

## 第 156 回エネルギー問題に発言する会 座談会議事録（案）

座談会演題：「インドの原子力開発の動向について」

講師：佐藤浩司 氏（日本原子力研究開発機構 高速炉研究開発部門 企画調整室）

日時：2015 年 6 月 18 日（木）15:45～17:30

場所：日本原子力安全推進協会（JANSI）13 階 第 2,3 会議室

座長：早野睦彦 氏

参加者：会員 約 40 名

議事録作成：田辺博三

配布資料：

- ① 講演資料：インドの原子力開発の動向について
- ② 参考資料：佐藤浩司、柳澤務、世界の原子力事情第 5 回インドの原子力開発の動向、日本原子力学会誌 Vol.56, No.4, 2014.
- ③ 参考資料：藤家洋一、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—（前編）、エネルギーレビュー2007 年 3 月号.
- ④ 参考資料：藤家洋一、佐藤浩司、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）、エネルギーレビュー2007 年 4 月号.
- ⑤ 参考資料：藤家洋一、佐藤浩司、アジアにおける原子力の架け橋を目指して—日印原子力安全性会合—エネルギーレビュー2008 年 3 月号.

講演概要：

インドは、ウラン資源は少ないがトリウム資源が豊富なので、国内の豊富なトリウム資源を有効活用する三段階の原子力開発計画を 1950 年代に策定し、それに沿って独自開発を進めてきた。現在は、その第二段階の高速炉による閉燃料サイクルを確立しようとしており、今年、高速増殖原型炉（PFBR）の初臨界を予定している。また、第三段階の受動安全性を強化した先進重水炉の開発も進めており、既にプレヒアを終了している。さらに、インドの電力需要の急増に対応するため、最近では、ロシア、アメリカ、フランス等の海外から大型軽水炉の濃縮ウラン付きでの導入を積極的に図ろうとしている。最近の日印情報交換に藤家先生が貢献されている。

佐藤氏は、大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻修士課程を卒業後、JAEA 大洗工学センター高速炉安全性試験室に配属、高速炉の安全研究に従事、その後、高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究に従事し、今日まで一貫して高速炉サイクル開発に貢献してきた。また、国際的にも第 4 世代原子力国際フォーラム(GIF)、IAEA の革新的原子炉と核燃料サイクル国際フォーラム（INPRO）等の委員を務めている。この間にインドの原子力開発に興味を持ち、インド原子力発電公社（NPCIL）バードワイズ元理事等とも交流があり、継続的に情報収集も行なってきた。

講演では、インドの原子力開発の歴史とエネルギー事情、三段階の原子力開発計画と開発体制、各段階の原子炉と関連するサイクルの開発の現状と今後の計画に関して、包括的な説明を行なって頂いた。以下、講演の概要を記す。

## 1. インドの原子力開発の歴史とエネルギー事情

インドの原子力開発は、ホミ・バーバ初代原子力委員長が提唱した三段階の原子力開発計画（後述）が特徴である。また、インドは日本よりも早く原子力開発をスタートした。

核不拡散条約には未加盟である。これは、同条約が核爆弾を保有している国と非保有国の間で不平等である、等の理由によると言われている。

インドは国際社会と協力して原子力開発を行ってきたが、1974年と1998年に実施した地下核実験の結果、国際社会からの支援が途絶えたため、以降は独自技術で開発を続けてきた。しかし、2008年のインド・米国原子力協力協定締結を契機として、国際社会に復帰し、各国との2国間の協力協定を進め、海外からの軽水炉導入を進めている。

導入にあたっての大きな課題が、原子力損害賠償責任に関するインドの国内法規程の取り扱いである。この国内法は、1984年のユニオンカーバイドが起こしたボパールの大事故（数10万人の住民が被害を受け、その内、1万人を超える住民が死亡）がきっかけとなって制定された法律であり、供給された原子力資機材の瑕疵が原因で原子力事故が起きた場合に原子力運転者から供給者への求償権を認めているため、他国からの原子力資機材の供給の阻害要因になりかねないとして米国等の供給国が是正措置を要求しているものであり、2015年2月現在、米国原子力産業界は様子見の状況である。

インドが原子力発電の導入を急ぐ理由は、人口の増加（2028年頃には中国を抜いて世界第一位になると予測）と高い経済成長率にもとづくエネルギーの需要増である。電力普及率が75%と低く、石炭火力などによる大気汚染も深刻なため、クリーンな原子力発電にシフトすることを指向しており、現状の発電設備容量の2%から2050年頃には20%まで引き上げる計画である。

## 2. 三段階の原子力開発計画と開発体制および原子炉と関連するサイクルの開発の現状と今後の計画に関して

インドの特徴は三段階の原子力開発計画である。すなわち、以下のように計画しており、それぞれの段階で原子炉の開発とともに、それぞれのサイクルに必要な技術（燃料製造、再処理、廃棄物処分等）の開発を行なっている。また、優秀な人材を育成するための教育インフラも整えている。

- ① インド原子力発電公社（NPCIL）を中心とした第一段階の原子力開発（重水減速・加圧重水冷却炉（PHWR）サイクル等）
- ② インディラ・ガンジー原子力研究センター（IGCAR）を中心とした第二段階の原子力開発

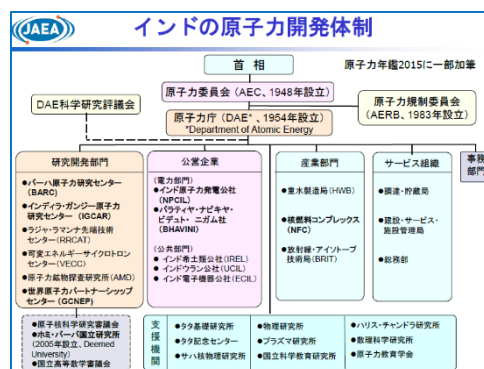
(ウラン-プルトニウム燃料を用いた高速増殖炉(FBR)サイクル)

