

## (第 133 回) 神奈川研究会議事メモ

開催日	2022 年 9 月 13 日 (火)	出席者 敬称略	坂下勲・西村二郎・大谷宏・山崎博・ 松村眞・持田典秋・宮本公明・飯塚弘・ 神田稔久
時間	14:45~16:45		
場所	神奈川地区センター (リモート併用 ハイブリッド方式)		
資料	原子力発電の今後を考える (神田)		
議題	<p>1. 技術課題 原子力発電の今後を考える</p> <p>課題の概要</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. ロシアによるウクライナ侵攻に起因するエネルギー危機</li><li>2. 2050 年温室効果ガスの排出ゼロ化への具体的行動の動き</li><li>3. 福島第一原子力発電所事故処理の着実な前進 トリチウム汚染水の処理水の海洋投棄の決定</li><li>4. 原子力発電所の最大限活用への変化 がある中で、令和 3 年度版原子力白書の問題提起「2050 年カーボンニュートラル 及び経済成長の実現に向けた原子力利用」、GX 実行会議の提案「再稼働加速・運転 期間延長・次世代革新炉の開発・建設など」が出された。 震災後 11 年を経て、原子力発電に対して、ようやく冷静な議論や判断ができる環 境が整い始めた中、原子力発電に対する、場当たりのでない、なし崩し的でない、 国民のコンセンサス作りが求められている。</li></ol> <p>I 原子力利用に関する基本的考え方の変化 令和 3 年度版原子力白書・GX 推進実行会議に見る変化</p> <p>II 2050 年カーボンニュートラル及び経済成長の実現に向けた 原子力利用</p> <p>III 我が国の原子力利用に関する現状及び取り組み</p> <p>IV 原子力発電の今後を考える</p> <p>喫緊の課題である、軽水炉型原子力発電を中心に、視点を、3E+S すなわちエネ ルギーの安定供給・経済効率性・環境への適合・安全性において検討した。</p>		

参加者からのコメント

- ① 2017 年の基本的な考え方にある「原子力利用の大前提となる国民からの信頼回復を目指す」という表現は、「原子力利用の信頼回復を目指す」のと、原子力発電事業者の信頼回復を目指す」二つの課題が混在しています。私は後者も非常に重要だと思っています。
- ② 設置変更許可済み7基の再稼働で、1.7兆円の国富の流出を回避できるとのこと。電源構成の原子力を50%にすれば莫大な国富の流出回避が可能です。
- ③ 2020年の原子力白書では、2030年における電源構成の原子力の比率を20~22%としているが、私はもっと高い、たとえば50%以上を期待しています。将来的には電源を再エネ(約30%)と原子力(約70%)だけにし、石油は液体燃料と石化原料用途、ガスは気体燃料用途に限定したらどうか。
- ④ 原子炉はバックエンドを含めた経済効率・安全性・燃料の安定供給性が高い炉への転換を期待しますが、現在の軽水炉でも原子力発電の比率を高めるのが望ましいと考えています。核燃料サイクルは、燃料の経済性とプルトニウムの有効利用の観点から実現させるべき重要技術と思います。
- ⑤ 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の最終処分方法は、現在想定されている方法でかなり安全性が高いと考えています。
- ⑥ 原子力発電事業者の信頼回復については、まだ十分な方策が見られません。民間企業が発電事業を担うなら、国際的に認知された所定の教育研修と実務経験を経た原発担当役員を置き、安全対策については法的に社長以上の権限と責任を担う仕組みが必要だと思います(立法処置が必要)。この役員は身分保障が必要なので、国または国際機関による任命が必要かもしれません。日本の旧大手電力会社の役員は、設備技術もリスクマインドも責任意識も希薄で、原発の事業者に必要な信頼感をもてません。事業者の信頼回復について、国はどのような施策を講じようとしているのか気になっています。(松村)

