

# 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 -

前原子力委員会委員長

日本原子力研究開発機構

藤家 洋一  
佐藤 浩司



## 一 はじめに

昨年一月に、(第一回)日印の原子炉安全、放射線安全、放射線利用関係の専門家による「原子力の安全性に関する会合」がインドのインディラ・ガンジー原子力研究センター(IGCAR)及びインド原子力発電公社(NPCIL)の二か所で開催された。本会合は、一昨年一二月に筆者達がインドを訪問した際の、チダンバラ前原子力委員長、バーナジー原子力委員長兼バーバ原子力研究センター(BARC)所長、ラジェIGCAR所長等との議論、すなわち、「インド国内の急増する電力需要に対応することが求められている。原子力の安全性は世界共通の最重要課題であるので、日印原子力協力協定がなくても協力はできるのではないか。放射線安全、放射線利用など放射線に関連した話はすでに行われている」を踏まえ準備を進めてきたものである。

今回のインド訪問には、日本側から藤家を始め総勢一五名が参加し、本会合に出席するとともに両機関の原子力施設等を視察し、有意義な議論を行ってきたので、その概要を報告したい。

な お、一昨年のインド訪問の結果をまとめたインドの原子力開発の全体像については、エネルギーレビュー誌二〇〇七年三月、四月号に「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」の表題で連載している、それを参照願いたい。

## 二 原子力安全性会合の開催趣旨

既報でも述べたように、地球人口の過半数を抱え、中国、インドをはじめ多くの国が目覚ましい経済発展を遂げつつあるアジアでは、二一世紀にエネルギー問題と環境問題が深刻さを増していくことは必至であり、その同時的解決には原子力利用は不可欠と考えられる。

アジアの科学技術立国であり、唯一の被爆国として究極の核廃絶を願う原子力の平和利用に徹してきた日本に、多くの期待がかけられている現状と、前回のインド訪問時の議論を踏まえ、「今インドと何ができるか、何から始められるか」の視点で本会合の準備を進めてきた。その際、「原子力安全、放射線安全、放射線利用などを中心に、奥深くというより、今後の協力を念頭に広がりのある会合としよう」と以下の点に留意した。

・核分裂炉(軽水炉、重水炉、高速炉等)の安全性について、安全論

理、安全基準、安全規制等の意見交換を行う。燃料サイクルについては今回は見送る。

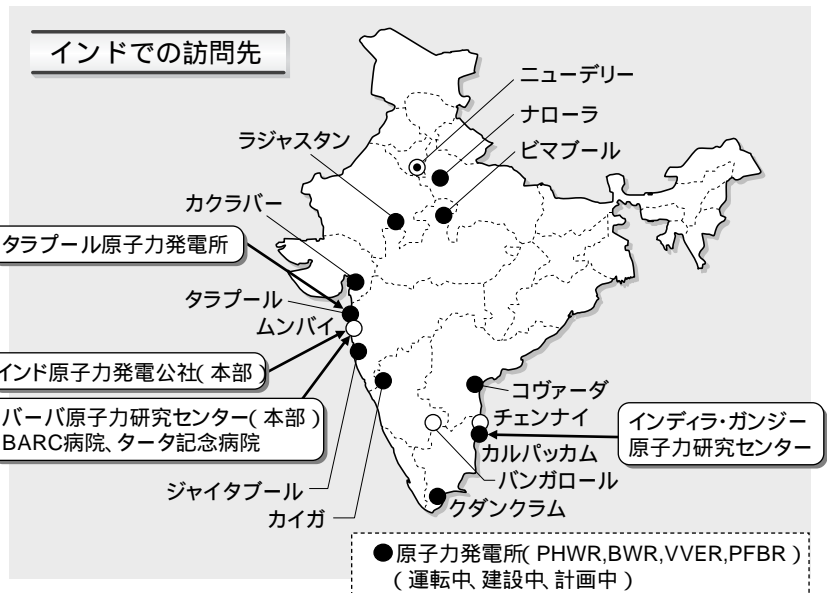
・当然のことながら、広島・長崎の原爆被爆生存者調査をはじめ、緊急被ばく医療、緊急時の放射能影響予測、放射線計測等について話す。

