

日本原子力学会
「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会
2017年度～2021年度
—成果報告書—

2023年2月

目次

緒言	1
1. 委員会設立趣旨及び提言とその活かし方	2
2. 各分野の専門家による講演	4
3. 核燃料サイクルに係る諸量評価に基づく検討	12
4. 核燃料サイクルの成立性を定量的に精査・評価するための「論点」とその検討	21
5. シナリオプランニングを経た提言案の創生	23
6. 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言「一件一葉」(解説あり)	25
7. ワークショップ「社会のための燃料サイクルとは何か」における「ご意見」	35
結言	51
2017年度～2021年度 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会 名簿	52
資料 3-1 : 「上振れ/現状/下振れシナリオに対するマテリアルバランス評価」 (委員会資料、JAEA 西原)	53
資料 4-1 : 「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」抽出結果」 (委員会資料)	85
資料 4-2 : 「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」の分類」 (委員会資料)	87
資料 4-3 : 「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」 — 研究・開発関連項目のシナリオとの関係 — 」(委員会資料)	90
資料 5-1 : 「各論点からの 이슈ーの抽出」(委員会資料)	94
資料 5-2 : 「イシューのクラスタリング」(委員会資料)	97
資料 5-3 : 「クラスターのマッピング」(委員会資料)	102
資料 5-4 : 「提言案基本構造作成及びインプリケーション抽出」(委員会資料)	105

緒言

我が国の原子力発電はこれまで軽水炉利用が主軸に進められてきている。その使用済み燃料は日本原燃(株)六ヶ所再処理工場で再処理し、そこで得られるプルトニウムは軽水炉（プルサーマル）や将来の高速炉での利用が考えられている。また、再処理から生じる高レベル廃棄物は国内での地層処分が計画され、今候補地の選定途上にある。

一方、社会からは原子力利用に対する不安の要因の一つとして高レベル放射性廃棄物の処分が進まないことがある。今後の原子力利用では軽水炉燃料の高燃焼度化、プルトニウム利用や高速炉の導入などが考えられており、放射性廃棄物対策や核燃料サイクルの確立はより一層重要となる。またここではウラン、プルトニウムの管理だけでなく発熱量が大きく、放射線強度が強いマイナーアクチニド^{注1}が多量に発生するため使用済み燃料のマネージメントが大きな課題となり、国民の原子力利用に対する見方も一層厳しくなると考えられる。さらに高速炉の導入はウラン資源の有効利用にあることから炉の開発と同時にその資源をリサイクルする燃料サイクルの確立が不可欠である。

このため本研究専門委員会では今後の原子力利用シナリオを各専門分野の方々が幅広く討議し、考えられる将来のシナリオとして、暫時原子力利用を縮小していくシナリオ、軽水炉利用のみのシナリオ、軽水炉—プルトニウム利用高速炉利用シナリオ、プルトニウム+マイナーアクチニド利用高速炉シナリオなどを対象としてプルトニウム、マイナーアクチニド管理の面からの議論も行った。

一方、これまでの原子力開発では炉の開発が優先され、特に将来を見据えた核燃料サイクルの開発が二次的になっていたことは否めない。このため近年では同分野における大学、研究機関等での研究開発力が大幅に低下し人材も極めて乏しくなっている。同分野の研究力の向上、人材育成は喫緊の課題となっている。同時に研究開発力の低下の一因となっているものに我が国における関連技術を研究開発するための施設が整備もされていない。この整備の必要性についても議論を行った。

上記を踏まえ本研究専門委員会では今後の原子力利用においてはどのような核燃料サイクルが求められるか、その意思決定はどのようにされるべきか、その時の課題は何であるかを議論しその成果を報告書として取りまとめた。またこれまでの燃料サイクル開発を振りかえりその課題を抽出するとともに、今後必要となる技術的課題のみならずそれを推進していくために産官学の役割等も含めどのような仕組みや体制、人材育成が必要かについてもまとめた。

以上、本研究専門委員会ではこれまでのわが国における核燃料サイクル（高レベル廃棄物に関する課題も含む）を振り返り、将来ありうべき研究開発に対する提言を行っている。今後の同分野の進展を願うものであり、政策策定などの一助となれば幸いである。

注1) マイナーアクチニド (MA) : 超ウラン元素 (TRU) からプルトニウム (Pu) を除いたもので、ネプツニウム (Np), アメリシウム (Am), キュリウム (Cm) を総称する言葉。Am、Cm は崩壊して長半減期の Np に壊変する。

1. 委員会設立趣旨及び提言とその活かし方

原子力業界は、2000年代初頭の「原子カルネッサンス」、2011年の東日本大震災とともに生じた福島第一原子力発電所事故を経て、今後のエネルギー産業として、今まさに岐路に立っている。その背景には、当該事故を踏まえた原子力産業に対する(反省も含めた)総括が明確になされないまま、これまでと大きな変化がみられない原子力政策路線を推進することに対する社会受容が困難になっている状況がある。一方で、福島第一原子力発電所の廃炉に対する取組を第一優先で行っていく必要があることは、地域及び社会からの強い求めであるが、今後の核燃料サイクルはどのような路線に向かうのか、福島第一原子力発電所や通常炉の廃止措置から発生する放射性廃棄物の最終的な処理・処分はどのようにしていくか、などの検討を行うことが必要である。

「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会では、「核燃料サイクル」に関して、どのような観点に目を向け、どのようなシナリオを描けば、現代社会に適合する産業となっていく見通しが得られるのか、あるいは、得られないのか、産業界および大学、研究機関に属するメンバーの間で検討した。そして、まずは既定路線の「核燃料サイクル」ではなく、これを離れた新たな「燃料サイクル」を広く議論していくべき、という前提に行きついている。最終的には、「核燃料サイクルの成立性」に対する「提言」としてまとめ、社会に発信していくことを主な目的としている。

当委員会での議論においては、燃料物質の諸量に関しては定量的な評価のもとに検討(委員の現状把握)を進めてきた一方で、これまでの同種の委員会とは異なり、「立場を離れた個人の意見」を尊重することを念頭に置いた。そのため、議論の集約は困難を極め、結果として「議論含み」の提言としてまとめることとなった。このような経緯のため、当委員会で検討してきた内容が本当の「実社会」に開示され、活用される際には、「決めごと」の扱いではなく、「議論を継続していく事柄」として認識していただきたい。

この前提のもと、以下の手順で当委員会からの「核燃料サイクルの成立性に対する提言」を創出した。

- ① 各分野の専門家・事業者から講演聴講などにより最新情報を収集し、核燃料サイクルを取り巻くフロントエンド、燃料サイクルの候補シナリオ、再処理および高速炉開発における現状と課題を委員間で共有した。また、核燃料に関する諸量(ここでは、「ウラン必要量や使用済燃料蓄積量など」を意味する)に関しては定量的な検討を行い、これに関しても情報を共有した。
- ② ①で共有された状況に対して、どのような「論点」で検討していくべきか、「委員各個人として」の考えを抽出し、互いの「論点」の関係性に関して議論を重ねた。
- ③ ②の「論点」に基づきシナリオプランニングの手法を適用して、提言の骨格を得るとともに、もともとの「論点」との紐づけを改めて行いながら提言の文章化を進めた。
- ④ ③に対して、委員間の合意を得るための議論を重ねた。また、ワークショップを開催して、パネラー及び学会員の皆様の意見も可能な限り、提言に取り込んだ。そして、結果的に「議論含み」の提言とした。
- ⑤ この提言では議論含みではあるが、「原子力の役割に応じた新たな燃料サイクルおよびその政策決定の仕組みの必要性」、「その政策決定の根拠となる評価基準の必要性」等を示している。

このような流れを経て、「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会にて創生した「核燃料サイクルの成立性」に対する「提言」を以下に示す。（解説は後述）

【「核燃料サイクルの成立性」に対する「提言」】

1. 我が国として、原子力の役割に応じた新たな燃料サイクルおよびその政策決定の仕組みを構築しなければならない。
2. 政府は、その政策決定の根拠となる評価基準を明確にし、常に改良ないしは新しい技術の導入が可能なくみを構築すべきである。
3. 原子力に携わる我々産官学は、政策に基づき、開発から実用化まで一貫した体制と役割分担を確立し、そのための資源（施設、人材）を長期的に整備しなくてはならない。
4. 我が国は、人材育成および技術革新のために基礎基盤の研究開発能力を維持、成長させる必要がある。
5. これらの必要性は、2050年付近に原子力発電が必要とされている場合も、そうでない場合も存在する。

この提言を生かしていく詳細内容は、今後の後継の委員会活動等に委ねることを考えている。活動のポイントとしては、以下のようなものが考えられる。

- ✓ 学会員以外の方々との「核燃料サイクルの成立性」に対する「提言」の読み解き
- ✓ 学会員以外の方々とのこれまでの核燃料サイクル技術開発の失敗分析

このような活動で目指すことは、原子力関係者と学会員以外の方々が

- ✓ 現状把握をすること（現状、明確なビジョンがない、という相互認識）
- ✓ 燃料サイクルに関して、多くのオプションが存在すること
- ✓ これらの話題については、多くの議論が必要であること

を共通認識として共有することではないかと考えられる。

2. 各分野の専門家による講演

当該委員会（2017年4月～2022年3月）の活動中に、各分野の専門家から頂いた講演概要を示す。また、後半には当該委員会委員からの報告の概要も付した。

【講演概要】

第2回委員会（H29 9/4）

講演「直接処分に関する研究開発の現状」JAEA 牧野仁史氏

我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている一方で、福島第一原子力発電所の事故以降、直接処分に関する研究開発の必要性の議論が活発化を受け、「わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価-直接処分第1次取りまとめ-」が2015年12月に公開されている。(JAEA-Research 2015-016)

「直接処分第1次取りまとめ」では、直接処分を対象とした処分システムの地下施設（人工バリアおよび坑道）の設計フローや設計要件が整理されており、これらに基づいて、参照条件における坑道横置き方式に基づく地下施設の設計例が提示されている。さらに、使用済燃料を対象とした処分システムの設計に関する現状の技術レベルや使用済燃料特有の留意点、および今後検討すべき課題が抽出されている。また、設計された地下施設を対象に、基本シナリオにおける地質環境の長期的な変遷を考慮に入れたリスク論的な考え方に基づく予備的な安全評価が試行され、検討すべき安全評価上の課題も抽出されている。

引き続き、「直接処分第1次取りまとめ」における予備的な検討をより包括的なものとするための検討が進められている。

【提言に利用した内容】

使用済燃料の直接処分の可能性も含めた放射性廃棄物の処分ルート確保に向けた検討の必要性を指摘。（提言1.）

第4回委員会 (H30 2/21)

講演「ウラン2016:資源、生産、及び需要 (Uranium 2016: Resources, Production and Demand)」

IAEA 天本一平氏

●概要

1960年代半ば以降、IAEA^{注1)}とOECD NEA^{注2)}が加盟国の協力を得て報告しているもので、1992年以降ほぼ2年毎に発行されている。2016年度版は2015年1月1日時点での状況として、現在から2035年までの期間を対象としたウラン需給の包括的な評価結果を記載。2014年における世界のウラン生産量は55,975tで、世界の原子炉で必要とされるウラン量56,585tの約99%となるが、OECD諸国内においては、ウラン生産量は16,185tで必要量42,195tの約38%、不足分はOECD諸国外からの輸入や二次供給源(再処理や解体核^{注3)})からの供給で賄うこととなる。

今後の原子力発電容量の増減は不明瞭ではあるが、想定しうる世界のウラン必要量を満たすことは可能との評価。(世界の原子力発電容量が最も高くなる想定では、2035年までに全既知ウラン資源の40%弱が消費される計算) 市場へウランを滞りなく供給するため、安全かつ環境に配慮した形で責任ある設備と採掘開発の継続への配慮が必要としている。

●ウランの需要予測はどのようなデータを基にしているのか?

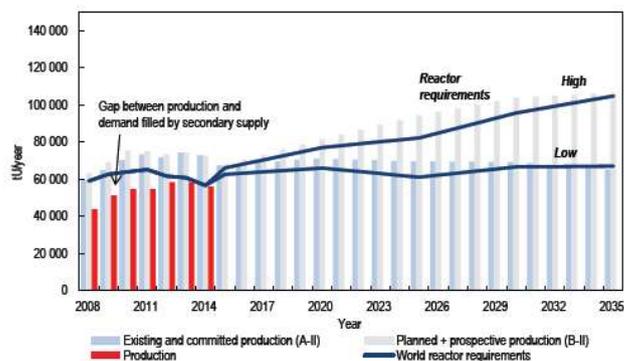
IAEA及びOECD NEAが各々の加盟国に質問状を送り、その回答で得られたデータを基にして、全世界的な需要予測の解析を実施している。各国毎の詳細なウラン資源、探鉱、生産活動及び関連するウラン政策に関する報告が、報告書に掲載されている。

●ウランの生産方法による市場状況への

フレキシビリティに違いがあるのか?

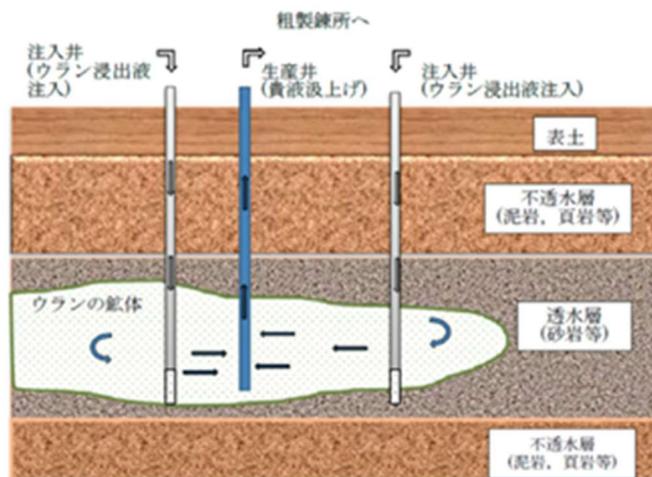
生産方法としては①坑内掘り、②露天掘り、③インシチュリーチング法^{注4)}などがあり、①及び②は採掘時間の設定で採掘量を容易に調整でき、③も浸出液を送り込む量を変えることで生産量の調整が可能である。但し、鉱山は採掘を止めてしまうと地下水で水没し使えなくなってしまうこともあり、主要な産出国は需要に関わらず一定量を産出している。

Figure 2.11. Projected world uranium production capability to 2035 compared with reactor requirements*



Source: Tables 1.26 and 2.4.

* Includes all existing, committed, planned and prospective production centres supported by reasonably assured resources and inferred resources recoverable at a cost of <USD 130/kgU. Does not include the secondary supply forecast.



インシチュリーチング法概略図

(日本原子力学会 再処理リサイクル部会 HP テキスト 2-2 より)

- 注1) 国際原子力機関 (IAEA : International Atomic Energy Agency)
注2) 経済協力開発機構／原子力機関 (OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development／NEA : Nuclear Energy Agency)
注3) 余剰の軍用プルトニウムから生産した核燃料
注4) 原位置浸出放 鉱床に井戸を掘削し、浸出液を注入してウランを溶出・回収する方法

【提言に利用した内容】

エネルギー安全保障の観点から、U資源の予期しない供給途絶や価格高騰の可能性を指摘。(提言2.)

第5回委員会 (H30 4/24)

講演「高速炉サイクル開発の状況—燃料サイクル技術を中心に—」 JAEA 前田誠一郎氏

高速炉サイクル開発の状況について、燃料サイクル技術を中心に、その状況を伝える報告であり、切り口は「高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT) の経緯」、「高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減に向けた研究開発の状況」、等であり、「国外でのナトリウム冷却高速炉 (SFR) の開発状況」を踏まえて、今後の高速炉開発への取組みについても説明されている。

FaCT は、1999 年から開始された実用化戦略調査研究(FS)では様々な炉型・燃料・冷却材等の組合せで最も経済性・安全性に優れた炉として、SFR(酸化物燃料使用)が選定されたことを基礎として進められた。FaCT のフェーズ I においては革新技術の採用可否などを行ったが、福島第一原子力発電所の事故が生じ、フェーズ II への移行が見送りされている。

エネルギー基本計画 (2014 年 4 月) を踏まえ、高速増殖炉/高速炉の安全性強化、廃棄物の減容化・有害度低減を目指した研究開発を推進する方針が打ち出されている (事実上、FaCT プロジェクトを補う方向性)。廃棄物減容化等のための高速炉サイクルの役割として、Np、Am 等のマイナーアクチニド (MA) を含めてリサイクルし、体系内に取り込むことで、高レベル放射性廃棄物の発熱量、潜在的放射性有害度を低減のうえ、軽水炉サイクルから生じる高次化 Pu も高速炉での核変換を提案している。そのほか、燃料の照射挙動及び物性に関する研究、被覆管材料としての酸化物分散強化型鋼に対する研究等を通じた要素技術の高度化に取り組んでいる。

原子力関係閣僚会議 (2016 年 12 月) での高速増殖原型炉「もんじゅ」は、廃止措置に移行することが決定されたが、「高速炉開発を含めた核燃料サイクルの推進」の基本方針を堅持し、「戦略ロードマップ」の策定による新たな開発工程を検討するに至っている。その際には、「高速炉開発 4 原則」として、国内資産の活用、世界最先端の知見吸収、コスト効率性の追求及び責任体制の確立を柱としている。

【提言に利用した内容】

- ・高速炉における研究開発が選択肢としてSFR(酸化物燃料使用)にウェイトをおいて行われてきた点
- ・高速炉開発の旗印の「もんじゅ」の廃止措置が決定した後も、これまでの振り返りが十分でないままに「高速炉開発を含めた核燃料サイクルの推進」の基本方針を堅持している点

第5回委員会 (H30 4/24)

講演「JAEAにおける高速炉サイクル開発の状況—再処理技術開発—」 JAEA 竹内正行講師

原子力機構が取り組んでいる高速炉サイクル開発に関して、2000年～2018年にわたる状況を全般的な話題と再処理技術の詳細について報告された。2000年ごろから原子力機構が取り組んできたプロジェクト「高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT)」はもともとそれ以前に取り組まれてきていた「実用化戦略調査研究 (FS)」を土台に「もんじゅ」における研究開発と並行して進められていた。FaCTにおける再処理技術の開発課題は、それぞれの工程ごとに抽出されており、例えば、U-Pu-Npの一括回収技術、高効率溶解技術、抽出クロマト法によるMA回収技術、等にそれぞれ大小の課題が示されている。2010年までのフェーズIの成果を取りまとめたが、翌年の福島第一原発事故後、その政府による評価を中断してしまうことになる(フェーズIIは見送り、研究開発の凍結)。2016年には「もんじゅ」の廃炉が決定する。こういった状況の中でも、高速炉燃料再処理における技術開発について「放射性廃棄物の減容化・有害度低減」を目標として低予算で継続している状況である。最近のトピックとしては東海拠点と大洗拠点の共同で進めているSmARTサイクルがあり、ここでは使用済燃料から回収されたMAを添加した燃料の照射試験を目指している。

現状では、高速炉サイクルにおける政策的な方針について、戦略ロードマップの検討を通じて、経産省や文科省、関係するメーカおよび電気事業者等と協力して進めている。また、福島原発事故以降、再処理関係の開発資源は厳しい状況に陥っており、上述の産学官の緊密な連携だけでなく、技術継承や人材育成に向けた取り組みが一層重要と認識している。

【提言に利用した内容】

- ・原子力の役割に応じた新たな燃料サイクルおよびその政策決定の仕組みを構築する上で、*自国技術の保有が必須であることを指摘。*
- ・評価基準に基づく適正な燃料サイクル政策を検討する際には、MA等のリサイクルを取り込んだ燃料サイクル技術の最終形との整合を踏まえる必要であることを指摘。
- ・原子力に携わる産官学が、政策に基づき、開発から実用化まで一貫した体制を確立し、そのための、*施設インフラと人材インフラを長期的に整備・維持する必要がある点を指摘。*

第6回委員会 (H30 7/6)

講演「2030年までの電力需要の見通し」 JXTG エネルギー株式会社・星野優子講師

2015年版の長期エネルギー需給見通しでは、電力需要についても大幅な省エネの実現が想定されており、経済成長と電力需要の関係は消失(デカップリング)したのかという問が立てられる。東日本大震災を契機に需要は大きく落ち込んだが、その背景には、節電などの行動変容の要因以外にも、電気料金の上昇や気温など様々な要因が複合した結果であり現時点では判断が難しい。

試みに、民生部門のエネルギー需要が全て電力で置き換わると想定した場合の電力需要を推計すると、電化のスピードと経済成長率が省エネのスピードと相殺することで、伸び率はゼロ近辺で推移することがわかる。

今後の長期の電力需要を見通すにあたって、大きな変化の要因になりうるものとして、産業・運輸部門での電力シフトのポテンシャルに加えて、IOT 機器、ロボットや自動化技術の普及があげられる。人口減少下であっても、経済がプラスの成長をする限り、労働力に代わる資本設備や IOT 機器は不可欠であると考えられることから、その動向には引き続き注視する必要がある。

【提言に利用した内容】

電力需要の見通しについての言及が必要。（現状案では直接言及はない。→提言1）

【委員による報告】

報告「核燃料サイクル開発を進める国の傾向」 村上委員(エネ研) (H29/9/4)

原子力の商業利用を行っている世界数か国のうち、使用済燃料を再処理して利用している国(フランス、ロシア等)及び直接処分政策を取る国(米国、英国等)をエネルギー需給や資源保有量等の様々なエネルギー指標から比較を試みた。結論としては、資源保有量と核燃料サイクル政策との間に有意な相関は見られない。日本の核燃料サイクル政策推進にあたり、資源論が唯一のアプローチかどうかは検討する必要がある。

報告「日本における再処理の需給見通し」 村上委員(エネ研) (H29/9/4)

六ヶ所再処理工場が定格操業を開始すると、日本において使用目的の不明確ないわゆる「余剰プルトニウム」の蓄積につながるのではないかという懸念がある。そこで、今後の日本の原子力発電量・使用済み燃料発生量・再処理工場の稼働稼働率及び発生するプルトニウム量・MOX燃料使用量などの各パラメータで分析を行った。原子力発電利用が低調となるケースで六ヶ所再処理工場のみが高稼働率で推移し、結果として余剰プルトニウムが発生する可能性は極めて低いと考えられるため、余剰プルトニウムに関する懸念は根拠に乏しい。

報告「“開発”のあり方 私見メモ～あらためて『何のために』か、考えてみた～」 村上委員(エネ研) (H29/9/4)

核燃料サイクル技術、とりわけ先進的再処理や放射性廃棄物量低減に資する技術をなぜ開発するかについては、資源の有効活用や廃棄物量低減といった直接的な効用の他、将来に選択肢を可能な限り多く保存する意義もあるのではないか。

報告「分離システムに関する各国の状況」 松村委員 (JAEA)

各国が進めてきた主として MA を分離対象とする群分離法について、その歴史的経緯と現在の状況について紹介された。分離の構想は 1970 年頃から存在し、当初はイオン交換樹脂を利用したカラムクロマト法によるアクチノイド分離が行なわれ、その後溶媒抽出法による分離プロセスの開発が進められた。抽出剤はリン酸系抽出剤の開発が進められたが、1988 年に CHON 原則が提唱され、それ以降はこれに合致する抽出剤の研究が進められている。日本では、1988 年のオメガ計画から本格的な研究が進められ、2000 年前後にはリン酸系抽出剤 DIDPA を用いた 4 群群分離プロセスを実廃液によって実証した。その後、CHON 原則に合致した DGA 系抽出剤及び窒素ドナー抽出剤の研究を進め、これらを利用した分離プロセスの実廃液試験を進めている。また、抽出剤を固体粒子に含浸させた抽出クロマトグラフ法による MA 分離プロセスの開発も進め、実廃液からの MA の分離を達成している。仏国は 2つの分離変換概念毎にそれぞれに適した分離プロセスを開発している。Pu と MA を一括してリサイクルする均質概念では、モノアミドによる U の回収後に Pu を含む TRU を混合物として回収する GANEX 法を開発した。また、Pu と MA を別にリサイクルする非均質概念では、欧州の

研究開発体制と連携し、再処理後に MA を回収する DIAMEX、SANEX、Am のみを回収する EXAm を開発した。それぞれについて実廃液による実証を行っている。仏国の分離プロセスは CHON 原則にこだわらずリン酸系抽出剤も利用して構成していることが日本と異なっている。米国では、1970 年代の TRUEX-TALSPEAK 法を改良し CHON 原則に合ったプロセスとして ALSEP 法の開発を進め、トレーサーを用いた模擬廃液によるフローシート試験を実施した。中国、ロシア、インドにおいても MA 分離の研究が進められており、抽出剤の基礎基盤的な研究成果が報告されている。

報告「加速器駆動型の核変換システムに関する開発国の状況について」 JAEA 西原健司氏

各国が行っている加速器駆動システム(ADS)の2017年当時の開発状況が以下のように紹介された。ベルギーでは、多目的利用のための ADS 実験炉の建設を目指し MYRRHA 計画が進行している。MYRRHA 計画の目的は、核廃棄物の核変換技術の開発、先進的な原子炉の開発、高速中性子照射施設、加速器に基づく科学コミュニティーへの貢献、Si 照射や RI 製造のための中性子照射施設などである。ベルギー政府からの資金により、加速器低エネルギー部分の建設に着手している。JAEA とも深い協力関係を持ち、共同研究を継続的に実施している。中国は、段階的に出力を上昇させる計画で、ADS 開発を精力的に実施中であり、超伝導大強度陽子加速器、ターゲット、鉛ビスマス技術などで目覚ましい進展がある。また、ウクライナは米国と協力して、ウラン燃料低濃縮化の活動の一環として、電子加速器を用いた中性子源供給用の ADS を建設している。

報告「原子力の現状-核燃料サイクル-」 井上主査、藤田幹事

福島第一原子力発電所事故を経ても、これまでの原子力政策の進め方に変化が見られないことに警鐘を鳴らすものである。現状の核燃料サイクルの課題として、①もんじゅの廃炉により高速炉利用に対する考慮が希薄となる、②六ヶ所再処理工場における工程遅延による存在感の希薄化・直接処分に対する正しい議論の乏しさ、③原子力をエネルギー源の一つとして考えたときに他のエネルギー源との取り合いなどの正しい議論の希薄さ、等を挙げている。また、これらを明確化して、正しい議論を社会で行うためには、以下のデータベース構築が必要であるとまとめている。

- ・フロントエンド（ウラン資源など、海水も含め）の現状と課題
- ・燃料サイクル（コスト、資源論その他）の候補シナリオと課題
- ・再処理（既存、先進的）の現状と課題
- ・高速炉の可能性と整理、現状と課題

報告「加速器駆動型の核変換システムに関する国内の状況について」 JAEA 西原健司氏

JAEA が実施している ADS の研究開発状況について説明された。ADS の開発項目として、炉物理、核データ、プラント、安全制御、鉛ビスマス熱流動・ターゲット、鉛ビスマス材料、および、加速器の 6 つがある。これらに対して、実用化に至るロードマップが作成されている。開発項目ごとの研究内容の紹介と、開発段階を進めるにあたっては、J-PARC で計画中の核変換実験施設が重要な役割を果たすことが示された。

報告「上振れ/現状/下振れシナリオに対するマテリアルバランス評価」JAEA 西原健司氏

本研究専門委員会において、将来の核燃料サイクルのために必要となる技術開発・人材育成を議論するために、将来シナリオを幅広く想定し諸量解析を行った。将来シナリオとして、最も利用が小さい場合、将来の新設・リプレースを想定せず、原子力発電の寿命に従ってフェーズアウトする。最も大きい場合、事故以前の計画に近い66GWeの容量に拡大する。また、現状維持の場合、国の計画値である33GWe程度を維持し続ける。NMBコードを用いた諸量解析では、軽水炉・高速炉の将来発電量、使用済み燃料再処理量等を設定し、ウラン消費量、使用済み燃料蓄積量、プルトニウム蓄積量、ガラス固化体発生量等を見積もった。

3. 核燃料サイクルに係る諸量評価に基づく検討（資料 3-1 参照）

3. 1 諸量評価

2011 年の福島第一原子力発電所事故を境に、国による原子力発電の将来利用計画は大きく下方修正された。事故以前 50GWe の発電容量を擁した我が国は、2020 年にはさらに 58GWe へ増大する計画^{注1)}を進めるとともに、ウラン資源の節約や放射性廃棄物の削減のために、使用済み燃料再処理、プルサーマル利用、高速増殖炉への移行することが標準的な将来予測とされていた。しかし、事故以降、直近の第六次エネルギー基本計画^{注2)}で核燃料再処理路線の堅持と最低限必要な原子力発電の維持は示されているものの、その規模は 30GWe 台に縮小されている。同計画では、2050 年以降の原子力発電に対して「原子力・CO₂回収前提の火力発電を約 30～40%とすることを、議論を深めていくための参考値としたが、・・・、2050 年に向けた道筋（シナリオ）を複数描くことの重要性は論を待たない。」と記載されており、特定の原子力利用比率を目標としていない。このような状況下で、本研究委員会において、今後の発電・核燃料サイクルについて幅広く討議し、どのような原子炉および核燃料サイクルの技術開発・人材育成が必要か検討するために、諸量評価を実施した^{注3)}。

将来シナリオとして、原子力発電の利用量を以下のように幅広く想定した。

A（上振れ）：最も利用量が多い場合、事故以前の計画に近い 66GWe の容量に拡大する。

B（現状）：現状維持の場合、国の計画値である 33GWe 程度を維持し続ける。

C（下振れ）：最も利用量が少ない場合、将来の新設・リプレースを想定せず、原子力発電の寿命に従ってフェーズアウトする。

図 3-1 に示すように、A～C のシナリオでは、それぞれ、将来のある時点で 66～0GWe の発電容量に収束する。シナリオ A および B では、2040 年代に大規模な増設・リプレースが必要となるが、実現しない場合を想定し、2040 年から緩やかに増設・リプレースがされるシナリオ（A ‘および B’）を追加した。また、C ‘として、今後原子力発電施設の 60 年延長が実施されない場合を追加した。

合計、6 つの原子力発電シナリオに対して、4 つ、ないし、3 つの核燃料サイクルの組み合わせが想定可能である。すなわち、再処理なし、軽水炉ウラン使用済み燃料再処理、高速炉移行、高速炉におけるマイナーアクチノイド(MA)リサイクルなどである（図 3-2）。原子力発電を継続するシナリオ A および B では、高速炉核燃料サイクルへの移行が想定できるが、撤退するシナリオ C では想定しない。また、シナリオ C で再処理を想定した理由としては、今後、六ヶ所再処理工場が稼働するが、軽水炉のリプレースが進まず、結果として原子力を撤退するといったシナリオが考えられるためである。それぞれの組み合わせに対して、発電容量、再処理量、天然ウラン需要、燃料貯蔵量、プルトニウム (Pu)・MA 蓄積量、ガラス固化体発生量などを評価した。

諸量評価の結果をもとに、本研究専門委員会では 2 つのワーキンググループ (WG) を編成して、各々、シナリオの特徴、課題などを検討した。その結果を 3.2 節および 3.3 節に述べる。

注1) 総合資源エネルギー調査会需給部会、2030 年のエネルギー需給展望(中間取りまとめ)、(2004)。

注2) 資源エネルギー庁、第六次エネルギー基本計画(令和 3 年 10 月)、(2021)。

注3) 諸量評価結果の詳細は、JAEA-Data/Code 2020-005

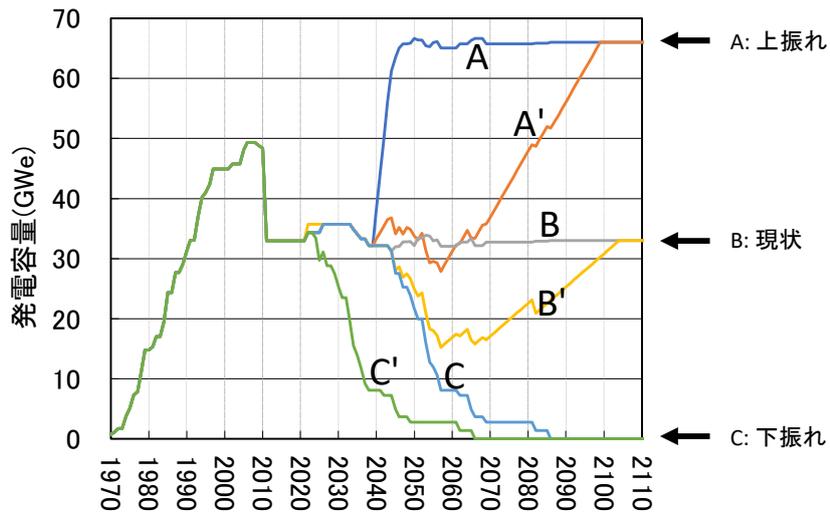


図 3-1 発電容量の推移

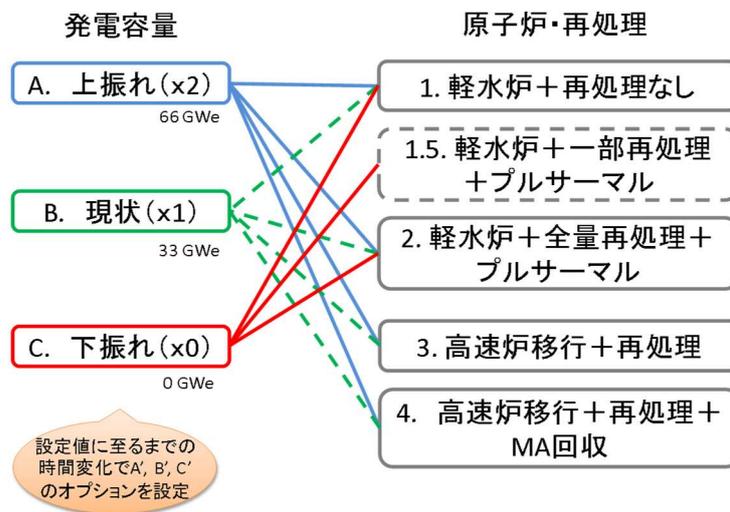


図 3-2 諸量評価シナリオの組み合わせ

3. 2 上振れ、現状シナリオに対する検討結果

上振れシナリオ

上振れシナリオにおいて、2050年以降66GWeの原子力発電容量を維持するケースA1～A4の、2100年時点における諸量解析の結果を表3-1に示す。上振れシナリオの場合、2100年までの天然ウラン需要量はリサイクルの有無によらず膨大となる。今世紀半ばから高速炉が導入されるA3およびA4ケースにおいても、2060年前後には34.7万t(=U₃O₈45.1万s.t)のウラン購入契約(契約ウラン)が終了することから、長期的なウラン資源の確保が必要となる。なお、A3およびA4ケースでは、2100年頃から高速炉の導入が本格化するため、その後の天然ウラン需要の増加は抑えられるのに対し、A1、A2ケースでは単調に増加を続ける。

使用済燃料の貯蔵量は、再処理を稼動することでワンススルーに比べ2100年時点で10-20%に低減できる。また、最大貯蔵量も大幅に低減され、高速炉を導入するA3、A4シナリオでは、2018年時点の管理容量(2.1万t)に対し、約5600t分の貯蔵設備を追加することで全使用済燃料を貯蔵することが可能となり、現在計画されている6000t程度^{注4)}の追加対策で対応可能となる。

高速炉が導入されるケースでは、2100年時点でおおよそ500tのプルトニウム(Pu)をリサイクル在庫として蓄積する必要がある。これは、2010年頃から始まる急激な高速炉の導入に備えるためであり、炉の導入ペースを平坦化することで抑制される傾向にある。ただし、A3またはA4ケースで評価されているように、2040年以降一定ペースで軽水炉や高速炉を導入する場合も、おおよそ100tのPuが蓄積する結果となっており、Pu蓄積量を減らすための工夫や回収Puの管理法の構築が必要と考えられる。また、高速炉燃料としてマイナーアクチニド(MA)をリサイクルする場合もおおよそ67tのMAは廃棄物に移行する。一方、ガラス固化体発生数は10.8万本からおおよそ15%低減される結果となった。

注4) 電気事業連合会「使用済燃料貯蔵対策の取組強化について」2018年11月20日

表 3-1 上振れシナリオ (A1~A4) における 2100 年時点の諸量解析結果

シナリオ	A1 軽水炉 ワンススルー	A2 プルサーマル導 入	A3 高速炉導入	A3 高速炉導入 MA リサイクル
天然ウラン需要量*	76.5 万 t	69.0 万 t	67.0 万 t	68.1 万 t
使用済燃料貯蔵量 最大貯蔵量 (時期)	9.52 万 t 単調増加	1.94 万 t 2.84 万 t (2063 年)	1.10 万 t 2.66 万 t (2063 年)	1.19 万 t 2.66 万 t (2063 年)
Pu 保有量	990t	735t	871t	906t
使用済 U 燃料	953t	153t	141t	152t
使用済 MOX 燃料	37t	541t	0t	0t
FBR サイクル リサイクル在庫			245t 485t	259t 494t
MA 量	226t	265t	229t	214t
使用済 U 燃料	211t	23t	21t	23t
使用済 MOX 燃料	9t	85t	0t	0t
FBR サイクル リサイクル在庫	0t 0t	0t 0.4t	10t 10t	40t 83t
廃棄物	6.2t	157t	189t	67t
ガラス固化体	0.55 万本	9.23 万本	11.0 万本	9.18 万本

* : 2014 年-2100 年の需要量

表 3-2 現状シナリオ (B1~B4) における 2100 年時点の諸量解析結果

シナリオ	B1 軽水炉 ワンススルー	B2 プルサーマル導 入	B3 高速炉導入	B3 高速炉導入 MA リサイク ル
天然ウラン需要量	45.5 万 t	39.5 万 t	37.7 万 t	37.7 万 t
使用済燃料貯蔵量 最大貯蔵量(時期)	6.84 万 t 単調増加	0.79 万 t 2.26 万 t (2025 年)	0.13 万 t 2.26 万 t (2025 年)	0.13 万 t 2.26 万 t (2025 年)
Pu 保有量	677t	474t	553t	565t
使用済 U 燃料	640t	18t	14t	14t
使用済 MOX 燃料	37t	407t	0t	1t
FBR サイクル リサイクル在庫	0t 0t	0t 48t	164t 375t	188t 362t
MA 量	159t	192t	167t	148t
使用済 U 燃料	144t	2t	2t	2t
使用済 MOX 燃料	9t	69t	0t	0t
FBR サイクル リサイクル在庫 廃棄物	0t 0t 6t	0t 1t 119t	6t 7t 153t	27t 52t 67t
ガラス固化体	0.55 万本	7.27 万本	8.85 万本	7.36 万本

* : 2014 年-2100 年の需要量

現状シナリオ

同様に、本研究専門委員会を設定した現状シナリオにおいて、2030 年以降およそ 33 GWe の原子力発電容量を維持するケース B1~B4 の 2100 年までの諸量解析の結果を表 3-2 に示す。上振れシナリオに比べ、天然ウラン需要量は 40%以上低減されるものの、2080 年頃 (B1 ケース) ~2090 年頃 (B2, B3, B4 ケース) までに購入契約済のウランが底をつく結果となった。

上振れシナリオ同様、再処理を稼動することで 2100 年時点における使用済燃料の貯蔵量は大幅に削減される。また、使用済燃料の最大貯蔵量も大幅に低減され、2018 年時点の管理容量 (約 2.1 万 t) に対し、約 2000t 分の貯蔵設備を追加することで全使用済燃料を貯蔵することが可能となる。ただし、高速炉が導入されない B2 シナリオでは使用済プルサーマル燃料が増加を続け、2090 年頃からは蓄積量の大半を使用済プルサーマル燃料が占めることに注意を払う必要がある。

その他、現状シナリオの場合、上振れシナリオに比べ原子力発電容量が抑えられることによって Pu や

MA の蓄積量、ガラス固化体の数はそれぞれ低減するが、各ケースによる変化の傾向は同様であり、原子力発電の利用が継続する両シナリオに、本質的な相違は見られないことが分かった。

上振れ・現状シナリオのまとめ

今後も原子力需要が長期に維持し続ける 2 通りのシナリオについて特徴を整理した。2030 年時点で 33 GWe の設備容量が整備されている条件を基準に、その後 66 GWe まで上振れするシナリオでは、使用済燃料のリサイクルによらず 2060 年前後までの天然ウラン需要量が契約済のウラン量を上回ることから、長期的なウラン資源の確保が必要といえる。また、上振れシナリオと現状シナリオともに、使用済燃料をリサイクルすることによって、その蓄積量を大幅に低減でき、現在計画されている使用済燃料貯蔵容量の追加対策で対応可能となることが明らかとなった。

その他、原子力発電容量が異なることによって、上振れシナリオと現状シナリオで、Pu や MA の蓄積量、ガラス固化体の数は変化するが、リサイクル導入の有無に関するケースごとの変化の傾向は同様であり、原子力発電の利用が継続する両シナリオにおいて、核燃料サイクルのために必要となる技術開発や人材育成の観点から本質的な相違は見られないことが分かった。

3. 3 下振れシナリオに対する検討結果

2011年の福島第一原子力発電所事故後、安全性の確認のために一旦全ての原子力発電所が停止し、その後新規制に適合することで安全性が確認された発電所から設置変更許可を受け、再稼働を果たしているものの、その数は限られている。また、国のエネルギー基本計画では、原子力発電を発電時にCO₂排出の無い、重要なベースロード電源として位置づけているが、多くの原子炉が40年の運転期間を迎え、高経年化対策や追加の安全対策への費用が電力会社の経営に大きな負担となっている。このような状況の下、本研究専門委員会では、将来、原子炉の再稼働や新設が進まず、原子力の発電容量が減少し、撤退する下振れシナリオ下で顕在化するであろう核燃料サイクル上の技術的、社会・制度的な課題の抽出を行った。

原子力発電は、他の発電方式、特に火力発電と比べて、使用済み燃料も含めた燃料の管理期間が長く、発電所の運転における燃料サイクルの重要性が高いことが特徴である。この点は、原子力発電の需要が減少する状況、あるいは、完全に需要が無くなり、発電が行われない状況においても、使用済み燃料や高レベル放射性廃棄物の管理、処分を含む多様な核燃料サイクル上の技術開発や施設の運転を長期間維持していく必要があるという点で重要である。

評価手法

下振れシナリオでは、まずシナリオ全体を廃止措置に入っている、あるいは、廃止措置を表明している原子炉を除く全ての原子炉が20年の運転期間の延長申請を行い、60年間の運転期間終了後、停止するとしたシナリオ（シナリオC）と、現在、運転期間の延長申請が認可されている炉のみ60年間の運転期間とするシナリオ（シナリオC'）に大別した。さらに、各シナリオにおいて、(1) 再処理無しシナリオ（ワンススルー、シナリオC-1、および、C'-1）、(2) 国内での軽水炉MOX燃料の利用によるPu消費量とバランスさせるように使用済み燃料の一部を再処理するシナリオ（シナリオC-1.5、および、C'-1.5）、(3) 使用済み燃料の全量を再処理するシナリオ（シナリオC-2、および、C'-2）を考え、それぞれ、ウラン需要や燃料貯蔵、Pu量、ガラス固化体本数などの諸量評価を行った。そのようにして得られた諸量評価結果を元に、各シナリオにおいて、主に、発生する使用済み燃料やガラス固化体、分離Puへの対策の点での核燃料サイクル上の技術的課題と社会・制度的な課題を抽出し、それらをまとめて、下振れシナリオ下で、核燃料サイクルに求められる技術開発・人材育成を議論した。

結果と考察

上振れ・現状維持シナリオと比較して、下振れシナリオの特徴は、使用済み燃料やガラス固化体の発生時期が明確に定まり、また、それらの発生量も限定されることが挙げられる。例えば、将来的な再処理を仮定しないシナリオC-1、C'-1では、全ての原子炉の運転が終わる2080年、あるいは、2060年に、それぞれ、48,000tHM、34,000tHMの軽水炉ウラン燃料由来の使用済み燃料が発生する（図3-3）。また、使用済み燃料の一部の再処理を仮定するシナリオ（C、C'-1.5）や全量再処理を仮定するシナリオ（C、C'-2）では、軽水炉ウラン燃料由来の使用済み燃料の一部がプルサーマル由来の使用済みMOX燃料に

置き換わる。なお、ここで、下振れシナリオでは、経済的、および、U資源上のメリットが小さいことから、使用済み MOX 燃料の再処理は想定しなかった。さらに、発生するガラス固化体の本数は、シナリオ C-1.5, 2 では、2080 年時点で、それぞれ、45,000 本、54,900 本となり、シナリオ C'-1.5, 2 では2060 年時点で、それぞれ、21,600 本、37,100 本となる。

このような各シナリオにおいて抽出された個別の課題を整理した結果を以下にまとめる。なお、シナリオ C 群と C'群では、運転期間を延長する原子炉の基数が異なることで、使用済み燃料やガラス固化体の発生時期と発生量が異なるのみであり、抽出される課題は共通であることから、ここでは、全基 20 年間の運転延長を行うとしたシナリオ C 群に対する検討の結果を以下に示す。

(A) 使用済み燃料の管理・処分

下振れシナリオでは、高速炉サイクルへの移行がないために、想定した3つのシナリオいずれの場合も、量の大小の違いはあるものの、使用済みウラン燃料、使用済み MOX 燃料、ガラス固化体の管理、処分が求められることになる。特に、使用済み燃料の直接処分は、我が国では技術的な成熟度がガラス固化体の地層処分と比べて遅れていることから、先行しているスウェーデン、フィンランドなどの例を参考に、処分概念の確立や安全評価手法のための技術開発を進める必要がある。また、処分場の立地、建設は数十年以上の長期間を要することから、再処理工場から返却分も含めた使用済み燃料の長期保管の場所、方法に加えて、社会的合意を原子炉自体の廃止措置との関係から検討する必要がある。

(B) 分離 Pu 対策

シナリオ C-2 では、限られたプルサーマル容量の中で、使用済み燃料の全量再処理を行うことから、余剰の分離 Pu が発生する。また、Pu の分離と消費をバランスさせるシナリオ C-1.5 でも、プルサーマル対応の発電所の計画外の停止等により、Pu 消費のバランスが崩れ、分離 Pu が発生することも想定される。そのような分離 Pu への対策として、将来的な Pu 専焼炉とそれに付随した燃料サイクルの導入、あるいは、保管や直接処分、さらには、海外への譲渡に向けた技術開発や制度設計が求められる。また、そのような分離 Pu 対策に対する保障措置、国際政治上の懸念や社会による受容も課題である。

(C) 再処理工場の高経年化対策

シナリオ C-2 では、全量再処理を行うために再処理工場を 60 年以上操業する必要があり、原子力プラントと化学プラントの両方の性質を有する再処理工場の高経年化の評価と対策、そして、社会の合意が求められる。

(D) 技術開発・人材維持

下振れシナリオでは、関連産業が縮小する中、さらには、完全に原子炉の運転がなくなった状況下で、使用済み燃料やガラス固化体の管理、処分のための技術開発、事業の推進、人材の維持が求められる。