■原子力発電については経験も知識もないのでコメントに窮しています。在職中に最初に原子力関係の仕事を知ったのは、20年程前に京都大学の先生を訪問した時です。先生の研究は大規模発電所の排熱を回収して発電する素子、モジュール、システムの開発で、その大規模発電所は高速増殖炉「もんじゅ」でした。「もんじゅ」の事故で共同研究が中止になったことを聞き、高速増殖炉の必要性を感じていましたので、ナトリウム漏れでなぜストップするのか、今までの実績・経験は無駄になるのかと疑念を抱きました。それから数年して、土岐市にある核融合科学研究所に共同研究ができないかということで何回か訪問したことがあります。もちろん核融合とは直接関係がないテーマです。核融合科学研究所の巨大で複雑な核融合設備を見て感じたのは、太陽を模した夢の技術ですが、実用化にはまだまだ30年以上かかりそうだなと思ったことです。核融合研は時間が掛かることを意識しているためか、派生する技術を民間企業に積極的に使ってもらうことには熱心でした。

■日本が2050年カーボンニュートラルを目指すためには、エネルギー産業や製造業の変容が求められ、工学にも経済合理性、安全性は言わずもがな、長期的視野での持続性や環境整合性が今以上に要求されます。最終ゴールの姿を示し、バックキャストで現在すべきことを導き出すことが重要です。原子力発電は自律性、放射性廃棄物の最終処分などの最終状態を意識してスタートしたように思います。それが社会、地域住民などの合意を含む最終状態の確定が遅れたことや、福島原発の事故に対する国民の不安などで、原子力に対し厳しい社会的不信を招いています。2050年カーボンニュートラルを目指すために原子力が必要なら、福島原発の事故を教訓として、もう一度原点に戻り青写真から立て直し、国民に説明する必要があると思います。

■ チェルノブイリ原発事故の根本原因が「安全文化の欠如」にあるとされました。日本と欧米では安全に対する考え方の違いが指摘されています。日本では「人の努力」や「メンテナンス」、「改善」によって安全を担保しようとしています。欧米では安全とは、「危険な状態を最小化する、もしくは除去しようとする活動」とされており、危険源は常に存在していることを前提にして、活動するとしています。日本では「安全とは安らかで危険がないこと」と定義され、危険が全くない完全安全を指しているように思えます。安全と危険の間にはグレーゾーンが存在し、グレーゾーンは安全ではないが危険でもない領域であり、危険とは断定しないが安全性が確認できない領域です。日本と欧米の安全文化の違いにより、日本では事故の発生件数を減らすことを重視し、欧米は重大災害が起こらないことを重視しています。欧米流の考え方で、災害は努力しても技術レベルに応じて必ず起こりますので、事故が起こっても重大事故に至らない技術対策を実施し、最後は日本流の管理体制の強化、教育訓練などを愚直に実施するしかすべはないと思います。(飯塚)

■ 私は、原発問題に関しては、多分、多くの皆様とは違った意見を持っています。原子力発電は、技術的観点からすれば、十分に商業的に運転可能な発電方式だとは思っているのですが、現在の日本社会には、原子力発電のメリットを十分活用出来る体制が整っていない。従って、現状のまま、今後原発の稼働数を増大させていくと、必ずや又、問題が起こるのではないかと思います。従って、日本社会の原発受け入れ条件を整理して、日本の8割とか9割の人が原発稼働数増大に賛成する様な状況をまず作り出すことが必要だと考えます。

■ どういう点で、日本社会の原発受容体制が整っていないと考えているか、以下でその理由を述べてみたいと思います。

■ 指摘したいことは沢山あるのですが、最近の出来事で大変気になっているのは、本年7月13日の「東電元役員4名に対し13兆3210億円の賠償金を支払え」という民事裁判での判決が出たことです。これが最終判決なのか、被告人は上告して未だ係争中なのか分かりませんが、もし最終判決と言うのなら、日本は法治国家なのでから被告人達は命じられた金額を東京電力に支払わねばなりません。裁判結果が尊重されるのでなければ、国家というものは成り立っていきませんから、情け容赦なく、例え被告人がホームレスになろうとも1人当たり平均3.3兆円の賠償金を支払わせるべきでしょう。

