

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2013.12.NO.108

目 次

センターの活動状況	①
今後の原子力利用とバックエンド・放射性廃棄物への取組み	③

センターの活動状況

I 成果等普及活動の実施状況

平成25年度 第2回原環センターセミナーの開催

中堅技術者・研究者むけ第2回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分安全評価の基礎Ⅱ」を以下のとおり開催しました。このセミナーでは、基礎的内容から重要な課題を抽出し、より詳細な講義と受講者・講師の質疑応答を通じて、理解を深めていただきました。

開催日時：平成25年10月17日（木） 10:30～18:00

開催場所：京都大学 東京オフィス 第2、3会議室

講師：公益財団法人原子力安全研究協会

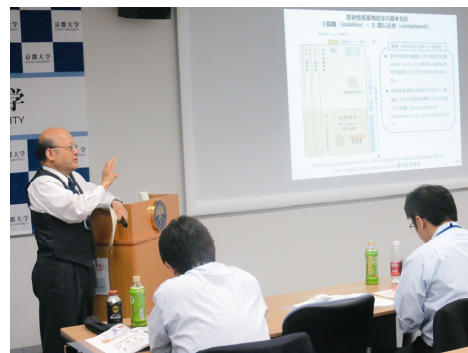
処分システム安全研究所 所長 朽山 修 氏

講義：講義1 放射性廃棄物処分の安全確保の構造

講義2 放射性廃棄物処分の閉鎖後安全評価とセーフティケース

講義3 高レベル放射性廃棄物（HLW）地層処分概念の進展

総合討論



平成25年度 第3回原環センターセミナーの開催

第3回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分安全評価の基礎Ⅲ」を以下のとおり開催しました。本セミナーでは、安全評価の基礎的知識を持つ技術者・研究者を対象に、簡単な安全評価解析演習を通じて、安全評価から見た放射性廃棄物最終処分の全体像をより深く理解していただくことを目標としています。基礎知識講義の後、簡便なプログラムを用いた解析演習を行い、実践的知識を深めていただきました。

開催日時：平成25年11月14日（木）9:30～17:00
 会場：東海大学高輪キャンパス1号館 第2会議室
 講師：東海大学工学部原子力工学科 教授 大江 俊昭 氏
 講義：課題1 放射性廃棄物処分の安全評価解析の基礎
 I. 浅地中ピット処分の事例分析
 II. 地層処分の事例分析
 課題2 放射性廃棄物処分の安全評価解析の演習
 I. 有限差分法による放射性核種移行解析
 II. 地層処分の総合安全評価
 課題3 原子力発電所事故による汚染廃棄物の評価



平成25年度 原環センター研究発表会の開催

平成25年度原環センター研究発表会を約140名のご来場を頂き、開催しました。並木理事長の開会挨拶に引き続き、当センターから研究発表3件と京都大学山名元教授を迎え、特別講演「今後の原子力利用とバックエンド・放射性廃棄物への取組み」を行いました。

日時：平成25年12月6日（金）13:30～17:00
 会場：KDDIホール（KDDI大手町ビル2階）
 プログラム：

1. 理事長挨拶
2. 研究発表

- (1)原環センターの地層処分基盤研究の概要
- (2)欧米主要国での放射性廃棄物処分事業の動向
- (3)地層処分の可逆性と回収可能性をめぐる論点

3. 特別講演 今後の原子力利用とバックエンド・放射性廃棄物への取組み

常務理事 浦上 学
 技術情報調査プロジェクト CPM 稲垣裕亮
 技術参事 田辺博三

京都大学原子炉実験所 教授 山名 元



並木理事長の開会挨拶



研究発表



山名元教授による特別講演
 「今後の原子力利用とバックエンド・放射性廃棄物への取組み」

今後の原子力利用とバックエンド・放射性廃棄物への取組み

京都大学原子炉実験所 教授
国際廃炉研究開発機構 理事長
山名 元

本日（平成25年12月6日）は、今、私が主に関与しているエネルギー政策の策定の話と放射性廃棄物に関して、特に廃炉に関して思っていることを語らせていただこうと話を用意しております。



1. 震災以降のエネルギー・原子力政策の審議

まず、下図に描いておりますが、エネルギー基本計画の見直しの作業が進んでいます。2011年の事故以降、原子力委員会が大綱の見直しを始め、燃料サイクルの政策の見直しを小委員会ではじめました。それから福島第一原子力発電所の廃止措置についてのロードマップを決めるという議論を中長期措置検討専門部会で行いました。ところが原子力委員会での議論は一種のスクランダルの様なかたちで中断しました。民主党政権では国家戦略室のエネルギー・環境会議がご承知のように国民的議論に基づいて、2030年原子力ゼロという方針を出す報告をまとめていったのですが、これは総合資源エネルギー調査会基本問題委員会で非常に大きな議論がなされ、2012

年9月に答えは出したのですが、閣議決定とはなりませんでした。2012年末に自民党政権に替わって、この3月17日に総合資源エネルギー調査会総合部会で新しいエネルギー基本計画の策定を開始しました。途中で組織変更がありまして、今は基本政策分科会と呼ぶ委員会において、12月の末までに新しいエネルギー基本計画を出すということで審議が続いています。これが流れで、あと20日ぐらいたつと最終的な基本政策分科会としての答申を政府に出すこととなります。

今回の答申は、かつての基本計画とはちょっと違う感じではありますが、いずれにせよ安倍政権が言った「責任あるエネルギー政策」がもうすぐ出てくるとご理解ください。民主党政権ではとにかく脱原子力と、原子力ゼロということだけがシングルイシューとして突出して議論されてきたのが実情であるかと思うのですが、この新しい基本政策分科会での議論はかなり違っております。といいますのは、エネルギーの供給、生産・調達、つまり「ソース」の部分と、そのエネルギーを国民に配分するという「流通」の部分と、最後に国民がそれを「消費」する部分3つすべてが審議の対象になっています。震災以降、このすべてについて我が国は脆弱（ぜいじゃく）であることが分かってきました。したがって、我が国のエネルギー政策としては、この3つを全部一括して強化していかなければならないというのが基本的な取り組みです。生産、流通、消費の全体を見直すことになるのですが、それについても国際情勢が非常に大きく変化している問題があり、こういった境界条件の変化をうまく見ながらロバストなエネルギー供給体系を作っていくことをテーマにやっているというわけです。今まで随分審議をやってきましたが、原子力がテーマになったのは2回か3回しかありません。それ以外は、もっと違う議論がなされてきました。もちろん生産と調達の段階では原子力の非常に大きな問題である、安全の問題、バックエンドの問題、それから廃棄物の問題も取り上げられました。このような原子力の問題、再生可能エネルギーの拡大にかかわる問題、化石燃料に依存していることの非常に大きな問題が今回の三本柱と言っているでしょう。原子力はある意味でこの中の1つであって、非常に大きなものですが、今回あまりぎらついた議論

