

專題演講

台灣核電應何去何從？

劉國忠博士

前中鋼公司環境保護處處長及
前中華民國全國工業總會之
環安衛委員會副召集人

時間：民國105年12月28日(三)

地點：集思台大會議中心蘇格拉底廳
(台北市羅斯福路四段85號B1)

壹、前言

1. 筆者大學是清華核工系1972年畢業，但到美國唸研究所時就轉到冶金與材料。

2. 到中鋼任職後逐漸轉至環保、能源的領域。退休後則在中鋼企管顧問公司擔任一年減碳及環保顧問*，因此可說是一個略懂核電的環保人。

3. 由於常參加全國工總的活動，對工業界的核電觀有較多了解。因此想以國家大局為重(考量國情)，從環保與工業界的角度討論台灣核電應何去何從？若有不當之處，歡迎指正！

* 以協助全國工總推動溫室氣體立法^[1]及土壤污染管制標準修法的合理化為主(現在還是台綜院一項環保及能源計畫的顧問)。

4. 呈現了德國及瑞典政府公布的發電量及發電結構、國際能源署(IEA)剛發布的日本能源政策。在國情有所差異及重視減碳之國際義務下，這些國家對核電的看法都與台灣不同。

5. 本文對核電安全、高階核廢料以及以化石能源替代核電做為基載上，都有較深入的探討。希望能理性、中肯的看待核電問題，並做一些溝通*。

6. 再生能源與核電的關聯、2015年歐盟風電協會的統計及CAT (Climate Action Cracker)對主要國家減碳目標、政策的評價，則列於附件一、二、三。

* 信任感很差應該是台灣目前的一大問題，只好靠溝通來增加互信。但台灣各界恐怕都要學習如何透過溝通來增加互信及共識，並減少1-1=0的現象(非正式的溝通更重要--複雜的英國2008氣候變遷法只需一年就完成立法！)。

貳、德國、瑞典的 電力結構

1. 德國：德國聲稱要廢核，如何兼顧減碳備受矚目。

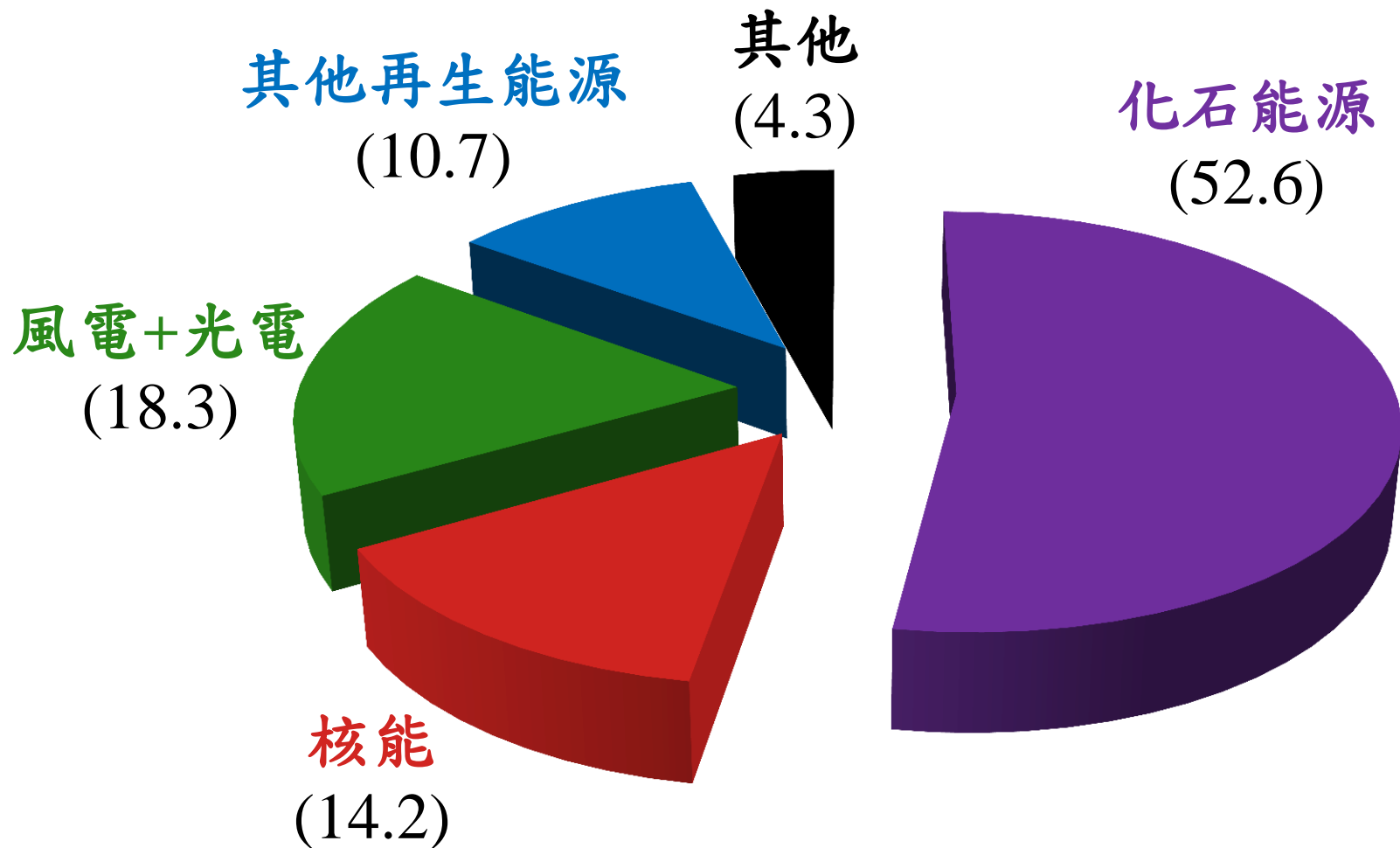
(1) 由德國聯邦統計局 (Statistisches Bundesamt) 2013至2015年的數據可知其發電量及發電結構如下(表一^[2]，圖1)：

- 較穩定之再生能源(水力、生質能及住家廢棄物)的發電量分別占10.9、11.0及10.7% (~11%)；
- 基載的核電分別是15.2、15.5及14.2% (~15%)；
- 較不穩定的風電及光電分別為13.0、14.8及18.3%。
(陸上風電占~90%^[3]；還能提高多少待觀察)

(2) 風電及光電確有顯著增加，所減的是排碳高的煤^[4]、天然氣等化石能源，故電力排碳係數還是可望下降。

(3) 有電網與鄰國相接而人口密度較低(約為台灣的1/3)，目前還是得依靠核電，以達到減碳的目的。

圖1：2015年德國的發電結構
(%，根據表一)



表一：德國聯邦統計局所統計的電力生產毛額^[2]

能源來源	2013		2014		2015	
	十億度	%	十億度	%	十億度	%
總電力生產毛額	638.7	100	627.8	100	645.6	100
褐煤(Lignite)	160.9	25.2	155.8	24.8	155.0	24.0
核能	97.3	15.2	97.1	15.5	91.8	14.2
硬煤(Hard Coal)	127.3	19.9	118.6	18.9	118.0	18.3
天然氣	67.5	10.6	61.1	9.7	61.0	9.4
礦油產品	7.2	1.1	5.7	0.9	5.5	0.9
再生能源	152.4	23.9	162.5	25.9	187.4	29.0
-風電-	51.7	8.1	57.3	9.1	79.2	12.3
水力發電	23.0	3.6	19.6	3.1	19.0	2.9
生質能	41.2	6.5	43.3	6.9	44.5	6.9
-光電-	31.0	4.9	36.1	5.7	38.7	6.0
住家廢棄物	5.4	0.8	6.1	1.0	5.8	0.9
其他能源	26.2	4.1	27.0	4.3	26.9	4.3

2. 瑞典

(1) 由**瑞典能源局** (Swedish Energy Agency) 網站可知其2009至2013年的發電量(**表二**^[5])。由此可知其**電力結構**(**圖2**)：

水力發電在48.8%至40.8%之間(遠高於台灣)；

核電由**37.5%**升高至**42.6%**(亦高於台灣最近幾年的 $\leq 20\%$)；

風力發電由1.9%逐漸升高至6.6%(瑞典的人口密度約只有德國的**1/3**，陸上風電與德國接近，佔~**90%**^[6])。

(2) 由**表二**亦可得知：

瑞典**極低碳**的電力已達85%至90%(空污亦低)。

其**電網**與鄰近國家相接，2011至2013年以**出口電力**為主，對鄰近國家的減碳及擴大再生能源頗有助益(**圖3**為其2013年**電力結構**的pie chart)。

表二：2009至2013年瑞典的電力生產結構
(十億度)^[5]

	水力 發電	風力 發電	核電	汽電 共生* (工業)	汽電共 生*(區 域加熱)	其他 火力 發電	合計	進口 減出 口
2009	65.1	2.5	50.0	5.9	9.9	0.1	133.5	4.7
2010	66.7	3.5	55.6	6.2	12.6	0.3	145.0	2.1
2011	66.6	6.1	58.0	5.8	11.0	0.0	147.6	-7.2
2012	78.4	7.2	61.4	6.1	9.3	0.2	162.6	-19.6
2013	60.9	9.8	63.6	5.6	9.2	0.0	149.2	-10.0

* 即Combined Heat and Power (CHP).

圖2：2009至2013年瑞典的電力結構(%，根據表二)