■ しかし、問題はこれだけで済むはずはありません。国は、原子力発電所の運営に関し、東京電力を監督する責任を有しているわけですから、福島原発事故関連で国が支出を与儀なくされたお金(何兆円あるのか知りませんが)を責任者から支払ってもらわねばなりません。そうではないと、法の適用上の公平さが保てなくなってしまう。国の責任者は誰かを勝手に決めることは出来ませんが、例えば、内閣総理大臣、経産省担当大臣、経産省次官、資源エネルギー庁長官、担当課長、等は責任を免れ得ないでしょう。又、事故当時の責任者だけではなく、歴代の責任者も責任を追及されるべきです。勝手な想像ですが、東電責任者の賠償支払い金額が3.3兆円/人ですから、例えばその1/100~1/1000の金額を想定しても1人当たり30億円~300億円位は払ってもらわねばならないでしょうか？

- しかし、もし上記の様な事が起こったら、今後選ばれる日本の内閣総理大臣は皆、原子力発電は廃止すべきだと言い出すでしょうし、原子力発電問題を担当する役所の責任者にもなり手はいなくなるでしょう。勿論、原子力工学を専攻する学生もいなくなるし、原子力工学の研究者もいなくなるでしょう。こうして、日本の原子力の火は消えてしまうことになるでしょう。
- 皆様は、上記は、「過激すぎる」、「極端すぎる」とお思いでしょうか？しかし、上記の「東電元役員に対する 13 兆円賠償判決」については、「もっと真剣に内容を検討し国民的議論が行われるべきだ」との意見には賛成していただけるのではないのでしょうか。原発に 100%安全と言う事はあり得ません。しかし電力会社も日本政府も「原子力は安全だ」と言って、あたかも 100%安全が保障されている様な言い方で福島事故が起こるまで、原発を推進して来ました。さすがに福島事故後は、「100%安全」と言い切る人は少なくなりました。しかし、今でも、余り具体的な事は言わず、「日本は世界一基準が厳しいので安全だ」という様な言い方で、何となく 100%安全であるようなイメージを与える様な言い方をして、誤魔化して来ています。どのくらい安全なのか、いや、どのくらい危険なのか、をもっとオープンな形での国民的議論がなされるべきです。事故が起こった場合の企業経営者や行政担当者の賠償責任についても、原発がどのくらい安全なのか、或いは、どのくらい危険なのかによって違ってくるはずですが、そんな論理構築が全く無いまま、今回の裁判では、いきなり「13 兆円の賠償金を払え」という乱暴な結論をだしています。余りにも論理性の欠如した愚かな司法判断です。急ぎ過ぎず、慌て過ぎず、国民的議論を展開して行くことこそが、今に日本では求められている様に思えてなりません。(大谷)
- 温暖化防止に原発は不可欠でしょう。今回のプレゼンを拝聴した感じで、日本における原発政策に変化が生じる兆候かも知れないと、前向きに捉えました。このような重大な関心事、今後とも継続・紹介して頂ければ有難いです。
- 原発に不可欠なこと：①限りなくフェールセーフに近いこと、②放射性廃棄物の安全な処理、③核拡散防止が条件です。
- (フェールセーフ性) 1年以上も連続運転するバッチ炉の核燃料を反応室に抱えたまま非常停止しても、崩壊熱を冷却水なしに取り去ることは困難です。小型化すれば、ラクになりますが、限界があります。現行方式の原子炉の安全性は誰も保証できません。東京地裁の判決が象徴的ですが、誰にも GO サインは出せないと思います。トリウム溶融塩炉は必要な核燃料を連続的にフィードする方式ですから、除熱システムの設計がラクになります。
- (放射性廃棄物の処理方法) 現行原子炉の核燃料系は U238(～95%) + U235(～5%) です。そして、U238 + 中性子 → 超ウラン元素(放射性：半減期～10 万年)なる反応が起きます。超ウラン元素に加速器処理は不可能です。トリウム溶融塩炉なら加速器処理で、半減期～300 年の処理が可能です。
- (核拡散防止性：核爆弾) 現行原子炉では、Pu239 が容易に生産されます。可搬性もあります。トリウム溶融塩炉では強烈なγ線が発生するため、核爆弾用原料の運搬が困難です。

