



『擁抱還是拒絕核電 — 臺灣的未來』座談會

核能，不能輕言放棄的選擇

李敏

工程與系統科學系

國立清華大學

國立清華大學工程一館107

中華民國100年4月2•日



- 能源是近代文明的基石
- 能源供應的穩定，是國家持續發展的命脈
- 能源政策是國家政策的一環
- 各個國家的能源政策，會因客觀條件或主觀認知而不同
- 能源供應設施需長時間之規劃、投資、與建構



台灣能源供應



能源消耗為全球之1%

電力消耗為全球之1.3%

人均電力消耗: 9,550 度
世界平均值的 3.7 倍 (2004年)

人口佔世界之 0.3%

土地面積為世界之 0.06%

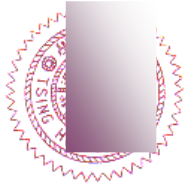
超過99%的能源依賴進口

二氧化碳排放總量: 261 百萬噸
~ 世界排放總量的1.0 %

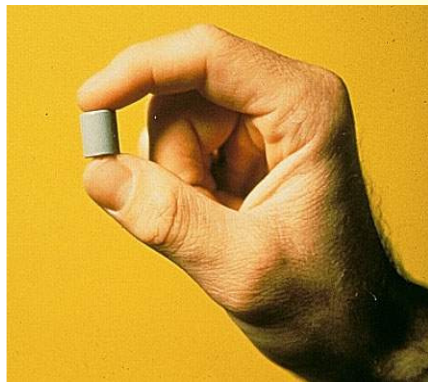


繼續使用核能發電的理由

- ✓ 核能發電燃料體積小、重量輕，運輸貯存方便
- ✓ 核電廠的高建廠成本，使得核能發電燃料鈾的採購成本占總發電成本比例低（約4%），故其發電成本穩定，較不易受到國際能源價格波動的影響
- ✓ 核能發電與再生能源均不靠燃燒發電，故發電時都不會排放二氧化碳，可因應國際對二氧化碳排放管制，及產品會依『碳足跡』課進口稅的可能
- ✓ 氣候變遷已成為全球最迫切的議題，作為地球村的一員，我們有義務與責任為減少碳排放盡一份心力



燃料量	產生電子
1 噸煤	2,070 度
1 桶原油	580 度
1 立方米天然氣	0.1 度
1 粒核燃料丸	2,044 KWh



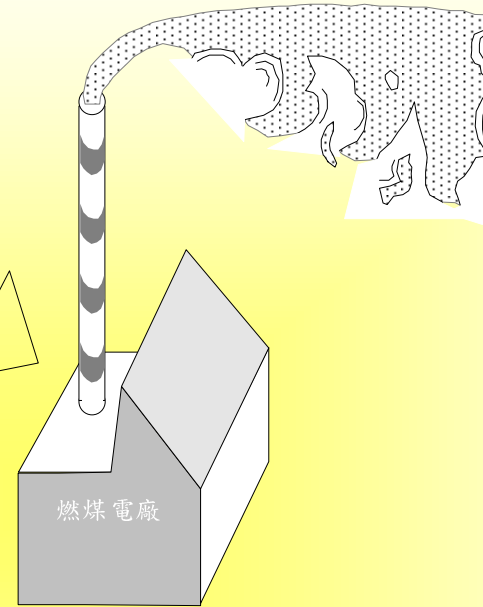
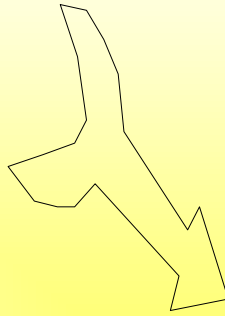
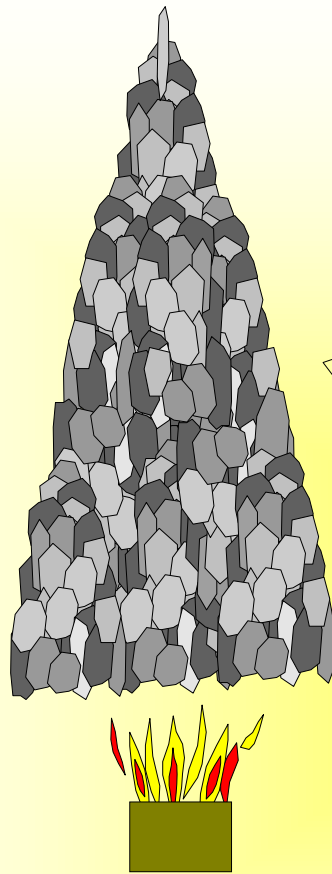
2007 年台灣消耗 6.52 百萬噸之液化天然氣
全國液化天然氣儲存設施可容納 300,000噸
每天最高使用量為 35,976噸，安全儲量為7天

2007 年台灣消耗 65百萬噸煤，76%用於發電





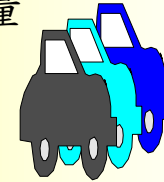
每年燃煤消耗量210~300萬公噸



1000百萬瓦
燃煤電廠

每分鐘900公
斤飛灰
每分鐘15公噸
CO₂
每分鐘200公斤
SO₂

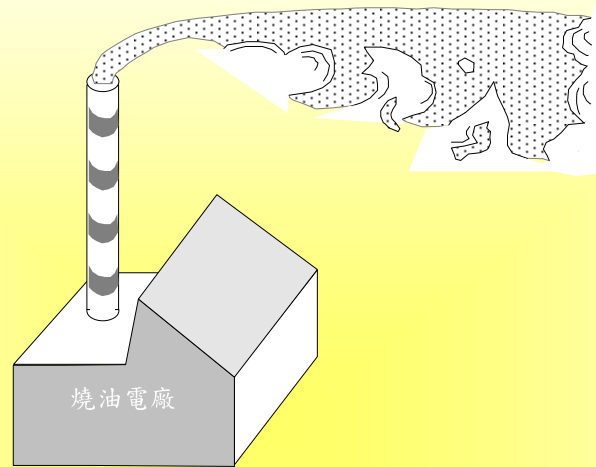
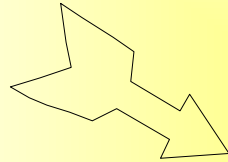
氮氧化合物全年生成量相當於20萬輛排放量



1000百萬瓦燃煤電廠煤需求量及其所製造之污染



每年石油需求量
140 ~ 200萬公噸



每1秒鐘15公斤飛灰
每1分鐘7公噸CO₂
每小時4公噸SO₂

氮氧化合物全年生成量相當於
18萬輛
排放量



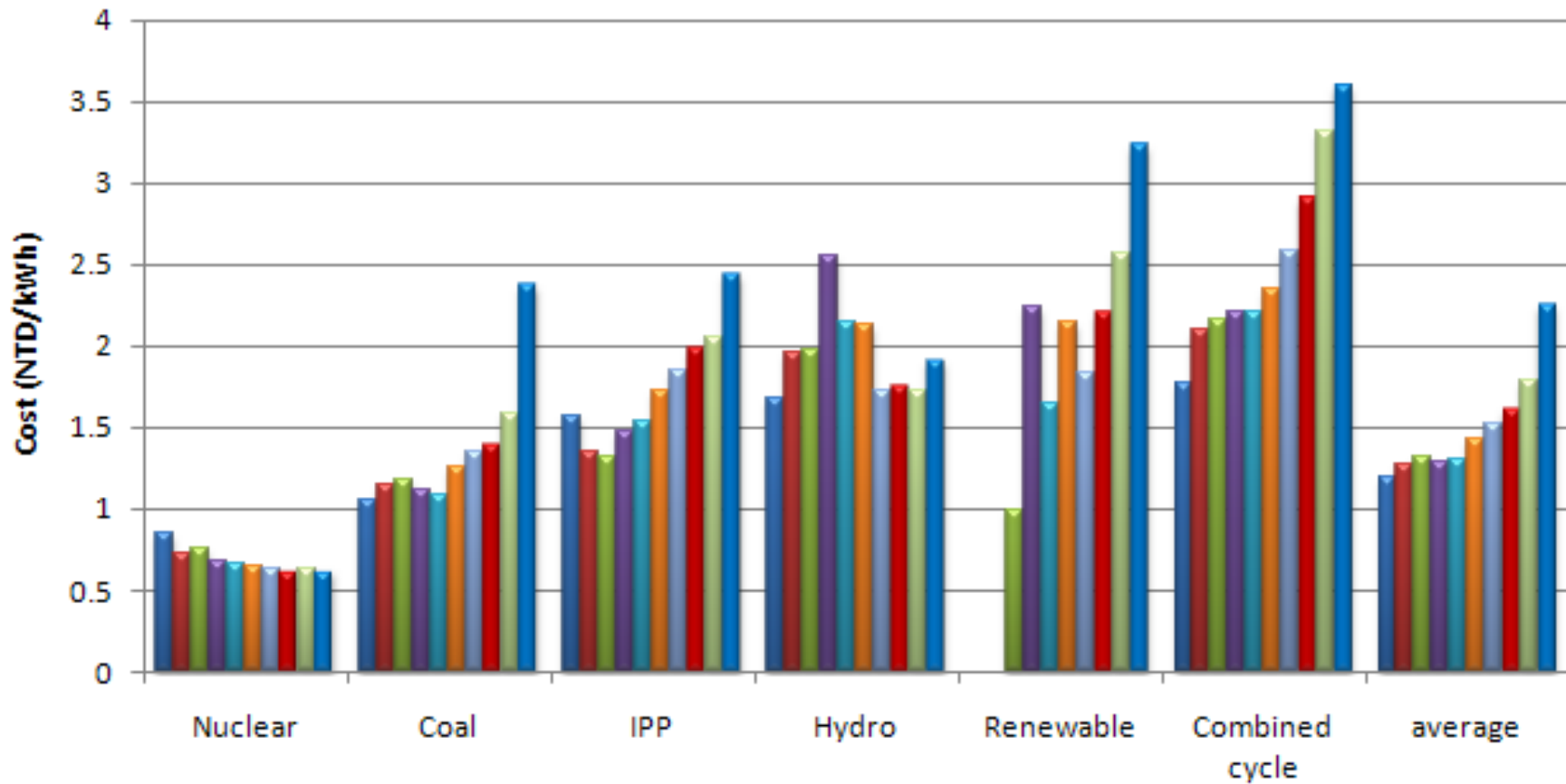
1000百萬瓦
燒油電廠

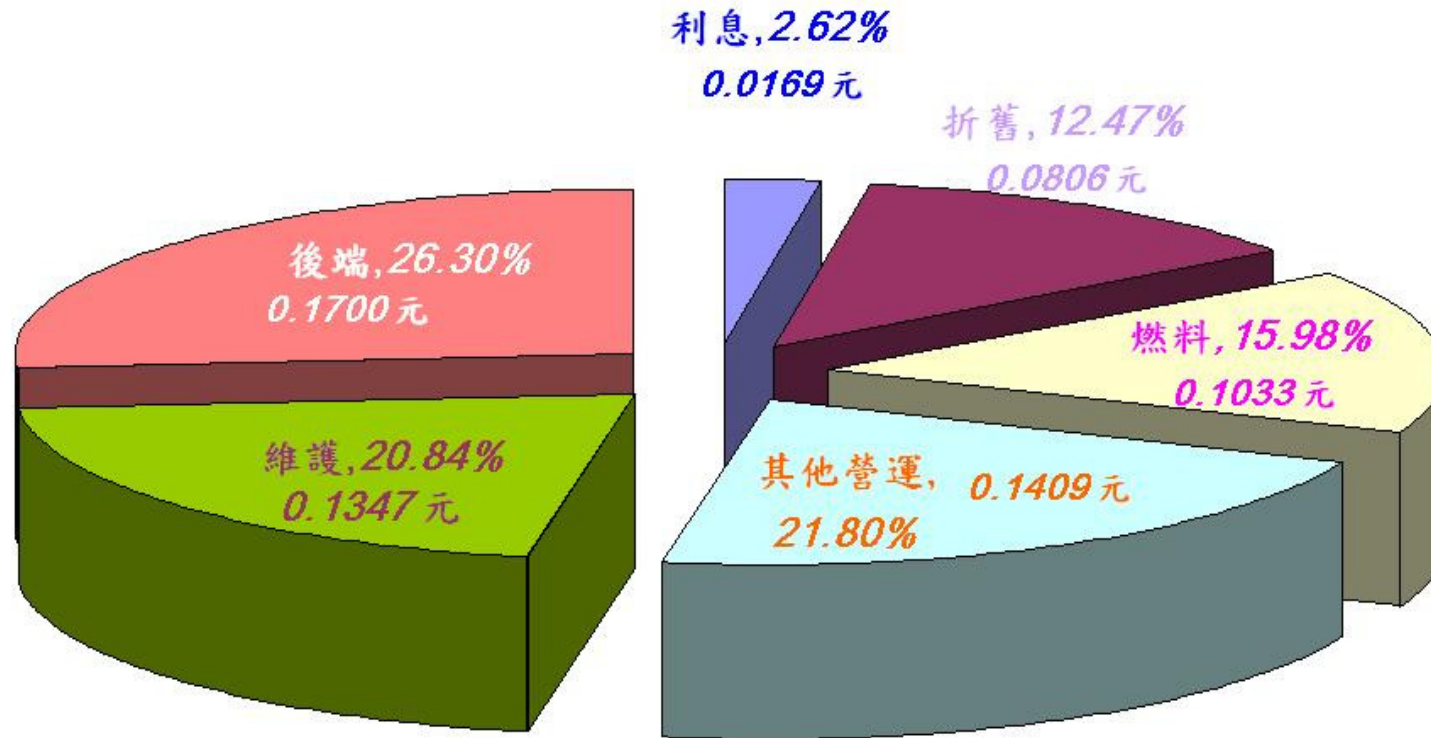
1000百萬瓦燃油電廠石油需求量及其所製造之污染

資料來源：Richard Wolfson, 'Nuclear Choices: A Citizen's Guide to Nuclear Technology',
The MIT Press, 1993.