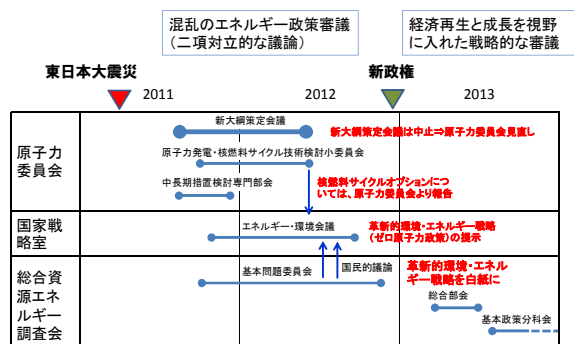


図-1 震災以降のエネルギー・原子力政策の審議

はしていません。むしろ、原子力が現在全部止まっているがために電力需給が逼迫（ひっばく）していることの深刻さとか、火力発電ですべて代替していることによるエネルギーコストの上昇、それによる貿易収支の悪化、あるいは技術の空洞化などの問題、あるいは電力事業そのものの、つまり発電・送配電・小売の電力システム改革と一緒に議論されています。電力システム改革は、本来、福島事故とは関係ない話ですが、原子力の事故をきっかけにして一貫構造を変えるという民主党政権の流れを自民党もくんでいるということです。

ただ、エネルギーの安定供給という意味で数値的にどこまでいけるかは、今後の議論になります。消費の面では省エネ・節電ですね。最近は環境省から「減エネ」、減らすエネルギーという新しい言葉が出てきました。省エネは原単位の改良ですが、減エネは絶対量を減らせという話のようです。それから消費側の構造をもっと高度化していこうということで、供給側とのタイアップであるデマンドリスポンス、エネルギーマネジメントシステム、スマートコミュニティも非常に大きなテーマでした。コジェネを中心とした分散エネルギーの増加と、これは再生可能ともつながりますが、この辺が全部オールパッケージで議論されてきたという流れになっております。したがって今回のエネルギー基本計画は原子力だけを特化したというわけでは決していないということです。

原子力と供給について語るときに避けざるのがシェールガス革命です。国際情勢の変化の中で、世界でのエネルギー需要が急増しているという話と、シェールガス革命によるLNG価格低下の可能性の話があります。何が起きているかというところ承知のようにアメリカではシェールガスの開発が進んで、今、アメリカは74%ぐらいのエネルギー自給率ですが、2030年の前ごろにはエネルギーの完全自給を成し遂げるだろうといわれています。我が国が1MBTU当たり15ドルぐらい払って買っているガスをアメリカ国内では4ドルぐらいで調達できるという状況になっています。これについての見方はいろいろありまして、例えば楽観説であれば、シェールガスがどんどん出るんだから太平洋を越えて輸入していただければ日本でも恩恵が受けられるというものです。既に2018年ぐらいから幾らか輸入が始まることになっていますが、決して4ドルでは来ません。12ドルぐらいで来るでしょう。

一方、楽観だけでなく、このシェールガス革命によって世界中のエネルギー資源マーケットが大きく変動していること自体が問題です。アメリカが自給に向かうことで中東がアメリカに輸出しようとしていた液化天然ガスが行く先を失います。ヨーロッパはノルウェーやロシアからガスをパイプラインで引

いていますが、中東が変わっていきます。それから日本はアジアからガスを輸入していますが、アジアの産ガス量が減り、中国やインドが膨大にガスの需要を増やして、結果的に日本はカタールとかの中東からのガス輸入に依存する傾向が増えていくことになります。エネルギーのフローが変わっていくわけです。従来、中東からアメリカへ、アジアから日本へ、ロシアからヨーロッパへ流れていたガスが、中東からヨーロッパへ、ロシア・中東から日本に来ることになります。原子力発電ゼロという民主党政権時代の発想は天然ガス火力が相当増えるということでしたが、天然ガス火力に依存しすぎるのが果たしてエネルギー安全保障上、適切かという議論になっていくわけです。しかもガスはベースロードにあまり向いていないとか、もったいないとか、そういうものがありまして、こういう大きな世界のマーケットの流れが影響してくることになるわけです。

2. ジョン・ハムレ米国戦略国際問題研究所長のスピーチ

この検討会でアメリカのジョン・ハムレ米国戦略国際問題研究所長のお話がありました。ここで彼が言っていることはほとんど日本に当てはまるので、ぜひ廃棄物の専門家である皆さま方も日本のエネルギー事情をご理解いただくということで紹介したいと思います。

まず、「アメリカはエネルギー戦略を持っていない、ふんだんにエネルギーがあるから必要ない」ということだそうです。何と幸せな国かということですね。一方で、日本はエネルギーが非常に希少であって自給率4%です。だからこそエネルギー戦略を必要としています。まさにそのとおりです。アメリカは、エネルギー戦略が要らないというよりは、エネルギーマーケットの経済的な仕組みを通じて最適なエネルギー状態ができていくという国です。

ところが日本はそう甘くないことになります。地政学的な状況がゆえにエネルギーの調達が非常にリスクの大きい問題になるだろうと考えられます。ロシアからの天然ガスは北朝鮮の沿岸を通るし、中東から来るエネルギーのタンカーは2つ3つの隘路（あいろ）を通ります。日本は83%の石油を中東に依存して、そのうちの80%はホルムズ海峡を、そのほぼすべてがマラッカ海峡を通して来ます。天然ガスは発電面で言えば備蓄量が13日しかないことになりますから、日本は、まさに「フロー」でもっている国であって「ストック」のエネルギー源を持たないわけです。