- (核拡散防止性：原潜・原子力空母の動力源としての利用性) トリウム溶融塩炉は強烈なγ線対策が必要なため、原潜等への搭載が困難です。トリウム溶融塩炉開発の初期、原潜開発の功労者・米海軍のリッコーバー將軍の原子力航空機用エンジン開発の特命を早々に諦め、民生用に走り、「行けそう」な結果を出したオークリッジ研究所がリッコーバー一派に「弾圧」されたのと、高速増殖炉構想が持ち上がったことから、米国の関心がそちらに向かってしまったのが、トリウム溶融塩炉が頓挫した理由のように思えます。
- (核保有国は現行原子炉を手放せない) Pu 爆弾は10年(?)規模で更新が必要です。核保有国は現行方式の原子炉を手放せません。トリウム溶融塩炉をモノに出来るのは、政策として核兵器を持たず、しかも技術開発能力のある日本しかないと思います。
- (フッ化物トリウム溶融塩の腐食性) 原子炉技術者の中にさえ、腐食性に耐えられる材料がないと、まことしやかに、囁かれています。オークリッジ研究所は、ハステロイの事前酸化被膜除去で対応可能なことを立証しています。
- 郷さんの解説を読んだ印象では、核融合の実現にはまだ時間が必要です。
- トリウム溶融塩炉の強力な推進者・故古川和男氏(元原子力研究所)の後継者に期待し、応援したいと思います。(西村)
- 数年前までは、原子力発電は全廃すべきだと思っていました。主には、高濃度放射性廃棄物の処理の具体化が進んでいなかったからです。しかしながら、九州で起こった余剰太陽光発電の問題や最近のエネルギー安全保障の問題などをみるとこのまま再生可能エネルギー1本槍ではいけないと思うようになりました。そんな折の神田さんの発表は視野を広げさせてくださいました。
- 再生エネルギーの問題点は、発電量がお天気まかせになっていることです。欧米のように広い地域のネットワークを持っていると、供給過剰と供給不足の地域でやり取りすることで、平均化がはかれますが、日本のように小さい国土では、全国的に晴れの日や全国的に雨の日がしばしば起こり、十分な量の蓄電設備を持たないかぎりお天気任せを進めるわけにはいきません。また、太陽発電所や風力発電所に適した土地がすくないのも、この方向をすすめて行くときのネックになるでしょう。
- かたや、カーボンニュートラルからの要求や化石燃料の輸入に問題が生じることから、自前に近い形の供給源確保は無視できない命題です。そうなると、原子力発電は残された選択肢として浮上します。
- 原子力発電の問題点は、神田さんが話されたように、信頼や社会受容の問題、安全性の確保、低濃度汚染水、高濃度廃棄物の処分など多岐にわたっている。最初の部分は国や電力会社の施策次第などところもあるので、まずは安全性と燃料の問題で考えると、将来のあるべき姿として小型モジュール炉(ガス炉)やトリウム溶融塩炉など、第4世代に行き着く。
- ただ、これらのいくつかは実験レベルまできているにしても、商業炉になるにはまだ時間がかかる。その間、既設の軽水炉をいかに安全に運用して行くかは、全体のビジョンをもって説明することと、今できる安全対策をきっちりとおこなって行くしかないのではなかろうか。(宮本)

