

尾本原子力委員会委員の海外出張報告

平成22年5月25日

1. 目的

中国(西安)にて開催される第18回原子力工学国際学会(ICONE)に出席し、我が国の原子力政策及び技術に関する意見交換を行う

2. 日程

5月16日(日) 羽田空港発→西安空港着

5月17日(月)~5月20日(木) ICONEに出席

5月21日(金) 西安空港発→成田空港着

3. 報告

第18回 ICONE は西安の国際会議場で開催され、約800人(日本からは160人)の参加登録と約700の論文発表があった。出張者は、初日のプレナリーセッションで原子力利用の拡大に関する国内動向と世界レベルでの課題についてスピーチを行った。全体の印象として、若い人と女性の参加(2-3割)が目立ち、欧米の原子力国際会議の年配の人が支配的という状態からの違いが感じられた。中国では、大学で新たに原子力を専攻する学生数がここ10年で350人/年から2700人/年へと急激に増加したとのことであるが、ここでもそのことが伺えた。

発表は、熱水力、規格基準、材料、機器製造、検査、安全、保全、新型炉など多様で、中国側の発表が、大学(清華大学、上海交通大学、西安交通大学など)を中心に全体の概ね1/3を占めた。

中国側のプレナリーセッションでの発表の中で、安全文化と品質管理の重要性が度々触れられ、一般公衆の支持が大切との見方も示された。製造者と電力から独立した品質管理機関の設立も提唱された。原子力発電の運転経験と教訓の共有のための機関も設置されたが、その進捗は遅い模様。

以下に、主要点について出席者との意見交換を含めた所見を述べる。

中国の原子力発電の一般動向

- 中国は現在 11 基の商業用発電炉を運転し、国内の KWhr シェアは高々2%であるが、世界で現在建設中の商業用発電炉 57 基(54.6GWe)のうち 23 基を建設しており、2020 年には 60-70GWe、2030 年には 100GWe を超えることが計画されている（検討中を含めると約 150 基と言われている）。殆どは PWR だが、高温ガス炉 HTR-PM（2 基）とロシアから導入の高速炉 BN-800（2 基）も計画されている。
- 運転中の 11 基は、仏(4 基)加(2 基)露(2 基)からの輸入プラントと国産プラント(3 基)で国産プラントの割合は 3/11 である。稼働率は高く（88%, 2009 年実績）でレベル 2 以上の事故は、今まで報告されていない。
- 建設中 23 基は、16 基までがフランスから導入した Daya Bay 炉を改良し（出力密度低下など）国産化率を高めた CPR1000 で、残りは CNP-600(2 基)、AP-1000（3 基）、EPR(2 基）となっており、国産プラントの割合が 18/23 に達している。更に今後 AP1000 を WH との協力で大型化して CAP1400, CAP1700 へと繋げる予定である。CPR1000 は仏 RCC 規格に準拠した機器設計を採用することが安全規制当局 NNSA（National Nuclear Safety Administration）の文書(NNSA document 28, 2007)で明示されており RCC の精密な中国語訳も仏との協力のもと進められている。
- 運転中の原子炉 7 基は CNNC（China National Nuclear Corporation, 中国核工業集团公司）に属しているが、CGNPC(China Guangdong Nuclear Power Company)の建設中あるいは計画中基数の増加や China Huaneng Group、CPI（China Power Investment Corporation, 中国電力投資集团公司）の参入があることから、民間電力主体で発電事業を進める姿勢が強まってきていることが伺える。
- 国産プラントの原子炉系供給者である NPIC(Nuclear Power Institute of China, 成都)と CNPE(China Nuclear Power Engineering Company, 北京)は CNNC に属するが、設計改良は NPIC/ CNPE と CGNPC が協力して行う。さらに、AP1000 の導入とその将来の改良は SNPTC(State Nuclear Power Technology Corporation, 国務院に属する)が行い、SNERDI（上海）が CNNC 傘下から SNPTC 傘下に移るなど、発電と設計分野で CNNC（今は国務院を離れ独立した国営企業体）の事業領域の縮小傾向が見られる。CGNPC はウラン調達や EPC(Engineering, Procurement and Construction)分野にも活動を拡大し

ている。CNNC 自身も AP1000 が短い工期(初号機の Sanmen#1 でコンクリート打設から燃料装荷まで 50 ヶ月)と低コスト(2000\$/KWe 以下)で完成すれば、AP1000 の改良に取り組む可能性を示唆している。設計建設分野で、CNNC, CGNPC, SNPTC の間で競合関係ができつつあるとの見方もあるようである。

