

近藤原子力委員会委員長の海外出張報告

平成20年6月17日

1. 渡航目的

米国カリフォルニア州バークレーで開催されるアジア太平洋フォーラム2008(2008 UCOP Asia-Pacific Forum on Integration Of Sustainability, Safety and Security of Nuclear Technology)に出席し、日本の原子力政策に関する講演を行うと共に、ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)等を訪問し、原子力関係施設の視察及び海外の原子力関係者との意見交換を行うため。

2. 出張者及び日程

出張者 : 近藤原子力委員長

主要日程 :

- 6月10日(火) 成田発 → サンフランシスコ着
- 6月11日(水) ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)等訪問
- 6月12日(木) アジア太平洋フォーラム2008 出席  
・近藤委員長による講演
- 6月13日(金) アジア太平洋フォーラム2008 出席
- 6月14日(土) サンフランシスコ発 →
- 6月15日(日) 成田着

3. 結果概要

(1) アジア太平洋フォーラム2008について

アジア太平洋フォーラム2008は、カリフォルニア大学がローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)やローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)等との共催により、安全性、安全保障、持続可能性、経済性といった社会目標により適した原子力エネルギー技術の開発・普及・維持の機会を見いだすことを目指して今年バークレーで開催しているフォーラムシリーズであり、原子力技術の持続可能性、安全性、安全保障の統合に関するフォーラムと題する今回の会合は、その第2回目のもので、63名の参加者(全て招待者)を集めて、6月11日から2日間にわたって開催された(日本からも10名の参加あり)。

会合は、以下の4つのセッション

- ・セッション1 : 第3世代原子力技術
- ・セッション2 : 第4世代原子力技術
- ・セッション3 : 燃料サイクル及び廃棄物管理技術

・セッション4 : 原子力技術における持続可能性・安全・セキュリティの統合  
にて構成され、それぞれのセッションではいくつかの講演の後1時間程度の討論が行われた。

会合初日のセッション1では、近藤委員長、米ウエスティングハウス社の Cummins 氏及び仏アレバ社の Parece 氏が基調講演を行い、続いて確率論的安全評価技術や韓国の次世代炉の研究開発、中国の原子炉開発、免震技術の効用などのパネル報告が行われた。

近藤委員長は、我が国の原子力政策に係る課題を概説した。短期の課題としては、設備利用率の向上とプルサーマルの推進、高経年化対策を挙げた。そして、計画外停止率が極めて小さいにもかかわらず設備利用率が低い理由として、異常事象の際に自治体の再起動の了承に時間を要すること、定検間隔が短いこと、及び志賀・女川・柏崎刈羽などで基準地震動を超える地震動が観測されたことなどを挙げ、このうち、地震の問題については、柏崎刈羽において距離減衰式の与える地震動を大きく超える地震動が観測された原因が断層から発した地震波がこの地域の地下構造によって強く収束・増幅されたためと判明したことから、すべてのプラントの耐震安全性の再評価がこの知見をも踏まえて行われており、その他についてもそれぞれ対策が講じられつつあるので、数年後にはこういった尋常ならざる状況が解消していることを期待しているとした。高経年化対策については、原子力安全基盤機構(JNES)が策定した高経年化対応技術戦略マップ(技術情報基盤の整備、安全基盤研究の推進、企画基準類の整備、保全高度化の推進、の四つの技術戦略のロードマップ)に従い、戦略的知識管理活動、産官学による情報共有化、次期プラントへの反映、国際協力などが着実に推進されることを期待しているとした。ついで、中期的な取組としては使用済燃料の中間貯蔵施設の建設と次世代軽水炉の開発を重要と考えていること、長期的な取組としては高速炉サイクル技術の開発等を着実に進めることが重要と考えていることを紹介し、最後に国際協力の方針について、我が国は国際原子力機関(IAEA)の諸活動や第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)などの取組へ積極的に協力していくという従来の方針に加え、地球温暖化対策の面から安全性、安全保障、核不拡散に対する取組の整備を前提に原子力エネルギー利用の拡大に向けて国際環境を整備していくことにも貢献していくことを新たな方針に掲げたことを紹介した。

米ウエスティングハウス社の Cummins 氏と仏アレバ Parece 氏は、それぞれAP1000とUS-EPRの特徴について紹介した。前者は、受動安全系を採用した革新的原子炉であり、その結果として、安全性、信頼性、保守性はもとより、当初は要件ではなかったセキュリティ対策の面でも優れた特性を有するものになっていることを強調した。後者は利用者が使い慣れている既存技術をもとに4トレンの安全システムを採用したことや蒸気温度を高くとって熱効率を大幅に向上させたこと、航空機突入対策を取り入れたことから、安全性・セキュリティ・経済性・保守性が高いとした。

