

インド共和国

2010年1月27日現在

目次

○ インドの基礎データ	2
I. 経済・エネルギー・電力事情	2
1. 経済	2
2. エネルギー需給	3
II. 原子力発電開発	10
1. 原子力発電の現状	10
2. 原子力研究開発体制	12
3. 原子力研究開発の歴史	14
4. 原子力省（DAE）傘下の研究開発部門	15
5. 原子力省（DAE）傘下の公営企業部門	20
6. 原子力省（DAE）傘下の産業部門	25
7. 原子力関連企業	26
1) 主要企業の概要	26
2) インドの原子力産業界の課題	34
III. インド独自の核燃料サイクル	38
1. トリウム路線の選択	38
2. 核燃料サイクルの研究開発とそのための施設	42
IV. 核実験による国際原子力社会での孤立と、復帰への歩み	48
1. 核実験による国際原子力社会での孤立	48
2. 国際原子力社会への復帰の動き：米国との折衝を中心として	50
3. 国際条約等への加盟状況	59
4. 米国以外の2国間原子力協力の現状	59
V. 原子力関係法規の整備状況	66
VI. インドの原子力開発年表	68
(参考-1) インドの原子力発電所の稼働状況	72
1. インドの代表的な原子力発電プラントの連続運転日数	72
2. インド原子力発電公社（NPCIL）の原子力発電所の時間稼働率	72
3. 個別原子力発電プラントの発電状況	72
(参考-2) インドの原子力発電所の建設期間	75
(参考-3) インドの原子力発電所の保守作業スケジュール予定	76

インドの基礎データは以下のとおりである⁽¹⁻¹⁾。

面積	329万km ²
人口	116,608万人 *2009年7月推定
首都	ニューデリー
実質GDP	3,297兆米ドル *2008年推定
一人当たりGDP	2,900米ドル *2008年推定
実質経済成長率	7.4 % *2008年推定
一人当たり年間電力使用量	443.6 kWh *2008年推定
通貨（略称）	インディアン・ルピー（INR）
対米ドル為替レート	US\$1=INR43.319 *2008年推定
会計年度	4月1日-3月31日

I. 経済・エネルギー・電力事情

1. 経済

インドの経済規模は、現在アジアでは、日本、中国に次いで第3位であるが、25年後にはGDPで日本を追い抜き、世界第3位の経済大国になると予想されている。また、人口は、中国に次いで第2位ながら、これも2050年には15億人（国連推計値では16億5,800万人）となり世界第1位になると言われる。

インドは1947年の独立以来、計画経済の下で、（高関税または数量制限により輸入を抑制し、外国資本の国内市場参入規制、為替統制などによって、自国産業を保護・育成し、輸入を国内生産に代替させる）「輸入代替工業化政策」を進めてきた。この結果、非効率な国営企業が経済成長を阻害してきた。

しかし、1990年8月の湾岸戦争を契機に、輸入原油高騰、輸出減少、中東出稼ぎ労働者からの送金減少により、外貨準備高がわずか2週間の輸入決済相当分しかなくなった1991年の「外貨危機」を契機として経済自由化路線に転換し、経済改革政策を断行した。

この結果、経済再建を成し遂げ、高い経済成長を達成、2005年度～2007年度には3年連続で9%台の実質成長率を記録、さらに2008年度の世界的な景気後退の中でも6.7%の成長率を維持した。現在、製造業と建設業の落ち込みが顕著になっている点が憂慮される。

一方、インドで急成長を遂げているのがIT産業や金融であり、従来のカースト制度での規定がない新職種であるため優秀な若い世代の進出を促し、インド国内に「新中間所得層」（2008年時点で、年収9万ルピー～20万ルピー）を創出したと言われる⁽¹⁻²⁾。

インド政府は、国際競争力をもった企業を育成するという方針を掲げ、現在の主力輸出品の鉄鉱石よりも鋼材、鋼材よりも自動車と、より付加価値の高い製品にシフトすることをめざし、インドを小型車生産の拠点にしようとしている。その象徴が、イン

ドの大手自動車メーカー、タタ・モーターズが開発し、2008年1月に発表、市販を開始した小型乗用車「タタ・ナノ」である。

*ナノは、新中間所得層の年収程度の価格10万ルピー（発表当時のレートで約28万円）という驚異的な廉価での販売を目標として開発された、世界でもっとも安価な4ドア小型車であった。しかし世界的な鋼材価格の上昇や、生産工場建設の遅れ等から、本格的生産体制がとれない状況にある。

2009年5月に発足した第二次マンモハン・シン政権は、引き続き規制緩和や社会的弱者救済等を基本に、農村開発や雇用対策に優先的に取り組んでいるが、外資規制（現行では外資は51%まで）緩和や国営企業民営化等の経済自由化政策は継続するとみられる。

インドの基本課題は貧困の撲滅で、世界銀行の2005年統計によると、インドではUS\$1.25/日以下で生活する貧困層が人口の41.6%（4億人以上）を占める。農村での水道の未整備や、工業団地での上下水道・電気（電圧も不安定）のインフラ未整備も大きな問題となっている。

2008年11月の「第19回インド原子力学会年会（INSAC-2008）」での発表では、インドの貧困と、それからの脱出について、以下の数値を挙げている^{(1-3) (1-4)}。

- ・人口の34.7%が一日US\$1以下で、また79.9%が同じくUS\$2以下で生活している。
- ・このため、今後25年間に生活レベルを最低40%上げなければならない。

2. エネルギー需給

1) エネルギー需給状況⁽¹⁻¹⁾

インドのエネルギー需給状況は、以下のとおりである。

(原油)

- ・生産量：88万500バレル/日（世界第24位）（2007年推定）
- ・消費量：277万2,000バレル/日（世界第5位）（2007年推定）
- ・確認埋蔵量：57億バレル（世界第23位）（2008年1月1日推定）

(天然ガス)

- ・生産量：317億m³（世界第24位）（2007年推定）
- ・消費量：417億m³（世界第19位）（2007年推定）
- ・確認埋蔵量：1,075兆m³（世界第25位）（2008年1月1日推定）

インドの石炭生産量は年産5億トン⁽¹⁻⁵⁾で世界第3位を占めるが、近年の急速なエネルギー・電力の需要増に伴い石炭についても国内炭だけでは間に合わず、4千万トン程輸入に依存する結果になり、それがさらに増大する傾向にある。

11億6千万を抱えるインドの基本課題は、前述のとおりまず貧困の撲滅であり、雇

用や水と食糧の供給、医療保険、教育等さまざまだが、人口の45%が「クリーンな燃料と電力」の恩恵を享受できていない現実がある。

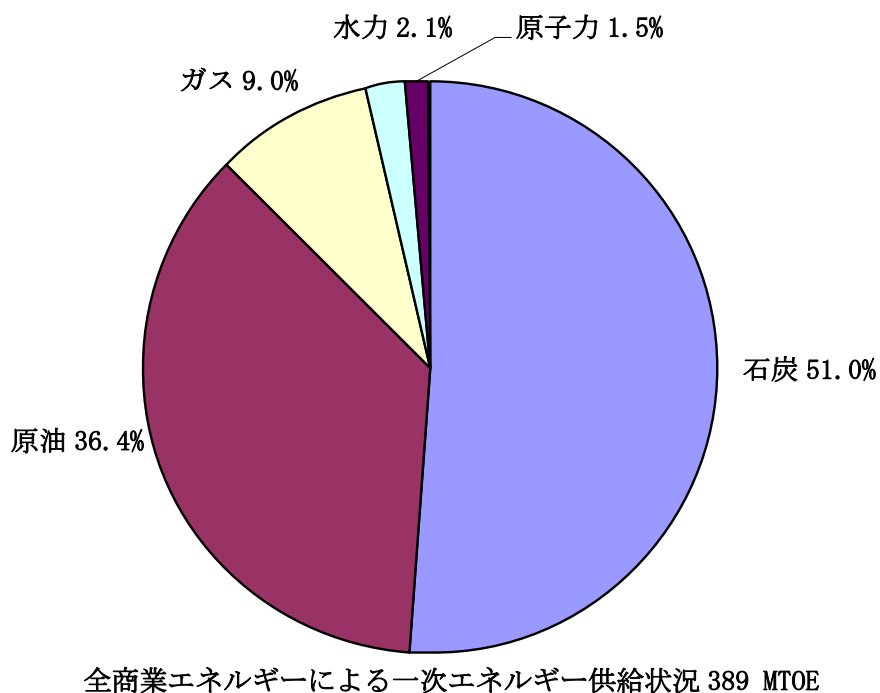
エネルギー供給政策のポイントは、①エネルギーの質、②安定供給、③持続可能性であるが、③の中には量の豊富さや安全性と信頼性、環境への影響が最小であることも条件に含まれる。

カドカール原子力委員長は、「インドの経済成長率に連れ、電力需要も増大する。化石燃料でも原子力でもいいが、アフォードビリティとサステナビリティのある解決が必要。インドの化石燃料需要が増大したら世界的な価格上昇や気候変動等の問題が起こるので、原子力の増大が不可欠」との認識を示した⁽¹⁻³⁾。

また、インド原子力発電公社(NPCIL)のS.バルトワジ理事によると、「インドの全一次エネルギー供給量542MTOE*のうち、商業エネルギーは389MTOEで、非商業エネルギーが153MTOEである。原子力の供給割合1.5%を、経済成長率8%で計算した場合、2032年には7,780万kWの設備が必要となる。これに対処できる答えは原子力以外にない」とのことである⁽¹⁻⁶⁾。

*MTOE=石油換算百万トン

図表1：インドの一次エネルギーのうち、商業エネルギーの供給源



基礎データの統計との違いがあるが、前出「INSAC-2008」での発表^{(1-3) (1-4)}では次の指摘があった。

- ・確定埋蔵量を現在の年間生産量で割ると、国産の石炭、原油、ガスに依存すると、それぞれ 80 年、22 年、30 年しかもたない。
- ・さらに石炭は、今の消費量の伸びから考えると 45 年未満足しかない。
- ・約 6 億人が電気なしの生活をしている。

また、インド中央電力庁（CEA）の数値として次のデータがある⁽¹⁻⁷⁾。

- ・2007 年のインド人一人当たりの電力消費量は、704.2kWh である。
- ・2009 年 7 月末時点での村落数での電化率は、83.7%である。

2) 電気事業の現状

インドは、世界で 5 番目の発電国であり、2009 年 8 月末時点では、総発電設備容量は 1 億 5,214.8 万 kW であった。

図表 2：発電設備容量における事業者区分⁽¹⁻⁷⁾

電力事業者区分	発電設備容量(万 kW)	割合(%)
中央政府管轄下	4,958.1	32.6
州政府管轄下	7,695.0	50.6
民間	2,561.8	16.8
総計	15,214.8	100

図表 3：発電設備容量の構成⁽¹⁻⁷⁾

電源	発電設備容量(万 kW)	割合(%)
石炭火力	8,028.3	52.8
ガス火力	1,638.6	10.8
ディーゼル	120.0	0.8
水力	3,691.7	24.3
原子力	412.0	2.7
再生可能エネルギー	1,324.2	8.7
総計	15,214.8	100

2009 年 8 月には、ピーク電力需要がインド全土で 1 億 1,441.2 万 kW であったが、実際の稼働容量は 9,815.4 万 kW しかなく、1,625.8 万 kW (14.2%) 分が不足した。

インドの第11次5カ年計画（2007年4月～2012年3月）では「2012年までに全家庭に電気を」という目標を掲げている。何度か改訂されているが、次の表で2009年7月時点の同計画の概要を示す。

図表4：第11次5カ年計画期間中に運転を開始する電源開発プロジェクト区分⁽¹⁻⁷⁾

	水力	火力			原子力	合計
		石炭	褐炭	ガス		
容量 (万 kW)	1,562.7	5,057.0	228.0	684.3	338.0	7,870.0
		5,969.3				
割合 (%)	19.9	75.8			4.3	100

*ここで挙げられている「原子力」とは、ラジャスタン-5・6号機、クダンクラム-1・2号機、カルパッカムの高速増殖原型炉（PFBR）、カイガ-3・4号機の7基である（後述図表7参照）。

しかしこの増設計画では、単純に計算しても毎年1,500万kWを建設する必要があるのに、2007年度の実績は、926.3万kW（目標1,600万kW）、2008年度は345.3万kW（同1,100万kW）と目標を大きく下回っている。理由として、①設備メーカーの製造能力の不足、②発電所用地取得の遅れ、③政府許認可の遅延、が挙げられる。

*国内最大の設備メーカーであるバーラト重電機公社（BHEL）を例にとると、1998年の経済改革前は国内市場を独占、現在でもシェアの7割前後を占めているが、国営企業を擁護する政治家や官僚の支援等から供給能力を超える契約を結んだ結果、第11次5カ年計画の発電所建設の遅れのうち、600万kW相当がBHELの担当分とされている（2009年夏スシクマール・シンデ電力相発言）。

インドでは、今後もGDPは7%～9%/年の成長率が続く予想される。2032年までに一人当たりの電力消費量を1,000kWhにするため、原子力の割合を9%（6,300万kW）に上げ、総発電設備容量を7億kWにする計画である。再生可能エネルギーの開発も進め、石炭の割合は39%に減らす予定である。

図表 5 : 2032 年の電源別発電設備比率計画 (I-3) (I-8)

電源	発電設備容量 (万 kW)	割合 (%)
石炭火力	27,300	39
天然ガス火力	7,000	10
コールベッドメタン (CBM*) とインシツコールガス** *炭層中のメタンガス **石炭ガス化	4,900	7
水力	14,700	21
原子力	6,300	9
再生可能エネルギー (含小規模水力、バイオマス、廃棄物発電、風力)	9,800	14
総計	70,000	100

インドの電気事業では、次の問題が指摘される。

- a. 送配電ロス率が約 30%と高い。
- b. 配電部門のみのロスは、11 州で 40%を超える。
*インドは 28 の州と、6 つの連邦直轄地域と、デリー首都圏 で構成される
- c. そのうち盗電および料金不払いの占める割合が非常に大きい。
*低圧配電線が比較的長いため盗電が容易で、低所得世帯では盗電に抵抗がなく、電気使用メータの精度が低く不正利用されやすいこと、料金請求が徹底しないこと等も理由となっている。

第 11 次 5 ヶ年計画 (2007 年 4 月～2012 年 3 月) での原子力発電に関する追加建設について、NPCIL では、次の計画を発表している。

図表 6 : 第 11 次 5 ヶ年計画での原子力発電追加計画 (I-3) (I-8)

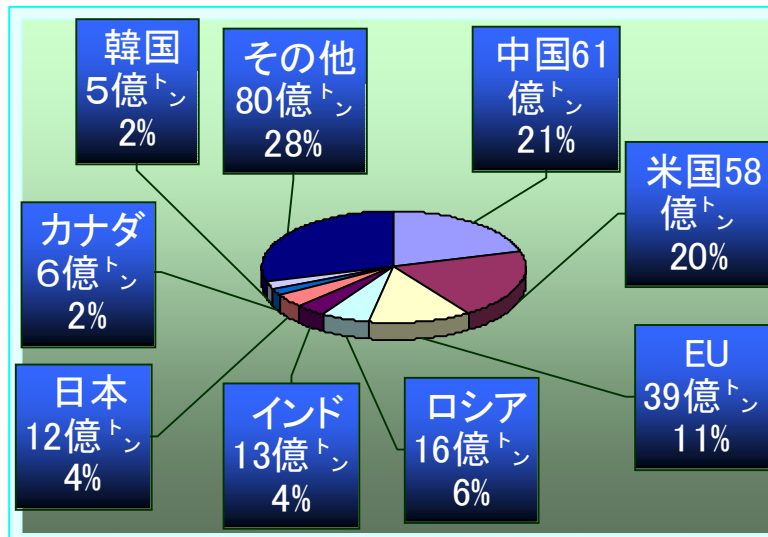
第 11 次 5 ヶ年計画への追加	重水炉 (PHWR)	70 万 kW×8 基
	高速増殖炉 (FBR)	50 万 kW×3 基
	先進型重水炉 (AHWR)	30 万 kW×1 基
2030 年までの拡大計画	軽水炉 (LWR)	100 万 kW か 100 万 kW 超の炉×(25～30) 基

さらに、2009 年 9 月 29 日、シン首相は、ニューデリーで開かれた会議で、原子力発電計画の拡大が必要との認識を基に、2050 年には原子力発電設備容量が 4 億 7 千万 kW になるとの見通しを示した。

3) インドのCO₂排出量

2007年のCO₂排出量の国別統計^(I-9)は、次のようになっている。

図表7：世界の主要国のCO₂排出量（合計は290億トン）



これにより、国際的な批判の高まりを懸念したインド政府は、2009年12月7日からコペンハーゲンで開催された「第15回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP15）」では、「国内総生産（GDP）を一定額生産するときに排出するCO₂を単位とする」方式でCO₂を自主的に2005年比で2020年までに20～25%削減する目標を発表した。

<注記>

(I-1) 出典：米国CIAのThe World Factbook（2009年9月24日版）

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/in.html>

(I-2) 出典：外務省ホームページ(HP)「各国・地域情勢」等

(I-3) 出典：2009年2月(社)日本原子力産業協会刊「インドの原子力事情：INSAC-2008（第19回インド原子力学会年会）参加原産協会訪印団報告書」

(I-4) 出典：2008年11月24～26日の「第19回インド原子力学会年会(INSAC-2008)」でのインド計画委員会のSurya P. Sethi 電力・エネルギー担当首席顧問発表。

(I-5) 出典：米国EIA統計

http://tonto.eia.doe.gov/country/country_energy_data.cfm?fips=IN

(I-6) 出典：2009年4月14日第42回原産年次大会でのインド原子力発電公社(NPCIL)

のシブ・アビラシュ・バルドワジ理事の発表「成長を続けるインドのエネルギー政策と原子力発電」

(I-7) 出典：インド中央電力庁 (Central Electricity Authority : CEA) のHP

<http://cea.nic.in/> また

http://cea.nic.in/power_sec_reports/Executive_Summary/2009_08/1-2.pdf

(I-8) 出典：2008年11月24日～26日の「第19回インド原子力学会年会 (INSAC-2008)」

でのインド原子力発電公社 (NPCIL) ジェイン総裁の講演

(I-9) 出典：2009年10月6日のOECD/NEAの発表

II. 原子力発電開発

1. 原子力発電の現状

2009年12月22日、国産のラジャスタン原子力発電所の5号機が、送電網に併入された。2009年1月に、新たに国際原子力機関（IAEA）の保障措置下に置かれた民生用原子炉8基のうちのひとつである。

図表8：原子力発電所一覧(運転中、建設中) (II-1) (2009年12月22日現在)

状態	発電所名	炉型	設備容量 (万 kW)	営業運転 (年/月/日)	備考	
運転中	カイガ-1	加圧重水炉 (PHWR)	22.0	2000/11/16		
	カイガ-2			2000/03/16		
	カイガ-3			2007/05/06		
	カクラパール-1			1993/05/06		
	カクラパール-2			1995/09/01		
	マドラス-1			1984/01/27		
	マドラス-2			1986/03/21		
	ナローラ-1			1991/01/01		
	ナローラ-2			1992/07/01		
	ラジャスタン-1			10.0	1973/12/16	
	ラジャスタン-2			20.0	1981/04/01	
	ラジャスタン-3			22.0	2000/06/01	
	ラジャスタン-4				2000/12/23	
	ラジャスタン-5				2009/12/22	2009/11/24 に臨界
	タラプール-1			米国 GE 製沸騰 水型軽水炉 (BWR)	16.0	1969/10/28
	タラプール-2					
	タラプール-3	PHWR	54.0	2006/08/18		
	タラプール-4			2005/09/12		
運転中合計 (18 基)			434.0			
建設中	カイガ-4	PHWR	22.0	2010/03 予定	2009年11月現在 工事進捗率 97.07%	
	クダンクラム-1	ロシア製加圧水 型軽水炉 (VVER)	100.0	2010/09 予定*	進捗率は同上 94%	
	クダンクラム-2			2011/03 予定*	進捗率は同上 84.7%	
	ラジャスタン-6	PHWR	22.0	2010/02 予定*	2010/1 に臨界予定 進捗率は同上 95.6%	
	高速増殖原型炉 (PFBR)	FBR	50.0	2011年3月完成 予定		
建設中合計 (5 基)			294.0			

*印は、「燃料の入手を前提として」の条件付き。

注：インド原子力発電公社（NPCIL）の用いている各原子力発電所の名称と略称は以下のとおりである。既設分は Station、建設中・計画中の分は Project と呼称することが多い（よって建設中のクダンクラム原発なら KKAPP と略称される）。

- －カイガ： Kaiga Generating Station (KGS)
- －カクラパール：Kakrapar Atomic Power Station (KAPS)
- －マドラス：Madras Atomic Power Station (MAPS)
- －ナローラ：Narora Atomic Power Station (NAPS)
- －ラジャスタン：Rajasthan Atomic Power Station (RAPS)
- －タラプール：Tarapur Atomic Power Station (TAPS)
- －クダンクラム：Kudankulam Atomic Power Project (KKAPS) *KKとも略称

図表 9：インドの運転中の原子力発電所の遠景⁽¹⁻⁶⁾

タラプール原子力発電所(BWR)



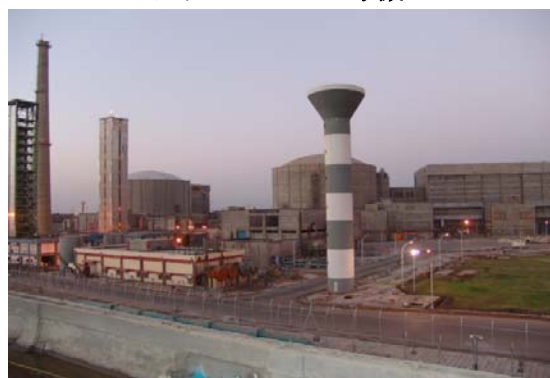
ラジャスタン原子力発電所



マドラス原子力発電所



タラプール 3・4 号機



マドラス原子力発電所に関するデータ⁽¹⁻³⁾。

－2 基建設費：231 億 4 千万ルピー

－運転員の体制：

1 シフト当り、1 名の当直長 (Shift Charge Engineer)、1 名の副当直長 (Assistant Engineer)、2 名の Control Engineer (各号機 1 名)、2 名の Operator (各号機 1 名) の 6 名で 2 機の運転を監視・操作している。

