

## インドの原子力発電計画と核燃料サイクルの見通し

2006.7.4

日本原子力研究開発機構

戦略調査室 小林孝男

最近、「米印原子力協力合意」に関するニュースが注目されているところであるが、急速な拡大が予想されるインドの原子力発電計画に対して、インドの核燃料サイクル（主にフロントエンド）の現状と今後の見通しはどうなっているのだろうか。簡単にまとめてみた。

### 1. 原子力発電計画

#### <現状>

インドでは現在、15基の小型～中型の原子力発電所が運転中\*<sup>1</sup>（表1）である。しかし、合計3.09GWeの発電容量は、2004年のインドの発電容量110GWeの2.8%を占めているに過ぎない（WNA Website,2006/5）。

\* 1：上記の他、2006年6月15日には0.49GWeのTarapur 3が送電網に連結され、7月から運転開始されることになっている。

表1 インドの運転中の原子力発電プラント

Reactor	Type	MWe net, each	Start
Tarapur 1 & 2	BWR	150	1969
Kaiga 1 & 2	PHWR	202	1999-00
Kakrapar 1 & 2	PHWR	202	1993-95
Kalpakkam 1 & 2 (MAPS)	PHWR	202	1984-86
Narora 1 & 2	PHWR	202	1991-92
Rawatbhata 1	PHWR	90	1973
Rawatbhata 2	PHWR	187	1981
Rawatbhata 3 & 4	PHWR	202	1999-00
Tarapur 4	PHWR	490	2005
<b>Total (15)</b>		<b>3087 MWe</b>	

運転開始年は商業運転開始時

出典：WNA Website, 2006/5

現存する発電プラントの大半は、カナダ AECL とインドの NPCIL（Nuclear Power Corporation of India Ltd）が共同開発した加圧水型重水炉（PHWR）であり、濃縮ウランを必要としない。共同開発した1基目のRawatbhata 1以外はすべてNPCILの国産技術である。

Tarapua 1 & 2のみは、NPT 発効以前にG Eが建設したもので、IAEA の安全保障措置の下で、輸入濃縮ウラン（ロシアから輸入）を使用している。

<現在～2010 年までの建設計画>

前述の Tarapur 3 を含め、合計 8 基が建設中であり、2010 年までに商業運転を開始する予定である。このうち 5 基の PHWR および 1 基の FBR は自主技術によるもので、これらは濃縮ウランを必要としない。2 基の大型加圧式軽水炉（VVER-1000）はロシアが US\$3b.を融資して建設し、NPCIL が IAEA 保障措置の下で運転することになっている。また、これに必要な濃縮ウランはロシアがすべて供給することになっている（WNA Website,2006/5）。

表2 インドの建設中の原子力発電プラント

Reactor	Type	MWe net, each	Start
Tarapur 3	PHWR	490 MWe	2007
Kaiga 3 & 4	PHWR	202 MWe	2007
Rawatbhata 5 & 6	PHWR	202 MWe	2007, 08
Kudankulam 1 & 2	PWR (VVER)	905 MWe	2007, 08
Kalpakkam PFBR	FBR	470 MWe	2010
<b>Total (8)</b>		<b>3128 MWe</b>	

運転開始年は商業運転開始時

出典：WNA Website, 2006/5

<2010～2020 年までの建設計画>

さらに 2020 年までには、以下の 23 基（約 14GWe net）の建設が計画されており、インドの総発電容量は、約 20GWe になる予定である（WNA Website,2006/5）。

PHWR	0.22GWe	× 4 基	0.88GWe
PHWR	0.7GWe	× 10 基	7.0GWe
FBR	0.5GWe	× 3 基	1.5GWe
VVER	1.0GWe	× 6 基	6.0GWe
合計			23 基 15.38GWe

<トリウムサイクルの開発>

インドの原子力開発計画の長期的目標は先進型重水炉によるトリウムサイクルである。以下の 3 段階での開発を計画している（WNA Website,2006/5）。

- ・ 第 1 段階：PHWR を使って天然ウランから Pu を生産。
- ・ 第 2 段階：高速中性子炉を使って Pu を燃焼させて、Th から U-233 を増殖。

U と Th のブランケットで炉心を囲み、U-233 と共によりフィッサイル価値の高い Pu を生産。

- ・ 第3段階：先進型重水炉（AHWR）を使って U-233 と上記 Pu を燃焼させ、Th から出力の 2/3 を得る。

2002年に、0.5GWeの高速増殖原型炉の建設が許可され、現在 Kalpakkam で建設中であり、2010年からの運転を目指している。この高速増殖炉はインドのトリウムサイクルの第2段階を担うことになる。

