

## 第 40 期(2018 年度) 第 2 回講演会開催報告

開催日時：2018 年 9 月 6 日（木）13:00～14:30

開催場所：岡山大学津島キャンパス D 棟（O 会場）

講師：國富一彦氏（JAEA 高速炉・新型炉研究開発部門副部門長）

演題：「ポーランドにおける原子力の動向」

参加者：原子力学会参加者約 50 名が参加

JAEA 高速炉・新型炉研究開発部門副部門長 國富氏を講師に迎え、ポーランドの原子力動向を中心に、世界の高温ガス炉、SMR 開発状況を講演いただいた。

### （1）ポーランドの概要

ポーランドは、ドイツの隣に位置し、日本の 4 / 5 程度のヨーロッパでも大きな面積を持つ国である。言語はポーランド語で、ほとんどがポーランド人である。国の体制は共和制であり、GDP4829 億ドル（EU8 番目）、所得水準 12782 米ドル（日本の 1/3）である。著名人としては、コペルニクス、ショパン、キュリー夫人、ヨハネパウロ 2 世がいるが、皆国外で活躍しており、国内での人材育成が課題でもある。

歴史的には、諸外国からの侵略を受け、一時世界地図から姿を消すといった困難な時期を経て、独立建国された。

経済成長率が安定しており、リーマンショック時も EU 内でプラス成長。若い国で労働人口が多いという特徴があり、EU 予算の内、ポーランドに一番多くの予算が回っている。これは、原子炉の開発を行う上でも重要である。

### （2）ポーランドのエネルギー事情

石炭や電力を周辺に供給している。1 次エネルギーの 5 割以上は石炭である。石炭自給率は 100%、エネルギー自給率 7 割を超えるも、脱石炭が課題である。石炭火力の老朽化、炭素税 7 ユーロ / t が 10 倍になる可能性もあり、すべての産業への影響が懸念される。これが原子力導入の動機の一つでもある。石油等のロシア依存大、これを下げたいとの意向もあり、軽水炉で発電、高温ガス炉で熱利用を目指している。世論も賛成が多く、NIMBY（Not In My Backyard）は少ない。

### （3）ポーランドの原子力開発

ジャルノビェツ原子力発電所の計画があるも、チェルノブイリ事故の影響で中止。2014 年に原子力開発計画改定、2024 年までに最初の原子炉を運開させる予定。サイト選定は 2019 年の早期に結論が出る見込み。軽水炉と高温ガス炉開発は平行に進められる。

軽水炉導入に向けた企業の動きとして、PGE 社が原発建設に関するフィージビリティスタディを仏 EDF、日本日立 GE、米ウェスチングハウスと協力に関する覚書を締結している（2009-2010）。2018 年 5 月に中国、韓国から安価なプラントの提案もあった。

原子力規制当局は、ポーランド原子力庁（PAA）、法整備は 1986 年に原子力法案完成。2000 年に IAEA 安全基準に準拠した新原子力法制定されるも、実態は、経験のある人材がないので、諸外国の協力が必要である。

#### （4）高温ガス炉の概要

950℃の高温熱を供給可能で、30 万 kWe（中小型）程度であり、出力密度が低いので、大型は困難。セラミック製被覆燃料粒子、ヘリウムガス冷却、黒鉛減速であり、核分裂生成物（FP）をセラミック被覆燃料に閉じ込める。熱を水素製造などに使えるという利点があり。被覆燃料粒子は耐熱性が高く、安全性が高い。熱利用率：80%、発電効率：50%、燃料は 120GWd/t の高燃焼度まで可能。

ヘリウムが化学反応・蒸発しないため水素爆発が起こらない。2000℃でも被覆がほとんど破損しない。炉心熱容量が大きく、出力密度は軽水炉の 1/10 である。低出力密度はメリットであり、デメリットでもある。電源および冷却材喪失時にも自然に止まり、輻射により冷却され、放射性物質を閉じ込めことができる。

JAEA で開発された高温ガス炉 HTTR では、冷却材流量ゼロで燃料温度上昇に伴うドップラー効果により出力降下、制御棒挿入なしでも炉停止、物理現象のみで原子炉が自然冷却することを実証している。HTTR は現在運転していないが、2019 年秋運転再開の予定。軽水炉では追加の安全対策が求められたが、HTTR の場合は、その固有の安全性により、大規模な補強をせずに運転再開ができる見通しである。HTTR の技術は全て国産技術である。

高温ガス炉は、再生エネルギーとのハイブリッドシステムによる発電が可能。水素製造量と発電量を変えることで、発電量の変動を調整できる。ガスタービンのヘリウムガスの圧力を変えることで出力調整が可能である。

