

指向核能復興之羅盤(二十九)

早日與印度簽署核能協定 與親日的印度合作

作者：水町涉

IAEA, NEA ISOE委員會副主席[下一任(第七任)主席]

譯者：石門環

行政院原子能委員會技正

日文原文刊載於2006年7月ENERGY雜誌

印度與美國合作發展核能

在上一期文章中介紹德國的努力成果，後來德國的重要閣員正式發表修正原來脫離核能的政策。5月下旬再度訪問德國，出席OECD/NEA主辦的運轉經驗回饋國際會議，再度發現德國核能界努力的狀況。此次連載則對老早就想介紹的印度核能現況作一彙整說明。

印度在第2次世界大戰以後，因為和巴基斯坦爆發戰爭，因而進行原子彈實驗，拒絕加入禁止核子擴散條約（NPT），世界各國，特別是日本，對印度瞬時冷漠，這種狀態一直持續到現在。

但是，美國布希總統3月訪問印度，與辛恩總理舉行首腦會談，雙方同意「合作發展核能」。美國國內則對印度沒有簽署禁止核子擴散條約大加撻伐，在此風暴之中，布希總統可說是強力堅持與印度合作。但是，印度終究同意「核能的民用與軍用分離」及「2014年以前接受IAEA對民用設施的視察」，並以此作為雙方合作發展的前提。根據雙方的協定，美國可以提供印度民生用的核燃料與核能技術。

日本因印度非屬禁止核子擴散條約簽約國，目前對印度是全盤否定。但是，世界在急遽變化中，不只是美國，中國、俄羅斯也對與印度簽署合作協定積極展開行動，日本是不是也應該放眼未來，與印度締結核能合作協定，值得深思。

印度15部核電機組運轉中

圖1為印度的核子設施所在位置，目前有15部核能機組運轉中，總裝置容量約326萬瓩，其中重水式反應爐PHWR 13部機，BWR 2部機。另有8部機組正興建中，總裝置容量342萬瓩，其中5部機組為重水式反應爐PHWR，2部機組為俄羅斯型

VVER，以及FBR 1部機，圖2為印度核電機組一覽表。

根據國營的印度核能發電公司（NPCIL: Nuclear Power Corporation of India）說法，該公司訂定的方針為2020年以前擴充核能發電容量至4000萬瓩，此一積極的擴大核電計畫如下。