③ バーバ原子力研究センター(BARC)を中心とした第三段階の原子力開発

(トリウム-ウラン 233 燃料を用いた新型重水炉 (AHWR) 等の開発)

第一段階では、前述の核実験の結果、国際社会からの支援、特にカナダからの CANDU 炉の導入と、フランスからの高速増殖実験炉 (FBTR) 用の高濃縮ウラン燃料の調達が頓挫したことから、インドは、独自の技術で重水減速・加圧水型冷却炉 (PHWR) を開発し現在 18 基が運転中である。また、FBTR 用の U-Pu 炭化物燃料も独自に開発し利用している。PHWR の特徴の一つは天然ウラン燃料であり、運転中に燃料交換が可能な点である。しかしながら、ウラン燃料供給不足のため設備利用率が低い時期もあったが、最近ではロシア、カザフスタン等からウランの入手が可能となり、設備利用率も改善している。ロシアから濃縮ウラン付で軽水炉 (VVER) を導入したほか、フランス等とも交渉中である。第二段階の高速増殖炉については、当面は MOX 燃料で進めるが、将来的には高増殖のため原子炉倍增時間を短縮でき、高速炉導入が加速できる金属燃料 FBR に移行する考えである。第三段階では国内に豊富に埋蔵するトリウムを利用する計画であるが、本格導入は FBR、ADS、先進重水炉、溶融塩炉等とそれぞれの燃料サイクル技術の成熟に依存している。

原子力開発計画と開発体制を下図に示す。



質疑応答：

Q 1：優秀な人材を育成していることは理解したが、一方では国民の間に落差があると思う。

原子力を利用することに関してどのような広報を行なっているのか。

A 1：詳細は不明。住民の反対運動のため、ロシアの VVER の導入が遅れていたが、電力供給がストップしたらすぐに反対運動が収まったと聞いている。最近では、建設用地の取得等にも影響も出てきていると聞いている。

Q 2：インドが IAEA の査察を受けることでもめていたと思うが。

A 2：軍民分離については、米印協定交渉の中で方法が整理され、それに沿って進めてきている。再処理施設や FBR 等は、現状の査察対象から除外されている。

Q 3：ロシアの VVER の導入に際してロシアは賠償法を受け入れたのか。

A 3：ロシア、フランスは国営企業なので、どちらも進んでいるのではないかと聞いている。他の民間企

業については進んでいない。

Q 4 : 炉心溶融についてどこまで詳しく検討しているのか。

A 4 : 独自に実験等による開発を進めているが、SIMMER 等の高度な解析手法がなく、日本にも協力を要請している。国際学会、IAEA 会合等に積極的に参加し情報収集を図っている。また、フランス、ロシアと高速炉協力の覚書を結んでいる。

Q 5 : 日本ではインドとの協力について反対論も多い。JAEA とインドの協力はどうか。

A 5 : 日印原子力協定がまだ締結されていないため、高速炉の協力は無い。核融合 (ITER) や放射線利用はやっている。トリウム燃料等について大学ではやっている。2013 年位には、日印の原子力学会が協力覚書を結んでいる。

Q 6 : トリウムサイクルの燃料は新しい分野なので過酷事故時の影響検討等が必要と思うが計画はあるのか。

A 6 : トリウム燃料は、ウラン燃料よりも融点が高いので安定性は高いと思うが、実験データが少ない。金属トリウム燃料は使う予定はない。インドには安全性試験炉はないが、今後は事故時の燃料挙動データ等の取得が必要となろう。

Q 7 : 炭化物や金属燃料は 50 年くらい前からさんざんやってきた。その結果、世の中の趨勢として酸化物になってきたので、なかなか使われないのではないのか。

A 7 : インドでの炭化物燃料利用は FBTR のみであり、これ以降は当面、酸化物燃料で、将来的には金属燃料に移行したいと考えている。多数の高速炉を早期に導入するためには金属燃料が必須と考えており、増殖率の向上のために U-Pu-Zr 合金燃料の Zr 含有量を 6% に低減した燃料開発を進めている。インドの究極の目標はトリウムサイクルで、原子力の持続可能性を維持することを考えている。様々な炉及びサイクルの可能性を幅広く検討しながら開発を行なっているのだと思う。

C 7 : MOX よりも炭化物の魅力は出せるか。すでにインフラが整っているところで、炭化物を導入するのは困難だと思う。

C 7 : 炭化物燃料が、再処理や燃料製造が難しいので、インドではこれをこれ以上進めることは考えていない。

Q 8 : インドが地震マップを示し、M8 以上の地域では原発は作らないという基準だということだが、それでは日本では作れないのか。

A 8 : M8 以上の地域では原発は作らないという基準の根拠は分からない。この基準があるため、インドでは免震ではなく耐震設計で対応する方針をとっている。インドも東電福島第一原子力発電所事故についてよく勉強しており、その知見と教訓を反映しようとしている。

C 8 : 日本とマグニチュードのスケールが違う可能性がある。

Q 9 : インドの原子力開発は多様性にとんでいるが、開発フィロソフィはどのようにしてコントロールしているのか。柱の通った総括は誰がしているのか。

A 9 : インド人は論理的であり、納得しないと行動しない。トップ (バーバ氏) が立てた計

画をインド人は納得しているのではないか。(首相直轄の)原子力委員会が進めているのではないかとも思うが、インド側に聞いてみたい

以上