業和建設、運輸、其他部門及其他。 2.燃料的易散性排放:固體燃料、石油和天然氣及其他。
	工　　業	礦產品、化工業、金屬生產、其他生產、碳鹵化合物和六氟化硫的生產、碳鹵化合物和六氟化硫的消費及其他。
	農　　業	腸道發酵、糞肥管理、水稻種植、農用土壤、對熱帶大草原進行有規定的燃燒、對農作物殘留物的田間燃燒及其他。
	廢 棄 物	陸地固體廢物處置、廢水處置、廢棄物焚化及其他。

表 5.3 《議定書》附件 B

國名	減量規範(較 1990 年水準的百分比變化)
澳洲	108
奧地利	92
白俄羅斯	
比利時	92
保加利亞	92
加拿大	94
克羅地亞	95
捷克	92
丹麥	92
歐洲聯盟	92
愛沙尼亞	92
芬蘭	92
法國	92
德國	92
希臘	92
匈牙利	94
冰島	110
愛爾蘭	92
義大利	92
日本	94
哈薩克*	尚待協商
拉脫維亞	92
列支敦士登	92
立陶宛	92
盧森堡	92
摩納哥	92
荷蘭	92
紐西蘭	100
挪威	101
波蘭	94
葡萄牙	92
羅馬尼亞	92
俄羅斯	100
斯洛伐克	92
斯洛文尼亞	92
西班牙	92
瑞典	92
瑞士	92
烏克蘭	100
英國	92
美國	93
合計	39 個[38 國與歐盟]

*哈薩克之加入係於 2001 年 COP7 決議，減量規範尚未協商。

表 5.4 《公約》與《議定書》締約國之綜合比較[2]

國名	附件一國家（Annex I）	附件二國家（Annex II）	經濟轉型國（Economy in transition, EIT）	附件 B 國家及減量規範***
澳洲	∨	∨		108
奧地利	∨	∨		92（87）
白俄羅斯	∨		∨	
比利時	∨	∨		92（92.5）
保加利亞	∨		∨	92
加拿大	∨	∨		94
克羅地亞	∨		∨	95
捷克	∨		∨	92
丹麥	∨	∨		92（79）
歐洲聯盟	∨	∨		92
愛沙尼亞	∨		∨	92
芬蘭	∨	∨		92（100）
法國	∨	∨		92（100）
德國	∨	∨		92（79）
希臘	∨	∨		92（125）
匈牙利	∨		∨	94
冰島	∨	∨		110
愛爾蘭	∨	∨		92（113）
義大利	∨	∨		92（93.5）
日本	∨	∨		94
哈薩克	∨*		∨	尚待協商
拉脫維亞	∨		∨	92
列支敦士登	∨			92
立陶宛	∨		∨	92
盧森堡	∨	∨		92（72）
摩納哥	∨			92
荷蘭	∨	∨		92（94）
紐西蘭	∨	∨		100
挪威	∨	∨		101
波蘭	∨		∨	94
葡萄牙	∨	∨		92（127）
羅馬尼亞	∨		∨	92
俄羅斯	∨		∨	100
斯洛伐克	∨		∨	92
斯洛文尼亞	∨		∨	92
西班牙	∨	∨		92（115）
瑞典	∨	∨		92（104）
瑞士	∨	∨		92
土耳其	∨	**		
烏克蘭	∨		∨	100
英國	∨	∨		92（87.5）
美國	∨	∨		93
合計	42 個[41 國與歐盟]*	24 個[23 國與歐盟]	15 國	39 個[38 國與歐盟]

註：＊原《公約》所列附件一國家計為 41 個（40 國與歐盟），哈薩克自 COP4 起爭取加入，終於 COP7 定案。
＊＊土耳其原被《議定書》列為附件二國家，該國自 COP3 爭取排除，終於 COP7 定案。
＊＊＊減量規範係指《議定書》規範附件 B 國家應降至 1990 年排放水準之百分比，而小括弧所列數據是歐盟各會員國在 COP3 後經協商後所採取新的個別減量承諾。

根據《公約》與《議定書》的內容，各締約國須參與《公約》與《議定書》的組織事務外，亦應負起實質之承諾、責任與義務，茲歸納於表 5.5。

表 5.5《公約》與《議定書》對各締約國要求實質之承諾、責任與義務條文〔1、3及4〕

國　　家	對各締約國之承諾、責任與義務
所有締約國	1.《公約》第四條第一、八、九及十款承諾 2.《公約》第五條研究及環境觀測 3.《公約》第六條教育、培訓及民眾意識 4.《公約》第十一條資金機制 5.《公約》第十二條提供有關履行的報告（即國家通訊）
附件一國家	1.《公約》第四條第一、二及六款承諾 2.《公約》所有締約國之承諾、責任及義務
附件二國家	1.《公約》第四條第三、四及五款承諾 2.《公約》所有附件一國家之承諾、責任及義務
簽署《議定書》之附件 B 國家	《議定書》第二、三、四、五、六、七、八、十、十一、十二及十七條
簽署《議定書》之非附件一國家	《議定書》第九、十及十二條

附件二之已開發國家，須負責《公約》所有附件一國家之承諾、責任及義務外，亦須提供資金援助於開發中的非附件一國家，若其簽署《議定書》的承諾後，更要負起確實的減量承諾，其在所有的締約國中，責任最為沈重，其次為非屬附件二之附件一國家，最後為非附件一國家。非附件一國家除須履行《公約》第四條第一、八、九及十款基本承諾外，亦須共同負責氣候變遷之研究和氣候環境之觀測、教育、培訓及民眾意識，並參與相關資金機制及提供《公約》相關履行的報告等責任與義務。由於《議定書》中並未規範非附件一國家須負起減量責任，且其在《議定書》中屬於資金與技術的受益國，因此依目前進展，幾乎所有的非附件一國家都會簽署《議定書》。

各締約國在採取相關行動時，應依據《公約》基本原則以實現《公約》之目標，其基本原則如下〔1〕：

一、責任不同：各國共同承擔程度不同之責任與能力，附件一國家須率先承擔責任，採取行動防制溫室氣體的排放（《公約》第三條第一款）。

二、公平原則：應將《公約》中有特別需求或面臨特殊狀況的國家（特別是開發中國家）所可能承擔之不合理負擔列入公平考量（《公約》第三條第二款）。

三、防制措施：採經濟有效及最低成本之措施以防制氣候變遷。（《公約》第三條第三款）

四、永續發展：各國有權促進永續性發展，並將經濟發展納入防制氣候變遷的關鍵考量因素。（《公約》第三條第四款）

五、有利的經濟體系：不可採取無理的國際貿易手段和其他隱蔽性限制。（《公約》第三條第五款）

5.2 歷次締約國會議進展與分析

1992 年《公約》簽署時，期盼工業國家在 2000 年前將溫室氣體排放量削減至 1990 年水準，而其他國家亦採取適當之溫室氣體減量措施。惟此目標因各國經濟發展程度、環境條件、產業結構調整、技術及資金困難度有所不同，故意見各自分歧而難以獲得共識。因此，自 1995 年起逐年召開締約國大會，藉不斷協商以促成《議定書》之承諾。我國因受限於國際情勢無法參與《公約》之制訂與簽署，但為掌握國際間最新管制措施及表達我國願善盡地球村成員之責任，仍持續透過不同管道參與國際活動。自第一次締約國大會起，我國即以非政府觀察員身分（NGO）參加《公約》締約國大會和附屬機構會議，除取得《公約》會議最新進展外，並建立氣候變遷之各項國際溝通管道。

一、第一屆締約國會議

第一屆締約國會議於 1995 年 3 月 28 日至 4 月 7 日在德國的柏林召開，此次會議是各國部長自 1992 年「里約高峰會議」後第一次參與的全球氣候變遷會議。《公約》要求第一屆締約國會議檢討已開發國家承諾減量目標，會議通過主要決議如下：

（一）通過「柏林授權」（Berlin Mandate）而著手進行 2000 年後新承諾的討論，同時成立「柏林授權特設小組」（Ad hoc Group on the Berlin Mandate, AGBM）開始制訂議定書草案，以便在第三屆締約國會議通過。

（二）通過設立附屬科技諮詢機構與附屬履行機構，要求秘書處依《公約》第九條和第十條之規定安排兩個附屬機構之會議。附屬科技諮詢機構應執行科學技術評估、資訊分析及報告審議，以作為締約國會議決策之參考。而附屬履行機構則協助締約國會議推動《公約》之執行與決策運作。

（三）設立一個不限員額之技術和法律專家工作組，以研究和建立多邊協商程序及其計畫性相關的所有問題。

（四）同意在附件一國家間執行試驗階段的「共同執行」行動。

（五）於德國設立永久秘書處。

二、第二屆締約國會議

1996 年 7 月 8 日至 19 日在瑞士日內瓦召開第二次締約國會議，主要討論如何加速加強各國彼此對話。此外，柏林授權特設小組也召開第四次會議，針對議定書草案之可能內容與分析，提供各國進行談判之準備。會議主要議題包括議定書草案的內容談判、氣候變化政府間專家委員會（IPCC）第二次評估報告、國家通訊指南及「日內瓦宣言」（The Geneva Ministerial Declaration）。會議通過主要決議如下：

（一）通過「日內瓦宣言」以支持 IPCC 的研究結論和要求訂定具法律管制的減量目標，以管制溫室氣體。

（二）通過認可 IPCC 第二次評估報告。

（三）通過附件一國家通訊準備指南修正案，要求附件一國家每年須提交溫室氣體統計清冊。

（四）通過非附件一國家通訊準備指南，要求非附件一國家的溫室氣體清冊統計與編撰的主要內容。

三、第三次締約國會議

各國於 1997 年 12 月 1 日至 11 日在日本京都召開第三屆締約國會議，完成柏林授權之階段性任務，通過具法律約束力之《議定

書》。第三次締約國會議也討論資金的議題、技術移轉和《公約》資訊之審查等。本屆會議通過之決議如下：

（一）通過《議定書》：

1. 要求工業國家於 2008~2012 年間須將 CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs 及 SF_6 等六種溫室氣體削減至 1990 年之水準後再減 5.2%。

2.《議定書》通過清潔發展、排放交易及共同執行等三種 彈性機制（flexible mechanism，或稱京都機制 kyoto mechanism），協助附件一國家在減緩溫室氣體時能以經濟效益的方式達成減量目標。

3. 1990 年後由人為直接引起之土地利用、土地利用變更與造林（Land use,Land use change and Forestry,LULUCF）所形成之碳匯（carbon sink）可納入減量成效。

（二）要求各國鼓勵民間企業投資環境無害技術，並消除技術轉讓之障礙。要求秘書處綜合傳播有利氣候變遷減緩與調適之環境無害技術。

（三）通過要求各國須依據 IPCC 於 1996 年修訂之清冊準則估算溫室氣體排放量。

四、第四屆締約國會議

第四屆締約國會議於 1998 年的 11 月 2 日至 13 日在阿根廷的布宜諾斯艾利斯舉行，由於《議定書》係在匆忙中通過，部份條文內容之運作方式並不明確，因此本會議特通過「布宜諾斯艾利斯行動計畫」（Buenos Aires Plan of Action,BAPA），要求各國在第六屆締約國大會前，釐清《議定書》中的待決細節，以便《議定書》於正式生效後能順利運作。此外，會議也討論《議定書》與《公約》相關議題，包括：彈性機制之相關規則、遵約體制、國家統計體系及碳匯計算規則等。會議通過之決議如下：

（一）通過「布宜諾斯艾利斯行動計畫」，加強《公約》的執行和為將來《議定書》之生效作準備，並維持實現此目標的政治運作力。本項行動計畫是由七項決議所組成，歸納如下：

1.協助建立開發中國家因應氣候變遷的能力，提供財務協助。

2.決定《議定書》所列三項彈性機制之規則，優先推動清潔發展機制(Clean Development Mechanism,CDM)。

3.討論補充性減量措施、排放量上限及各國排放量平等性等議題計畫。

（二）通過要求IPCC繼續向附屬科技諮詢機構提交土地利用、土地利用變化與林業活動之進展報告。

（三）通過附件一國家第三次國家通訊提交時間為2001年11月30日前。

五、第五屆締約國會議

第五屆締約國會議於 1999 年 10 月 25 日至 11 月 5 日在德國波昂舉行。締約國會議為完成《議定書》的工作而設定時間表，包括建立談判代表在下 12 個關鍵月期間的後續工作過程。主要討論「布宜諾斯艾利斯行動方案」之執行、附件一國家通訊、非附件一國家通訊、建立方法、技術開發與轉讓、京都機制及不利影響等議題。會議通過之決議如下：

（一）通過繼續執行「布宜諾斯艾利斯行動方案」，要求附屬機構在第六屆締約國會議就此項行動計畫涵蓋之問題做出決定。

（二）通過附件一國家通訊年度清冊報告指南，要求附件一國家自 2000 年起每年 4 月 15 日前提家年度清冊。

（三）通過附件一國家通訊報告指南，要求附件一國家 2001 年 11 月 30 日前提交第三次國家通訊，並根據全球氣候觀測系統報告編寫指南在國家通訊中報告其環境觀測方面之行動。

（四）通過設立一個非附件一國家通訊專家小組，以改善非附件一國家之國家通訊，並在第七次締約國會議審查該小組之職權範圍。鼓勵非附件一國家依《公約》12.5 條所列時間表提交首次國家通訊。

六、第六屆締約國會議第一會期

第六屆締約國會議於 2000 年 11 月 13 日至 25 日在荷蘭海牙舉行，此次會議針對第 12 及 13 次附屬機構會議（簡稱 SB-12 及 SB-13）決議事項進行討論及協商，並依第四屆締約國會議通過「布宜

諾斯艾利斯行動方案」對《議定書》細節所訂定的工作時程達成決議，促使《議定書》能於 2002 年地球高峰會議 10 週年正式生效。

但由於在植樹造林之碳匯（carbon sink）、對國內減量計畫的補充性（supplementarity）及遵約體制（compliance regime）等關鍵議題，各國無法取得共識；而且大會主席所提出之一些建議案，未受歐、美兩主要陣營認同，最後大會決議，將《公約》第六次締約國大會展延至 2001 年於德國波昂召開。本次會議主要決議：

（一）通過促請各國加緊政治協商，以便在後續會期完成「布宜諾斯艾利斯行動方案」的所有問題談判。

（二）通過第七次締約國會議於 2001 年 10 月 29 日至 11 月 9 日在摩洛哥的馬拉喀什舉辦。

七、第六次締約國會議第二會期

第六次締約國會議第二會期於 2001 年 7 月 16 日至 27 日於德國波昂舉行，本次會議主要繼續荷蘭海牙的未完成之工作，除了要繼續完成『布宜諾斯艾利斯行動計畫』所有相關議題之協商工作外，希望也能通過一項綜合性和平衡性的決議，主要協商議題包括：彈性機制、土地利用與林業、遵約、技術移轉、建立方法及財務資金等議題。

會議經各國非正式之協商，最後通過「波昂協定」，將《議定書》中爭議多時之議題作出明確界定，成為過去四年來最重要進展，其核心內容包括：

（一）在《公約》下將成立一個「特別氣候變化基金」，用於因應氣候變遷的適應措施、技術轉移、能源、交通及廢棄物管理等工作，同時針對低度開發中國家亦將成立「低度開發中國家基金」協助建立「國家適應計畫行動方案」。

（二）在《議定書》下，利用清潔發展機制計畫或其他資源成立「適應基金」來進行實質的適應計畫。

（三）設立一個由二十位不同領域專家組成專家小組，審議技術轉移工作。

（四）《公約》第 4.8 條與第 4.9 條的執行（針對氣候變遷所造成的不利影響）：在全球環境基金、氣候變化特別基金及其他多

邊或雙邊資金來源的支持下，執行受氣候變遷不利的影響與採取因應措施影響之活動，並在第八屆締約國會議審議有關保險活動的執行情形。

（五）《議定書》第 3.14 條相關事項（協助開發中國家）：要求附件一國家應在其年度清冊報告提供補充資料，說明其如何努力以最大限度減少對開發中國家社會、環境和經濟之不利影響，以履行其減量目標承諾。

（六）京都機制的運作：要求締約國大會同意附件一國家應依照國情進行國內行動，並利用這些機制補充國內行動；參加京都機制者必須簽屬遵約協議且依據《議定書》遵約制度所定之方法陳報相關資料；在清潔發展機制方面，附件一國家應避免使用核能為清潔發展機制的計畫項目，對於小型清潔發展機制（再生能源最大輸出能量 15MW(瓦特)、能源效率改善每年達 15GW、溫室氣體每年減量達 15 千公噸 CO_2 當量）計畫的方法與程序將於第八屆締約國會議中決議。

（七）土地利用、土地利用變更與林業：對於各國藉由造林植樹吸收 CO_2 達成減量目標方面，也作出使用上限，其可用額度最高的前三名分別為俄羅斯、加拿大與日本。

（八）遵約有關的程序與機制：對於未能達成減量目標者，將處以扣減下一承諾期的允許排放額度（扣抵率為 1.3）、要求訂定遵約行動計畫、停止使用排放交易權利。

八、第七次締約國會議

第七次締約國會議於 2001 年的 10 月 29 日至 11 月 9 日摩洛哥的馬拉喀什舉辦，本次大會主要目的是要進行七月份在波昂通過的正式會議決議之談判，其中包括如何在《公約》下增加資金與技術的流通以協助開發中國家。會議通過了在波昂已完成起草的十項決議，並討論三項（匯、機制及遵約）未完成之草案及兩項（政策與措施、報告與審議）尚未開討論的草案。

本次大會最重要的工作是將波昂協議轉換成詳細的作業規則手冊－京都議定書規則，來釐清各國政府簽署《議定書》的方向與促進《議定書》儘早生效，以實現的未來低碳經濟活動。會議也討論《公約》對 2000 年九月於南非約翰尼斯堡召開的永續發展世界高峰

會議（World Summit on Sustainable Development, WSSD）之討論，以及應用最近 IPCC 的科學與技術研發。本屆會議達成之決議包括：

（一）「馬拉喀什部長宣言」（Marrakesh Ministerial Declaration）通過強調永續發展與氣候變遷之關聯；重申發展與消除貧窮是開發中國家最為優先的工作項目；要求各國探討氣候公約與生物多樣性公約和抗沙漠化公約之間的相互效果。

（二）通過「馬拉喀什協議」（Marrakesh Accords）等十五項規則決議文件，完成「布宜諾斯艾利斯行動計畫」之工作，決定京都機制、技術移轉、土地利用與林業等執行規範，並起草 COP/MOP 第一次會議待決議之事項，其主要之內容包括如下：

1.在京都機制方面：

（1）本項議題通過三種機制的作業規則和參與機制資格條件的各項規定與分配數額核算方式。

（2）決議三種彈性機制所產生之減量績效可以互換的計算程序與三種單位可以均等互換。

（3）會議也通過評估碳匯的評估成效單位，稱為“移除單位”（Removal Units, RMUs），規定只適用於第一承諾期內的排放減量目標，不可留存於未來承諾期使用。

（4）決議「清潔發展機制」(CDM)執行理事會被授與之各項權限，並迅速啟動小型 CDM 計劃。

（5）允許任何國家超過目標的剩餘排放分配額的儲存，但由 CDM 或「共同執行」（Joint Implement, JI）所產生排放成效之儲存僅限於該國最初分配額的 2.5%。

2.在土地利用、土地利用變化與林業方面：規定每一附件一國家在森林管理的最大使用數量，俄羅斯從 17 百萬公噸碳/年增加至 33 百萬公噸碳/年，每一國家可以在第一承諾期的前兩年前重新要求考慮其分配數額。

3.在遵約方面：決議建立遵約委員會，下設兩個分支機構，包括促進分支機構和強制執行機構。不遵約的條款包括對超出的

排放量將從下一承諾期的分配排放額度扣減 1.3 倍、暫停排放交易的資格和遵約行動計畫的擬定。

（三）通過 IPCC 第三次評估報告認可，並鼓勵 IPCC 繼續編寫第四次評估報告；鼓勵各國充分利用第三次評估報告中的資料。

（四）通過《公約》附件二名單之修正，將土耳其從附件二國家名單刪除。

九、第八次締約國會議

第八屆締約國大會於 2002 年 10 月 23 日至 11 月 1 日在印度首都新德里舉行，旨在促進各國加速簽署《議定書》。本次會議討論重點包括國家通訊、建立方法、開發中國家之不利影響、政策與措施 、研究與環境觀測、教育訓練與民眾意識、技術發展與轉讓、HFCs 和 PFCs 之相關議題、國家溫室氣體清冊及土地利用變化與林業等。本次大會通過主要決議重點如下：

（一）通過「德里部長宣言」（Delhi Ministerial Declaration），重申發展和消除貧窮是開發中國家首要的任務，強調減緩與調適措施的需求，關切低度開發家和小島開發中國家所面臨的脆弱性。宣言要求考慮各國特殊環境的政策措施，將氣候變遷目標納入國家永續發展策略之中，依共同而有差異性責任之原則以執行《公約》之承諾；強調調適、資訊交換及開發中國家關注因受氣候變遷不利影響與因應措施的執行。

（二）通過新修訂的非附件一國家通訊編製指南，提供清冊氣體至少需包括 CO_2、CH_4 及 N_2O 等三種溫室氣體。

（三）通過附件一國家應在 2006 年 1 月 1 日前提交第四次國家通訊。

（四）通過 CDM 理事會的議事規則和小規模 CDM 計劃活動的簡化方式與程序建議。

綜合以上介紹，茲將《公約》歷年重要之進展彙整於表 5.6。

表 5.6 《公約》歷年重要進展[5]

時間	公約大會	重要記事
1990 年	INC/FCCC	聯合國授予其起草公約條文及任何必要法律工具之權利。
1992 年 5 月	INC 第五次會議	《公約》通過採用，並於 UNEP 開放簽署。
1994 年 3 月 21 日	-	《公約》正式生效。
1995 年 3 月	COP1	1.認定開發國家無法達成《公約》中防止「危險的人為干預氣候系統」的長期目標。 2.通過一項「柏林授權」，並設立 AGBM，以備在 2000 年以前期間，採取適當的行動。 3.要求公約秘書處調整 SBSTA 與 SB 兩附屬機構會議之分工。 4.同意在附件一國家間執行試驗階段之共同執行的活動
1996 年 7 月	COP2	1.與 AGBM 第四次會議同時召開，AGBM 得向 COP 提出了一份文件以供談判。 2.通過「日內瓦宣言」支持 IPCC 的研究發現與結論和要求訂定具法律限制的目標與明顯的減量，以管制溫室氣體排放。 3.通過 IPCC 第二次評估報告。 4.通過附件一國家通訊編製指南，要求附件一國家每年提報溫室氣體清冊。 5.通過非附件一國家通訊編製指南。
1997 年 12 月	COP3	1.通過「京都議定書」 - 規定工業化國家到 2008 至 2012 年之間要使其六種溫室氣體之排放總量與 1990 年相比至少削減 5%。 - 訂定 38 個工業化國家及歐洲聯盟減量目標。 - 提出共同執行（JI）、清潔發展機制（CDM）及排放交易（ET）三種機制，使已開發國家能夠協助開發中國家或經濟轉型期國家進行溫室氣體合作減量。 - 森林吸收溫室氣體之功能納入減量計算。 2.要求各國必須依據 IPCC1996 年修訂之溫室氣體清冊估算京都議定書所規範之六種溫室氣體。
1998 年 11 月	COP4	1.通過布宜諾斯艾利斯行動方案（BAPA），以協助開發中國家之財務機制、歐盟加強減量政策及策略之研訂、優先發展清潔機制等，應提交 COP6 討論。 2.延續 COP3 為完成之議題，針對三種減量機制、開發中國家自願減量承諾、及由已開發國家協助財務與技術轉讓等事項進行討論。
1999 年 10 月	COP5	1.持續執行 BAPA 之工作。 2.通過 32 項決議草案，與各國承諾執行狀況審查、其他《公約》條款、及公約締約國會議兼議定書會議第一次會議之準備等結論。 3.要求附件一國家自 2000 年起，於每年 4 月 15 日前提交年度溫室氣體排放清冊，於 2001 年 11 月 30 日提交第三次國家通訊。 4.要求非附件一國家提交第一次國家通訊。

表 5.6 (續)

時間	公約大會	重要記事
2000 年 11 月	COP6 Part I	無具體決議，僅通過促請各國加緊政治協商，以便在後續會期完成「布宜諾斯艾利斯行動方案」的所有問題談判，並將會期延至 2001 年 5～6 月召開 COP6 Part II。
2001 年 7 月	COP6 Part II	1.通過波昂協議，達成包括八大項核心議題，包括：公約的基金、議定書的基金、技術發展與轉移、《公約》第 4.8 條與第 4.9 條的執行（針對氣候變遷所造成的不利影響）、議定書第 3.14 條相關事項（協助開發中國家）、京都機制的運作、土地利用與林業、遵約制度。 2.彙整各國對溫室氣體排放清冊規範、IPCC 軟體、溫室氣體共同報告格式（CRF）之意見，將於 COP7 討論修改上述各項之內容。
2001 年 11 月	COP7	1.達成馬拉喀什協定，完成 BAPA 之工作，決議採納京都機制、技術移轉、土地利用及林業等執行規範，並預擬 COP/MOP 第一次會議待決議事項。 2.發表馬拉喀什部長宣言，主要強調永續發展與氣候變遷之關聯，重申發展與消除貧窮是開發中國家最為優先的工作項目，強調能力建立與發展推廣創新技術的重要性，氣候變遷與其不利的影響必須透過所有階層的合作來克服，歡迎各締約國努力履行《公約》；並要求 COP7 主席及《公約》執行秘書繼續參與 2002 年世界高峰會的籌備工作。 3.採納 IPCC 第三次評估報告。
2002 年 10 月	COP8	1.發表德里部長宣言，重申永續發展之重要性。 2.完成非附件一國家通訊編製指南草案，進一步鼓勵非附件一國家以附件一國家溫室氣體清冊規範，建立其清冊，並將各部份內容具體化；本指南大部份具已完成，僅剩繳交時程將留待 COP9 中討論。 3.通過 CDM 理事會的議事規則和小規模 CDM 計劃活動的簡化方式與程序建議。

5.3《議定書》議題分析

本節主要內容在於分析《議定書》議題，作為建議我國因應《議定書》生效後政策措施之基礎，首先介紹《議定書》的內容，其次分析京都機制之內涵，最後簡要說明《議定書》目前簽署的情形。

一、《議定書》的制訂

《議定書》的全文共 28 條及 A、B 兩個附件，主要內容為：

（一）減量時程與目標：《公約》附件一國家及摩洛哥與列支敦斯登，應於 2008 至 2012 年間達成減量目標，同時採差異性削減目標之方式（如表 5.7[3]）。

表 5.7《議定書》之各國溫室氣體減量目標(以 1990 年為基準)

目　標	國　　家
削減 8%	歐盟與東歐(保加利亞、捷克及羅馬尼亞等國)
削減 7%	美國
削減 6%	日本、加拿大、匈牙利及波蘭
削減 5%	克羅埃西亞
削減 0%	紐西蘭、俄羅斯及烏克蘭
增加 1%	挪威
增加 8%	澳洲
增加 10%	冰島

（二）管制六種溫室氣體，其中 CO_2、CH_4 及 N_2O 管制基準年為 1990 年，而 HFCs、PFCs 及 SF_6 為 1995 年。

（三）制定「共同執行」（Joint Implement, JI）、「清潔發展機制」（Clean Development Mechanism, CDM）及「排放交易」（Emission Trading, ET）等三種彈性機制（或稱京都機制）。

（四）森林吸收溫室氣體之功能納入減量計算，即 1990 年以後所進行之植林、再植林及砍伐森林所造成之溫室氣體吸收或排放之淨值，可計算於減量之中。

（五）簽署：1998 年 3 月 16 日起至 1999 年 3 月 15 日止，在紐約聯合國總部開放《公約》成員簽署，其後開放加入、簽署、接受或認可。

（六）生效：當簽署《議定書》國家達 55 國，且簽署國家中「附件一成員」之 1990 年 CO_2 排放量須至少須佔全體附件一成員當年排放總量之 55%，則《議定書》於其後第 90 天開始生效。

二、京都機制

《議定書》的特點是允許進行國際合作計畫，以達到減少溫室

氣體排放減量的承諾，同時將達成減量目標的期間由固定的一個年度，擴大為一個五年的期間，讓各國可以選擇在最便利與最具經濟效益的期間內執行。

《議定書》中第六條、第十二條及第十七條分別訂出「共同執行」、「清潔發展機制」及「排放交易」；各機制主要是在附件一國家國內減量不足以符合《議定書》之承諾時的一種補足減量額度之彈性替代方案，其內容分別說明如下：

（一）共同執行(JI)：主要由附件一國家提供資金或技術給另一個附件一國家，進行溫室氣體減量計畫，第一承諾期由 2008 年 2012 年。歷經數年試驗期的共同執行計畫，目前關於相關計畫定義、計畫申請、共同執行報告格式及減量額度計算等，已經發展完整，並訂有最佳作法（good practice）之規範。

（二）清潔發展機制(CDM)：指由附件一國家提供資金或技術給《公約》非附件一國家，進行溫室氣體減量計畫，其第一承諾期自 2000 年開始。此機制主要的目的是一方面協助附件一國家履行《議定書》的減量承諾，另一方面協助非附件一的開發中國家達成永續發展的目標。由於本機制允許公私部門的共同參與，被各國視為最有潛力與最有機會的機制。目前關於相關計畫定義、計畫申請與執行架構及減量額度計算等，已有規範，《公約》業已成立清潔發展機制執行理事會（Executive Board，EB）處理 CDM 業務；惟在 LULUCF 議題上，各國對於在 CDM 下之計畫定義、額度計算及人為引起之 LULUCF 碳匯的計算等未達共識，詳細的 LULUCF 規範將在第一承諾期（2008～2012 年）前完成。

（三）排放交易(ET)：僅限於《議定書》附件 B 國家之間方可進行經驗證過之減量額度的交易，其相關規範業已發展完整。

三、《議定書》簽署情形

截至 2003 年 9 月止共有 119 個締約國簽署《議定書》，簽署國家數目已遠超過《議定書》生效所要求之 55 個締約國，各國簽署情形如表 5.8 所示。但是簽署《議定書》各國 CO_2 總排放量僅佔全球工業國家的 44.2%，未超過 55%的門檻，因此《議定書》是否能正式生效的關鍵，取決於 1990 年 CO_2 總排放量僅佔全球工業國家 17.4%的俄羅斯，只要俄羅斯簽署，《議定書》即將於

其簽署日後的 90 天生效，屆時溫室氣體減量、減緩全球暖化的全球行動，將邁入另一個新的紀元。

表 5.8 《議定書》之簽署情形（截至 2003 年 9 月）

<table>
<tr><th colspan="2">國　家</th><th>排放量(%)</th><th colspan="2">簽署日期</th></tr>
<tr><td colspan="2">保加利亞</td><td>0.6</td><td colspan="2">17/07/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">加拿大</td><td>3.3</td><td colspan="2">17/12/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">捷克共和國</td><td>1.2</td><td colspan="2">15/11/01</td></tr>
<tr><td colspan="2">愛沙尼亞</td><td>0.3</td><td colspan="2">14/10/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">匈牙利</td><td>0.5</td><td colspan="2">16/07/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">冰島</td><td>0.0</td><td colspan="2">23/05/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">日本</td><td>8.5</td><td colspan="2">04/06/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">拉脫維亞</td><td>0.2</td><td colspan="2">05/07/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">紐西蘭</td><td>0.2</td><td colspan="2">19/12/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">挪威</td><td>0.3</td><td colspan="2">30/05/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">波蘭</td><td>3.0</td><td colspan="2">13/12/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">羅馬尼亞</td><td>1.2</td><td colspan="2">19/03/01</td></tr>
<tr><td colspan="2">斯洛伐克</td><td>0.4</td><td colspan="2">31/05/02</td></tr>
<tr><td colspan="2">瑞士</td><td>0.3</td><td colspan="2">02/06/03</td></tr>
<tr><td rowspan="14">歐盟</td><td>奧地利</td><td>0.4</td><td rowspan="14">24.2</td><td rowspan="14">31/05/02</td></tr>
<tr><td>比利時</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>丹麥</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>芬蘭</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>法國</td><td>2.7</td></tr>
<tr><td>德國</td><td>7.4</td></tr>
<tr><td>希臘</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>愛爾蘭</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>義大利</td><td>3.1</td></tr>
<tr><td>盧森堡</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>荷蘭</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>葡萄牙</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td>西班牙</td><td>1.9</td></tr>
<tr><td>瑞典</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>英國</td><td>4.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">總　　計</td><td colspan="2">44.2</td><td>-</td></tr>
</table>

參考文獻

1. Climate Change Secretariat, UNFCCC, United Nations Framework Convention On Climate Change, July 1999.
2. Germany Federal Environmental Agency , Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving newly industrialized economies and developing countries , 2003.
3. Climate Change Secretariat, UNFCCC, The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change, October 1999.
4. 行政院環保署，評估及推動我國實質參與聯合國氣候變化綱要公約期末報告，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A177，2003 年。
5. 行政院環保署，因應氣候變化綱要公約決策支援專案計畫期末報告，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A096，2002 年。
6. 陳俐陵，京都議定書簽署最新進展與聯合國氣候變化綱要公約資訊報導，第 36 期，2003 年 6 月。

第三篇　各國因應溫室氣體增加的對策

本篇章節：

第六章　主要國家因應《公約》作法

第七章　日本因應溫室氣體增加之政策措施

第八章　英國因應溫室氣體增加之政策措施

第九章　美國因應溫室氣體增加之政策措施

第十章　韓國因應溫室氣體增加之政策措施

第六章　主要國家因應《公約》作法

《公約》之國家組成可分附件一國家及非附件一國家。附件一國家的組成以附件二國家加上俄羅斯與東歐國家(經濟轉型國家)為主，而俄羅斯與東歐國家的主要承諾為具有彈性基準年之排放限制，並無提供資金與技術援助之義務；附件二國家則以經濟開發暨合作組織(Organization for Economic Cooperation and Development,OECD)成員為主，其主要承諾為提供資金和技術援助與排放減量之義務，這些國家大多為已開發國家。非附件一國家是指不包含在《公約》附件一的所有國家，其並無減量目標和提供資金與技術援助之義務，但須提供溫室氣體排放援助款的執行成果之報告，這些國家被廣義定義為開發中國家。此外，在附件一國家中亦包含經濟轉型國家，其對於提供第一次國家通訊的期限是具有彈性的。

附件一國家目前可分為簽署《議定書》之國家（如歐盟、日本等）與拒絕簽署《議定書》之國家（如美國與澳洲）。本章針對這些已開發國家在因應溫室氣體增加之作法，作通盤性介紹，然後在第七章至第九章則選擇具代表性之國家作深入說明。

第七章將介紹日本因應溫室氣體增加之政策措施。由於我國與日本之國情、能源使用與供需、產業結構有相當類似之處，加上其與我國產業來往密切，且為贊成《議定書》儘早生效的亞洲附件一國家，因此其因應作法可作為我國將來研擬氣候政策之參考。

第八章將以歐盟之主要國家—英國為對象，介紹英國因應溫室氣體增加之政策措施。英國為全球最早實施溫室氣體排放交易制度，且已徵收氣候變化稅，在歐盟中屬於較早推動因應溫室氣體增加策略之國家，並已實施各項有效的氣候政策，因此選擇英國為探討對象。

第九章將介紹主要拒絕簽署《議定書》之國家—美國。美國自從拒絕簽署《議定書》後，提出一套因應溫室氣體增加之因應方案，規劃於 2012 年前將溫室氣體排放量降低 17.5%（相較於 2002 年），對於同樣為《議定書》非締約國的台灣而言，其因應策略是值得參考的。

在非附件一國家中，某些國家的人均CO_2排放量與人均國民所得(GDP)已超過部份附件一國家，並列在經濟開發暨合作組織(OECD)國家之林，例如：韓國在加入OECD之會員初審會議時，已遭受各成

員強烈要求未來須加入附件一國家的壓力[1]，因此韓國將來面臨承諾談判時可能被納入減量之國家。由於韓國之經濟規模與我國非常類似，均屬亞洲新興經濟體，因此第十章將探討韓國因應溫室氣體增加之政策措施，以開發中國家之例作為我國決策之參考。

本章除對附件一及非附件一國家作介紹外，亦敘述國際能源總署(International Energy Agency, IEA)的成員國家在因應溫室氣體增加之作法。

6.1 附件一國家因應《公約》作法

一、 概況

（一）經濟發展

依據《公約》附件一國家第三次國家通訊彙編與綜合報告[2、3]指出：附件一國家中，其中附件二國家是屬於高收入的國家，人均GDP超過20,000美元，有些是中收入國家（如東歐經濟轉型國家），其人均GDP在15,000~20,000美元之間，但多數東歐經濟轉型國家人均GDP約為10,000美元以下。大多數附件二國家1990年代人均GDP成長率約為2~3%，但經濟轉型國家中有些國家重工業急速衰退，其間差異很大。附件二國家中，服務部門為最大的部門，佔GDP的50%以上，而即使服務部門比率不斷增加的情況下，工業結構也對溫室氣體排放產生重大影響。

（二）溫室氣體排放趨勢

從1990年至2000年，附件一國家溫室氣體排放總量減少3%。雖附件一國家平均已達成《公約》的減量目標－於2000年的排放量回復到1990年的水準，但附件一國家在減緩溫室氣體排放量之差異性很大。排放下降的主要原因是由於經濟轉型國家排放量下降37%，但附件二國家的排放量卻增加8%（詳如圖6.1），其增加量之2/3來自不受《議定書》承諾約束的附件二締約國（美國與澳洲）。整體歐盟溫室氣體排放總量下降3.5%, 但就個別歐盟成員國而言，排放量的變化範圍為下降19%至增加35%之間（詳如圖6.2）[2]。

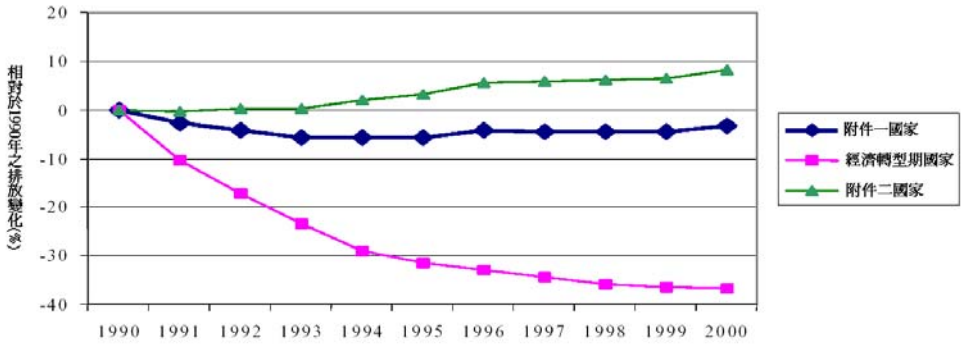


圖 6.1 溫室氣體排放總量趨勢(1990~2000 年)

就個別國家而言，溫室氣體排放總量變化差別很大，從下降 66%到增加 36%。圖 6.2 顯示有半數附件一國家於 2000 年溫室氣體排放量低於 1990 年的水準；有七個附件一國家（德國、芬蘭、法國、列支登斯敦、瑞典、瑞士及英國）其 2000 年之溫室氣體排放量較 1990 年為低。

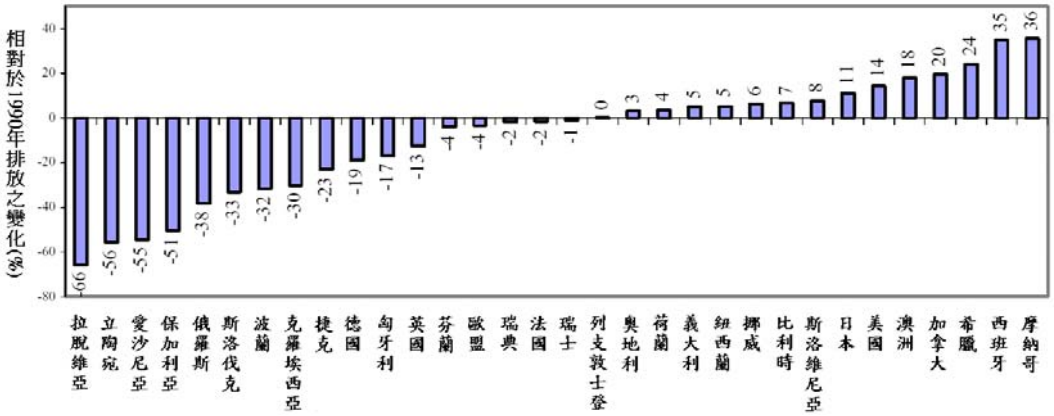


圖 6.2 溫室氣體排放總量變化(1990~2000 年)

就部門排放而言，根據《公約》溫室氣體清冊資料庫(1990~2000 年)[8]，附件一國家的各部門排放仍以燃料燃燒為最主要的排放來源，排放比率由77.1%(1990年)提升至79.8%(2000年)，而其他的部門之排放比率變化也略有增減（詳如圖6.3）[3]。

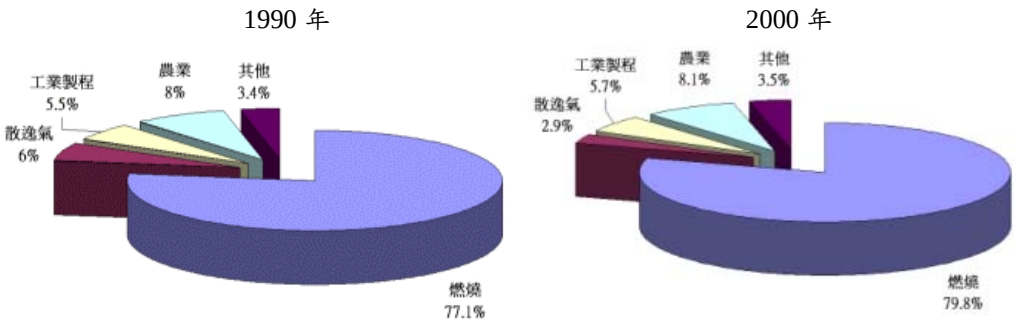


圖 6.3　各部門溫室氣體排放比率(1990 與 2000 年)

1. CO_2的排放趨勢:

2000年CO_2排放仍以燃料燃燒之比率為最大（95%），而工業製程約佔4%。由澳洲、捷克、愛沙尼亞、德國、拉脫維亞、列支登斯敦、摩納哥、荷蘭、波蘭、俄羅斯、斯洛維尼亞、英國及美國等13個國家近年來溫室氣體排放資料顯示，由燃料燃燒之CO_2排放佔總CO_2排放95%以上。

在燃料燃燒方面，能源工業在2000年佔總CO_2的排放39.5%，其次是運輸部門為28.1%，工業部門為17.7%，住商與政府部門為14%。比較1990年排放比率，能源部門增加3.1%，工業部門減少3%，運輸部門增加6%，政府與住商部門減少6.2%，其他部門大致不變（詳如圖6.4）[9]。

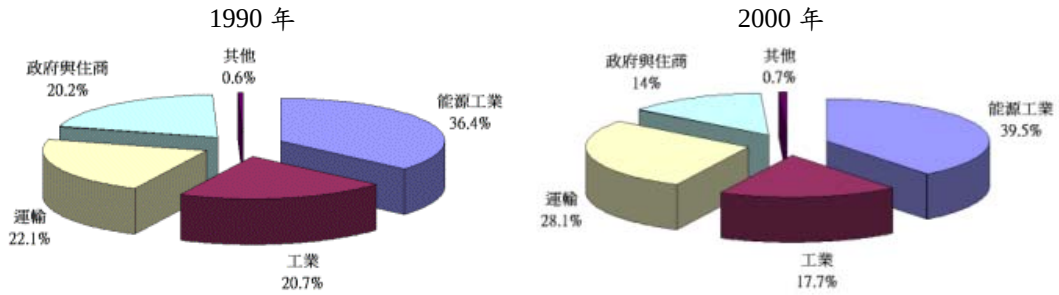
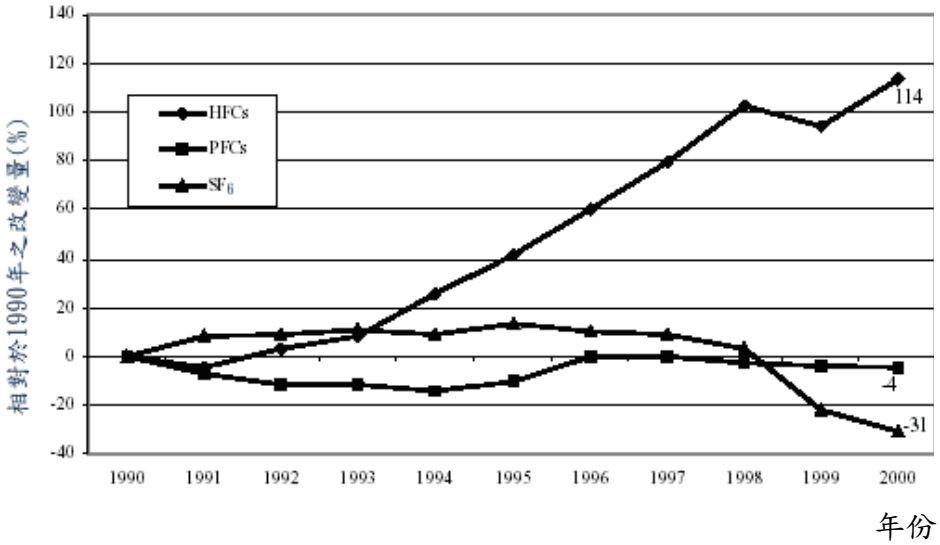


圖 6.4　各部門燃料燃燒溫室氣體排放比率(1990 與 2000 年)

2. HFCs、PFCs及SF_6的排放趨勢:

圖 6.5[7]*所示為附件一國家於 1990~2000 年之含氟溫室氣體HFCs、PFCs及SF_6的排放趨勢。由圖顯示附件一國家於 2000

年的排放變化率(相較於 1990 年)，PFCs與SF_6分別下降為 4%與 31%；而HFCs於 1993 年開始顯著增加，至 2000 年已增加至 114%。



* 部份附件一國家因報告不完整而造成資料缺失，缺失數據採用數值內差方式補齊，並不影響其趨勢。

圖 6.5　附件一國家之HCFs、PFCs及SF_6排放趨勢

表 6.1[7] 所示為附件一國家之HFCs、PFCs及SF_6整體於 2000 年的排放變化率(相較於 1990 年)，顯示各國的HFCs、PFCs及SF_6整體排放變化率相差甚大，其範圍為下降 20%以上至增加 100%以上，且有半數以上國家的HFCs、PFCs及SF_6整體排放變化率是增加的。

3. 土地利用變化對溫室氣體排放影響:

表 6.2 所示為附件一之國家土地利用變化對溫室氣體CO_2排放或削減之影響，其排放增減率之負值表示植物光合作用而削減CO_2(相較於 1990 年)之值。由表顯示附件一國家中 17 國之植物光合作用CO_2增減率因土地利用改變而削減，其中以冰島的-2318.7%為最大；而有 10 國與歐盟之植物光合作用CO_2增減率因土地利用改變而增加，並以德國的 166.5%為最大。

表 6.1　2000 年各國HFCs、PFCs及SF_6整體之排放變化率

（相較於 1990 年）

HFCs PFCs SF_6	下　降	20%以上	克羅地亞、澳洲、冰島、挪威、紐西蘭、斯洛伐克
		0~20%	英國、荷蘭、俄羅斯
	增　加	5~30%	奧地利、加拿大、美國
		31~100%	德國、歐盟、法國、日本、波蘭、瑞典
		100%以上	比利時、保加利亞、瑞士、捷克、愛爾蘭、希臘、拉脫維亞、丹麥、葡萄牙、西班牙、義大利

表 6.2 土地利用變化對CO_2排放或削減之影響[a]

（1990 年,1995~2000 年）[7]　　單位:1000 噸

年 / 國家	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	排放增減率(%)[b]
澳洲	78124	35164	32377	33918	34786	32914	32846	-58.0
奧地利	-9215	-7254	-5385	-7633	-7633	-7633	-7633	17.2
比利時	-1600	-1911	-1889	-1867	-1854	-1832	-1823	-13.9
加拿大	-61498	-17646	-23620	-19056	-26883	-10681	-16489	73.2
捷克	-2128	-5454	-4486	-4639	-3757	-3401	-4016	-88.7
丹麥	-916	-931	-941	-957	-964	-976	-995	-8.6
愛沙尼亞	-6320	-7782	-9607	-9107	-8522	-8107	-8365	-32.4
芬蘭	-23798	-14687	-21032	-12637	-9713	-10821	-11953	49.8
法國	-56232	-62795	-65459	-68851	-68426	-69727	-63247	-12.5
希臘	-33719	-33430	-33430	-33430	-33430	-33430	-16826	50.1
德國	1441	-366	-75	-400	2538	66	3840	166.5
匈牙利	-3097	-4797	-3931	-4205	-4411	-4500	-4011	-29.5
冰島	-5	-56	-66	-80	-94	-112	-131	-2318.7

表 6.2 （續）

年 / 國家	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	排放增減率(%)[b]
愛爾蘭	-89	-13	47	-85	-195	-141	-33	63.4
義大利	-23532	-19598	-20222	-17764	-17426	-17717	-16444	30.1
日本	-83903	-96705						-15.3
荷蘭	-1422	-1232	-1398	-1180	-1380	-1236	-1413	0.6
紐西蘭	-21845	-16404	-16697	-18279	-20984	-22764	-23515	-7.6
挪威	-9765	-13640	-17611	-16499	-17588	-17767	-18743	-91.9
波蘭	-34746	-42880	-42616	-40521	-29821	-43464	-43094	-24.0
葡萄牙	-3751	-4169	-4179	-4188	-4198	-4207	-4216	-12.4
俄羅斯	-392000	-840000	-840000					-114.3
西班牙	-29252	-29252	-29252	-29252	-29252	-29252	-29252	0.0
瑞典	-20292	-21293	-22269	-27288	-24331	-27305	-27306	-34.6
瑞士	-3188	-4310	-4460	-4636	-4570		-1821	42.9
烏克蘭	-52107	-52940	-66151	-68806	-68708			-31.9
英國	8791	4687	4969	4773	4995	4828	3354	-61.8
北愛爾蘭	-1097747	-1110016	-1110016	-887531	-885883	-896392	-902495	17.8
歐盟	-199004	-198149	-198149	-207107	-197973	-206134	-180681	9.2

[a]在CO_2氣體排放量欄中，負值表示CO_2因植物光合作用而削減量。

[b]表示最近年所測的CO_2量相較於 1990 年之增減百分比。

二、政策措施

（一）氣候變遷政策措施之演進

根據附件一國家第三次國家通訊，各國在因應溫室氣體增加皆採組合式的政策措施，並顯示各部門都有擴大政策措施範圍之趨勢。一些跨部門之政策措施，例如碳稅與排放交易，所扮演的角色

越顯重要。在政策措施的比較上，由經濟與財政措施以結合法規管制為主要政策措施。由表 6.3 可知各部門提出之主要政策項目的件數百分比。政策措施之組合使用因部門別而有所差異，例如自願性協議仍普遍應用在工業部門的能源使用和工業製程部門，而法規管制是普遍應用在廢棄物部門。〔5、6〕

表 6.3　附件一國家政策措施組合比率(依部門別)

單位: %

政策 / 部門	法規	經濟	財政	自願性協商	研究	資訊/教育	政策程序	其他	合計
能　　源	25	24	11	15	6	6	3	10	100
運　　輸	21	15	20	10	4	12	1	17	
工　　業	35	8	2	21	13	2	0	19	
廢棄物	46	13	4	9	4	2	7	15	
農　　業	25	16	4	19	12	12	0	12	
土地利用變化與林業	45	13	8	5	11	0	3	15	
跨部門	29	24	14	0	0	5	18	10	
其　　他	50	16	0	0	17	0	0	17	
以上綜合	29	18	11	12	7	7	3	13	

依部門別而言，能源部門之因應溫室氣體增加之政策在《議定書》後有顯著的改變，其包括加強既有的政策措施，例如能源/碳稅；採用創新之措施，例如國內排放交易與綠色權證交易制度；加強能源部門進行與氣候變遷相關法規之改革，例如推廣新能源與汽電共生(CHP)。在交通部門方面，因其為氣候政策實施最困難的部門之一，所以各國對減緩交通部門排放的政策措施仍持續進行探討。目前某些國家，例如：芬蘭已推出適合國家環境整合性之運輸政策架構，以作為運輸部門的最佳氣候政策措施。

在工業部門方面，由於含氟溫室氣體排放量成長相當可觀，因而有關排放量減緩的政策措施隨之增加。在廢棄物部門，已從管末

技術轉為採減廢與回收的綜合性廢棄物政策，而剩餘廢棄物才予以焚化和掩埋處理。最後，在農業與林業部份，農業和土地利用變化與林業政策措施已引起各國政府的注意，並提升碳匯的功能以達成《議定書》之目標。

（二）各部門之政策措施[4、5]

1. 能源

大部份附件一國家實施新的強制性政策措施包括：能源或CO_2課稅、自願協議與排放許可、排放交易計畫、能源效率標準及再生能源或汽電共生的發電配額。此外，大部份附件一國家也對可減少CO_2排放量提供財政誘因，包括：對再生能源與能源效率計畫提供投資補助與優惠貸款利率、對再生能源與汽電共生提供優惠電力關稅及採取加速折舊以減輕稅賦與電力關稅的稅賦減免等。以下為能源轉換部門之各次部門實施之政策措施：

(1) 能源轉換部門

能源轉換部門是所有國家實施政策措施最優先之部門，許多影響能源轉換部門的政策措施都與能源部門改革有關，包括：法規改革及能源公司的重整與民營化。各國改革主要目標是提高此部門的經濟效率與提供更多的消費選擇，而不在於探討減緩溫室氣體之具體措施。

此外，目前附件一國家能源轉換部門部門的政策措施，包括加強再生能源與汽電共生的直接財政誘因，以及加強強制性措施。有些國家，特別是經濟轉型國家，鼓勵將燃煤改用天然氣的燃料轉換措施(例如投資補助與優惠貸款)。而在降低溫室氣體排放的新技術，包括再生能源及潔淨化石燃料發電技術與核能發電。此外，也有些國家以降低再生能源之成本以擴大其應用範圍為主要措施的目標。

(2) 工業部門的能源使用

產業競爭力是附件一國家工業部門主要的考量因素，它影響政策措施的本質與時效性。產業能源密度高的國家與能源密度低的國家，其政策之採用有很大的差異。

在工業部門，自願性協議是許多國家採行的主要措施之一，但直接的財政誘因也被廣泛應用。此外，稅賦與排放交易制度也是主要政策，而教育、訓練、最佳作法之宣傳及能源查核是大多國家所實施之措施，而這也是達成自願協議目標之主要措施。

(3) 住、商、政府與其他部門

附件一國家在住商與政府部門實施的措施，大部份是存在已久且可提升能源效率之計畫，採取這些措施最初的目的是以能源安全與經濟效率為基本考量，而非以因應氣候變遷為目的。目前各國已對這些部門的措施加以修訂，主要是為擬定溫室氣體減量的政策架構。附件一國家在這些部門實施的措施可歸納包括：課稅、能源效率標準與標章及資訊宣傳活動等。

2. 交通

附件一國家運輸部門的因應溫室氣體增加之政策大致可分硬體技術與軟體技術。硬體技術主要為改善汽車的能源效率與燃料混合碳密集度。軟體技術則是透過運輸需求管理、對低污染的運輸方式提供誘因及交通流量改善與空間規劃等方式，以處理運輸活動與結構。經常採用的運輸政策包括空氣品質管理、壅塞管理與能源安全（石油進口的依存度）等。

在實施的政策措施中，以經濟和財政誘因為主，約佔使用措施的三分之一，其次是法規政策、資訊與教育及自願性協議。交通部門的措施已由法規政策逐漸轉為以經濟與財政誘因為主。

3. 工業製程

附件一國家工業製程部門主要溫室氣體排放來自工業生產過程，其排放之溫室氣體包括：

(1) CO_2：來自水泥製品、鋼鐵工業、煉鋁工業與其他鐵製品、造紙工業和食品與飲料工業製程。

(2) N_2O：來自氨、硝酸和脂肪酸的生產過程。

(3)氫氟碳化物（HFCs）。

(4)全氟化碳（PFCs）。

(5)六氟化硫（SF_6）。

工業製程部門政策的執行多是基於經濟考量，例如鋁業PFCs之減少是生產製程最佳化的結果，因在生產製程不佳情況下才會產生和排放PFCs。工業製程部門的政策措施常受民間企業之生產型態而有所影響，因此各國政府決定在頒佈具體政策前須與民間企業作諮詢與協調，且所採取適當的政策措施是高度依賴工業本身的詳細技術專長與如何達到諮商程序的有效性。工業製程部門由於複雜的排放結構、監控困難與競爭壓力，自願性協議是常被使用的政策措施，而立法與法規在某種程度上也被加以採用。

4. 廢棄物

廢棄物部門是附件一國家極為重視之部門,原因為其對氣候的可能影響外，亦對其他環境造成衝擊，例如土壤和地下水污染及惡臭等。有些附件一國家實施國家廢棄物策略方案，以減少廢棄物的產生;有些則透過法律規章以要求或鼓勵廢棄物分類、回收及再生；此外，也有些措施旨在提高廢棄物焚化的比例，並降低掩埋的比例。

5. 農業

農業的政策措施與一般農業的政策目標有緊密的關聯,例如：市場改革、農村發展、環境污染、造林及其附帶效益等。將其政策措施歸納如下：

- 碳儲存與CO_2排放:用來處理碳儲存的政策措施管制農地的造林/再造林，這些與LUCF 部門有關。
- N_2O排放：用來因應排放的政策措施已廣泛的實施，主要重點是在氮肥的使用和肥料管理，包括：歐盟硝酸鹽法令與有關國家措施、農場氮氣生產課稅（法國規劃中）、水質規範與法規及肥料與牧場管理。
- CH_4排放：特別針對家畜的數目和飼料管理的政策措施。

6. 土地利用變化與林業

附件一國家使用之土地利用變化與林業部門，其政策措施包括：法規（強制執行改種後的收穫）、財政（將能源稅與造林結合）、經濟（將農地轉換成森林用地的財務補貼）及自願性協議（永續森林管理的認證）等，而前三項政策措施是最常被使用的，這反映許多土地利用變化與林業的政策措施是建立在補貼和賦稅誘因的基礎上。

造林與再造林是各主要附件一國家土地利用變化與林業部門中主要的因應溫室氣體增加之政策，其他尚包括制定改善森林管理政策；制定綠肥作物與保育計畫的政策，增加土壤的碳儲存；實施碳匯之排放交易制度及發展對抗蟲害與火災之技術等。

三、執行成效

附件一國家於1990~2000年CO_2排放量減少近1%；CH_4減少21%；N_2O減少5%；HFCs、PFCs及SF_6增加24%。

根據《公約》溫室氣體統計資料庫顯示[8]，至 2000 年時累計所有附件一國家溫室氣體排放量比 1990 年降低 5.4%（其中 17 國排放量屬於成長），若僅估計東歐經濟轉型國家，則其累計排放量也比 1990 年下降 37.6%。

就溫室氣體排放部門而言，多數國家交通運輸部門的溫室氣體排放量持續成長；而農業、廢棄物及能源部門等溫室氣體排放係屬下降趨勢。

就氣體和部門目標而言，各主要國家CO_2排放在能源和運輸部門是最重要的，但過去許多國家在非CO_2排放已達到顯著的減量，例如廢棄物與工業製程部門之排放，乃因實施具有經濟誘因措施之緣故。大部份國家都希望能將CO_2穩定在基準年(1990 年)的排放水準附近，對於非CO_2的部份則期望能降至基準年以下的水準。[6]

運輸部門是多數國家重大排放源及成長最迅速之部門，雖少數附件一國家對交通部門採取因應措施，其佔所有政策措施僅約 14%，卻已達成減量之成效。在工業製程方面，由鋼鐵與水泥的製程有關之CO_2排放是最重要的排放源，但其減緩方案是不易實施的。農業部門是一些國家的重要部門，但除採取肥料與肥料管理措施或共同農業政策(如歐盟)外，實在難以尋求顯著減量的措施。

四、執行特色

為達成《議定書》之目標，各主要附件一國家須實施其國內之排放減量政策措施。《議定書》並不強迫各國採取任何強制政策，而是須提供可協助削減排放與促進永續發展的直接有效政策措施。綜合主要國家實施的政策措施目標之特點歸納如下[6]：

- 提升能源效率。
- 保護和增強溫室氣體的碳匯(carbon sink)。
- 促進永續農業發展。
- 促進再生能源、碳固化與其他環境無害技術。
- 鼓勵各相關部門之改革以促成排放減量與處理運輸部門之排放。
- 在廢棄物管理的部份，則採取CH_4的回收利用以控制其排放量。

各主要附件一國家目前所實施的政策措施，大多仍繼續加強既有政策措施，但也有明顯的轉變，包括以減緩溫室氣體增加為其主要的政策目標，或更重視有效的配套措施之應用，例如以排放交易、碳稅及綠色權證交易等政策目標。附件一國家各部門減緩溫室氣體增加政策措施之項目特色彙整如下表6.4。

6.2 IEA 國家之氣候變遷政策

為因應全球暖化與《議定書》之規範，國際能源總署(IEA)成員國家已實施各項能源相關的政策措施組合。根據IEA報告[6]指出：從1999 至 2001 年，IEA國家大都採取跨部門之政策措施，包括：能源生產、工業、運輸及建築(住商與政府)部門以因應溫室氣體增加問題，由下表 6.5 顯示各IEA國家所採取之政策措施件數於各部門所佔比率。

IEA國家所採取的各項政策類型組合差異甚大，其政策組合包括：財政(稅賦、稅賦減免誘因及補貼)、交易許可、法規措施(命令、標準及法規)、自願性協商、研究發展與示範及政策程序與延伸(策略規劃、資訊傳播及諮詢），下表6.6顯示IEA國家各類別政策措施件數之比率情況。

表 6.4 主要國家各部門因應溫室氣體增加之政策措施

能源	• 提升能源供應與能源使用的經濟效率。 • 加強能源安全與能源資源的替代性。 • 經由民間企業參與、供給與分配的競爭和增加能源的消費選擇，以促進能源部門的改革，提升經濟效率。 • 透過“綠色稅制”改革，以提升各項資源的有效利用(如碳稅)。 • 透過排放交易，有效達成減量目標。
運輸	• 節能交通工具。 • 大眾運輸系統與興建生質能及潔淨能源使用。 • 交通擁塞管理。 • 能源安全。
工業製程	• 減少製程中的各種溫室氣體排放。 • 提升工業製程之效率。
農業	• 改善農業的環境績效，例如：地下水污染預防。 • 促進永續性，例如：透過改善糧食品質、農村發展和土地利用規劃。
土地利用變化與林業	• 森林的保護與永續管理。 • 生物多樣性、野生物種及土壤和水的保育。 • 增強森林的碳匯容量。
廢棄物	• 降低廢棄物管理的環境衝擊，例如：空氣、土壤與地下水的污染防治。 • 廢棄物減量與回收循環利用。

表 6.5 IEA 國家採取政策措施之部門所佔比率
（1999~2001 年）

單位: %

國家＼部門	能源生產	工　業	運　輸	建　築	合　計
澳　洲	30	29	25	16	100
奧地利	33	27	13	27	

表6.5 （續）

國家＼部門	能源生產	工　業	運　輸	建　築	合　計
比利時	32	21	21	26	100
加拿大	30	28	23	19	
捷　克	35	22	18	25	
丹　麥	35	19	30	16	
歐　盟	24	16	41	19	
芬　蘭	29	27	24	20	
法　國	27	20	18	35	
德　國	25	24	19	32	
希　臘	22	17	44	17	
匈牙利	22	28	22	28	
愛爾蘭	26	23	21	30	
義大利	25	18	28	29	
日　本	25	27	23	25	
盧森堡	23	20	38	19	
荷　蘭	28	22	25	25	
紐西蘭	23	24	24	29	
挪　威	30	21	24	25	
葡萄牙	22	18	46	14	
西班牙	35	25	20	20	
瑞　典	24	24	31	21	
瑞　士	21	25	28	26	
土耳其	27	23	23	27	
英　國	27	25	24	24	
美　國	33	19	24	24	

表 6.6　IEA 國家採取之政策措施類別與件數之比率　單位: %

措施 / 國家	財政	交易許可	法規措施	自願性協商	研究發展與示範	政策程序與延伸	合　計
澳　洲	26	10	24	6	5	29	100
奧地利	19	10	20	10	0	41	
比利時	12	17	17	10	5	39	
加拿大	24	8	5	6	19	38	
捷　克	11	6	65	0	0	18	
丹　麥	26	26	7	0	4	37	
歐　盟	16	3	36	8	9	28	
芬　蘭	23	20	14	0	10	33	
法　國	42	2	25	3	8	20	
德　國	30	7	28	11	5	19	
希　臘	47	0	12	0	6	35	
匈牙利	27	9	19	0	0	45	
愛爾蘭	31	4	0	3	28	34	
義大利	38	7	23	15	7	10	
日　本	22	4	13	11	17	33	
盧森堡	38	0	0	14	6	42	
荷　蘭	27	22	23	6	4	18	
紐西蘭	0	19	31	13	0	37	
挪　威	25	24	0	14	10	27	
葡萄牙	44	0	17	6	11	22	
西班牙	7	14	0	36	15	28	
瑞　典	32	21	7	14	9	17	
瑞　士	37	0	30	20	0	13	

表6.6 （續）

措施 / 國家	財政	交易許可	法規措施	自願性協商	研究發展與示範	政策程序與延伸	合 計
土耳其	0	0	40	0	20	40	100
英　國	30	14	26	2	4	24	
美　國	25	2	21	5	27	20	

一、 財政與法規措施

IEA國家廣泛應用財政與法規措施以因應溫室氣體增加及執行《議定書》之承諾，其在國家氣候策略中扮演首要角色。財政措施常使用稅賦及貼補的形式，以改變資源分配或商品價格而致推廣節能的技術，例如英國利用稅賦減免以鼓勵汽電共生(CHP)。整體而言，歐洲國家使用財政措施程度高於太平洋及北美地區之國家。法規措施主要為提升能源效率，例如荷蘭於2001年規定汽車須通過能源標章之審核；美國伊利諾州於2001年起要求電力須具一定比例之再生能源。財政與法規措施如制度不夠健全將導致特定產業競爭力喪失，或引起產業外移現象。