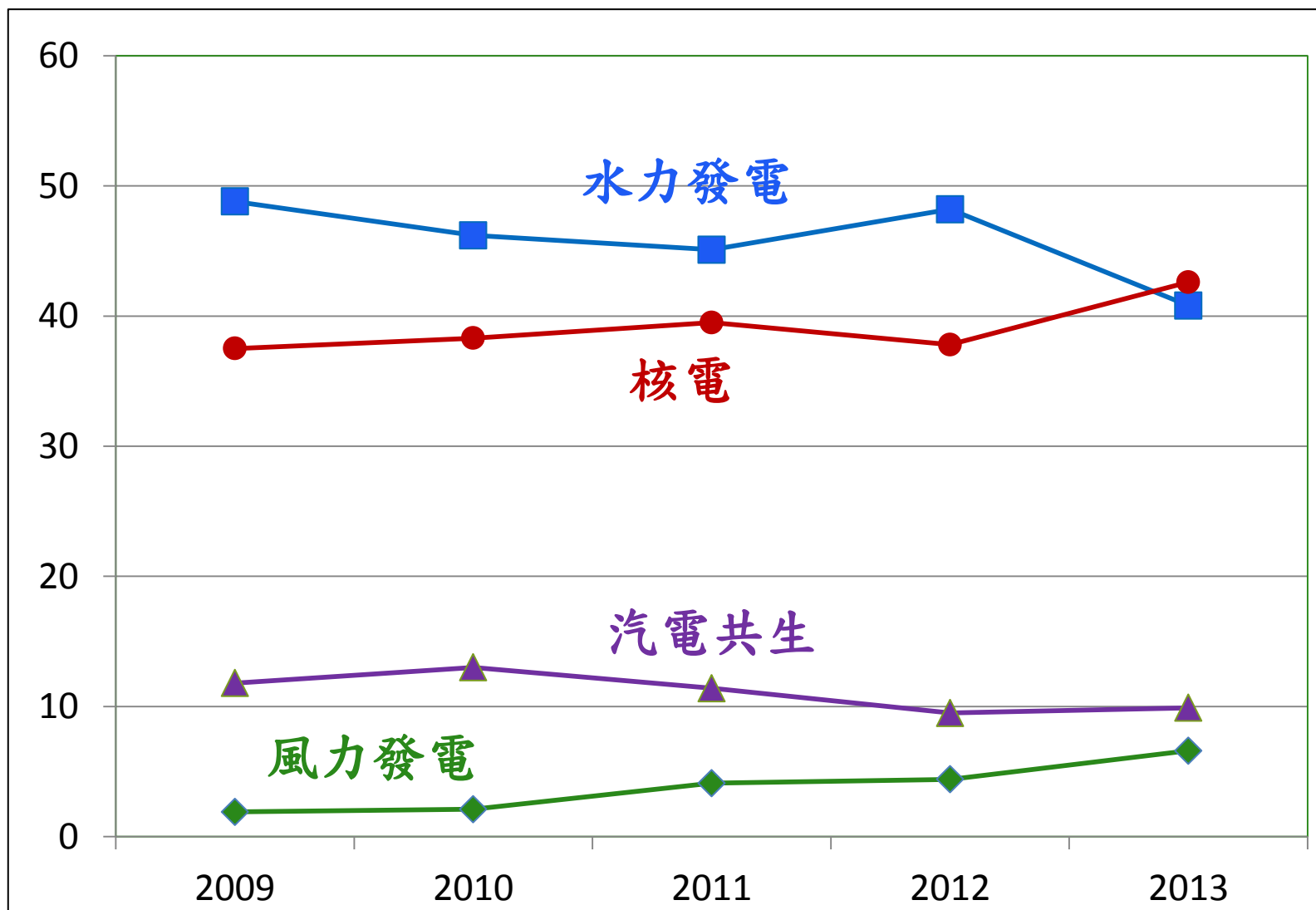
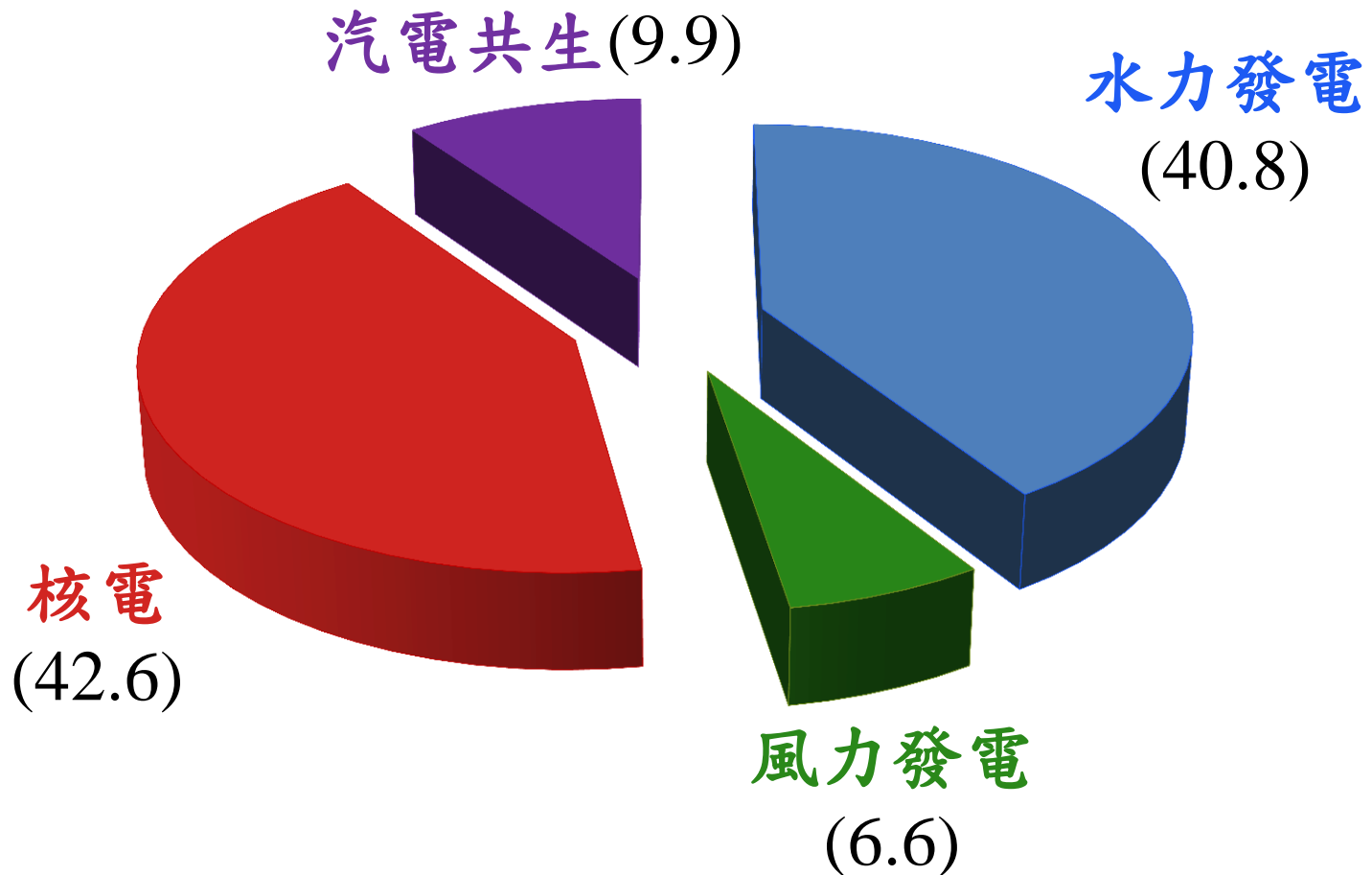


圖3：2013年瑞典的電力結構
(%，根據表二)



叁、日本的核電政策

1. IEA於2016年9月30日的電子檔--「IEA國家的能源政策—日本2016」^[7]顯示：

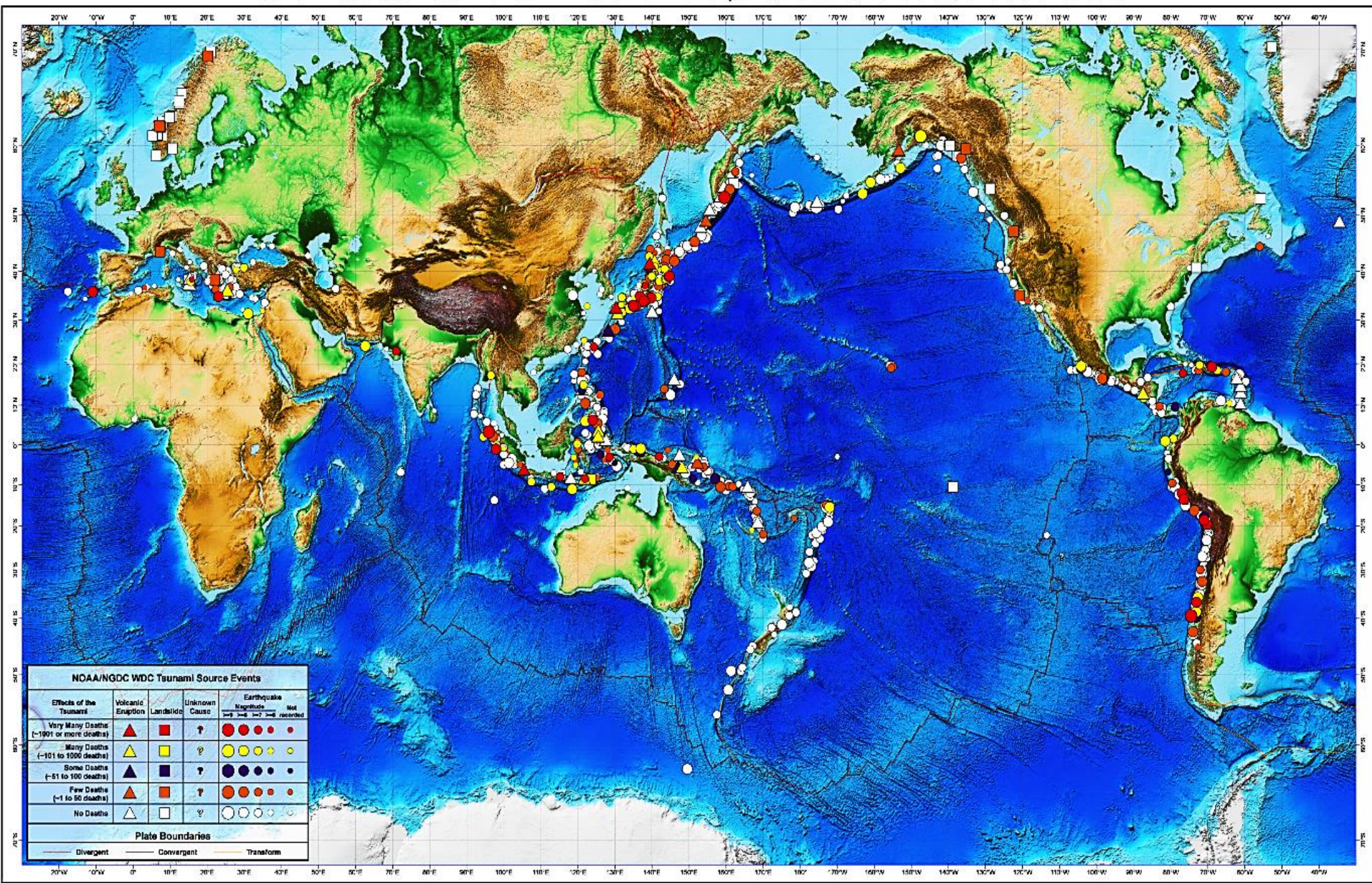
- 日本在2011年福島核災後逐漸停止核電，導致了多用化石能源，及電價上漲至不永續的水準；
- 日本執政黨基於能源安全、能源多樣化等考量，還是選擇了加強核電安全及恢復核電(在有爭議之下)。

2. 日本執政黨為什麼要恢復核電？

- 2011年福島核災發生在日本；
- 日本在二戰時有被兩顆原子彈轟炸的慘痛經驗；
- 根據三千多年來美國政府NOAA的統計，日本的地震、海嘯又比台灣嚴重得多(圖4^[8])。

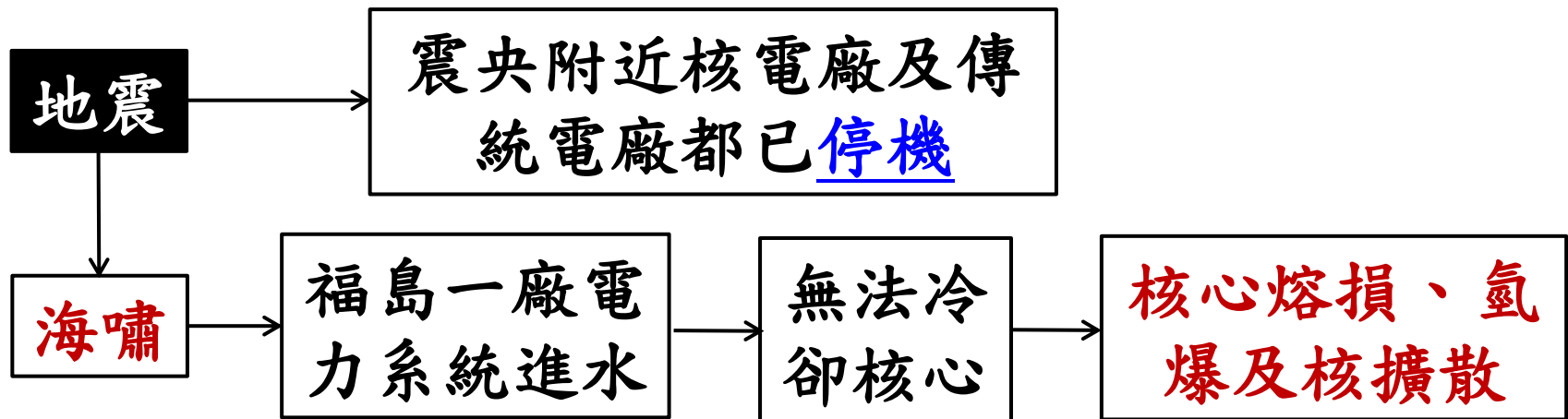
圖4：美國NOAA自西元前1650年至西元後2010年的統計顯示，日本地震、海嘯比台灣嚴重得多(圓圈代表地震，顏色代表因海嘯死亡的人數^[8])

Tsunami Sources 1650 B.C. to A.D. 2010 from Earthquake, Volcano, Landslide, and Other Causes



