

第165回 エネルギー問題に発言する会 座談会議事録

議事録作成 松永一郎

日時 場所：平成28年4月21日（木）16:00～17:45 JANSI 会議室

演題：世界と日本の高速炉開発について

講師：佐賀山 豊 氏（JAEA 特任参与、理事長シニアアシスタント）

座長：早野睦彦 氏

参加者：会員約40名

（座談会主旨）

日本における原子力開発は商用炉としての軽水炉による発電と、その使用済み燃料の再処理から得られるPu利用、すなわち核燃料サイクルを両輪として、紆余曲折はあったものの、当初より一貫して進められてきた。核燃料サイクルの最終目標は高速増殖炉の商用化であり、無資源国日本が技術によって有資源国と成りえる最良の道であると考えられてきた。しかしながら、3.11東電福島第一原子力発電所事故により、国民の間に原子力発電に対する忌避感情が増大し、また核燃料サイクルの要である高速増殖原型炉のもんじゅに対しては原子力規制委員会から運営体制の見直しを迫られるという危機的な状況にある。その一方、世界を見渡してみると、原子力開発は盛んに行われており、高速炉開発もロシア、フランス、中国、インドで短・中・長期目標を定めて着実に進められている様子が伺われる。米国は具体的な建設計画は持たないが、基礎・基盤研究は継続中である。

講師の佐賀山氏は高速炉を含む世界の新型炉開発に精通されている第一人者であり、今回もんじゅ問題もからめて、「世界と日本の高速炉開発について」講演をお願いすることになった。

（講演概要）

資料：「世界と日本の高速炉開発について」

1. 世界のナトリウム冷却高速炉の開発状況

各国で実験炉、原型炉、実証炉の建設が進み、2025年～2040年頃の実用化を目指して進められている。

（1）エネルギーセキュリティーの観点から増殖を指向している国

ロシア、中国、インド

（2）増殖技術を習得した上で廃棄物対策を中心においている国

フランス、アメリカ

2. 各国の研究開発の進捗

（1）フランス

①原型炉 Phenix 段階からプール型を指向

②Phenix(25万kWe)は1973年～2009年まで運転。燃料製造施設が耐震基準に合わなく

なったことから2010年に停止。

③実証炉の Super-Phenix (124 万 kWe) はジョスパン政権の時の1998年に停止。

④2006年～2008年

- ・第4世代原子炉のプロトタイプ炉(技術実証炉)ASTRID(60 万 kWe)の開発決定。Na 冷却。
- ・ASTRID を用いて長半減期核種の分離・変換技術の実証計画を決定

⑤2012年 ASTRID の技術仕様を決定

⑥今後の計画

2040年頃より実用炉を順次導入

⑦ガス冷却高速炉 (GFR) 開発は長期オプションとして継続 (2008年決定)

(2) ロシア

①原型炉 BN-600(プール型, 60 万 kWe)を運転中。実証炉 BN-800(88 万 kWe)は2014年に臨界。2015年に電力系統に併入。なおBN-600、BN-800 のいずれも格納容器がない。今後は G I F (第4世代原子力システム国際フォーラム) の安全基準の適用を目指す方向。商用炉 (120 万 kWe) は2020年代後半導入目途

②鉛冷却炉

- ・2020年に原型炉 BREST-300(30 万 kWe、窒化物燃料)を運転開始すべく建設中
- ・Pb-Bi 冷却炉は燃料被覆管の腐食が問題で過去に原子力潜水艦で炉心損傷事故を起こしている。
- ・鉛冷却炉は政治的な絡みもあって継続している。

(3) インド

①フランスから実験炉 Rapsodie を導入し、それを基にNa 冷却高速炉技術を独自で進めている。

②現在、原型炉 PFBR (50 万 kWe、プール型、MOX燃料) を建設中。2016年運転開始予定

③PFBR よりも安全性、経済性を向上させた2基の実用炉 FBR1&2(各 60 万 kWe)を建設し2023年から2025年にかけて運転開始する計画

④さらに2050年には高速炉 (MOX燃料) を原子力発電の主流とする方針。炉の大きさは当初は60 万 kWe を主体とし、数十年後に100 万 kW 級とする考え

⑤金属燃料サイクル

MOX よりも増殖性の高い金属燃料の高速増殖炉開発も並行して実施中。2025年に実験炉(11.5 万 kWt)、2028年に実証炉(60 万 kWe)を運開予定。

⑥Th 炉

Th は U-Pu よりも増殖性が劣るため、約10年前に原子力政策を見直し、2050年までは Pu-U 金属燃料高速炉を主力機とし、2070年以降に Th の本格利用をする予定