## 2. 核燃料サイクルの現状と見通し

### (1) ウラン資源

#### <資源量>

2006年6月に発行された OECD/NEA-IAEA のレッドブック 2005によると、インドの発見資源は 64,840tU（確認資源 42,568tU + 推定資源 22,272tU）となっている。コスト区分別の資源量は報告されていないので、この6万tU強の資源はコスト US\$130/kgU 以下の合計資源量と考えられるが、現在世界で生産されているウランの生産コスト（US\$40/kgU 以下）と比べると、コストはかなり高いのではないかと推測される（鉱山の規模はいずれも小規模で、しかも坑内採掘である）。

鉱床タイプ別で見ると、53.7%が鉱脈型（前期原生代）、16.4%が砂岩型（白亜紀）、不整合関連型が 7.7%およびその他 22.2%となっており、現在採掘生産されているものは、すべて Singhbhum 地区（図1）に産する鉱脈型ウラン鉱床である。

#### <生産>

生産量、生産規模に関する報告はないが、インドの2005年の原子力発電容量約3GWeに対するウラン需要量は380tUであり、このウランのほとんど（95%）は国産資源で供給されているはずである。2005年1月現在、Singhbhum地区の4鉱山で生産が行われているが、今後2009年までに同地区の3鉱床、さらに、Cuddapah盆地北部の Lambapur-Peddagattu 鉱床（不整合関連型）およびインド北東部の Domiasiat 鉱床（砂岩型）が新規に開発される計画である（レッドブック 2005）。

2010年には約900tU/年、2020年には約3,000tU/年のウランが必要になると予想されていることからすると、現状の発見ウラン資源量6万tUは決して十分な量とは言えない。経済的に回収可能なウラン量は、6万tUをかなり下回る可能性も高い。

#### <探鉱>

上記の状況から、インドでは今後の探鉱に大きな期待を寄せており、2003年、2004年にそれぞれ約US\$14m.を支出したが、2005年はさらに拡大してUS\$20.1m.の国内探鉱を計画している（レッドブック 2005）。