3. 因此日本停用核電的理由遠較台灣充分。除了電價及能源多樣化(有助於能源安全)之外，日本執政黨其他考慮應包括：

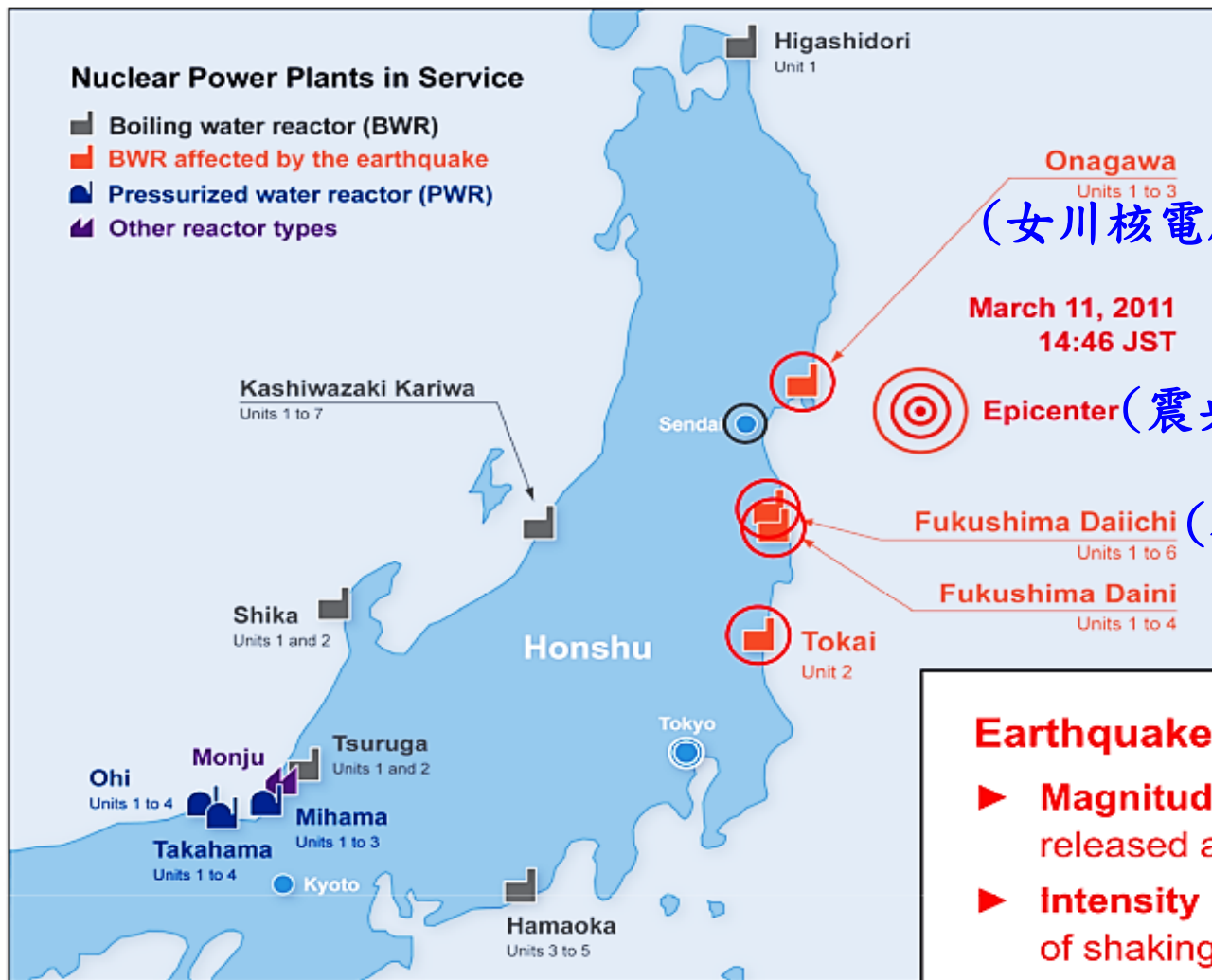
(1) 2011年日本福島核災是因海嘯而引起：



(2) 離震央更近 (圖5^[9])、震幅更大^[10]的女川(Onagawa)核電廠，因廠址較高且未因海嘯而失電，反而成為附近民眾逃避海嘯的避難所(圖6^[11])。

圖5：2011年日本東北大地震時，震央、福島一廠及女川核電廠的地理位置^[9] (德國VGB電力技術的簡報)。

The Tohoku Earthquake



Epicenter Location

38.3 °N, 142.4 °E

Epicenter Distance

- ▶ Onagawa ≈ 90 km
- ▶ F-Daiichi ≈ 160 km
- ▶ F-Daini ≈ 170 km
- ▶ Tokai ≈ 260 km
- ▶ Sendai ≈ 150 km

Earthquake Parameters

- ▶ **Magnitude** measures the energy released at the epicenter.
- ▶ **Intensity** measures the strength of shaking at a certain location.

圖6:The Guardian(2011.03): Onagawa核電廠成為附近民眾 逃避海嘯的避難所^[11]

Hundreds of survivors shelter next door to power station reactors in stark contrast to Fukushima disaster 75 miles away



📷 Tsunami survivors outside the Onagawa nuclear power station where they have been sheltering. Photograph: Vincent Yu/AP

(3) 日本國會 (National Diet) 對福島核災的獨立調查報告中說^[12]：福島核災是因缺乏海嘯對策 (The lack of tsunami countermeasures) 及對策未達國際標準 (Countermeasures not up to international standards) 所致。

(4) 日本2012年後只有<9%的一次能源來自國內^[13]，需由能源安全* (energy security) 的戰略觀點考量核電 (遠較化石能源持久) 的存廢。

因此，日本執政黨認為在加強對海嘯 的防範等安全措施之後，可恢復核電 (雖然需多方溝通*)。

* IEA在報告中說：能源安全 是日本擬恢復核電的考量之一。但地方政府未必會考慮，因而易造成中央 與某些地方 不同調。

The National Diet of Japan
(日本國會)

The official report of

**The Fukushima
Nuclear Accident Independent
Investigation Commission**

Executive summary

- 日本國會對福島核災的獨立調查報告^[12]第27頁為：The lack of tsunami countermeasures(缺乏海嘯對策).

The lack of tsunami countermeasures

The construction of the Fukushima Daiichi Plant that began in 1967 was based on the seismological knowledge at that time. As research continued over the years, researchers repeatedly pointed out the high possibility of tsunami levels reaching beyond the assumptions made at the time of construction, as well as the possibility of core damage in the case of such a tsunami. TEPCO overlooked these warnings, and the small margins of safety that existed were far from adequate for such an emergency situation.

Since 2006, the regulatory authorities and TEPCO have shared information on the possibility of a total outage of electricity occurring at Fukushima Daiichi should tsunami levels reach the site. They also shared an awareness of the risk of potential reactor core damage from a breakdown of seawater pumps if the magnitude of a tsunami striking the plant turned out to be greater than the assessment made by the Japan Society of Civil Engineers.

There were at least three background issues concerning the lack of improvements. First, NISA did not disclose any information to the public on their evaluations or their instructions to reconsider the assumptions used in designing the plant's tsunami defenses. Nor did NISA keep any records of the information. As result, third parties could never know of the true state of affairs.

The second issue concerned the methodology used by the Japan Society of Civil Engineers to evaluate the height of the tsunami. Even though the method was decided through

-日本國會對福島核災的獨立調查報告^[12]第28頁為:Countermeasures not up to international standards (對策未達國際標準).

Countermeasures not up to international standards

All of the measures against a severe accident (SA) that were in place in Japan were practically ineffective. The assumptions made in SA countermeasures only included internal issues, such as operational human error, and did not include external factors such as earthquakes and tsunami, even though Japan is known to frequently suffer from these natural events.

From the outset, operators were allowed to set SA countermeasures autonomously. In 1991, the Common Issue Discussion Panel of NSC explicitly stated that “the accident management, including expedient and flexible measures that might be required under actual situations, shall be considered and implemented by the operators based on their ‘technical competency’ and ‘expertise,’ but shall not require authority to regulate the specific details of measures.”

The severe accident measures that were autonomously set did not even reach the standards of measures set by the regulatory agencies. In fact, the severe accident safety equipment turned out to have a lower yield strength than the safety equipment used during normal operation that met regulated requirements. Clearly, using severe accident safety equipment with lower capability than the equipment used in normal operations undermines the entire reason for developing these measures. As a result of inadequate oversight, the SA countermeasures implemented in Japan were practically ineffective compared to the countermeasures in place abroad, and actions were significantly delayed as a result.

Allowing autonomous SA countermeasures also left room for the operators to actively negotiate terms with the regulators via the Federation of Electric Power Companies (FEPC). This was especially true after 2010, when the regulators began leaning towards regulating SA countermeasures in step with global trends, and the operators, via FEPC, began to aggressively lobby the regulators to slow the process down. The operators negotiated with the regulators for two reasons: 1) to avoid or minimize the risk of potential lawsuits and 2) to avoiding backfitting requirements that would interfere with the operation of existing reactors. Again, this meant that no countermeasures had been prepared against severe accidents like the one that took place beginning on March 11—in other words, an accident that may have very small odds of occurring, but creates a catastrophic situation when it does.

肆、我國核電的主要考慮

台灣各界對核電的主要考量應是核電安全 (Nuclear Power Safety)及高階核廢料*的去處，茲將二者分述如下：

1. 核電安全

社會各界都認同安全第一，發展核電當然應在此原則之下。由於核四曾經停工又復工，其商轉的安全風險和核一、二、三有所不同，故分開來討論較妥。

*即核電廠用過的核燃料棒。

(1)核一、二、三

- (A)世界核能協會2016年12月的資料^[13]顯示：美國核管會(NRC)已允許87%的核電廠由40年延役至60年(有更多的核電廠在申請延役中)。
- (B)此種延役所導致的發電成本極低，排碳極少，而且不排放SOx，NOx，PM2.5等，對美國甚為有利*。
- (C)據筆者所知，日本福島核災後台電公司的核一、二、三、四已比照日本加強核電安全(甚至猶有過之)。
- (D)因此，安全紀錄良好的核一、二、三，也應比照美國延役至60年較為有利。惟所涉及的延役法規等相關規範應先解決，安全問題更應列為第一優先。

*美國有些廠在延役時略為提高產能^[13]，再加上近年來略有新增的核電廠(圖7)^[14]，EIA對2040年的預測(圖8)^[15]是核電裝置容量持平而微升。圖9^[16]EIA的成本數據及技術發展預測可顯示其預測的合理性(核電廠延役成本會更低)。

Renewables and natural gas lead capacity additions through 2040 in the Reference case

Figure MT-30. Additions to electricity generation capacity by fuel in the Reference case, 2000–2040 (gigawatts)

圖7^[14]：美國EIA針對2040年前以不同能源增加電力裝置容量的預測(2016.08)

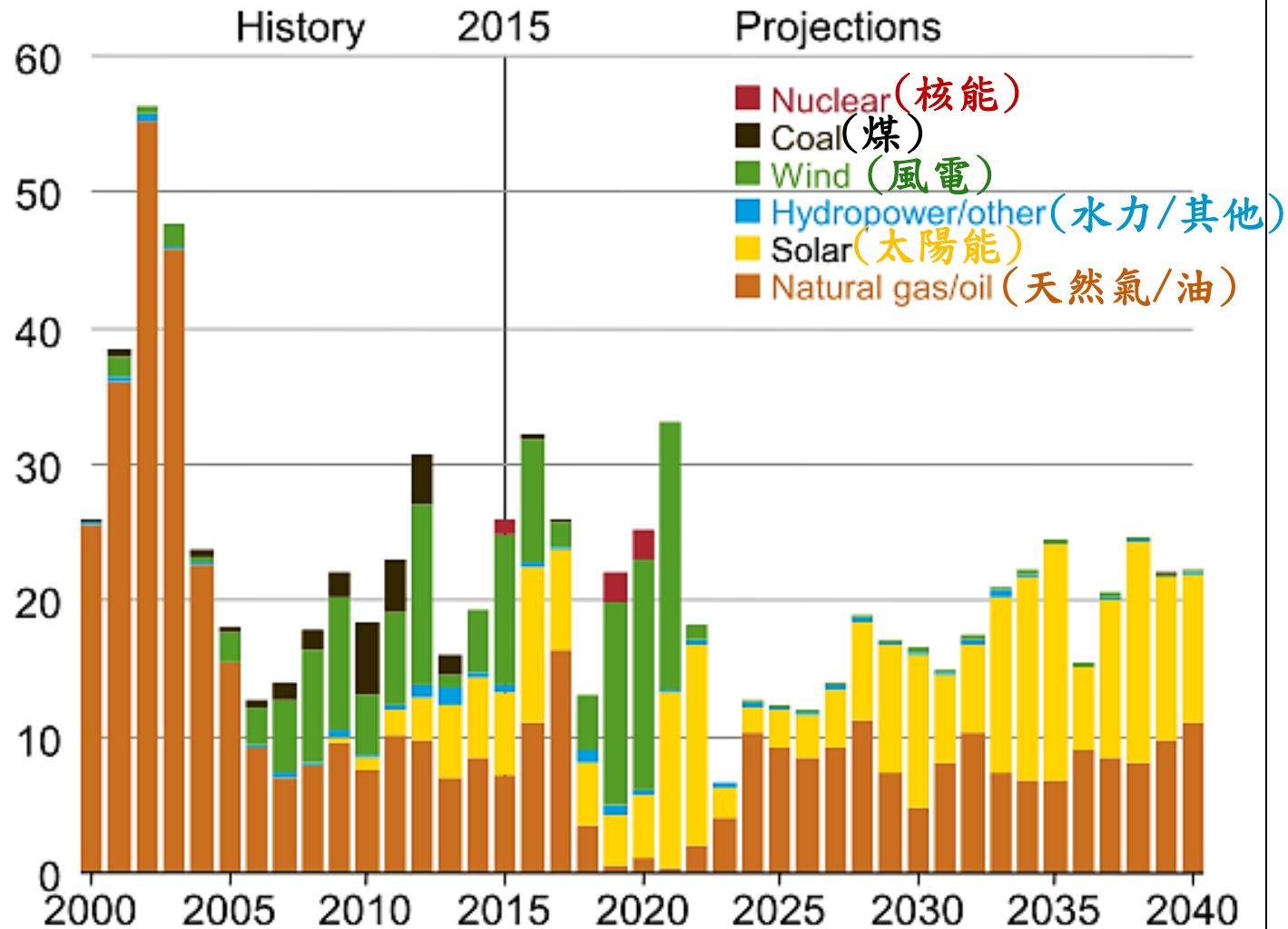
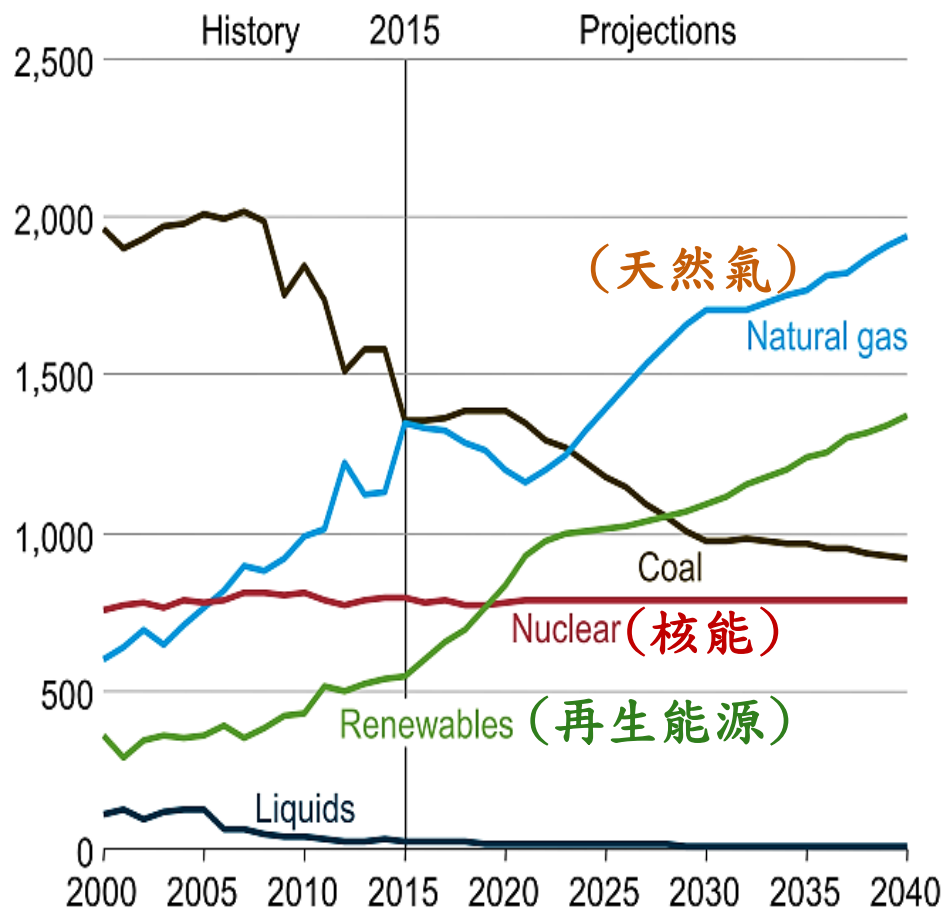