・放射線利用については、機能性材料開発、バイオ・医療応用、環境・資源技術開発等について発表する。放射線利用の夢を語れるような内容とする。

## 三 IGCARでの会合

(11月12、13日)

一二日に開催されたIGCARの会合では、ラジェ所長以下一九名出席の下、高速炉安全性を中心に、日本とインドから各五件ずつ発表した。日本側からは、藤家が平和利用に専念した原子力開発の将来展望及び高速炉安全の概観について述べた後、高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」の安全性への取り組みを原子力機構から、さらに緊急時放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDIE)について発表、インド側からは、ラジェ所長のIGCARの概況説明の後、高速実験炉FBTR(熱/電気出力四万キロワット)・三五



万キロワット)の約二〇年の運転経験、建設中の高速増殖原型炉PFBR(電気出力五〇万キロワット)の安全基準・設計対策、PFBRの設計基準外事象と格納、ナトリウム火災に関する研究開発成果についての発表があり、活発な質疑応答があった。

会合の最後に、ナトリウム冷却高速炉の安全性についての今後の協力

基準外事象評価、炉心損傷事故時のソースターム、地震安全性、運転経験、将来炉の安全基準等のより専門的な分野の安全性について協力したとの具体的提案があった。協力形態としては、年二回の専門家会合を日本とインドで各一回ずつ開催してはどうかとの提案であり、今後検討することとした。



IGCAR会合での筆者(左が藤家)

翌二三日には、運転中のFBTRと建設中のPFBRを見学した。FBTRでは、一九八七年に運転誤操作により発生した燃料取扱機の延長管の湾曲と燃料集合体変形後の修復作業について、ペリスコープと超音波探査装置を用いた炉内観測や補修方法について、当時の写真や実際に使用した装置等について詳しく説明を受けた。これらの情報は、我々にも参考となるものである。

の進め方についてIGCAR側から、ナトリウム火災、原子炉の安全計装、原子炉制御システム、崩壊熱除去系、ナトリウム中へのガス巻き込み、蒸気発生器の安全性、設計

引き続き、PFBRの建設会社(BHAVINI)のクマール所長の案内で、建設現場と機器組立工場を見学した。PFBRは二〇一〇年九月一五日の初臨界、二〇一一年三月一五日の操業運転開始を目指して順調に建設中で、安全容器、主容器等は隣接の組立工場で作成・完成されており、約三週間後から順次これらの据付を行うとのことであった。組立現場では製作精度について気を使っており、例えば周長約四メートルに対して許容誤差プラス・マイナス三ミリ等を達成したとの表示の前には、「我々はインドが誇れるものを作る。」

アイデアを具体化することである」("We make the things that make India proud. It's all about Imagineering.")の看板があり印象的だった。

#### 四 NPCILの会合

(11月14、16日)

NPCILのバードワジェ技術担当取締役(ジェイン総裁は海外出張中)を今回会合の最高責任者として、NPCILから理事会メンバー四人を含む三四名、原子力規制委員会(AERB)からチャンドレ副委員長他、委員四名を含む二〇名、BARCからグローバー部長(原子力省の戦略調査グループの部長を兼務)、サイニス生物医学部長(国連科学委員会(UNSCIEAR)のインド代表)を含む三六名の出席の下、一四一五日の二日間(わたり、原子力の安全性、原子炉(重水炉、軽水炉)安全性、放射線安全、放射線利用の四セッションについて、日本とインドから各十件ずつの合計二〇件の発表があった。

会議開催にあたり、インド側を代表しバードワジェ技術担当取締役とグローバー部長から、原子力安全に関する成果、新技術、成功事例の情報を交換することの重要性や、日本のメーカの今後の協力への期待、イ



NPCILでのオープニングセレモニー

ンドの原子力開発の必要性、本会合で将来の日本との協力の種をまきたいとの挨拶が、また日本側を代表し藤家から、本会合を開催した経緯と趣旨を紹介するとともに、今後の協力の第一歩としたいとの本会議への期待が表明された。