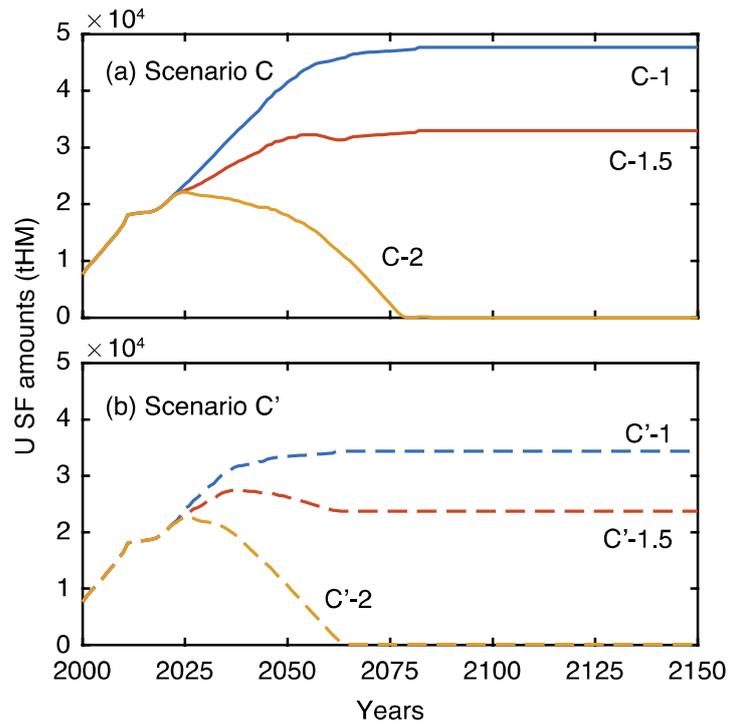


図 3-3 シナリオ C (a)、C' (b)における使用済みウラン燃料貯蔵量の推移

4. 核燃料サイクルの成立性を定量的に精査・評価するための「論点」とその検討

本委員会では、“現時点で核燃料サイクルが成立するシナリオとしてはどのようなオプションが考えられるか”、また、“核燃料サイクルが成立する必要条件は何か”を討議するとし、核燃料サイクルの既存のシナリオや路線に囚われることなく、目指すべき姿を見据えて幅広く検討するために、2章「各分野の専門家による講演」に記載したように現状のウランの埋蔵量やコスト、使用済燃料の発生量、処分のオプションや課題等についての知見を再確認した。これを踏まえ、委員会では核燃料サイクルのオプションを正しく提示することを目的に、各種の切り口で芽生えた課題意識を論点として抽出し、さらに掘り下げて議論を行うことで提言に結びつけることを目指した。本章では、抽出された論点の紹介と、その検討ステップ、検討結果について記載する。

(1) 論点（資料4-1）

本委員会には各々異なる原子力フィールドや立ち位置を持つ委員が参画しており、異なる視点に基づく多くの論点が抽出された。但し、本委員会では活動方針として“個々の立ち位置や立場における責任に囚われず、個人として臨む”というスタンスを共有しており、論点の抽出もこのスタンスでなされた。（参考資料中表 2.4-1 参照）

なお、抽出された論点を集約し委員会での共有を行うに際し、議論のトリガとなる様にキーポイントと分野の情報を論点から抽出して付け加えた。

(2) 論点の分類（資料4-2）

上記(1)に記載したように、抽出された論点は種々の視点に基づくものとなっており、また各論点間で関連性を持つものもある。このような論点のベースとなる視点や個々の関連性を踏まえることは、議論を行っていく上では重要であると判断した。このため、論点の検討を行うに際し、まず各論点を共通のキーワードに基づき7つに大分類した。キーワードとしては、論点間の関連性を考慮するとともに、後に実施する提言への展開も意識して以下とした。

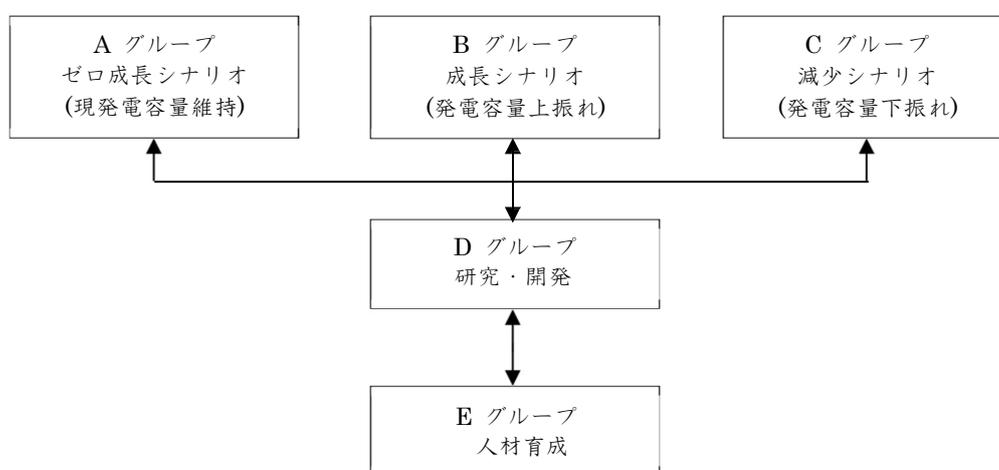
1. 電源比率についてどう考えるか？
2. それを踏まえたシナリオはどう描けるか？
3. シナリオの実現に必要な開発とその実現方法は？
4. 開発に必要な研究とその実現方法は？
5. 研究・開発・事業化の各リソースをどう確保するか？
6. 上記実現に対し、どのような社会科学的要因があるか？
7. 社会科学上の対応を含め、実現に必要な行政の役割とは何か？

なお、上記により分類された各区分内の論点間でさらに関係性が見いだせることから、実力、評価、ニーズ、意義、手法などといったキーワードを用い小分類を行った。（資料4-2 参照）

(3) 論点の検討（資料4-3）

委員会において論点を掘り下げて議論を行う方法について協議した結果、“委員会の運営期間を

考慮すると、全ての論点を委員会場で詳細に議論することは困難である”との結論に至った。対応として、深掘する論点を抽出しそこに注力する考えもあるが、本委員会では“原子力学会の中にも多様な意見があることを示すことも大切である”との認識の下、このような絞り込みを行うことは好ましくないと判断し、期間内で全ての論点に対して議論を行う方策として、委員会の下に複数のグループを置き、抽出・分類された論点を各グループに振り分けることで担当する論点を絞り込み、グループ内で掘り下げて議論した結果を委員会内で共有する方法を採用した。また、各論点には色々な側面があり、一つの軸で整理することは困難であるとの認識に基づき、原子力発電容量といった指標によりシナリオの多様性を確保し、アウトプットとして色々なオプションを示すことを目指した。但し、人材育成や研究・開発といった観点は横串で議論を行う必要があり、シナリオとは切り離して議論を行うこととした。以上の議論を踏まえ、下記A～Dの5グループを委員会の下に設置し、各グループに論点を振り分け、議論を実施した。



論点検討のグループとその関係

各グループでは、所掌する論点に対して“不明点の明確化，共有，用語の統一，課題とその対応策の策定”を行った。なお、A～Cの各シナリオに対して検討を行うに際しては、原子力発電容量が変化した場合に、核燃料サイクルに関連する種々の物事にどのような影響が生じるのかを把握しておく必要がある。このため、3章「諸量評価」に記載した内容により影響を確認・共有した。この結果、A.ゼロ成長シナリオと B.成長シナリオとでは、ともに天然ウランの需要や使用済燃料の蓄積、Pu及びMAの保有量といった課題に対する傾向は同様であり、核燃料サイクルとして必要となる技術の研究・開発や人材育成の観点で、本質的な相違は見られないことが分かった。また、C.減少シナリオにおいては、核燃料サイクルの上流に位置する原子力発電を止めた状況で、使用済燃料とガラス固化体、Pu在庫の管理と処分のための長期の研究・開発を行い、社会的な課題を解決しながら、事業を推進していくための人材を確保していく必要があることが分かった。

このように、どのシナリオを辿るのかに関わらず、研究・開発や人材育成に対するニーズがあることが想定されるが、一方で、委員会で抽出された研究・開発に関連する論点が、いずれかのシナリオに特化しているといった傾向がないかを確認した。この結果、研究・開発に係る論点は、各々のシナリオにほぼ均等に紐付いていることが分かった。（資料4-3参照）

5. シナリオプランニング^{注1)}を経た提言案の創生

前章において抽出した核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための論点について、どのような問題（イシュー）がどの程度の重要度や確度で存在するのか、シナリオプランニングにより図式化するとともに提言案としてまとめた。

シナリオプランニングは以下の手順により実施した。

- (1) 各論点からのイシューの抽出
- (2) イシューのクラスタリング
- (3) クラスタのマッピング
- (4) 提言案基本構造作成及びインプリケーション抽出

以下、各工程の概要を示す。

(1) 各論点からのイシューの抽出（資料5-1）

各論点のポイントを明確にするため、論点の趣旨をイシューとして抽出した。（資料表5-1 参照）

(2) イシューのクラスタリング（資料5-2）

抽出したイシューを対象に類似しているものをグループ化し、以下のクラスターを作成した。（資料5-1の図及び表を参照）

- ・ 社会環境（エネルギー構成）（2050年原子力は社会に必要とされているか？）
- ・ 政策決定スキーム（合理性のある核燃料サイクル政策の決定スキームが構築できるか？）
- ・ 革新技術の選択（核燃料サイクル技術の評価基準は妥当性を保っているか？）
- ・ ウラン燃料有効活用性（軽水炉でウラン燃料が有効活用できるか？）
- ・ Pu削減（Puバランスを満たすシナリオとなるか？）
- ・ 廃棄物・HLW（廃棄物の長期的不確かさを低減する技術を反映できる体制か？）
- ・ 人材・インフラ維持（インフラと人材を長期的に整備できるか？）
- ・ 開発決定主体（開発から実用化まで一貫した体制と役割分担が見通せるか？）
- ・ 研究機関役割（基礎基盤の研究開発能力を維持・成長させられるか？）

注1) シナリオプランニング手法とは、オイルメジャーの一角をなす国際エネルギー企業 Shellが不確実な将来に備える目的で1970年代より適用している戦略立案アプローチである。資源の採掘可能性、エネルギー市場価格の動向、各国の政策動向等、条件により変化し得る要因を複数抽出し、あらゆる可能性に対し、自社の選択肢を定めることにより戦略的意思決定に資する。最近では、ドイツのエネルギー転換や中国の天然ガス開発といった不確実性の残る事例分析に適用されている。「重要度」「不確実性」の2軸により将来を左右する要因を特定し、それを軸に時系列のシナリオを描くプロセスが取られる。

(参考：“What are shell scenarios?” Shell ウェブサイト

<https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/what-are-scenarios.html>)

(3) クラスターのマッピング (資料5-3)

「核燃料サイクル技術開発のあり方」の視点から、重要度及び不確実性を指標として各クラスターを整理するとともに、クラスター間の因果関係を分析した。(資料5-2参照)

「政策決定スキーム」が最重要かつ不確実性も高いクラスターとして、相互関連の高いクラスターとして「革新技術の選択」がそれぞれ選出された。また、「ウラン燃料有効活用性、Pu削減、廃棄物・HLW」については「革新技術の選択」に関連にするサブクラスターとして整理された。

(4) 提言案基本構造作成及びインプリケーション抽出 (資料5-4)

(3)において選出された「政策決定スキーム」を起点としてこれに関連したクラスターを順次繋ぐことで以下の提言案骨子を作成するとともに、各クラスターに紐付けられた代表的なイシューからインプリケーションを抽出し、肉付けを行った。(資料5-3 参照) なお、⑤に関しては、「社会環境(エネルギー構成)(2050年原子力は社会に必要とされているか?)」を踏まえ、①から④の流れを包括するものとして設定した。

- ① 合理的な核燃料サイクルの政策決定スキームが構築されなければならない。
- ② その政策決定に資する妥当な評価基準を確立する必要がある。
- ③ 政策に基づき、開発から実用化まで一貫した体制と役割分担を確立し、そのためのインフラと人材を長期的に整備しなくてはならない。
- ④ 人材育成および技術革新のために基礎基盤の研究開発能力を維持、成長させる必要がある。
- ⑤ これらの必要性は、2050年付近に原子力発電が必要とされている場合も、そうでない場合も存在する。

6. 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言「一件一葉」(解説あり)

次項から5つの「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言「一件一葉」を示す。基本的に1ページで全体を説明できるように工夫をした。提言によっては解説を付帯させた。また、黄色網掛になっている用語等に関しては、専門性の強いものであるため、その用語の説明、必要に応じてインターネット等の用語集を参照いただきたい。

6. 1 我が国として、原子力の役割に応じた新たな燃料サイクルおよび その政策決定の仕組みを構築しなければならない

原子力(核燃料サイクル*)の状況

ウラン資源等の有効利用を目的とした 従来の「核燃料サイクル注1)」を国策として推進してきたが、福島第一原子力発電所の事故を契機に、日本国民の社会的受容性が低下したことによる影響が懸念される。しかしながら、エネルギー自給率が低く、安全保障上の観点で電源の多様化が必要な状況は事故の前後で変わりなく、また高レベル廃棄物の最終処分場選定が難航している問題や放射性廃棄物の処分負荷低減に対するニーズも依然として存在している。

これらのことから、従来の「核燃料サイクル」に囚われない、安全対策の徹底を大前提とした、原子力の役割に応じた新たな「燃料サイクル」に関連する課題に対する政府としての取り組みは現時点で喫緊の課題である。

エネルギー、また、原子力における選択肢

それぞれの取り組みに際しては、CO₂ 対策としての再生エネルギーの導入枠拡大、及び各エネルギー源で推進されているイノベーションの成果や3E+Sの優劣を考慮した各種発電容量の策定と、これを踏まえた原子力発電の役割の明確な位置付け、さらに利用形態 (サイクル形態 (オープン (ワンスルー)、クローズド))、軽水炉、ブルサーマル炉、高速炉等) や規模 (大型炉、小型炉、集中型/分散型)、これに即した関連技術 (現行技術、MA 分離や低除染燃料等の新規技術導入、日負荷追従による運用の柔軟性確保やエネルギー蓄積システム等) に対する検討が必要である。また、いずれの場合も使用済燃料の直接処分の可能性も含めた放射性廃棄物の処分ルートへの確保に向けた検討は避けられない。一方、電力の一般産業化や国家予算投入先の多様化といった環境変化を受け、既往の投資は得られない。

まず、何が必要か

以上の検討やこれを踏まえた取り組みは、短期的な課題とともに、50年、100年といった長期のスパンを見据えた議論に基づき進められる必要があることから、地元コミュニティを含めた社会との合意を前提に、新たな燃料サイクルについて広く議論し、これに基づいた政策を主体的に決定し推進力を得られるような「政府、関係省庁、産業界」の在り方や仕組みを構築する必要がある。

実施における前提

なお、これらの取り組みに際しては、過去の事例を分析し、長期的な費用対効果を評価・考慮した上で、他国と歩調を合わせ、補完的に国際協力をすることが有効と考えられるが、リスク対応への備えや国際協力関係を構築するためには、本国技術の保有が必須である。

注1) ここでいう「核燃料サイクル」とは、政策として位置づけられている「既定路線のプロセスのみ」対象としたサイクルを示している

6. 2 政府は、その政策決定の根拠となる評価基準を明確にし、常に改良ないしは新しい技術の導入が可能なくみを構築すべきである

選択に必要な評価基準

政府が主導して研究開発を進める技術の選定に際しては、我が国に必要とされる発電規模、施設の立地、廃棄物処分の確実性の条件を明確にし、その技術が導入された場合の効果（建設費、エネルギー効率、廃棄物処分費等）を定量的に示さなければならない。また、必要とされる時期を明確にし、それまでに開発・導入が間に合うのかも重要な評価基準となる。

評価基準は開発技術の最終形のみを対象とするのではなく、開発状況に応じて実用に足る段階で順次社会実装することも想定し、各段階の技術に対する信頼を得つつ開発を進める。その副次効果として原資を回収しながら開発が進められ、投資の好循環を形成させることが期待できる。更に、研究開発の途中段階においても定期的に第三者による評価を行い、常に社会的影響も踏まえた改良ないしは新しい技術の導入が可能なくみとする。

※次項以降に解説あり

【2. の解説】

従来の燃料サイクル政策やその開発計画には、社会が技術導入を必要とする時期を明示せず、開発スケジュールを設定していた。また、実用化の難易度を考慮せず、開発技術の最終形のみを追求するあまり、実用できる技術を順次社会実装し、その経験を糧に技術革新を積み重ねる機会の喪失を招いていた。

本研究専門委員会では、政府が燃料サイクルに関する政策決定する際の評価基準として、学術的見地から、以下の指標を提案する。

1. エネルギー安全保障の観点^{注1)}から、ウラン (U) 資源の有効活用度 (転換比, 増殖比, 燃焼度等)
2. 平和利用の観点^{注2)}から、分離プルトニウム (Pu) の蓄積量
3. 環境適合性の観点^{注3)}から、持続的な廃棄物の減容および有害度の低減への寄与度

これらの指標に基づく評価結果に加え、経済性、安全性および社会実装すべき時期の見通し等を踏まえ、開発戦略やその取り組み方針を明示すべきである。

政府は、上記の評価基準に基づく適正な燃料サイクル政策を提示するとともに、その実現に向け先行的に導入可能な燃料サイクル技術に関しては、現行軽水炉の60年運転が実現した場合にそれらのリプレースが本格化する2040-2050年頃までには民間事業として成立する見通しを得ていく必要がある。先行的に導入される燃料サイクル技術によって発生する廃棄物の処理・処分方策は、マイナーアクチノイド (MA) や長寿命核分裂生成物 (LLFP) 等のリサイクルを取り込んだ燃料サイクル技術の最終形との整合を踏まえた検討が必要である。

注1) エネルギー地政学の観点からは、化石燃料と同様、U 資源においても特定地域における予期しない供給途絶や価格高騰の可能性は常にある。そのような可能性に備えるためにも、経済合理性を大前提とした U 資源の有効活用は有用な技術オプションであり、現行炉に比べ燃焼度をさらに高めることや回収ウランの再濃縮などが有力な方策となり得る。これらに対する解と、これを基にして日本で使用を想定する濃縮 U 量を経済合理性も加味して算定することで、燃料サイクル政策策定の根拠に資する必要がある。

注2) 軽水炉利用の長期化にともなう使用済燃料の貯蔵量を抑制するには、再処理技術の導入によって U や Pu をリサイクルすることが有効である。一方で、Pu に関しては、原子力委員会が原則として示した通り、使用済燃料の再処理により保有する量を、ある一定値以上にしないこととしている。しかしながら、核燃料サイクルのシナリオによっては、この一定量を超過することも懸念される。このような発生と利用のバランスをとるために、保有する Pu をどの時期にどのように低減させつつ運用していくのかを決定する必要がある。Pu の消費には、軽水炉の技術延長となるプルサーマル炉を現在使用しているが、プルサーマル炉は、Pu 量を減少させるものの、残存する Pu に占める“プルサーマル炉では繰り返し消費できない Pu (高次化 Pu)”の割合が増加するという特徴を持っている。高次化 Pu を含め、繰り返し Pu を消費し、使用済燃料の蓄積量を低減するには高速炉や加速器駆動核変換システム (ADS) の導入が有効であり、核拡散抵抗性のある再処理技術の導入と合わせ、適切なマスバランスの提示が必要となる。なお、Pu リサイクルでは、MA 含有量が大きく増加するため、

現行の再処理技術の適用が難しく、新しいサイクル像を追求していくことが必要となる。

- 注3) 原子力発電の結果として生じる廃棄物のうち、MA や LLFP は、高発熱であることから、廃棄物処分の際に高い負荷となる。MA や LLFP は使用済燃料の再処理の際に分離して、高速炉や ADS の燃料として装荷することで核変換させ、その絶対量を低減することが可能であり、燃料サイクル政策の策定の際に考慮することで、廃棄物の長期不確かさを低減することが可能となる。ただし、MA や LLFP の核変換技術はまだ研究開発段階であることから、その実用化時期を考慮し、段階的に実装すべきである。

6. 3 原子力に携わる我々産官学は、政策に基づき、

開発から実用化まで 一貫した体制を確立し、そのための資源

(施設、人材) を長期的に整備しなくてはならない

開発から実用化まで一貫した体制の構築

政府の主導のもとで進められた既往の研究開発とその実用化は、異なる機関に分担をさせて推進するような試みが志向されてきたが、適正な役割分担と明確な責任分担とがなされず、十分に機能していない (実用化に至っていない)。原子力技術利用の取り組みは国策民営の枠組みの下で進められてきたが、政府の組織と民間企業との間には対等な立場での調整機構はなく、適正なガバナンスが機能していない。

一方、電力の一般産業化や国家予算投入先の多様化といった環境変化を受け、廃棄物の処理・処分を含めた事業として原子力の技術開発や設備投資を事業者が自主的に継続するのは困難な状況となりつつあり、国策民営の枠組みの是非を含め制度設計を行う政府の役割は大きい。

○“政策に基づき必要となる技術の実用化”

上述のような課題の解法として、状況に適した体制と役割分担とを産官学による協議をもって再考し、基礎から実装まで一貫した体制を確立する必要がある。この体制の中で、実用化を進める対象技術を選定するために設置する“審査機関”には、“適正な評価基準”に基づく技術の選定と、実用化に至るまでの予算提供といった二つの観点で、補助を行う機能を持たせる必要がある。

※次項以降に解説あり

【3. の解説】

○実用化を進める対象技術を選定するために設置する“審査機関”と“適正な評価基準”

公正な審査が行われるために、このような審査機関は政府と産業界を中心とする第三者により構成されるのが望ましい。また、第三者による審査を成すためには、第三者による評価を可能とさせる明確な判断指標としての評価基準を設けなければならない。

○実用化する技術の“仕様見直しに必要な評価基準・要領”

実用化までの過程で生じるリスク（実装に至るまでの期間に生じる短期的な情勢変化による変更など）を避けるため、実用化する技術の仕様見直しを行う場合の評価基準・要領をあらかじめ設定しておく必要がある。既往の基盤研究において実装まで長期間を要したことに対しては、この要因分析を行い、評価基準・要領に考慮することで、改善されることとなる。

○実用化の動力

確実に実用化へつなげていくためには、その担い手となる民間企業の早期の参画により、民間企業のノウハウに基づき事業化に即した仕様へと誘導していくことが有効である。事業全体のリスク管理を効率的に行ない、設計・建設・維持管理・運営を一体的に扱うことで事業コストの削減が期待できる PFI 事業^{注1)}の枠組みを採用し、民間企業の活力を導入することも、解決策の一例である。

○長期的に展開される可能性を秘める研究開発

一般産業の研究開発と同様に、社会のニーズに基づき基礎研究を推進することが重要であり、将来の原子力のビジョンを明確に示すことが求められる。このような研究開発は実用化への展開を急ぐ研究開発とは異なり、ニーズとのマッチングを図りつつも、ある程度の自由度を持たせた運用が必要である。真理の探究としての研究を含め幅広い基礎研究を含めた研究開発を進めることが、今後の原子力の発展に繋げられる可能性が大きい。

○技術の実用化を支えるインフラ構築の主導

原子力に携わる我々産官学は、技術の実用化を推進する体制を支えるために、施設インフラと人材インフラとを長期的に整備・維持する必要があるが、昨今、原子力の将来像を明確に示せない状況において、幅広い選択肢を選びうる技術的なインフラのポテンシャルをいかに維持するのが問題となっている。高速炉など新規炉を導入することを想定する場合、産官学で共同利用が可能な照射施設や照射後試験施設等を含む技術実証施設を適切数設置し、求められる知見を取得できるような施設インフラの環境を維持する必要があると考えられ、これには“常陽”といった既存の施設活用も有効である。

適切に施設インフラの環境を維持するためには、それに必要となる原資の有効活用の観点で既存施設の取捨選択を早急に進める必要があり、その際には、研究費が縮小する中、原子力に携わる人材インフラの基盤を確保しつつ、もんじゅを含めた多量・多種となる原子力施設の廃止措置をいかに計画的・効率的に進めるのかもポイントとなる。また、継続的な原子力利用とその人材インフラの基盤維持のためには、施設の廃止は、スクラップ&ビルドによる合理的なコストと時間とによるものとすべく、計画・推進を行うことが必要と考える。

○施設インフラの共同利用

共同利用はこれまでも実施されてきたが、有効に機能していないといった声もある。利用者の意見を収集し共同利用の障害となっている要因を分析することで、利用を促進する工夫を行うことや、施設の規模と保有するリスクの発生確度などといった実態に即した安全規制とその対応の在り方も含め、産官学の合同による審議を経て利用しやすい状態へと転換させることも必要である。

○人材インフラの構築スパン

今後の原子力を担う人材を得るためには、2050年以降のロングスパンでの活躍に備え、当該技術が将来の人類に役立つ不可欠なものであるとの気概を持った人材を産官学が協力し育成していくことが重要であり、このためには、当該技術の価値が適切に評価され、開発者がそれによる褒賞を得られる仕組みを人材インフラの基盤として政府を中心に確立することも必要である。

○人材インフラの構築に向けた風土の醸成と環境構築

日本における原子力技術に係る人材インフラの構築環境は、3.11の震災以降、原子力技術に対する国民の理解が得られないなど厳しい状況となっているが、一定の人材を長期的に確保していく必要もある。人材インフラを継続して構築していくためには、マイナスイメージのみに特化せず、問題点やプラスの面を正しく伝達する風土の醸成が望まれる。また、これらの人材に対する技術継承・維持には、暗黙知ではなく明文化した資料が必要であり、このために必要なICT（情報通信技術）等の導入も人材インフラの基盤に求められる。この試みは、国内のみならず国際的な研究とのかかわりにおいても考慮が必要である。

○原子力発電容量と技術基盤の維持について

今後原子力発電の利用が減少し、将来的にゼロとなる社会に至る場合においても、5.項にて述べるように、高レベル廃棄物の処分や使用済燃料の直接処分、保有するPuの安全な消費に資する技術、各種原子力施設の廃止措置に係る技術など、長期にわたり多種の技術が必要である一方、原子力発電が利用されない状況では直接的な原資がなくなる。このため、これら技術の開発に対して、上記で言及した体制構築や評価基準・要領の確立と、それを支える施設・人材インフラの整備・維持に対する動機付けは、より一層強く求められる。

注1) PFI事業：Private-Finance-Initiative（プライベート・ファイナンス・イニシアチブ）事業

公共事業を実施するための手法の一つで、民間の資金と経営能力・技術力（ノウハウ）を活用し、公共施設等の設計・建設・改修・更新や維持管理・運営を行う公共事業の手法。（内閣府HPより）

6. 4 我が国は、**人材育成**および**技術革新**のために**基礎基盤の研究開発** **能力を維持、成長**させる必要がある

大学・研究所における原子力研究の現状

大学及び研究機関の**技術研究力、開発力が大幅に低下**しているとの見方がある。原子力関連の研究者は政府・関係省庁や産業界の委員会への対応が多く、とくに大学教員は人数も限られることから本来業務（学生指導や研究力向上）に従事する時間の確保が困難な状況にあり、「**公募型研究**」の乱立の見直しも含めて、原因究明と対策が求められる。近年、研究機関においても短期的な成果を求める風潮が強くなり、**核燃料サイクル技術**のような長期的視点に立った研究開発に対しては、**厳しく評価**される傾向がある。また、研究推進に係る事務手続きなどの作業の複雑化に伴い各研究者が担務すべき業務量が増大することも要因の一つと考えられる。

ニーズとシーズを結びつけるコミュニティと学生のインセンティブ

一方で、大学における研究が核燃料サイクル技術の進展に寄与するプロセスのために、**事業者の現場ニーズ**を**大学・研究所のシーズ**と連携・共有し、研究を推進していくためのシステムが必要である。これは例えば、**産業界との密なコミュニケーションによる社会的ニーズに即した研究テーマ設定**や、若い世代や国外の研究者の間の**コミュニティの構築**を行うことで進展が期待される。このような活動を通じて、日本の社会に求められる研究、さらに言うと、**学生が興味を持つ研究・教育（社会に余波効果の大きい、**広域なサイエンスとしての原子力**関連研究・教育）**を追求する必要がある。他分野と異なり原子力分野は複合型であることや、日本に多くある研究施設が有効に利用されていないといった状況への対応も、システム構築において考慮が必要である。

実施のための前提

なお、これまで研究・開発において国際協力・連携が多々行われてきたが、海外頼りで自国の独自技術が培われていないという状況も散見され、**各研究における費用対効果を評価するなどの対策**を講じ、**我が国の技術力向上の基盤構築**に際して注意が必要である。加えて、人材育成については、大学においてのみならず、**若手人材が参入した産業界や研究機関においても、人材の能力向上と本分野への定着に向けた継続した取り組み**が求められる。

6. 5 これらの必要性は、2050年付近に**原子力発電が必要と**

されている場合も、そうでない場合も存在する

エネルギー政策における原子力の現在の位置付け

2018年に閣議決定された**第5次エネルギー基本計画**において、原子力は2050年に向け「現状、実用段階にある**脱炭素化**の選択肢」と表現され、「可能な限り原発依存度を低減する」と位置付けられつつも一方で「安全性・経済性・機動性に優れた炉の追求、**バックエンド問題**の解決に向けた技術開発を進めていく。」とも明記されている。更に2020年10月に発足した菅政権において「2050年（日本全体で）**カーボンニュートラル**、脱炭素社会の実現を目指す」と明言されたことから、2050年以降も長期的に、原子力発電を維持し、安全性・経済性・機動性を高め、高い付加価値を達成するための研究開発を継続することも期待される。

社会に原子力が選択された場合

社会的な合意形成の結果、長期的な脱炭素化電源として原子力発電を我が国が選択した場合には、これまで1～4で述べてきたように適正な評価基準に基づく政策決定に即し、産官学は原子力の役割に応じた新たな燃料サイクル技術の合理的な研究開発、人材育成の取り組みを行っていかねばならない。それにより、廃棄物やプルトニウムバランス等の課題解決を図っていくとともに、日本の置かれたエネルギー地政学上の課題に備え、持続可能な技術オプションを維持していくことが必要である。

社会に原子力が選択されない場合

その一方で、福島第一原子力発電所の事故を契機に、社会的受容性といった国民意識が変化し、原子力発電に対する日本社会の信頼が低下している。原子力エネルギーは実用化された安定かつ低炭素な主幹電源であるが、大幅な政策変更や代替技術の登場により原子力を発電システムとして継続しない選択をする場合もありうる。そのような場合、その時まで用いた原子力発電から発生したウラン使用済み燃料やプルスーマル使用済み燃料の管理・処分が課題となる。使用済み燃料の地表での長期管理を選択した場合、期限を設けない保管施設に対する地域社会の受容性が問題となろう。一方、**地層処分（直接処分）**とするした場合、わが国では直接処分の研究開発や規制・制度設計はほとんど行われていない。また、使用済み燃料には非分離のプルトニウムが含まれており、処分が核不拡散上の問題になる場合には、このプルトニウムの**安定化処理**や**核変換**を実用化しなくてはならない。更に、**長寿命放射性核種**による処分後長期の安全性に関する懸念が処分場の立地の問題となる場合には、そのような核種を分離し、短寿命核種に変換するという技術オプション（**分離変換**）を選択することも考えられる。このように脱原子力を選択した場合であっても、我が国としてバックエンド対策が必要となる。現在の燃料サイクルの考え方から主眼を変えて柔軟に対応するためには、これまで1～4で述べてきたような合理的な政策決定と、それに基づく産官学による研究開発体制、インフラ、人材の再配置を行い、社会ニーズに適切に対応しなければならない。

7. ワークショップ「社会のための燃料サイクルとは何か」における「意見」

次項から示す「意見」は、2021年6月4日に当委員会が主催して開かれた“「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会「社会のための燃料サイクルとは何か」ワークショップ“(オンライン)の際に、事前・事後にお寄せいただいたものである。

オリジナルの意見は、肯定的なもの、批判的なもの、等があり、多岐にわたる切り口で語られている。意見をいただいた日本原子力学会会員の皆様には、この場を借りて、御礼を申し上げる。

ただし、意見の一部には我々が議論の対象としていないもの(例えば、Puの核兵器利用、など)も含まれており、議論が本主旨から大きく逸脱するものも含まれていた。また、当該意見をまとめる際には最大限、オリジナルの文章を生かし、生の意見を示すことにした。

7. 1 「核燃料サイクルの成立性」に対する提言「全体」に対する意見

【提言は誰を対象としているのか】

本提言は誰に向けてのものなのか、またどのように利用するのか。それを明確に記す必要がある。1と2は国（経産省）、3は全機関（産官学）、4は国（文科省/JAEA）と大学、5は全機関か？提言先が明確になれば、政策選択肢と技術選択肢、研究開発と実用化の違いもおのずと明確になると思う。

【提言に同意】

国の原子力政策の方向性を示すべく、基礎基盤研究から実装までを俯瞰し、わかりやすくまとめられた提言案であり、重要な点が的確に押さえられており賛同する。全体を俯瞰し検討の視点と提言の対象が階層的に整理され、課題や対応すべき項目、国、政府、産官学の役割も記載されている。

【本提言の視点】

本提言をさらに進める場合に、今後次の3つの視点から検討するのがよいと考える。

- ①原子力発電の役割の明確化、
 - ②ワンススルーとリサイクルの選択の是非、
 - ③使用済燃料と放射性廃棄物の処理・処分、
- ①ではCO₂排出量に限定した議論だけではなく今世紀後半での地球や世界の情勢と整合するエネルギー源とは何かと言った視点。②ではウラン資源の有効活用やプルトニウム利用に限定した議論に留まらず二者択一ではなく二者の融合や協働の在り方について時間軸を見据えた検討。③では使用済燃料を廃棄物として捉えるのではなく資源としての価値や使用済燃料の地層処分に係る課題にも踏み込んだ議論がなされることを期待する。また、原子力安全規制は今回の提案と密接に関係してものいると思われる。原子力安全規制に関する現状評価、今後のあるべき姿などについて言及してはどうか。

【本提案の意義】

原子力を使い続けることが前提になっている議論ではないか。燃料サイクルの研究・開発をやりたいがための口実を述べているのでは。

核燃料サイクルは燃料のリサイクルという定義が明確にされているのに、本研究専門委員会で使用済み燃料直接処分なども取り入れた燃料サイクルを新たに議論するとなっているがその意義は何か。

【燃料サイクルの推進と意義】

政府の「基本計画」や「長期計画」ではないので、国民の間で議論を起こすような提言を期待する。また、次のような内容の追加を提案する。

- ✓ 核エネルギーの利用は人類の将来にとって不可欠であり、比較的近い 2050 年付近における日本国内の社会状況に左右されるのではなく、長期的国家戦略として燃料サイクルの研究開発を行う。
- ✓ 原子力の基盤技術を維持・発展させ、将来技術の開発を促進するとともに、人材育成のプラットフォームとして不可欠な最先端の試験研究炉を建設する。
- ✓ 持続的な廃棄物低減の新技术として、専用高速炉または加速器駆動炉（ADS）の研究を加速し実用化を目指す。

【燃料サイクルと社会の理解】

「核燃料サイクル」に関して、どのような観点に目を向け、どのようなシナリオを描けば、一般の方々に受け入れてもらえるのか、あるいは、受け入れてもらえないのかについて、視野を広げることに意義を感じ、本提言活動を応援する。

【燃料サイクルと新型炉の関係】

核燃料サイクルと新型炉開発は一体として考えるべきテーマで、個別専門分野を俯瞰した教育研究がますます重要になると思われる。都市大の「新型炉講究国際プログラム」は素晴らしい取り組みである。原子力学会においても、「再処理・リサイクル部会」「新型炉部会」「安全部会」などの連携が進むことを願う。

【燃料サイクルの将来のコスト】

政策的なことと個別の技術的課題が並行して記載されている印象である。

再生可能エネルギーによる電力料金に対し、消費者に追加負担が求められている。それはすでに一部税金の形で徴収されているかも知れませんが、原子力・核燃料サイクルオプションにおいて、経済性に係わる課題が生じるとすれば、追加コストを今後消費者が負担することに関する議論の是非についてどのように考えているか。

【これまでの燃料サイクル政策とその分析の必要性】

WS 中の、「なぜ今までうまくいかなかったのかは経済合理性に欠けるから」という意見があり、説得力のある指摘である。一方今回の「提言」案をもっと有益なものとするためにももう少し分析が必要ではないか。

サイクルが経済的な観点から成立しないことは最初から分かっていたことで、だからこそ政府は一貫して支援してきた。それでもうまくいかなかったのは何故か？を明らかにする必要がある。本研究専門委員会では政策があればうまくいくという意見が大勢を占めたからこそ提言 1 があると理解するが、それ（政策があればうまくいく）は間違っているということをもっと共有して失敗のメカニズムを解明する必要があると考えます。

あるいは「政策の有無」が問題なのではなく、「正しい政策、良い政策か」ということなのであれば、今までの政策はどこが間違っていたのかを、同様に明らかにする必要がある。

【高速炉の意義は】

高速炉は **one of them** との議論があったが、資源論的観点から考えると天然ウランを全て利用するためには高速炉が必要であり、別のオプションとは決定的な差があると考えます。LWR では天然ウラン資源の僅か 1%しかエネルギーに変換できません。

今まで 50 年かけてダメだった高速炉がシナリオに入っていることが高速炉はすでに破たんしている。

また、群分離・核変換もどんどん予定が伸びる。いつまでも革新的な技術なのか。

フランスがフェニックスから手を引いたのに何処が成功物語なのですか？

【国民の理解】

- ✓ 地元コミュニティと国民全体のコンセンサスには言及する必要がないのか。
- ✓ 六ヶ所再処理工場の位置づけについて言及すべきでは。
- ✓ これまでの開発の分析、今までの研究開発の経緯を振り返る必要がある。

7. 2 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言 1

1. 「我が国として、原子力の役割に応じた新たな燃料サイクルおよび

その政策決定の仕組みを構築しなければならない。」

に対する意見

【原子力の必要性も含めた柔軟な提案】

ご説明の文言はその通りだと思いました。もう少し生活に根差した形で説明し、原子力の必要性が分かった上で、もちろん取り組んでいくべきことはあって、取り組んでいくべきことの中には、経済性を個々の民間企業の単位でみるのではなくて日本全体として経済性を見ていく体制や制度を持つ必要がある（個々の企業で考えると続けられない）といったことも含まれる、という提言も、伝わりやすくなるのではないかと思います。

また、危機感と使命感は良く伝わりました。一方で、文が全体に硬いせいか、自発的な意欲や他の意見を受け止める柔軟性のようなものを感じにくいです。この案への意見を言いにくい雰囲気にならないかと心配になりました。

【提言への同意と現状理解のための深堀】

現在は、「もんじゅ」が無くなり、六ヶ所再処理工場竣工も遅れに遅れ、原発もほとんど稼働できない状況にあります。

したがって、今回のような提言案がでてくることは当然なことと思います。しかし、何故このような事態になったのかを、もっと深く考えなくてはならないのではないかと思います。

政府や関係省庁のみならず原子力ムラにも大きな原因があったのではないかと思います。

【国への提言に同感】

国に確固たる方針を促す提言に賛同します。原子力学会新型炉部会高速炉戦略ロードマップ検討会にて類似の提言を行い、2019年7月に高速炉開発に関する技術戦略[1]を発行しました。国に対しても説明しましたが、その後 NEXIP が立ち上がり、学会提案とは異なる展開になっております。

国は10年程度の短中期計画を対象としており、核燃料サイクルの開発はこれより長い期間を必要とするため、噛み合わなかった面もあるように感じています。

カーボンフリーや余剰 Pu 削減などの短期課題と、我が国の地政学上の理由からのエネルギー安全保障や高レベル廃棄物などの長期課題と、時間スケールを分けて提案してはいかがでしょうか。

【提言 1 の重要性】

原子力の将来像を『明確』に示せていない状況が、種々の問題の根本原因のひとつだと思うのですが、

提言 1 に対する意見

第5次エネルギー基本計画の中では、『脱炭素化の選択肢』としつつも、『可能な限り原発依存度を低減する』といった記載もあり、非常にあいまいな（定量的な目標がない）表現になっていると感じておりました。原子力の将来像を具体化する議論においては、いろいろな意見が飛び交っており、ただただ議論だけが続いているようにも感じておりました。

二極化の議論ばかりで、疲れ切ってしまった印象もございます。

このような状況を打開するためにも、提言1が実現されることは非常に魅力的に感じました。

また、提言1は他の提言のベースにもなるものであり、重要だとも感じました。

例えば、国民感情と国家の成長戦略が一致すれば良いですが、一致しない場合も往々にしてあると思います。

そういった場合でも高い志を堂々と持って取り組めることは人材インフラを長期的に整備・維持することにも繋がると感じます。

そのためにも、提言1は非常に重要であると感じました。

一方、政権与党によっても、国民感情によっても政策が180度変わりがねない今の日本で国家100年の計を打ち出せるような仕組みが構築できるのか、また、既得権益を捨てきれない組織や企業もあるようにも感じ、提言1は多少理想論であり、現実的ではないのかと感じたところもございました。

どうすればこれら提言を実現していけるのか、何か妙案はありますでしょうか？

【原子力の役割変遷に沿った議論】

原子力の役割が不変なら燃料サイクルも不変のはず。原子力の役割が少し変わったこと（例えば、更なる安全性/社会的受容性向上、カーボンゼロ貢献等）により、新たな燃料サイクルはどうあるべきかを議論/提言すべきではないでしょうか？ 政策決定も同様。エネ基で十分かどうかを評価し、不十分なら新たな仕組みの構築について議論/提言すべきでは？

【原子力の役割の適切な把握】

いきなり「原子力の役割りに応じた・・・」とありますが、詳細説明をみても、どんな役割か全く不十分、あるいは不明です。

「社会にとって」と言う限り「電力としての原発への依存は計画的に少なくする」という多くの国民の意見に対し、納得を得られる根拠、あるいは説明なしには「原子力の役割りに応じた・・・」という前提条件は、さらりと流すことのできない重大な一言ではないかと思えます。

「原子力の役割り」とありますがどのような役割があるのか、他のエネルギー源に比べてどんな特徴があるのかを、資源、技術、環境、経済、国の政策など可能な限り幅広い視点から課題も含めて総合的に明らかにしてください。

【原子力の長期ビジョン】

ここでいう「原子力の役割」は誰が決め、その妥当性はどうか評価されるのか？ そこがしっかりしていないと、それに応じた新たなサイクルの政策決定も妥当性が保証されないのではないかと？

今必要なのは、核燃料サイクルに関する議論というよりは、我が国における原子力利用の長期ビジョンの再構築ではないかと？ それが決まれば、あるべきサイクルの方向性もおのずと見えてくるのではないかと？

国家の基盤を支えるエネルギー問題であるから、50年、100年という長期のスパンを見据えた議論が必要との見解には同意。将来の不確実性を認識したうえでの議論になろうから、長期ビジョンは単一のリジッドなものではなく、複数の選択肢を包含したものになると思われるが、当面どのパスを本命とし、どれは第2、第3の代替策とするかは、明確にすべきであろう。将来の在り方については国民の間に価値観の相違（イデオロギーの違い）もある中で、どのような形態の議論の場が望ましいかの提言があってもよいのではないかと

【放射性廃棄物の課題と俯瞰的な燃料サイクル】

「ウラン資源等の有効利用を目的とした 従来の燃料サイクルを国策として推進してきたが、福島第一原子力発電所の事故を契機に、社会的受容性といった日本国民の意識が変化したことによる影響が懸念される。しかしながら、エネルギー自給率が低く、安全保障上の観点で電源の多様化が必要な状況は事故の前後で変わりなく、また高レベル廃棄物の最終処分場選定が難航している問題や放射性廃棄物の処分負荷低減に対するニーズも依然として存在している。」との現状認識には賛同します。また、「既定路線の「核燃料サイクル」ではなく、これを俯瞰した新たな「燃料サイクル」を広く議論していくべき、という立ち位置に行きつき、現時点で「燃料サイクルに対する提言案」を策定しました。」とのご主旨も理解しました。

そのうえで、ご提言をまとめられる際には、以下の点についてご留意されることを期待します。

上記には、大きく、以下の3つの課題が存在すると思います。

①原子力発電の利用（炉型、規模）の必要性

②核燃料サイクルはオープンサイクルかクローズドサイクルか（Pu利用、核不拡散）

③放射性廃棄物の処分ルート確保（地層処分場だけでなくすべての放射性廃棄物の処分場の確保）

なお、現状認識で述べられている「放射性廃棄物の処分負荷低減に対するニーズも依然として存在している。」は、

IAEA、The Principles of Radioactive Waste Management、Safety Series No. 111-F、IAEA、Vienna (1995)の

「原則7：放射性廃棄物の発生管理：放射性廃棄物の発生は、実行可能な限り最小限に抑えなければならない。」

等に関連する課題のことを言われていると思います。放射性廃棄物の最小化（体積、放射エネルギー）は、原子力施設の運転、廃止措置等が対象とされ、これらの行為の実行段階だけでなく計画段階でも考慮することが必要とされています。

【1F 事故の影響と国民への説明の重要性】

「1F 事故を契機に社会的受容性といった日本国民の意識が変化したことによる影響が懸念される。」について具体的にどのように変化したと言いたいのか分からない。

国家予算投入先の多様化とはどういう意味か。

個人的には 1F 事故により原子力発電の社会的受容性が悪化した結果、政治家にとって以前よりも原子力発電が触れたくない腫物と化し、原子力発電の役割の明確な位置づけを議論して決定し、広く国民に説明することが避けられていることが重大な問題と感じている。

【サイクル関連の切り口の提案】

「原子力が将来の主要電源として社会に受容されるために燃料サイクルはどうあるべきか」の観点と、「原子力の役割が定まらない当面の間において燃料サイクルをどう運用すべきか」の観点が混在しているため、分かりにくくなっている印象を受けました。

前者については、提言の 1, 2 が該当していると思います。「脱炭素に向けて各エネルギー源で推進されているイノベーションの成果を踏まえ、3E+S の優劣等から、原子力の依存度を議論する」というような前提条件があれば、より理解しやすいと思います。

【高速炉の有効活用】

現在のプルサーマル計画では軽水炉を使用する前提となっており、このままでは Pu 保有量は将来的な原子力利用におけるネックとなることが予想されます。

今後の燃料サイクルへの提言としては、国内に存在する原子燃料資源の積極的な活用のため、高速炉の普及に着目した提言としてはいかがでしょうか。

【安価で安全な原子力の追求】

原子力関係者の間の議論では、ともすると原子力技術を開発することが目的のように語られることがあるが、これは間違いで、本来の目的は、安価で、安全で、持続可能な (安定した) エネルギーを得ることである。その一つの手段として原子力というオプションが考え得るというだけであり、この目的にそぐわない技術開発は資源の無駄であり、即刻辞めるべきである。技術開発においては、常にこの目的に合致しているかをマイルストーンを置いて顧みる必要があるとあり、今までの投資がもったいないからとか、既に施設があるからとか、そういうものは継続する理由にはならない。安全であることは言わずもがなの大前提としたうえで、激しい国際競争にさらされる昨今においては、安価なエネルギー源であることは絶対である。現在は (特に原子力推進論者の間では) 高い高いと揶揄させる再生可能エネルギーでも、その技術開発のスピードは目覚ましく、将来的には非常に安価なエネルギー源となる可能性も大いにあり得る。一方で、ますます規制が厳しくなる原子力分野において、現在の炉技術、燃料サイクル技術開発の延長線上に安価なエネルギー源として生き残る将来を描くことはできるのか。本当に有望な技術、魅力的な商品であれば、宣伝などしなくとも生き残る。原子力もそうあるべきではないか。