圖 8^[15]：淨煤計畫將**加速**由燃煤轉移至天然氣及再生能源(因淨煤計畫將使用煤之成本升高；**核能**不受影響)

Clean Power Plan accelerates **shift** from coal to natural gas and renewables (CPP代表淨煤計畫)

Figure MT-28. Net electricity generation by fuel in the Reference case, 2000–2040 (billion kilowatthours)



With **no** Clean Power Plan (CPP), coal-fired generation shows little change from 2015 level

Figure MT-29. Net electricity generation by fuel in the No CPP case, 2000–2040 (billion kilowatthours)

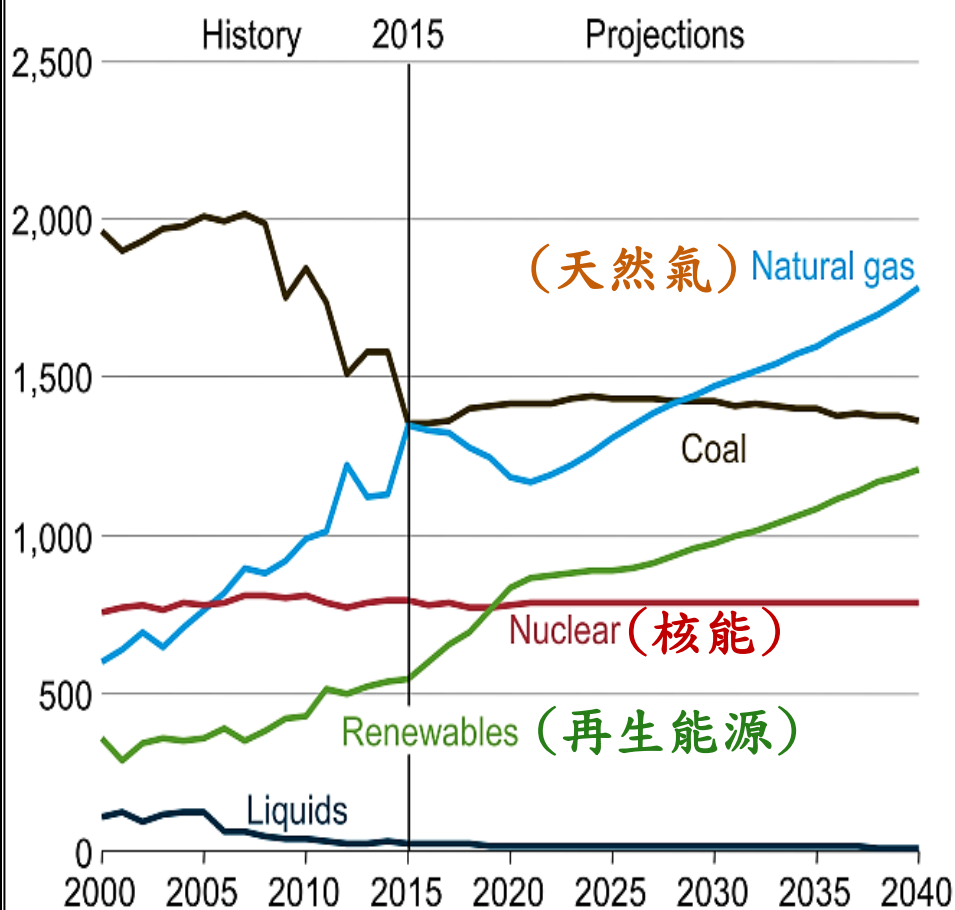


圖9^[16]:美國政府所屬EIA對新設電廠能源成本的估計(2015.06)

Table 1. Estimated levelized cost of electricity (LCOE) for new generation resources, 2020

Plant Type	Capacity Factor (%)	Levelized Capital Cost	U.S. Average Levelized Costs (2013 \$/MWh) for Plants Entering Service in 2020 ¹			Total System LCOE	Subsidy ²	Total LCOE including Subsidy
			Fixed O&M	Variable O&M (including fuel)	Transmission Investment			
Dispatchable Technologies								
Conventional Coal	85	60.4	4.2	29.4	1.2	95.1		
Advanced Coal	85	76.9	6.9	30.7	1.2	115.7		
Advanced Coal with CCS	85	97.3	9.8	36.1	1.2	144.4		
Natural Gas-fired								
Conventional Combined Cycle	87	14.4	1.7	57.8	1.2	75.2		
Advanced Combined Cycle	87	15.9	2.0	53.6	1.2	72.6		
Advanced CC with CCS	87	30.1	4.2	64.7	1.2	100.2		
Conventional Combustion Turbine	30	40.7	2.8	94.6	3.5	141.5		
Advanced Combustion Turbine	30	27.8	2.7	79.6	3.5	113.5		
Advanced Nuclear	90	70.1	11.8	12.2	1.1	95.2		
Geothermal	92	34.1	12.3	0.0	1.4	47.8	-3.4	44.4
Biomass	83	47.1	14.5	37.6	1.2	100.5		
Non-Dispatchable Technologies								
Wind	36	57.7	12.8	0.0	3.1	73.6		
Wind – Offshore	38	168.6	22.5	0.0	5.8	196.9		
Solar PV ³	25	109.8	11.4	0.0	4.1	125.3	-11.0	114.3
Solar Thermal	20	191.6	42.1	0.0	6.0	239.7	-19.2	220.6
Hydroelectric ⁴	54	70.7	3.9	7.0	2.0	83.5		

(2) 核四

- (A)核四已投入了新台幣近3,000億元，若不能商轉，這筆錢將由全民負擔。因此，極有必要謹慎澄清核四的安全問題或尋找適當對策，這在政府已封存核四之時亦頗恰當。
- (B)核四的安全風險問題非常專業，理應尊重專業較妥。或可透過就事論事的態度及以下的專業程序予以嚴謹釐清(不知政府已做到甚麼程度?)：

原能會審查通過
核四7月起正式封存



第一步：

- 原能會內部對核四的安全有無共識？問題出在哪一部分*？
- 是否可能透過溝通或工程改造來澄清或增進核四的安全性？
- 這些疑問理應先在原能會內部，由熟識核四者以就事論事的態度及專業良知做深入探討。

第二步：

- 原能會內部對核四的安全若能形成共識，再以相同之主要事項及原因，徵求適當之外部專家的意見。

* 核四的停工應不致影響到全部工程。

第三步：

-若原能會及外部專家對主要事項都有共識，再與其他政府單位、媒體及社會大眾溝通。

(C)亦即，核四是否安全宜先有專業定論，再據以與其他政府單位及社會溝通。若能獲得大多數認同，政府可進一步考慮應否商轉？或者應否廢除核四？

(D)以這樣嚴謹、心胸開闊的程序進行澄清及溝通，或可使核四封存有其意義。



求知若飢，虛懷若愚

2. 高階核廢料的去處

- (1) 核一、二、三已運轉了三十幾年，因此台灣的高階核廢料是既存事實。「核一、二、三延役及核四商轉」與「快速減少核電」的差別只在高階核廢料的多寡(不在有無)。
- (2) 有人是以有無高階核廢料來看待此問題*！此觀點在當初考量是否發展核電時可提出，但現在討論就有些似是而非，不是嗎？
- (3) 廉價而穩定的核電曾是台灣經濟奇蹟的基礎，現在以「高階核廢料無去處」來反對核電是否公平？

* 若以「有無」來看待核廢料問題，比較容易有「若不能解決高階核廢料的去處，就不應發展核電」的看法。

(4) 全民及政府目前應有的態度難道不是如何共同解決高階核廢料的去處嗎？

(5) 據筆者所知，台電公司對高階核廢料的去處已有詳盡規劃，但因政治問題而無法實施。

(6) 目前高階核廢料只好儲存於水池中，核一、二、三有因此而被迫減產或提早除役的可能，此種問題應儘速解決。

	來源	內容	處理
低放射性	核電廠運轉、維護與未來除役拆廠所產生	廢樹脂、廢液、殘渣、衣物、零組件等	經核電廠減容或包裝處理，貯存在蘭嶼貯存場或
高放射性	清大、核能研究所、台電用過之核子燃料	核子反應器運轉產生的核子燃料或廢棄物	核電廠內水池冷卻後，取出置於特殊容器進行乾式或其他方式貯存