引き続き藤家から、「日本の原子力政策の基本的考え方」について、日本の原子力基本法の精神、目的で、原子力利用は平和利用に限ることを旨として、これに沿った原子力開発をしていることを強調するとともに、日本の原子力開発の現状と今

後の目指すべき方向、原子力の安全性確保の考え方と取組方策について発表した。また久住原子力安全委員から、放射線安全の視点から六〇年にわたる原爆被爆生存者調査の概要を含めた日本の原子力安全五〇年を概括した発表があり、放射線影響、放射線防護に関する活発な意見が交わされた。さらに、日本での軽水炉及び重水炉の安全確保への取り組みや昨年七月の中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所への影響、研究炉NSRRを用いた反応度挿入事象時の軽水炉燃料挙動研究と安全規制への適用状況、ガラス線量計、事故時の緊急被ばく医療、SPEEDI、材料・環境・バイオ分野における量子ビームの専門家から関心が持たれた。

インド側からは、チャンデAERB副委員長からAERBの役割・組織・規制活動発表が、また、サイニスBARC生物医学部長から自然放射線の高いケララ地方における生態学・健康影響評価の発表があった。さらに、新型重水炉(AHWR)・加圧重水炉(PHWR)・ロシア型加圧軽水炉(VVER)の安全目標・安全確保の考え方と取り組み・運転経験、農業・食品・医療・工業・環境分野を中心とした放射線・放射性同

位元素(RI)利用の取り組み状況等が紹介され、インドの原子力安全と放射線利用の全体像を把握することができた。

会議と並行して一四日には、藤家は久住原子力安全委員とともに、コダカル原子力委員長を表敬訪問した。

一六日には、タラプール原子力発電所を訪問し、3・4号機を見学した。3・4号機は各々二〇〇六年、二〇〇五年に操業を開始した最新鋭の重水減速・加圧重水冷却炉で、定格電気出力は五四万キロワットであるが、見学時には出力を半減して運転している状況であり、インドの国内での天然ウラン供給体制が不十分であることを実感した。また放射線医学専門家二名は別途、施設従業員とその家族を対象としたBARC病院とタータ記念病院を訪問し、被ばく医療体制や放射線を利用した医療設備等について調査・懇談した。

## 五 インドの原子力開発の現状と感想

今回インド訪問に参加した各専門家の協力を得て取りまとめた、専門家の目で直接見た各分野のインド原子力開発の現状と、今後の協力のあり方に関する感想を以下に紹介す

る。なお、今後の協力のあり方については、インド側からの具体的な提案を待っているところであり、今後日印両者の提案が出揃ったところで、それらを踏まえて関係者、関係機関等とも協議していきたいと考えている。

### 重水炉関係

核爆発実験により関係国の支援を絶たれたため、独自に初期導入技術の内容を分析し、改良・標準化・大型化を達成し、世界でもカナダに次ぐ有数の重水炉(技術)保有国となっている。一方で技術開発が原子力側に傾き、国内インフラの未整備もあって電源設備としての大型化・高性能化には至っていない。現在、一五基のPHWR(総発電設備容量で三八〇万キロワット)を運転中であるが、燃料不足のためか、運転の一部停止や、出力を半減して運転している状況にあり、二〇〇六・〇七年の設備利用率は六三%とのことである。PHWRの利用率向上のために高燃焼度化も検討しているが、高燃焼度化に伴う燃料健全性の担保が課題として挙げられている。また、独自の構想に基づく次世代炉AHWR(重水減速・軽水冷却のウラン/プルトニウム/トリウム利用炉心)のコンセプト開発を進めており、その

炉物理的モデルは非常に斬新で、チャレンジングである。

安全性に関しては、新型転換炉「ふげん」開発の知見（重水減速、軽水冷却炉としての特性への知見、特にボイド反応度特性等）が有効活用可能と考えられる。また、広義の安全あるいはエネルギーの有効活用（環境負荷低減）の面から、制御の高信頼化、大容量の原子力用タービン・発電機技術等の原子力プラント技術の面での協力が可能でかつ有効と考えられる。