原子力工学は全くの素人なので、核心を突く意見は述べられませんが、原子力発電所は、色々な問題を含んでいるものの、やはり安全に稼働させたいと思います。理由として

- ① これだけ気象変動が激しく、CO2 問題がクローズアップされている以上、CO2 削減の方向に進むべきである。
- ② エネルギー危機のさなかで国産（もどき？）エネルギーが使えないのは、エネルギー対策ばかりではなく、財政上も大きな痛手である。
- ③ 国内では東電以外、過去に大きな事故は起こっていない。それなりの経験値を積んでいるはず。

とりあえずは既存の炉を動かすにしても、いくつかのメリットのある中小型の原子炉を早く開発して実用化すべきだと思います。

中小型となれば、中小型のプロセス上のメリットのほかに、モジュール工法ができることが挙げられます。

モジュール工法とは、プラント全体をいくつかのユニットに分け、工場内で各ユニットを製作して組み立て加工し、ユニットごとに道路や海上を運搬輸送し、現地ではそれらを繋ぎ合わせる工法です。国内の原子力発電所は臨海に設置されているため、搬送には最適です。現地作業が少なく工期も短いため、建設費も安くでき、かつ精度も高く工事上の安全の度合いも高くなります。

これはプラント建設に携わって来た者の意見です。（持田）

- 一次エネルギー自給率は、米国 106%、カナダ 179%、英国 75%、フランス 55%、ドイツ 35%、イタリア 25%と比べて日本は 11%と極端に低い。ロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー価格の高騰で、電力会社、ガス会社の原燃料費が急騰している。報道によれば、前年度比で 54%増になったという。特に四国電力は 88%増、北陸電力は 86%増と、ほとんど倍増に近い。当然、これは電力会社の企業経営のみならず、家庭の電力・ガス料金と物価上昇に繋がっている。エネルギーの安全保障の面で極めて問題で、原子力発電がエネルギー政策上の課題となっている。
- 第 6 次エネルギー基本計画では、2030 年度の日本の電源構成を再エネ 36~38%、原子力 20~22%、化石燃料 41%としている。合わせて、福島第 1 原子力発電の廃炉を含めて、廃炉が必要になる。原子力産業を担う人材の育成が必要であるが学生数は減っている。国立大学では、原子力工学ではなく、量子エネルギー工学、システム創生学科、環境エネルギー工学などに名称を変更している。
- 2011 年の福島第一原子力発電所事故後、原発が再稼働していない 7 電力会社では、原発運転員の 4 割が自社の原発での運転経験がないことが読売新聞社のアンケート調査で分かった。原発の再稼働が遅れている主な原因は、原子力規制委員会による電力会社の安全性の審査に時間を要しているためで、10 年以上の運転ブランクは再稼働後の運転経験の不足による安全性確保に問題を残している。
- 世界各国で、安全性や柔軟性に優れた小型モジュール炉（SMR）と呼ばれる電気出力 30 万 kW 以下の新しい原子炉開発が進められている。大規模なインフラ整備が不要で、エネルギー需要に応じて原子炉モジュール（NPM）の設置数で調整できる。安全性に優れ、発電以外にも周辺産業や地域への熱供給源として利用でき、さらに、再生可能エネルギーの出力変動を調整する電源としても期待される。
- その代表例が米国 NuScale 社の軽水炉型 SMR で、格納容器と圧力容器を含む一体型の原子炉モジュール（NPM）は、直径約 4.5m、高さ約 23m、重量 800t、電気出力 7.7 万 kW の筒型形状で、工場プレハブ製造し現地に運んで原子炉建屋内のプール内に最大 12 基まで連結して設置する。耐用年数は 60 年、プレハブ工法のため経済的で工期が短い。米国原子力規制委員会（NRC）の安全・規制要件を全て満たした米国初の SMR 設計となっている。