3 シフト 4 グループの構成で、上記 6 名のほか各シフト当り、現場に 24 名、重水プラントに 5 名の合計 35 名の構成。

ナローラ原子力発電所



カクラパール原子力発電所



カイガ原子力発電所



2009年10月初め、インドの将来の原子力発電所のサイト候補地が以下のように報道された（場所は、図表11参照）。

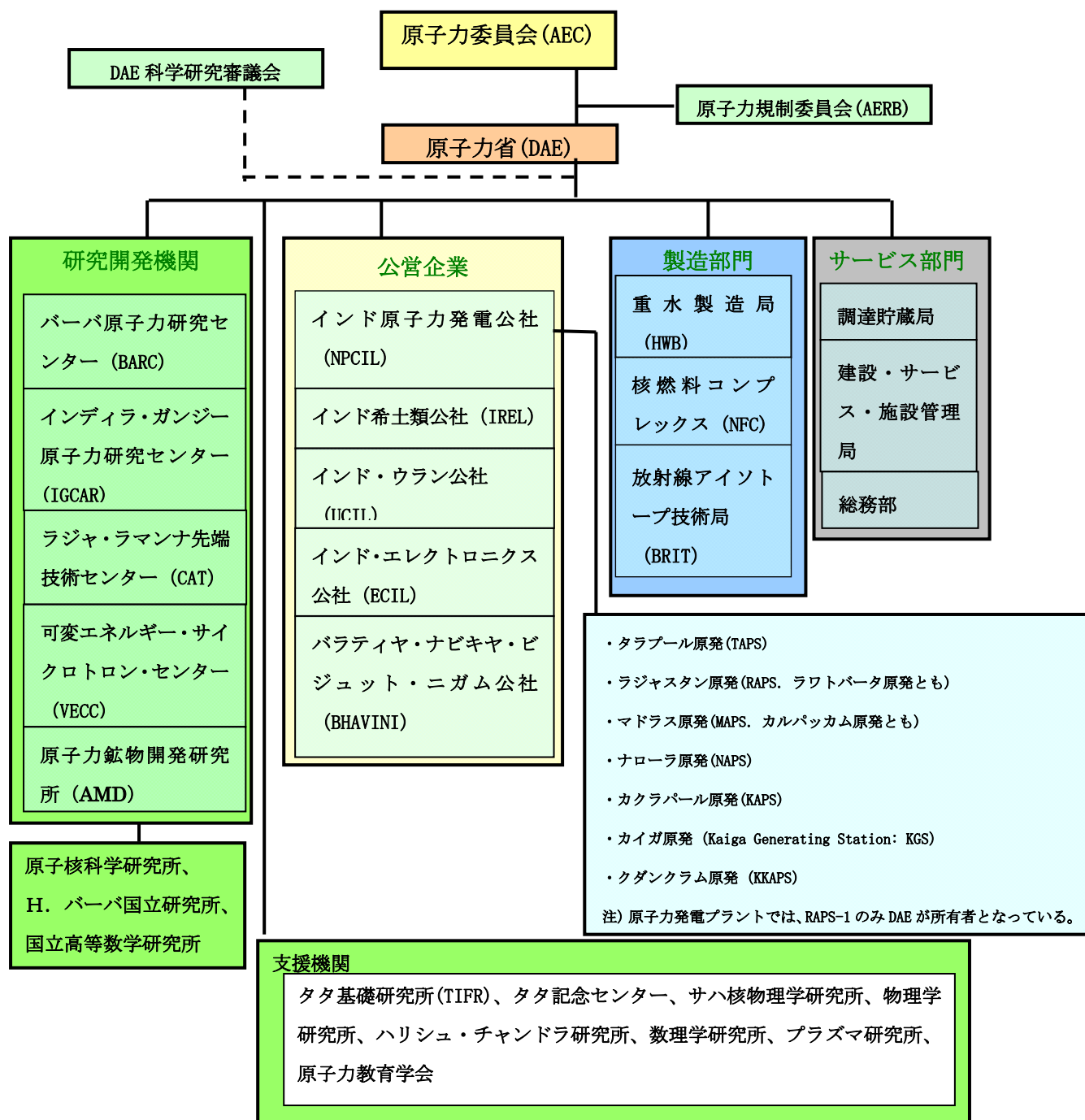
- a. NPCILは政府から原子力発電プラント30基を建設するサイト候補地5カ所の承認を得た。
- b. そのうちの2カ所グジャラート州ミティヴィルディとアンドラプラデシュ州コバーダにはWECやGE日立の原子力発電プラントが建設される。
- c. 西ベンガル州ハリプールには複数のロシア製VVERが建設される。
- d. マディヤプラデシュ州バー時およびハリヤナ州クムハリアには、国産PHWR（70万kW級）×6基が建設される。
- e. この他に、既公表のAREVAの160万kW級EPRを最大6基建設するマハラシュトラ州のジャイタプールがある。
- f. これらにより、2032年までに、輸入炉で4,000万kW、国産PHWRと高速炉で2,300万kWを増設する

2. 原子力研究開発体制

インドにおける原子力研究開発は、原子力委員会（AEC）を頂点にし、原子力規制委員会（AERB）、また研究開発部門、産業部門、公営企業部門、支援・サービス部門を統

括する原子力省（DAE）を中心とした組織体制が整備されている⁽¹⁻³⁾。

図表 10：インドの原子力研究開発体制



原子力規制委員会（AERB）は独立の規制機関として、原子力委員会（AEC）の下に置かれている。

*2009年11月30日、AEC委員長と原子力省（DAE）長官を兼務していたAnil Kakodkar博士が引退し、後任としてバーバ原子力研究センター（BARC）所長であったSrikumar Banerjee 博士が就任した。

3. 原子力研究開発の歴史

- 1) インドは、アジアで最も早く原子力研究開発に着手した国である。
 - ・1945年には、タタ基礎研究所が設置され、H. J. バーバ博士が所長に就任した。
 - ・国としての原子力研究開発は1948年の原子力法成立に始まる。同法に基づき、原子力委員会（AEC）が1948年に資源学術研究省の下に設置された（委員長：H. J. バーバ博士）。
- 2) 1954年8月、首相直属の機関として原子力省（DAE）が設置された（長官：H. J. バーバ博士）。DAEは、原子力委員会が策定した政策の実施に責任を持ち、原子力関係の研究開発、また実務支援も行っている。
- 3) インドは、原子力開発の自立を基本方針としており、医学・農業・工業利用から原子力発電また核燃料サイクルまで包含する当時の第三世界では最もバランスのとれた充実した研究開発施設を整備した。

1954年にはトロンベイ地区（ムンバイ市内）にタタ基礎研究所の原子力部門を移転し、後にインドの原子力研究開発の中核となるバーバ原子力研究センター（BARC）の礎を築いた。
- 4) 1947年の独立時点では、インドの総発電設備容量は全土で150万kWに過ぎなかった。1950年代後半に、原子力委員会は原子力発電の経済性評価を行い、産炭地から遠く電力消費地への隣接地に原子力発電所をシリーズで建設することを決定した。
- 5) 1958年、政府決議でAECはDAEの下に移管。この決議でDAE長官とAEC委員長が兼務する慣習となった。

*原子力委員長以外の委員は、毎年委員長の推薦により、首相の裁可により任命される。
- 6) 1969年に初めての原子力発電所としてタラプール1・2号機（各16万kW、米国GE社製BWR）が運転を開始した。
- 7) インドの原子力開発計画は、インド国内にウラン資源が乏しく、品位も悪いことから、豊富なトリウム資源を有効に使う「トリウム・サイクル」路線*を、40年以上

にわたり、一貫して遵守している。

*1966年に亡くなったバーバ博士が策定。

○世界の原子力発電開発の初期には、実用発電システムの中心を軽水炉が担い、多くの先進国ではそれを踏まえた「ウラン→プルトニウム」サイクルを基本とする燃料製造、再処理、放射性廃棄物管理等の技術的インフラストラクチャーを整備した結果、トリウム・サイクルの研究開発を重点化した国はインドくらいになった。

○しかし1990年代に入ると、①核拡散抵抗性、②放射性廃棄物の発生量の低減化、③超ウラン元素（TRU）の核変換への対応等、従来とは異なる観点からトリウムの特性が再評価されている。

○とくに現在の「ウラン→プルトニウム」サイクルは、放射能が弱くて監視管理が困難なことが核不拡散上の問題となっているが、トリウム・サイクルでは、トリウム燃料の照射により生成するU-233は共存するU-232の娘核種による強いガンマ線を同伴する。これにより、核物質の取り扱いが技術的にむずかしくなり、また転用検知にも有効に作用することから、トリウム・サイクルの核拡散抵抗性が注目されている。

○また「ウラン→プルトニウム」サイクルでは、高レベル廃棄物中に長期にわたって存在する超ウラン元素（TRU）の放射線毒性が強いことが問題になっているが、トリウム・サイクルでは、トリウムに添加する燃料の選び方でTRU廃棄物発生量の低減が可能であることが注目されている。

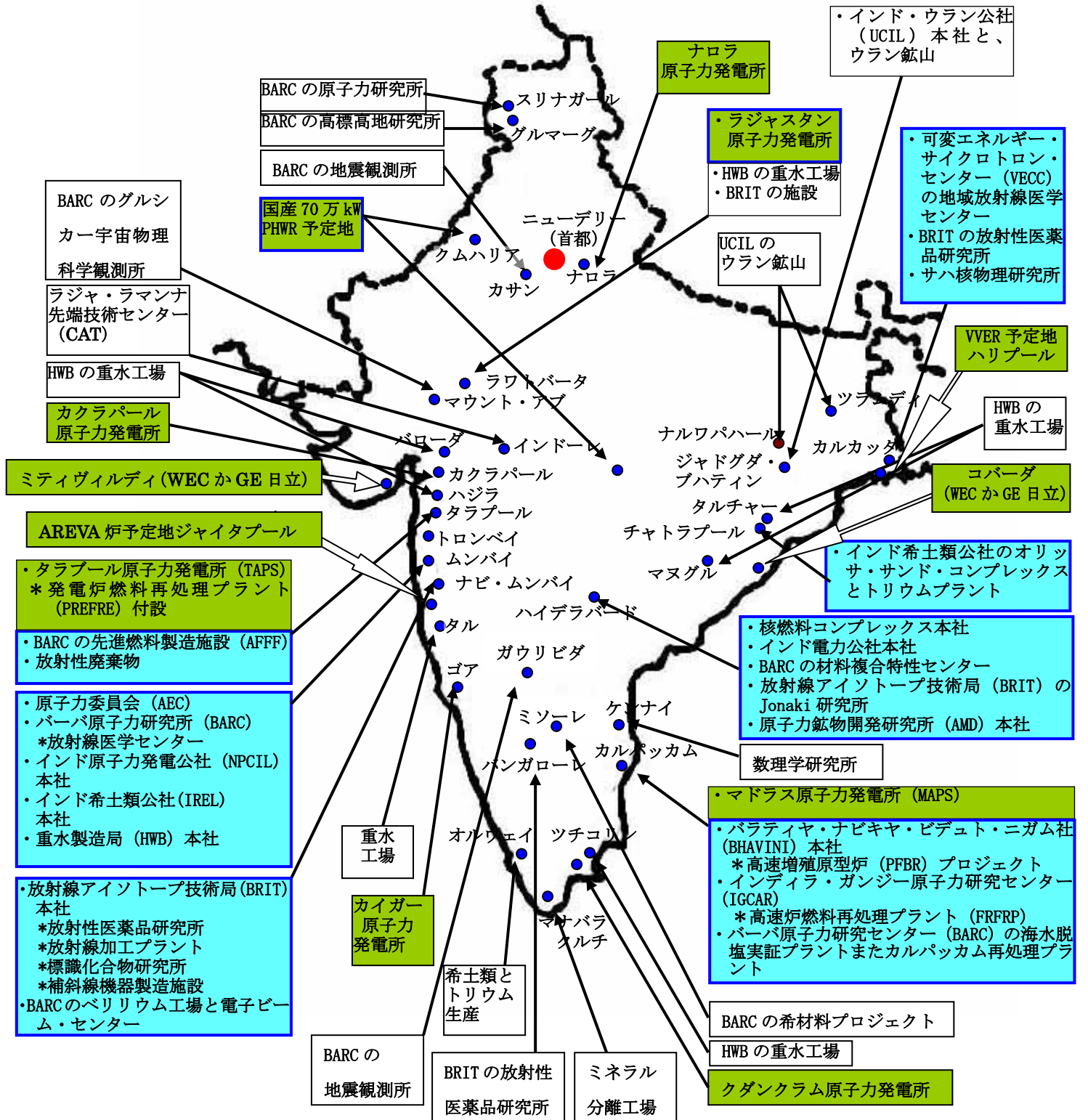
<インドのトリウム・サイクルについては、Ⅲ章でさらに詳しく紹介する。>

4. 原子力省（DAE）傘下の研究開発部門

1) 主要研究開発機関

主要研究開発機関としては、バーバ原子力研究センター（BARC）、インディラ・ガンジー原子力研究センター（IGCAR）、1974年の核実験責任者にちなんだラジャ・ラマンナ先端技術センター（CAT）等がある。

図表 11：インドの原子力関係機関・施設の分布 (1-3) 他



2) バーバ原子力研究センター (BARC)

原子力研究開発の最大拠点は、H. J. バーバ博士を称え改称された BARC で、トリウム利用の中心技術である改良型重水炉 (AHWR、30 万 kW) の開発も進めている。

図表 12 : BARC の主要研究施設 (II-2) (II-3) (II-4)

施設名 番号は IAEA 識別コード	熱出力	型式/減速材/ 冷却材/制御棒	臨界日	備考
アプサラ (APSARA) IN-0001	1MW	プール型熱中性 子炉/軽水/ 軽水/カドミウム	1956 年 8 月 4 日	<ul style="list-style-type: none"> ・インドが独自に開発したアジアにおける最初の原子炉 ・アルミ合金被覆の高濃縮ウラン・アルミ合金板状燃料 ・アイソトープ生産、中性子線研究、ラジオグラフィ、分析等に利用
サイラス (CIRUS) IN-0002	40 MW	タンク型熱中性 子炉/重水/軽水/ ボロンカドミウム	1960 年 7 月 10 日	<ul style="list-style-type: none"> ・カナダの協力で完成(カナダの NRX 型)。1974 年の地下核実験で、サイラス炉燃料から抽出したプルトニウム使用の疑いにより、その後、カナダ・米国等から協力を拒否された ・アルミ被覆の天然ウラン金属棒状燃料 ・中性子線研究、アイソトープ生産、発電炉燃料開発に利用
ゼルリナ (ZERLINA) IN-0003	0.1 kW	タンク型熱中性 子炉/重水/重水/ カドミウム	1961 年 1 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ被覆天然ウラン金属棒状燃料使用の臨界実験装置 ・1983 年 1 月 1 日に閉鎖
プルニマ (PURNIMA) IN-0004	0	高速臨界実験装 置/減速材はなし /空気/モリブデン	1972 年 5 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ・1983 年 1 月 1 日に閉鎖。 ・ステンレス鋼被覆の PuO₂ ペレットの酸化プルトニウム燃料。高速パルス炉開発用
ドルーバ (DHRUVA) IN-0005	100 MW	タンク型熱中性 子炉/重水/重水/ カドミウム	1985 年 8 月 8 日	<ul style="list-style-type: none"> ・アイソトープ生産、中性子線研究、クリープ・腐食研究、訓練にも利用 ・アルミ被覆の天然ウラン金属クラスター燃料
プルニマ II (PURNIMA II) IN-0006	0.01 kW	タンク型熱中性 子炉/軽水/冷却 材はなし/カドミ ウムと炭化硼素	1984 年 5 月 10 日	<ul style="list-style-type: none"> ・1986 年 6 月 15 日に閉鎖。 ・ウラン燃料を使用。炉心に硝酸ウラニル (ウラン-233) 溶液を使った、カミニ炉用 U-233 臨界実験装置
プルニマ III (PURNIMA III) IN-0009	0	SLOWPOKE 型熱中 性子炉/軽水/軽 水/カドミウム	1990 年 9 月 11 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼロ出力炉。1993 年 7 月 31 日に閉鎖。炉心サイズはカミニ炉と同じで、アルミ被覆アルミ合金ウラン-233 板状燃料。カミニ炉のためのモックアップ臨界実験

改良型重水炉 (AHWR)および 50万kW重水 炉用臨界装置	0.1 kW	タンク型/重水/- /?	2008年 4月7日	<ul style="list-style-type: none"> ・ AHWR 研究開発のためのトリウム・ベースの燃料格子の研究に使用。 ・ ウラン-233・トリウム（一部プルトニウム）燃料
--	-----------	-----------------	---------------	---

図表 13：インドの原子力研究開発最大拠点バーバ原子力研究センター（BARC）



BARC では 7 つの研究炉のうちすでに 4 つが廃止されており、運転中はアプサラ、サイラス、ドルーバのみになっている⁽¹¹⁻⁵⁾。

農業・食品照射利用、アイソトープ製造、医学利用、淡水化プラント等も BARC で開発を進めている。照射したマンゴはアメリカから大量に輸入したいと申し出があり、ジェネリック製薬を中心に医薬品も製造して輸出する余地はある。また、放射線治療やガン検査などの技術もある。BARC は、全部で 5 万人の研究員を擁している⁽¹⁻³⁾。

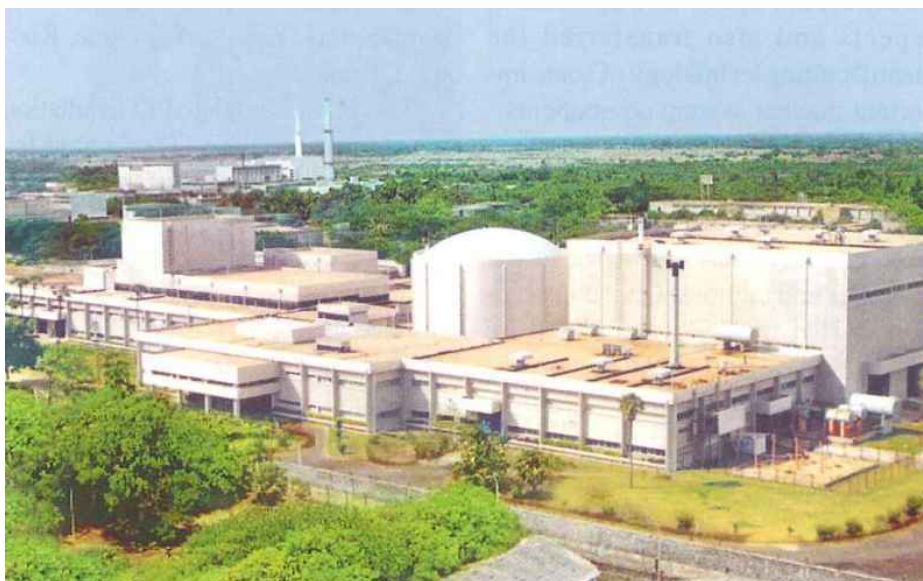
3) インディラ・ガンジー原子力研究センター（IGCAR）

IGCAR は、DAE 管轄の高速増殖炉（FBR）の研究開発の拠点機関で、規模からは BARC に次ぐ。チェンナイから南に約 80km の海岸沿いの、マドラス原子力発電所隣接地点に 1971 年に設立された。1985 年まではカルパッカム研究センターと呼称。

図表 14 : インディラ・ガンジー原子力研究センターの主要研究施設 (II-2) (II-3) (II-4)

施設名 番号は IAEA 識別コード	熱 出 力	型式/ 減速材/ 冷却材	臨 界 日	備考
高速増殖 実験炉 (FBTR) IN-0007	40 MW	高 速 増 殖 炉 / 減 速 材 は なし / ナ トリウム	1985 年 10月 18日	<ul style="list-style-type: none"> ・初臨界時は小型炉心（1MW。内側炉心 Mark-I）で、燃料は（70%PuC+30%UC）。その後出力増強のため外側炉心 Mark-II 炉心を設置。その燃料は 55%PuC+45%UC。 ・1997年7月運開。ループ型液体金属 FBR。仏 CEA との 1969 年の FBR 協力覚書に基づく協力で完成。蒸気発生器とタービン発電機を装備（それ以外は仏ラブソディと同じ設計）(II-7)。 ・2003年7月に外側炉心を MOX 燃料にしてハイブリッド化。2008年試験用金属燃料を装荷。
カミニ (KAMINI) IN-0008	30 kW	U-233 燃 料 装 荷 熱 中 性 子 炉 / 軽 水 / 軽水	1996 年 10月 29日	<ul style="list-style-type: none"> ・FBTR からの燃料やコンポーネントの中性子ラジオグラフィを実施。また放射化分析、放射線検知器の較正や遮蔽の実験。 ・中性子放射化分析 (NAA)、中性子ラジオグラフィ、地質学調査、化学サンプル作成等にも使用。 ・ウラン-233 アルミ合金板燃料。Slowpoke 型小型炉。世界で唯一のウラン-233 燃料使用 ・カドミウム板状制御棒

図表 15 : インディラ・ガンジー原子力研究センター (IGCAR)