二、交易許可

交易許可逐漸成為國際間或各國國內在減緩溫室氣體增加之策略措施。IEA成員於2001年有13個國家與歐盟採行與交易許可相關政策措施，此數目為2000年之兩倍。目前歐盟正積極發展交易許可政策，預計於2005年將推出適用於全體歐盟國家的溫室氣體排放交易制度。

三、自願性協商

自願性協商為產業對政府承諾減量之協議，以減緩溫室氣體的排放量，其措施雖僅佔國家氣候策略的小部份，但卻提供較彈性且務實的策略方式。分析過去三年內自願性協商措施，太平洋及北美地區國家，其重要性有增加趨勢。

四、研究發展與示範

研究發展與示範(RD&D)措施是各國政府採行之傳統方法，而民

間企業因技術研發早期階段風險甚高，且《議定書》正式生效時間不確定，則影響其積極投入技術研發領域，因此政府須藉由公共投資及獎勵民間企業投資措施，進而開拓溫室氣體減量技術的新市場。政府獎勵民間企業在北美地區國家最為常見，約佔所有研究發展與示範措施之1/4，其中，美國為最積極發展具有競爭力的減緩溫室氣體排放技術。

五、政策程序與延伸

政策程序與延伸措施包括策略規劃、諮詢及制度建立，在IEA國家中其所佔政策組合比例相當高。在策略規劃與制度建立過程中，亦須透過資訊蒐集與資訊傳播及與民眾作協調溝通，以增加政策措施的務實性。

另外，將IEA國家於2000年各部門排放CO_2所佔比率示於表6.7，由表顯示，IEA國家大致以能源生產部門之CO_2排放量比率為最大，而建築(住商與政府)部門為最小，且前表6.5亦顯示能源生產部門為因應溫室氣體增加所採取措施之主要部門。

表 6.7　IEA國家於 2000 年各部門排放CO_2所佔比率

單位: %

國家＼部門	能源生產	工　業	運　輸	建　築	合　計
澳　洲	57	17	23	3	100
奧地利	25	26	30	19	
比利時	27	30	21	22	
加拿大	35	20	28	17	
捷　克	57	22	11	10	
丹　麥	52	15	24	9	
歐　盟	36	18	26	20	
芬　蘭	44	25	22	9	
法　國	16	23	37	24	

表6.7 （續）

國家＼部門	能源生產	工　業	運　輸	建　築	合　計
德　國	42	17	21	20	100
希　臘	53	15	22	10	
匈牙利	43	17	16	24	
愛爾蘭	39	14	25	22	
義大利	36	21	27	16	
日　本	40	26	22	12	
盧森堡	1	21	59	19	
荷　蘭	38	26	18	18	
紐西蘭	22	33	41	4	
挪　威	31	30	34	5	
葡萄牙	39	25	31	5	
西班牙	38	22	32	8	
瑞　典	18	23	43	16	
瑞　士	3	20	37	40	
土耳其	41	31	17	11	
英　國	40	14	25	21	
美　國	48	11	30	11	

6.3 非附件一國家因應《公約》作法

一、概況

據《公約》非附件一國家通訊第四次彙編與綜合報告[10]，到2002年提交國家通訊之非附件一國家，其國情、環境、經濟發展及能源使用等之差異性極大。在開發中國家，有些強調對農業和水資源的重視；有些則強調服務部門對其經濟提供重要貢獻；許多開發中之島嶼國家強調沿海地區和漁業在經濟活動中的重要地位。

非附件一國家中除阿根廷自願性提出彈性的減量目標外，其他國家並無減量責任。因此，在無減量責任的情形下，多數的非附件一國家強調，為達成國家永續發展，各項環境計畫與氣候計畫應依國家發展之優先順序併入國家發展計畫中。

二、各部門之政策措施

非附件一國家管制溫室氣體採取的政策措施如下：

- 能源部門：工業、住宅和商業部門與提高能源效率或節約能源的措施、改用其他燃料及利用再生能源。
- 交通運輸部門：使用清潔的燃料或生質能燃料、使用內燃/電動混合型車輛、改善各運輸系統的設施、改善車輛保養或淘汰陳舊車輛、倡導汽車共乘辦法及徵收汽車稅。
- 農業部門：改進水稻種植體系、植物養分管理、農業土地使用和管理及畜牧業的辦法。
- 廢棄物管理部門：廢棄物綜合管理、生產、銷售、消費和處置各階段廢棄物減量、廢棄物回收利用及改進有機廢棄物的收集工作。
- 碳匯清除量方面：保護現有森林植被、植樹造林、商業林場的發展方案、農林結合、預防森林火災、病蟲害防治、控制酸雨造成的損害、開闢林區、提倡影響小的伐木辦法、改進木材利用及將低生產力農地改為草地和牧場。

（一）能源部門

非附件一國家在管制能源部門溫室氣體的措施方面，包括：節約能源和提高能源效率、燃料轉換及使用再生能源。由於非附件一國家計畫執行的措施和具體項目各不相同，但一般都涵蓋同樣的主要類別，並包括工業部門、住宅及商業部門之提高能源效率或節約能源、燃料轉換及推廣再生能源。

在提高能源效率的措施中，包括：廢熱發電、採用節能電器、建築節能標準等提高能源效率促進節約能源、提高熱電廠發電效率、提高供暖或熱水供應效率、訂定能源密度指標、禁止使用低能效電器、減少輸電和配電損失、使用低硫燃料、液化天然氣等較清潔的燃料、應用市場價格、取消補貼及實行能源價格政策等。

在使用再生能源有關的措施，包括：促進水力發電、太陽能和風能之應用、以財稅辦法鼓勵使用或開發再生能源技術、使用生質燃料或開發相關技術、地熱使用以及使用核能等非化石燃料能源。

（二）交通部門

多數非附件一國家都有對管制交通運輸部門溫室氣體作可行性分析，這些計畫中和已執行的交通運輸部門之措施種類很多，包括：鼓勵使用清潔的燃料或使用生質能燃料、鼓勵使用內燃/電動混合型車輛、改善大眾運輸等交通模式、改善車輛保養或淘汰老舊車輛、宣傳活動、對駕駛人員進行教育、倡導汽車共乘、徵收汽車稅及收取各道路使用費或交通管理費。

（三）農業部門

許多非附件一國家都有規劃管制農業部門溫室氣體的措施，其包括農業和畜牧業生產作業。各國採取各管制農業溫室氣體排放量的辦法，在水稻種植包括：水稻栽培採用改進的管理方法、減少水稻種植面積、改種生長期較短的水稻品種、推廣低CH_4排放量水稻栽培品系、擴大直接播稻種植面積以及開展關於減少稻田CH_4排放量的教育和宣傳。植物養份管理有關措施方面，包括：適當使用肥料、淘汰尿素改用硫酸銨化肥、磷石膏(合硫酸鈣)與尿素結合使用、停止直接使用稻草並改用稻草堆肥及增加使用有機肥和無公害生物技術。農業土地使用和管理有關方面，包括：倡導土地使用規劃、推廣改進農作方式、鼓勵綜合農作、推廣少耕或免耕辦法、禁止在收穫前焚燒甘蔗、實行收穫後管理(包括避免焚燒農業生產廢棄物)及將植物性廢棄物耕入土壤。在利用與畜牧業有關的辦法方面，包括：改進牛飼養管理方法、優化牲畜種群、改變飼料結構與品質來提高畜牧業產量、牲畜綜合管理、糞肥管理、改進有機廢棄物收集儲存、使用生物消化劑及將牲畜廢棄物用於生產能源。

此外，各國採取的其他限制排放量的辦法，包括：採用需水量低的作物、使用農業產品的進口替代品、與節水有關的農業改革、農村統計調查、農業研究和開發工作的地區化以及糧食種植的多樣化、糧食儲藏和銷售系統提升及採用太陽能電池水泵取代柴油泵等。

（四）廢棄物部門

許多非附件一國家，在廢棄物管理部門計畫中和已執行的措施，實施的程度不一，包括：廢棄物綜合管理(生產、銷售、消費和處置)階段，儘可能減少廢棄物產出、回收利用廢棄物及改進有機廢棄物的收集利用和儲存系統，包括大型畜牧業養殖場、堆肥、使用衛生填埋法、廢水處理、廢水處理廠操作和維修方面的能力建設、廢水處理廠翻修改造；垃圾填埋場CH_4引燃、將廢棄物用于能源生產、廢棄物焚化及制定城市工業污染控制條例。其他措施尚包括：制定國家行動計畫、國家環境管理策略、教育方案、合適的包裝材料的研究及實施法律辦法。

（五）增加碳匯的清除量

在非附件一國家採取增加碳匯清除量有關的措施，包括：保護現有的森林植被、植樹造林、重新造林、商業造林地開發方案、農林結合、預防和控制森林火災、防治病蟲害、控制酸雨造成的損害、開闢林地、推廣衝擊低的伐木作業、提高木材利用率，並將收成低的農田改為草原和牧場。其他措施包括：種植甘蔗等高生物量作物、水土保持、濕地恢復、森林研究、森林管理、禁止採取焚燒開荒方式和推廣生長速度快的樹木品種、檢討現行的森林和土地管理政策、通過林業立法，制定林業行政計劃和實行稅收鼓勵辦法，鼓勵重新造林和沙丘固化、實行稅收鼓勵辦法、發展融資及宣傳和培訓方案等。

關於增強碳匯移除量方面，非附件一國家採取的減緩項目，包括：消除民間部門在使用生長速度快的樹木品種方面的障礙、碳固化潛力和示範計畫；碳固化與森林的永續管理；保護現有森林植被、重新造林、植樹造林、農林結合、自然保護園區的復原、森林恢復及生態系統碳吸收潛力定量評估等。

（六）自願性減量行動方案之措施

最後，一些非附件一國家根據《公約》第十二條第4款的要求，採取自願性減量行動方案的政策措施。在能源部門，此自願性方案計畫主要著重於提高能源效率和再生能源。在交通運輸部門，採取的自願性方案包括：改善交通管理計畫、改用污染排放量低的運輸模式計畫、採用新技術及車輛有效保養的計畫。在農業部門方面的自願性方案，包括：土地適用性評估研究、流域綜合管理計畫及農用土地養護、抽水站柴油機改換電動機、灌溉系統能源和水資源利

用合理化、更換農用機械及農業實行能耗和水耗計量。在廢棄物管理部門方面，包括：廢棄物處理和堆肥、工業部門廢物回收利用、垃圾填埋場CH_4的回收和商業利用、垃圾填埋場引燃或生產能源、將都市固體廢棄物有機成份和糞便處理成腐質肥料、推廣沼氣技術及廢棄物焚化。在提高碳匯清除量方面，包括：消除妨礙民間部門利用生長速度快的樹木品種的障礙、碳固化的潛力研究與示範、碳固化與森林永續管理、保護現有森林覆蓋、重新造林、植樹造林、農林結合、園林恢復、森林恢復及生態系統碳匯潛力的定量評估。

三、執行特色

非附件一國家在政策措施之執行方面與附件一國家有些相似，在經濟發展的程度上差異性卻極大。非附件一國家除了依國家本身的環境著手相關的政策措施外，在氣候變遷之因應上比較強調財務支援、技術移轉及能力建立。大部份的非附件一國家經常會透過區域或國際合作關係，以建立其受氣候變遷之衝擊與調適能力，其中許多國家接受全球環境基金（GEF）之協助，以評估該國之脆弱性與調適措施，但有些國家則透過雙邊或多邊管道以獲得技術與財務支援。

而非附件一國家在進行能力建立最優先與關注的項目為：促進再生能源、提升能源效率、提高碳匯的能力、研析永續農業措施、森林火災防止等管理、加強國家管理廢棄物與廢水政策、促進高能源效率車輛之使用、加強國家、區域及國際合作，提升評估減量策略能力、改進溫室氣體排放估算資料品質、建立國家估算溫室氣體排放係數估算方法，特別是能源、運輸、農業、廢棄物部門方面，並建立脆弱性評估能力等。

6.4 結語

已簽署《議定書》之附件一國家具承擔溫室氣體減量之責任，在第一承諾期（2008~2012 年）須達成減量目標，這些已開發國家在執行減量的政策措施，幾乎涵蓋各部門中的各項減量措施。附件一國家包括日本、紐西蘭、瑞士及歐盟藉由國內立法以加強其各部門分工權責，並取得因應溫室氣體增加政策措施實施之正當性。此外，有些先進國家甚至實施國內排放交易與碳稅制度，並著手京都機制的運用。

而在附件一國家中拒絕簽署《議定書》的兩個國家－美國與澳

洲，雖可免除在第一承諾期之減量壓力，但其在國際輿論壓力下仍持續進行因應溫室氣體增加的各項計畫，共同對抗全球暖化而努力。

在非附件一國家的開發中國家與低度開發國家，在《議定書》的規範中並無減量之責任。這些國家由於國情、經濟發展、自然資源與環境等之差異性極大，有些國家易受氣候變遷之不利影響，有些國家仍處於貧窮之困境，而有些則屬於開發中國家，因此，各非附件一國家在因應溫室氣體增加之政策措施各有不同。經濟發展較快速的國家，政策措施之實施重點在於能源部門；經濟發展較落後的國家，政策措施則以能源和農業部門為主。非附件一國家在無減量責任之情況下，國家發展以永續發展為主軸，以能力建立為主要訴求，且強調國家環境脆弱性及受氣候變遷之不利影響，並要求已開發國家須負起全球暖化之責任，進而要求附件二國家須提供資金與技術轉讓，以協助其因應全球暖化與能力建立。

本篇後續章節將選擇較具代表性國家－日本、英國、美國及韓國作深入探討。此外，由於各國在探討因應作法通常以CO_2為主，因此於下一篇中另闢專章探討非CO_2溫室氣體的減量潛力。

參考文獻

1. Kim Chan-woo,Negotiations on Climate Change : Debates on Commitments of Developing Countries and Possible Responses, EAST ASIAN REVIEW, Vol.14, No.1 , pp.45-60, Spring 2002.
2. UNFCCC,Compilation and synthesis report on third national communications: Executive summary, 2003.（ FCCC/SBI/2003 /7）
3. UNFCCC,Compilation and synthesis report on third national communications: Addendum, 2003.（ FCCC/SBI/2003/7 Add.1）
4. UNFCCC,Compilation and synthesis report on third national communications: Addendum - POLICIES AND MEASURES, 2003.（ FCCC/SBI/2003/7 Add.2）
5. UNFCCC,“GOOD PRACTICES” IN POLICIES AND MEASURES AMONG PARTIES INCLUDED IN ANNEX I TO THE CONVENTION: Policies and measures of Parties included in Annex I to the Convention reported in third national communications, 2002.（FCCC/SBSTA/2002/INF.13）
6. UNFCCC,“GOOD PRACTICES” IN POLICIES AND MEASURES AMONG PARTIES INCLUDED IN ANNEX I TO THE CONVENTION: Policies and measures of Parties included in Annex I to the Convention reported in third national communications - Database information, 2002.（FCCC/WEB/2002/7）
7. UNFCCC,National communications from Parties included in Annex I to the Convention: Report on national greenhouse gas inventory data from Annex I Parties for 1990 to 2000, 2002.（FCCC/SB/2002/INF.2）
8. UNFCCC,Greenhouse Gas Inventory Database（1990-2000）, 2003.
9. UNFCCC,KEY CLIMATE CHANGE POLICIES AND POLICY APPROACHES REPORTED BY ANNEX I PARTIES IN THE THIRD NATIONAL COMMUNICATIONS, Pre-sessional Consultations on “Good Practices” in Policies and Measures, 21 October, New Delhi, India, 2002.
10. UNFCCC,Fourth compilation and synthesis of initial national

communications from Parties not included in Annex I to the Convention,2002.（FCCC/SBI/2002/16）

第七章 日本因應溫室氣體增加之政策措施

日本自 1985 年起召開「全球環境保護關係內閣會議」，期望能確保行政單位間聯繫管道順暢，並共同面對全球環境問題。1990 年「全球環境保護關係內閣會議」決議制訂「防止全球暖化行動計畫」，目標計畫為於 2000 年時將CO_2排放量降至 1990 年時的排放基準，因而進行研擬各項對策，並且於 1992 年 6 月的「聯合國環境與發展大會」（United Nations Conference on Environment and Development, UNCED）（又稱地球高峰會議）期間簽署《公約》。日本在《公約》中亦規劃上述CO_2排放目標值。1994 年 12 月內閣會議通過「環境基本計畫」，以期達成「防止全球暖化行動計畫」之目標。

1997 年在日本京都召開《公約》第三屆締約國會議（COP 3），會後日本重新整合國內溫室氣體減量策略，在 1997 年 12 月 19 日之內閣會議中決定設置「全球暖化對策推動總部」，並由內閣總理大臣擔任本部長，從 1997 年至今已召開十多次會議，於 1998 年 6 月 19 日並訂定「全球暖化對策推動大綱」，規劃至 2010 年的各項防止全球暖化對策。

同年 6 月 26 日，日本環境廳依據「全球暖化對策推動大綱」制訂「政府率先實施要領」，要求公務機關用車以低污染為原則、官廳舍與學校等公共場所盡可能使用太陽能發電系統、官廳舍之建設應以“綠色”為原則及使用不含氟氯碳化合物之產品等。

《議定書》會後，日本重新檢討「防止全球暖化行動計畫」，並由環境廳擬訂「全球暖化對策推動法律」，明確規定政府各單位間之責任歸屬問題，1998 年 4 月送交國會審查，同年 10 月 2 日審查通過，並於 10 月 9 日正式公布。日本政府根據該法令研擬基本方針等實際行動，以建立防止全球暖化之基礎推動架構，並推行如「能源使用合理化相關法令」（又稱「節約能源法」）之修正等各項對策。

7.1 概要

（一）經濟發展

1970 年至 1998 年日本國內實質生產毛額（Real GDP）增加 2.6 倍，達到 4,810 億日圓，而人均國內生產毛額（Real GDP/per capital）

亦增加約 2.1 倍，從 182 萬日圓提升至 380 萬日圓(詳如圖 7.1[1])。然而於 1990 年代初期，土地與證券等資產價格暴跌，加上消費耐久財與資本存量的調整，以及消費支出的減少，1992 年至 1996 年的經濟成長率低於 1%或甚至為負成長。特別在 1997 年，由於“泡沫經濟”之影響使經濟情況更加惡化。

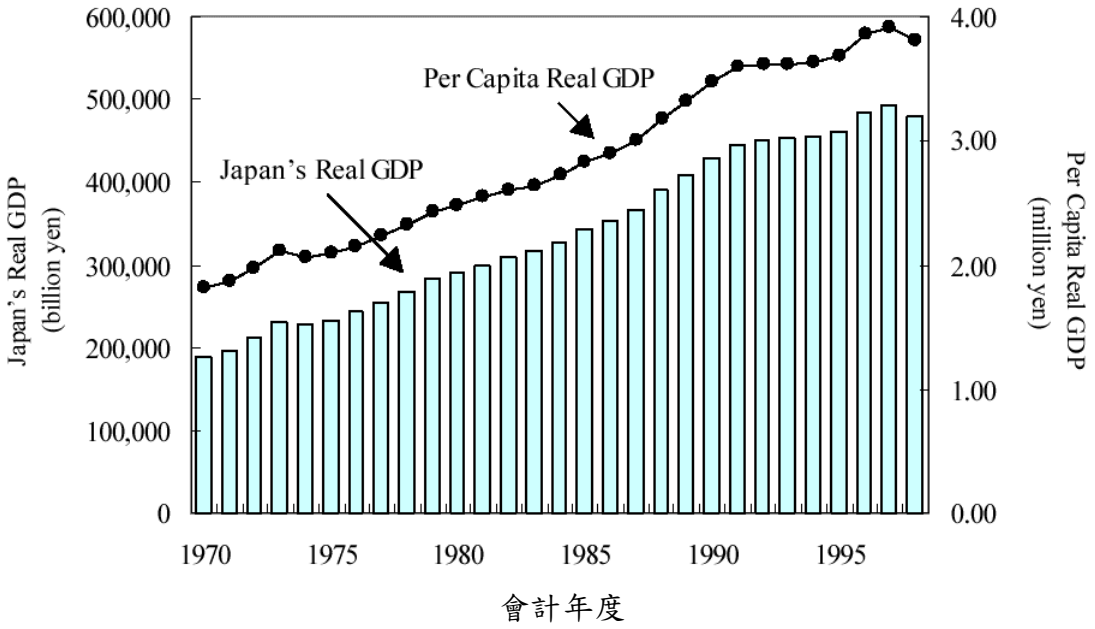
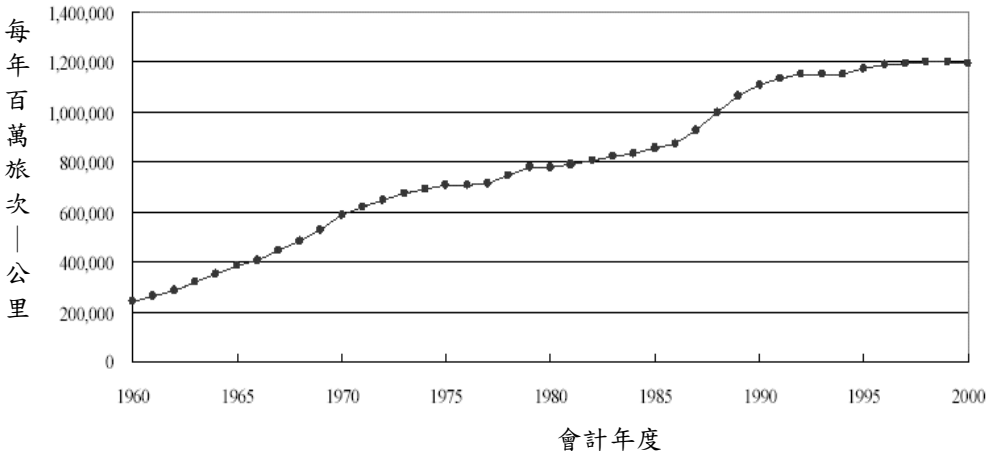


圖 7.1 日本國內實質生產毛額之成長趨勢
（以 1990 年物價為基礎）

產業結構方面，日圓從 1990 年初至 1995 年維持穩定升值，因而影響加工與裝配製造業，並促使日本民間企業轉往國外生產而導致產業外移與空洞化。然而，資訊與通訊等新興產業卻快速蓬勃地成長。

運輸方面，1960 年代日本經濟為起飛階段，國內客運與貨運隨經濟發展而顯著地成長。在 1980 年代初期的客運與貨運成長率低，但在 1980 年代末期隨經濟成長而迅速發展，因而道路運輸的比率也相對提升。然而，在 1990 年後運輸量與各類運輸型態的比率大致維持固定。在客運車的數量與總哩程數方面，自 1960 年持續地增加，至 1995 年成長率才逐漸趨緩（詳如圖 7.2 與圖 7.3）。從 1980 年至今，民眾對車輛的使用喜好逐漸轉向小轎車與休旅車，並且因法律規範改善輕型車之安全情況下，其所佔比率逐漸地

增加。



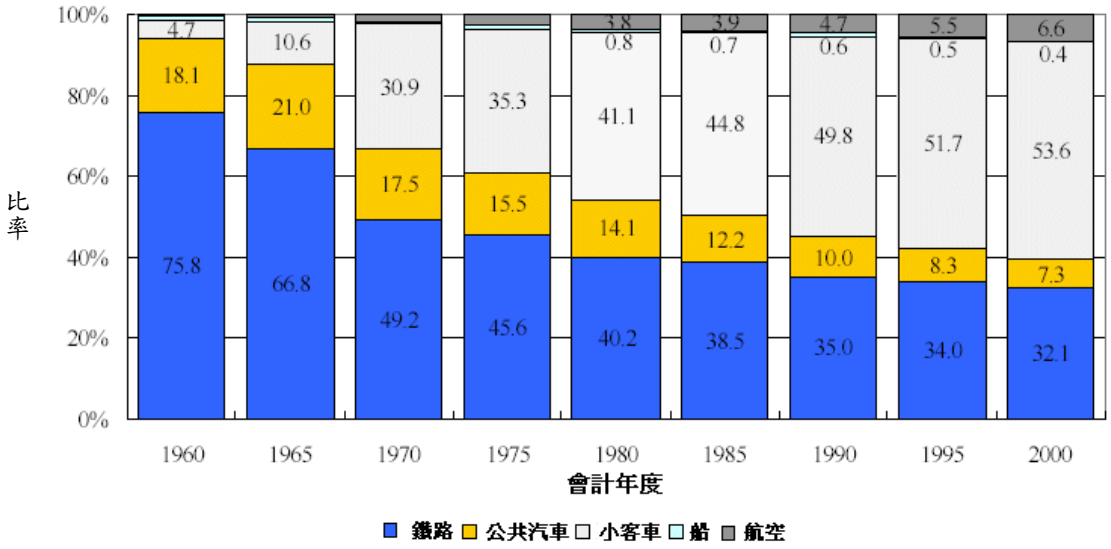
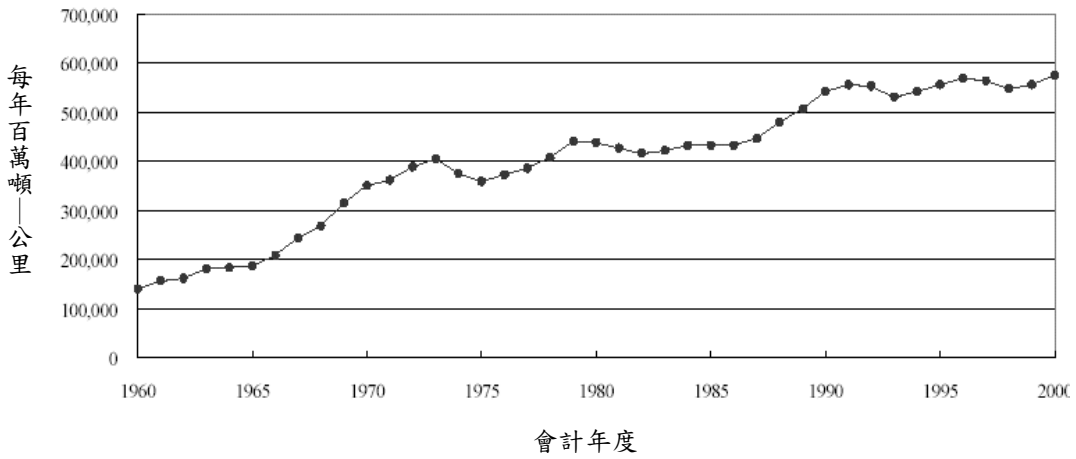


圖 7.2 日本國內客運運輸與運輸模式之比率
（旅次－公里）



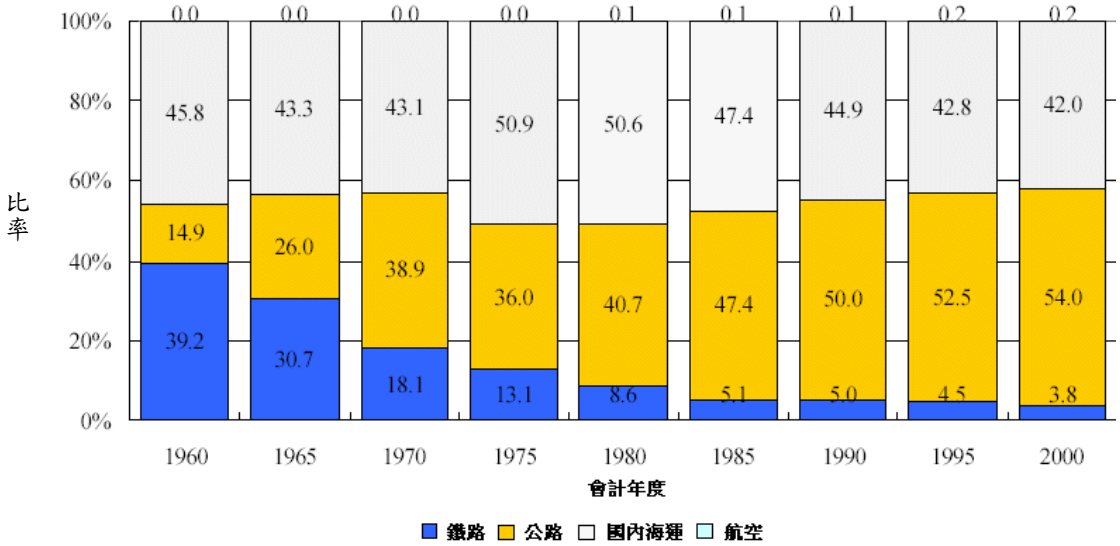


圖 7.3 日本國內貨運運輸與運輸模式之比率

（噸－公里）[2]

（二）能源消費

在 1960 年代日本經濟起飛期間至 1973 年的第一次能源危機前，日本的能源消費隨經濟成長而顯著地增加，而後呈現持平至最後的減少。然而，從 1986 年後，經濟復甦促使能源消費再度成長，至 2001 年能源消費量約 $15{,}805\times10^{15}$焦耳當量，其中以工業部門的 $7{,}247\times10^{15}$焦耳為最多，約佔總消費的 46%(詳如圖 7.4)。在 1990 至 2001 年之能源消費趨勢，工業部門大致維持穩定狀態；而住商部門則顯著地增加；交通部門在 1990 至 1995 年顯著增加，但 1995

年後成長率則趨於緩慢。在 2000 年日本初級能源供應支配比率，石油為 52%、煤炭為 18%、天然氣為 13%及核能發電 12%。自 1973 年後，天然氣與核能發電的比率迅速地增加。

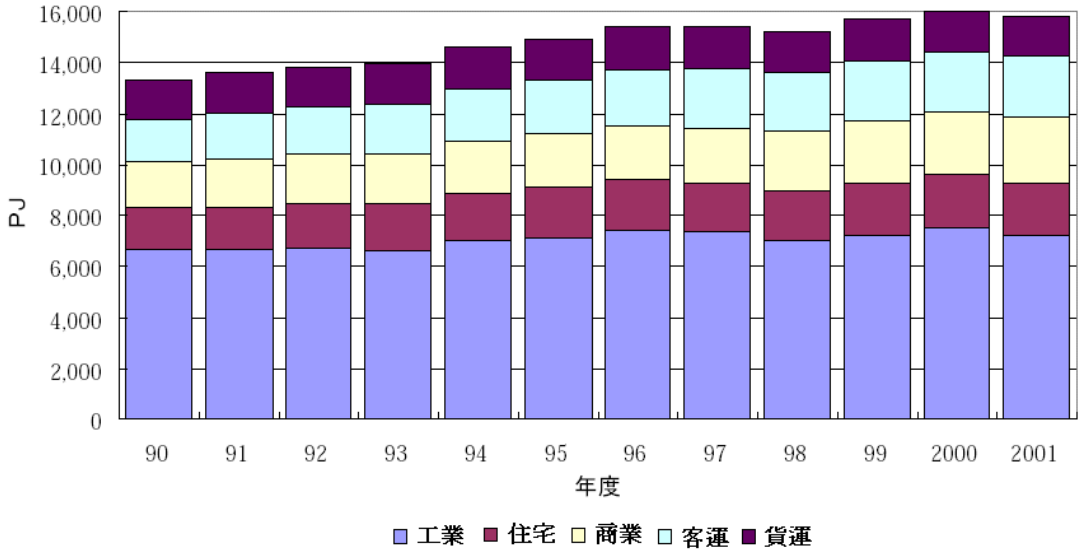


圖 7.4 日本能源消費之趨勢[3]

7.2 政策措施

一、《議定書》前的政策措施

日本在 1990 年制訂「防止全球暖化行動計畫」，並推動CO_2與CH_4等溫室氣體排放之管制措施、加強CO_2吸收匯之措施、調查與研究、觀察與監測、技術研發與推廣、提高民眾意識及國際合作。

《議定書》前，日本的環境政策是建立在「環境基本法」（1993 年 11 月開始實施）的基礎上。「環境基本法」的頒定主要為因應防止全球暖化等國際環保問題及廢棄物相關之環境問題。此外，「環境基本法」引用四個概念作為日本環境政策之長期目標：包括“無害物質循環”、“調和共存”、“參與”及“國際活動”，而防止全球暖化對策主要為促成“無害物質循環”社會經濟體系。此外，日本地方政府也有其各自防止全球暖化之區域性計畫及配套措施。據日本第二次國家通訊，其在京都會議前的政策措施如下：[4]

（一）CO_2之減量措施

能源轉化部門方面：提升能源轉化效率、促成低碳能源之供應結構、進行“需求面管理”、提升發電效率並採用低碳或無碳能源及制訂各項政策以抑制碳能源之需求。

工業部門方面：自 1970 年代石油危機已實施各項能源節約措施。此外，推廣工廠與企業採用共同營業場所、制訂跨產業部門措施以改善能源使用與轉換效率及透過法律規範與財政誘因以促進能源大用戶之節約能源。

住商部門方面：加強建築材料的隔熱性、採用自然能源、省能源之設備、將未利用的能源實施於區域供熱系統、在市區種植綠色植物與舖設可透材料以減緩熱島效應及鼓勵民眾採取低CO_2消耗的生活型態。

交通部門方面：致力於汽車新技術的研發以提升能源效率、採用低排放車輛、提升客運與貨運之效率及改善交通流量。

(二)CH_4之減量措施

主要為控制掩埋場之CH_4排放，其措施為採取廢棄物之減量與回收再利用，以及剩餘可燃燒的廢棄物焚化處理。在農業部門方面，目前正進行牲畜的腸道發酵、肥料管理與水稻田之現況調查，以作為未來建立排放控制管理之基礎。

(三)N_2O之減量措施

日本在《議定書》前，已規劃控制脂肪酸製造所排放N_2O之設備安裝計畫。在農業部門方面，由減少使用氮肥及提升肥料使用效率以作為減少N_2O之措施。

(四)HFCs、PFCs及SF_6之減量措施

日本在京都會議前就體認HFCs、PFCs及SF_6對防止全球暖化是非常重要的，其主要的措施包括：管制各領域之用途、採取閉合系統之操作使用、促進回收、再利用與分解及研發替代物質與技術。

(五)控制前驅物排放之措施

氮氧化物、一氧化碳、非CH_4揮發性有機化合物及硫化物之排放，其須依據空氣污染防制法之規定予以管制。

二、《議定書》後的政策措施

日本在《議定書》後，重新整合國內溫室氣體減量策略，在 1997 年之內閣會議中決定設置「全球暖化對策推動總部」，訂定「全球暖化對策推動大綱」，規劃至 2010 年的各項防止全球暖化對策之方向，並重新檢討「防止全球暖化行動計畫」，擬訂「全球暖化對策推動法律」，明確規定政府各單位間之責任歸屬問題，日本政府根據該法令研擬基本方針等實際行動，以建立防止全球暖化之基礎推動架構，推行「能源使用合理化相關法令」之修正等各項國內對策。

然而，儘管已推行各項國內措施，但溫室氣體之排放量卻持續增加，1999 年日本的溫室氣體排放量較基準年增加約 6%，此外，依現行既有政策措施，預估 2010 年的溫室氣體排放量將較基準年增加約 7%。雖然日本已是全世界能源效率水準最高的國家，要達成《議定書》中 6%的減量承諾(相較於基準年)實屬不易，原因為從 1998 年起，日本能源供應與需求端均發生重大變化，以致預計將由能源產生的CO_2排放量降至 1990 年水準之目標面臨困境。主要有四大因素：

- 資訊科技廣泛影響民眾生活型態，以致住商及大眾運輸部門的能源消費量增加。
- 能源工業解除管制後，以致市場競爭加劇，為降低成本，業者傾向選用較便宜的煤炭作為燃料，因此造成CO_2排放量增加。
- 增加核能發電的比例遠落後於所訂之目標。核能發電之推行因其安全性問題而受阻，原先預計於 2010 年增加 16~20 座新設核電廠之目標將減少為 10～13 座。
- 再生能源發電因生產不穩定及成本過高等問題，因此難以達成於 2010 年佔總發電量 7.5%之目標

由上述因素，日本內閣官員重新修正長期能源供需展望，也全盤檢討相關能源政策，以期達成能源部門之減量目標—至 2010 年降低CO_2排放量至 1990 年水準。

（一）全面檢討能源政策

2000 年 3 月產經省決定全面檢討能源政策，由能源諮詢委員會（Advisory Committee for Energy）召開檢討會議以檢討能源政策，其目的有三，包括：降低對進口油品的依賴、將能源產生之CO_2

排放量穩定至 1990 年水準及鬆綁法規以改善經濟效益。

（二）修訂能源展望

在修訂能源展望中，日本規劃“BAU”case（business as usual）及“BASE”case(依照新提計畫執行)之情況。BAU case 為假設不採行任何因應政策措施以達成《議定書》之目標。BASE case 是指第三屆締約國會議後實施的既有措施，如能源節約等相關措施，而無施行追加政策措施（additional policies）。

日本在“BASE”case主要為採取兩項措施以因應減量目標，包括以工業部門為對象的經濟團體聯合會(以下簡稱經團連)之自願性行動計畫及以住商與交通部門為主之Top Runner 計畫。經團連的自願性行動計畫涵蓋 36 個產業團體，佔工業部門CO_2總排放量的 75%，而各產業團體皆須公布其減量目標。Top Runner計畫以節約能源法為基礎而具法律約束力，規定 11 項產品之能源效率須以市場中具最高能源效率之同種類產品為目標。

檢討能源展望後，日本在能源消費方面，住商及客運部門之能源消耗量均呈現快速增長的趨勢（如表 7.1）；能源供應方面，由於再生能源、核能、水力及地熱能的成長有限，導致煤的使用量大幅提升，預估將由 1990 年的 16.6%增加為 2010 年的 21.9%（如表 7.2）。如果持續執行 BASE case 之上述既有措施，估計至 2010 年時溫室氣體排放量只降為 307 百萬噸碳，並無法達成 1990 年的 287 百萬噸碳之排放目標。

表 7.1　日本能源消費量（BASE case）[5]

部門別	1990 年（M toe）[a]	1999 年（M toe）[a]	2010 年（M toe）[a]	2010 年成長率(%)（相較於 1990 年）
住宅	44	51	61	38
載客運輸	44	60	56	27
商業	42	45	55	32
貨物運輸	30	33	32	7
工業	168	175	173	3
總計	328	365	378	15

註：數字經四捨五入處理

[a] toe:噸石油當量

表 7.2 日本各能源供應量及所佔比率（BASE case）

能源供應	1990 年 M toe/(%) [a]	1999 年 M toe/(%) [a]	2010 年 M toe/(%) [a]
再生能源	7 （1.3）	7 （1.1）	9 （1.6）
核能	46 （9.4）	71（12.7）	86（15.0）
水力及地熱	21 （4.3）	20 （3.8）	19 （3.4）
天然氣	49（10.1）	70（12.7）	76（13.2）
油	284（58.3）	285（52.0）	258（45.0）
煤	81（16.6）	95（17.4）	126（21.9）
總計	486（100）	549（100）	575（100）

註：數字經四捨五入處理

[a] toe:噸石油當量

由上述可知，日本若持續目前既有的政策措施將難以達成目標—將能源部門CO_2排放量穩定至 1990 年之目標。為能進一步削減高出目標值的 20 百萬噸碳，日本政府認為有必要推動追加政策措施以達成減量目標，主要措施為推廣節約能源與再生能源。若上述措施仍無法達成減量目標，則將採取燃料轉換措施。

三、政策措施〔6〕〔8〕

1999 年日本溫室氣體總排放量為 13 億 1 千 4 百萬噸CO_2當量。由 1998 年之「全球暖化對策推動大綱」（稱舊大綱）預測，如不採取特殊對策，溫室氣體的排放量將大幅增加，於是依據舊大綱而實施各項對策，結果顯示以現行既有對策為前提下，推算 2010 年溫室氣體的總排放量將為 13 億 2 千萬噸CO_2當量，預估比基準年增加 7%。而日本所有的溫室氣體之基準年總排放量為 12 億 2 千 9 百萬噸CO_2當量，若要達成《議定書》的 6%減量承諾(相較於 1900 年)，須減量至 11 億 5 千 5 百萬噸CO_2當量，因此日本除實施既有現行政策措施外，尚須達成 13%（約 1 億 6 千 5 百萬噸CO_2當量）的追加削減量。

在《議定書》中，日本承諾降低溫室氣體排放量至 1990 年水準再減 6%。據日本 2002 年「全球暖化對策推動大綱」(稱新大綱）之規劃，為達成《議定書》之目標，其所採取的減量策略如表 7.3。

表 7.3 日本因應《議定書》目標之減量策略(相較於 1900 年)[5]

1. 能源產生之CO_2排放	0.0%
2. 非能源產生之CO_2、CH_4及N_2O之排放	-0.5%
3. 研發新技術與全民的參與行動	-2.0%
4. HFCs、PFCs與SF_6之排放	+2.0%
5. 森林碳匯吸收	-3.9%
6. 京都機制（排放交易、共同減量及清潔發展機制）	-1.6%
總削減量	-6.0%

(一)控制由能源產生CO_2之對策

能源產生的CO_2排放量方面，目標於第一承諾期間內(2008~2012 年)控制在 1990 年之水準。圖 7.5 所示為由能源產生CO_2之排放對策，其依據舊大綱而實施以節約能源為主的既有措施，例如自願性行動計畫與Top Runner 計畫，共可削減 1 億 4 仟萬噸CO_2（約 40 百萬噸碳），實施的既有措施如表 7.4。此外，依據新大綱追加之政策措施，例如加強節約能源、推廣使用新能源、宣導燃料轉換及核能意識等，可削減 7 仟 4 百萬噸CO_2（約 20 百萬噸碳），實施的追加措施如表 7.5。

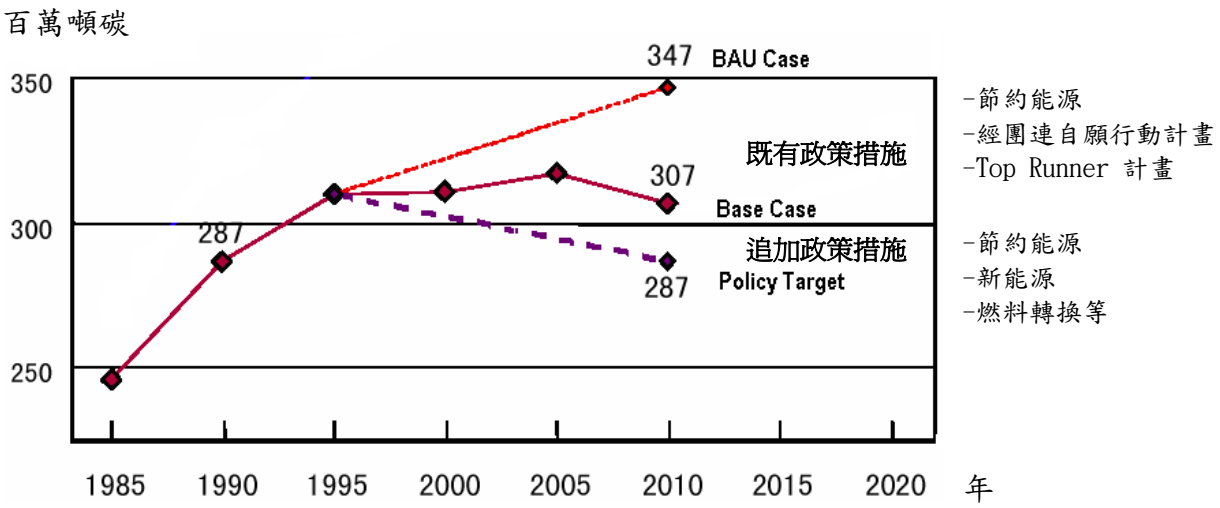


圖 7.5 日本控制由能源產生CO_2之對策

表 7.4 日本控制由能源產生CO_2之既有政策措施

目　　標	工業部門	民生部門	運輸部門
節約能源 140 百萬噸CO_2 （約 40 百萬噸碳）	•自願行動計畫的實施與查核。 •根據能源節約法之工廠因應對策。	•改善機器設備效率。 •提升住宅、建築物節約能源性能。 •加強能源需求面之管理。	• 研發與推廣低污染的潔淨能源車輛。 • 管理交通流量。 • 建構環境負荷小的交通體系。 • 提升公共運輸部門機關的服務。

表 7.5 日本控制由能源產生CO_2之追加政策措施[6]

節約能源： 22 百萬噸CO_2 （約 6 百萬噸碳）的追加對策	• 實施自願行動計畫與配套措施（經團連自願行動計畫目標控制在±0%以下）。 • 研發與推廣高性能鍋爐和高性能雷射等技術。 • 引進高性能工業爐。	• 修正省能法，包含適用於大規模辦公大樓及廠房之能源管理方案。 • 追加未管制之氣體機械設備等，列為適用 TOP RUNNER 機器設備。 • 推廣高效率熱水器。 • 推廣家庭及營業用的能源管理系統。	• 引進適合 TOP RUNNER 標準的車種；推廣潔淨能源等低公害車輛之研發。 • 推動高度道路交通系統（ITS）等之交通量對策。 • 提升海運運輸效率 • 宣導搭乘大眾交通工具。
新能源： 34 百萬噸CO_2 （約 9 百萬噸碳）的追加對策	• 訂定生質及冰雪等新能源法。 • 電力業者提案制訂新能源使用之特別措施法。 • 補助太陽能發電、太陽熱能利用、風力發電、廢棄物發電及生質能等。 • 研發燃料電池、太陽能發電及生質能等技術與加強實際測試。		
燃料轉換： 18 百萬噸CO_2 （約 5 百萬噸碳）的追加對策	• 協助老舊燃煤發電廠轉換成天然氣發電。 • 協助工業用鍋爐等之燃料轉換。 • 制訂天然氣管線之相關安全標準。		
宣導核能發電	• 確保安全性之前提下，宣導核能發電。 • 推動核廢料回收設施地區之振興方案。		

（二）控制非能源產生的CO_2、CH_4及N_2O之對策

非能源產生的CO_2、CH_4及N_2O排放量方面，目標於第一承諾期間內，其總排放量較 1990 年水準削減 0.5%。主要的政策措施如表 7.6[6]。

表 7.6　日本控制非能源產生的CO_2、CH_4及N_2O之政策措施

氣　體	政 策 措 施
CO_2	• 推廣廢棄物處理法。 • 推廣廢棄物減量相關之回收技術法。 • 廣泛利用木材與木質材料。 • 推廣農地栽培綠肥。 • 推廣堆肥還原。
CH_4	• 推廣與廢棄物直接掩埋減半有關的食品回收法令。 • 改善掩埋場管理。 • 研發農業部門的排放減量技術。
N_2O	• 實施下水道設置計畫，以利下水道污泥之完全燃燒。

(三)研發新技術及全民參與防止全球暖化之行動

研發新技術及推動全民參與防止全球暖化行動，其目標為第一承諾期間內，溫室氣體總排放量較 1990 年水準削減 2%。主要的政策措施如表 7.7。

表 7.7　研發新技術與全民行動之減量政策措施[6]

研發新技術	• 實施省能源型的新煉鐵製程。 • 實施省能源型的新化學製程。 • 研發汽車輕量化之材料。 • 研發低電力消費型的電子機器。 • 研發低電力損失的輸配電系統。
全國民眾參與防止全球暖化之行動	• 改用白熾螢光燈泡。 • 關閉夜間屋外照明。 • 有效使用冰箱。 • 引進省水水龍頭。 • 減少不需要的影印。

(四)HFCs、PFCs及SF_6之排放對策

在自然的狀態下HFCs、PFCs及SF_6之排放量將增加5%，對策目標為第一承諾期間內將其控制在排放基準年增加2%的目標內。主要的政策措施如下：

- 查核產業界之自願性行動計畫。
- 研發新型替代物質。
- 研發低成本、低衝擊的冷媒回收及分解技術。

- 執行家電回收方法及冷媒回收分解法。

(五)確保碳匯吸收量

依據《議定書》第三條第三項及第四項中所列的全體森林範圍內，及在第七屆締約國會議中通過的馬拉喀什協議，日本在森林管理之碳吸收部份有1千3百萬噸碳（4,767萬噸CO_2當量，約佔基準年總排放量之3.9%）。主要的政策措施如下：

- 植樹、除草及疏伐等保護森林之各項措施。
- 促進木材與木質的生質利用。
- 推動都市綠化。

7.3 政策措施之執行成效

表 7.8 所示為日本溫室氣體排放指標及變化趨勢，由表顯示初級能源供應方面：其總能源供應量於 1990 年為 438.85 百萬噸石油當量，至 2000 年增加為 524.71 百萬噸石油當量，10 年期間成長將近 20%，而人均初級能源供應在 1990 年為 3.55 噸石油當量，至 2000 年增加為 4.13 噸石油當量，其成長率達 16%；CO_2排放方面：由燃料燃燒之CO_2於 1990 年為 1,018 百萬噸碳，至 2000 年增加為 1,154 百萬噸碳，其成長率達約 13%，人均CO_2排放則成長約 7%。

表 7.8 日本的溫室氣體排放指標及變化趨勢[9]

項目 / 年份	1990	1995	2000
總初級能源*供應(TPES) (百萬噸石油當量)	438.85	497.81	524.71
人均初級能源供應(TPES/Capita) (噸石油當量/人)	3.55	3.96	4.13
每一 GDP 初級能源供應(1995 年美元 PPP 之 1,000 噸石油當量)	0.16	0.17	0.17
CO_2排放 (百萬噸CO_2)	1,018.72	1,099.86	1,154.84
人均CO_2排放(CO_2/Capita) (人均噸CO_2)	8.52	8.76	9.10
每一GDP CO_2排放(CO_2/GDP) (1995 年美元PPP之公斤CO_2)	0.37	0.38	0.37

*初級能源是指天然形成的能源，例如：石油、天然氣、煤、風力、水力及太陽能

據《公約》的各國第三次國家通訊之最佳化政策措施顯示，日本實施之最佳政策措施歸納如表 7.9。

表 7.9 日本實施最佳溫室氣體減量之政策措施(依部門別)[10]

能源部門	措施	情況	執行實體
經團連自願行動計畫: 實施自願行動計畫及其後續查核	自願性協定	已實施	工業 國家
綜合性能源管理: 民間住宅與辦公建築、工廠與商業場所的現場能源管理	– 能源合理使用法	已實施 工廠和商業場已實施,工廠核對規劃中	民間企業 國家
商業部門的能源需求面管理: 依據能源合理使用法及已實施措施以增進大的商業場所之需求面管理	– 現有法律的修訂	已規劃 法律修訂建議	商業 國家
Top Runner 計畫: 提升家電效率，採取 Top Runner 計畫與能源合理使用法以提升組合標準、能源節約與效率成效。	–	採納 Top Runner 計畫觀念已被採用	國家
降低待機的電力消耗: 要求設備待機之能源消耗須達到 1W 之目標以下。	自願性協議	–	工業 國家
採用高效率工業爐: 透過協助體系以對私人企業採用節約能源設施。	–	–	工業 國家
住宅與建築的能源節約績效: 提升住商部門之能源節約。	資訊/教育 宣傳判斷的標準及對消費者建構指引與資訊。	–	工業 國家
研發與推廣新的能源節約技術: 研發與推廣新的節約能源技術，例如鍋爐、雷射及發光二極體等以提升能源效率	–	已實施 期望效果持續至 2012 年	國家
新能源: 採用新能源以穩定能源供應；提供地方政府與企業風力發電、廢棄物發電及升質能源；提供住家太陽能光電與太陽熱能利用；推廣“綠色”採購。	–	規劃中	國家

表 7.9 （續）

燃料轉換: 補貼由煤炭轉換成天然氣之火力發電廠，並進行國內天然氣計畫及天然氣管線安全標準之準備。 **推廣核能發電:** 新建核電廠以安全為優先，並研發核能燃料循環使用；透過公聽會與宣導活動以獲得民眾認同；推廣能源與核電廠相關之教育。	– 經濟與教育	已實施	國家
運輸部門	措施	情況	執行實體
混合與天然氣車輛之使用: 由補貼與稅賦優惠以促進會合燃料汽車與天然氣卡車與公車。	經濟	已規劃	國家
改善鐵道、輪船及航空器之能源效率: 採用較佳能源效率的火車、輪船及航空器。	–	已實施	國家
採用符合 Top Runner 標準之汽車: 由產業自願性措施以達成 Top Runner 標準。	財政 至 2010 年將可達成標準	已規劃	工業 國家
交通運輸措施: 推廣運輸之替代方法，包括網路工作與智慧型運輸系統。	–	已規劃 措施應可實施	工業 國家
建構最低環境衝擊的運輸系統: 改善運輸模式以達成低碳與低環境衝擊之運輸系統	–	規劃中	國家
由輪船與帖到以推廣國內海洋運輸: 主要目的為提升貨運之效率。	經濟	規劃中	國家
推廣搭乘大眾運輸: 建造新的鐵道、調整都會區之捷運系統、改善既有的服務與便利設施及利用運輸需求面管理。	–	規劃中	國家
工業製程部門	措施	情況	執行實體
降低CO_2排放之措施: 增加生產製程中混合水泥之使	經濟	實施	國家與地方

表 7.9 （續）

用，推廣有關“綠色”採購法案。			
降低N_2O之措施: 設置控制酯肪酸生產製程中排放N_2O之設備。	–	實施	地方
促進產業自願性行動計畫之執行: 由自願性行動計畫以降低使用氟化物氣體。	–	實施	國家
開發替代品: 發展電子業的替代氣體系統與替代製程。	–	實施	國家
HFCs 冷煤回收與分解: 由產業自願措施以建立回收與分解制度。	–	實施	國家與地方
農業部門	措施	情況	執行實體
推廣木材資源的有效使用: 由技術改善以促進木材的使用價值。	–	– 實施/規劃	國家
降低農地土壤的CO_2排放: 推廣堆肥與綠肥耕種及保護牧地。	–	實施	國家
降低CH_4之排放: 發展技術以改善牲畜飼養管理與水稻耕作行為。	–	實施	國家
土地利用變化與林業部門	措施	情況	執行實體
無害森林的管理: 推廣造林與再造林及林地的利用與管理。	– 規劃/實施	規劃中 規劃/實施	國家
森林保護的適度管理: 推廣森林系統性之劃分以利森林保護；推廣森林保育、火災與病蟲害控制之措施。	–	實施	
促進木材的利用: 發展新林業產品的需求，例如新材的生質能，以及使用當地的木材作為學校內部或有關的器具。	–	規劃中	國家
促進都市綠化: 公共設施與用地之植被與綠化，例如都市公園、鐵道及河川。	–	實施	國家

表 7.9 （續）

廢棄物部門	措施	情況	執行實體
推廣廢棄物焚化而產生CO_2的減量措施: 由垃圾分類以降低廢棄物的產生，並提高回收利用。	–	已實施	國家
廢棄物的減量與回收利用以降低甲烷之排放: 由焚化廢棄物以減少掩埋場垃圾量。	–	已實施	國家
降低N_2O之排放措施: 推廣廢水污泥與都市廢土的燃燒。	–	已實施	國家

7.4 執行特色與成效分析

日本在因應溫器氣體增加是有減量目標與責任壓力，加上 1990 年代之經濟萎縮，使政策的執行須考量經濟的發展，就其國內高度依賴能源進口，要達成《議定書》之目標須付出極大的努力。日本雖然溫室氣體排放仍逐年上升，但其因應策略與法規制度卻有其獨特之處，就執行特色大致歸納為五項：包括有效的決策與監督機制、明確的法源依據、政府率先實施、明確的基本方針及階段式的評估與檢討策略，其說明如下：

一、有效的決策與監督機制

1997 年在日本京都召開《公約》第三屆締約國會議（COP 3），會後日本重新整合國內溫室氣體減量策略，於 1997 年 12 月之內閣會議中決定設置「全球暖化對策推動總部」（組織架構如圖 7.6[11]），並由內閣總理大臣擔任本部長，從 1997 年起至今已召開 11 次會議，有效協調整合日本國內之氣候政策。

二、訂定「全球暖化對策推動法律」與實施「全球暖化對策推動大綱」

日本為全球第一個制定國內溫室氣體管制相關法規，京都會議後由環境廳擬訂「全球暖化對策推動法律」，明確規定政府各單位間之責任歸屬問題，1998 年 10 月通過審查並正式公布。日本政府根據其法令研擬基本方針等實際行動，以建立防止全球暖化之基礎推動架構，並推動「能源使用合理化相關法令」（又稱「節約能源法」）之

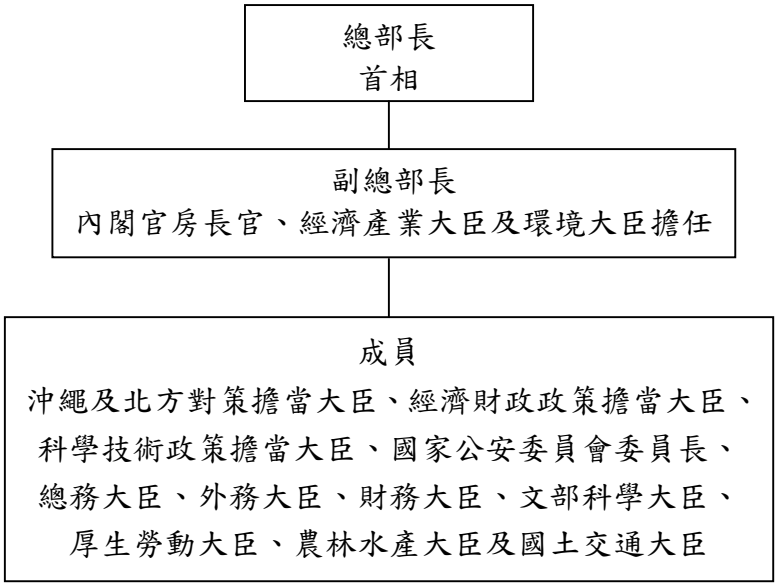


圖 7.6 日本「全球暖化對策推動總部」架構

修正等各項國內對策。日本於 1998 年 6 月制定「全球暖化對策推動大綱」，規劃至 2010 年的各項防止全球暖化之對策，主要包括八大方向：規劃如何達成《議定書》之減量目標、制訂「全球溫暖化對策推動法」、能源供應與需求端之CO_2減量對策、含氟溫室氣體（HFCs、PFCs及SF_6）之減量對策、加強植樹以吸收CO_2之對策、加強新能源技術開發、加強全球觀測系統及增進國際合作。

三、明確的基本方針

日本在研擬因應溫室氣體增加之策略時，同時要求各部門須考量四項基本方針：

- 環境與經濟兼顧：日本認為推行防止全球暖化對策，可刺激經濟活絡並創造就業機會，運用創新技術可建構環境與經濟相兼顧的體制。
- 階段性的評估與檢討：日本採取階段性的因應對策，並針對各階段時程（2004年與2007年）進行後續成效評估與檢討。
- 全民共同參與行動：日本要達成《議定書》之目標有其困難度，因此推動國家、地方政府、產業界及一般民眾全力配合。
- 防止全球暖化之國際合作對策：日本表明將投入最大的努力，以建立一套足以使美國乃至開發中等國家共同可接受之

國際協定。

四、政府率先實施

同年 6 月日本環境廳依據「全球暖化對策推動大綱」制訂「政府率先實施要領」，要求公務機關用車以低污染車為原則、官廳舍與學校等公共場所盡可能使用太陽能發電系統、官廳舍之建設應以“綠色”為原則及使用不含氟氯碳化合物之產品等。

五、實施階段式的評估與檢討

為使溫室氣體達成《議定書》中於 2008~2012 年之第一承諾期間內，總排放量較基準年削減 6%的減量承諾，日本積極投入必要的防止全球暖化措施，目前之追加政策措施則採取階段性的時程規劃，從 2002 年至第一承諾期間內分作三個時程階段：第一階段為 2002~2004 年、第二階段為 2005~2007 年及第三階段為 2008~2012 年（即第一承諾期），其中於第一階段採行的政策措施，明示第一承諾期間應達成《議定書》6%減量承諾，同時於第二及第三階段開始前，評估政策措施的執行狀況與排放情形。為客觀進行評估與檢討，新大綱針對溫室氣體擬定全國性之排放目標量、排放削減量及推行措施。詳細之時程規劃如下：

（一）第一階段（2002~2004 年）

1.由能源產生之CO_2

- 實施自願行動計畫與後續查核、落實能源管理、改善機器使用效率、提升住宅與建築物節能、交通流量之管理對策、建構環境負荷小的交通體系及研發與推廣新節能技術。
- 支援新能源採用時之過渡階段、支援技術研發與實際試驗、推廣研發環境設備及推廣電力之新市場。
- 補助 LNG 火力發電燃料轉換費用、補助工業用鍋爐燃料轉換費用、制訂天然氣管線相關安全標準及國內天然氣開發事業之低利融資。
- 推廣核能安全使用之民眾認同、實施電源相關法律及核廢料回收。

2.非能源產生的CO_2、CH_4及N_2O

- 木材有效之利用、混合水泥利用、推動廢棄物減量與回收、食品廢棄物與家畜排泄物之管理對策等。

3. HFCs、PFCs及SF_6之排放對策

- 促進產業界行動計畫、研發替代物質及以法律規範 HFCs 之回收。

4. 加強研發環境與能源技術

- 推動研發創新的環境與能源技術。

5. 防止全球暖化之行動

- 以地方層級為基礎、宣導家庭的參與、推動全國民眾參與防止全球暖化之行動。

6. 推動 GHG 吸收源

- 推動森林與林業之對策（推動保護森林之管理措施）、推動都市綠化。

7. 京都機制

- 企業實施 CDM 及規範企業所得之 Credit（2000 年以後）、企業間實施 JI。
- 國家登記冊之準備、實施 CDM 與 JI 企業必要制度之準備。

8. 建立國內 GHG 排放與吸收之估算標準

- 據《議定書》第 5.1 條以建立國內 GHG 排放與吸收估算之標準。

9. 《議定書》相關之國際動向

- 約翰尼斯堡高峰會(2002/8/26~2002/9/4)。
- COP8(2002/10/23~2002/11/1)。
- COP9(2003 年秋天)。
- COP10(2004 年秋天)。

10. 第一階段對策重新檢討與評估(2004 年)

(二)第二階段(2005~2007 年)

1. 根據第一階段策略之評估結果修正政策措施

2. 京都機制

- 真正運用準備國內制度之檢討與妥善完備。

3. 建立國內 GHG 排放與吸收之估算標準

- 據《議定書》第 5.1 條以建立國內 GHG 排放與吸收估算之標準。

4. 《議定書》相關之國際動向

- 於 2005 年提出達成《議定書》承諾的確實進展（《議定書》第 3.2 條）。
- 最晚於 2006 年底須完成國家 GHG 估算體系及國家登記冊(馬拉喀什協議)。

5. 第二階段對策重新檢討與評估(2007 年)

(三)第三階段(2008~2012 年)

1. 根據第二階段策略之評估結果修正政策措施

2. 京都機制

- 實施國內制度之準備。

3. 《議定書》相關之國際動向

- 第一承諾期(2008~2012 年)。

參考文獻

1. EPA , Annual Report National Account, Economy Planning Agency , Japan, 2001.
2. MLIT, Domestic Transportation Statistic Handbook, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan, 2001.
3. Agency for Natural Resources and Energy , General Energy Statistic, METI, Japan, 2003.
4. Japan, Japan's Second National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, The Government of Japan, 1997.
5. Jun Arima , Comprehensive Energy Policy Review, Japan, 2001.
6. 日本全球溫暖化對策推動總部，全球暖化對策推動大綱，2002。
7. 田鍋一樹，我國能源情勢與能源節約推動的實況及課題–全球暖化對策，2000。
8. Japan, Japan's Third National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, The Government of Japan, 2002.
9. IEA, Dealing with Climate Change – Plicies and Measures in Member Countries, International Energy Agency, Paris, 2002.
10. UNFCCC, "GOOD PRACTICES" IN POLICIES AND MEASURES AMONG PARTIES INCLUDED IN ANNEX I TO THE CONVENTION - Policies and measures reported by Parties included in Annex I to the Convention in their third national communications Database information, UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, Bonn,2002.
11. 行政院環保署，因應氣候變化綱要公約決策及行政支援專案計畫，2001。

第八章 英國因應溫室氣體增加之政策措施

英國於《議定書》前即規劃因應氣候變遷之議題，並由環境、交通及區域部（Department of the Environment, Transport and the Regions, DETR）於 1997 年 4 月在牛津大學成立英國氣候衝擊計畫（UK Climate Impacts Programme, UKCIP）[1]，負責研究英國各區域受氣候變遷之衝擊影響，以及規劃各區域須採取的調適對策，並以溫室氣體分類方式規劃其政策措施。

在《議定書》中規範其附件B國家應於 2008~2012 年期間內，削減溫室氣體排放量為 5.2%（相較於基準年），但歐盟與英國皆承諾減少 8%的排放量（相較於基準年）[2]。歐盟會員國於 1998 年 6 月協議各自須承擔之排放減量，顯示英國應於 2008~2012 年期間內減少 12.5%的排放量（相較於基準年）[3]，方能達成歐盟的減量目標。在《議定書》規範減量責任後，英國便積極規劃與執行國內的溫室氣體減量工作。

本章首先介紹英國溫室氣體排放概況，並說明英國於 1997 年前之政策措施及「英國氣候變化計畫」，最後藉由歐盟環境總署（European Environment Agency, EEA）的歐洲溫室氣體排放趨勢之評估報告，以說明目前英國溫室氣體減量政策措施的成效。

8.1 概況

一、經濟發展

到 2000 年，英國已連續 9 年的經濟正成長及 30 年的低通貨膨脹，並且失業率降至 1970 年以來之新低紀錄。2000 年國內生產毛額（GDP）總值高達 9,340 億英鎊，1999 年人均 GDP 為 14,987 英鎊（22,861 美元）。

依部門別而言，服務部門近幾十年來越顯重要，於 1999 年約佔總產值之比率為 70%、製造業為 19%、其他生產工業為 5%、建築業為 5%及農林漁牧為 1%。在國際貿易方面，其於 2000 年佔GDP的比率為 27%，英國約有 52%的商品與勞務輸出至歐盟，18%輸出至美國；但也有約 52%的商品與勞務從歐盟進口，16%來自美國[18]。

二、能源消費[18]

英國為石油和天然氣的主要生產國，亦是石油的輸出國，儘管未來十年的石油與天然氣產量將減少，英國將增加進口使用，並可能在未來五年內成為天然氣的輸入國。

自從電力與天然氣事業的民營化與自由競爭市場的形成，以致電力和天然氣事業之結構產生改變，且因受自由競爭市場之影響，工業用電價格於 1999 年初至今約下降 20%，而民生用電價格約下降 8%。