- CGNPC(China Guangdong Nuclear Power Company, 広東核電集団)は、近年中に CPR1000 の 80%の国産化(Hongyanhe #3 & #4, 遼寧省紅沿河原子力, 2014 年運転開始、高国産化率達成プロジェクト)と低価格(1500\$/KWe)を達成し、他社と協力して CPR1000 の輸出(「海外(市場)拓展」)を考えている。
- AP1000 初号機である Sanmen (三門) #1 は 2013 年 11 月に運転開始予定で、スケジュールは格納容器底部の大型モジュール作製に時間を要しやや遅れ気味ではある。全体としてモジュール工法を多用して工期短縮に励んでいる。これ以外に AP1000 は、Sanmen#2, Haiyang#1 が建設中で、両サイトとも 6 基の容量を持ち、他に内陸部を含む 2 つのサイトでも AP1000 の建設が計画され、30 基に及ぶ AP1000 建設が考えられているようである。
- CPR1000 の建設が進められる一方、炉心溶融事故を想定した IVR(In-vessel retention)の採用に関する実験と机上検討も行われている。後述する HTR-PM の例でもそうであるが、一般に新技術の採用において慎重である一方、走りながら考えて良いものを取り入れる柔軟性があると見受けられる。
- HTR-10 の成果を踏まえて、清華大学 INET は Chinergy(EPC)および HSNPC(山東省電力)と協力して国産の高温ガス炉 HTR-PM(2 x 250MWe, 750 度 C 出口 He 温度, 山東石島湾)を建設予定で、既に敷地の整備が進められている。清華大学は HTR を中心に多数の発表をしていた。HTR-PM では、慎重に蒸気タービンを利用する予定だが、850 度 C への上昇と He タービン利用についても検討中で、状況によっては設計を変える意向。
- 東大に留学し超臨界圧炉を学んだ人が上海交通大学で教授となり、同大学は中国の超臨界圧炉開発の拠点の一つを形成している。同大学は他大学や NPIC, CGNPC と協力して超臨界圧炉の実験炉を建設する構想が進められていると言っている。しかし、ICONE18 では、超臨界圧炉の熱水力に関する発表が多数ある中でカナダによるものが多数を占め、上海交通大学による発表など中国側での超臨界圧炉開発状況を述べた発表は無かった(2010 年秋の上海での NUTHOS 会議に出す為であろう)。カナダによると、肝心の熱水力相関式や炉心を構成する材料についてはまだまだ課題が山積している。

- 安全文化、品質管理と情報の共有について CNNC や CGNPC を含めて原子力関係の比較的高い地位にある人から語られることが増えてきたように見受けられた。また、運転経験の共有のために RINPO（運転分野での政府と産業界による ORAC (Nuclear Power Operational Research & Assessment Center) の事務局機関）によって CINNO(China Information Network for Nuclear Operation)が数年前につくられ、日本の JANTI に対応する役割が期待されている。しかし、環境省傘下の NRSC (Nuclear and Radiation Safety Center) で原子力安全規制に係っているある高官は、原子力発電に関わる 4 つの電力の間の競争が激しく、経済性に関する情報は秘匿しても安全性や信頼性に関する情報は共有するという文化が定着するまでにはまだ少なくとも数年はかかる、との見方を示していた。

中国での回収ウラン/劣化ウラン/Th の利用

AECL は CNNFC, NPIC など 4 社と共同で、中国国内での将来の民間再処理工場（日本と同じ 800 Ton/年規模の工場を仏 AREVA から購入することを計画中）から生まれる回収ウラン 768Ton/年と濃縮に伴う劣化ウラン 300Ton/年を併せた 1068 Ton/年のウランを CANDU でリサイクルする計画や中国で産出できる Th 資源を活かす CANDU での Th 利用を検討中である。

規格基準の国際標準化

- 中国は今まで仏・加・露から原子力プラントを購入し、今は更に米国から購買という中で、それぞれの国の機器製造基準（材料基準等の）をそのまま採用してきている。ロシアからのプラント購買に際しては、ロシアの基準採用だけでなく、I&C 部分でドイツの技術を用いたのでドイツの TKA 基準まで入っている。
- 中国独自の原子力プラント用の規格基準は 300MWe, 600MWe の初期の国産炉だけで、それ以降は、国の予算も少なく産業界の貢献も無い状態で、基準作りは停滞している。しかし、SAC(Standard Administration of China) という全国大の規格基準策定機関と原子力特有の基準策定機関もある。
- 機器供給者としては、世界中どこに対しても同じ規格基準で機器が製造できることが望ましく、規制およびプラントを使う側も様々な基準が混在するのは面倒である。ATMEA のような日仏の共同製品もでてきている。規格基