一方、原子力は「ストックエネルギー源」です。エネルギー備蓄効果が非常に高く、しっかり確保しておけば外乱にはまったく動じないという特徴を持

っているのです。

それから「高度に発達した国ではエネルギーのポートフォリオの多角化・多様化、つまりエネルギー資源の分散が必要で、エネルギーを単一のソースに頼ることはできない」とおっしゃっています。ポートフォリオ上の多様化・多角化が柔軟性をもたらし、これが価格の乱高下に対するヘッジになるということです。

これが我が国の答えです。エネルギーの多様化しか生きる道はないということです。民主党政権が言ったように天然ガスに40%依存するとかいうことでは安全保障として問題であることを言っておられるわけです。それから、アメリカでは天然ガスが安価なためにすべてを天然ガスに切り替えようというプレッシャーがあるが、それは間違いであるとおっしゃっています。価格は将来的に上昇する、今は安いけれども必ず上がるとおっしゃっている。そのためにもエネルギーポートフォリオの多角化・多様化は、バランスの取れた長く耐え得るエネルギー戦略にとって欠かせないものです。アメリカでは今シェール一辺倒で、石炭がどんどん減っているのですが、行き過ぎるとリスクが高いことを明確におっしゃっています。

エネルギーを配分するインフラストラクチャーの頑強性、抵抗力、回復力が重要だとも言われています。これは実は東日本大震災でも日本が経験したことです。あの震災の後、石油を東北に届けられない、港で水揚げできない、いろいろな問題がありました。ですから日本は送配電網、それから石油の配分網、鉄道網、そういったものの頑強性を強化していかなければいけないということで、国家強靱化みたいな話につながっていきます。

それから耐久性のあるエネルギー戦略には、市場の仕組みが確立されていなければいけない、つまり、ひずんだ価格のシグナルではなく明確なシグナルで市場が動くべきだということです。それによって効率的な消費に結び付いていく、つまり価格を指標として最適のエネルギー体系にいくような自然の力を利用しないと、ひずんだ国になるとおっしゃっています。具体的に言えば補助金漬けのエネルギー政策は間違いだと、これもかなり重要な示唆であると思っています。

電力こそ近代的な社会の基盤であり、信頼に足るベース電源が必要で、再生可能エネルギーはベース電源のための解決策には到底なり得ないと言われています。再生可能エネルギーのなかで、風力は多少ベース電源となりますが、太陽光の場合にはそうではありません。代替エネルギー源はピークロードの電源のためには最適とはいえないということです。それから炭素ベースの燃料は日本にとっては非常に高くつきます。これはまさに、今日の状態ですね。

今、ものすごく高い電気を火力発電で作っているわけですが、それから運輸部門についてはやはり炭素ベースの燃料が当面続くだろう、何世代も支配すると、ここまでおっしゃっています。水素とかの時代にはなかなかならないということのようです。電気自動車は資本コストが非常に高く、これはもうバッテリーの話になります。それから技術によって動力コストの効率化は高まるだろうということで、いわゆる電車や自動車のエネルギー効率は今後確実に上がるだろうと見ておられる。

まさにこういう現実があるのだらうと思います。日本に対してわざわざ提案を頂いていて、5つの要素を考えれば、原子力発電所を再開するしか選択肢はない、ベースエネルギーのためには原子力は必要だと明確におっしゃっています。天然ガスは最も効率的なかたちでピークエネルギー生産を賄うということで、ガスでやるならピークかミドルだろうということです。今日やっているようにガスでベースを出すようなことはするなとおっしゃっています。

それからエネルギー効率の改善、技術がさらなる省エネを可能にするので技術開発が重要だ、消費行動を変えるという意味で価格が最もよい要素で補助金は市場のシグナルを歪曲するとも言っています。これは、つまり固定価格買取制度に対する皮肉です。この制度は非常に歪曲したシステムを作っています。研究開発への政府の投資は続けるべきだ、これは明確なメッセージですね。つまり、妙な補助金をあてて市場をゆがめるよりは、研究開発とか省エネ・省力化のほうに投資をしろと言っているのです。これは日本に当てはまる話だと思います。

原子力の利用については、原子力は日本の戦略の一部を構成せざるを得ない、原子力発電所を再開するためにはガバナンスの問題、統治への信頼感の問題に対応しなければならない、我が国への皮肉なのですが、原子力推進行政が弱い、規制が弱い、事業者の姿勢も十分ではないとおっしゃっています。「もう少しちゃんとやれ」ということだし、例えば継続・改善のカルチャーを電力業界にもたらさなければならないと明確におっしゃっています。これは電力事業者の方は、今、頑張っているところだろうと思います。それから、日本の原子力は運営が効率ではないと言っておられますが、これは稼働率が低いことを言っているのだと思います。要するに「原子力は大事だ、だけどそれをやるためにはしっかりとガバナンスの下で効率的な運用、安全な運用をやりなさい」と言っているように、当たり前のことです。ほとんどこれで、日本に対する示唆は尽きていると思います。

3. 原子力発電所の今後（寿命延長・リプレース）

図-2の下段は私が勝手に、原子炉の寿命を少し延

ばしてみたケースです。寿命延長やリプレースをしていかないと、先ほどのエネルギー安全保障上の観点から言うと我が国はたぶんやっていけません。もし上段のように40年寿命で一律に原子炉を止めると、廃止措置という非常に大きなタスクと、再生可能エネルギーや送配電系の強化というあらゆる重要な投資が一括で押し寄せてきます。しかも電力自由化ですから、もう破綻ではないでしょうか。原子力の利用維持や延長なしでは、やっていけないという思いがあります。

これをやるためには、寿命延長の科学的な評価、科学的な安全審査、それから国民理解・地元理解、それから老朽化炉の廃止措置、そのためのファイナンス措置などが必要ですし、原子力賠償法の改正もとても重要な話です。いわゆる国と民間責任の明確化です。それから日米原子力協定2018年の話もあります。原子力を維持するためのいろいろな環境整備、特にファイナンス保証、政府支援、人材育成、バックエンド、自由化との整合など大きな課題が解決されて、初めてこれが成立することになりますし、簡単な道ではないということです。ただ、政府はこういうものが重要であることは強く認識して、報告書にも書かれることになっていますから、そういう意味で、何とか原子力をもう少しうまく利用するためのスタートラインには少なくとも立てることになるかと思います。これが取りあえずエネルギー政策についての話で「原子力は重要なベース電源である」と、この1つの言葉に代表されるかと思っています。