【21世紀に必要な原子力技術】

- ✓ 本質的に安全な炉
- ✓ 可能な限りの放射性廃棄物の低減
- ✓ 可能な限り簡素化した燃料サイクルプロセスによる高い経済性

この連立方程式の解の追求なくして原子力の未来はないのではないか。

【あるべきサイクルに対する具体的な段取り】

提言に示された内容を実現するための具体的な方策(リソース含め)について、イメージを示してほしい。

7. 3 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言 2

「2. 政府は、その政策決定の根拠となる評価基準を明確にし、

常に改良ないしは新しい技術の導入が可能なくみを構築すべきである。」

に対する意見

【実情に合ったウラン資源の活用の工夫】

エネルギー安全保障の観点からウラン資源（濃縮前）の国家備蓄について言及する必要はないか。ウラン資源の枯渇は喫緊の課題ではなく、供給国の政情も比較的安定しているため、経済合理性の観点から検討する必要がある。また、回収ウラン再濃縮や燃焼度向上による濃縮ウラン利用の効率化も費用対効果を検討する必要があるのではないか。

【MA と LLFP の取扱について熟考の必要性】

MA の核変換の必要性について、フランスで検討された例も参考にすべき。LLFP の核変換は必要がないと考える。処分場負荷を考えても費用対効果は全く得られないのでは。

【ウラン資源を踏まえた高燃焼度化の位置付け】

軽水炉においては燃焼度を高めても、同じエネルギーを得るために必要な天然ウラン量に大きな変化は無いことから、“燃焼度を高める”という方策は、高速炉燃料の高燃焼度化や国内におけるウラン濃縮産業の自立と併せて議論されるものとする。

【評価基準の妥当性】

これまで核燃料サイクル技術の評価例としては、旧サイクル機構が実施した「実用化戦略調査研究 (FS)」や第 4 世代国際フォーラム (GIF) が実施した「第 4 世代炉の選択」やフランスで検討された例もある。ここで提案されている「評価基準」は従来の評価基準を踏襲しており既視感が否めない。

【Pu 資源とその核セキュリティ】

従来の評価プロジェクトは原子力の長期的な利用を暗黙の前提としているのに対し、今回の提言では、昨今の社会状況の変化を踏まえて、2050 年以降の原子力発電については継続と中止の可能性を共に視野に入れて将来技術の評価しようとしています。このような観点からすれば、いずれの場合にも将来必要となる「持続的な廃棄物低減への寄与度」を優先し、「ウラン資源の有効活用」「経済性・安全性」「社会実装可能な時期の見通し」を原子力の長期利用オプションを指向する場合の評価基準とすべきではないか。また平和利用の観点からは、「分離プルトニウムの蓄積量」で評価するよりも、技術的対応の自由度が大きい

提言 2 に対する意見

「核拡散抵抗性」を評価基準とする方が適切な気がする。例えば直接処分オプションを採用した場合には、使用済燃料中の非分離プルトニウムの蓄積（Pu 鉱山）が超長期的には問題になると思う。

【評価基準の根拠】

政府は、エネ基の決定（第5次）や議論（第6次）において、それなりの政策決定根拠を示している。それが不十分との前提で議論するのが良いか？ また評価基準と新技術との関係を明確にした上で新技術導入の仕組みについて議論すべきではないか？ 評価基準は時代とともに変化し、提案の技術的指標より現在は安全性、経済性の方が優先順位は高いと思います。また、メリット、デメリットの評価も重要と考えます。

【Pu の取扱い】 全体を削除？

原子力委員会のプルトニウム指針を再改定し「現在量以上に増やさない」を削除すべきと提言に加えるべきではないか？

【評価基準とそのトレンドの在り方】

次の提言は新技術導入を促進し興味深い。

「評価基準は開発技術の最終形のみを対象とするのではなく、開発状況に応じて実用に足る段階で順次社会実装することも想定し、実装により各段階の技術に対する信頼を得るとともに成果として原資を回収しながら開発を進めることで、投資の好循環を形成させる。」

時間スケールを分ける観点から、U→Pu→MA→LLFP の順に段階的にサイクルを閉じていくことに賛同する。

【燃料サイクルの政治家へのインプット】

燃料サイクルに関する政治家や役人等へのレクや説明等が必要である。同様に、国民への広報活動についても今後展開していく必要がある。

【「社会実装」への反応】

2.p5 に記載の「開発状況に応じて実用に足る段階で順次社会実装」することについては、発生する廃棄物とその処理方法の慎重な検討が必要と考える。現在世界的に問題となっている廃棄物の課題は軽水炉の普及とセットで解決されるべきであったものが先送りとなった結果と考える。

社会的な受容性としては、軽水炉での廃棄物と同等か、それ以外の成立した（またはすると予想される）処理方法を同時に示すことが必要と考えるため、原資回収のための性急な実装を促す言葉はあまり肯定的に捉えられない。

【評価の目線】

政策決定の評価基準として、科学的見地からの指標が提案されているがこの指標のみでは「木を見て森を見ず」的評価になってしまう。こうした評価は政策判断を助ける情報として重要ではあるが、政策決定には全体を俯瞰したより高次元の判断が求められる。

【エネルギー戦略の目線の位置】

エネルギー安全保障の観点で取り上げている評価項目は、狭義の技術パラメータであり、これをもって安全保障への貢献度が判断できるとすることに大きな違和感を覚える。エネルギー安全保障の観点からの判断は、こうした細かな数値に依拠するのではなくもっと高度で多角的な見地から戦略的な判断を必要とする。

【サイクル方式の論考(再処理 or 直接処分)】

日本における原子力事業推進におけるもっとも困難なハードルは、地元との合意形成問題である。これを考えれば日本では原子力政策を進めるには立地への負担を極力小さくできる選択肢を取るのが最も賢明な策である。再処理リサイクル方式をやめ、直接処分に政策転換せよとの論もあるが、その場合、地層処分場面積は3倍必要となり、プルトニウムも埋設してしまう処分は立地上のハードルを一段と高める。また、現行発電容量なら5年に1基づつ、むつりサイクル燃料貯蔵センターと同じくらいの間貯蔵施設を建設し続ける必要が生じる。日本では長期にわたり一定規模の原子力発電を続けるのであれば、安易に直接処分方式をとることはできない。直接処分は、日本が脱原発をすとした場合のみに取りうる選択肢といえる。こうした問題認識は、提案されたような指標からは、生まれてこない。鳥瞰図的視点で全体を見るメカニズムが欠けている。

7. 4 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言 3

「3. 原子力に携わる我々産官学は、政策に基づき、開発から実用化まで 一貫した体制を確立し、
そのための資源(施設、人材)を長期的に整備しなくてはならない」

に対する意見

【全体的同意】

全体的に指摘の通りである。

【提言の重要性】

これまでの研究開発と実用化開発の連携は、十分機能しておらず、その観点から本提言は重要である。特に、「技術の実用化に適した体制・役割分担の構築」、「実用化を支えるインフラ構築」の2提言は、独自性がある。

【失敗分析の活用】

上記の提言に関連して、「過去の失敗の分析」を徹底的に深掘りすることが重要である。

【審査機関と評価基準】

実用化を進める対象技術を選定するための審査機関と適正な評価基準を設けるとの提言であるが、原子力の専門家以外の第三者がどれだけ機能するか疑問である。また、上記技術選定における評価基準・要領の明確化が必要。

【原子力事業の国営化】

現状を見ると、原子力の技術開発や設備投資を事業者が自主的に継続するのは困難な状況になりつつある。その観点から、「原子力事業の国営化」について言及する必要はないでしょうか。

【今後の燃料サイクルへの提言】

現在のプルサーマル計画では軽水炉を使用することが前提となっており、このままではPu保有量はU燃料の利用と併せて増加の一途を辿ることになり、将来的な原子力利用におけるネックとなることが予想される。それゆえ、今後の燃料サイクルへの提言としては、国内に存在する原子燃料資源の積極的な活用のため、現有の商用炉が使用年数よりリプレースも検討される中、高速炉の普及に着目した提言としてはいかがか。

提言3に対する意見

7. 5 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言 4

「4. 我が国は、人材育成および技術革新のために基礎基盤の研究開発能力を維持、

成長させる必要がある」

に対する意見

【全体的同意】

提言の内容に賛同する。

【非資源国(乏（貧）資源国)としての認識】

提言は当然である。非資源国の国力の源泉は人材、教育、研究開発能力と思う。

【原子力系学生の需要、人材育成(確保)】

大学で原子力を学ぶ学生が減少していることに加えて、原子力工学で修士号を取った優秀な学生が原子力以外の業界へ就職する例も多く、原子力産業の魅力向上は喫緊の課題と考える。

人材育成に当たっては燃料サイクルの廻し方(*1)を根本から改善するところから始める以外に手はないと思う。

*1:燃料サイクルのオプションという

7. 6 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会からの提言 5

「5. これらの必要性は、2050年付近に原子力発電が必要とされている場合も、
そうでない場合も存在する」

に対する意見

【基本計画の時間軸】

第5次エネルギー基本計画を基に2050年付近と設定しているが、より設定根拠を明確にすべし。
遅いのでは？

【放射性廃棄物への配慮】

原子力発電の要否にかかわらず、廃棄物処理処分、廃止措置、クリアランスが重要と考える。

【原発不要下での燃料サイクルの維持は？】

原子力発電（あるいは原子力によるエネルギーの供給）が不要となった場合の核燃料サイクルの必要性を具体的に示せるのか？ 原子力発電のない原子力開発あるいは核燃料サイクルの維持があり得るのだろうか？

【持続可能な社会のための核燃料サイクル】

原子力発電を持続可能な技術とすることが、原子力の平和利用に繋がることを改めて確認し、原子力発電を中心に据えたビジョンを描いた上で、提言2～4に従い現在の核燃料サイクルの課題である再処理や高レベル放射性廃棄物の問題に取り組むことが「社会のための核燃料サイクル」を実現する上で重要だと思う。

【ウラン資源の需給バランス】

ウラン資源の需給バランスおよび価格変動の今後の見通しについて、どのような前提がなされているか？

【燃料サイクルのオプションの提言】

核燃料サイクルを検討する上で、今後の課題として考えられる様々なオプション（ワンスルーからマルチリサイクル、等）の検討も、バックエンドの検討と並び重要と考える。現状の1度再処理して取り出したPuを1回だけ使うことにおける考えとバックエンドにおける考えは提言に盛り込まれているが、繰り返し利用可能という観点で原子燃料が優れる部分、積極的な有効活用の検討についてはあまり触れられていないのでは。

提言5に対する意見

【原子力利用のリスク】

「原子力利用で生じたPuや廃棄物を処理するために、(性質は異なるとは言え、新たな放射性廃棄物を作り出す)原子力システムを使用する」と言うロジックは理解されるか? 「そんなことも考えずに原子力に手を出したのか?」と思われないか?

【日本がなぜ原子力を始めたか】

原子力利用を開始した時代には、例えば「世界情勢やエネルギー資源確保面での不安と言った背景があり、原子力開発を行わない選択肢はなかった」と言ったことを理解してもらう必要があるのでは?

【サイクルオプションの位置づけ】

その上で、将来の選択肢として、サイクル&分離変換の芽を残しておくと言うスタンスぐらいが理解され易いのでは?

【Puは資源か?】

Puは本当に資源か? 活用しようとするほどコストがかかるし、廃棄物がでる。
このような疑問に対しても解答を提示する必要がある。

結言

近年において、エネルギー安全保障については、経済的な側面も含めて全世界的な関心事となり、各国が自国のエネルギーを確保する戦略の検討を加速させている。この大きなモチベーションとして、地球温暖化の防止のためのカーボンエミッション抑制の動きおよびロシアのウクライナ侵攻(2022年2月)による従来型のサプライチェーンの崩壊があげられる。我が国では原子力発電は、「資源が乏しい国」としてのエネルギー保障の手段として導入されてきた。そのため、当初も現在も、その使用済み燃料は六ヶ所再処理工場で再処理し、そこで得られるプルトニウムは軽水炉(プルサーマル)や将来の高速炉での利用が考えられてきている。一方、再処理から生じる高レベル廃棄物は国内での地層処分が計画され、今候補地の選定途上にあるという現状もある。

本研究専門委員会ではこれまでのわが国における核燃料サイクルを振り返り、将来あるべき研究開発に対する提言を行った。本研究専門委員会では今後の原子力利用においてはどのような核燃料サイクルが求められるか、その意思決定はどのようにされるべきか、その時の課題は何であるかを議論し、その成果を報告書として取りまとめた。

残念ながら、すべての利害が整い、すべてが「良い状態」となる解が非常に限られていることが明白となった。しかしながら、本委員会でははっきりとわかったことがある。それは、核燃料サイクル関係者間での「本物の議論」が圧倒的に不足している状況である。本委員会では「立場にとらわれず、意見する」という基本方針のもと議論を展開した結果、各委員の脳裏に対してという限定された状態であるが、分野を飛び越えた理解に達したと考えている。これが本委員会の成果と言ってもよい、と考える。

本成果に関しては、学会の企画セッションなどの場での展開を試み、新たな理解の輪が広がる兆しが見られ、それは多くの学会関係者からのご意見も頂戴するといった形となった。ただ、冒頭にも記したように「世界は動いている」という感覚を忘れてはいけない。ある一定の状況に対しての処方箋は時が過ぎれば、すでに効果が期待されない。すなわち、理解を深める議論は、世相を反映して、スピーディーに行い、そして実行する必要があると思われる(基礎的な研究は必ずしもそうではないが)。

2017年度から、初代主査井上様から2021年度までの当該委員会で得られた委員の皆様へ根付いた「深い理解の輪」をぜひ、様々な機会で開催いただき、世相に応じた原子力の利用に繋げていただければと考える。

2017年度～2021年度 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会 名簿

1	主査→幹事	井上 正	電力中央研究所
2	幹事→主査	佐藤 勇	東京都市大学
3	幹事	太田 宏一	電力中央研究所
4	幹事	駒 義和	(国)日本原子力研究開発機構
5	幹事	藤田 玲子	(国)科学技術振興機構
6	幹事	斉藤 拓巳	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
7	幹事	佐藤 聡	三菱重工業(株)
8	幹事	佐野 雄一	(国)日本原子力研究開発機構
9	幹事	松村 達郎	(国)日本原子力研究開発機構
10	委員	池田 泰久	東京工業大学名誉教授
11	委員	飯塚 政利	電力中央研究所
12	委員	大井川 宏之	(国)日本原子力研究開発機構
13	委員	兼平 憲男	日本原燃(株)
14	委員	可児 祐子	日立製作所日立研究所原子力システム研究部
15	委員	川島 正俊	東芝原子力エンジニアリングサービス
16	委員	三倉 通孝	(株)東芝
17	委員	佐々木 良一	三菱マテリアル
18	委員	澤田 佳代	名古屋大学
19	委員	鈴木 達也	長岡技術科学大学
20	委員	千田 太詩	東北大学
21	委員	塚原 剛彦	東京工業大学
22	委員	津幡 靖宏	(国)日本原子力研究開発機構
23	委員	西原 健司	(国)日本原子力研究開発機構
24	委員	長谷川 秀一	東京大学
25	委員	本間 俊司	埼玉大学
26	委員	村上 朋子	日本エネルギー経済研究所
27	委員	山村 朝雄	東北大学大学院工学研究科
28	委員	島田 隆	三菱重工業(株)
29	委員	中原 将海	(国)日本原子力研究開発機構
30	委員	森田 圭介	(国)日本原子力研究開発機構
31	委員	村上 毅	電力中央研究所

(途中で退任された方も併せて、順不同で記載)

上振れ/現状/下振れシナリオに対 するマテリアルバランス評価

5

JAEA 西原健司

原発による電力供給

- 2030年の電力需要＝9808億kWh*
- 原子力発電20～22％＝1962～2158億kWh
- 設備利用率75％を仮定して、29.8～32.8GWe
の原発が必要

*長期エネルギー需給見通し（平成27年7月経済産業省）

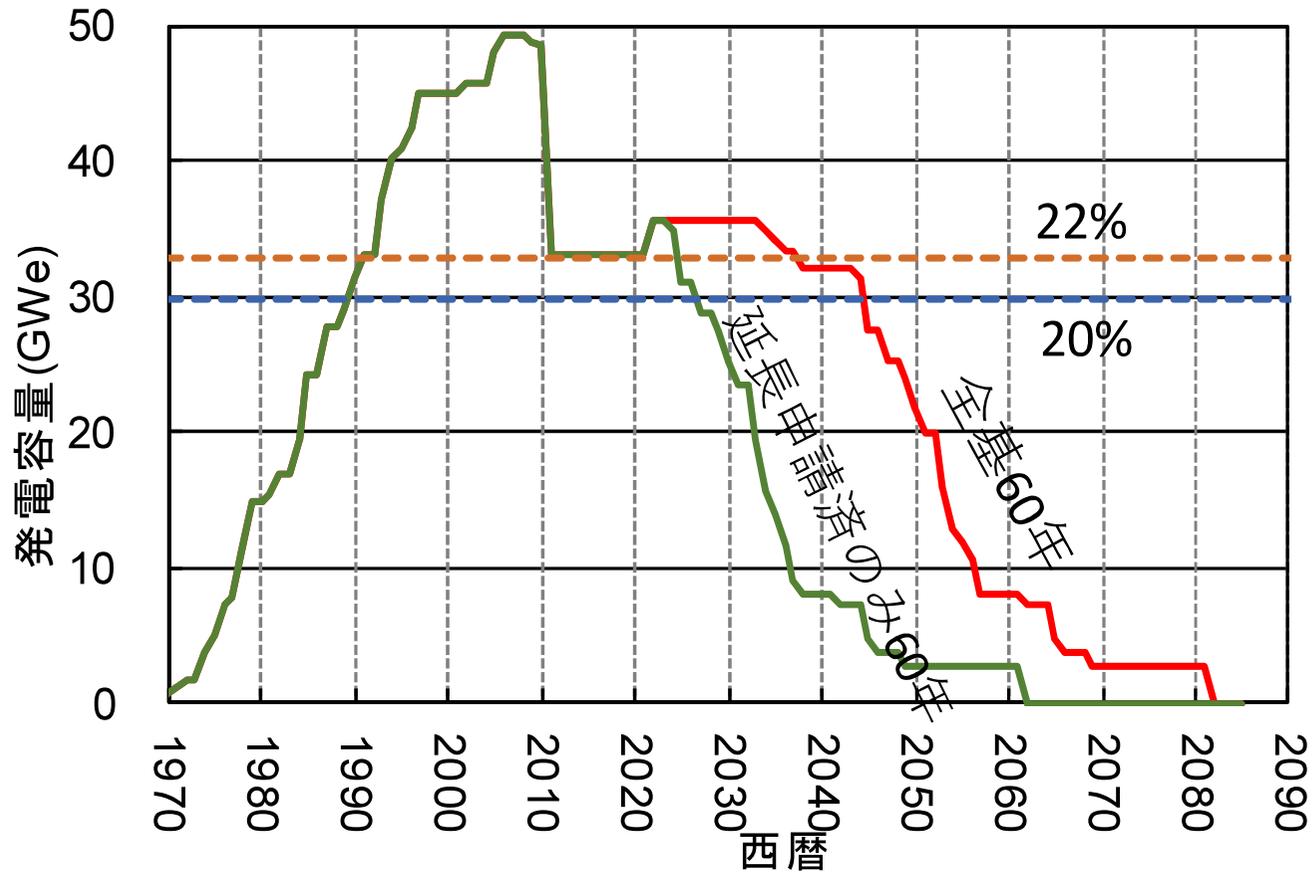
国内の原発(2019年11月)

設置者	発電所	設備番号	炉型	出力	運転開始日	運転終了
東京	柏崎	6	AB	135.6	1996/11/7	
東京	柏崎	7	AB	135.6	1997/7/2	
中部	浜岡	5	AB	126.7	2005/1/18	
北陸	志賀	2	AB	120.6	2006/3/15	
中国	島根	3	AB	137.3	2022/1/1	建設中
電源開発	大間		AB-MOX	138.3	2022/1/1	建設中
日本原電	東海	2	B	110	1978/11/28	延長申請済
東北	女川	1	B	52.4	1984/6/1	2018.12.21
東北	女川	2	B	82.5	1995/7/28	
東北	女川	3	B	82.5	2002/1/30	
東北	東通	1	B	110	2005/12/8	
東京	福島2	1	B	110	1982/4/20	2017/1/1
東京	福島2	2	B	110	1984/2/3	2019/9/30
東京	福島2	3	B	110	1985/6/21	2019/9/30
東京	福島2	4	B	110	1987/8/25	2019/9/30
東京	柏崎	1	B	110	1985/9/18	
東京	柏崎	2	B	110	1990/9/28	
東京	柏崎	3	B	110	1993/8/11	
東京	柏崎	4	B	110	1994/8/11	
東京	柏崎	5	B	110	1990/4/10	
中部	浜岡	3	B	110	1987/8/28	
中部	浜岡	4	B	113.7	1993/9/3	
北陸	志賀	1	B	54	1993/7/30	
中国	島根	2	B	82	1989/2/10	
中部	浜岡	1	B	54	1976/3/17	2009/1/30
中部	浜岡	2	B	84	1978/11/29	2009/1/30
中国	島根	1	B	46	1974/3/29	2015/4/30
日本原電	敦賀	1	B	35.7	1970/3/14	2015/4/27

設置者	発電所	設備番号	炉型	出力	運転開始日	運転終了
東京	福島1	1	B	46	1971/3/26	2012/4/19
東京	福島1	2	B	78.4	1974/7/18	2012/4/19
東京	福島1	3	B	78.4	1976/3/27	2012/4/19
東京	福島1	4	B	78.4	1978/10/12	2012/4/19
東京	福島1	5	B	78.4	1978/4/18	2014/1/31
東京	福島1	6	B	110	1979/10/24	2014/1/31
日本原電	東海	1	GC	16.6	1966/7/25	1998/3/30
日本原電	敦賀	2	P	116	1987/2/17	
北海道	泊	1	P	57.9	1989/6/22	
北海道	泊	2	P	57.9	1991/4/12	
北海道	泊	3	P	91.2	2009/12/22	
関西	美浜	3	P	82.6	1976/12/1	延長申請済
関西	高浜	1	P	82.6	1974/11/14	延長申請済
関西	高浜	2	P	82.6	1975/11/14	延長申請済
関西	高浜	3	P	87	1985/1/17	
関西	高浜	4	P	87	1985/6/5	
関西	大飯	1	P	117.5	1979/3/27	2018/3/1
関西	大飯	2	P	117.5	1979/12/5	2018/3/1
関西	大飯	3	P	118	1991/12/18	
関西	大飯	4	P	118	1993/2/2	
四国	伊方	2	P	56.6	1982/3/19	2018/5/23
四国	伊方	3	P	89	1994/12/15	
九州	玄海	2	P	55.9	1981/3/30	2019/4/9
九州	玄海	3	P	118	1994/3/18	
九州	玄海	4	P	118	1997/7/25	
九州	川内	1	P	89	1984/7/4	
九州	川内	2	P	89	1985/11/28	
関西	美浜	1	P	34	1970/11/28	2015/4/27
関西	美浜	2	P	50	1972/7/25	2015/4/27
四国	伊方	1	P	56.6	1977/9/30	2016/5/10
九州	玄海	1	P	55.9	1975/10/15	2015/4/27

- ✓ 大間、島根3を含む。東電東通1を含まない。
- ✓ 延長申請済みは、60年寿命と見なす。

現在の発電容量見込み



- ✓ 大間、島根3を含む。東電東通1を含まない。
- ✓ 延長申請済みは、60年寿命と見なす。

評価シナリオ(上振れ)

ID	発電容量	サブケース	サブケース概要
A (上振れ)	44%を2050年以降維持する。 全基60年延長する。	A1	軽水炉を軽水SMRで更新、ワンスルー(六カ所再処理工場稼働無し)
		A2	軽水炉を軽水SMRで更新、全量再処理(第二再処理導入)
		A3	軽水炉を高速SMRで更新(2055年、BR=1.1)全量再処理
		A4	軽水炉を高速SMRで更新(2056年、BR=1.15)全量再処理。MAをPuに随伴させてリサイクルする。
A' (上振れ)	2040年から年間1.1GWeで緩やかに容量を増やし、44%を2100年以降維持する。全基60年延長する。	A'1	A1と同じ。
		A'2	A2と同じ。
		A'3	A3と同じ。ただし、高速SMRは2062年からBR=1.2で導入。
		A'4	A4と同じ。ただし、高速SMRは2062年からBR=1.2で導入。

軽水炉SMRは「発電容量が300MWeになった大型現行軽水炉(60GWd/tHM)」、高速炉SMRは「発電容量が300MWeになった大型高速炉(FS経済型炉)」で近似する

評価シナリオ(現状)

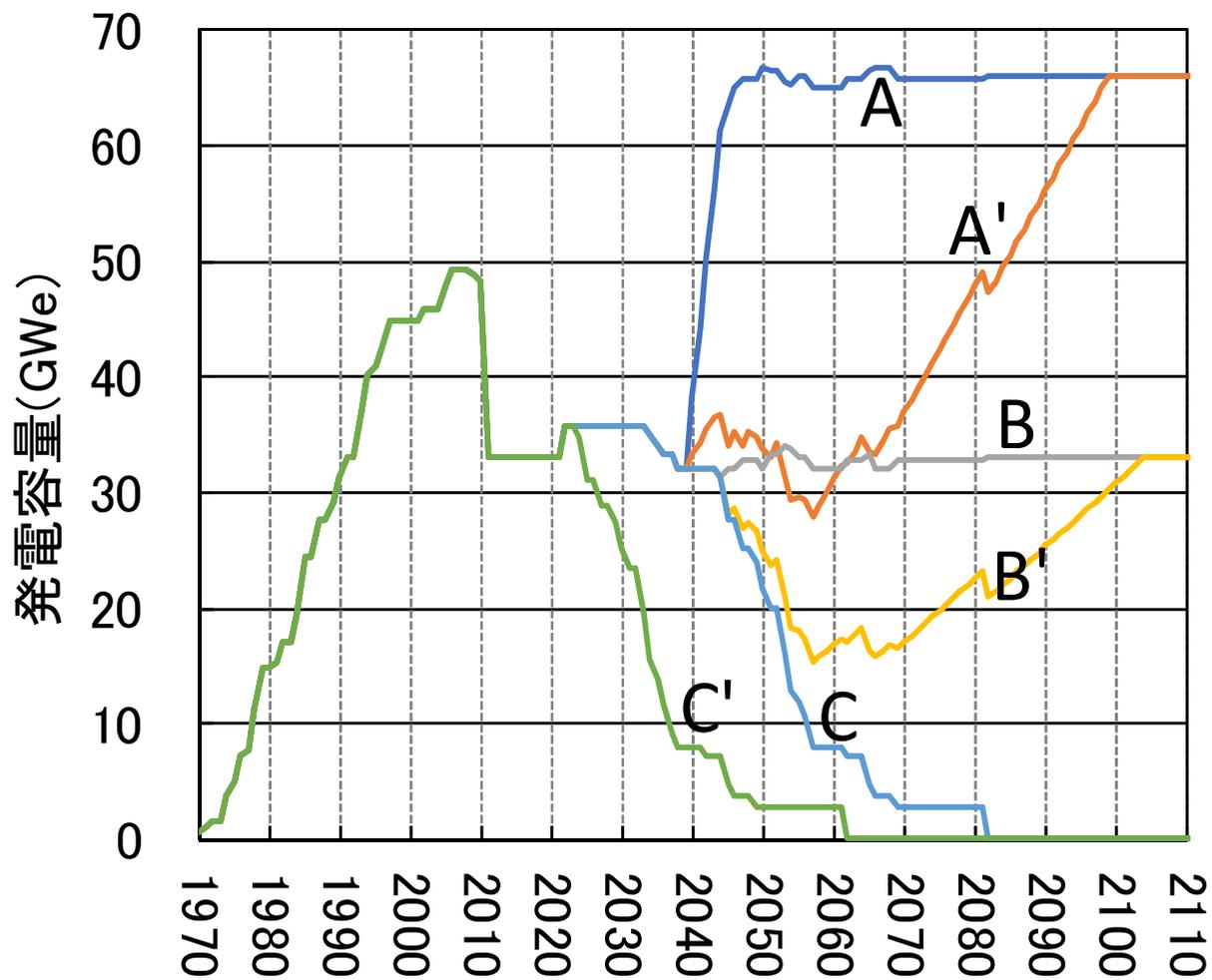
ID	発電容量	サブケース	サブケース概要
B (現状)	22%を2030年以降維持する。 全基60年延長する。	B1	軽水炉を軽水SMRで更新、ワンスルー(六カ所再処理工場稼働無し)
		B2	軽水炉を軽水SMRで更新、全量再処理(第二再処理導入)
		B3	軽水炉を高速SMRで更新(2055年、BR=1.2) 全量再処理
		B4	同上。ただし、MAをPuに随伴させてリサイクルする。
B' (現状)	2040年から年間1.1GWeで 穏やかに容量を加え、22%を 2100年以降維持する。 全基60年延長する。	B'1	B1と同じ。
		B'2	B2と同じ。
		B'3	B3と同じ。ただし、高速SMRは2055年からBR=1.2で導入。
		B'4	B4と同じ。ただし、高速SMRは2055年からBR=1.2で導入。

軽水炉SMRは「発電容量が300MWeになった大型現行軽水炉(60GWd/tHM)」、高速炉SMRは「発電容量が300MWeになった大型高速炉(FS経済型炉)」で近似する

評価シナリオ（下振れ）

ID	発電容量	サブケース	サブケース概要
C (下振れ)	新設/リプレースなし(フェードアウト) 全基60年延長する。	C1	ワンスルー(六カ所再処理工場稼働無し)
		C1.5	一部再処理(余剰Puを生じさせない)
		C2	全量再処理(必要なら六カ所延長)
C' (下振れ2)	新設/リプレースなし 運転延長認可取得済みのみ60年延長	C'1	C1と同じ
		C'1.5	C2と同じ
		C'2	C3と同じ

各シナリオの発電容量



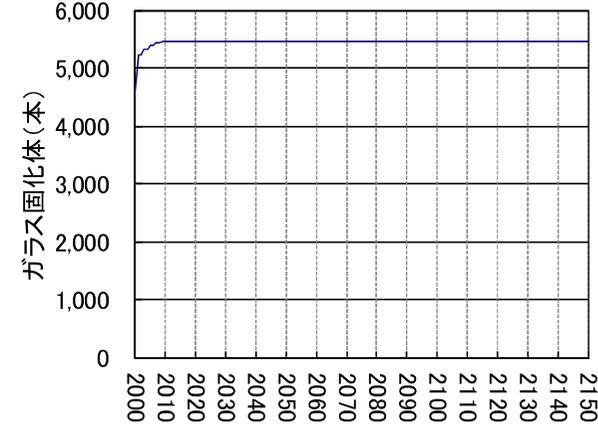
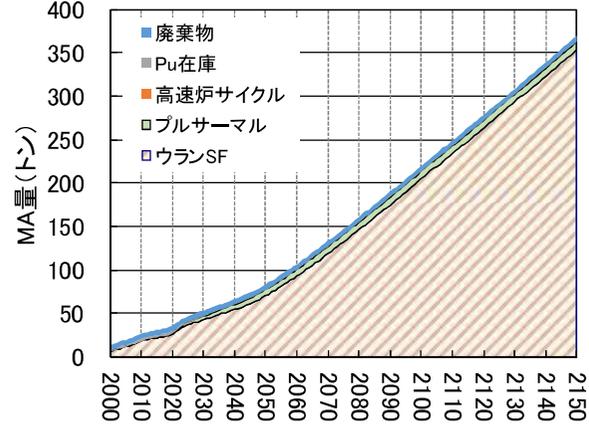
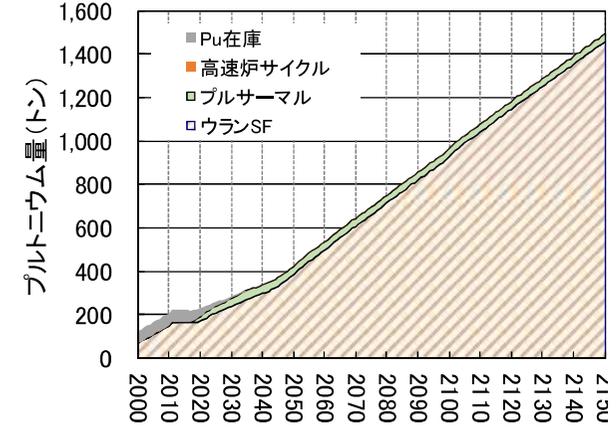
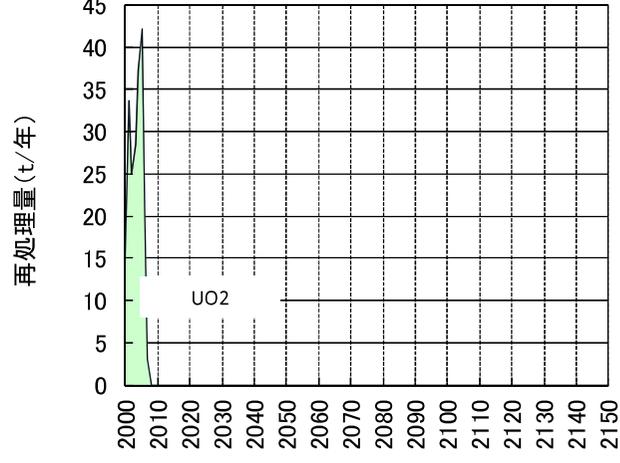
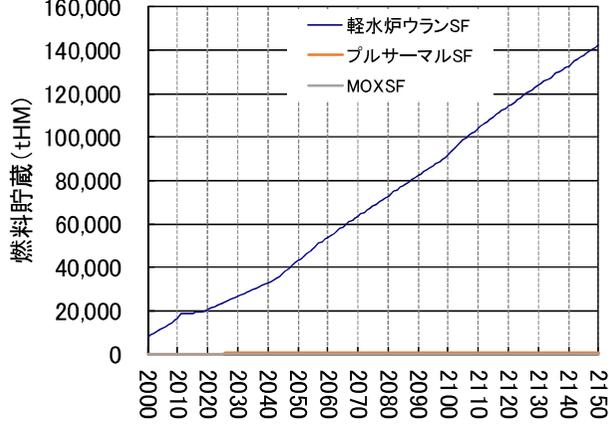
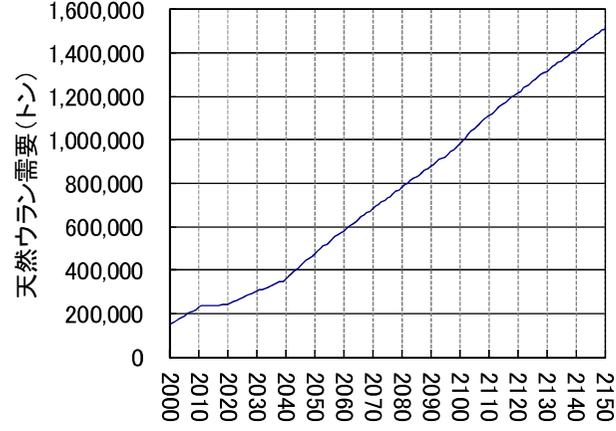
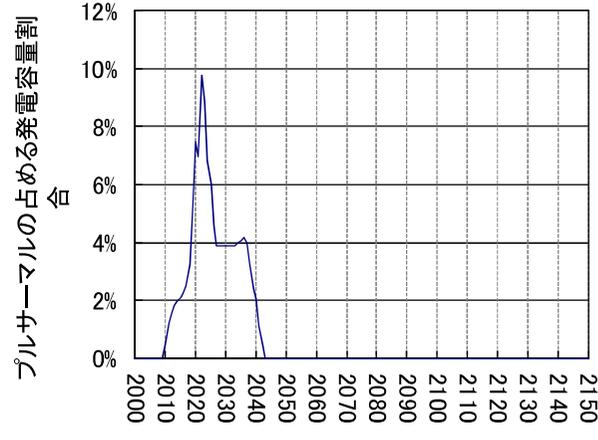
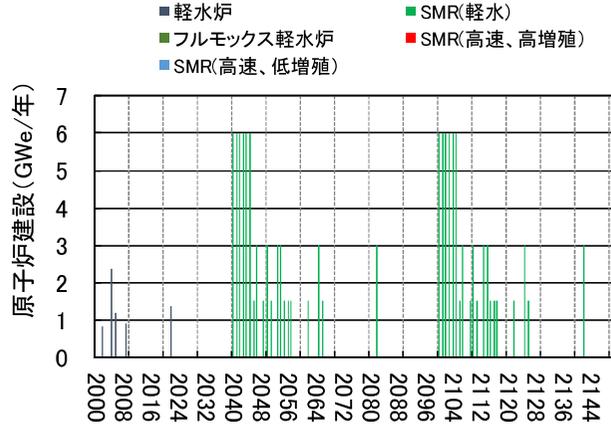
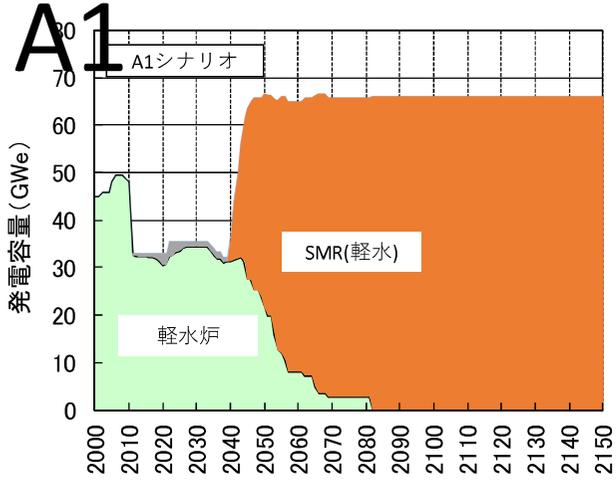
各シナリオの再処理容量 (tHM/年)

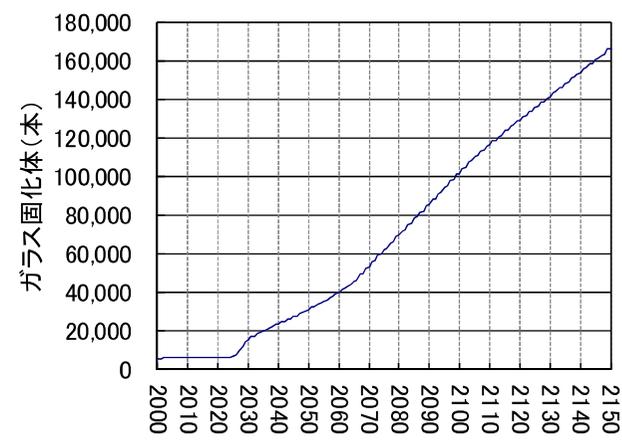
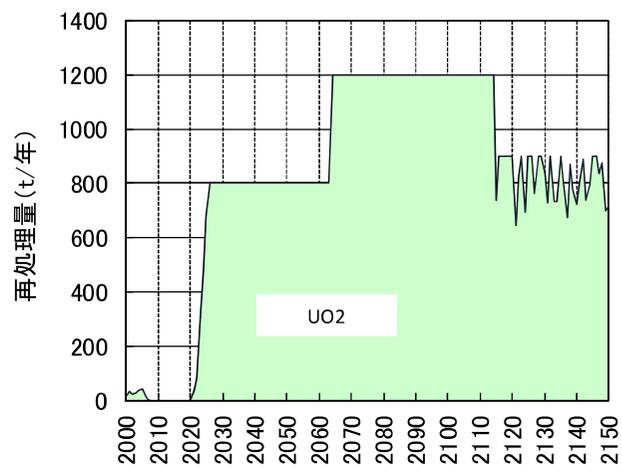
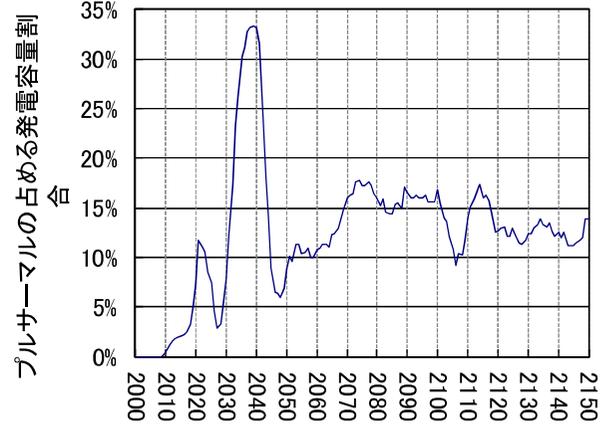
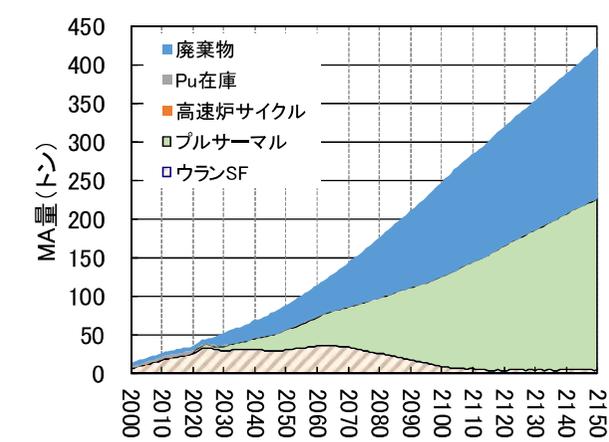
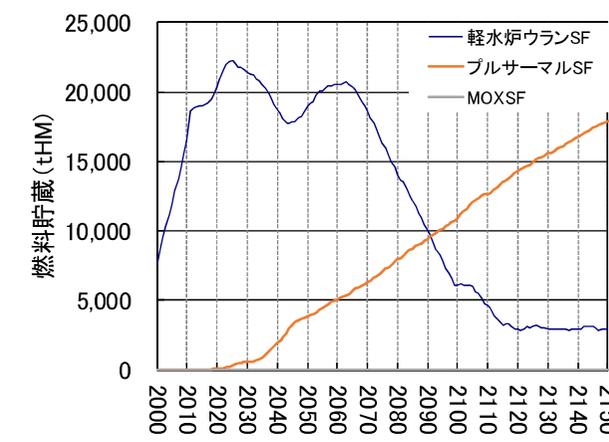
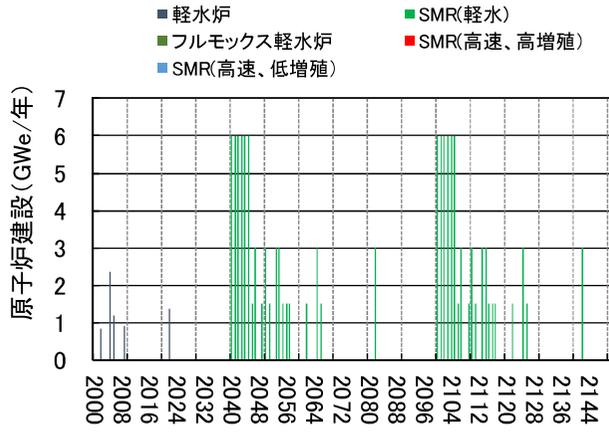
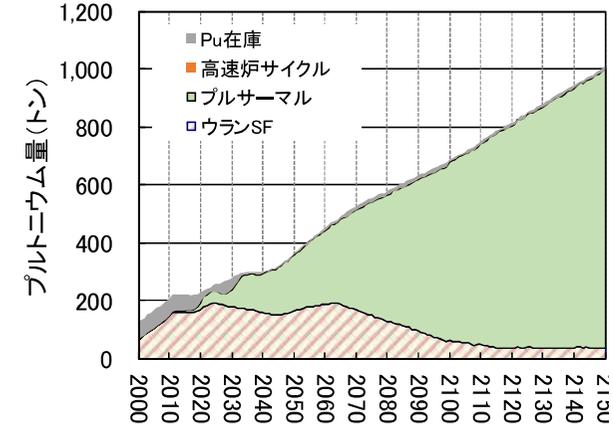
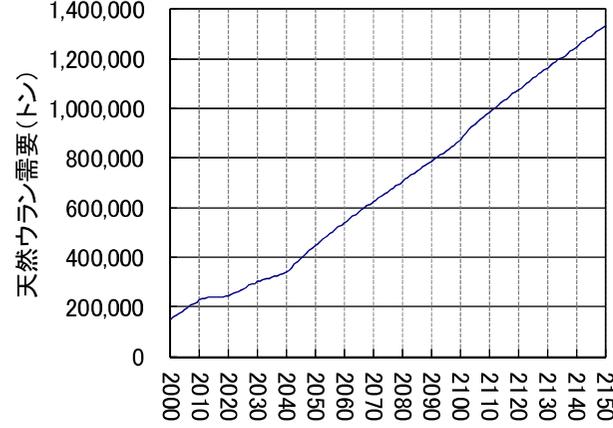
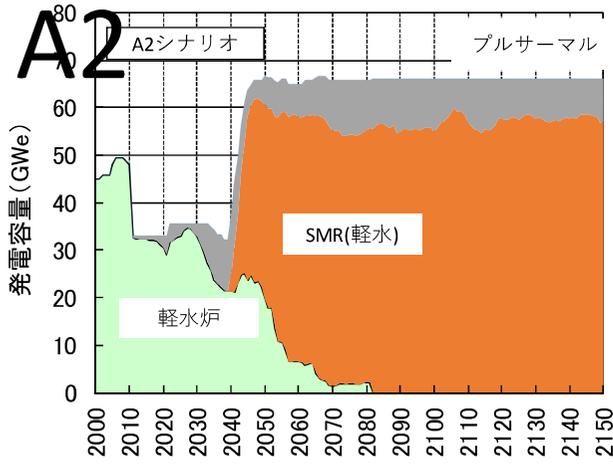
ID	サブケース	ウラン使用済み燃料 (六ヶ所以降)	MOX使用済み 燃料
A (上振れ)	A1	-	-
	A2	2026～ 800 2064～ 1200 2115～ 900	-
	A3	2026～ 800 2064～ 1200	2050～ 120 2096～ 600
	A4	2026～ 800 2064～ 1200	2050～ 120 2096～ 600
A' (上振れ)	A' 1	-	-
	A' 2	2026～ 800 2064～ 1000	-
	A' 3	2026～ 800 2064～ 800	2055～ 200 2075～ 400 2095～ 600
	A' 4	2026～ 800 2064～ 800	2055～ 200 2075～ 400 2095～ 600