- 同社は、DOE からの 10 年間で 13 億 5500 万ドルの資金援助を受け、ユタ州公営共同電力事業体(UAMPS)向けに、モジュール 6 基連結した SMR を、アイダホ国立研究所敷地内で 2029 年に運転開始するとしている。また、米国 NuScale 社は、NPM の世界展開に向け、英国、カナダ、日本、韓国などの企業や政府組織と協力している。ちなみに、NPM の平準化発電単価（6 基連結時）は、8 円/kWh（1 ドル=140 円換算）と試算されており、日本の原子力発電単価 11.7 円/kWh よりも大幅に安い点も魅力である。
- 日揮ホールディングスは 2021 年 4 月 6 日、海外における小型モジュール炉（SMR）の EPC（設計・調達・建設）事業に進出すべく、米国 NuScale 社に 4,000 万ドルの出資を行うことを発表した。日揮グループの下記の経産省審議会資料によれば、
  - ・ 炉心は自然循環冷却であり、冷却ポンプ不要。
  - ・ 非常用電源は不要、冷却水再供給は不要、運転員操作は不要。
  - ・ 事故時の炉心冷却は原子炉プールにより冷却。
  - ・ プール水蒸発後は空気により冷却される。
  - ・ モジュールのオンオフによる日単位の変化、制御棒の挿入による時間単位の電力調整、タービンバイパスによる瞬時変化への対応、などが可能となり、再生可能エネルギーの変度調整電源としても使える。

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/pdf/023\\_10\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/023_10_00.pdf)
- 国は 2030 年の再エネによる比率を 36~38%に高める目標を掲げているが、太陽光発電や風力発電は気象条件によって出力が変化するため、これを調整する電力が必要となる。この役割を現在は主に化石燃料による火力発電に頼っているが、2050 年のカーボンニュートラルの達成に向けて、火力発電に替わるカーボンフリーの発電比率を高めることが求められる。まずは、安全性や柔軟性に優れた小型モジュール炉（SMR）の開発と早期の実用化が望まれる。

(山崎)

#### 発表者からのコメント

皆さまから様々なご意見を頂きました。それらを、すこし無理をして纏めながら、発表者のコメントも挟んでみました。

1. 地球温暖化対策は急務であり、日本における再生可能エネルギー導入に限界がある以上、原子力をエネルギーの選択肢として考えざるを得ない。
2. 現在の軽水炉原子力発電設備は、フェールセーフ（本質安全）が確保できない・核廃棄物処理が出来ていない・核拡散の危険等の、本質的問題が存在している。
3. 安全性については、当面は既存原発の安全性を強化・確保して寿命延長を図りながら運転を継続する。その間、まずモジュール式の小型原子炉を開発し安全性を高める。中期的にはトリウム溶融塩炉の開発を、日本が中心となって主導する。
4. 核燃料サイクル・核廃棄物処理については、技術的問題よりも地域の受容の問題であり、国民・地域のコンセンサス形成が求められている。
5. 原子力発電を担う事業者の問題も大きな課題である。原子力村と言われる閉鎖性の打破、福島原発事故で毀損された電力事業者への信頼の回復が急務である。高い運転技術を有する化学業界が総力を挙げて支援することも選択肢になり得ないだろうか？
6. このような状況の中で出された、原子力白書や GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議の提案は、原子力の今後を考える、良いきっかけとなりうる。
7. そのためには、原子力利用のメリット・デメリットを明確にして、最終ゴールの姿を示し、それをもとに国民的議論をして、原子力利用についての国民のコンセンサスを得て進めていくことが求められている。

	<p>2. 幹事会報告 8月は幹事会は非開催</p> <p>3. 今後の予定</p> <p>10月 見学会 11月 小林氏 12月 持田氏 1月 山崎氏 2月 猪股氏 3月 飯塚氏 4月 西村氏 5月 見学会 6月 宮本氏 7月 大谷氏 8月 松村氏 9月 神田氏</p>
次回日程	<p>1. 日時 令和4年10月11日(火) PM 2. 見学会</p>
次々回日程	<p>1. 日時 令和4年11月8日(火) 15時~17時 2. 方式 オンライン会議 3. 技術課題 小林氏から提供</p>