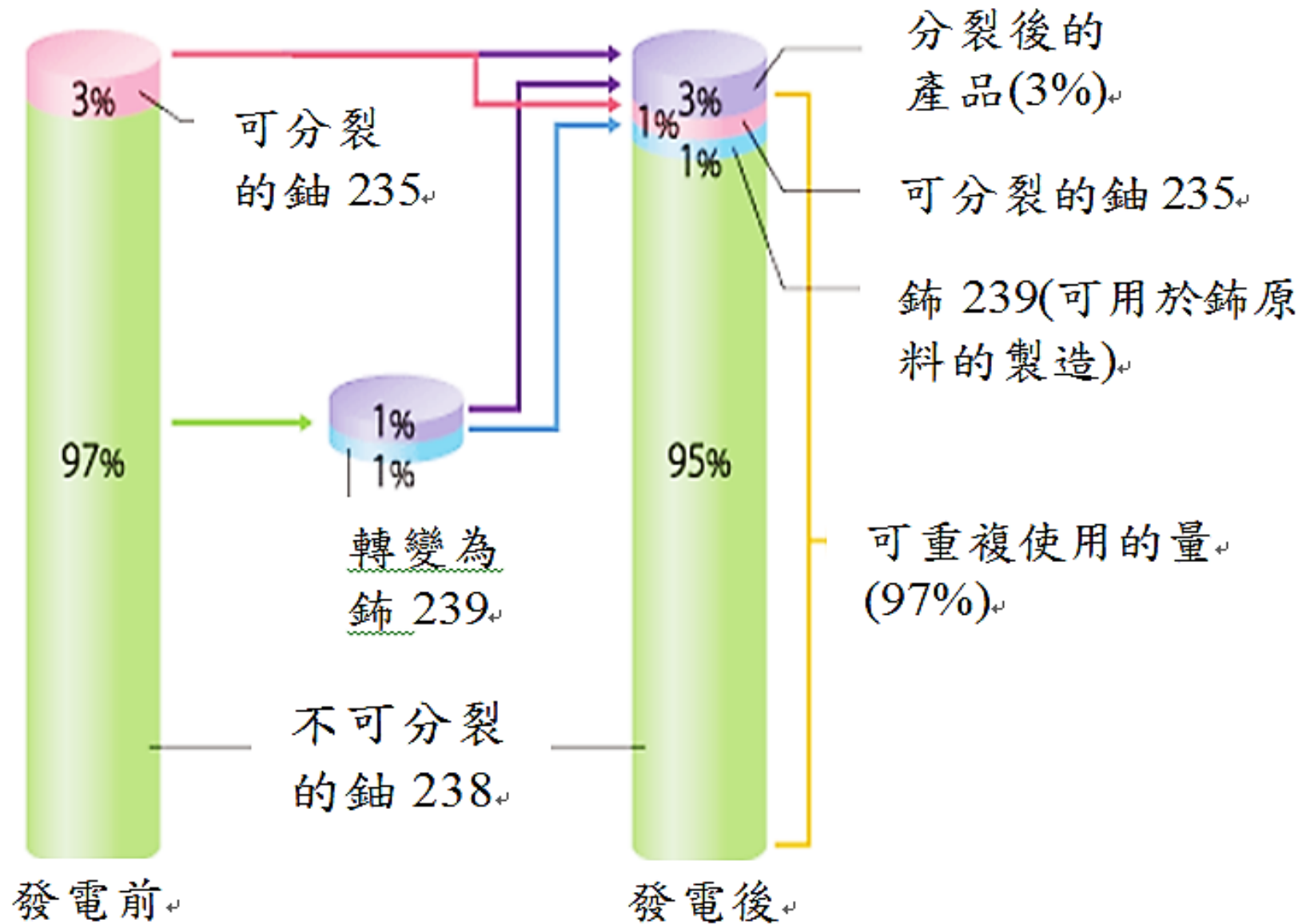
資料來源：原能會

(7)再說，高階核廢料與一般的廢料不同。以含3%鈾235、97%鈾238的核燃料為例，發電後的高階核廢料仍有~1%鈾235，~1%的銻239(由鈾238轉變，可製造核子武器)，保留~95%的鈾238。

(8)亦即，高階核廢料中仍有~97%的量可重複使用，只有~3%核分裂後的產品具有放射性，是真正的高階核廢料。(圖9^[16]所示僅為一例)

圖10：核燃料在輕水式反應器發電前後之組成^[17]。

鈾燃料發電前後的成分改變(例)



伍、以化石能源替代 核電之差異

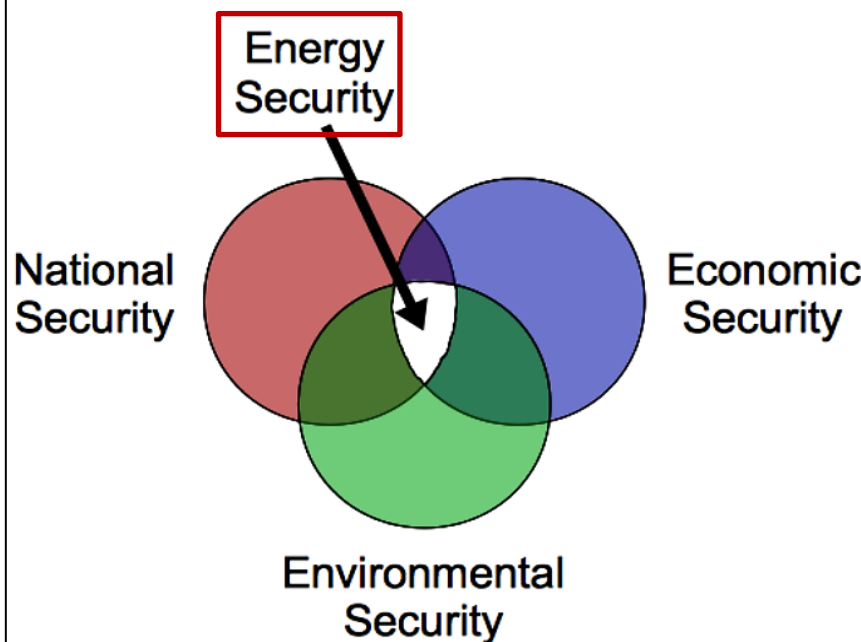
在風電及光電還不能做為基載電力，又很少其他再生能源的我國，減少做為基載的核電後只能用化石能源替代，此二者的主要差異如下：

1. 能源安全 (energy security)

- (1) 進口的核能遠比進口的化石能源支持得久，可稱為半自產能源。
- (2) 若遭遇經濟封鎖或對外戰爭，對自產能源極少的台灣而言，核能遠比化石能源可靠。

- (3)可以想像到，能源安全(energy security)及戰略價值應該是當初政府決定發展核電的重要考量。
- (4)現在的台灣政府與中國大陸的關係若持續惡化，遭封鎖的風險大增。
- (5)若此時以化石能源替代核能做為基載，對能源安全*及戰略價值而言，只怕會大幅倒退！

*「IEA國家的能源政策—日本2016」(2016.09.30)在摘要中說，能源安全就是日本恢復核電的重要考量之一。



2. 減碳、極端氣候與空污

- (1) 環保署公布的資料顯示^[18]，台灣2030年的INDC排碳目標相當於2005年的排碳量再減20%。
- (2) 此目標與南韓2030年的INDC(比2005年排碳量減5.8%*)相較，要嚴格許多。故現況下各部門的減碳負擔已比南韓沉重多多。

*1. 南韓環境部的資料顯示：2005年南韓的排碳量是569百萬噸^[19]。ICAP的資料說南韓2030年的INDC是536百萬噸^[20]，相當於2005年的排碳量減5.8%。

2. 亦可由南韓報給UNFCCC的INDC^[21]算出，南韓2030年的目標是536百萬噸。



- (3) 政府若以化石能源替代核電做為基載，由專業機構的生命週期評估可知^[22]，將造成基載之碳排放不減反增，並使台灣2030年的**INDC**更難實現。(與德國不同，而與孤島型電網的日本較接近)
- (4) 國際上非常注重排碳所造成的極端氣候，在2015年12月的巴黎氣候協定已生效，以及颱風及暴雨都顯著增加的情況下，對國際社會及全民將難以交代。
- (5) 以化石能源替代核電做為基載時，SO_x, NO_x, PM2.5亦將增加，對全民更難交代。



3. 電價與物價

- (1) 停用廉價的核電而代之以昂貴的液化天然氣*與再生能源時，在使用者付費的原則下，恐怕會像日本一樣造成平均電價大幅上升(國情與孤島型的日本較接近)，或者以其他方式由全民負擔。
- (2) 電價的上升勢必導致物價上漲。若此種情況發生，除了對人民(尤其對弱勢者)極為不利之外，也會降低企業的利潤及競爭力(在微利時代，電價及物價有其重要性)。

* 我國的天然氣需先液化及船運，無法像德國^[23]等用管路直接輸送，因而無法像用管路輸送一樣廉價(美國EIA曾比較液化及管路天然氣的外售價格^[24])。



4. 電力充足？

近日媒體之相關報導包括：

- (1) 經濟部長李世光於10月21日表示^[25]：「目前狀況會好過5月底的缺電危機，因為當下若發現供電吃緊，還可以稍微延遲歲修。」
- (2) 工商協進會理事長林伯豐於10月24日則表示^[26]：「若未來國內缺電，企業將採重油發電，恐會增加碳排放和發電成本，不符合經濟效益，只好歇業關廠或外移。」
- (3) 看來若廢除占台電發購電量~16%^[27]的核電，台灣的電力會更不足！

電力不足時

從誰先限電？



5. 經濟面

- (1) 對許多企業而言，電力不足造成的限電對競爭的殺傷力恐怕比電價、物價還大(因良品率會下降)，因而會增加產業出走*的風險。
- (2) 當碳足跡(carbon footprint)受國際重視時，台灣基載的排碳係數上升將使碳足跡不易降低。由於南韓及中國大陸的碳足跡都在下降中(因擴大極低碳的核電及再生能源)，對台灣的外銷頗為不利。
- (3) 有多少企業願到電力不足、碳足跡偏高且能源安全性不佳的國家來投資？

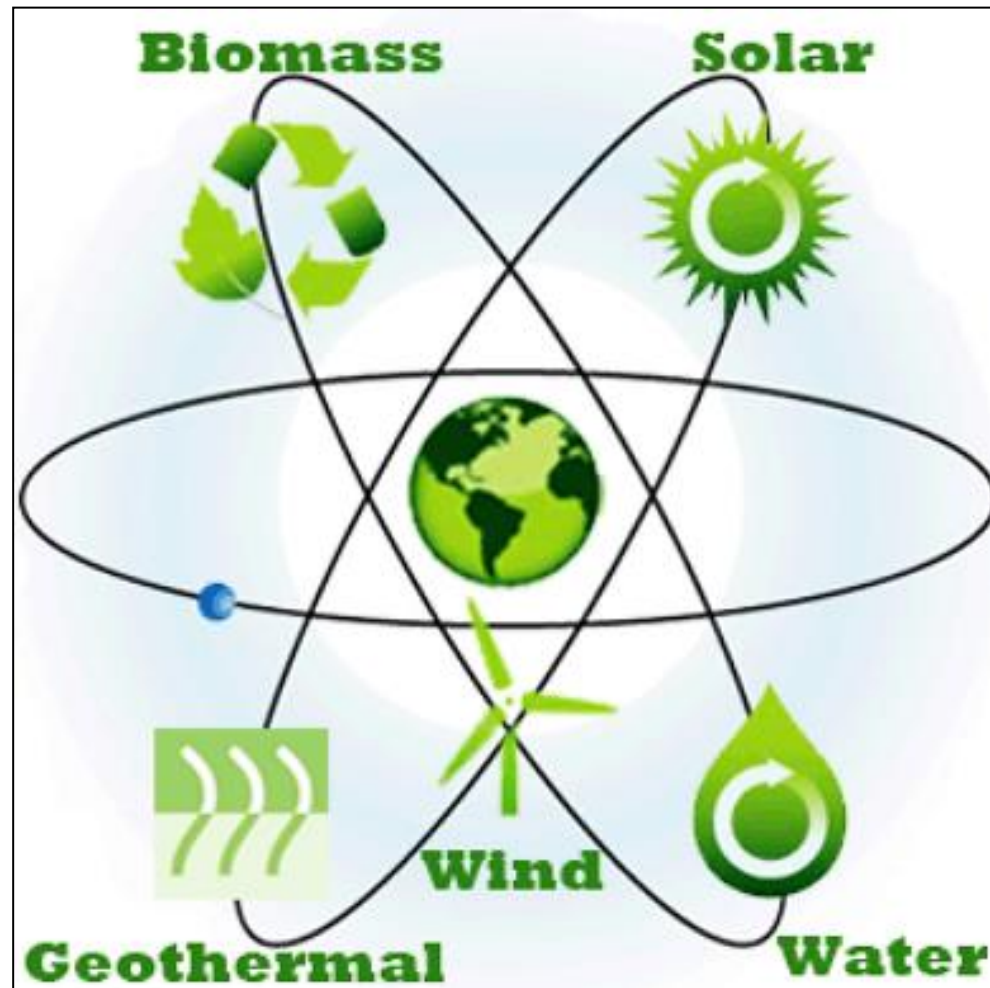
* 將形成碳洩漏(carbon leakage)而無助全球減碳，只是傷害了台灣的經濟。

6. 再生能源的發展

- (1) 再生能源的發展一般涉及政府的投資、補貼與電價。若政府的財務狀況不良，則對再生能源的投資與補貼會受影響。
- (2) 電價上漲的主要影響是節電(以價制量)。美國電價甚便宜，其政府所屬EIP對2040年的預測是再生能源將大幅成長(圖7,圖8)，故在成本及補貼(圖9^[16])考量之下，美國低電價的影響微小。
- (3) **IBT**(International Business Times)及**KT**(The Korean Times)均報導^[28,29]：南韓政府將於2020年之前投資366億美元*以推展再生能源，因此政府投資有其重要性。