日本政府方針として、2050 年までに温室効果ガスを 80%削減する。原発停止で化石燃料増加のため、2015 年から 2016 年は温室効果ガスの排出が下がっていない。省エネだけでは困難であり、再生可能エネルギーも原子力も必要である。高温ガス炉で、環境負荷の低減、原子力エネルギーを電力以外にも利用。水素の 40%、発電の 30%、熱供給の 20%に貢献したい、ただし 100 基程度の原子炉が必要である。

外国では、高温ガス炉は、中国が進んでいる。

#### （5）小型モジュール炉(SMR)の概要

SMR はカナダと英国が先導している。日本でも SMR の検討開始。カナダ、2026 年までに実証炉プラントを作りたい。

英国、8 社に対して総額 4M ポンドの資金が割り当てられた。U-Battery Developments と Ultra Safe Nuclear が高温ガス炉関係。脱炭素のためには高温熱が必要とされることを考慮すれば、小型高温ガス炉が大きな役割を果たす。

米国、DOE が 13PJ に対して、総額 60M ドルの資金提供。高温ガス炉関係は X-Energy 社が提案した UCO を燃料核とする被覆燃料粒子の開発がある。

#### (6) ポーランドにおける高温ガス炉開発

2016 年に「責任のある開発のための戦略」を公表。この中で高温ガス炉にも触れている。石炭火力の代わりに高温ガス炉を入れる。最終的には輸出用の技術にもしたい。需要はポーランド国内だけで 10-20 基。新設する特殊会社 HTR-EPC が世界各国の技術や知見を集めて実施。

出力 165MWth で 230t/h の高温蒸気 (540℃、13.8MPa) の製造を行う商用炉。競争力は炭素税しだい。運転経験を積むラーニングリアクターという概念もあり、研究炉 (10MWth) と商用炉を並行して開発進める。

#### (7) 日本とポーランドの高温ガス炉開発協力

2017 年から政府レベルでの協力。JAEA がポーランド国立原子力研究センター (NCBJ) と研究協力をしている。EU の GEMINI 計画にも参加している。URENCO の U-Battery 計画とも協力関係にあり。安全評価、炉心設計、材料シミュレーション技術の開発協力を今後進める。

NCBJ はワルシャワから 30km 東南のシフィエルクに立地。研究炉 MARIA 炉 (3 万 kWth, 1974 年臨界) がある。

日本の大学への学生の派遣など、ポーランドとの人材育成計画も進めている。

#### (8) 世界各国の関連するプロジェクト、ポーランド NCBJ の外国との協力

英国 URENCO 社とポーランドへの U-Battery の導入について、米 X-Energy 社との協力取り決め締結などが進められている。EU のファンディング (HORIZON2020) において GEMINI 計画をすすめている。

U-Battery 計画は、カナダのリモートエリアでの設置を検討。長期間燃料交換不要。ただし、URENCO が高温ガス炉の技術を持っているわけではない。日本に協力を求めている。

GEMINI+プロジェクトは HORIZON2020 の下の高温ガス炉コジェネレーションシステム開発 P J、EU/米国の GEMINI に日本と韓国が参加して GEMINI+となった。全体コーディネーターは NCBJ。

(9) 国内の活動

高温ガス炉産学官協議会の下に設置された海外戦略検討 WG における検討結果を受けて、協力体制を構築 (2017)、日本とポーランドの二国間協力の枠組みの構築を進めている。

Q & A)

Q) ポーランドの NCBJ は教育省の下にあり、インドネシアのバタンも同様に教育省の下にあり、研究炉のみをやっている。日本も MEXT と METI で分かれている。研究炉から商用炉に移っていくとき、NCBJ の役割はどうか？

A) 事業主が NCBJ で企業体が EPC (研究炉の段階)、商用炉になると事業主が電力会社、化学工業会社等になるが、企業体は同じである。

Q) 日本の、国としてのインフラ整備の売り込みの体制は？

A) インドネシアでも高温ガス炉の売り込みをしたが、JAEA だけになり、ロシアに負けた。ロシアはロスアトム、政府が一体になっている。国としての一体感で負けている。

Q) 中国の動きはどうか。

A) 何らかの形でポーランドと話をしているのは間違いないが、オープンにしていない。国家戦略として重要技術としているので、情報が出てこない。

Q) ポーランドの国民が原子力を好意的にとらえているのはなぜか？

A) 東側に住んでいる人たちは貧しい。原子力発電所ができることによって、経済的、インフラメリットが得られることに期待している。