5. 原子力省 (DAE) 傘下の公営企業部門

1) インド原子力発電公社 (NPCIL) ⁽¹⁻³⁾



インドでは原子力省 (DAE) が直接、原子力発電プロジェクトを立案・運営していたが、1987年9月に NPCIL が設立された。これにより、原子力発電プロジェクト運営の自由度が与えられ、インドの資本市場から資金を調達できるようになった。

①役割：

- ・熱中性子炉による原子力発電所の、サイト選定、設計、建設、試運転、運転、保守、改造、寿命延長、廃止措置を担当している。
- ・原子力発電所の建設に当たっては、NPCIL の基本設計を基に、総合重電機器メーカーが詳細設計、製造、据付を行っている。建設工事に関しては、建設会社に発注している。
- ・ラジャスタン1号機、高速増殖実験炉 (FBTR)、ならびに高速増殖原型炉 (PFBR) を除くインド国内のすべての原子力発電所を所有している。

注) ラジャスタン1号機はDAEが所有し、運転はNPCILが行っている。FBTRは所有者・運転者ともDAEである。PFBRは、バラティヤ・ナビキヤ・ビジュット・ニガム公社 (BHAVINI) が建設・運転・保守を行う。

②NPCIL のデータ

(インドの会計年度は 4/1～3/31。2010年1月時点では 1ルピー=1.99円)：

—2007年度末総固定資産：約2,500億ルピー (約4,975億円)

従業員：11,924人 (エンジニアと科学者が3,270人、技術者が5,690人、事務系職員が1,759人、補助スタッフが1,205人)。

*全世界200カ国以上で、1億事業所以上の企業データベースを構築し、運用する企業情報調査会社Dun & Bradstreet社の2006年報告書では、NPCILは、純資産は、インドのトップ企業500社中、純資産は8位、純利益は14位、総収入は66位である。

—2007年度：

売上高は約333億ルピー (約663億円)、総収入は426億ルピー (約848億円)、利益は約120億ルピー (約239億円)

発電量は169億kWh (インドの総発電電力量の約3%)

*1kWh当たりの平均電力料金は2.28ルピー (約4.5円) である。

ーインド政府から予算支援は受けていない。

③最近の動き

a. 「カザトムプロム」との覚書調印

2009年1月24日、NPCILはカザフスタンの国営原子力企業である「カザトムプロム(KAP)」と民生用原子力発電分野での協力に関する覚書に調印した。カザフスタンのN. ナザルバエフ大統領の1月23日からのインド訪問に合わせて実現したもので、今回の覚書により、豪州に次いで世界第2位のウラン埋蔵量を誇るカザフスタンでの天然ウラン採掘とインドへの供給、人材養成等で両国が協力していくことになった。

また、カザフスタン側は、インドの重水炉 (PHWR) 技術を基礎に、カザフスタンでの原子力発電プラント建設のフィジビリティ・スタディ (FS) へのインドの参加への関心を明記した。

b. 仏 AREVA との覚書調印：最大6基までのEPRを購入

2008年9月の印仏原子力平和利用協力協定締結を受けて、2008年12月17日、AREVAは国際社会がインドとの原子力ビジネスの再開を決定して以降初めて、DAEと、インドの民生用原子力発電所向けウラン燃料の供給契約に調印した。NPCIL所有の原子力発電所に300トンのウラン燃料を供給するとの内容で、ウラン燃料の調達不足から、定格出力以下での操業を余儀なくされていたインドにとって、備蓄燃料の不足が解消される見通しとなった。

さらに2009年2月4日ニューデリーで、AREVAはNPCILと、インドに少なくとも2基のEPR(欧州加圧水型炉)の建設とそれらに対する燃料供給に関する覚書に調印した。

これにより両社は、マハーラーシュトラ州のジャイタプールにおける160万kW級EPRの2~6基の建設およびこれらの燃料供給について、協議を進める。

AREVAはインド法人であるAREVA T&D Indiaを通じて、インド国内にすでに8つの事業拠点があり、4,200名以上の従業員を抱えている。

c. GE日立ニュークリア・エナジーと覚書調印

2009年3月23日、NPCILならびにバーラト重電機公社(BHEL)は、GE日立ニュークリア・エナジー(GEH)と、インドにおける複数のABWR建設協力に関する覚書に調印した。

今回の覚書により、3社は出力135万kWのABWRを複数インドに建設するための製造および建設管理等での協力を検討する。GEHは、米国原子力規制委員会(NRC)で設計認証審査中のESBWR(高経済性・単純化沸騰水型炉)についても今後、顧

客に勧める方針を明らかにしている。

d. 韓国電力公社と覚書調印

2009年8月27日、韓国電力公社(KEPCO)と原子力発電分野での協力覚書に調印した。これにより、原子力発電に関する技術データや知見の交換、相互訪問や共同事業を促進する。具体的には、原子炉の開発・運転・メンテナンス、核燃料、主要機器・設備の製造・供給、および韓国のAPR1400(140万kW級次世代型軽水炉)に関する、インドで認可を受け、建設するための共同研究も含まれる。

政府間原子力協力協定の締結を待ち、商業取引契約が可能になる。

e. 国営ナショナル・アルミニウムと覚書調印

2009年11月28日、NPCILは国営ナショナル・アルミニウム(NALCO)と、国内2カ所に原子力発電所を共同建設するための覚書に調印した。NALCOが最大で49%、NPCILが51%以上を出資して合弁企業を設立する。建設サイトは、両社で委員会(委員長はNPCILの取締役)を設置して、協議する。

これはインド政府の、「原子力発電所建設に向け首都圏の公的企業に協力を要請する」との方針に基づく働きかけへの最初の応答であり、次項の石油公社の動きにもつながっている。

f. ラーセン&トゥブロ社(L&T)と覚書調印

2009年11月30日、NPCILは輸入に依存している原子炉用特殊鋼と鍛造品の製造のため、合弁会社を設立し国産化する覚書をL&Tと締結した。合弁会社の資本金は50億ルピー(約100億円)で、NPCILが26%、L&Tが74%を出資する。

172億5,000万ルピー(約343億円)を投じて、西部グジャラート州ハジラ(Hazira, Gujarat State)港のすぐ近くに統合製造施設を設置する。重さ600メトリックトンのインゴット生産が可能なスチール溶解工場、および鍛造プレス付きの重鍛造品工場等、世界でも最大規模のものになる。加圧器や蒸気発生器(SG)等の原子炉用鍛造品のほかに、火力発電所や炭化水素部門の重要大型機器用鍛造品も製造する。2010年1月9日に起工式典が行われた。稼動は2011年4月で、鍛造製品を年5万トン程度生産の予定。2013年に輸出品を生産することを狙っている。

*2009年9月10日、NPCILがラジャスタン-7・8号機(各70万kW級)の蒸気発生器の設計・製造・供給をL&Tに発注したとの報道もある。

g. バーラト重電機公社(BHEL)ならびに仏アルストムと覚書調印

2009年12月1日、3社間で合弁会社設立の覚書に調印した。

2008年度に NPCIL と BHEL が原子力発電所の設計・調達・建設 (EPC) を手がける合弁企業の設定で合意した後、海外企業にも参画を打診した結果、今回のアルストムの参加 (合弁に 33%出資) を得たもの。NPCIL の出資金額は、前項の L&T との合弁事業への出資よりも少ない。

h. インド石油公社と原子力発電所共同建設に向けて覚書調印

2009年12月7日、NPCIL はインド石油公社 (IOC) と、100 万 kW 級の原子力発電所の共同建設に向けて覚書に調印した。NPCIL が 51%以上出資し、IOC の出資比率は NPCIL の出資幅に応じて 29~49%になる。総工費は 1,000 億ルピー (約 1,990 億円) で、IOC は 100~150 億ルピーを負担する予定。資金の 7 割は融資、3 割は市場から調達、2014 年の完成をめざす。半年内にサイトを決定。IOC はこれを機にエネルギー総合企業への転進を図り、将来的には単独での原子力発電事業を展開することを検討している。

*NPCIL は、インド火力発電公社 (NTPC) とも 2008 年 12 月に合弁企業設立の覚書に調印している。NTPC は石炭火力を中心とした 2,700 万 kW 以上の発電容量をもっており、インド各州の電力局とのつながりをもっていることから、NPCIL にとっても将来原子力発電による電気の送電では、NTPC との連携が望ましい。

なお、この合弁設立も原子力発電事業への民間企業参入の布石とみられ、民間企業ではすでにラーセン&トップロ (L&T)、タタ・パワー、リライアンス・インフラ、GMR、ジンダル・グループ、ヒンドウジャ・グループ、BHEL 等も原子力発電事業への参入に名乗りを上げている。

2) その他の公営企業部門

①インド希土類公社 (IREL) : 鉍物砂の採鉍、処理

- ・トリウム、希土類鉍物を含む鉍物砂の採鉍、処理、イルメナイト (チタン鉄鉍)、ルチル (金紅石)、モナザイト、ジルコン、ガーネット (金剛石) 等の鉍物の生産

②インド・ウラン公社 (UCIL) : ウランの採鉍、製錬、処理

③インド・エレクトロニクス公社 (ECIL) : 原子炉、その他の計装制御系の設計・製造

④バラティヤ・ナビキヤ・ビジュット・ニガム公社 (BHAVINI) : 高速炉の建設

- ・インドで最初の FBR 原型炉 (PFBR, 50 万 kW) は、BHAVINI が建設中である。
- ・インドの原子力法では、NPCIL にのみ原子力発電プラントの建設を認めていたが、FBR 建設でも専門機関が必要との判断から、2004 年 10 月に IGCAR と原子力発電公社

- (NPCIL) の人材を集めて BHAVINI を設立 (総裁は NPCIL ジェイン 総裁が兼務)。
- これにより、IGCAR が PFBR の研究開発と基本設計までを担当し、BHAVINI が PFBR およびその後継炉の建設・運転・保守を担当する体制が整備された。

図表 16：高速増殖原型炉 (PFBR) の概要

熱出力	型式/ 減速材/ 冷却材	臨界日	備考
1,250 MWt (電気出力 50 万 kWe)	FBR/ 減速材 はなし/ ナトリ ウム	2004 年 10 月 着工/ 2010 年 9 月 臨界/ 2011 年 3 月完成 (II-5)	<ul style="list-style-type: none"> • インドの基本路線①重水炉での発電と使用済燃料からの Pu-239 抽出→②FBR での Pu-239 燃焼と、減損 U からの Pu-239 抽出ならびに Th-232 からの U-233 生産→③FBR での U-233 燃焼と Th-232 からの U-233 生産)の第 3 段階を担う炉技術の開発が目的。 • 当初は 2010 年完成を予定。タンク型。基礎コンクリート施工開始直後の 2004 年 12 月に、インドネシア沖地震による津波被害で 4 ヶ月半の遅れが出たことも原因 (II-5)。 • 混合酸化物燃料を使用 (II-3) (II-4) • 世界最大の 1,250 トン・ローラークレーンを用いて建設中。

図表 17：カルパッカムでの高速増殖原型炉 (PFBR) 建設現場 (II-7)



*PFBR に関しては、以下のような情報がある（2008 年 11 月、東京工業大学関本博教授まとめ）⁽¹⁻³⁾。

ー冷却材出口温度を 550℃で、40 年以上の運転を予定

ーPFBR の後は、2020 年までに PFBR と同様の原子炉を 4 基建設、その後は 1,000MWe の金属燃料高速炉を建設する。さらにトリウムを装荷し、U-233 を製造する。

現時点での、FBTR、PFBR、常陽、もんじゅの比較表は、次のとおりである。

図表 18: 日印高速増殖炉の実験炉・原型炉の比較

	日本		インド	
	実験炉常陽	原型炉もんじゅ	実験炉 FBTR	原型炉 PFBR
臨界	1977 年	1994 年	1985 年	2011 年予定
熱出力 (MWt)	140	714	40	1,250
電気出力 (MWe)	0	280	13.5	500
冷却タイプ	ループ型			プール型
燃料	混合酸化燃料、 濃縮ウラン酸化物	混合酸化燃料	世界初の混合 炭化燃料使用	混合酸化燃料

6. 原子力省 (DAE) 傘下の産業部門

①重水製造局 (HWB) : 重水生産

②核燃料コンプレックス (NFC) : 核燃料、ジルカロイ製品、ステンレス鋼管の製造

*ハイデラバードはインドにおける核燃料製造の本拠地で、加圧重水炉 (PHWR) 用天然ウラン燃料の製造や BWR 用ウラン燃料加工、六フッ化ウランの転換等が 1972 年から行われている。

③放射線アイソトープ技術局 (BRIT) : ラジオアイソトープの加工・販売

7. 原子力関連企業

1) 主要企業等の概要 (I-3) (II-8)



- ・インドで唯一、米国機械学会 (ASME) の認定を受けた重電機器製造企業である (II-9)。
- ・2009年7月26日、インド初の国産原子力潜水艦「アリハント」(排水量6千トン。出力8万kW、40%濃縮ウラン燃料使用のPWRを搭載)がロシアの技術支援で進水。この建造ではL&Tは最新の3次元モデリング等のエンジニアリング部門で参加。原潜は少なくともあと3隻が建造中。

①Larsen & Toubro Ltd. (ラーセン&トゥブロ社:L&T)

- a. インドの民間企業で最大手の総合重電機器メーカー。建設、重機械製造、電気・電子設備、ITが主要事業。1938年にデンマーク人が設立、ムンバイに本社を置く。
- b. 重機械製造では、化学プラント、航空・宇宙、火力発電、原子力発電、造船、防衛産業等を手がける。またそれらのエンジニアリング、建設も手がける。

原子力関連機器は、次の4つの工場で作製される。とくにHazira工場(5.1)③ f. 参照)とPowai工場は、広大な敷地を有する。

- －Hazira工場 / Surat (原子炉容器、蒸気発生器等を製造)
- －Powai工場 / Mumbai (蒸気発生器、熱交換器を製造)
- －Ranoli工場 / Baroda (炉内構造物、蒸気発生器等を製造)
- －Coimbatore工場 / Coimbatore (制御棒駆動装置、燃料交換装置等を製造)

原子力機器の製造は1965年から手掛けている。次の製造・納入実績がある。

- －22万kWのPHWR(カイガ3・4号機やマドラス1号機)および54万kWのPHWR(タラプール3号機等)の蒸気発生器
- －FBRの原子炉容器/カランドリア、蒸気発生器、制御棒駆動装置、燃料交換装置、熱交換器、および重水プラント
 - *Powai工場では、伝熱管同士の溶接を内側からするInternal Bore Welding技術等を得意とする。PFBRの蒸気発生器製造に適用している(I-3)。
- －また、インドで初めて建設されたVVER-1000(クダンクラム1・2号機)の主要機器

C. その他:

- ・2007年度の年間売上高は74億ドル(\$1=¥91で計算すると約6,734億円)、従業員数は3万2,060人。

- ・L&T は、2015 年までに、世界全体の原子力発電プラント建設市場で年間 600 億ルーピー（約 1,194 億円）の受注をめざす。海外の原発建設からの受注を 2011 年以降に期待する。現状で 100 万 kW 級の原発を同時に 4 基建設できる（II-10）。
- ・原子力分野ではないが、三菱重工業とは 2007 年 5 月に、超臨界ボイラー&タービンで技術提携の契約に調印している（II-11）（II-12）。

d. 最近の動き：

- ・2009 年 1 月 16 日、ウェスチングハウス社（WEC）と、AP1000 を含む PWR のモジュラー建設工法に関する協力覚書に調印した。協力のスコープには、モジュラー機器、構造物、配管の製造も含まれる。
- ・2009 年 1 月 21 日、カナダ原子力公社（AECL）と、改良型 CANDU 炉である「第三代+」の ACR1000 の開発協力で覚書に調印した。ACR1000 の共同開発と、インド国内での設計・調達・建設（EPC）ベースでの原子力発電プラント建設での協力も含む。インドとカナダの政府間原子力協力協定の締結が前提となる。
- ・2009 年 3 月 30 日、カクラパール原子力発電所で計画されている 70 万 kW 級加圧重水炉（PHWR）の蒸気発生器 4 基の製造・供給を NPCIL と契約した。

*3 月 27 日にはバーラト重電機公社（BHEL）も同じくカクラパール原子力発電所用の蒸気発生器を 4 基受注。契約額は、両社とも 34 億 5,000 万ルーピー（約 69 億円）。

- ・2009 年 4 月 15 日モスクワで、ロシア国営の原子力建設輸出企業であるアトムストロイエクスポート社（ASE）と協力覚書に調印した。2008 年 12 月の両社の合意に基づくもの。

インドのクダンGRAM原子力発電所（KK3～6 号機の 4 基）向けを含むロシア型 PWR（VVER）用の機器・システム（含計装制御）、弁・配管の製造や、建設工事業務等での協力の他、インド国内外での新規 VVER 建設での協力を含む。

*L&T は、主契約者 ASE の下で、KK-1・2 号機（100 万 kW×2 基）の建設および配管敷設・組立て等の作業を担当（KK は 8 号機まで増設の可能性がある）。

- ・2009 年 5 月 28 日、GE 日立ニュークリア・エナジー社（GEH）と、複数の ABWR のインド国内での建設時の供給ネットワーク強化のため、「BWR および ABWR 開発の覚書」に調印した。

*GEH によると、両社の提携は、2008 年 10 月の米・印原子力協力協定締結以来、米国系企業による原子力技術貿易としては最初の予備協定。

今回の合意により、両社は今後、ABWR 建設時のエンジニアリング管理／建設計画を策定する。

GEH は L&T に ABWR の原子炉系統設備や主要機器の技術、および関連するエンジニアリング、助言サービス等を提供する。GEH はまた、ABWR の最新モジュール建設技術も協力対象に含める予定でいる。

L&T は、インドにおける PHWR の機器製造や建設、およびプロジェクト管理での経験を生かし、エンジニアリングや機器製造および建設で GEH 社と協働、建設管理サービスを提供する。



② Bharat Heavy Electrical Ltd. (バーラト重電機公社 : BHEL) (II-13)

- a. インド最大の国営の重電機器メーカー。1964 年に設立され、ニューデリーに本社を置く。生産工場は 14 ヶ所、サービス・センターが 8 ヶ所にある。国内・海外の 100 地点以上で建設プロジェクトを実施中。幅広くエネルギー関連インフラ整備で、機器の製造・設置サービスをしている。製造する機械は、空調、ボイラー、ガスタービン、スチームタービン等 180 品目。現在までに累積で 1 億 kW の発電設備を 71 カ国に納入している。

インド国内の発電設備の建設累積 (2008 年 3 月末時点) で見ると、火力 (総容量 9,361 万 8 千 kW 中の 70% の 6,559 万 kW)、原子力 (同 412 万 kW 中の 80% の 328 万 kW)、水力 (同 3,667 万 4 千 kW 中の 46% の 1,687 万 1 千 kW) を BHEL が受注している。

インドのトップ企業の第 8 位 (FE500 リスト) あるいは第 5 位 (Forbe 社の Asia-Pacific Biuggest Companies) に位置する。インドの大統領府が株式の 67.72% を保有 (2008 年 9 月末現在)。

受注高は、1,647 億 8 千万ルピー (2003 年度)、1,832 億ルピー (2004 年度)、1,893 億 8 千万ルピー (2005 年度)、3,564 億 3 千万ルピー (2006 年度)、5,027 億ルピー (2007 年度) となっている。2008 年 9 月末時点での受注残高は 1 兆 400 億ルピーである。

- b. 1970 年以降に最初の原子力関連受注があり、インド国内の 22 万 kW、および 54 万 kW の PHWR への蒸気発生器等の納入実績がある。70 万 kW 級のタービン発電機も製造できる。原子炉容器、熱交換器等も納入している。マドラス原子力発電所が最初の主要原子力プロジェクトで、2008 年 11 月現在のインド国内で運転中の原子力発電プラント 17 基のうち、タラプール原子力発電所-3・4 号機を含む 12 基のタービン発電機を納入した。原子力発電プラントの主要機器の 80% を受注している。

*水力や火力での鍛造品の製造実績

—タービン・ローター : 直径 1,115mm、重さ 18 トン

- ー発電機ローター：直径 935mm、24 トン
- ー水力発電機シャフト：直径 1,800mm、27 トン
- ーリング：直径 1,800mm、8 トン
- ーディスク：直径 2,200 mm、10 トン

c. その他：

- ・2007 年度の年間売上高は約 2,140 億ルピー（約 4,259 億円）、従業員数は 4 万 3,636 人。
 - * 米国機械学会（ASME）の認定基準に則ってボイラー(S シンボル)の設計・製造や、圧力容器や熱交換器（U&U2 シンボル）を製造。
 - * 後述の英国 SFIL 社との技術移転契約関連では、「BHEL は、年間 40 億ポンド（£1=148 円で計算すると約 5,920 億円）の売上高があるが、今後 3 年間で 30%の成長を見込んでいる」と報じられている。

d. 最近の動き：

- ・2009 年 3 月 23 日、BHEL は NPCIL とともに GE 日立ニュークリア・エナジー社（GEH）と、インドにおける複数の ABWR 建設協力に関する覚書に調印した。
 - *（NPCIL の項参照）出力 135 万 kW の ABWR を複数、インドに建設するための、製造・建設管理での協力を行う。
- ・2009 年 3 月 27 日、BHEL は、カクラパール原子力発電所で計画されている 70 万 kW 級加圧重水炉（PHWR）の蒸気発生器 4 基を製造・供給する契約を NPCIL と締結した。
 - * 3 月 30 日には L&T も同じくカクラパール原子力発電所用の蒸気発生器を 4 基受注。契約額は、両社とも 34 億 5,000 万ルピー（約 69 億円）
- ・2009 年 3 月 31 日、英国の大型鋳鍛造品製造業者シェフィールド・フォージマスターズ・インターナショナル社（SFIL）と BHEL への技術移転で覚書に署名した。
 - * BHEL は、ウッタラカンド州ハリッドワー工場で発電用鋳造機器を製造している。
 - * SFIL は、BHEL がインド国内市場で水力、原子力、火力発電所用の大型機器鍛造工場の新設を 10 年間監督する。将来的には鋳鍛造技術者の訓練も実施する。
 - * BHEL は、SFIL の技術移転と製品販売時の特許料として 3,000 万ポンド（約 44 億円）を支払う。
- ・2010 年 1 月初め、BHEL がフランスの重機器製造の大手のアルストムや東芝と、技術提携に向けた交渉に入ったことが報じられた。BHEL は、NPCIL と原子力発電プラントのエンジニアリング・資機材調達・建設（EPC）を手がける合弁企業を設立し、海外の原子力発電に関する最新技術の導入を計画しているという。すでに B&T も同

様に海外にパートナー企業を見出す動きを始めている。

③ Walchandnagar Industries Ltd.