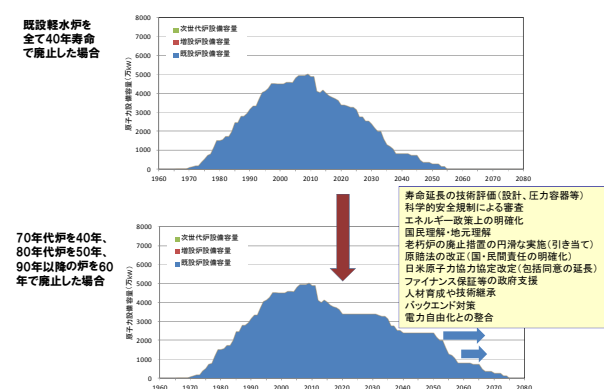


図-2 原子力発電所の今後（寿命延長・リプレース）

4. 国民は原子力の「閉じ込め性」を疑っている

いろいろな市民の方と原子力についてディスカッションしたり、彼らの発言を聞いたりすると、国民は原子力の閉じ込め性というものに対して不信を持っているということかと思っています。そもそも、組織も信用しないし、政府も信用できないし、私みたいな技術者も信用できないとなっているわけです。工学的には完全な閉じ込め系で成立するはずの原子力

が、その閉じ込め性が破壊された事故を目の当たりにして、「閉じ込めて大事にちゃんとやっていけます。地層処分もそうです。原子炉もそうです」と言い続けたことに対して、「原子力は閉じ込められない」ものとして多くの市民や海外も見ているのです。こともあろうに、福島第一原子力発電所の汚染水問題がまたこの問題に火をつけて、皆が「原子力は垂れ流しだ」と思い始めているわけです。何が信用されていないかというと、この閉じ込め性であると、私はそこに基本があるように思っています。だけど原子力は閉じ込めを守るのが「1丁目1番地」の話です。さて、原子力反対の人の意見を聞くと、その理由は3つに代表されます。「原子力は安全面が怖い」、「バックエンドが決まっていけないのにやってはいけない」、「福島の反省がないのに再開は許さない」、この3つなのです。安全性については、まさに安全神話の破綻から来ています。2つ目がその閉じ込め性を疑っています。福島の事故については、責任がどうなっているかを問うているということです。だから基本政策として原子力の再開はもちろん進めていくべきですが、この3つに答えていかないと、究極の原子力理解には絶対至らないということなのではないでしょうか。

我々技術者は「バックエンドは地層処分できちんとやれる。再処理をやったほうが得だ」と思っているのですが、実は、国民はまったくそう見ていないのです。トイレなきマンションだと根強く思っていて、「これがないから原子力は駄目だ」というネガティブフィードバックで原子力を否定している見方がすごく多いです。だから私のようにエネルギー安全保障で原子力は大事だという推進意見を言う人間もいれば、バックエンドがないから原子力は駄目だという人や、原子力は安全が怖いから駄目だという人もいて、2対1で負けているわけです。

この問題は、「国民が理解してくれない、何で分からないんだ」という話より、もっと深刻で相当大きいということです。バックエンドの問題が、安全保障より先の議論になってしまっているのです。だから我々の印象と違いますよね。私たちは「完全な閉じ込め性をここで確保するから安全保障のメリットを買いんだ」と言っているのですが、その根本が疑われているということです。これは、やはり非常に大きな問題です。

5. 核燃料サイクル選択肢の審議（平成24年）

核燃料サイクルシナリオとしては、去年、原子力委員会の小委員会でシナリオを議論しました。そのときは3つのシナリオが提言されました。

1つ目で一番簡単なのが、六ヶ所再処理工場をやめてすべて中間貯蔵して直接処分に回せという“直接処分シナリオ”です。

2つ目が、今まで言っていた“全量再処理シナリオ”で、六ヶ所再処理工場を動かしてプルサーマルをやり、余った分は中間貯蔵しておいて、将来全部高速炉に回していく、地層処分するのはすべてガラス固化体である、つまり使用済燃料の地層処分はないという考え方です。

3つ目がこの“併存シナリオ”で、六ヶ所再処理工場は動かしてプルサーマルをやる、しかし使用済MOX燃料と余剰にためておいた中間貯蔵の使用済ウラン燃料は、直接処分に回すか高速炉に回すか環境条件を見て将来的に判断しようというものです。結論では、原子力委員会の小委員会ではこの併存シナリオを推奨することになりました。

ただ、その後、小委員会が頓挫しましたので、このレポートは宙に浮いた状態になっておりますが、おそらくこの結論は少なからず尊重されることになると思っています。

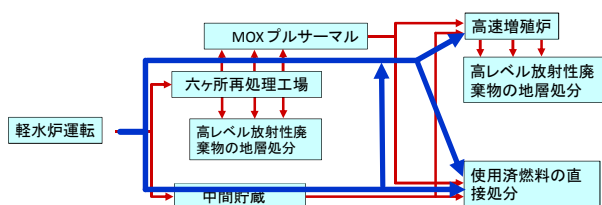


図-3 核燃料サイクル選択枝の審議 併存シナリオ (H24年原子力委員会)

6. 最も重要なバックエンドの物質収支評価（核物質マネジメント）

これを議論したときに私が強く思ったのは、物質をマネジメントするという核心部分の議論がほとんど行われていないことでした。再処理は危ないからやめるとか、直接処分のほうがいいのかどうか、当面貯めておけとかの議論が先に立って、本来、バックエンドとして放射性物質とか核燃料物質とかが出てくるのをどのようにマネージするかという、物質マネジメント戦略の議論なのに、その定量的議論をまったくやっていないわけです。おかしな話で、結局、原子力をどう利用していくかと時間軸に沿っ

て何がどこにどれくらいあるかという展望が見えません。

六ヶ所再処理工場は年800トンで動かしますが、今のガラス溶融炉の設計を考えると800トンフルで処理はなかなか難しいのは常識的に分かります。やや低い規模の運転が必要です。そう考えると、ノミナル（公称）の値だけで議論しているというのはほとんど無意味なところがあります。

それはプルトニウムのバランスについてもいえます。今、海外に35トン、国内に10トンのプルトニウムを貯めているのですが、それをどうしていくかという非常に喫緊の問題があります。最終的にはそのエンドステート、つまり、このシナリオで行ったら最後の状況はどうなるんだということ、先ほどの高速炉で使って最後はガラス固化体に持ち込めるのか、直接処分が一部入ってくるのかということはものすごく大きな問題です。保障措置とか放射性核種の蓄積はすごく大きな話になってくるということです。