今後の探鉱の主な対象地域は、以下の4地域である（図1参照）。

- ・ 原生界 Aravalli-Delhi 盆地（アルカリ交代型？）の鉱化作用
- ・ 中部原生界 Cuddapah 盆地の不整合関連型その他の鉱化作用

- ・ 上部原生界 Bhima 盆地の石灰岩－基盤花崗岩中の鉱化作用
- ・ インド北東部 Shillong 盆地の白亜紀 Mahadek 砂岩中の鉱化作用

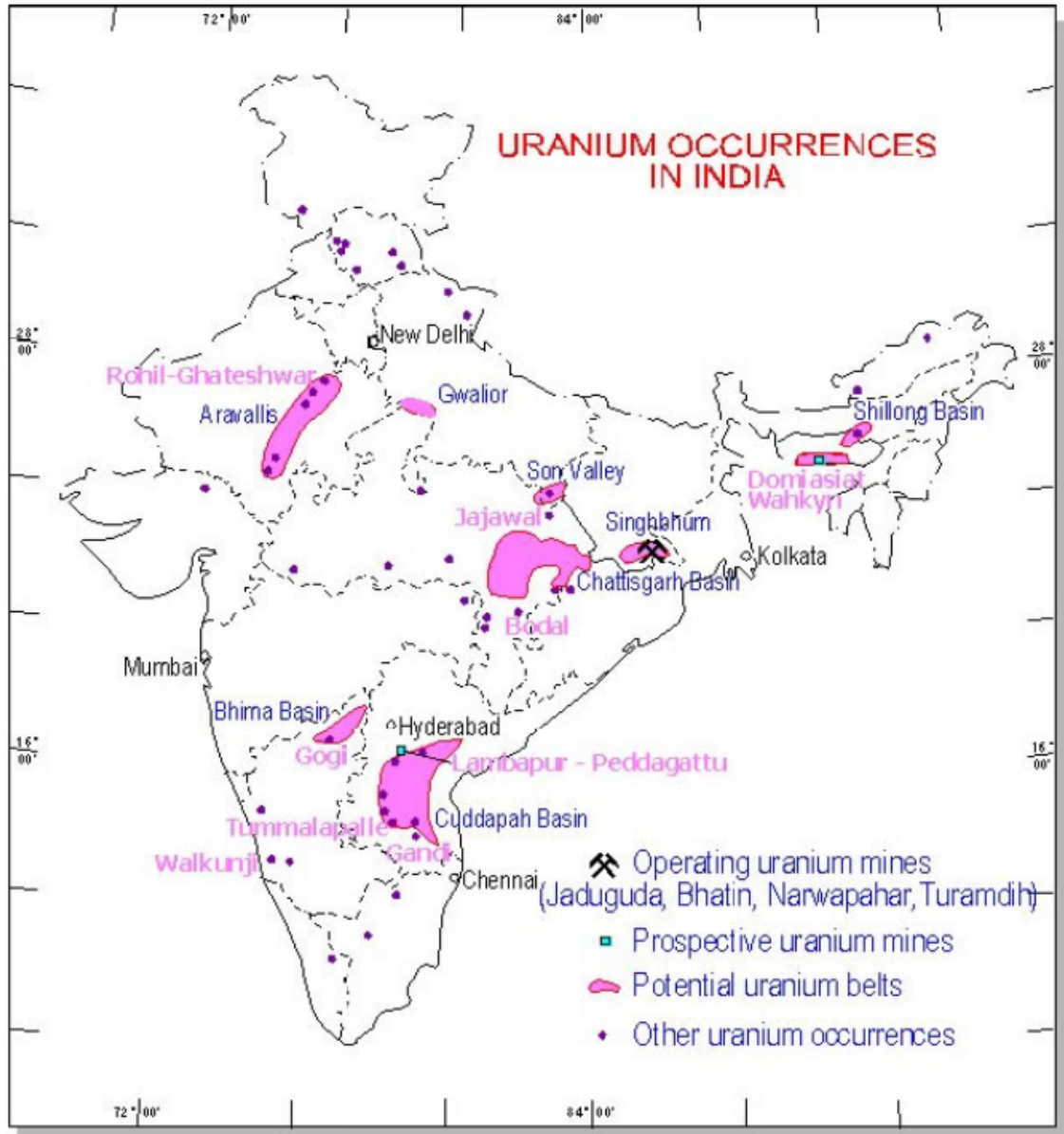


図1 インドのウラン資源分布

出典：インド原子力エネルギー省 原子力鉱物局, 2006/6

インドのウラン産業は原子力エネルギー省（DAE）がすべて所管しており、ウラン探鉱プログラムは、DAE の原子力鉱物局（NMD）が責任を負っている。鉱床の経済性評価終了後の商業的な鉱山開採生産活動は、DAE 傘下の公益法人である UCIL (Uranium Corporation India Ltd.) が実施している。

インド国内での探鉱活動の他、株式情報メディアの Bloomberg.com (2006/5/31) によると、前述の NPCIL (Nuclear Power Corporation of India Ltd) が、オーストラリアやカナダの海外ウラン鉱山開発 J V に参加するため、US\$1.2b. (約 1,400 億円) を投下する計画を有している

という。

このようにインドのウラン資源は十分ではないが、インドは世界の 1/4 を占める 29 万 t<sup>\*2</sup> の豊富なトリウム資源を有しており、トリウムサイクルの実現により長期間の核燃料を供給することが可能である。

\* 2 : 米国地質調査所 (1999/1) は経済的に回収可能な世界のトリウム資源量として 120 万 tTh (インドは 29 万 tTh) を計上している。一方、OECD/NEA-IAEA のレッドブックは、United Nations Development Program の World Energy Assessment, 2000 を引用して、旧ソ連、中国などを除く世界のトリウム資源量を約 450 万 tTh (埋蔵量 216 万 t+追加資源 235 万 t) としている。

## (2) 転換・燃料加工

Hyderabad にある DAE の Nuclear Fuel Complex がウランの精製、転換、燃料加工を実施している。400t/年のメインプラントで濃縮不要の PHWR 用燃料を加工し、小規模な燃料加工プラント (25t/年) で輸入濃縮ウラン (2.66%U-235) から Tarapur の BWR 用燃料を加工している。

## (3) 再処理

PHWR で発生した民生用使用済み燃料は、BARC (Bhabha Atomic Reserch Centre) の Trombay プラント、Tarapur および Kalpakkam のプラント (いずれも処理能力 100 t/年) で再処理されている。

## (4) 廃棄物管理・処分

原子力発電所と再処理プラントで発生した放射性廃棄物は、それぞれのサイトで処理、貯蔵されている。高レベル廃棄物と長寿命廃棄物の地層処分の研究は、BARC が実施中である。  
(2),(3),(4)は WNA Website,2006/5 による)

## 3. まとめ

NPT が発効した 1970 年以降、NPT 非締約のインドは、可能な限り自国の技術と資源で自立が可能ないように、原子力発電と核燃料サイクル技術の開発を進めてきた。しかし、電力需要の急速な拡大が見込まれる中、トリウムサイクルの実現はまだまだ遠い先のことであり、近い将来のウラン資源の供給に不安が存在するものと推測される。

「米印原子力協力合意」の流れが世界的に広まり、インドがウラン輸入国として世界のウラン市場に参入してくるのは、そう遠い先の話ではないと思われる。

以上