1990 年代複循環氣渦輪機的引進，提升天然氣發電之比例，而煤炭發電之比例則降低。英國目前核能發電約佔 25%，而未來二十年內既有電廠使用期限到期將可降低此比例。2000 年的再生能源發電約佔能源來源的 2.8%，比 1997 年成長 2.1%。再生能源正透過各項措施加以鼓勵使用，包括規劃再生能源的目標，至 2010 年銷售的電力須有 10%來自再生能源，且成本須為消費者所接受。英國規劃至 2010 年汽電共生須為目前的兩倍而達到 10,000MW(百萬瓦)。

英國的能源密集度從 1950 年持續以每年 1.5%內穩定下降，至 1999 年則約為 1950 年的一半。此下降趨勢的因素為：改善能源效率、燃料轉換及能源密集產業的比率下降等。運輸部門目前已成為英國最大的能源消費部門，1999 年佔最終能源使用的 34%，而住宅佔 29%、工業佔 23%、服務與農業佔 14%。英國的能源指標概況如表 8.1。

表 8.1　英國的能源指標[19]

年 / 能源指標	1970	1980	1990	1995	2000
初級能源[a]供應量(Mtoe)[b]	207.31	201.28	212.41	224.27	232.64
GDP(billion, 1995 年貨幣價,以購買方平價計算)	639.28	774.58	1,008.04	1,099.81	1,263.39
人口數(百萬)	55.63	56.33	57.56	58.61	59.76
初級能源供應量/GDP	0.3243	0.2599	0.2107	0.2039	0.1841
初級能源供應量/人	3.7265	3.5733	3.6901	3.8264	3.8932

[a]初級能源是指天然形成的能源，例如：石油、天然氣、煤、風力、水力及太陽能

[b] toe:噸石油當量

8.2 政策措施

一、《議定書》前之政策措施

由英國第二次國家通訊[5]（1997 年 4 月公布）顯示，英國在 1997 年前著重在研究國內受氣候變遷衝擊之影響，其次為探討溫室氣體清冊之建立方法及以溫室氣體分類為主的減量政策措施。

在英國第二次國家通訊中，將減量政策措施依溫室氣體種類分成四大類：1. CO_2 2. CH_4 3. N_2O 4.HFCs、PFCs及SF_6，各政策措施除說明使用的方法、目標、影響的部門及減量預估外，亦規劃不同的進度指標（Indicators of Progress），以方便日後政策措施之成效檢討，而預計檢討年度為 2000 年。將四大政策措施分別示於表 8.2 至表 8.5 中，並大致說明如下：

(一)CO_2的減量措施

總共有 11 項，主要針對產業界、財政及公共部門之節能等，以市場自由化、刺激市場、財政及法規等措施，以達成提升能源市場效率、能源效率及減少排放量等目標，並另設有節能信託基金（Energy Saving Trust），以獎勵產業界節能，預估於 2000 年會有 35.2 百萬噸碳之減量效果。

(二)CH_4的減量措施

主要針對溫室氣體清冊部門中之能源部門及廢棄物部門，而CH_4排放量最多的農業部門並無規劃減量措施。

(三)N_2O的減量措施

主要針對工業界與能源轉換之兩項措施，但N_2O排放量最多的農業部門亦無規劃減量措施。

(四)HFCs、PFCs及SF_6的減量措施

主要以法規限制HFCs、PFCs及SF_6業者之排放，另有與政府協議及自主行動等五項措施。

表 8.2 英國於 1997 年前CO_2減量之政策措施[5]

政策措施	措施	目標	部門	減量預估（百萬噸碳，MtC）				進度指標
				2000 年	2005 年	2010 年	2020 年	
燃料轉換	市場自由化	能源市場之效率	發電	17	18	25	24	英國能源統計中電力供應業燃料混合記錄
核能生產率	市場自由化	能源市場之效率	發電	2.9	1	0	-4	英國能源統計中核能輸出記錄
再生能源	市場刺激	電力供應之永續性與多樣性	發電	2	2	3	3	英國能源統計中再生能源輸出記錄
道路燃料稅	財政	排放量減少	運輸	3	5	6	7	賦稅衝擊計量分析
國內燃料價格	財政	排放量減少	住商	0.4	1	1	1	賦稅衝擊計量分析
汽電共生	英國政策	排放量減少	發電	3.5	4	5	7	英國汽電共生建置容量調查數據
公共部門	節能目標	排放量減少	公共	0.8	1	2	2	政府監控資產
節能信託基金	資訊與誘因	排放量減少	以住宅為主	0.5	1	1	1	個別計畫監督
能源效率最佳作法計畫	資訊	能源效率	工業、商業、公共團體、住宅及運輸	3.5	4	4	4	年度市場調查、年度節能達成率評估之直接監測
其他	法規、建議、補助金及標章	能源效率及公平性	商業、公共團體及住宅	1.6	3	3	4	監控新設備補助金
總計				35.2				

表 8.3 英國於 1997 年前CH_4減量之政策措施[5]

政策措施	措施	目標	部門	減量預估（百萬噸，$MtCH_4$）				進度指標
				2000 年	2005 年	2010 年	2020 年	
廢棄物管理策略	法規引導及財政	永續廢棄物管理及排放量減少	掩埋場	840	1160	1460	1800	英國能源統計中再生能源輸出記錄
開採能源用煤礦的廢氣利用	自願行動	排放量減少	逸散性燃料	9	9	9	9	（2000 年以後實施）
氣體配送洩漏控制策略	工業界自主行動	安全、經濟及排放量減少	逸散性燃料	85	100	110	140	由 British Gas Trans Co.所監督策略計畫之所有層面之進展
促進廢水處理效率	自願行動	升級設備及排放量減少	下水處理與處置	3	5	7	7	（1997 年時正在考慮中）
限定離岸油氣設施的排放	工業指南	排放量減少	逸散性燃料	無量化數據				以法規為基礎的排放減量

表 8.4 英國於 1997 年前N_2O減量之政策措施[5]

政策措施	措施	目標	部門	減量預估（百萬噸，MtN_2O）				進度指標
				2000 年	2005 年	2010 年	2020 年	
脂肪酸製造業排放限制	1990 年 EPA 法規	排放量減少	工業界	56	57	57	57	（1998 年實施）
燃料轉換	市場自由化	能源市場之效率	能源轉換	1	1	1	1	英國能源統計中電力供應業燃料混合記錄

表 8.5　英國於 1997 年前HFCs、PFCs及SF_6減量之政策措施[5]

政策措施	措施	目標	部門	減量預估（千公噸碳，KtC）				進度指標
				2000 年	2005 年	2010 年	2020 年	
限制基礎鋁煉製 HFCs 排放	工業自主行動及 1990 年 EPA 法規	排放量減少	工業	270	270	270	270	由工業界監控之陽極效應
化工業 HFC-23 副產品排放減量	1990 年 EPA 法規	排放量減少	工業	970	980	990	990	（1999 年前實施）
減少使用者部門 HFCs 之排放	與政府自願協議	排放量減少	工業	無量化數據				各部門之年度排放報告
減少鎂鑄造之 SF_6排放	政府地方空氣污染控制引導之鑄造業	排放量減少	工業	無量化數據				須被監督使用SF_6之鑄造業

由上述可知，英國 1997 年前之政策措施主要針對溫室氣體清冊中之能源、工業製程、公共、運輸、住宅及商業等部門，其次為廢棄物部門。對於減量技術不確定的農業、土地利用及林業部門，均無提出相關之減量政策措施。英國 1997 年前之政策措施，在日後英國的評估報告中，顯示對於溫室氣體減量成效有相當之幫助，在下節將作說明。

二、《議定書》後的政策措施

英國政府及其相關部會首長認為《議定書》只是初步的減量協議，但就長遠目標而言，全球溫室氣體須減約 60%的排放量，才符合減緩氣候變遷的需求，因此英國訂定更具挑戰性的減量目標，於 2010 年前較 1990 年CO_2排放量減少 20%，以作為全球減緩氣候變遷之表率。

為達成上述溫室氣體排放減量目標，英國由財政大臣（Chancellor of the Exchequer，地位僅次於首相的官員）於 1998 年 3 月要求Lord Marshall（大英航空及Invensys工程集團主席）領導特別小組（Task Force），以研擬新的經濟措施及促進工商業界的能源使用，以助於減少溫室氣體排放。此特別小組由英國財政部（HM Treasury）、貿易與工業部門（Department of Trade and Industry, DTI）及DETR等部會成員共同組成，並由英國工業聯盟（the Confederation of British Industry）提供相關建議，從 1998 年 3 月至 10 月止，為英國因應氣候變遷與減少溫室氣體，初步規劃具減量誘因之交易及稅制等經濟措施，並考慮以排放交易與國際系統接軌，且包含再生能源、汽電共生、核能發電、現行礦物油稅賦及能源密集工業的管理等議題，而於 1998 年 10 月發表著名的Lord Marshall報告:「經濟工具與工商業之能源使用」[6]，此報告不僅在英國工業界引起廣泛的討論與迴響，並成為日後英國規劃各項政策措施的基礎。

英國於 2000 年 11 月公布「英國氣候變化計畫」[3]，此計劃開始主要由DETR負責並提供經費，計畫內容包括英國的政策及Lord Marshall報告之政策工具、排放減量之實行、英國氣候變遷衝擊之調適及其他部門或地方政府的減緩行動等。英國於 2001 年 6 月進行組織重整，「英國氣候變化計畫」改由環境、糧食及農業事務部（Department for Environment, Food & Rural Affairs, DEFRA）負責，DEFRA為負責研擬英國氣候變化政策的部門，並與其他相關部會配

合協調，如財政部、交通部（Department of Transport, DfT）、DTI、外國與聯邦辦公室（the Foreign and Commonewealth Office）、森林委員會（the Forestry Commission）及其他地方環境部門等。

茲將「英國氣候變化計畫」的內容分成主要的政策措施、氣候衝擊與調適及氣候變化計畫的預期成果等三部份，簡要介紹如下：

(一)主要的政策措施

「英國氣候變化計畫」之措施與實施目標，主要以產業、住商及交通部門為主：

1. 改善產業部門能源使用效率、鼓勵能源投資及減少能源成本

(1)實施氣候變化稅（Climate Change Levy，CCL）制度並實施產業能源效率目標與投資補助。

(2)於 2003~2004 年期間內實施國內溫室氣體排放交易制度（Emissions Trading Scheme，ETS）。

(3)建立新的碳信託基金（Carbon Trust），且利用 1 億 3 千萬英鎊 CCL 稅金於能源效率之改善措施。

(4)免徵汽電共生與再生能源發電系統之氣候變化稅。

(5)推出產品能源標準與標示等改善措施以進行「市場轉型」工作。

(6)鼓勵採取再生能源發電。

(7)發電業者須於 2010 年前將再生能源發電比率提高至 10%。而根據統計，英國於 2000 年再生能源發電比率為 2.8%〔5〕。

2. 減少交通部門之溫室氣體排放量

(1)利用各項貨物稅與公司稅措施，促使汽車業者於 2008~2009 年內將燃料效率提高 25%。

(2)擬定 10 年計畫，在未來 10 年於交通部門投入 1800 億英鎊的投資與公共預算，以改善交通壅塞與減少污染。

3. 改善住家部門之能源效率

(1)延續運作能源效率標準（the Energy Efficiency Standards of Performance），藉由電力與天然氣供應業者協助其家庭用戶

節約能源及減少燃料使用，尤其是老年人及低收入戶，以達成新的能源效率承諾。

(2)英格蘭新的住家能源效率方案，與威爾斯、北愛爾蘭及蘇格蘭等區域之方案相同。

(3)與 Transco 公司發展可負擔的暖氣計畫(Affordable Warmth Programme)，促進有效率的天然氣集中暖氣系統。

(4)推廣新的社區暖氣系統及升級既存系統。

(5)更有效率的照明、暖氣及其他家電。

4. 減少農業部門溫室氣體排放量

(1)更好的鄉村管理。

(2)減少肥料施用。

(3)保護並提高林業的價值。

(4)較佳的能源效率。

5. 確保公共部門扮演領導的角色

(1)促進公共建築物的能源管理，擬定新標準。

(2)訂定地方政府、學校及醫院的能源效率標準。

(3)發展綠色旅遊規劃（Green Travel Plans）。

(二)跨部門之措施

上述因應溫室氣體增加的行動中，與產業界有直接關聯的措施為氣候變化稅與排放交易制度。此外，英國政府與能源密集產業簽訂改善能源效率的氣候變化協定，並實施氣候變化稅減免制度，且允許參與廠商直接加入排放交易制度，因此氣候變化稅、氣候變化協定（Climate Change Agreement, CCA）及排放交易制度之間有直接關聯性，以下敘述其政策措施的發展源起、制度概況及實施現況：

1. 氣候變化稅(CCL)

(1)實行方式

英國於 1999 年 3 月宣布將課徵 CCL，且將所實施之法源納入於 2000 年 7 月 28 日通過的「2000 年財政法（Finance

Act）」第 30 節，並宣布將給產業界一段調適期間，因此至 2001 年 4 月 1 日才開始正式徵收。

CCL僅針對工業、商業及政府部門使用的能源徵收，徵收範圍不包括住家部門。目前天然氣的稅率為 0.15 pence/kWh (p/kWh)、煤 0.15p/kWh、液化石油氣 0.07p/kWh及電力 0.43p/kWh。預估在課徵的第一個年度(2001~2002 年)將可收得 10 億英磅稅金，並在 2010 年前達成每年減少 250 萬噸CO_2排放量的目標。

CCL 之徵收對象，不包括住家與運輸部門使用燃料，或用以產生其他能源之燃料（例如發電燃料）與非能源用途之燃料。此稅亦不向非商業用途之註冊慈善機構與極小規模企業徵收。由於油類已徵收貨物稅（excise tax），因此不再徵收 CCL。此外，下列能源項目亦得免徵 CCL：

- 產生自再生能源之電力（例如太陽能與風能發電之電力）。
- 使用於經良好品質驗證之汽電共生系統（CHP）燃料。
- 使用作為進料（feedstock）的燃料。
- 使用於電解製程（electrolysis processes）之電力，例如氯鹼程序或鋁煉製程序。

英國徵收 CCL 之目的並非增加稅收，而是一項稅制改革，以提供產業界改善能源效率之誘因，因此除上述規定免徵對象外，亦採取以下方式將 CCL 稅收退回給社會:

- 減少被徵收 CCL 組織之員工國家保險金扣繳額 0.3%。
- 推動 Action Energy （能源效率最佳作業實務）計畫，提供有關節約能源最佳作業實務之各項協助與資源。
- 推動能源效率基金會，以向企業界提供能源效率諮詢與稽核服務，並透過「碳信託基金會（Carbon Trust）」之運作，以鼓勵與研發再生能源與低碳技術。
- 企業如進行經政府認可之能源投資計畫，其第一年投資資本可 100%使用於公司收入抵減，認可能源效率投資項目包括：馬達、品質良好之汽電共生系統、鍋爐、

照明系統、可變速驅動器（variable speed drive）、冷凍系統、管線絕緣及隔熱屏/簾（thermal screen）等。

(1)實施現況

目前 CCL 之徵收與使用均如預期規劃，Action Energy 及 Carbon Trust 等計畫已穩定運行，英國政府最近亦通過維持原訂稅率不變。

但受影響的產業團體批評 CCL 之徵收制度成效不彰，無法達成減少溫室氣體排放量之效果，認為此稅僅針對產業使用能源課徵，住家及運輸行業之燃料則予免除，因此效果不如直接針對化石燃料課稅之碳稅。

2. 氣候變化協定(CCA)

(1)施行方式

英國亦考慮到 CCL 之徵收，將使能源密集（energy intensive）產業造成重大負擔，因此推動氣候變化協定(CCA)制度，以減少其產業的 CCL 負擔。能源密集產業如果和政府議定 CCA，並達成規定之能源效率與溫室氣體排放減量目標，政府可減少徵收其應付 CCL 的 80%。此外，英國亦允許加入 CCA 的組織參與排放交易制度，藉由買賣各組織排放許可權（Emission Allowances, EA）方式，以符合 CCA 的要求目標。

英國定義的能源密集工業為鋁業、水泥、陶瓷、化學品、食品與飲料、鑄造、玻璃、非鐵金屬、紙業及煉鋼業等十大耗能產業及其餘 30 等較小耗能行業，由主管環境事務的 DEFRA 負責與代表行業內公司的各產業公會與協會進行磋商，以議定設有能源效率與排放減量目標的 CCA，目前已有 44 個產業協會與 DEFRA 簽署（或磋商）CCA，幾乎包括全部能源密集之產業團體。

DEFRA 與各產業公會簽署之 CCA 稱為各產業之「總括協定（umbrella agreements）」，因為其規定涵蓋此產業內所有企業。此協定之內容共有三大部份:

- 參與企業之名稱清單。

- 各年度行業能源效率目標值（一般涵蓋 2002~2010 年期間）。
- 針對各參與企業之特定規定事項。

(2)實施現況

目前 DEFRA 已與 44 個產業協會簽署 CCA，並有超過 10,000 家公司參與此協定。在 CCA 計畫執行之第一段目標期間(2001 年 4 月 1 日至 2003 年 3 月 31 日)，企業只要在 DEFRA 與各產業公會簽署的 CCA 列名，就可享受 CCL 80%折扣優惠。

但第一段期間優惠至 2003 年 3 月 31 日已結束，如要獲得第二段期間（2003~2005 年）的優惠，各產業協會須向 DEFRA 繳交各參與企業在此期間的減量成果報告，由 DRFRA 審核是否達成目標，達成目標的企業與設施方能繼續享有下一個兩年期間的 CCL 優惠。目前 DEFRA 已完成審核工作，重新頒發驗證證書給超過一萬家英國企業與設施，允許其繼續享有優惠。

參與 CCA 的企業除可享有 CCL 80%折扣優惠外，亦可使用此排放減量成果，直接參與英國首創的國內溫室氣體排放交易制度，此項制度之實施概況如下所述。

3. 溫室氣體排放交易制度

排放交易制度之實施，美國環保署曾推動二氧化硫排放量交易制度經驗，以及歐盟即將通過之溫室氣體排放量交易制度法規可供參考，但在國家境內實施溫室氣體排放交易制度則以英國為首創。

(1)參與方式

參與英國溫室氣體排放交易制度之方式有以下四種：

a. 直接參與者（Direct Participant）：

由政府提供資金給能在期間（2002~2006 年）內較 1998~2000 年排放水準達成絕對排放減量（absolute emission reductions）目標的組織。所謂絕對排放減量目標乃以公噸 CO_2 當量（$tCO_2eq.$）為單位，參與者須設定下一個遵約期的

排放總量（cap），此總量至少要等於上一遵約期的排放量，參加公開競標者能以最少資金達成最大減量效果方能得標。參與者也可以在任何時間內於交易市場以交易其排放許可權(EA)，以此總量與交易（cap and trade）方式參與者稱為直接參與者。

b. CCA 參與者（CCA Participant）：

已加入政府和產業協會簽署 CCA 並設定排放目標之組織，可參與交易制度以買賣 EA，稱為 CCA 參與者，目前簽署 CCA 的企業約有 6000 家。CCA 參與者可以選擇達成設定絕對減量目標，或是以單位能源使用排放量為目標的相對排放目標（relative targets）而取得被任可之 EA。而設立相對目標者將僅能夠在基線與額度（baseline and credit）基礎下，進行交易其 EA。

c. 計畫參與者（Project Participant）：

組織亦可志願採取減量措施與計畫（project），以達成較「一切照常（Business-As-Usual）」情況下額外的排放減量信用額度（credits），並出售此信用額度。

d. 未參與減量目標/計畫之組織/個人：

組織或個人亦可在英國排放量登錄處開設帳戶以進行 EA 之買賣交易。

(2)制度要項

此項制度之實施，包括以下三個要項：

a. 排放量報告與驗證

設定有減量計畫與目標之參與組織須依據政府規定之報告指導綱要（reporting guidelines），檢測與報告其基準線排放量與往後每年排放量。所報告之排放量須經過獨立第三者驗證團體之驗證通過方能獲得登錄處登錄。

b. 排放量登錄與交易制度管制

環境、交通及區域部(DEFRA)的排放交易局（Emissions Trading Authority, ETA）下設排放量交易登錄處（Emissions Trading Registry），登錄通過驗證的排放量與信

用額度。DEFRA 並依據此結果評定參與機關是否符合目標與應否獲得頒發獎助資金。

c. 排放許可權(EA)之市場交易

各參與組織利用登錄處保存之 EA 電腦化登錄資訊，依據市場功能進行 EA 之公開交易。

綜合上述原理與制度，英國的排放交易制度架構可歸納如圖 8.1 所示。

(3)實施現況

英國排放交易制度(ETS)之正式實施日期為 2002 年 4 月，此階段實施期間為於 2006 年底，第一次排放減量計畫公開競標工作則已於 2002 年 3 月 11~12 日進行，共有 34 個組織得標，預估將可在 2006 年底前達成 400 萬噸CO_2當量的減量目標。該次招標的得標價格是減少每噸CO_2當量排放量，英國將付出 53.37 英鎊給其得標組織，政府付出之金融誘因總資金約為 2 億 1 千 5 百萬英鎊。

ETS實施一年來，交易量並不如DEFRA預期熱絡，但持續都有成交量，EA之價格為每噸碳 3~12 英鎊之間。最高價為 2002 年底，因為許多CCA參與廠商怕不能符合目標值，進入交易市場搶購EA，因而抬高價格，但目前已跌至每噸碳 3 英鎊的低價。目前市場上的交易並不熱絡，因為年度審核剛過，DEFRA又延長廠商符合目標的最後期限，且各界觀望歐盟排放交易制度之實施方式。歐盟的排放交易制度法規已於 2002 年 12 月獲歐盟環境部長會議通過，目前正等待歐盟議會通過，即可於 2005 年正式實施〔13〕。

英國原先計畫於 2003 年 3 月舉行第二次減量計畫競標工作，但最後決定放棄，原因有二：

a. 各 CCA 參與組織剛加入交易制度，應讓交易市場與新參與者有時間適應。

b. 歐盟亦將通過實施排放交易制度法規，應靜觀其變。

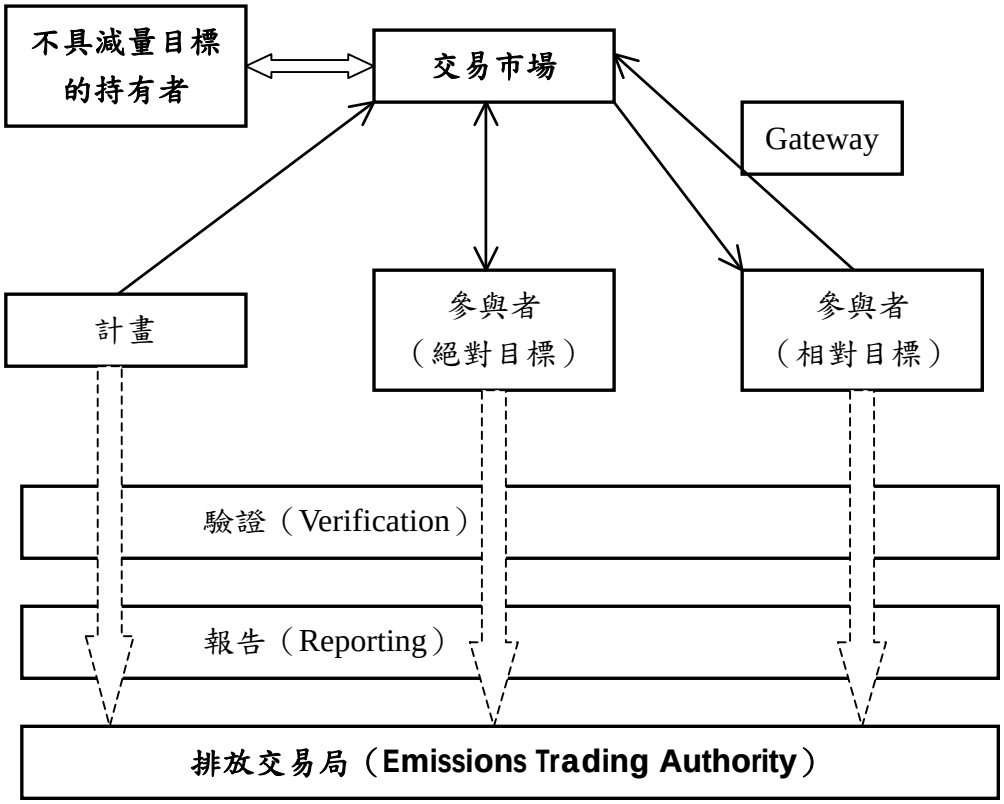


圖 8.1 英國排放交易制度之架構[9]

目前 DEFRA 考慮進行計畫參與者（project participant）的試行計畫（pilot project），實施方式為類似共同減量與清潔發展機制，目前已準備計畫招標書，預計將在 2003 年 5 月公開招標徵求組織參與此試行計畫。

三、氣候變遷計畫的預期成果

依據數學模式分析結果顯示，如果英國僅實施氣候變化稅制度與再生能源佔 10%的目標，將可於 2010 年底前達成較 1990 年排放水準減少 15%（CO_2排放量減少 8.5%）的目標，但若要達成 20%的減量目標，尚須採取如排放交易制度、汽車燃料效率改善及住屋能源效率改善等額外行動。英國溫室氣體排放目標如表 8.6。

表 8.6 「英國氣候變化計畫」之溫室氣體排放目標[3]

單位：百萬噸碳

氣 體 ＼ 年	1990[a]	2000	2010	2020
CO_2	168.0	154.3	153.8	160.7
其他溫室氣體	43.7	28.6	26.4	25.5
總溫室氣體排放	211.7	182.9	180.2	186.2
自 1990 年的變化（6 種溫室氣體）	–	-13.6%	-14.9%	-12.1%
自 1990 年的變化（僅CO_2）	–	-8.2%	-8.4%	-4.4%

[a]作為基準年。

綜合「英國氣候變化計畫」之各項排放方案（1997 年前所提之減量政策措施）與額外措施預估的減量成效如表 8.7 所示，此措施預估將達成相較於 1990 年總溫室氣體減量 23%，CO_2減少 19%的成效。

表 8.7 「英國氣候變化計畫」之各排放方案與額外措施預估的減量成效[3]

	措施	節約量（百萬噸碳）	自 1990 年的變化(%)
2010 年計畫排放量:	包括 1997 年前引進正實行的措施及： a.氣候變化稅 b.迄 1999 年之燃料稅（fuel duty） c.10%再生能源比率目標	 2 1~2.5 2.5	–
1.所有溫室氣體	–	–	-15
2.CO_2	–	–	-8.5
額外措施:	–	–	–
1.工商業	a.氣候變化協定 b.在氣候變化稅及碳信託基金下之能源效率措施 c.排放交易方案	2.5 0.5 >2 –	–
2.住宅	建築法規的改革	1.3	–

表 8.7 （續）

3.交通	a.以公司汽車稅及交通工具執照稅的改變為基礎之歐盟汽車CO_2自願協定 b.運輸效率改善的十年計畫 c.來自蘇格蘭和威爾斯永續發展貢獻的額外節約量	4 1.6 0.1	–
4.住宅	a.住宅能源效率 b.鼓勵替代社區暖氣系統 c.新的居家能源效率方案 d.家電標準與標籤	2.6~3.7 0.9 0.2 0.2~0.4	–
5.農業、林業及土地利用變化	造林	0.6	–
6.公共部門	新中央政府、學校及國家健康服務系統（National Health Service, NHS）（節約能源）	0.5	–
7.蘇格蘭執行局	建築法規、中央地產及 NHS 等	0.1	–
額外措施的減量:（百萬噸碳）	–	17.75	–
1.所有溫室氣體	–	–	-23
2.CO_2	–	–	-19
3.其他現階段未量化的額外活動	–	–	額外碳節約

8.3 政策措施之執行成效

根據英國 2003 年呈遞《公約》之溫室氣體共同報告格式（Common Reporting Format, CRF）的統計，英國於 1990 年總溫室氣體排放量為 751283 千噸CO_2當量，至 2001 年則減為 660452 千噸CO_2當量，減少 12.1%的溫室氣體排放量。英國 1990~2001 年各溫室氣體排放量與各部門溫室氣體排放量分別示於表 8.8 及表 8.9，而其排放趨勢則示於圖 8.2 及圖 8.3。

就各溫室氣體排放量而言，CO_2為英國溫室氣體排放量最多的氣體，於 2001 年排放量為 560849 千噸CO_2 當量，佔總排放量的 84.9%，其次為CH_4，2001 年佔總排放量的 7.0%，再其次為N_2O（6.4%）、HFCs、PFCs及SF_6。相較於 1990 年及 2001 年，CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs及SF_6等六種溫室氣體排放量有遞減的趨勢，而唯

一排放量增加的氣體則是SF_6，其排放量自 1990 年的 724 千噸CO_2當量，增加至 2001 年的 1762 千噸 CO_2當量，增加率為 143.4%。

就部門別而言，能源部門為排放量最多之部門，於 2001 年排放量為 568997 千噸CO_2當量，佔總排放量的 86.2%，其次為農業部門，佔總排放量的 7.0%，再其次為工業製程、廢棄物、土地利用變化及林業部門，其分別佔總排放量的 4.3%、2.0%及 0.5%。相較於 1990 年與 2001 年，各部門的溫室氣體排放量皆有不同程度的減量，以 1990 年各部門之排放量為基準，其中以土地利用變化及林業部門的減量幅度最大，至 2001 年時約減少 63.4%的排放量，工業製程部門減量幅度為 51.0%居次，廢棄物部門減量幅度為 48.4%，農業部門減量幅度為 13.5%，而能源部門的減量幅度最少，約為 5.9%。

綜合而言，英國排放量最多的溫室氣體為CO_2，排放量最大的部門為能源部門，但能源部門卻是歷年來減量幅度最低，而減量最多的部門，與 1990 年相較，於 2001 年已減少 35842 千噸CO_2當量的溫室氣體排放量。

要衡量一個國家的減量成效，除依據溫室氣體排放量增減以評斷外，亦可規劃各排放部門的指標以評估減量成效，而附件一國家在《公約》中須負擔之減量承諾，是否達成其特定的減量百分比，亦是減量成效的評量方式之一。

歐盟為評量其會員國的減量成效而規劃五項指標，包括：目標距離指標（Distance-to-Target Indicators, DTI）、部門排放指標（Sectoral Emission Indicators）、主要驅動力指標（Main Driving-Force Indicators）、部門驅動力指標（Sectoral Driving-Force Indicators）及CO_2密集度指標（the CO_2 Intensity Indicators）[14]，作為歐盟及其會員體的評估方法。由於指標種類相當多，本研究選擇為評量符合《公約》承諾而設計、適於國家別觀點的DTI以作說明，並配合溫室氣體排放減量，作為評估巨觀的減量成效之依據。

所謂 DTI 指的是，將 1990 年為基準之排放量視為 100%，而歐盟 2010 年與計減量至 92%，將兩點聯成一直線，把 1990 年與 2010 年間任何一年的排放減量平均分配給每一年，若 1999 年實際排放量經計算為 96.5%，而若原本預估 DTI 直線應為 96%，則其 DTI 值為 +0.5，表示為達成該年之減量目標。

表 8.8 英國各溫室氣體排放量(1990~2001 年)[4]　　單位：千噸 CO_2 當量

項目 \ 年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Net CO_2 emissions/removals	592496.2	596168.0	581301.8	565555.1	561317.1	552061.8	571930.3	547491.3	550111.2	541318.4	546097.1	560848.6
CH_4	76535.4	75363.5	73555.6	70438.5	63925.8	63581.6	62152.9	59891.2	57194.9	54360.6	50960.4	46105.1
N_2O	67872.7	65952.8	59102.9	55396.5	59778.9	57085.5	59119.0	60772.2	57967.4	44874.0	43878.1	42352.6
HFCs	11373.8	11858.8	12346.2	12904.6	13813.8	15205.0	16290.3	18446.8	20182.6	8600.5	9316.3	8677.7
PFCs	2281.0	1790.3	959.3	810.6	979.7	1094.1	905.3	661.2	651.7	678.2	668.2	705.8
SF_6	724.2	776.2	832.8	889.0	1061.3	1133.5	1270.5	1262.6	1484.6	1510.4	1540.2	1762.2
Total (with net CO_2 emissions/removals)	751283.2	751909.5	728098.5	705994.2	700876.7	690161.6	711668.2	688525.3	687592.5	651342.1	652460.3	660451.9

表 8.9 英國各部門溫室氣體排放量(1990~2001 年)[4]　　單位：千噸 CO_2 當量

項目 \ 年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
能源	604839.5	610888.5	596349.8	580394.4	570824.5	563200.7	581680.5	557762.7	559170.4	548485.2	553565.4	568997.4
工業製程	57989.5	53805.4	47676.9	44974.2	50667.1	49086.7	52252.1	53871.6	53199.6	29659.1	30905.8	28421.1
溶劑及其他產品使用	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
農業	53618.0	53139.8	51506.0	50832.7	51749.6	51658.4	52035.9	52694.1	51851.5	51243.5	48609.0	46380.3
土地利用變化與林業	8791.2	8868.9	8327.2	6610.4	5384.1	4687.4	4969.0	4772.9	4995.4	4828.3	3354.3	3220.3
廢棄物	26045.0	25206.9	24238.5	23182.5	22251.4	21528.4	20730.7	19423.9	18375.7	17126.0	16025.8	13432.6
總排放量	751283.2	751909.5	728098.5	705994.2	700876.7	690161.6	711668.2	688525.3	687592.5	651342.1	652460.3	660451.9

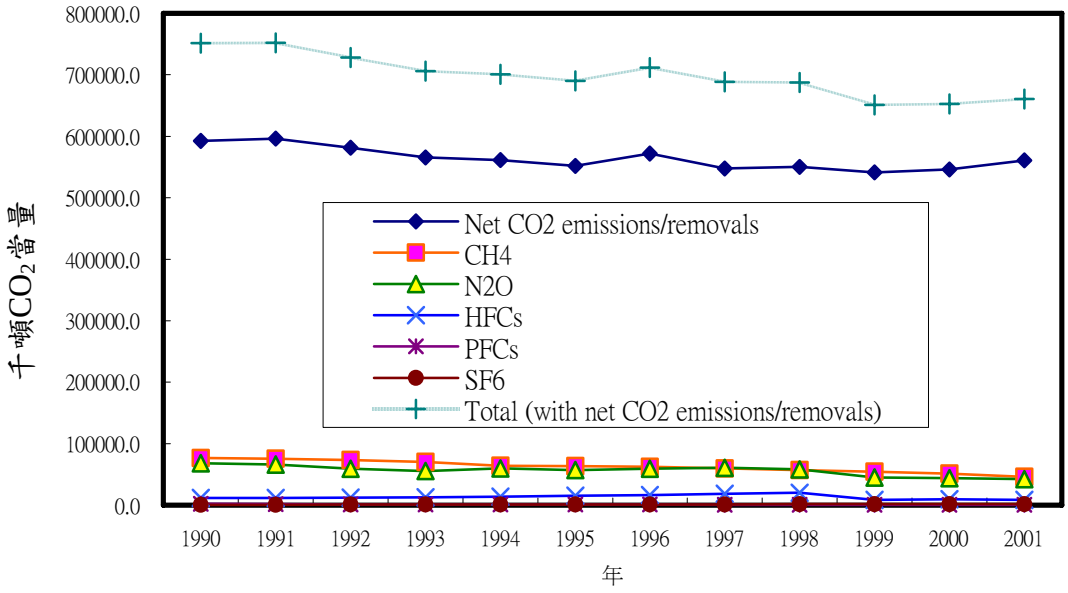


圖 8.2 英國各溫室氣體排放趨勢(1990~2001 年)

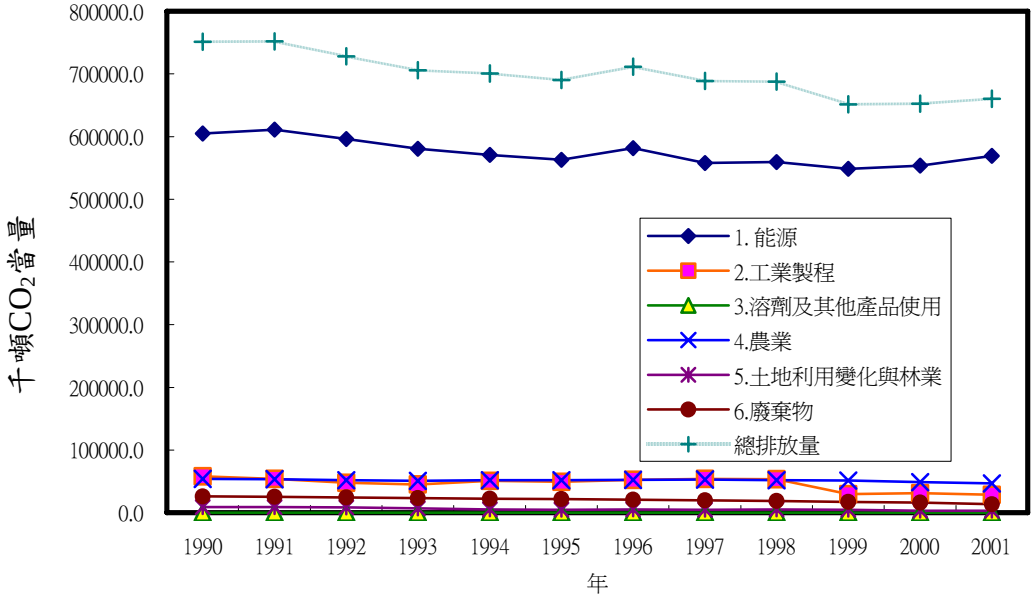


圖 8.3 英國各部門溫室氣體排放趨勢(1990~2001 年)

歐盟環境總署(EEA)於 2002 年評估歐盟 2000 年各會員體的DTI值[14]，歐盟整體DTI值為+0.5，有六個國家DTI值為負值，表示該年排放量低於預估值，英國DTI值為-6.7，僅次於盧森堡的-31.1 及德國的-8.6；而EEA於 2003 年評估歐盟 2000 年各會員體的DTI值[15]，歐盟整體DTI為+2.1，DTI值為負值的國家降為四個，依次為：盧森堡的-28.8，德國的-6.8，英國的-5.5 及法國的-5.2。比較EEA兩年的評估，歐盟整體而言，2001 年的減量成效顯然不及 2000 年，英國在 2001 年雖然DTI值與 2000 年同樣為負值，在 2001 年與預計減量目標的差距，已明顯地縮小。但是歸納而論，迄 2001 年，英國確實有達成該年溫室氣體減量目標。

另外，根據 8.1 節的分析，由 1990 年至 2001 年間，英國溫室氣體排放量確實減少 12.1%，顯示 1997 年前實施的措施有其成效；但是 2000 年與 2001 年相比較，2001 年總溫室氣體排放量比 2000 年增加 7992 千噸 CO_2 當量，增加率為 1.2%，而這時期正好是「英國氣候變化計畫」開始實施之際，氣候變化協定、氣候變化稅及排放交易等三項政策措施的減量成效如何，由於尚無排放數據可供參考，因此目前無法評估。

8.4 執行特色與成效分析

英國因應《公約》可分兩個時程，一為 1997 年前擬定的政策措施，另一為 2000 年後以經濟措施及稅制改革為主的政策措施。1997 年前的政策措施，大部份執行的期程規劃至 2000 年實施完成，部份延續性的措施，如節能信託基金與法規等則繼續實施中。在 COP3 後，英國隨即規劃與討論因應《議定書》的作法，至 2000 年後才陸續提出並實行相關政策，此部份為第二個時期。

由於英國只須進行國內的溫室氣體減量即可符合《議定書》的減量承諾，因此並不注重應用京都機制以協助減量，根據Magazine on the Kyoto Mechanisms[16]統計目前正在執行中之 10 個「共同執行」(JI)計畫與 24 個「清潔發展機制」(CDM)計畫中，英國並未參與任何相關計畫，顯示英國除排放交易在未來會與歐盟的交易制度接軌外，目前沒有資料顯示英國有與非附件一國家進行CDM計畫或與附件一國家執行JI的準備與需求。英國DTI在環境、糧食及農業事務部(DEFRA)與交通部(DfT)的協助下，於 2003 年 2 月發表一份能源白皮書：「我

們的能源未來—開創一個低碳經濟」[17]，規劃英國成為低CO_2排放的能源經濟體，未來英國溫室氣體減量的方向自此已相當清楚，其減量成效也值得我們持續觀察。

歸納英國實施各部門具有顯著排放減量成效特色之政策措施，包括[18]：

- 氣候變化稅。
- 全國的排放交易制度。
- 規劃再生能源的目標，至 2010 年銷售的電力須有 10%來自再生能源，且成本須為消費者所接受。
- 規劃至 2010 年汽電共生須為目前的兩倍而達成 10,000 MW(百萬瓦)。
- 參與歐盟與汽車製造商簽訂協議，以改善新車燃燒效率至 2008~2009 年至少 20%。
- 運輸效率改善的十年計畫。
- 住宅部門較佳的能源效率。
- 提升建築法規的績效標準。

參考文獻

1. UK Climate Impacts Programme, Department of the Environment, Transport and the Regions, Climate Change: Assessing the Impacts – Identifying Responses, May 2000.
2. UNFCCC, The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change, UNEP/IUC/99/10, October 1999.
3. Department of the Environment, Transport and the Regions, UK, Climate Change The UK Programme, November 2000.
4. National Environmental Technology Centre, UK, Common Reporting Format for United Kingdom of Great British and Northern Ireland, March 2003.
5. UK's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, October 2001.
6. HM Treasury, Lord Marshall's report Economic Instruments and the Business Use of Energy, published in November 1998.
7. Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK, The UK's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, October 2001.
8. UK Climate Change Levy web page：http://www.defra.gov.uk/environment/ccl/index.htm
9. Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK, A Summary Guide to the UK Emissions Trading Scheme, August 2001.
10. Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK, Framework for the UK Emissions Trading Scheme, August 2001.
11. http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm?newsid=20374&newsdate=04-Apr-2003
12. http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm?newsid=19187&newsdate=23-Dec-2002
13. UK Perspective on Emission Trading Schemes, Joint Implementation Quarterly, Vol. 9 – No. 1, April 2003.

14. European Environment Agency, Greenhouse Gas Emission Trends in Europe, 1990—2000, July 2002.

15. Web site for European Environment Agency：http://org.eea.eu.int/documents/newsreleases/ghg-2003-en，May 15, 2003.

16. Magazine on the Kyoto Mechanisms, Facts about the Kyoto Mechanisms, Joint Implementation Quarterly, Vol. 3-No.1, April 2003.

17. DTI, DfT, and DEFRA, Energy White Paper：Our Energy Future—creating a low carbon economy, February 2003.

18. DEFRA , The UK's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Department for Environment, Food and Rural Affairs,2001.

19. IEA , Energy Balance of OECD Countries: 1999-2000,2002.

第九章 美國因應溫室氣體增加之政策措施

2003 年 10 月止，美國仍未簽署《議定書》。其顧慮乃在於避免準備尚未充分之際貿然簽署，而使產業發展受限，造成經濟衰退等不利影響。然而其於 1999~2000 年因應氣候變遷相關之科學研究與技術研發卻高居全球第一，投入金額約為全球研發經費總額之一半，遠超過英國、法國及日本等先進國家。於 2003 年相關政策運作、技術研發之預算編列更高達 4,475 百萬美元，較 2002 年之 3,822 百萬美元大幅成長 17%，可見其對氣候變遷議題之重視程度。事實上，氣候變遷所帶來的不只是衝擊，更是機會。由其衍生之碳市場(carbon market)龐大商機使得正視此議題者，不論是政府或企業，將可從中獲取最大利益。反之，則將於經貿、科技及外交版圖上失去先機。

為達成布希政府於 2012 年前減少溫室氣體密集度(greenhouse gas intensity)達 18%之目標，美國政府於各重點部門積極推動各項相關政策措施以減少溫室氣體排放。於電力部門，聯邦政府以發展潔淨、高效率之發電及配電技術，並資助太陽能、風力、地熱、水力及生質能等再生能源之研發為主要之因應措施；於運輸部門，則藉由發展高燃料效率之車輛引擎，以及透過措施規劃減少車輛駕駛里程以降低該部門之排放量；於工業部門，經由與業者之計畫合作並推動汽電共生系統之使用，達到溫室氣體排放減量之目的；於建築方面，提供技術援助及推廣能源效率標章產品之使用，減少住商部門之溫室氣體排放；而於農林部門之實行保育計畫，將有助於排放減量及土壤中之碳吸收。

本章將依序針對美國之背景概要、美國因應溫室氣體增加之政策、美國聯邦政府於溫室氣體減量之政策措施與執行成效，以及美國氣候變遷政策之成效要素分析等作討論，可供我國政府於因應溫室氣體增加之政策參考。

9.1 概要

美國幅員遼闊，氣候幾乎涵蓋全球主要之氣候類型。美國北部年均溫度為-1~4℃；而南部為 21~27℃。降雨分佈差異大，以美西一帶較為乾燥。

美國領土劃分為五十州，總土地面積為 920 百萬公頃，主要為林地及農業用地。美國人口於 2000 年達兩億八千萬人，僅次於中國及印度。美國雖為全球人口數排名第三之國家，人口密集度卻很低，約為 30 人/平方公里，低於中國(135 人/平方公里)；高於俄羅斯(10 人/平方公里)。本節主要就美國之經濟及能源現況作說明。

一、經濟發展

美國為民族大鎔爐，土地廣大且天然資源豐富，具有高度之市場競爭力。就國民生產毛額而言，美國為全球最大之經濟體，約佔全球產值之 1/4。於 1991 至 1995 年，年平均經濟成長率為 3 %；於 1996 至 2000 年，年平均經濟成長率為 4 %。於 2000 年，勞工投入產業最多為服務業，佔勞工總數之 37 %；其次為貿易業(21 %)及製造業(15 %)。

二、能源消費趨勢

美國為全球最大之能源生產及消耗國。煤、天然氣及原油為美國主要之自產能源，其中以煤所佔之比例最大。進口石油於 2000 年約佔美國國內石油消耗量之 60 %，預期至 2020 年將成長至 65 %。天然氣進口量亦將由 1999 年之 850 億立方公尺，增加至 2020 年之 1,700 億立方公尺。

美國於 2000 年之電力供給主要為燃煤發電，超過 50 %；其次依序為核能發電(約 20 %)、天然氣發電(約 15 %)、傳統水力發電(約 10 %)、石油發電(3 %)及其他燃料與再生能源(約 2 %)。其能源密集度為 0.43 公斤油當量/國民生產毛額，略高於經濟開發暨合作組織(OECD)國家之 0.41 公斤油當量/國民生產毛額。

工業及運輸部門之能源消耗佔美國總能源消耗量之 3/4，工業部門(包含製造業、建築業、農業及礦業等)之能源使用約佔 35 %，其中 80 %係用於製造業。住商部門之能源消耗佔總能源消耗量之 1/4，然而大部份之電力係供住商部門使用。

9.2 政策措施

美國因溫室氣體增加所訂定之政策措施，由柯林頓政府（《議定書》之前後）至布希總統上任後（《議定書》後）有相當大之轉變。本節首先將扼要介紹柯林頓政府因應溫室氣體增加之政策，其次對布

希政府現行之運作機制作一較詳盡之介紹。

一、柯林頓政府因應溫室氣體增加之政策（《議定書》之前後）

柯林頓政府因應溫室氣體增加之政策原則為：1.氣候變遷政策之施行應由科學研究結果主導 2.尋求環境保護與經濟發展之間雙贏策略 3.氣候變遷問題應由全球共同參與解決 4.應定期審視經濟發展及氣候變遷科學研究。此外，其因應溫室氣體增加之政策有五大要項，包括：

（一）溫室氣體減量目標

柯林頓政府計畫於 2008~2012 年間減少美國溫室氣體排放量至 1990 年水準，相當於原始情景(business-as-usual scenario)減量 30 %，並將於 2012 年前進一步減量至 1990 年排放水準以下。柯林頓政府認為藉由提供企業溫室氣體減量誘因、提高能源使用效率以及建構溫室氣體交易市場機制，美國將可以由少量經濟成本達成溫室氣體減量目標。此外，柯林頓政府拒絕歐盟所提出更為嚴苛之溫室氣體減量提案。

（二）稅賦誘因及技術研發

為刺激能源使用效率提升及新能源技術研發，其計畫五年投入 50 億美元於稅賦減免及技術研發領域。

（三）工業協商

政府當局將與主要之溫室氣體排放工業協商，並要求其提出溫室氣體減量計畫。此外，為鼓勵廠商盡快配合，柯林頓總統承諾將制定適當之回饋方案。

（四）開發中國家之參與

柯林頓政府認為氣候變遷為一全球問題，應由全球共同參與解決。柯林頓總統指出若無開發中國家之共同參與，美國將不承擔減量義務規範。

（五）溫室氣體排放交易體系

美國將促進國內及國際間之溫室氣體排放交易市場機制，此將有助於美國達成 2008~2012 年間內減少溫室氣體排放量至 1990 年水準之目標。柯林頓政府指出其排放交易體系，將於其稅賦誘因、技術研發及聯邦政策等措施累積足夠經驗後方開始進行。

《議定書》於 1997 年 12 月於日本京都制定後，其規範《議定書》附件 B 國家須承擔於 2008~2012 年間內，溫室氣體排放水準平均減至 1990 年水準以下 5.2 %之減量義務。其中美國須減量至 1990 年水準以下 7 %。

柯林頓政府表示，藉由京都彈性機制以及更為穩固之國內氣候變遷政策，美國將可於有限成本下達成《議定書》所要求之減量目標。美國將採取適當之行動因應氣候變遷議題，並同時考量其經濟發展[3]。而原計畫於 2008~2012 年實行之強制性國內排放交易體系將視《議定書》是否生效以及美國是否簽署而定。

雖然開發中國家可透過清潔發展機制(CDM)與已開發國家合作參與全球溫室氣體減量行動，然而《議定書》並未付予其減量目標之責任。柯林頓總統指出，開發中國家若不採取行動減少其自身之溫室氣體排放量，氣候變遷問題將無法獲得妥善解決。因此，若無主要開發中國家更積極參與，其將不會將《議定書》送交國會通過表決。其建議開發中國家設定自願減量目標。

二、布希政府因應溫室氣體增加之政策（《議定書》之後）

布希總統上任後，美國因應溫室氣體增加之策略有大幅度的調整。於 2002 年 2 月 14 日，布希總統宣布以 2012 年前減少溫室氣體密集度(溫室氣體排放量/國民生產毛額)18 %為美國之溫室氣體減量目標[4]。同時，為增進因應氣候變遷決策上之研究支援與責任分配，布希總統亦宣布成立一新的運作機制，以協調聯邦政府於氣候變遷之科學研究與技術發展。

運作機制係由總統執行辦公室(Executive Office of the President)主導，並由國家安全會議(National Security Council, NSC)、國內政策會議(Domestic Policy Council, DPC)以及國家經濟會議(National Economic Council, NEC)共同計畫審察並向總統報告。

於總統執行辦公室下設有氣候變化科學技術整合委員會(Committee on Climate Change Science and Technology Integration, CCCSTI)，其監督聯邦政府於氣候變遷之科學研究與技術計畫，並由其下之部會間氣候變化科學技術工作組(Interagency Working Group on Climate Change Science and Technology, IWGST)向其負責並提出報告。美國因應氣候變遷之運作機制架構如圖 9.1 所示[5]。

*委員會與工作組的主席和副主席及每年輪流擔任

圖 9.1 美國因應氣候變遷之運作機制架構圖

美國於 1999~2000 年因應氣候變遷相關之技術研發投入金額約為全球研發經費總額之 50%（如圖 9.2[1]所示）。美國於 2003 年氣候變遷之相關預算編列為 4,475 百萬美元，資金主要投入於美國全球變遷研究計畫、技術研究、制度發展及國際援助等四大領域[6]。

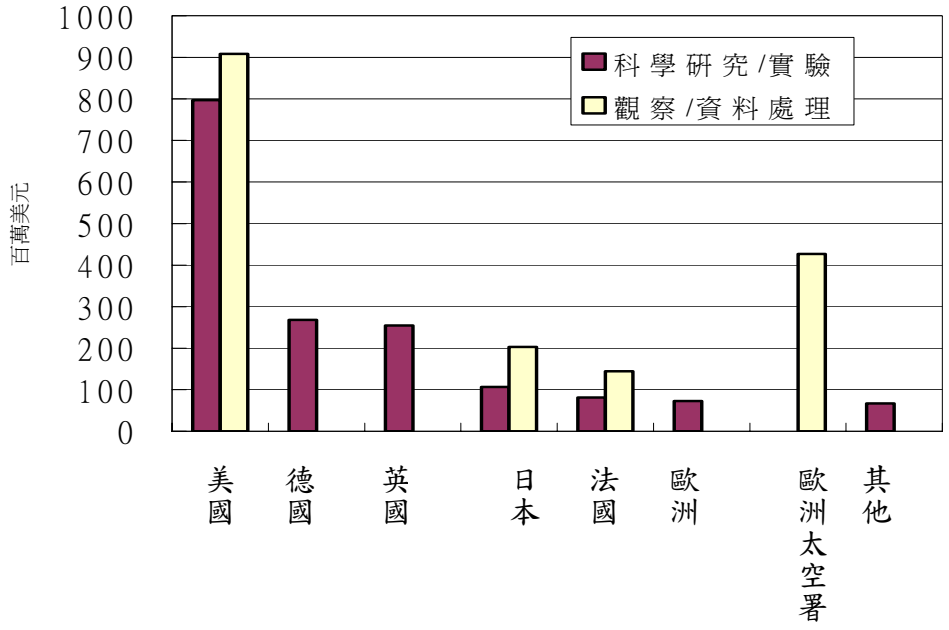


圖 9.2 主要國家氣候變遷研究經費之比較(1999~2000 年)

（一）美國全球變遷研究計畫

美國全球變遷研究計畫(The United States Global Research Program, USGCRP)之主要目的為研究人為及自然力對地球氣候環境之影響。USGCRP 研究產出之科學資訊係作為政府對國家及國際氣候變遷相關決策之參考。USGCRP 已成立十數年，現由布希總統於 2002 年 2 月成立之氣候變遷研究計畫(Climate Change Science Program, CCSP)協調運作。USGCRP 提供資金予衛生部(HHS)、國家航空暨太空總署(NASA)、能源部(DOE)、國家科學基金會(NSF)、農業部(USDA)、商業部(DOC)、內政部(DOI)、環保署(EPA)及史密斯松寧博物院等九個機構，從事全球變遷之基礎研究。

此外，美國於 2003 年亦成立氣候變遷研究所(CCRI)，同時總統亦設立國家氣候變遷技術所(NCCTI)作為CCRI之技術援助，加強聯邦政府部會間之技術研發協調。CCRI基金將投注於以下五個機構：美國海洋與大氣總署(NOAA)、國家航空暨太空總署(NASA)、國家科學基金會(NSF)、農業部(NSDA)及能源部(DOE)。

CCRI 於 2003 年主要著眼於二個領域，一為減少氣候科學之不確定性：包括了解北美碳循環(carbon cycle)、建立可信賴之全球及

區域氣候模式；另一為提供決策支援：包括發展不確定性下之風險處理工具及準確性高之長期氣候資料記錄。CCRI 將加強科學資訊與決策支援系統之整合，以提供 2~5 年之短期與中期決策參考。

（二）技術研究發展與減稅補助

主要目的為推廣再生能源技術及省能產品之發展，以促進能源使用效率及減少溫室氣體排放。美國聯邦政府之溫室氣體減量政策措施主要由美國能源部、環保署及農業部之推動執行，將於後節介紹。

此外，為激勵並推廣能源節約而實行稅賦誘因之措施，未來五年於潔淨能源之稅賦優惠預算額度將達 4,451 百萬美元；於未來十年更將達 71 億美元。稅賦優惠範圍將涵蓋再生能源(太陽能、風力及生質能)，複合式與燃料電池車輛(hybrid and fuel-cell vehicles)，共生系統(co-generation)及掩埋場氣體轉換(landfill gas conversion)。稅賦措施有助於國家長期之能源供應與安全需求，減少污染與溫室氣體排放。相關之實行措施如下:

1.住家太陽能系統

合格之太陽能設備可獲得 10%之投資稅賦優惠，包括利用太陽能發電、生熱、冷卻及提供建築物熱水等。每人每戶於光電設備可獲得最多 2,000 美元之稅賦補助(2001 年 12 月 31 日~2008 年 1 月 1 日)；於太陽能熱水系統亦可獲得最多 2,000 美元之補助(2001 年 12 月 31 日~2006 年 1 月 1 日)。

2.再生能源

由風力、生質能及廢棄物產生之電力可獲得每千瓦小時 1.5 美分之稅賦優惠。其中生質能係指由植物與農作物等廢棄物產生之電力或燃料。此項措施僅限於 2002 年 1 月前架設之設施。

3.運輸

合格之電力車輛可獲得10%或最多4,000美元之投資成本稅賦優惠。所謂電力車輛，係指利用燃料電池或其他可攜式之電力設備提供行進所需之能源。複合式及燃料電池車輛具有提高能源效率之潛力，並且可減少污染及溫室氣體之排放。

合格之複合式車輛可獲得每部最多 4,000 美元之補助(2001

年 12 月 31 日 ~2008 年 1 月 1 日)，視車輛之電能所佔比例以及能源效率而定。合格之燃料電池車輛可獲得每部 4,000~8,000 美元之補助(2001 年 12 月 31 日 ~ 2008 年 1 月 1 日)，視車輛之能源效率而定。

4.工業

由生質能產生之能源可獲得每桶油當量 3 美元之優惠補助。該瓦斯須由 1998 年 7 月前設立之工廠設施所生產，並於 2008 年 1 月前賣給不相關之第三者方可獲得補助。

此外，合格之汽電共生(CHP)系統可獲得 10%之投資成本稅賦優惠(2001 年 12 月 31 日 ~2007 年 1 月 1 日)。CHP 係利用電廠發電後之廢熱提供電廠鄰近區域之住宅或工廠暖氣或空調。CHP 可大大提高能源效率，減少能源消耗、降低成本及碳排放。

（三）國際援助

國際援助計畫係用以協助開發中國家之提升能源效率、使用再生能源、採行土地使用變更及森林措施，以共同對抗全球暖化趨勢。

U.S. Agency for International Development (USAID)氣候變遷計畫之目標為減少溫室氣體排放量之排放成長，以及降低氣候變遷所造成之損害。為達成此目標，USAID 於開發中國家及過渡經濟國家實行雙贏(win-win)策略，其提供氣候相關益處同時達成於能源部門、都市區域、森林保育、農業及災害援助等發展之目標。此策略包括：1. 推動潔淨能源技術移轉 2. 溫室氣體減量量測 3. 藉由增進土地利用加強碳匯 4. 支持參與美國氣候變化綱要公約 5. 評估氣候變遷衝擊及增進調適能力。USAID 氣候變遷行動主要之關注重點包括中非、中美及中亞三大區域；以及巴西、印尼、印度、墨西哥、菲律賓、俄羅斯、南非及烏克蘭等八個國家。

（四）其他氣候變遷相關計畫

能源部(DOE)為增進能源效率與減少溫室氣體排放等有益環境之計畫，推動下列 4 項計畫：1. 推廣潔淨煤及天然氣燃燒計畫 2.核能研究計畫 3.氣候化及州能源補助(Weatherization and State Energy Grants) 4.全球環境基金(GEF)之捐款。其分別說明如下：

1. DOE-低收入戶氣候化及州能源補助

資助州及地方層級之能源效率投資計畫，提供低收入戶節能設施、降低消費者能源消耗及減少碳排放。State Energy Program 提供州政府補助，令其制定能源效率計畫以滿足地方需求，並妥善利用非聯邦資源。

2. DOE-潔淨煤及天然氣效率計畫

資助 DOE 之研發以幫助工業發展先進技術，將使煤及瓦斯資源之生產利用更加乾淨有效率。潔淨、高效率之燃氣及燃煤發電系統計畫著眼於減少氣體排放，同時降低發電成本。

3. DOE-核能研究計畫

資助大學及國家實驗室之研發工業核能發電技術。核能研究倡議(NERI)之研發重點為高效能反應器、先進核能燃料及核廢料減積及處理技術。

4. 國庫署-全球環境基金

GEF 係協助處理境外之環境問題，諸如：國際水污染、生物多樣性保育及氣候變遷。

9.3 政策措施與執行成效

美國聯邦政府之溫室氣體減量政策措施，主要由美國能源部(DOE)、環保署(EPA)及農業部(USDA) 推動執行，並以住商能源、工業能源、能源供應、運輸、非CO_2溫室氣體排放、農業、林業及廢棄物管理為溫室氣體排放之重點部門〔1〕。

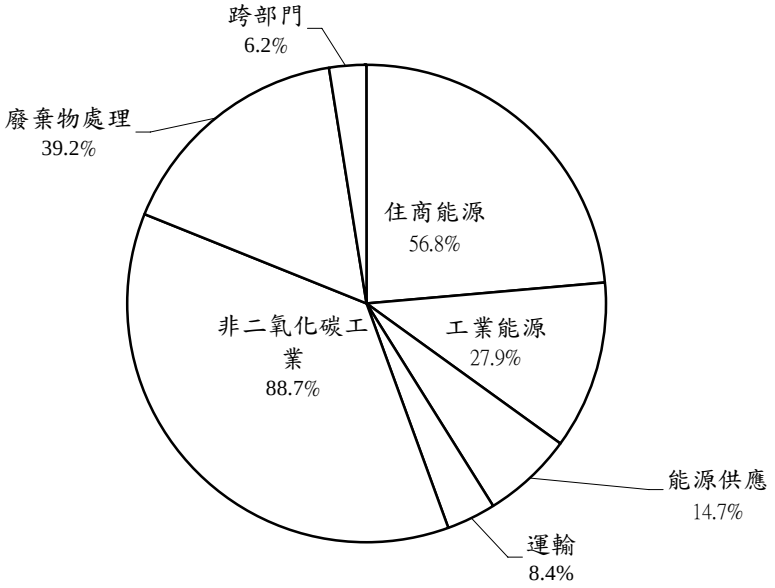
2000 年美國於上述部門之溫室氣體排放減量達 242 百萬噸CO_2當量，以非CO_2溫室氣體排放之減量最多，達 88.7 百萬噸CO_2當量，佔總排放減量之 37%；而住商能源佔 23%(如圖 9.3〔1)所示)。

根據已有之減量預估數據，藉由相關政策及措施之持續推動，2010 年其重點部門之溫室氣體減量成效將可達 646 百萬噸CO_2當量以上。以下就其重點部門之主要政策措施作介紹說明：

一、住商能源

住宅及商業建築之能源使用，約佔全美 35% CO_2排放。其中，照明、空調及家電之電力消耗為最主要來源。若屋主願意使用能源效率

產品、技術及最佳管理措施，大部份的商業建築及新房屋皆可有效降低能源使用達 30%。



2000 總排放減量: 241.9（百萬噸CO_2當量）

圖 9.3　美國重點部門溫室氣體減量示意圖(2000 年)

（一）商業建築能源之星計畫

此計畫主要著眼於推廣高效能建築，並與全美超過 5,500 個機構合作。其國家建築能源效能評估系統提供學校、旅館、醫院、倉庫等之能源效能評估。評選等級最高者可獲能源之星標章(ENERGY STAR® label)。

EPA估計 2000 年能源之星於商業建築部門之溫室氣體減量為 23 百萬噸CO_2當量，預估 2010 年可達 62 百萬噸CO_2當量。

（二）住宅能源之星計畫

此計畫之重點為提供屋主居家能源效率設計之指南，包括增加廚房、家用設備及全屋之使用效率，並與主要之零售商及組織合作，教育大眾能源效率觀念。此外，建築業者已於全美建設超過

55,000 間能源之星標章房屋，並以每年兩倍之成長速率。能源之星標章房屋之節能效率較能源法規高 35%。

EPA估計透過推廣能源之星標章房屋及增進家居能源效率，此計畫於 2010 年之減量成效可達 20 百萬噸CO_2當量。

（三）能源之星標章商品

此計畫之策略為擴大能源之星標章商品之種類，並與地方機構、組織合作，共同推廣消費者使用能源之星標章商品。能源之星標章已深入 30 個以上之商品類別，目前美國環保署(EPA)及能源部(DOE)正積極推廣此計畫於更多之商品與設備。能源之星標章已獲得 40%以上美國民眾認同，並已購買超過 6 億件能源之星商品。

EPA估計 2000 年能源之星商品計畫之減量成效為 33 百萬噸CO_2當量，藉由持續推廣，預估 2010 年可達 75 百萬噸CO_2當量。

（四）其他政策措施

住商能源部門之其他政策措施尚包括：商業建築整合計畫、社區能源計畫、“重建美國”計畫、住宅整合、“建設美國”計畫; 、建築設備與材料計畫、住宅設備標準、州與社區援助計畫、熱島方案及經濟/稅賦誘因等。

二、工業能源

美國約 27%的CO_2排放來自工業生產過程，其主要排放來源為含碳燃料(carbon-based fuel)之燃燒，包括工廠生產及電力需求。此部門之計畫目的為藉由降低能源使用、提供創新生產方法及減少廢棄物產生與排放，以增進工業產值。

（一）工業能源之星計畫

此計畫係整合並建立於原有之 Climate Wise Program，提供與工業業者更廣泛之合作關係。計畫目的為使工業業者有能力評估並以經濟的方式以減少能源使用。透過已建立之能源效率標準、增進能源效率策略、技術援助、能源減量認可制度，政府與業者之合作將可達成工業部門之能源使用減量。

EPA估計 2000 年Climate Wise Program之減量成效為 11 百萬噸CO_2當量，藉由推廣與業者之合作，預估 2010 年可達 16 百萬噸CO_2當量。

（二）其他政策措施

工業能源部門之其他政策措施包括：未來工業計畫；最佳做法計畫；工業評估中心；金融援助: 經由改善能源、環境及經濟以提升國家工業競爭力計畫。

三、能源供應

發電約佔全美 41%總CO_2排放。聯邦計畫透過發展潔淨、高效率之發電及配電技術，促進溫室氣體排放減量。此外，亦資助研發太陽能、風力、地熱、水力、生質能及氫燃料等再生能源，以及核能等無溫室氣體排放之能源。DOE之發展計畫已成功減少太陽能及風力發電等技術之建造成本。