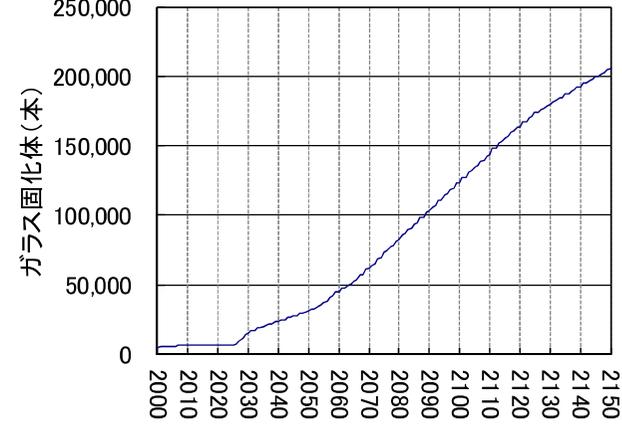
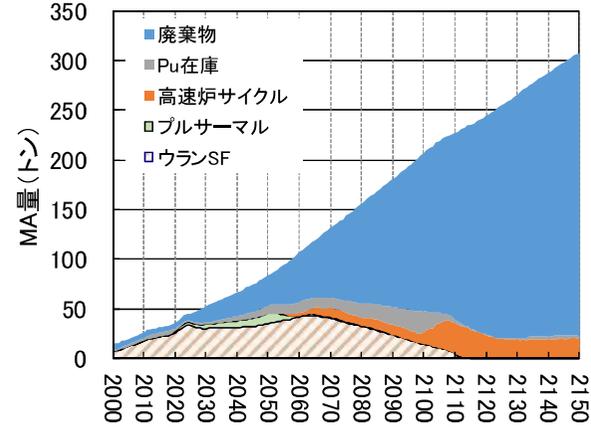
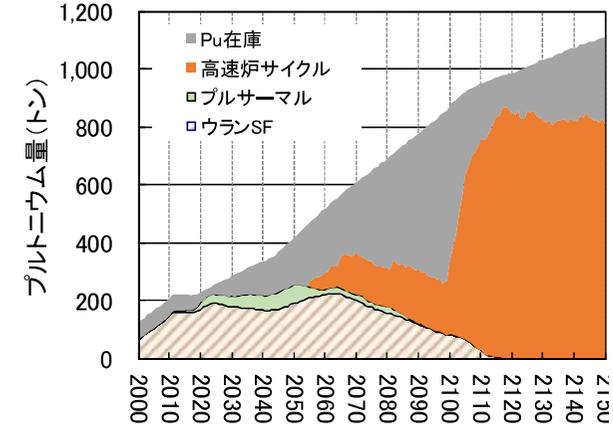
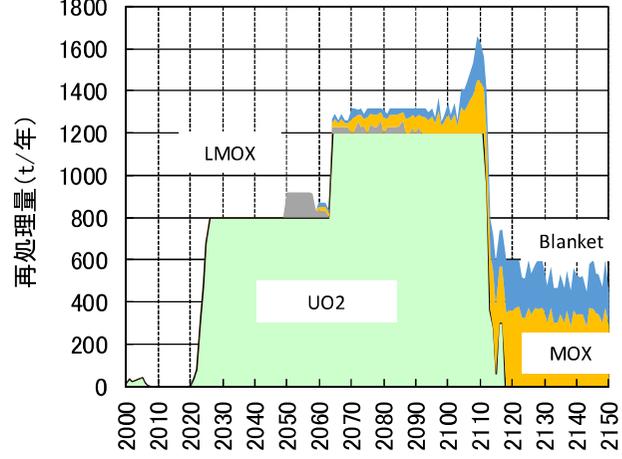
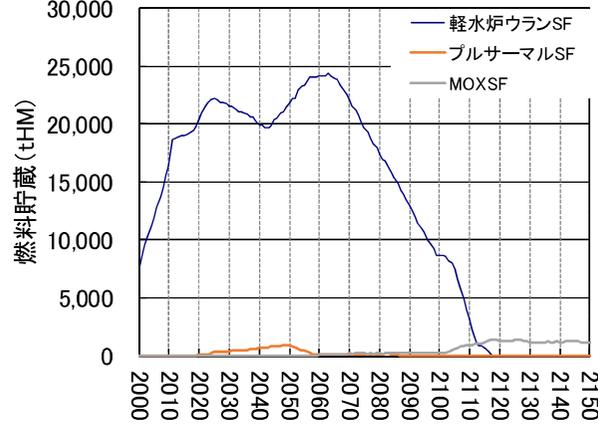
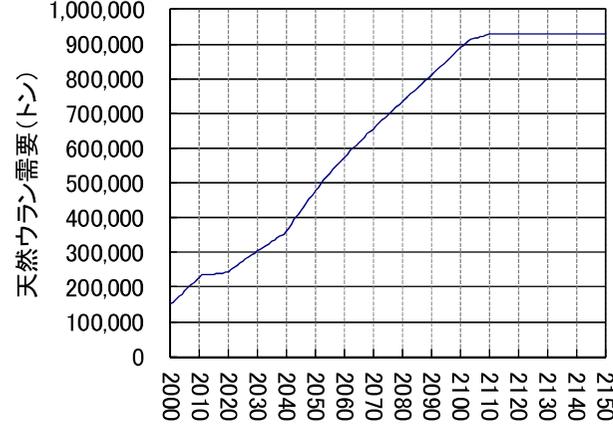
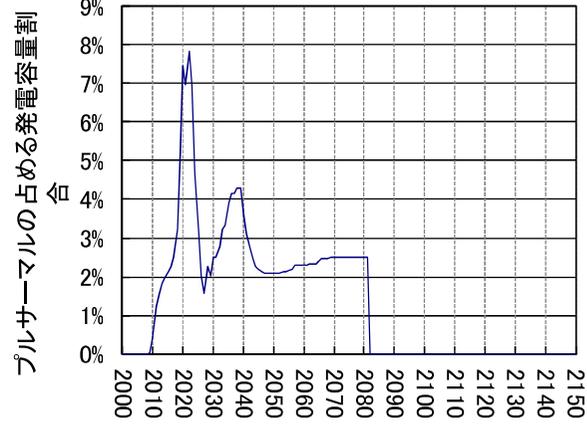
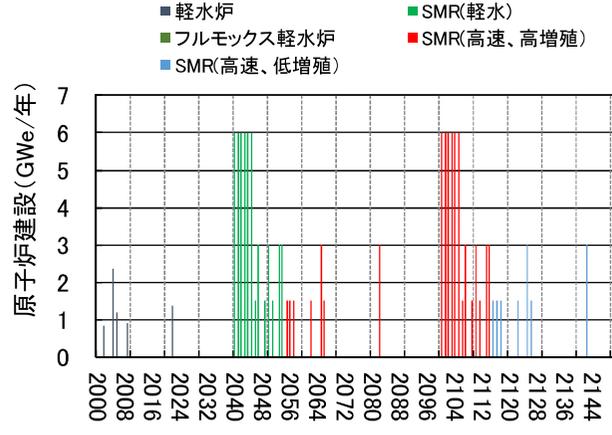
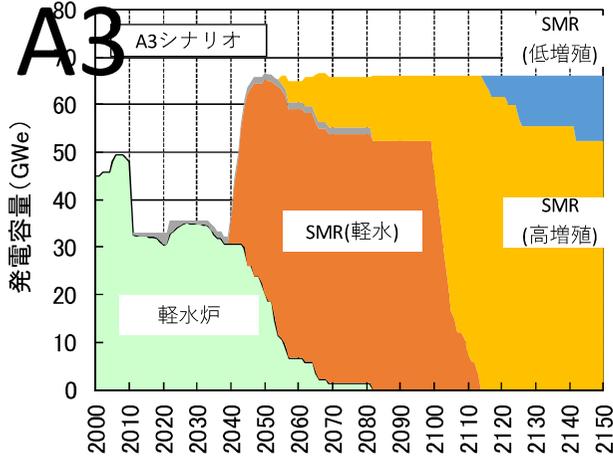
ID	サブケース	ウラン使用済み燃料 (六ヶ所以降)	MOX使用済み 燃料
B (現状)	B1	-	-
	B2	2026～ 800 2064～ 800 2100～ 500	-
	B3	2026～ 800 2064～ 800	2050～ 100 2110～ 300
	B4	2026～ 800 2064～ 800	2050～ 100 2110～ 300
B' (現状)	B'1	-	-
	B'2	2026～ 800 2064～ 500	-
	B'3	2026～ 800	2050～ 100 2080～ 200 2110～ 300
	B'4	2026～ 800	2050～ 100 2080～ 200 2110～ 300

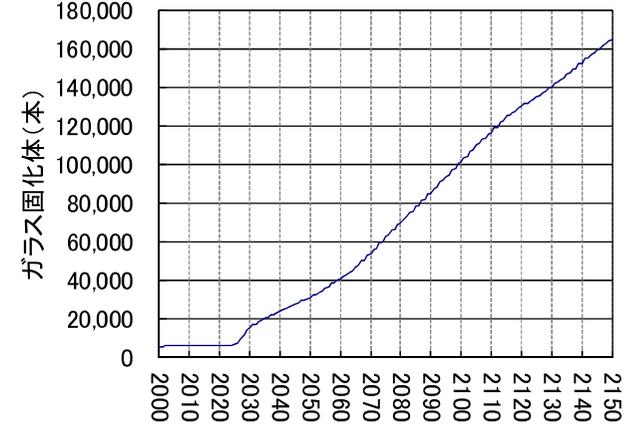
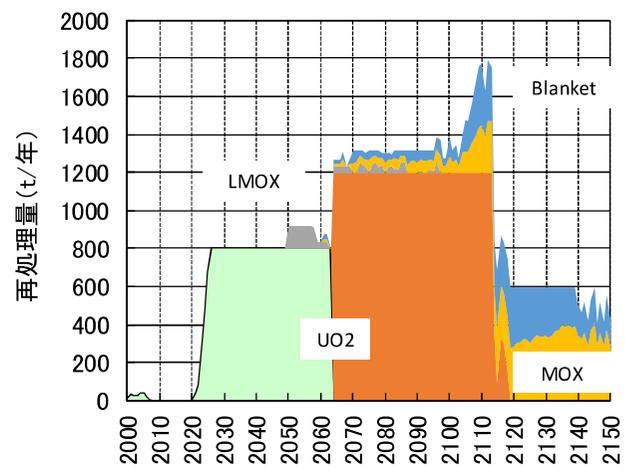
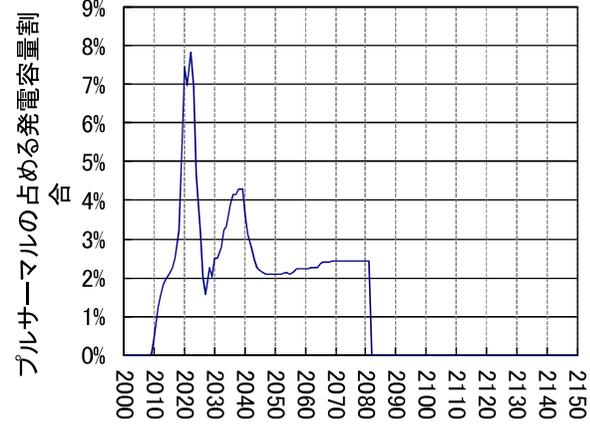
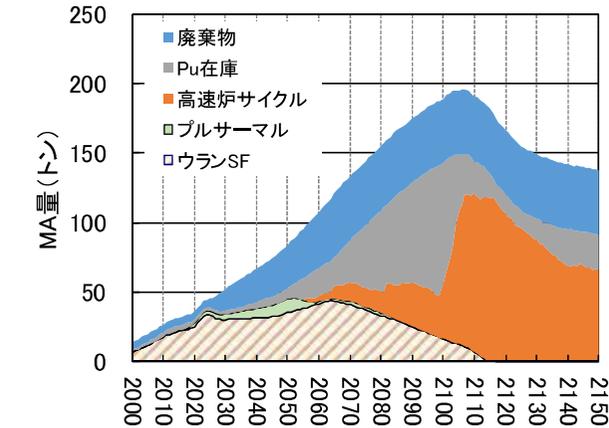
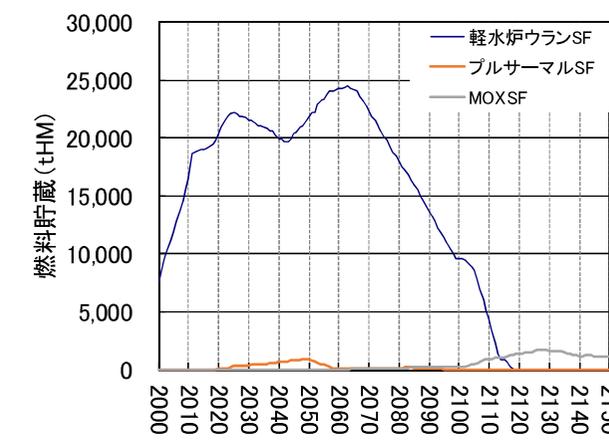
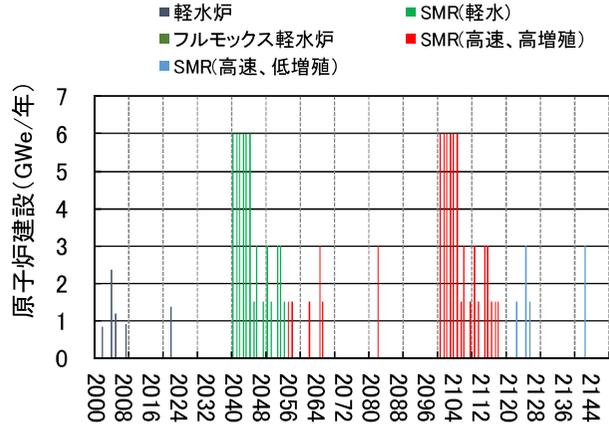
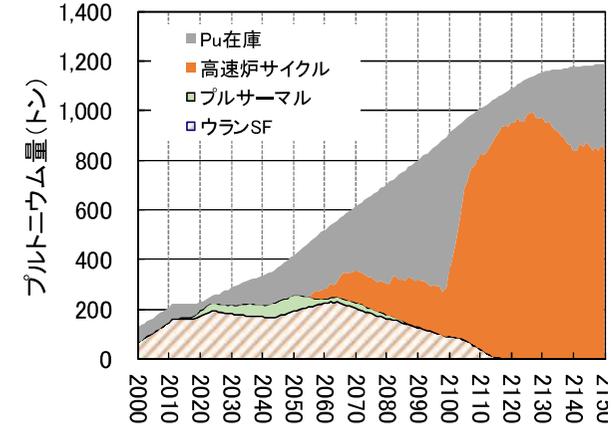
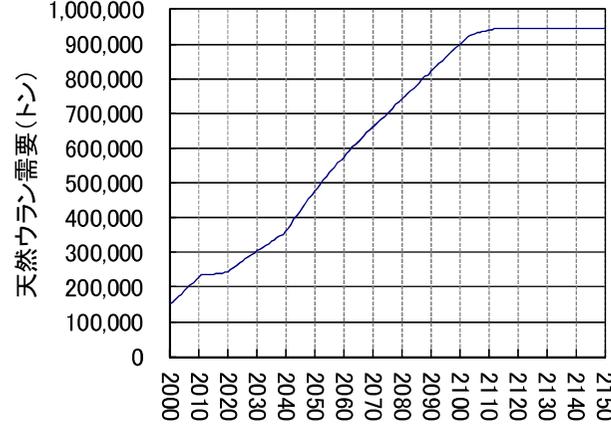
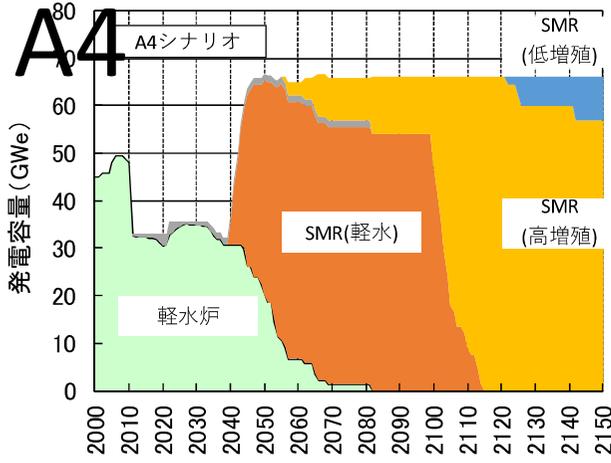
ID	サブケース	ウラン使用済み燃料 (六ヶ所以降)	MOX使用済み 燃料
C (下振れ)	C1	-	-
	C1.5	2026～ 800 2067～ 0	-
	C2	2026～ 800	-
C' (下振れ)	C'1	-	-
	C'1.5	2026～ 800 2045～ 0	-
	C'2	2026～ 800	-

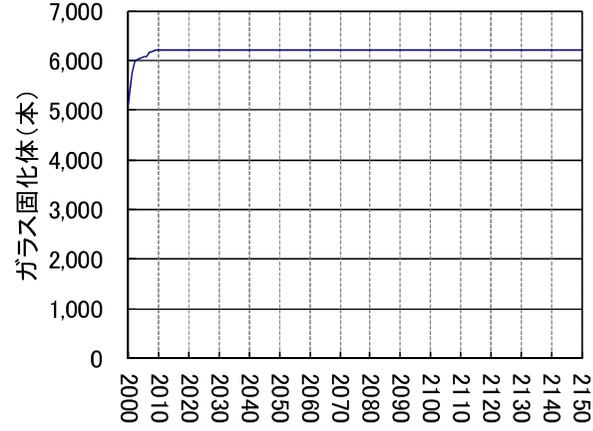
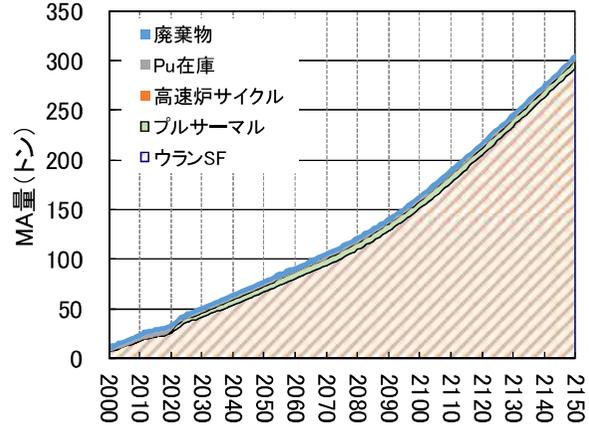
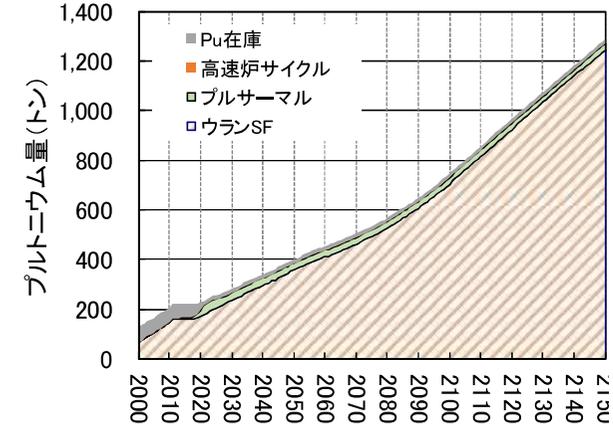
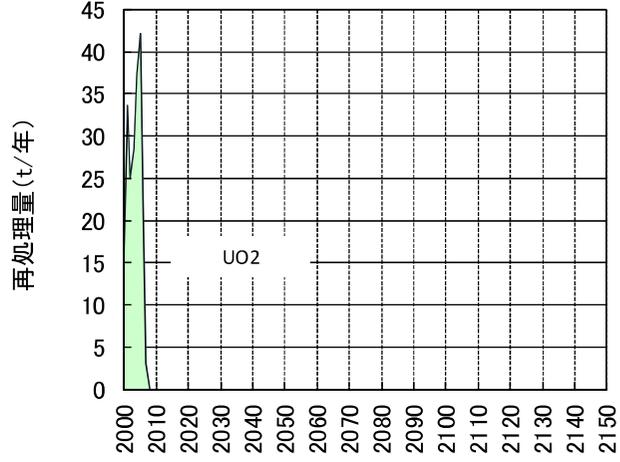
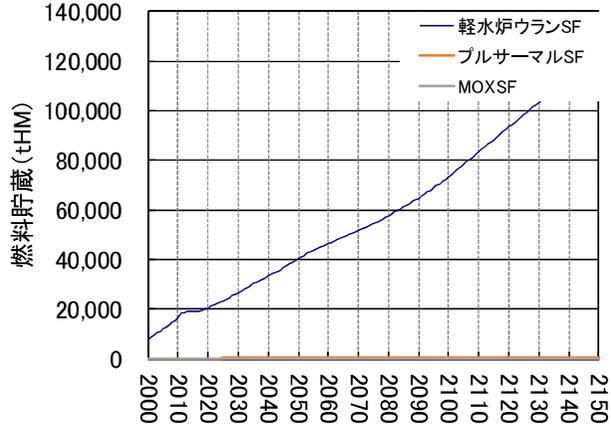
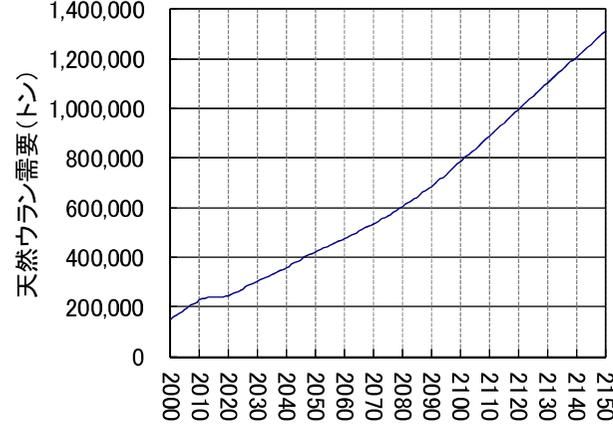
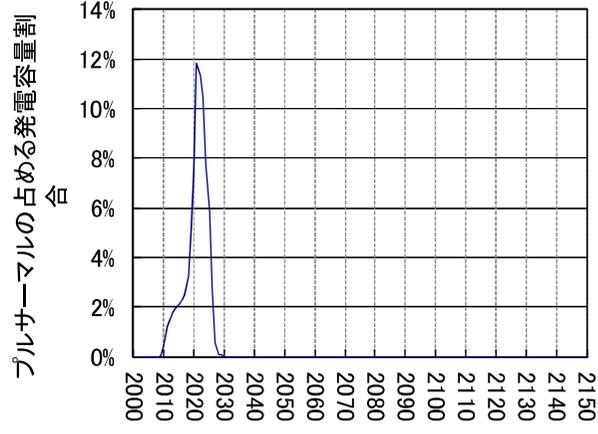
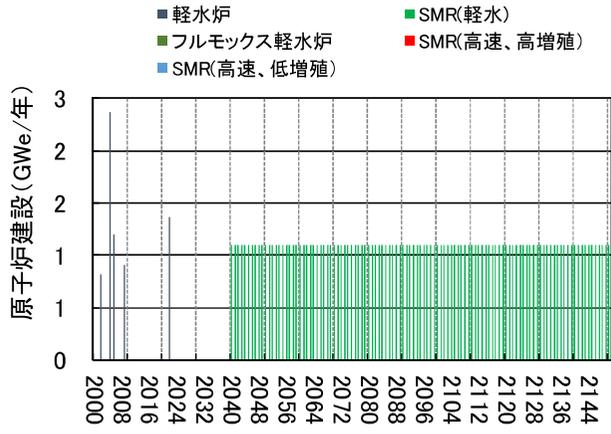
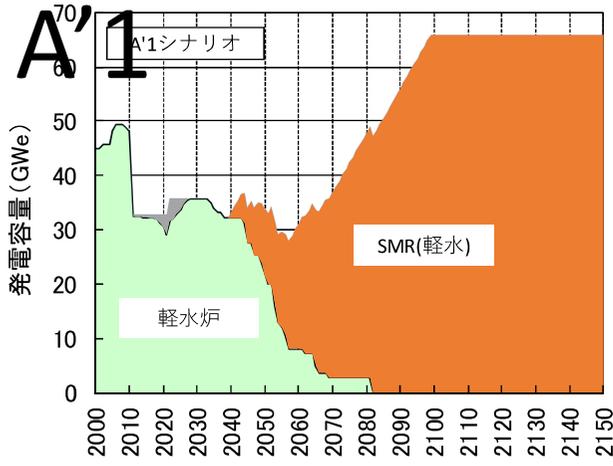
以下、諸量評価結果

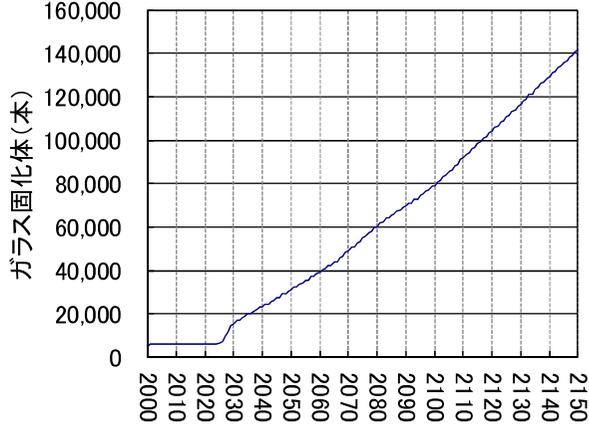
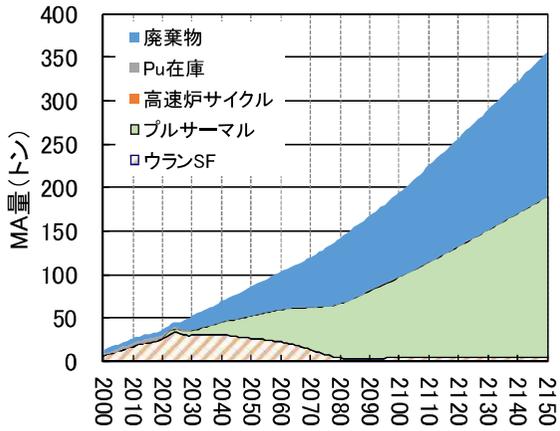
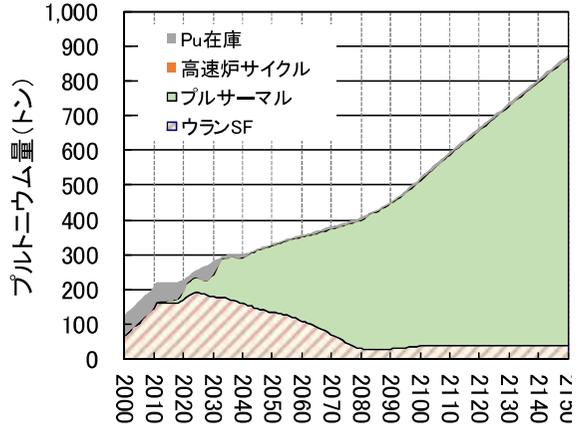
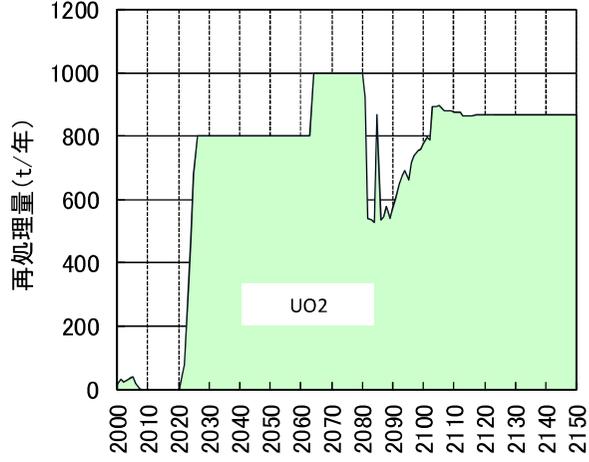
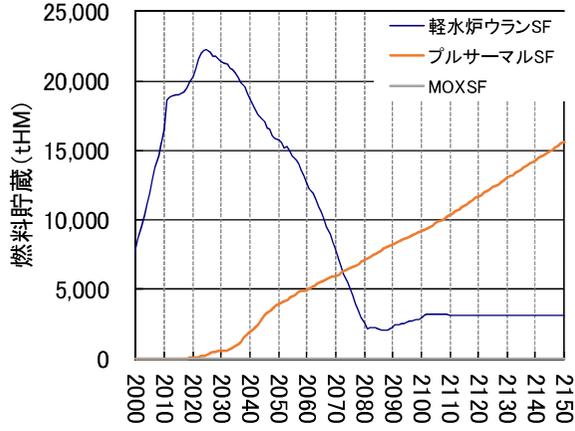
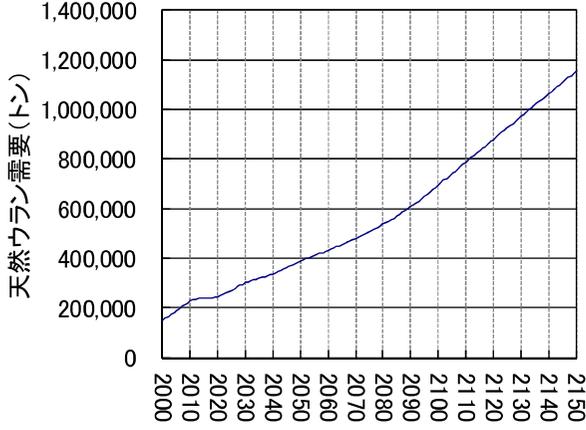
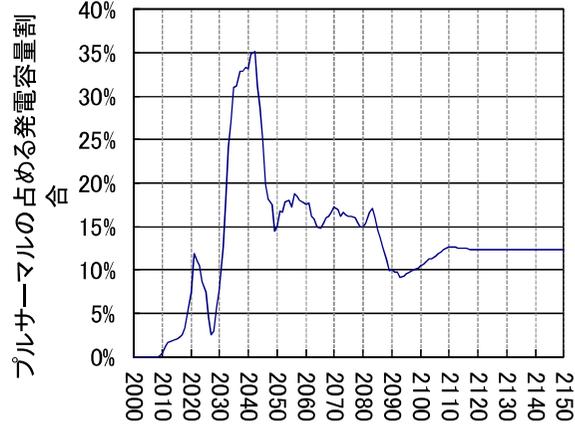
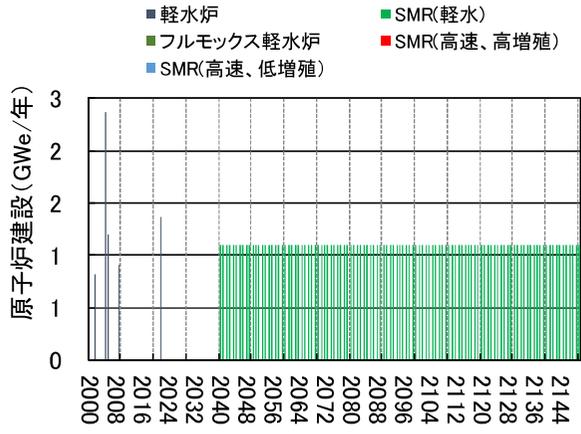
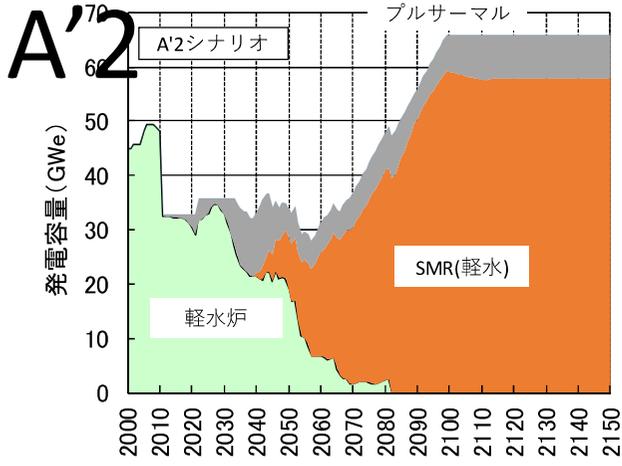




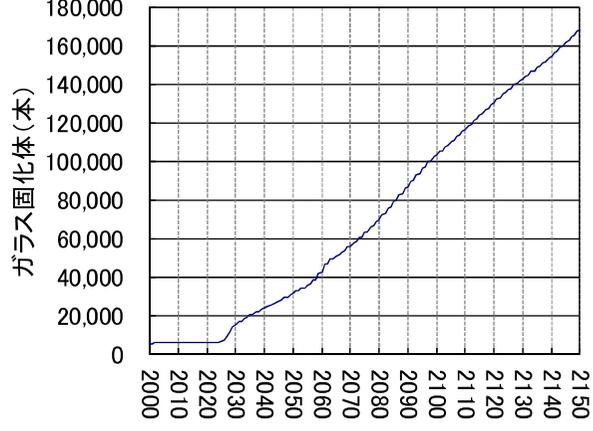
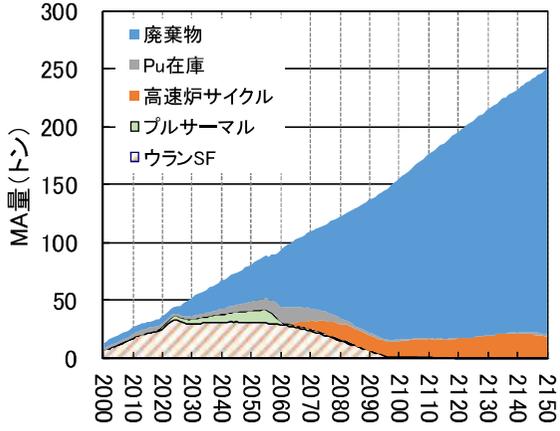
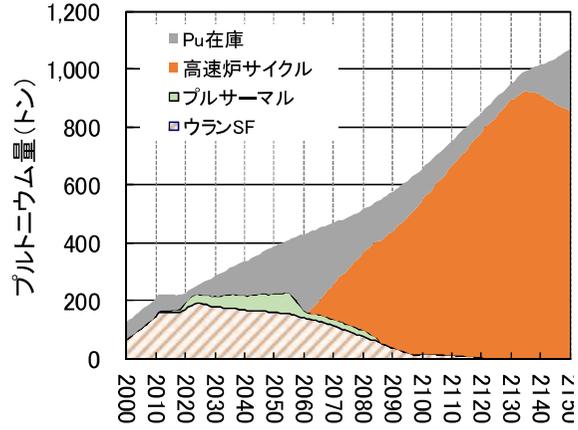
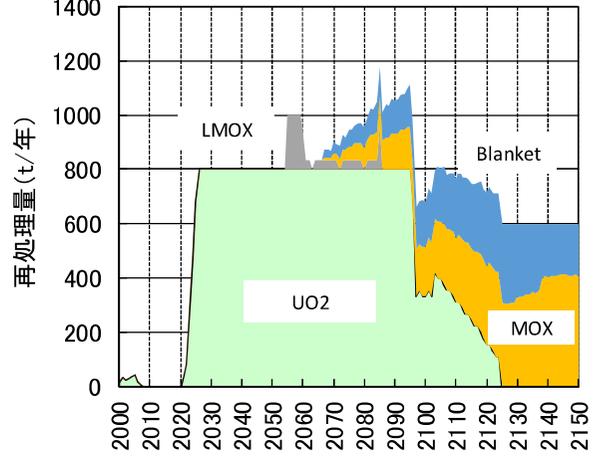
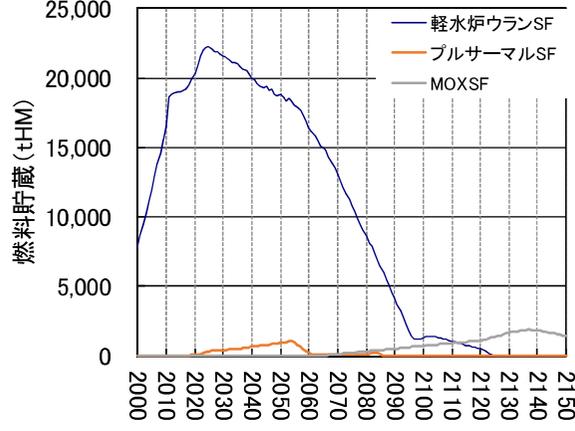
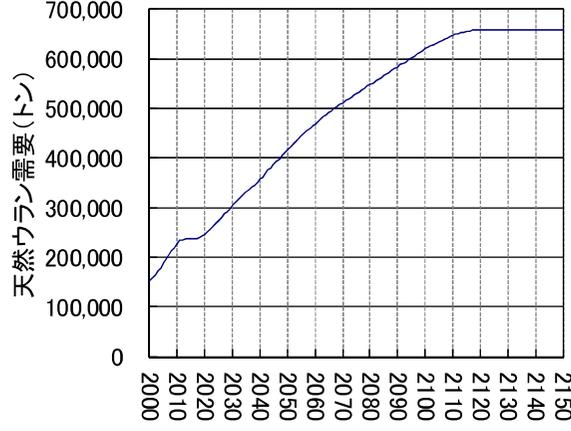
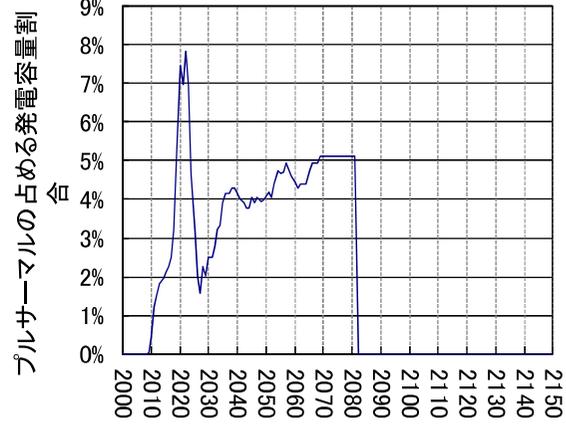
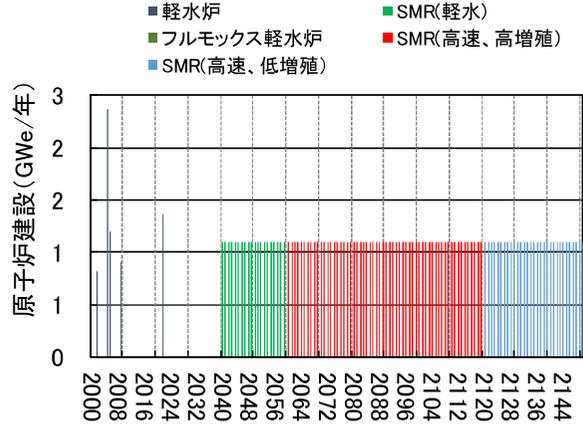
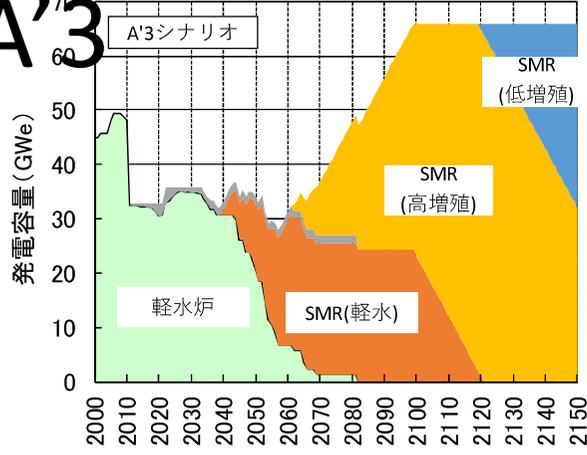


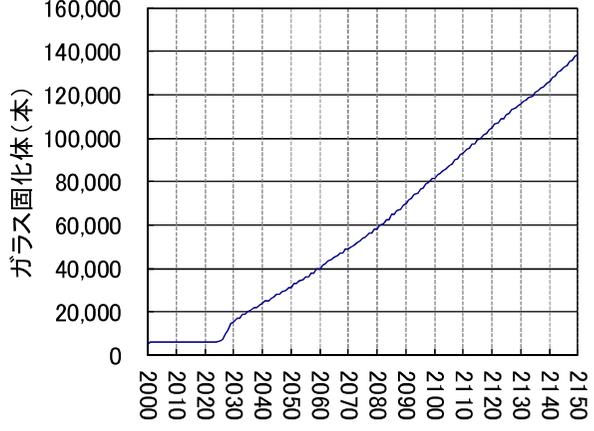
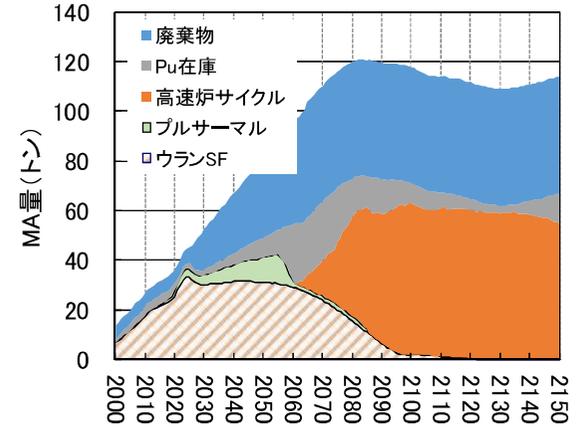
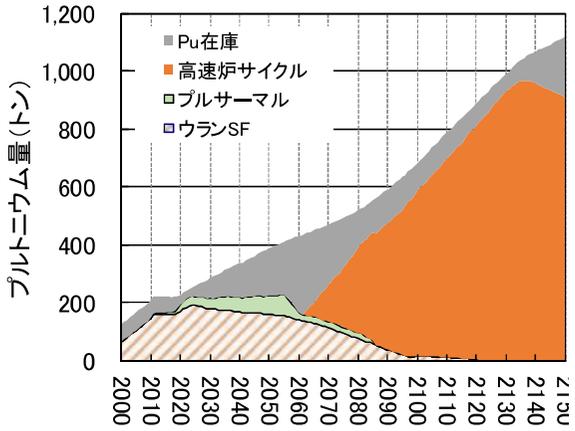
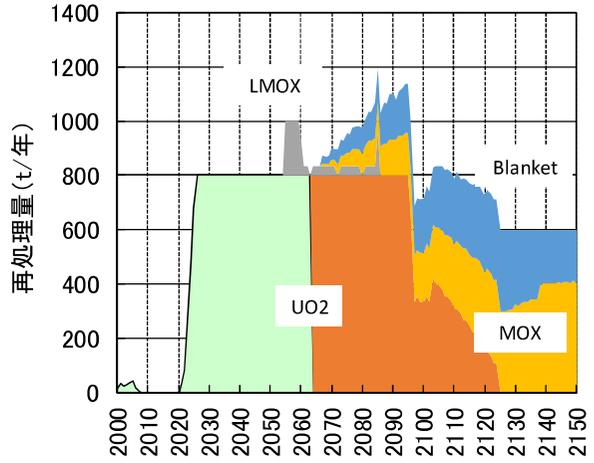
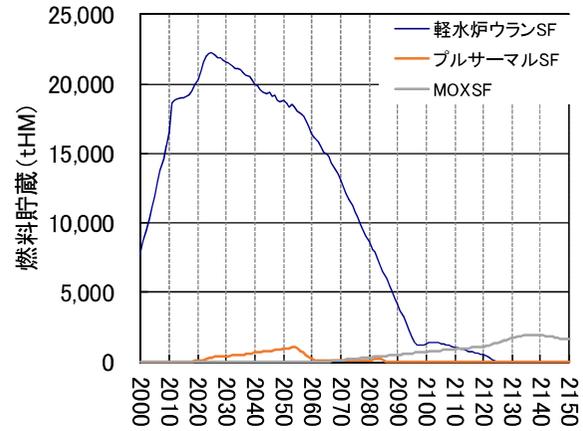
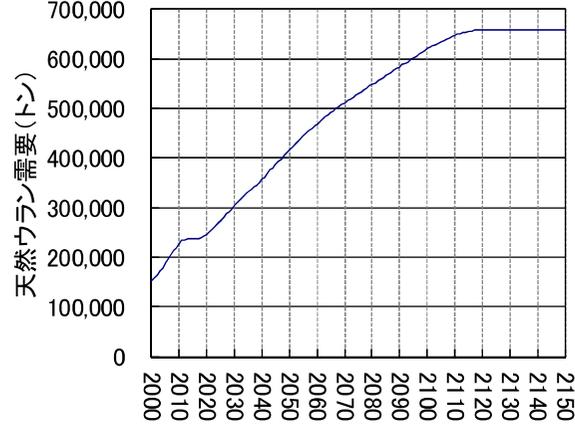
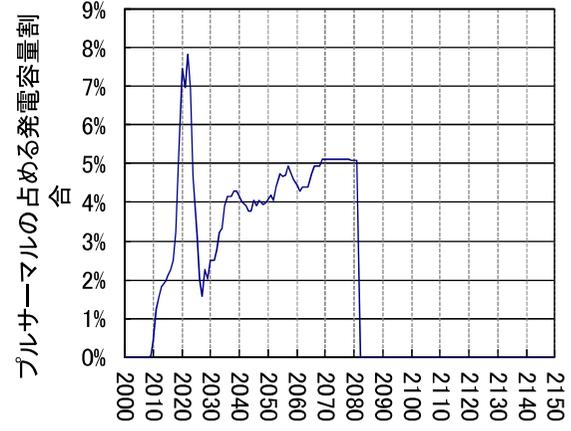
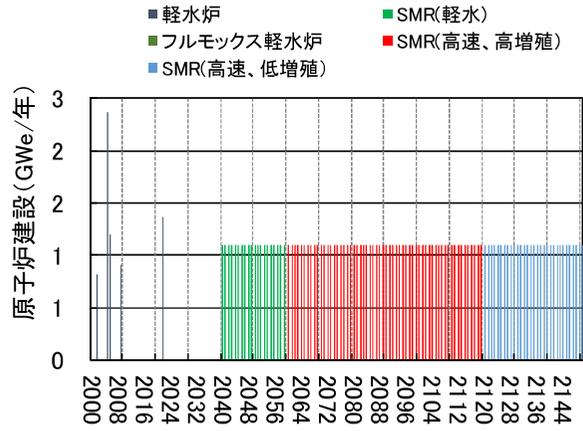
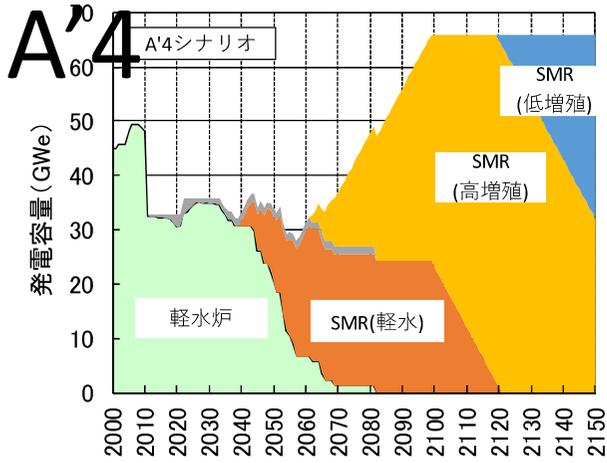