核能發電燃料鈾的採購成本占總發電成本比例低（約4%），故其發電成本穩定，較不易受到國際能源價格波動的影響

台灣電力公司 1999 ~ 2008 年發購電成本





93年核能發電成本0.6464元/度



燃料價格上漲對發電成本的影响

燃料 占 比	核能	煤	燃油	天然氣
發電成本之 燃料占比※	16%	71%	93%	81%
燃料價格 上漲幅度	100%	100%	100%	100%
發電成本 上漲幅度◎	4%	71%	93%	81%
上漲100%後之燃料 占比	19%	83%	96%	80%

註：※原料鈾部分僅佔燃料部分之25% (2002年)

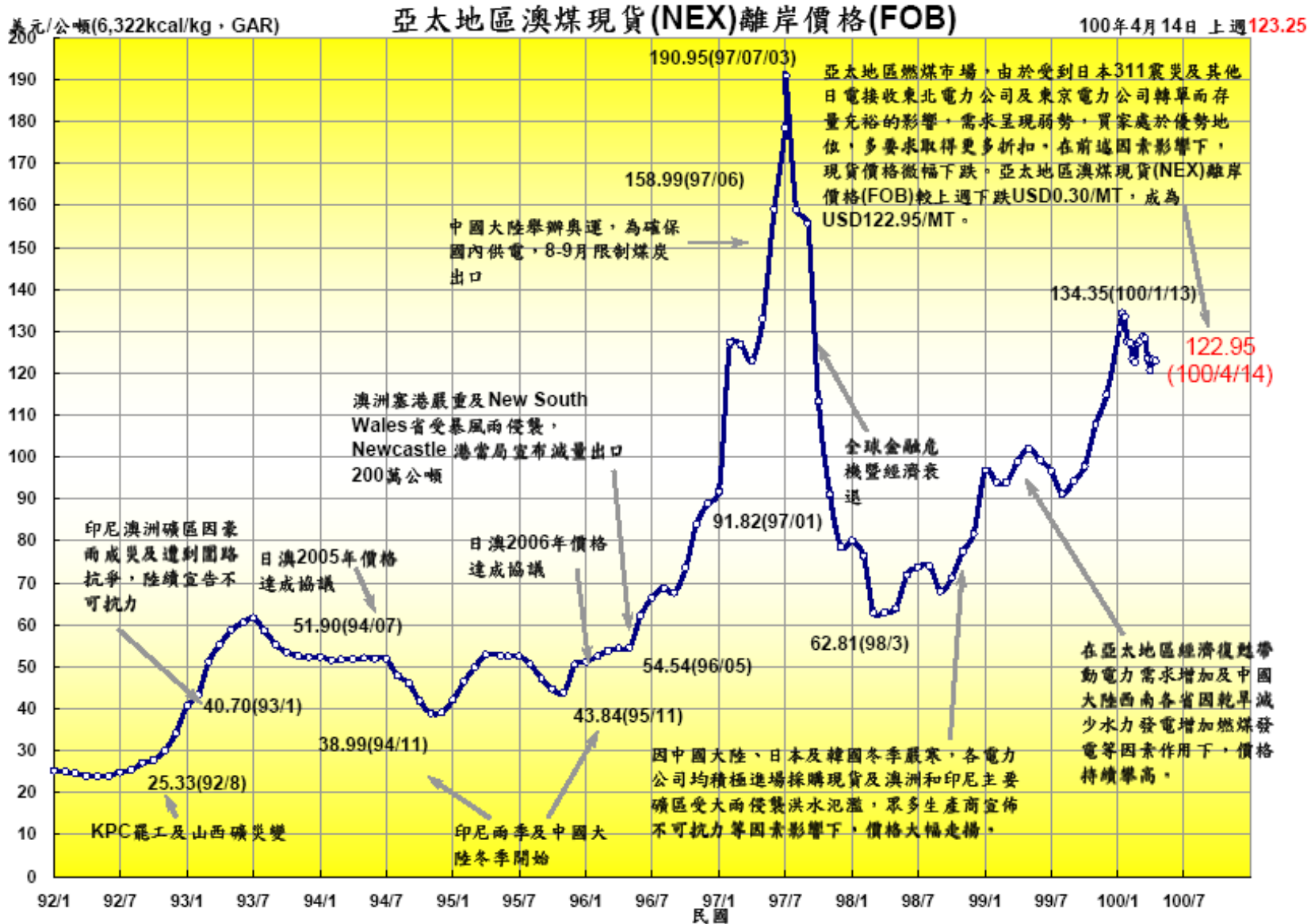
◎假設其他核燃料加工服務成本不變

台灣電力系統發電成本，2007 與(2009)

初級能源	發電成本 (元/度)	發電比例
核能	0.63 (0.63)	19.30% (20.7%)
燃煤	1.18 (1.49)	33.07% (31.4%)
水力	1.28	2.18%
風力	2.57	0.21%
複循環 (LNG)	} 3.97 (4.72)	14.13% (15.6%)
氣渦輪 (LNG)		
購入 (IPP與汽電共生)	2.05 (2.80)	23.40% (26.0%)
平均	1.79 (2.03)	



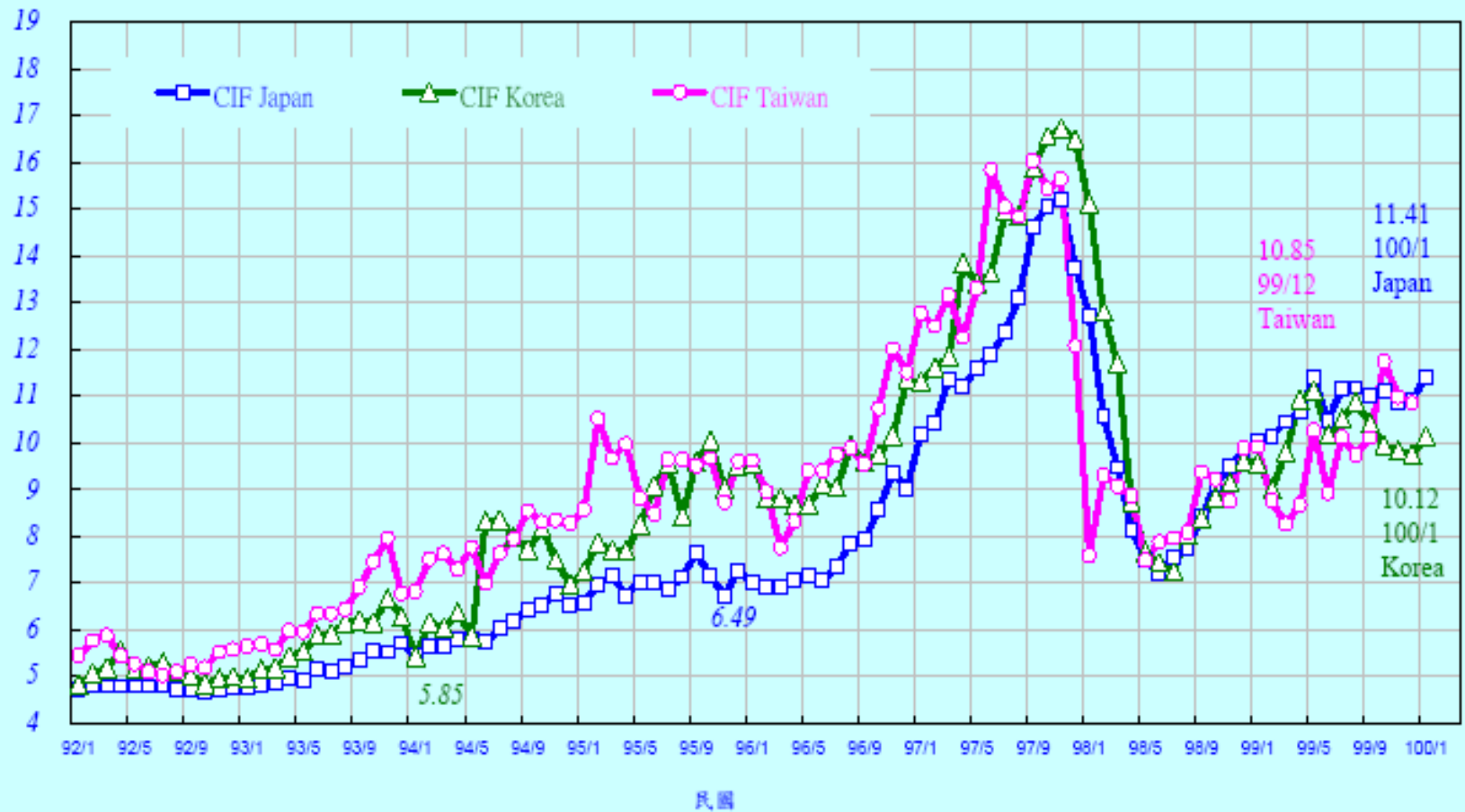






亞洲LNG進口價格比較圖

美元/百萬Btu

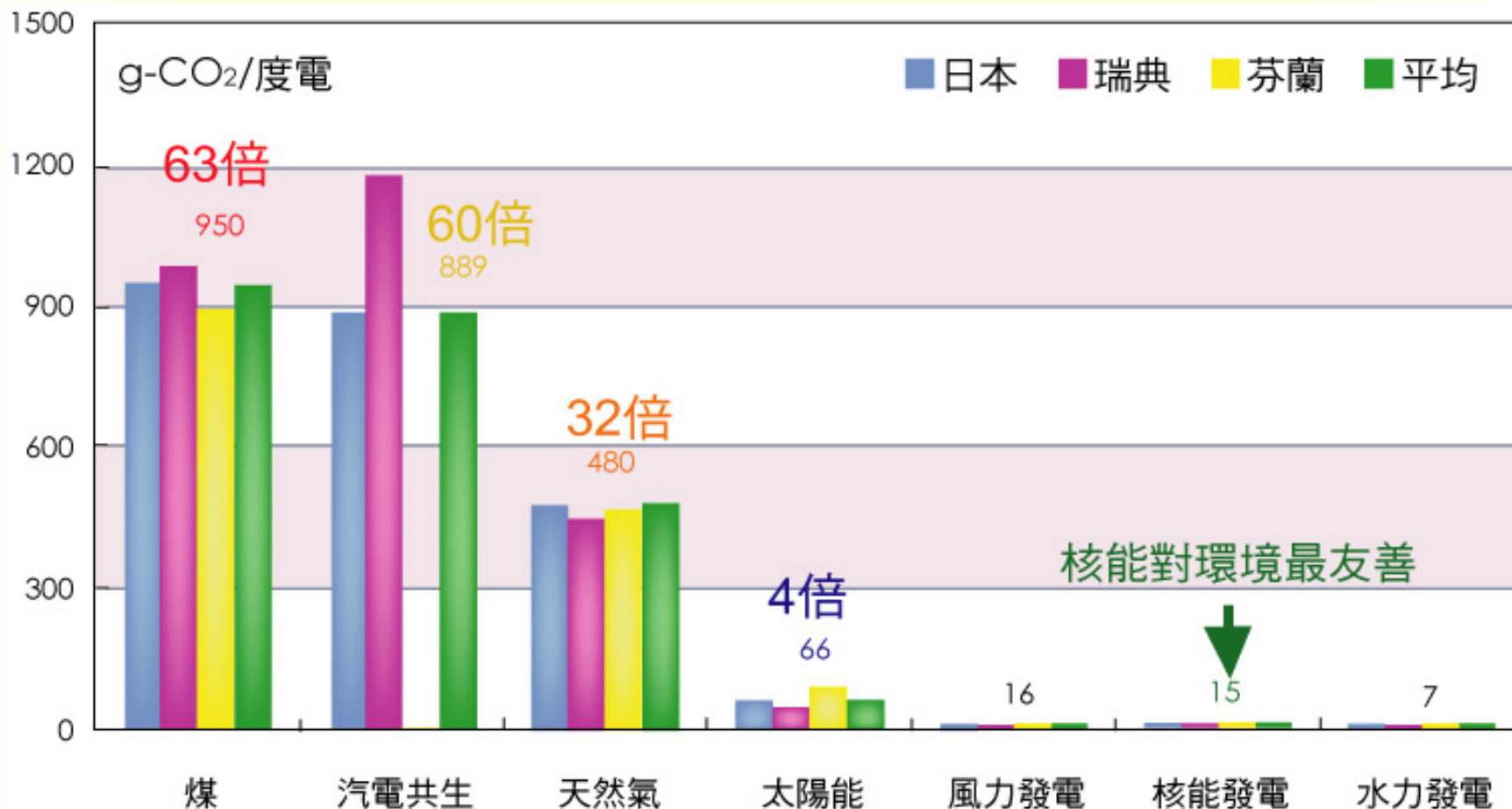




已開發國與開發中國家要在二氧化碳排放管制上達到共識可能不是一件容易的事。但是當歐洲先進國家已完成再生能源的佈局，會加強產品標示所謂的『碳足跡』要求，也就是標示產品製造所產生二氧化碳的量；一抬 I-Phone 內的每一個組件得製造商，都要告訴蘋果電腦，該組件生產所排放的二氧化碳，蘋果電腦再將總量標在最終產品上，『碳足跡』未來會成為競爭力一部分，也有可能成為課稅的基準。