（一）潔淨能源方案

EPA 正於能源供應部門推動一系列溫室氣體減量相關之技術、措施與政策。計畫之策略方向有三：1.擴展再生能源市場 2.與州及地方政府合作發展有利潔淨能源之政策 3.於特定部門推動熱、能共生以及其他潔淨技術。此外，聯邦政府亦已發起另外兩個合作計畫朝此方向努力：綠色力量合作計畫以及汽電共生系統合作計畫。

EPA估計這些計畫將刺激新的投資，同時其減量成效預估於 2010 年可達 30 百萬噸CO_2當量。

（二）其他政策措施

能源供應部門之其他政策措施包括：再生能源商業化計畫、氣候挑戰計畫、能源資源分布計畫、高溫超導體計畫、氫計畫、核能、碳隔離、水力、國際計畫及經濟/稅賦誘因。

四、運輸

汽車、貨車、公車及飛機等運輸系統約佔全美 1/3 的CO_2排放。由於民眾行駛之車輛里程數增加並使用燃料效率低之車種，運輸部門之溫室氣體排放成長相當快速。美國正推動研發高燃料效率引擎及潔淨燃料，同時實行相關計畫以減少車輛里程數。

（一）EPA 自願方案

EPA 支持一系列運輸部門之溫室氣體及污染物自願減量方案，如下列所述：

1. 通勤選擇方案

此計畫經由增加工作地點選擇、彈性上班時間等制度，給予通勤者更多之彈性空間。此外，並對公司員工採取收費停車之措施，代替以往免費停車或補助之作法。

EPA估計 2000 年此計畫之實行成效為 3.5 百萬噸CO_2當量，預估於 2010 年可成長至 14 百萬噸CO_2當量。

2. 土地規劃政策

此計畫係藉由土地重新開發及地方土地使用政策之實施，減少車輛行駛里程數。EPA估計此計畫於 2000 年之溫室氣體減量為 2.7 百萬噸CO_2當量，預估於 2010 年可達 11 百萬噸CO_2當量。

3. 地面貨運方案

此計畫係著眼於貨運部門，其藉由管理措施之改良及能源效率技術之提升，以減少貨運過程之溫室氣體排放。EPA估計此計畫於 2010 年之減量成效可達 18 百萬噸CO_2當量。

4. 潔淨汽車技術

此計畫之主要措施為研發技術，並與汽車業者合作發展先進潔淨與高燃料效率之汽車工業技術，如複合式引擎技術（hybrid engine technology）等。

（二）其他政策措施

運輸部門之其他政策措施包括：FreedomCAR 研究合作計畫、創新汽車技術與替代燃料計畫研發、美國運輸部（DOT）排放減量計畫、研發運輸改進計畫、研發運輸與社區系統先導計畫及企業均衡燃料標準計畫。

五、非CO_2溫室氣體排放工業

雖然CO_2為美國最主要之溫室氣體排放，然而非CO_2溫室氣體相較CO_2卻有極高之全球暖化潛力。倘若以一百年之時間為基準，則CH_4於大氣之熱吸收效果為CO_2之 20 倍；N_2O為 300 倍；HFCs更高達 100~12,000 倍。此外，PFCs與SF_6等高暖化潛力氣體於大氣亦有極長之生命週期。

（一）CH_4與工業

1. 天然氣之星計畫

此計畫始於 1993 年，並已有效減少CH_4排放。於 2000 年，此計畫擴展至製程部門，並涵蓋全美 40%天然氣生產公司、72%天然氣輸送管線、49%公司服務管道及 23%生產加工。

EPA估計此計畫於 2000 年之CH_4減量為 15 百萬噸CO_2當量，經由計畫持續推展，預估於 2010 年可達 22 百萬噸CO_2當量。

2. 煤床CH_4延伸計畫

煤床CH_4延伸計畫（Coalbed Methane Outreach Program, CMOP）起始於 1994 年，目前正致力於除氣化系統（degasification system）之煤礦CH_4殘留氣體排放去除之技術研究。EPA估計此計畫於 2000 年之CH_4減量為 7 百萬噸CO_2當量。然而由於煤礦陸續關閉，EPA預估於 2010 年其減量成效僅成長至 10 百萬噸CO_2當量。

（二）HFC、PFC及SF_6之環境管理

1. 新替代計畫

此計畫著眼於主要之工業與消費部門，持續推動避免使用導致臭氧分解之化學物，同時減低對人體及環境之威脅。此外，亦已羅列數百種替代物供使用。EPA估計此計畫於 2000 年之溫室氣體排放減量為 50 百萬噸CO_2當量，並預估其減量成效於 2010 年可達 162 百萬噸CO_2當量。

2. HFC-23 合作計畫

此合作計畫持續推動企業發展及實行技術可行、經濟有效之製程措施與技術，以減少HCFC-22 生產過程中所產生之HFC-23 排放。EPA預估此計畫於 2010 年減量成效可達 27 百萬噸CO_2當量。

3. 鋁業合作計畫

與鋁業者之合作計畫將持續推動可行技術、經濟有效之措施，以減少CF_4與C_2F_6之排放。EPA估計此計畫於 2000 年之溫室氣體排放減量為 8 百萬噸CO_2當量，並預估其減量成效於 2010 年為 10 百萬噸CO_2當量。

4. 環境管理方案

此計畫之目的為於半導體製程、電力分配及鎂製造業等三部門，限制HFCs、PFCs及SF_6之排放。EPA估計此計畫於 2010 年之減量成效為 94 百萬噸CO_2當量。

六、農業

於農業部門，美國政府保持多樣化之研究及延伸計畫，著眼於加強美國農業之整體環境效能，包括溫室氣體排放減量以及增加碳匯（carbon sink）。

（一）保存計畫（Conservation Programs）

保存計畫有助於溫室氣體排放減量，並可增加農作土壤中之碳吸收。

1. 保存計畫

此USDA計畫給予農場所有人及經營者援助，避免容易受損害土地之農作使用，保護土壤、水、空氣及野生動物資源。USDA估計此計畫已保護 34 百萬畝土地，其每年可抵銷 56 百萬噸CO_2當量之人為溫室氣體排放。

2. 變遷管理措施

除避免易受損土地之農作外，USDA 亦提供管理措施改進之計畫。環境品質倡議計畫（Environmental Quality Incentive Program）即提供面臨天然資源挑戰之技術、教育及經濟援助，幫助業者改變農作及畜牧系統、增進施肥及蟲害管理，並透過保育措施增進土壤、水及天然資源。技術援助計畫（Technical Assistance）亦透過合作機制給予地方自願保育計畫援助。

3. 保存順從計畫

除直接性之援助計畫，USDA 之保存政策保護農業用地上之現有溼地（wetland），並要求易受侵蝕之農業用地須實行保護計畫以控制土壤侵蝕。

（二）其他政策措施

農業部門之其他政策措施包括：農業之星與 RLEP、肥料管理工具、生質產品與生質能及 USDA 企業生質能計畫等。

七、林業

美國政府支持藉由森林及木製品碳吸收之措施，並減低森林火災發生率以避免意外之碳排放。

（一）森林管理

USDA之森林管理計畫(Forest Stewardship Program)及管理倡議計畫(Stewardship Incentive Program)提供非工業使用之私有森林所有人技術及金融援助。全美約 363 百萬畝之森林為非工業用之私有林地，提供許多生態與經濟價值。此外，植樹與森林管理可增加植物、土壤及木製品之CO_2攝入及碳吸收。

（二）國家消防計畫

此計畫係增進林地之消防管理，特別於美西一帶。計畫目的為建立主動與互助之社區機制，並藉由整合植物管理、防火措施及減少危險燃料使用以減少森林火災發生，如此有助於溫室氣體排放之減量。

八、廢棄物管理

美國之廢棄物管理計畫係藉由能源節約、增加碳吸收及避免垃圾掩埋場之CH_4排放(美國最大之人為CH_4排放源)，致力於都市固體廢棄物及溫室氣體排放之減量。

（一）氣候與廢棄物計畫

此計畫係藉由倡導資源回收及廢棄物減量以降低溫室氣體排放。EPA 正於此計畫內實行一系列措施以達計畫目標。Waste Wise 持續與各組織合作減少固體廢棄物。其他新方案亦透過與產品製造商之自願或協商協定，以及可回收成分產品之市場推廣活動，促進廢棄物減量。

EPA估計此計畫於 2000 年之溫室氣體減量為 8 百萬噸CO_2當量，預估於 2010 年可達 20 百萬噸CO_2當量。

（二）掩埋場法規

以掩埋場相關法規要求大型垃圾掩埋場收集及燃燒處理其掩埋場氣體排放。由於法規日益嚴峻，接受規範之掩埋場數目已明顯增加。

EPA估計此計畫於 2000 年之CH_4減量為 15 百萬噸CO_2當量，預估 於 2010 年可達 33 百萬噸CO_2當量。

（三）掩埋場CH_4延伸計畫

掩埋場CH_4延伸計畫(Landfill Methane Outreach Program, LMOP)係鼓勵未受法規規範之掩埋場收集並使用其排放氣體。此計畫利用掩埋場氣體作為能源，可替代部份化石燃料使用，因而減少CO_2排放。與掩埋場所有人、州能源與環境相關單位與機構、能源供應商、工業以及投資人合作，降低掩埋場氣體轉換能源計畫之障礙。

EPA估計此計畫於 2000 年之溫室氣體減量為 11 百萬噸CO_2當量，預估於 2010 年之減量成效可達 22 百萬噸CO_2當量。

九、討論

美國於溫室氣體減量相關之政策措施相當多，然而並非每一實行計畫皆有具體減量評估。根據現有之減量預估數據，藉由持續推動相關政策措施，2010 年其住商能源、工業能源、能源供應、運輸、非CO_2溫室氣體排放及廢棄物管理等重點部門之溫室氣體減量成效將可達 646 百萬噸CO_2當量以上，並以非CO_2溫室氣體排放之減量最多(如圖 9.4 所示)。其計畫於 2010 年之溫室氣體減量成效評估相較 2000 年(如圖 9.5 所示)，計畫之減量成效平均成長 2.4 倍。圖 9.6 為以部門別之 2010 年相對 2000 年之溫室氣體減量成長率比較，其中以運輸部門之減量潛力最大，成長 4 倍；住商能源及廢棄物管理次之，分別成長 2.5 與 2.2 倍。

9.4 政策之成效要素與策略分析

一、氣候變遷政策措施成功要素

美國之政策措施成效要素可包括：紮實之科學研究與先進的技術研發、專責之氣候變遷運作機制及與企業之密切合作與互動。

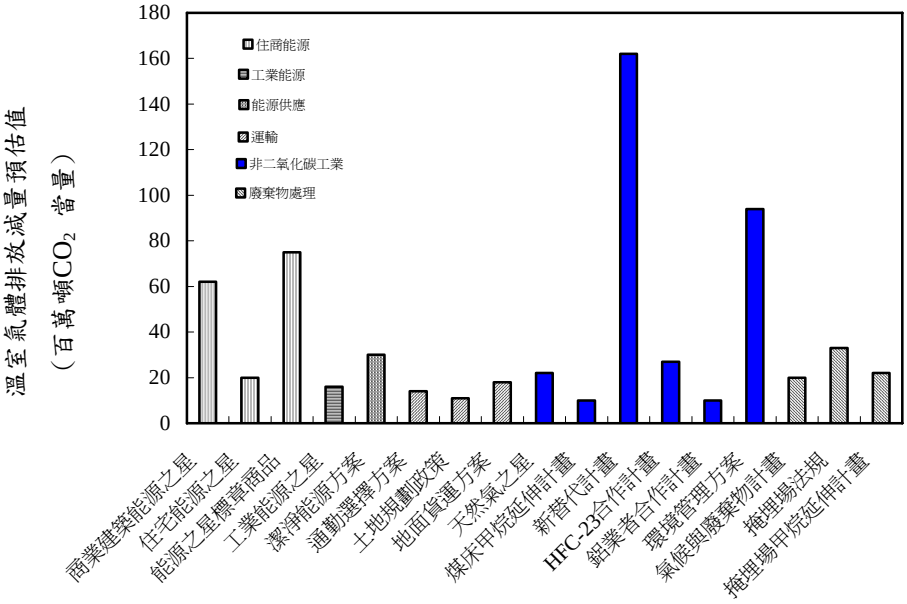


圖 9.4 美國重點部門之溫室氣體減量計畫成效評估(2010 年)

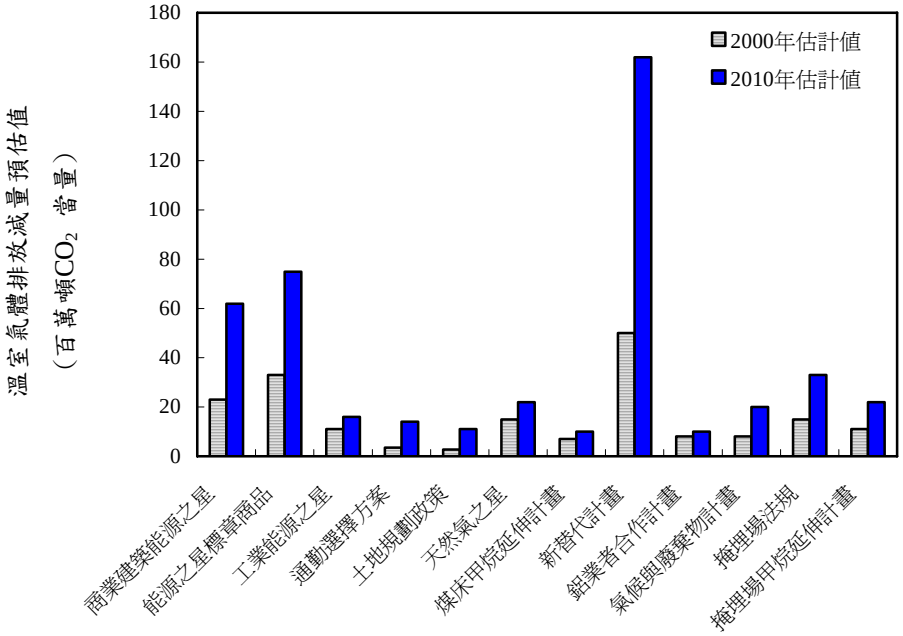


圖 9.5 美國重點部門之溫室氣體減量計畫成效評估比較

（2010 與 2000 年）

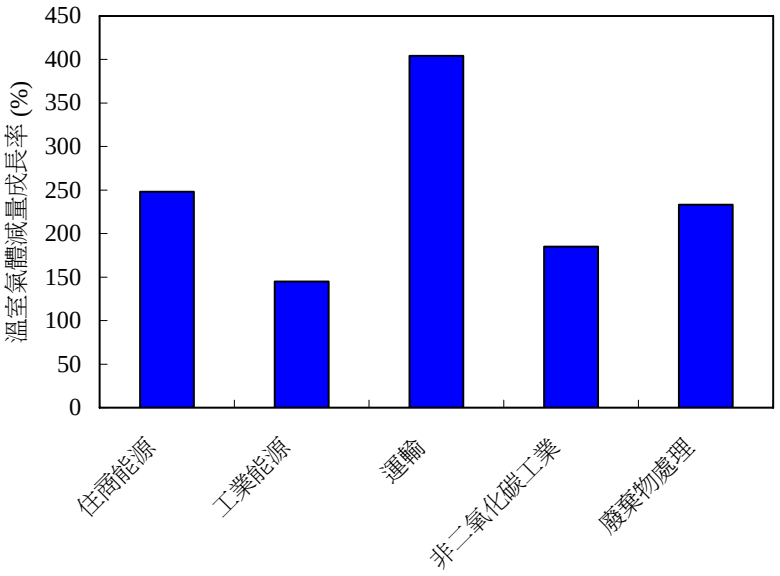


圖 9.6 美國重點部門 2010 年相對 2000 年之溫室氣體減量成長率

(一)紮實的科學研究與先進的技術研發

美國因應氣候變遷措施大致可分為兩大領域：一為基礎科學與技術研究；另一為實際的政策推動與實行。若無紮實的科學研究與先進的技術研發為後盾，便無法確立有效與確實的減量策略。因此，科學技術於溫室氣體減量成功與否實有決定性之影響。

(二)專責的氣候變遷運作機制

美國的氣候變遷運作機制係由總統直接主導，由國家行政體系獨立出一專責機構，統籌各部會之計畫推動、合作機制、資源分配及成果進度。透過此運作機制之建立，除可使政府部會間相互支援外，並可以全方位的角度決定政策措施之施行緩急與實行時程。此外，其於掌握各重點部門溫室氣體排放統計數據，以便深入評估減量潛力，有助於確保未來減量目標之達成。

(三)與企業的密切合作與互動

美國政府與產業間的合作與互動相當密切，此助於制定有效可行之能源措施，以及開發具經濟效益的產品與技術，如此可使氣候變遷之危機轉為商機，創造企業永續發展的契機。

美國已發起自願性之政府與企業合作關係「Climate VISION」（Voluntary Innovative Sector Initiatives: Opportunities Now），以有效減少美國之溫室氣體排放。企業團體致力於 2010 年前共同減少碳排放密集度 3~5 %。此外，包括杜邦、福特汽車及摩托蘿拉等 14 個著名企業亦已成立芝加哥交易所，以進行溫室氣體排放交易[7]。

二、美國因應溫室氣體增加之策略分析

美國於 1990 年之總溫室氣體排放量(不含碳匯)為 6,038 百萬噸 CO_2當量；淨溫室氣體排放量(含碳匯)為 4,978 百萬噸CO_2當量；預估於 2010 年之總溫室氣體排放量為 8,115 百萬噸CO_2當量；淨溫室氣體排放量為 6,971 百萬噸CO_2當量。依據《議定書》之規範，美國於第一承諾期(2008~2012)內之溫室氣體排放量應降至 1990 年水準再減 7 %。因此，於 2010 年其溫室氣體減量應達 2,500 百萬噸CO_2當量，以目前之情景確實不易達成。

相較柯林頓政府於 2008~2012 年間減少美國溫室氣體排放量至 1990 年水準之目標，布希政府採取更加保守之氣候變遷因應策略。其以 2012 年減量 18 %之溫室氣體密集度(溫室氣體排放量/國民生產毛額)為目標，實際減量僅為 2012 年溫室氣體排放估計量減 4.5 %[1]，約 378 百萬噸CO_2當量。與 1990 年比較，其 2012 年之溫室氣體排放水準不但未減少反而大幅增加 10 %以上。此乃因美國國民生產毛額的成長速率大於溫室氣體排放量的增加，即使不採取任何減量措施，依照原始情景，其溫室氣體密集度亦將呈現下降趨勢(如表 9.1[8])所示)。相較《議定書》之嚴苛排放減量規範，不難了解美國不願簽署《議定書》，而以溫室氣體密集度為減量成效指標。

表 9.1 美國溫室氣體排放量及國民生產毛額之比較

（1990~2000 vs. 2002~2012）

年 / 項目	1990~2000 (歷史數據)		2002~2012 (布希政府目標)	
	年增率(%)	總和(%)	年增率(%)	總和(%)
溫室氣體	1.4	14.7	1.3	14.1
國民生產毛額	3.3	38.1	3.3	38.3
溫室氣體密集度	-1.8	-16.9	-1.9	-17.5

雖然美國為顧及經濟發展，於溫室氣體減量目標採取保守之態度，但並不可忽視其所投入之努力。其於 1999~2000 年因應氣候變遷相關之科學研究與技術研發高居全球第一，投入金額約為全球研發經費總額之一半；於 2003 年相關政策運作與技術研發的預算編列更高達 4,475 百萬美元，較 2002 年大幅成長 17%，足見其對氣候變遷議題之重視。

美國目前之溫室氣體排放仍逐年成長，然而實行之溫室氣體政策措施減量成效亦呈倍數增加(2000 年美國於重點部門之溫室氣體排放減量僅 242 百萬噸CO_2當量)。此外，美國亦積極投入碳吸收技術之研發，自 1997 年起即有申請碳吸收技術專利，目前仍為最大之碳吸收技術專利所屬國。若碳吸收技術之可行性獲得證實與使用，將成為降低溫室氣體排放成本最低與效果最大的手段，其溫室氣體減量之潛力不容忽視，後續發展值得持續觀察。

參考文獻

1. U.S. Climate Action Report, 2002.
2. President Clinton's Proposal on Global Climate Change, 1997.
3. The Kyoto Protocol and the President's Policies to Address Climate Change: Administration Economic Analysis, U.S., 1998.
4. U.S. Global Climate Change Policy: A New Approach, 2002.
5. Climate Change Integration and Technology Approach, U.S. Climate Change Science Program Planning Workshop, 2002.
6. Report to Congress on Federal Climate Change Expenditures, U.S., 2001.
7. State and Trends of the Carbon Market, PCF plus, 2002.
8. Analysis of Bush Administration Greenhouse Gas Target, World Resource Institute, 2002.

第十章　韓國因應溫室氣體增加之政策措施

工業國家自工業革命以來，透過長期的經濟發展以穩定其經濟成長與能源消費。而韓國之經濟發展最早追溯自 1970 年代開始，主要以發展能源密集產業與化工產業為主，包括鋼鐵、化工、造船及水泥等產業。因此，韓國相對是新興經濟體之國家，要達到成熟穩定之經濟成長，還有一段很長的道路。

韓國是全球經濟發展最快速的國家之一，每年均達成高度的經濟成長率。環境和永續能源逐漸躍升為最重要的議題之一，同時氣候變遷也已成為韓國環保與能源相關政策的主要考量之一。

10.1 概要

一、經濟發展

1997 年 7 月的亞洲金融風暴，韓國經濟遭受嚴重的衰退；然而，韓國對政府、財政、勞工及民間部門採取一系列經濟改革措施，而成功建立一個完整的經濟體系，因此韓國的經濟成長於 2001 年達成 3.0%。根據「世界經濟展望 2001」(World Economic Outlook, 2001) 報告[1]，預期韓國在 2013 年後其平均國民生產毛額(Per capita GNP) 將達成經濟開發暨合作組織(OECD)國家的平均水準(約 20,000 美元)。

韓國從1970年代中期的經濟起飛階段到近期的經濟衰退，實質國民生產毛額成長每年平均約9.5%。韓國自從經濟起飛後，便成為能源密集中間產品的全球供應者，例如鋼鐵與石化產品，以及如汽車與電子產品的耐久性消費品，因此常被稱為“全球的工廠”。

重工業與化工產業的附加價值佔製造業之比率，從1970年的22.1%提升至2001年的27.1%。目前韓國正實施以知識經濟為基礎的經濟發展措施。圖10.1所示為韓國工業結構之變化[2]。

二、能源消費趨勢

韓國在1970年代的工業化過程中能源消費迅速增加，CO_2之排放也隨之增加。但由於實施能源節約及產業調整至低碳能源之產業(如IT產業)，近年來能源消費已趨於穩定。表10.1所示為韓國之能源指

標[2]。

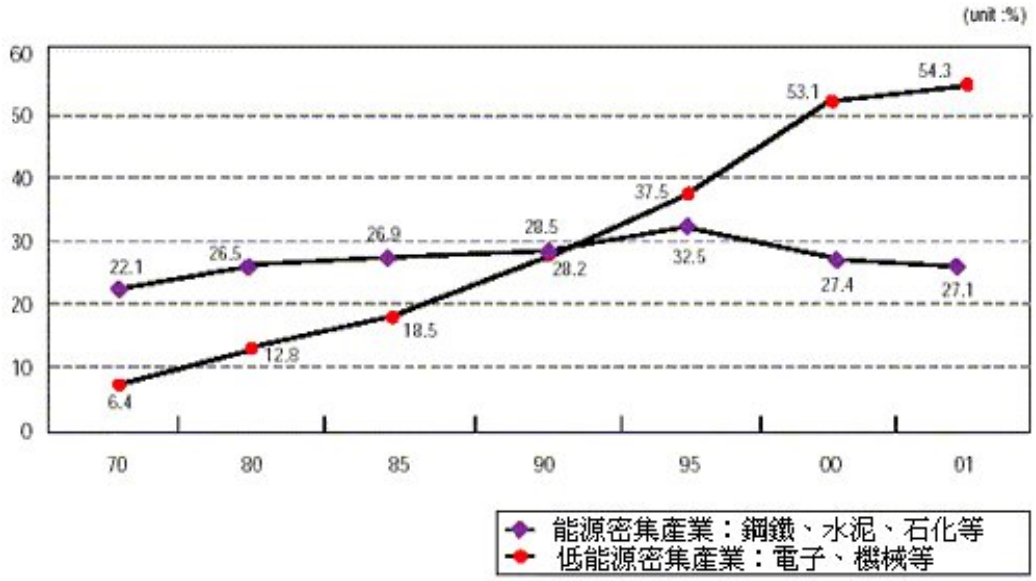


圖10.1　韓國的工業結構之變化

表 10.1　韓國的能源指標

項　目　　年	1970	1980	1990	1995	2000	2001
人口數(百萬)	32.2	38.1	42.9	45.1	47.0	47.3
GDP (billion, 1995 年貨幣價)	8.0	62.2	252.5	489.4	461.1	422.2
初級能源*供應量 (百萬噸石油當量)	19.7	43.9	93.2	150.4	192.9	198.4
能源對外依存度(%)	47.5	73.5	87.9	96.8	97.2	97.3

*初級能源是指天然形成的能源，例如：石油、天然氣、煤、風力、水力及太陽能

依能源來源統計，韓國能源消費以液化石油氣與核能之增加為最大。若按部門別來看，則以工業部門之能源消費的增加最多，從 1980 年的 16.2 百萬石油當量增加至 2001 年的 85.2 百萬石油當量。表 10.2 與表 10.3 所示為韓國之能源消費[2]。

表 10.2　韓國的能源消費(依來源別)

單位：百萬噸石油當量(Mtoe)

項　目　　年	1970	1980	1990	1995	2000	2001
石油	93	26.8	50.2	94.0	100.3	100.4
液化石油氣	-	-	3.0	9.2	18.9	20.8
無煙煤	5.8	9.9	9.9	3.0	3.1	3.7
煙煤	0.1	3.3	14.4	25.1	39.8	42.0
水力	0.3	0.5	1.6	1.4	1.4	1.0
核能	-	0.9	13.2	16.8	27.2	28.0
薪材與其他	4.3	2.5	0.8	1.1	2.1	2.5
初級能源供應量	19.7	43.9	93.2	150.4	192.9	198.4

表 10.3 韓國的能源消費(依部門別)

單位：百萬噸石油當量(Mtoe)

年　項　目	1980	1990	1995	2000	2001
工業	16.2	36.2	62.9	84.1	85.2
運輸	5.1	14.2	27.1	30.9	31.9
住商	14.0	22.0	29.5	32.4	32.9
公共與其他	2.3	2.8	2.4	1.2	3.0
總計	37.8	75.1	122.0	150.1	153.0

10.2 政策措施

一、《議定書》前的政策措施[3]

韓國於《公約》後，環境議題便成為政府決策考量的重要因素。韓國考量其能源來源高度仰賴進口，因此進行研擬各項能源合理使用分配以作為因應溫室氣體增加之措施。

（一）能源部門

韓國把「節約能源政策」作為減緩溫室氣體排放最有效的措施，在1970年代能源危機後就開始實施「節約能源政策」，並且在1992里約高峰會議後再度重新修正予以加強。為有系統的實施「節約能源政策」，韓國在1974年制定「熱管理法（Heat Management Act）」。1979年韓國政府又制定以「能源合理使用法（Rational Energy Utilization Act）」為基礎的政策，並取代原來的「熱管理法」。

為有效執行「節約能源政策」，韓國於1997年建立「國家能源節約委員會」，其成員包括政府與民間專家。為鼓勵節約能源的各項行動，1997年修訂「能源合理使用法」，這包括能源價格變化的預先通報。在「能源合理利用法」的基礎上，韓國透過工業、運輸及住商等部門的節約能源與能源效率提升，致力建立低耗能的產業結構。以下為工業、運輸及住商部門之主要因應溫室氣體增加的措施；

1. 工業部門方面：韓國推動「為期五年的耗能產業能源節約計畫」，更換老舊之鍋爐與工業爐，推廣高效率馬達與汽電共生。

2. 運輸方面：透過強制性的燃料效率標章制度與燃料經濟性目標以改善汽車之能源效率。

3. 住商部門方面：實施增加能源效率標章的種類、最低的能源效率標準及區域供暖系統。

韓國透過推廣使用天然氣、核能發電及再生能源等方式以推動燃料轉換政策。在推廣天然氣的消費方面：增建新的接收站與全國性的輸氣管線網路。在擴大核能發電計畫方面：韓國規劃16個新的核電廠機組與擴增12個舊核電廠機組，將提升韓國核能發電之比率，從1996年的36%提高到2010年的45.5%。在再生能源方面：韓

國透過再生能源技術開發，預定到2006年再生能源供應量將佔總能源供應量的2%。

韓國亦推動「十年能源技術開發與發展計畫」，將節約能源、再生能源與清潔能源整合成單一系統的能源技術。此外，綜合性的能源技術發展計畫是透過技術開發以促成節約能源。

在降低CO_2排放方面，韓國對於進口之石油產品與液化天然氣課徵關稅，對於銷售煤油、液化天然氣與液化石油氣課徵營業稅。由此能源稅收而設立一個特別的能源專戶，作為節約能源、區域供暖與研究開發計畫之使用。

韓國對能促成節約能源與投資的能源效率技術，乃採取經濟誘因之政策措施。此外，1995年修訂的「能源合理利用法」規定能源供應業必須建立需求面管理（demand side management, DSM）與投資計畫。在1995年修訂的「能源合理使用法」管制下的主要能源供應業，包括韓國電力公司與韓國天然氣公司於1996年後已開始實施需求面管理，以改善能源效率與控制負荷管理。

（二）森林部門

韓國已實施各項保護既有森林和提升碳匯的政策，包括：森林規劃、設定保護區與森林維護及在森林法中明訂森林火災與蟲害之防治，此外，也進行優良品種的造林和再造林。

（三）農牧業部門

韓國已持續實施農業政策與經營行為，並且提供農民減緩CH_4的指導。在畜牧的部份，減緩CH_4排放政策包括抑制腸道發酵和增進有效的肥料管理。

（四）廢棄物管理部門

在廢棄物管理部門，韓國已著手廢棄物減量與資源回收、焚化與掩埋等廢棄物管理措施。為實現系統性的廢棄物管理，1993年韓國實施「整合固體廢棄物管理國家計畫」（National Plan for Integrated Solid Waste Management），期望能有系統地管理固體廢棄物。

二、《議定書》後的政策措施

在《議定書》後，韓國已執行多項政策措施以因應溫室氣體增加，幾乎涵蓋《公約》和《議定書》的所有層面。雖然韓國是一個非附件一的締約國，但已著手進行京都機制的準備工作。在《議定書》後，韓國的因應溫室氣體增加之政策措施，基本目的可歸納如下[4]：

- 鼓勵各部門節約能源，以建立低能源密集的經濟結構，包括工業、運輸業和家庭等部門。此外，同時加速發展低能源密集的產業，例如資訊通訊產業等高科技產業。
- 考量其國內能源消費的趨勢，以便對減緩全球氣候變遷有所貢獻。
- 鼓勵研發溫室氣體排放減量技術，包括新能源與再生能源、中等規模及大規模節約能源技術。
- 在所有部門擴大執行溫室氣體減量方案，包括工業、運輸業、家庭、廢棄物管理業及農業，尤其是建立節約能源的整合管理系統。
- 執行各項支持性計畫與發展國內的溫室氣體登錄制度，以利運用京都機制，例如清潔發展機制（CDM）與排放交易（ET）。
- 加強政府、產業界和非政府組織之間的合作關係，透過提升公眾認知以促進民眾的參與。

以下為韓國因應溫室氣體增加的政策措施：

（一）節約能源和再生能源科技[5]

韓國認為要促進經濟發展，研究發展是不可或缺的，所以研發創新科技的國家計畫便成為執行經濟成長的關鍵環節。尤其是對氣候變遷問題的關注日深，對於低能源密集與環境無害的經濟結構之發展，研發技術策略扮演著最重要的角色。

韓國已制訂為期 10 年的能源科技研發計畫（1997~2006）[4]，著重於三個次部門的 12 項重點科技。這些努力同時也反映在新的減緩氣候變遷行動計畫中，這些計畫非常重視對環境無害的科技。此外，韓國也正在為此類研發工作所推出的新科技以尋求創造市場的有效方式。

在推廣新科技，對於韓國是另一項挑戰，尤其有必要發展研發新科技和再生科技的整合方法，並將這些科技引進日趨自由化的市

場。

各類開展的計畫將作為這些議題的主要工具，例如能源科技發展計畫（ETDP）。此計畫將提供更多的經濟誘因，並增加民眾認知，以進一步排除非技術性障礙。

（二）溫氣氣體減量措施

1. 碳密集度低之能源組合

韓國採取低碳密集的能源組合，其主要策略是發展核能發電與增加液化天然氣使用作為清潔之能源。在核能發電方面，仍持續《議定書》前之政策，以能源供應安全及增進經濟成長為主要考量，至2001年總共有17座核電廠商轉，發電裝置容量高達14,716 MW（瓦），於2001年核能發電佔國內總發電量的39.3%，至2015年將達46%。核能發電被韓國視為減緩溫室氣體增加的可能方法，但未來面臨反核的聲浪是為最大之阻力。[2]

在擴大天然氣使用方面，韓國自1986年起，一直仰賴進口液化天然氣，主要進口國為印尼、馬來西亞及汶萊。1999年之後才開始自中東的卡達與阿曼進口液化天然氣。目前韓國正在增建天然氣接收站與儲存設施。1999年韓國消費的天然氣中47.4%使用於住宅/商業部門，主要用於提供暖氣，另有36.8%使用為發電燃料。[6]韓國於2000年天然氣供應量約佔初級能源供應總量之10%[7]。

2. 工業部門

在傳統上，韓國產業一直處於能源密集的結構，由於此種結構，所以 35%的CO_2排放量是來自於工業界的能源消費。1997 年的金融危機，使得韓國產業的重整，像是資訊科技、生物科技和環保科技等新興科技產業漸趨成長。這些產業日趨茁壯，在韓國產業界中的重要性與日俱增。因此，產業的溫室氣體減量措施也扮演著非常重要之地位，其主要的措施是自願性協議，其中包括能源密集產業與政府簽訂的節約能源與溫室氣體減量自願協議，以及半導體業對PFCs的自願性承諾減量[2]。

此外，韓國的能源合理化政策已經改變能源管理系統的架構。在工業政策方面，韓國有兩大主要挑戰，包括如何加速工業生產過程的“去碳化”（de-carbonization）進度，以及如何確保

的早期進行減量之公司受到保障。

整合能源政策（IEP）計畫是一項結合能源查核、財政/技術支援及國家登錄系統的新制度，是專為因應這些危機而設計的。在第二期的綜合行動計畫的執行期間內，主要的工業排放者將繼續接受能源查核，以確認是否符合溫室氣體排放減量計畫之規定。根據查核報告，在政府財政及技術支援的幫助下，此系統化方式將促成韓國工業生產過程的“去碳化”。

在韓國的量測及認證制度基礎上，各企業於 2003 年的排放減量成果將被記錄在國家登錄系統中。該登錄系統將會保障採取“早期行動”的公司，將他們的減量成果轉換成國內排放交易的初期額度，這項辦法將在第三期綜合行動計畫中提出。

於溫室氣體之長期減量策略方面，在第一期行動計畫中已經提出的自願性協議亦將與登錄系統相連結，並在產業政策中持續扮演首要角色。

3. 運輸部門[4]

運輸部門是韓國目前成長最為迅速的產業，營收的快速成長也伴隨著新的需求。主要困難處在於運輸業的污染物控制缺乏標準測量方法。

韓國運輸計畫的重點在於改進公共運輸基礎建設，例如提高鐵路在運輸上的比例。擴大都市地鐵系統和有效管理鐵路系統，都可能是實用的有效措施。以各項積極支持措施來增加使用壓縮天然氣（CNG）的車輛，也是在運輸部門中促進溫室氣體排放減量的主要方法。

除基礎建設的手段外，韓國也強調“永續的消費型態”，例如推廣輕型汽車（800cc 以下）。有鑑於目前每 4 個韓國人就有 1 人擁有汽車，因此增進消費者認知的必要性日增。

4. 住商部門[4]

在 2000 年，韓國家庭溫室氣體排放量佔總量的 15%。對於住商部門的基本策略是引進建築物的節能和環境友善準則。韓國自 2002 年起已強制要求部份新建築物必須採用隔熱設計。

此外，韓國在 2002 年也將施行“綠建築物認證”，以鼓勵建

造能源效率更高的建築物。2001 年開始推出的建築物能源效率認證，對符合節約能源標準的建築物提供經費贊助。

韓國家電用品的能源效率評比計畫係從 1992 年開始實施。該方案幫助消費者選擇能源效率較高的家電用品，也將促進高能源效率家電的市場有所成長。

5.其他部門[4]

垃圾掩埋場沼氣（landfill gas）的主成份是CH_4，佔韓國溫室氣體排放總量的 4.1%。CH_4的回收計畫將有助於環境保護，並同時對節約能源有所貢獻。由於這些努力的結果，韓國政府計畫於 2004 年在漢城附近建造完成 5000MW的垃圾掩埋場沼氣(Land Fill Gas,LFG)發電廠，而全國 15 個城市的住宅區也將裝設 1MW 的發電機。

韓國的森林管理將以因應全球暖化的觀點加以重新定位，其改變將與土地利用、變更及林業（LULUCF）活動相符合。韓國將持續擴大森林面積等管理措施，例如森林火災的防範、預防枯萎病和避免蟲害。同時為了對全球碳匯的保存有所貢獻，將在其他國家進行海外森林活動的投資，像是中國、印尼與澳洲等。

10.3 政策措施之執行成效

自 1990 年起，由於經濟和能源密集產業結構的迅速成長，韓國的溫室氣體排放量與日俱增。不過長期展望仍相當樂觀，因為韓國的能源合理化政策已開始促進轉型成為較不會製造大量CO_2的經濟體系。然而與工業化國家相較之下，韓國的能源消耗成長率和溫室氣體排放成長率依然居高不下[4]。下表 10.4 所示為韓國之溫室氣體排放趨勢。[4]

韓國溫室氣體之排放趨勢，依溫室氣體類別而言：以CO_2之排放量為最大，1990 年佔 77%，至 2000 年增加為 86.6%。依排放部門別而言：以能源部門為最主要之排放部門，在 1990 年所佔比率為 75.8%，至 2000 年已提高為 82.5%。該部門的主要增加來源是能源轉換（由 15.3%增加至 28.5%）及運輸部門（由 17.1%增加至 19.9%）[2]。

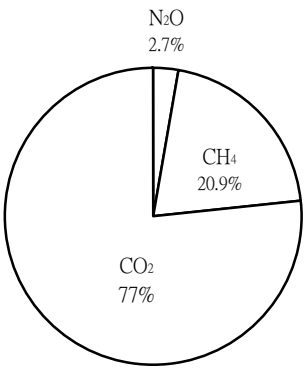
表 10.4　韓國溫室氣體排放趨勢[8]

項目＼年	1990	1995	2000	年平均成長率(%)	
				1991~1995	1996~2000
GDP(USD[a])	340.0	487.2	614.8	7.45	4.77
能源消費(噸石油當量)	93.2	150.4	192.9	10.05	5.10
GHG 排放(噸碳)	83.0	119.5	134.9	7.55	2.46
每一 GDP 之能源消費(噸石油當量/千 USD)	0.046	0.052	0.052	1.349	1.069
每一 GDP 之 GHG 排放(噸碳/千 USD)	0.041	0.041	0.037	1.013	0.516

[a]以 1995 年之匯率換算(1USD=774.7 韓圜)

由圖 10.2 與圖 10.3 顯示，韓國氣候變遷政策的主要目標應著重於化石燃料的傳統能源之效率管理，因此氣候變遷政策與永續能源政策具有共通之處[2]。一般而言，如果沒有一個強而永續的排放減量政策，此種排放成長趨勢將會持續下去。韓國已決心致力於制訂有效的排放減量政策，這也就形成韓國氣候變遷政策第二期的綜合行動計畫的基礎，因此將是創造溫室氣體排放結構改變的轉捩點，並為永續能源制度設計出長期策略的適當時機，以促進韓國經濟成長與全球環保需求之和諧共榮。

（1990 年）　　（2000 年）



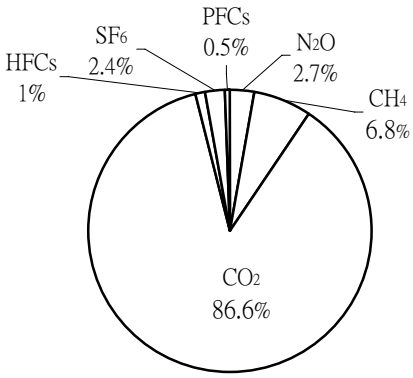


圖 10.2 韓國溫室氣體排放(依氣體別)

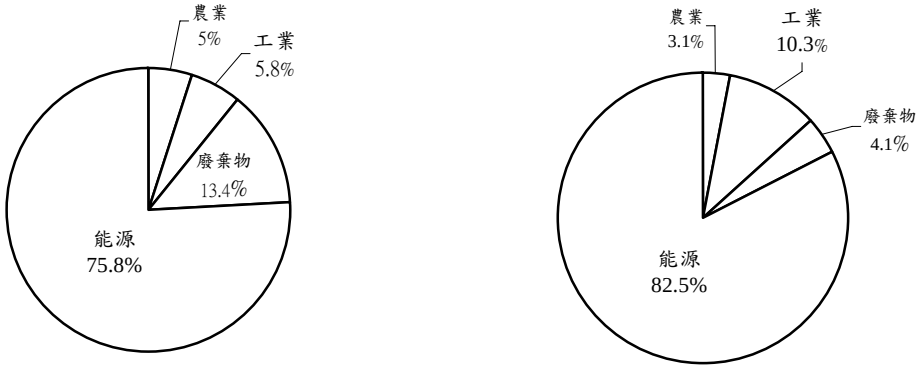


圖 10.3 韓國溫室氣體排放(依部門別)

（一）工業部門

1.自願性協議

韓國自願性協議是經歷一年的個案研究與密集的調查後，在1998年開始通過實施。包括鋼鐵、石化及水泥等能源密集的產業與政府簽訂協議，自願在五年期間減少能源消費與降低溫室氣體排放。第一年共有15家能源大用戶參加，至2000年共有212家廠商參加，2001年參加的公司數量則增至376家，估計這些公司到2005年可以節約能源4.7 百萬噸石油當量，降低溫室氣體排放4.3 百萬噸碳[2][9]。

2.降低半導體業之PFCs

韓國半導體製造業與世界半導體協會簽訂協議，承諾至2010年時將削減其PFCs之使用量比1997年水準低10%。為因應這個承諾，幾個大的公司例如三星、現代已投入大量之技術研發來降低PFCs之排放。同時，政府成立了一個計畫以建立長期的策略，並且擴大其對研究開發之投資。同時韓國正計劃於2003年與主要公司建立夥伴關係簽訂減少PFCs使用之自願性協議。

（二）交通部門

1.燃料效率標章制度

燃燒效率標章制度是提供消費者有關新車燃料消耗之資訊，它能提供消費者不同車款之燃料效率。至2001年獲得標章之車款共有241個。

2.推廣小型車與公共運輸

韓國提供各項誘因鼓勵民眾購買具燃料效率的自用車，包括給予輕型車稅賦減免，提供2%的登記費以取代大及中型車的5%。同時，擴建都會區的捷運系統。

(三)住商部門

為提升所有建築物之節約能源，韓國從1992年開始對超過4百萬kW之建築物實施監測，同時授權予每年使用能源超過2,000百萬噸石油當量之建築物能源管理者，須提報每年之能源消費及節約之成效。韓國自1992年引進能源效率標章制度，涵蓋6種消費性產品，例如冰箱、冷氣機與汽車等，以提升消費者對能源效率之重視[2][11]。

(四)政府部門

透過節約能源以降低溫室氣體，韓國推動政府組織主動進行提升能源效率，以帶動全國節約能源之行動。政府部門主要實施措施包括：實施「能源使用規劃計畫之預先諮詢」與「政府部門的能源節約準則」及鼓勵政府部門使用能源效率電氣與設備[12]。

10.4 執行特色與成效分析

韓國的經濟發展及規模與台灣非常相似，同樣屬於開發中之經濟體，其能源消費趨勢與各項能源措施亦有多處雷同之處，而其政策措施之執行特色與成效因素大致歸納三項：一為明確的溫室氣體因應策略；二為有效的決策與監督機制；三為實施階段式之國家級氣候政策計畫，其說明如下：

一、明確的溫室氣體因應策略

由於韓國為非附件一國家，並無的減量責任。而韓國也沒有採取自願性的減量承諾以作為因應《公約》之目標，其國家所設定的因應

目標是“3E”的調和，透過“能源”（Energy）、經濟發展（Economic development）和環境保護（Environmental protection）的 3E調和以追求永續發展[10]（如圖 10.4），並主動參與全球暖化之減緩，經由溫室氣體的削減來達成 1992 年在里約高峰會議所通過《公約》最終目標。

而韓國在因應《公約》的基本立場與原則包括：

1. 共同但有差異性之責任：就如同《公約》之規定，韓國將基於本身的責任與能力，致力於減緩全球暖化。
2. 政府、產業和民眾的合作關係：韓國降低溫室氣體的政策將透過政府、產業和大眾的合作關係來形成與執行。
3. 涵蓋每一部門之各類溫室氣體：韓國降低溫室氣體的政策將以全部的溫室氣體為目標，不僅包括能源使用的部份，而且包括農業和廢棄物管理等部門的排放。

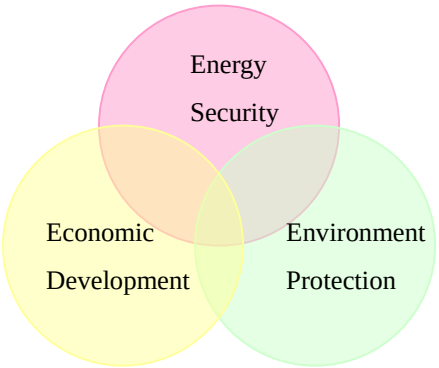


圖10.4 韓國因應氣候變遷目標[10]

二、有效的決策與監督機制

為更有系統的處理《公約》的議題，韓國在 1998 年 4 月成立由總理所領導的《公約》部會間委員會[13]，其成員由相關政府部門、學術界和產業組成，這個委員會有三個層級的會議，包括部長層級、次長層級和工作層級，下設有五個工作分組，包括談判分組、能源與工業部門分組、環境部門分組、農業與森林分組及研究與開發分組。至 2001 年 7 月為協調各工作分組的運作順暢，再新成立規劃與協調分組。此外，各工作分組會延攬民間的專家群以協助工作之推展，這

些民間專家群分成四大專業領域，包括排放交易研究團隊、CO_2研究團隊、CDM/JI研究團隊及溫室氣體排放清冊研究團隊[4]。圖 10.5 所示為其委員會之組織架構。

三、實施階段式之國家級氣候政策計畫

韓國在 1998 年制定綜合性行動計畫，以成本有效的方式以降低能源、工業、廢棄物和農業部門的溫室氣體，並發展各種使用京都機制的方式，包括建立清潔發展制度（clean development system）。韓國便開始積極執行此項計畫，並且每年評估其成效，每三年修訂一次。在 2001 年末，重新修訂此行動計畫，以加強溫室氣體減量的基礎建設和各部門降低溫室氣體的策略。

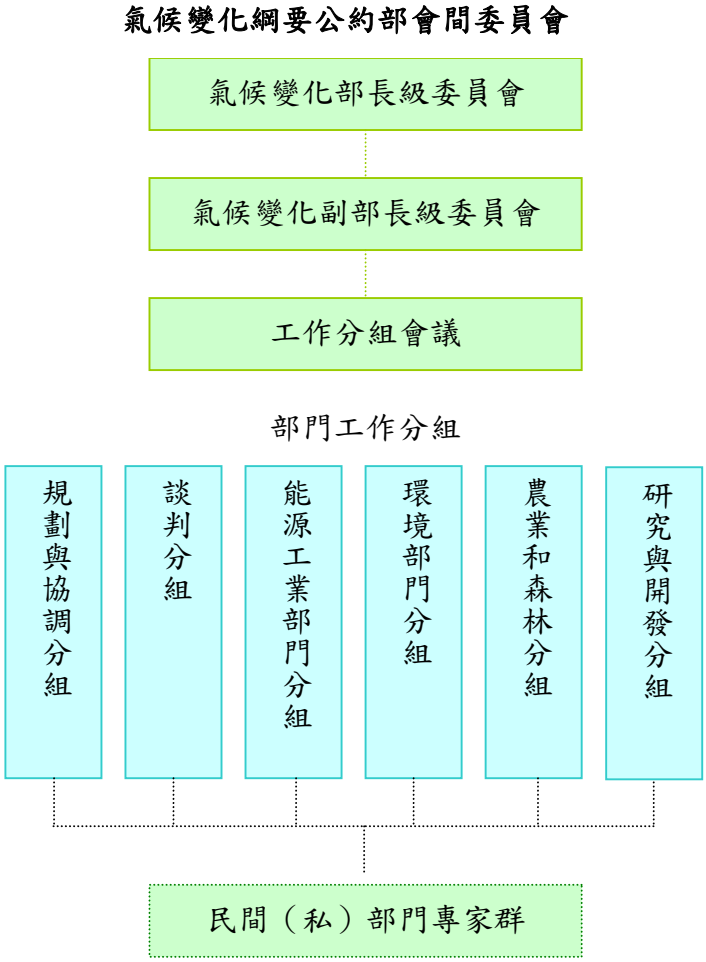


圖 10.5 韓國因應氣候變遷之運作機制[17]

第二期之綜合性行動計畫從 2002 年至 2004 年，其主要目標是致力於工業、運輸及住商等部門之節約能源，以建立低能源密集的經濟架構，同時要加速發展低能源密集產業，例如資訊技術與未來的革新技術。這個計劃也希望能考量國內之能源消費趨勢，透過國際協商來積極參與全球暖化之各項活動，以貢獻氣候變遷之全球努力。第二期之綜合性行動計畫描述如表 10.5〔4〕。

10.5 政策措施之研擬

韓國因應溫室氣體增加之政策如表 10.5 所示：

表 10.5　韓國氣候政策第二期綜合性行動計畫〔16〕

期間	2002~2004 年
監督和評估週期	每年
負責監督和評估的單位	國家政策協調辦公室（Office for National Policy Coordination）
計畫修訂的週期	每三年
執行負責單位	各部會
主要內容	1. 研發溫室氣體減量技術，包括再生能源、中大規模技術。 2. 擴大溫室氣體減量計畫之範圍，包括工業、運輸、住商、廢棄物及農業等部門，透國整合性節約能源管理制度來參與。 3. 透過執行支持性計畫與溫室氣體登錄制度之發展來加速京都機制之使用，例如清潔發展機制與排放交易。 4. 發展政府、產業及非政府組織之合作關係，透過提升公眾意識以促進大眾之參與。

一、國家登錄系統

國家登錄系統的主要目的在於鼓勵企業的早期溫室氣體減量行動提供整合性平台架構，並確保早期行動的排放減量成果可於後續轉換成減量單位。根據韓國的量測及認證協議，近期計畫的結果將予以認證和登錄，在其第二期綜合行動計畫中也將發展此項制度。為確保資訊系統的未來可用性，韓國將採用國際標準格式〔4〕。

二、主辦清潔發展機制

為建立清潔發展機制（CDM）計畫的法律和系統化架構，韓國計畫將設置CDM國家專責機構。該CDM專責機構將有權核准CDM計畫與詳細事項，例如文件記錄和相關專家群所制訂之標準。[4]

韓國為發展及主辦CDM計畫，將會尋求與附件一國家合作進行示範計畫，主要推薦的CDM計畫包括能源效率提升與再生能源[14]。雖然在第七次締約國會議中韓國極力支持單邊的CDM[15]，但目前並無進一步規劃之相關資訊。

韓國目前除致力於宣揚其穩定的金融和政治環境的優點外，其還有例如先進的資訊通訊系統等潛在的商務基礎建設，是有助於外資參與 CDM 計畫。

三、國內排放交易制度之示範計畫

韓國目前正討論企業間的國內排放交易，以作為碳稅的替代方案。近幾年韓國正歷經管制鬆綁及重建的供電市場，它是韓國未來進行示範性國內排放交易制度的第一個部門。石化業、煉油業和鋼鐵工廠的電熔爐將接受審查，成為示範計畫的下一個工業部門。[4]

四、教育與公眾認知

為促進大眾對全球暖化的認知，韓國正考慮採取各項措施，例如對學生施以相關教育、設立專門探討氣候變遷的研究所及與民間企業建立合作關係。目前已完成涵蓋氣候變遷內容的教科書，並分發給全國的在學學生。為增進對氣候變遷相關議題的瞭解，國小、初中及高中課程將會包含氣候變遷教育。

韓國未來將選定並管理一間專門探討氣候變遷的研究所，以促進學界對氣候變遷議題的瞭解，並訓練此領域的專家。目前正在就專門研究所的選定與政府相關部門進行磋商，例如教育暨人力資源部、規劃與預算部。

透過建立產業界與地方政府之間的合作關係，韓國未來將尋求與民間企業一同努力以因應氣候變遷的問題。區域性的二十一世紀議程（Regional Agenda 21）係地方政府、當地居民、公司和民間組織之間的一種獨特合作計畫，韓國目前有 223 個地方政府正在執行當中，截至 2002 年六月為止佔地方政府總數的 90%。該項計畫會發送當地的溫室氣體減量活動準則，同時也會為當地居民提供教育。

參考文獻

1. IMF, World Economic Outlook: Fiscal Policy and Macroeconomic Stability, International Monetary Fund,2001.
2. MOCIE , Korea's Climate Change Policy in the Energy and Industrial Sector, Ministry of Commerce, Industry, and Energy, ROK,2002.
3. ROK, National Communication of the Republic of Korea, 1998 Submission of the ROK Under the United Nations Framework Convention on Climate Change,1998.
4. ROK, Korea’s 2nd Comprehensive Action Plan for Climate Change Policy（2002-2004）, Inter-Ministerial Committee on Climate Change, ROK,2002.
5. KEMCO, R&D Policies on Energy Technology in Korea, Korea Energy Management Corporation, Korea,2002.
6. APERC , Industrial Sector Natural Gas Use: A Study of Natural Gas Use in Industrial Sector In APEC Economies, Asia Pacific Energy Research Center, Tokyo,2002.
7. DOE , South Korea Country Analysis Brief, Department of Energy, USA,2003.
8. KEEI, Yearbook of Energy Statistics, Korea Energy Economics Institute,2002.
9. KEMCO , The 1st Voluntary Agreement in Non-Annex I Countries, Korea Energy Management Corporation, Korea,2002.
10. KEMCO, Korea’s Efforts to Harmonize Energy, Economy and Environment, Korea Energy Management Corporation, Korea,2001.
11. KEMCO, Korea is One of the Leading Countries in adopting Integrated Energy Supply, Korea Energy Management Corporation, Korea,2002.
12. KEMCO, Public Institutions Are Leading a Nation-wide Energy Conservation Drive, Korea Energy Management Corporation, Korea,2002.

13. United Nations, 2002 COUNTRY PROFILES SERIES: Johannesburg Summit 2002 - REPUBLIC OF KOREA COUNTRY PROFILE,2002.
14. KEMCO, Potential Clean Development Mechanism Project in Korea, Korea Energy Management Corporation, Korea,2002.
15. MOE , Statement by Head of the ROK Delegation at the 7th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Marrakesh, Morocco, November 2001.
16. KEMCO, KEMCO's Activities on Energy Efficiency and CO_2 Reduction,2002.
17. Inter-Ministerial Committee on Climate Change, Korea's 2nd Comprehensive Action Plan for Climate Change Policy, ROK, June2002.

第四篇 我國現行對溫室氣體增加之因應措施分析

本篇章節：

第十一章　CO_2管制策略分析

第十二章　非CO_2溫室氣體排放減量策略分析

第十三章　含氟溫室氣體管制與因應策略分析

第十四章　土地利用管理對碳匯之影響分析

第十一章　CO_2管制策略分析

我國為因應《公約》與《議定書》等國際協定，行政院於 1992 年 5 月成立跨部會「全球環境變遷工作小組」，此為部長層級之事務推動工作。行政院於 1994 年 8 月進一步將此小組提升為「全球環境變遷政策指導小組」，其下設有「氣候變化綱要公約工作分組」。近年來全球永續發展進展快速，我國為掌握國際契機與統合國內永續發展相關事務，1997 年 8 月將原政策指導小組擴升為「國家永續發展委員會」，其下設有「大氣保護與能源工作分組」，負責「蒙特婁議定書」與《公約》事務之推動，1999 年更將該委員會提升為由副院長層級擔任主任委員。2002 年「國家永續發展委員會」重新劃分工作分組，下設有「國際環保工作分組」，負責國際環保公約的組織事務，亦包括《公約》事務的推動。由上述發展可顯見我國政府因應《公約》的重視與推動決心。

11.1 經濟發展與能源消費

溫室氣體排放與能源使用息息相關，我國自產能源少，絕大多數能源需仰賴進口，2002 年我國能源之供應結構，其中以進口石油佔 49.26%、煤炭佔 33.1%及天然氣佔 7.57%（包括液化天然氣），亦即石化燃料佔能源供應的 89.93%[1]。在既有產業之能源使用架構下，面臨CO_2排放減量與產業競爭力之雙重壓力，此為我國溫室氣體減量困境之一。

估算我國人均CO_2排放量[2]，1990 年約 5.57 噸、1995 年約 7.59 噸及 2000 年約 9.83 噸，年平均成長率約 7.5%，因此我國經濟仍屬新興發展階段。若要我國仿效附件一國家在 2010 年將CO_2減量至 1990 年水準，則減量幅度將高達 227% ，如此將對我國經濟發展產生莫大之衝擊，且亦違反《公約》之公平原則，此為我國面臨溫室氣體減量困境之二。

加上我國地窄人稠，山坡地與高山地區佔全島的 74% ，多數人口與工廠位於僅佔 26% 的平原區，各項「環境負荷」指標高居全球前幾名，此為我國面臨溫室氣體減量困境之三。

儘管如此，我國為因應《公約》與《議定書》之發展，並兼顧經

濟發展、能源穩定及環境保護之政策，於 1998 年 5 月召開「全國能源會議」，探討《公約》發展趨勢與因應對策、能源政策與結構調整、產業政策與結構調整及提升能源效率與科技發展等議題。會議中達成我國因應《公約》之立場與規劃減量目標之初步構想。

台灣的經濟發展從二次大戰以來，歷經農業、輕工業、重工業及科技產業四個階段，創造台灣地區經濟奇蹟。1966 年至 2000 共 35 年間我國經濟成長率，除 1974、1975、1982、1985 及 1998 等 5 年低於 5%外，其餘均介於 5.39~13.59%。近年來工業發展趨緩，工業結構轉向半導體與通訊等高科技產業為主，且服務業產值亦逐年增加，2002 年時已佔GDP之 67.1%[1]，顯示我國逐步邁向已開發國家之產業型態。

2000 年台灣能源供應量約為 10,504 萬公秉石油當量，其中石油能源佔 50.%、煤炭佔 31.1%、核能佔 9.1%、天然氣（含液化天然氣）佔 6.8%及水力佔 2.1% ，而進口能源佔總能源 97%以上；能源消費則約為 9,064 萬公秉油當量，其中工業部門佔 48.4%最多，運輸部門佔 16.3%、住宅部門佔 12.4%、商業部門佔 5.9%及農業部門佔 1.6%[3]。圖 11.1 與圖 11.2 所示為我國能源供應與消費結構。

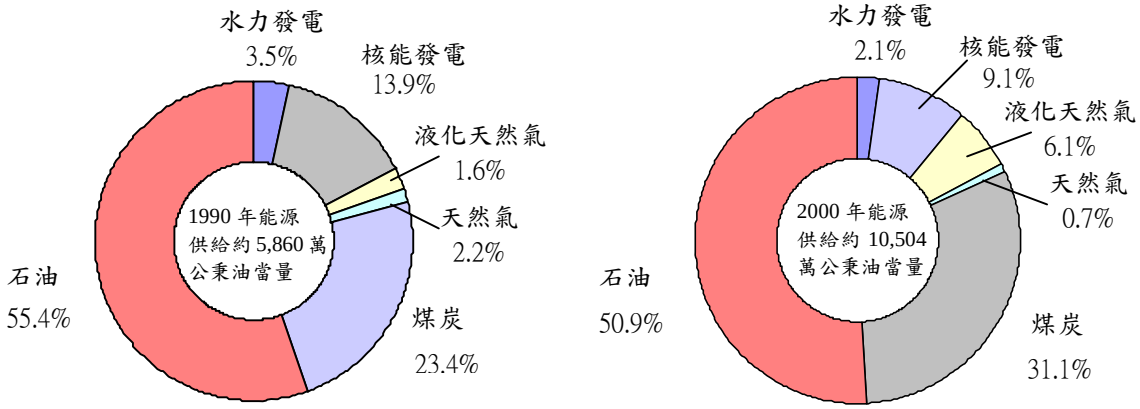


圖 11.1　我國能源供應結構(1990 及 2000 年)

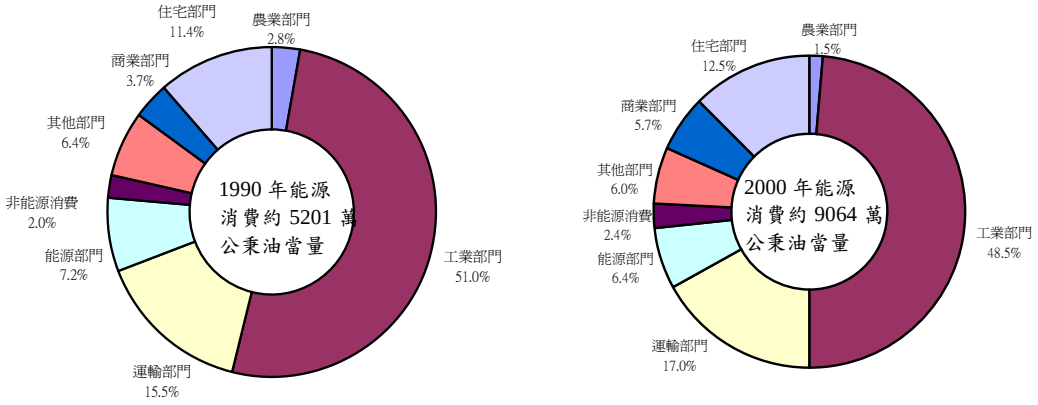


圖11.2　我國能源消費結構(1990與2000年)[3]

11.2 我國溫室氣體排放

人為的溫室氣體排放與各類工商活動息息相關。台灣是全球第十四大貿易出口國[4]，大量的貨品在此製造外銷，例如筆記型電腦、主機板、晶圓代工等資訊產品，皆是全球最大生產國，因此也是台灣溫室氣體排放持續成長的主因之一。以 2000 年為例，各溫室氣體總排放量（不計LUCF所吸收之CO_2量）已達 271.6 百萬噸碳當量，人均溫室氣體排放量為 12.23 噸，其中以CO_2佔絕大部份，約佔總量的 88%；其次分別依序為CH_4的 4.6%與N_2O的 4.3%。若以部門別分類，以能源部門為最大宗，約佔總排放量的 85.8%，其次分別依序為工業製程部門的 6.5%與農業部門的 4.5%[5]。

根據國際能源總署(IEA)的統計[6]，台灣於 2000 年由燃料燃燒所排放的CO_2總量為 215.26 百萬噸，居全球第二十二名；人均CO_2排放量為 9.69 噸，居全球第二十四名。然若以人均總初級能源供應(TPES)為例，台灣每人為 3.74 噸石油當量，居全球第三十一名。這似乎表示台灣的低碳與無碳能源使用比例偏低，因為人均CO_2排放量排名比人均總初級能源供應的排名高。若以每單位GDP之CO_2排放量衡量，台灣為 0.63（公斤 CO_2/ 1995 年美元貨幣價）、新加坡為 0.37、日本為 0.2、瑞士為 0.12、瑞典為 0.19 及韓國為 0.7，因此台灣尚有改善的空間。

台灣 1990 年的CO_2總排放量為 132.5 百萬公噸，至 2000 年增加為 238.9 百萬公噸，增幅達 80.3%。由表 11.3 顯示能源部門增加 89.9%，而工業製程部門則減少 20.6%。

表 11.1 我國於 1990～2000 年各溫室氣體排放量[5]

（不含LUCF吸收CO_2） 單位：千噸CO_2 當量

氣體 / 年	CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	Total*
1990	132516.25	13928.67	13999.60	–	–	–	160444.52
1991	140968.32	15116.43	14886.20	–	–	–	170970.95
1992	151272.04	17575.32	14827.30	702.00	–	–	184376.66
1993	164235.44	18821.88	15190.00	1638.00	–	–	199885.32
1994	173336.51	20043.87	15543.40	1521.00	–	–	210444.78
1995	179410.03	17995.95	15500.00	1755.00	–	–	214660.98
1996	189556.52	18292.68	15927.80	2808.00	–	–	226585.00
1997	203435.67	19193.58	14064.70	3276.00	–	–	239969.95
1998	216086.44	19312.44	13649.30	17442.00	536.00	61.38	267087.56
1999	218131.70	20160.21	13528.40	16726.00	1310.00	98.91	269955.22
2000	238935.97	12499.20	11739.70	5612.00	2721.00	114.37	271622.24

表11.2 我國於1990～2000年各部門溫室氣體排放量[5]

（不含LUCF吸收CO_2） 單位：千噸 CO_2 當量

部門 / 年	能源部門	工業製程部門	農業部門	廢棄物部門	總排放量
1990	123108.11	11734.92	15398.25	10203.03	160444.52
1991	132724.91	10666.01	16387.37	11191.61	170970.95
1992	140630.58	13921.11	16189.27	13635.49	184376.66
1993	151683.07	16924.09	16497.38	14779.52	199885.32
1994	161577.35	16186.72	16783.23	15897.27	210444.78
1995	168244.34	16088.52	16728.98	13598.93	214660.98
1996	178506.50	17148.69	17124.71	13801.95	226585.00
1997	191938.99	18438.68	14865.80	14726.48	239969.95
1998	206911.60	31201.40	14194.21	14780.14	267087.56
1999	210318.40	30051.61	14107.50	15477.50	269955.22
2000	232947.26	17741.88	12196.02	8737.08	271622.24

表 11.3 我國各部門CO_2排放量(1990～2000 年)