7. 核燃料サイクルの量的な簡易試算

表-1は、原子炉の運転期間、六ヶ所再処理工場の処理量と稼働終了年をパラメータとした核燃料サイクルの量的な簡易試算の結果です。

図-4は40年で原子力発電所を廃炉し、六ヶ所再処理工場は稼働しない条件（40年-1）です。設備規模が4,900万kWから無くなっていき、使用済燃料の累積量はこういうカーブで増えていくわけです。過去に2万4,000トン出していますが、原子力が終わるときに約4万トン超の使用済燃料が貯まっています。青いところは運転で出てくるもので赤いところが廃炉で出てくるものです。ただ、今まで海外委託7,000トン、東海再処理工場で1,000トンが再処理されています。要は累積4万トンのうちの8,000トンが処理されている。そうするとこの差の分は全部使用済燃料で貯蔵されますから、最終的には3万2,000トンぐらいの使用済燃料を貯めた状態で終わるというわけです。赤い線が、回収されるプルトニウム（現在45トン）の貯蔵量で、ほどよくプルサーマルに供給すれば0にできるということです。このシナリオでは、六ヶ所再処理工場が使われないはものすごくもったい

表-1 核燃料サイクルの量的な簡易試算

条件設定	40年-1	40年-2	40年-3	40年-4	延長-1	延長-2	延長-3
原子炉の運転期間（年）	40	40	40	40	40-60	40-60	40-60
六ヶ所工場稼働年間処理量（t/y）	稼働無し	400	800	800	稼働無し	400	800
六ヶ所工場稼働終了年	2014	2040	2040	2052	2014	2052	2052
六ヶ所での累積再処理量（t）	440	11,040	21,040	30,640	440	15,840	30,440
使用済燃料貯蔵量（中間貯蔵）（t）	33,982	23,382	13,382	3,782	42,249	26,849	12,249
最終プルトニウム貯蔵量（t）	0	0	0	26.3	0	0	0

ないし、使用済燃料を貯めまくったまま終わることになります。当然、六ヶ所工場を動かさないということは将来再処理するオプションはもう無いということですし、これは直接処分するしかないだろうという雰囲気を持ちます。

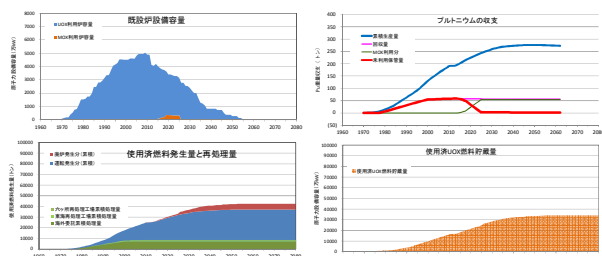


図-4 核燃料サイクルの量的な簡易試算 40年-1
(原子炉寿命：一律40年を仮定)

(左上：既設炉設備容量、左下：使用済燃料発生量と再処理量、右上：プルトニウムの収支、右下：使用済UOX燃料貯蔵量)

もし六ヶ所再処理工場を年間400トンぐらいまで動かしてみたらどうなるかが図-5 (40年-2) です。設備規模は同じカーブで累積量も同じです。再処理量だけが1万数千トン増えます。当然使用済燃料としての蓄積量は減っているわけで2万トンちょっとになり、むつ市のリサイクル燃料貯蔵株式会社でいえば4つぐらい貯めている感じになります。プルトニウムは多少回収量が増えます。累積でプルトニウムが300トン超生産されて原子力は終わることになりますが、そのうち50数トンが回収されてプルサーマル利用され、この一部が使用済MOX燃料として残った状態で終わることになります。

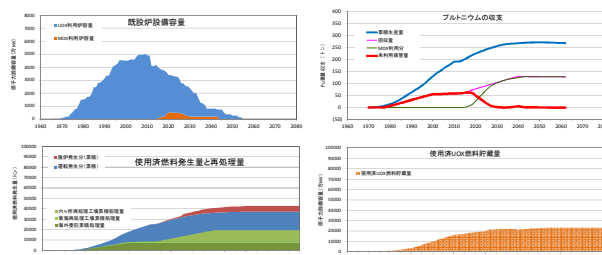


図-5 核燃料サイクルの量的な簡易試算 40年-2
(原子炉寿命：一律40年を仮定)

それから、図-6は原子力発電所の運転延長のケースで、これは最長60年まで寿命を延ばすものです。最終的に累積で5万トンの使用済燃料が出ます。もし六ヶ所再処理工場を動かさなければ(延長-1)4万2,000トンぐらいの使用済燃料を貯めて終わることになります。この場合、六ヶ所再処理工場で処理し

たのは、アクティブ試験で処理した440トンだけとなります。プルトニウムについては、現在貯まっている45トンをつまみ食いすれば終わる話になります。

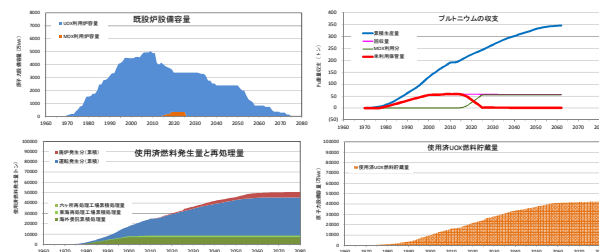


図-6 核燃料サイクルの量的な簡易試算 延長-1
(原子炉寿命：段階的延長を仮定)

もっと積極的に、六ヶ所再処理工場を年に800トンで動かすケースも考えられます。溶融炉の次号機の開発ももう終わっていますから、それで並列運転をやれば物理的には800トンできます。それを40年やると3万2,000トン処理できるので、その場合には、中間貯蔵される使用済燃料量は1万トンで済みます。それでも1万トンが燃料として残るわけです。プルサーマルはかなり規模が大きくなりまして、MOX装荷の原子炉が増えることになりますが、最終的には回収したプルトニウムは燃やしきっている状態で終わるというシナリオになります。