(ワルチャンドナガール・インダストリーズ：WIL)



- a. 火力発電、原子力発電、宇宙計画、セメント等を手がける重電機器メーカー。1908年に航空機製造会社として設立され、ムンバイに本社を置く。
- b. 原子力関連機器としては、遮蔽体、PHWRのカランドリア、燃料交換機、熱交換器、ダンプタンク、またPFBRのコアキャッチャー等を製造している。
- c. 2007年度の売上高は約70億ルピー（約139億円）。

④ Godrej & Boyce Co. Ltd. (ゴドレッジ&ボイス)



- a. エンジニアリングから消費者製品まで扱うインド最大手民間企業の一つ。1897年に創立され、ムンバイに本社を置く。家電、家具、錠前、工業製品、加工プラントおよび機器の製造、建設および不動産、電子機器を取り扱う。
- b. 原子力関連としては、放射線管理区域用エアロックドア、高圧原子炉ドア、燃料交換機関連装置、シャットダウンシステム駆動装置等を製造している。
- c. 2006年度の年間売上高は289億ルピー（約575億円）、従業員数は9,000人。

⑤ Avasarala Technologies Ltd. (アバサララ・テクノロジーズ：ATL)



- a. 機械製造産業のプロジェクト・コンサルティング企業として1985年に設立、1986年より特殊用途加工機械とオートメーションシステムの設計・製造加工を開始した。バンガロールに本社を置く。原子力、宇宙、ファクトリー・オートメーション、医療等の分野で機器製造を行っている。
- b. 原子力の分野では、燃料交換機遠隔操作ヘッド、放射線遮蔽窓、高精度位置検出器等高度技術製品を提供している。
- c. 2007年度の年間売上高は15億ルピー（約30億円）、従業員数620人。

⑥ TCE Consulting Engineers Ltd.
(TCE コンサルティング・エンジニア : TCE-CE)



- a. (インドの GDP の 3% を占める) タタ・グループのエンジニアリング・コンサルティング企業。1962 年に設立され、ムンバイに本社を置く。火力・水力また原子力発電、化学工業等大規模設備のプロジェクト管理、エンジニアリングを手がける。
- b. 原子力の分野では、発電所、廃棄物処分、燃料加工、燃料交換等において、設計・調達・建設・試運転監督等を行っている。
- c. 国内で 650 以上のプロジェクトを、また海外では 75 以上のプロジェクトを手がけている。従業員数は 2,000 人。

⑦ Gammon India Ltd. (ギャモン・インド : GIL)



- a. ムンバイに本社を置くインド最大の建設会社。橋梁、港湾、火力および原子力発電所、ダム、化学プラント、オイルおよびガスパイプライン等の設計・建設を行っている。
- b. 原子力関連施設では、カイガ 3、4 号機 (各 22 万 kW の PHWR) の建設を行った他、ラジャスタン原子力発電所の建設にも携わった。

* これまでの原子力発電プラントの建設事例^(H-7) :

- ー 1959 年の BARC 前身研究所への 450 万 m³ タンク (直径 24m、厚さ 200 月)
- ー 1965 年のインド初号原子力発電プラントであるラジャスタン原子力発電プラントで、インド初のプレストレスト・コンクリート格納容器
- ー 1983 年のナローラ原子力発電プラントと 1989 年のカクラパール原子力発電プラントでの換気煙突の設計・建設と、
- ー 1984 年のナローラ原子力発電プラントでの冷却塔の設計・建設
- ー 1991 年のタラプール原子力発電プラントでの使用済燃料貯蔵建屋等の建設
- ー 2007 年のカイガ原子力発電プラント 3・4 号機の主プラント建屋の建設のデータ
 - ・ 契約条件としての完成時期 : 2005 年 11 月 30 日 (50 ヶ月)
 - ・ その後の条件変更による完成時期 : 2007 年 11 月 30 日 (74 ヶ月)
 - ・ 契約当初の格納容器 : 25 億 5,710 万ルピー (約 5,682 万 US ドル)
 - ・ 条件変更後の格納容器 : 27 億 1,450 万ルピー (約 6,032 万 US ドル)
 - ・ 役務コスト : エスカレーションなしでは 33 億 4,530 万ルピー (約 7,434 万 US ドル)

：エスカレーション込みでは41億5,310万ルピー（約9,229万USドル）
ーカルパッカムで建設中のPFBRの炉格納容器、タービン、取水口等の建設

図表19：カイガ原子力発電所3号機の完成写真（II-7）



c. 2007年度の年間売上高は約251億ルピー（約499億円）。

⑧ Mishra Dhatu Nigam Ltd.（ミシュラ・ダトゥ・ニガム：MIDHANI）



- a. ハイテク特殊金属・合金製造会社。ハイデラバードに本社を置く。超合金、チタニウム、特殊用途鋼鉄等を製造しており、航空宇宙、防衛、原子力等の発電、化学工業等のハイテク産業に利用されている。
- b. 原子力関連では、PHWR 機器用に、マルテンサイト合金、PH 鋼、304L 硝酸オーステナイトステンレス鋼等を製造し、核燃料製造用に純モリブデンおよび合金モリブデンボートを製造している。
- c. 2007年度の年間売上高は25.5億ルピー（約51億円）、従業員数は1,264人。

⑨ GMR Group（GMR グループ）



- a. 空港（デリー、ハイデラバードの両国際空港、またトルコのイスタンブール国際空港の開発）、発電所、高速道路、都市基盤等のインフラ基盤整備を行っているグループ企業。事業は、教育、衛生からインドネシアでの石炭開発まで、多岐

にわたる。1978年に設立され、バンガロールに本社を置く。

エネルギー部門ではGMR Energy社があり、80.85万kWの火力発電プラントをもっている。現在建設中の石炭火力発電所と水力発電所の合計は274万kWである。

- b. パブリック・プライベート・パートナーシップ (PPP) *等により、民間で最初の原子力発電事業者になることも考えており、元NPCIL 総裁のスリニバサン氏を顧問として登用した。

* 公営事業に、民間事業者が計画段階から参加して、設備は官が保有したまま、設備投資や運営を民間事業者に委託する等の手法。

- c. 2007年度の連結総収益は277億ルピー(約551億円)、その内電力部門が57.53%を占め、空港部門が32%、道路部門が5.41%と続く。

⑩ MTAR Technologies Private Ltd. (MTAR テクノロジー・プライベート社)

- a. 航空宇宙や軍事に関連する精密加工企業。ハイデラバードに本社。1970年に創立。創業者Reddy家が74%の株をもつが、米国のBlackstoneグループが残りの26%をもつ。

- b. 原子力分野では3億ルピー(約6億円)でFBR原型炉(PFBR)のステンレス鋼格子板の受注実績がある。2008年12月1日に、P. Ravindra Reddy会長は、原子力と航空宇宙分野の設備拡大のため10億ルピー(約19億円)の投資を発表した^(II-14)。

⑪ Hindustan Construction (ヒンドゥスタン・コンストラクション社:HCC)

- a. 2009年半ばに、英国を本拠地とする国際プロジェクト管理企業AMEC社と、インドの新規原子力発電所建設計画で、設計・調達・建設(EPC)およびコンサルティングの受注をめざし協力する覚書に調印^(II-15)。

HCCはインドの原子力設備の土木建築工事の50%のシェアを占める。

- b. この提携で、新規原子炉の建設コスト削減に役立つ技術基盤構築が期待される。

⑫ インド原子力産業協会(IAIF)^(II-16)

- a. 1996年10月、原子力発電公社(NPCIL)のイニシアティブにより設立。ムンバイ

に所在。IAIF は、産業界、研究機関の間で情報・意見の交換を促し、究極的には原子力発電を促進することを目的とする。

- b. このため、原子力発電所建設のプロジェクトのコスト・工期の管理や、保守専門機関を含む各種役務機関の設立を促進する。
- c. また、官・産業・国民の間で原子力発電開発の触媒的機能を果たす。
- d. この他、国際協力、情報サービス、人材育成、会議開催、会員相互の連携、世界の原子力機器およびサービス市場へのインドの産業界の参、コンサルタント・サービス等を促進する。
- e. 入会金 10,000 ルピーで、終身会員となり、事後の年会費の支払いは不要。

⑬ インド原子力学会 (INS) ⁽¹⁻³⁾

- a. インドにおける原子力科学・技術・工学の推進を目的に、1988 年 1 月に設立。
- b. 本部はムンバイで、支部は 7 ヶ所。約 4200 人の個人会員、52 の法人会員が所属。
- c. ラマ・ラオ教授を会長とする執行委員会の上に、資金・活動管理を行う評議員会が設けられている。評議員は（原子力委員長を含む*）4 人。
*2008 年 11 月時点での構成。
- d. 年に一度、国内の原子力関係者、研究者が集う年会を開催。

2) インドの原子力産業界の課題 ^{(1-3) (1-7)}

①2008 年 11 月の「インド原子力学会年会 (INSAC-2008)」で、NPCIL のジャイン総裁は、インドの原子力産業界の現状を以下のように指摘した。

- a. インドの産業界にとって、ウランへのアクセス、大型軽水炉の建設による原子力発電の急速な拡大、国内外の市場への参入、輸出への期待、特定の分野における専門的サポートサービスといった機会が生まれる。ウランの需要は 1,600 トン/年と見込まれる。

- b. 各 6~8 基を有する原子力パークを 4~5 サイトで、同時に並行して建設が進むことを期待。雇用を創出し、600 億ドル相当のビジネスとなる。原発運転開始後の専門サービスも必要になる。
- c. 課題としては、主要装置と鍛造品の製造、世界的な金融危機、流出や知識伝承といった人材問題、IAEA や WANO と連携しての安全文化の確立、セキュリティ対応、新規建設時のコスト最適化、運転経験の不足、エネルギー単価を競争力のあるものにする事である。
- d. 外国の企業との提携の進め方
 - ー軽水炉導入について、ロシアや AREVA、GE、WEC と交渉を進めているが、ターンキー契約ではない。
 - ー価格の問題があるので、最終的には 80%程度の機器を国産化したい。インド原子力産業協会 (IAIF) を通じて国内のパートナーと連携を進めていきたい。
 - ー燃料供給保証が必要である。ベンダーから燃料を調達することも考えており、また国際市場では AREVA とともにウラン獲得で投資を行う計画である。

②また同じ INSAC-2008 で、インドの中央電力庁 (CEA) の Pakesh Nath 会長は、インドの原子力産業界の課題を以下のように指摘している^(II-12)。

- ア. 競争が限定されている。これは価格削減上致命的。
- イ. 主要機器製造能力が、第 11 次 5 ヶ年計画を満たすのに十分ではない。設備増強、人材養成、(タービンや発電機の鍛造品や鋳造品、高圧配管部材、変圧器用の CRGO 鋼等世界市場で供給者が限定されている) クリティカルな資機材の早期調達準備等が疎かになっている。すでに BHEL には対応を指示した。この分野のインド国内での施設増強も必要。
- ウ. すでに L&T は三菱重工業と超臨界ボイラー&タービンで合弁製造企業を立ち上げつつあるが、東芝/ジンダル・サウス・ウエスト (JSW) との合弁、タービン発電機用のアルストム/BHEL 鍛造合弁、ボイラーでのアンサルドとの合弁等が準備されつつある。CEA が、これらの合弁にどのような品質仕様を求めているかを十分理解すること。それらは、CEA のウェブに掲載してある。
- エ. バランス・オブ・プラント (BOP) の製造の遅れがはなはだしいので、主機の発注から 6 ヶ月以内に BOP も発注する。
- オ. 新型建設機器を購入すべき。リース方式依存の問題を理解すべき。
- カ. 土木作業の実行企業が少ない。
- キ. プロジェクト管理では、IT 使用によるモニタリングができていない。契約方

- 式を改善して、発注者と受注者の適切なリスク分担を導入すべき。
- ク. 定額方式契約と材料・サービス変更可能契約の比較が必要。
 - ケ. 工期目標達成に対するインセンティブ設定が必要。
 - コ. 遅延コストをもっと認識すべき。50万kWの発電所建設の遅れで、他の電源でまかなうと、一日あたり2,500～6,000万ルピーの損害になる。

インドの原子力産業について、日本側専門家から以下の指摘がある⁽¹⁻³⁾。

- －製造メーカーは、研究所から図面をもらって作るだけという状況に近いように見える。
- －原子力発電炉技術開発では、関係機関のベクトルの向きが一致していないように見える。
- －PFBR 建設現場等では日本と同レベルまでの安全文化等は浸透しておらず、原子力産業の上層組織と現場レベルの下部組織とのギャップがあるように見える。
 - * 「マドラス原発（電気出力22万kWと小容量）では、12台の小型循環水ポンプを設置していた。建設時に先進国からの協力が得られず、大型ポンプが作れなかったインドでの苦慮がうかがわれた」との指摘もあった。

インドの原子力発電開発は、欧米の軽水炉技術の採用と、将来の国産高速増殖炉の投入が、これからの基本路線となるが、欧米の軽水炉技術をどこまで欧米が技術移転するかに加えて、ジャイン NPCIL 総裁とナース CEA 会長の懸念するように、インドの企業がどこまでどれくらいの速さで吸収できるのかの問題がある。

さらに、トリウム・サイクル路線は、概念はシンプルだが、核燃料サイクルの各段階の燃料、濃縮、再処理の基本技術が多岐にわたっており、標準化がされていない段階にあることから、その選択と絞込みと工学化をどう合理的に実施できるかがむずかしい問題になると思われる。

<注記>

(II-1) 出典：NPCIL の HP

<http://www.npcil.nic.in/main/ProjectConstructionDisplay.aspx>

(II-2) 出典：IAEA の「Nuclear Research Reactor in the World」

<http://www.iaea.org/worldatom/rrdb/> (1999年7月21日刊)

(II-3) 出典：2006年6月23日原子力委員会国際問題懇談会資料「インドの原子力研究・開発・利用の現状」(株)原子力安全システム研究所技術システム研究所長 木村逸郎)

(II-4) 出典：「インドにみるアジアの原子力開発」2007年5月21日。次世代原子力システム研究開発部門佐藤浩司氏スライド

(II-5) 出典：「インドに見るアジアの原子力開発－原子力新時代の幕開け（後編）」前

原子力委員会委員長藤家洋一氏、JAEA 佐藤浩司氏（2007年4月エネルギー・レビュー誌）

- (II-6) 出典：「第19回インド原子力学会年会(INSAC-2008)」(2008年11月24～26日)でのIGCARのBaldev Rajの発表「Realization of Fast Breeder Reactor Technology in India」
- (II-7) 出典：2008年11月「INSAC-2008」でのGammon India Ltd. のM.V. Jatkar 副社長の発表「Role of Construction Industry to Meet Challenges of Nuclear Industry」
- (II-8) 出典：多くの記事は、(社)日本原子力産業協会刊行の「原子力産業新聞」(週刊)から採録
- (II-9) 出典：原子力産業新聞(2009年4月23日号)
- (II-10) 出典：フジサンケイ紙の2009年12月15日のL&Tのコトワル上級副社長へのインタビューを基にした報道記事
- (II-11) 出展：2007年11月6日発行「三菱重工ニュース」第4645号
<http://www.mhi.co.jp/news/story/200711064645.html>
またNNA/ASIAの2009年8月6日報道等
- (II-12) 出典：2008年11月「INSAC-2008」でのインド中央電力庁(CEA)のPakesh Nath 委員長の発表「Indian Power Sector: A Growth Strategy」
- (II-13) 出典：2008年11月「INSAC-2008」でのBHELのK. Ravi. Kumar 会長兼社長の発表「BHEL's Role in the Power Sector and Its Specific Contribution in the Development of Nuclear Power Projects in the Country」
- (II-14) 出典：電子版Business Standard紙(2008年12月1日号)
<http://www.business-standard.com/india/news/mtar-tech-to-invest-rs-100-cr-in-aero-sez/19/01/341743/>
- (II-15) 出典：原子力産業新聞(2009年10月22日号)
- (II-16) 出典：インド原子力産業協会(IAIF)のHPから<http://iaif.nic.in>

Ⅲ. インド独自の核燃料サイクル

1. トリウム路線の選択

1) インドの原子力開発計画は、ウラン資源が乏しく品位も悪い国情を考慮して、豊富なトリウム資源を使う「トリウム・サイクル」の開発が開発初期からの一貫した基本方針となっている。

OECD/NEA と IAEA では、図表 20 のように、世界のトリウム資源を 250 万トン強とみている。

*インド・ウラン公社 (UCIL) の発表では、インド国内のウラン資源を 6 万 1 千トン、トリウム資源を 22 万 5 千トンとしている^{(1-3) (Ⅲ-1)}。また「インドには、ウラン資源は世界の 0.8%に過ぎない 78,000 トンであるが、トリウム資源は世界の 32%を占める 36 万トンがある」とする IGCAR の研究者もいる^(Ⅲ-2)。

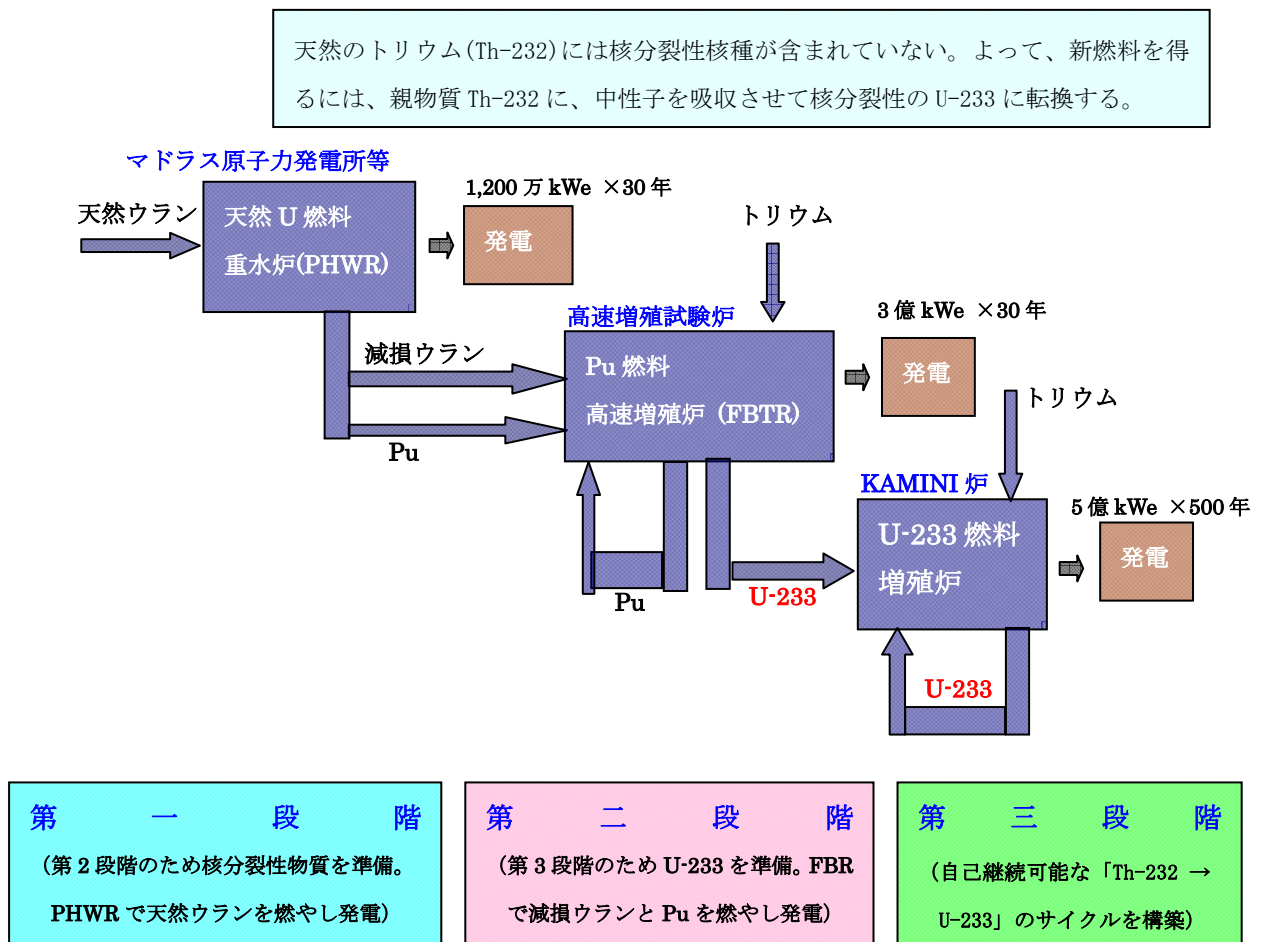
図表 20：世界のトリウム資源量^(Ⅲ-3) (単位：1,000t Th)

国名	確認資源 〈US\$80 / kgTh	推定追加資源 〈US\$80 / kgTh	発見資源量 〈US\$80 / kgTh	予測資源量
オーストラリア	46	406	452	NA
ブラジル	172	130	302	330
カナダ	NA	44	44	128
エジプト	NA	100	100	280
グリーンランド	54	NA	54	32
インド	319	NA	319	NA
ノルウェー	NA	132	132	132
ロシア	75	NA	75	NA
南アフリカ	18	NA	18	130
トルコ	344	NA	344	400-500
米国	122	278	400	274
ベネズエラ	NA	300	300	NA
その他	23	10	33	81
合計	1, 173	1, 400	2, 573	1, 787-1, 887