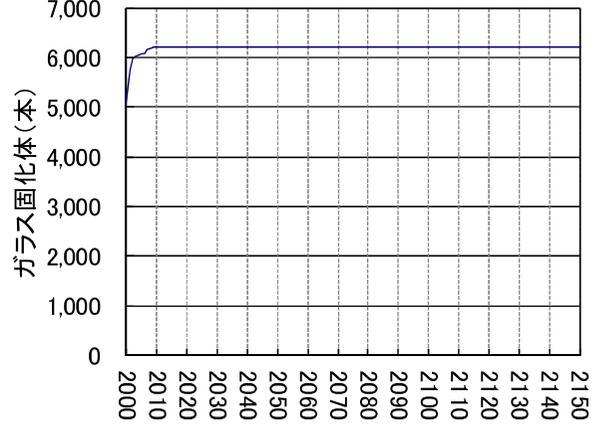
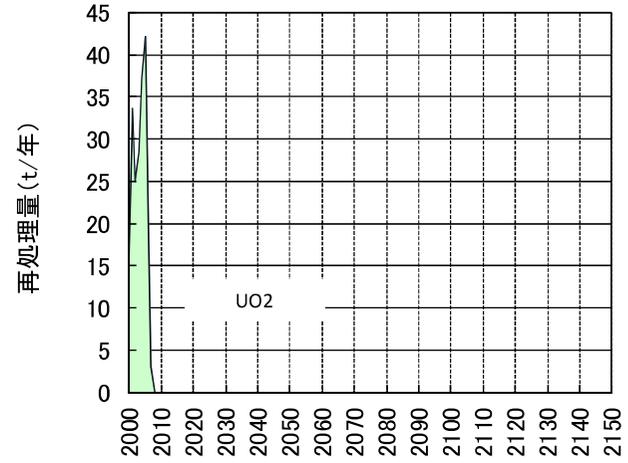
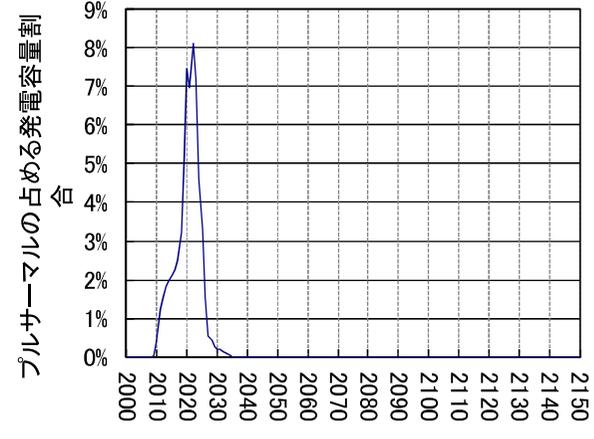
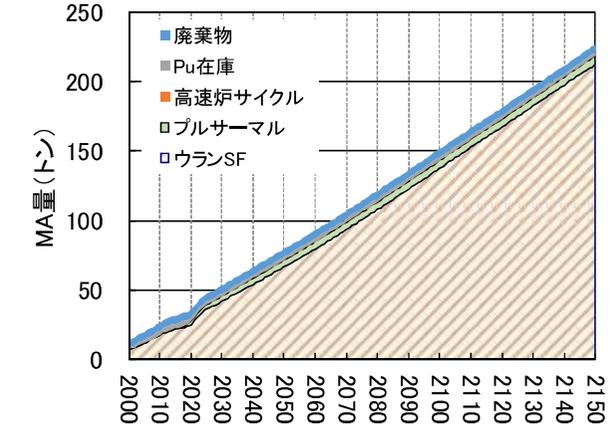
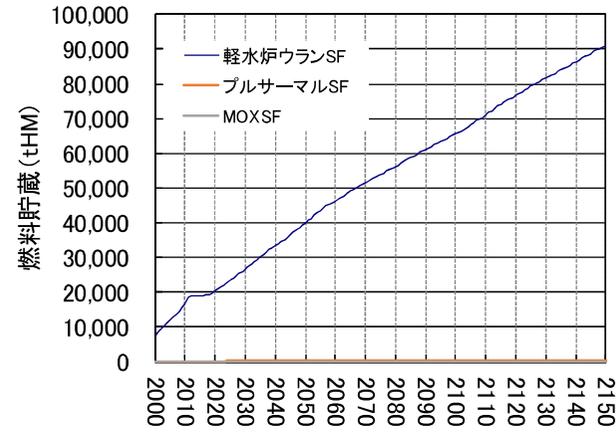
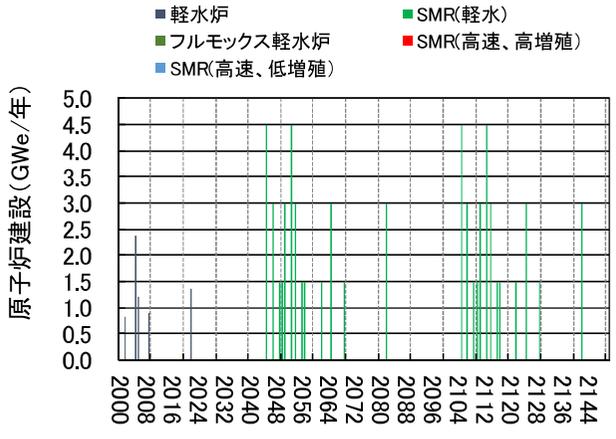
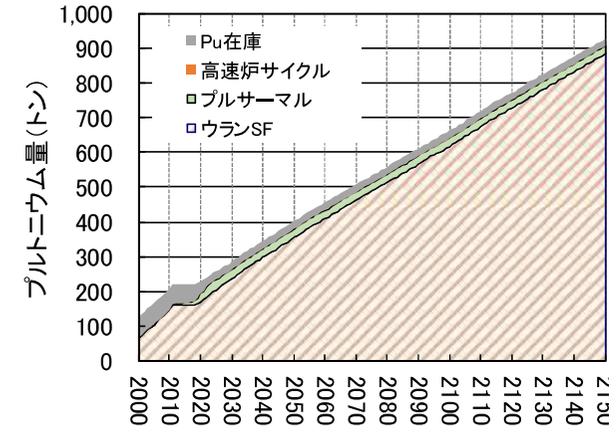
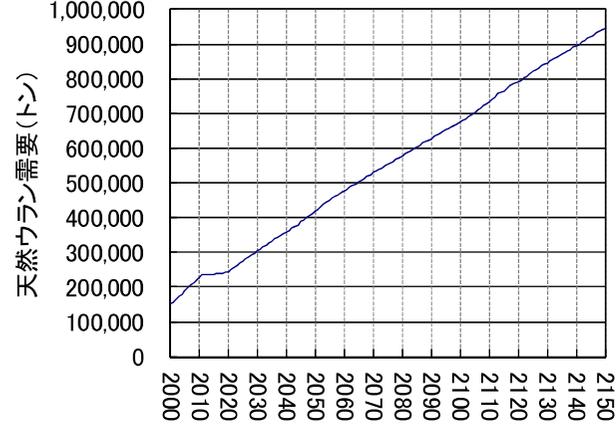
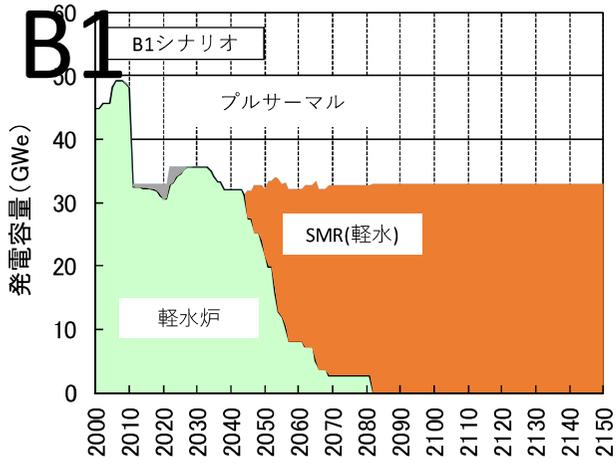


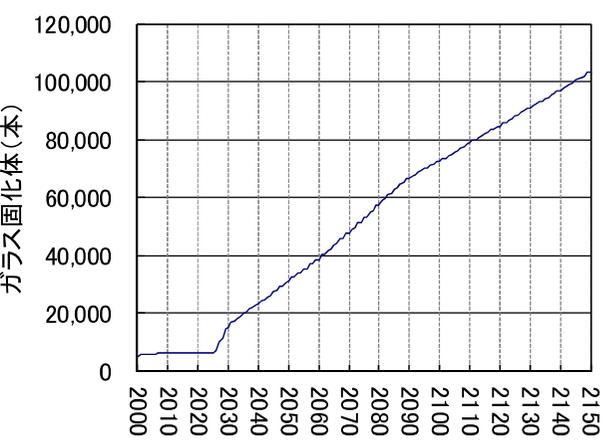
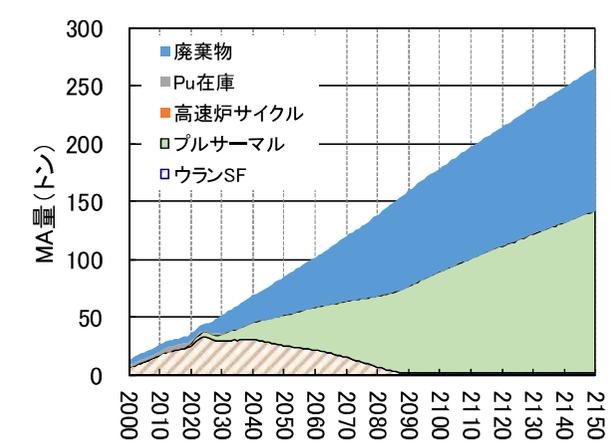
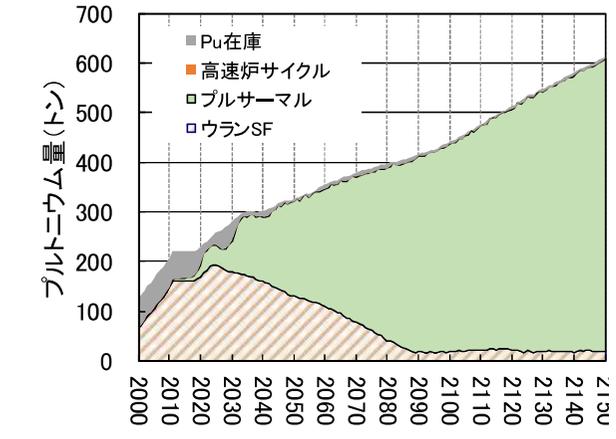
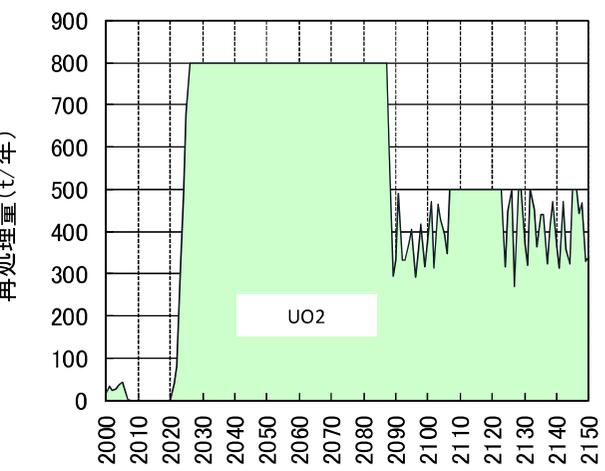
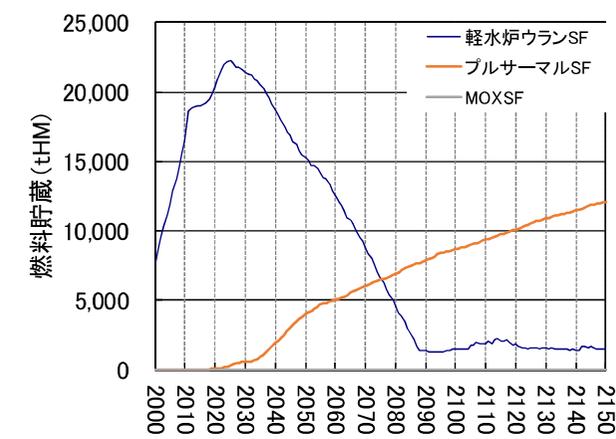
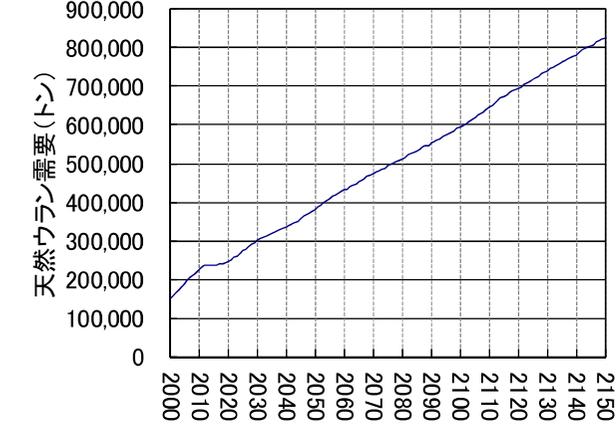
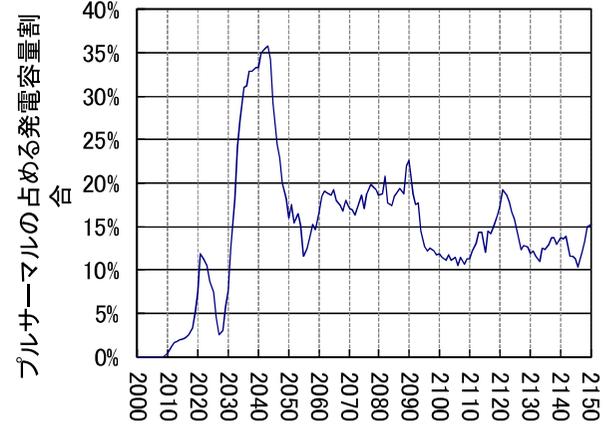
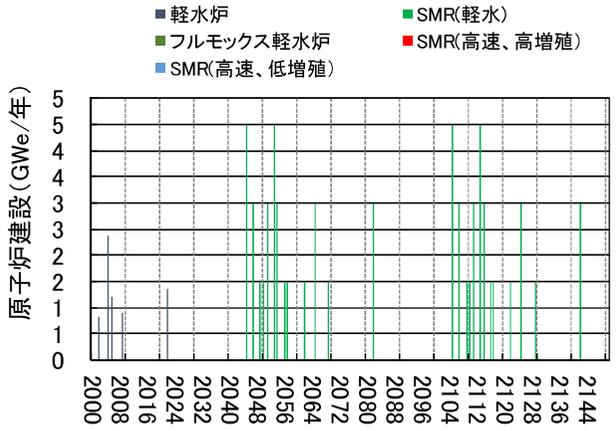
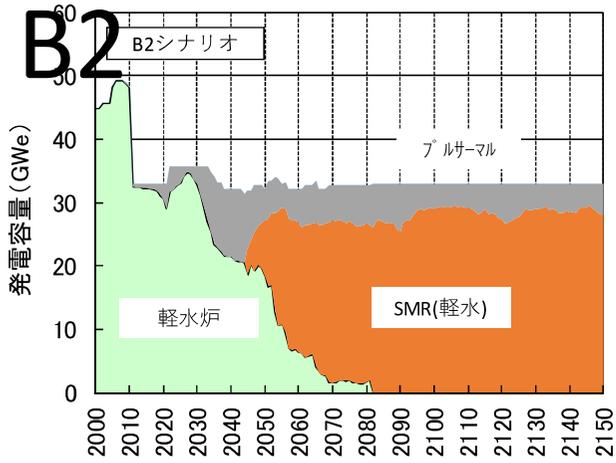


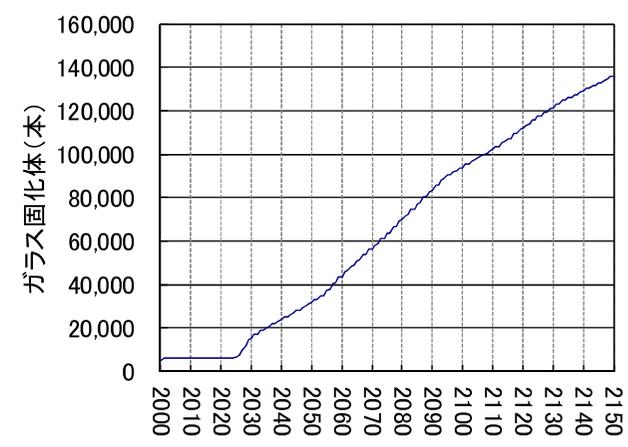
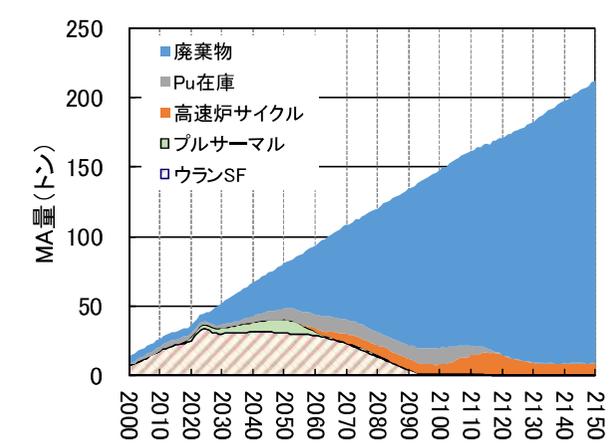
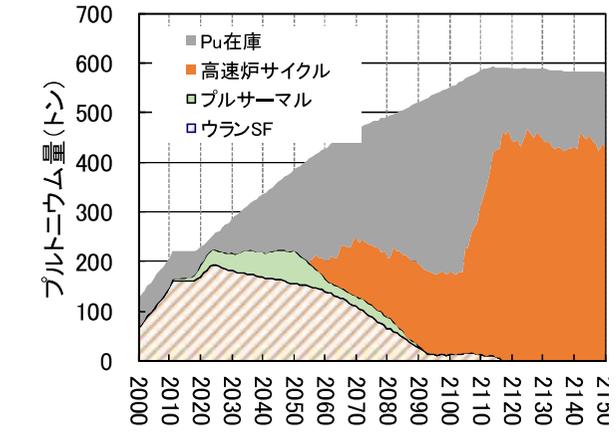
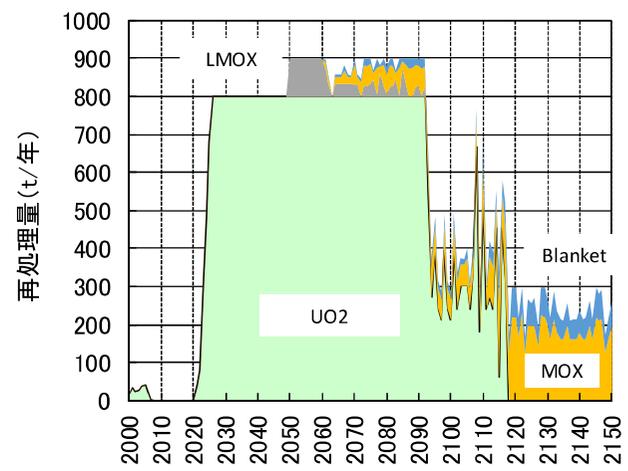
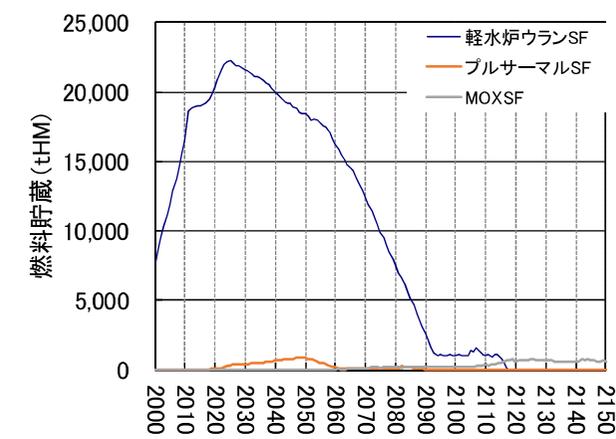
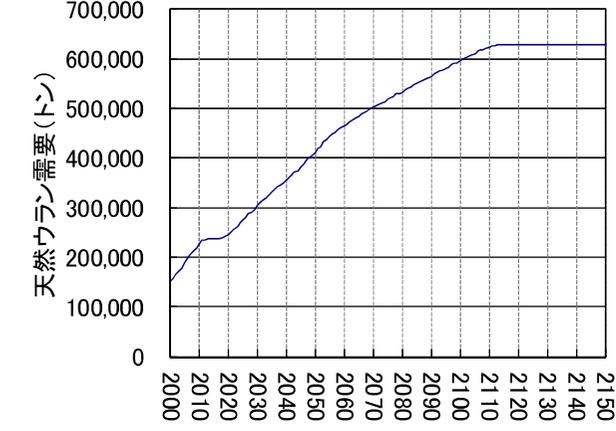
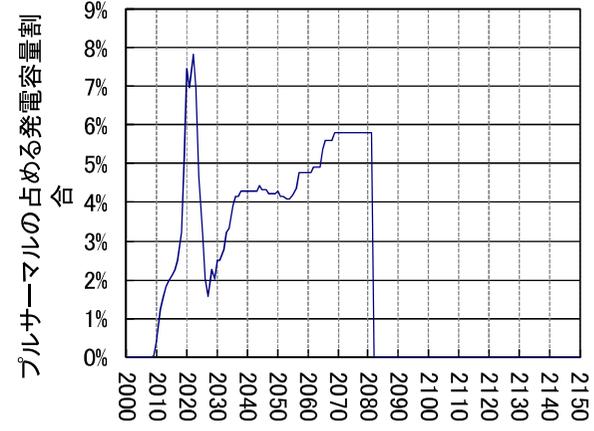
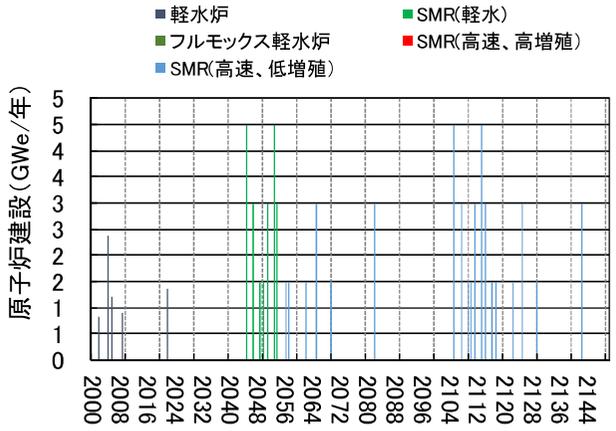
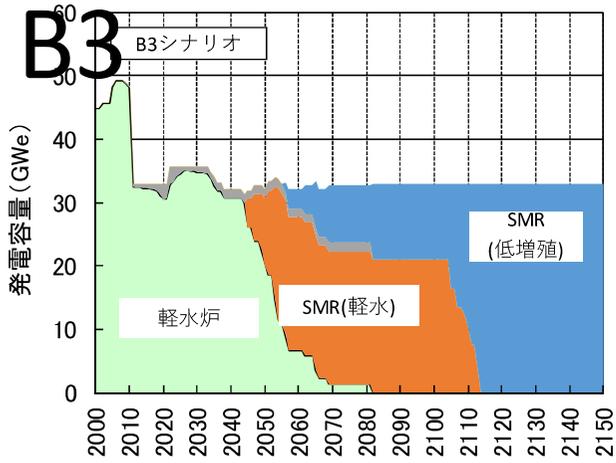
A'3

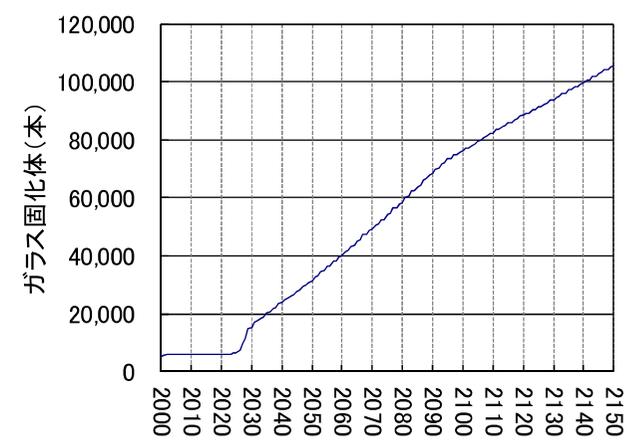
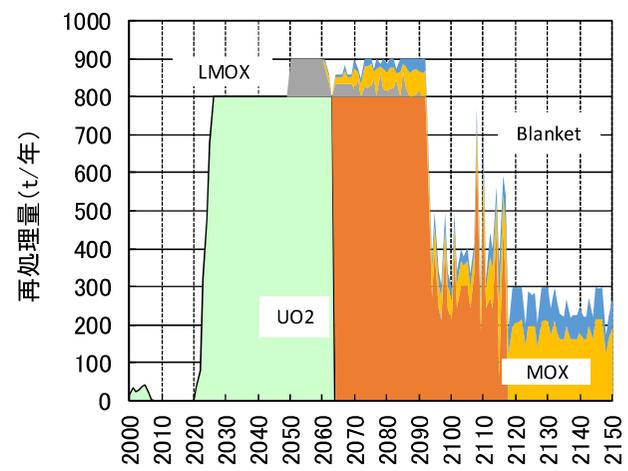
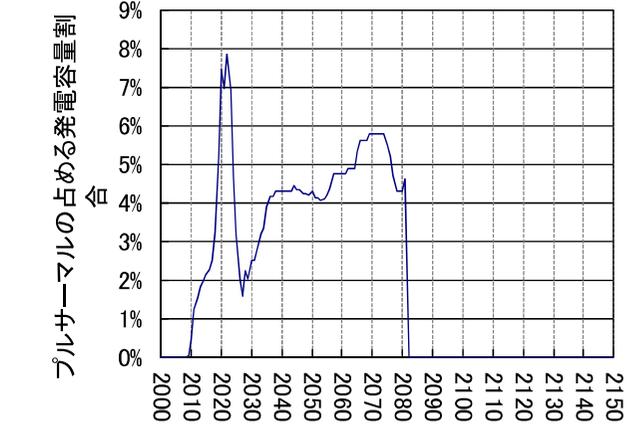
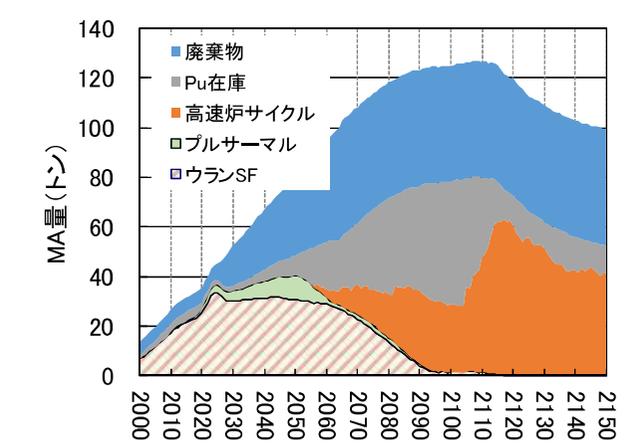
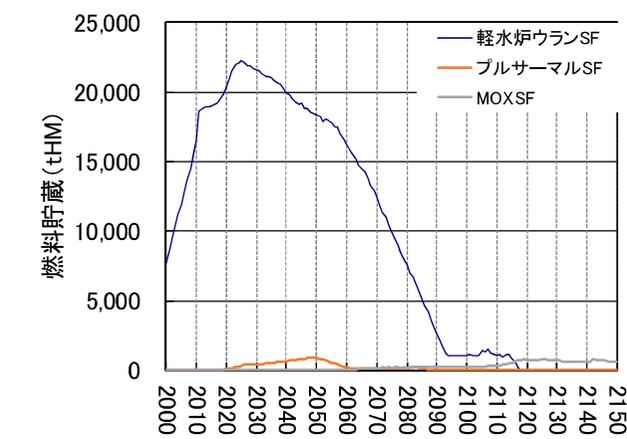
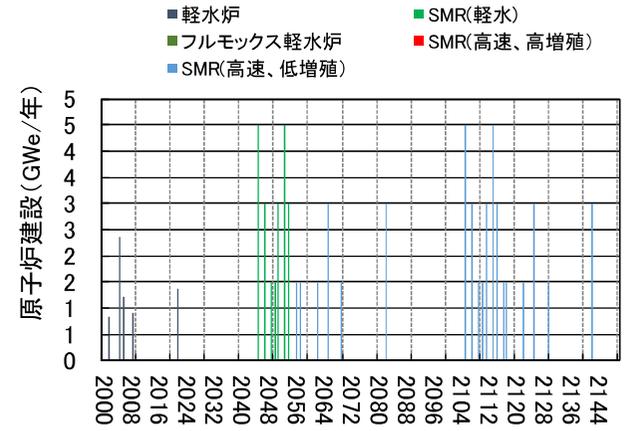
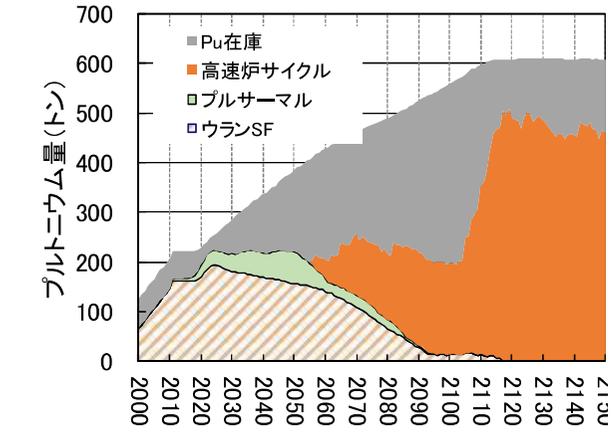
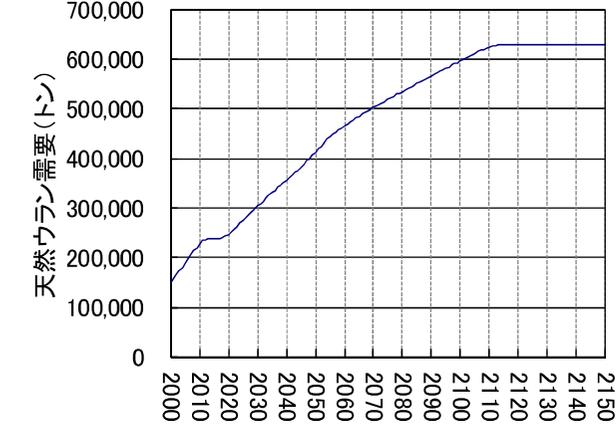
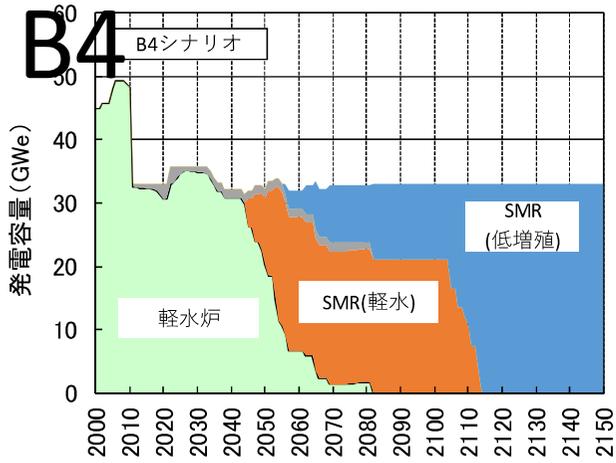


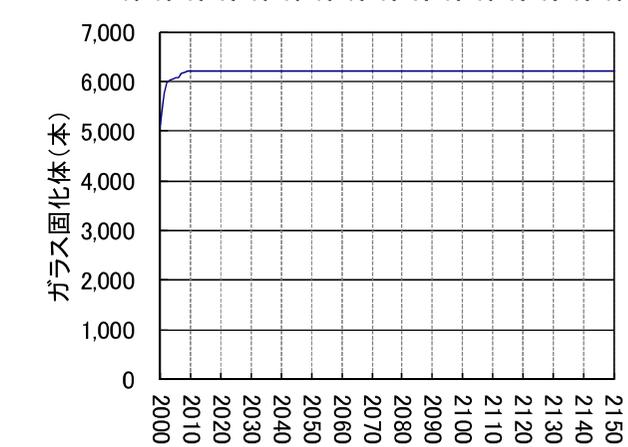
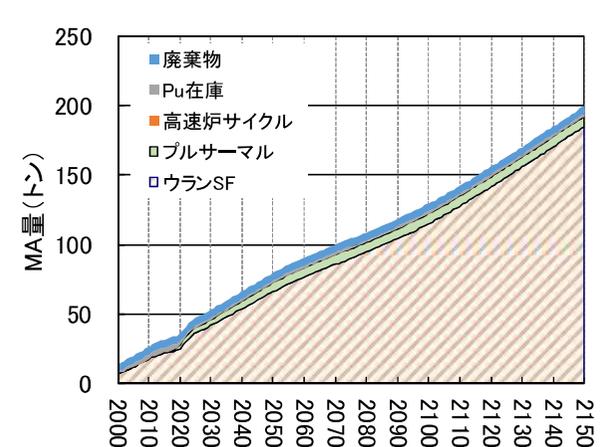
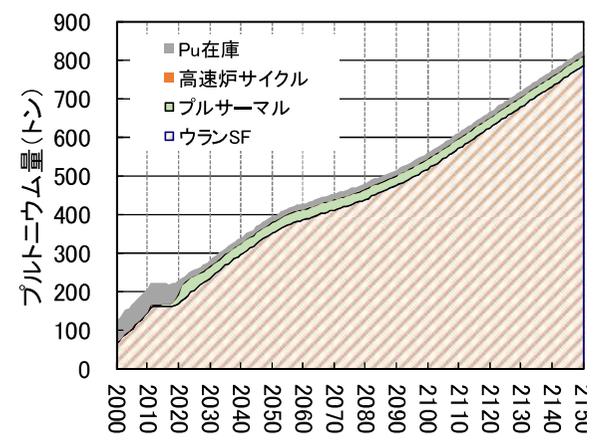
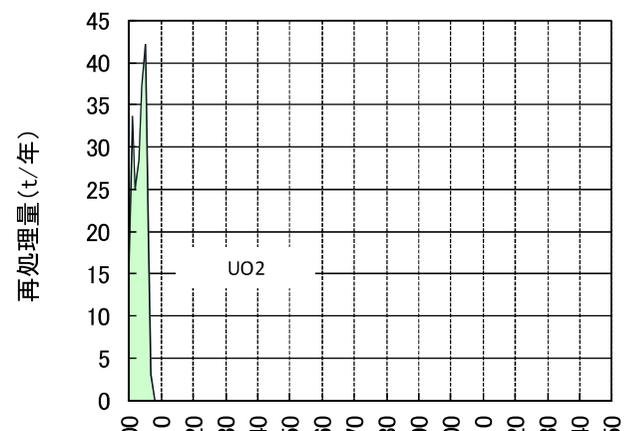
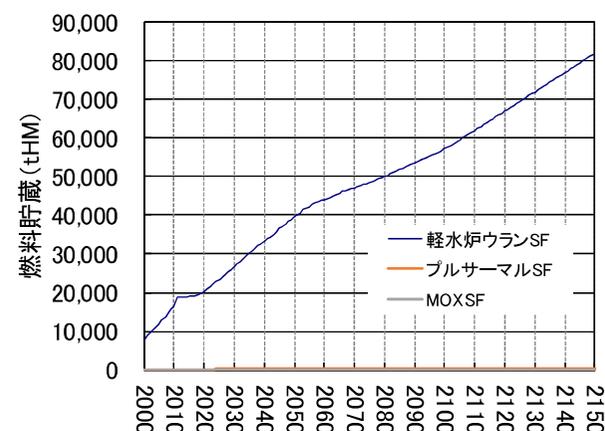
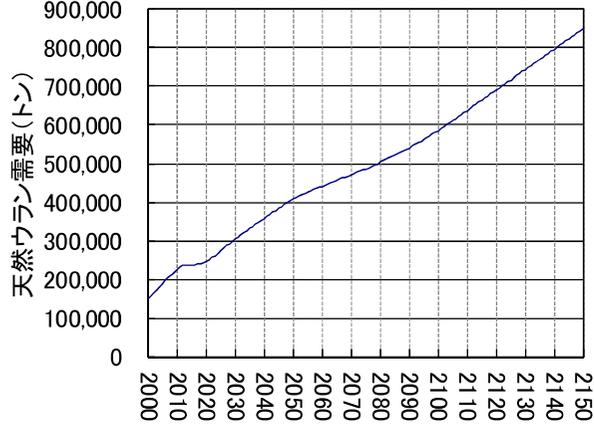
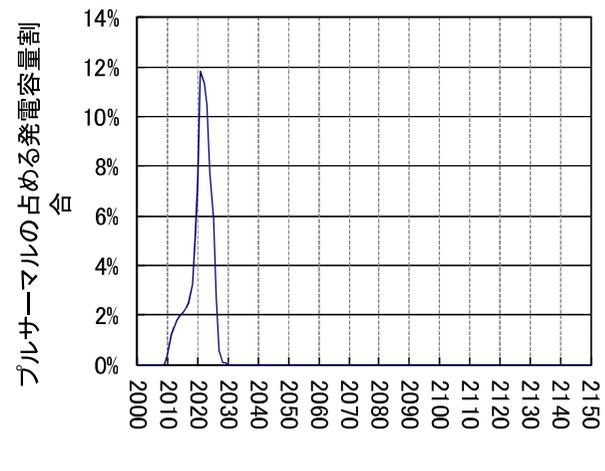
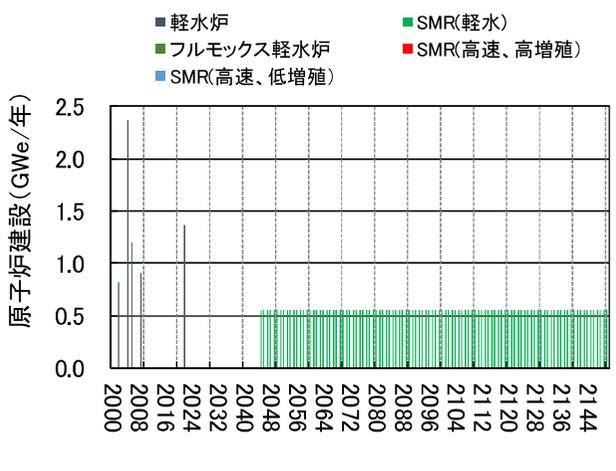
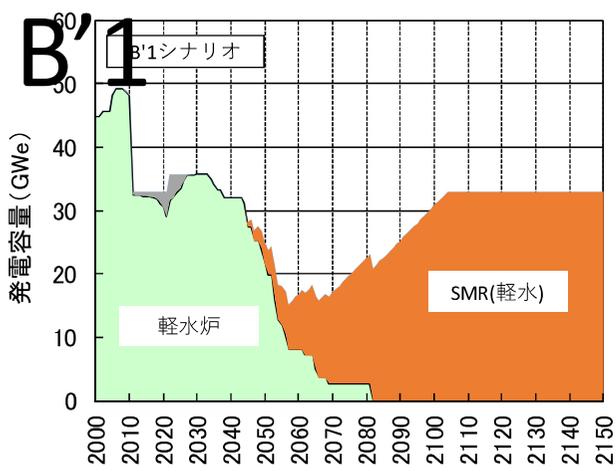


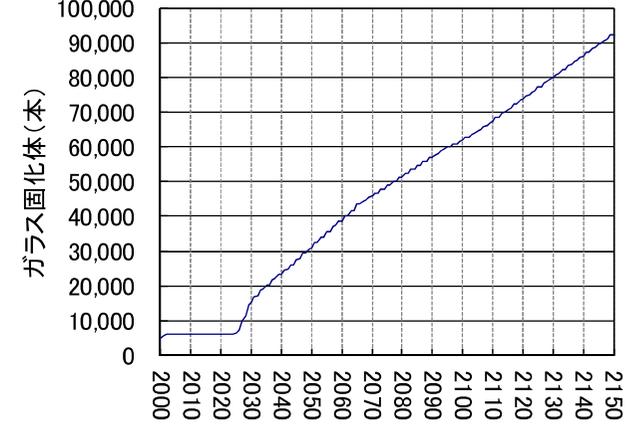
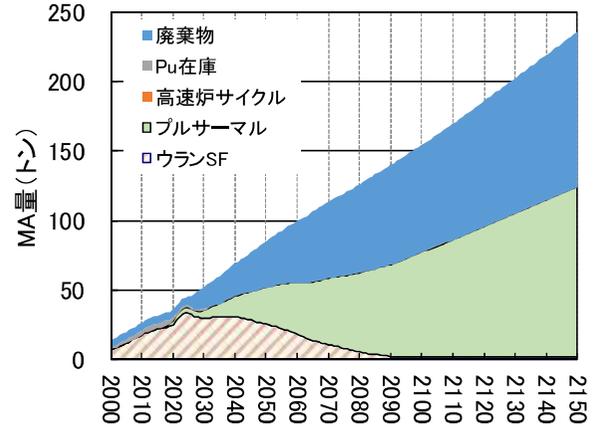
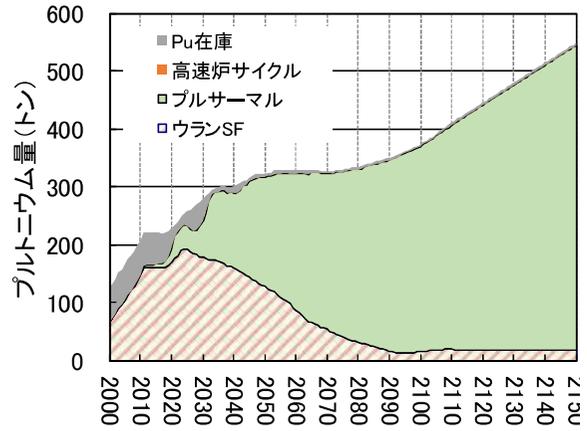
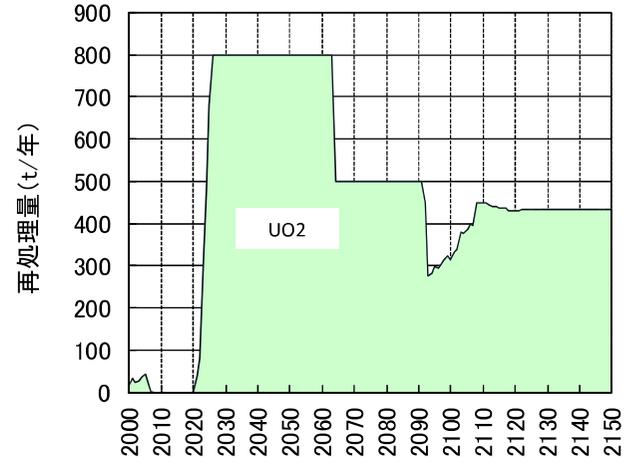
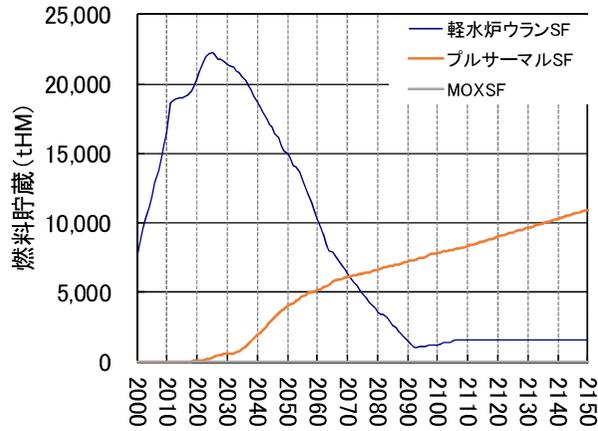
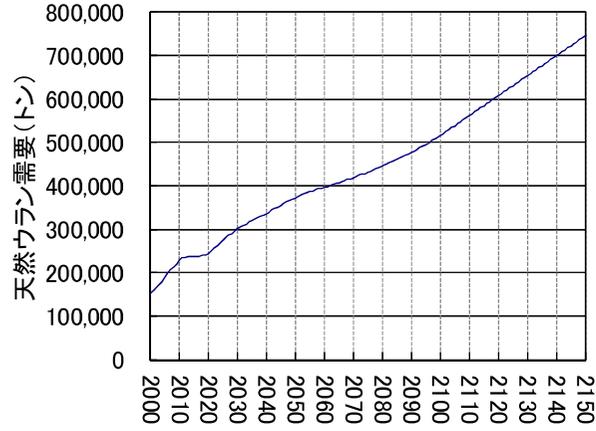
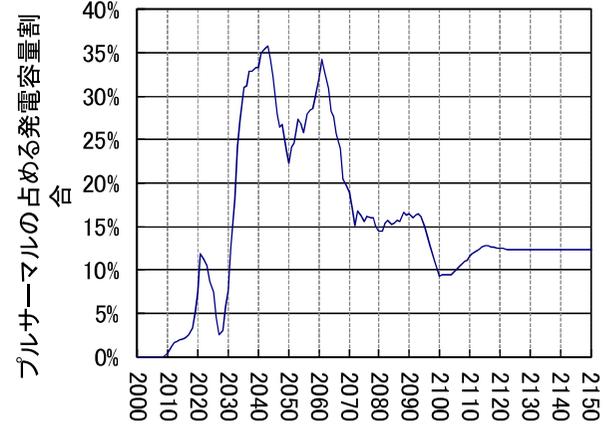
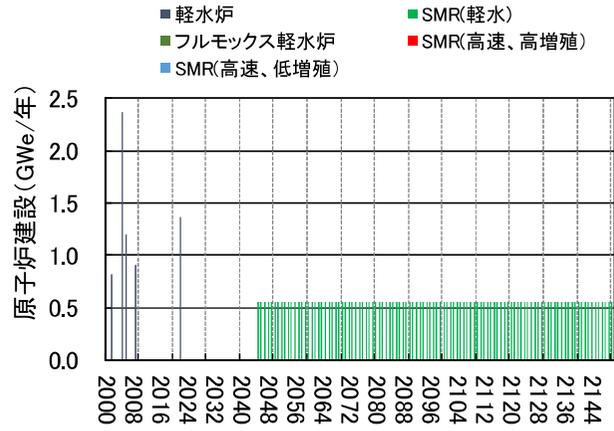
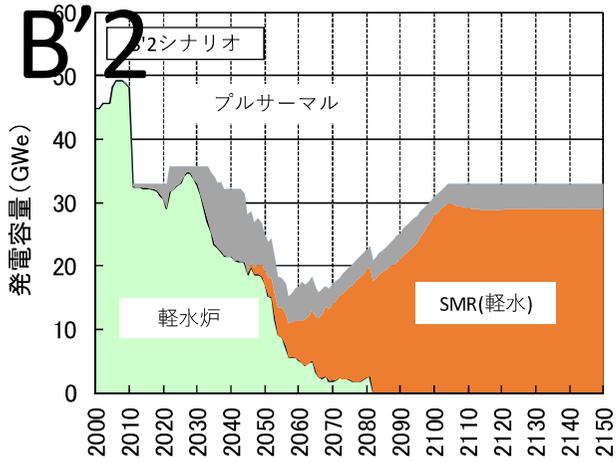