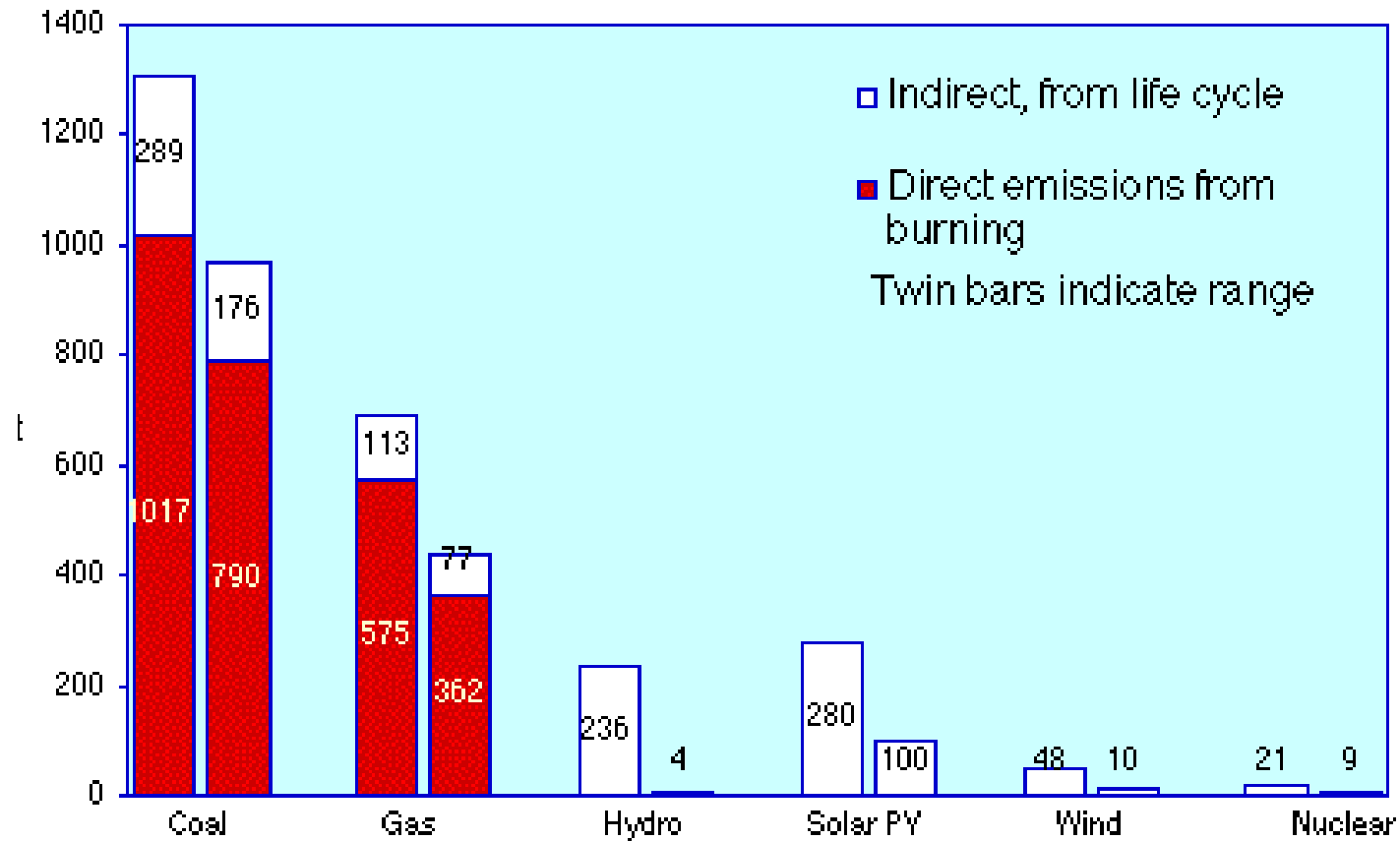
核能是二氧化碳排放最少的主流能源





發電之二氧化碳排放

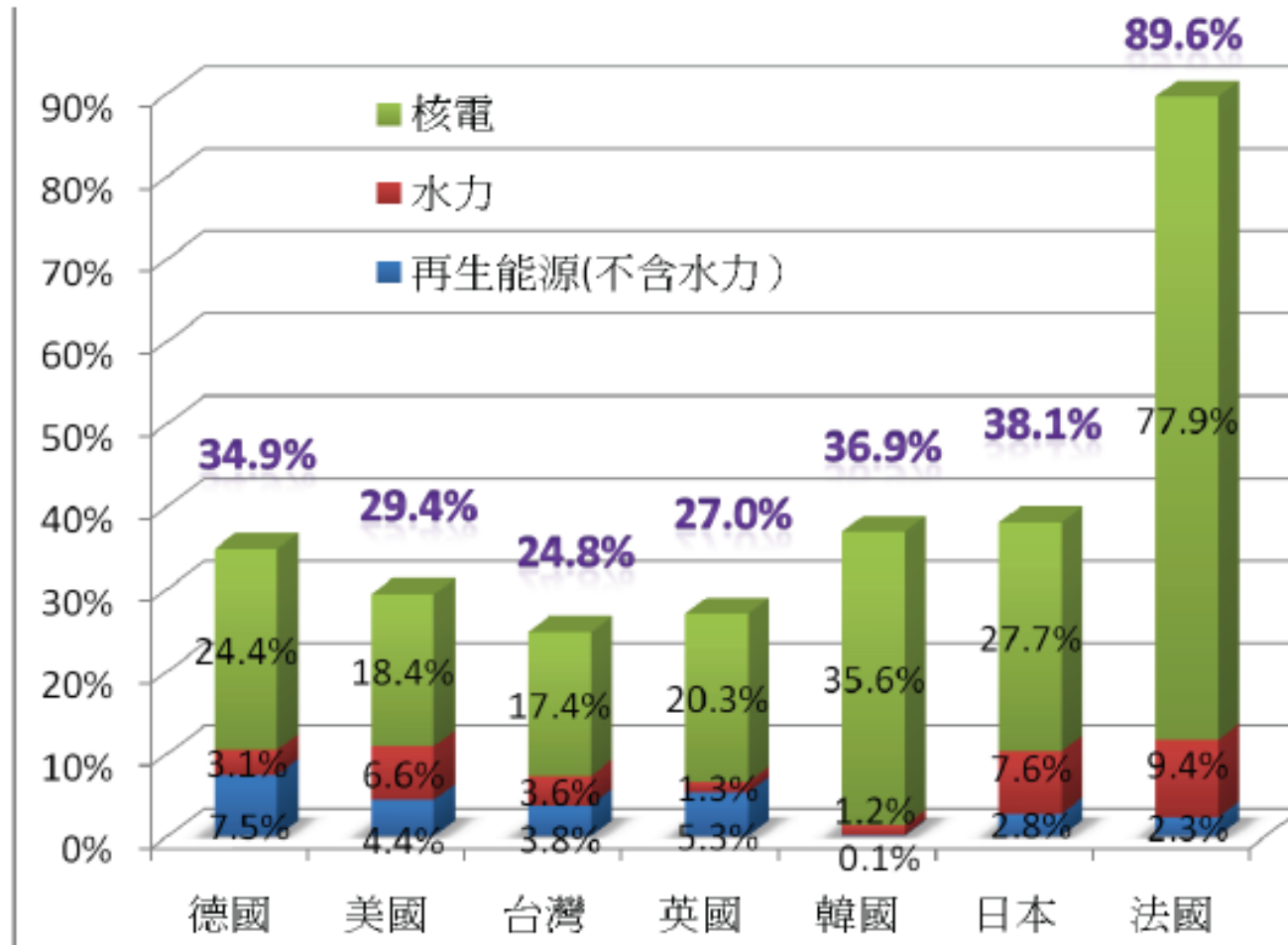
克/度



Source: IAEA 2000



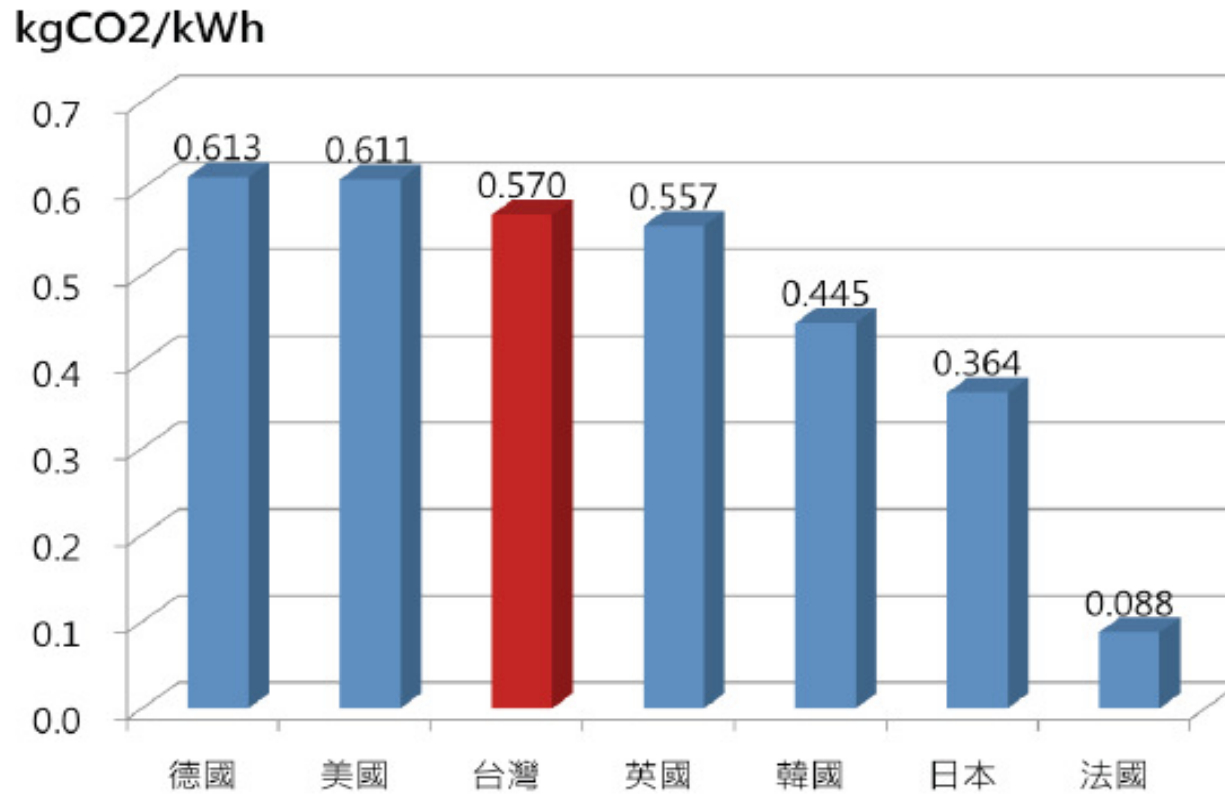
主要國家無碳能源佔比



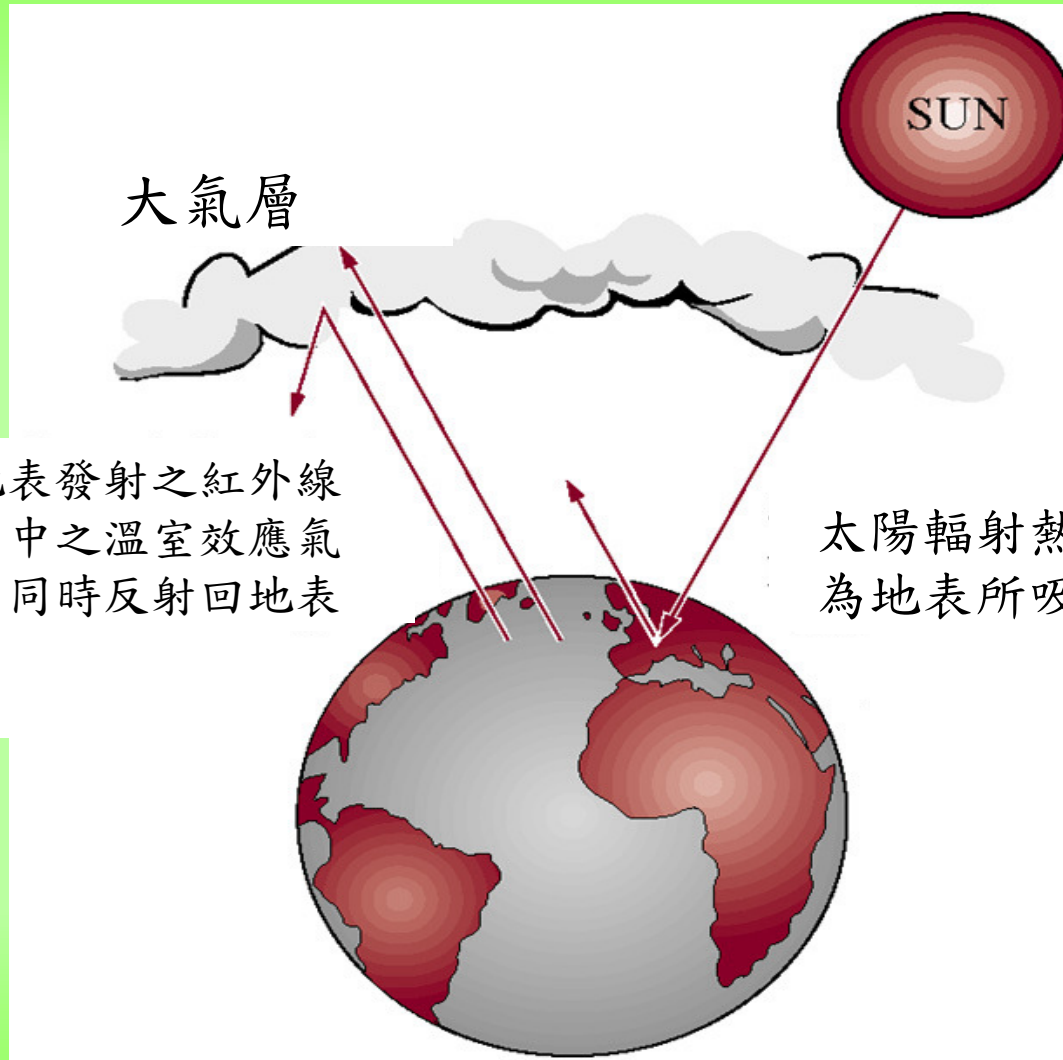