#### 軽水炉関係

米国製の沸騰水型軽水炉（BWR 電気出力一六万キロワット）を導入し運転しているが、その濃縮ウラン燃料の供給は米国、フランス、中国と変遷し、現在はロシアが供給している。電力需要の伸びに因るために軽水炉のウラン燃料供給込みで海外からの軽水炉導入を計画している。既にロシア製のVVER（一〇〇万キロワット×二基）を建設中であり、追加導入も計画中である。しかし、昨年一月のロシアと基本合意に達していたVVER四基を追加輸入する件については、原子力供給国グループ（NSG）の承認が必要とのことと、昨年一月のシン首相訪露時の調印が先送りされている。

米・露・仏・中・豪が軽水炉技術やウラン供給協力を提案しており、世界原子力発電事業者協会（WAN O）を通じての協力は実施中であるが、日本の協力姿勢が見えることが大切である。日本の軽水炉の安全に関する考え方や経験とインドのそれとをすり合わせることで、双方の合理的な安全設計への展開が可能になる

う。二〇二〇年までに二〇〇万キロワットを超える規模の軽水炉導入を計画しており、これは米・中・露の導入規模に匹敵するものであり、各国がビジネスチャンスとして参入を狙っている。重水炉で述べたと同様な原子力プラント技術の面での協力が可能でかつ有効と考える。

#### 水炉燃料の安全性

インドで採用されている加圧重水炉（いわゆるCANDU炉）では、ボイド係数が正であるため、燃料の高燃焼度化に伴う冷却材喪失事故時のボイド発生による出力急上昇の評価が重要となっている。このような条件での実験的研究は、世界的に見ても実施されておらず、安全評価に苦慮している。

出力上昇が緩やかであること、冷却材中の蒸気挙動が異なること等、軽水炉条件との相違はあるが、日本におけるNSRR研究の成果は、強

い関心を持たれた。公開情報ベースでの専門家の技術協力でも、インドにとつては十分メリットがあり、日本の技術力を示す適切な分野の一つとなり得ると考える。

#### 高速炉関係

建設中のPFBRの次には、その安全性・経済性を向上させ標準化したツインプラント（五〇万キロワット×二基）を、二〇二〇年までに二セツト建設する計画である。インドのタンク型FBRの開発は、フランス協力によりベースができ、ロシアのBN 600M（改良型）の情報を探り入れて磨きをかけている。また、フランスは安全性の協力を既に開始している。インドの高速炉開発計画は、日米仏の計画（二〇二〇～二〇二五年に実証炉/プロトタイプ炉を運転開始予定）より先行しており、二〇二〇年頃には、インドは高速炉サイクル技術の世界のリーダーになるとの意気込みで開発を進めている。今後、原子力大綱に記載の「安全の確保と言った普遍性の高い分野に於いて交流を行うなど……」の考え方に沿った交流のあり方を具体化し、高速炉開発で世界の先頭に立たんとしているインドとは交流のチャネルを維持し、将来の本格的協力に向け信頼関係を醸成することが必

要である。当面の最重要関心事は、プラントの安全性と信頼性の高い運転であり、多くの経験と知識を有する両国の安全に関する情報交換は、高速炉の安全性向上に極めて有効である。高速炉の安全分野毎にテーマを絞って、専門家による技術交流と施設の相互訪問を定期的に開催していつてはどうか。

#### 放射線・RI利用

農業分野では、小麦や豆類など多様な品種について質の向上や収量増加に向けた改良を積極的に推進している。食品照射では、食糧確保、食品安全、国際取引に要する品質維持等のために香辛料や果物等の照射を広く展開している。医療分野では、診断、治療等に放射線・RI利用が普及しており、治療に携わる医師の養成にも注力している。ガンマ線による医療器具の滅菌、創傷被覆材の開発も行っている。産業分野では、民間と連携し、航空機エンジン、コンクリート部材等の構造材料の健全性評価等に幅広く応用している。将来的には、生活の質の向上、産業競争力の強化、環境浄化・保全を指し、多様な放射線を駆使して、長期的視野で新材料や新技術の開発を推進することが必要であろう。放射線・RI利用は今後、幅広い