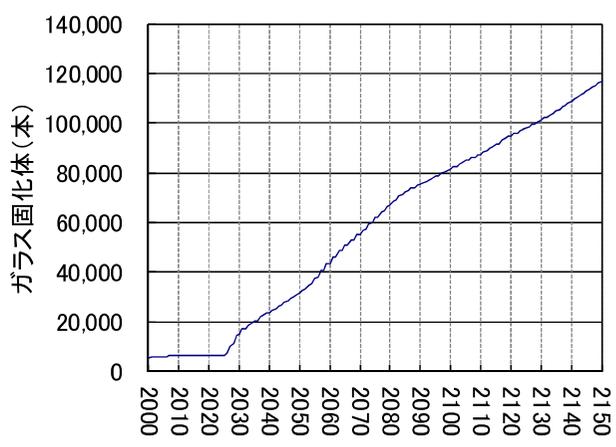
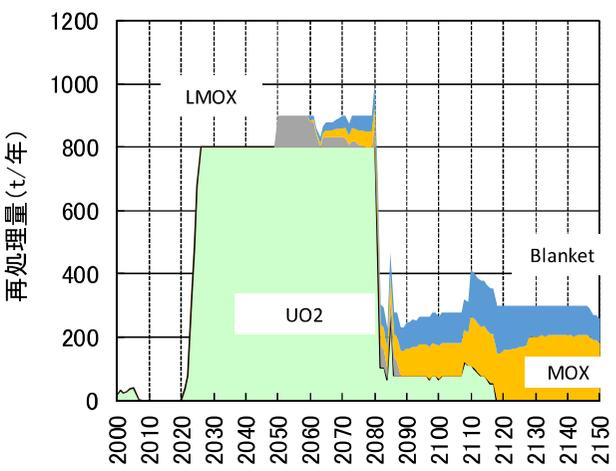
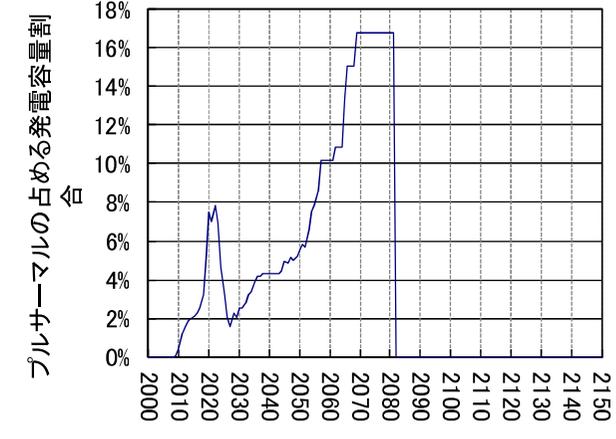
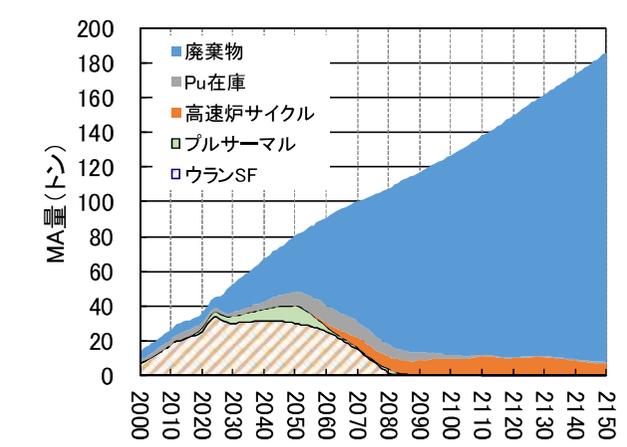
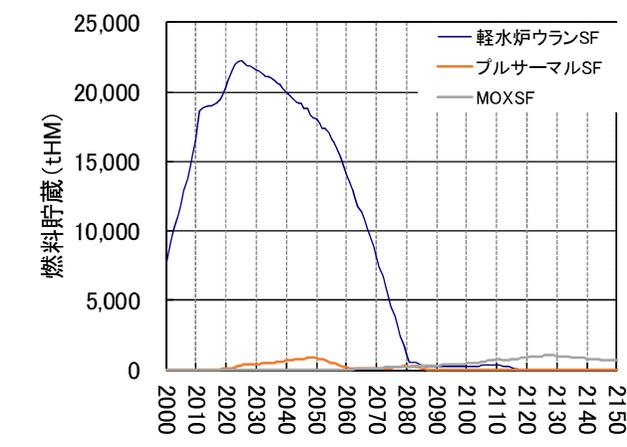
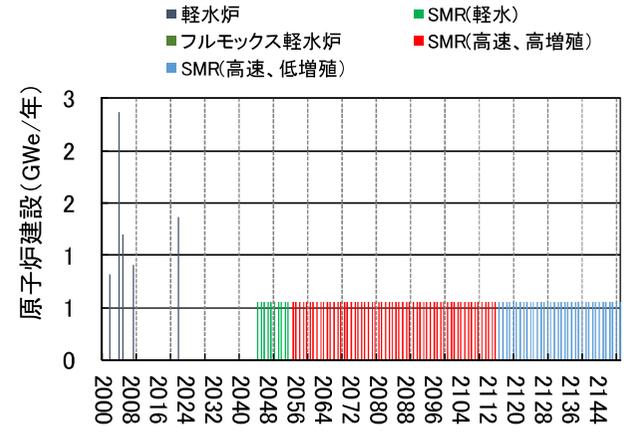
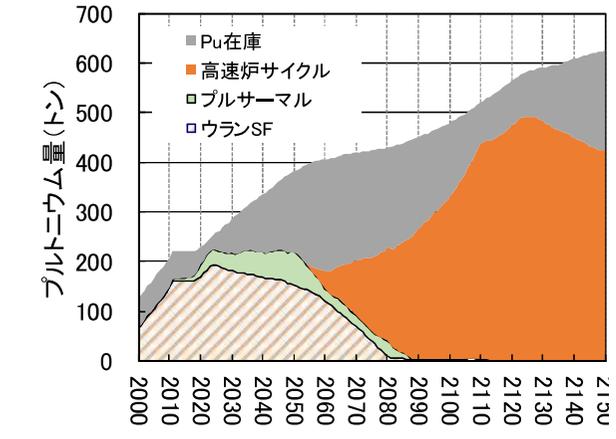
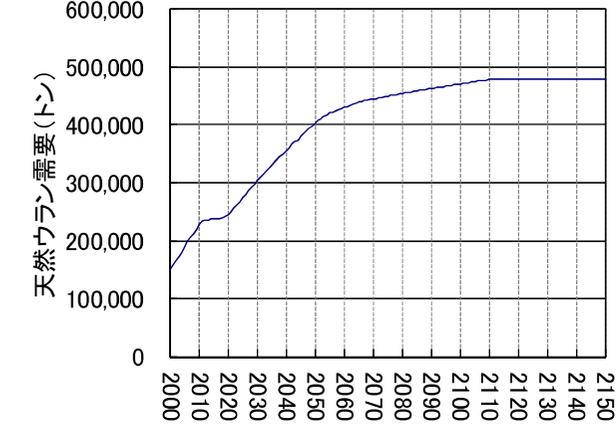
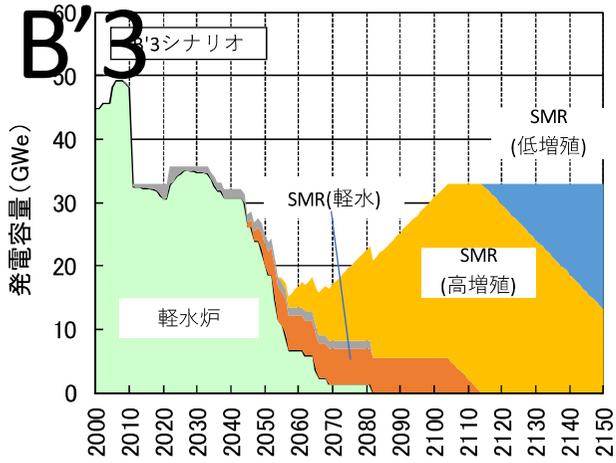


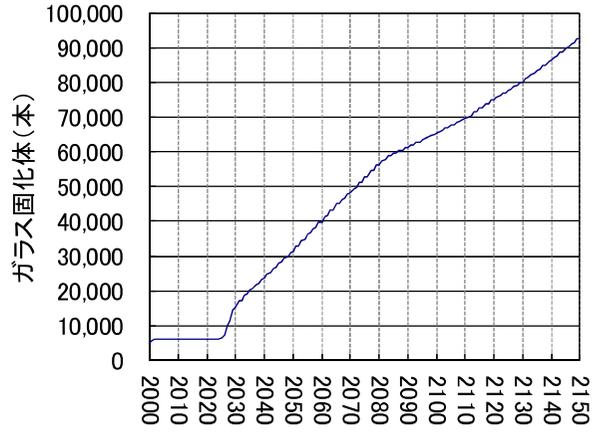
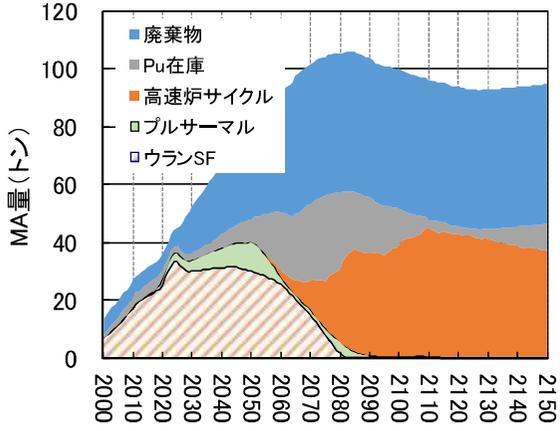
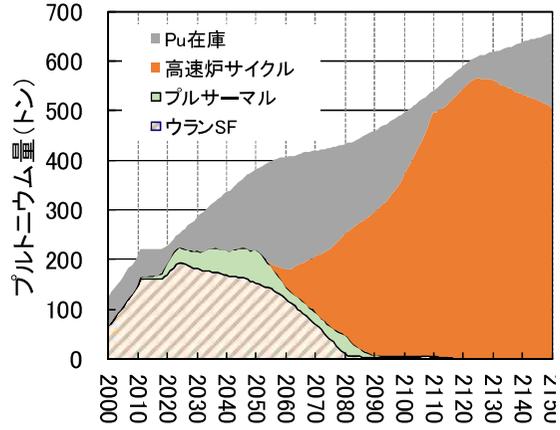
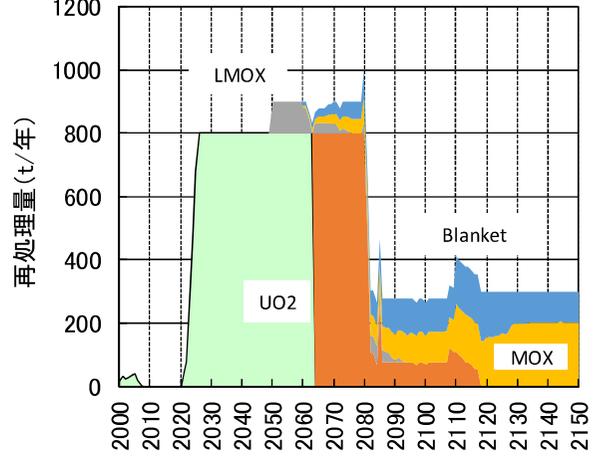
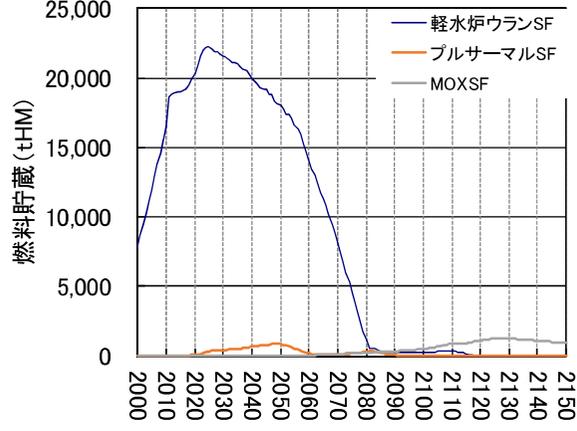
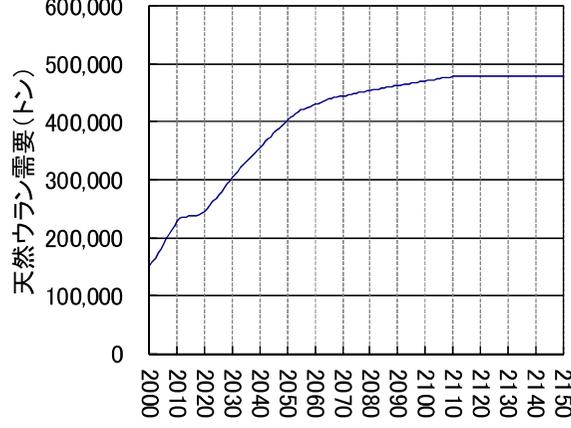
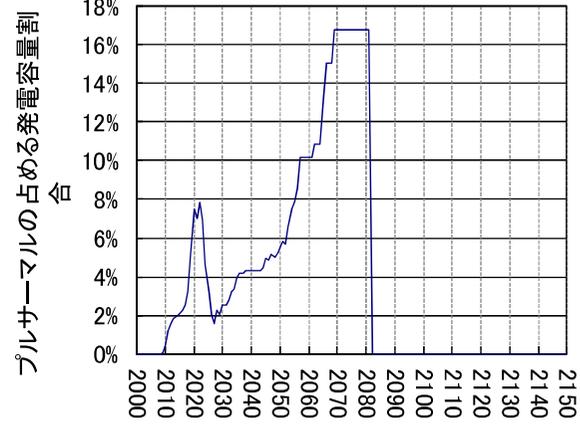
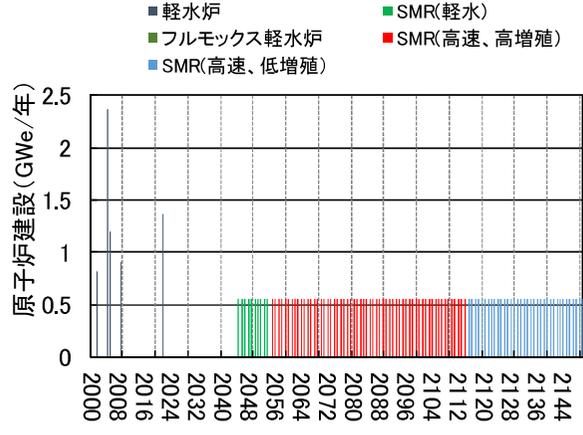
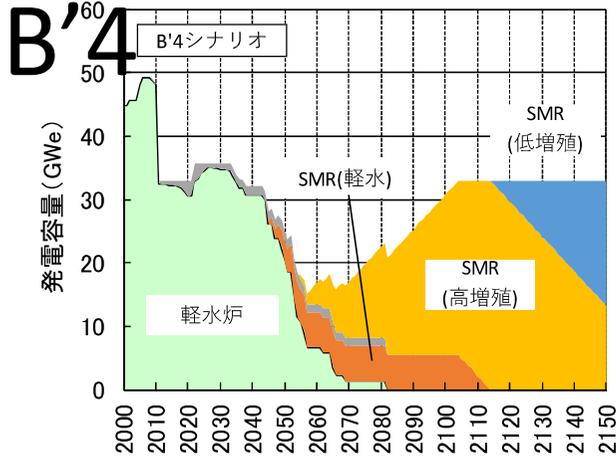


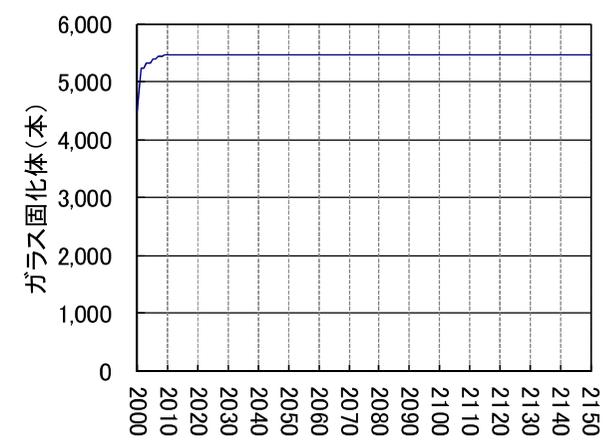
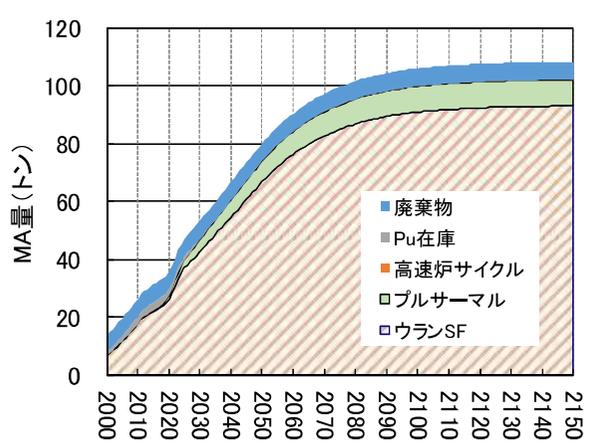
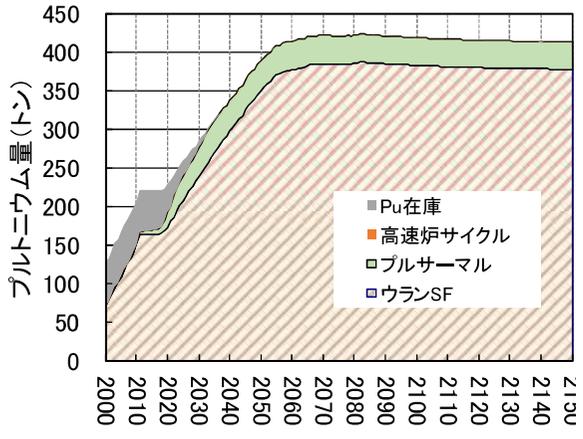
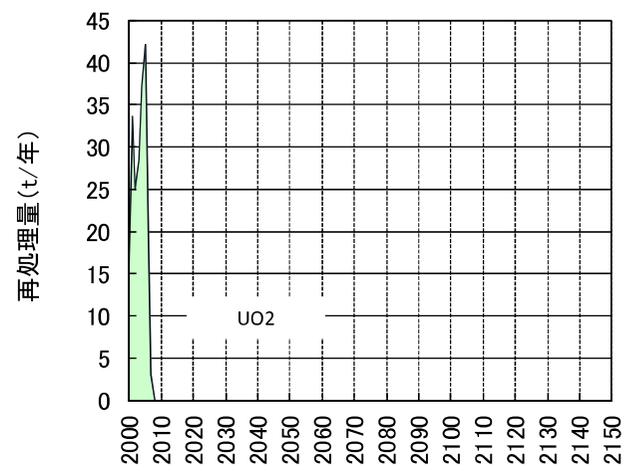
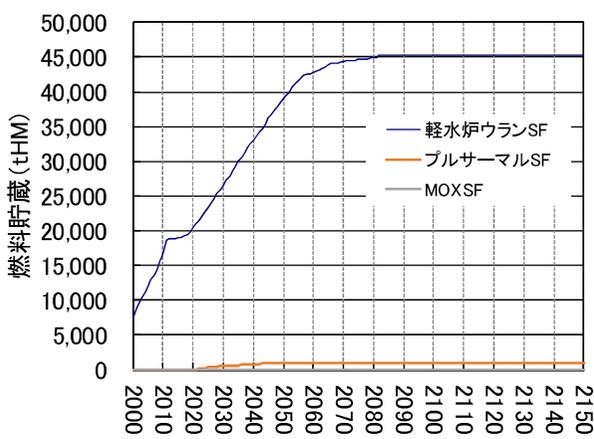
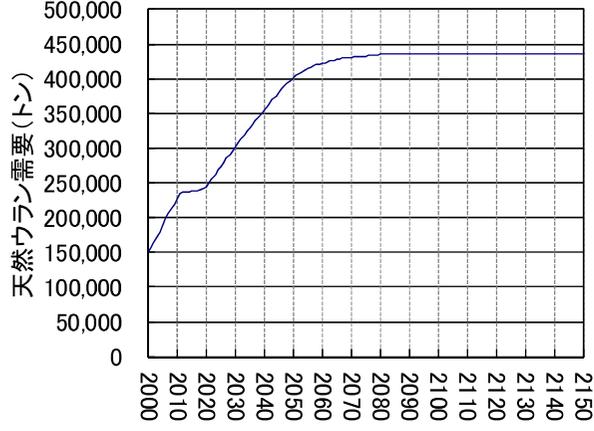
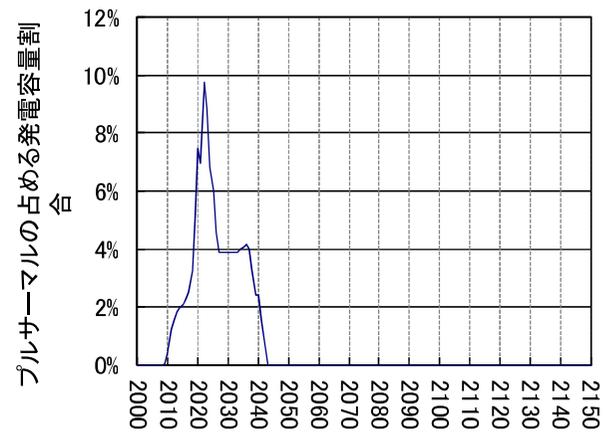
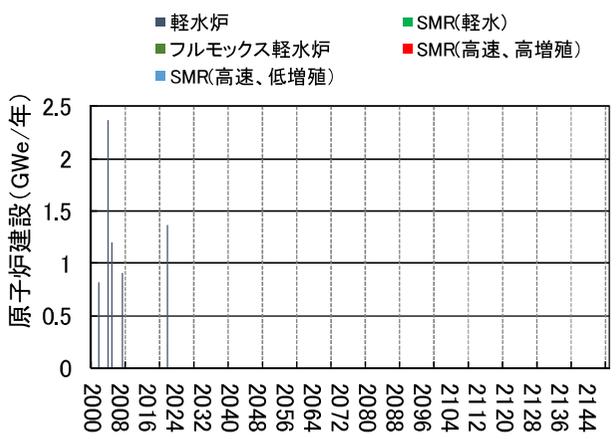
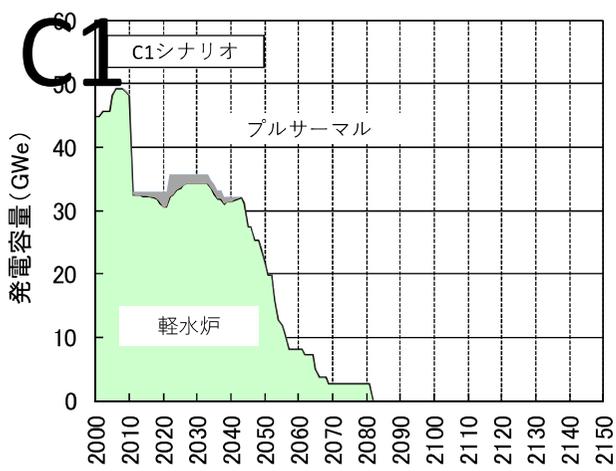


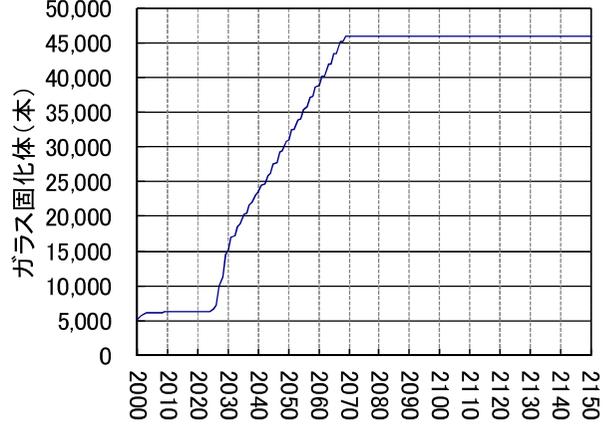
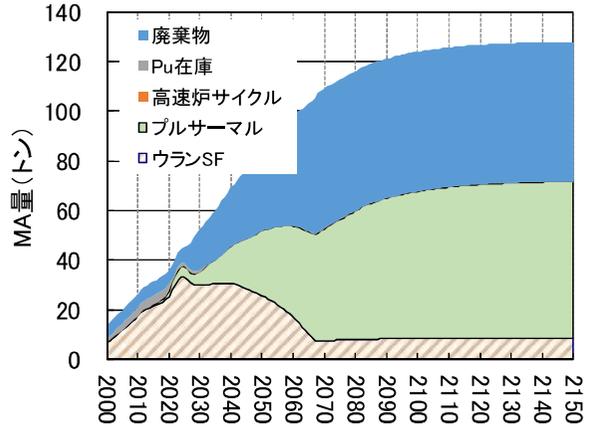
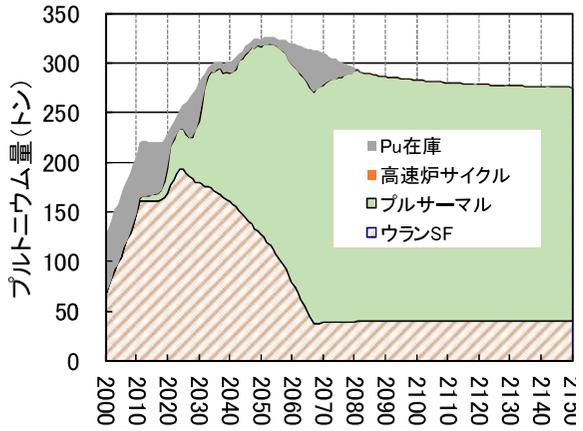
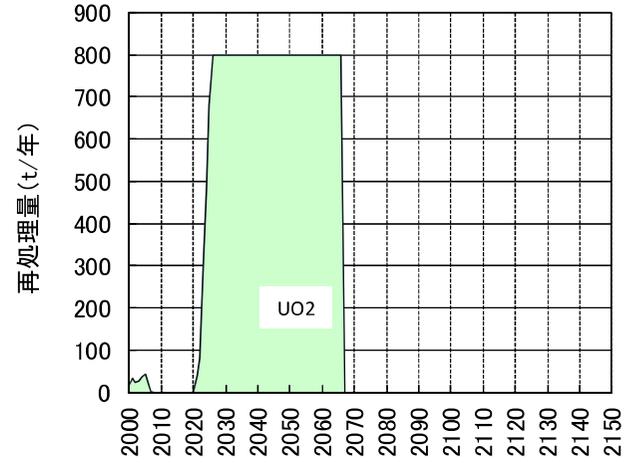
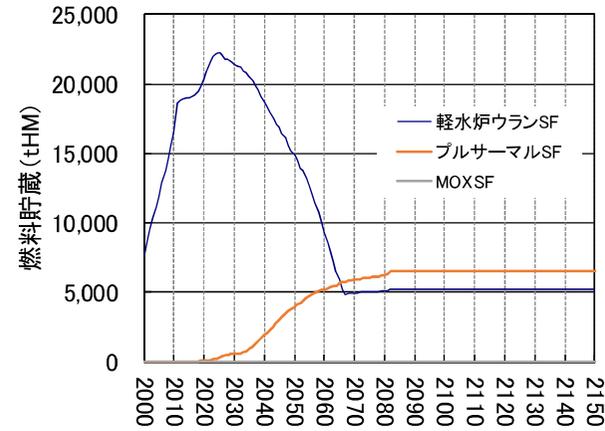
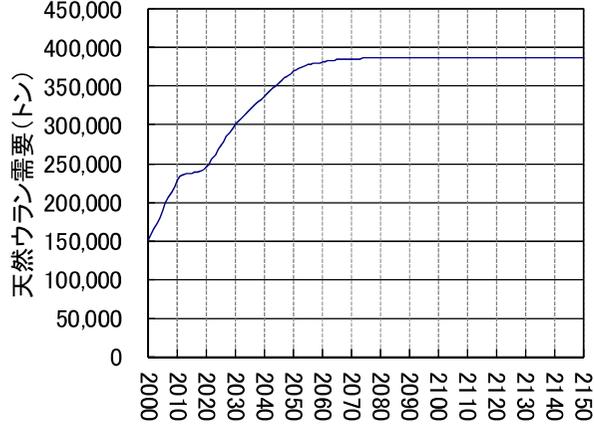
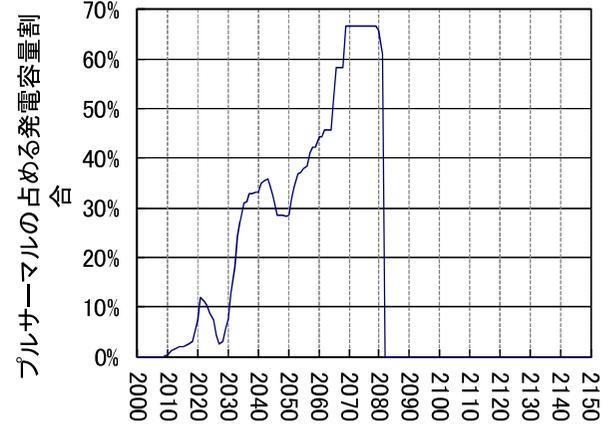
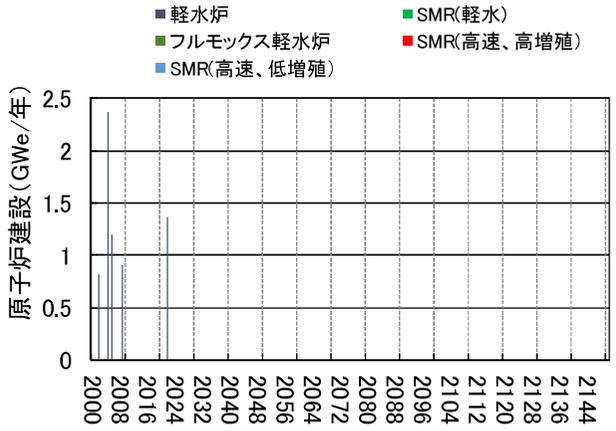
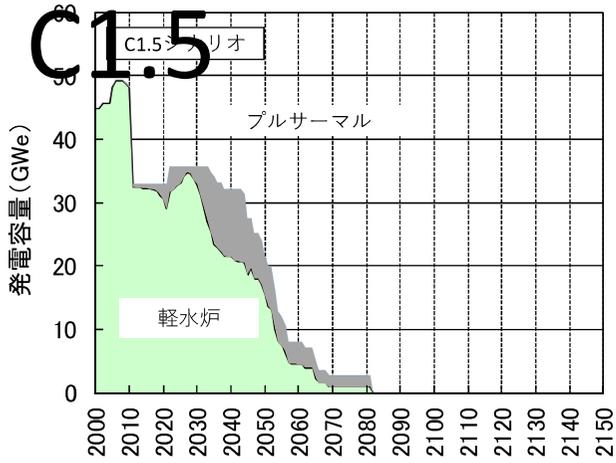


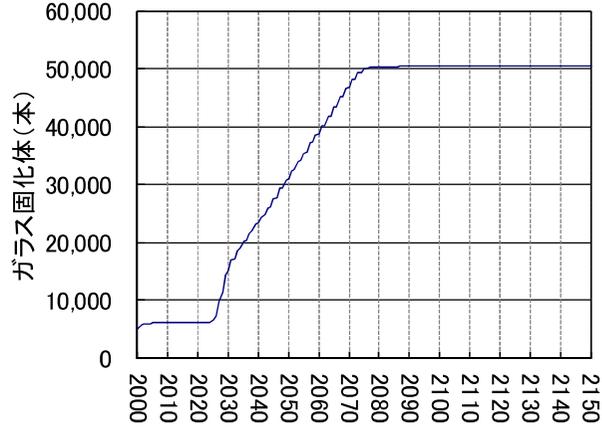
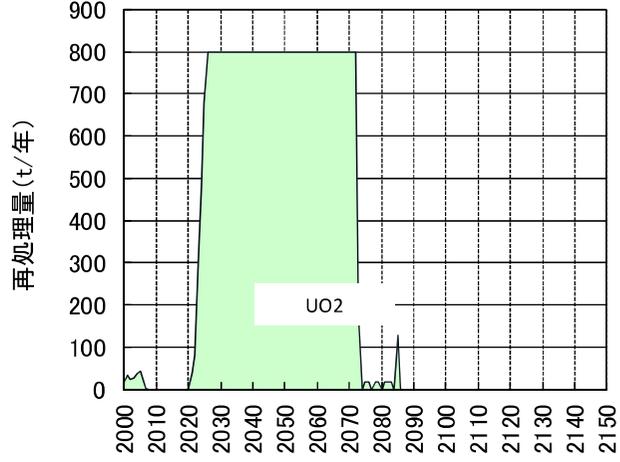
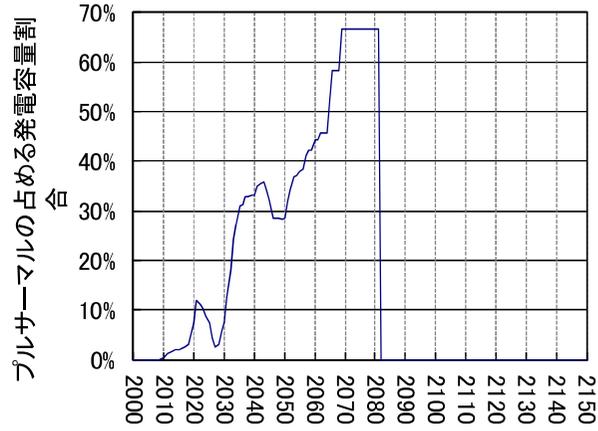
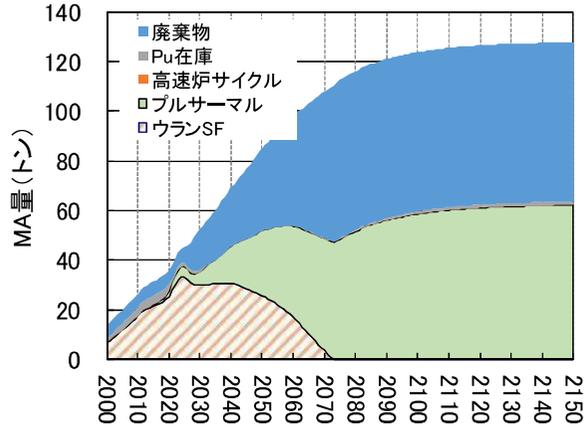
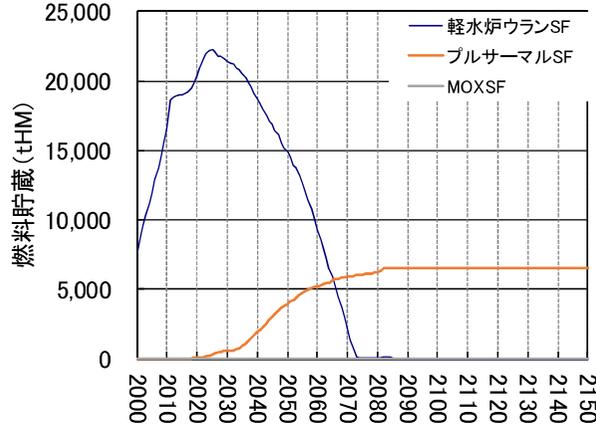
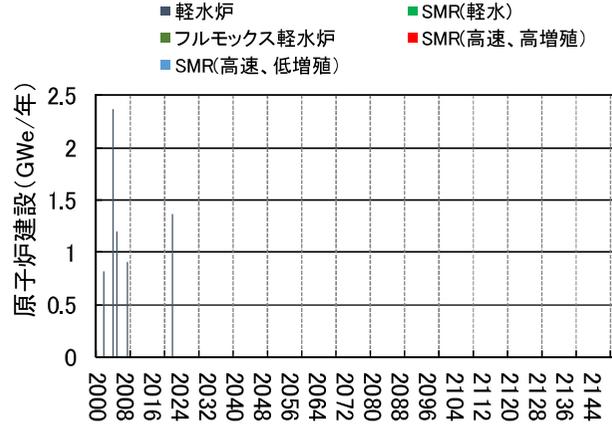
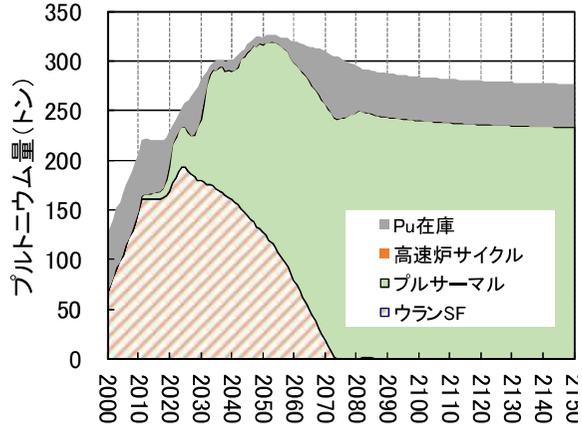
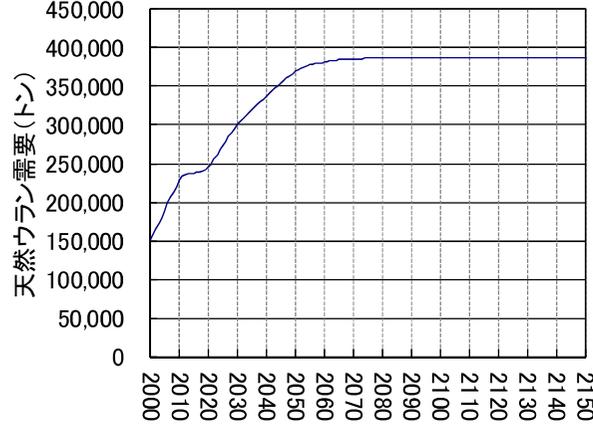
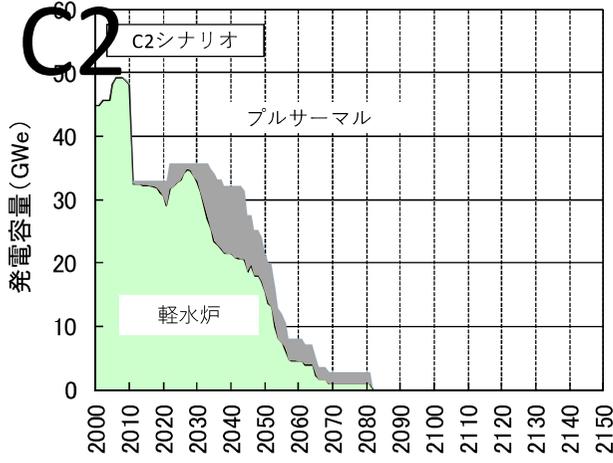


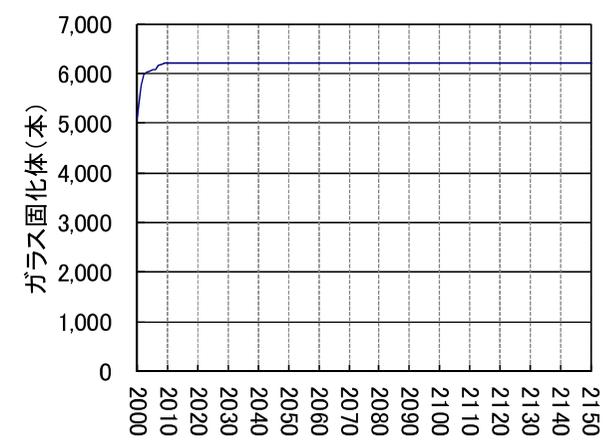
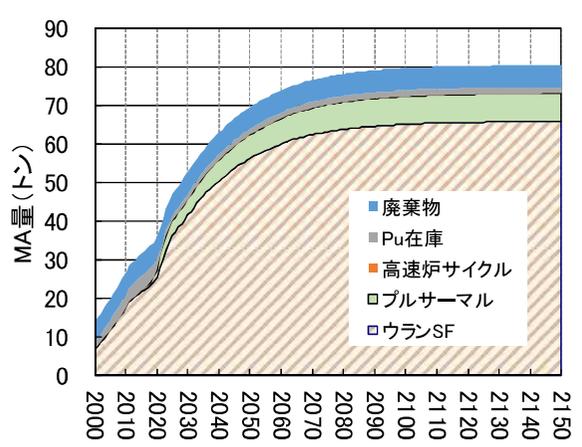
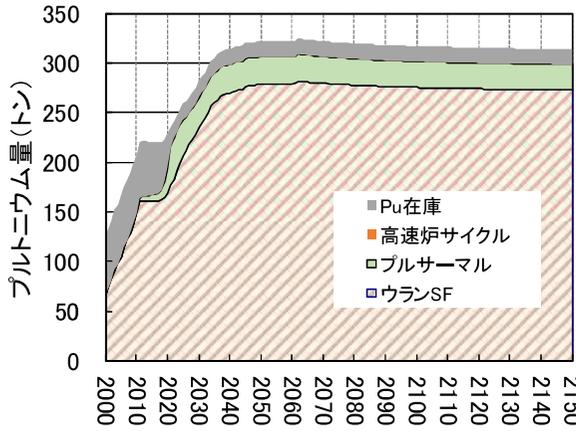
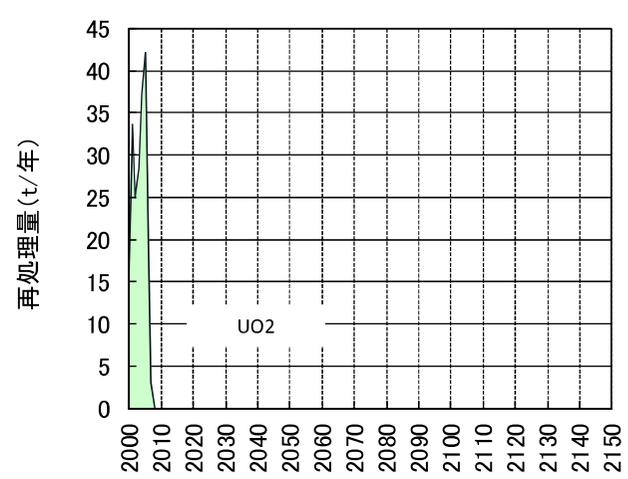
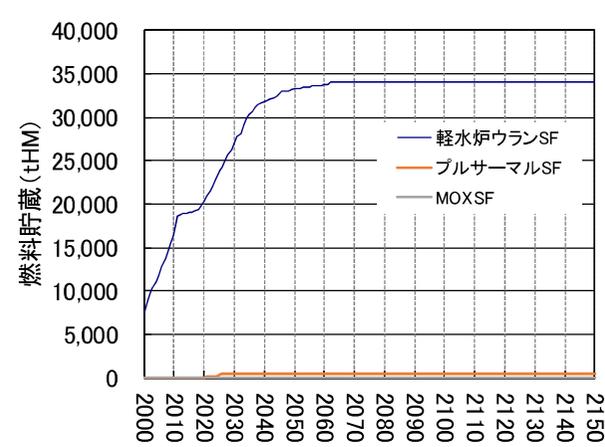
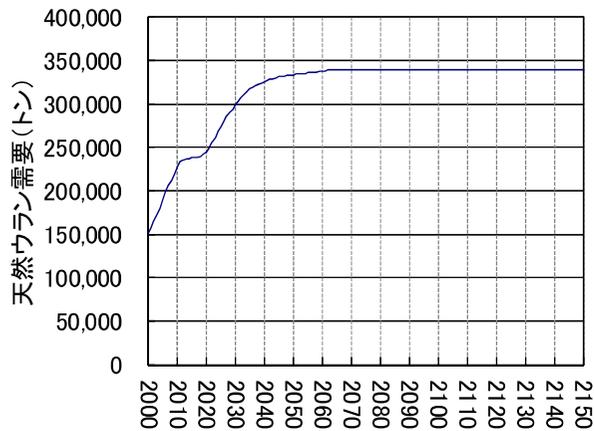
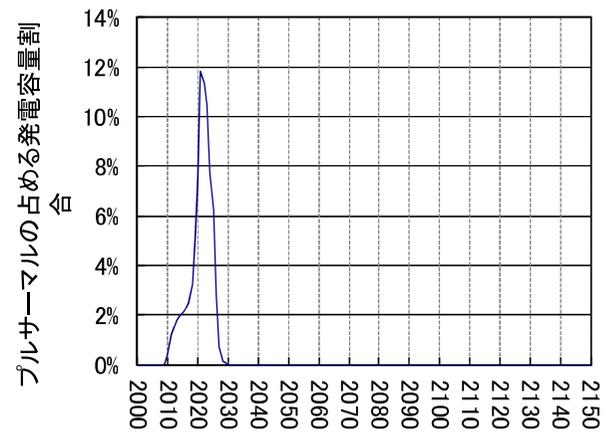
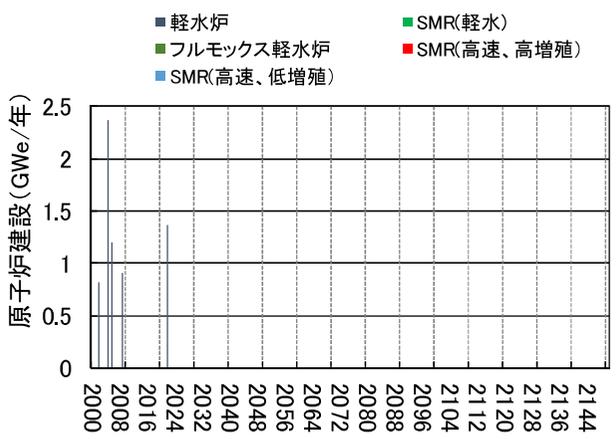
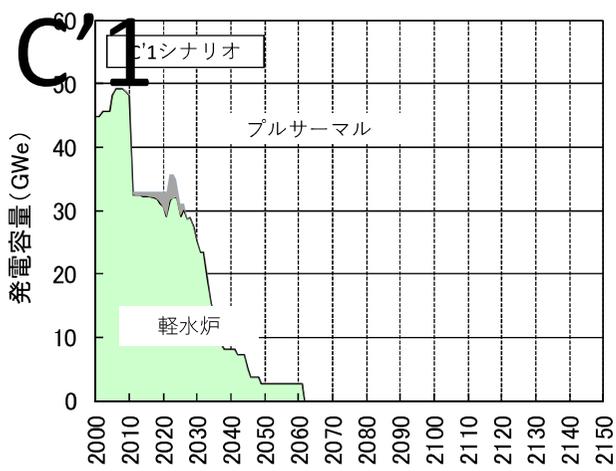