(台南大學黃鎮江教授98年全國能源會議資料)



主要國家電力碳強度比較



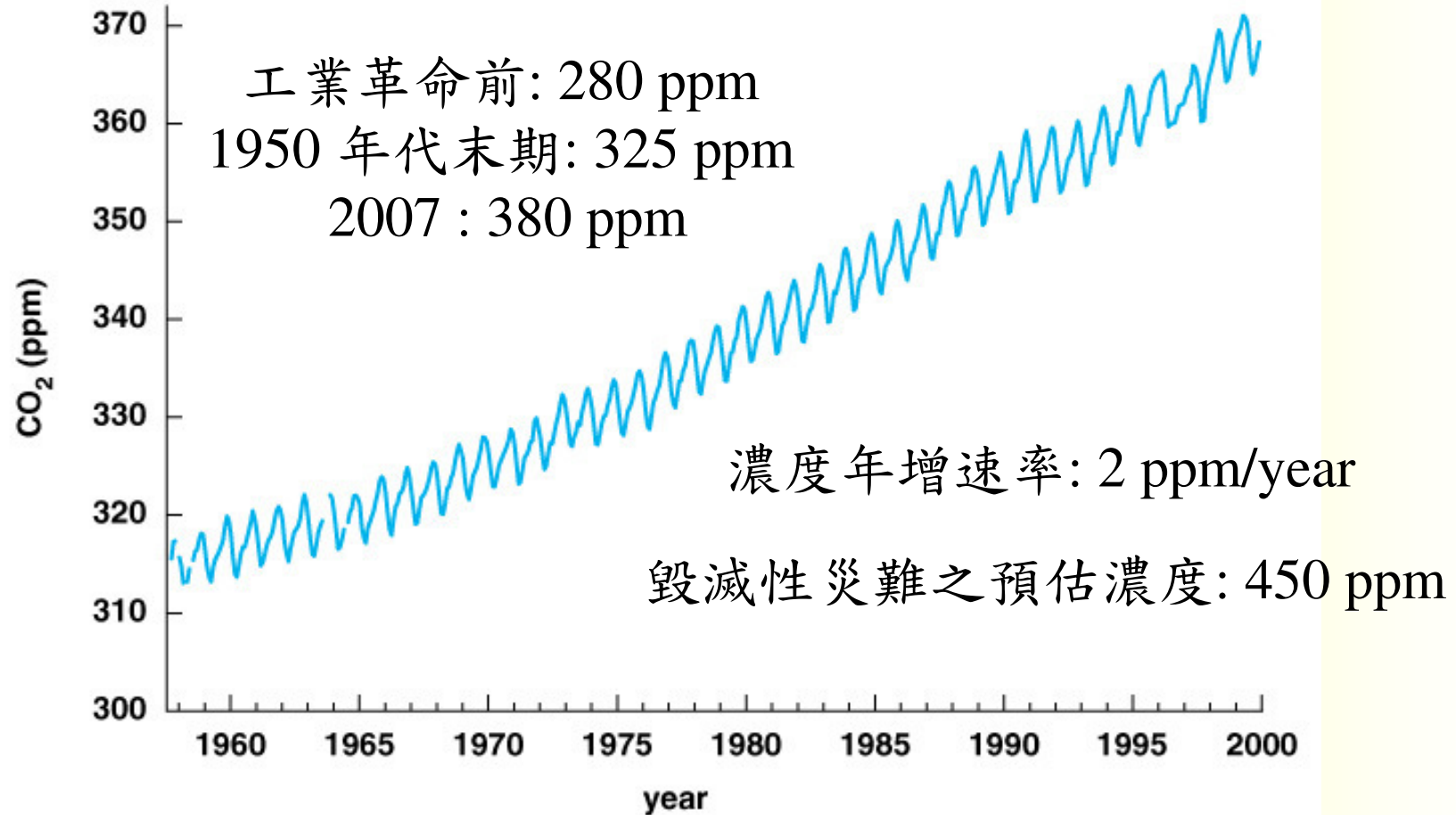
(台南大學黃鎮江教授98年全國能源會議資料)



主要溫室效應氣體: CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6 20



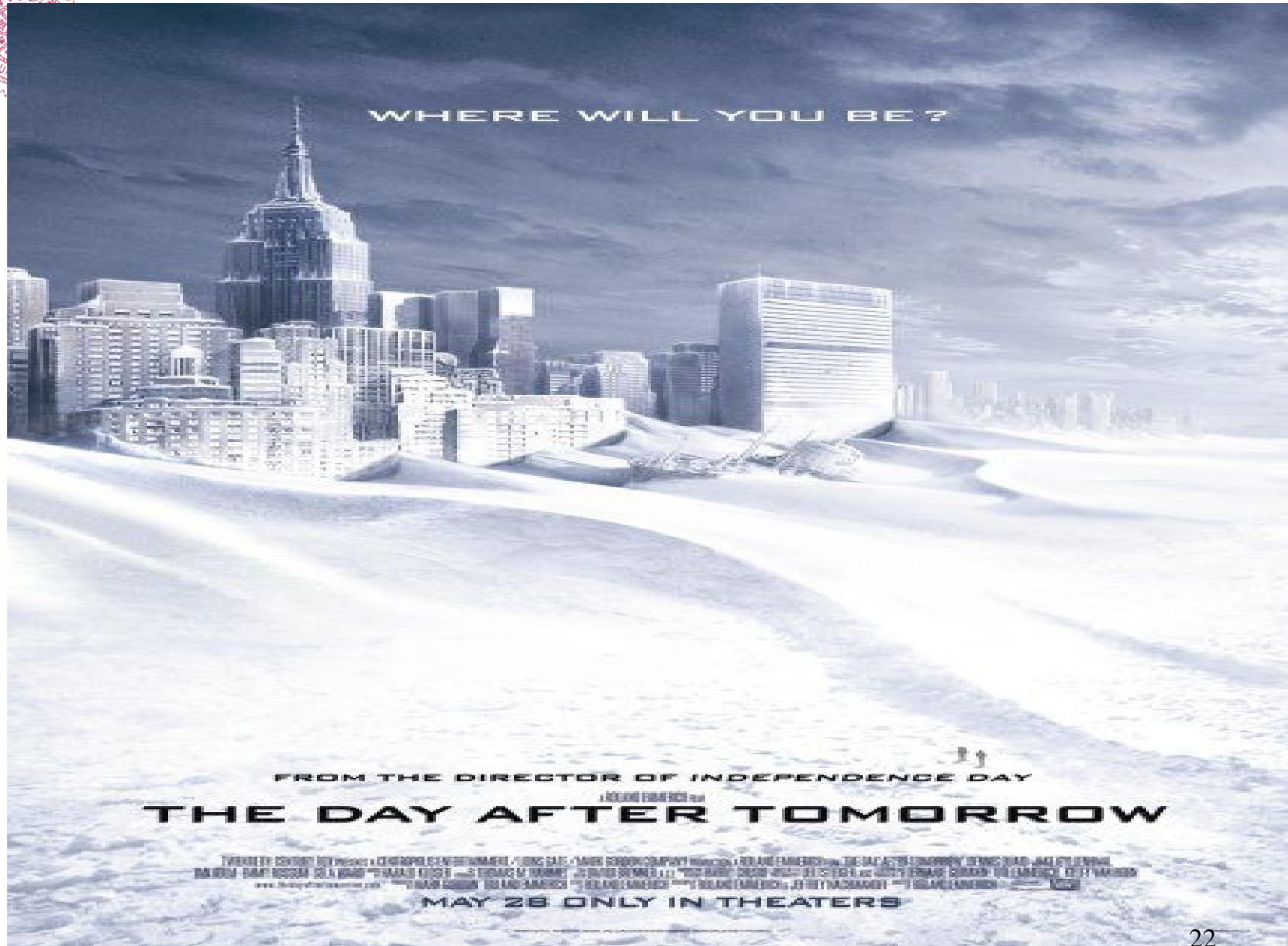
大氣二氧化碳濃度的變化



Copyright © Addison Wesley.