* 約相當於11,500億台幣，接近四個核四已投資的費用。

(4)以昂貴的化石能源替代廉價的核電做為基載後，政府的財務狀況將較困難，對再生能源的發展恐怕是弊大於利(附件一有較詳細的分析)。



以上從能源安全、減碳與極端氣候、電價與物價、電力充足性、經濟面及再生能源發展的整體評估顯示，以化石能源替代核電做為基載，看來不是明智之舉。

Overall
Evaluation

陸、結論與建議

1. 本報告是以國家大局為重之理念，兼顧環保與工業界的立場，來探討核電的未來。

2. 德國及瑞典雖大力發展再生能源，但由其政府所發布的發電結構看來，穩定、乾淨而極低碳的核電仍佔相當比例。在巴黎氣候協定已生效之時極為重要。

3. 日本最有理由停用核電，但其執政黨還是選擇加強核電安全及恢復核電(在有爭議中)。此決定除了有多種考量外，應是基於其國會對福島核災獨立調查報告中所說的：福島核災是缺乏海嘯對策及對策未達國際標準所致。



4. 在臺灣核電安全及高階核廢料的去處則做了較深入探討。探討後認為，核一、二、三應比照美國絕大部分的核電廠延役至60年較有利(可符合廉價、減碳及空污等考量)。

5. 核四曾停工又復工，其商轉的安全風險與核一、二、三不同。應以就事論事的態度及尊重專業的程序澄清其安全問題。這在核四已封存，而應否由全民負擔已投資之~3,000億元*的關鍵時刻尤為重要。(因此筆者也提出一些個人的淺見)



穩健務實推動臺灣能源轉型
逐步降低核能依賴

6. 在台灣的國情下，當風電、太陽光電及其他再生能源還不能做為基載時，只能以化石能源替代核電。由多種比較後的整體評估看來(包括能源安全、減碳/極端氣候與空污、電價與物價、電力充足性、經濟面、及再生能源發展)，此種替代並非明智之舉。

7. 政府在決定核電政策時(包括核一、二、三應否延役，核四的安全風險澄清，以及應否以化石能源替代核電)，均應謹慎及周延。除了應整體評估之外，也應注意是否符合世代正義，以兼顧對年輕人的公平。

環境永續 世代正義

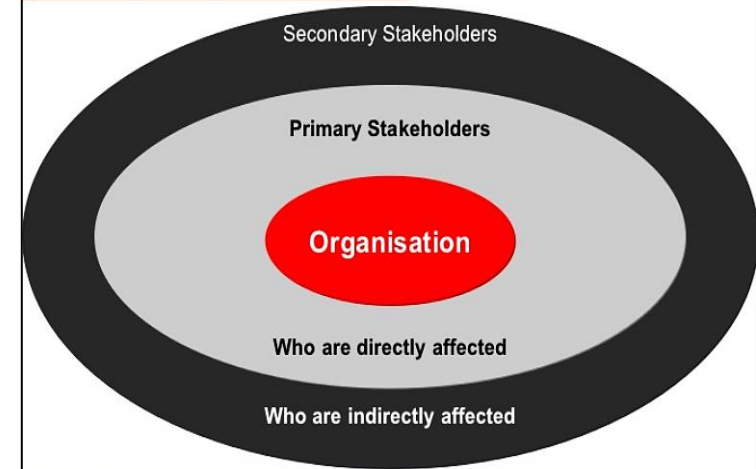
ECU TAICHUNG



8. 世代正義 包括核電安全、高階核廢料、能源安全、減碳/極端氣候與空污、電價與物價、電力充足性、經濟面以及再生能源的發展等之 整體考量。由以上的探討可知，核一、二、三延役及核四安全風險的釐清，應也符合世代正義的考量。

9. 政府的決定及原因應告知 媒體 及 人民 (主要的 利害關係人，primary stakeholder)。除可符合民主社會 人民知的權利 外，也較能落實 政府為人民服務 的理念 (在民主社會下，政府是最大的 服務業)

Stakeholders – Primary & Secondary





孟子曰：民为贵，
社稷次之，君为轻。

——《孟子·尽心下》

得民心者得天下，
失民心者失天下。

——民为贵

權力
是為服務

吳智勳神父主日反省



簡報結束！

歡迎討論！

附件一：再生能源的發展 與核電



以下就以一些問答來釐清以化石能源替代核電後對再生能源發展的差異：

Q1: 再生能源的發展是否涉及政府的財務狀況？

A1: 再生能源需要大量的設備投資，這些投資恐須由政府帶頭。若政府的財務狀況不良，將不利於再生能源的發展*。

* 國際商業時報(International Business Times)及韓國時報(The Korean Times)均報導^[28,29]：南韓政府將於2020年之前投資366億美元於再生能源的發展(366億美元約等於11,500億台幣，接近四個核四已投資的費用)。

Q2:再生能源的發展是否涉及政府的補貼？

A2:各國均是，尤以太陽能為然。所以政府的財務狀況更重要。(圖9^[16]為美國政府對太陽能的補貼)

Q3: 核電可否改善政府的財務狀況？

A3: (1)快速停止廉價的核電後，只好以昂貴的液化天然氣替代，成本將大幅上升，故平均電價理應大幅上漲(像日本福島核災後一樣)。

(2)以台灣目前的狀況，所增加費用之一部分恐需政府負擔，政府財務狀況吃緊可以預期。

(3)若基載仍維持廉價的核電，確可大幅改善政府的財務狀況。

圖9^[16]:美國政府所屬EIA對新設電廠能源成本的估計(2015.06)

Table 1. Estimated levelized cost of electricity (LCOE) for new generation resources, 2020

Plant Type	Capacity Factor (%)	Levelized Capital Cost	U.S. Average Levelized Costs (2013 \$/MWh) for Plants Entering Service in 2020 ¹			Total System LCOE	Subsidy ²	Total LCOE including Subsidy
			Fixed O&M	Variable O&M (including fuel)	Transmission Investment			
Dispatchable Technologies								
Conventional Coal	85	60.4	4.2	29.4	1.2	95.1		
Advanced Coal	85	76.9	6.9	30.7	1.2	115.7		
Advanced Coal with CCS	85	97.3	9.8	36.1	1.2	144.4		
Natural Gas-fired								
Conventional Combined Cycle	87	14.4	1.7	57.8	1.2	75.2		
Advanced Combined Cycle	87	15.9	2.0	53.6	1.2	72.6		
Advanced CC with CCS	87	30.1	4.2	64.7	1.2	100.2		
Conventional Combustion Turbine	30	40.7	2.8	94.6	3.5	141.5		
Advanced Combustion Turbine	30	27.8	2.7	79.6	3.5	113.5		
Advanced Nuclear	90	70.1	11.8	12.2	1.1	95.2		
Geothermal	92	34.1	12.3	0.0	1.4	47.8	-3.4	44.4
Biomass	83	47.1	14.5	37.6	1.2	100.5		
Non-Dispatchable Technologies								
Wind	36	57.7	12.8	0.0	3.1	73.6		
Wind – Offshore	38	168.6	22.5	0.0	5.8	196.9		
Solar PV ³	25	109.8	11.4	0.0	4.1	125.3	-11.0	114.3
Solar Thermal	20	191.6	42.1	0.0	6.0	239.7	-19.2	220.6
Hydroelectric ⁴	54	70.7	3.9	7.0	2.0	83.5		

Q4: 電價對再生能源的發展有何影響？

A4:(1)美國的電價便宜，但由圖7,8,9看來，在美國政府補貼及成本考量之下，並未影響其太陽能之大幅提升。

(2)昂貴的電價對節電之影響較為直接(以價制量)，但對再生能源的發展(例如太陽能)，似不若政府的財務問題顯著。

Q5: 核電是否有助於再生能源的發展？

A5:昂貴的電價對政府的財務狀況不利，對再生能源的發展恐怕是弊大於利。故廉價的核電確實有助於政府的財務問題及再生能源的發展。

附件二：2015年歐盟風電協會的統計



Wind in power
2015 European statistics

圖11：歐盟風電協會的統計--以陸上風電為主，但離岸風電逐年上升。2015年時離岸風電占~24% (圖11)^[30]。

FIGURE 11: ANNUAL ONSHORE AND OFFSHORE INSTALLATIONS (MW)



附件三：他山之石

CAT(Climate Action Tracker)簡要報導了主要國家的減碳目標、政策。筆者並以WNA的資料討論這些國家對核電的展望。

他山之石

可以攻錯

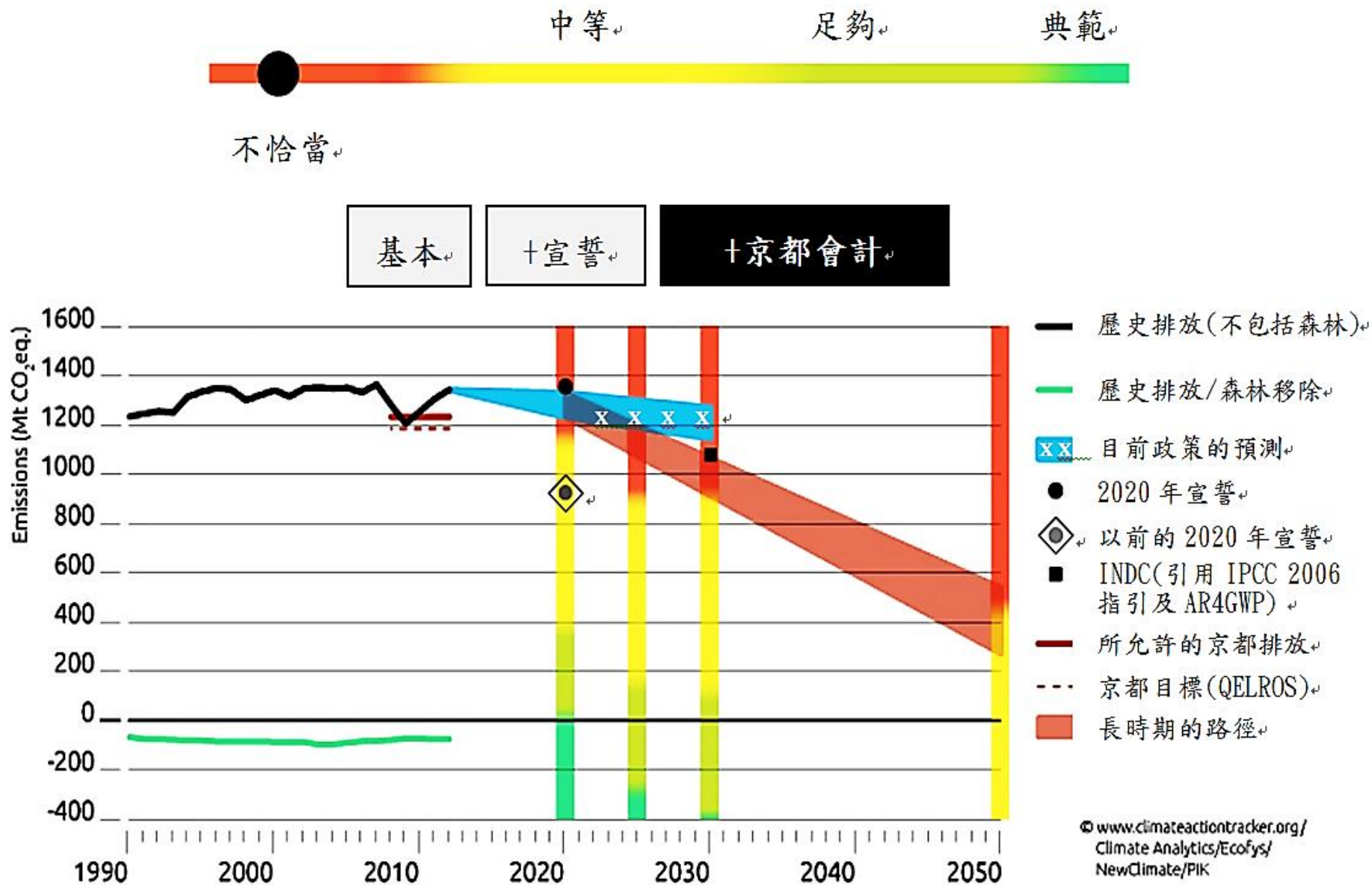
CAT (Climate Action Tracker)評估了世界各國的減碳目標及狀況，對主要國家的重點如下：

1. 日本

- (1) 日本2011年的福島核災導致核電廠逐漸停擺，因此排碳量明顯升高。
- (2) 因無法達到2020年宣誓(pledge)的排碳目標，以致**CAT**對日本減碳的評價有重大改變：由中等變成不恰當。
- (3) 日本雖已逐漸恢復核電(有助於減碳)，但2030年的**INDC***排碳目標還是在不恰當的範圍，且仍較2020年的宣誓為高(圖12^[31])。

* **INDC**代表Intended Nationally Determined Contribution。

圖12：CAT所列日本的減碳狀況(2015.07.22)^[31]。



- (4) WNS(世界核能協會, World Nuclear Association)的資料^[32]與美國政府所屬**EIA** (Energy Information Administration)^[33]相似，都顯示現在的日本有>90%的一次能源須靠國外。
- (5) WNS 2016年11月的資料中，對日本福島核災前後的政經情勢、媒體意見、民意調查及核電狀況有較詳細的敘述。
- (6)此種敘述顯示，日本雖已逐漸恢復核電^[32]，但各界對是否恢復核電頗有爭議*。