分野で連携協力が可能と考えられる。イオン、中性子、光子等を包含する量子ビームサイエンス&テクノロジーなど、先端分野の研究協力も視野に入れ、国際原子力機関（IAEA）や学会・アカデミックレベルで既に行われている交流を基軸とし、これを更に発展・拡大させ、相互理解を深めて具体的な連携推進方策を検討し、実質的な協力を進めることが肝要である。インドの優秀な研究者との交流や技術情報の交換は、中長期的にはわが国の当該分野の研究開発の効率的・効果的推進や産業・経済面の交流活性化に有益であろう。

#### 原子力防災

わが国のSPEEDIのような、原子力施設から万一大量の放射線物質が放出されるおそれのある際に周辺住民の被ばく線量を予測し、住民避難等の防災対策に資するためのシステムが、少なくとも研究所レベルで整備されている。線量予測のためのシミュレーションプログラムの技術はかなり高い水準にある。

今後、防災に係る運用システムの整備や防災活動への適用の知見等、線量予測のシミュレーション技術等について的情報交換は、双方にとつて有効と考えられる。

#### 被ばく医療

多くの原子力施設を有し放射線やRIが広範囲に利用され、放射線事故時のモニタリング体制や除染等の被ばく医療体制は一応整えられている。しかし、高線量被ばくや体内汚染事故時の対応等の重篤で緊急性の高い被ばく医療体制については十分でなく、被ばく医療に携わる関係者の教育を含めた体制の整備が必要であると考えられた。また、住民に対する事故時の対応体制についても今後の課題であろう。

今後、人道的な観点からインドを含めたアジア地域における被ばく医療協力体制、教育及び研修体制の整備が望まれる。

#### 放射線防護

高自然放射線地域として有名なインドのケララ地域住民の放射線影響に関する疫学調査が精力的に進められている。また六〇年にわたる原爆被爆生存者調査概要の発表に対して、放射線影響、放射線防護の観点からインド側の非常な関心が示された。インドにおいては、放射線防護の基準として、国際放射線防護委員会（ICRP）やIAEAの基準より厳しい基準が採用されている部分があり、その意義や実効性等についての意見交換も貴重であると考えられた。

## 六 おわりに

今回のインド訪問には、日本からは藤家を始め一五名の専門家の参画を得ることができ、またインド側からも、IGCAR及びNPCILの二か所で開催した本会合にはインド原子力界のトップクラスの方々が出席されており、今回の会合に対するインド側の期待の大きさを直に感じることができた。本会合では、日本とインドの専門家が直接話し合い、お互いの考え方を理解し今後の協力の方向性を確認するという、開催趣旨は十分達成されたと思う。

今後のインドとの協力については、IGCARからは高速炉安全分野における今後の協力提案を既にもらっており、現在、NPCIL、AERB、BARCの専門家にもインド側の具体的な協力提案等を問い合わせるところである。IGCARの入口に掲げられていた「Atoms for Peace」の看板の真の実現に向けて、今後各提案内容について関係機関等ともよく相談して、今回まかれた貴重な種が、原子力平和利用の発展に少しでも寄与できることと、ひいては日印の放射線利用及び原子力安全を中心に情報交換を定期的に開催できるようになればと考えている。



## 原子力

自然に学び、自然を真似る

藤家 洋一 著

21世紀の科学技術を支えられるか

西暦1000年頃、超新星がオリオン座の近くに現れた。歌人藤原定家はこれを明月記に記している。自然には核融合、核分裂、加速器、レーザーなど原子力が求める多くの先端科学の情報がある。まさに情報の宝庫である。自然に学び自然を真似る原子力は、科学技術を支え、地球の生態系と共存してリサイクル文明構築に貢献できるだろうか。

定価 2,940円(本体 2,800円+税)

ISBN4-900622-35-4 C3040 ¥2800E

ERC出版

〒107-0062 東京都港区南青山3-13-1  
03(3479)2150 FAX 03(3479)2154

E-mail: erc@t3.rim.or.jp 振替  
http://www.erc-books.com 00110-7553669