Data from National Geographic, October 2007

21





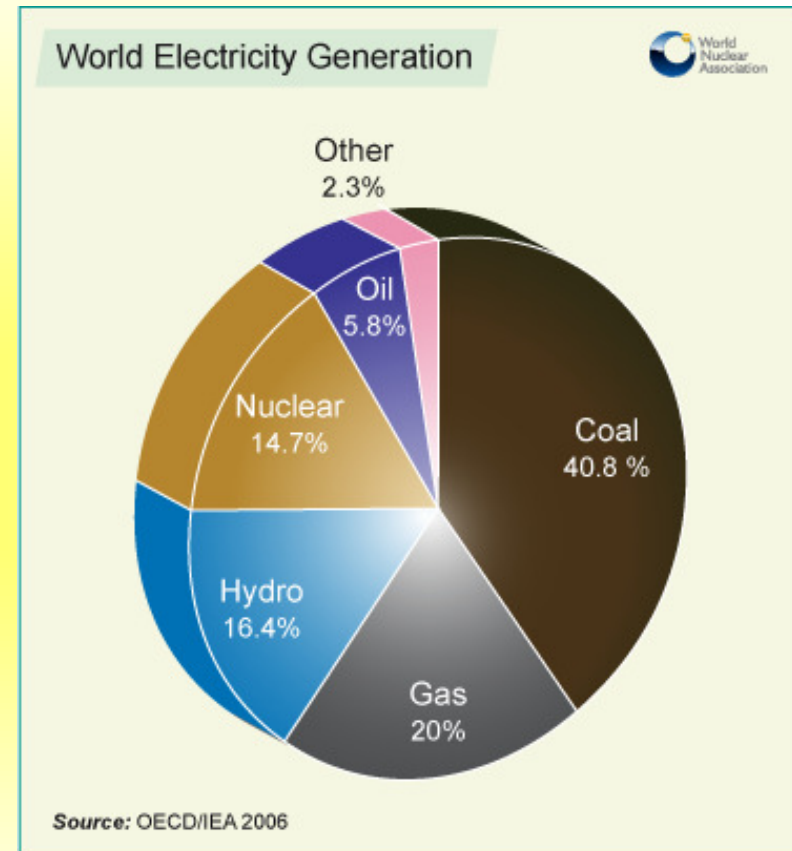
台灣使用核能發電已有超過30年的經驗。2009年
NEI (Nuclear Engineering International) 評比，
台電公司核能電廠的運轉績效，全球排名第四，
僅次於芬蘭、荷蘭、與羅馬尼亞。前三名的國家，
其核電機組的數目與規模均低於台灣

台灣有能力使用核能發電，作為地球村的一員，
我們有義務與責任為減少碳排放盡一份心力



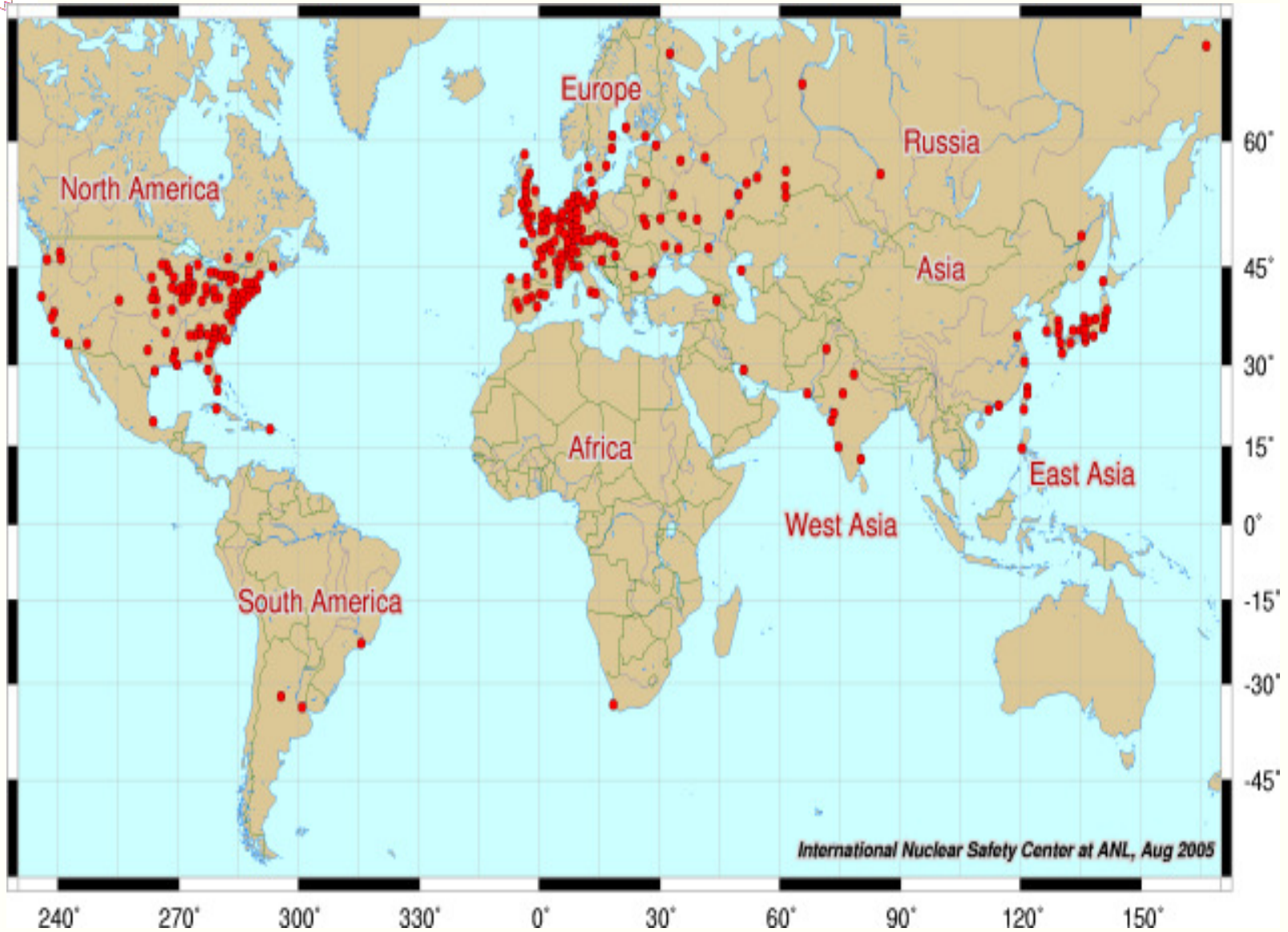
核能發電現況

- 439 座反應器於 31 個國家運轉，總裝置容量為 372 GWe
- 2007 年之總發電量為 2.608 兆度，佔世界總發電量的 15%，佔世界初級能源消耗總量的 6%
- 過去 15 年中，核電廠的績效持續的改善
- 民用動力核反應器已累積了 13,600 反應器-年的運轉經驗，其安全記錄是主要工業設施最好的





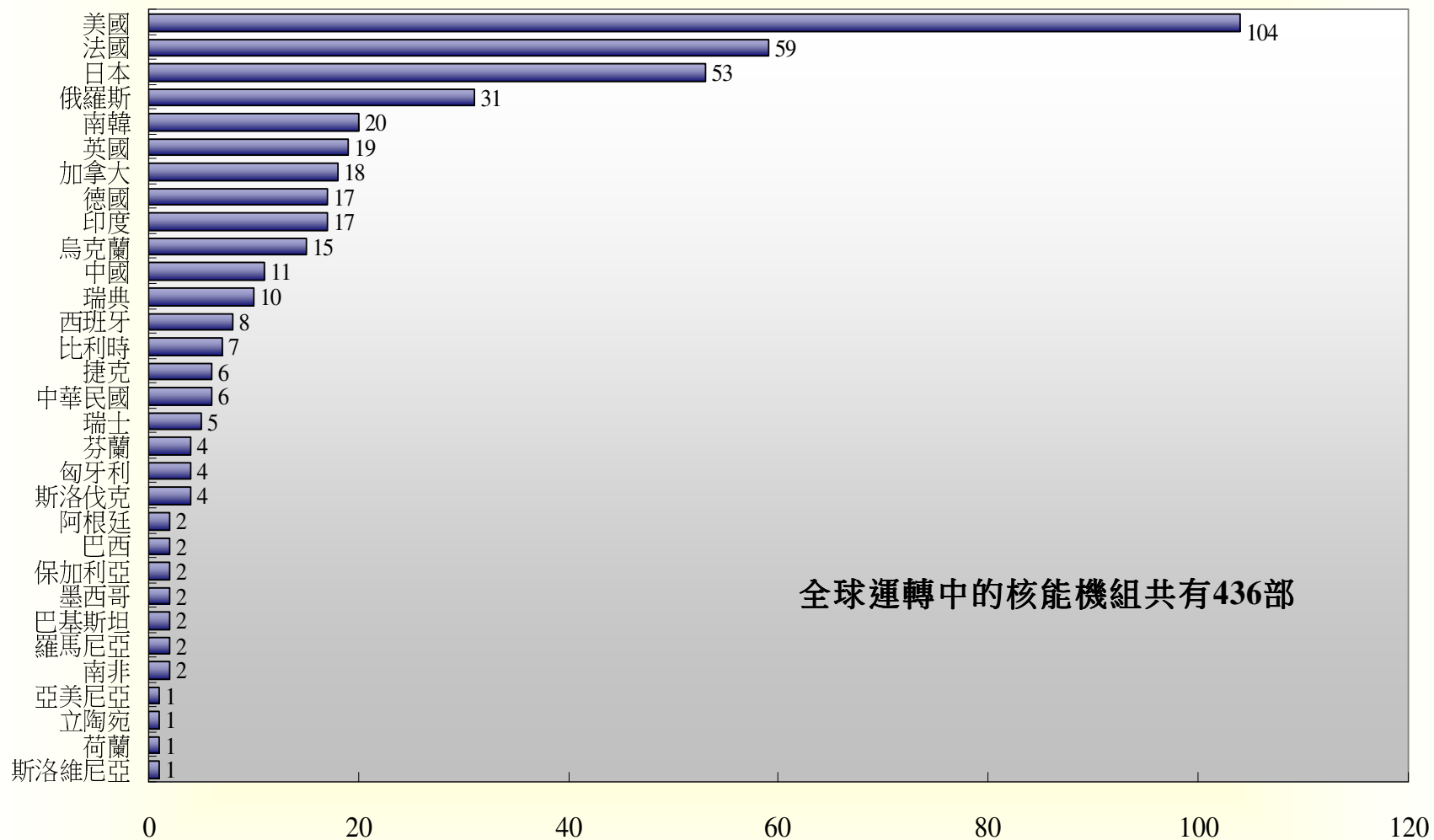
核能機組世界分佈圖



<http://www.nucleartourist.com/>



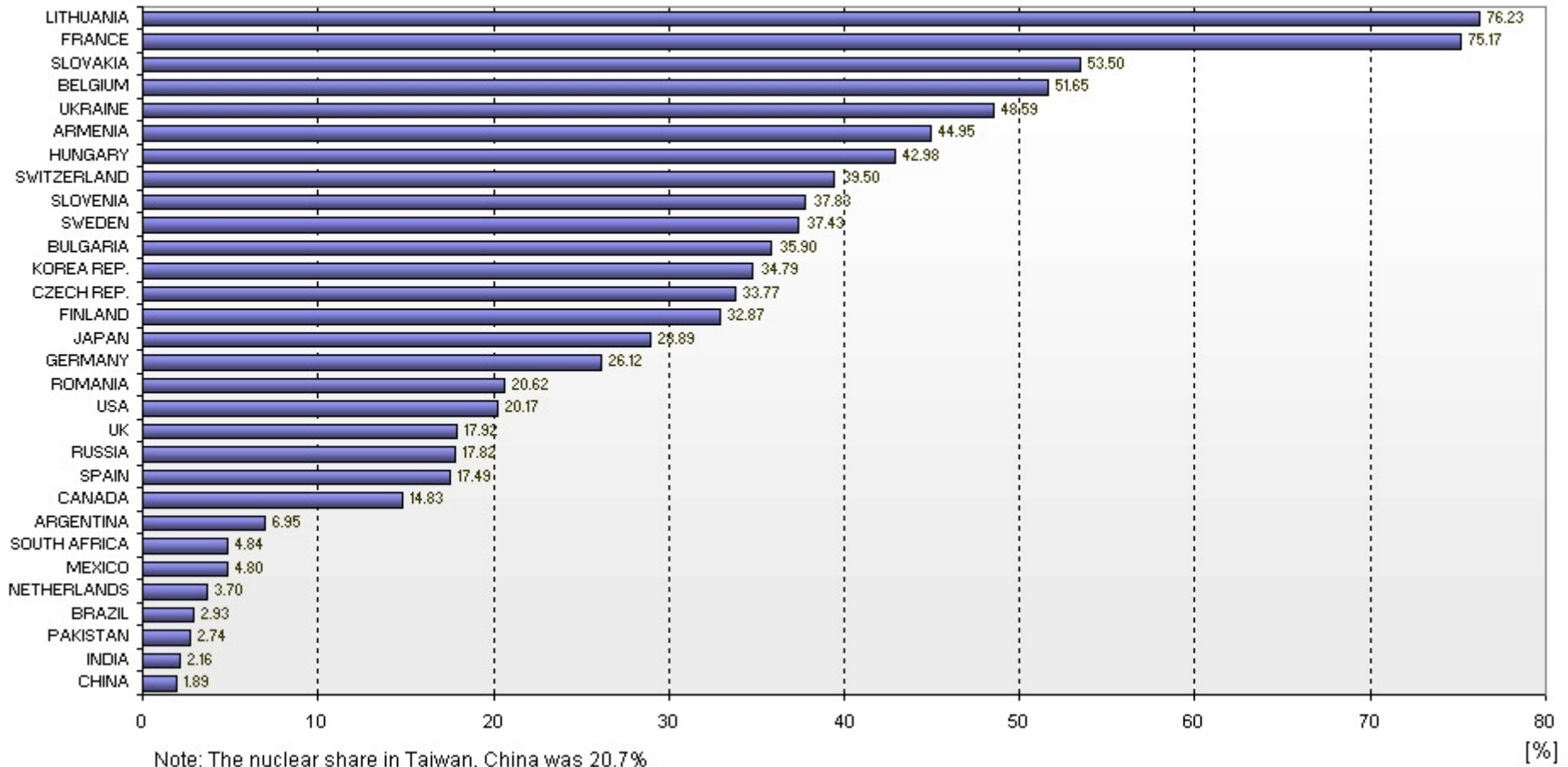
全球運轉中的核能機組



資料來源：國際原子能總署(2009年2月更新)