パネル発表のうち、中・韓の発表者は、それぞれ自国の原子力政策、軽水炉の炉型、建設実績や計画などを発表した。中国の発表からは、旺盛な需要への対応と技術開発政策と

の調和に苦勞している状況が窺えた。また、国産軽水炉の標準化に国力を集中してきた結果として、軽水炉の設計能力を獲得し、現在はそれに基づいて設計された 140 万 kW クラスの標準炉の建設を進めている韓国の発表は、同国の科学技術政策の成功を印象づけるものであった。

討論では、最近の資材価格の高騰による新設炉の経済性に対する影響、途上国においてこれらが利用される条件、これに対する政府の役割などについて意見が交わされた。資材価格の高騰の影響については、資材コストが建設費に占める割合はあまり大きくないので、むしろ製造能力の需給関係がタイトになっていることと思定めるべきではという意見があった。近藤委員長は、製造業者の振る舞いに政府が介入することはできないとした上で、新規に原子力発電に参入する国は安全性、安全保障、核不拡散の確保については自己責任で取り組むべきであるが、人材育成などの面については、国際社会の協力が重要であること、おそらく最大の導入制約は経済が成長して資金需要が旺盛なところで 5 年以上も利益を生まない投資資金の確保可能性にあり、米国は債務保証の制度を整備したが、国際社会にはそれがなく、関係国際機関と知恵を出し合うことが必要とした。

セッション2では、インドの原子力発電計画、第 4 世代原子炉開発にむけての国際的取組 (GIF)、将来の世界の原子力システムの中継点となるところに高速増殖炉を多数おき、燃料の輸送、使用済み燃料の引き取りルートを各地の燃焼炉との間に用意するのが核拡散防止の観点から理想だとしてのこの状態に移行する方法を考察した例、中国におけるトリウム炉や第4世代炉の研究開発、高温ガス炉の可能性、日本の第4世代炉の研究開発に対する取組などが紹介された。議論では、途上国からは人類の公正性の確保の観点から、エネルギー利用の増大は制約されるべきではないこと、高速炉は増殖炉であることに意味があること、アクチニドの蓄積を問題にして、それを燃焼させるために高速炉というなら、その発生が少ないトリウムサイクルを使えばよいのではないかと、水素の製造にはいろいろな方法があるから、それを高温ガス炉の特性と考えていては市場が生まれぬ可能性があること、逆浸透膜の技術の普及で海水脱塩に要するエネルギーは電気になっているから、非電力利用と分類するのは古い、原子力発電を大幅に普及させ、数千 GW の規模に急速に安定させるためには増殖炉による増殖だけでは追いつかず、濃縮ウランで増殖炉を稼働開始させていくことが重要だが、将来のない事業とわかって濃縮事業者が設備投資をしないから、あまりに早く高いレベルに安定するのは無理ではないかななどの指摘がなされた。

セッション3では、米国と韓国における核燃料サイクル並びに放射性廃棄物の処分に関する取組の経緯と今後の課題、新型燃料サイクルと廃棄物管理の関係、GE の提案するモジュラー高速炉システム PRISM、新型炉と地層処分の関係、燃料サイクルの R&D の在り方などの発表が行われた。議論では、1) 米国においては放射性廃棄物の地層処分を既に WIPP で実施しており、先駆者として自信を持つべき。その上、ユッカマウンテンの処分場は不飽和地層における処分という再取り出し可能期間が長いなどのユニークな特性を有するので、こ

れを実現させることは重要。2) 韓国では使用済み燃料の処分場を特定するべく、地下実験施設を建設して研究を進める一方、燃料利用効率の向上を目指して、DUPIC プロセスを実現可能な技術として完成させ、引き続き金属燃料高速炉の燃料サイクル技術の開発を行っており、米国産燃料をこの開発に使う許可を待っている状況につき、これらがスムーズに進むよう希望すること、3) 新型炉でアクチニドをリサイクルする場合、システム中に循環するアクチニド量が多くなり、燃料加工は遠隔で行わざるを得なくなる。また、二次廃棄物も発生する。汚い燃料、きれいな廃棄物というのは本当に正しい姿か、DUPIC 技術にもそういう性格があるが故に電気事業者に使ってもらえていないのではないか、4) GE 社は再処理で臨界の可能性に遭遇して以来、水プロセスは扱わないことを社是としている、新型炉は政策に関わりなく、これまでにない特徴を有して存在感のあるものであるべきとの方針で、金属燃料の採用とスケールメリットを追求しないモジュラーシステムに至りついたこと、などの意見交換がなされた。