どれがいいかと言われても困るわけです。原子力発電の規模がどうなっていくか、そのエンドステートをどうするか、中間貯蔵施設何トンまで本当に立地できるか、六ヶ所再処理工場がどれぐらい動けるか、あらゆるファクターが絡んでいるのです。連立方程式が解けないとこの解は出てこないで、今のところ併存シナリオでいこうかという話になるわけです。当面、六ヶ所を動かして様子を見ながら一部は中間貯蔵し、プルサーマルが地元了解で可能なところにプルトニウムをフィードしていくことになります。当然、海外備蓄している35トンのプルトニウムの消費が先に来ます。それをこなしながら六ヶ所再処理工場を動かすと、六ヶ所の運転は最初は多少緩くなるはずですが、そういう合理的なシナリオをまずやっていって、環境条件を見ながら将来を考えることが大事だろうし、その将来の選択肢を狭めないためにも高速炉の開発の意義があります。もんじゅの開発、それから実用高速炉の開発、場合によっては分離核変換のような放射性物質マネジメントの高度化開発、それらもしっかりと並行してやって行く路線が、おそらく一番信頼できる路線になるのではないかと思います。

一挙に全部直接処分に切り替えて高速炉をやめるとしたら、それなりに大変なシナリオが待っています。私は、寿命延長は不可避だと考えていますし、

たぶんリプレースも不可避です。全部直接処分だという前に、そういう定量的な議論が大事だということなのに、十分にはやられていないということです。

8. 核分裂生成核種の累積量の推測

先ほどの40年寿命で原子炉を止める場合の核分裂生成物量(FP)を簡単に試算してみました。この図は1年の発電電力量で表しています。発電所をゆっくりと再開して40年寿命で減っていった、どれぐらいのFP(放射能)が貯まるかを簡易計算してみると図-7のような感じになります。青い×印がセシウム137です。2010年で、この計算によりますと7万ペタ(10^{15})ベクレルぐらい国内に作ったことになります。少ないような気もするのですが、福島原発で出たのがだいたい10ペタベクレルぐらいです。この計算は粗いもので、一桁ぐらい誤差はあると思ってください。主旨は経時変化のトレンドです。供給量(生産量)が減ると放射性壊変による減衰の量が多くなり、最後は減っていきます。だから、期間を限定した原子力発電シナリオでは、累積蓄積量が増えて最後には減っていくというカーブを描くわけです。半減期が短いセリウム144等は、運転が止まっているところでは直ぐに落ちていきます。こういうケースだとストロンチウム90はゆっくりと変化していった、原子力がなくなったら後は自分の半減期で減っていくというパターンになっています。このような期間限定の原子力シナリオでは、限定的に放射能が生産され、半減期の短いものはほどほどに減っていくことになります。ただし、半減期の長いものについては、原子力の寿命を延ばすとフラットな部分が出てきます。ある程度の原子力規模において、生産量と放射化学的減衰量が釣り合う時期が存在するわけです。一定の期間において一定量で推移して、原子力がなくなったら最後は放射性の壊変で減っていくというカーブになります。

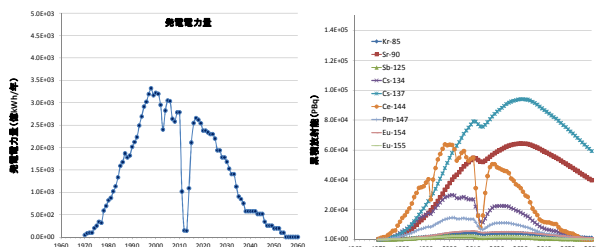


図-7 核分裂生成核種の累積量の推移
(原子炉一律40年廃炉)

もしリプレースをやって軽水炉発電をずっと将来延長していくと、当然、供給量のほうが減衰よりも多くなり、増えていった遠い将来で最後に水平になるわけで、平衡量に到達するのはかなり先になります。この場合にはたくさんのインベントリを持つ

時代が長く続くということを意味しています。このインベントリをどこに置くかという議論になりまして、地層処分として、地下に隔離しておくのが一番いいのではないかというのが、当初から我々の考えてきたところです。ところが、国民はさっきの閉じ込め性に疑問を持っていますから、地層処分すら危ないだろうと思っています。では、原子力を長く続けるという判断を誰かがしたときに、このインベントリは地表上にずっと増えて蓄えていくことになって全然減らないことになるわけです。そうすると矛盾するわけで、原子力を長く使うには、単純増加で増える放射性物資をどこかに安定に長きに置いておく場所が必要だということになります。本来それは地層処分であり、それが一番リスクは低いと考えるわけですが、なかなかそう皆さん考えてくれない。これが実情です。

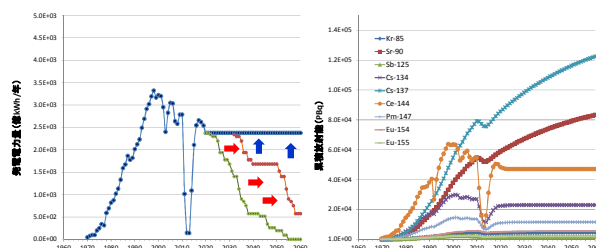


図-8 核分裂生成核種の累積量の推測
(原子炉寿命延長+2032年より新設)

9. 福島第一原子力発電所の廃炉

福島第一の廃炉の話をしていただきます。1号機は飛散を防ぐためにカバーをかけています。このカバーは近々取っていくことになると思います。2号機は水素爆発していないので建物は健全ですが、中は一番汚れています。特にオペレーションフロアは悲惨な状態です。したがってほとんど中に入れていない状態にあります。これが一番手ごわいと思います。3号機は水素爆発しましたが、ここは遠隔のクレーン操作でオペレーションフロアは全部クリアになっています。今は、ほぼフラットになっていると思ってください。今後、使用済燃料取り出しのための燃料交換装置をここに入れていくという検討に入っていくことになります。4号機は水素爆発しましたが、原子炉には燃料がないので使用済燃料を早く取り出すということで、既に燃料取り出し用のカバーをつけて、新燃料から始めましたが、使用済燃料の取り出し作業が進められている状態にあります。

大事なことは、1~3号機で、格納容器に穴が空いていて水が漏れているという問題です。ご承知のように、この漏れが汚染水としてタービン建屋経由で出ていったさまざまな問題を生んでいるということですが、この漏れの状況が今よく分かっていません。