Nuclear Share in Electricity Generation in 2009



<http://www.nucleartourist.com/>
27

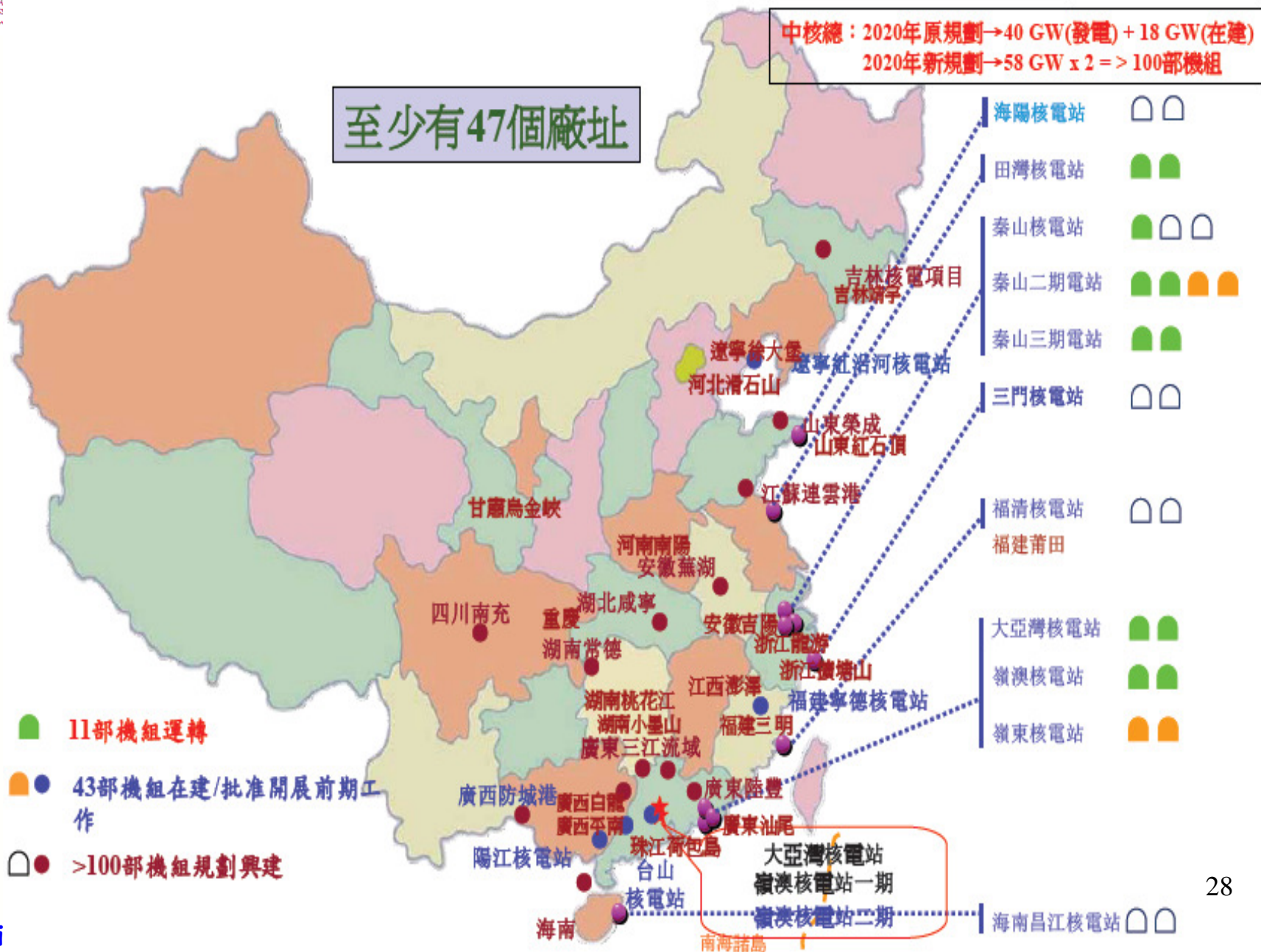


中國核電廠分布圖

中廣核：未來每年有6-7部機組開工，
預計2014年會有31部在建

中核總：2020年原規劃→40 GW(發電) + 18 GW(在建)
2020年新規劃→58 GW x 2 => 100部機組

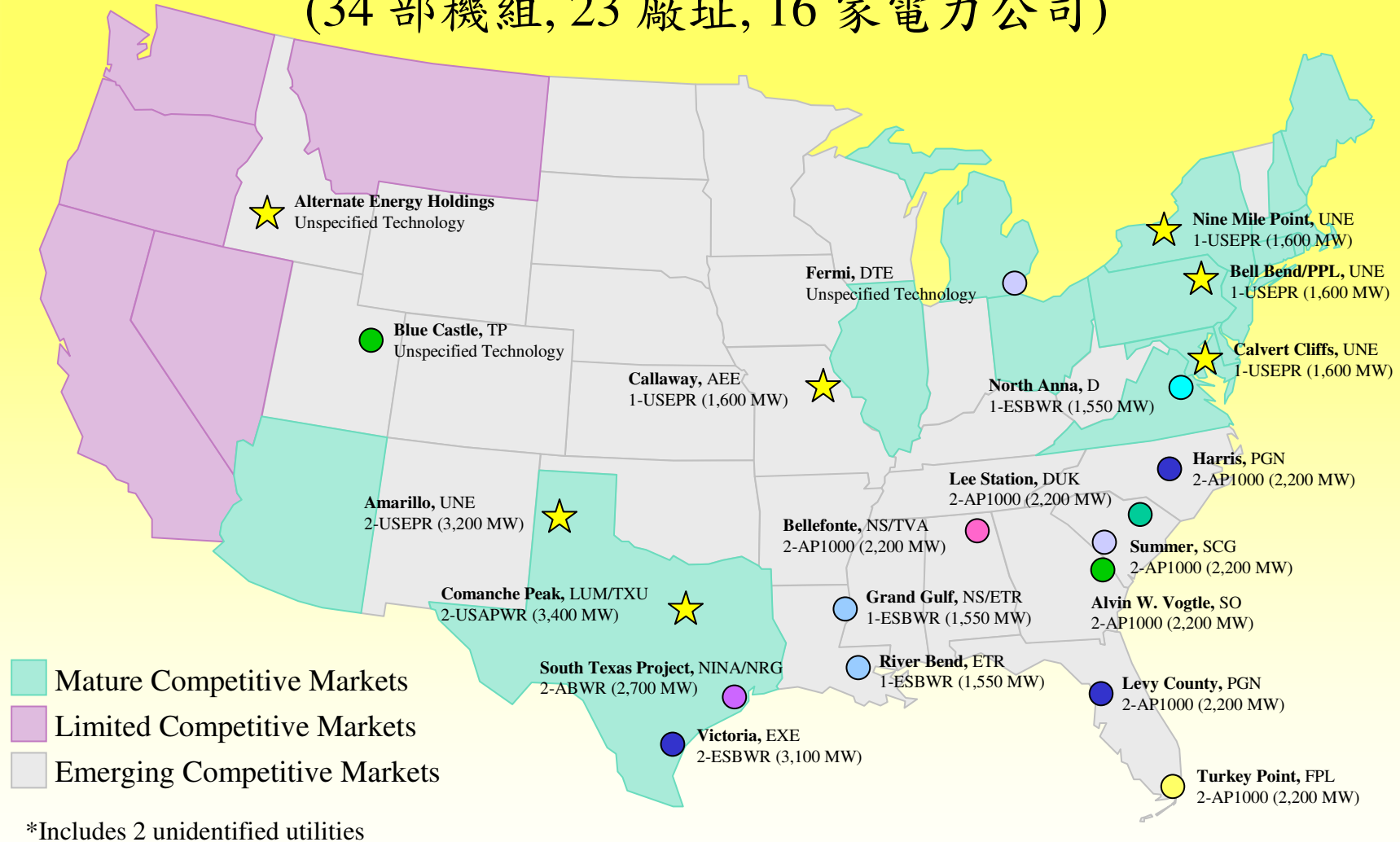
至少有47個廠址





美國的核能復甦

(34 部機組, 23 廠址, 16 家電力公司)



資料來源: Dr. Rosa Yang of EPRI, Presentation in AESIEAP 18th Conference, 2010, Taipei



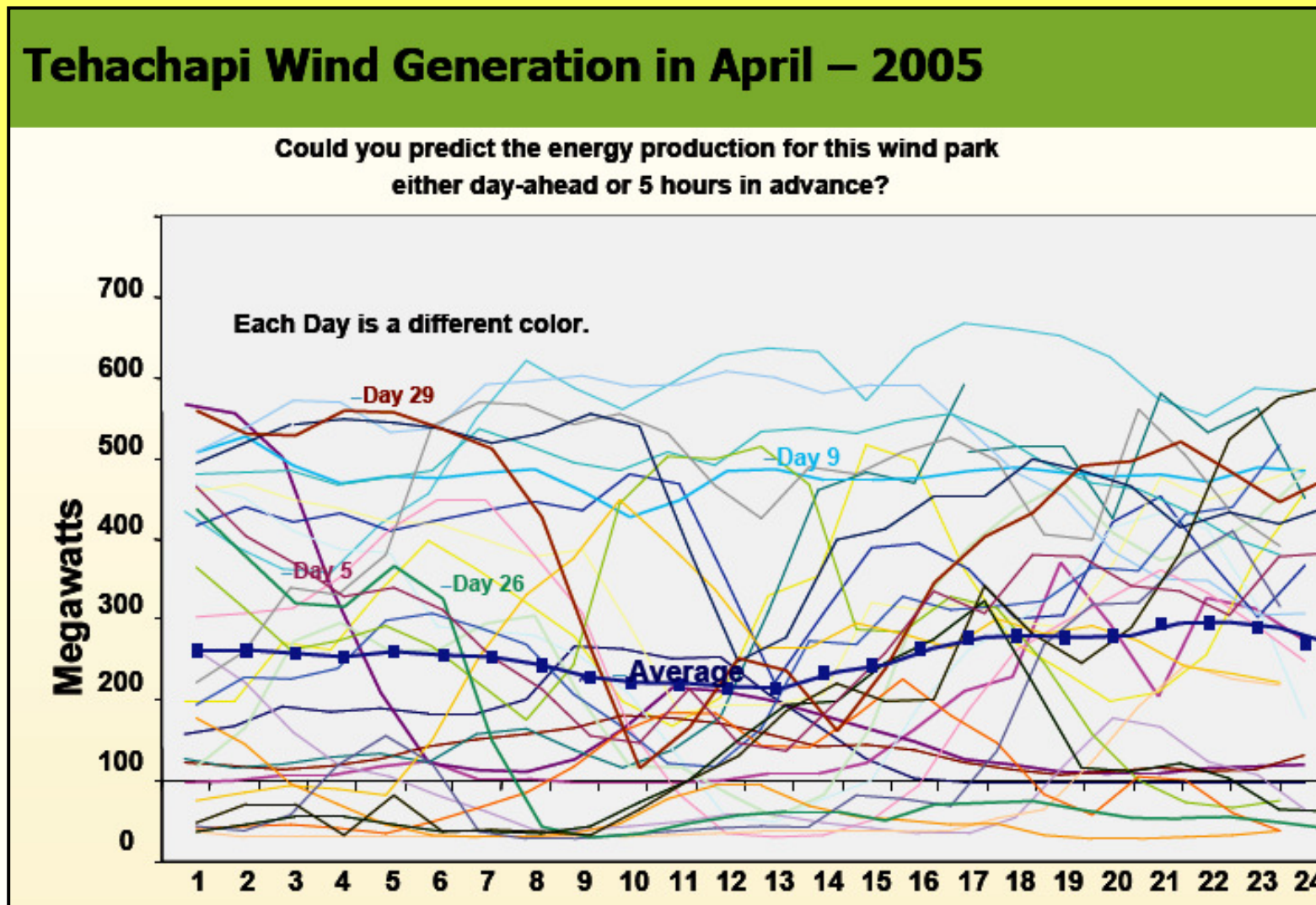
核能與再生能源(風力與太陽能)的比較

全力發展再生能源是無悔的政策，但必須認知下面的現實

- 再生能源發電之裝置容量不等於發電量
- 再生能源發電的發電量無法預測，幾乎無法調度
- 再生能源無法持續穩定的發電，比例過高時，會衝擊電網的穩定性
- 再生能源發電可能無法與負載同步；
 白天~夜晚，夏季~冬季
- 再生能源發電需要搭配其他發電方式，維持穩定的供電
 丹麥的風力發電依靠挪威、瑞典、與德國的水力與核電來平衡
- 獨立電網能夠承受再生能源的比例更低
- 再生能源需要較廣大的土地