單位：千噸

部門 / 年	能源部門	工業製程部門	土地利用變更與造林	總排放量（扣除碳匯集）	總排放量（未扣除碳匯集）
1990	120,969.06	11,547.19	-17,896.06	114,620.19	132,516.25
1991	130,500.97	10,467.35	-18,037.73	122,930.59	140,968.32
1992	138,232.78	13,039.26	-18,130.67	133,141.37	151,272.04
1993	149,136.03	15,099.41	-18,430.58	145,804.86	164,235.44
1994	158,842.81	14,493.70	-20,347.67	152,988.84	173,336.51
1995	165,277.69	14,132.34	-20,302.25	159,107.78	179,410.03
1996	175,426.10	14,130.42	-20,207.15	169,349.37	189,556.52
1997	188,508.48	14,927.19	-20,295.55	183,140.12	203,435.67
1998	203,149.14	12,937.30	-20,333.93	195,752.51	216,086.44
1999	206,385.60	11,746.10	-20,437.23	197,694.47	218,131.70
2000	229,764.14	9,171.83	-20,447.11	218,488.86	238,935.97

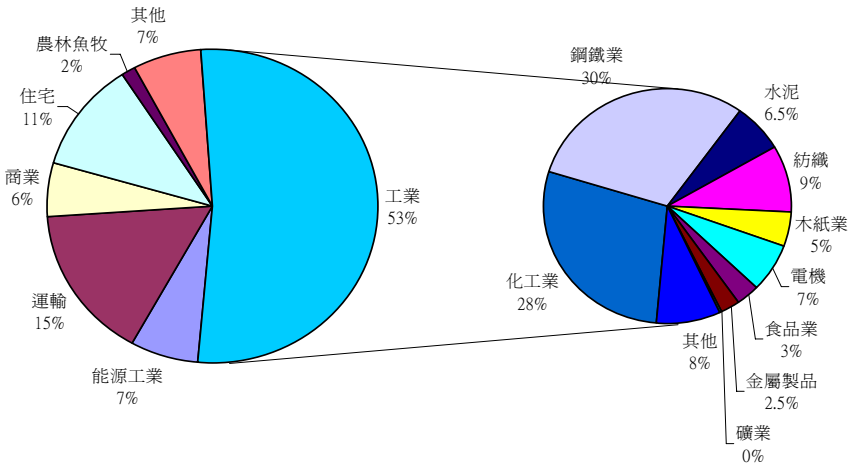


圖 11.3　2000 年能源使用排放CO_2結構

11.3 我國因應溫室氣體增加的政策措施

我國雖非聯合國會員國，目前也無法簽署《公約》，但身為地球村成員，為善盡地球環境保護之責任，我國將依據《公約》之「共同但有差別責任」精神，推動各項「無悔政策」。本文將依據《公約》秘書處所提「政策措施之良好作法」(good practices in policies and

measures)之架構，並配合IPCC的排放源分類方式以進行分析各部門之減量措施，包括：能源（包含電力、住商、運輸及工業等次部門）、工業製程、農業、土地利用變化與林業及廢棄物等部門。

一、能源部門的減量措施

在電力（能源轉換）、工業、運輸及住商等部門大力推動節約能源及提升能源效率等措施下，短期目標預估 2002 年至 2007 年累積節約能源量為 8.2 百萬公秉石油當量，能源生產力（元/石油當量）提高 7.4%。長期目標至 2020 年累積節約能源量 41.9 百萬公秉石油當量，能源生產力提高 28%[7]。

（一）電力（能源轉換）部門的主要措施：

1. 提升電廠發電機組效率

提高新設機組熱效率，並建立新火力發電機組熱效率指標。在 2002 年的平均效率為 36.24%，預計 2010 年將提高為 43%，2020 年將達 45%。新火力發電機組熱效率指標如下：燃煤慣常火力機組 38%、流體化床燃燒機組 42%、煤炭氣化複循環機組 43%及複循環機組 55%。預計至 2002 年累計節約量為 623 萬公秉石油當量。

2. 提升輸配電效率

改善電網結構、減少輸配電線路損失、減少電壓變動率及妥善規劃運用靜電電容器，以提高功率因數。2002 年台電公司輸配電路線損失為 5.68％，預計至 2010 年降為 5.5％，可累計節約 134 萬公秉石油當量。

3. 持續執行「推動汽電共生系統推廣辦法」

以保證價格收購民間剩餘電力，截至 2002 年底，合格汽電共生裝置容量達 589 萬 kw，佔電力系統總裝置容量 15.6%。預計到 2002 年累計節約量為 178 萬公秉油當量。

4. 積極推動電力需求面管理

目前實施負載管理的措施包括：時段電價、季節電價、儲冷式中央空調、中央空調暨箱型冷氣暫停用電。負載管理過去五年平均每年減少尖峰用電 17 萬 kw，預估未來 5 年，每年可減少用電 12 萬 kw。另外，透過節約用電宣導措施，

每年可降低 5 萬 kw。未來應針對電力需求面管理制度進行全面之規劃研究，妥善建立我國電力需求面管理制度之基礎架構，以達到配合全面節約能源措施之規劃，並建全我國電力市場節能機制，促進電業合理經營、減少電力尖峰負載、減緩新建電廠壓力及達成降低溫室氣體排放之目標。

5. 發展再生能源

政府於 2002 年 1 月頒佈「再生能源發展方案」，並規劃中長期（2010~2020 年）目標，預計再生能源發電量將成長三倍而達 650 萬 kw，並佔總發電量 12%以上。其中包括太陽光電 100 萬 kw、風力發電 150 萬 kw、生質能發電 135 萬 kw、地熱發電 15 萬 kw 及水力發電 250 萬 kw。

為達上述目標，具體措施包括：制訂「台電公司收購再生能源電能」與「台電公司再生能源發電併聯技術要點」，並以保證價格收購再生能源電力；並依「風力發電示範系統設置辦法」以獎勵補助，最高可達設置成本的 50%；依「太陽光電發電示範系統設置辦法」以獎勵補助，最高可達設置成本的 50%；依「一般廢棄物掩埋場沼氣發電獎勵執行要點」，係由空氣污染防制費與能源研究發展基金給予發電補助。

此外，也將補助政府機關、學校及民間設置再生能源設施，以及設置風力發電示範廠、太陽光電示範系統與陽光示範電廠。並協助開發高效率、低成本、量產技術及穩定供電技術，以利再生能源之開發利用[8]。

6.大力推廣天然氣之使用

為鼓勵使用低碳燃料，天然氣進口關稅由 3%降為 0%，貨物稅也減半徵收。預計提高天然氣發電之比率，至 2007 年將佔全系統之 35%。而天然氣的總使用量也將由 1997 年的 348 萬噸，增至 2010 年的 1,300 萬噸與 2020 年的 1,600 萬噸。

(二)工業部門的措施

2000 年工業部門能源使用量佔總能源消費之 48.5%，其中能源密集工業(含紙漿、紙及紙製品製造業、化學材料製造業、非金屬礦物製品製造業及金屬工業)之能源耗用量即佔工業部門能源消費之 65.5%。因此減緩CO_2排放最有效之方法，即為調整我

國的工業發展政策，鼓勵發展高附加價值、低耗能及高科技產業，並鼓勵國內傳統產業升級，利用高科技技術提升產品附加價值，其減緩CO_2排放對策如下[7]：

1. 建立新設廠能源效率指標

分期訂定新設能源密集產業之能源效率指標與引進高效率技術，並建立新設廠能源效率審核許可制度，預期至 2020 年累計節約能源可達 437 萬公秉石油當量。主要項目如下：

- 訂定產品耗能指標：包括鋼胚、聚乙烯、水泥及紙聚酯棉等 100 項。
- 訂定設備效率指標：包括發電機組效率、鍋爐及電弧爐等 25 項。
- 提高電動機效率指標 5%。
- 修訂鍋爐效率標準 87~93.5%。
- 增訂空調冰水主機之效率標準 EER3.5 至 4.77。

2. 實施能源查核制度

查核國內前一百大能源用戶（能源消費佔全國 26.4%）與能源效率偏低用戶限期改善，並輔導 2800 家能源大用戶訂定節約能源目標及執行計畫，預期至 2020 年累計可提高產業能源使用效率 445 萬公秉石油當量。

3. 推動產業自發性節約能源行動計畫

輔導鋼鐵業、石化業、水泥業、造紙業及人纖業加強推動節約能源計畫，以提高能源效率並降低生產成本，預期至 2020 年累計可節約能源 190 萬公秉石油當量。並已於 1999 年 6 月完成五大產業各廠能源使用、能源效率、CO_2排放資料庫架構及基期資料之建構。

4. 提升能源設備效率標準

提高電動機、鍋爐及產業冷凍空調等能源設備之耗用能源效率標準，並建立檢測與執行體系。於 1999 年 12 月完成修訂三相電動機效率國家標準提高 5%以上；2002 年 1 月實施新標準檢驗，效率提高至美國與加拿大的標準，並以兩年

緩衝期輔導業者改善生產技術；2001 年增(修)訂鍋爐與產業冷凍空調能源效率標準；2003 年實施新能源效率標準檢驗。

5. 擴大實施節約能源之獎勵優惠

對「公司購置節約能源設備或技術適用投資抵減辦法」所規定之抵減率由 5~15%提高為 10~20%；將節約能源設備或提供節約能源工程及技術之投資計畫，納入「重要科技事業屬於製造業及技術服務業部份適用範圍標準」;運用中長期融資輔導既有產業更新汰換設備；將能源效率納入重要產業租稅金融優惠及獎勵輔導審查項目；節省能源機器設備適用兩年加速折舊之租稅減免。

6. 節約能源技術服務

提供中小企業節約能源技術諮詢、診斷、檢測、評估規劃設計、改善工程協助及引進技術等輔導，建立節約能源服務業（ESCO)，以逐步改善工廠操作效率與能源使用效率。從 1983 年至 2002 年，累計服務 7000 餘家，平均每年 150 餘家，預期至 2020 年累計可節約能源 250 萬公秉石油當量。其他具體輔導措施包括：提供中小企業節約能源技術輔導並協助辦理融資貸款與技術；完成規劃國內節能服務業之市場與制度，配合能源查核限期改善工作，協助民間建立節約能源服務業等。

(三)運輸部門努力的項目[2][7]：

1. 增訂汽機車與漁船引擎耗能標準

分期修訂提高小客車及機車耗能標準，至 2010 年提高 5~10%；至 2020 年小客車提高 20%，機車提高 30%。不符合標準者不准進口或出售，預期至 2020 年累計可節約能源 179 萬公秉石油當量。

2. 推動採用省能交通工具

加速淘汰老舊車輛與推廣替代能源公車，補助天然氣公車/計程車與研發混燃式汽車引擎。另於行政院成立「燃料電池推動小組」擬定我國發展策略；輔導民間成立「燃料電池夥伴聯盟」，發展燃料電池機車；辦理推動燃料電池發展及應用科技計畫；辦理推動燃料電池電動機車商業化發展

方案。預期至 2020 年累計可節約能源 83 萬公秉石油當量。

3. 健全大眾運輸系統

興建高速鐵路，興建都會區大眾捷運系統，提升台鐵服務品質。預期至 2020 年累計可節約能源 74 萬公秉石油當量。其中預定於 2005 年 12 月完成高速鐵路建設，於 2017 年將完成高雄都會區大眾捷運系統興建。

4. 推動汽燃費改隨油徵收

目前汽車燃料費採隨車徵收方式，無論使用多少燃料，都繳交固定燃料費，無法落實使用者或污染者付費的原則。改由隨油徵收後，以經濟誘因來控制汽車燃料使用，預計每年可節省能源 196 萬公秉油當量。

5. 實施運輸系統管理策略

推行高速公路匝道儀控及高承載管制策略，降低全年高速公路小型車旅次；推動建置電腦化號誌系統，減少行車能源消耗量。另推動 LED 交通號誌燈，約可省電 89%；貨車加裝導風版，約可省油 10%。預期至 2020 年累計可節約能源 30 萬公秉石油當量。

6. 發展智慧型運輸系統

發展電子自動收費系統，以減少車輛繳費延滯，減低每車通過收費站之汽油消耗；發展公車優先號誌系統，提高公車行駛速率與營運效率，促進公車班次成長，預期至 2020 年累計可節約能源 126 萬公秉石油當量。於 2002 年開始全面建置電子自動收費系統，至 2016 年 12 月完成；2003 年起擴大實施公車優先號誌系統。

(四)住商部門的措施[7]

1. 提高用電器材效率標準

提高用電器材效率標準，不符合標準者，不准進口與銷售。分階段提高冷氣機 EER 由 2.27 至 2.38；電冰箱 EER 由 7.1 至 8.04；螢光燈由 68 至 75 流明/瓦；空調冰水主機 EER 由 3.3 至 4.77；單相感應電動機由 0.63 至 0.68；三相感應電動機由 0.79 至 0.86，預期至 2020 年累計可節約能源 336 萬公

秉石油當量。

2. 購置節約能源或潔淨能源設施適用投資抵減辦法

依「促進產業升級條例」，修訂「公司購置節約能源或利用新及潔淨能源設備或技術適用投資抵減辦法」，將購置高效率電器設備納入相關投資抵減辦法之適用範圍。

3. 重點用戶服務推廣

針對百貨量販店、連鎖便利商店、醫院及旅館等能源大用戶加強宣導，並訂定耗能指標如下：百貨公司為 392 度/m^2(111W/m^2)；量販店為 348 度/m^2(72W/m^2)；連鎖便利商店為 1757 度/m^2(382W/m^2)；醫院及旅館為 230 度/m^2(45W/m^2)。

4. 推動節能標章與綠色採購

宣導消費者優先選用節能產品，推廣國際能源之星(Energy Star)標章，建立消費者團體參與評估之機制。並引進建築物節能技術，推動大樓內照明、空調、機電設備及辦公室設備等能源效率改善方案，以作為我國推動商業大樓節約能源示範大樓。此外，推動環保標章與政府機關落實綠色採購，並逐年提升採購規模與比例[9]。

5. 建立建築能源總量管制制度

逐年對各類型建築耗能資料進行調查與分析；完成商業與住宅、百貨公司、飯店及醫院等建築用電耗能資料之調查分析，以擬訂各類建築物之用電耗能基準與改善對策；依據用電耗能調查之研究成果，評估將時段差別電價制度推廣至住宅與商業部門，以達成有效管制建築物使用階段的合理用電耗能量之可行性。

6. 推動綠建築[8]

(1)加強建築外殼耗能指標

擴大七類建築之建築外殼耗能指標(ENVLOAD)管理基準；規劃建材性能檢測機制之試驗方法與實驗設施，逐步建立建材性能檢測認證機制，預訂自 2003 年起由目的事業主管機關開始對建築材料實施檢測，據以擴大推動建築節約能源政策。完成建築外殼耗能材料標準，建置「建築

構造體熱取得率量測實驗室」，規劃建材隔熱性能檢測分析方法及未來實施檢測之機制，以擴大新建建築物推動節約能源設計之成效。

(2)新建築須符合綠建築規定

研修「建築技術規範」，強制規定一定規模以上之新建公有建築物，須符合指標規定始能興建。並辦理綠色建築與學校改建計畫，建立各學校改造示範案例。

(3)建立營建廢棄物回收再利用機制

研訂各種營建再生材料品質標準規範，以及研訂「營建事業廢棄物再利用管理辦法」等相關規定，推動營建資源再生利用，獎勵輔導營建再生建材，以提高再利用比率，並減少水泥等建材的使用。

（五）加強能源科技發展與善用政策措施

1. 加強能源科技發展

能源基金於 5 年內籌撥 100 億元，作為推動節約能源、提升能源校率及研發推廣清潔能源之用。並規劃跨部會能源科技長期發展計畫，於 2020 年新能源及潔淨能源達總能源之比率為 10%(不含新能源利用時為 7.8%；不含新能源利用與水力發電能源則為 5.2%)作目標，進一步規劃實際可行之能源比率以 3%(不含新能源利用及水力發電能源)為目標。從綠色環保與永續發展觀點制定政策與建立制度，並以工程、經濟與法規和環境三因子評估技術發展之可行性[2]。

2. 善用能源政策措施

檢討能源價格與稅率制度，以合理反映產業成本與社會成本。修制定電業法、石油管理法及溫室氣體排放管制法，以配合電業與石油業自由化方案，並掌控溫室氣體排放確實符合法令要求。

透過補助、租稅獎勵及收購電力等措施，加強再生能源之開發利用。已研訂並公告施行「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」、「風力發電示範系統設置補助辦法」、「太陽光電發電示範系統設置補助辦法」、「促進產業升條例」租稅抵減與加

速折舊、「公司購置節約能源或利用新及淨潔能源設備或技術適用投資抵減辦法」、「一般廢棄物掩埋場沼氣發電獎勵執行要點」及以汽電共生購電費率收購再生能源電力等法令[7]。擴大天然氣之使用所採取租稅優惠措施包括：液化天然氣與氣態天然氣之關稅由現行 3%調降為零，貨物稅已減半徵收；工業用戶改用天然氣為燃料者給予免繳空污費之優惠。

二、工業製程、溶劑及逸散性排放的減量措施

工業製程排放之溫室氣體來自許多不同工業的生產過程，其主要排放源為工業製程中之化學或物理變化所產生，經過這些過程會有不同種類的溫室氣體排放。使用溶劑產品會因蒸發而使非CH_4揮發性有機物(NMVOC)逸散至大氣中。依據我國 1990~1999 年 6 部門溫室氣體排放資料顯示，工業製程排放CO_2、鹵烴與SF_6及NMVOC等溫室氣體量較大；其餘CH_4與N_2O之排放量皆低於總排放量 1%以下。CO_2是由製程產生，鹵烴類來自使用含該類物質產品之故。因此工業製程與溶劑等部門之減量措施，分別可由生產面與消費面共同執行。具體措施如下：[2]

(一)固定污染源管理

1. 重大開發行為之環境影響評估審查中應增列CO_2增量項目。
2. 管制揮發性有機物(VOC)，加強研究各行業別製程有機廢棄減量技術開發及低揮發性有機物，並加強紅外線遙測與監督，以進行列管石化廠揮發性有機物減量及追蹤查。
3. 獎勵固定污染源減少揮發性有機物及氮氧化物排放。
4. 補助並要求加油站設置油槍油氣回收設備。

(二) 環境管理

1. 配合環境管理標準之發展，制定對應之環境管理國家標準。
2. 建立與國際接軌之認證體系，健全發展國內環境管理制度。
3. 建立評估技術與資料庫，以協助產業落實環境管理工作。
4. 宣導綠色消費理念，推動環保標章制度。

(三)清潔生產與綠色產品

1. 清潔生產：

建立污染預防推廣計畫，並協助發展清潔生產技術；宣導清潔生產理念，加強訓練相關人員；輔導產業降低溫室氣體排放，協助開發溫室氣體排放減量技術；輔導產業落實工業減廢，提升製程效率；鼓勵中小型企業實施清潔生產。

2. 綠色生產

建立「生命週期評估」技術與資料庫，以協助產業推動為環境而設計的產品開發工作；獎勵與輔導產業生產環境友善的綠色產品；檢討與發展綠色產品要求規格標準；持續推動環保標章制度，並加強追蹤考核工作；持續推動環保標章產品國際交互認證；推動政府綠色採購，全面推廣至各大企業及獲得ISO驗證之廠商，以擴大綠色產品之需求面〔9〕。

11.4 結語

雖然台灣目前並無溫室氣體減量的責任，然而國際局勢詭譎多變，將來有可能會要求台灣承擔減量的責任，而減量工作並非一蹴可及，因此台灣應該及早提出因應對策。

有鑑於此，近年來政府正積極推動因應溫室氣體增加的政策。例如去年通過「再生能源發展方案」，今年更提出「再生能源發展條例草案」，提高其位階以增加效力。此外，行政院永續發展委員會也提出「永續發展行動計畫」，內容涵蓋提升能源效率、節約能源、再生能源、綠建築及教育宣導等計畫，並定期追蹤各項計畫的執行進度。日前更發出首張風力發電廠執照，預計近期內將有多家業者跟進〔10〕。在減少溫室氣體排放之行動上，台灣已經往前邁開大步。

參考文獻

1. 經濟部能源委員會，中華民國 91 年 能源統計手冊，2003 年。
2. 行政院環境保護署，中華民國聯合國氣候變化綱要公約國家通訊，2002 年。
3. 經濟部能源委員會，台灣能源統計年報（2002），2003 年。
4. 行政院主計處，主要國家重要社經指標（2002），2003 年。
5. 行政院環境保護署，2000 國家通訊編撰計畫，九十年度期末報告，2001 年。
6. IEA , Key World Energy Statistics from the IEA（2001),2002.
7. 經濟部能源委員會，推動省能節約用電及再生能源報告（在行政院國家永續發展委員會第十六次委員會議報告之書面資料），2003 年。
8. 行政院國家永續發展委員會，永續發展行動計畫，2002 年。
9. 行政院國家永續發展委員會，第十五次委員會議議案，2002 年。
10. 中國時報，德商英華威取得首張風力電廠執照，九十二年七月九日，B2 版，2003 年。

第十二章　非CO_2溫室氣體排放減量策略分析

前篇第六~十章分別敘述工業國家因應溫室氣體增加之政策措施，並選擇具代表性的國家，如簽署《議定書》之附件一國家（日本與英國）、拒絕簽署《議定書》的附件一國家（美國）及非附件一國家（韓國），深入說明其在因應《公約》及《議定書》的政策措施，由以上國家分析可知，大多國家主要減量的對象為能源部門，規劃減量標的溫室氣體以CO_2為主。而根據《公約》秘書處統計指出：附件一國家第三次國家通訊所提的政策措施中，以能源部門中能源使用、轉換及交通部份佔大多數，但是在附件一國家中，針對非CO_2溫室氣體（Non CO_2 Greenhouse Gases，NCGG；指《議定書》附件A中包括CH_4、N_2O 、HFCs、PFCs及SF_6等五種溫室氣體）的減量措施有實質的成效貢獻。根據本研究統計，英國於 2001 年相對於基準年（CO_2、CH_4及N_2O基準年為 1990 年，HFCs、PFCs及SF_6基準年為 1995 年）的總溫室氣體排放減量達 93884.8 千噸 CO_2 當量，其中NCGG減量為 62237.3 千噸 CO_2 當量，佔總減量的 66.3%。各國擬定的政策措施比較偏向能源部門，主要的原因是能源部門的統計資料較完整，而且各國在能源技術和能源經濟方面著墨已久，相關的減量技術與成本皆已進行統計評估，所以擬定相關政策措施比較沒有問題；但就減量成效而言，卻普遍比不上非CO_2溫室氣體(NCGG)的減量成效，而諷刺的是NCGG的減量措施、方案選擇及減量成本評估，卻是起步甚晚，各國與研究單位於 1999 年後才提出具體的非CO_2溫室氣體排放減量方案與成本估算，而歐盟與荷蘭則遲至 2000 年方有具體的成果。

一般要評估溫室氣體的減量潛力，首先要有該溫室氣體詳細的排放源與其排放資料，並能就社會經濟、工業技術及減量技術等層面估算將來排放趨勢，並選擇各種符合該國家或區域排放源特徵、環境及市場特性的減量技術，以及搭配減量技術的經濟誘因、法規、補助及稅賦等減量方案，依照其減量成本多寡進行減量技術與方案的排序，並求得邊際減量成本（Marginal Abatement Cost, MAC），如此可了解一個國家或區域對某溫室氣體減量時，需要耗費多少成本，以作為擬定減量策略的參考。

由於各項研究範疇所利用的減量方案、技術及區域國家不盡相同，而且相關政策措施，也在前面章節中提及，因此本章主要目的在

於綜合歸納各項研究成果，說明非CO_2溫室氣體減量受重視的原因，以及各國或區域是否具備減量潛力。本章首先依氣體種類分別介紹附件一國家之非CO_2溫室氣體排放概況，並歸納彙整減量空間、技術、潛力及成本等研究成果，以了解非CO_2溫室氣體在各國或區域的減量潛力。最後，綜合說明非CO_2溫室氣體的減量特色與將來可能的發展。

12.1 非CO_2溫室氣體排放概況

根據《議定書》附件A的規範，非CO_2溫室氣體包括CH_4、N_2O 、HFCs、PFCs及SF_6等 5 種溫室氣體，此 5 種溫室氣體之排放源相當多，依據IPCC溫室氣體統計準則，可歸納出NCGG排放源如表 12.1 所示。

依據《公約》[1]統計附件一國家 1990 年總溫室氣體排放量為 15982.26 百萬噸CO_2當量，至 2000 年總溫室氣體排放量降至 15862.86 百萬噸CO_2當量，降幅約 0.7%（計 119.7 百萬噸CO_2當量）；其中依照美國環保署統計的非CO_2溫室氣體排放量[4]，在 1990 年為 3571 百萬噸CO_2當量，佔總溫室氣體排放量的 22.3%，而 2000 年的排放量為 3449 百萬噸CO_2當量，佔 2000 年總溫室氣體排放量的 21.7%，與 1990 年相比較，非CO_2溫室氣體約減量 3.4%（計 122 百萬噸CO_2當量）；自 1990 年迄 2000 年為止，非CO_2溫室氣體的減量尚高出總溫室氣體的減量，可見附件一國家整體的CO_2排放量是增加的。

附件一國家中各國或區域，1990 至 2010 年非CO_2溫室氣體實際及預估排放量值如表 12.2 所示，而各國之比較如圖 12.1 所示。其中 1990 與 1995 年是實際排放量，2000、2005 及 2010 年的數值為在不施行任何額外減量措施「一切如常」（bussiness as usural, BAU）情景下的預估值。由表 12.2 與圖 12.1 可知，美國為非CO_2溫室氣體排放量最多的國家，1990 年佔所有附件一國家排放量的 31.7%，至 2000 年則佔 35.0%，其次是歐盟、俄羅斯及東歐國家；至 2000 年止，非CO_2溫室氣體排放量呈現緩慢減少趨勢的國家或區域為歐盟與東歐國家，呈現上升的趨勢為美國、加拿大、日本及澳洲/紐西蘭，若 2000 年後不再執行額外的減量措施，所有附件一國家的非CO_2溫室氣體排放量皆會再度增加，與 1990 年相比較，在 2010 年附件一國家整體排放量將會增加 12.4%，達 4013 百萬噸CO_2當量。

表 12.1 非CO_2溫室氣體排放源對照表[4]

非CO_2溫室氣體	排放源
甲烷（CH_4）	固體廢棄物掩埋 煤礦開採 油氣（天然氣及原油）系統 牲畜糞便管理系統 牲畜腸道發酵 廢水處理系統 其他農業排放源 ・稻米耕種 ・農業現地燃燒 ・草原燃燒 其他非農業排放源 ・燃料燃燒 ・工業製程 廢棄物燃燒
氧化亞氮（N_2O）	石化燃料燃燒 工業製程 農業土壤 牲畜糞便管理
高全球暖化潛勢(GWP)值溫室氣體 氫氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs） HFC-23 六氟化硫（SF_6）	破壞臭氧物質(Ozone-depleting Substance,ODS)之替代物質 HCFC-22 製造 煉鋁（鋁金屬製造） 鎂金屬生產與鑄造、電力設施 半導體製造

表 12.2 附件一國家及區域非CO_2溫室氣體排放量比較[4]

（1990~2010 年）　　單位：百萬噸CO_2當量

區域或國家	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
歐盟15國	858	768	766	807	845
其他西歐國家	26	24	26	31	37
俄羅斯	636	563	592	642	651
東歐國家	525	392	419	444	502
澳洲/紐西蘭	184	180	192	211	225
日本	63	83	89	119	150
加拿大	147	163	159	174	187
美國	1132	1174	1206	1304	1416
總計	3571	3347	3449	3732	4013

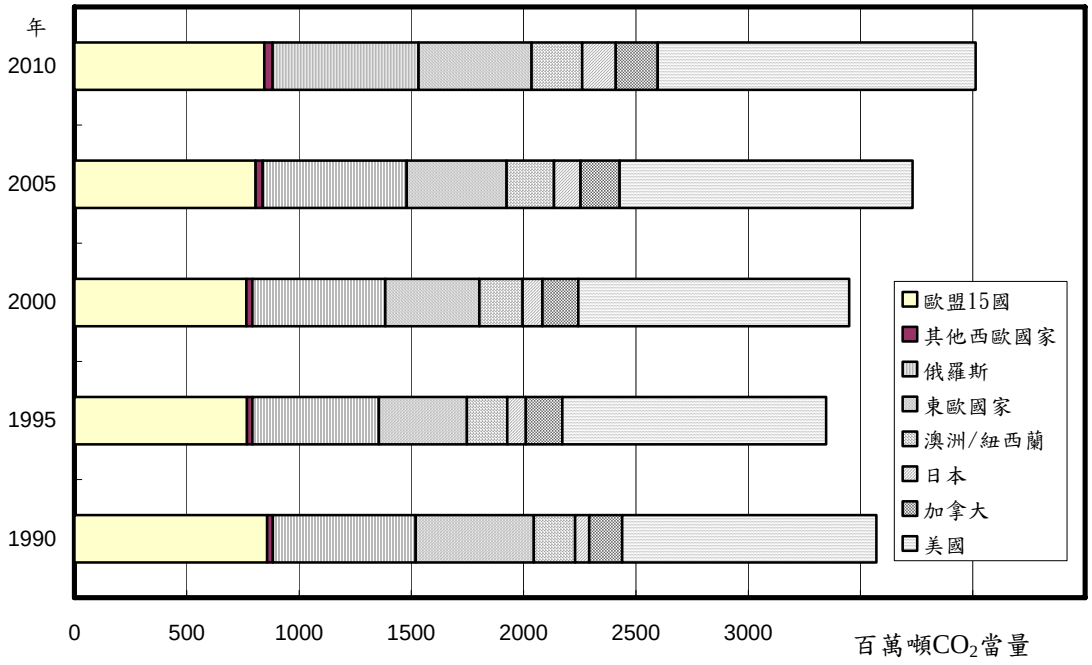


圖 12.1　附件一國家及區域非CO_2溫室氣體排放量（1990~2010 年）

由上述分析結果，雖然無法確定非CO_2溫室氣體減量的成效，是

否是因為各國執行的政策措施所造成的，但是非CO_2溫室氣體部份有具體減量的減量貢獻，是不爭的事實。因此，預測非CO_2溫室氣體的減量措施將會愈受附件一國家的重視。

以下分別就附件一國家之CH_4、N_2O及高全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)值等溫室氣體之排放概況、減量潛力及成本等進行歸納分析。

12.2 CH_4減量潛力分析

CH_4主要的人為排放源如表 12.1 所示六大項，其中分別屬於IPCC排放源分類的能源部門、農業部門、廢棄物部門及工業製程部門等四個部門。

一、附件一國家CH_4排放概況

表 12.3 所示為附件一國家中各國或區域於 1990 至 2010 年之CH_4實際與預估排放量值，而各國之比較如圖 12.2 所示。由表 12.3 與圖 12.2 可知，美國是CH_4排放量最多的國家，1990 年佔所有附件一國家排放量的 28.5%，至 2000 年則佔 30.1%，其次是俄羅斯、歐盟及東歐國家。至 2000 年止，CH_4排放量較 1990 年減少的國家或區域為歐盟、俄羅斯、東歐國家及美國，增加的為加拿大、日本及澳洲/紐西蘭及其他西歐國家，若 2000 年後不再執行額外的減量措施，除歐盟與東歐國家排放量減少，日本與西歐國家維持穩定外，其餘附件一國家CH_4排放量會再度增加。與 1990 年相比較，附件一國家於 2010 年整體排放量將會減少 3.3%，達 2192 百萬噸CO_2當量。

此外，依據CH_4排放源分類而言，1990 至 2010 年非附件一國家的實際排放量與預估排放量如表 12.4 所示，各排放源排放量比較如圖 12.3 所示。由表 12.4 可知，油氣系統所佔的排放量最大，其次為牲畜腸道發酵及固體廢棄物掩埋，1990 年所佔的比率分別為 29.3%、25.4%及 22.1%。在BAU情景下，2010 年時僅煤礦開採與牲畜腸道發酵兩排放源，相較於 1990 年是維持減量狀態。

表 12.3 附件一國家及區域CH_4排放量(1990~2010 年)[4]

單位：百萬噸CO_2當量

國家或區域	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
歐盟15國	430	375	379	373	367
其他西歐國家	12	12	13	13	11
俄羅斯	537	497	517	542	559
東歐國家	391	301	311	314	313
澳洲/紐西蘭	147	144	152	162	171
日本	32	31	34	33	33
加拿大	73	86	82	84	87
美國	645	651	642	646	651
總計	2267	2097	2130	2167	2192

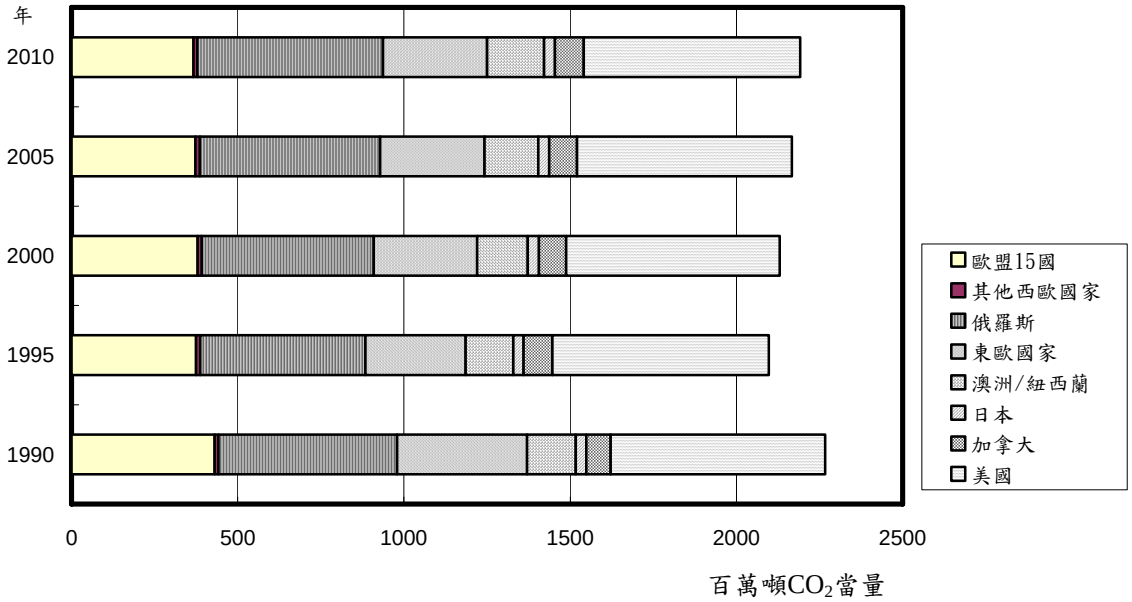


圖 12.2　附件一國家及區域CH_4排放量(1990~2010 年)

表 12.4　非附件一國家各CH_4排放源之排放量(1990~2010 年)[4]

單位：百萬噸CO_2當量

排放源	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
油氣系統	663	648	678	684	696
牲畜腸道發酵	576	525	527	547	552
固體廢棄物掩埋	501	481	490	492	496
煤礦開採	303	229	216	217	216
牲畜糞便管理系統	102	98	103	107	109
廢水處理系統	37	36	36	38	38
其他農業排放	29	30	31	30	30
其他非農業排放	55	51	50	51	54
總計	2266	2098	2131	2166	2191

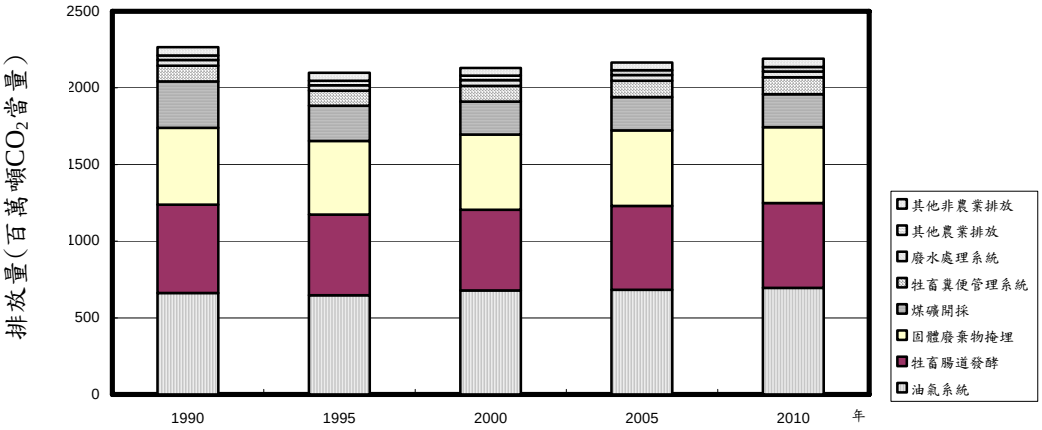


圖 12.3　非附件一國家各CH_4排放源之排放量(1990~2010 年)

二、CH_4減量的空間與成本

減量空間隨著溫室氣體的種類、排放源、減量技術、減量措施及社會經濟等因素而有所不同，因此要探討減量空間與成本，最好依照該溫室氣體的排放源分類分別估算。以下茲就CH_4排放源分別說明：

（一）天然氣與原油（油氣）系統

CH_4主要在油氣系統中包括開採、製造、提煉、運輸、傳輸管線及末端使用等過程，會被釋放至大氣，依照美國EPA的估算[4]（如表 12.4），若未執行額外減量措施，附件一國家在 2010 年油氣系統

CH_4排放量會較 1990 年增加約 4.9%；根據C.A. Hendriks等的估算，全球則會增加 10%至 30% CH_4排放量。

美國EPA配合天然氣之星計畫（Natural Gas Star Program），就現行的 118 種減量技術與方案進行評估[4]，在 2000、2010 及 2020 年時，美國可在成本有效性（Cost Effective），邊際減量成本（MAC）為 0 美元/噸CO_2當量下，相較於 1990 年油氣系統CH_4排放量減量 30%；當市場價值 30 美元/噸CO_2當量時，可減量 35%，在 100 美元/噸CO_2當量時，則可減量 49%。

C.A. Hendriks等[8]指出：根據IEA於 1998 年統計，全球 1990 年油氣系統CH_4排放量約 47 百萬噸 CH_4（約等於 2714 百萬噸CO_2當量），可減少的排放量介於 45%（經濟上的潛力）至 75%（技術性的潛力）之間，具成本有效性的措施包括：高抽力空氣壓縮設備替換低抽力設備、壓縮站的減少洩漏、氣體的回收利用及以燃燒排放取代直接排放等減緩排放的方法等。

（二）煤礦開採

C.A. Hendriks等[8]指出：每噸碳的生產過程會產生超過 $100m^3$ 的CH_4排放，大約超過 50%的煤礦開採而排放的CH_4，可以用於熱氣或電力的生產，總成本大約介於每噸CH_4為 50 至 100 歐元之間。目前較低成本的減量技術為汽電共生，將含低濃度CH_4的排放氣體氧化。煤礦開採所致之CH_4排放減量空間可高達 80%至 90%之間，至 2010 年整體的減量空間會高達 70%。

美國EPA將此排放源的重點放在地下採礦，因為地下採礦產生的CH_4排放量佔此類排放源的 65%。美國EPA採取的策略有二：一為回收礦坑中的CH_4，當成天然氣出售；二是利用新的觸媒氧化技術。經過評估[4]，在 2010 年時，美國成本有效性的減量空間為 37%，當邊際減量成本（MAC）達 30 美元/噸CO_2當量時，可造就高達 71%的減量；若是在 2020 年，成本有效性的減量空間為 41%，但MAC 達 30 美元/噸CO_2當量時，減量潛力與 2010 年時同為 71%。

（三）固體廢棄物掩埋

固體廢棄物掩埋因為厭氧分解，而產生掩埋廠廢氣，廢氣中約含 56%至 65%的CH_4，及 31%至 41%的CO_2，C.A. Hendriks等[8]指出，減少固體廢棄物掩埋的策略有三：

1.促進CH_4產生：合併利用廢氣使用與隔離，如廢氣的燃燒與收集，改進覆蓋層，以不透水黏土層替代半透水土壤。

2.抑制CH_4產生：好氧掩埋管理或減少掩埋，以及在覆土中進行生物CH_4氧化的調理。

3.減少CH_4產生：減少處置可分解廢棄物。

C.A. Hendriks等[8]指出：在 2010 年，綜合回收、氧化、生物前處理及減廢等方案，固體廢棄物掩埋CH_4排放大約有 35%至 75%的減量空間，而在開發中國家或區域的減量空間是在較低比率的範圍，歐盟的減量空間大約是 60%。

美國EPA對固體廢棄物掩埋CH_4排放減量的成本分析[4]，主要著重於CH_4的回收利用，以CH_4發電或直接提供給掩埋場附近使用者當燃料，配合掩埋法規，美國EPA估計，在 2010 年時，成本有效性之MAC為 0 美元/噸CO_2當量下，減量空間為 20%，而MAC為 30 美元/噸CO_2當量時，減量空間為 41%，減量最大極限為MAC在 40 美元/每噸CO_2當量時。

（四）牲畜糞便管理

1990 年牲畜糞便所產生的CH_4佔附件一國家總CH_4排放量的 4.5%，而C.A. Hendriks等[8]指出：牲畜糞便CH_4排放約佔全球總CH_4排放量的 12%，至 2010 年此比例會增至 30%，此類CH_4排放減量的方案包括避免堆放時糞便發酵，及以利用CH_4的方式來控制糞便發酵，根據估算西歐於 2010 年時此類CH_4的減量潛力介於 30~40%之間。

美國主要的牲畜糞便來自乳牛與豬牧場，因此美國EPA分析對象以此兩種牧場為主，進行厭氧消化技術處理牲畜糞便，並現地回收CH_4發電，以現行美國能源價格而言，在 2010 年具成本有效性的減量空間為 14%，而邊際減量成本(MAC)為 30 美元/噸CO_2當量時，減量空間為 31%。

（五）牲畜腸道發酵

1990 年牲畜腸道發酵所產生的CH_4佔附件一國家總CH_4排放量的 29.3%，而C.A. Hendriks等[8]指出：牲畜腸道發酵之CH_4排放約佔全球總CH_4排放量的 24%，至 2010 年將增至 25%。此類CH_4排放

減量的方案包括飼料的轉換，如改變飼料成份、減低纖維含量等，以增加營養補給或抗生素，促進動物的生產力，另外亦有一些添加賀爾蒙以改善腸道發酵的研究。此類CH_4排放在開發中國家減量的空間可達 50%，相對已開發國家僅低至 5%至 10%。

三、我國CH_4的排放與減緩措施

（一）CH_4的排放分析

CH_4之產生係由生物厭氧發酵作用而來，排放主要來自垃圾掩埋場及農牧業活動，受地域特性影響極大。因此國家清冊的統計除使用IPCC方法，亦需本土參數。台灣地區農漁牧業活動的CH_4排放，由於過去缺乏全面性之實測資料，僅有零星測量數據以供參考，因此多為推估值。

我國CH_4排放趨勢從 1990 年的 663.27 千噸，逐年增加至 1994 年的 954.47 千噸，之後由於各地垃圾焚化爐的興建，以及水稻種植面積的縮小，至 2000 年遞減為 595.20 千噸。一般預料，加入WTO後台灣農漁牧產值均將持續減少，其後再趨於穩定，因此台灣地區之CH_4排放預估亦將朝同一趨勢先減量再趨穩定[5]。

（二）CH_4的排放分析

推動「水旱田利用調整後續計畫」，辦理規劃性休耕及稻田輪休，減少稻田及稻草燃燒的CH_4釋出量；持續推動粗放果園廢園造林或轉作；蔬菜部份輔導耕作期休耕/轉作綠肥；推展土壤診斷技術，正確施用肥料及控制適當之用量；調整有機肥及化學肥料的用量與方法；推廣生物性肥料，鼓勵利用農畜廢棄物製作堆肥，循環利用農業廢棄物，減少對河川與地下水污染，降低能源需求；育成需水量低的耐/抗旱品種；執行「肥料政策調整方案」，推廣施用有機質肥料及生物肥料；推動合理施用化學肥料，培育土壤永續生產力。

表 12.5 我國各部門CH_4排放量（1990~2000 年）[13]　單位：千噸

部門	能源	工業製程	農業	土地利用變	廢棄物	總排放量

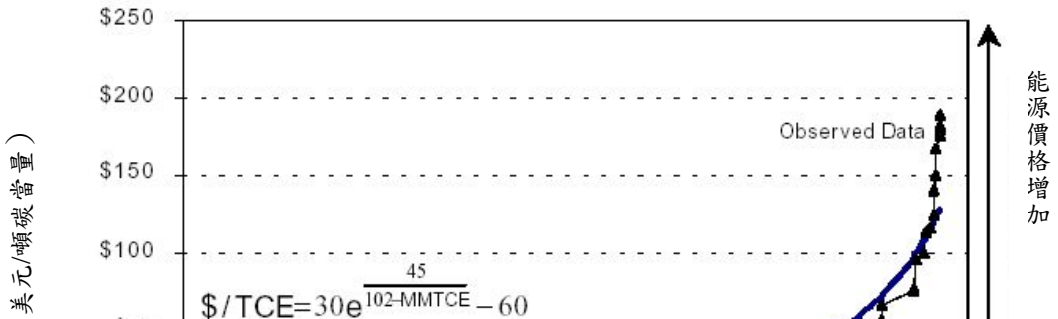
年				化與森林		
1990	80.75	0.23	119.45	0.01	462.83	663.27
1991	84.94	0.16	125.07	0.05	509.61	719.83
1992	91.30	0.15	119.77	0.01	625.69	836.92
1993	96.34	0.18	119.68	0.06	680.02	896.28
1994	103.94	0.22	118.53	0.01	731.77	854.47
1995	114.55	0.28	120.08	0.01	622.03	856.95
1996	117.90	0.27	121.21	0.15	631.55	871.08
1997	132.21	0.29	106.20	0.00	675.28	913.98
1998	145.36	0.22	96.51	0.01	677.54	919.64
1999	151.70	0.30	97.4	0.01	710.60	960.01
2000	111.72	0.38	93.62	0.00	389.48	595.2

四、綜合討論

美國EPA在氣候變化行動計畫下發展許多自願性減量計畫，並對美國CH_4重要排放源，如固體廢棄物掩埋、油氣系統、煤礦開採及牲畜糞便管理等四大排放源，進行減量技術或方案、減量空間及減量成本的規劃與估算，綜合所有的減量方案，美國EPA提出 2010 年貼現率 8%的CH_4排放減量的邊際減量成本曲線（Marginal Abatement Curve）[4]（如圖 12.4 所示）。

美國EPA期望在 2010 年時CH_4有 50%減量，現行的自願減量計畫在 1998 年時已經產生 8 百萬噸碳當量的CH_4減量，期待在 2010 年時有 20 百萬噸碳當量（約 73.3 百萬噸CO_2當量）的減量潛力。

C.A. Hendriks等[8]評估後指出：CH_4最有減量潛力是在開發中國家。D. de Jager等評估[7]歐盟 15 國之非CO_2溫室氣體(NCGG)的減量潛力，指出CH_4在歐盟的減量潛力隨國家的不同約介於 15~55%之間，而且超過 80%的減量潛力可以在低於 100 歐元/噸CO_2當量減量成本下獲得。綜合言之，無論是全球觀點或是在美國及歐盟，CH_4應該是具有減量空間與潛力的溫室氣體之一。



市場價格

CH_4排放減少量（百萬噸碳當量）

圖 12.4 美國CH_4邊際減量成本曲線(2010 年)

12.3 N_2O減量潛力分析

表 12.1 所示為N_2O主要的人為排放源，其分別屬於能源部門、農業部門、工業製程部門等 3 個部門，即石化燃料燃燒屬於能源部門，農業土壤及牲畜糞便管理屬於農業部門。

一、附件一國家N_2O排放概況

附件一國家中各國或區域，1990 至 2010 年N_2O實際與預估排放量值如表 12.6 所示，各國之比較如圖 12.5 所示。由表 12.6 與圖 12.5 可知，美國是N_2O排放量最多的國家，1990 年佔所有附件一國家排放量的 36.0%，至 2000 年則佔 41.4%，其次是歐盟、東歐國家及俄羅斯。至 2000 年止，N_2O排放量較 1990 年減少的國家或區域為歐盟、俄羅斯及東歐國家，增加的為美國、加拿大、日本及澳洲/紐西蘭，若 2000 年後不再執行額外的減量措施，除其他西歐國家維持穩定外，其餘附件一國家N_2O排放量會再度增加。與 1990 年相比較，在 2010 年附件一國家整體排放量將會增加 4.6%，達 1132 百萬噸CO_2當量。

表 12.6 附件一國家及區域N_2O排放量[4]（1990~2010 年）

單位：百萬噸碳CO_2當量

國家或區域	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年

歐盟15國	371	347	307	314	318
其他西歐國家	8	8	8	8	8
俄羅斯	79	51	57	67	74
東歐國家	130	89	106	122	136
澳洲/紐西蘭	29	31	34	38	39
日本	16	18	24	28	29
加拿大	60	66	64	69	73
美國	389	423	424	438	455
總計	1082	1033	1024	1084	1132

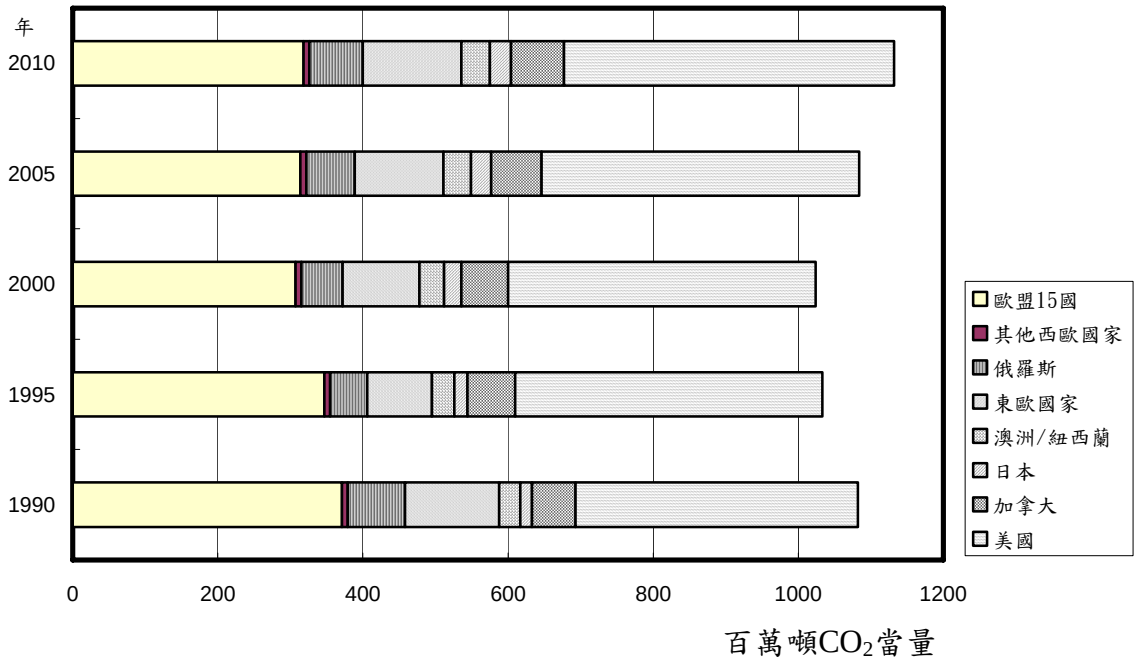


圖 12.5 附件一國家及區域N_2O排放量(1990~2010 年)

此外，依據N_2O排放源分類而言，1990 至 2010 年非附件一國家的實際排放量與預估排放量如表 12.7 所示，各排放源排放量比較如圖 12.6 所示。由表 12.7 可知，農業土壤所佔的排放量最大，移動源之燃料燃燒，在「一切如常」(BAU)情景下，至 2010 年持續呈現上升的趨勢，躍升為第二大排放源，僅工業製程排放源，相較於 1990 年是維持減量狀態。

表 12.7　非附件一國家各N_2O排放源之排放量[4]（1990~2010 年）

單位：百萬噸CO_2當量

排放源＼年	1990	1995	2000	2005	2010
農業土壤	656	614	645	675	701
工業製程	188	170	106	111	115
燃料燃燒(固定源)	64	61	66	70	74
燃料燃燒(移動源)	82	104	122	137	148
牲畜糞便管理系統	94	83	86	91	94
總計	1084	1032	1025	1084	1132

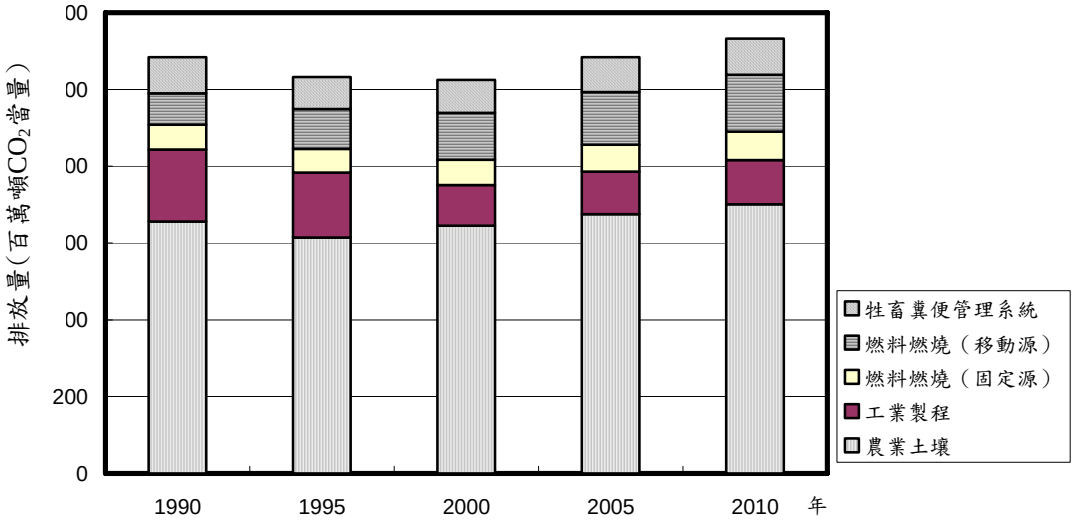


圖 12.6　非附件一國家各N_2O排放源之排放量(1990~2010 年)

二、N_2O減量的空間與成本

綜觀各文獻，N_2O氣體減量的議題較少被討論，美國EPA亦未對N_2O作減量潛力與成本的評估，以下就農業土壤及工業製程兩排放源討論N_2O減量的空間與成本。

（一）農業土壤

農業中氮的來源來自商業肥料、糞便及生物固氮，C.A. Hendriks

等[8]指出：農業佔全球 1990 年總N_2O排放量的 20%，而有效率的使用肥料為主要的農業土壤N_2O減量方案，如限制肥料的使用、規劃施肥時間、使用有機肥料等，改進肥料的使用一般是較具成本的有效性，其獲利可以高達 60000 歐元/噸N_2O，而使用有機肥料與規劃施肥時間是比較不具成本的有效性，減量成本高達 6000~300000 歐元/噸 N_2O。根據C.A. Hendriks等評估[8]：在工業國家農業土壤N_2O減量空間相當有限，至 2010 年約 5%，在其他國家則幾乎不.具減量潛力。

（二）工業製程

主要的N_2O排放源為硝酸與己二酸的生產製程，附件一國家 1990 年工業製程之N_2O排放量約佔其總排放量的 17%，C.A. Hendriks等[8]指出：己二酸之全球製造所產生的N_2O排放量約佔總N_2O排放量的 9%，工業國家則高至 25~30%，至於生產硝酸所產生的N_2O排放量約佔總N_2O排放量的 6%。己二酸製程之N_2O減量技術主要是利用觸媒還原的管末處理法，將N_2O還原成氮氣，減量成本則相當低，每噸CO_2當量僅需數歐元。目前世界五大己二酸製造商已經同意將其N_2O排放量減少 90~99%。至於硝酸製程的N_2O排放減量，目前尚無可供利用的商業化觸媒，因此無法評估減量潛力與成本。

三、我國N_2O的排放與減緩

（一）N_2O的排放分析

表 12.8 所示為我國 1990～2000 年各部門N_2O排放量，顯示我國N_2O排放主要來自農業部門，其次分別為廢棄物部門與能源部門。2000 年N_2O排放總量為 37.87 千噸，其中農業部門佔 87%、能源部門佔 7.1%及廢棄物部門佔 4.8%。由於我國農業發展持續萎縮，所以農業部門之N_2O釋出量亦逐年減少。然而，我國家庭一般以化糞池方式處理糞尿，亦會產生N_2O，此部份排放量雖有統計，但仍需進一步調查評估。此外，以IPCC方法估算N_2O排放數值誤差較大，故應同時參考IPCC方法與本地實測排放量資料以獲得較可信之結果。

表 12.8　我國各部門N_2O排放量[13]（1990~2000 年）

單位：千噸

部門 / 年	能源部門	工業製程部門	農業部門	廢棄物部門	總排放量
1990	1.43	0.59	41.58	1.56	45.16
1991	1.42	0.63	44.39	1.58	48.02
1992	1.55	0.57	44.11	1.60	47.83
1993	1.69	0.59	45.11	1.61	49.00
1994	1.78	0.54	46.11	1.71	50.14
1995	1.81	0.63	45.83	1.73	50.00
1996	1.95	0.66	47.03	1.74	51.38
1997	2.11	0.74	40.76	1.76	45.37
1998	2.29	0.71	39.25	1.78	44.03
1999	2.41	0.53	38.91	1.79	43.64
2000	2.70	0.37	33.00	1.80	37.87

（二）N_2O的排放減緩措施

控制土壤(水田與旱田)含水量，調整非必要滲水；調節灌概水量，如間歇式灌排水分；開發緩效性肥料；育成高氮素利用效率之品種；持續宣導嚴禁殘留農作物的焚燒，輔導正確殘留農作物處理或加工利用技術；加強灌溉水質管理維護；推動水田生態環境保護與地下水涵養補注。

四、綜合討論

根據D. de Jager等評估〔7〕歐盟 15 國之非CO_2溫室氣體(NCGG)的減量潛力，指出N_2O的減量措施在歐盟甚少被討論，其減量潛力隨國家的不同約介於 5~50%，而且工業製程超過 85%的減量潛力可以在低於 1 歐元/噸 CO_2當量減量成本下獲得。綜合以上的評估，可知N_2O的減量空間有相當的限制，而且潛力不大。

12.4 高 GWP 值溫室氣體減量潛力分析

高全球暖化潛勢(GWP)值溫室氣體主要的人為排放源如表 12.1 所示之六大項，其均屬於 IPCC 排放源分類的工業製程部門。

一、高 GWP 值溫室氣體排放概況

附件一國家中各國或區域，1990~2010 年高GWP值溫室氣體實際與預估排放量值如表 12.9 所示，各國之比較如圖 12.7 所示。由表 12.9 與圖 12.7 可知，美國是高GWP值溫室氣體排放量最多的國家，1990 年佔所有附件一國家排放量的 44.1%，其次是歐盟，至 2000 年美國排放量佔 47.5%，其次是歐盟。至 2000 年止，高GWP值溫室氣體排放量較 1990 年減少的國家或區域為俄羅斯、東歐國家、澳洲/紐西蘭及加拿大，增加的為美國、日本及歐盟，若 2000 年後不再執行額外的減量措施，所有附件一國家高GWP值溫室氣體排放量會再度增加。與 1990 年相比較，在 2010 年附件一國家整體排放量將會增加 2.08 倍，達 683 百萬噸CO_2當量，為NCGG中排放量增加最快速的氣體。

另外，依據高 GWP 值溫室氣體排放源分類而言，1990~2010 年非附件一國家的實際排放量與預估排放量如表 12.10 所示，各排放源之排放量比較如圖 12.8 所示。煉鋁、電力設備及 HCFC 製造等排放量逐漸下降，而 ODS 替代物質、半導體製造及鎂金屬製造等排放量則迅速增加。

表 12.9 附件一國家及區域高GWP值溫室氣體排放量[4]

（1990~2010 年） 單位：百萬噸CO_2當量

國家或區域	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
歐盟15國	57	46	80	120	160
其他西歐國家	6	4	5	10	18
俄羅斯	20	15	18	33	53
東歐國家	4	2	2	8	15
澳洲/紐西蘭	8	5	6	11	12
日本	15	34	31	58	88
加拿大	14	11	13	21	27
美國	98	100	140	220	310
總計	222	217	295	481	683

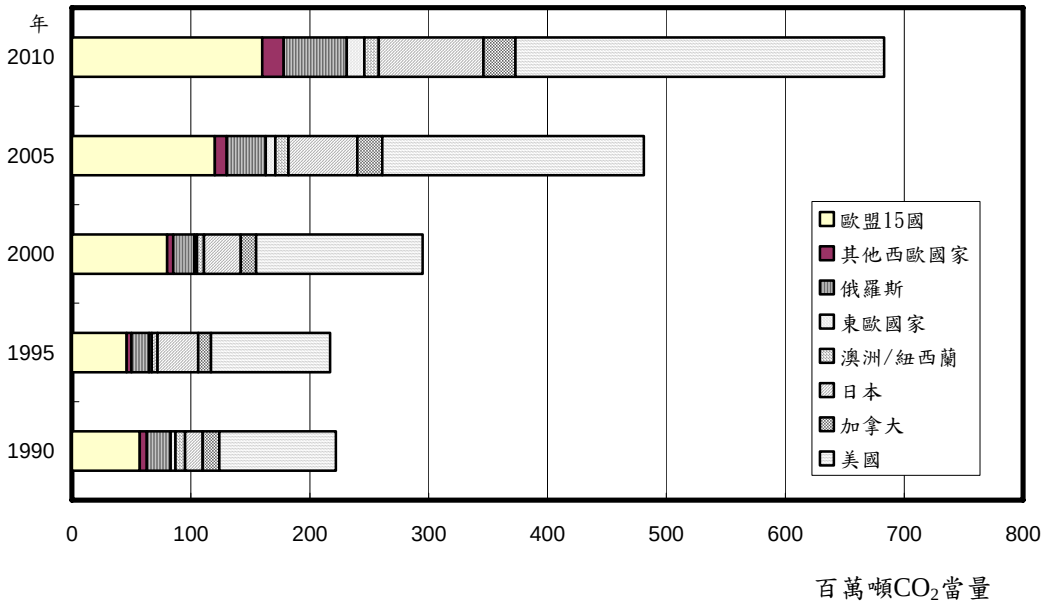


圖 12.7 附件一國家及區域高 GWP 值溫室氣體排放量(1990~2010 年)

表 12.10 附件一國家及區域高 GWP 值溫室氣體

排放源之排放量(1990~2010 年) 單位：百萬噸CO_2當量

排放源	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
ODS替代物質	2	42	125	260	382
半導體製造業	5	13	24	65	124
HCFC製造業-HFC23	80	69	66	63	56
電力設備-SF6	50	46	26	27	28
鎂金屬生產與鑄造	13	12	16	32	55
煉鋁	74	42	41	42	40
總計	224	224	298	489	685

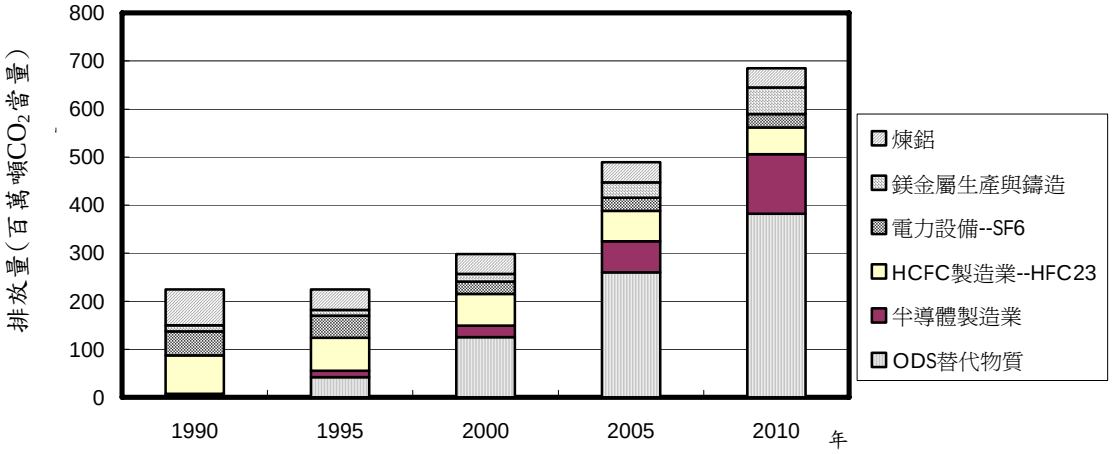


圖 12.8 附件一國家及區域高 GWP 值溫室氣體排放源之排放量（1990~2010 年）

二、高 GWP 值溫室氣體減量的空間與成本

根據美國EPA評估，在 2000 年後若不執行額外的高GWP值溫室氣體減量措施，美國、歐盟及日本等國家在 2010 年高GWP值溫室氣體排放量將會急速的增加；而根據Jochen Harnisch等[6]評估亦指出：歐盟高GWP值溫室氣體排放量 2010 年會較 1995 年增加 2/3 倍。

因此，雖然高GWP值溫室氣體排放量佔總溫室氣體排放比率不高，然而其減量的議題日受重視，美國[3]與歐盟[6]即對此類氣體進行完整的評估。首先就個別排放源分析基準年排放量，再預估將來的排放量，並對各項可供應用的技術、所需的成本及相對的減量空間以經濟考量分析高GWP值溫室氣體在該國或地區的邊際減量成本，依所需的減量空間與可接受的減量成本，再行彙整相對應的減量技術，以作為擬定減量策略的依據。由於高GWP值溫室氣體皆屬於工業製程的排放，因此特性一致，而且可供減量的技術相當多。以下就美國與歐盟的評估結果摘要介紹：

（一）美國EPA的評估結果[3]

美國 1990 年高GWP值溫室氣體排放量為 98 百萬噸CO_2當量（如表 12.9 所示），其中HFCs、PFCs及SF_6分別為 35.9、22.0 及 40.3 百萬噸CO_2當量。在BAU下，2010 年美國高GWP值溫室氣體排放

量會成長至 310 百萬噸CO_2當量，HFCs、PFCs及SF_6分別為 195.4、74.4 及 38.9 百萬噸CO_2當量，可見以HFCs成長最多。針對此情形，美國EPA擬定主要減量策略方向為：