(4) 米国

①1977年のカーター政権で核不拡散政策の強化により原型炉 CRBR 計画を無期延期。その方針は基本的には現在も継続中で実用化に向けた計画は現在ない。

②ただし、いずれは必要になってくる（2050年以降）との観点から、基礎・基盤に特化した広範な技術開発を継続している。

（5）中国

- ①ロシアから技術導入して実験炉 CFER(2万 kWe)を運転中
- ②ロシアから BN-800 の技術を導入し、80万 kWe 級の実証炉を建設する覚書に調印（2010年） →現在はどうか詳細不明
- ③自主開発で実証炉 CFR-600(60万 kWe、MOX燃料)を2025年までに建設する計画
- ④2030年 実用炉（MOX燃料、金属燃料）を導入。最終ターゲットは増殖性の高い金属燃料
- ⑤フランスはASTRID計画への中国の参加を期待。

（6）韓国

- ①湿式再処理は米国の承認を得ていない。
- ②将来的に金属燃料プール型高速炉を指向して、米国と共同研究を実施中。米国は韓国をバックアップしている。また、米国の乾式再処理の研究施設には韓国の技術者が多数派遣されており、共同研究をしている。
- ③2028年に高速原型炉（15万 kWe、金属燃料、プール型）を運転開始予定

3. 高速炉サイクル技術に係る日本の国際協力

（1）協力体制

①多国間

G I F, O E C D / N E A, I A E A

②2国間、3国間

日仏、日米、日カザフスタン、日米仏

（2）協力目的／内容

- ①各国の研究開発動向の把握
- ②高速炉の安全基準の標準化
- ③研究開発の効率化
- ④日本の施設の国際的な活用の推進

4. もんじゅ

（1）成果の実用化への反映と技術の維持・伝承

- ①経験者が今後10年程度で過半が引退するので技術の維持伝承が問題

（2）もんじゅを活用した国際協力とJAEA外からの見方

①ASTRIDの初装荷燃料の先行照射試験

フランスは2030年頃にASTRIDの運転を開始する計画。先行照射は2019年頃から開始する必要があるのもんじゅに期待している。もんじゅが無理だと、ロシアのBN6

00での照射試験計画が浮上するであろう。

②米国の見方

- a. 地球温暖化対策上、オバマ政権は2050年までに原子力の容量増加分として200GWが必要になると見ており、その中心になるのは中小型炉であると考えているようである。2035年までにプロトタイプ炉が必要となるが、高速炉、革新炉が重要な技術となる可能性がある。その技術開発に必要な照射炉として常陽、もんじゅを使うことも視野に入っている。

(質疑応答) Q：質問 A：回答 C：コメント

Q1. ASTRIDの計画と日本からの協力はどうなっているのか

A1. スケジュールは2015～2019基本設計、2023～2029建設、臨界。

フランスと日本の協力については2014年にオランダ大統領と安倍総理間で高速炉開発で連携するとの合意ができています。当初、3つの設計分野とR&Dで協力することになっていたが、協力を拡大する方向で協議中。

予算として日本は経産省予算で50億円／年程度を拠出。文科省はもんじゅ予算で手いっぱい状況。

Q2. スーパーフェニックスを止めた本当の理由は何か

A2. 公式理由は経済性と言われているが、内実は当時のジョスパン政権内部の政治決着で止められた。当時、グリーンパーティーとの共同政権で、「炉を一基止めろ」との要求があり、スーパーフェニックスは非常に低い稼働率が長年続いていたこともあって選ばれた。皮肉なことに止められた直前の1年間の稼働率は約70%あった。なお、仏内でも電力自由化の議論が始まった時期とも重なっており、継続して開発していくのが厳しかったこともあったようである。

Q3. 建設中に反対派によるミサイル攻撃があったと聞いているがその影響は無いのか

A3. ロケット砲による攻撃である。その影響はほとんど無い。

Q4. ASTRIDを実施するのに予算的な懸念がないか。アレバ、EDFはフィンランドと国内のフラマンビル3号機といった軽水炉建設遅延で大幅な赤字を出しており、英国のヒンクリーポイントでのEPR建設問題も抱えている。EDFの電気料金値上げ問題について議会でもめているようだが。

A4. その懸念はあると思う。原型炉建設にEDFは一定の金を出さなければならないが苦慮している。

工程を延ばしてくれないかという話も出ているようである。

東電福島第一原発事故の後、議会でも安全面について口出しするようになった。Naと水が反応するのでいやだと言った意見も出てきているようである。

Q5. ガス冷却高速炉の話はどうなっているのか

A5. ガス冷却高速炉の話はナトリウム冷却炉の代替案として出てきたものである。ナトリウム冷却高速炉を代表するスーパーフェニックスは止めたが高速炉技術はフランス内に残さなければならない。経済性がないから止めると言った手前、ナトリウム冷却炉開発を継続できなく