2) インドの「トリウム・サイクル開発計画」は、次の三段階の概念図で説明される。

- ①天然UをPHWR（総発電容量1,000万kW規模）で燃焼。使用済燃料を再処理して、Puを得る。
 - ②そのPuと減損Uを、Thとともに高速増殖炉（FBR。総発電容量3億kW規模）で燃焼。使用済燃料を再処理してPu-239とU-233を得る。
 - ③U-233、Th-232をFBR（総容量5億kW規模）で燃焼。U-233を得て、再度FBRでリサイクルし、U-233を得る。これを持続的に繰り返す。
- ただし、当面する2032年までのシナリオでは軽水炉の増強を重点化する^{(1-3)(III-4)}。

図表 21:インドの「トリウム・サイクル開発計画」概念図



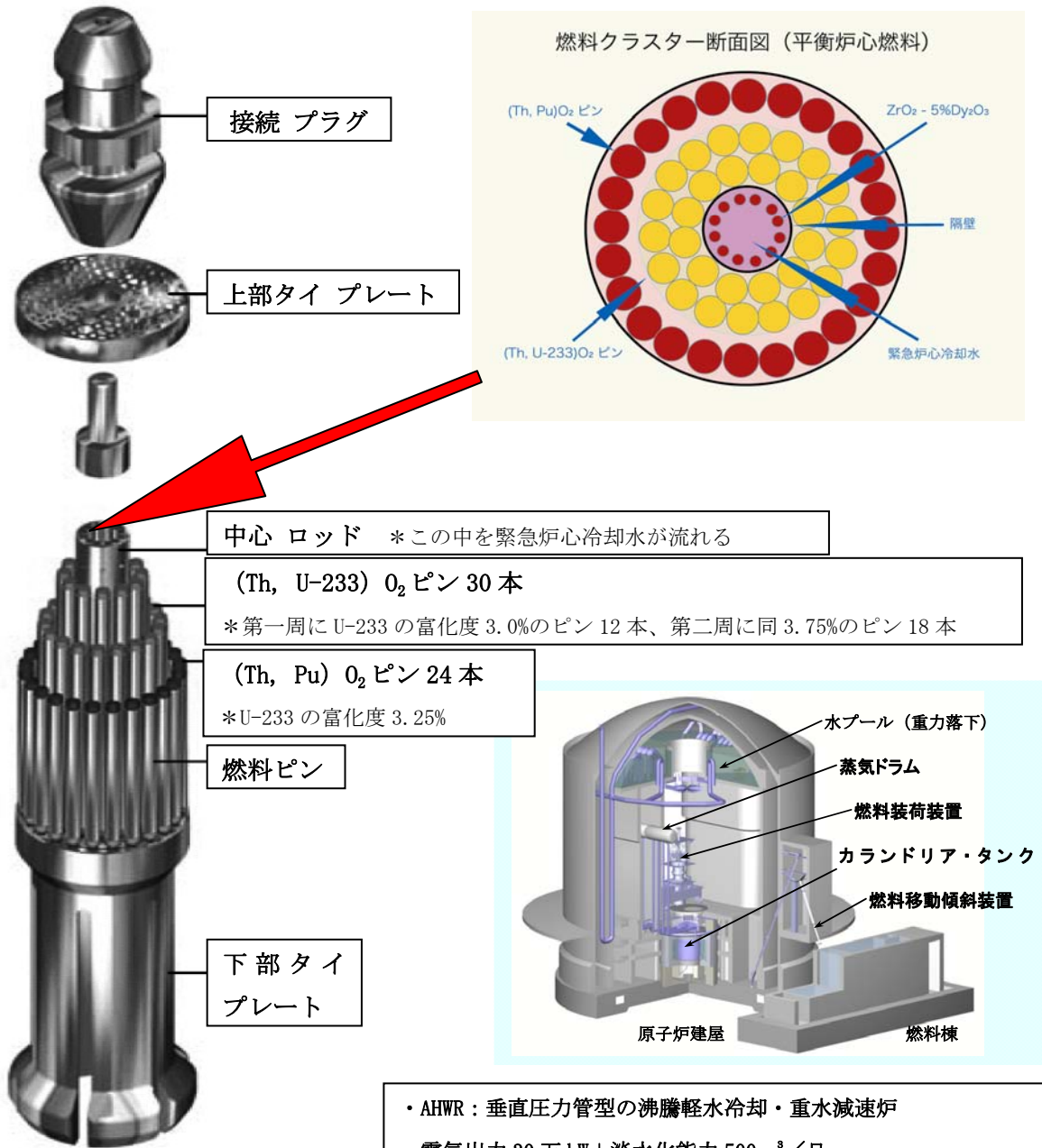
* 第一段階では、天然ウランの0.3%のみを使用するが、第二段階ではその使用率が75%以上となる。
このFBR利用段階では、ウラン資源の追加がなくてもインドの原子力発電容量を3億kWeまで拡大させることができる。

これに、開発の中心機関、燃料、生成物等の情報を加えて整理すると、次の表になる。

図表 22:インドの「トリウム・サイクル」開発計画 (III-5)

段階	中心炉型	開発中核機関	親物質	新燃料	備考	
第一段階： 重水炉	重水炉 (PHWR) 54 万 kWe	インド原子力発電公社 (NPCIL)	天然ウラン燃料 UO ₂	Pu	単基容量は、22 万 kW→54 万 kW→70 万 kW へ増大中	
第二段階： Pu 燃料 高速増殖炉 2011 年 3 月～	実験炉 FBTR (1 万 3 千 kWe)	インディラ・ガンジー原子力研究センター (IGCAR)	Pu 燃料	炭化物燃料 (PuC, UC) (Pu, U)O ₂ * ブランケットは ThO ₂	Pu と U-233	ループ型液体金属 FBR。1997 年 7 月運開。発電も行う。2003 年 7 月に外側炉心を MOX 燃料にしてハイブリッド化。2008 年試験用金属燃料を装荷
	原型炉 PFBR (50 万 kWe)	バラティヤ・ナビキヤ・ビジュト・ニガム社 (BHAVINI)				タンク型。2010 年 9 月臨界で、 2011 年 3 月運開予定
	研究炉 KAMINI (30kWe)	IGCAR	(Pu, U-233)O ₂	U-233 と Th	A1 被覆 A1 合金板状燃料を使用 (II-4)	
第三段階： 改良型重水炉 (AHWR) とそれ以降	AHWR (30 万 kWe)	バーバ原子力研究センター (BARC)	(Th, U-233) O ₂ + (Th, Pu)O ₂	Th 利用サイクル (Th と U-233 で核燃料サイクルを閉じる)	<ul style="list-style-type: none"> • これ自身が FBR • BARC では「第三プラス世代炉」と位置付けている (III-6) (図表 23 参照) • 重水減速・沸騰軽水冷却の受動的安全を強化した炉 • Th とともに低濃縮 U (LEU) を用いた AHWR-LEU という新しいモデルも設計中 (III-7) 	
	商業用 FBR (100 万 kWe)	BHAVINI	金属燃料		<ul style="list-style-type: none"> • 金属燃料炉心：高増殖で、システム倍増時間を短縮できる。よって国内の急速な電力需要に対応 • 加速器分離駆動システム (ADS) で Th-232 から U-233 を生産し、さらなる有効利用を促進する (III-8) 	

図表 23：改良型重水炉（AHWR）とそこで使うトリウム燃料集合体の概要



- AHWR：垂直圧力管型の沸騰軽水冷却・重水減速炉
- 電気出力 30 万 kW+淡水化能力 500 m³/日
- 出力の 70%はトリウム燃料に起因
- 受動安全性の採用：
 - 自然循環。緊急時対応猶予日数は 3 日間
 - ボイド係数は、少し負、他
- 冷却材喪失事故（LOCA）時の燃料ピンへの ECCS 水の直接注入
- 冷却材管は簡単に交換が可能
- 低品質熱による海水脱塩
- 設計寿命：100 年間

2. 核燃料サイクルの研究開発とそのための施設

1) 核燃料サイクル施設

インドでは、固有のトリウム・サイクル路線の堅持と、核爆発実験による国際原子力社会での孤立のふたつの要因で、独力でさまざまな再処理や燃料製造の施設を建設してきた。

図表 24：インドの核燃料サイクル施設^(III-9) (2006年4月22日現在)

番号	施設名	所在地	所有者/運転者	施設区分	施設状況	運転開始日	容量	備考
1	Baroda	Baroda, Hazira	原子力省 (DAE)	重水製造	運転中	1977 年	17 トン/年	商業規模。水素-アンモニア交換法
2	Coral	Kalpakkam, Tamilnadu	DAE/インディア・ガゼット-原子力研究センター IGCAR)	使用済燃料 (U と Pu の混合) 再処理	運転中	2003 年	微量	パイロット規模。酸化 Pu と酸化 U を生産
3	Hazira	Surat, Hazira	DAE/DAE	重水製造	運転中	1991 年	80 トン/年	商業規模。水素-アンモニア交換法
4	Kota	Rawatbhata, Rajasthan				1985 年	85 トン/年	商業規模。H ₂ S-H ₂ O 交換法
5	KPM	West Khasi Hills District, Maghalaya	- / -	ウラン鉱石処理	検討中	未定	未定	商業規模
6	Manuguru	Manuguru. Andhra Pradesh	DAE/DAE	重水製造	運転中	1991 年	185 トン/年	商業規模。H ₂ S-H ₂ O 交換法
7	Mosaboni, Rakha, Surda	Singhbhum, Jharkhand	インド・ウラン公社 (UCIL)/UCIL	ウラン鉱石処理	予備	1986 年	50 トン/年	商業規模。銅の副産物としてイエロー・ケーキ生産
8	Nangal	Nangal, Punjab	国営肥料公社 (NFL)/NFL	重水製造	2002 年に閉鎖	1962 年	6.6 トン/年	商業規模。H ₂ 蒸留法
9	NFC-Hyderabad (BWR)	Hyderabad, Andhra Pradesh	DAE/核燃料コンプレックス (NFC)	BWR 燃料加工 (組立)	運転中	1974 年	24 トン/年	商業規模。UF ₆ を UO ₂ 粉末にし、BWR 燃料集合体まで加工

10	NFC-Hyderabad (NZFP)	Hyderabad,	DAE/NFC	ジルコニウム合金 管製造	運転中	1987年	59トン/ 年	商業規模。ジルコイ 塊を管、板、棒に 加工
11	NFC-Hyderabad (NZSP)	Andhra Pradesh		ジルコニウム合金 製造		不明 (文献初 出は 1987年)	250トン /年	商業規模。ZrO ₂ をシ ルコニウム・スポンジにする
12	NFC-Hyderabad (Pellet)	Hyderabad, Andhra Pradesh	DAE/NFC	燃料加工 (ウラン・ペレット・ ピン)	運転中	1998年	355tH M/年	商業規模
13	NFC-Hyderabad (PHWR)			PHWR 燃料加 工(組立)		1974年	270tH M/年	商業規模。UO ₂ 粉末 をペレットと PHWR 燃 料バンドルにする
14	NFC-Hyderabad (PHWR)-2			PHWR 燃料加 工(組立)		1997年	300tH M/年	商業規模。UO ₂ ペレ ットを PHWR 燃料バン ドルにする
15	NFC-Hyderabad (UOP)			UO ₂ への転換		1972年	450tH M/年	商業規模。イロー・ケ キをUO ₂ 粉末にする
16	NFC-Hyderabad (ZFP)	Hyderabad, Andhra Pradesh	DAE/NFC	ジルコニウム合金 管製造	運転中	1973年	80トン/ 年	商業規模。ジルコイ を燃料管やコンポーネ ントにする
17	NFC-Hyderabad (ZIR)			ジルコニウム合金 製造		1980年	250トン /年	商業規模。スポンジ をジルコニウム合金にする
18	NFC-Hyderabad (ZSP)			ジルコニウム合金 管製造		1971年	180トン /年	商業規模。酸化ジル コニウムをジルコニウム・ス ポンジにする
19	NFC, Palayakayal			ジルコニウム合金 製造	建設中	未定	300トン /年	商業規模。ジルコニ ウム・サントをジルコニ ウム・スポンジにする
20	Rajasathan NPP Site	Rajasthan, Rajasthan	インド原子力発 電公社(NPCIL) /NPCIL	AFR 使用済燃 料乾式貯蔵	運転中	1994年	570tH M	商業規模。使用済 PHWR 燃料をドライ・キャ スクに貯蔵する

21	Talcher	Talcher, Orissa	DAE/DAE	重水製造	予備	1985年	62.5トン/年	商業規模。 Bithermal-Hアンモニア 交換法
22	Tarapur (AFR :使用済燃料の サイト外貯蔵)	Tarapur, Maharashtra	NPCIL/NPCIL	AFR使用済燃 料湿式貯蔵	運転中	1990年	275 tHM	商業規模。使用済 PHWR燃料をプールに 貯蔵する
23	Tarapur NPP Site			AFR使用済燃 料乾式貯蔵		1990年	20tHM	商業規模。使用済 BWR燃料をドライ・キャス クに貯蔵する
24	Thal-Vaishet	Thal, Maharashtra	DAE/DAE	重水製造	運転中	1987年	78トン/ 年	商業規模。 水素-アンモニア交換法
25	Trombay-FBTR	Trombay, Maharashtra	DAE/バード原子 力研究センター (BARC)	FBR燃料加工 (組立)	運転中	1985年	微量	ラボラトリー規模。UO ₂ 、 PuO ₂ 、黒鉛粉末から FBTR用炭化燃料を 製造する
26	Trombay, Fuel Fabrication			PHWR燃料 加工(組立)	1972年 に閉鎖	1968年	135tH M/年	商業規模。UO ₂ 粉末 をPHWR燃料集合体 に加工する
27	Tuticorin	Tuticorin, Tamilnadu	DAE/DAE	重水製造	運転中	1978年	49トン/ 年	商業規模。 水素-アンモニア交換法
28	UCIL-Jaduguda	Jaduguda, Singhbhum (East)	UCIL/UCIL	ウラン鉱石処理	運転中	1968年	175トン /年	商業規模。ウラン鉱石 をイエローケーキにする
29	UCIL-Turamdih	District, Jharkhand		ウラン鉱石処理	建設中	2006年	190トン /年	商業規模。ウラン鉱石 をイエローケーキにする

*この表で見ると、インドの再処理施設は2番目のCoralの施設のみしか掲載されていない。しかしこれは、IAEAが2005年時点で各国に送ったアンケートに対し、各国からボランティア・ベースで寄せられた回答に基づくデータに過ぎない。

一方、インド原子力界の幹部は、2008年11月の日本原子力産業協会の代表団との懇談の席で、「インドの再処理施設は200トン/年×2基」(NPCILのジェイン総裁)、「重水製造施設は6つ」(カドカール原子力委員長)と発言している⁽¹⁻³⁾。

インドの核燃料サイクル関連施設の情報は、再処理工程、抽出したプルトニウムや減損ウランの混合工程、ペレットや燃料ピンさらに燃料集合体に加工・組立の工程の区分が資料によって異なるためわかりにくいものとなっている(とくに施設完成日や運転開始日の情報がまちまちである)。このためいくつかの資料を参考に、次のように再処理施設のデータをまとめ直した。

図表 25：インドの再処理プラント (III-10)

プラント名称 / 所在地	所有機関/運転機関	運転開始時期	処理量 (トン/年)	備考
プルトニウム再処理プラント*, トロンバイ	DAE/ バーバ 原子力 研究セ ンター (BARC)	1964 年	50 トン/年	<ul style="list-style-type: none"> ・1961 年 4 月建設開始。PUREX 法。当初は 30 トン/年 ・1964 年に、ホミ・バーバ博士の指揮下で研究炉 CIRUS の使用済燃料（ウラン金属とアルミニウム被覆管で構成）を再処理。 ・この開発経験をタラプールの PREFRE に反映 ・腐食が進み 1974 年に一旦閉鎖したが、1983 年に再度 CIRUS と研究炉 DHRUVA の使用済金属燃料の再処理のため再起動、容量も 50 トン/年になった。 ・Pu は軍事目的に利用と見られる。この施設は IAEA の保障措置対象にはなっていない。
発電炉燃料再処理プラント (PREFRE), タラプール原発 (TAPS) 内に設置	インド 原子力 発電公 社 (NPCIL) /DAE	1974 年	100 ～ 150 トン/ 年**	<ul style="list-style-type: none"> ・インドで初の原子力発電プラントの燃料（ジルカロイ被覆管+酸化U）再処理プラント。PUREX 法 ・1969 年に、米国 GE 社の支援で着工。 ・1982 年 12 月、高速増殖実験炉（FBTR）の使用済燃料を再処理し、TAPS の MOX 燃料製造施設に Pu を供給中。 ・高燃焼度のセラミック燃料の再処理も研究開発中。 ・このプラントは国際保障措置に適するように設計。CIRUS、ラジャスタン原発（RAPS）、マドラス原発（MAPS）の PHWR 燃料を再処理。 －CIRUS と RAPS の分は IAEA の保障措置下で実施。 －1986 年、（保障措置対象外の）MAPS の 2 プラントからの使用済燃料を再処理。
カルパッカム原子力再処理プラント (KAPP), カルパッカム	DAE/IGC AR	1996 年 末	100 ～ 125 トン/ 年	<ul style="list-style-type: none"> ・PUREX 法。MAPS の 2 基の Pu-U 使用済燃料を再処理。 ・また FBTR の使用済 Pu-U 炭化燃料をラボラトリー規模で再処理。 ・1990 年代後半から IGCAR にある高速増殖原型炉（PFBR）用燃料に Pu を供給。
鉛ミニセル (LMC)	DAE/IGC AR	2001～ 2002 年		<ul style="list-style-type: none"> ・FBTR からの使用済 Pu-U 炭化燃料をラボラトリー規模で再処理。FRFRP 完成後は、FRFRP にその地位を譲った。
高速炉燃料再処理プラント (FRFRP), カルパッカム	DAE/IGC AR	建設中 だが不 明	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・カルパッカムの FBTR からの使用済 Pu-U 炭化燃料を再処理。 ・FRFRP と KAPP は Pu 生産施設としては、TAPS の PREFRE をしのぐ規模になった^(III-11)。生産 Pu は軍事目的に利用と思われる。

* : インドではこの施設は純国産としているが、米国企業 Vitro International から設計情報を入手、また資機材も外国製を使用といわれる。

** : 1991年に容量を150トン/年に増強したが、使用済燃料移動手段（鉄道）の問題から、容量以下で運転している。

<注記>

(Ⅲ-1) 出典：UCIL の発表「Uranium Mining & Milling Industry in India」(2009年)

(Ⅲ-2) 出典：東京工業大学客員教授（IGCAR 炉物理部上級科学官）P. T. Krishna Kumar 氏講演「Indian Nuclear Power Programme: A Profile」(Aug. 8, 2008)

(Ⅲ-3) 出典：「Uranium 2007」(OECD/NEA ならびに IAEA の共同発行)

(Ⅲ-4) 出典：2009年4月23日の第42回原産年次大会での NPCIL の S. バルドワジ理事発表「成長を続けるインド経済におけるエネルギー政策と原子力発電」

(Ⅲ-5) 2008年11月24日～26日の「第19回インド原子力学会年会（INSAC-2008）」での IGCAR の Baldev Raj の発表等からまとめ直した。

- ・親物質と新燃料の表示については、主に「Indian Nuclear Power Programme: A Profile」by P. T. Krishna Kumar (Aug. 8, 2008) によった。

- ・また「トリウム燃料サイクルの研究開発と動向」（日本原子力学会誌 Vol. 47 No. 12 (2005年) 東京大学名誉教授山脇道夫ら）も参考にさせていただいた。

- ・三上喜貴氏の2001年長岡技術科学大学研究報告第23号「技術大国インドの研究」によると、カクラパール原発（PHWR）ではすでにトリウム燃料が試験的に使われたとの示唆もある。

(Ⅲ-6) 出典：「AHWR が第三プラス世代炉」という表現は、「INSAC-2008」での BARC の Dr. P. K. Vijayan の発表「Thermal Hydraulic Challenges of Advanced Reactor Designs」に示されている。

(Ⅲ-7) 出典：2009年9月16日の第53回 IAEA 通常総会でのインド原子力委員会の Kakodkar 委員長の状態メント。同委員長は、「低濃縮ウラン使用改良型重水炉（AHWR-LEU）」と命名されたこの炉は、ウラン消費量が既存の熱中性子炉に比べて顕著に少ないこと、中小型化にも適すること、使用済燃料を再処理する前提の炉だが、ワンス・スルー方式でも高い経済性がある」と説明。将来の海外顧客用に同炉のパンフレットを配布した。

(Ⅲ-8) 出典：原子力委員会国際問題懇談会（第1回）参考資料第2号「インドの原子力開発基礎資料」

(Ⅲ-9) 出典：IAEA の Nuclear Fuel Cycle Information System (NFCIS)

(Ⅲ-10) 参考：NTI の Community Overviews: India: Nuclear Facilities (2003年9月時点のデータ)

http://www.nti.org/e_research/profiles/India/Nuclear/2103_2464.html

*NTI は CNN 創設者 Ted Turner や前米国上院議員 Sam Nunn が代表者となっている「より安全な世界」をめざす活動組織。

また、II-5 や II-6 の佐藤浩司氏資料や、IAEA-TECDOC-1103「Status and Trends in Spent Fuel Reprocessing」(August 1999) を参考にした。

(III-11) 出典：DAE 年報 (2001～2002 年)