1.施行新的工業製程，以減少排放量並促進效率。

2.實施最佳的企業內部管理實務。

3.建置低排放率、效率較佳及更新設備。

4.以其他可應用的氣體替代高 GWP 值溫室氣體。

擬定基本策略後，挑選出 33 種減量技術，估計其減量空間及成本後，計算其邊際減量成本曲線(如圖 12.9 所示)。根據邊際減量成本曲線分析，美國於 2010 年邊際減量成本為 0 美元/噸CO_2當量時，減量空間為 4.2 百萬噸碳當量（約 15.4 百萬噸CO_2當量），這可能是促進效率所造成的減量效果；當邊際減量成本為 20 美元/噸CO_2當量時，減量空間為 28.6 百萬噸碳當量（約 104.9 百萬噸CO_2當量）；而邊際減量成本為 100 美元/噸CO_2當量時，減量空間為 36 百萬噸碳當量（約 132 百萬噸CO_2當量）。

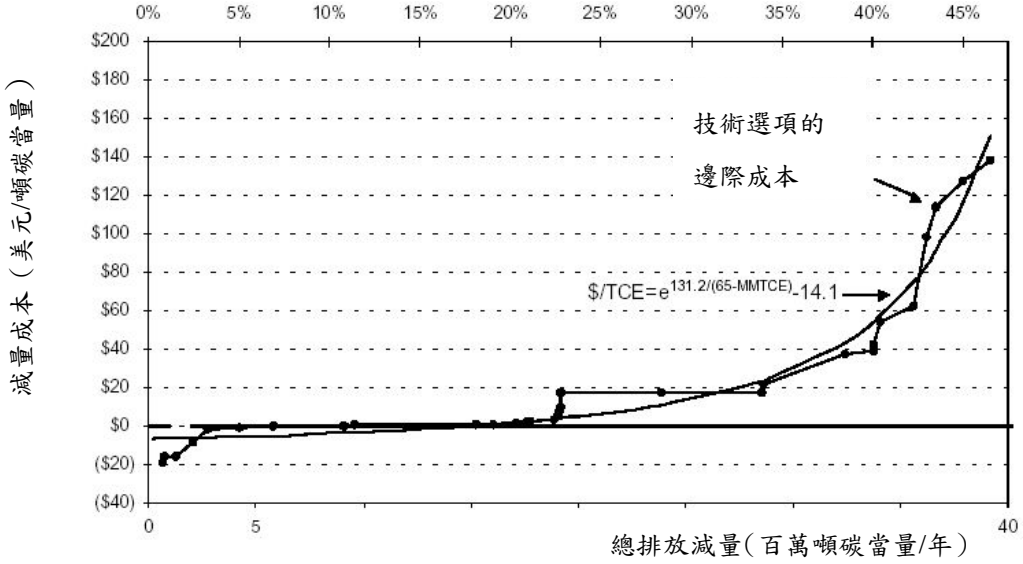
（二）歐盟環境理事局（Directorate General Environment）的評估結果[6]

Jochen Harnisch等[6]協助歐盟環境理事局評估高GWP值溫室氣體之減量潛力與成本，主要挑選出 70 種不同的減量技術進行計算，所得的邊際減量成本曲線(如圖 12.10 所示)。結果顯示，在 2010 年可供減量 40 百萬噸CO_2當量的措施組合，其邊際減量成本約 5 歐元/噸 CO_2 當量（約 18.3 歐元/噸CO_2當量）。歐洲半導體工業若能完成其對世界半導體聯盟的承諾，歐盟高GWP值溫室氣體在 2010 年的排放量會維持在 1995 年的排放水準，在維持穩定的 1995 年排放量後，更值得重視的是在邊際減量成本 30 歐元/噸 CO_2 當量（約 110 歐元/噸CO_2當量）以上的減量技術方案。

三、綜合討論

綜合以上分析，高GWP值溫室氣體排放在附件一國家中仍具有減量潛力，而在相同期程（2010 年）大約相等的邊際減量成本（美國為 20 美元/噸CO_2當量，歐盟為 18.3 歐元/噸CO_2當量）下，所代表的減量空間，歐盟（減量 40 百萬噸CO_2當量）則比美國（104.9 百萬噸CO_2當量）小。

貼現率 4%



貼現率 8%

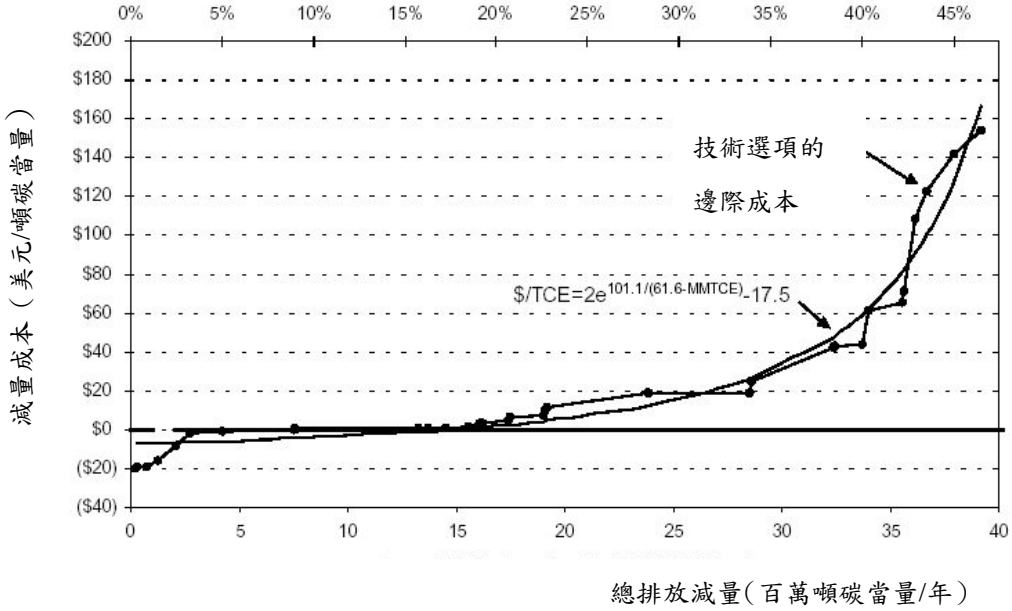


圖 12.9 美國高GWP值溫室氣體邊際減量成本曲線(2010 年)[3]

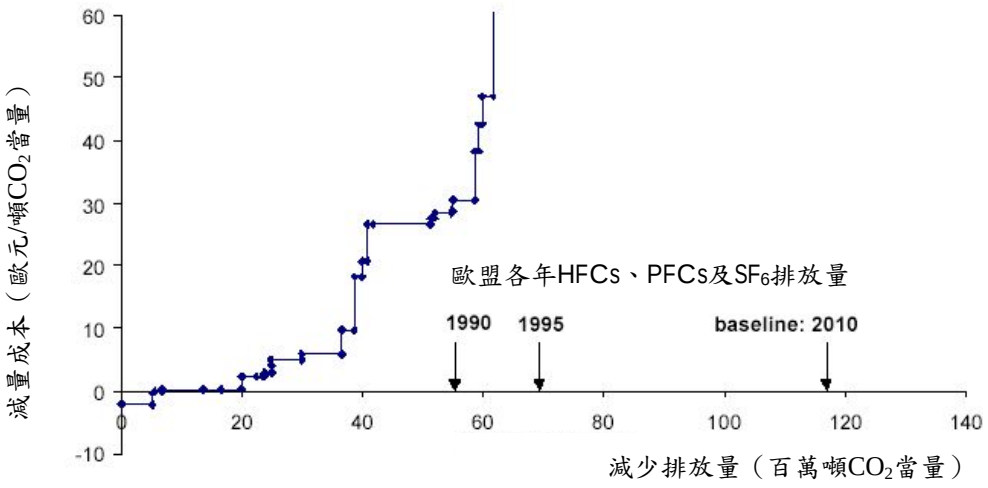


圖 12.10 歐盟高GWP值溫室氣體邊際減量成本曲線(2010 年)[6]

12.5 非CO_2溫室氣體減量特色分析

綜合以上的分析，可知無論是CH_4、N_2O及高GWP值溫室氣體的排放量，均以美國為最多。在非CO_2溫室氣體(NCGG)中，則以CH_4的排放量最多，其次為N_2O及高GWP值溫室氣體，而就 1990 至 2010 年之排放預估，以高GWP值溫室氣體排放量成長為最快，而其中以破壞臭氧物質(ODS)之替代物質及半導體製造兩排放源的排放量成長最為可觀。由於NCGG排放源種類範圍比CO_2排放源窄，而且與經濟部門相關的程度比較小，所以目前NCGG的減量成效比各締約國投注最多心力的CO_2的減量成效較佳，幾乎只要分析清楚各減量技術與方案，所代表的減量空間與所需之成本，執行適當的措施，便會有相對的減量成效。

例如D. de Jager等[7]評估歐盟因應《議定書》的 8%減量承諾情形，歐盟 1990/1995 年總溫室氣體基線排放量為 4450 百萬噸CO_2當量，在BAU情景下預估 2010 年會高達 4650 百萬噸CO_2當量，其中NCGG排放量約 787 百萬噸CO_2當量，歐盟在 2010 年須減量 550 百萬噸CO_2當量，而D. de Jager等將減量成本低於 50 歐元/噸 CO_2 當量設定為可以達成的減量門檻時，NCGG在 2010 年之減量潛力達 281 百萬噸CO_2當量，佔符合《議定書》減量的 51%。

雖然NCGG排放量佔各國總溫室氣體排放量的比率並不高，CO_2

一般均佔 80%以上，但是附件一國家亦相當重視其減量潛力的評估。就氣體分類而言，CH_4是最具減量潛力的氣體，無論是在附件一的已開發國家或是非附件一的開發中國家，都具有相當的減量空間；高GWP值溫室氣體排放源以附件一國家為大宗，其亦具有相當的減量空間，減量潛力僅次於CH_4；而N_2O無論是附件一國家或是非附件一國家，均不具備有減量的空間，是NCGG中減量潛力最差的氣體。NCGG的減量議題，未來發展的方向有二：

一、利用京都機制對 NCGG 減量

目前利用《議定書》正在執行的計畫包括個 10 個共同執行(JI)計畫與 24 個清潔發展機制(CDM)計畫[10]，其中大部份計畫的型態集中於再生能源、水力發電及汽電共生等，而並未有針對NCGG減量的合作計畫。然而荷蘭則自行發展出一套規範[9]，用來選擇適合與荷蘭合作利用京都機制對NCGG減量的國家，研究評估出優先合作的國家有 7 個，包括俄羅斯、中國、印尼、波蘭、印度、南非及羅馬尼亞，顯然荷蘭已注意到NCGG減量的重要性。John M. Reilly等在評估NCGG減量時，亦將中國減量的空間與美國一併列入考慮。因此，將來利用京都機制進行NCGG減量的合作方式，可能會隨著附件一國家減量的困難，而有增加的傾向。

二、減量規劃傾向多種氣體一起考量

根據研究[11、12]指出：「在規劃減量措施時，若單獨考量一種溫室氣體，再彙整各種氣體的減量空間與成本；與同時對多種溫室氣體的減量方案進行模式模擬而所得的減量成本，前者的減量成本會較後者高」，這項研究勢必會引起更廣泛的討論，國際間會更重視NCGG減量的相關議題。

參考文獻

1. UNFCCC, FCCC/SBI/2003/7/Add.2, 29 May 2003.
2. Office of Air and Radiation, US EPA, U.S. Methane Emissions 1990-2020：Inventories, Projects, and Opportunities for Reductions, EPA 43099-013, September 1999.
3. Office of Air and Radiation, US EPA, U.S. High GWP Gas Emissions 1990-2010：Inventories, Projections, and Opportunities for Reductions, EPA 000-F-97-000, June 2001.
4. Office of Air and Radiation, US EPA, Non-CO_2 Greenhouse Gas Emissions from Developed Countries：1990-2010, EPA-430-r-01-007, December 2001.
5. Jochen Harnisch and Kornelis Blok – Ecofys, Duncan Yellen and Ray Gluckman – Enviros March, HFCs, PFCs and SF_6：sources of Emissions in Europe and Reduction Options, Prepared as a background document for the Workshop "Joining European Efforts to Limit Emissions of HFCs, PFCs and SF_6", Luxembourg, February 1-2, 2000.
6. Jochen Harnisch and Chris Hendriks, ECOFYS, Energy and Environment, Germany, Economic Evaluation of Emission Reductions of HFCs, PFCs and SF_6 in Europe, Contribution to the study "Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change", on behalf of the Commission of the European Union Directorate General Environment, April 25, 2000.
7. D. de Jager, C.A. Hendriks, H.A.M. Heijnes, and K. Blok, ECOFYS, Energy and Environment, the Netherlands, Emission Reduction Potential and Costs for Non-CO_2 Greenhouse Gases in the EU-15, Paper Presented at the Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Interlaken, August 30 – September 2, 1998.
8. C.A. Hendriks and D. de Jager, ECOFYS, Energy and Environment, the Netherlands, Global Methane and Nitrous Oxide Emissions：Options and Potential for Reduction, Paper Presented at the Second International Symposium Non--CO_2 Greenhouse Gases：Scientific

Understanding, Control and Implementation, Noordwijkerhout, the Netherlands, 8-10 September, 1999.

9. Chris Hendriks and Jan-Willem Bode, ECOFYS, Prioritising Options to Reduce emissions through the Kyoto Mechanisms in Different Countries, Report no：M758, August 2000.

10. Magazine on the Kyoto Mechanisms, Facts about the Kyoto Mechanisms, Joint Implementation Quarterly, Vol. 3-No.1, April 2003.

11. R.C. Hyman, J.M. Reily, M.H. Babiker, A. De Masin and H.D. Jacoby, Massachusetts Institute of Technology, U.S., Modeling Non-CO_2 Greenhouse Gases Abatement, Report No. 94, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, December 2002.

12. John M. Reilly, Henry D. Jacoby, and Ronald G. Prinn , Massachusetts Institute of Technology, U.S., Muti-gas Contributors to Global Climate Change – Climate Impacts and Mitigation Costs of Non-CO_2 Gases, Prepared for the Pew Center on Global Climate Change, February 2003.

13. 行政院環境保護署，2000 國家通訊編撰計畫，九十年度期末報告，2001 年。

第十三章 含氟溫室氣體管制與因應策略分析

為面對氣候變遷造成人類生存及生態衝擊問題，聯合國於 1992 年 5 月 9 日制訂《公約》，並於 1997 年 12 月在日本京都召開之第三次締約國會議中再次制訂《議定書》，明確規範附件一國家（工業國家）應於 2008 至 2012 年期間，致力減少CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs及SF_6等六種溫室氣體排放，其中CO_2、CH_4及N_2O之管制基準年為 1990 年，另外HFCs、PFCs及SF_6之管制基準年為 1995 年。雖然後三種含氟溫室氣體排放量所佔比率偏低，但因為其全球暖化潛勢(GWP)相當高，而且主要使用及排放於工業製程，相對地其管制範圍較容易受到控制，因此普遍受到各國政府重視。

HFCs主要作為替代氟氯碳化物（CFCs）與HCFCs等破壞臭氧層物質(ODS)，而目前國內HFCs的排放來源，主要為汽車空調設備冷媒HFC-134a逸散排放，由於一當量HFC-134a排放相當於 1600CO_2當量排放，因此妥適規範HFC-134a冷媒使用及減少逸散，即成為一項重要課題。PFCs的GWP值為CO_2的 5700 倍至 11900 倍之間，主要用於半導體產業，其 C-F鍵能量穩定不易分解，且具有很強的紅外光吸收能力，因此能吸收大量的地表及低空熱輻射能，雖然全球PFCs的排放量不到溫室效應氣體總排放量的 5%，但其影響卻極為深遠，另外我國半導體產業所排放的PFCs佔全國溫室氣體排放比率約2%，屬於單一產業高排放比例之產業。SF_6的GWP值為CO_2的 22,200 倍，其殘存於大氣中之壽命估計可達 3,200 年，主要用於電力、鋁鎂及光電半導體產業。

此三種含氟溫室氣體在國內多使用於經濟發展重點產業，但也由於其屬於較集中排放產業，因此若能有效管理，對於我國溫室氣體的排放管制，將會有顯著的成效，也對產業發展有實質正面之效益。雖然目前《議定書》生效與否仍混沌不清，但國際社會已經逐步研究及推行此三種含氟溫室氣體之有效管理策略，並以產業自發性管理及減量措施為重點項目。因此國際先進國家之管理方式與成效，值得我國相關主管單位重視與借鏡。

13.1 全球使用及排放現況

一、 全氟碳化物（Perfluorocarbons, PFCs）

PFCs的排放主要來自於半導體製程與光電產業，在半導體廠中多使用於乾蝕刻（dry etch）及清洗化學氣相沉積（Chemical Vapor Deposition, CVD）製程的反應室（chamber）用途，而其中近 80%的化學品是用於清洗反應室，特別是應用於PECVD（Plasma Enhance CVD）類型機台，其他則用於乾蝕刻用途。除PFCs類化學品外，HPFC類化學品（如CHF_3、SF_6及NF_3等氣體）亦使用於不同機台的製程階段。表 13.1 所示為世界各半導體協會會員所排放PFCs的數值，括號內數值為各會員國至 2010 年排放減量的目標值，而依據「台灣半導體產業協會全氟化物排放減量協議書」內容，其排放減量目標在 2010 年時，將全氟化物排放減至 1997 年和 1999 年之平均值（簡稱 1998*）的 90%。

表 13.1 全球各半導體產業協會 PFCs 排放值 單位:百萬噸碳當量

年 / 國家	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
美國（SIA）	(0.91)*	1.10	1.17	1.37	–	1.21	0.93	1.05
日本（JEITA）	(1.30)*	1.32	1.40	1.53	–	1.92	1.47	1.43
歐洲（ESIA）	(0.534)*	0.669	0.796	0.88	–	1.92	1.47	–
韓國（KSIA）	–	–	(0.841)*	0.82	–	–	–	–
台灣（TSIA）	0.2	0.33	0.60	0.59	0.85	1.30	1.15	1.36

*所對應之年份為各產業協會至 2010 年之 PFCs 排放減量基準

圖 13.1 所示為 2002 年全球半導體產業排放 PFCs 統計圖，台灣半導體廠商約佔全世界半導體產業排放 PFCs 量 26%。另外依據世界光電產業協會（World LCD Industry Corporation Committee, WLICC）承諾在 2010 年時，台灣、日本及韓國等三個國家 LCD 廠所排放之 PFCs 總量將降為 0.82 百萬噸碳當量，但各國所分配到排放承諾則尚未確定。圖 13.2 為 2002 年台灣 TFT-LCD 廠所排放之 PFCs 比率統計圖，約為 0.25 百萬噸碳當量。

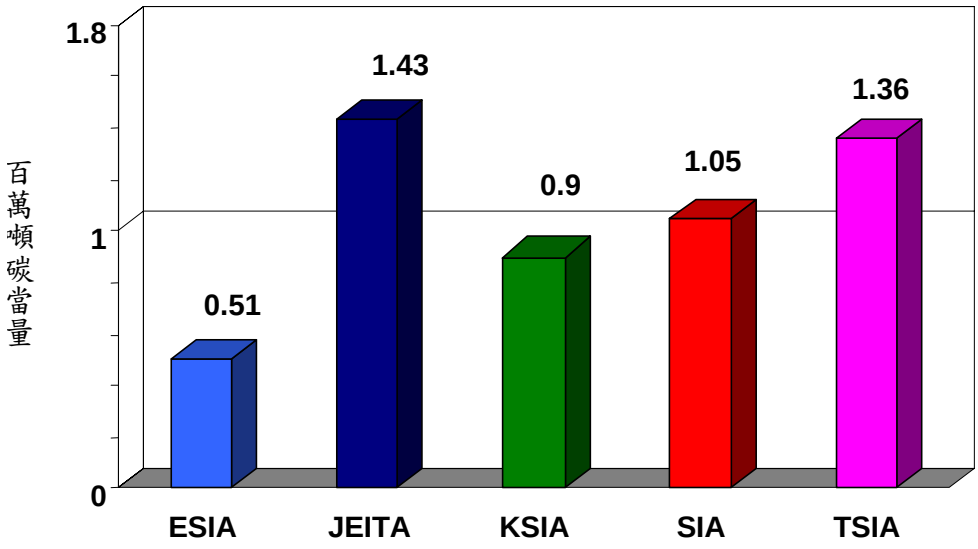


圖 13.1 全球半導體產業排放 PFCs 統計(2002 年)

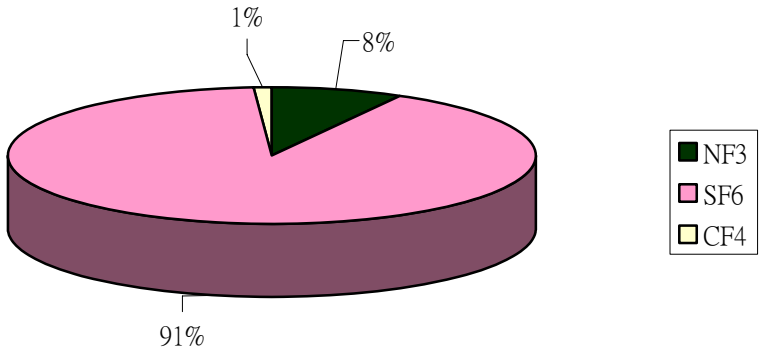


圖 13.2 TFT-LCD 廠所排放之各 PFCs 比率(2002 年)

四、 氟碳化物（Hydrofluorocarbons, HFCs）

目前HFCs已經開始生產以取代CFCs、HCFCs等破壞臭氧層物質，由於HFCs不會如CFCs與HCFCs一般轉換成氯而逸散至平流層，所以不會造成臭氧層的損耗。依據聯合國環境規劃署臭氧秘書處之

技術暨經濟評估小組（TEAP）於 1998 年提出的評估報告顯示，至 2015 年HFCs全球生產量將達到 340 千噸（假設 2010～2015 年間有 2.5%的年成長率）。至於排放量預估部分，HFCs排放量到 2010 年稍少於 1,100 百萬噸CO_2當量（在 1998 年石化燃料所排放的CO_2已達 22,000 百萬噸CO_2），到 2030~2100 年間的年排放量預測值將達 1,500～5,000 百萬噸CO_2當量。主要仍作為空調主機、冷凍冷藏設備及運輸工具等冷媒使用。

另外，大氣中的 HFC-23 多來自於 1990 年至 2000 年間 HCFC-22 製程逸散之副產品，每生產一單位 HCFC-22 約可產生 1～5%的 HFC-23 排放量，但也由於近年來 HCFCs 製程最佳化的執行落實，促使 HFC-23 有顯著地減少，預期整體排放量的減少趨勢仍會持續至 2010 年。HFC-23 持續減少的最主要因素，為全球自 2004 年起依據「蒙特婁議定書」控管 HCFCs 生產量上限，且將 HCFCs 產量逐年減少。

我國 HFCs 的用途與排放源主要分為三方面，包括 ODS 替代品、HCFCs 製程衍生物及半導體製程使用。前項用途主要係因應「蒙特婁議定書」管制破壞臭氧層物質(ODS)而研發出來的，所以種類非常多。主要以汽車冷媒 HFC-134a 為主，在 2002 年其排放量約 80 噸。

（一）ODS 替代品

HFCs 在國內作為 ODS 替代品的用途主要包括冷媒、滅火藥劑、清洗溶劑及發泡劑等四大項，茲分別說明如下；

- 冷媒：單一成份的冷媒主要為 HFC-134a，在國內早已取代 CFC-12，並廣泛使用於汽車冷氣及家用冰箱等冷凍空調設備，另外還有 HFC-23，用於中低溫及超低溫冷媒，取代原先使用之 R-503 及 CFC-13 冷媒。此外，有部分 HFCs 係與其他化合物（如 PFCs 與 HCFCs 等）以混合冷媒的狀態使用，包括 R-401A、R-402A、R-404A、R-407C、R408A、R-410A、R-507 及 R-508B。這些混合冷媒的成份中所含的 HFCs，包括 HFC-134a、HFC-125、HFC-143a、HFC-32 及 HFC-152a 等。
- 滅火藥劑：主要為 HFC-227ea，由美國生產，以商品名稱 FM200 在國內銷售。此外，還有極少量的 HFC-23 及 HFC-

236fa 用來替代海龍 1211 手提式滅火器，另 HFC-125 用來替代海龍 1301 系統式滅火設備。

- 清洗溶劑：只有 HFC-4310mee、二氯乙烯及甲醇等化合物混合使用，由美國生產，以商品名稱為 Vertrel XMS 及 Vertrel SMT 在國內銷售。這二種含 HFCs 的清洗溶劑在國內推廣以取代 CFC-113 與 HCFC-141b 等為主。
- 發泡劑：從國外進口的 HFC-245fa 與 HFC-365mfc，目前主要提供家用電冰箱製造廠商，作為低溫隔熱絕緣 PU 發泡體的製造或試驗用途，此兩項 HFCs 被視為較具潛力之 HCFC-141b 替代品，但由於全球自 2002 年底起甫正式量產，價格仍嫌偏高，市場接受度尚不可知，惟其仍應僅視為短期階段性替代品。

（二）氟氯烴(HCFCs)製程衍生物

台灣塑膠公司氟氯烴廠是國內唯一因生產 HFC-22、HFC-141b 及 HFC-142b 而間接排放 HFC-23 之場所，其排放量約為 HFC-22 生產量的 0.5%，若以 2002 年生產 HCFC-22 約 9,700 噸估算，其 HFC-23 排放量約有 145.5 噸。依據台塑公司規劃，自 2003 年起將逐步停止生產 HFC-141b 與 HFC-142b，並考慮在數年後停止生產 HCFC-22，因此未來國內 HFC-23 的排放問題將不復存在。該公司過去 HFC-23 的排放量約為 HCFC-22 生產量的 0.5%，其數值較一般國際間認定為低，主要係該公司設置焚化爐並進行排放減量措施。

（三）半導體製程

我國半導體製程所使用的氣體種類繁，然而在 HFCs 方面僅少量使用 HFC-23，主要用於蝕刻（Oxide Etch）用途，利用率約為 15%。

三、 六氟化硫（Sulfur Hexafluoride, SF_6）

SF_6是大氣層中非常穩定的稀有氣體，其GWP為 22,200，是溫室氣體中GWP值最高者，其在大氣層中的濃度於 1994 年的報告呈現出每年增加 6.9%的趨勢，相當於每年 5,800 噸的排放量。所有研究結果一致認為此氣體完全是人為造成的，且約有 80%的排放來自於高壓電力設備中的絕緣用途。SF_6熄滅電弧的特有能力，協助產業發展

出安全、可信賴的氣體絕緣高壓斷電器、變壓所、轉換器及傳輸線。而SF_6的需求量將與電力需求成比例，其比例約為 132.6 噸SF_6/EJ（1 EJ≅10^{15}BTU, 1 BTU = 1 055 焦耳）。

SF_6另一個主要排放源是來自鎂的鑄造，SF_6可被用來預防鎂的氧化或在高溫中燃燒，另外SF_6同時也用於鋁的去氣泡過程（國內使用氯去氣泡），但因為過程中SF_6與鋁會起反應破壞，所以此過程中很少或不會有SF_6釋出至大氣層。鎂的全球生產量約為 350 千噸，目前開發中國家的鎂生產量約佔全球生產量的 15%。目前SF_6的主要製造業者（包括三家美國公司，及日本、義大利、德國各一家公司）已經同意共同合作進行全球使用市場的SF_6銷售資料調查工作，以期逐年控制並降低SF_6產量。預期SF_6排放量將隨著時間而降低，主因係來自鑄造廠及高壓電力設備，積極採取更小心的操作、回收、再處理及改用其他材料替代。

我國SF_6用途包括半導體製程、鎂鋁合金製造業及電力事業，其中半導體製程用量不多，而鎂合金製造業使用量不多且使用濃度較低（一般介於 0.3～3%），其 2002 年排放量約為 46 噸。而對SF_6使用濃度為 99%之電力事業及設備維修而言，才是SF_6的主要排放場所。

國內最大電力事業單位為台灣電力公司，自 2001 年起配合環保署進行SF_6的使用量調查作業，但因SF_6主要使用於隔絕系統，並非如原物料一般會消耗在產品之中，且其現存量可能是過去三十年所購置累積量，其填充使用量因年代久遠且設備繁多，無法於短期內統計完成，僅能以 2000 年之採購補充量（即洩漏量）以推算其實際使用量。依IPCC的統計，SF_6使用在電力事業設備，其使用年限三十年，其中約有 30%會外洩，因此平均每年洩漏率為 1%，依此推估實際使用量。調查範圍包含維修課、業務課、電機工場、核能發電廠及發電處等多處SF_6使用單位。

若將前述兩項場所排放合計推估，我國 2000 年SF_6排放量約為 718 千噸CO_2當量，低於日本之 15,000 千噸CO_2當量。由排放量推算目前電力事業使用排放量約為 100 噸，其最大排放量為維修部門，約佔 47%。但由於近年來鎂鋁合金產能逐年增加，估計 2002 年國內除半導體產業外，其SF_6的使用排放約 500 噸，約為 11,000 千噸CO_2當量。

四、 排放成長分析

（一）國外使用排放

依美國環保署的統計推估顯示，在美國與歐盟等具有減量責任之附件一國家若未進行排放減量時，此三種含氟溫室氣體的排放量，至 2010 年排放量將比 1995 年約成長 3 倍。而在無減量責任的中國大陸與韓國等非附件一國家，至 2010 年排放增量將比 1997 年約成長 3.2 倍。另外由日本環境廳所統計推估排放值，三種含氟溫室氣體的全球排放增量約為 1.5 倍。由於現階段此三種含氟溫室氣體使用率及替代可行性仍不甚確定，因此各國預估其排放成長率也略有不同，但普遍其排放量增加速率仍極為可觀。

表 13.2 各國含氟溫室氣體排放量預測值 單位:百萬噸碳當量

年度 / 國家	1995	1997	2010	平均年成長率(%)
美國	26	–	85	15
歐盟	19	–	56	13
中國大陸	–	8.5	29	18.6
韓國	–	0.4	1.5	21

（二）我國使用排放分析

- PFCs：2002 年台灣半導體 PFCs 排放量約為 1.36 百萬噸碳當量，若以半導體產量年成長率 16%來估算，至 2010 年國內半導體產業 PFCs 排放量約為 2.58 百萬噸碳當量。另外，2002 年台灣光電產業 PFCs 排放量約為 0.25 百萬噸碳當量，若以光電產業產量年成長率 20%來估算，至 2010 年排放量約 1.07 百萬噸碳當量。綜合國內兩大產業的 PFCs 排放，若未進行排放減量措施時，在 2010 年其整體排放量約 3.65 百萬噸碳當量。
- HFCs：2002 年 HFC-134a 冷媒在汽車的使用排放約 90 噸，約為 0.032 百萬噸碳當量，若依汽車平均每年 4.5%成長率估算，至 2010 年時，使用排放約 0.045 百萬噸碳當量。台

塑公司生產 HCFC-22 所排放 HFC-23 在 2002 年為 0.475 百萬噸碳當量，預估該廠可能在 2005 年間停產，因此排放量將大幅衰減，但由於發泡產業及冷凍空調冷媒的使用量將成長，導致排放量增加，因此推估整體排放量應變動不大，2010 年時約維持在 0.5 百萬噸碳當量。

- SF_6：2002 年電力事業SF_6排放量約為 2.08 百萬噸碳當量，若依電力需求成長率 2%估算，至 2010 年約為 2.4 百萬噸碳當量。另外，2002 年鎂鋁合金使用SF_6的排放量約為 0.28 百萬噸碳當量，若以現今該產業蓬勃成長（年成長率約 15～30%），至 2010 年排放量約為 2.28 百萬噸碳當量。綜合此二產業在 2010 年SF_6整體排放量約為 4.68 百萬噸碳當量。

（三）我國排放減量預期績效

HFCs，PFCs及SF_6的總排放量於 2002 年約為 4.63 百萬噸碳當量，至 2010 年時約增加為 9.47 百萬噸碳當量，其排放增加的速率遠大於整體溫室氣體的排放。目前國際間含氟溫室氣體排放減量措施，著重於產業自願減量計畫落實。我國若能協助半導體與光電產業達成自願減量承諾，在 2010 年半導體及光電產業之PFCs排放量分別達 0.66 及 0.4 百萬噸碳當量的目標，將可使我國PFCs整體排放量控制在 1.06 百萬噸碳當量以內。另積極向電力及鎂鋁合金事業推展進行回收措施，促使其減少SF_6的使用及排放，亦可望控制SF_6排放量在 2 百萬噸碳當量以內。因此 2010 年此三種含氟溫室氣體的排放量應可控制在 3.56 百萬噸碳當量以內。相關排放與減量目標如表 13.3 所示。

13.2 國際管理措施

一、歐盟

歐盟現有十五個會員國，其自初期便積極促使《議定書》能夠及早生效。為達成其溫室氣體減量承諾，2002 年提出「因應氣候變遷規劃書（European Climate Change Programme, ECCP）」，訂立出十項行動作為未來推動相關減量措施之依據。其中 2002 年至 2004 年所規劃項目包括：建立歐盟溫室氣體排放交易制度、監控含氟氣體流向與防止洩漏、加強溫室氣體清查監測體制、開發與引進再生

表 13.3 我國含氟溫室氣體排放量預測值　單位：百萬噸碳當量

年度 氣體	2002 年排放量	2010 年排放推估值	
		無排放減量措施	執行排放減量措施
HFCs	0.51	0.50	0.50
PFCs	1.76	4.29	1.06
SF_6	2.36	4.68	2.00
合計	4.63	9.47	3.56

能源技術（包括生質燃料）、制定能源供應面/效率提升規定、制定設備能源效率標準、加強能源需求面管理系統、制定汽電共生推廣法等措施。

對含氟溫室氣體而言，歐盟唯一有相關的行動規劃為「監控含氟氣體流向與防止洩漏」。歐盟認為在尚未完全掌握這些氣體之詳細排放源，且尚未完成評估相關的減量技術經濟效益之情況下，避免現階段所制定措施將只是把轉移環境問題（尤其是這類溫室氣體大量被用來作為破壞臭氧層物質的替代品），而無法真正兼顧環境與經濟之實際效益。

（一）排放源分析

早在「因應氣候變遷規劃書」制訂前，歐盟便委託許多研究機構針對含氟溫室氣體之減量技術與措施，進行減量成本與效益評估，作為設計推展模式之參考。HFCs、PFCs及SF_6主要排放源分析始於 1999 年，Heijnes研究報告分析清查歐盟各會員國HFCs、PFCs及SF_6之排放源（如表 13.4），預測 2005 年與 2010 年之排放情景來與 1990/1995 年情景比較，且以現有歐盟法規背景為資本與操作成本之參數，模擬各種減量措施之推展成本。

表 13.4 歐盟含氟溫室氣體排放源

HFCs	PFCs	SF_6
HFCs 製造/運送、HCFC-22 製造、冷凍/冷藏系統(工業、商業、運輸、住家、熱泵)、空調系統(固定式、移動式)、材質發泡、溶劑清洗、噴霧罐及滅火設施等。	初級鋁生產與半導體生產等。	電力傳輸設備、鎂生產、半導體生產、隔音窗填充及輪胎等。

排放量顯著的會員國家以具有下列工業為主，包括HFCs排放主要來自HCFC-22 製造、PFCs排放來自初級鋁生產及SF_6排放來自鎂生產。但該報告保留未來其他排放源因應用擴散而逐漸增加之可能性。2001 年Harnisch的報告便估計至 2010 年時，排放結構將有明顯的轉變，包括HFCs排放源轉移至固定與移動式空調系統冷媒（佔該氣體總量 50%以上）；PFCs排放源將轉移至半導體生產（佔該氣體總量 60%以上）；SF_6轉移至隔音窗與輪胎填充應用（佔該氣體總量 50%以上）。

(二)排放趨勢預測

依據Heijnes 1999 年研究報告顯示，在 2010 年HFCs、PFCs及SF_6氣體之常態發展排放預測分別為 65、5 及 12 百萬噸CO_2當量（如表 13.5）。但該報告亦說明該數值只能作為參考下限，因會員國所提報數據仍具有許多問題點：

- 希臘、愛爾蘭、盧森堡、葡萄牙及西班牙等國並未繳交數據。
- 數據估算前提假設不同，例如德國與荷蘭為「實際排放量」，奧地利、比利時及芬蘭則為「可能排放量」。
- 國家排放量所涵蓋的排放源完整度不一，部份國家清楚顯示應用與排放關聯清單，部份國家則整合顯示。

事實上，各會員國在清查各產業提報排放數據時，也會遭遇同樣的問題，因此標準化估算方法與提報格式是克服問題的重要關鍵。歷經兩年的時間努力，歐盟會員國提報數據逐漸完 整，2001 年報告顯示，其整體排放預測向上修正約 41%，其中又以

PFCs 幅度最大（約 4 倍幅度增加），主要係預測半導體產業發展而作的修正。

表 13.5 歐盟含氟溫室氣體排放預測

年度 / 氣體	預估 2010 年排放量（百萬噸CO_2當量）	
	1999 年報告	2001 年報告
HFCs	65	71
PFCs	5	26
SF_6	12	19
總合	82	116

(三)初期結論

即使仍有部份減量措施無法納入評估，但至少已掌握 78%的減量成本分佈，Harnisch 報告結論包括：

- 多數會員國可以低於 10 歐元/ 噸CO_2當量減少排放之減量措施，以達成 2010 年預估值 10%之減量。
- 最大的估計問題點在於各國對於預估常態發展排放量至 2010 年定義仍有差異，應加以整合（例如統一特定技術之洩漏率等）。
- 此報告為巨觀評估，因此評估結論使用至個別區域時，仍應依區域產業結構與整體歐盟產業結構相互比較，並由專家判定為其參考上下限值。
- 部份HFCs、PFCs及SF_6替代使用措施可能造成環境問題轉移，（例如使用HFCs冷媒，反而犧牲掉冷藏設備之能源使用效率），可能需要個別評估其Life Cycle Climate Performance（LCCP），藉以判定其淨效益為何。
- 會員國中仍有部份國家完全無含氟溫室氣體減量之措施或未來規劃，警告其未來可能必須以更高的減量成本來減少其他溫室氣體，才能補償使用這類氣體部門的快速成長。

二、美國

美國環保署在執行HFCs、PFCs及SF_6等含氟溫室氣體的排放減量方案主要方式包括：加強產業宣導與減量排放推廣、建立再生與回收系統、確認替代品的使用規範及應用技術、避免非必要用途使用HFCs、PFCs及SF_6等含氟溫室氣體、研發新的產品開發技術、應用氣候生命週期分析工具。2002 年 6 月召開《公約》附屬機構會議中，美國提交《公約》秘書處有關管制含氟溫室氣體排放報告，提供美國政府努力的方向與執行策略。

(一)推動自願減量工作與訂定管制法規

HFCs、PFCs及SF_6在美國某些工業上目前仍是必須使用且無法完全替換的，其排放量雖僅佔美國溫室氣體總排放量的 2%，但在符合經濟效益與技術許可範圍內，美國政府亦積極執行相關減量計畫。美國的執行策略係藉由法規規範與民間自願排放減量合作計畫來共同完成，而美國環保署則對相關資料進行彙整與分析，提供給業界實用資訊及執行排放減量技術，協助產業達到排放減量的目標。

而 HFCs 與 PFCs 都是已被商業化的海龍替代品，故美國環保署與防火協會（FSSA）與海龍替代品（HARC）研究機構等單位合作，建立一項海龍管理策略，以減少 HFCs 與 PFCs 排放。這些策略包含相關法令規章的執行、排放測試、技術使用訓練、設備維修及處置、使用紀錄維護、計畫成果分析檢討、溝通宣傳及推廣應用等議題。

1.協助推動自願減量排放伙伴關係

美國環保署為減少含氟溫室氣體在鋁、鎂、半導體及電力事業等產業的使用，除積極協助各相關產業成立自願減量伙伴外，亦研擬相關計畫來協助各產業減少排放，並藉由執行產官學研的合作計畫，提高各項排放資料的品質及可信度，進而建立相關規範來執行相關政策。對於許多尚未有排放標準的領域，亦延聘具有豐富經驗的業界與專家彙整適當的建議，提供給相關產業參考。目前美國環保署輔導的產業及其績效包括：

- 鋁、鎂及其合金產業：鼓勵業界減少使用SF_6排放。
- HFC-23 使用場所：藉由製程最適化程序及熱破壞技術的推廣，減少排放量約 4.8 百萬噸碳當量。

- SF_6在鎂相關工業的減量：與國際鎂鋁協會（IMA）合作，研究替代氣體的使用。
- SF_6在電力系統相關工業的減量：掌握世界生產與銷售資料，建立分析資料庫，並於 2000 年時與澳大利亞合辦國際間SF_6在電力系統排放減量研討會，來自 11 個國家共有 185 個團體共同參與，討論如何減少電力事業使用SF_6氣體的排放。
- 協助半導體產業排放減量：雖然半導體產業每年製造成長率約為 14%，但世界半導體協會（WSC）的會員一致承諾將致力於 PFCs 排放減量。因此美國環保署與美國半導體協會（SIA）共同簽訂排放減量協定，預訂在 2010 年時藉由業界自願性的配合可減少 PFC 排放量約 14 百萬噸碳當量。

2.執行 Significant New Alternatives Policy Program（SNAP）

美國環保署擬定的SNAP政策包含健康、醫療、環境安全、能源使用及CO_2排放量等議題，並從技術與經濟等考量下，推動減少含氟溫室氣體的排放。此方案不但是落實「蒙特婁議定書」相關規範，更要避免HFCs、PFCs及SF_6不必要的使用及排放。

為進一步減少HFCs、PFCs及SF_6等含氟溫室氣體使用排放，美國環保署在制定管制法規，係以再生使用為最高管制原則，使用場所若未遵行美國環保署禁止排放法律（no venting laws），最高罰款可達 27,500 美元/日。同時為更有效地管制HFCs的使用排放，更於 1999 年禁止便利型冷凍罐技術（self-chilling can technologies）使用HFC-134a和HFC-152a，此為第一個禁止使用含氟溫室氣體的法規。

(二)協助國防工業減少溫室氣體排放

美國環保署與國防部共同協助美國軍方減少使用HFCs、PFCs及SF_6的工作。美國國防部、環保署及排放減量技術專家於 2001 年共同參加為期四天的研討會，研擬軍方在環保上應配合與努力的方向，最後建議國防單位應在軍機、軍艦、太陽能房屋及電力車輛等場所，進行此三種含氟溫室氣體的排放減量工作。

除了針對特殊範圍的規範外，美國軍方亦規劃所有使用到 HFCs 的場所，都需配合以下的要點使用 HFCs。

- 在化學製造過程中，除選擇合乎經濟效益的技術外，更應儘量減少 HFCs 的排放。
- 在各項設備研發階段，應以零 HFCs 排放率為設計及操作目標。
- 使用 HFCs 系統的工程師應設法降低排放量，並評估增加能源使用效益的可行性技術。
- 在經濟及技術許可的範圍內，進行回收及再生 HFCs 相關工作。
- 提供技術訓練課程，協助操作人員可以適當的管理，並遵守相關設備的使用規範。
- 遵守政府制定的 HFCs 儀器裝置之維護方式，及其運輸儲存規則。
- 使用 HFCs 相關設備時，應詳細紀錄製造與使用情形，以作為排放估計的參考依據。

（三）建立化學品氣候生命週期分析技術（Life Cycle Climate Analysis, LCCP）

對於可直接評估溫室氣體排放減量的技術，美國環保署建議使用 LCCP 進行相關溫室氣體的排放評估。其評估的考慮範圍應包含製程、運輸、裝置回收處理及其設備在安全使用範圍內所需的能量耗損，以及使用時相關電能產生時的氣體排放。經由 LCCP 評估溫室氣體排放減量後，再分析檢討應執行的改善方向。

另外，美國環保署亦主動的與國際間分享其排放減量資訊。自 1999 年開始，美國環保署即贊助國際間的相關會議，並與美國國防部及非政府組織合作推動排放減量工作。此外，如汽車的冷卻系統、國際間的鎂協會、鋁協會及半導體協會等產業組織的合作計畫亦持續進行，以協助相關使用場所，減少含氟溫室氣體的使用排放。

三、 澳洲

(一)鎂製造業的管理方向

澳洲擁有豐富與高品質的鎂礦產，加上便宜的電力，預計澳洲在 2003 年鎂生產量為 266 千噸，若建廠計畫皆付諸實現，至 2008 年產量可高達 533 千噸，將成為全球第一大鎂生產國。其為因應未來SF_6排放問題，管理策略主要由其研究單位（CSIRO）及昆士蘭大學負責推展。2000 年初期已發表使用HFC-134a為SF_6替代品，其優點包括：

- HFC-134a之GWP值約為 1,700，遠低於SF_6將近 17 倍。且其製造價格僅SF_6的 1/3。
- HFC-134a 更具熔融態鎂金屬的保護效力，並能將已產生鎂燃燒情形下將火撲滅。

估計光是HFC-134a取代SF_6的效益，即可每年為澳洲減少數百萬噸CO_2排放，而研究單位仍進一步尋找其他替代SF_6之覆蓋氣體。同時將此研究結果通知未來最大之鎂製造公司（Australia Magnesium Company, AMC）。

(二)電力事業單位

澳洲因腹地廣大，為傳輸電力而有 80 個以上容量超過 220 千瓦的變電所。而SF_6則使用於這些密集的電力傳輸網路中，對於SF_6氣體的操作使用，皆必須依循澳洲標準局提供之指導手冊進行管理。近年來該國電力事業部分有朝向以高壓電力傳輸之趨勢，由電力輸出的增加便可看出未來傳輸系統負載增加的情形，直接導致SF_6未來需求亦將大幅增加。為此，澳洲政府要求大多數使用SF_6氣體的電力供應單位，應與Greenhouse Challenge簽訂自願減量協定，明確規範應提報每年排放清冊、管理與減量措施規劃等工作。

13.3 我國管理策略

由歐美先進國家對HFCs、PFCs及SF_6等三種含氟溫室氣體的管制方式可知，雖然此三種氣體佔全球溫室氣體排放總量低於 5%，但

仍可積極執行相關管理及排放減量工作，對於抑制其排放趨勢亦有相當的影響。國際間評估此三種氣體的用量將逐年成長，若採取嚴格管制使用，恐會對產業及經濟發展造成負面影響。由聯合國環境規劃署針對「蒙特婁議定書」和「京都議定書」之相關性所明示的原則「過度限制HFCs、PFCs及SF_6使用，可能造成工業界的許多困擾，因為若停止使用破壞臭氧層物質(ODS)，許多製程將面臨無適當的替代品與技術可用的困境」，即可看出倘若管理不當，則可能衍生出其他環境負荷問題。

如何有效掌握其使用情況，並進一步減少排放可能途徑，應是國內相關單位制訂管理策略的重點。尤其此三種含氟溫室氣體，在國內的應用領域完全迥異，因此均應視其不同特性，規劃出個別妥適措施，方能有效落實管理策略。

一、 HFCs

目前尚屬於開發使用初期階段，且應用範圍廣泛，因此其管理策略應著重在製造維修業與消費者使用管理。目前全球除少數歐盟國家開始著手研擬 Non-HFCs 策略外，國際間對於 HFCs 尚無明確管制措施。因此針對我國 HFCs 主要使用於汽車空調與家電產品壓縮機冷媒的情形而言，可著手推動下列幾項工作：

- 制訂 HFCs 冷媒操作技術規範或防制逸散相關法規，防止 HFCs 冷媒使用外洩。
- 推動 HFCs 冷媒回收、回用及再精製等產業發展，加強 HFCs 冷媒回收及精製工廠管理工作。
- 結合產官學界力量，定期舉辦冷凍空調技術人員訓練講習課程，宣導正確使用 HFCs 冷媒。
- 鼓勵產業界使用 HFCs 冷媒替代技術與替代品。

二、PFCs

國內主要應用在半導體及光電等高科技產業，由於其產業技術發展快速，循環世代極短，需使用 PFCs 來提昇產品良率，但其替代技術尚未完全成熟，因此管理策略應以排放減量為重心。現有之排放減量技術大約有下列五種，包括偵測技術、化學品替代、製程最佳化、回收再利用及管末處理。雖然管末破壞處理並不是最佳選

擇，但目前卻是處理 PFCs 排放最成熟且最經濟有效的方法。一般而言，各半導體公司對既有廠的 PFCs 減量策略首先為製程最佳化，其次為替代、破壞。至於對新廠的策略，則以廠的規模來區分，若為小廠，則 CVD 製程可優先採用化學品替代，其次為破壞；而蝕刻製程則為破壞，其次為化學品替代；若為大廠，CVD 製程則優先考量替代、其次為回收、破壞；而蝕刻製程則為替代、破壞，其次為回收。

排放減量的評估亦應在成本的投資、未來國際法規的管制、原物料的取得、產品的生命週期分析及破壞減量的排放設置成本等因素上，進行綜合性的效益分析，方式最佳的排放減量方案。誠如前述所言，目前半導體廠實行之排放減量方式，仍以破壞後排放為主要之處理方式。其他如替代品之研發及製程改善等方式，則受限於國內並非半導體產業原物料研發及製程開發國家，要進行製程改善實屬不易。現階段產官學界可共同致力於下列工作之推展：

- 推動光電半導體產業與政府主管機關簽署自願性減量協定，建立夥伴合作關係，確切掌握產業 PFCs 使用量及排放量。
- 推廣使用替代品，推行製程最佳化應用技術，減少 PFCs 使用量。
- 結合產官學界力量，共同開發本土性之排放減量破壞技術，降低減量成本。
- 舉辦國際性產業研討會，宣導國際管制趨勢與技術走向。
- 提供回收再利用相關資訊，降低半導體廠之原物料成本。

三、 SF_6

電力事業使用SF_6並非作為原物料消耗，用途僅單純作為隔離絕緣，因此其管理策略應以使用者自主管理為主軸，並推行產官學界之技術合作合作。另外對於鎂鋁合金產業所使用SF_6的排放問題，由於其產量日益快速成長，其排放減量工作亦不可忽視。現階段可從下列的管理方向著手：

- 推動電力事業自願性減量協定：目前電力事業使用SF_6排放洩漏尚無法完全掌握，可透過政府與產業自願性減量協議，建立夥伴合作關係，方能有效地掌握其使用及排放量，並落實排放減量工作。

- 協助電力事業建立使用減量工作：包括建立回收循環再利用系統、避免維修保養拆解時之SF_6排放、建立改善現有氣體清冊清查系統及推廣改用替代品等工作。
- 協助電力事業維修管理訓練：電力公司排放SF_6的部門為維修單位，因此加強維修部門洩漏管理為主要關鍵。可結合產官學界力量，協助製作維修技術手冊、加強電力公司內部員工維修訓練、建立防止洩漏稽核、維修記錄及洩漏追蹤系統等工作。
- 進行對鎂鋁合金、半導體產業等其他使用SF_6單位的使用調查與減量排放教育宣導，並透過替代品或替代技術的研發與推廣，將各使用產業納入管理輔導，以減少此類含氟溫室氣體的使用排放。

從歐美等工業先進國家管理策略看來，現階段並無執行使用及排放管制之急迫性及必要性，仍應以掌握使用排放情形，並加強產業技術輔導等方式為宜。國內使用HFCs、PFCs及SF_6主要產業，偏重於高科技產業，其在國家整體經濟產值佔有相當大的比例。另外依據我國 2000 年溫室氣體排放清冊統計，此三種含氟溫室氣體排放量（換算成CO_2當量）約僅佔全國溫室氣體排放總量的 3%。由於此三種含氟溫室氣體多使用於集中排放產業，若能採取有效管理，對於我國整體溫室氣體排放管制策略，亦將有顯著成效，同時也對產業發展有實質正面之效益。因此現階段我國應考量業界的生產技術與污染防治能力，進行適當的排放減量輔導，並落實監控含氟溫室氣體流向與防止洩漏。同時可參考國外作法，強化政府主管機關與產業協會間之合作夥伴關係，廣泛結合研發單位與國外技術專家，適時提供產業必要之技術輔導及資訊諮詢服務；產業界則可配合使用量及排放量調查作業，建立回收再生系統、避免非必要用途使用HFCs、PFCs及SF_6等含氟溫室氣體及落實維修操作技術及訓練等事宜，逐步提高各項排放資料的品質及可信度，進而建立執行相關管理規範，並為下一階段減量工作預作準備。

參考文獻

1. Kroeze, C., Fluorocarbons and SF_6, Global emission inventory and options for control, RIVM report no. 773001007, February 1995.
2. Maiss, M., Steele, L.P., Francey, R.J., Fraser, P.J., Langenfelds, R.L.,

Trivett, N.B.A., and Levin, I. Sulfur hexafluoride - a powerful new atmospheric tracer, Atmospheric Environment 30, 1621-1629, 1996.

3. IPCC Guidelines Reference Manual, 1996.
4. The Implications to the Montreal Protocol of the Inclusion of HFCs and PFCs in the Kyoto Protocol, UNEP October 1999.
5. Ames A. Baker, Mobile Air Conditioning: HFC-134a Emissions, 1999.
6. Jørgen Fenhann, HFC, PFC AND SF_6 emission scenarios: recent development in IPCC special report on emission scenarios., Joint IPCC-TEAP Expert Meeting, 1999.
7. Shigeru Maruyama, Masanari Meguro, The Federation of Electric Power Companies in Japan, SF_6 and the Environment: Emission reduction strategies, November 2000.
8. Kiyoshi Hara, Update on SF_6 Use and Emissions from Japan's Magnesium Casting Industry, SF_6 and The Environment: Emission reduction strategies, November 2000.
9. UK’s Climate Change Programme3, Nov.2000, Annex F.
10. IPCC Third Assessment Report Climate Change 2001: Working Group III: Mitigation - Chapter 3 Appendix: Options to Reduce Global Warming Contributions from Substitutes for Ozone-Depleting Substances, 2001.
11. Francisco de la Chesnaye, Methane & Sequestration Branch, Modeling non-CO_2 Greenhouse Gas Emissions and Mitigation & the Importance of a Multi-gas Abatement Strategy, 4th Sino-Korean-US Economic & Environmental Modeling Workshop, Beijing, China – May, 2001.
12. 余榮彬，半導體工業全氟化物排放控制技術與機會報告，1998。
13. 黃素清，澳大利亞 AFCAM 削減 HFC 冷媒排放自願行動方案，蒙特婁議定書資訊速報 28 期報告，1998 年 10 月。
14. 行政院環境保護署，我國 1999 年國家溫室氣體排放清冊，2000 年。

15.行政院環境保護署，鹵烴及SF_6管理規劃與排放減量技術評估計畫期末報告，2001 年 12 月。

16.余榮彬，半導體業溫室氣體(PFCs)排放減量報告，2001 年 11 月。

第十四章　土地利用管理對碳匯之影響分析

因石化燃料的持續使用，以致 1990 年代以來平均每年增加 33±2 億噸碳至大氣中，目前以CO_2形式留存於大氣約略為 7600 億噸碳，相當於陸域生態系統所儲存碳量的 30%。

土地利用、土地利用變化及林業（Land Use, Land Use Change, and Forest, LULUCF）活動而使大氣中CO_2的移除與減少之效果即稱為碳匯（carbon sink）。IPCC SAR估計全球約有700 百萬公頃的森林地可用作碳管理保存之用，其中138百萬公頃為熱帶地區毀林重生，217百萬公頃為熱帶森林的重建，345百萬公頃為造林地（plantation）與農地造林（agroforestry）。若善加規劃以上區域，預估至2050年約有600～870億噸碳可由森林儲存與吸收，而其中約有230～440億噸碳則由農業土壤吸收。因此由森林、農用土地等陸域生態系統及水資源的管理，可以保存更多的碳以減緩大氣中的CO_2濃度。

有關碳匯之土地管理問題，可分成幾個面項來分析：(一)全球土地利用變化沿革與現況；(二)CO_2之減緩排放潛力及生態系統管理；(三)經濟及社會因素等。另本研究針對陸域生態系統對減緩CO_2濃度的措施進行評估，亦對台灣土地利用變化及林業部門之溫室氣體減量統計分析結果，建議可執行之行動方案。

14.1 全球土地利用變化沿革與現況

一、熱帶地區

全球熱帶森林從殖民時期開始大量開發後，便以驚人之速度耗損。1998 年的統計資料顯示每年以 15.4 百萬公頃速度消失，其中拉丁美洲為 42%、非洲為 31%及亞洲為 27%。在 1990 年的造林統計資料中，每年約增加 3.2 百萬公頃，遠少於毀林速度。熱帶地區每年因土地利用與森林活動而使碳排放約為 11～17 億噸。

熱帶地區的森林開墾通常是為了增加放牧(如拉丁美洲)與耕地面積(如亞洲)，然而卻將影響森林的土地利用與植被型態，甚至影響人類的社會與經濟發展。

二、寒、溫帶地區

溫帶地區為全球人口密度最高地區，因人類文明發展使其森林面積逐漸縮小，成為耕地與放牧地，直至 20 世紀後林地面積才不減反增。而寒帶地區因人口極度稀少，土地利用管理並不顯著。聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations,FAO)於 2000 年統計 55 個寒、溫帶地區的國家，其森林中的碳儲存量每年約以 8.8 億噸碳增加。在美國與西歐，儲存於木材的碳匯量可達石化燃料所排放量的 10%。IPCC指出全球在 1990 年代的碳匯總量約每年 7 億噸碳，而表 14.1 所示為溫帶地區之碳匯量。

表 14.1 溫帶地區之碳匯量 單位: 億噸碳

區 域	歐洲	加拿大	美國	北美洲	俄羅斯
年份	1997~2000	1990	1980～1990	1998~2000	1983~1992 (1998)
碳匯量（億噸碳/年）	0～5	-0.068	0.2～0.98	17±5	0.51 (0.81~1.2)

溫帶地區的土地利用主要受技術與經濟的影響。由於耕作技術的改進，降低所需用地，因此許多廢棄農地轉換成為森林，而增加林地面積。此外，因造林與植林獎勵活動促使森林復育，亦使輸出工業用木材量增加而相對獲得經濟效益。

IPCC SAR 指出森林開發過程中，碳排放量隨地理位置不同而有很大的差異性，除了與資料收集方式及完整度有關外，在各定義、統計工具與步驟皆尚未有共識下，很難確切估計與比較。Meyer 與 Turner 提出六項造成土地利用變化之因素：

- 人口—雖然全球人口增加之速率漸趨緩和，但因食物、資源及居住地的需求仍不斷成長，而加速土地開發與利用。
- 富裕度—人類生活品質提升雖增加消費量，但並不一定衝擊碳儲存量，反而有可能因注重品質而提倡造林與保育工作。

- 技術—技術的持續發展將改善資源利用效率，朝向綠色革命的目標邁進。
- 價值觀—追求短期利益者將無法認同和顧及土地管理與利用的長程規劃目標，忽略森林、水資源保護、生物多樣性及碳減緩成效等非市場可衡量之價值與額外性利益。
- 國家經濟與政治結構—兩項的影響研究則較不明朗，日後可進一步研究與分析。

14.2 生態系統管理

一、陸域生態系統

生態系統透過植物光合作用轉換大氣中的CO_2成為有機碳，並因食物鏈作用而儲存有機碳於各生物體組織內，最後因生物殘骸分解或石化燃料燃燒等方式，將有機碳轉換成CO_2釋放至大氣中，即所謂碳循環系統。其中陸域生態系統中的碳循環有隨季節變動之週期性，通常以夏季為碳儲存時節，冬季則反之。

但人類活動幹擾此生態系統的穩定，加速碳元素的逸散，促使大氣中CO_2濃度不斷上升。惟透過森林與土地管理、農業、林業、農地造林、生物多樣性、土壤及水資源等各領域發展所得之最佳策略，方能妥善促進其管理成效。

因火災、砍伐、蟲害、洪氾而造成CO_2大量排放情形，可稱為生態系統之幹擾（disturbance），無論是人為或自然因素所引起之幹擾，其發生頻率與強度將影響碳匯量的變化（如圖 14.1）。然而，各幹擾因數彼此間也相互影響而造成多重衝擊，例如在瑞典與芬蘭砍伐為主要的幹擾型式，而蟲害與暴風等自然災害亦是幹擾因素之一。通常受幹擾地區的碳儲存系統約需 50～200 年的復原時間。藉由降低自然幹擾的管理方式可顯著減緩碳排放機會。

碳儲存量之影響因數眾多，因此造成估算之困難，例如大氣中高濃度CO_2將壓抑自然界中有機物質的分解作用，而大氣溫度亦影響其分解速率；土壤中氮的含量與植物成長速率有關，也影響碳匯量之變化。此外，陸域生態系統受幹擾後，會因不同生態系統特性與幹擾時節而呈現不同程度的碳匯量變化，因此在進行幹擾評估與政策措施研擬時，需針對其環境條件作適當修正。

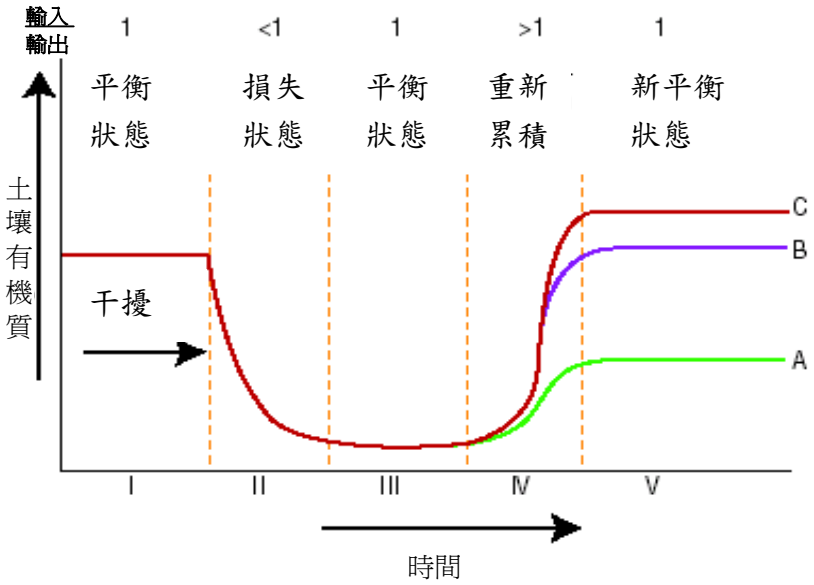


圖 14.1 土壤中有機物質受幹擾後，將重新達成輸入與輸出之平衡狀態，而新狀態曲線 A、B 及 C 則取決於土地利用管理方式

在研擬減少CO_2之排放策略，需考慮以下因素：生態系統於不同時節對碳匯的影響、與其他土地利用目標的可並容性、碳逸散問題、經濟成本、環境因素、社會文化問題及碳循環系統對能源部門的影響。在研擬政策時能全方面考量是有困難的，因此通常以技術可行性作為主要評估標準。以下為目前主要因應措施：

- 保育—加強保護管理既存之碳匯量以減少CO_2之排放，可於短時間內見其成效。
- 儲存—增加既有碳匯以增加CO_2之儲存，初期成效顯著，其上限為碳儲存量之飽和值。
- 取代—以生質能取代石化燃料燃燒以減少CO_2排放，需要一段時間後方能見其成效，具有永續發展的特性。

在任何時間點中，經由森林管理項目之碳儲存總量與排放量，乃與特定的管理活動有關（如圖 14.2）。因此不含碳的生態系統中，碳儲存的潛勢很高；然而具有較大碳匯量之生態系統則碳儲存速率較低，並且目前全球大多數生態系統中的碳儲存量已達到一定程度的最大值。

雖然碳儲存量和碳匯在某些階段可能同時偏高，但它們卻無法同時達到最大，故對一個生態系統的管理策略為增強短期累積量，或在一定時間內維持碳庫。例如於 2010 年時，若選擇使碳儲存達到最大化之策略而可能無法在 2020 年與 2050 年使吸收達到最大，甚至在此情景下將可能導致碳儲存量在未來隨時間減少。

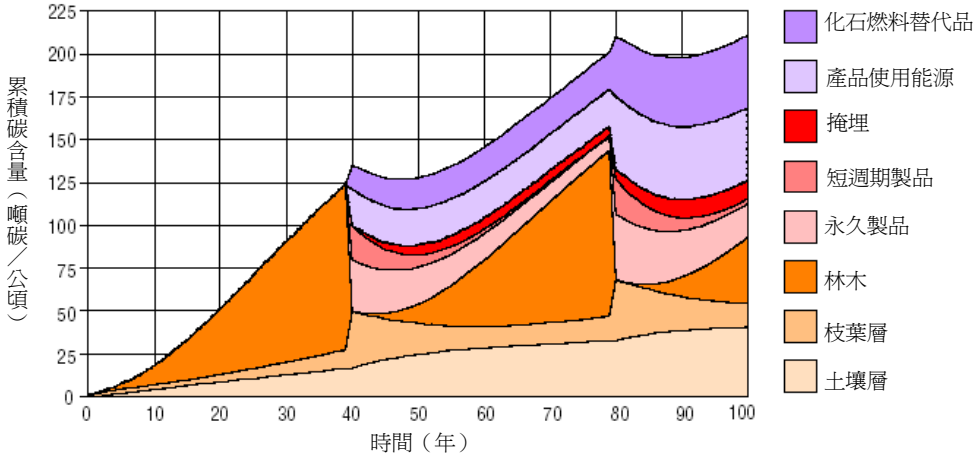


圖 14.2　森林管理項目的碳平衡情形

減少碳排放策略的成效，以及碳匯擴展後的穩定性，將受到將來全球氣候變遷的影響，而此影響將因當地區域、生態系統類型，以及當地適應能力的不同而有所差異。例如，大氣中CO_2濃度的增加、氣候變遷、改變營養物質循環、以及變更自然或人為產生的幹擾等，皆會對陸域生態系統之碳匯產生影響。

（一）森林管理

對許多國家而言，森林保護與管理可提供碳儲存潛力，例如菲律賓每公頃林地可儲存 215 噸碳，而造林與植樹將增加每公頃 70～100 噸的碳儲存量。

森林管理的措施包括：防止火災的發生、避免植物病蟲害、變更輪作方式、控制植株密度、增進養份、保護水源、適當選擇植物品種、利用生物技術、選擇較少衝擊之砍伐技術、管理砍伐

剩餘物、木製品之再生利用、增加林木副產品之使用效率及建立與管理森林保護區。

估計至 2010 年，全球有 10%的林地將透過技術性管理，使每年可儲存 1.7 億噸碳；至 2040 年時，全球 50%之森林經由規劃與管理後，每年可儲存達 7 億噸碳之水準。