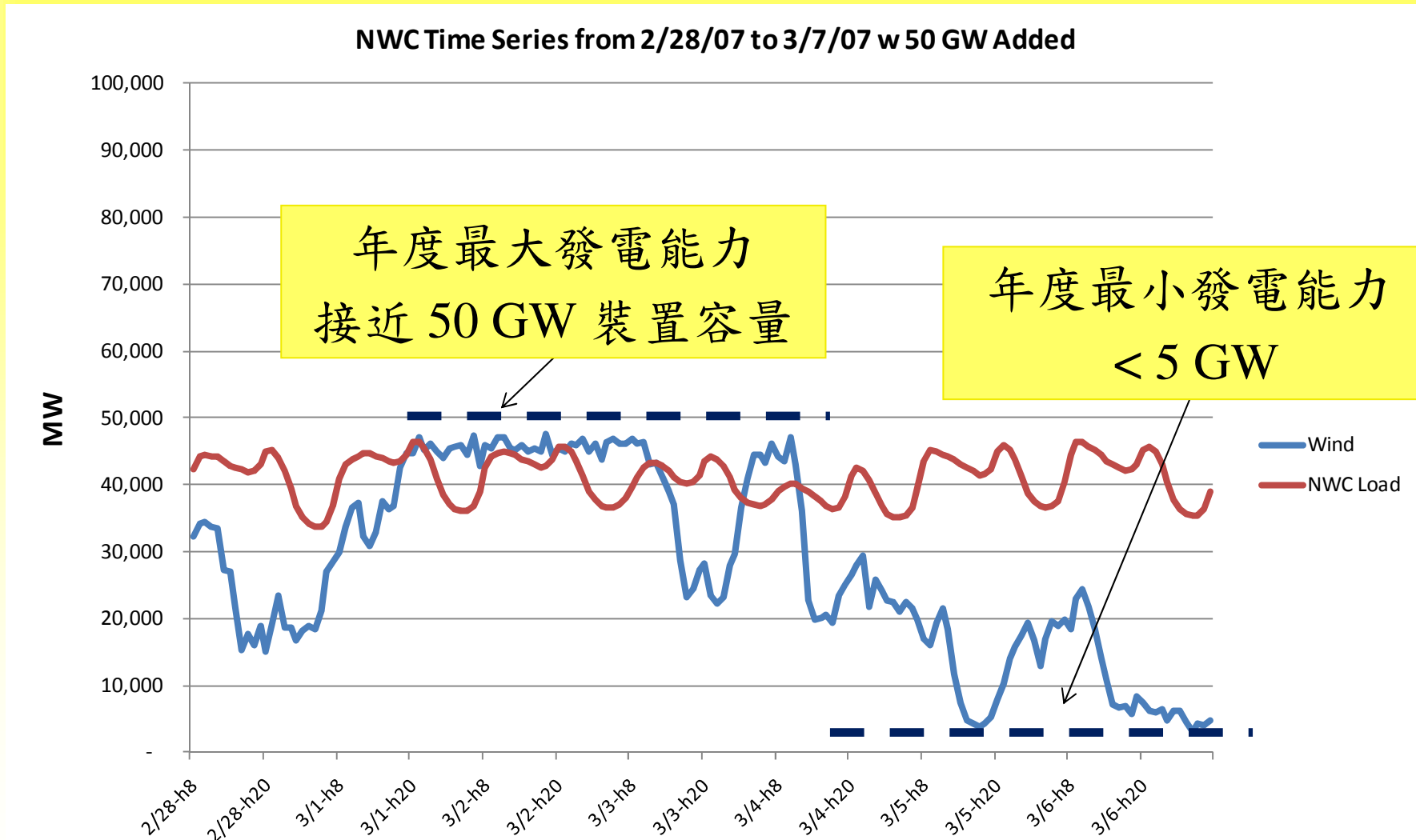
風力發電發電量的變異與可預測程度



資料來源: Dr. Rosa Yang of EPRI, Presentation in AESIEAP 18th Conference, 2010, Taipei



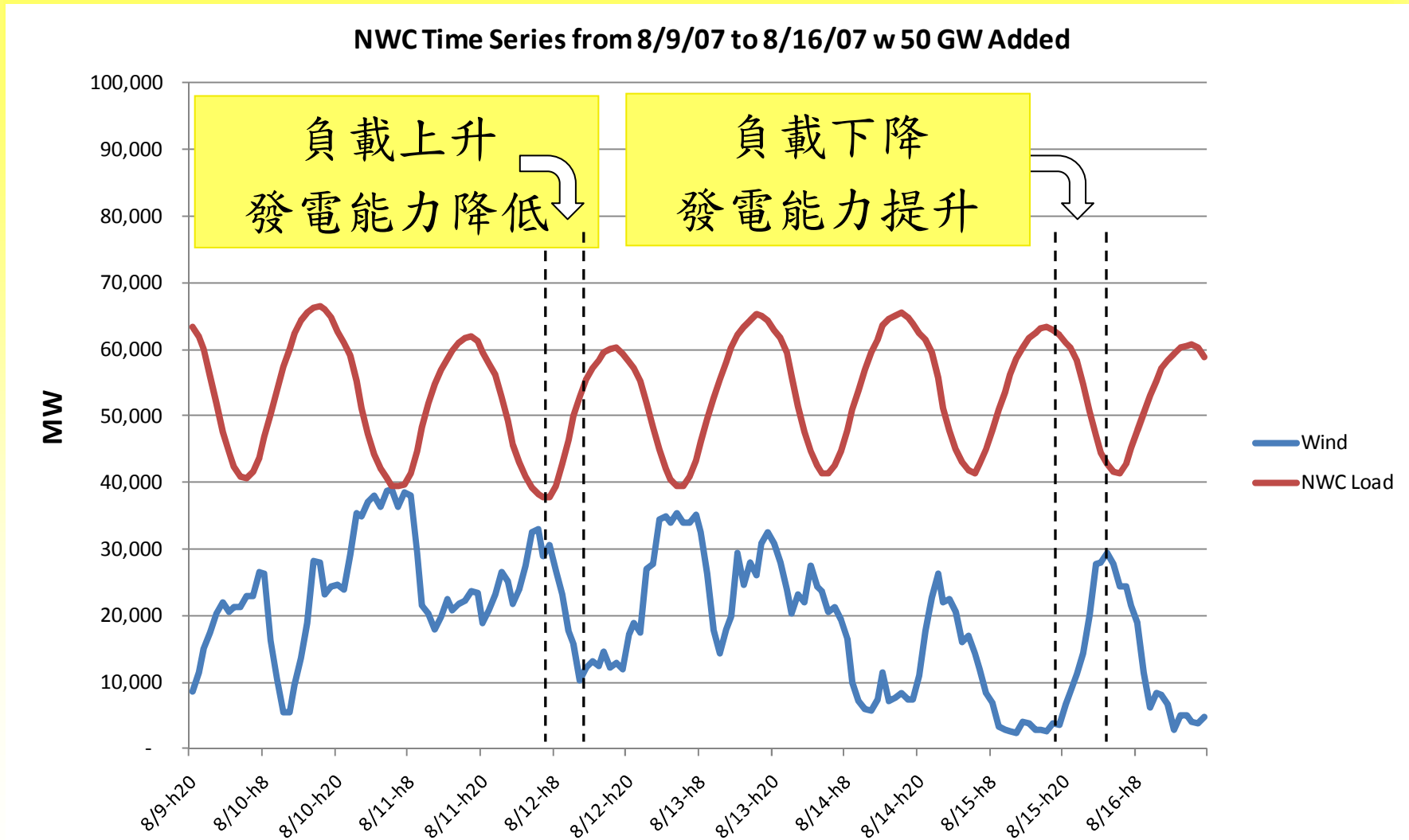
風力發電發電量的變異程度



資料來源: Dr. Rosa Yang of EPRI, Presentation in AESIEAP 18th Conference, 2010, Taipei



發電能力與負載需求



資料來源: Dr. Rosa Yang of EPRI, Presentation in AESIEAP 18th Conference, 2010, Taipei





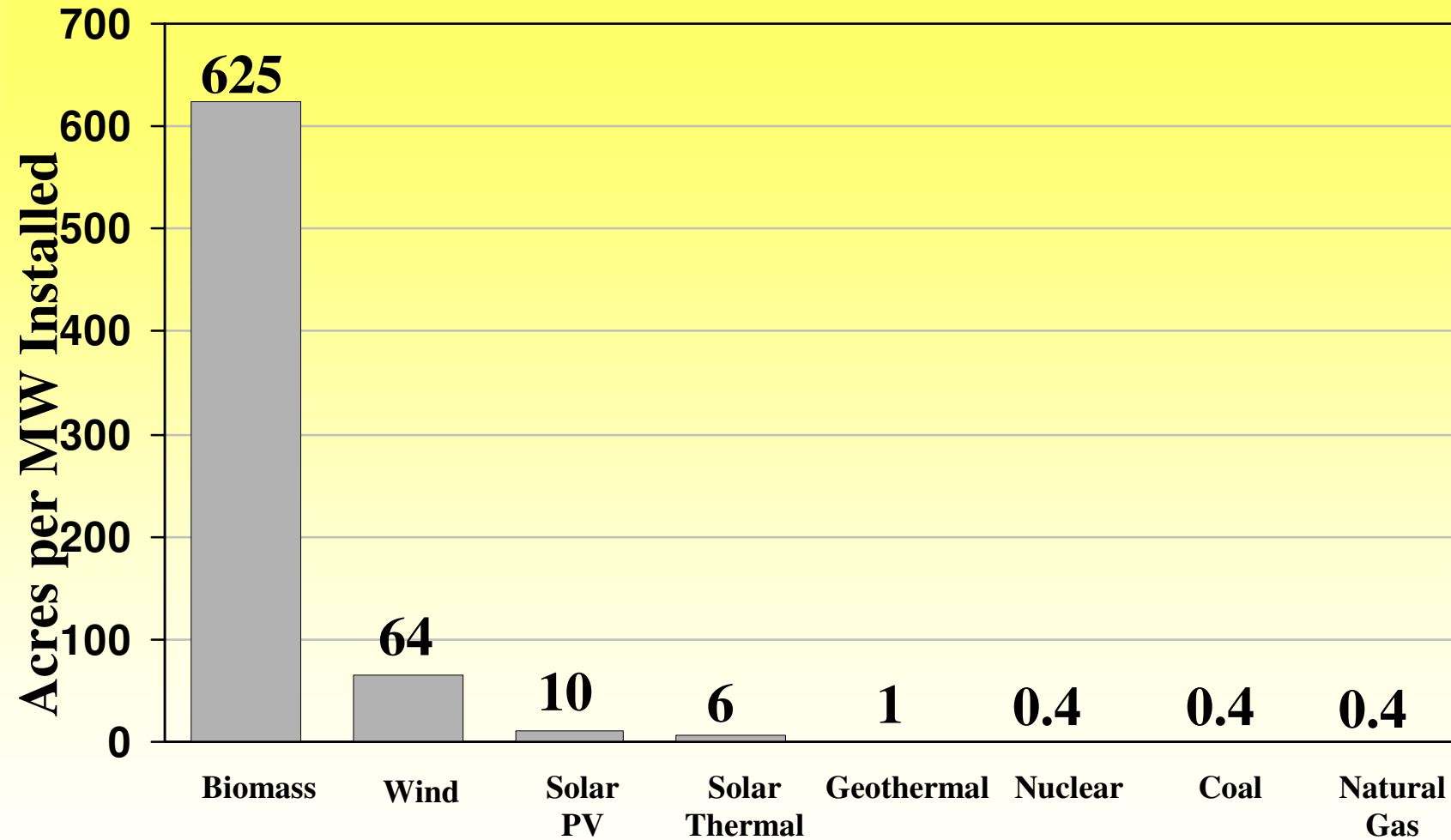
台灣與丹麥的比較

	丹麥	台灣	
土地面積(平方公里) ¹	43,094	35,980	1.20 倍
人口總數 ¹	5,515,575	23,024,956	24%
電力裝置容量(萬瓩) ²	1,210	3808.1	31.8%
風力發電裝置容量(萬瓩) ²	312	18.1	17.24 倍
總發電量(度, KWh) ²	392 億	2018.6	19.4%
風力總發電量(度, KWh) ²	72 億 (18%)	4.3 億	16.74 倍
電力出口(度, KWh) ²	114 億	0	
電力進口(度, KWh) ²	104 億	0	
售電平均價格 ²	0.396 US\$/度	2.1484 NT\$/度	5.53 倍