IV. 核実験による国際原子力社会での孤立と、復帰への歩み

インドとの原子力発電協力を考える上で、重要なので、経緯を詳述する。

1. 核実験による国際原子力社会での孤立

1) アジアで最初に原子力研究開発に着手

インドは、アジアで最も早くから原子力研究開発に着手した国で、5千年の文化の歴史や、米ソ冷戦時期の非同盟等により、国際原子力社会からも一目置かれる存在であった。

2) 核不拡散条約 (NPT) に対するスタンス

しかし、隣国中国の核保有（1964年10月16日）でインドは国家安全保障の危機を感じ、自らも核開発に乗り出すことになった。1970年3月に発効したNPTそれ自体が、中国の核保有を認めることを意味したため、インドは以下の論点を掲げ、これに一貫して強い反対を表明し続けている。

- a. NPTでは、核兵器国の核軍縮義務がなく不完全である。
- b. NPT加盟の非核兵器国は、原子力平和利用にも、IAEAの査察による制約を受け、不公平である。
- c. 科学技術は自由に利用すべきだが、「平和目的核爆発」に対する差別がある。

3) 1974年の第1回核実験の実施

1974年5月18日、インドはラジャスタン州の砂漠の中のポカラン実験場で、「平和目的」と称する地下核爆発実験（コードネーム「微笑む仏陀」）を実施、国際社会に大きな衝撃を与えた。開発責任者はRaja Ramanna博士で、カナダから提供された研究用重水減速炉CIRUS（Canadian-Indian-U.S.）と、米国から供給された重水を用いて、天然ウラン燃料を燃やし、それを再処理してプルトニウムを取り出し、BARCで原爆を組み立てたといわれる。

*インドでは、1950年代からネール首相が核兵器の実験や製造を厳しく非難し、1963年の「部分的核実験禁止条約」成立時には、米、英、ソ連に続いて署名していた。また1971年1月には、インディラ・ガンジー首相が議会で「インドは絶対に核兵器を保有しない」と発言していた。こうしたインドの原子力平和利用の姿勢から、カナダはCIRUSや発電炉（CANDUと呼ばれる加圧重水炉 PHWR）を供与し、インドの原子力開発を積極的に支援をしていた。

4) カナダ・米国による制裁措置

これに強い衝撃を受けたカナダは、インドの核実験直後から、インドへの原子力関係の資機材や技術の提供を停止し、核不拡散を世界に広く呼びかけた。

米国もこの動きに同調し、インドへの原子力協力を停止するとともに、国内的には厳しい核不拡散法 (NNPA) *を制定し、国際的には輸出規制のための「原子力供給国グループ (NSG)」を設置した。

*NNPA は、米国の国内法でありながら、米国との原子力協力を行う相手国は、これに書かれた規定の遵守を求められている。

ウラン濃縮と再処理の規制を中心に国際的な核不拡散体制の再構築を呼びかけ、フランスが韓国、台湾、パキスタン等と、また西ドイツがブラジルと既に締結していた、これら機微施設の建設契約の破棄に成功した。

*その後、インドは 1998 年まで 24 年間核実験を行わなかった。

5) 国際原子力社会からの孤立

これにより、インドは原子力関係の資機材や技術の輸入ができなくなり、ウラン燃料、重水、原子炉の部材やコンポーネント、建設・運転・保守の技術等のすべてを国産で賄う道を選択することになった。

とくに、大容量化に適した「軽水炉」に関する技術開発では、国際的時流から大きく遅れることになった。

*技術の選択としては、軽水炉ではウランの濃縮が必要になるが、外国から調達ができないことから、軽水炉はタラプールの 2 基のみで後継機は建設していない。

こうしてインドは、既定路線でもあったが、軽水炉を主流とする世界の潮流とは異なる、独自の「重水炉 (PHWR) →高速増殖炉」路線をひとり歩むことになった。

*Pu-239、Th-232、U-233 等の化学組成や富化度、また形状の異なる燃料の製造や再処理等、多様な核燃料サイクル関係の要素技術の研究開発を、他に協力提携国もないまま、一カ国での投資を余儀なくされてきた。

*これに関しては、「インドは、国産資源で原子力開発利用のすべてを賄える国となった」と肯定的な見方をする人もいる。

6) 1998 年の第 2 回目の核実験の実施

さらに、1998 年 5 月 11 日～13 日にかけて、2 回目の地下核爆発実験 (計 5 回) を実施した。場所は 1 回目と同じラジャスタン州の砂漠の中のポカラン実験場であった。高速増殖実験炉 (FBTR) で生産された U-233 が使われたといわれる。

このときはカシミールの帰属をめぐって激しい対立があり、インドでは対パキスタン強硬路線をとるバジパイ政権の誕生、パキスタンでは弾道ミサイルの発射実験を実施等、印パ双方が対立をエスカレートさせた結果、インド側が先にパキスタンへの示威行動として、核実験を行ったもの。

1974年の実験は、平和目的を称していたが、この1998年の実験は水爆実験を含む軍事目的として実施した。インドは、「核兵器は他国への侵略・威嚇用ではなく、中国・パキスタンの脅威に対する安全保障維持に最低限必要な自衛兵器」と主張し、地下核実験の自発的モラトリアムを宣言した^(IV-1)。

7) パキスタンの核実験を誘発

パキスタンもこれに対抗し、5月28日、30日に核実験を行った(30日の原爆実験はプルトニウム型)。

8) 国際社会の反応と制裁効果・同時多発テロの影響

実験後、国際連合(UN)やIAEAが非難声明を出したが、もともとインドもパキスタンも、核不拡散条約(NPT)にも包括的核実験禁止条約(CTBT)にも署名しておらず、両国が核実験を実施しても、国際的義務条項違反として制裁できない状況にあった。

このため、米国やそれに同調しての日本(無償資金協力の新規協力の停止、新規円借款の停止等)等が個別に両国へ経済制裁を課したが、2001年9月11日に米国で同時多発テロが発生すると、対タリバン戦の遂行が核不拡散よりも重要となったブッシュ政権は、パキスタンの協力をとりつけるため、パキスタンへの経済制裁を解除し、これに併せてインドへの制裁も解除することとなった。

*しかし後述のように、これ以降も米国の国務省(DOS)は、「フルスコープ保障措置未受諾国への原子力品目の輸出には反対」との立場を堅持していた。

*米印両国は、2003年からは、原子力安全・規制での情報交換は行っていた。

2. 国際原子力社会への復帰の動き：米国との折衝を中心として

1) 米国からのアプローチ

2004年1月12日、米国が「戦略的パートナーシップにおける次のステップ(Next Steps in Strategic Partnership with India: NSSP)」構想により、対話を拡大するアプローチでインドと合意。この中に、宇宙開発、ハイテク貿易やミサイル防衛に関する対話とともに、原子力の民生利用での協力が提案された^(IV-1)。

2) 2005年の米国の対印原子力政策の転換

2005年3月16日、米国のライス国務長官が訪印したおり、インドのシン外相との間で、原子力発電および原子力安全での協力が話し合われた。ライス長官は、「今後数十年間、急増するエネルギー需要に応えるため、両国が協力できる新たな方法を探りたい」と述べた。

4月19日には、ブッシュ大統領は「国際的な原油需給逼迫の緩和のため、エネルギー消費が急増している中国やインドは原子力発電所の建設を推進すべき」との考

えを米国の CNBC テレビのインタビューで語った。

さらに 5 月には、米印両国がエネルギー分野での協力を進めるため、「米印エネルギー対話」という枠組みの下で、「運営委員会」とその下の「ワーキング・グループ」の設立で合意した。ワーキング・グループは、次の 5 つを置く。

- ・石油・天然ガス
- ・石炭・クリーンコール技術
- ・エネルギー効率向上
- ・再生可能エネルギー
- ・水素や民生用原子炉等の新技術

運営委員会では、ワーキング・グループの目標等を設定、エネルギー安全保障、エネルギーシナリオ、貿易と投資などの横断的問題を扱う。

*インドでも、国内での急速な原発開発拡大ニーズに対し、2005～2006 年によく 54 万 kW 級を達成した国産重水炉技術だけでは対応できず、原子力発電利用のシステムあるいは技術体系の抜本的近代化が急務となってきた。このため、米国に代表される国際社会と和解する必要があった。

3) 米国とインドが本格的な原子力協力で合意

- ・2005 年 7 月 18 日、米国を訪問中のインドのシン首相とブッシュ大統領が会談、両国が原子力技術で全面的に協力することで合意した。
- ・会談後に発表された共同声明では、以下の言及があった。

ー増加するエネルギー需要をクリーンで効率的に満たす上での「原子力の重要性を考慮」すると、インドは「高度な原子力技術」をもつ、責任のある国である。

ーこの観点から、米国がインドとの「全面的な原子力協力」をめざすため、米議会に対し、法律と政策を調整するよう求める。

ー米国はまた、インドとの全面的な原子力協力や原子力通商が可能になるよう、友好国に対して、タラプール 1・2 号機への燃料供給等の「国際的枠組み」の調整を求める。同時に、インドが国際熱核融合実験炉 (ITER) や第四世代原子力システム計画 (GEN-IV) に加盟できるよう、米国が他の加盟国に働きかける。

ーインド側はこれに対し、国際的な核不拡散体制の遵守を約束する。これには、民生用と軍事用の原子力施設・計画の分離、民生用施設の IAEA への申告と保障措置の適用、追加議定書への加盟、核実験モラトリアムの実施、兵器用核分裂性物質生産禁止条約 (カットオフ条約) 成立への協力、再処理・濃縮技術の移転自粛、核物質のセキュリティ強化、ミサイル技術管理レジーム (MTCR) 等が含まれる。またインドは、原子力供給国グループ (NSG) ガイドラインの遵守も公約している。

- ・共同記者会見でブッシュ大統領は、インドを「世界最大の民主主義国の 1 つ」と

評価。米印両国が自由、民主主義等で共通の価値観をもっていることを強調し、両国の関係を強化する決意を述べた。

*この共同声明によるインドの民生用施設への保障措置の適用は、「保障措置対象施設の拡大」という側面とともに、「軍事用施設の存在を認定」したことにより、インドを（NPT上の核兵器国ではないが）、「事実上の核兵器国」として認知したと解釈される。

4) 米国の対印原子力輸出規制を緩和

2005年8月30日、米国はインドに対する輸出管理規則を改定。原子力供給国グループ（NSG）の承認を必要としない品目のインドへの輸出条件を緩和した。

5) 米国、対印科学技術協力でも進展を約束

2005年10月17日、「米印科学技術協力協定」を締結、エネルギーを含む科学技術に関する包括的な協力の促進を約束した。

6) 2006年3月、原子力協力に向けての米印共同声明

2006年3月3日、ニューデリーで、ブッシュ大統領とシン首相が共同声明を発表。2005年7月18日の共同声明を踏まえて、その後の民生用原子力協力に向けての努力の進展と、双方の遵守事項を確認したものの。

*米国国務省（DOS）は、この共同声明について以下の指摘を行っている^(iv-2)。

図表 26: 2006年3月の米印共同声明に対する米国国務省のコメント

ア	インドは、運転中ならびに建設中の原子力発電プラントの大半と、それらに関連する上流・下流の施設をIAEAの保障措置下に置くことに同意している。また将来の民生用の熱中性子発電炉と同じく民生用の増殖炉も保障措置下に置き、他に9つの研究施設を民生用として指定することに同意している。
イ	インドは、民生用の全施設を永久にIAEAの保障措置下に置く保障措置協定をIAEAと交渉することに同意している。
ウ	CIRUS炉を2010年に永遠に停止することと、フランスから購入したAPSARA炉用燃料炉心をBARCサイト外に移転し2010年に保障措置下に置くことに同意している。
エ	インドは、IAEAと追加議定書の交渉を行い署名する。
オ	インドは、2005年5月の大量破壊兵器法案の採択により、国家としての輸出管理システムを構築する。
カ	インドは、濃縮および再処理技術の拡散防止に取り組む。
キ	インドは、兵器用核分裂性物質生産禁止条約（カットオフ条約）の締結で米国と協働する。
ク	インドは、核実験の自発的停止を維持する。
ケ	インドは、ミサイル技術管理レジーム（MTCR）と原子力供給国（NSG）ガイドラインを遵守する。

7) インド議会でのシン首相の米印共同声明に関するコメント

シン首相は、2006年3月7日インド議会で行った演説で、保障措置に関連する以下の言及を行った。

図表 27: 2006年3月の米印共同声明に対するインド議会でのシン首相のコメント

a	現在運転中あるいは建設中の原子力発電プラント 22 基のうち 14 基を選び、2014 年までに IAEA の保障措置下に置くことを IAEA に提案する。
b	カルパッカムにある高速増殖原型炉 (PFBR) と高速増殖実験炉 (FBTR) には、円滑な技術開発を促進するために、保障措置を適用しない。
c	将来は民生用の熱中性子発電炉および増殖炉はすべて保障措置下に置くが、どれが民生用かを決定するのはインド政府である。
d	国家の安全保障上重要な施設への査察を避けるために、BARC にある CIRUS 炉を 2010 年に閉鎖。またフランスから購入した APSARA 炉の炉心燃料を他所に移し、2010 年に保障措置下に置く。
e	再処理、濃縮等、戦略上重要な核燃料サイクル関連施設は保障措置の適用対象とはしない。
f	以上の点で米国と合意したので、インドは今後 IAEA との間で「インド向けの特別な」保障措置協定の交渉を進める。

8) 米国議会での対印原子力協力法案の承認

2006年7月26日、米国下院は民生用原子力分野での対印協力促進法案を、賛成 359、反対 68 の圧倒的多数で可決。また同年 11 月 16 日、米国上院も同じ趣旨の法案を賛成 85、反対 12 の大差で可決。2007年1月5日、両院協議会で一本化した「米印原子力平和利用協力法案（ヘンリー・ハイド法案）*」にブッシュ大統領が署名した。

* 米国原子力法の第 123 条に基づき、米印原子力平和利用協力協定の内容が規定される（このため、この米印原子力平和利用協力協定を「123 協定」とも呼称）。今回のハイド法案によって、米国原子力法では、原子力輸出先国に要求する、「包括的な保障措置受入れと遵守を原子力輸出の条件とする」との規定の適用を除外した。

ハイド法では、インドの核実験と燃料供給保証の問題について、次の考え方をとっている⁽¹⁻³⁾。

- ・ハイド法第 106 条では、インドが核爆発装置を爆発させたと大統領が判断した場合、「原子力法の適用除外」は効力を失い、核物質、設備または機微な核技術は輸出できなくなる。
- ・また、原子力法 (123 条 a. (4)) では、核爆発装置を爆発させるか、IAEA の保障措置を終了させた場合には、移転された核物質、設備、およびその使用によって生産された特殊核物質の返還を要求する権利を米国がもつとの規定を協定に定めるよう要求している。
- ・また、ハイド法第 103 条（政策声明）(a) (6) には、米国がインドへの核移転を中止した場合には、NSG の他の国などにも核移転の中止を働きかけることを定めている。

これにより、米印間で具体的な原子力協力協定の案文の提出を受け、米国議会が再度審議すれば、米印原子力協力協定が締結できる段階になった。

9) 米印原子力平和利用協力協定締結に向けての最終合意

- ・米印両政府は、民生用原子力協力促進のための「原子力協力協定交渉」で 2007 年 7 月 27 日に最終合意したことを受け、同 8 月 3 日、同協定文書を発表した。
- ・NPT の枠外での新たな協力スキームが動き出すまでには、両国内での手続きだけでなく、NSG での承認など、越えなければならないハードルがいくつか残っている。
- ・同協定は、米国からインドへの技術移転、核燃料や原子力機器の輸出を可能とするもの。IAEA の保障措置下に置くことを条件に、インドが使用済燃料の再処理を実施することも容認している。
- ・米国国務省^(IV-2) は、同協定のポイントを次のように 4 項目で指摘し、「これまでの米印関係において、最も重要なイニシアティブだ」と位置付けている。

- a. インドの民生分野の原子力施設を IAEA の保障措置下に置くことで、国際的な核不拡散体制を強化する。
- b. インドの原子力発電利用を促進し、CO₂ 排出量を削減する。
- c. インドのエネルギー安全保障を強化する。
- d. 過去 30 年におよぶインドに対する制裁措置を解除し、米国企業によるインドの原子力産業への投資を容認する

*この協定の発効には、インドは IAEA と保障措置協定を締結しなければならないが、インドは独自に開発してきた研究炉等はその対象にしない方針を表明した。

また 45 カ国からなる NSG のガイドラインを改正し、インドを「輸出禁止対象の例外」として承認してもらう必要があった。

その後米印両国で同協定に正式に署名し、両国議会がそれを承認する必要があった。

- ・この協定案自体には、今後インドが核実験を行った場合の扱いについて直接の言及はないが、米国では、前述 8) のように米国の国内法で対応すると思われる。協定の停止については、「1 年前の文書による通告」としている。有効期間は 40 年間で、10 年毎の延長が可能となっていた。

10) IAEA とインドが新しい保障措置協定の交渉を開始

2007 年 11 月、米印原子力平和利用協力協定の前提になる、インドの民生用原子力活動を対象とする新しい保障措置の枠組みを作る交渉を開始した。

11) インドの要請により、新保障措置協定案をIAEA理事国に配布

- ・2008年7月9日、IAEAは、米印原子力平和利用協力協定の発効に必要なステップであるIAEAとの保障措置協定締結のため、同協定案を理事国（35カ国）に配布した。8月1日の臨時理事会で審議するため。
- ・その概要は、以下のとおりであった。

(保障措置の実施条件)

- ア. インドはエネルギー供給保証と環境保全のために3段階の国家原子力計画を推進
- イ. 民生用と軍用の原子力施設を区別し、民生用施設をIAEAに申告
- ウ. インドへの燃料供給が途絶しないよう国際的な燃料市場へのアクセスの保証
 - *インドは、外国からの燃料供給が途絶した場合、インドの原子炉が継続して運転できるように是正措置を取る

*米国は、保障措置下に置かれたインドの原子炉への燃料供給に関して、次の提案を行った^(IV-1)。

- 米国によるインドへの燃料供給保守枠組みの構築
- 米印協定への供給保証の明記
- インド向け燃料供給に関するインド・IAEA間交渉への米国の協力
- 燃料戦略備蓄体制構築への米国の支援
- 供給支障時には米印協力により友好供給国グループを形成し、燃料供給を再開

- ・付属文書（申告対象となる原子力施設や核燃料物質のリスト）は公表されていない。

12) インド下院でシン内閣を信任

2008年7月22日、インドの下院で、シン内閣の信任決議案が採決。賛成275票、反対256票、棄権10票で可決。これにより、それまで閣外協力してきた左派勢力の、米印原子力協定締結やIAEAとの査察協定締結への反対を排することができた。

13) IAEA理事会で対印保障措置協定案を承認

- ・2008年8月1日、IAEAの理事会は、インドの民生用原子力施設に対する保障措置協定案を承認した。米印原子力平和利用協力協定締結への条件の1つがクリアされた。

*この協定は「アンブレラ協定」の役割を担うもので、今後インドが平和利用目的使用と申告する核物質および原子力施設についてのみ、IAEAが保障措置を適用できる。

協定のタイプとしては、インドが国内原子炉のうち6基について1971～1994年までの間受け入れてきた「INFCIRC/66タイプ」と同じもので、すべての原子力施設を対象とした包括的（フル・スコープ）保障措置協定ではない。

ちなみに、保障措置協定には次のものがある（INFCIRCはInformation Circularsの略）。

①INFCIRC/153 型保障措置協定

当該国の平和的な原子力活動に係るすべての核物質を対象とした保障措置協定。フルスコープ（包括的）保障措置協定とも呼ばれている。2009年7月現在、この型の保障措置協定の締結国は159カ国である。日本のこの型の保障措置協定は1977年12月に発効している。

②INFCIRC/66 型保障措置協定

NPT 非締約国が、二国間原子力協定等に基づき核物質又は原子力資機材を受領するために、IAEA との間で締結する。「三者間保障措置協定（または保障措置移管協定）」等と呼ばれるものがこれに該当する。かつては各国が締結していたが、NPT が 153 型協定の締結を締約国に義務付けているため、現在 66 型協定は NPT 未加入国が締結するのみ。

③自発的協定

核兵器国が、自発的に IAEA 保障措置の適用を受けるために、IAEA との間で締結する協定（5 核兵器国はすべてこの型の保障措置協定を締結済）。

- ・ IAEA のエルバラダイ事務局長は、「従来の 6 基を含めたインドの原子炉のうち 14 基について、2014 年までに保障措置を適用できるよう、2009 年から新たな保障措置協定を実施する」とコメントした。また、両者がすでに協定の追加議定書の協議に入ったことも明らかにした。
- ・ 事後、インド国内で関連法規および憲法上の必要手続きを経て、この保障措置協定は発効することとなった。
 - * 2008 年 12 月末現在、IAEA の保障措置が施設自体にかけられているか、あるいは施設内に存在する物質に保障措置がかけられているインド国内の施設は、クダンクラム原子力発電所（KKNPP）、ラジャスタン原子力発電所（RAPS）、タラプール原子力発電所（TAPS）の 3 つである^(IV-4)。

14) 原子力供給国グループ（NSG）で、インドへの原発輸出を承認

- ・ 2008 年 9 月 4～6 日、（日本を含む 45 カ国からなる）NSG の臨時総会で、インドを対象とする「例外規定扱い」を承認した。
 - * NSG の既定指針では、「5 核兵器国以外へは、IAEA のフルスコープ保障措置受入れ」を原子力輸出の条件としており、全会一致を原則とする NSG での会合（8 月 21～22 日）でもオーストラリア等の反対があり、米国の「インドの例外規定扱い」提案は認められなかった。
- ・ これにより、1974 年のインドの第 1 回目の核実験を契機に、米国のイニシアティブで 1978 年に設立された NSG は、30 数年を経て再び米国のイニシアティブの下、インドへの禁輸解除に踏み切る判断を下した。
- ・ NSG の声明文では、次の点でインドのこれまでの行動を高く評価して、原子力輸出の解禁で合意したとしている。