準の国際標準化が MDEP で提唱され、規格、MDEP 中の基準 WG で各種規格基準の比較表作成がされてきているところであるが、考え方の違い、規制との関連から、機器の分類/LBB 採用の有無/材料成分規格/リスク情報の扱い/検査規格等々差異は無数にある。関係者によれば、国際標準化戦略計画が供給国間で合意されない事には標準化は前に進まないとのこと。

- 一方、高温ガス炉、高速炉、核融合炉を考えた規格基準策定も進められ、高温ガス炉の炉内構造物については米国 ASME と中国を軸にして南ア/英/日を含めた国際基準活動、仏による高速炉むけの RCC-MR 基準策定、仏による高温ガス炉と核融合炉むけの RCC-MRx 基準策定が進められ、ことに RCC-MR は ASTRID を考えて相当の進捗があり、EU は欧州内の標準規格としているし、インドでも 500MWe 高速炉の機器規格としている。

中国の大学での原子力教育

全国 16 大学、政府、CAEA により Committee of Nuclear Education が組織され現状と将来について議論されてきている。修士博士の課程はそれぞれ 1000 人、500 人規模である。全体として、燃料サイクルと材料が手薄だと認識されている模様。超臨界圧炉、高温ガス炉、高速炉、軽水炉 CAP1400 など多くの原子炉開発に大学が関与しているのも特徴であると言える。

ウクライナ

14 基が運転中で 50%の電力を賄っている。今後は建設中の Khmelnytskyi #3#4 (VVER) の完成と IAEA 基準と EUR に準拠した新規炉 6 基の建設を 2020 年までに行いたいと考えている。新規炉は AREVA, AECL, RoK, MHI, ロシアの 5 つの候補と交渉中。USSR 崩壊後、国内の原子力機器製造とサービスを行う能力が無くなり、自国内にこの能力を涵養することも課題となっている。

台湾

6 基が運転中である。新規建設を検討中で EPR, ABWR, AP1000 の中から選定したいと考えている。台湾ではプラント契約者を一つに絞らず分野毎に多数の契約を持っており、建設中だけでなく運転に入った段階で例えば機器のリプレースが必要になった場合にも、適切な供給者を見つけ出して購買すること（およびそれらの機器の原子炉級機器としての qualification）が大変な状況にある。

国内の原子力反対運動は、中国本土の膨大な新規原子力発電所建設計画を目のあたりにして、台湾国内で反対運動をしても意味が薄いと見て勢いが落ちる傾向にあると話していた。なお、台湾国内の原子力損害賠償制度はあるが、各国の国内法による原子力損害賠償措置を補完する CSC(Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage)の批准はまだされていない。

韓国

規制の絶えざる変化という米国の 80 年代の問題は別として、原子力発電所建設が計画した工程と予算の範囲内で行われて来なかった背景には、設計の成熟度問題が有るとして、NASA Technology Readiness Level (TRL, 1-9 段階)を参考にして、評価をすべきことを KAERI が提唱していた。

日本

JSFR で提唱されている 8 つの革新技术（二重管チューブをもつ蒸気発生器、ポンプと一体化した中間熱交換器など）の検討状況など日本の高速炉開発について一つのセッションが設けられた。JSFR の国際標準化に前むきな考えが示された。Np237/Minor Actinide 添加によりブランケット部分での Pu238+Pu240 の割合の増加により核拡散抵抗性を高める設計検討、もんじゅの現況等についても報告があった。東芝より、コアキャッチャーや IC/PCCS を追加しさらに n+2 設計にした欧州版 ABWR 設計の紹介もあった。制御棒駆動機構を压力容器下部に設置しているので压力容器底部から床までの熔融炉心の落下に耐えるコアキャッチャー材料の開発について、SWR1000 開発の経験に立脚した疑問が出されていた。

これらの知見に基づき、今後、我が国においても、以下のような点について検討がなされるべきではないかとの所感をもった。

- 高温ガス炉、高速炉、核融合炉に向けた国際規格基準策定と日本で開発してきている設計（例えば JFSR）の国際標準化
- 中国 150 基体制を考えた日本からの安全とセキュリティ分野での協力の活発化(JANTI のカウンターパートとの協力を含む)
- CSC 批准による原子力損害賠償制度の自国を含めたアジアでの整備
- 超臨界圧炉実験炉など新たな技術を開発できる環境づくり

以上