根據 Sathaye 與 Ravindranath 的建議，以 300 百萬公頃為實施減緩措施面積時：40 百萬公頃可作為保育管理之用地、79 百萬公頃則以林地重建之用地及 181 百萬公頃作為碳儲存之植林地。目前亞洲 10 個國家（中國、印度、印尼、南韓、蒙古、巴基斯坦、菲律賓、泰國、越南及緬甸）的碳匯潛力達 265 億噸碳，其中位居一、二名的中國與印度，分別為 97 與 87 億噸碳。

在碳儲存成效方面，林地的保育措施可持續儲存碳，而當林木被製以成品受利用後，終將於一定時間內分解而無法儲存碳。無論是新生林地或發展成熟之森林，保育已存在之碳匯可作為短期之措施，但長期而言，仍應進一步實施造林與森林管理等制度。

對策的研擬也因社會與經濟條件的不同而有所變化，例如部份地區可以藉由減緩毀林為主要的增加碳匯措施；而在印度地區，加強森林管理、造林及對毀林地和廢棄地的造林為主要的推動措施；在非洲地區，促進薪材之使用效率為推動減緩碳排放之重點。此外，亦需針對各地區的經濟發展狀況，透過經費補貼措施以達成減少碳排放之目標，例如對林地擁有者與使用生質能燃料者的補助，以提供更多經濟誘因。

木材為可利用的再生能源資源，IPCC SAR 指出全球木製品約儲存 42 億噸碳，因此作為建材之林木及製作成家具等用材皆可視為碳儲存量，且每年增加.26 億噸碳。因此，加強木製品使用效率亦可促進碳儲存量。

此外，全球沼澤地大約儲存 3000～6000 億噸碳，主要來自森林富含較高碳量之泥炭塊，若利用其排水系統將可顯著促進樹群生長。另外，值得注意的是沼澤地亦排放CH_4，因此控制CH_4之排放措施須列入考量規劃。

若從環境成本探討森林的管理措施，各項造林措施不僅能增加碳儲存量，更能加強生物多樣性與水資源系統，惟可能減少森林開發之經濟收入。

（二）農地管理

土地管理依該地性質而有差異：農耕用地應保持農作物之耕種密度與頻率，避免裸露與休耕，並使肥料與灌溉無匱乏現象。主要CH_4排放源之稻田則需注意提供養分、水資源及作物輪耕措施。放牧地包括牧草、草原及灌木等管理，透過調整放牧之頻率、增加土地養分及控制火災等方式增加碳儲存量，另外，亦可引進固氮豆科植群以增進生產力。農地造林則需注意蟲害管理、樹種培育、安排適當植群密度及養分控制。而受棄置之土地，包括被過度放牧、受嚴重侵蝕、沙漠化或鹽化等，更需透過引進新植物種、加強改善養分及有機物等管理方式。

IPCC SAR估算經由農地的管理，每年將增加 4～6 億噸碳。此外，農地管理所帶來之效益尚包括提升作物之產量與產質，改善空氣與水資源品質。惟需注意N_2O之排放管理。

圖 14.3 與表 14.2 分別為已開發國家與開發中國家在土地利用管理項目之主要政策措施。

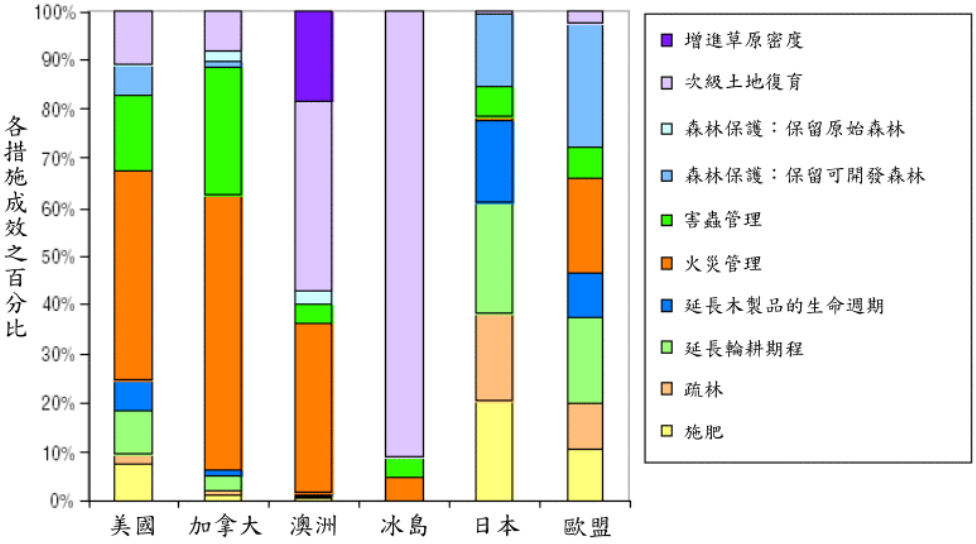


圖 14.3 各國於土地管理之政策措施與成效比率

表 14.2 亞洲十個開發中國家之各土地管理利用面積統計

單位：百萬公頃

項目 / 國家	林地的保育與保護	次級林地植被重建	次級林地植樹造林	農地造林	其他	地理面積	覆林面積
中國	–	19.2	105.2	75.9	–	932.6	134.0
印度	–	36.9	41.3	96.0	–	329.0	63.3
印尼	–	–	30.5	–	–	193.0	144.7
蒙古	–	2.4	1.6	–	–	156.6	17.5
緬甸	3.3	6.9	–	–	–	65.8	49.3
巴基斯坦	0.5	0.3	2.6	1.2	–	77.1	3.7
菲律賓	6.6	2.5	–	–	0.60	29.8	6.5
南韓	0.7	0.3	–	–	0.05	9.9	6.5
泰國	17.8	4.4	–	–	–	51.1	14.0
越南	10.5	6.0	–	–	2.50	32.5	19.0
總計	39.4	78.9	181.2	171.9	3.15	1877.4	458.5

二、其他生態系統管理和大地工程[1]

Stallarde 指出：湖泊、稻田、氾濫區及水庫等沈積物，理論上每年可儲存 6～15 億噸碳，而海洋生態系統也對碳匯儲存提供機會。

雖然海洋生態系統的初級淨生產力為 500 億噸碳/年，僅略少於陸域生態系統的 600 億噸碳/年。然而兩生態系統在儲存碳元素的方式卻大相逕庭，陸域生態系統多以有機碳的形式將碳元素儲存於生物體與土壤中；而海洋生態系統的有機碳儲存量非常小，其主要透過生物泵（biological pump）轉換大氣中的CO_2並將其傳輸至深海中，以無機碳形式將碳儲存於洋底。故許多學者從營養鹽實驗著手，觀察海洋生態系統與大氣中CO_2濃度之相關性，Martin就提出：當海洋中每增加 30 萬噸的鐵元素，即可移除大氣中 8 億噸碳。但此理論引起各科學家的質疑，且隨後於赤道太平洋中的兩項大型研究也不支援此數據，僅可證明鐵元素確實會影響碳循環，但其詳細關

係卻無法確定。此外，海洋的PH值亦與岩礦的溶解速率有關，同時影響碳元素的儲存與釋放。

在增加碳儲存量方面，已由收集大氣CO_2後注入深洋的技術構想，發展為全球能量平衡之概念，例如利用氣溶膠、可反射光之熱氣球及太空鏡面等工具以改變地表的反照率（albedo），進而調整太陽輻射至地球的能量。然而，目前人類對此系統的認知尚淺，例如對碳去除的穩定性，以及此技術對於氣候的影響與經濟成本仍不明確。

14.3 社會與經濟層面

對各國家而言，土地是一項非常珍貴與有限的資源，而穩定碳匯之策略與土地利用的關係，可以是衝突或是互惠的。根據文獻分析結果，顯示穩定碳匯之策略通常作為永續發展之目標，例如森林與農業等土地利用常採取因應措施以實現碳匯量增加，並且為土地管理與農村發展提供額外的價值和經濟收入，而達到社會經濟和環境保護共同發展之永續經營目標。

碳減排之措施能有效且持續的關鍵是與其他土地利用的生態和環境，經濟及社會目標保持平衡。通常許多生態穩定策略均可以無悔或雙贏方式符合以上三個目標，但部份情況下，則需要一些保證措施，其潛在之重要的環境影響包括對生物多樣性的影響、水資源數量和質量的影響及對生態系統產生的長期影響等。環境、經濟和社會之累積影響可從單一項目進行評價，也可以從更廣泛範圍、國家和國際背景下進行評估。

直至目前為止，各研究報告之生態減排的經濟成本變化皆非常顯著，例如熱帶國家之成本為 0.1～20 美元/噸碳，非熱帶國家則為 20～100 美元/噸碳，但以上成本計算尚不包括基礎設施、合適的貼現率、監控、數據收集和分析及土地的機會成本。然而，成本的計算方式將隨時間不斷地改進，而且在許多情況下，生態減排措施可能有其他的正面影響，如保護熱帶森林等。隨著更多生態減排措施的進行和土地的機會成本的上升，成本將會增加，目前生態減排成本似乎在開發中國家最低，而已開發國家較高（如圖 14.4）。

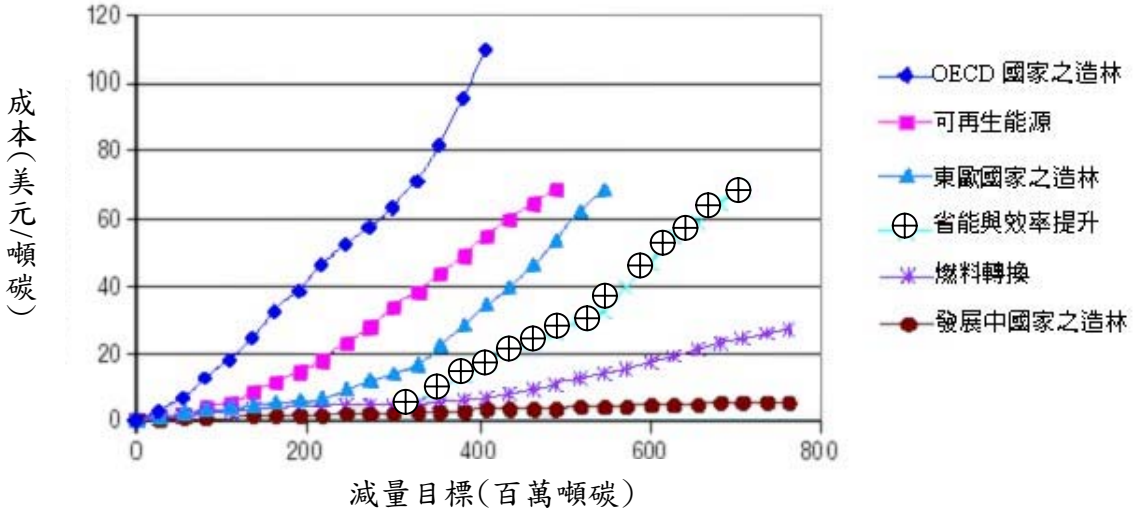


圖 14.4 各政策措施之減量成本估算

14.4 我國碳匯潛力分析[4]

依據我國1990～2000年溫室氣體清冊資料庫[3]，將各部門之溫室氣體（CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs及SF_6）排放與吸收量示於表14.3，而其變化趨勢則示於圖14.5。顯示我國土地利用變化及林業部門之碳匯吸收量，由1990年的-17,896.06千噸CO_2當量，逐漸增至2000年的-20,447.11千噸CO_2當量。

圖 14.6 所示為我國碳匯佔總溫室氣體排放量與總溫室氣體淨排放量（將 LUCF 碳匯計入）之比率變化趨勢，顯示碳匯佔總溫室氣體排放量之比率由 1990 年的 11.15%，逐漸減少至 2000 年的 7.53%。雖然碳匯吸收量漸增，但與總溫室氣體排放量比率卻逐漸降低，其原因為能源部門之溫室氣體排放量大於碳匯吸收量所致。能源部門於 1990~2000 年，溫室氣體排放量增加 89.2%，而碳匯吸收量卻只有增加 14.3%。

表 14.3　土地利用變化及林業部門溫室氣體排放/吸收量比較表

排放量單位：千噸CO_2當量

部門 / 年份	能源部門	工業製程部門	農業部門	廢棄物部門	土地利用變化與林業部門(LUCF)	總排放量(不含LUCF)	總排放量(包含LUCF)	總排放量(不含LUCF)	總排放量(包含LUCF)
								LUCF百分比	LUCF百分比
1990	123108.11	11734.92	15398.25	10203.03	-17,896.06	160444.52	142,548.46	-11.15%	-12.55%
1991	132724.91	10666.01	16387.37	11191.61	-18,037.73	170970.95	152,933.22	-10.55%	-11.79%
1992	140630.58	13921.11	16189.27	13635.49	-18,130.67	184376.66	166,245.99	-9.83%	-10.91%
1993	151683.07	16924.09	16497.38	14779.52	-18,430.58	199885.32	181,454.74	-9.22%	-10.16%
1994	161577.35	16186.72	16783.23	15897.27	-20,347.67	210444.78	190,097.11	-9.67%	-10.70%
1995	168244.34	16088.52	16728.98	13598.93	-20,302.25	214660.98	194,358.73	-9.46%	-10.45%
1996	178506.5	17148.69	17124.71	13801.95	-20,207.15	226585	206,377.85	-8.92%	-9.79%
1997	191938.99	18438.68	14865.8	14726.48	-20,295.55	239969.95	219,674.40	-8.46%	-9.24%
1998	206911.6	31201.4	14194.21	14780.14	-20,333.93	267087.56	246,753.63	-7.61%	-8.24%
1999	210318.4	30051.61	14107.5	15477.5	-20,437.23	269955.22	249,517.99	-7.57%	-8.19%
2000	232947.26	17741.88	12196.02	8737.08	-20,447.11	271622.24	251,175.13	-7.53%	-8.14%

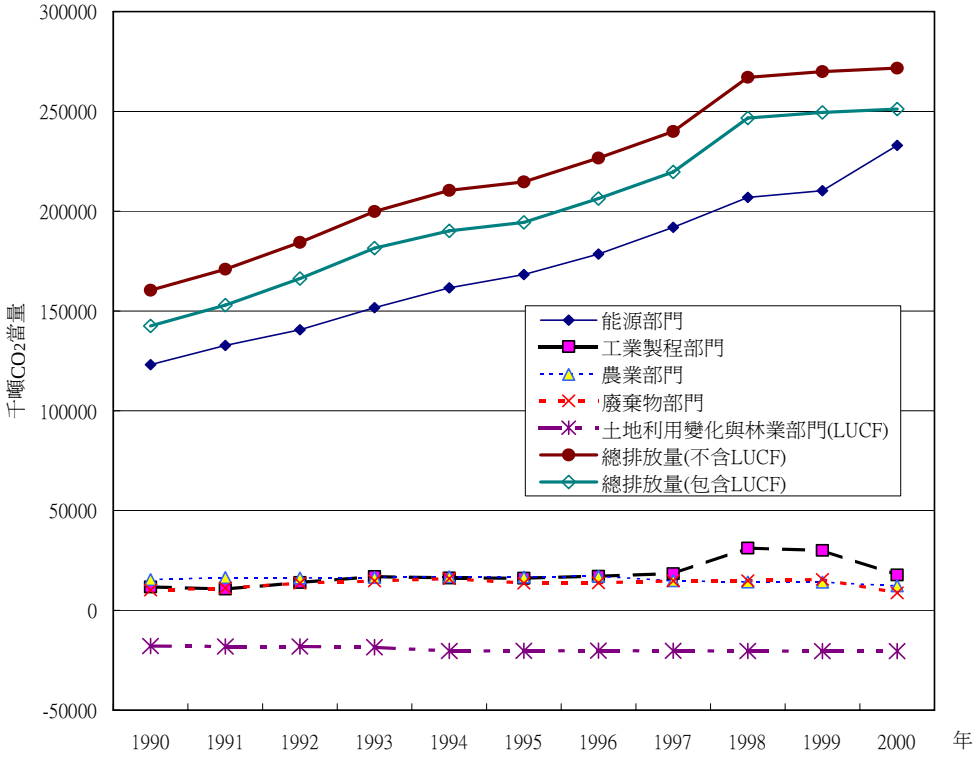


圖 14.5 我國各部門的溫室氣體排放/吸收量之趨勢

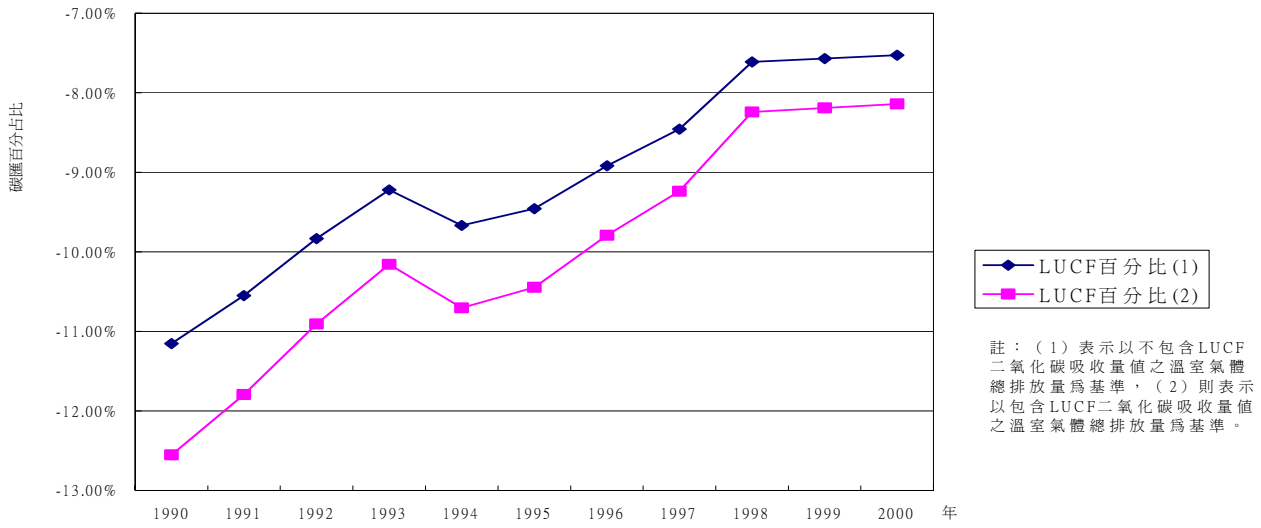


圖 14.6 土地利用變化及林業部門碳匯吸收量佔全國溫室氣體排放量之比率變化趨勢

碳匯潛力的評估主要可從下列因素分析：1.碳匯的統計結果 2.《公約》相關規範 3.氣候變遷對 LULUCF 的衝擊 4.造林與再造林等 LULUCF 活動的成本分析 5.未來國家國土規劃與管理 6.社會經濟發展對碳匯的影響等方向著手。未來必須將可能影響碳匯統計的因素綜合起來，且須滿足《公約》規範，如此方能完整且具體的評估我國碳匯是否具有潛力，也能應用在溫室氣體減量和符合《公約》的減量承諾。

雖然我國並非《公約》之締約國，但我國仍須符合《公約》及「馬拉喀什協定」之LULUCF活動規範[5]為目標，以作為日後可能面臨談判的參考依據。惟我國目前之碳匯資料，尚不足以進行完整之潛力評估，在此乃就「馬拉喀什協定」之LULUCF活動規範、氣候變遷對我國林木的影響及造林成本等三大方向作評估說明：

一、 「拉喀什協定」之 LULUCF 活動規範

依據我國溫室氣體清冊資料庫的結果，我國於 1990 年至 2000 年IPCC土地利用變化與林業部門之碳匯皆為負值，屬於碳匯吸收（移除）量，2000 年的碳匯吸收量為-20,447.11 千噸CO_2當量，歷年呈緩慢上升的趨勢，而且佔全國溫室氣體排放量的 7.53～11.15％，比率相當大。我國碳匯為吸收量大於排放量，假設我國為附件一國家，我國於第一承諾期內不需援用《議定書》第 3.4 條之額外措施；然而，我國若以非附件一國家的地位來考量時，可以引用《議定書》第 3.4 條之額外措施，即是在清潔發展機制(CDM)下與附件一國家執行造林與再造林計畫，提供額外的碳匯吸收量予附件一國家。

就現有統計數據而言，要符合「馬拉喀什協定」之 LULUCF 活動規範，或要作為溫室氣體排放量的抵減，我國的碳匯是具潛力的。

二、氣候變遷對林木碳儲存的影響

依據馮豐隆教授[6]的研究，隨著溫度上升（1℃、2℃及 4℃），生態區中林木碳儲存量會隨之遞減，因此我國碳匯潛力可能降低。但此理論必須進行更多有關碳儲存與溫度關係之研究，方能進一步確認。

三、造林成本

根據李國忠[7]等研究，台灣森林若儲存五百萬噸的CO_2，其成本非常低，僅需調整現有森林樹種即可；若儲存一千萬噸CO_2，成本約每噸 20 美元，此時需要將未造林地加以造林；若儲存量要超過一千萬噸，則需有農地加入造林，其成本將迅速增加。研究中所謂「未造林地」或「調整現有森林數種」是否符合「馬拉喀什協定」中的定義與規範，需要進一步釐清。

綜合以上分析結果，雖然氣候變遷對林木碳吸存的影響與造林成本尚須進一步研究，而且國土規劃、社會經濟發展及氣候變遷對 LULUCF 的衝擊等因素仍未列入考量，因此我國以碳匯作為溫室氣體的減量措施，仍然極具有研究與開發的潛力。

四、土地利用變化及林業

土地利用變化因用途改變而使其溫室氣體排放量有所增減。增加碳匯（carbon sink）的因應措施如下[2]：

（一）加強造林、保林及林相改良:

推動全民造林行動綱領與實施計畫、加強造林與森林撫育、公私有林經營發展及優質材培育推廣、加強森林保護及森林災害防範、加強保安林管理及原住民保留地之森林保育。

（二）加強水土保持監督與管理:

落實水土保持專業技師簽證、加強山坡地違規開發之取締、辦理特定水土保持區之劃定、落實水土保持督導管理及加強集水區整體規劃治理。

（三）推動平地造林綠美化方案:

輔導補貼農民與企業法人於低產農地造林、改善城鄉生態景觀，建構綠色隧道、美化台灣海岸景觀及建造海岸景觀環境林及建構全國綠資源資訊系統與綠化教育訓練網路。

14.5 我國可執行之行動計畫

由上述討論可知，以碳匯作為我國因應溫室氣體增加措施，其極具發展潛力。然而，由於碳匯的應用範圍相當廣泛，包括：《公約》相關定義與規範、碳匯的統計、氣候變遷對 LULUCF 的衝擊與調適、造林與再造林等 LULUCF 活動的成本分析、LULUCF 受氣候變遷影響之調適與調適成本分析、未來國家國土規劃與管理及社會經濟發展等，建議政府相關單位須重視碳匯，並執行全面性 LULUCF 碳匯潛力評估計畫，以確認與釐清我國可使用碳匯的範疇，整體性規劃我國 LULUCF 活動。而現階段我國可先進行基礎資料收集與背景資訊建立，茲提供以下三項建議：

一、植被之碳儲存潛力評估：

可由森林、草地、 溼地及農牧地等項目調查評估我國目前可能碳匯量，並可使用模式與統計分析等方法以推估未來（2010 與 2050 年）各植被類型之碳匯儲存潛力。

二、建立我國本土之排放係數：

我國在估算碳匯時，皆使用IPCC之排放係數，為更精確估算我國之碳匯，應積極建立我國本土之排放係數。建議可進行碳吸收監測計畫（如圖 14.7），針對造林區域進行林木與大氣CO_2之轉換量監測，並紀錄各樹種之絕乾比重與平均生長速度等係數，以及地面與土壤有機碳之變化，確實掌握該區域碳循環過程與排放係數，最後經由查核與驗證程式以確保監測數據之準確度。

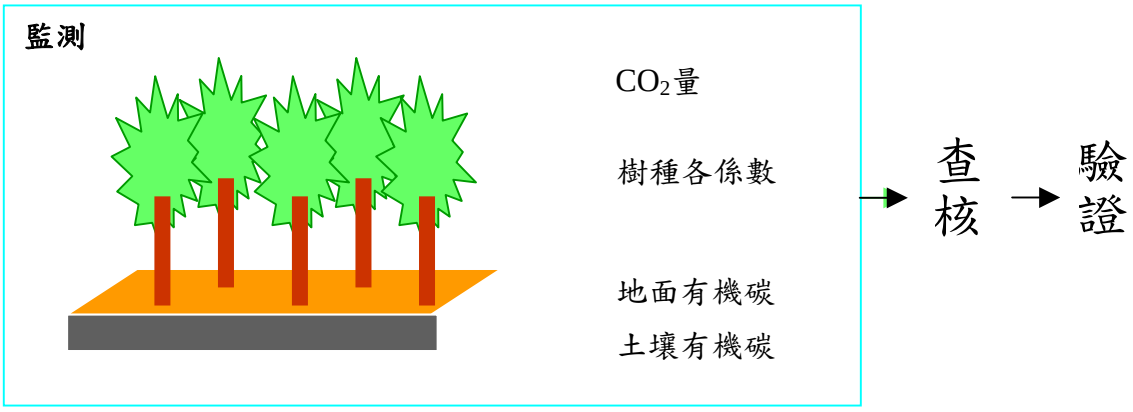


圖 14.7 植被碳吸收監測計畫示意圖

三、建立土壤對CO_2的排放與吸收量之相關資料

我國目前統計資料僅只森林土壤的CO_2排放量，然而有關礦質土耕地、有機土耕地及農業土地等資料卻付之闕如，建議我國學術研究單位應就我國之「土壤分類系統」與「全球土壤分類系統」進行一致性，並且政府須及早建立土壤對CO_2的排放與吸收量之相關研究，並詳細統計土地利用與變更情況以利估算我國碳匯量。

長期而言，國內應持續關注《公約》之 LULUCF 議題發展，並加強宣導各政府單位與研究機構需重視碳匯儲存之現況與機制，以瞭解我國之碳排放趨勢，並制訂相關因應對策。

參考文獻

1. IPCC, Climate Change 2001：Mitigation, (The Third Assessment Report), 2001.
2. IPCC, IPCC Special Report—Land Use, Land Use Change, and Forestry, 2000.
3. 工研院能資所，二〇〇〇年國家通訊編撰，行政院環境保護署計畫編號EPA-90-FA11-03-90A011，2001年12月。
4. 行政院環保署，因應氣候變化綱要公約決策支援專案計畫期末報告，計畫編號：EPA-91-FA11-03-A096，2002年。
5. FCCC/CP/2001/13/Add.1（Decision 11/CP.7、Decision 12/CP.7）
6. 國立中興大學森林系馮豐隆、高堅泰、李宣德、吳昶清、陳淑芬，森林生態系統吸存模式之建立與應用，行政院環境保護署計畫編號EPA-89-FA11-03-108，2001年1月。
7. 李國忠、林俊成、陳麗琴，台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析，台灣林業科學15（1）：115-123，2000。

第五篇　決策比較與對策研擬

本篇章節：

第十五章 決策比較與成效分析

第十六章 國際減量方式與我國對策研究

第十七章 結論與建議

第十五章 決策比較與成效分析

為了解我國溫室氣體減量之因應策略，本章旨在綜合比較日本、英國、美國、韓國及我國之溫室氣體排放量，進一步分析各國行政組織體系與採行之因應措施，作為評估我國因應策略增/修訂方向之參考。以下分別由能源部門與非能源部門之相關評估指標與總排放量等資料，以分析日本等 5 個國家整體執行成效。最後，以各國組織架構與執行策略等項目作比較說明。

15.1 我國與各國溫室氣體排放量之比較

一、能源部門的CO_2排放量之比較

為觀察日本等國家與我國能源部門的因應措施之執行成效，本研究引用國際能源總署(IEA)統計資料，以CO_2總排放量、人均CO_2排放量、碳密集度（CO_2/GDP)、單位能源排放量(CO_2/能源使用量）及能源生產力(GDP/初級能源供應)等 5 項指標進行比較分析。

(一)CO_2總排放量

日本等國家之CO_2總排放量如圖 15.1 所示，顯示 5 國家中以美國排放量最大，其次依序分別為日本、英國、韓國及台灣。以CO_2總排放量成長趨勢而言，日本與南韓近年來排放量趨勢為略微下降，而後又往上成長；美國與台灣歷年排放量皆呈成長趨勢；惟英國CO_2總排放量逐年下降。

(二)人均CO_2排放量

圖 15.2 所示為日本等國家人均CO_2排放量，顯示人均CO_2排放量於 2000 年仍以美國為最高，其次依序分別為台灣，南韓，日本及英國。其中台 灣與韓國人均CO_2排放量成長趨勢相近，皆由 1990 年低排放量快速成長，至 2000 年已高過日本與英國等國家。

(三)碳密集度(CO_2/GDP)

由CO_2排放量佔GDP之碳密集度標準，可表示該國每創造一單位經濟所得對於全球氣候之負面影響。圖 15.3 所示為日本等國家歷年碳密集度之變化情形，顯示韓國於 2000 年的碳密集度最高，其次依序分別為美國、台灣、英國及日本。其中美國的CO_2總排放

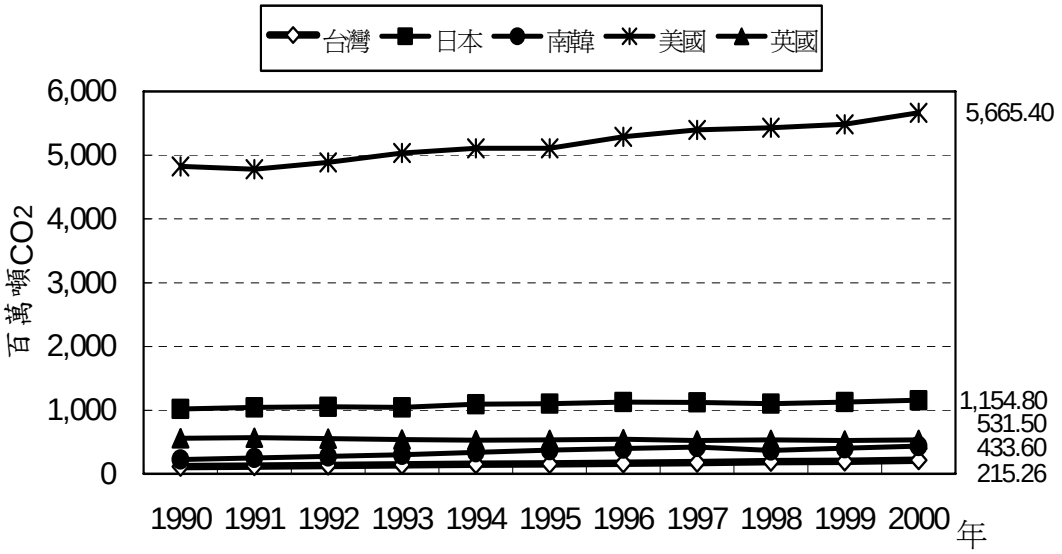


圖 15.1 CO_2總排放量之比較(sectoral approach)[9]

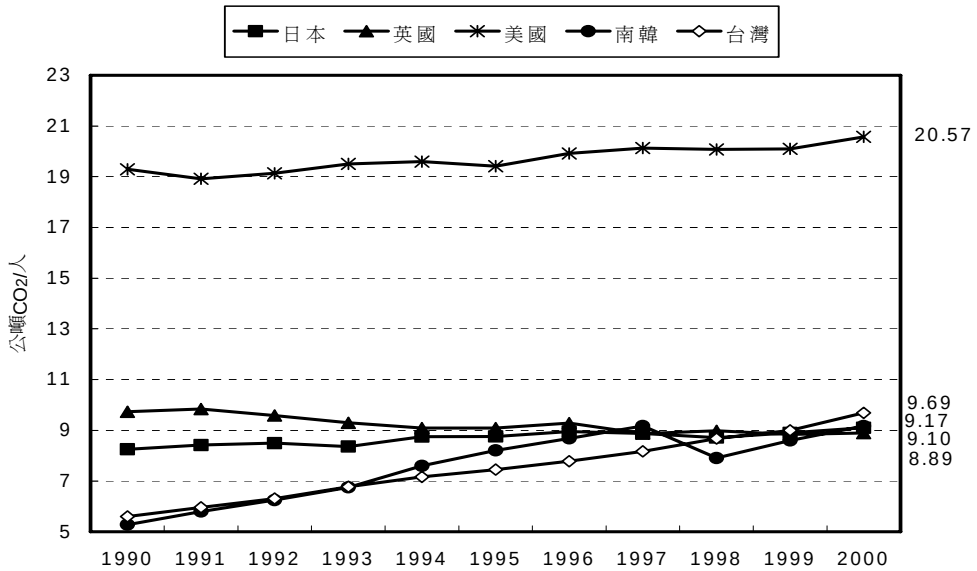


圖 15.2 人均CO_2排放量之比較[9]

量與人均CO_2排放量高居世界第一位，然而其歷年碳密集度呈現逐年下降的趨勢；英國為碳密集度下降幅度最明顯之國家，此與其CO_2排放量逐年遞減幅度大於GDP成長幅度之故；日本的碳密集度變化幅度不大，此乃因其CO_2排放量成長幅度與GDP成長幅

度近似之故；南韓碳密集度變化趨勢乃先上升，而近年卻逐年下降，此乃因 1998 年CO_2排放量下降幅度大於GDP降低幅度所致，1999 年後CO_2排放量成長幅度小於GDP成長幅度，故碳密集度持續下降。反觀台灣碳密集度在 1997 年略微下降，1998 年後又往上成長，其原因亦是CO_2排放量成長幅度與GDP成長幅度不同所致。

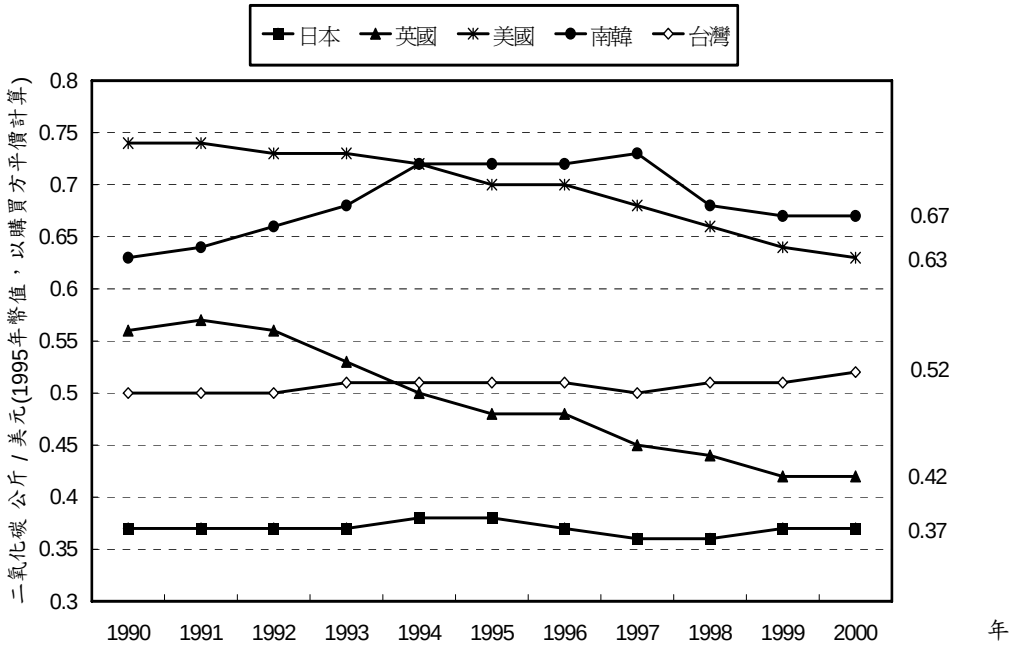


圖 15.3　碳密集度(CO_2/GDP)之比較[9]

(四)單位能源排放量(CO_2/能源使用量)

單位能源排放量(CO_2/能源使用量)指標可表示使用之能源是否朝向淨潔能源發展。圖 15.4 所示為各國單位能源排放量之比較，其中台灣於 2000 年為最高，其次依序為美國、英國、南韓及日本。以歷年變化趨勢而言，英國降幅最大，此與其大量使用天然氣等低碳燃料有關；韓國近年降幅亦大，惟 1999 年後又呈上升趨勢，此乃因 1998 年前CO_2排放量成長幅度低於能源使用量成長幅度，1998 年CO_2排放量下降幅度高於能源使用減少量，1999 年後CO_2排放量成長幅度逐漸高於能源使用量成長幅度；日本則類似韓國之趨勢變化，但其單位能源排放量遠低於韓國，主要原因為日本核能之使用比率較高；台灣之單位能源排放量呈現逐年遞增趨勢，至 2000 年已遠高於日本等國家而居首位。

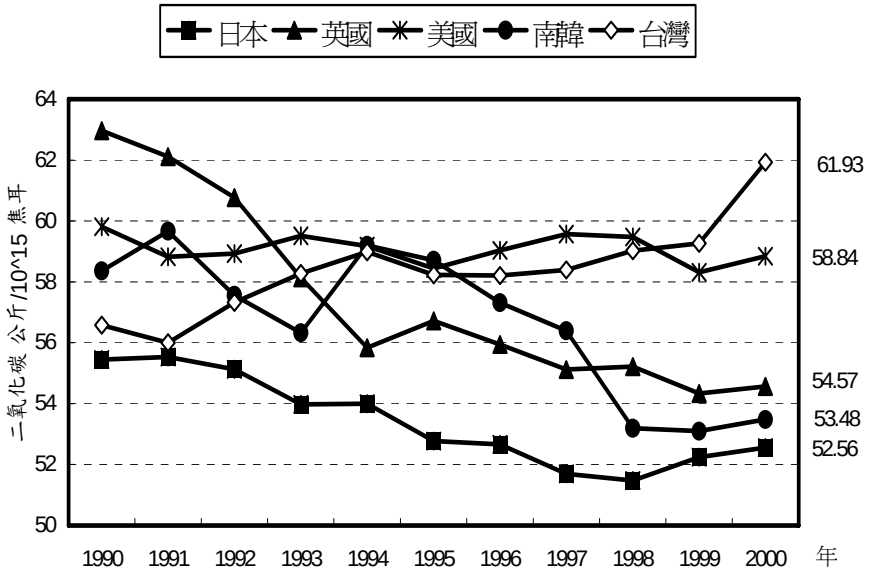


圖 15.4 單位能源排放量之比較[9]

(五)能源生產力(GDP/初級能源供應)

能源生產力係國際間比較各國能源使用效率，其表示每消耗一單位能源所產出之國內生產毛額價值。因國際能源總署(IEA)並無能源消耗資料，本研究則使用初級能源供應進行計算。另外，為使用相同幣值及消除各國物價水準之差異，本研究則選擇購買力平價進行計算。由圖 15.5 顯示，台灣於 1990 年至 2000 年能源生產力增加 5.31%，高於日本（-3.75%）與韓國（-13.55%），而低於美國（15.50%）與英國（14.44%）。

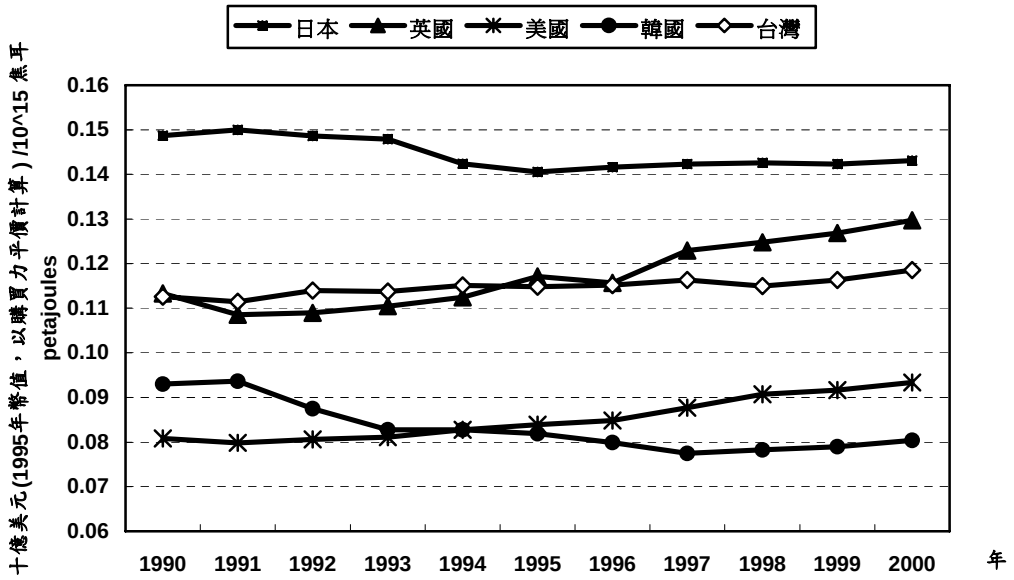


圖 15.5 能源生產力(GDP/初級能源供應)

綜合上述 5 項指標觀之，英國因應策略成效最為顯著；而美國政策執行成效並不顯著，且其高碳能源使用量並未顯著降低；日本與韓國近幾年排放呈現先下降後上升之趨勢，惟日本使用之能源含碳相對其他國家低，此與其發展核能有密切相關；我國近年各項CO_2排放指標皆呈現上升趨勢，因此須採取因應措施與持續觀察指標變化。

二、非能源部門溫室氣體排放之比較

由於非能源部門相關資料較為缺乏，且其執行措施亦較少，因此國際間大多以個別溫室氣體排放總量進行評估。本研究依據日本等 5 國遞交《公約》秘書處之國家通訊報告，依CH_4、N_2O、HFCs、PFCs 及SF_6等 5 種溫室氣體分類方式，進行日本等 5 國非能源部門溫室氣體的因應策略之成效分析。表 15.2 至表 15.5 所示為日本等 5 國非能源部門於 1990~2001 年的溫室氣體排放量之比較。

（一）CH_4排放量之比較

CH_4最大排放源來自農業部門，其次為廢棄物部門。表 15.1 所示為各國CH_4排放量之變化，由表可知美國排放量位居首位，其次依序為英國、韓國、日本及台灣。此外，各國皆呈遞減之趨勢，原因為其實施畜牧與家畜管理及減廢措施所致；台灣則呈現先往上成長，2000 年後往下降低之變化趨勢。

表 15.1 日本等 5 國CH_4排放量之變化（1990~2001 年）

單位：千噸 CO_2當量

年＼國	日本	美國	英國	韓國	台灣
1990	30,500	644,000	77,075	61,397	13,929
1991	30,300	644,000	76,039	-	15,116
1992	30,100	647,200	74,091	-	17,575
1993	30,000	638,500	70,988	-	18,822
1994	29,700	645,400	64,428	-	20,044
1995	29,500	650,000	64,123	-	17,996
1996	28,900	636,800	62,656	-	18,293
1997	27,700	629,500	60,709	-	19,194
1998	27,300	622,700	58,018	-	19,312
1999	27,000	615,500	55,246	-	20,160
2000	-	613,400	-	34,047	12,499
2001	-	605,900	-	-	-

說明：「-」為缺乏資料

(二)N_2O排放量之比較

表 15.2 所示為各國N_2O排放量之變化，其中排放量以美國為最大，其次依序為英國、日本、韓國及台灣。此外，各國N_2O排放量皆呈遞減趨勢，主要原因為各國改變農業施肥方式，而我國N_2O排放下降原因為化肥用量大幅減少使用之故。

表 15.2 日本等 5 國N_2O排放量之變化(1990~2001 年)

單位：千噸 CO_2當量

年＼國	日本	美國	英國	韓國	台灣
1990	20,800	397,600	66,949	6,169	14,000
1991	20,300	403,000	65,022	-	14,886
1992	20,400	413,000	58,103	-	14,827
1993	20,300	413,200	54,461	-	15,190
1994	21,500	440,000	58,932	-	15,543
1995	21,800	430,900	56,309	-	15,500
1996	22,800	441,700	58,378	-	15,928
1997	23,500	440,900	60,155	-	14,065
1998	22,300	436,800	58,236	-	13,649
1999	16,500	430,000	42,892	-	13,528
2000	-	429,900	-	13,519	11,740
2001	-	424,600	-	-	-

(三)HFCs 排放量之比較

表 15.3 所示為各國 HFCs 排放量之變化，排放量之比較依序為美國、日本、台灣、英國及韓國，其中以英國下降幅度為最大，日本下降幅度次之，美國呈上升趨勢，而台灣與韓國因資料不足而無法作比較。此外， HFCs 減量係因「蒙特婁議定書」限制 HCFC 類物質生產之故，而台灣 HFCs 排放量自 1998 年突增原因在於該年開始計算消費面 HFCs 排放量，2000 年下降原因為台灣塑膠公司的 HCFC-22、HCFC-141b 及 HCFC-142b 減產所致。

表 15.3 日本等 5 國 HFCs 排放量之變化(1990~2001 年)

單位： 千噸CO_2當量

年＼國	日本	美國	英國	韓國	台灣
1990	-	35,743	11,374	-	-
1991	-	31,638	11,859	-	-
1992	-	36,319	12,346	-	-
1993	-	37,139	12,905	-	-
1994	-	41,475	13,814	-	-
1995	20,000	51,099	15,205	-	1,755
1996	19,700	65,177	16,290	-	2,808
1997	19,600	72,237	18,447	-	3,276
1998	19,000	89,648	20,183	-	17,442
1999	19,500	87,105	6,206	-	16,726
2000	-	48,000	-	5,007	5,612
2001	-	53,700	-	-	-

(四)PFCs 排放量之比較

表 15.4 所示為各國 PFCs 排放量變化趨勢，排放量之比較依序為美國、日本、韓國、台灣及英國，其中英國、美國及日本已逐漸降低 PFCs 排放量，台灣則呈上升趨勢，韓國因資料不足而無法作比較。PFCs 減量係因世界半導體協會與日本、美國及韓國簽訂自願減量承諾所致。

表 15.4　日本等 5 國 PFCs 排放量之變化(1990~2001 年)

單位： 千噸CO_2當量

年＼國	日本	美國	英國	韓國	台灣
1990	-	22,159	2,281	-	-
1991	-	20,114	1,790	-	-
1992	-	19,158	959	-	-
1993	-	17,664	811	-	-
1994	-	15,694	980	-	-
1995	11,400	16,745	1,094	-	-
1996	11,200	18,616	905	-	-
1997	14,000	17,844	661	-	-
1998	12,400	16,928	652	-	536
1999	11,000	16,844	678	-	1,310
2000	-	14,000	-	2,503	2,721
2001	-	8,700	-	-	-

(五)SF_6排放量之比較

表 15.5 所示為各國SF_6排放量之變化，排放量之比較依序為美國、韓國、日本、英國及台灣，除日本呈下降趨勢外，美國、英國

及台灣皆呈上升趨勢，而韓國因資料不足而無法作比較。日本SF_6排放量下降係因其半導體業採用相關減量措施所致，而台灣SF_6排放量增加原因在於我國半導體業大量使用之故。

表 15.5　日本等 5 國SF_6排放量之變化(1990~2001 年)

單位： 千噸CO_2當量

年＼國	日本	美國	英國	韓國	台灣
1990	-	26,000	724	-	-
1991	-	27,040	776	-	-
1992	-	28,080	833	-	-
1993	-	29,020	889	-	-
1994	-	29,760	1,061	-	-
1995	16,700	31,200	1,134	-	-
1996	17,200	31,300	1,270	-	-
1997	14,400	33,200	1,263	-	-
1998	12,800	32,000	1,289	-	61
1999	8,400	31,800	1,314	-	99
2000	-	19,700	-	12,017	114
2001	-	18,500	-	-	-

綜觀非能源部門溫室氣體之排放趨勢，我國N_2O與HFCs排放量有下降趨勢，惟其他溫室氣體(CH_4、PFCs及SF_6)仍呈上升趨勢，值得進一步檢討執行措施。

三、我國有利的減量指標建議

綜合上述我國能源部門與非能源部門等多項溫室氣體排放指標可知，我國能源部門的CO_2排放量佔總量之 80%以上，且政府對能源部門減量著力甚多，加上目前國際間減量重點在於能源部門，因此宜選擇能源部門的CO_2排放量指標，以作為我國日後國際減量談判之主要訴求。

由各國人均CO_2排放量之比較，顯示我國有快速增加之趨勢，目前已接近經濟開發暨合作組織(OECD)之水平，全球排名為 23，遠高於多數開發中國家。各國溫室氣體排放減量之規劃，大多認為人均CO_2排放量是最合理與公平的指標，但是其指標將限制我國排放成長之空間，且在各國比較與談判中，對我國並不是有利的選擇。

由各國碳密集度之比較，亦顯示出我國排放比率之優勢，目前全球排名 71，高於日本與英國，而低於美國與韓國。但如果比較以上指標之成長率，我國與南韓之成長相似，因此本指標亦顯示出新興工業國之特色，可成為我國減量與談判指標的考量之一。

由各國單位能源排放量之比較，我國高於世界多數國家，全球排名 30；若我國與日本等 4 國相比，我國之單位能源排放量為最高，並在過去 10 年內持續成長，而其他國家則有穩定或下降的趨勢，其主要原因為我國自然環境的限制與自產能源的缺乏，使我國依賴進口能源，並以高含碳量的煤與油為主。由此現況顯示出我國須加強使用低碳能源之必要性，如天然氣與再生能源，也是政府目前正在進行推動策略之一。因此目前在各國比較與談判中，此指標對我國並不是有利的選擇。

由各國能源生產力之比較，顯示我國低於日本與英國，高於美國與韓國，但如果以過去 10 年內成長率相比，雖然韓國與日本有下降的趨勢，我國的成長率則低於其他國家，因此我國仍然有進步的空間。

綜合以上分析可知，總溫室氣體排放量、人均CO_2排放量、單位能源排放量等並不適於我國採行減量與談判之指標，而碳密集度與能源生產力為較有利我國的指標。

15.2 我國現行政策與各國之比較

一、各國因應溫室氣體增加的組織架構

(一)成立國家最高領導專責機構

日本、美國與韓國是在總統/首相之下設立國家最高領導專責機構，負責統籌規劃各部會因應溫室氣體增加之策略，而各專責機構之組織功能視該國因應策略重點而異。以下比較日本等 3 國的專責組織之架構與功能：

- 日本

日本在首相下設立全球暖化對策推動本部，指導政府部門相關氣候變遷政策的運作。日本已簽署《議定書》，其因應氣候變遷組織功能係由各部會依其職掌，延續既有政策推動模式，透過管制、經濟誘因、宣導及研發等措施，制定並執行因應策略，以達成減量目標。

- 美國

美國在總統下設氣候變化總統辦公室，與各部會聯繫配合氣候變遷相關計畫與自願減量計畫之執行。美國因未簽署《議定書》，且其因應策略偏重研究發展，因此美國因應氣候變遷組織是結合政府與研究單位成立顧問群，以科學技術研發為主，而國際合作與推動自願減量為輔。

- 韓國

韓國在總統下設氣候變化綱要公約部會間委員會，作為因應氣候變遷之運作機制，由各部會執行推動。由於韓國尚未被要求減量，為因應未來國際談判之需要，韓國乃結合政府部門與專家顧問群，負責各類排放源之因應策略研擬，並另設談判組、規劃組及研發組，透過國內因應規劃與評估等過程掌握國內減量籌碼，並藉由談判組之專長以因應未來國際減量談判之需求。

(二)遵循既有行政體系

英國主要遵循既有之政府運作程序，由環境主管部門-DEFRA主掌因應氣候變遷政策，其他相關部會配合執行。此外，國家層級之決策則由國會與首相決議。

鑑於我國被國際要求減量處境與韓國較為近似，而我國政府已於行政院下設立永續發展委員會為最高指導單位，在最小變動原有行政體系之前題下，作為我國未來可能談判之準備。韓國組織架構可作為我國借鏡，此亦為我國永續發展委員會因應氣候變遷小組的組織架構規劃緣由。

二、氣候變遷政策的範圍與種類

(一)能源部門之因應措施

由於能源部門排放量佔總排放量 80%以上，因此日本等 4 國皆以實施能源部門的因應策略為主，表 15.6 即彙整日本、英國、美國、韓國及我國各項溫室氣體因應措施，依節約能源、提升能源效率、能源結構調整與新及再生能源等因應策略進行比較。以下分別由因應策略與國家施政特色等兩方面分別說明：

表 15.6　日本等 5 國能源部門之CO_2減量政策措施彙整表

策略	政策	工具	措施	日	英	美	韓國	台
直接管制	法規	法律	全球暖化對策推動法津	●				
節約能源	法規	命令/標準(產業)	節約能源管理法	●			●	
		命令/標準(運輸)	重型車輛排放標準			●		
		命令/標準(自願減量)	產業自願削減CO_2及能源消耗量	●	●	●	●	●
	財政	補貼	通訊工作	●				
		低利貸款	投資節能設備					●
		租稅改革	提高能源稅		●			
			提高汽車取得稅	●	●			
			徵收道路通行費	●				
		差別稅率(累進稅)	汽車排氣量				●	●
		租稅扣抵	節省能源材料、設備及技術					●
			自願削減溫室氣體			●		
		租稅扣除	小型車註冊費與執照費減免				●	
	市場機制	排放交易	節約能源量交易市場				●	
		國際合作	協助開發中國家實施節能措施			●		
		價格政策	能源價格政策(含關稅、營業加值稅、貨物稅及其他加重課稅部份)				●	
	研發	基金	貸款開發中國家購買防污、節能設備與技術			●		
		技術	政府部門節能技術					●
			家戶及辦公室節能技術	●				●
		研究	運輸需求管理	●	●	●	●	●
提升能源效率	法規	命令/標準(產業)	產業能源密集度目標				●	●
			產品耗能標準					●
		命令/標準(產業)	鍋爐效率標準					●
			空調冰水主機能源效率標準					●
		命令/標準(運輸)	車輛耗能標準					●
			漁船耗能標準					●
		命令/標準(住商)	電器用品最低能源效率標準			●	●	●
		命令/標準(建築)	建築能源效率標準	●		●	●	●
			公有建築物興建綠建築					●
		標章制度	燃料-汽車型號標章				●	
			環境及能源友善建築標章	●		●	●	●
			家用電器與開關能源消耗標章		●	●	●	●
	財政	補貼	高能源效率設備		●			●
		獎勵	環境友善產品獎勵法				●	●
		租稅扣抵	產業設備改善(更新)				●	●
		差別稅率	低耗油低排放車輛	●	●			
	研發	技術	高效率工業、住商設備	●		●		●
			集中式暖氣系統		●			
	研發	諮詢	協助產業能源審查與建議				●	●
			建築審查				●	●
			家庭節能措施		●			
			建築物最適能源使用降低措施				●	●
			航空器控制新技術			●		

表 15.6（續）

策略	政策	工具	措施	日	英	美	韓國	台
能源結構調整	法規	命令/標準(能源)	能源管理法					●
			電力法			●		●
			石油管理法					●
			氣體法	●				●
			供熱管理法				●	
			能源市場自由化		●			●
			核能發電比率		●			
新及再生能源	法規	命令/標準(能源)	新及再生能源法	●			●	
			再生能源電力購回許可					●
			再生能源發電目標	●	●	●		●
	財政	補貼	使用替代能源車輛	●				●
			使用再生能源	●				●
			設置加氣站補助					●
			探勘天然氣補助					●
			補助研發太陽能熱水器					●
		保證收購價格	以保證價格購買再生能源電力					●
			購買汽電共生電力					●
		低利貸款	購買汽電共生設備低利貸款					●
		租稅扣抵	使用新及再生能源			●		●
			環境清淨車			●		
			購買汽電共生設備租稅扣抵					●
	市場機制	國際合作	協助開發中國家發展新及再生能源			●		
		基金誘因	研發與推廣新及再生能源	●	●	●	●	●
			研發、推廣再生能源技術及提升能源效率			●		●
			混合電力駕駛系統巴士			●		
			興建電動機車加電站					●
			研發電動機車燃料電池	●		●	●	●
			興建天然氣車輛補給站			●		
			採購天然氣公車			●		
			發展地方替代能源市場			●		
		技術	開發新及再生能源			●		●
			超高效率太陽能電池、煤氣燃料電池、耐高溫材料、超鋼、二次煉焦、超效率光電板發電技術及高效率電器	●		●		
		核能	法國、阿根廷、智利、加拿大、日本、韓國、英國及美國共同推動第四代核能計畫	●	●	●	●	
	研發	技術	開發新及再生能源車輛	●	●	●	●	●
其他	法規	命令/標準(產業)	溫室氣體排放量測與監督系統		●	●	●	
	財政	租稅改革	徵收CO_2排放稅				●	
			徵收環境稅		●		●	
			徵收氣候變化稅		●			
	京都機制	技術	排放交易		●	●	●	
			清潔發展機制	●		●	●	
	研發	諮詢	國際合作發展減量技術	●				
			氣候科學與決策系統整合	●		●		
	行政措施	宣導	推廣核能資訊	●				

1. 因應策略

日本與我國等 5 國在各部門實施之措施有所不同，主要是基於規範對象之執行難易度與投資金額多寡有所區分，各策略實施之重點為：

- 節約能源策略

  包括工業部門採行自願減量、租稅優惠及能源查核措施；運輸部門採行差別稅費與運輸管理措施，以達成節約能源目標；住商部門則採行由政府提供之能源管理技術輔導。綜言之，各部門的節約能源策略是藉由管理與財政措施著手。

- 能源效率提升策略

  工業部門實施產業/產品能源效率標準與財政措施(租稅優惠與補貼等)；運輸部門採行車輛效率標準與車輛標章制度；住商部門採行產品標章制度與技術輔導能源使用效率提升措施。綜言之，各部門能源效率提升策略是以能源效率標準與財政措施為主導。

- 能源結構調整策略

  全由法令規範國家能源組合，或透過市場自由化之機制調整能源結構。

- 新及再生能源策略

  以法令規範、財政及研發等措施以促進新及再生能源之研發與普及，例如訂定再生能源之比率、投資租稅優惠、再生能源發電購回保證價格及政府提供基金進行研發等。此外，研發項目包括發電、設備及車輛運用潔淨能源之技術。

整體而言，日本等 5 國於能源效率提升與新及再生能源策略之執行措施為最多，前者可產生節約能源之附屬效益，而後者則可間接影響能源結構，因而此二者之規範相對較多。

2. 國家施政特色

若以個別國家觀之，各國因減量責任與社會文化背景的不同，因此各國選擇的政策措施各有其特色：

- 日本

日本是以行政管制措施為首，經濟誘因與研究發展措施為輔。早期日本致力推動節能措施，工業、住商及運輸措施使用較高能源效率設備/材料，並由經連團推動產業自願減量。其後重新評估結果而需加強額外措施方能達成《議定書》之目標，因此日本訂定「全球暖化推動策略法」為各項因應策略之法源依據，再依母法訂定子法與配套措施。相關配套措施包括：以財政措施鼓勵電廠與車輛轉換燃料、設備/車輛執行 Top Runner 能源標章制度、實施產業與住商部門能源管理制度、運輸部門實施運輸管理、加強研發新及再生能源技術及透過政府綠色採購擴大市場規模。

- 韓國

韓國之策略與日本類似，以行政管制措施為首，其訂定「節約能源法」與「新及再生能源法」為法源依據。但韓國與日本因減量責任的不同，因而兩者國內執行之措施亦有不同。日本致力執行各項溫室氣體因應策略，以達成《議定書》之目標，而韓國的目的在於節約能源，並附帶產生溫室氣體減量效果。

韓國與其他國家最大差異在於其對產業訂定 161 種產品能源密集度目標，並輔以能源查核與財政措施以促進鍋爐汰舊換新和發展省能設備。韓國對於住商部門課徵環境改善費與建築審查制度，以提升能源使用效率；運輸部門則對不同排氣量之車輛課徵累進排放稅，並實施車輛能源效率標章制度。

- 英國

英國是以經濟誘因措施為主導，行政管制僅居輔助地位，此乃為歐洲國家的環境政策著重經濟誘因之特色。英國因應策略中，其特點為執行全球首創的工業部門溫室氣體排放交易制度。此外，為提升工業部門能源使用效率，英國對工業部門使用之各種燃料課徵差別氣候變化稅，而與政府簽訂氣候變化協定，承諾達成規定之能源效率/溫室氣體減量目標者，可減徵氣候變化稅。

英國亦大力推動新及再生能源之發展，採用措施為新能源投資租稅扣抵；運輸部門方面則對車輛排碳量課徵綠色稅率，

並提高車輛貨物稅，以抑制車輛持有數及排碳量，政府亦提高環境友善車輛採購量，協助擴大環保產品市場；住商部門則採取建築能源效率標準。

- 美國

美國亦是以市場為導向之施政方針，特別著重科學性的基礎研究與新及再生能源的發展。科學性的研發計畫佔美國因應措施之 1/4 以上，而新及再生能源的發展是藉由再生能源組合標準、投資租稅扣抵及政府提供資金進行研發計畫等措施以擴大潔淨能源的市場佔有率。

美國國內因應策略以推動產業自願減量為首務，配合地方排放交易制度；住商部門採取電器設備標章制度；運輸部門執行排放限制與運輸管理，並研發潔淨車輛。為有效運用土壤受污染的土地，美國在該類土地上設置太陽光電設備；對於國際合作方面，若以前述日本等 5 國中，美國的國際合作計畫最具執行力，此計畫皆在協助開發中國家評估可行之因應與調適策略。

- 台灣

我國政府因應策略方式類似日本與韓國之模式，採取行政管制為主，而財政措施為輔，以進行節能、提升能源效率、調整能源結構及推廣潔淨能源。就行政管制之法源依據而言，我國與日本和韓國之差別在於我國是由「能源管理法」—以法律位階的母法作為行政管制措施之依據，並訂定「再生能源發展方案」以規範再生能源發展目標；而日本與韓國則分別訂定「溫室氣體管制法」與「節約能源管理法」。

若選擇日本等 5 國作比較，我國執行內容層面未如日本等國深廣，例如工業部門之自願減量協定，英國有 30 多個行業簽署與執行此協定，日本有 29 個行業，韓國有 6 個行業，而我國卻僅有 5 個行業；至於設備耗能標準與標章制度，日本採行最為高標準之 Top Runner 計畫，韓國制定 161 項產品能源密集度目標，我國則於 2003 年 8 月止已公告車輛、漁船、鍋爐、空調系統冰水主機、低壓三相鼠籠型感應電動機、窗/箱型冷氣機、電冰箱、低壓單相感應電動機及螢光燈管等 10 項能源效率標準。我國是否可再擴大規範對象宜再進一步評估。

(二)其他部門因應措施

表 15.7 所示為日本等 5 國的工業製程、農業部門、土地利用變化與林業部門及廢棄物部門之因應措施。以下則分別作介紹說明：

表 15.7 日本等 5 國非能源部門之溫室氣體減量措施彙整表

策略	政策	工具	措施	日	英	美	韓國	台
工業製程	法規	命令/標準(自願減量)	自願削減 CFCs 替代物排放量	●				
			自願削減 PFCs 排放量	●		●	●	●
		命令/標準	己二酸製程N_2O排放限制	●	●			
			降低天然氣輸送管線漏損		●	●		
		標章制度	天然氣之星			●		
	政策	宣導	推動使用臭氧分解物替代物質			●		
	市場機制	政府採購	環保水泥綠色採購	●				
	研發	技術	HFCs、PFCs及SF_6替代氣體與破壞技術開發	●	●	●	●	●
			煤床CH_4去除技術			●		
農業部門	研發	技術	木材應用範圍	●				
			廢棄物堆肥化與飼料化	●				●
			家畜飼養排放減量技術	●			●	●
			水稻耕作方式	●			●	●
			農業耕作管理		●	●		
			減少化肥使用量	●	●	●	●	●
土地利用變化與林業部門	政策	法規	土地利用規劃			●		
		行政措施	環境敏感土地保存			●		
			造林	●	●	●	●	●
			森林管理			●	●	●
			都市綠化	●				
	研發	技術	碳儲存			●		
			碳匯量評估	●	●	●	●	●
廢棄物部門	法規	命令/標準	減廢與回收再利用	●	●	●	●	●
			焚化廢棄物	●		●	●	●
			廢水污泥燃料	●				
		命令/標準(自願減量)	廢水處理效率		●			
		行政措施	掩埋場CH_4回收發電			●	●	●

- 工業製程

工業製程排放減量措施如同傳統污染物削減方式，由自願減量、限制排放、研發替代物質及綠色採購等層面著手。在自願減量措施中，最重要者為日本、美國、韓國及我國半導體產業的 PFCs 自願減量協定。

- 農業部門

農業部門中以畜牧腸內發酵排放CH_4，以及使用氮肥排放N_2O為最大排放源，因此農業部門的重點為畜牧養殖管理與農耕方式管理等。畜牧養殖管理為日本等5國共同採行之措施，農耕方式管理則採行降低氮肥使用量之措施，並視該國農作種類而調整，如日本、韓國與我國以稻米為主要農作，因此稻作耕作方式為主要農耕管理措施。

- 土地利用變化與林業部門

此部門因應策略多從造林及森林管理等碳匯著手，土地利用變化措施僅有前述中，美國於土壤受污染的土地上設置太陽光電設備。此外，各國土地利用皆由政府國土規劃部門與農業部門負責規劃，然而溫室氣體減量計畫尚未有具體執行行動。

- 廢棄物部門

日本等5國廢棄物部門減量措施，係配合既有廢棄物管理策略，而著重於溫室氣體減廢、焚化及回收再利用等。

三、結語

由上述能源部門與非能源部門因應氣候變遷策略之比較可知，我國政府因應溫室氣體增加策略之組織架構業已初具模型，但執行措施尚待努力。然而，如何發揮永續會氣候小組組織功能，全面檢討我國的減量空間，規劃及國際談判的準備，為現階段政府的政策重點。就國際談判籌碼而言，總溫室氣體排放量、人均CO_2排放量及單位能源排放量並不適於我國採行減量與談判之指標，而碳密集度與能源生產力為較有利我國採行的指標。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，中華民國聯合國氣候變化綱要公約國家通訊，2002 年。
2. Department for Environment, Food & Rural Affairs（DEFRA）, THE UK's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2001。
3. Environmental Protection Agency of U.S.A.（EPA-USA）, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks:1990-2001, 2003。
4. Environmental Protection Agency of U.S.A.（EPA-USA）, U.S. Climate Action Report-2002, 2002。
5. Global Environmental Subcommittee Environmental Committee Industrial Structure Council, Perspectives and Actions to Construct a Future Sustainable Framework on Climate Change: Interim Report, 2003。
6. International Energy Agency（IEA）, Dealing with Climate Change-Policies and Measures in IEA Member Countries, 2000。
7. International Energy Agency（IEA）, Dealing with Climate Change-Policies and Measures in IEA Member Countries, 2001。
8. International Energy Agency（IEA）, Dealing with Climate Change-Policies and Measures in IEA Member Countries, 2002b。
9. International Energy Agency（IEA）, CO_2 Emissions from Fuel Combustion 1971-2000, 2002a。
10. International Energy Agency, Dealing with Climate Change-Policies and Measures in IEA Member Countries, 2002b。
11. International Energy Agency（IEA）, Energy Balances of OECD Countries 1999-2000, 2002c 。
12. International Energy Agency（IEA）, Energy Balances of Non-OECD Countries 1999-2000, 2002d。
13. The Government of Japan, Japan's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change,