セッション4では、まず、前米国原子力規制委員会委員長のディアズ氏が統合運転許可を計画的に進めることが米国における原子力発電所の新規発注が発電能力に結実するのに決定的に重要であるとし、JAEA の梅木氏が高レベル放射性廃棄物の処分事業の長期性を考えれば知識管理活動が重要とし、IAEA の原子力課長ラオ氏が、今後途上国のエネルギー需要を満たしていくことが人類の公正性の確保の観点から重要であるが、2030 年までの新設の80%はすでに多くを有する国で行われ、途上国仕様の原子炉を供給する企業はないことも明らかとした。ついで、DOE 顧問のレイス氏が、今後 100 年のうちに CO<sub>2</sub> 濃度を安定化させるためには 3,500GW 程度の原子力発電所があればよいが、この状態に至るには年間 45 基程度の建設でよく、これは産業論的には特別困難なこととは思えないが、技術や社会システムを上手に整備して安全性、安全保障の面で重大な問題が発生しないようにすることが肝心。核廃絶が元政府高官から提案される一方、地球温暖化の危機がすぐそこにある今日、27 個のノーベル賞をとった、膨大な知の蓄積を有する核兵器研究所の人材をこれに振り向けることを次期大統領に提案するのが我々の責務とした。これに対して、UCB のナックト教授は北朝鮮の非核化と NPT 遵守が果たされず、イランの現状を放置すると核テロの可能性は著しく高くなるため、政治家には断固たる決意でこの脅威の低減に務めることを求めるべき。原子力利用が地球温暖化対策の有力な手段であることは確かであるが、それには国及び非国家主体による拡散を防ぐ仕組みが均質かつ透明でしっかりしていることが前提だとした。LLNL のドレイサー氏は、米国は核不拡散の観点から IAEA の保障措置活動が重要と考えており、昨年の IAEA 総会で米国代表が言明したように、米国は今年次世代保障措置プログラムを打ち出す。その狙いは IAEA を中心とした体制を強化し、設計による保障措置を追及し、先端保障措置技術を開発し、人材を育成し、国際協力を強化していくことであるとした。MIT のフォースバーグ氏は石油の時代である現在、400兆円のお金が産油国に移動している。米国は原子炉で油頁岩地帯に熱水注入を行うことやバイオマス生産のための熱源を確保することで、この流れを変えることも可能とした。

議論では、NPT その他が国を区分している現実があるところ、これが革新技術の採用で解消できると考えてこそ第四世代炉の開発があるという立場と、現実にテロの可能性があるとき、そうした技術システムに対する信頼で問題が解決するとは思わないという意見が対立。ディアズ氏はたしかに原子力には特別の注意が必要な面があるが、それは多くの技術についてもいえること、セキュリティについても然りとして、冷静な相対化の取組の重要性を指摘。本セッションの座長を務めた近藤委員長は、現実社会に警察が必要であることを否定する人はおらず、現状を変えていく中長期の取組に関して信頼のシステムを構築していくことを目指すのもまた合理的。そのことを忘れて短期、中期、長期と計画地平の異なる課題を議論するのは非生産的。なお、自分としては、将来のシステムとして燃料供給国連合を想定するのは OPEC を容認するようで好まない。欧州の電力網のようにどの国も相互依存しつつ、その実力に応じて全体に貢献している姿を目指すのが目標の建て方として合理的と考えると議論を締めくくった。

## (2) ローレンス・リバモア国立研究所訪問について

近藤委員長は、6月11日、米国カリフォルニア州リバモア市にあるローレンスリバモア国立研究所(LLNL)を訪問した。

LLNLは、1952年に核兵器研究のために設立され、当初は原子力委員会のために、その後はエネルギー省国家核安全保障庁(NNSA)のために、2007年10月までカリフォルニア大学(UC)によって、その後はUCを含むLLNSという組織によって運営されている。1000人以上の博士号取得者を含む8000人の職員が広範な科学技術を動員して国家安全保障に貢献することおよびこの間に涵養された科学技術能力を国家の重要な課題の応用することに従事している。この間に生まれた科学技術の成果は多方面にわたり、かつ傑出したものが多く、ノーベル賞受賞者も7人を数えている。現在の主要任務は、第一が、米ソの合意により製造されなくなった核兵器の機能を劣化させることなく維持することで、これが維持されていることを、地下核実験を行わないで保証するために科学技術を総動員している。その中心の一つが数値シミュレーションによる検証であり、世界最高速の超高速計算機がNNSAの最新シミュレーション計算プログラム(ASCP)の一環として設置されており、他の核兵器研究所のそれと世界一を競っている。この検証を支えるデータを生み出す基礎科学の研究はナノバイオから表面物理、そして高エネルギー、高密度物性物理まで広がっており、その道具の一つとして192本のレーザービームにより1000Kジュールのエネルギーを標的に集中投射して核融合反応を点火させることのできる国家点火施設(NIF)を来年の完成を目指して建設中である。