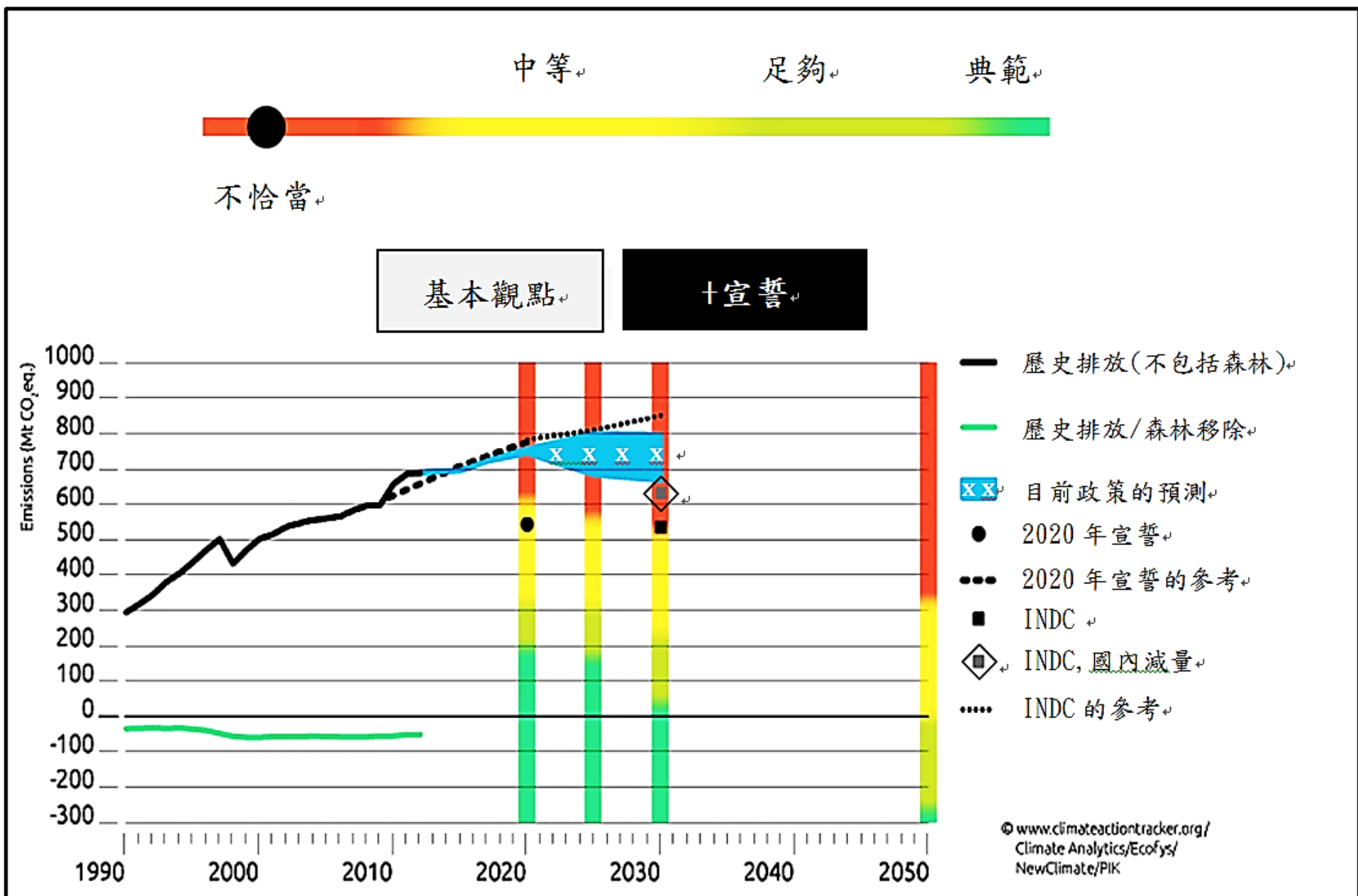
* 筆者認為，日本執政黨會非常重視減碳的國際責任與能源安全(因而想恢復核電)，有些地方及民眾則未必。

2.南韓

- (1) **CAT**的評估顯示，南韓2020年的減碳目標屬於中等(圖13^[34])。
- (2) 2030年的INDC僅稍低，評價變成不恰當*。
- (3) 南韓「目前政策的預測」及「INDC, 國內減量」也均在不恰當的範圍。

* **CAT**的報導與 ICAP(International Carbon Action Partnership) ^[19]相似，也與南韓政府報至 **UNFCCC**的2030年INDC ^[20]相符。

圖13：CAT所列南韓的減碳狀況(2015.07.02)^[34]。



- (5) WNS(世界核能協會)於2016年10月的資料顯示^[35]，南韓目前的電力來自25個核子反應爐(23百萬瓩容量*)；
- (6) 在2029年之前，南韓計劃要將核電容量上升至38百萬瓩(約增加70%)；
- (7) **圖13**的「INDC, 國內減量」應該包括國內未來大幅擴展核電及再生能源^[36]在內。

* 核一、二、三共有
5.144百萬瓩容量，核
四設計值為2.7百萬瓩
容量。



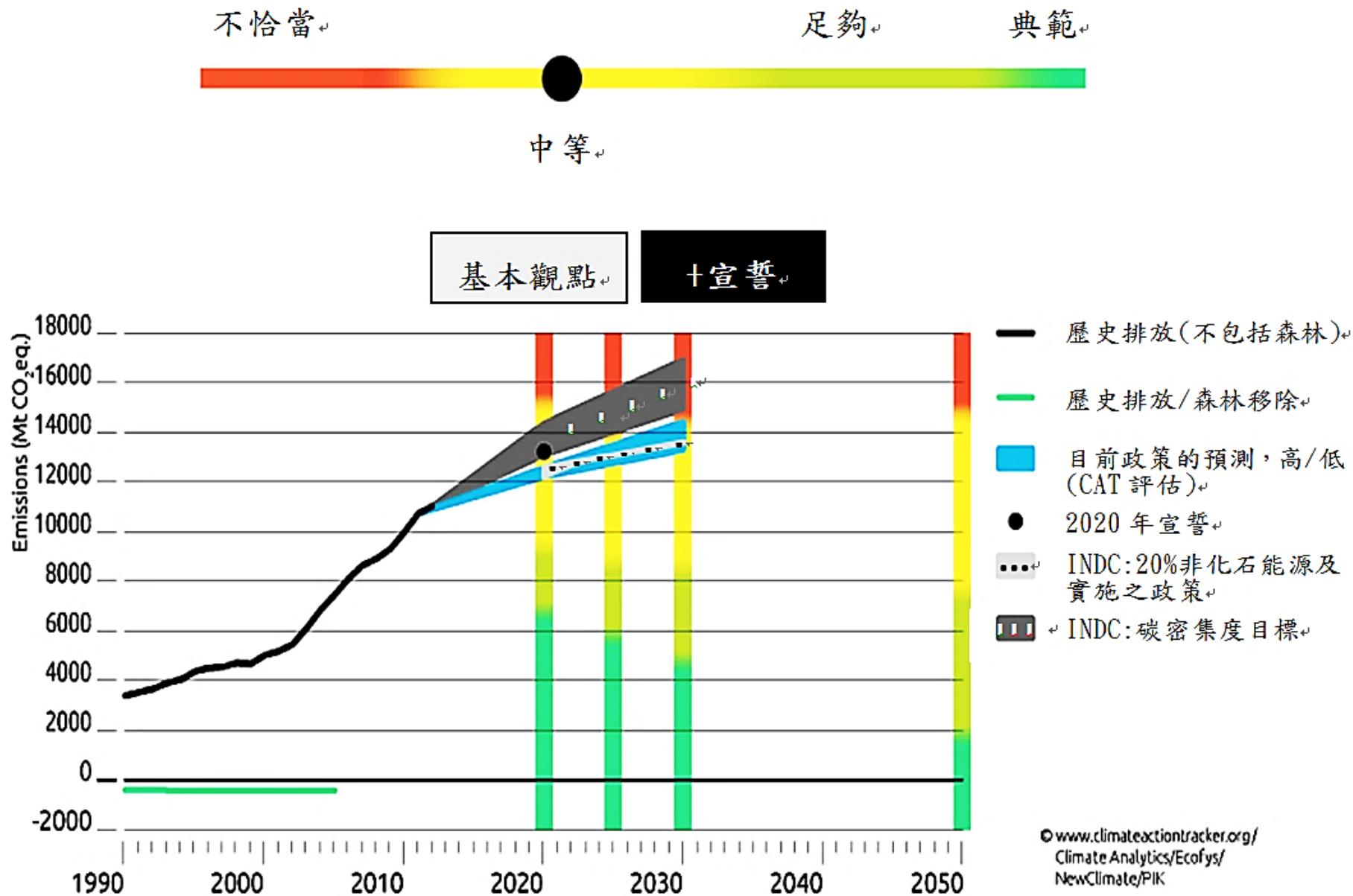
3. 中國大陸

(1) 中國大陸2020年的排碳目標僅靠碳密集度*已被CAT評為中等(圖14^[37])。

(2) 但中國大陸2030年還需再加上「20%非化石能源政策」的實施才能進入中等的範圍。

* 碳密集度為碳排放量除以GDP (Gross Domestic Product)。

圖14：CAT所列中國大陸的減碳狀況(2015.11.26) [37]。



(3)世界核能協會2016年11月的報導^[38]如下：

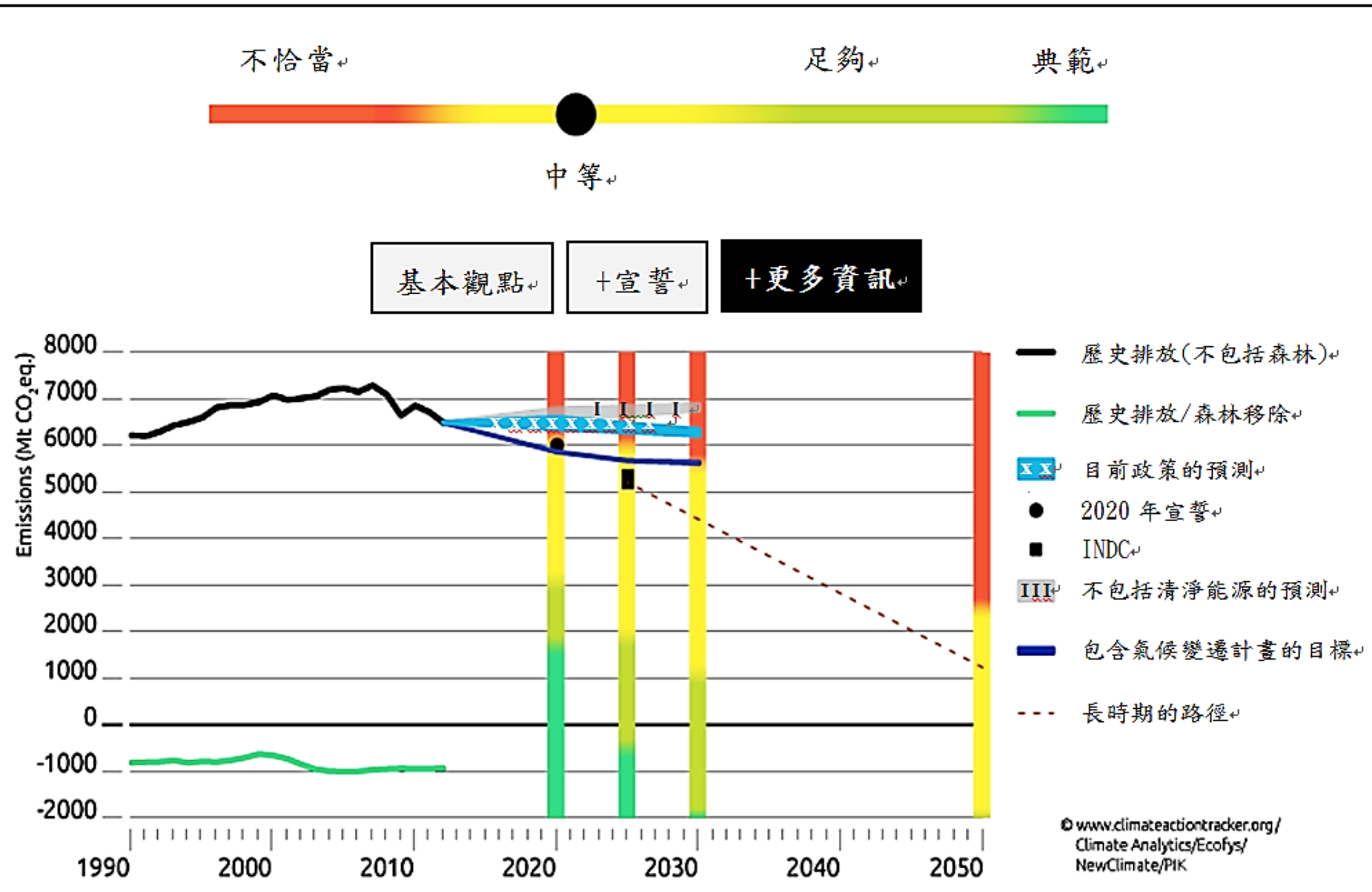
- 中國大陸目前在運轉中的核子反應爐有35個(20個在建造中)；將於2020至2021年至少達到58百萬瓩容量(2倍於目前)。
- 2030年之前核電的容量將達到150百萬瓩。
- 2050年之前會有更多的核電廠加入。