ただ内部としては圧力容器の底部がだいたい30℃から40℃、それから格納容器の内部が30℃から40℃ということですので、発熱密度としてはものすごく低くなっています。使用済燃料のプールはしっかり冷やされていて30℃ぐらいということです。使用済燃料の取り出しは11月に開始できたので中長期ロードマップ的に言うと、この第1期の2年以内に使用済燃料の取り出しを始めるのは達成できたことになります。

今、第2期に入ったと考えていいということです。第2期はこの燃料デブリの取り出しを開始するための時間です。10年以内に、可能ならば7年で始めようと、こういうロードマップになっているのですが、1号機の場合には、燃料のほぼ100%、ほとんどこのペDESTALに落ちていて、コンクリートと反応して止められていると考えられています。それから2号機の場合には、6対4とか5対5とか、それぐらいの割合で、燃料デブリが圧力容器と格納容器の底に落ちています。3号機の場合には計算によればかなり格納容器の下に落ちている可能性があります。海水注入が遅れたことを考慮すると結構、格納容器の底に落ちている可能性があります。結局、本来、圧力容器から取り出したいのに、かなりの部分が格納容器に落ちているのが現実です。

2号機のCRDのガイドレールのところから中をのぞいてペDESTALの所を観察しようとしたのですが、まだ状況はよく分かっていません。あくまで今、分かっているのは過酷事故のシミュレーションコードによってどういうことが起こったかを推定をするところにとどまっています。それから健全な燃料がどれぐらい残っているかがよく分かっていないし、落ちているものの物性がよく分からないということで、ないない尽くしです。

今、とりあえず格納容器を水で満たして燃料デブリを取り出すことを基本的に考えております。この冠水法と呼ぶリファレンスシナリオでは、まず、水が漏れている箇所を止水して格納容器の水漏れを止められれば中に水を満たして、上から長い腕の燃料ハンドリング装置で一番下までアクセスして取り出す、これが基本シナリオになっています。

先日、1号機でどこから水漏れが起こっているかを船型ロボットを中に入れて観測することができました。格納容器とコンクリートのすき間にあるサンドクッションにできるドレン水を抜くためのドレン水ラインから漏れていることが分かりました。格納容器の本体のどこかで漏れていることを意味しています。今までグラウト注入を考えていたのですが、止水がより難しくなるという恐れが出てきました。止水しても水圧がかかりますから今度は耐震性が大丈夫かとか、オペレーションの途中で止水箇所が破れてまた水が漏れたらどうなるのだとか、さまざまな

リスクが考えられるわけです。そこで我々はこの方法に代わるような方法も考えようということで、その検討を既に始めています。

12月から、燃料取出しの代替工法のアイデアの国際公募を始めます。例えば、気中取り出しと呼んでいます、水を張らないで空気中で取り出すとか、あるいは部分的に水を入れて取り出すとか、いろいろなアイデアが出ると期待しています。そういうチャレンジが続いているということです。

何よりも大事なのは廃炉の考え方です。もともと我が国には原子力運用上の問題やハード上も深層防護の弱さがあり、そこに、自然災害というトリガーで事故が起こったと思います。現状の福島第一原子力発電所は、まがりなりにも現在の循環冷却で安定状態にありますが、相対的にリスクの高い状態で準安定に維持されています。安定はしているが、相対的に脆弱な状態にあるのは間違いありません。最終的には廃止措置をやって施設の修復と安定化・リスクの除去をやって最後には完全にクリアな長期安定化に持ち込む、ある意味では国土の修復に持ち込むことです。その思いは被災者に帰還していただく、国際的原子力安全に貢献する、原子力への理解を回復するということです。だから果たさなければならぬ取組ですが、さて、どうリスクに対処していこうかという戦略が問われるということです。

率直に、デブリ取り出しを急いで早くハザードを取り出せばいいだろうという思いはあります。だけどそれを急ぐがあまり、その過程で大きな事故が起こったらまた大きな問題が起こります。また、あまり早く取りすぎたために、終末エンドステートに持ち込む方策とマッチしないケースが出てくるかもしれません。変な取り出し方をしたら現実的に処分できないじゃないかということがあり得るわけです。こう考えると、今一番求められているのはこのリスク戦略の最適化です。短期的リスクをどう抑えながら、最終的なエンドステートにうまく整合させるために途中でのリスク顕在化を抑えるような一番安くてうまい方法は何かということが問われています。

10. 地層処分の審議において出されている懸念

地層処分に関する様々な審議で出されている懸念については、皆さん既にご承知のとおりです。

結局、国民との対話の話、リスクコミュニケーションの話、それから科学的な不確定性の話、地方自治体が立候補するときの大変な負荷の話、そのような多くの懸念が示されています。このため、地層処分問題が非常に大きな問題として、今、審議されているところです。こういう改善の提案が放射性廃棄物ワーキング等でも出されていると伺っております。皆さんの努力によって、地層処分事業の制度としては、改良されていくと思うのですが、大事なことは

「地下への閉じ込めとは何か」という地球科学的なところが共有されることだと思います。

11. 地球資源の利用の形態

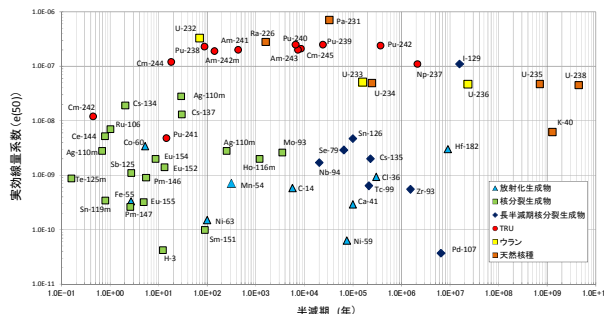
いつも思うのですが、化石資源を大量に使うことを、トイレのないマンションだという人は誰もいません。本来は、これこそが“最大のトイレのないマンション”です。古生代の石炭紀ですか、10億年とか20億年前の二酸化炭素を生物活動が固定化して石炭や石油になっていったという長い歴史に逆行して、急激にCO₂を大気に放出して、過去の地球に戻そうということをやっています。本来閉じるべき原子力は、「地球にあるウランを持ってきて閉じた系で使って地球に戻すという地層処分」この閉ループで利用します。本来これを我々は目指しているのですが、これが閉ループじゃないとみんな思っているわけです。逆に、化石資源の利用については、全然気にしないでワンスルーでやっているということです。鉱物資源の利用でも、掘って行って環境中にばらまいているケースもあるということで、これもあまりよろしくない話です。だから、原子力はこういう閉システムを目指しているんだということを国民に理解していただくを得ないということです。それを汚染水問題とか福島原発とかいう問題で、あたかも原子力が“垂れ流し系”だと捉えられてしまっています。