1. 美國 www.cia.gov 網站 the World Factbook
2. 2007 年數據, 丹麥資料取自 WNA 網站, 台灣資料由台電提供



發電之土地使用



Source: Electricity Industry Center of Carnegie Mellon University



我國進行中的能源政策

政策綱領

行政院宣布「2008 永續能源政策綱領」(2008/6/5)

「促進能源多元化，提高低碳能源比重，並將核能作為無碳能源的選項；發電系統中低碳能源佔比由40%增加至2025年的55%以上」

策略

經濟部「能源安全策略報告」(2008/8/28)

規劃逐年將自產再生能源及準自產核能佔總供給的比例，由2007年的9%大幅提高至2025年的18%。並擬定二氧化碳減量目標為「於2016至2020年回到2008年排放量，並於2025年回到2000年排放量」
2000年排放量：214.5百萬噸



提高電價可促進能源效率的提升

提升能源效率與改變產業結構也可達到節能減碳的目的，其績效若用於替代燃煤發電，將更彰顯其成果；但無法解決台灣能原依賴進口的問題

提升能源效率、改善產業結構、發展
再生能源、持續使用安全的核能，是
台灣能源政策的基石，缺一不可。



風險的選擇

※使用核能發電的風險

- ◎微量放射性物質排放所造成的健康效應
- ◎核電廠發生嚴重事故的影響
- ◎核電廠興建所帶來的社會對立
- ◎核廢料處理所帶來的社會對立
- ◎核能電廠會成為戰爭攻擊目標

※不使用核能發電的風險

- ◎能源危機再度發生時，對經濟發展所帶來的衝擊
- ◎國際上決定管制二氧化碳時，對經濟發展所帶來的衝擊
- ◎國際能源供需失衡時，國內能源供應的穩定性
- ◎能源輸送入境遭封鎖時，國內能源的持續供應

2000年『核四再評估委員會』所用的投影片



終日我灌溉著薔薇



那有沒有

卻讓幽蘭枯萎



德國總理梅克爾早在3月15日即要求7座運轉較久的核能機組停機。依中央社的新聞報導，德國在7部核能機組停機後，電力供應不足，已向法國核電廠購電。據聯合報4月16日的報導，德國將於2020年關閉所有的核電廠，估計每年將額外支出約20億歐元(新台幣840億)，德國將花130億美元(3800億)，經建3,600公里的輸配電，整合不穩定的再生能源。德國產煤，但電力公司應該大手筆投資煤與天然氣及再生能源，分析家認為德國將更仰靠從俄國進口天然氣。為了廢核，德國將耗資50億歐元執行『新六點能源技計畫』，此項計畫尚未執行已有爭議。



歐盟天然氣問題協調小組將討論對歐供氣安全

14:44 2009-07-02

俄新網RUSNEWS. CN布魯塞爾7月2日電 俄新社記者從歐洲委員會新聞處獲悉，歐盟天然氣問題協調小組布魯塞爾會議將討論對歐供氣安全問題。

歐盟執行委員會主席巴羅佐昨天表示，歐盟委員會將在近幾周內提交對歐供氣安全保障建議。

6月19日，歐盟天然氣問題協調小組會議在比利時首都布魯塞爾舉行。在會議結束後發表的聲明中說，歐盟委員會呼籲俄羅斯天然氣工業公司和烏克蘭國家石油天然氣公司就保障對歐供氣達成穩定和長期的協議，執行與此相關的法律上的責任和合同規定的責任。

http://big5.rusnews.cn/guojियाowen/guoji_caijing/20090702/42521035.html



電價比陸便宜用國人性命換的 - Yahoo!奇摩新聞 (1/2)

更新日期：2011/04/19 16:05

4月22日地球日，今年特別不同。一場日本福島核災，掀起全台一波波反核潮。台灣的能源供需，最迫切的，可能根本不是開源，而是節流。而我們的電價，便宜到根本讓人沒有省電的誘因。台灣每人每年排碳量竟高居亞洲第一，「節能減碳」僅成了企業維護形象的口號。超低電價，到底讓台灣人民付出了哪些代價？

• • • • •

• • • • •

• • • • •



電價比陸便宜 用國人性命換的 - Yahoo!奇摩新聞 (2/2)

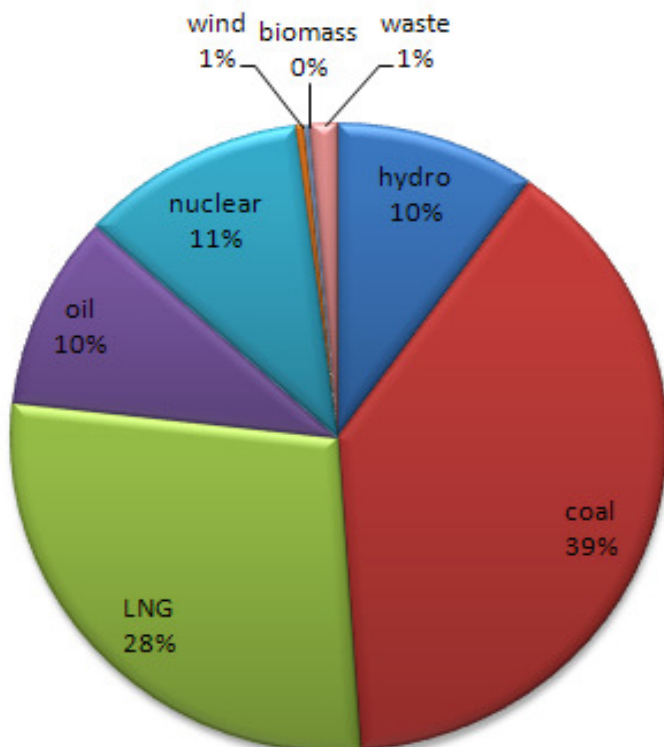
更新日期：2011/04/19 16:05

【用性命換電力 值得嗎？】

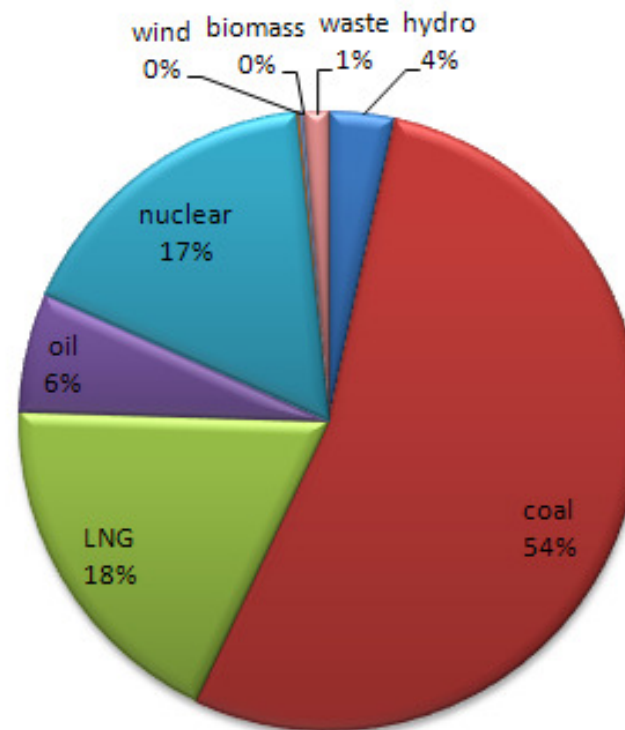
6、7年前開始，鹿港胸腔科醫師葉宣哲在門診時陸續發現，鹿港鎮民的呼吸道疾病急遽增多，許多外出遊子回到鎮上，氣喘開始發作。國民健康局統計，中部沿海氣管癌死亡率是過去2倍以上，而且有年輕化趨勢。

中興大學環境工程學系教授莊秉潔研究發現，中部的戴奧辛濃度全台最高，幾乎天天是美國標準的3倍以上。台中火力發電廠「貢獻」最大。

「以犧牲人民的健康來換取電力，對嗎？」葉宣哲有理由相信，距離鹿港十五公里、被監控全球五萬座電廠的「碳監控行動」（CARMA）組織評為世界最大碳排放電廠的台中火力發電廠，以及第6大的麥寮電廠所排放出來的廢氣是疾病的元兇。

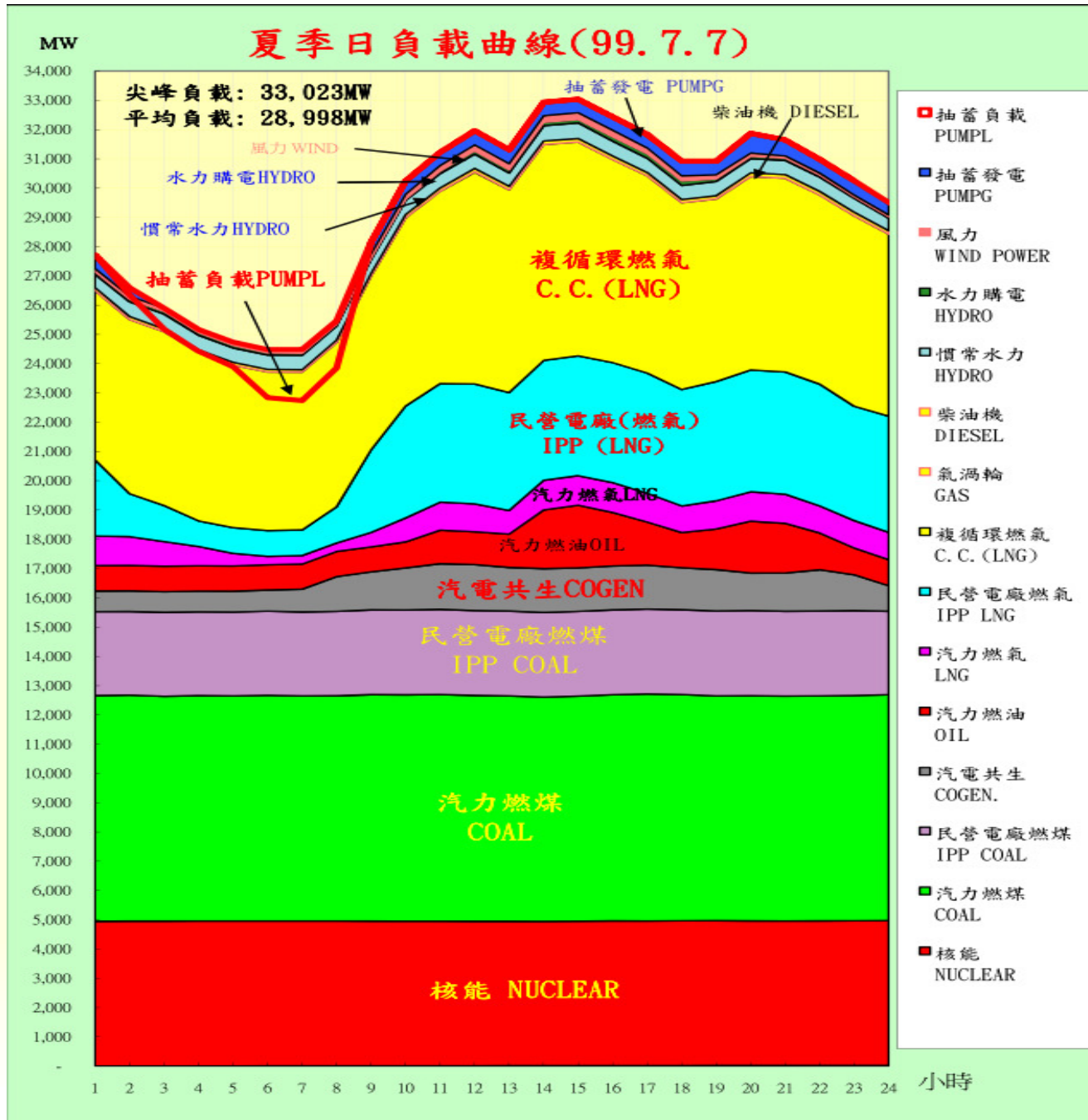


2007年台灣電力系統裝置能量
(45,855 Mwe)



2007年台灣電力系統發電量
(243,108,000,000 度)







96~99年尖離峰日負載曲線