重水爐 PHWR 1000萬瓩（70萬瓩級8部機已計畫完成）

輕水爐 LWR 2800萬瓩（VVER 100萬瓩級2部機興建中，100~160萬瓩級20~25部機）

快滋生爐 FBR 200萬瓩

印度核能發電公司列舉這些反應爐較有希望的邀標廠家為美國奇異公司、西屋公司、法國亞瑞華（AREVA）公司、EDF公司等，總金額達4兆日圓以上。

除了以上15部核電機組以外，如圖1所示，研究用反應爐、再處理工廠、鈾濃縮設備、重水製造設備等遍佈全國各地。

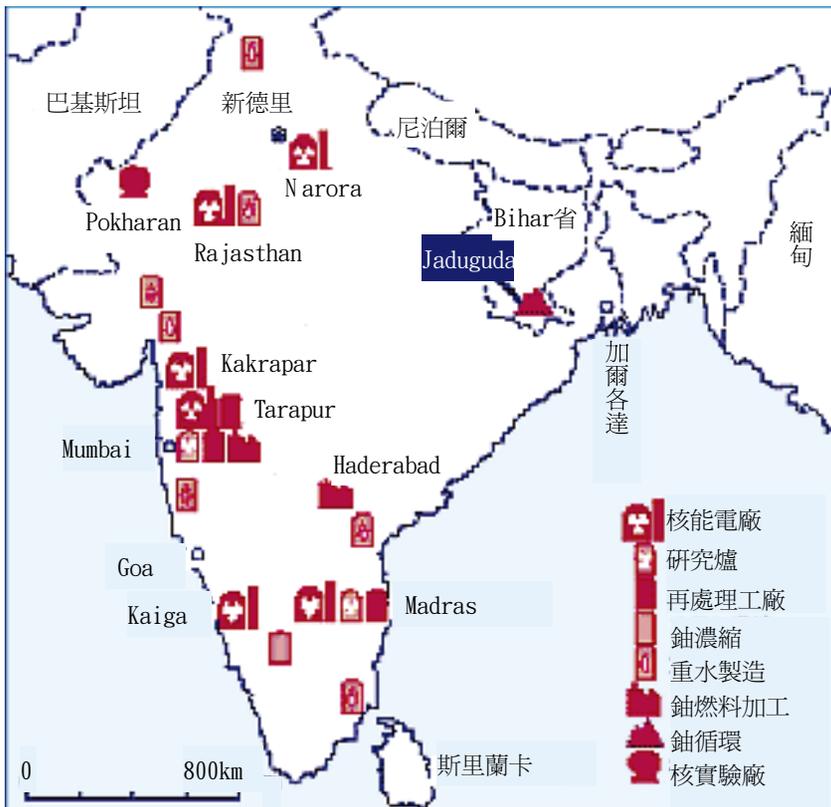


圖1 印度的核子設施

名稱	略稱	型式	電力出力 Mwe	運轉開始 或預定	反應爐 製造者	備註 (進度)
Tarapur 1	TAPS-1	BWR	160	1969/10	美國GE製	
Tarapur 2	TAPS-2	BWR	160	1969/10	同上	
Tarapur 3	TAPS-3	PHWR	500	2007/1	印度國產	(2003/8:76%)
Tarapur 4	TAPS-4	PHWR	500	2006/4	同上	(2003/8:76%)
Rajasthan 1	RAPS-1	CANDU	100	1973/12	加拿大GE製	
Rajasthan 2	RAPS-2	CANDU	200	1981/4	印度國產	
Rajasthan 3	RAPS-3	PHWR	220	2000/6	同上	
Rajasthan 4	RAPS-4	PHWR	220	2000/12	同上	
Rajasthan 5	RAPS-5	PHWR	220	2007/8	同上	(2003/8:21%)
Rajasthan 6	RAPS-6	PHWR	220	20008/2	同上	(2003/8:20%)
Madras 1	MAPS-1	PHWR	170	1984/1	同上	
Madras 2	MAPS-2	PHWR	170	1986/3	同上	
Narora 1	NAPS-1	PHWR	220	1991/1	同上	
Narora 2	NAPS-2	PHWR	220	1992/7	同上	
Kakrapar 1	KAPS-1	PHWR	220	1993/5	同上	
Kakrapar 2	KAPS-2	PHWR	220	1995/9	同上	
Kaiga 1	KAIGA-1	PHWR	220	2000/11	同上	
Kaiga 2	KAIGA-2	PHWR	220	2000/3	同上	
Kaiga 3	KAIGA-3	PHWR	220	2007/3	同上	(2003/8: 33%)
Kaiga 4	KAIGA-4	PHWR	220	2007/9	同上	(2003/8: 33%)
Kudankulam 1	RB-1	VVER-1000	1000	2007	俄羅斯核能 輸出公司製	(2002/3開工)
Kudankulam 2	RB-2	VVER-1000	1000	2008	同上	(2002/3開工)

圖2 印度的核能電廠

印度第16部機Tarapur 3號機初次臨界

印度核能發電公司發布新聞表示，5月21日Tarapur 3號機（54萬瓩的PHWR）已達初臨界。此機組由印度核能發電公司所設計、製造，為印度的第16部機，比預定日程提早兩個月達成初臨界，預定2007年1月開始運轉。

另外，2005年9月印度政府核准興建4座核能電廠，新設核電廠位於以下4個省。

西部的馬哈拉修特拉省

西部的古加拉特省

南部的塔米爾（那道省）

西北部的拉加斯坦省

2020年印度能源消費將成長3倍

圖3為1980年至2020年東亞各國能源消費的演變，由圖中可知日本的能源消費量換算石油為5億噸，至2020年大致維持一定。印度現在為3億噸，至2020年將成長3倍，變成9億噸，超越日本近2倍。中國則從目前的9.3億噸至2020年成長2倍，變成18.5億噸。