- a. 核実験の自主的モラトリアムを継続してきた。
- b. 核兵器用核分裂性物質生産禁止（カットオフ）条約締結に向けて他国と協力していく姿勢が見られる。
- c. 民生用原子力施設を段階的に IAEA の保障措置対象に追加申告することに合意している。
- d. 濃縮および再処理技術をもたない国々に対し、これら技術の移転を控えるとともにこれらの拡散を制限する国際的な努力のを支持している

- ・また同声明文では、インドが今後、核実験等を行った場合の制裁措置を明示してはいないが、「参加国政府は会合を開き、NSG ガイドラインのパラグラフ 16（協議および行動：このガイドラインのいかなる変更も全加盟国の同意を必要とする）に従って行動する」との文言が盛り込まれた。

15) 米国議会在米印原子力協力協定を承認。大統領の署名を経て、発効へ

- ・ブッシュ大統領は 2008 年 10 月 8 日、米国とインドの原子力平和利用協力協定を承認するための法案（HR7081 号）に署名した。上院は 10 月 1 日の本会議で同法案を 86 対 13 の大差で可決、下院も 9 月 27 日に 3 分の 2 以上の賛成で承認していた。
* 協定内容全文と、交渉経緯については、(I-3)「(社)日本原子力産業協会刊「インドの原子力事情：INSAC-2008 参加原産協会訪印団報告書」に詳しい。
- ・同協定の発効日は、ライス国務長官とムカジー外相がワシントンで協定に署名した 2008 年 10 月 10 日。

16) 仏 AREVA とインド DAE が核燃料供給契約調印：国際社会への復帰の第一歩

- ・2008 年 12 月 17 日、仏 AREVA は国際社会がインドとの原子力ビジネスの再開を決定して以降初めて、インドの民生用原子力発電所向けのウラン燃料供給契約に調印した。両国は 2008 年 9 月 30 日の両国首脳会合で 2 国間協定を締結、これにより原子力平和利用分野における協力が可能になっている。
- ・契約内容は、IAEA の保障措置下にあるインド原子力発電公社（NPCIL）所有の原子力発電所に 300 トンのウランを供給するというもの。インドの原子炉の多くは、これまでウラン燃料の調達不足から、定格出力以下での操業を余儀なくされていた。今回の AREVA からの燃料供給により、備蓄燃料の不足が解消される見通しとなった。

17) IAEA とインド政府、新保障措置協定に調印

- 2009 年 2 月 5 日に調印したもので、インドの 14 基の民生用原子力施設とそこで使われている核物質を、2014 年までに逐次 IAEA の保障措置下に置く。

18) 米国クリントン国務長官訪印で、米企業の原子炉輸出実現へ

- ・2009年7月20日、インドを訪問中の米国のクリントン国務長官は、インドのクリシュナ外相と共同記者会見を行い、「インドの2地点での米国の複数企業による原子力発電所建設がインド政府によって承認された」と発表した。

*候補地点では南部のアンドラ・プラデシュ州および西部のグジャラート州が有力（II.1.参照）。

- ・同長官はまた、米国企業がこれらのビジネス・チャンスを生かすには、今後インド側で賠償責任に関する立法が必要と示唆した。
- ・両国が今後、原子力協力協定の規定に則り、米国製原子炉から出る使用済燃料の再処理について協議を開始する必要がある。
- ・地元紙の「オバマ政権は、インドに濃縮と再処理の技術移転禁止政策を取るつもりか？」との質問に対し、同長官は、適切な範囲内で注意深い保障措置の下で行われるのであれば承認できる、との見解を示した。

19) 残された課題

- ・米印原子力協力協定の批准は済んだが、米国が「インドの米国産燃料に対する優先再処理権」を認めるかが大きな課題となっている。
- ・また、米国もフランスも、インドがしっかりした原子力賠償責任体制を整備することを原子力発電プラントの輸出の重要条件としているが、これを現在インドの議会に上程準備中の法案で満足できるかも課題である。

3. 国際条約等への加盟状況

図表 28：インドの原子力分野での国際枠組みへの加入状況 (IV-5)

条約名		条約批准時期
原子力安全条約		2005. 03. 31
使用済燃料安全管理・放射性廃棄物安全管理合同条約		未加盟
原子力事故早期通報条約		1988. 01. 28
原子力事故または放射線緊急事態における援助条約		1988. 01. 28
原子力 損害賠 償諸条 約	ウィーン条約	未加盟
	ウィーン条約改正議定書	未加盟
	ウィーン条約とパリ条約の適用に関する共同議定書	未加盟
	原子力損害の補完的補償条約	未加盟
核不拡散条約(NPT) (IV-6)		未加盟
IAEA 加盟		加盟 1957. 07. 16
IAEA 保障措置協定 (下記番号は登録番号)		発効 1971. 09. 30
	840 保障措置 (SG) 適用	発効 1971. 09. 30
	1278 ソ連からの重水供給に関する SG 適用	発効 1977. 11. 17
	1543 IAEA とインド政府の間の、ソ連からの重水供給に関する SG 適用の協定	発効 1988. 09. 27
	1576 IAEA とインド政府の間の、フランスからの核物質供給に関する SG 適用の協定	発効 1989. 10. 11
	1646 すべての核物質への SG 適用に関する協定 (INFCIRC/154 パート 1 の下の SG と、1993. 10. 01 と 1993. 12. 012 の書簡交換に含まれる合意、また 1994. 02. 16 の書簡交換とその附属文書に基づく)	発効 1994. 03. 01.
IAEA 追加議定書 (IV-7)		署名 2009. 05. 15
包括的核実験禁止条約(CTBT) (IV-5) (IV-7) (IV-8)		未加盟
核物質防護条約		発効 2002. 04. 11
核物質防護条約改定条約		2007. 09. 19

4. 米国以外の 2 国間原子力協力の現状

2009 年 12 月現在、インドは英国、フランス、ロシア、モンゴル、カザフスタン、アルゼンチン、ナミビアと政府間原子力協力協定を締結している。

1) オーストラリア

- ① 2007年8月、ハワード豪首相は外交方針を転換、条件付きながらインドへのウラン輸出を容認する方針を発表した。

それまで豪州は、NPT未加盟国へのウラン輸出を禁止していたが、米国とインドの7月の民生用原子力分野での米印原子力協力協定（「123協定」）交渉の合意を受け、方針を転換したもの。インドでは、2032年までに年間1万2千トンのウラン需要が期待された。

ただしオーストラリア側は、ウラン輸出解禁のために以下の条件を挙げた。

- a. インドがIAEAと保障措置協定を締結すること
- b. NSGがインドを「輸出禁止対象の例外」として承認すること
- c. 米印の「123協定」が発効すること
- d. 輸出されたウランの軍事転用防止のためにインドと保障措置協定を結ぶこと

- ② 2008年1月、ラッド首相率いる労働党新政権は、前政権が意欲を示していたインドへのウラン供給を、「NPT未加盟国への輸出は考えられない」との立場で、実施しない方針を明らかにした。

2) カナダ

- ① 2009年1月、カナダ原子力公社（AECL）とラーセン&トゥブロー（L&T）が先進CANDU炉であるACR1000の共同建設について覚書を交わした。政府間の原子力協力協定締結を前提とするもの。

- ② 2009年11月29日、トリニダード・トバゴで開催された2009年英国連邦首脳会議の折、カナダのS. ハーパー首相とインドのシン首相は、原子力平和利用協力協定の締結で合意した。1974年のインドの核実験以来断絶状態にあった両国の原子力協力を再開するもので、世界最大手のウラン鉱山会社のひとつであるカナダのCAMECO社によるウランの販売や合弁企業による探鉱も可能になる。

- ③ これを受けCAMECO社は、2009年12月、ハイデラバードに事務所を開設した。

3) 中国

2006年11月、両国は民生用原子力プログラムの発展が、両国のエネルギー安全保障に不可欠との立場から、原子力分野の協力促進で合意した^(IV-1)。

4) フランス

- ① 仏原子力庁（CEA）と BARC は、1969 年に FBR 協力覚書に調印した。
- ② 2005 年 9 月、シラク仏大統領とシン印首相は、原子力協力協定について協議した。
また共同声明で、原子力のすべての側面で両国間の全面的な協力を約し、インドが原子力平和利用分野でフランス企業の協力を要請する枠組みを設定した^(IV-1)。
- ③ 2006 年 2 月 20 日、インドを訪問中のシラク大統領は、シン首相と共同声明を発表、
仏印両国が原子力関連の以下の分野で協力を強化することを明らかにした。
- －基礎・応用研究
 - －農業、バイオ、医学、産業での利用
 - －原子力発電と使用済燃料管理
 - －緊急時計画
 - －原子力に対する公衆の認識と受容
- 両国は、科学者・技術者の訓練、共同研究開発の実施、共同会議の開催、核物質・
資機材・技術・サービス等の供給を行う。
- ④ 仏印両国は、2008 年 9 月 30 日パリで、政府間原子力平和利用協力協定を締結した。
* これを受けて、2008 年 12 月 17 日、AREVA は DAE と、原発用ウラン燃料 300 トンの供給契約に調
印。NPCIL のウラン燃料不足が緩和された。さらに、2009 年 2 月 4 日ニューデリーで、AREVA は
NPCIL と、インドに少なくとも 2 基（最大 6 基）の 160 万 kW 級 EPR（欧州加圧水型炉）の建設と
それらすべてに対する炉寿命期間 60 年間にわたる燃料供給に関する覚書に調印した。サイト候
補地は西海岸のムンバイから 250km のマハーラーシュトラ州のジャイタプールで、ここに各 2 基
× 3 期で合計 6 基が完成すれば、柏崎刈羽の 689 万 8 千 kW を抜き 960 万 kW の世界最大の原子力
発電所となる。6 基の契約がとれれば、AREVA の歴史最大規模の受注となる（先の II. 5. 1）
③ b. と一部重複）。

5) カザフスタン

2009 年 1 月 24 日、カザフスタンのナザルバエフ大統領の訪印時に、NPCIL とカザ
フスタンの国営原子力企業カザトムプロムが、ウランの調達に関する覚書に調印し
た。天然ウラン採鉱とインドへの供給を内容とする。

またカザフスタン側から、インドの PHWR の設計に基づくカザフスタンでの原子力
発電所導入に関するフィージビリティスタディ（FS）へのインドの協力への関心が
明記された。

6) 韓国

- ① 2009 年 8 月 27 日、韓国電力公社(KEPCO)と NPCIL は原子力発電分野での協力覚書に

調印した。これにより、政府間原子力協力協定の締結を待ち、韓国の APR1400(140万 kW 級次世代型軽水炉)を中心とする原子力発電技術での協力が進められる (NPCIL の II. 5. 1) d. の項参照)。

②2010年1月、韓印の民生用原子力協力協定の締結に向けた動きが報じられた。同月末の李明博大統領の訪印に合わせて詰めが進められている。韓国としては、2009年12月末の、アラブ首長国連邦(UAE)へのAPR1400の輸出成約の余勢を駆って、インドへの売込みを具体化するためにも、政府間原子力協力協定の締結を急ぐものと見られる。

7) モンゴル

2009年8月、モンゴルのエルベグドルジ大統領をインドに招き、原子力協力覚書に調印した。

8) ナミビア

2009年8月、ウラン生産量で世界第3位のナミビアのポハンバ大統領が訪印したおりに、政府間原子力協力協定を締結。ウラン調達で積極的に動いている。

9) ロシア

① 1988年、ソ連がインドと覚書に署名。1998年には同覚書の追加文書としてクダンクラム原子力発電所の建設計画(各100万kW、VVER 2基)についての合意文書を交換、2002年2月12日には2基(総額25億ドル)の契約に調印した*。

*インドへの原子力輸出が禁止されたのは1998年だが、それ以前に建設が合意されていた分は、輸出禁止の対象にはなっていなかった。

・この時点では、米国は、ロシアのインドへの原子力協力(タラプール炉へ燃料供給決定とクダンクラム原子力発電所の輸出)は、「原子力施設すべてにフルスコープ保障措置を受け入れていない国への原子力品目の輸出は原子力供給国グループ(NSG)としての約束に違反することになる。またNPT体制の崩壊につながる」とロシアを非難していた。

ロシアはIAEAの保障措置下でインドに天然ウランを供給することで適切な輸出管理ができると主張した。

*クダンクラム原子力発電所の1・2号機の建設では、2002年9月に資機材ならびに最高300人までのロシア人専門家の提供で、約10億ドルの追加契約が結ばれた。

・2006年3月、ロシアがタラプール原子力発電プラント2基に、約60トンのウラン燃

料を供給することを両国政府が合意した。同年 4 月には、訪印中のキリエンコ原子力庁長官が、インドとの軽水炉と高速炉での原子力協力の継続を表明した^(IV-1)。

- ・2007 年 1 月 25 日、インドを訪問中のプーチン大統領は、シン首相とともに、インドのクダンクラム原子力発電所サイトに、現在建設中の 2 基に加え、さらに少なくとも 4 基を増設するとの合意文書に署名した。

② 2009 年 2 月 11 日：インド原子力省 (DAE) とロシア核燃料企業 TVEL が、インドの原子炉燃料の長期供給で契約に調印した。

- ・これは 2008 年 12 月 5 日、ロシアのメドベージェフ大統領がインドを公式訪問した際、インドのクダンクラム原子力発電所にロシア製原子炉を 2 基増設する協定の調印とともに両国間で合意されていたもの。2008 年 9 月の原子力供給国グループ (NSG) によるインドへの原子力禁輸解除決定を受けて可能となった。

- ・契約総額は約 7 億ドルで、TVEL 社が製造・供給する原子燃料は、インドで稼働中のタラプール原子力発電所のほか、2002 年から建設中のクダンクラム原子力発電所 1・2 号機、またラジャスタン原子力発電所の 5・6 号機にも装荷される。これら 2 基の建設作業は、ロシアのアトムストロイエクスポート社 (ASE) が主契約者となって進めている。クダンクラムは 8 号機まで建設する可能性がある。

- ・これを受けて、2009 年 4 月にロシアからインドへの天然ウランの燃料ペレットが初出荷されたと報道された。ロシアとフランスからの核燃料の供給で、核燃料不足のため原子力発電所の出力を落として運転していた事態からの脱却が期待されている。

③ 2009 年 12 月 7 日：露印原子力協力協定を締結

- ・インドの M. シン首相のモスクワ訪問時に政府間原子力協力協定を締結。ロシアの新規 4 基の原子力発電プラント建設の受注と、そのための核燃料分野（含ウランの安定供給や濃縮技術）での協力を合意した。

- ・ロシア国営原子力企業「ロスアトム」のキリエンコ総裁は、建設中の 2 基を含め、インドから最大で 20 基の原子力発電プラントの受注が期待できるとの見通しを示した。

10) 英国

①2005 年 8 月、英国はインドに対し、原子力発電技術の提供や、原子力関係科学者の

訪問で規制を緩和する方針を表明した。同年 9 月、ブレア首相の訪印で、原子力発電技術を中心とした民生用原子力分野での協力で合意した^(IV-1)。

②2009 年 12 月には、英国の P. マンデルソン民間企業・技術革新・技能相の訪印に関連し、英印民生用原子力協力協定の締結に向けた交渉の進展が報じられた。マンデルソン大臣は、デリーでの記者会見で、「まずは共同宣言を策定し、その後のできるだけ早い時期（数週間以内）に協定の調印にこぎつけたい」と語った。

11) ベトナム

①1986 年、インドはベトナムと原子力平和利用協力覚書に調印した。

②1988 年には、BARC でベトナムの科学者の訓練プログラムを実施してから、さらに緊密な関係が生まれている。

③さらに、2002 年 4 月には、両国の 2002 年から 2003 年にかけての「原子力平和利用および商業利用」に関する詳細な協力作業計画での覚書を交わした。

④近年インドは、ベトナム北部ダラトの「ベトナム・インド原子力科学センター」（2001 年 1 月開所）に機器や専門家サービスを提供している。

12) 日本

① 2007 年 4 月 23 日、経済産業省とインドの計画委員会は、日印間の定期的閣僚級エネルギー政策対話として位置づけられる「日印エネルギー対話」の初会合を経済産業省で開催した。原子力に関しインド側は、「協力に制約があることは承知しており、制約がなくなればこの対話の場でも議論したい」と述べた。

*この対話は、2006 年 12 月のシン首相訪日の際、安倍首相との「日印戦略的グローバル・パートナーシップ」に向けた共同声明で、設置に合意していたもの。

原子力に関するインド側の発言は、「インドの NPT 未加盟等の日本側の懸念に言及したもの。経産省は「外交的な議論が先決」とした。

この対話の枠組みで、運営委員会ならびに「電力・発電」、「省エネ」、「石油・天然ガス」、「石炭」、「再生可能エネルギー」の 5 つのワーキング・グループを設置することになった。

② 2008 年 9 月 4～6 日、（日本を含む 45 カ国からなる）NSG の臨時総会で、インドを対象とする「例外規定扱い」を承認した。これに関して、日本の外務省は、次の観点を米国提案に賛成したことを明らかにした^(IV-9)。

ア. NPT 未加盟のインドへの原子力協力が国際的な核不拡散体制に与え得る影響
イ. アジア最大の民主主義国家であり、新興市場国家でもあるインドの重要性や、同国の原子力平和利用が、地球温暖化対策に貢献し得る意義
ウ. とくに唯一の被爆国として、インドによる核実験モラトリアムの継続
エ. これらにより、インドに対する核不拡散措置が強化され、インドの原子力活動の透明性が高まり、国際核不拡散体制の外にいるインドに不拡散への取り組みを促す契機となるとの判断
またインドによる核実験モラトリアムが維持されなくなった場合には、「①NSG としてインドの例外化措置を失効ないしは停止すべき、②NSG 参加各国は各国のインドへの原子力協力を停止すべき」と主張した。

<注記>

- (IV-1) 出典：原子力委員会国際問題懇談会資料「インドをめぐる国際的な原子力協力の動きにかかわる現状」（2007年11月13日）
- (IV-2) 出典：<http://www.state.gov/documents/organization/63007.pdf>
- (IV-3) N. バーンズ国務次官の発言（原子力産業新聞2007年8月9日号）
- (IV-4) 出典：IAEA の FNCIS データベース
- (IV-5) 出典：IAEA の Factsheets: Country List、Safeguards Current Status、Safeguards and Verification また米国国務省の NPT 加盟国一覧表
- (IV-6) 出典：米国国務省「NPT 署名・加盟国リスト」
- (IV-7) 出典：IAEA の Additional Protocols to Nuclear Safeguards Agreements
- (IV-8) 出典：日本国際問題研究所軍縮・不拡散促進センター資料
- (IV-9) 出典：原子力産業新聞（2008年9月18日号）

V. 原子力関係法規の整備状況

1. 主要な原子力関係法

- ① 1962年原子力法が、インドの原子力に関連した諸活動に関する基本法であり、頂点には原子力委員会（AEC）がある（図表8参照）。この下に、原子力規制委員会（AERB）と原子力省（DAE）が、以下のように多くの規則・規格類等を制定している。
 - ・放射線防護規則 1971年
 - ・原子力（仲裁手続き）規則 1983年
 - ・原子力（鉱山作業、鉱物、所定物資の取扱）規則 1984年
 - ・原子力（放射性廃棄物の安全処分）規則 1987年
 - ・原子力（工場）規則 1996年
 - ・原子力（食品照射管理）規則 1996年
- ② 2009年11月、内閣は原子力損害賠償法案を承認。近く議会に上程される予定となっている。

2. 原子力法に基づく安全規制

- ① 1962年原子力法に規定された安全・規制機能を担う AERB が、1983年11月に設置された。
- ② AERB は、インドにおける放射線安全のための規制を担当するが、DAE 傘下の施設での産業安全規制や、環境保護法に基づく一部の規制も委任されている。
 - *AERB の発足以前は、DAE の安全審査委員会（DAE-SRC）がこれらの機能を果たしていた。
- ③ AERB は、原子力施設が公衆および従業員に放射線リスクを及ぼさないように、サイト許可、建設、試運転、運転、デコミショニング等の許認可で、段階ごとに詳細なレビューを行う。

申請者は、各段階で安全原則の考え方、安全解析の結果、用いた基準・規準類の妥当性、さらに施設が公衆や従業員に不当なリスクを与えないことを実証する品質保証計画等、すべての関係情報の AERB への提出を求められる。

- ④原子力規制委員会（AERB）は、三層の安全審査システムをもっている。
 - （第一層）サイト評価委員会、プロジェクト設計委員会、土木工学安全委員会、テーマ別安全委員会（専門家グループ）
 - （第二層）AERB は、プロジェクト安全審査諮問委員会（SARCOP）の助言に基づいて許認可を発給する。

(第三層) AERB

AERB の介入としては、定期的安全審査 (10 年ごとの詳細審査と、5 年ごとの簡易審査) がある (V-1)。

また事業者には、法定検査 (6 ヶ月ごと)、保健物理報告書 (3 ヶ月ごと)、重要事象報告書、経年劣化管理、安全設備改良による安全向上努力を要求する。

プラント操業中の安全評価は、SARCOP が行う。運転は一定の限定期間だけ許可され、それを超える期間については、さらに許可が必要である。申請者が遵守しなければならない条件を付して許可されることもある。

⑤ AERB はまた、すべての原子力施設に対して緊急時対応計画策定と所要の組織化を義務付けている。

3. 原子力法の改正の必要性 (1-3) (1-7)