その任務の第二は、9.11事件以後に設立された国家安全保障省(DHS)のために、核兵器の拡散やテロの防止、国防能力の向上の分野に広範な科学技術能力を動員することである。第三は、研究所の知の核を形成する基礎科学や先端技術研究能力を維持しつつ、人類の危機に対応するためにこれらの能力を活用することにも積極的に取り組むことであり、地球温暖化の検証、エネルギー技術の開発といった「エネルギーと環境」、がんの早期診断

技術、水管理技術といった「化学、材料科学、地球科学、生命科学」の分野で優れた業績を上げている。

こうした過程で開発された装置は米国で毎年発表される100の注目発明に名を連ねることが多い。長くカルフォルニア大学により運営されてきたこともあり、傑出した科学者が研究所を傑出したものにするという認識と、大きな挑戦的課題に対して広範な分野の人々が協力して取り組むべきとするチーム科学の伝統がなお生きている研究所である。

近藤委員長は、ワーナー副所長から研究所の紹介を受けた後、まず、モーゼス部長の案内でNIFを視察。ターゲットチェンバーへのビーム入射ポートの整備、接続の終わったレーザーラインの調整が進められていた。部長は、集中できるエネルギーは桁違いに小さいが、ターゲットにおける点火の実現を独自の方法で追求している大阪大学の高速点火計画の進行状況には強い関心をもっていること、このNIFはユーザーファシリティとして科学者の広範な実験需要に応えられるように設計されていることを強調した。

次に、先進シミュレーション施設において、地震波伝播シミュレーションに関してマッカレン氏、ロジャース氏と意見交換を行った。近藤委員長から、多数の地震記録から整備された距離減衰式が与える推定値をかなり超える振動が柏崎・刈羽原子力発電所で観測された理由を説明するために、地下における地震波の伝播シミュレーションが役立ったことを紹介し、この研究所が行ってきた地下核実験の解析や世界中の地下核実験の探査の業務を行ってきた蓄積の上に、地震リスク解析の方法論をコーネルたちと生み出したことで知られているこの研究所におけるこの方面の最近の取組や地震リスク評価の在り方についての考え方を質問した。

先方よりは、1906年と1989年のサンフランシスコ地震についての3次元解析によって、詳細に知られている被害の地域分布が再現できることから、シミュレーションは極めて有力であること、しかし、取り扱いが可能な周波数の上限は利用可能な計算能力によって決まり、建物とはともかく内部に設置されている機械系の振動も含めて数十ヘルツまで一体解析するには世界一の計算機をもってしても、なお計算機能力が不足していること、解析の精度は地下構造の振動応答特性情報の精度に対応することが紹介された。

意見交換の結果、これまでの地震リスク解析では距離減衰式からサイトにおける最大加速度とその超過確率で整理されるハザード曲線を介しているが、柏崎・刈羽原子力発電所のケースから、計算機の能力が与える制約を踏まえつつ、断層の存在、起震機構、地質地盤特性の不確かさを施設や機器、構造応答に伝播させて、その確率分布を求めていくものに移行させていくべきこと、これらについては、日米双方に現実的なニーズがあるので、GNEPに関して用意された日米協力の枠組を活用して共同研究を行っていくことは有意義であることについて意見が一致した。

### (3) ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)訪問について

近藤委員長は、6月11日に、カルフォルニア州バークレー市にあるLBNLのチュウ所長を表敬訪問した。この研究所は、1931年にアーネスト・ローレンス教授がバークレー校のキャ

ンパスの中に作った放射線研究所が前身で、1950 年までは、マンハッタン計画などの国家機密に関する研究にも関わったが、現在そのような研究は行っておらず、もっぱら原子力委員会のために基礎物理から生命科学までの基礎科学の最先端の研究を行っており、カルフォルニア大学との間では、付置研究所のごとく、研究者の往来が盛んである。これまでに11個のノーベル賞を得ており、物性物理が専門の現所長のチュウ氏も1997年にノーベル物理学賞を受賞している。

会談には、DOE 顧問のレイス氏、LLNL のマッカレン氏も同席し、地震リスク解析を含む原子力科学技術分野における日米協力の重要性や原子力推進機運が国際的に高まる中で日米両国政府が高い水準で今後の取組に関して認識や取組の考え方を共有することの重要性を双方で確認した。

以上