大学の教壇に立っている立場から言うと、地学を高校で教えていないことの問題がすごくあり、ジオロジー（地質学）がどこかに行っちゃっていると感じます。これは全部ジオロジーなのです。原子力はもちろんジオロジーですよ。石ころからエネルギーを取って石ころに戻すと、石ころじゃなくてガラスですけど、というこのサイエンスをなかなかみんなが理解できないことになっている。

12. 人工放射性核種の位置づけを考える

宇宙学の話になりますが、地球上には天然放射性核種—カリウム40、ウラン238、235、234、プロトアクチニウム231、ラジウム226など—という半減期が長いものや摂取毒性が高いものがあります。これは地球46億年の歴史のなれの果てというか、超新星爆発の後の残留核種です。我々は地中にあるこういった宇宙活動の残存物質のウランを核分裂させて、そのときにTRU(超ウラン元素)物質を作り出しています。半減期はウランよりも短い、毒性レベルはラジウムやプロトアクチニウムレベルということになります。核分裂生成物は比較的毒性が低くて半減期が短いのですが、半減期が長くて毒性の低い核分裂生成物とか放射化生成物は幾つかあります。図-9は自然界の放射性核種も人工放射性核種も全部一様にこの実効線量係数と半減期でプロットした地図ですが、

この中で私たちが、人工的に何を作ったそれを、自然界と対比してどうマネージするかということが問われます。



未知性の因子と恐ろしさ因子であると言われていま
す。例えばエレベーターの事故とかアルコールとか
などはあまり怖いと思われていないですね。原子力
の事故とか放射性廃棄物とかは、恐ろしさでも未知
性でも、つまり得体の知れないものという意味でも
かなりトップクラスにあるというわけです。私は遺
伝子操作だって怖いと思いますから、遺伝子工学が
未知性レベルで高いのは分かるけども、恐ろしさ因
子については圧倒的に放射性廃棄物のほうが高いよ
うです。我々原子力屋から見ると、遺伝子のほうが怖
いですよね。社会認知ではいかに専門家と市民感覚
が違っているかを示しているわけです。だから、市
民がこのように考えられていることをよく知った上
で、原子力の廃棄物の問題は市民に対して向かって
いかなければならないということでしょう。「怖く
ないですよ」と言っても「やっぱり怖い」と思ってい
るわけで、そこを解きほぐす我々の姿勢や取組が重
要なのでしょう。本当に本質的な問題です。

13. 放射性廃棄物処分の実施主体

我々に大事なこととして、先ほど言ったオールジ
ャパンとしての放射性物質のマネージをどうするか
という点について、もう少し連携した大きな取組
が必要です。我が国では、放射線障害防止法や原
子力規制法と規制の法律が複数あり、扱う役所は文
科省、経産省、厚労省と色々あり、実施主体もNUMO
やJAEAがあり、なにかと仕組みが分散しています。
廃棄物を発生した事業者が責任を取るというのは基
本中の基本なので実施主体の複数化はやむを得ない
のですが、国として全体の安全を見る上では、最後
の廃棄物はどう見ても同じ核種ですし、先ほどの自
然界との比較を考えると、やっぱりこれは合理的に
統合的にマネージするのがいいはずで。管理がし
易くなり、責任所在がはっきりし、国の責任主体が
はっきりし、良い話になるはずなのです。だからこ
の原子力、バックエンドについては私どもの廃炉も
そうですけども、もう少し連携してやっていく体系
ができないかということを常に思っています。

14. 廃止措置に向けての見解

この廃炉・汚染水問題について海外がどう見てい
るか申しますと、「リスク戦略が見えない」、「リスク
低減策の優先度付けが見えていない」、「誰がリスク
戦略をマネージ、統治しているかが見えない」、「指
揮命令系統が見えない」、「誰が責任を負っているか

が見えない」、「海外のオファーに対して閉鎖的」と
かなり手厳しい。要は「誰がどう責任を取ってどう
コントロールしているのかさっぱり分からない国だ
ぞ、日本は・・・」と言われていたわけです。これは
国益を損じていますね。もっと一本化した取組体制
の統合をやるべきで、明確なリスク戦略に沿ったリ
スク低減策を具体化して、しっかりとした統治の下
で適時性の高い取り組みが必要です。収束に向けた
オペレーションの責任と、国民安全確保の責任所在
を明確にして、責任者に対して必要なリソースを確
保する必要があります。これに尽きるとは思いますが、
今回の汚染水問題では、この状況に至っていなかった
ということです。だから海外の人が「誰の責任だ」
と言ったら、政府は「一義的に東電だ」と言え、
その東電は野戦病院状態で政府の委員会のガバナ
ンス下で苦闘している状況で、どうしても体制が分
かりにくい。海外から見たら、あちこち抜けているじ
ゃないか、という話になります。そこをやっぱりみ
んなで一緒に考えていける体系に何とか持っていけ
ないかと思うし、その際には、政府の仕組みとか今
のNUMOとか、それから原環センターとか、そのあ
たりがもうちょっと連携していくことが必要だろう
と思います。政府内で統合というのはかなり難しい
らしいですが、連携はできますよね。それには、法
律を少し変えたり新しく作ればできる話だから、何
とかそういうことをやって、もう少ししっかりした
バックエンドの体制に持ち込めないかと常に思っ
ているわけです。

廃止措置のことは省略しますが、最終的にはやる
ことは共通で「リスクを最少化する」ということで
す。閉じ込め戦略です。コストを最少化すること
です。ハザード生産はなるべく最少化すること
です。技術デシジョンを最適化していくことは特に
大事です。目標は同じで、あとはみんな違う土俵か
ら同じことに向かっているということです。

ここに書いているように先ほどの責任とかガバ
ナンスとリスクコミュニケーション、こういうことを
もう少し強くしていく体制が望まれると思ってい
るという、私のプライベートな思いをお伝えして、話
を終わりたいと思います。

(本稿は、平成25年12月6日に開催した平成25年度
原環センター研究発表会での特別講演内容を再構成
して作成しました。)

編集発行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号 (パシフィックマークス月島8階)

TEL 03-3534-4511 (代表) FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>