なった。そこでヘリウム冷却ガス炉を選択したのだが、高速中性子照射で容易に損傷しない被覆管材料開発、燃料が溶け易い等の課題が多い。

Q 6. ASTRIDに協力するのでもんじゅは必要ないと言った意見が国内にある。しかしフランスの高速炉はタンク型（プール型）であり、もんじゅはループ型。タンク型は耐震基準の厳しい日本では壁厚が厚くなり成立が難しい。したがってもんじゅが不要という話にはならず、ASTRIDに協力するだけではなく、わが国独自にやらなければだめではないか。

A 6. もんじゅは原型炉であり、ASTRIDは実証炉なので使命、位置付けが違う。だから、フランスと協力するからもんじゅ不要とはならない。

なお、タンク型とループ型は熱交換器がタンク内にあるのかタンク外にあるのかの違いで、技術の約7～8割は同じであり違いは2～3割。ナトリウムの流れはタンク型の方が複雑。耐震性については、従来の改良標準波程度だったらどちらも同程度だったが、最近の1000ガル位だとタンク型は板厚をかなり厚くしなければならない。

また、炉型選択の観点では、実験炉はどの国もループ型。原型炉は商用炉をにらんで炉型を決めるのが一般的だが、最近では原型炉と商用炉の間に実証炉を建設するとの考え方をする国が多くなったので、実証炉の段階でループ型からタンク型に変えることも選択肢としてはありうるであろう。

Q 7. 高速炉開発について日本とインドが研究協力をする価値はあるのか。今のところ軽水炉での協力の話しかないが・・・。

A 7. インドは技術能力が高く、技術的には研究協力する価値はある国である。経産省、文科省はある程度興味を持っているようであるが、外務省が許可しないと思われる。

Q 8. ロシアの鉛冷却高速炉開発の実用性はどうか。重いので耐震性の問題は無いのか。

A 8. 最近の設計は燃料の被覆管をアルミナでコーティングする等の工夫をしているようであるが、流速が2m/秒を超えるとエロージョンが問題となってくる。このために過去には原子力潜水艦で炉心損傷事故を起こしている。耐震性については以前国内のFSで実施した際は、600ガルの地震条件下では60万kWeまでが限度であった。

Q 9. カザフスタンにおけるイーグル試験（苛酷事故対応試験）について何か情報はあるのか

A 9. カザフの試験用パルス炉はフランスも高く評価しており、ASTRID用燃料の溶融試験をする計画がある。

Q 10. 技術伝承に関連して、高速炉に使える保全計画プログラムを開発中でフランスに打診すべく準備しているが、わが国の場合、3カ月運転して8カ月メンテナンスするという世界的に見て変なものである。これについてどう考えるか。

A 10. 普通は、10カ月位運転して2カ月位メンテナンスするというのが一般的であり、そうしようように見直す必要があると思う。

Q 11. 高速炉の使用済みMOX燃料の再処理は燃焼度が高くなると大変だと思うがどう考えるか。

A 11. 六ヶ所の湿式再処理が基本となり、それを改良して対応すればよいと考える。このような考え方は仏のアプローチ方法でもある。スーパーフェニックスの時代には仏もラアーグに試験プラントを作ってやっていた。

【講師略歴】 文科省 参与、日本原電 シニアアドバイザー、GIF PG 名誉議長

1974 慶応大学工学部 機械工学科卒業

1974 三菱原子力工業株式会社入社

1984 電力中央研究所に出向

1989 東京電力株式会社入社

1999 核燃料サイクル開発機構に出向

1999 経営企画本部 FBR サイクル開発推進部 研究主席

2003 経営企画本部 FBR サイクル開発推進部長

2004- 文科省 参与

2005-2008 原子力機構 次世代原子力システム研究開発部門 副部門長

2008-2013 日本原電 理事

2008-2010 原子力機構 次世代原子力システム研究開発部門 副部門長/理事長特別補佐

2010-2013 原子力機構 次世代原子力システム研究開発部門長/理事長特別補佐

2013- 原子力機構 理事長シニアアシスタント/日本原電 シニアアドバイザー

GEN-IV における活動

2000-2001 WG-3 (液体金属炉) 共同議長

2002-2003 SFR 運営委員会 共同議長

2004-2009 GIF 政策グループ 副議長

2009-2012 GIF 政策グループ 議長

2013- GIF 政策グループ 名誉議長