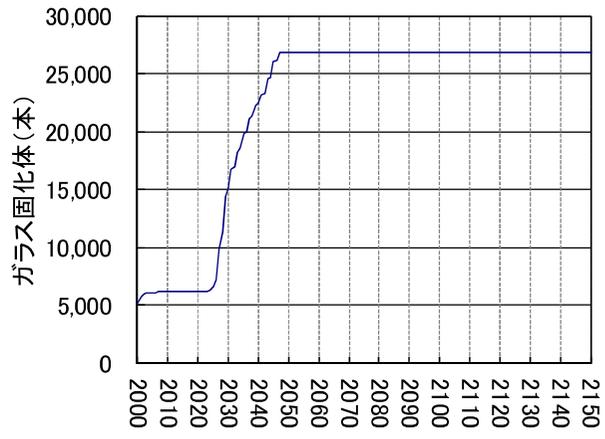
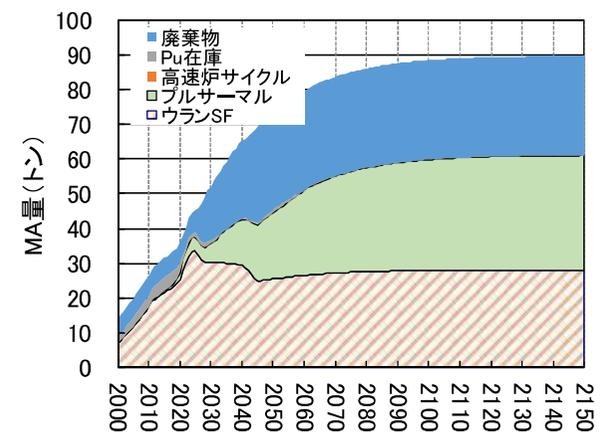
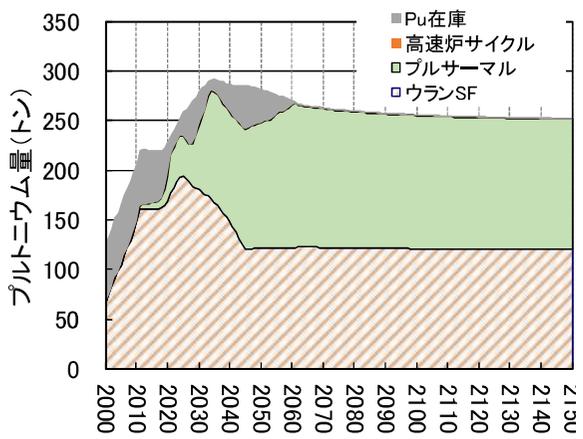
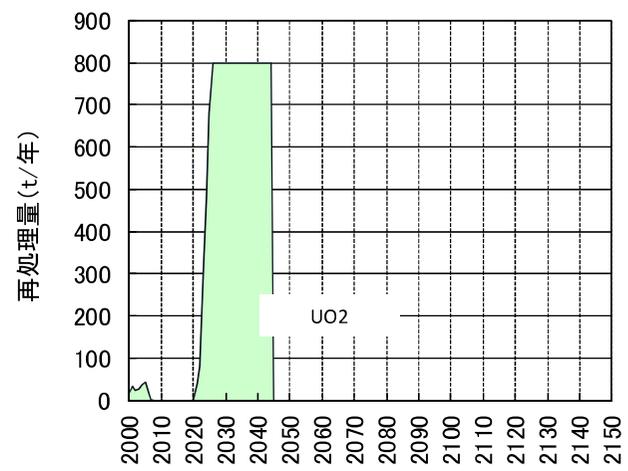
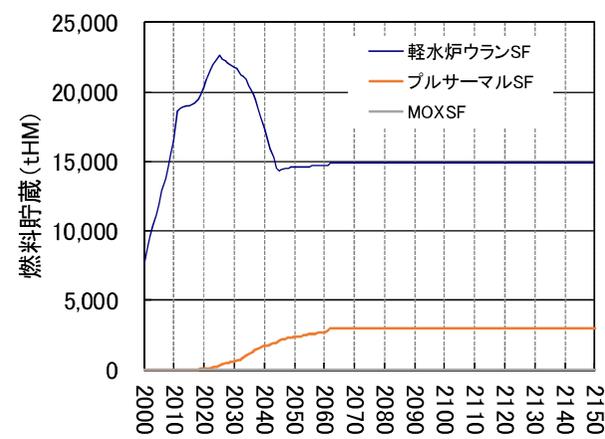
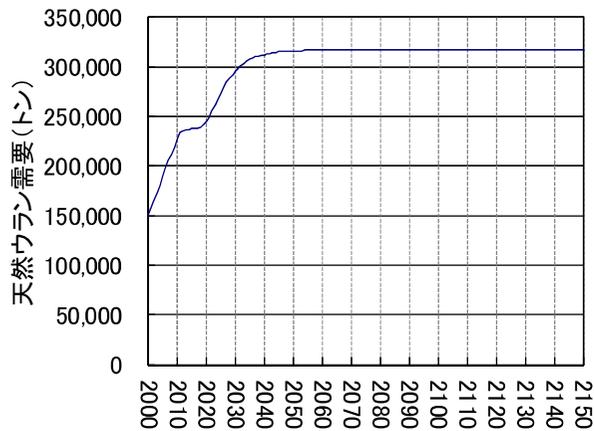
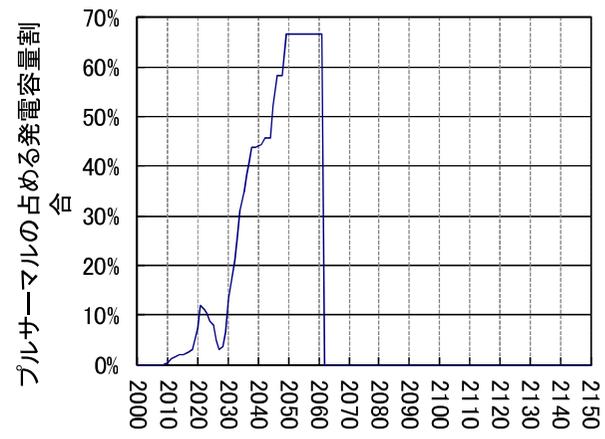
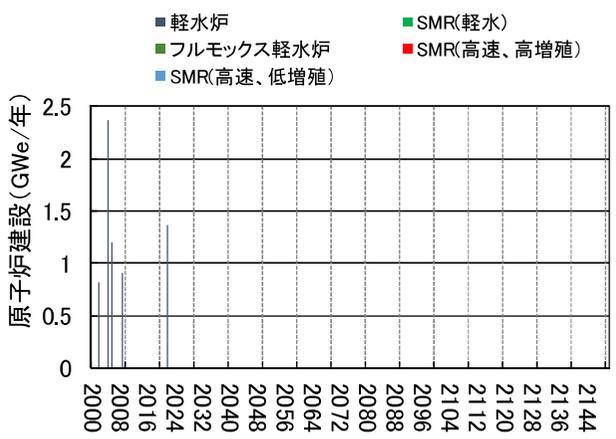
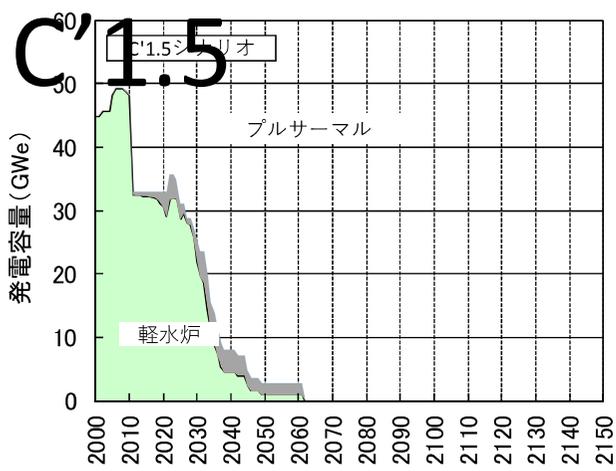












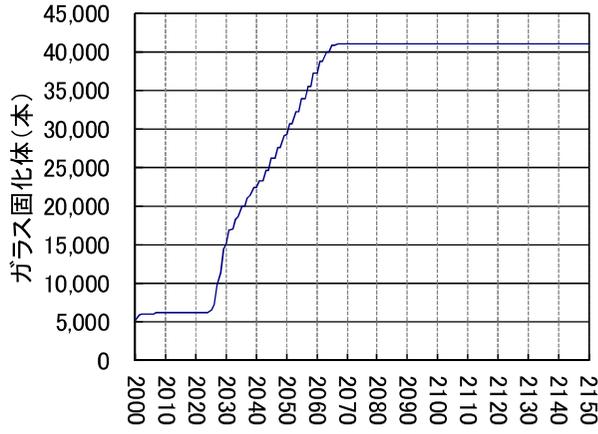
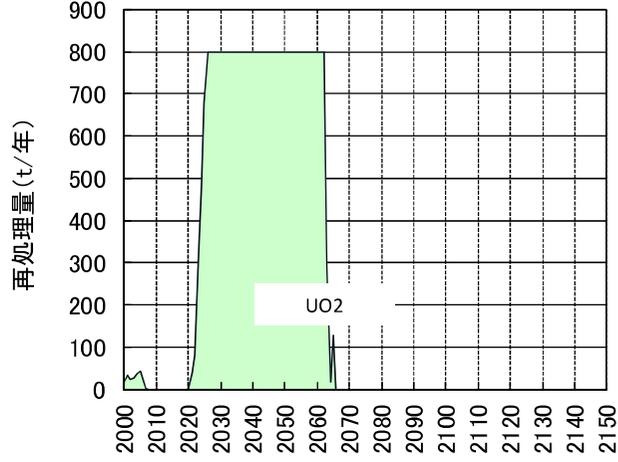
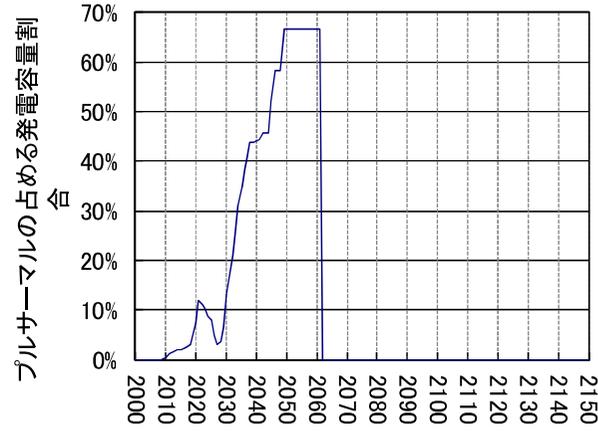
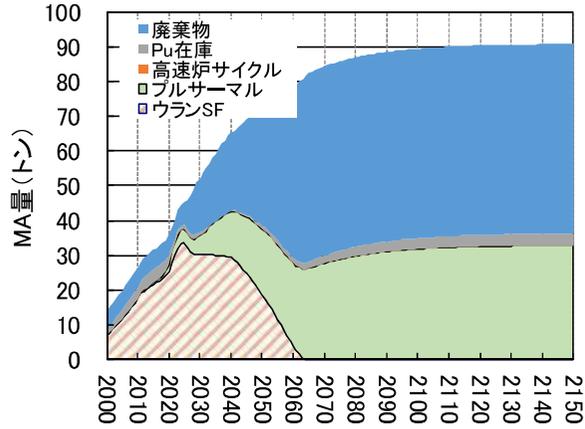
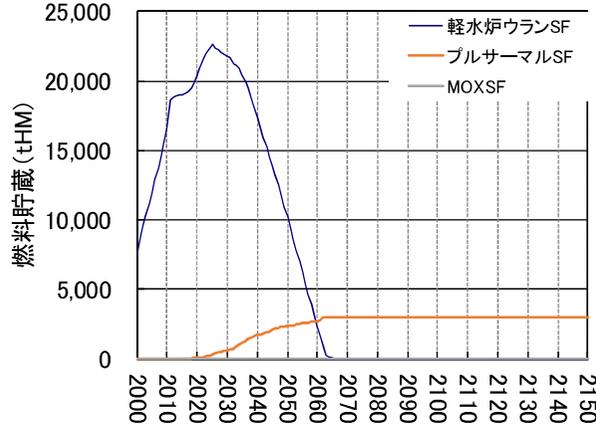
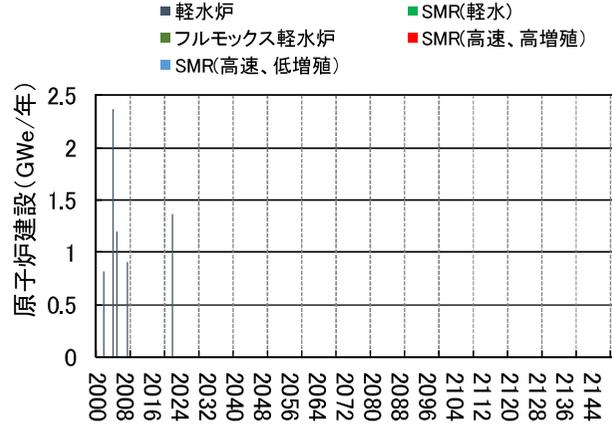
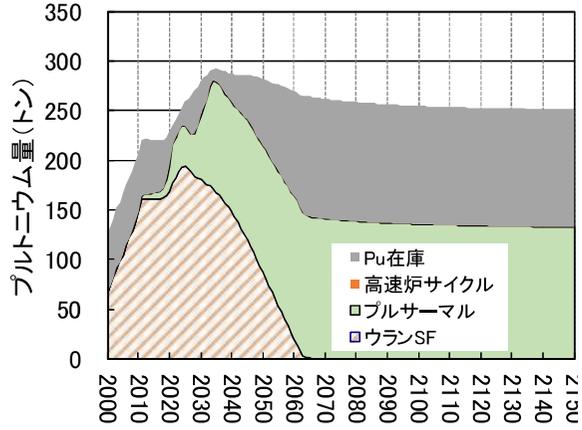
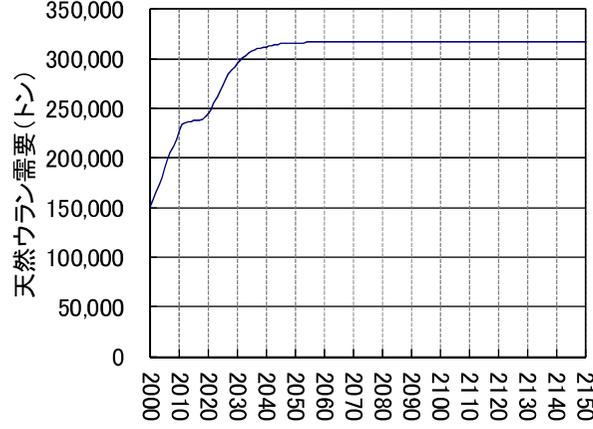
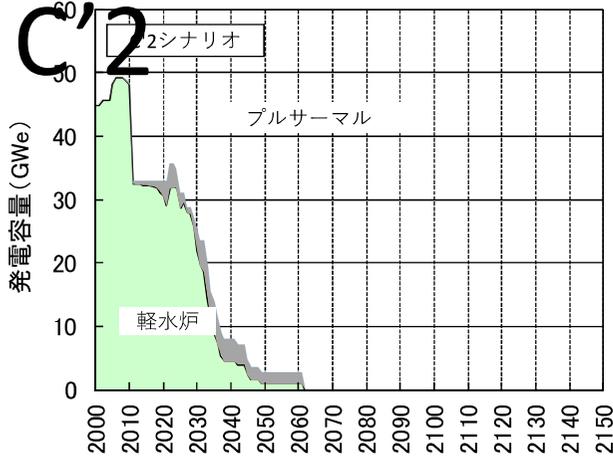


表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」抽出結果

番号	論点	キーポイント	分野
1	・2050年の世界を想定した時、原子力はどのくらいの電源比率(発電量)であるべきか(3E+Sの観点で)。	電力比率	1. 電力割合
2	今後見据えての原子力と再生可能エネルギー利用の適値は？ FITが切れたときの再生可能エネルギーの利用は？	原子力v.s. 再生可能エネルギー	1. 電力割合
3	・その世界が仮に2100年まで続くとしたら、燃料サイクル(再処理)は必要か？ 必要だとしたらいつ頃の程度必要か？	世界の継続性	2. 将来社会
4	・廃棄物の観点：直接処分した時に何が本質的な課題となるか(コストか、被ばくか)。	廃棄物直接処分	3. 廃棄物
5	今後原子力のあらゆる分野への投資はほとんど不可能、優先順位をつけると(廃棄物処理・処分 + 何か)	原子力への投資分野	4. 行政・予算
6	1F廃炉が今後の原子力に及ぼす影響は(原子力の社会的受容性の国民の変化、原子力立地、原子力予算の圧迫)	1F廃炉と今後の原子力開発	5. 1F
7	1F廃棄物(そこにある危機)の処理の行方 これが決まらずSF, HLWの処分を先に決められるか(対国民目線)	1F廃棄物問題	5. 1F
8	・日本の核燃料サイクルの成立性とは、すなわち、六ヶ所の燃料サイクル施設の成立性、および廃棄物処分場の確保の可能性である。六ヶ所の各施設が今後どのように活用されるべきなのかが、本研究委員会の目的と考える。	六ヶ所施設の活用	6. サイクル
9	・軽水炉サイクルの行く末が見えてくれば、高速炉サイクルの議論ができるようになる。 まずは10~20年後の軽水炉サイクル+Puサーマルの成立性を議論。	LWRサイクル+Puサーマルの成立性	6. サイクル
10	リプレースができなければ原子力は自然消滅、原子力を継続利用するためにはリプレースは必要、その場合の炉型(軽水炉、高速炉、あるいは) リプレース炉は40-60年利用可能	リプレース炉型と稼働期間	7. 炉型
11	高速炉の必要性は？ 必要である場合その役割は？ その場合に狙う高速炉は？ 導入筋道は？	高速炉の役割と導入方法	8. 高速炉
12	原子力政策を進めている主体者はどこか。海外の推進例と比較した時に見えてくる日本における「国・政府・関係省庁」の在り方に対する提案。	国策の進め方	4. 行政・予算
13	今までは国策の名のもとに進めてきた。それが今後の通用するか。電力の一般産業化、原子力への国家予算のこれまでのような投資が継続的に可能か	原子力への予算の継続性	4. 行政・予算
14	再処理に必要な知見を照射済燃料を用いた実験によって実験室レベル・工学レベルで得るための施設・設備の老朽化が著しい。産官学が乗り入れが容易な施設・組織は必要ないか。	照射後試験施設の必要性	9. 施設
15	我が国には一杯研究施設があった、ある。それが有効に利用されてこなかった理由は何か。	施設の有効活用	9. 施設
16	高速炉サイクルの導入を考える前提である核燃料サイクル及び高速炉への国民の信頼が失墜している。日本の基幹電源を担うに足る概念であることを示すことが必要。これまでの開発によって実績のある技術を用いてモジュール型炉とサイクル施設を組み合わせて運用実績を作り、信頼の回復につなげる提案はどうか。	高速炉サイクルの信頼回復	8. 高速炉
17	2030年代において原子力発電がベースロード電源であり続けるためにはどのような原子炉(燃料サイクルも含め)を導入すべきか？①小型炉②分散型電源③廃棄物低減	ベースロード原子炉型	7. 炉型
18	学会として、想定される核燃料サイクルを合理的に定義し、それを技術的及び経済的に評価。 将来実現に向けての課題は何でをまた、どれだけ想定できるか。 現状と将来といってもいくつか考えられるので、これまでに想定されたケースでまず一度評価結果を整理してみる。それをきちんと現段階で再評価し、提示できる核燃料サイクルの選択肢を提示、成立性を技術的、経済的な観点から評価してはどうか。	技術的・経済的に合理的なサイクル	6. サイクル
19	核燃料の最大限の有効利用を考慮し、いかにエネルギー効率の優れ、また安価に廃棄物処理の簡易な方法を確立するか(最大の課題である廃棄物処分(MAとLLFP核変換)を廉価で安全な方法で達成するか)。経済的にも優位性のある市場に求められる機能を有する炉と再処理を日本から技術発信させる。	核エネルギーの平和利用の技術発信	10. 技術発信
20	ウラン資源確認埋蔵量が年々増え、ウラン価格も比較的長期の安定性が予想される中、日本にとっての高速炉サイクルの意義をどこに求めるか。「いつかウラン価格が高騰したら」は、既にかなり説得力を失っている。(仮に高騰しても原子力の場合、化石燃料ほど燃料費の比率が高くないためインパクトがない)それでも高速炉とサイクル技術を維持する意義を開発当事者自身から発信する必要があるのではないか。	高速炉サイクル開発の理由	8. 高速炉
21	20世紀に開発が開始された数々の「革新技術」-先進的再処理、新型炉、加速器など-が今日いまだに「革新技術」と呼ばれる理由、すなわち何十年たっても実用化に至らない根源的な理由は何か。いつまでも「革新技術なんだから国は予算を付けるべきだ」では通用しない。	革新技術のあり方	10. 技術発信
22	原子力技術開発において、段階的な開発実績の社会実装・転用は可能か？ 信頼性や経済的優位性など原子力を取り巻く環境は様変わりし、従前の予算と期間をかけた開発は困難。 技術適用・転用による早期刈取で、信頼の再構築と予算導出の好循環を創出したい。	技術開発のあり方	10. 技術発信
23	燃料サイクルの成立性を議論するために、想定する期間をどう設定するかを共有すべきではないか。(10年、10年、50年、100年、それ以上？または短期~長期を広く網羅?) それによって、軽水炉燃料サイクル、Puサーマル、高速炉サイクル、六ヶ所プラント、第2再処理などの検討対象が明確になる。 燃料サイクルを議論するには、100年単位の長期視点も含める必要があると考える。(不確実性への備えをどう位置づける?)	検討範囲の明確化	2. 将来社会
24	国際協力を含めたとしても、自国で開発する意義は何か？軽水炉は米国から輸入し、改良を重ねている。	自国開発の意義	10. 技術発信
25	・原子力の将来像が不確実な時代、幅広い選択肢を選びえる技術的なポテンシャル(人材とホット施設)を維持できるか。	技術・人材・インフラの維持	9. 施設
26	もんじゅも含めた多量、多種類の原子力研究施設の廃止措置計画、廃止による期間、その費用はどうするか(検出可能か、通常の原子力研究費の縮小、しかしほおっておけない)、人材は？	廃止措置の予算・人材	11. 人材
27	役所の過剰な介入 役所の本来の役割は 予算、国-国の関係では役所が出ざるを得ない しかしどこまでか	行政の役割	4. 行政・予算
28	・現時点の知見に基づく評価が、50年後も正しいとは限らない。新しい技術を取り入れられる柔軟なシステムか。	柔軟なシステム	2. 将来社会
29	課題の「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」」ですが、ウラン資源の観点から、地球温暖化の観点から、等々、と言っても未来のことを予測することは不可能なので、人によって意見は異なるのが常であり、それが合っている、間違っているということとはできないと思います(反原子力の人間を説得するための成立する要件を将来に求めても、それは考え方の問題になってしまい、トランス・サイエンスです)。 ただ、逆に、核燃料サイクルが成立するために必要な条件として、やはり「人材」は重要な項目だと思います。現在の所属や立場、目先の欲(金儲け?)から離れて、原子力利用が将来の人類にとって必要不可欠と本心から思い、他人から非難されても、ぐっとこらえて原子力技術の維持・革新にコツコツ取り組む人材がいなくては原子力利用自体の成立性がそもそもないと私は思います。	人材	11. 人材
30	現在国内で保有しているPu、及び軽水炉燃料再処理により新たに得られるPuをどのように利用(処理)すべきか。余剰Puを抑制するためにどのような対策が必要か(軽水炉MOX、マルチリサイクル等)。	Puバランス	6. サイクル
31	本委員会が提案する核燃料サイクルのオプションについて、現段階での技術成熟度と採用が要求される時期との整理が必要。	技術成熟度	10. 技術発信
32	エネルギー需給における原子力の位置付け 数10年先までの電源別の見通しは？	エネルギー需給シナリオ	2. 将来社会

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」抽出結果

33	電力の自由化における原子力の技術開発と発電設備への投資の価値 自由経済の元、電力会社主導で自立しうるのか？	経済性	4. 行政・予算
34	原子力発電に求められる炉型の展開 既存原子炉の再稼働から、増設、新規立地、次世代軽水炉（高燃焼度）、高速炉へと展開しうるか？	原子炉型の展開	7. 炉型
35	プルトニウムを利用する方策 高次化Puの生成を想定した使い途、最適なマスバランスとは？ 核燃料サイクルの核拡散抵抗性技術とは？	不拡散政策・技術	6. サイクル
36	技術開発と事業が連続する体制、役割分担のあり方 従来体制はなぜ破綻したのか？	事業・研究開発の体制、技術移転	10. 技術発信
37	大学、研究機関の技術研究力、開発力の大幅な低下（原因とまだ立て直せるならあるべき方向）	開発力の低下	10. 技術発信
38	大学の研究、人材育成はどうすべきか（最近の大学人のはやりの言葉、リスクマネジメント、レジリエンス、グレイデッドアプローチ すべてこれ前向きの技術開発の言葉ではない）	大学における研究と人材育成	11. 人材
39	過去40-50年の総括 支出予算と何が実用化できたか その問題点は何なのか	予算の費用対効果	4. 行政・予算
40	長期にわたる研究開発、事業における技術の維持 技術の継承とはなんぞや？ 人に属する暗黙知はなくせるか？	技術の維持、人材	11. 人材
41	次の再処理工場が処理すべき燃料の仕様 軽水炉、軽水炉MOXとともに高速炉の燃料も考えるか？	燃料サイクルシナリオ	1. 電力割合
42	研究開発における技術選択の方法 いつ、どのように候補の技術を絞る、選ぶのか？	技術選択	6. 再処理技術
43	最終処分場が決めがたい状況と核燃料サイクルの進め方。処分場が決まらない状況での再処理は。	最終処分場と核燃料サイクルの進め方の関係	3. 廃棄物
44	高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発の進め方。タイムラグがある中での両者の論理的説得性は。	ガラス固化と分離変換の進め方の関係	3. 廃棄物
45	諸外国との協力、連携の在り方は 仏ばかり見ている今後の進展は？ 中、印等の動向、米の戦略は？	諸外国との協力、連携の在り方は	4. 行政・予算
46	日本としての核燃料サイクルのあり方を例えば2050年時点をターゲットとして考える。使用済み燃料そのものの処理だけでなく、炉も含めて討議する。そのときの論点としては①原子炉のあり方（人口減少の中、大型炉か？分散型も視野、経済性）、②廃棄物の低減（MA、LLFP）、③余剰Puの抜本的な解消などからあるべき姿を議論する	2050年をターゲットとして、原子炉の在り方、廃棄物の低減、余剰Pu解消	12. 総合
47	原子力発電の必要性はどこにあるのか？ CO2を排出しない基盤エネルギー源として持続的能力を持つ原子力・核燃料サイクルは必要。国の総合的科学的技術力維持向上に貢献する。原子力平和利用で軽水炉使用済み燃料への対応技術の実現。（基幹電源用の国内で官民が進める火力発電LNG化（石炭火力廃止の代替）は、それでも多量CO2排出は継続になるので、基幹電源を多様化する。）	原子力の本質的ポテンシャルの社会への提示	12. 総合

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」の分類

番号	論点	キーポイント	分野	キーワード		
				大分類	小分類	視点
1	・2050年の世界を想定した時、原子力はどのくらいの電源比率(発電量)であるべきか(3E+Sの観点で)。	電力比率	1. 電力割合	1. 電源比率	1. 実力評価	
2	今後見据えての原子力と再生可能エネルギー利用の適値は？ FITが切れたときの再生可能エネルギーの利用は？	原子力v. s. 再生可能エネルギー	1. 電力割合	1. 電源比率	1. 実力評価	
32	エネルギー需給における原子力の位置付け 数10年先までの電源別の見通しは？	エネルギー需給シナリオ	2. 将来社会	1. 電源比率	1. 実力評価	
33	電力の自由化における原子力の技術開発と発電設備への投資の価値 自由経済の元、電力会社主導で自立しうるのか？	経済性	4. 行政・予算	1. 電源比率	1. 実力評価	
9	・軽水炉サイクルの行く末が見えてくれば、高速炉サイクルの議論ができるようになる。 まずは10~20年後の軽水炉サイクル+Puサーマルの成立性を議論。	LWRサイクル+Puサーマルの成立性	6. サイクル	2. シナリオ検討	1. 実力評価	
18	学会として、想定される核燃料サイクルを合理的に定義し、それを技術的及び経済的に評価。 将来実現に向けての課題は何でをまた、どれだけ想定できるか。 現状と将来といってもいくつかが考えられるので、これまでに想定されたケースでまず一度評価結果を整理してみ それをきちんと現段階で再評価し、提示できる核燃料サイクルの選択肢を提示、成立性を技術的、経済的な 観点から評価してはどうか。	技術的・経済的に合理的な サイクル	6. サイクル	2. シナリオ検討	1. 実力評価	
52	石炭利用の歴史が300年、石油は100年以下、鉄を使い始めてからさえ3~4千年しか経っていない。高速増殖炉を 使えば数千年分の電力が得られるという物語は説得力や洞察力を持っているか。これが実現したときにどれだけの 処分負担の発生があるか、他のエネルギー源が代替した場合にそれまでの負担はペイするのか、逆に太陽光発電 を数千年続けたときの環境負荷は？など、燃料サイクル成立性議論のベースになる知識や検討が必要なので は。	高速炉数千年という物語を 疑う／裏付ける検討	8. 高速炉	2. シナリオ検討	1. 実力評価	定量的な 指標
3	・その世界(2050年断面での電源比率)が仮に2100年まで続くとしたら、燃料サイクル(再処理)は必要か？ 必 要だとしたらいつ頃どの程度必要か？	世界の継続性	2. 将来社会	2. シナリオ検討	2. ニーズ	継続性
11	高速炉の必要性は？ 必要である場合その役割は？ その場合に狙う高速炉は？ 導入筋道は？	高速炉の役割と導入方法	8. 高速炉	2. シナリオ検討	2. ニーズ	
17	2030年代において原子力発電がベースロード電源であり続けるためにはどのような原子炉(燃料サイクルも含 め)を導入すべきか？①小型炉②分散型電源③廃棄物低減	ベースロード原子炉型	7. 炉型	2. シナリオ検討	2. ニーズ	電源
34	原子力発電に求められる炉型の展開 既存原子炉の再稼働から、増設、新規立地、次世代軽水炉(高燃焼度)、高速炉へと展開しうるか？	原子炉型の展開	7. 炉型	2. シナリオ検討	2. ニーズ	
41	次の再処理工場が処理すべき燃料の仕様 軽水炉、軽水炉MOXとともに高速炉の燃料も考えるか？	燃料サイクルシナリオ	1. 電力割合	2. シナリオ検討	2. ニーズ	
46	日本としての核燃料サイクルのあり方を例えば2050年時点をターゲットとして考える。使用済み燃料そのものの 処理だけでなく、炉も含めて討議する。そのときの論点としては①原子炉のあり方(人口減少の中、大型炉か？ 分散型も視野、経済性)、②廃棄物の低減(MA、LLFP)、③余剰Puの抜本的な解消などから あるべき姿を議論す る	2050年をターゲットとして、原 子炉の在り方、廃棄物の低 減、余剰Pu解消	1 2. 総合	2. シナリオ検討	2. ニーズ	
23	燃料サイクルの成立性を議論するにあたり、想定する期間をどう設定するかを共有すべきではないか。(5年、 10年、50年、100年、それ以上？または短期~長期を広く網羅？)それによって、軽水炉燃料サイクル、Puサー マル、高速炉サイクル、六ヶ所プラント、第2再処理などの検討対象が明確になる。 燃料サイクルを議論するには、100年単位の長期視点も含める必要があると考える。(不確実性への備えをどう 位置づける？)	検討範囲の明確化	2. 将来社会	2. シナリオ検討	3. 時間	
31	本委員会で提案する核燃料サイクルのオプションについて、現段階での技術成熟度と採用が要求される時期との 整理が必要。	技術成熟度	1 0. 技術発信	2. シナリオ検討	3. 時間	
43	最終処分場が決めがたい状況と核燃料サイクルの進め方。処分場が決まらない状況での再処理は。	最終処分場と核燃料サイク ルの進め方の関係	3. 廃棄物	2. シナリオ検討	4. 柔軟性	
44	高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発の進め方。タイムラグがある中での両者の論理的説得性 は。	ガラス固化と分離変換の進 め方の関係	3. 廃棄物	2. シナリオ検討	4. 柔軟性	
30	現在国内で保有しているPu、及び軽水炉燃料再処理により新たに得られるPuをどのように利用(処理)すべき か。余剰Puを抑制するためにどのような対策が必要か(軽水炉MOX、マルチリサイクル等)。	Puバランス	6. サイクル	2. シナリオ検討	5. 核不拡散・安全	
35	プルトニウムを利用する方策 高次化Puの生成を想定した使い途、最適なマスバランスとは？ 核燃料サイクルの核拡散抵抗性技術とは？	不拡散政策・技術	6. サイクル	2. シナリオ検討	5. 核不拡散・安全	

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」の分類

番号	論点	キーポイント	分野	キーワード		
				大分類	小分類	視点
10	リプレースができなければ原子力は自然消滅、 原子力を継続利用するためにはリプレースは必要 、その場合の 炉型 (軽水炉、高速炉、あるいは) リプレース炉は40 - 60年利用可能	リプレース炉型と稼働期間	7. 炉型	2. シナリオ検討	6. リプレース	
54	これまでに国内外で起こった 燃料サイクル関連の事故 (旧ソ連での爆発や河川汚染、米国での土壌汚染、など)の原因究明、これらを絶対に 繰り返さない対策は完全か 。	事故原因究明と対策	5. 1F	3. 安全		
4	・ 廃棄物の観点 ： 直接処分 した時に何が本質的な 課題 となるか(コストか、被ばくか)。	廃棄物直接処分	3. 廃棄物	4. 開発	1. 意義	
20	ウラン資源確認埋蔵量が年々増え、 ウラン価格も比較的長期の安定性 が予想される中、日本にとっての 高速炉サイクルの意義 をどこに求めるか。「いつかウラン価格が高騰したら」は、既にかなり説得力を失っている。(仮に高騰しても原子力の場合、化石燃料ほど燃料費の比率が高くないためインパクトがない)それでも 高速炉とサイクル技術を維持する意義 を開発当事者自身から発信する必要があるのではないか。	高速炉サイクル開発の理由	8. 高速炉	4. 開発	1. 意義	
24	国際協力を含めたとしても、 自国で開発する意義は何か ? 軽水炉は米国から輸入し、改良を重ねている。	自国開発の意義	10. 技術発信	4. 開発	1. 意義	
47	原子力発電の必要性はどこにあるのか? CO2を排出しない基盤エネルギー源として持続的能力を持つ原子力・核燃料サイクルは必要。国の総合的科学技术力維持向上に貢献する。原子力平和利用で軽水炉使用済み燃料への対応技術の実現。(基幹電源用の国内で官民が進める火力発電LNG化(石炭火力廃止の代替)は、それでも多量CO2排出は継続になるので、基幹電源を多様化する。)	原子力の本質的ポテンシャルの社会への提示	12. 総合	4. 開発	1. 意義	
8	・日本の核燃料サイクルの成立性とは、すなわち、 六ヶ所の燃料サイクル施設の成立性 、および 廃棄物処分場の確保の可能性 である。六ヶ所の各施設が今後どのように活用されるべきなのかが、本研究委員会の目的と考える。	六ヶ所施設の活用	6. サイクル	4. 開発	2. 手法	
16	高速炉サイクルの導入を考える前提である核燃料サイクル及び高速炉への 国民の信頼が失墜 している。日本の 基幹電源を担うに足る概念 であることを示すことが必要。これまでの開発によって実績のある技術を用いて モジュール型炉とサイクル施設を組み合わせて運用実績を作り、信頼の回復 につなげる提案はどうか。	高速炉サイクルの信頼回復	8. 高速炉	4. 開発	2. 手法	
21	20世紀に開発が開始された数々の「 革新技術 」- 先進的再処理、新型炉、加速器など -が今日いまだに「 革新技術 」と呼ばれる理由、すなわち何十年たっても 実用化に至らない根源的な理由 は何か。いつまでも「 革新技術 なんだから国は予算を付けるべきだ」では通用しない。	革新技術のあり方	10. 技術発信	4. 開発	2. 手法	
22	原子力技術開発において、段階的な 開発実績の社会実装・転用 は可能か? 信頼性や経済的優位性など原子力を取り巻く環境は様変わりし、従前の予算と期間をかけた開発は困難。 技術適用・転用 による早期刈取で、 信頼の再構築と予算導出の好循環 を創出したい。	技術開発のあり方	10. 技術発信	4. 開発	2. 手法	
36	技術開発と事業が連続する体制、 役割分担のあり方 従来体制はなぜ破綻したのか?	事業・研究開発の体制、技術移転	10. 技術発信	4. 開発	3. 体制	
19	核燃料の最大限の有効利用 を考慮し、いかにエネルギー効率の優れ、また安価に廃棄物処理の簡易な方法を確立するか(最大の課題である廃棄物処分(MAとLLFP核変換)を廉価で安全な方法で達成するか)。 経済的にも優位性のある市場に求められる機能を有する炉と再処理 を日本から 技術発信 させる。	核エネルギーの平和利用の技術発信	10. 技術発信	4. 開発	4. 評価	
28	・現時点の知見に基づく評価が、50年後も正しいとは限らない。 新しい技術を取り入れられる柔軟なシステム か。	柔軟なシステム	2. 将来社会	4. 開発	4. 評価	
39	過去40-50年の総括 支出予算と何が実用化 できたか その問題点は何なのか	予算の費用対効果	4. 行政・予算	4. 開発	4. 評価	
42	研究開発における 技術選択の方法 いつ、どのように候補の技術を絞る、選ぶのか?	技術選択	6. 再処理技術	4. 開発	4. 評価	
45	諸外国との協力、連携の在り方は 仏ばかり見ても今後の進展は? 中、印等の動向、米の戦略は?	諸外国との協力、連携の在り方は	4. 行政・予算	4. 開発	5. 連携	
55	如何にしても国内での 技術維持や専門家育成 が困難な場合、 国外(特に欧米以外)での研究開発 に参加することは不可能か。	国外での研究開発への参加、専門家育成	11. 人材	4. 開発	5. 連携	
14	再処理に必要な知見を 照射済燃料 を用いた実験によって実験室レベル・工学レベルで得るための施設・設備の老朽化が著しい。 産官学が乗り入れが容易な施設・組織 は必要ないか。	照射後試験施設の必要性	9. 施設	5. 研究	1. 基盤	
15	我が国には一杯 研究施設 があった、ある。それが 有効に利用されてこなかった理由 は何か。	施設の有効活用	9. 施設	5. 研究	1. 基盤	
37	大学、研究機関の技術研究力、 開発力の大幅な低下 (原因とまだ立て直せるならあるべき方向)	開発力の低下	10. 技術発信	5. 研究	1. 基盤	

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」の分類

番号	論点	キーポイント	分野	キーワード		
				大分類	小分類	視点
51	継続的な原子力エネルギー利用のため、また研究開発の沈滞を防いで専門家とそれを目指す若者の意欲を守るためには、 原子力施設のスクラップアンドビルドを説得力あるコストと期間で完了することが不可欠である。	Scrap&Buildの技術的・制度的方策	4. 行政・予算	5. 研究	1. 基盤	長期計画
53	いったん実用化すると失敗時の社会的経済的インパクトの大きい原子力技術の開発においては、技術の新陳代謝と工学レベルから パイロット規模での十分な見極め 、これらを支える 研究開発インフラの維持 が重要であるが、 経済的インセンティブの観点からは説明性 が高いとは言えず、わが国に置いては軍事的位置付けもない。	初期段階の技術開発を支援するインフラ維持	9. 施設	5. 研究	1. 基盤	
48	(1) 福島事故を受けた学会事故調、学術会議の報告から、 原子力コミュニティへの大学の関わり方 に努力が期待されている。 燃料サイクルの研究の活発化 の観点でも、 大学における横断的研究教育活動 による知の統合が発揮されていく必要がある。 事業者によるおける現場ニーズはメーカー、国立研究機関との間で共有されるが、 大学との共有や大学のシーズとの連携は不十分 とされてきていて、この点でまだ可能なことはないか。	大学との共有や大学のシーズとの連携	1 3. 大学での研究	5. 研究	2. 連携	
49	(2) 狭義 の原子力の観点で、原子力コミュニティとして 大学が核燃料サイクルに貢献できると考える研究 は何か。 (例：トリウム溶融塩炉などの溶融塩物性の量子計算による予測など)	大学での核燃料サイクル研究(狭義)	1 3. 大学での研究	5. 研究	3. ニーズ	
50	(3) 広義 の原子力の観点で、原子力コミュニティとして 大学が核燃料サイクルに貢献できると考える研究 は何か。 (例：ウランからキュリウムまでの凝縮系化学、物理や量子計算による物性予測、RIの医学利用など)	大学での核燃料サイクル研究(広義)	1 3. 大学での研究	5. 研究	3. ニーズ	
29	課題の「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」」ですが、ウラン資源の観点から、地球温暖化の観点から、等々、と言っても未来のことを予測することは不可能なので、人によって意見は異なるのが常であり、それが合っている、間違っているということとはできないと思います(反原子力の人間を説得するための成立する要件を将来に求めても、それは考え方の問題になってしまい、トランス・サイエンスです)。ただ、逆に、核燃料サイクルが成立するために必要な条件として、やはり 「人材」は重要な項目 だと思います。現在の所属や立場、目先の欲(金儲け?)から離れて、原子力利用が将来の人類にとって必要不可欠と本心から思い、他人から非難されても、ぐっとこらえて 原子力技術の維持・革新にコツコツ取り組む人材 がいなくては原子力利用自体の成立性がそもそもないと私は思います。	人材	1 1. 人材	6. リソース	1. 人材育成	基盤確保
38	大学の研究、人材育成はどうすべきか (最近の大学人のはやりの言葉、リスクマネジメント、レジリエンス、グレイデッドアプローチ すべてこれ前向きの技術開発の言葉ではない)	大学における研究と人材育成	1 1. 人材	6. リソース	1. 人材育成	方針策定
40	長期にわたる研究開発、事業における 技術の維持 技術の継承 とはなんぞや? 人に属する 暗黙知 はなくせるか?	技術の維持、人材	1 1. 人材	6. リソース	1. 人材育成	技術伝承
25	・原子力の将来像が不確実な時代、幅広い選択肢を選べる 技術的なポテンシャル(人材とホット施設) を維持できるか。	技術・人材・インフラの維持	9. 施設	6. リソース	2. 人材・施設	
5	今後原子力のあらゆる分野への 投資 はほとんど不可能、 優先順位をつけると (廃棄物処理・処分 +何か)	原子力への投資分野	4. 行政・予算	6. リソース	3. 予算	
13	今までは国策の名のもとに進めてきた。それが今後も通用するか。電力の一般産業化、 原子力への国家予算 のこれまでのような 投資が継続的に可能か 。	原子力への予算の継続性	4. 行政・予算	6. リソース	3. 予算	
26	もんじゅも含めた多量、多種類の原子力研究施設の 廃止措置 計画、廃止による期間、 その費用 はどうするか(検出可能か、通常の原子力研究費の縮小、しかしほおっておけない)、 人材 は?	廃止措置の予算・人材	1 1. 人材	6. リソース	3. 予算・人材	
6	1F廃炉が今後の原子力に及ぼす影響 は (原子力の 社会的受容性 の国民の変化、 原子力立地 、 原子力予算の圧迫)	1F廃炉と今後の原子力開発	5. 1F	7. 外乱		
7	1F廃棄物 (そこにある危機)の処理の行方 これが決まらずSF, HLWの処分を先に決められるか (対国民目線)	1F廃棄物問題	5. 1F	7. 外乱		
12	原子力政策 を進めている 主体者 はどこか。海外の推進例と比較した時に見えてくる日本における 「国・政府・関係省庁」の在り方 に対する提案。	国策の進め方	4. 行政・予算	8. 行政	1. 役割	
27	役所の過剰なる介入 役所の本来の役割 は 予算、国—国の関係では役所が出ざるを得ない しかしどこまでか	行政の役割	4. 行政・予算	8. 行政	1. 役割	

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」 — 研究・開発関連項目のシナリオとの関係 — (1/3)