(4)故圖14所說中國大陸的「20%非化石能源政策」中，核電及再生能源均將扮演重要角色。



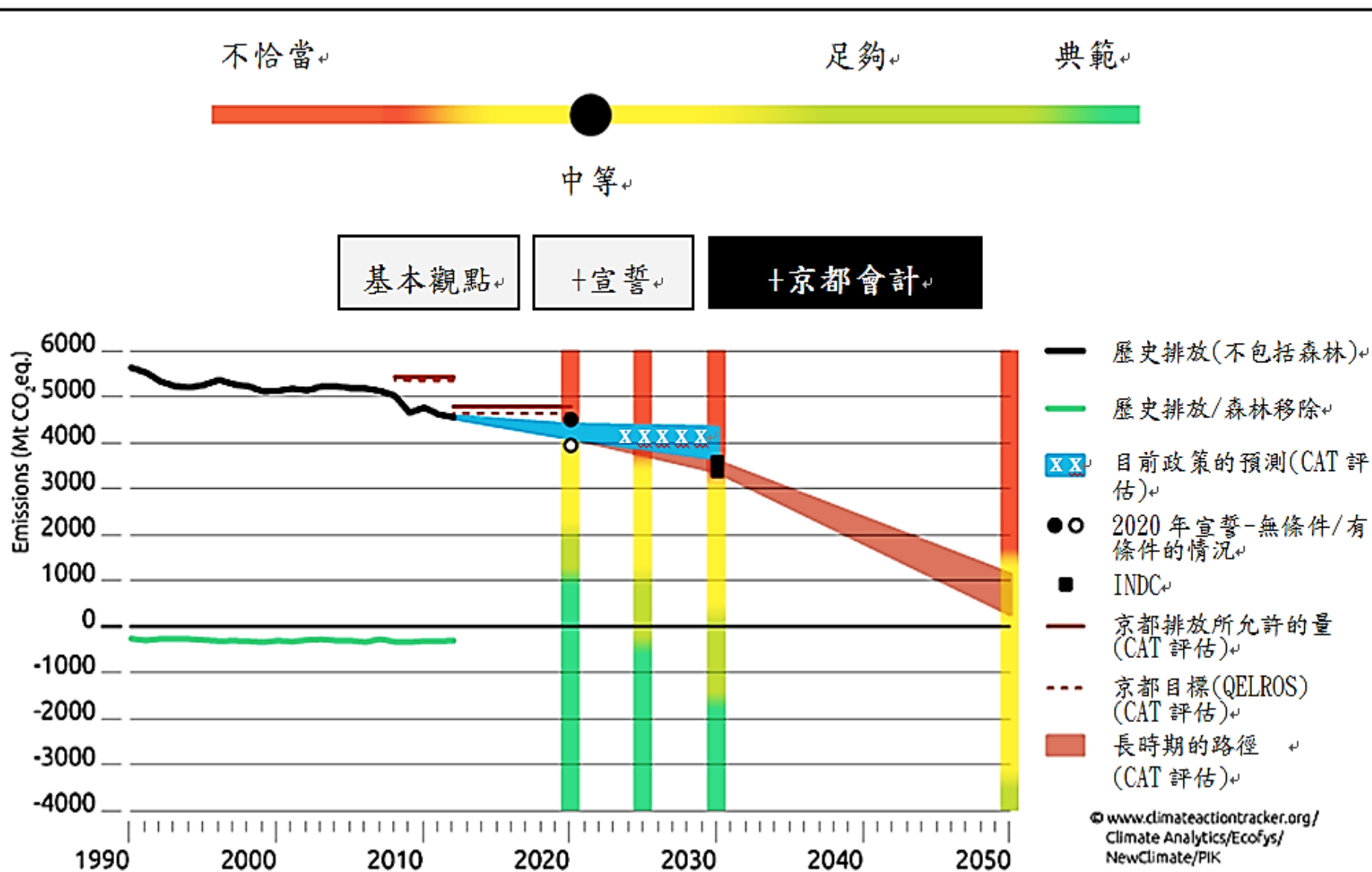
4. 美國

圖15：CAT所列美國的減碳狀況(2015.09.04)^[39]。



5. 歐盟

圖16：CAT所列歐盟的減碳狀況(2016.04.07) [40]。



參考資料：

- [1] 1040428國民黨立法院黨團座談會「溫室氣體管理立法」，
<https://www.youtube.com/watch?v=ixKbsIK0Gag>
- [2] 德國聯邦統計局 (Statistisches Bundesamt)在網站上的公布：Gross electricity production in Germany from 2013 to 2015 (2016.08.02),
<https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/EconomicSectors/Energy/Production/Tables/GrossElectricityProduction.html>
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia, Renewable energy in Germany (2016.09), https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_Germany,
9. Statistics
- [4] Reuters(路透社)報導 - 德國關閉燃煤電廠並擴建電網(2015.07.01) ,
<http://www.reuters.com/article/2015/07/02/us-germany-energy-coal-idUSKCN0PC02P20150702>
- [5] 瑞典能源局(Swedish Energy Agency)在網站上的公布(2015.10.01)：
You can now read Energy in Sweden - Facts and Figures 2015,
<http://www.energimyndigheten.se/en/news/2015/you-can-now-read-energy-in-sweden---facts-and-figures-2015/> Energy in Sweden 2015檔案
中之6.2

- [6] Wikipedia, the free encyclopedia, Energy in Sweden (2016.10), https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_in_Sweden, Sweden has wind power potential of 510 TWh/a at land and 46 TWh/a at sea.
- [7] International Energy Agency (IEA), Energy Policies of IEA Countries: Japan 2016的摘要(2016.09.30) , http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-policies-of-iea-countries-japan-2016_9789264265868-en;jsessionid=bbsffafht5e11.x-oecd-live-02
- [8] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), U.S., http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tsunami/images/tsu_source_full.jpg , 美國政府所屬NOAA 網站顯示：由西元前1650年至西元後2010年的地震及海嘯日本比台灣嚴重得多(海嘯的英文就是來自日本發音)。
- [9] 德國VGB 電力技術(2011.07.25) , Earthquake and Tsunami on March 11 2011 in Japan and Consequences for Fukushima and other Nuclear Power Plants, <https://www.vgb.org/vgbmultimedia/FukISARJuli2011engMohrbach.pdf> 第2-3頁。
- [10] 美國核能學會(ANS, American Nuclear Society, 2011.06) , 日本2011年3月11日本東北大地震後對三個地點之核電廠的調查報告：http://fukushima.ans.org/inc/Fukushima_Appendix_E.pdf 第1-2頁。

- [11] The Guardian的報導(2011.03), Onagawa: Japanese tsunami town where nuclear plant is the safest place, <http://www.theguardian.com/world/2011/mar/30/onagawa-tsunami-refugees-nuclear-plant>
- [12] 日本國會(National Diet)的獨立調查報告(2012, 英文版), The official report of The Fukushima Nuclear Accident, Independent Investigation Commission, http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/wp-content/uploads/2012/09/NAIIC_report_lo_res10.pdf。Executive summary 第27, 28頁小標題為: [The lack of tsunami countermeasures](#) 及 [Countermeasures not up to international standards](#).
- [13] 世界核能協會(WNA)對美國核電的報導(20106.12): <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-power.aspx>, 在Licence Extensions and Regulation談到「在2016年11月以前, 87%的核電廠已延役至60年」以及「幾乎所有的美國核電廠均將延役至60年」。
- [14] 美國政府所屬 EIA (2016.08), Annual Energy Outlook 2016 with Projections to 2040, [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2016).pdf), 第111頁Fig. MT-30~31顯示, 在2020年之前美國有新增加的核電裝置容量。
- [15] *ibid*, 由第109~110頁之Fig. MT-28~29 EIA對核電的預測可知, 美國至2040年「核電的裝置容量持平而略升」應是核電廠延役所致。 75

- [16] 美國政府所EIA對2020年各種能源之發電成本的估計(2015.06) ,
https://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo15/pdf/electricity_generation_2015.pdf , 第6頁表一 , Estimated levelized cost of electricity (LCOE) for new generation resources, 2020
- [17] Nuclear Power, The Bright Future of Nuclear Power (2016.04),
<https://the-gist.org/2016/04/the-bright-future-of-nuclear-power/> , 取自
http://hamaoka.chuden.jp/english/resource/n-power/cycle_img_01.gif
- [18] 行政院環境保護署：節能減碳政策(2016.09.29)中之「呼應全球減碳行動，分攤地球村責任」：
<http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=9958&ctNode=31350&mp=epa>
- [19] South Korea, Ministry of Environment, Greenhouse Gas Reduction Goals and Statistics (2015.06),
<http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=204&findDepth=1>
- [20] International Carbon Action Partnership (ICAP), Korea Emissions Trading Scheme (2016.09), ETS Detailed Information,
https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=47 第1頁下面。
- [21] 南韓政府報至UNFCCC的2030年INDC,
<http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Republic%20of%20Korea/1/INDC%20Submission%20by%20the%20Republic%20of%20Korea%20on%20June%202030.pdf>

- [22] COMPARISON OF ENERGY SYSTEMS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (2004): https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB_Comparison_of_Energy_Systems_using_lifecycle_2004_WEC.pdf, 第4頁Figure B1及B2以生命週期評估的結果
- [23] 美國政府所屬 EIA (2016.08), International Analysis, Germany, <http://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=DEU>, 在Natural Gas說到“Germany has no liquefied natural gas (LNG) terminals, but is well connected to much of the rest of Europe via natural gas pipelines.”
- [24] ibid, Natural Gas Summary, USAnnual, http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_sum_lsum_dcu_nus_a.htm, 美國2010-2015年之年度數據顯示，天然氣液化後輸出之價格為以管路輸出的2至3倍以上。
- [25] ET Today, 東森新聞雲(2016.10.21)：「下周秋老虎來襲 李世光：供電吃緊可延遲歲修」，
<http://www.ettoday.net/news/20161021/797268.htm>
- [26] 聯合財經網(2016.10.24)：「缺電怎辦？等嚙政府答案」，
<http://money.udn.com/money/story/5612/2043786>
- [27] 民國104年核能發電約占台電系統發購電量的16%，
http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-c37.aspx?LinkID=13

- [28] The Korea Times, “S. Korea to invest 42 trillion won in renewable energy industry by 2020” (2016.07.05), http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2016/07/116_208613.html
- [29] International Business Times, “South Korea To Invest \$36 Billion In Renewable Energy By 2020” (2016.07.05), <http://www.ibtimes.com/south-korea-invest-36-billion-renewable-energy-2020-2389326>
- [30] The European Wind Power Association, Wind in Power, 2015 European Statistics (2016.02), <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>
- [31] **CAT**(Climate Action Tracker)網站對日本減碳的報導(2015.07.22), <http://climateactiontracker.org/countries/japan.html>
- [32] 世界核能協會(WNA)對日本核電的報導(20106.12)：<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx> 顯示日本已有兩座核電廠分別在2015年8月及10月重新啟動。
- [33] 美國政府所EIA對日本的分析中說到：日本自2012年以後可能只有<9%的一次能源來自國內，
<https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=JPN>

- [34] **CAT**網站對南韓減碳的報導(2015.07.02，但沒有台灣),
<http://climateactiontracker.org/countries/southkorea.html>
- [35] 世界核能協會(WNA)對南韓核電的報導(20106.10)：
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-korea.aspx>
- [36] Korea Energy Agency (2015), Renewable Portfolio Standards (RPS),
http://www.energy.or.kr/renew_eng/new/standards.aspx
- [37] **CAT**對中國大陸減碳的報導(2015.11.26),
<http://climateactiontracker.org/countries/china.html>
- [38] 世界核能協會(WNA)對中國大陸核電的報導(2016.11)：
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>
- [39] **CAT**網站對美國減碳的報導(2016.11.02),
<http://climateactiontracker.org/countries/usa.html>
- [40] **CAT**網站對歐盟減碳的報導(2016.11.02),
<http://climateactiontracker.org/countries/eu.html>