原子力法の課題を、2008 年 11 月時点でジャイン NPCIL 総裁は以下のように指摘した。

- ・ 現行のインド原子力法は、政府所有の NPCIL と BHAVINI のみに原子力発電所の建設を認めている。
- ・ 民間企業の原発所有は、NPCIL との少数持ち株によって始めることができるが、原子力法を改正して民間企業の原子力発電事業への参入を促す動きもある。
- ・ 原子力法の改正が必要である。その手続きには少なくとも 2~2.5 年はかかるが、その間は NPCIL が着実に原子力発電開発を進めていく。
- ・ 民生用原子力利用損害賠償法が政府によって採択される予定である。
- ・ 品質基準、核燃料サイクル、また廃炉の責任を規定する規制枠組みを整備すべき。

また、今後は軽水炉の安全性に関するスタンダードの開発を急ぐ必要があるとの認識を AERB のシャルマ委員長が示している (V-1)。

<注記>

(V-1) 出典：「INSAC-2008」での AERB の S. K. Sharma 委員長の発表「Role of AERB in the Emerging Nuclear Power Scenario in India」

VI. インドの原子力開発年表

図表 29 : インドの原子力開発年表 (VI-1)

年 月	事 項
1945 年	ボンベイに原子力研究を行うタ基礎研究所設立。H. J. ハーバ博士が所長に就任
1947 年 8 月	英国領インドがインドとパキスタンに分離独立
1948 年 4 月	原子力法制定
1948 年 8 月	資源学術研究省の下に原子力委員会設置。委員長はハーバ博士
1950 年 1 月	インド憲法発布
1951 年	金属ベリリウム、酸化ベリリウムの使用技術協力でフランスと協定調印
1954 年	礼政権下で、首相直属の原子力省 (DAE) 設立。長官はハーバ博士
1954 年 1 月	タ基礎研究所の原子力部門をボンベイ郊外トロンバイに移転、トロンバイ原子力エネルギー研究施設 (AEET) として独立させた
1955 年 12 月	英印原子力協定締結 (インドの研究炉 APSARA に濃縮ウラン提供)
1956 年	米国 Vitro International 社と重水製造の調査契約締結
1956 年 4 月	カダ、インド研究用重水炉設置に関する協定締結
1956 年 8 月 4 日	アジア最初の研究炉 APSARA (1MW スイミングプール型軽水炉) 臨界
1957 年 7 月 16 日	IAEA に加盟
1958 年	原子力委員会 (AEC)、諮問的機関から、政策立案・行政執行機関に改組 (爾来 AEC 委員長と DAE 長官が兼務)。初代委員長にハーバ博士就任
1959 年 3 月	西ドイツのリンデ社、タンガル水力発電計画の一環として重水工場建設を受注
1959 年 7 月	原子炉用重水リースに関する協定を米国と締結
1960 年 7 月 10 日	研究炉 CIRUS (カダ供給天然ウラン重水炉、40MW) 臨界
1961 年 4 月	プルトニウム抽出を目的とする「プルトニウムプラント」を BARC で建設開始。完成は 1964 年で、研究炉 CIRUS の使用済燃料を 30 トン/年で再処理
1961 年	カダ原子力公社 (AECL) とインド DAE、インドに CANDU 炉を建設するためのコスト算定実施
1961 年 1 月 1 日	インド国産炉 ZERLINA (1kW 天然ウラン重水炉) 臨界
1961 年 10 月	タグループ発電炉建設に対し米国、英国、フランス、カダから 7 社入札
1961 年 11 月	インド・ソ連原子力協力協定 (天然ウラン炉、プルトニウム増殖炉、トリウムウラン 233 サイクル) 締結
1962 年	スウェーデンと原子力協力協定締結
1962 年	インド新原子力法制定

1963年6月22日	アラブ原子力発電所1・2号機をGEに発注
1963年8月	デンマークと原子力協力協定締結
1963年11月	米印原子力協力協定締結(アラブ原子力発電所建設のため)
1963年12月	カナダとラジヤスタン原子力発電所(RAPS)建設に関する協定締結
1964年	バーバ原子力研究センターで、インド最初の再処理プラント完成
1964年4月	米印資金援助協定調印(アラブ原発(TAPS)への3.81億ドルの資金援助)
1965年	ベルギーと原子力協定締結
1965年	米国とアラブの濃縮ウラン供給契約に調印
1965年1月	カナダ、RAPS-1号機(CANDU-PHWR、22万kW)に対する3,700万ドルの資金援助協定に調印(1964年という説もある)
1966年1月	バーバ原子力委員長航空機事故で死亡
1966年12月	RAPS-2号建設契約をカナダと締結
1967年	カナダ、RAPS-2号機(CANDU-PHWR、22万kW)に対する3,850万ドルの資金援助協定調印
1967年1月	トロンハイのAEETがバーバ原子力研究センター(BARC)に改称
1967年2月	米印プルトニウム供与協定調印
1969年	フランスと高速炉計画協力協定調印
1969年4月	ソ連と専門家交流に関する協定調印(1968年という説もある)
1969年11月	フランスとバーバ重水プラント(100トン/年)輸入契約締結 *フランスは、5,000万フランの資金援助も約束
1969年11月	GE製TAPS-1・2号機、定格出力に到達
1971年	放射線防護規則制定
1971年	マドラス(MAPS、カルパッカムとも)2号機(22万kW、CANDU炉)建設決定。 2,000万ドルのカナダ製部品の輸入を予定
1971年1月	米国・インド・IAEA保障措置協定締結
1971年10月	西ドイツと原子力協定締結(有効期間5年間)
1971年11月	フランスに重水プラント2基発注
1972年	インド、アジア原子力地域協力協定(RCA)に加盟
1972年	ナローラに22万kWのCANDU型原発(NAPS)建設決定
1972年5月1日	PURNIMA炉(酸化プルトニウムを燃料とするゼロ出力国産研究炉)臨界
1973年	インドNPT加盟拒否のためカナダはインドと協力停止
1973年12月16日	RAPP-1号機運開
1974年5月	インド、ラジヤスタン州のポカラン実験場で、「平和目的の核爆発」実施。 カナダ、原子力協定停止を声明
1976年5月	カナダ、インドとの原子力協力協定を恒久的に停止すると発表

1977年12月	ソ連と重水供給協定調印(RAPP-2号機用)
1978年4月	米国、インドへの濃縮ウラン輸出を許可
1978年6月	米国、インドに対し保障措置の受入要求
1979年1月	印ソ改訂原子力協定締結
1980年5月	米国、インドに濃縮ウラン輸出を許可
1980年11月	RAPP-2号機運開
1981年	レーガン政権、インドへの濃縮ウラン出荷で憂慮を表明
1981年4月	インドが使用済燃料再処理の意向を表明したことから、米国が協力協定破棄を表明
1981年7月	インドに対する核燃料供給をめぐり米印交渉再開
1982年11月	TAPS 原発 2 基分の濃縮ウラン燃料供給について仏印協定締結
1983年3月	フランス COGEMA と TAPS 用濃縮ウラン供給について商業契約締結
1983年5月	COGEMA、TAPS 向濃縮ウラン 10 トン供給
1983年7月2日	MAPP-1 (CANDU-PHWR 22 万 kW) 臨界。運転開始は 1984 年 1 月 27 日
1983年11月	原子力規制委員会 (AERB) 設置
1984年3月	FBTR 用のフルニウム-ウラン混合炭化燃料トンペイで完成
1984年5月	U-233 燃料を装荷したフルニマII 臨界
1985年4月	TAPS の廃棄物固化プラント完成
1985年8月	重水減速重水冷却トルバ研究炉臨界
1985年10月	混合炭化燃料を装荷した高速増殖実験炉 (FBTR) 臨界。運転開始は 1997 年 7 月
1986年3月	MAPS-2 号機 (CANDU。22 万 kW) 運転開始
1988年1月28日	「原子力事故早期通報条約」と「原子力事故または放射線緊急事態における援助条約」を批准
1989年7月	NAPS-1 号機 (PHWR。23.5 万 kW) 運転開始
1990年11月	U-233-A1 板状燃料を装荷したフルニマIII 臨界
1991年	NAPS-2 (PHWR。22 万 kW) 運転開始
1993年5月	カラハール-1 号機 (PHWR。22 万 kW) 運転開始
1995年9月	カラハール-2 号機 (PHWR。22 万 kW) 運転開始
1996年10月	インド原子力産業会議 (IAIF) 設立
1996年10月29日	U-233 (濃縮度 20%) を燃料とする研究炉 KAMINI 初臨界
1998年5月11~13日	国家の安全保障のため、第 2 回目の核実験をポカラン実験場で実施 (爆発回数は計 5 回)
1998年5月28日、30日	パキスタンが、チャガイで初の原爆実験
2002年4月11日	インドの核物質防護条約加盟が発効
2004年1月12日	米国が、「戦略的パートナーシップにおける次のステップ」構想で、インド

2004年10月24日	に対話拡大を提案（この中に原子力民生利用協力を含んだ） 高速増殖炉原型炉（PFBR、50万kW）着工
2005年3月16日	米国ライス国務長官の訪印時に、インドのシ外相と原子力協力について協議
2005年3月31日	原子力安全条約を批准
2005年4月19日	米国ブッシュ大統領、CNBCテレビのインタビューでインドに原発開発を要望
2005年5月	米印両国で「エネルギー対話」枠組み設立で合意
2005年7月18日	訪米中のシ首相とブッシュ大統領が共同声明で、原子力協力を約束
2007年9月19日	インドが核物質防護条約改定条約を批准
2007年11月	IAEAとインド政府が新しい保障措置協定の交渉を開始
2008年8月1日	IAEA理事会で対印保障措置協定案を承認
2008年9月4～6日	原子力供給国グループ（NSG）の臨時総会で、インドに対する「例外規定扱い」を承認
2008年10月8日	米国議会が、米印原子力協力協定を承認
2008年10月10日	米印原子力協力協定が発効
2008年12月17日	仏AREVAと印原子力省（DAE）が核燃料供給契約に調印
2009年5月15日	IAEAの追加議定書に署名
2009年11月	シ内閣で原子力損害賠償を承認。近く国会に上程の予定

<注記>

（VI-1）（社）日本原子力産業会議（現（社）日本原子力産業協会）の1983年4月刊行の「原子力調査時報 No. 47」と、同会議の2002年3月刊行の「アジア諸国原子力情報ハンドブック」等をまとめ直した。

(参考-1) インドの原子力発電所の稼働状況

1. インドの代表的な原子力発電プラントの連続運転日数^(I-6)

- ・カクラパール原子力発電所-1号機：372日間
- ・ラジャスタン原子力発電所-4号機：373日間
- ・カイガー原子力発電所-1号機：487日間
- ・カイガー原子力発電所-2号機：529日間

2. インド原子力発電公社 (NPCIL) の原子力発電所の時間稼働率^(I-6)

図表 30 : NPCIL の全原子力発電プラントの時間稼働率の推移

(単位：%)

1999年度	2000年度	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度
84	84	86	89	91	88	89	85	85

3. 個別原子力発電プラントの発電状況

図表 31 : インドの原子力発電所の稼働状況表^(II-1) (2009年12月22日現在)

(注：エネルギー単位の MU=MWh)

発電所名/炉型/容量 (万 kW)	営業運転 (年/月/日)	2009年11月までの累積発電量 (単位：MU)	2009年度の期間別の発電量と設備利用率	発電量 (E)、設備利用率 (C) と時間稼働率 (A) の推移 ①2004年度 ②2005年度 ③2006年度 ④2007年度
カイガ-1/ PHWR/ 22.0	2000/11/16	12,160	2009年4-10月： 687 MU で53% 2009年11月： 0 MU で0%	E:①1,515 MU, ②1,281 MU, ③1,328 MU, ④1,050 MU C:①79%, ②66%, ③69%, ④54% A:①95%, ②89%, ③97%, ④83%
カイガ-2/ PHWR/ 22.0	2000/03/16	13,225	2009年4-10月： 764 MU で59% 2009年11月： 95 MU で60%	E:①1,411 MU, ②1,578 MU, ③1,212 MU, ④1,036 MU C:①73%, ②82%, ③63%, ④54% A:①87%, ②97%, ③89%, ④87%
カイガ-3/ PHWR/ 22.0	2007/05/06	1,577	2009年4-10月： 740 MU で57% 2009年11月：	

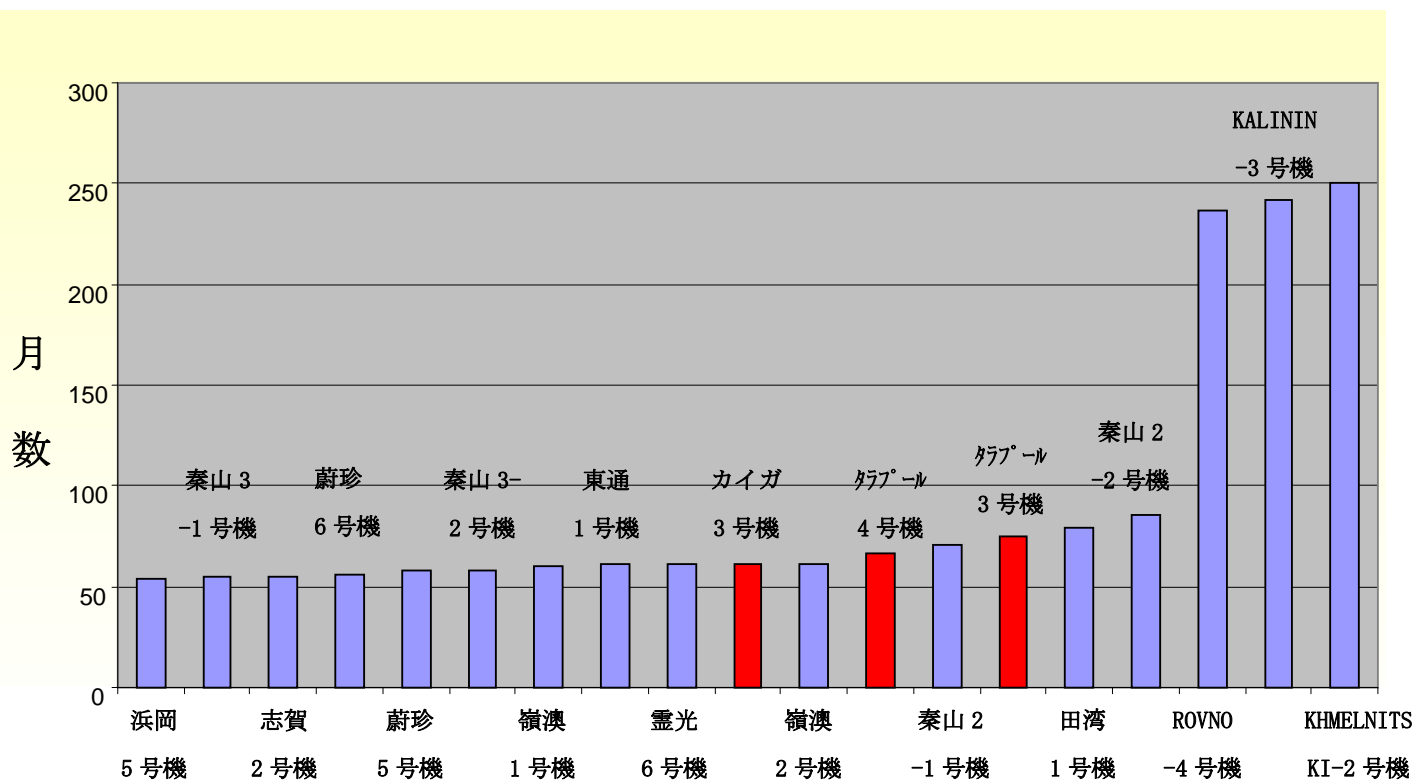
			111 MU で 70%	
カクラパール -1/PHWR/ 22.0	1993/05 /06	19,358	2009年4-10月： 0 MU で 0% 2009年11月： 0 MU で 0%	E:①1,250 MU, ②1,054 MU, ③1,296 MU, ④904 MU C: ①65%, ②55%, ③67%, ④47% A: ①86%, ②78%, ③95%, ④78%
カクラパール -2 /PHWR/ 22.0	1995/09 /01	20,341	2009年4-10月： 721 MU で 56% 2009年11月： 74 MU で 47%	E:①1,263MU, ②1,313 MU, ③1,150 MU, ④1,126 MU C: ①66%, ②68%, ③60%, ④58% A: ①82%, ②87%, ③84%, ④97%
マドラス-1/ PHWR/ 22.0	1984/01 /27	23,441	2009年4-10月： 621 MU で 48% 2009年11月： 0 MU で 0%	E:①0 MU、②299 MU, ③1,382 MU, ④7300 MU C: ①0%, ②79%, ③72%, ④38% A: ①0%, ②88%, ③95%, ④68%
マドラス-2/ PHWR/ 22.0	1986/03 /21	24,026	2009年4-10月： 764 MU で 59% 2009年11月： 94 MU で 60%	E:①1,482 MU, ②1,553 MU, ③1,340 MU, ④1,019 MU C: ①77%, ②81%, ③64%, ④53% A: ①90%, ②95%, ③91%, ④97%
ナローラ-1/ PHWR/ 22.0	1991/01 /01	19,493	2009年4-10月： 553 MU で 43% 2009年11月： 8 MU で 5%	E:①1,237 MU, ②807 MU, ③0 MU, ④830 MU C: ①64%, ②71%, ③0%, ④45% A: ①77%, ②94%, ③0%, ④93%
ナローラ-2/ PHWR/ 22.0	1992/07 /01	20,140	2009年4-10月： 0 MU で 0% 2009年11月： 0 MU で 0%	E:①1,523 MU, ②1,332 MU, ③10248 MU, ④591 MU C: ①79%, ②69%, ③53%, ④43% A: ①96%, ②90%, ③70%, ④76%
ラジャスタン -1/PHWR/ 22.0	1973/12 /16	11,826	2009年4-10月： 0 MU で 0% 2009年11月： 0 MU で 0%	E:①303 MU、②0 MU, ③0 MU, ④0 MU C: ①23%, ②0%, ③0%, ④0% A: ①35%, ②0%, ③0%, ④0%
ラジャスタン -2/PHWR/ 22.0	1981/04 /01	28,102	2009年4-10月： 370 MU で 85% 2009年11月： 108 MU で 75%	E:①1,321MU, ②1,401 MU, ③1,202 MU, ④3,270 MU C: ①75%, ②80%, ③69%, ④73% A: ①79%, ②89%, ③81%, ④89%
ラジャスタン -3 /PHWR/ 22.0	2000/06 /01	13,372	2009年4-10月： 841 MU で 65% 2009年11月： 113 MU で 71%	

ラジャスタン -4 /PHWR/ 22.0	2000/12 /23	12,694	2009年4-10月： 704 MUで55%	
			2009年11月： 113 MUで71%	
ラジャスタン -5/PHWR/ 22.0	2009/12 /22			
タラプール -1/BWR/ 16.9	1969/10 /28	39,284	2009年4-10月： 927 MUで99%	E:①1,276 MU, ②821 MU, ③1,232 MU, ④1,312 MU C: ①91%, ②94%, ③88%, ④93%
			2009年11月： 117 MUで102%	A: ①93%, ②97%, ③89%, ④96%
タラプール -2/ BWR/ 16.9		39,559	2009年4-10月： 776MUで83%	E:①1,311MU、②836MU, ③1,372MU, ④1,239MU C: ①94%, ②96%, ③98%, ④88%
			2009年11月： 116MUで101%	A: ①95%, ②100%, ③97%, ④89%
タラプール -3/PHWR/ 54.0	2006/08 /18	8,147	2009年4-10月： 1,833 MUで58%	
			2009年11月： 261 MUで67%	
タラプール -4/ PHWR/ 54.0	2005/09 /12	9,749	2009年4-10月： 1,769 MUで56%	
			2009年11月： 194 MUで50%	
運転中合計(18基)			434.0万kW	

(参考-2) インドの原子力発電所の建設期間⁽¹⁻⁶⁾

図表 32 : 各国の原子力発電プラントの建設期間*の比較

*コンクリート打設から営業運転での電力網併入まで



(参考-3) インドの原子力発電所の保守作業スケジュール予定

インドでは、原子力発電に関する情報公開が進んでいる。図表 31 は、原子力発電所の 2009 年～2010 年の保守作業計画だが、予定日が早くから公表されている。

図表 33 : インドの原子力発電プラントの保守作業計画 (参考-1)

原子力発電 プラント名	保守作業予定日			備考
	開始予定日	終了予定日	作業日数	
カイガ-1	2009年8月1日	2009年9月15日	46日	半年ごとの停止
カイガ-2				
カイガ-3				
カクラパール-1	2009年8月1日	2009年9月15日	46日	同時に冷却系も交換
カクラパール-2				
マドラス-1				
マドラス-2	2009年10月1日	2009年10月31日	31日	半年ごとの停止
ナローラ-1	2010年2月1日	2010年3月15日	43日	半年ごとの停止
ナローラ-2	2009年4月1日	2009年9月30日	183日	同時に冷却系も交換
ラジャスタン-1				
ラジャスタン-2				
ラジャスタン-3				
ラジャスタン-4	2009年4月1日	2009年5月15日	45日	半年ごとの停止
タラプール-1				
タラプール-2	2009年6月1日	2009年6月30日	30日	RSD(燃料交換停止)
タラプール-3				
タラプール-4	2009年7月1日	2009年8月15日	46日	半年ごとの停止
カイガ-4				
クダンクラム-1				
クダンクラム-2				
ラジャスタン-5				
ラジャスタン-6				

出典：インド中央電力庁(CEA) http://www.cea.nic.in/god/gmd/lgbr_report.pdf

注：NPCIL のホームページでは、建設中の原子力発電プラントの掘削工事、コンクリート打設、主格納容器壁の建設、タービン棟の建設、非常時電源・管理棟建設、メイン・コントロール・ルームの建設、ポーター・クレーンの起動、外部格納ドームの建設、NSSSの装置・配管の起動、等詳細な工程管理予定や実績が掲載されており、インドの原子力産業界の自信と活動の透明性がわかる。