2002。

14. The Government of Japan, Japan's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2002。

第十六章 國際減量方式與我國對策研究

在《議定書》何時生效仍不確定的情況下，現階段要求開發中國家參與研擬全球溫室氣體減量方案，其可能性非常低。尤其在美國表明不簽署《議定書》後，未來國際間取得共同合作的模式將更加困難。因為《公約》與《議定書》屬於自願參與之國際環保協定，各締約國仍然有退出參與之權利，因此如何考量各國的經濟情況，進而促使世界各國主動的參與，以實質達成減緩氣候變遷之目標，將是未來研擬永續減量方案之最大挑戰。本章將介紹《議定書》之承諾模式，以探討我國未來研擬減量承諾之主要考量因素，並分析目前國際間可採行減量承諾之模式。

此外，我國目前在無減量的責任下，因此因應措施並未如附件一國家的減量成效。在考量《議定書》的國際減量分配方式與將來後京都時期的減量承諾模式，並參考附件一國家的減量經驗，以及與我國經濟發展類似的非附件一國家之政策規劃，本章將對我國將來之減量策略提出兩項建議方向：其一為仿效美、日及韓作法，即設立國家級因應氣候變遷委員會，由國家的總統或總理統籌負責，將溫室氣體減量之責任分配至政府各相關部門；其二為比照我國空氣污染管制之作法，即透過立法管制溫室氣體並採取總量管制之策略。

16.1 《議定書》之承諾模式

一、《議定書》減量目標之談判

在第三屆締約國會議(COP3)擬定各締約國之減量目標時，其過程透過政治協商主導，而各國減量目標之訂定並無一定制度規範，使談判協商能力強的國家常取得較有利的減量目標，因而受到各方質疑。

在無標準規範與公平分配的規則下，導致《議定書》的減量目標之公信度減弱[1]。另外，某些協商過程則在部份締約國家缺席時完成，使談判過程之透明度受質疑。因此未來談判時，各締約國廣泛的參與與透明化的談判程序將更顯得重要[2]。

二、歐盟各國減量責任之分配

歐盟在第三屆締約國會議(COP3)承諾的 8%減量目標係為政治談判之結果，其各國減量目標之分配（如表 16.1）則透過部門別減量模式(Triptych Approach)分析結果所致。部門別減量模式就各國排放分成三部份：發電、重工業及國內部門（包括住商、運輸、輕工業、及農業），以各部門為基礎而設定排放目標，再合計成國家整體目標。在發電之排放方面，考量各國使用之燃料源，但目標設定於每年排放成長率小於 1%。在重工業方面，因各國排放差異較小，因此使用相同的排放係數。在住商部門方面，各國同意將人均CO_2排放量以 1990 年作為基準，於 2030 年減少 20~30%。最後，以各國排放目標之研擬結果為參考，再進行談判訂定各國目標[1]。因此，歐盟各國減量責任之分配過程，可謂較《議定書》之減量談判過程更具準則與透明度，因此可作為將來減量談判之參考。

表 16.1　歐盟各國減量責任之分配[1]　單位: %

奧地利	-13	德國	-21	荷蘭	-6
比利時	-6.5	希臘	25	葡萄牙	27
丹麥	-21	愛爾蘭	13	西班牙	15
法國	0	義大利	-6.5	瑞典	4
芬蘭	0	盧森堡	-28	英國	-12.5

三、《議定書》之預期效果

在第七屆締約國會議(COP7)談判中，擬定各國可由森林管理達成減量成效納入減量額度後，《議定書》之整體減量效果由原本約 5%降至 3%；如果考量美國不簽署《議定書》之情況下（並不包括美國排放量增加之可能性），《議定書》之整體減量效果則降至 2%。美國於 2002 年 2 月提出的溫室氣體密集度減量方案，將造成其排放量於 2012 年比 1990 年再增加 30%。因此，以《議定書》現在的執行方案評估，附件一國家之整體排量將於 2012 年比 1990 年再增加 9%，已無法達成其原本目標[2]。在最近 10 幾年來國際間因應氣候變遷之發

展，《議定書》只是一個開始的基礎，而未來如何研擬永續的減量方案，說服美國與開發中國家回歸國際運作體系，將是下一階段談判的最大挑戰。

16.2 將來減量承諾之要素

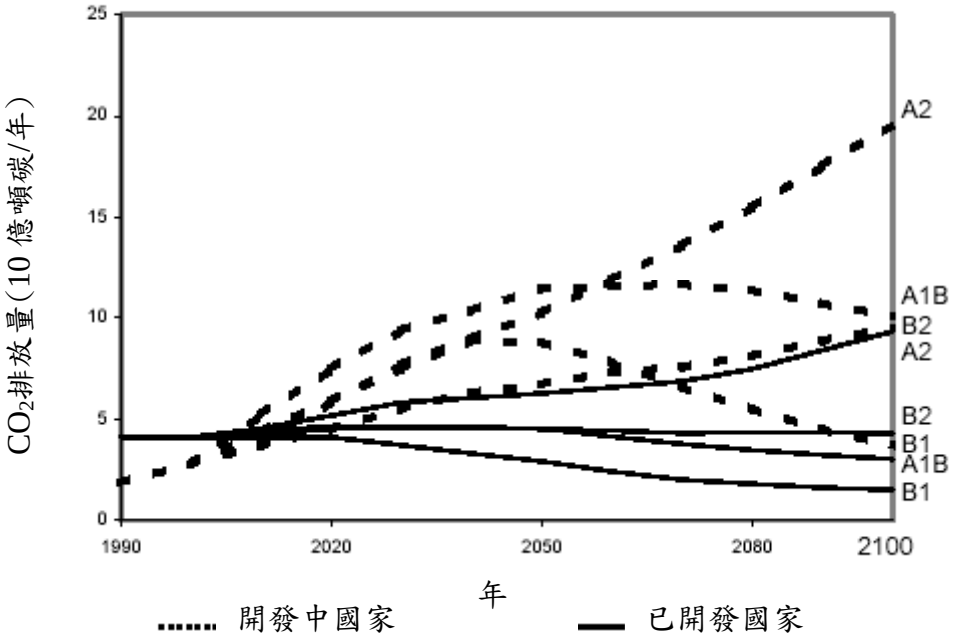
雖然開發中國家之人均CO_2排放量在長期內仍然低於已開發國家，但開發中國家之CO_2總排放量將持續快速成長，預計於 10~20 年後超越已開發國家之CO_2總排放量（如圖 16.1，各曲線代表氣候變化政府間專家委員會(IPCC)之排放預估情景）。因此如果要長期穩定大氣中的溫室氣體濃度，開發中國家的參與是必要的。但是目前許多研究指出，《議定書》之減量模式不適用於開發中國家，而在《公約》認定已開發與開發中國家之共同但程度不同的責任之原則下，開發中國家追求永續發展之權力，將是未來談判的原則之一。以下探討國際未來研擬減量承諾之主要考量因素：

一、公平性

公平性主要是指平等的排放權分配，例如達成一致的人均CO_2排放量目標。公平性可從多方面評估，包括需求、責任及能力等原則，需求原則是指開發中國家需要滿足其基本人類需求與經濟發展的機會，即是經濟發展應以永續經營為主軸；責任原則可稱為污染者付費（polluter pays）的精神，也就是造成環境污染問題的國家應負擔更大的責任；能力的原則是指具有資源與能力的國家應負起責任，亦可稱為能力付費（ability to pay）的精神，而衡量國家能力的標準則以其財務能力為主(如國內生產毛額)。以上責任原則與能力原則也呼應《公約》第一個原則：「各締約國應根據其共同責任和各自的能力與承諾，為保護氣候環境而採取行動。」

二、環境效益

溫室氣體減量的最終目的為減緩氣候變遷之威脅，但是如何訂定適當的溫室氣體濃度且規劃長期的目標，則是目前《公約》尚未解決的問題。依據 IPCC 第三次評估結果，如果溫室氣體濃度要穩定在 450ppm 以內，而且溫度上升的幅度要保持於 4℃（1.4~4.0℃）以內，則全球溫室氣體總排放量需要在 2050 年比 1990 年減少 15~25%。



A1B:能源技術與供給均衡

A2:人口成長最高(150 億)，區域經濟導向

B2:人口成長適中，中度經濟成展

B1:人口成長緩慢，經濟結構朝向服務性及資訊化社會

圖 16.1　IPCC 第三次評估報告推估已開發與開發中國家溫室氣體排放量之比較[2]

另外，在環境效益方面也需要考量洩露（leakage）之問題，因為如果減量架構未達成全球化規範，企業界可能逃避國內減量之責任而移轉到無減量承諾之國家以進行生產與排放，因此太過嚴格的減量目標可能造成反效果。在促進減量科技發展方面，具有市場誘因的機制如排放交易，可能是長期考量中較有效的方式。另外，改變民眾的態度、認知及教育宣導，也是達成長期環境效益的要素[2]。

三、成本效益

成本效益的主要概念為如何以最低的成本達成最高的環境效益。《議定書》已包含成本效益的機制，如共同執行(JI)、清潔發展機制(CDM)及排放交易(ET)等市場機制，另外，歐盟各國減量責任之分配，也是基於成本效益的考量之一。《議定書》進一步提供各國

減量的彈性機制，例如減量措施可包含任何六項溫室氣體、各種排放源及碳匯之使用，並由國家各自決定如何實施國內措施與使用京都機制之比率。許多經濟學者認為，規劃更長的減量時期可取得更高的成本效益，給企業界更多減量的彈性，並可衡量正常的資本周轉與額外的研發成本[2]。因此成本效益也是研擬未來長期減量目標的要素之一。

四、彈性

《議定書》之減量目標為絕對量化模式，而許多國家（如開發中國家與美國）則希望採取較《議定書》更具有彈性的目標，如排放密集度、排放交易價格之上限及無約束性的承諾。雖然彈性的目標將可促進各國廣泛的參與，但是過度的彈性會導致排放目標相等於基準情景。另外，在研擬將來減量承諾時，也可考量各國使用不同方式之可能性以達成彈性之需求[3]。

五、承諾時程與對象

《議定書》第一承諾期為 2008~2012 年，約《議定書》1997 年訂定後 10~15 年，此時期差距之主要目的則給各國充分緩衝時間針對《議定書》承諾作準備，以避免國家經濟衰退之可能性[2]。因此，如果在 2012 年後要訂定類似《議定書》之目標，應早已完成研擬，而目前仍然未對第二承諾期進行討論。何況開發中國家更需要充分時間以準備減量承諾，因此在可能的第二承諾期不應該包含開發中國家，而其承諾最早應於 2005 年檢討附件一國家承諾之後才可能開始協商，承諾期最早也應於 2018 年後才有可能履行。

對減量承諾之對象而言，目前《議定書》只針對附件一國家訂定減量目標，而在美國決定不簽署《議定書》後，現階段開始討論開發中國家承諾之可能性非常小。之前有些開發中國家試圖承擔自願性減量而遭到G77/China集團反對而失敗，因此近期內在非附件一國家之中不可能只有一部份國家接受減量承諾。未來較可行方式則由開發中國家自行決定各國應承擔之責任，例如以共同認可之指標（CO_2總排放量、人均CO_2排放量、排放密集度、人均GDP及脆弱性指標等）進行分類，如分為「限制性目標」、「自願性目標」及「無目標」等國家集團，可考量G77/China集團中各國不同情景[3]。

16.3 將來減量模式之可能選擇

目前已有許多將來可採行的減量承諾之模式概念。以下針對六項較成熟的模式進行探討：

一、延伸《議定書》減量模式

《議定書》只針對第一承諾期（2008~2012 年）訂定減量目標，因此以《議定書》的架構為基礎，就後續的承諾期（如 2013~2017 年為第二承諾期）繼續談判設定新目標。延伸《議定書》減量模式有幾個好處，固定的目標可確保環境效益，並可搭配京都機制以增加成本效益，另可談判訂定各國不同的目標以符合公平性。但是固定的目標具有經濟不確定性，在談判後此嚴格的架構無法考量可能變化的情況，在眾多參與者情況下談判過程也非常困難，而對開發中國家而言，其經濟成長將受限制[2]。因此延伸《議定書》減量模式，可能較適合已開發國家第二承諾期的目標，而對後續承諾期可能包含開發中國家較不可行。

另外，《公約》與《議定書》之條文允許非附件一國家自願提案加入附件一國家名單，並承擔附件一國家之責任，因此可作為延伸《議定書》的方式包含開發中國家之可行途徑。但是以哈薩克提議加入附件一國家為例，受到開發中國家反對而無法通過，因為有些開發中國家認為此舉動可成為其他開發中國家受壓而被納入減量承諾之途徑[3]。此例則顯示以延伸《議定書》的方式包含開發中國家將面臨政治上的困難。

二、GHG 密集度指標模式

因為《議定書》之固定的減量目標模式不適用於開發中國家，使用GHG密集度指標模式較不會影響開發中國家之經濟發展，其可由以下方程式表達[4]：

$$\text{GHG 密集度指標} = \frac{\text{GHG 總排放量}}{\text{國內生產毛額}}$$

許多因素可影響國家的碳密集度，包括經濟結構、地理、燃料比例及能源效率等。過去 20 年主要國家的碳密集度之數據顯示，多數已開發國家（如美國、日本、歐盟及澳洲等）之密集度已逐漸下降，阿根廷與墨西哥因大量使用水力發電而密集度偏低，中國大陸與印度則主要使用煤炭而密集度偏高[4]。

目前已有兩國使用GHG密集度指標模式作為其將來減量策略，分別為阿根廷的自願性減量承諾與美國的溫室氣體密集度目標。阿根廷於第四屆締約國會議(COP4)提出一自願性減量承諾，其應用以下方程式：排放目標值=$I \times \sqrt{GDP}$；在此，I = GHG密集度指標，阿根廷研究指出排放目標值為 151.5，但各國情形可能不同。此方式可使阿根廷於 2008 至 2012 年由該期間排放基線達成 2~10%之減量。但是因為阿根廷後來面臨經濟危機，阿根廷政府對此承諾已改變態度，而締約國大會也未對此方案做任何表決[3]。

美國布希總統於 2002 年初宣布美國的溫室氣體減量目標，將在未來十年內降低溫室氣體密集度 18%，其密集度是溫室氣體排放量與國內生產毛額之直接比率。因為美國的溫室氣體密集度在 1980 年代已經降低 21%，在 1990 年代繼續降低 16%，此目標將持續歷年來的溫室氣體密集度下降趨勢，而類似於 2012 年的基準排放情景，甚至將使美國溫室氣體總排放量在 2002~2012 年之間增加 12%，與 1990 年比較將增加 30%[5]。

由以上兩國之比較可知，GHG 密集度指標較適用於開發中國家，因為其 GHG 密集度指標大部份仍然偏高，而降低其 GHG 密集度指標可達成實質的減量效果。當 GHG 密集度指標使用於已開發國家，其目標可能類似於基準排放情景，無法達成實質的減量。此外，訂定 GHG 密集度指標時必須考量各國不同的經濟與排放情景，才能確保其目標的公平性、環境效益、成本效益及彈性等要素。

三、人均CO_2排放量–固定濃度目標模式

固定濃度目標模式之概念早於 1995 年由Global Commons Institute研擬，主要包含兩個步驟。在第一步驟中，擬定將來每年全球排放量之路徑，以達成長期穩定溫室氣體濃度之目標（設定為 450 ppm）。在第二步驟中，每年的全球排放量之限制則分配於各國，以使各國的人均CO_2排放量於 2030 年時達成目標，而在全球限制之架構下可進行排放交易。此模式可達成長期的環境目標，並確保人均CO_2排放量之公平性。此模式雖然簡單，且可促使全球各國的參與，但是無法考量各國結構的不同與承擔減量成本之能力，如果要達成溫室氣體濃度之 450 ppm目標，全球人均CO_2排放量必須小於現在的平均值，而許多開發中國家將面臨減量的壓力[3]。

四、部門別減量模式（Triptych approach）[3]

此模式由各部門分別進行評估減量目標（由下而上），最後整合訂定國家之減量目標，其原理可適用於分配區域國家之排放量，例如歐盟各國評估減量責任之分配。

部門別減量模式依各國排放分成三部份：電力、工業及國內部門（包括住商、運輸、輕工業及農業），以各部門為基礎而設定排放目標，再合計成國家整體目標。上述三種部門之選擇，與各國經濟狀況、排放量及減量潛力有關，包括生活水準、發電燃料比例、經濟架構、及工業之競爭力等差別。

在電力部門方面，各國因電力來源與燃料比例不同而造成各國CO_2排量之不同，而各國的再生能源潛力與大眾對核能的接受度也不盡相同。因此在計算各國電力部門排放量時，假設將來發電之情景，並設定發電方式之限制，例如再生能源與汽電共生之最低限度、化石燃料比例之上限及核能之比例維持在 1990 年水準。此方式計算出的排放量為各國電力部門之減量目標。

在工業部門方面，在衡量工業之競爭力時，需考量能源成本與能源效率提升，相關工業包括：建材、化學、鋼鐵、造紙、煉油、焦炭爐及煤氣廠等能源轉換工業（不包含電力業）。在計算各國工業部門排放量時，則考量實務生產之成長率與每年效率提升率，另重工業比例較大之國家，其CO_2排放量也相對較高。經由上述所計算出的排放量為各國工業部門之減量目標。

國內部門方面，其包括住商、運輸、輕工業及農業。此部門在各國的同質性較高，排放減量可由國家措施達成，而排放量與人口關聯。在計算國內部門之排放目標時，則假設各國的生活水準與能源效率在長期內將會穩合。

最後，合計電力、工業及國內部門之排放量則可訂定國家的排放目標。

五、多階段減量模式（multi-stage approach）[3]

多階段減量模式亦稱為FAIR（Framework to Assess International Regimes for burden sharing)模式，由挪威的國際氣候及環境研究中心（CICERO）及荷蘭能源研究中心（ECN）共同發展之模型。多階段減量模式也是由各部門進行評估而訂定國家之減量目標，並考量部門

別之人均CO_2排放量之整合，分為以下七部門評估：電力、工業、交通、家庭、服務業、農業及廢棄物。

在全球層面上，由人均CO_2排放量表示各部門之排放標準，在目標年內達成此標準之整合，以基準年之全球平均為基礎，每年訂定該標準排放減量率。人均CO_2排放量低之國家有經濟發展之權力，而不受到排放限制，直到其排放量超過訂定標準，則需開始承擔減量責任。

六、政策措施管制模式

此模式要求各國採取可達成減量效果之政策措施，包括技術與效率標準（如家電用品之效率、建築物材料及再生能源使用等）、課稅（全球性溫室氣體稅）、清除補貼（能源生產或消費）、排放交易（實施國內排放交易制度且與國際制度接軌）、技術研發與誘因（鼓勵投資溫室氣體減量技術之研發與設置）[2]。在當初研擬《議定書》時，歐盟支持政策措施管制模式為附件一國家減量方案之一，但遭美國反對。目前《公約》中的政策措施管制模式只針對附件件一國家，為減量目標之替代方案，因此其他開發中國家若採取政策措施管制模式，可成為承擔減量承諾之初步行動。政策措施管制模式之優點包括可降低減量成本、面對競爭力問題、與國際貿易規則產生衝突及碳排放移轉至開發中國家（carbon leakage）等問題[3]。

16.4 將來減量承諾之模式對我國可能影響

在美國不簽署《議定書》情況下，現階段開始討論開發中國家減量承諾似乎不可能，而美國原先提出的主要開發中國家參與之原則，在第八屆締約國會議(COP8)也明顯改變，因為美國亦將承擔減量責任。G77/China集團於COP8 持續反對討論開發中國家承諾之議題，印度則表示其人均CO_2排放量遠低於全球平均，因此希望以人均CO_2排放量作為將來減量談判之選擇模式，而美國與韓國則支持以GHG密集度指標模式作為減量談判之選擇[3]。

由第十五章分析我國相關CO_2排放指標與國際比較，我國CO_2總排放量與人均CO_2排放量已接近許多附件一國家，如依照多階段減量模式納入開發中國家，因此我國、韓國、墨西哥、印度及中國大陸等國家，可能成為將來初步減量對象。但是如果以國內生產毛額考量之GHG密集度指標模式，我國之GHG密集度指標低於美國、韓國、墨

西哥、中國大陸及開發中國家之平均值，因此我國將來較有減量彈性。如果考量我國經濟持續快速發展，訂定GHG密集度指標模式之減量目標可能是我國將來減量之最佳選擇。另外，部門別減量模式、多階段減量模式及政策措施管制模式是現階段我國可參採之溫室氣體減量政策。

雖然目前我國非《公約》締約國而無法參與談判，但台灣半導體協會已加入世界半導體協會（World Semiconductor Council, WSC）而承擔自願性 PFCs 減量承諾，此承諾為成為會員之先決條件。目前其會員包括美國、歐盟、日本、韓國及台灣，而中國大陸現在正申請成為會員，也需要訂定其自願性減量承諾。此自願性承諾模式為產業界參與全球減量行動之首項範例，以確保全球產業之公平競爭環境，也是現階段非附件一國家最可參與減量之方法。另外，附件一國家將來為達成其減量目標，可能將現有的自願性能源效率標準（如家電用品、辦公室設備及汽車等），改為強制性標準。我國出口至其他國家之相關產品，因此也需要符合其高標準而改善效率。

16.5 我國可能削減模式一(部門分工削減)

一、我國溫室氣體減量執行架構

我國目前非《議定書》之成員，在「全國能源會議」時將我國定位為非附件一國家之新興工業國。依據《議定書》之規範，我國並無減量之責任，但基於地球村成員，我國必須採取各項減量措施，以善盡國際之責任。

我國將來減量方式可借鏡日本與韓國，將政府各部門之權責予以規範，以利將來政策措施之推動。此外，我國政府還須建立各部門溫室氣體排放清冊，依溫室氣體種類與排放源，分別估算其既有與將來可行措施之減量潛力，設定各部門減量目標與時程，最後執行各項可行之政策措施，並分階段檢討與修正。我國溫室氣體減量執行架構建議如圖 16.2 所示。

二、我國各部門的溫室氣體減量之權責

為更有效率和系統化的處理《公約》的議題，因此可參酌日本的溫室氣體管制法律與韓國的因應氣候變遷之組織，我國政府宜循現有制度，在行政院永續會下成立因應《公約》工作分組，此工作分組下

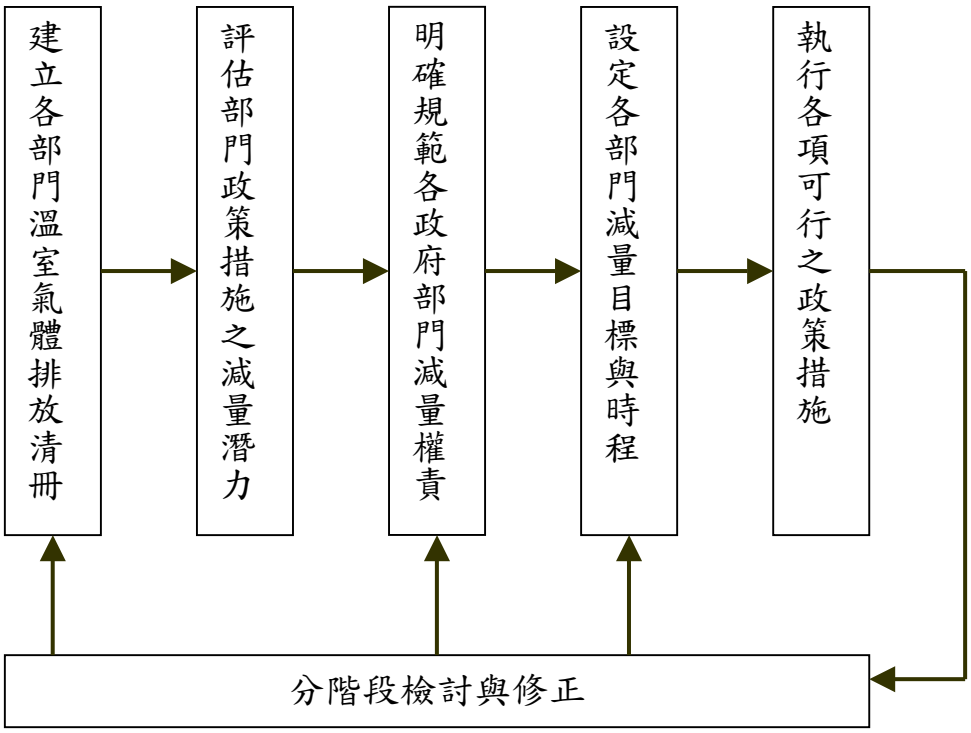


圖 16.2 我國溫室氣體減量執行架構建議圖

設 8 工作小組，其成員由相關政府部門、學術界、產業界及環保團體所組成，各工作小組負責提報該組之工作規劃與成果至因應《公約》工作分組討論，並提交永續會決策。

圖 16.3 所示為我國因應《公約》工作分組組織建議，表 16.2 所示為各工作小組之政府部門權責與任務分工。

三、各部門減量分工與對策之建議架構

表 16.3 所示為參酌日本之 2002 年「全球暖化對策推動大綱」，依溫室氣體之排放類別與部門分類，分別擬定各部門減量目標與對策。若考量我國國情，目前並無設定減量目標，但仍可借鏡其減量對策與減量潛力以設定將來減量目標。

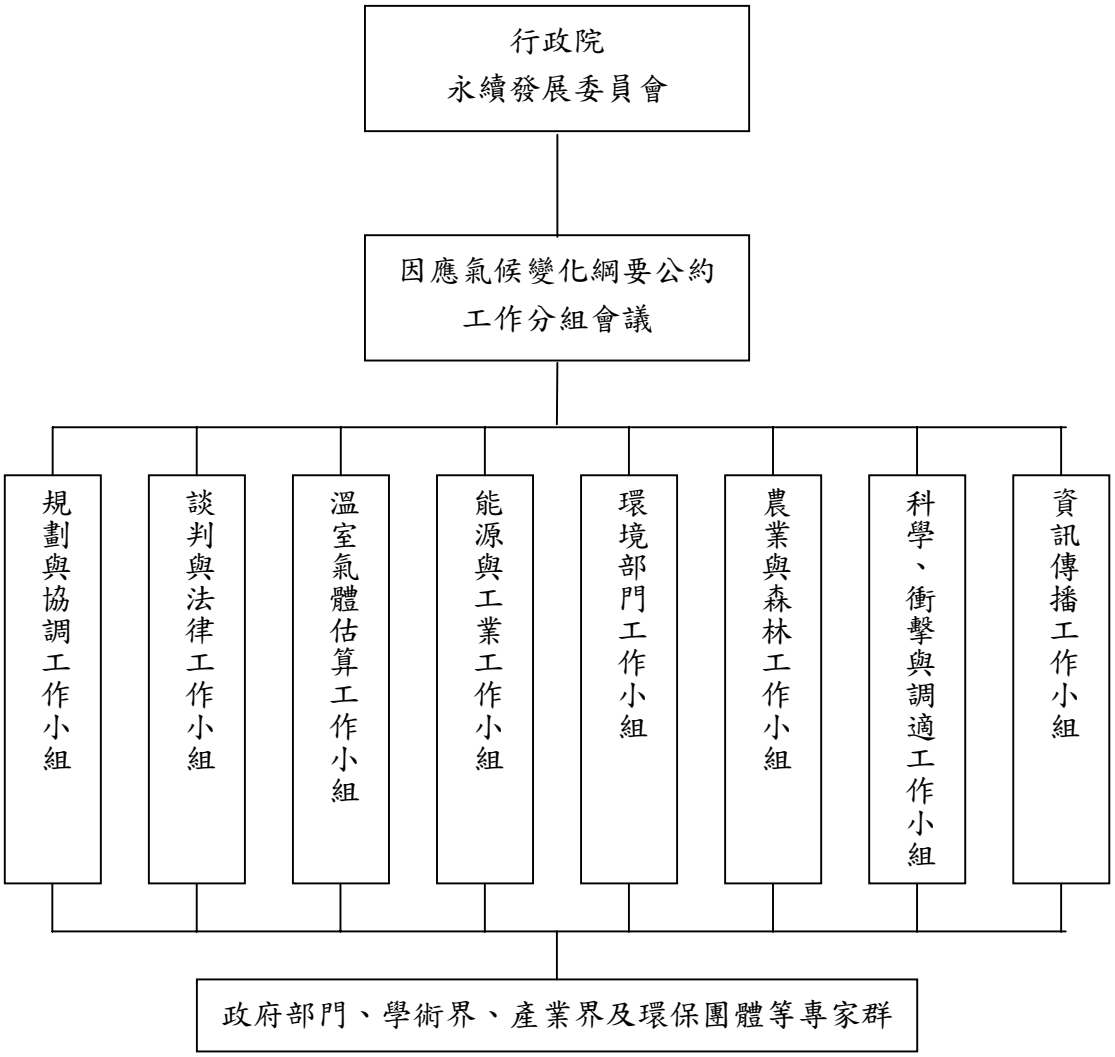


圖 16.3 我國因應《公約》工作分組組織建議

表 16.2　因應《公約》工作分組權責與任務分工

工作分組	相關政府部門	權責與任務分工
一、規劃與協調工作小組	環保署（空保處、綜計處） 能源會 農委會	● 擔任我國《公約》決策委員會的秘書處，協助會議召開，規劃與成果彙整。 ● 對外負責我國與《公約》秘書處之連絡窗口。 ● 負責組團參加《公約》締約國會議。 ● 對內負責協調各工作分組之間事務，並協助各工作分組會議之召開。 ● 跨部會政策與因應策略之整合。 ● 推動我國溫室氣體減量之國際合作計畫。 ● 將溫室氣體納入國家永續發展策略中，並作為環境影響評估的主要指標。
二、談判與法律工作小組	外交部 環保署 能源會	● 研究《公約》與《議定書》的會議文件與條文對我國之影響 ● 研究我國參與京都機制之可行性。 ● 協助推動我國溫室氣體減量之國際合作計畫。 ● 負責我國溫室氣體減量之國際談判。
三、溫室氣體估算工作小組	經濟部（能源會、工業局） 環保署（空保處、廢管處） 農委會	● 負責建立我國溫室氣體國家體系與計算方法等。 ● 建立我國溫室氣體清冊估算與資料庫。 ● 溫室氣體基線之設定：包括國家整體和各部門別。 ● 模擬溫室氣體減量之情景。 ● 估算溫室氣體減量成本。
四、能源與工業工作小組	經濟部（能源會、工業局） 環保署 交通部 內政部 財政部	● 檢討並訂定我國能源政策；推動節能措施；提升能源使用效率；獎勵新及再生能源；提升能源轉換效率與傳輸效率；強化需求端之管理；加強能源科技之研發。 ● 檢討並改善產業結構；推動低碳或無碳產

表 16.2 （續）

四、能源與工業工作小組	經濟部（能源會、工業局） 環保署 交通部 內政部 財政部	業；輔導產業降低製程。 ● 加強運輸管理、發展都會捷運系統和大眾運輸系統；提升運輸工具能源效率；鼓勵使用低碳之能源。 ● 推動住商部門和政府辦公大樓之節約能源措施。 ● 研究能源稅或碳稅實施之可行性。 ● 研究各項經濟誘因對溫室氣體減量之成效。
五、環境部門工作小組	環保署（空保處、廢管處） 經濟部（能源會、工業局）	● 鼓勵產品生命週期之概念；推動減廢、循環再利用；加強製程改善與廢熱回收。 ● 負責廢水、廢棄物CH_4排放之控制與再利用。
六、農業與森林工作小組	農委會	● 加強森林管理及植樹造林。 ● 加強由土地利用、土地利用與林業的碳匯的管理與估算。
七、科學、衝擊與調適工作小組	國科會 農委會 經濟部（水利署） 內政部（營建署） 交通部（氣象局） 衛生署	● 溫室氣體排放監測；氣候變遷之長期觀測與研究。 ● 整合氣候變遷與防災科技研究與策略。 ● 我國各部門受氣候變遷衝擊評估與策略建議。 ● 我國海平面上升之研究與海平面長期觀測。 ● 我國水資源受氣候變遷之衝擊評估與水資源之長期觀測。 ● 農林有關之生態體系、森林、農作與糧食及魚產等受氣候變遷之衝擊評估與調適策略之擬定。 ● 我國衛生疾病與氣候變遷之關係與影響評估。
八、資訊傳播工作小組	新聞局 教育部 環保署 能源會	● 我國因應《公約》對外說帖之製作與傳播。 ● 加強各級學校全球暖化知識、節約能源及資源回收之教育。 ● 加強一般大眾對地球暖化知識、節約能源及宣導資源回收。

表 16.3　各部門減量分工與對策之建議架構

<table>
<tr><td colspan="4">1. 來自能源CO_2之減量對策（減量目標設定）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">節約能源（CO_2減量潛力）</td><td>工業部門</td><td>運輸部門</td><td>住商部門</td></tr>
<tr><td>● 建立新設廠能源效率指標。
● 實施能源查核制度。
● 推動產業自發性節約能源行動計畫。
● 提升能源設備效率標準。
● 擴大實施節約能源獎勵優惠節約能源技術服務。</td><td>● 提升及增訂汽機車輛及漁船引擎耗能標準。
● 推動採用省能交通工具。
● 健全軌道大眾運輸系統。
● 推動汽燃費改隨油徵收。
● 實施運輸系統管理策略。
● 發展智慧型運輸系統。</td><td>● 提高用電器具效率標準。
● 購置節約能源或潔淨能源設施適用投資抵減辦法。
● 推廣重點用戶服務。
● 推動節能標章與綠色採購。
● 建立建築能源總量管制制度。
● 推動綠色建築。</td></tr>
<tr><td colspan="3">加強能源科技發展與善用政策措施</td></tr>
<tr><td colspan="3">● 加強能源科技發展：於 5 年內在能源基金中籌撥 100 億元，作為推動節約能源、提升能源校率與研發推廣清潔能源之用。</td></tr>
<tr><td colspan="3">● 善用能源政策措施：檢討能源價格與稅費制度；透過補助、租稅獎勵及收購電力等措施，加強再生能源之開發利用；擴大天然氣之使用所採取租稅優惠措施。</td></tr>
<tr><td>電力轉換（CO_2減量潛力）</td><td colspan="3">● 提升電廠發電機組效率。
● 提升輸配電效率。
● 持續執行「推動汽電共生系統推廣辦法」。
● 積極推動電力需求面管理(DSM)。
● 發展再生能源。
● 大力推廣天然氣之使用。</td></tr>
<tr><td colspan="4">2. 工業製程與含氟溫室氣體之減量對策（減量目標設定）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">工業製程（揮發性有機物減量潛力）</td><td colspan="3">固定污染源管理:
● 環境影響評估增列CO_2增量項目。
● 管制揮發性有機物。</td></tr>
<tr><td colspan="3">環境管理:
● ISO 14000系列。
● 管制揮發性有機物。</td></tr>
<tr><td colspan="3">清潔生產與綠色產品:
● 建立清潔生產。
● 推廣綠色產品。</td></tr>
<tr><td>含氟溫室氣體（HFCs、PFCs及SF_6減量潛力）</td><td colspan="3">鹵烴與SF_6減量措施:
● PFCs自願減量協議，TSIA同意以1998年排放量為基準，至2010年降低基準年10% PFCs排放量。</td></tr>
</table>

表 16.3 （續）

3. 農業之減量對策（減量目標設定）	
CH_4(CH_4減量潛力）	CH_4排放減緩: ● 推動「水旱田利用調整後續計畫」，辦理規劃性休耕及稻田輪休，減少稻田及稻草燃燒的CH_4釋出量。
N_2O（N_2O減量潛力）	N_2O排放減緩: ● 執行「肥料政策調整方案」，推廣使用有機質肥料、生物肥料，推動合理使用化學肥料及培育土壤永續生產力。
4. 廢棄物之減量對策（減量目標設定）	
CO_2 與 CH_4（CO_2與CH_4減量潛力）	垃圾掩埋處理: ● 管制衛生掩埋場CH_4排放。 ● 推動掩埋場CH_4回收利用。
	推動興建焚化爐計畫: ● 推動以焚化爐為主的垃圾處理方式，減少CH_4之排放。
	廢水排放: ● 推動以焚化爐為主的垃圾處理方式。
	垃圾減量: ● 包括垃圾分類、資源回收、垃圾處理費隨袋徵收、禁用塑膠類免洗餐具及廚餘回收等。
5. 土地利用變化與林業（碳匯吸收目標設定）	
CO_2(CO_2吸收潛力）	加強造林、保林及林相改良: ● 加強造林與森林復育。 ● 加強森林保護與森林災害防救。 ● 加速保安林檢訂管理。 加強水土保持監督與管理: ● 辦理特定水土保持區之劃定，落實水土保持督導管理，加強集水區整體規劃治理。 推動平地造林與綠化方案: ● 推動平地造林以直接給付或對地補貼方式予以獎勵與補助。 ● 改善城鄉生態景觀、建構綠色廊道、美化台灣海岸景觀及建造海岸景觀環境林。

16.6 我國可能削減模式二(溫室氣體總量管制)

一、 策略概述

對於溫室氣體如單純以能源效率限制或排放限制為主要管制之方式，仍無法達成管制目標，亦不足以抑制溫室氣體排放量之增加，

而由前各章節分析可知，目前我國溫室氣體減量成本甚高，且減量空間有限。為因應將來可能面臨之溫室氣體減量壓力，有必要研擬具有經濟誘因之減量對策，以作為我國將來因應溫室氣體增加之策略。

溫室氣體總量管制策略為將溫室氣體納為空氣污染物，對工業溫室氣體污染源進行排放基線認定並建立排放源清冊資料，指定其污染源於一定期限內應進行溫室氣體排放削減量，超過指定削減額度之差額，可申請保留、抵換並進行排放交易，未能依規定達成指定削減者則依其未達成之差額繳納碳稅；新設污染源則應採行符合最佳能源使用效率之可行控制技術。對未納入指定削減之部份排放源則透過能源效率限制，並依其溫室氣體排放量多寡徵收碳稅，促其減少燃料使用量、減少用電量及改變作業方式以降低溫室氣體之排放。

所徵收之碳稅將統籌運用於國際合作減量工作（如參與京都機制）及獎勵溫室氣體排放減量。此策略將使溫室氣體排放者有較大改善彈性，選用其認為最有利之改善措施以達成減量目標。

二、 相關組織與作業分工

為有效推動各項工作，應就前述各項工作進行有效分工，行政院設置「國家永續發展委員會」負責推動相關事務，主要由環保署統籌推動減量工作。溫室氣體排放源之目的事業主管機關包括國科會、經濟部及農委會等負責溫室氣體減量工作之輔導與技術支援，各單位分工如圖 16.4 所示，並說明如下：

(一)環保署：負責推動溫室氣體減量、碳稅之徵收與運用及國際減量合作工作，說明如下：

1.將溫室氣體納為空氣污染防制法之管制污染物

2.建立溫室氣體排放基線(排放係數與活動強度)

3.建立溫室氣體排放量申報制度

4.訂定各類排放源管制方式

- 新設、既存工業源溫室氣體管制法規與執行方式，其中新設污染源執行最佳能源使用效率之最佳可行控制技術規定；既存排放源則採排放量基線認可及指定削減之規定，同時針對超額減量部份，提供保留抵換或交易之經濟誘因推動模式。

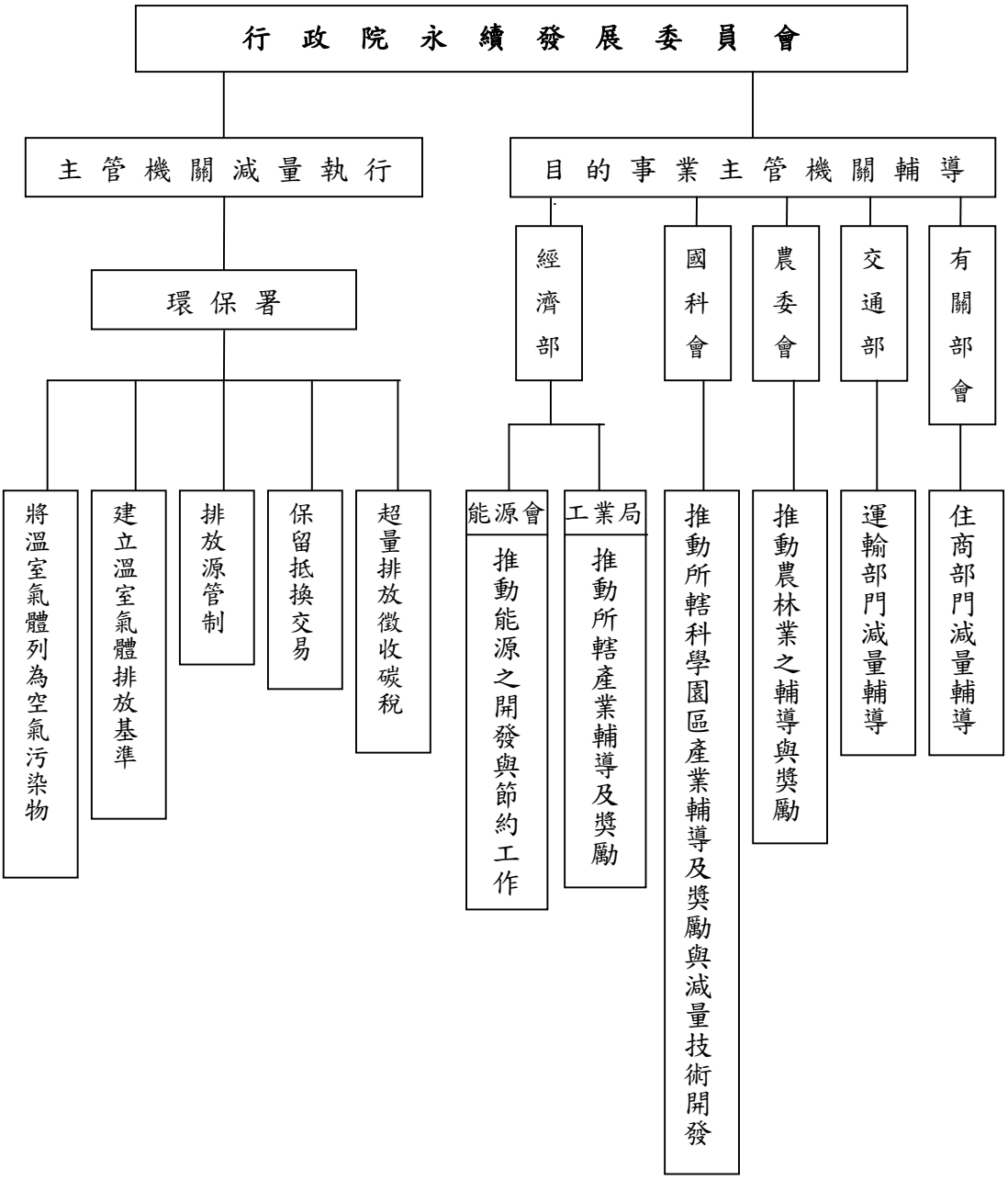


圖 16.4　溫室氣體管制作業分工

- 各類排放源碳稅徵收機制與徵收稅率之訂定。
- 運用碳稅參與國際CDM機制與排放交易制度。

(二)其他溫室氣體排放目的事業主管機關

- 國科會：負責掌管工業區之產業輔導、獎勵及防治技術開發。
- 經濟部：所屬之工業局負責所轄工業區及產業輔導與獎勵;所屬之能源委員會負責能源之開發與節約工作。
- 農委會：所轄農林業之輔導與獎勵。

三、溫室氣體管制策略

環保署所規劃之溫室氣體總量管制策略包括將溫室氣體納為管制污染物、建立溫室氣體排放基線資料、針對各部門進行溫室氣體管制(包含工業、住商、交通運輸、農林業部門之排放源)及運用碳稅參與國際 CDM 機制及排放交易制度等內容(如圖 16.5),分別說明如下:

(一)將溫室氣體納為空氣污染物

為有效進行溫室氣體之管制，因此須透過立法程序，將溫室氣體納為空氣污染防制法之管制污染物，以作為後續管制之依據。

(二)建立溫室氣體排放清冊

對各溫室氣體排放源之排放情形，定期調查與更新建立個別污染源排放基線，且建立溫室氣體排放資料庫，並推動定期申報制度。各溫室氣體排放源依規定時間申報排放相關資料，主管機關彙整後統計各排放源之溫室氣體排放量以建立全國排放清冊。有關溫室氣體排放清冊建制工作說明如下：

1.溫室氣體排放量之計算

依據 IPCC 溫室氣體排放計算準則規定，各溫室氣體排放源應計算排放量項目與內容，包括：排放源之直接排放、排放源本之間接排放及其他間接排放(如表 16.4 所示)。

2.建立各類排放源之活動強度

各類污染源之類別範圍說明如下：

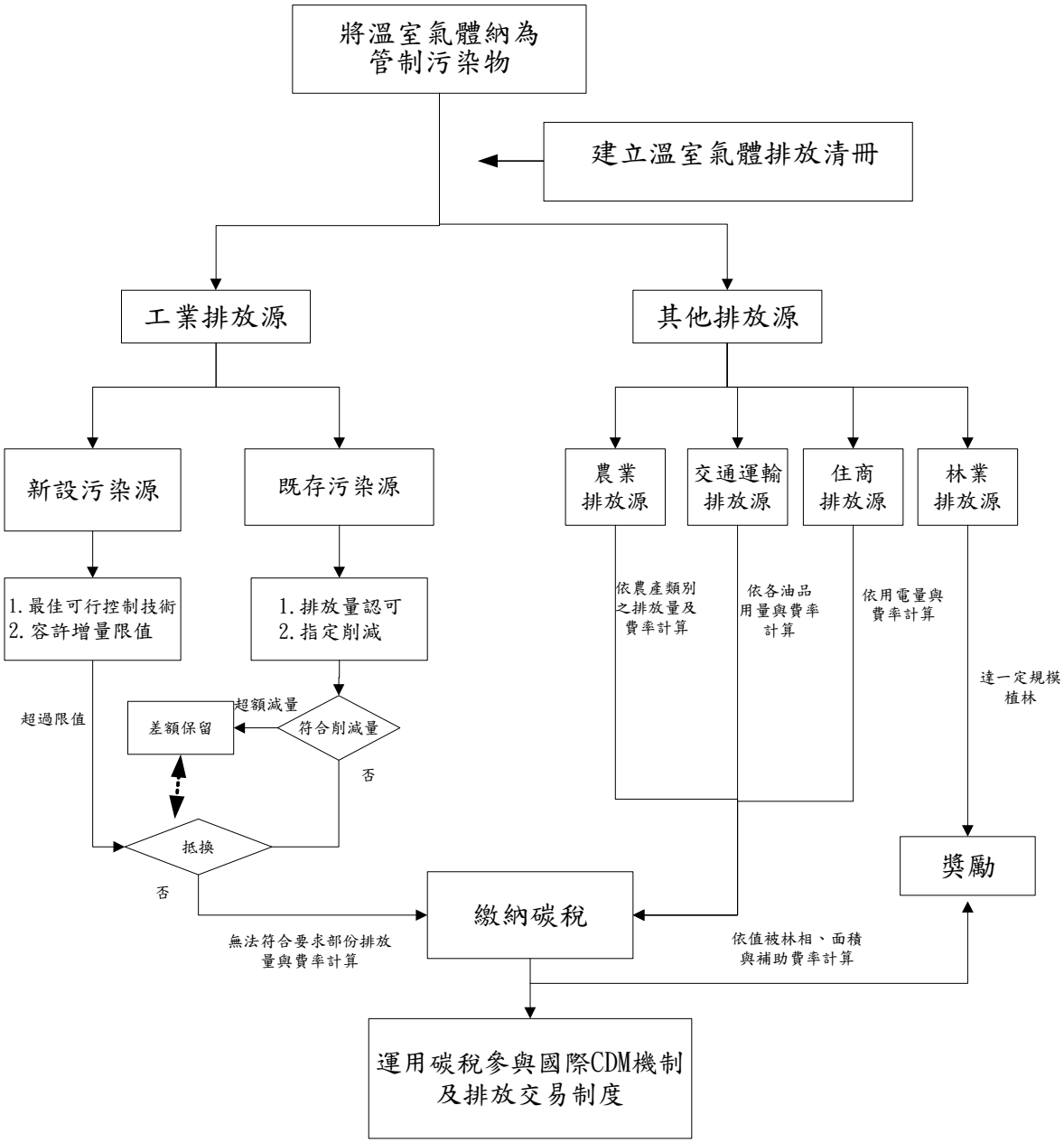


圖16.5　溫室氣體減量管制策略架構

表 16.4　排放量計算內容與項目

排放類別	排放量計算項目與內容
1.排放源之直接排放(排放源本身製程活動)	• 使用燃料的溫室氣體排放。 • 物理或化學製程產出的溫室氣體排放。 • 原料、產品、廢棄物與交通運輸產出的溫室氣體排放。 • 各種逸散產出的溫室氣體排放。
2.間接排放(屬排放源本身之活動)	• 企業本身進口或外購電力、熱及蒸氣作業而間接產出的溫室氣體排放。
3.其他間接排放(非屬排放源本身活動)	• 外部支援、委外製造作業及特許授權經銷商產出的溫室氣體排放。 • 產品、原料及廢棄物輸送產出的溫室氣體排放。 • 員工商務旅行及通勤使用非屬企業本身之運輸工具所產出的溫室氣體排放。

- 工業排放源：包括電廠、汽電共生設施、工業燃燒、鋁業、煉鋼業、硝酸業、水泥業、石灰業、造紙業、HFC-23 製造業、半導體業、焚化爐、掩埋場及廢水處理場等。
- 住商排放源：包括各類住宅型社區與商業使用建築物。
- 交通運輸排放源：公路交通運輸使用之各類車輛(客運車輛、貨運車輛、工商廠場車輛及校車等)、航空飛行機、客貨運船及休旅船。
- 農業排放源：包括農戶(水稻、雜糧及果樹耕作)、畜牧戶(家禽及家畜飼養)及林業。

有關活動強度之計算規則，工業排放源之電力設施與燃燒污染源以燃料使用量作為計算基礎；工業排放源之工業製程則以各類製程之產品產量或原物料使用量作為計算基礎。住商之活動強度為供住商排放源使用之用電量。交通運輸之活動強度則為燃料油使用量。農業排放源之活動強度為耕作水稻田面積、雜糧作物

面積、果樹栽種面積及畜牧動物之飼養頭數。

3.研訂排放係數

依排放源的特性公布計算溫室氣體排放量之各類排放係數。

4.推動排放申報與查核管理

對指定公告之溫室氣體排放源，規範應將其溫室氣體排放情形作成紀錄，並依規定定期向中央主管機關申報。各級主管機關得查核溫室氣體排放源之防制或減量執行情形，並追蹤其進度。

(三)各類排放源管制措施

推動各類排放源之減量措施，將得以減低我國溫室氣體排放量以減緩國際壓力，有關措施分別說明如下：

1.工業排放源減量措施

實施對象包括電廠、汽電共生設施、工業燃燒、鋁業、煉鋼業、硝酸業、水泥業、石灰業、造紙業、HFC-23 製造業、半導 體業、焚化爐、掩埋場及廢水處理場等有關工業排放源之減量。經指定公告排放源後，其新設、變更及既存之溫室氣體排放源，應依指定削減量進行溫室氣體排放改善，符合溫室氣體排放規定之目標，倘排放源較指定目標有更多削減量，其差額量則得以保留。新設排放源、既存排放源因減量成本過高或減量技術不足，致無法符合新增容許增量限值或指定削減量規定者，得予進行抵換。有關新設排放源及既存排放源管理方式、差額量取得及抵換方式說明如下：

(1)新設排放源最佳可行控制措施及增量抵換

- 最佳可行控制措施：依各類製程分別訂定最佳可行控制措施並公告之，自實施日起新設排放源即應採取最佳可行控制措施，並檢具溫室氣體防制計畫申請認可。
- 新增排放量容許限值：為避免新設源排放大量溫室氣體，使得排放量顯著成長，因此訂定新增排放量增量抵換，凡新設工業排放源除採取前述最佳可行控制措施後，新增溫室氣體排放量需有相對減量差額抵換，方能取得認可核定其排放量並進行設置。

(2)既存排放源認可及指定期限削減排放量

對於各類既存排放源分別訂定其認可係數及指定削減係數，如電廠、汽電共生設施、工業燃燒依燃料用量或輸入熱值訂定排放量認可係數及指定削減係數；工業製程依行業別(鋁業、煉鋼業、硝酸業、水泥業、石灰業、造紙業、HFC-23 製造業、半導體業、焚化爐、掩埋場及廢水處理場等)，依產品產量或原物料使用量,分別訂定數排放量認可係數及指定削減係數;廢棄物處理則依焚化爐、廢水場及掩埋場等處理形式及處理量訂定認可係數及指定削減係數。

- 排放量認可：既存排放源應檢具溫室氣體減量計畫，依據規範活動強度及認可係數計算溫室氣體排放量，申請認可其排放量。
- 指定期限削減排放量：依公告電力及汽電共生設施、工業製程及廢棄物處理等各類排放源之指定削減係數，依其申請認可量之活動強度及指定削減係數進行計算，並個別指定排放源應削減排放量目標與期限。

(3)達成削減目標之差額量保留

溫室氣體排放源因採取減量措施或進行製程改善,應於期限內達成指定削減量目標,若實際削減量較指定為多者,其差額經認證後得由排放源保留使用。

(4)排放量抵換

既存排放源因減量成本過高或減量技術不足,致無法達成指定削減量目標者,新設排放源之增量得以抵換方式為之,其抵換之排放量額度,得自下列方式取得差額量,以進行抵換:

- 排放源進行溫室氣體減量所保留之差額量。
- 自發性參與減量之排放源，經主管機關核定後所減少之溫室氣體排放量。
- 經國際認證及主管機關核定,個別以清潔發展機制(CDM)投資外國所減少之溫室氣體排放量。
- 採資源回收再利用方式或使用替代能源所減少之溫室氣體排放量。
- 其他經認可所減少之溫室氣體排放量。

(5)未達成削減目標且無法抵換者則繳納碳稅

新設排放源或既存排放源未能達成指定削減,且無法經由排放抵換取得排放量者,得依超過排放量之多寡,累進繳納碳稅,此係以經濟誘因機制減少各類工業之溫室氣體排放。

2.住商排放源減量措施

(1)依住宅與商業使用電量,進行累進稅率之碳稅徵收,對低用電量者,得採低稅率,用電量越高者,增加其稅率,以有效降低用電負荷。

(2)另規劃訂定最佳用電標準(如每單位樓地板面積用電量基準),凡新設或指定公告既存之住宅社區與商業建物,自實施日起皆須遵循此用電標準規範。

3.交通運輸排放源減量措施

(1)實施車輛、航空飛行機及船舶之單位排放係數標準:對公路交通運輸車輛、航空飛行機與船舶,依交通工具種類、性質及其年份,分別訂定單位排放係數標準(如每種交通工具各種年份之排放量基準),凡納入規範之排放源,自實施日起應遵循此單位排放係數標準,減少交通運輸之溫室氣體排放量。

(2)徵收碳稅:對於前述規範車隊、航空機隊及船隊,並按其油品用量與排放係數,計算溫室氣體排放量,以隨油附徵方式徵收碳稅,以經濟誘因機制減少油燃料之使用。

4.農業減量措施

(1)實施農戶及畜牧之排放係數標準:對農戶及畜牧戶,可依水稻田、雜糧作物、果園及畜牧動物種類,分別訂定具有減少溫室氣體排放誘因之各類排放係數標準,凡納入規範之排放源,自實施日起應遵循此單位排放係數標準,以減少農業活動之溫室氣體排放量。

(2)徵收碳稅:對於前述規範農戶及畜牧戶,並可按其各項農作物之耕作面積、飼養動物頭數與排放係數,計算溫室氣體排放量及其個別應繳納碳稅,藉由經濟誘因機制減少農業之溫室氣體排放量。

(3)植林獎勵:依《公約》與「瑪拉克什協定」之規定植林,且

其面積達一定規模以上，且對於溫室氣體減量具有貢獻者，可獲得因無法達成溫室氣體減量者所繳納之碳稅而給予獎勵。

5.運用碳稅參與國際 CDM 機制及排放交易制度

國際間推動之清潔發展機制(CDM)係透過個別計畫(project by project)的方式進行，計算並取得個別計畫減量的額度。CDM 的運作將提供予參與減量計畫的投資者與地主國共同利益。其目的是讓資金能有投入緩和氣候變遷計畫的管道，並且能夠建立國際間政府部門與私人部門的夥伴關係。

目前對於所收取的碳稅，可運用於參與國際間與《議定書》所制定「共同執行減量(JI)」、「清潔發展機制（CDM）」及「排放交易(ET)」等三項彈性機制。期藉由參與國際清潔發展機制（CDM），可使不需減量國家真正受惠於排放減量的計畫，而可將其實際排放減量額度計入我國減量中。另亦規劃參與國際間排放交易制度，以獲得"經認可的排放減量額度"（Certified Emission Reductions, CERs），累積納入我國的排放減量計算。

16.7 結語

我國身為國際社會的一份子，並不會因無簽署《公約》而規避維護全球環境的責任。將來如何在國際互動的局勢下，規劃適宜的排放目標，公平的承擔防治責任，不但使我國經濟能持續發展，且能將防止溫室氣體增加措施整合為國家長期發展策略，應為現階段我國因應《公約》所需採取的具體作法。

前述策略架構係參考現行空氣污染總量管制理念，以環保署為總負責主政單位以推動溫室氣體排放減量，結合溫室氣體排放基準認可、指定削減、差額認可及排放交易之行政管制與徵收碳稅之經濟誘因，以促使工業排放源、住商排放源、交通運輸排放源及農業排放源之減量能經由市場誘因機制削減溫室氣體排放量。

對於無法削減與無法符合標準規定之溫室氣體排放源，規劃由政府運用徵收碳稅之機制，再整合運用此經費參與國際清潔發展機制(CDM)及溫室氣體排放權交易制度，統籌取得實際排放減量額度，並計入我國減量中，以兼顧國際壓力與我國經濟發展，並能參與溫室

氣體減量與維護全球環境的責任。

參考文獻

1. International Energy Agency, Beyond Kyoto: Energy Dynamics and Climate Stabilisation,2002.
2. Pew Center on Global Climate Change, Beyond Kyoto: Advancing the international effort against climate change, Working Draft, July 2003.
3. Hohne, Niklas, et al, Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving newly industrialized economies and developing countries. Federal Environmental Agency （Umweltbundesamt）, Berlin, Germany, February 2003.
4. World Resources Institute, “What Might a Developing Country Climate Commitment Look Like?” ,May 1999.
5. Pew Center on Global Climate Change, Pew Center Analysis of President Bush’s February 14th Climate Change Plan, 2002.
6. Meyer, Aubrey, Contraction & Convergence: The Global Solution to Climate Change, 2000.

第十七章 結論與建議

17.1 結論

美國拒絕簽署《議定書》後，《議定書》何時生效成為全球關注的焦點。《議定書》截至 2003 年 9 月止共有 119 個國家簽署，其 CO_2合計量佔《公約》附件一國家於 1990 年總量的 44.2%，因此俄羅斯的簽署與否將成為《議定書》生效之主要關鍵，目前各國皆已朝《議定書》生效的方向作準備。

本研究依據國際發展趨勢，以及我國目前環境與各項政策措施為基礎，分析全球氣候變遷的科學研究、《公約》制訂與發展過程及各國因應溫室氣體增加之政策措施，並將各國與我國之各項政策措施進行比較分析，最後提出我國將來因應溫室氣體增加之因應策略。本研究獲得之結論與建議如下所述：

一、台灣將來氣候增溫現象與全球趨勢一致

人類自工業革命以來大量燃燒石化燃料，以及過度開發與改變土地原有型態，估計每年約有 35 億公噸的碳排放至大氣中，導致大氣中CO_2濃度已增加 30%，且至 20 世紀大氣溫度已上升 0.5 ℃。根據氣候變化政府間專家委員會(IPCC)評估報告指出，21 世紀底大氣溫度將再上升 1.4~5.8 ℃，因此將使海平面上升 9~88cm。

我國在過去 100 年的氣溫也逐漸上升，氣溫上升速率介於 1.0~1.4 ℃/百年之間，而且年溫差有逐漸增大的趨勢。在二倍CO_2濃度的情景預測下，預估至 2085 年將增溫為 1.2～3.9°C之間，因此我國氣候增溫現象與全球趨勢是一致的。

二、 《公約》的發展以《議定書》之生效為目標

《議定書》於 1997 年通過並要求《公約》附件一國家在第一承諾期（2008~2012）內，能將其溫室氣體穩定在 1990 年之水準。然而，《議定書》至今仍尚未生效，但已簽署《議定書》的國家仍需採取各項減量措施，並準備使用京都機制，以彌補其國內減量之不足。

三、 附件一與非附件一國家之因應政策措施

各主要附件一國家目前所實施的政策措施，大多仍持續加強既有的政策措施。然而，在研擬新的政策措施也有明顯的轉變，將更

重視採用有效的政策措施，例如排放交易、碳稅及綠色權證交易等措施。非附件一國家並無減量責任，目前僅有阿根廷提出彈性的減量目標，因此非附件一國家在無減量的責任下，大多強調為達成國家永續發展，各項因應政策應依國家發展之優先順序併入國家發展計畫中。

雖然非附件一國家執行的政策措施內容與附件一國家非常相似，但在經濟發展的程度上差異性極大。非附件一國家依國家本身的環境條件而進行相關的政策措施，在因應溫室氣體增加之措施則強調財務支援、技術移轉及能力建立。大部份的非附件一國家經常透過區域與國際合作關係，以建立其受氣候變遷之衝擊與調適能力，其中許多國家接受全球環境基金（GEF）之協助，以評估該國之脆弱性與調適措施，但有些國家則透過雙邊或多邊管道以獲得技術與財務支援。

四、 非CO_2溫室氣體之因應措施

許多附件一國家在履行《議定書》承諾時，大多以CO_2為減量主要對象，但隨減量成本之提高與減量空間限制，非CO_2溫室氣體之減量潛力也相對的提高，甚至一些研究顯示CO_2與非CO_2溫室氣體共同減量之成本較單獨氣體減量之成本低。因此，目前許多附件一國家已積極對非CO_2溫室氣體採取減量措施。

五、 我國與各國溫室氣體排放量之比較

由人均CO_2排放量之各國比較，顯示我國目前全球排名 23，其排放量快速增加而接近經濟開發暨合作組織(OECD)之水準，甚至高於多數開發中國家。其為目前國際間認為最合理與公平的指標，但在各國比較與國際減量談判中，對我國並不是最佳的選擇；由碳密集度之各國比較，顯示我國目前全球排名 71，因此本指標與各國比較具有優勢，可列為我國減量與談判指標的考量之一；由單位能源排放量之各國比較，顯示我國目前全球排名 30，在各國比較與國際減量談判中，此指標對我國並不是最佳選擇。由能源生產力之各國比較，顯示我國低於日本與英國，高於美國與韓國，但如果以最近 10 年內成長率相比，我國的成長率則低於其他國家，因此表示我國仍有進步的空間。

由以上分析可知，人均CO_2排放量與單位能源排放量並不適於

我國將來減量與國際談判之指標，但碳密集度與能源生產力為我國較適當選用的指標。

六、 持續關注將來減量模式與定期成效評估

依目前國際趨勢，部份國家已開始進行《議定書》生效後之談判準備。雖然目前已有許多減量模式之方案，但根據《議定書》過去談判經驗可知，通常談判結果與最初議定書草案有很大的差異，因此各國需及早認知與準備。然而，將來談判對我國之影響程度如何，而且國際能源總署(IEA)將建議採用對我國較不利之人均CO_2排放量與國內人均生產毛額為主要談判指標，因此將來《議定書》生效後的下階段國際談判，我國必須持續的關注與定期成效評估，以了解各項減量模式對我國之影響。

17.2 建議

我們身為地球村的一份子，應共同負起減緩溫室效應的責任，而且也將面臨國際社會對我國因應溫室氣體減量的要求。然而，我國目前對溫室效應之衝擊研究、對策研擬及減量措施卻停留在初步階段，宜以更積極的態度以面對溫室氣體增加的國際問題。本研究提出以下建議，供各界參考：

一、 國人對溫室效應的認知，在宣導與教育上嚴重不足，將來在凝聚減量共識與民眾配合減量工作會面臨困難，建議政府與民間相關單位應加速研擬計畫與確實推動。

二、 目前國內溫室效應之衝擊與調適研究明顯不足，且政府與民間相關單位多不關切，建議應積極進行衝擊影響研究與擬定調適方案，以避免將來環境無法調適而產生嚴重衝擊。

三、 我國將來必須面臨國際社會對溫室氣體減量之要求，而我國目前減量成本甚高，如無法達成，可能面對經濟制裁。然而，我國國際地位特殊，如何參與談判與結合利益共同體之談判聯盟，以爭取對我國有利之條件，乃屬當務之急，但目前各相關單位尚未有具體措施，建議應積極展開規劃與佈署。

四、 我國溫室氣體資料庫、計算方法及較佳減量方式，都尚未建立，為避免將來無法推動溫室氣體減量計畫，上述工作建議應儘早進行。

五、 我國利用植林以進行CO_2之減量，初步研究具有潛力，建議農委會等相關單位應投入經費以深入研究。

六、 我國如果被《公約》要求削減溫室氣體，如何才能公平及最經濟有效分配削減額度，是非常錯綜複雜的問題，建議應提早擬定對策。

本研究報告衷心期望能藉此拋磚引玉，引起國內各界對於溫室氣體減量政策的探討，並提供施政之參考。

溫室氣體之衝擊與對策

—我國之影響與因應措施

作　　者：呂鴻光

地　　址：台北市中華路一段 41 號

電　　話：02-23117722

贊 助 者：財團法人孫運璿學術基金會

印 刷 者：田園城市文化事業

封面設計：曹正

出版日期： 92 年 11 月 20 日