日本、韓國、中國等3個國家在1980年占世界的13.4%，預測至2020年將占21.5%，若包括印度在內，則約占世界的3分之1。

印度人口在2005年為10.8億人，約日本的10倍，因此到2020年，即使能源消費成長2倍，但以平均每人消費量比較，約為日本的5分之1，還有相當大的成長空間。

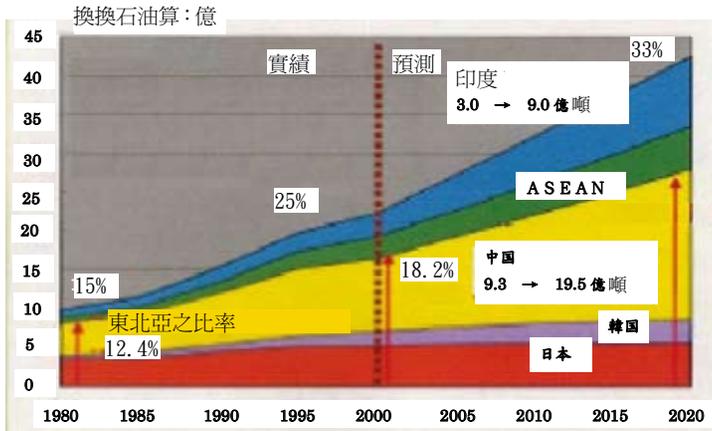


圖3 東亞之能源消費演變

容量因素達90%

圖4為印度核能發電的演變，1997年為98億度，5年後的2002年成長2倍，為192億度。

圖5則為容量因素，1997年為73%，5年後的2002年大幅成長到90%，印度在核能方面的努力狀況也是一目瞭然。

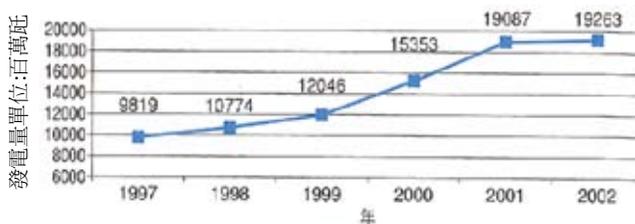


圖4 印度核能發電之演變

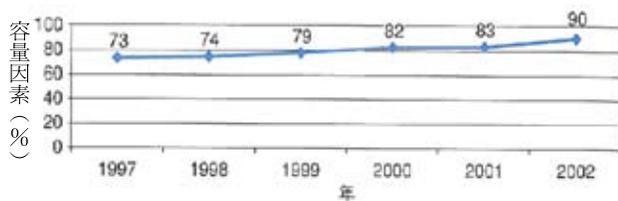


圖5 印度核能電廠容量因素之演變

印度為核能的先進國－鈾循環

印度在建國之後，立即著眼核能，訂定長期計畫，並致力於研究、開發、以及實用化。

特別令人矚目的是發展鈾的循環，這是考慮到其國內的鈾資源，以及遠比鈾更為豐富的鈾資源的有效利用，基本上分成以下3個階段。

第1階段為天然鈾重水爐的運轉，將用過燃料再處理、產生鈾，第2階段則將鈾使用於重水爐及快滋生式反應爐，照射鈾，生產鈾233，並在第3階段確立鈾循環。

像這樣以合理的方針為基礎，並在相當早的時期就著手快滋生反應爐的研究。

布希總統與辛恩總理的思慮

本文一開始談及2006年3月布希總統訪問印度，在此再度對雙方同意合作發展核能稍作詳細說明。

這是肇始於2005年7月18日布希總統與辛恩總理所發表的共同聲明。在此聲明中，印度同意民生用與軍民用分離，運轉中及興建中的熱中子反應爐的3分之1置於IAEA的保障措施之下。另外，為回報印度採行此一連串的禁止核子擴散措施，美國承諾擴大與印度的核能交易。

具體而言，以印度運轉中及興建中的22部熱中子反應爐機組中的14部機為對象，目前禁止IAEA視察官進入的8部機組決定對IAEA開放。另外，運轉中的4部機組，亦即Tarapur及Rajasthan核能電廠亦置於保障措施之下，正由俄羅斯興建2部機組的Kudankulam核能電廠也同意適用保障措施。

絕大多數的新聞媒體均報導兩位首腦的思考方向就是對中國崛起、邁向軍事、經濟大國的一種壓制作用。

愛因斯坦也對印度讚不絕口

核能始祖的愛因斯坦曾說過：「現在我們所擁有的要歸功於印度人教導我們數量的算法，如果沒有這些計算法，就不會有往後一些重要的科學發現」。

這就是印度所發明的數字上“零”的概念及十進位法，另外Budhayana算出圓周率 π ，其他如地球環繞太陽一周的時間為365.25875684天也是第5世紀時印度人算出

來的。

另外，印度是世界上最早推廣鑽石的國家，1896年以前，印度是鑽石的唯一供給國，這一點亦頗令人意外。

像這樣與我們相當密切的東西都是印度發明的，印度實在是科學的先進國家，現在在IT領域也相當活躍。雖說NPT至上主義也不錯，但如果觀察一個國家的政策，就可知道印度是愛好和平的國家，也是對日本友好的國家。

與印度改善關係

印度不是禁止核子擴散條約（NPT）的加盟國家，日本在核能方面也沒有和印度保持關係。

就筆者個人而言，雖然為數不多，但也有一些印度朋友，他們全都是親日家、據說印度獨立之父甘地對黃種人的日本打敗白種人的俄羅斯此一事實相當感動，並確信「印度也可以」，就此意義而言，日本受到相當高的評價，所以印度有很多親日家。

在美國之後，中國、俄羅斯也對與印度合作發展核能相當積極，不能獨有日本落後。我們應該重新思考，修正NPT至上主義，從更長遠的立場與印度合作，對我們而言，在快滋生反應爐及鈾循環等技術，印度有很多值得學習之處。

印度在不久的未來即將成為世界上人口最多的國家，對我們而言，也是重要的國家。

核能對環境友善，又是供給大量能源的唯一手段，印度對發展核能相當熱心，為解決印度的能源問題，建立友好關係是相當重要的。



希希總統與辛恩總理同意合作