No.	No.	番号	論点	① 確認・協議による解釈	② 提言者による解釈の確認	③ シナリオとの関係		
					コメント・論点に対する具体的な提言案	A 上振れ	B 現状	C 下振れ
1	21	54	これまでに国内外で起こった燃料サイクル関連の事故（旧ソ連での爆発や河川汚染、米国での土壌汚染、など）の原因究明、これらを絶対に繰り返さない対策は完全か。	用語として絶対・完全は神聖化するので注意が必要。 サイクル関連の事故とはどこまでを指すのか？ 炉を含むのか？ （↑ 主として再処理の範疇＝化学的な部分を意図しているとのこと。） トリウムサイクルの研究を対象に、IAEAの査察を炉関連として受けたことがある。 炉の情報は海外から入ってくるが、再処理は入ってこないで情報収集が課題。	解釈に対する訂正や補足： 「絶対に」は少なくとも同じ（類似）ことは繰り返さないという意味合い。 具体的な提言： 過去に起こった事故や不具合とその原因を一通り学んだ上で、開発対象プロセスについて初期からリスク要因のリストアップと対策を行い、研究項目に採り入れていくことが技術的にも社会的にも必要。 対象とする研究・開発対象技術： 特になし（逆に言えば全て）	◎	◎	○
2	22	4	・廃棄物の観点：直接処分した時に何が本質的な課題となるか（コストか、被ばくか）。	現行のサイクルでは決められた形があるが、直接処分だと決められたものがない。 シナリオにも関連する事項。 日本で直接処分はできるのか？フィンランドは日本と異なり使用済燃料の数が少ない。 これまで研究が進んでおらず、JAEAが調べ始めたところ。 NUMOの特性マップは不十分ではないか？ 使用済燃料とガラスの違いに基づく研究開発要素を主として整理する必要がある。	現在は国の方針として燃料サイクル→高レベル廃棄物はガラス固化、となっており、そのための研究開発中心でよいと思いますが、一方でコンテプランは考えておく必要があると思います。コンテプランの一つである直接処分については他国で研究例がありますので、情報を収集・整理しておくことは重要と考えます。JAEA殿で調査を始めたところとのことですので、その調査の今後の進展を期待します。	×	○	◎
3	23	20	ウラン資源確認埋蔵量が年々増え、ウラン価格も比較的長期的安定性が予想される中、日本にとっての高速炉サイクルの意義をどこに求めるか。「いつかウラン価格が高騰したら」は、既にかなり説得力を失っている。（仮に高騰しても原子力の場合、化石燃料ほど燃料費の比率が高くないためインパクトがない）それでも高速炉とサイクル技術を維持する意義を開発当事者自身から発信する必要があるのではないか。	日本はフランスほどTRUに注目した研究をしていないのではないかとシナリオ側でも見えてもらっているかチェックが必要。 開発当事者として意義をどう見るのかも必要。 我々の世代で... というのは、納税者が理解するのか？理解できないから高速炉は止まっている。他の電源の方が安ければ、そちらを向く。 経済性があるということになると、高速炉は金属燃料になる。 本案件は、委員会全体で議論すべきものである。	「開発当事者として意義をどう見るのかも必要」という指摘に賛同します。「本案件は、委員会全体の場で議論すべきものである（からグループDのみのイシューではない）」というご意見にも同感ですが、研究開発の視点からこの問題－資源論だけでは高速炉開発の意義が見出せない－への回答を用意することも重要と考えます。 資源論（だけ）ではなく、例えば世界でも数少ない実機建設・運転経験を貴重な日本の戦略的オプションとすることが意義となるのであれば、そのために必要で優先すべき研究項目は何か？ といったイシューが考えられます。	○	◎	×
4	24	24	国際協力を含めたとしても、 <u>自国で開発する意義</u> は何か？軽水炉は米国から輸入し、改良を重ねている。	この論点の記載は逆説であって、日本として取り組まなければいけないと言いたいものと認識。 事故時の対応を含め、自国で技術を持っていないといけない。基礎原理、影響対策、日本独自の環境等の考慮が必要。	左記、グループDの協議結果に異論はありません。 仮にベース技術を海外から導入しても、日本独自の要求に合わせて改良が必要。国際協力によって開発費の抑制を図るためにも、基盤技術を保有しておくことが必須。（でなければ、国際協力に参画すらできない。）	◎	◎	○
5	25	47	日本・世界の将来に向かって、エネルギー供給源の確保は永遠の課題でありつづける。 今後の日本の中長期・超長期においても、いろいろな不確定さの中で規模の調整問題はあるが、新技術の進展をすすめていくことは避けられない。 これまでの日本の原子力利用は、ここ70年の流れは、「エネルギー供給源の確保」に向けて開始され、社会情勢・実用化技術の展開と進展（競争・競合含む）と軽水炉・高速炉技術の進展・開発が、おもに発電コストの視点で議論されるようになった。 特に、経済のグローバル化とともに強調されている。 日本は、核燃料サイクルは、近年は軽水炉発電コストの経済性の立場から、コスト要因とみる立場が議論の主流とめられてきた。高速炉・そのサイクルの技術成果の認知度は低い状況がつづいてきた。 核燃料サイクルの、見方が、六ヶ所村再処理施設計画のみの古くからの固定的視点とその延長線上で議論されている。 （一方、日本原子力学会における発表の殆どは、従来原子力システム技術・要素技術からの改良・革新技術に関連して、研究発表がなされているが、ほとんどで実現の場がない状況が続いている。） 米国は、Pu商用利用禁止後は、それが中心（民生用）。 中国・ロシア・インドは、自国の立場で、米国とは別な視点で、自国のエネルギー供給源（海外への供給ビジネスは少ないが、それを織り込んだもの）は、地政学的視点を含めて進めている。 発電技術としての、原子力に偏って展開された結果、廃棄物の処理・管理が、古い設計のままの六ヶ所村再処理施設計画の状況から進展していない。新聞の引用する内容は古いままで固定的（最近、高速炉は記されていないことが多い）。 工業規模の産業界・技術が持続していくためには、製品以外に廃棄物の処理・管理・リサイクルを継続して進展させていくことが不可欠である。 古くは、非鉄金属精錬業界の、砒毒排出問題、水銀排出、カドミウム排出問題に始まった。 さらに現在も副産物・溶媒の内部リサイクルとしての技術は不可欠。 ヘドロ排出・排水問題など解決していかないといけない状況。 これらの問題の解決をはかって、産業界が持続成立している（製品ニーズ高い）。 核燃料サイクルと高レベル廃棄物問題を、既存の技術（軽水炉・六ヶ所再処理施設・もんじゅ）以外で、日本の将来の技術含めた地政学的立場から、短・中・長・超長期の見方を、原子力学会会員として多様な見識を提示努力を行うことが、必要な状況と考えます。 論点の基本は、原子力利用の本質を、これまでの経済性追求のみの流儀から、これまで以外の視点で再構築できるポテンシャルを社会に示す（遠隔技術など周辺技術との適合性考慮）ことと考えます。 モジュール性、廃棄物化の視点と技術の革新（扱えないから捨てるからの脱却）	廃棄物対応についてもっと示せということか？ 産業界としてみると、原子力は他の産業界より良い。太陽光は寿命後のパネルの取り扱いなど議論されていない。 NO.23と通じる話。 短中長の各観点で言わないといけない。そういう視野を持っている人の責任。 原子力の意義についてと読める。本人に確認が必要。 東工大はMITと協調している。OECDは発電としてではなく低炭素の観点でとしている。CmだってPuになるので、トータルで物事を見てアピールする必要がある。	・今回の委員会で、経験・隣接分野との発想・関心の差異を再認識しました。多様な経験から、「複数の立場で考えの過程を共有」できる機会として展開できることは重要。 ・放射性廃棄物対策は、「発生量の低減、減容」を具体的に進めることは不可欠。国民・社会が、そこまで改善・革新努力していることを見て、納得できる対応を示すことになる。「一気に解決できる” Silver Bullets”はないので、その結果として段階的に・持続的にその段階で達成できる成果を具体的に示していく（政策的な面、経済効果もその一部）持続力がポイントと考えます。その結果と一部として、放射性廃棄物処理と処分について、受け入れられることにつながる（長短半減期に起因する部分もあることなど、時間軸の不確かさはある）。 ・太陽光パネルの廃棄問題は、今後、顕在化が懸念される。太陽光パネルの特定の課題にはここでは立ち入らないとします。一方、原子力放射性廃棄物対応を、他の業界との比較で議論する立場はとりたくない。事業持続のための廃棄物対策の実例として参考となるものが多いと認識しています。一般産業界では、経済活動のなかで、規制変更・技術誘導（化学形態変更、代替技術・代替物質多様性）、多様なstake-holderによる可能な対応策の即効性はかなり実績ある。太陽光パネル自体のことは、不明ですが、リサイクル可能な金属などは回収・再利用の静脈市場が成立している例は多い。 ・一気に解決できる段階ではないので、現実とあわせて考えることになる（多様性と産業界競争が維持できることは、新たな活力を維持する要点と考えます）。全体は、エネルギー源・低炭素化技術としての持続性確保として、LWRの運転寿命（60年化とその発展など）、TRU含む超長期放射性核種の燃焼可能なこと原子炉の導入（金属燃料サイクル+中小型炉）、1)六ヶ所再処理プラント稼働への支援と運転データ・経験の国内蓄積と活用、2)実廃液利用によるプラント運転対応・新技術+これまでの研究成果の実証（電力、国研、民間活用できる研究開発体制必要）、3)従来の廃棄物区分の変更と、安定同位体物質の分離・回収の実現（取り扱い規模の適切化と混在物の限定化は、実現を促進）、放射性物質貯蔵と活用技術の推進（特徴物質を生かした活用；ニッチ、小商いの領域）4) Pu/TRU問題解決とエネルギーのための、金属燃料サイクル+SMR導入など ・原子力学会における湿式再処理リサイクル発表の多くは、HLLWの元素の分離・抽出溶媒の研究が多いと見える。これは、基礎研究データ取得（理想液体理論を越える模擬状態や、素過程・素反応解明、反応速度、耐放射線特性など）の成果と考えられるが、国内で、試験・実験データがコンパイルされて継続的に発展・継承できるデータベース（ビッグデータ）として、活用できる体制を作ることが、科学と工学の連携に重要となる。どのように具体化できるのだろうか？ 乾式再処理技術基礎データについても類似なことはあると考えます。研究者のモチベーションとなることを期待したい。 ・原子力はシステム視点が、工学的に実装する上で要であるが、周辺の基礎研究への関心とコンタクトができる研究体制構築と、縦割り組織からの脱却が可能なチャレンジを許容する場を実現する（適切に推進する規制サイドの発展との両輪）。	◎	◎	×

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」 — 研究・開発関連項目のシナリオとの関係 — (2/3)

No.	No.	番号	論点	① 確認・協議による解釈	② 提言者による解釈の確認	③ シナリオとの関係		
					コメント・論点に対する具体的な提言案	A 上振 れ	B 現状	C 下振 れ
6	26	8	・日本の核燃料サイクルの成立性とは、すなわち、六ヶ所の燃料サイクル施設の成立性、および廃棄物処分場の確保の可能性である。六ヶ所の各施設が今後どのように活用されるべきなのかが、本研究委員会の目的と考える。	RRPをフィールドにした研究開発もある。この点に対する提言か？ MA回収設備の増設や、トラブル対応等の方向でとらえる。 RRPは早期に運転を開始してクオリティーコントロールしてもらって... が起点。 Npの動向などを研究したい。	(津幡) 元々のコメントの意図は「六ヶ所施設を研究開発の題材として活用する」ということではないです。現行の原子力発電とU,Pu燃料サイクルをまずは安全に、経済的にも成立させていくのが大事で、六ヶ所の施設の本来的な商用での活用、現状路線での成立性が重要ということです。 研究開発の話題につなげるとすれば、MA回収などの遠い先の話に広げて頂いてもよいですが、そのころには現在の六ヶ所工場とは別の施設になっているはず。一方でフランスでは現在の再処理の運転実績や技術課題が、CEAの基礎研究部門と共有され研究開発に常々反映されていることは聞いております。そういった活動が日本でもできるとよいと思います(守秘義務があるのは理解)。 具体的な研究対象としては、PUREXでのU,Pu,Np物質収支などの運転実績、析出物などのトラブルリスクがある事例の共有と対策、近い将来のPuサーマル再処理に向けた課題抽出と基盤的研究開発。MAの高効率回収を目指す場合は、MA分析下限値の低下のための技術開発。	◎	◎	×
7	27	16	高速炉サイクルの導入を考える前提である核燃料サイクル及び高速炉への国民の信頼が失墜している。日本の基幹電源を担うに足る概念であることを示すことが必要。これまでの開発によって実績のある技術を用いてモジュール型炉とサイクル施設を組み合わせて運用実績を作り、信頼の回復につなげる提案はどうか。	実績を作れということ。		◎	○	×
8	28	21	20世紀に開発が開始された数々の「革新技術」-先進的再処理、新型炉、加速器などが今日いまだに「革新技術」と呼ばれる理由、すなわち何十年たっても実用化に至らない根本的な理由は何か。いつまでも「革新技術なんだから国は予算を付けるべきだ」では通用しない。	日本の原子力が不得意なところ。トップダウンではなくボトムアップが良い。 NO.27と同じで、実績の積み上げでということか？ 日本のみならず、原子力の開発は期間が長い。	20年以上にわたり続けられてきた”革新”要素技術開発一例えばADS、分離変換一について、毎年どんな研究が国プロで実施されてきたのかを件名ベースで1990年頃から年表にまとめてみる、というのはいかががでしょう。1990年の革新技術が未だに実用化しない理由は単に「原子力は開発期間が長い」では片付けられません。 本項はどんなシナリオのもとでも日本の原子力研究開発に関わる者として真摯に振り返るべきと考えます。 単に「開発期間が長いから」では、今後も永久に問題は解決せず、他業界からの理解も得られません。(5/17 村上記)	×	×	×
9	29	22	原子力技術開発において、段階的な開発実績の社会実装・転用は可能か？ 信頼性や経済的優位性など原子力を取り巻く環境は様変わりし、従前の予算と期間をかけた開発は困難。技術適用・転用による早期刈取で、信頼の再構築と予算導出の好循環を創出したい。	今までのアイデアが良くない点はないか？ 要素技術が個別に活用されていないのは、高コストだから。 トライ&エラーが必要で、ベンチャーは立ち上げ時は無法地帯となっている。 原子力以外のニーズを聞かないと				
			従来体制はなぜ破綻したのか？	今のやり方は、JAEAが開発してメーカーが設計・建設する。 JNFLは普動燃と色々やっていたが、実勢があるものを導入する方向を選んだ。 JAEAがJNFLに入って実現していく必要があるのではないか？ 開発/運用を同時並行で進めるといふ道もある。 論点としては重要であるが、解がない？ メーカーが資金提供してというやり方もある。	開発と事業の主体として、電気事業者(電事連、電中研)、工業会(電工会)、政府(経産省、文科省)、開発機関(原子力機構)などがある。望ましい意思決定の方法と体制を議論いただきたい。 シナリオとの関係は、開発資源が少ない場合により突っ込んだ議論が必要と思われる。	○	◎	◎
11	31	19	核燃料の最大限の有効利用を考慮し、いかにエネルギー効率の優れ、また安価に廃棄物処理の簡易な方法を確立するか(最大の課題である廃棄物処分(MAとLLFP核変換)を廉価で安全な方法で達成するか)。経済的にも優位性のある市場に求められる機能を有する炉と再処理を日本から技術発信させる。	開発の方針。 全体を捉えた評価をしているのか？ 再処理側から露頭への要求を含め、全体最適案を目指す。	原子力利用を続けるうえで、全体を俯瞰した状態での開発方針を立てる上で心がけておく必要のあるもの。原子炉に求められる要件、再処理に求められる要件をきちんと定義しておく。いずれのケースでもただ単に数値の比較だけではなく、その方針で解決すべき課題も定義できるようにしておけばよい。	◎	◎	◎
12	32	28	・現時点の知見に基づく評価が、50年後も正しいとは限らない。新しい技術を取り入れられる柔軟なシステムか。	日本の原子力では実現が50年後となり陳腐化してしまう。 モジュール型・分散化の方針を志向か？ TRPで長く再処理してきたが、この中での改良は学会として共有しているか？ →発表してもらう機会はある。 溶解槽を交換したはずで、R&Dの変遷がまとめられていない。	【コメント】特にありません。 【具体的な提案】 ・六ヶ所再処理工場を半ば公共財ととらえ、運転データなどをできるだけ公開していただき、大学や国立研究開発法人も含めた改良・改善の取組みを国内における当面の主な研究開発活動としてはいかがでしょうか。 ・次期プラントについては、数十年に一度大型のものを作るよりも、例えば10年ごとにモジュール的に小型ラインを増設していくことで、最新技術の取入れ、技術の継承・人材の育成、様々な種類の使用済燃料の処理が可能となると思います。これを念頭に、六ヶ所再処理工場や東海再処理工場での知見を基に、いくつかの種類小型ラインの検討を進めることを、当面の次期プラントに向けた研究開発活動としてはいかがでしょうか。	◎	○	○
13	33	39	過去40-50年の総括 支出予算と何が実用化できたか その問題点は何なのか	何が実用化されたのかと言われると厳しい。 No.30とも関連する。過去の総括をして先へ進める必要がある。	ここをしっかりと振り返って議論してほしい(さもないとまた同じ轍を踏む)。研究機関、メーカー、電力それぞれの立場から問題点を明らかにする必要あり(原子力委員会の在り方なども) 何故実用化に結び付かなかったか? 開発機関の体質、マインド、技術移転の考え方がおかしくなかったか(JAEAとメーカーの連携の在り方、等)。	×	×	×
14	34	42	研究開発における技術選択の方法 いつ、どのように候補の技術を絞る、選ぶのか?	No.32と類似か? 明確にすべきと言いたいのか? 進め方を制定? 中間評価など? 二再をどこどこに置くとすると、それに基づいてステップを置けるが、どこにというのは決まらない。 選択のためには基礎研究のデータベースが必要。この観点で基礎研究をしっかりと実施する。	No.32の一部分として、望ましい意思決定の方法と体制を議論いただきたい。 シナリオとの関係は、開発資源が多い場合に選択肢が増えるため重要性が高まると思われる。	◎	○	○
15	35	45	諸外国との協力、連携の在り方は 仏ばかり見ても今後の進展は? 中、印等の動向、米の戦略は?	No.34と関連する。 日本の現状に合った開発として選定か? 中国・インドは炉なら問題ないが、再処理は核不拡散の観点で共同開発はできない。	まず我が国でR&Dの力をつけるべきではないか。これまではず海外と連携、海外の調査などといってきたが実力はついていないのでは(本当に実が上ったか疑問)。	◎	○	○
16	36	55	如何にしても国内での技術維持や専門家育成が困難な場合、国外(特に欧米以外)での研究開発に参加することは不可能か。	欧米以外に入っていかなければいけないと言いたいのか? 無理な理由を明らかにして対策し、打開する。 今のスケール感の維持は無理でも、国内で成立させる方策が必要。	・確認・協議結果に対する訂正や補足: 特になし ・具体的な提言: 具体的な例がないと議論が難しいので、現状では取り下げたい。 ・具体的な開発・研究対象技術: 特になし	○	○	○

表 核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」 — 研究・開発関連項目のシナリオとの関係 — (3/3)

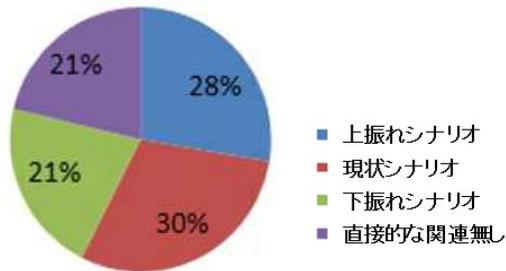
No.	No.	番号	論点	① 確認・協議による解釈	② 提言者による解釈の確認	③ シナリオとの関係		
					コメント・論点に対する具体的な提言案	A 上振れ	B 現状	C 下振れ
17	37	14	再処理に必要な知見を照射済燃料を用いた実験によって実験室レベル・工学レベルで得るための施設・設備の老朽化が著しい。産官学が乗り入れが容易な施設・組織は必要ないか。	老朽化は大学で特に問題となっている。原子力カオラ。関東は東工大のみ。東大は東海。京大はあるが九大、名大はなくなった。東工大はNRAから要請が来たら、受けることとしている。地理的な観点で、各大学が施設を持っているべき。	コメント：関東でRI使用施設は都市大、東海大などにも有。都市大は核燃料のライセンス有。具体的な提案：「研究枠」内での実質的な(本気の)人材育成(訓練を含む)を産学で行う。開発・研究対象：放射性廃棄物の分析・分類技術、放射性FPの有効利用、等	◎	◎	○
18	38	15	我が国にはいっぱい研究施設があった、ある。それが有効に利用されてこなかった理由は何か。	過去の反省総括を提言。	JAEAの施設を大学等がもっと利用しやすくすべき、そのためには規制の在り方も問題、またJAEAも外部と積極的に共同体制を作る必要あり。学会から提言すべきでは。規制委員会の独立と情報交換・共有は別話	×	×	×
19	39	37	大学、研究機関の技術研究力、開発力の大幅な低下 (原因とまだ立て直せるならあるべき方向)	原子力関連の大学の先生は国の委員会などに使われ過ぎ。雑用が多く、過去の蓄積で対応しており新規がない。JAEAでは、低下を定量化して対策をと理事長から言われているが実際には難しい。一般会計の研究費がほとんどない。優秀な人は外から資金をとってくるが、今は全て公募型で、基礎研究は難しい。原子力はペーパーワークが多い。イノベーションと分ける。	まず大学の教員は本務は何かをもう一度考えること(学生指導と研究)。現在は本末転倒に外からは見える(まず外部の委員会等が優先)。今大学でハードの研究をしている原子力工学教員は極めて少ないのでは。リスクマネージメントもまず現場、現物をよく知ることが極めて大事。PJ研究を取ったらその1割は基礎研究に廻せる仕組みを考える必要あり。今後発展するためには現有組織を整理することは必須では。	×	×	×
20	40	51	継続的な原子力エネルギー利用のため、また研究開発の沈滞を防いで専門家とそれを目指す若者の意欲を守るためには、原子力施設のスクラップアンドビルドを説得力あるコストと期間で完了することが不可欠である。	京大はKURとKUCAを持っているが、燃料を置かないとの地域との取り決めがあり、KURのリプレイスは難しい。国が方針を示さないといけない。大学ではホットラボなどが期待されて、地域との問題はない。東工大はスクラップするとビルドできないので、リプレイスで対応している。	・確認・協議結果に対する訂正や：特になし ・具体的な提言：対象施設を決めて、廃止のためのプロジェクトをつくる(計画、資金、技術開発、廃棄物カテゴリー、再利用方法、国際協力、他施設への応用、などを総合し、時限を決めて廃止プランと必要条件を提示)。 ・具体的な開発・研究対象技術：JAEAの比較的小型の施設 (TRPでは大き過ぎ)	◎	◎	○
21	41	53	いったん実用化すると失敗時の社会的経済的インパクトの大きい原子力技術の開発においては、技術の新陳代謝と工学レベルからパイロット規模での十分な見極め、これらを支える研究開発インフラの維持が重要であるが、経済的インセンティブの観点からは説明性が高いとは言えず、わが国に置いては軍事的位置付けもない。	CPFよりも大きな大きめのホットラボが必要。JAEAが設置し、お金を徴収して一般に活用できるようにそののほうか？ CPFの廃止を試金石として提案を待ったが、金を出してもという声は上がらなかった。文科予算と廃止費用とのパターで考えてしまう。	・訂正や補足：CPFよりも少し大きな(フェーズの進んだ)研究開発インフラのことを想定 ・具体的な提言：再処理分野における工学化/実用化技術とは何か、どんな(できれば他プロセスや他分野との)共通要素に分解できるのか、シミュレーションできないのか、実物やホットを使わずにどこまでできるかを、図面を作ったり予算を要求したりする前に徹底的に詰めるべき。 ・具体的な開発・研究対象技術：特になし(逆に言えば全て)	○	◎	○
22	42	48	(1) 福島事故を受けた学会事故調、学術会議の報告から、原子力コミュニティへの大学の関わり方に努力が期待されている。燃料サイクルの研究の活発化の観点でも、大学における横断的研究教育活動による知の統合が発揮されていく必要がある。事業者による現場ニーズはメーカー、国立研究機関との間で共有されるが、大学との共有や大学のシーズとの連携は不十分とされてきていて、この点でまだ可能なことはないか。	東北大では施設の共同利用の形を作ってきたが京大ではどうか？ 矢内原原則で原子力に大学は積極的にかかわらないとしてきた経緯があった(当初予算も来なかったが、その後文科省原子力システムなどが開始し、大学としても課題に対する取り組みをするようになった)が、1Fに遭遇して(従来政府・事業者)に任せていた部分も含め)大学として関われる部分がより大きいとの考えが学会からも求められている。原子力系の大学で求められることで他と違うのは、横断的な分野を通じての社会への貢献。大学には事業者からダイレクトにニーズが伝わってくる環境がない				
			は何か。 (例：トリウム溶融塩炉などの溶融塩物性の量子計算による予測など)	今後も続けられるものは、何があるか？放射線を利用する化学などか？課題解決型か課題提案型かだが、原子力が求める姿は前者。原子力は複合型だが、メーカー採用の実情は電気など単科から取っている。東工大では、学長が原子力をなくす方向の方針を持っている。大学側でシーズを立ててくれるといい。個々の大学の個性を出すためには、共通の場があればよいということではない。大学としては長期的な視点で考えてほしい。科学研究費補助金は小さいのでSが取ればよいが戦略がいる。JAEAと大学の違いは周辺との交流。大学は人文系の人材を入れるなどが可能。	1. 内容の把握と論点主旨について誤りの訂正や補足など。「大学側でシーズを立ててくれるといい。」→シーズは科研費等で実施するが、展開のためのリソースのため公募事業などを使うことが多い。 2. 論点の解。「課題解決型か課題提案型かだが、原子力が求める姿は前者。」→従来の原子力の延長上に解はないと思われ、大学としては課題提案型も重要。英国マンチェスター大のDalton Nuclear Institute, Dalton Cambrian Facilityのように若い人を巻き込んだ活発な研究の体制確立。 3. 具体的な開発・研究対象の技術。トリウム溶融塩炉などの溶融塩物性の量子計算による予測など	◎	◎	◎
24	44	50	(3) 広義の原子力の観点で、原子力コミュニティとして大学が核燃料サイクルに貢献できると考える研究は何か。 (例：ウランからキュリウムまでの凝縮系化学、物理や量子計算による物性予測、RIの医学利用など)	大学は社会の循環の中心にいてほしい。名大はバイオ、自動車に特化している。言われることはわかるが、直ぐにアウトプットを求められる。産業界はこの点を意識してという提案か？基礎研究の重要性、原安協など金の問題だけではない。dutyがどこにあるのかが問題で、重い所は厳しい。※東工大としては大学の立ち位置として今の状態は良いのかと思う。提案型での対応が良いのではないか？	1. 内容の把握と論点主旨について誤りの訂正や補足など。「産業界はこの点を意識してという提案か？」→英国のマンチェスター大、シェフィールド大などの目立ったアクティビティに触発される部分もあり、上記新たな形で産学官連携の形があり得ると個人的には思います。 2. 論点の解。「大学は社会の循環の中心にいてほしい。」「大学は周辺分野との交流が容易で、人文系の人材を入れるなどが可能。」「提案型で研究」などがヒントになる。→大学はその特性を生かして分野横断的なコミュニティの中で提案可能なシーズを生み出せると良い。 3. 具体的な開発・研究対象の技術。ウランからキュリウムまでの凝縮系化学、物理や量子計算による物性予測、RIの医学利用など	◎	◎	◎

シナリオとの関連カウント

	a. 単純カウント			b. 直接的な関連無し			c. 関連付けのカウント (=a.-b.)		
	A 上振れ	B 現状	C 下振れ	A 上振れ	B 現状	C 下振れ	A 上振れ	B 現状	C 下振れ
◎ 強く関連	14	13	6	4	4	4	10	9	2
○ 関連	4	6	9	1	1	1	3	5	8
× 関連無し	6	5	9	5	5	5	1		4

シナリオと論点の関係

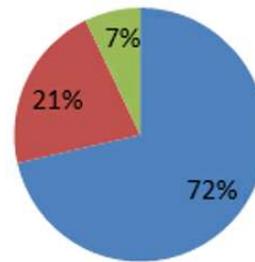
A 上振れ	B 現状	C 下振れ	D 直接的な 関連なし
13	14	10	10



・抽出された論点は、
各々のシナリオに
ほぼ均等に
紐付いている

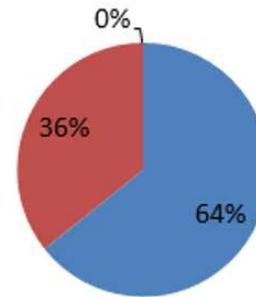


A 上振れシナリオ



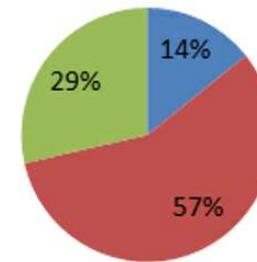
・強く関連付く論点
が多い

B 現状シナリオ



・関連付かない論点
が無く、
広く研究・開発分野
での議論が必要

C 下振れシナリオ



・強く関連する論点
が少ない一方、
関連付かない論点
が、他に比べると
多い

■ 強く関連
■ 関連
■ 関連無し

図 2.4-1 シナリオと 研究・開発に係る論点との関係

表2.5-1 各論点からの 이슈の抽出 (1/3)

論点	シナリオプランニングで使用した 이슈
2050年の世界を想定した時、原子力はどのくらいの電源比率(発電量)であるべきか(3E+Sの観点で)。	3E+Sの観点から原子力の発電電力量に占める比率はどのくらいであるべきか。
今後見据えての原子力と再生可能エネルギー利用の適値は？ FITが切れたときの再生可能エネルギーの利用は？	ポストFITとして再生可能エネルギーは何をすれば受け入れられるのか？
	2050年を見据え、今後の原子力及び再生可能エネルギーの適切な比率は？
エネルギー需給における原子力の位置付け 数10年先までの電源別の見直しは？	2050年頃までの日本の電源別発電量比率の見直しは？
電力の自由化における原子力の技術開発と発電設備への投資の価値 自由経済の元、電力会社主導で自立しうるのか？	廃棄物処理も含め競争環境下において、原子力の技術開発や設備投資を電力が自主的に継続できるか？
軽水炉サイクルの行く末が見えてくれば、高速炉サイクルの議論ができるようになる。 まずは10~20年後の軽水炉サイクル+Puサーマルの成立性を議論。	2030~2040年頃までに軽水炉サイクル+Puサーマルは成立しているか？
学会として、想定される核燃料サイクルを合理的に定義し、それを技術的及び経済的に評価。 将来実現に向けての課題は何で、また、どれだけ想定できるか。 現状と将来といってもいくつか考えられるので、これまでに想定されたケースでまず一度評価結果を整理してみる。それをきちんと現段階で再評価し、提示できる核燃料サイクルの選択肢を提示、成立性を技術的、経済的な観点から評価してはどうか。	核燃料サイクルの選択肢及びその結果(Puなどの諸量推移など?)を整理した上で、各選択肢の成立性を技術的、経済的に評価すべきではないか。
石炭利用の歴史が300年、石油は100年以下、鉄を使い始めてからでさえ3~4千年しか経っていない。 高速増殖炉を使えば数千年分の電力が得られるという物語は説得力や洞察力を持っているか。これが実現したときにどれだけの処分負担の発生があるか、他のエネルギー源が代替した場合にそれまでの負担はペイするのか、逆に太陽光発電を数千年続けたときの環境負荷は？など、燃料サイクル成立性議論のベースになる知識や検討が必要なのは。	(原子力以外のガスなど?)他のエネルギー源が原子力に代わり利用されるようになった場合、それまで(高速炉など原子力の革新技術開発や投資に?)費やされた負担はペイするのか？
	仮に太陽光発電が今後数千年利用された場合、環境負荷(資源、廃棄物、環境破壊)はどのくらいになるのか？
	高速増殖炉が実現すれば(無い場合と比較して?)処分負担はどのくらい変わるか？
その世界(2050年断面での電源比率)が仮に2100年まで続くとしたら、燃料サイクル(再処理)は必要か？ 必要だとしたらいつ頃どの程度必要か？	2050年断面での電源別発電量比率が2100年まで続いた場合、再処理は必要か？ いつ頃、どの程度？
高速炉の必要性は？ 必要である場合その役割は？ その場合に狙う高速炉は？ 導入筋道は？	必要とされる高速炉(の種類?)及び再処理技術の成熟を含め導入ロードマップ(実用化時期?)は？
2030年代において原子力発電がベースロード電源であり続けるためにはどのような原子炉(燃料サイクルも含め)を導入すべきか?①小型炉②分散型電源③廃棄物低減	どのような原子炉・燃料サイクルを導入すれば、2050年以降も原子力がベースロード電源であり続けるか?(①小型炉②分散型電源③廃棄物低減など色々な観点で)
原子力発電に求められる炉型の展開 既存原子炉の再稼働から、増設、新規立地、次世代軽水炉(高燃焼度)、高速炉へと展開しうるか？	2050年以降、どのような炉型を展開すべきか？
次の再処理工場が処理すべき燃料の仕様 軽水炉、軽水炉MOXとともに高速炉の燃料も考えるか？	次期再処理工場の対象とすべき燃料仕様は、軽水炉ウラン、軽水炉MOX、高速炉燃料か？
日本としての核燃料サイクルのあり方を例えば2100年時点ターゲットとして考える。使用済み燃料そのものの処理だけでなく、炉も含めて討議する。そのときの論点としては①原子炉のあり方(人口減少の中、大型炉か?分散型も視野、経済性)、②廃棄物の低減(MA、LLFP)、③余剰Puの抜本的な解消などから、あるべき姿を議論する	2100年を開発目標とした炉は大型炉か、分散型か？
	2100年をターゲットとしてどのような使用済み燃料処理及び炉を開発・実用化すべきか？
	2100年を開発目標とした炉の仕様に、MAやLLFPの低減、余剰Puの抜本的な解消を含めるべきか？
燃料サイクルの成立性を議論するにあたり、想定する期間をどう設定するかを共有すべきではないか。(5年、10年、50年、100年、それ以上?または短期~長期を広く網羅?)それによって、軽水炉燃料サイクル、Puサーマル、高速炉サイクル、六ヶ所プラント、第2再処理などの検討対象が明確になる。 燃料サイクルを議論するには、100年単位の長期視点も含める必要があると考える。(不確実性への備えをどう位置づける?)	シナリオ想定期間は5年、10年、50年、100年またはそれ以上? 燃料サイクルを議論するには、100年単位の長期視点も含める必要があると考える
本委員会が提案する核燃料サイクルのオプションについて、現段階での技術成熟度と採用が要求される時期との整理が必要。	核燃料サイクルの各オプションの技術成熟度はどのくらいか。必要とされる時期までに開発が間に合うか？
最終処分場が決めたい状況と核燃料サイクルの進め方。処分場が決められない状況での再処理は？	最終処分場が決まらない中で、再処理(or核燃料サイクル全体?原子力?Puの問題?)をどう進める(扱う?)べきか。
高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発の進め方。タイムラグがある中での両者の論理的説得性は。	ガラス固化と分離・核変換の技術成熟度にタイムラグがある中、高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発をどう論理的に整合をとって進めるべきか。
現在国内で保有しているPu、及び軽水炉燃料再処理により新たに得られるPuをどのように利用(処理)すべきか。余剰Puを抑制するためにどのような対策が必要か(軽水炉MOX、マルチサイクル等)。	現在国内で保有しているPu、及び軽水炉燃料再処理により新たに得られるPuを、いつまでにどのくらい、どのように利用(処理)すべきか。
プルトニウムを利用する方策 高次化Puの生成を想定した使い途、最適なマスバランスとは? 核燃料サイクルの核拡散抵抗性技術とは?	核燃料サイクル技術のうち、核拡散抵抗性のある技術とは何か? 実用化時期は?
	高次化Puの生成を想定した(何の?)使い途及び最適な(何と何の?)マスバランスは?
リプレースができなければ原子力は自然消滅、 原子力を継続利用するためにはリプレースは必要か?その場合の炉型展開は?	2050年以降も2100頃まで原子力を継続利用するとした際の、リプレースすべき原子炉の炉型及び耐用年数は?
これまで国内外で起こった燃料サイクル関連の事故(旧ソ連での爆発や河川汚染、米国での土壌汚染、など)の原因究明、これらを絶対に繰り返さない対策は完全か。	これまでに国内外で起こった燃料サイクル関連の事故(旧ソ連での爆発や河川汚染、米国での土壌汚染、など)の原因究明及び再発防止策は出来ているのか。
廃棄物の観点: 直接処分した時に何が本質的な課題となるか(コストか、被ばくか)。	使用済み燃料を直接処分する際の本質的な課題は、コストか、被ばくか、そのほかか?
ウラン資源確認埋蔵量が年々増え、ウラン価格も比較的長期の安定性が予想される中、日本にとっての高速炉サイクルの意義をどこに求めるか。「いつかウラン価格が高騰したら」は既にかなり説得力を失っている。(仮に高騰しても原子力の場合、化石燃料ほど燃料費の比率が高くないためインパクトがない)それでも高速炉とサイクル技術を維持する意義を開発当事者自身から発信する必要があるのではないか。	日本にとっての高速炉開発の意義は、ウラン資源論以外に何か?開発当事者自身から発信する必要があるのではないか?
国際協力を含めたとしても、自国で開発する意義は何か?軽水炉は米国から輸入し、改良を重ねている。	高速炉を自国開発する意義は何か。軽水炉のように実用化された炉を輸入し、改良するのはダメな理由は何か。
日本の核燃料サイクルの成立性とは、まずはここ数十年の六ヶ所の燃料サイクル施設の成立性、および廃棄物処分場の確保の可能性である。六ヶ所の各施設が今後どのように原子力発電と燃料サイクルのために活用されるべきなのかが、本研究委員会の目的と考える。加えて六ヶ所施設の性能向上や安全向上を目指した研究開発も同時に継続。2100年是不確実性が大きく根拠の薄い想像しかできないが、次期の再処理施設がどのようなものがありうるか構想していくこととなる。	放射性廃棄物最終処分場は確保できるのか。
	六ヶ所の燃料サイクル施設の運転/廃止の決定は国策に基づき国が判断するのか?

表2.5-1 各論点からの 이슈の抽出 (2/3)

論点	シナリオプランニングで使用した 이슈
<p>高速炉サイクルの導入を考える前提である核燃料サイクル及び高速炉への国民の信頼が失墜している。日本の基幹電源を担うに足る概念であることを示すことが必要。これまでの開発によって実績のある技術を用いてモジュール型炉とサイクル施設を組み合わせる運用実績を作り、信頼の回復につなげる提案はどうか。</p>	<p>核燃料サイクル及び高速炉が日本の基本電源を担うに足ることを示すことが、国民の信頼回復につながるのではないかと？</p> <p>実績のある技術を用いたモジュール炉とサイクル施設とを組み合わせる運用実績を作れば、信頼の回復につながるのではないかと。</p>
<p>20世紀に開発が開始された数々の「革新技術」-先進的再処理、新型炉、加速器などが今日いまだに「革新技術」と呼ばれる理由、すなわち何十年たっても実用化に至らない根源的な理由は何か。いつまでも「革新技術なんだから国は予算を付けるべきだ」では通用しない。</p>	<p>20世紀に開発が開始された先進的再処理、新型炉、加速器などの革新技術が未だに実用化されない根源的な理由は？</p>
<p>原子力技術開発において、段階的な開発実績の社会実装・転用は可能か？信頼性や経済的優位性など原子力を取り巻く環境は様変わりし、従前の予算と期間をかけた開発は困難。技術適用・転用による早期刈取で、信頼の再構築と予算導出の好循環を創出したい。</p>	<p>原子力技術開発において、段階的な開発実績を社会に転用・実装することにより、技術の成果を社会に示し、信頼の再構築と更なる投資の好循環が期待できるのではないかと。</p>
<p>技術開発と事業が連続する体制、役割分担のあり方従来体制はなぜ破綻したのか？</p>	<p>技術開発から実用化までを連続させ、それぞれの主体に役割分担をさせていた従来体制がなぜ破綻したのか？</p>
<p>核燃料の最大限の有効利用を考慮し、いかにエネルギー効率の優れ、また安価に廃棄物処理の簡易な方法を確立するか(最大の課題である廃棄物処分(MAとLLFP核変換)を廉価で安全な方法で達成するか)。経済的にも優位性のある市場に求められる機能を有する炉と再処理を日本から技術発信させる。</p>	<p>エネルギー効率に優れ、かつ廃棄物処理費用も含め安価で市場競争にも耐えうる核燃料サイクル技術をいかに確立するべきか。</p>
<p>現時点の知見に基づく評価が、50年後も正しいとは限らない。新しい技術を取り入れられる柔軟なシステムか。</p>	<p>技術評価手法に、常に新しい別の技術を反映できるシステムを取り入れるべきではないかと。</p>
<p>過去40-50年の総括 支出予算と何が実用化してきたか その問題点は何なのか</p>	<p>実用化できなかった技術については何が問題だったのか？</p>
<p>研究開発における技術選択の方法 一つ、どのように候補の技術を絞る、選ぶのか？</p>	<p>研究開発において技術を選択する際の評価基準はどうあるべきか。</p>
<p>諸外国との協力、連携の在り方は仏ばかり見ているも今後の進展は？ 中、印等の動向、米の戦略は？</p>	<p>(高速炉・核燃料サイクル分野において)協力・連携する国として、フランス以外にありえる国は？ 自国技術を育てる必要があるのではないかと？</p> <p>中国・インドの動向や米(ロシア、ブラジル、アルゼンチン・)の戦略も見る必要があるかと？</p>
<p>如何にしても国内での技術維持や専門家育成が困難な場合、国外(特に欧米以外)での研究開発に参加することは不可能か。</p>	<p>国内での技術維持・人材育成が困難なら、欧米以外も含めた海外での研究開発に参加するべきか。</p>
<p>再処理に必要な知見を照射済燃料を用いた実験によって実験室レベル・工学レベルで得るための施設・設備の老朽化が著しい。産官学の乗り入れが容易な施設・組織は必要ないか。</p>	<p>産官学で共同使用可能な照射後試験施設を(新たに?)設置し、再処理に必要な知見を維持すべきではないかと。</p>
<p>我が国には一杯研究施設があった、ある。それが有効に利用されてこなかった理由は何か。</p>	<p>我が国に多くある研究施設が有効に利用されず、多くの革新技術が未だに完成していない理由は何か？</p>
<p>大学、研究機関の技術研究力、開発力の大幅な低下(原因とまだ立て直せるならあるべき方向)</p>	<p>大学、研究機関の技術研究力、開発力の大幅な低下の原因追求と対策は？</p>
<p>継続的な原子力エネルギー利用のため、また研究開発の沈滞を防いで専門家とそれを目指す若者の意欲を守るためには、原子力施設のスクラップアンドビルドを説得力あるコストと期間で完了することが不可欠である。</p>	<p>継続的な原子力利用及びそのための人材基盤維持のため、原子力(研究?)施設のスクラップ&ビルドを合理的なコストと期間で完了する必要があるのではないかと。</p>
<p>いったん実用化すると失敗時の社会的経済的インパクトの大きい原子力技術の開発においては、技術の新陳代謝と工学レベルからパイロット規模での十分な見極め、これらを支える研究開発インフラの維持が重要であるが、経済的インセンティブの観点からは説明性が高いとは言えず、わが国においては軍事的位置付けもない。</p>	<p>工学レベルの研究開発インフラの維持ができるか？</p>
<p>(1)福島事故を受けた学会事故調、学会会議の報告から、原子力コミュニティへの大学の関わり方に努力が期待されている。燃料サイクルの研究の活発化の観点でも、大学における横断的研究教育活動による知の統合が発揮されていく必要がある。事業者による現場ニーズはメーカー、国立研究機関との間で共有されるが、大学との共有や大学のシーズとの連携は不十分とされてきていて、この点でまだ可能なことはないか。</p>	<p>事業者の現場ニーズを大学のシーズと連携・共有していく必要があるのではないかと。</p>
<p>(2)狭義の原子力の観点で、原子力コミュニティとして大学が核燃料サイクルに貢献できると考える研究は何か。(例:トリウム溶融塩炉などの溶融塩物性の量子計算による予測など)</p>	<p>大学におけるどのような研究が、核燃料サイクル(の進展?拡大?個別技術の実用化?)に貢献できるか。</p>
<p>(3)広義の原子力の観点で、原子力コミュニティとして大学が核燃料サイクルに貢献できると考える研究は何か。(例:ウランからキュリウムまでの凝縮系化学、物理や量子計算による物性予測、RIの医学利用など)</p>	<p>ウランからキュリウムまでの凝縮系化学や、物理や量子計算による物性予測や、RIの医学利用、といった大学における各研究は、核燃料サイクル(の進展?拡大?)に貢献できるか。</p>
<p>課題の「核燃料サイクルの成立性を定量的に調査・評価するための「論点」」ですが、ウラン資源の観点から、地球温暖化の観点から、等々、と言っても未来のことを予測することは不可能なので、人によって意見は異なるのが常であり、それが合っている、間違っているということとはできないと思います(反原子力の人間を説得するための成立する要件を将来に求めても、それは考え方の問題になってしまい、トランス・サイエンスです)。ただ、逆に、核燃料サイクルが成立するために必要な条件として、やはり「人材」は重要な項目だと思います。現在の所属や立場、目先の欲(金儲け?)から離れて、原子力利用が将来の人類にとって必要不可欠と本心から思い、他人から非難されても、ぐっとこらえて原子力技術の維持・革新にコツコツ取り組む人材がいなくては原子力利用自体の成立性がそもそもないと私は思います。</p>	<p>原子力利用が(2050年以降も?)継続するには、所属や立場や個人的欲から離れ、原子力利用が将来の人類にとって必要不可欠と本心から思い、原子力技術の維持・革新にコツコツ取り組む人材が、2050年までの間に必要なのではないかと。</p>
<p>大学の研究、人材育成はどうすべきか(最近の大学人のはやりの言葉、リスクマネジメント、レジリエンス、グレイデッドアプローチ すべてこれ前向きな技術開発の言葉ではない)</p>	<p>大学の研究・人材育成はどうあるべきか。</p>
<p>長期にわたる研究開発、事業における技術の維持 技術の継承とはなんぞや? 人に属する暗黙知はなくせるか?</p>	<p>研究開発や事業が長期にわたるとき、技術を継承・維持するためには、人に属する暗黙知ではない(明文化した資料等?)有効な方法は何か?</p>
<p>原子力の将来像が不確実な時代、幅広い選択肢を選びえる技術的なポテンシャル(人材とホット施設)を維持できるか。</p>	<p>原子力の将来像が不確実な時代、幅広い選択肢を選びえる技術的なポテンシャル(人材とホット施設)を維持できるか。</p>
<p>今後原子力のあらゆる分野への投資はほとんど不可能。優先順位をつけると(廃棄物処理・処分+何か)</p>	<p>原子力分野において優先すべき投資分野は、廃棄物処理・処分に加え何かがあるか?</p>
<p>今までは国策の名のもとに進めてきた。それが今後も通用するか。電力の一般産業化、原子力への国家予算のこれまでのような投資が継続的に可能か。</p>	<p>電力の一般産業化や国家予算の投入先の多様化といった環境変化を受け、これまでのような投資が継続的に可能か。</p>
<p>もんじゅも含めた多量、多種類の原子力研究施設の廃止措置 計画、廃止による期間、その費用はどうするか(捻出可能か、通常の原子力研究費の縮小、しかしおぼえておけない)、人材は?</p>	<p>研究費が縮小する中、もんじゅも含めた多量・多種類の原子力研究施設の廃止措置計画をどのくらいの期間及び費用で実施すべきか。そのための人材をどう確保すべきか。</p>
<p>1F廃炉が今後の原子力に及ぼす影響は (原子力の社会的受容性の国民の変化、原子力立地、原子力予算の圧迫)</p>	<p>福島第一原子力発電所の廃炉が今後の原子力(政策?動向?計画?)に、社会的受容性、立地、予算の側面からどう影響を及ぼすか。</p>
<p>1F廃棄物(そこにある危機)の処理の行方 これが決まらずSF、HLWの処分を先に決められるか(対国民目線)</p>	<p>福島第一原子力発電所の廃棄物処理の行方が決まる前に、使用済み燃料や通常の放射性廃棄物処分を先に決めることを国民は納得・受容できるか。</p>
<p>原子力政策を進めている主体者はどこか。海外の推進例と比較した時に見えてくる日本における「国・政府・関係省庁」の在り方に対する提案。</p>	<p>日本の(核燃料サイクル?)政策を主体的に決定し推進力をえるような「国・政府・関係省庁」のあり方を構築すべきではないかと。</p>

表2.5-1 各論点からの 이슈の抽出 (3/3)

論点	シナリオプランニングで使用した 이슈
役所の過剰なる介入 役所の本来の役割は 予算、国—国の関係では役所が出ざるを得ない しかしどこまでか	国の予算による研究(国プロ研究)に過剰な介入とならないような政府(役所)の本来の役割はどうあるべきか。
原子力・核燃料サイクルの必要性はどこにあるのか？ CO2を排出しない基盤エネルギー源として持続的的能力を持つ原子力・核燃料サイクルは必要。国の総合的科学的技術力維持向上に貢献する。原子力平和利用で軽水炉使用済み燃料への対応技術の実現。 (基幹電源用の国内で官民が進める火力発電LNG化(石炭火力廃止の代替)は、それでも多量CO2排出は継続になるので、基幹電源を多様化する。)	原子力が必要とされる理由は「CO2を排出しない持続的な基盤エネルギー」であるからか？ 使用済み燃料の対応技術(再処理、直接処分を含め)を実現するには？
原子力発電所の新設は、エネルギー需要への対応に必要か？ 現行軽水炉は、CO2非排出基幹電源能力を使うため60年寿命化想定。一部は80年寿命まで延長の効果、軽水炉新設想定における発電量の根拠(U炉、プルサーマル炉、JNFL稼動に伴うLWR使用済み燃料からのPuは当面LWRで使用、海外Puによる燃料分(フランス分MOX燃料、英国分は不確かさ大?)、高速炉との共存役割分担、高速炉導入展開ペースとの関係、など)	2050年以降の適切な原子力発電量は？ 新增設が必要となるのではないか？
U資源の確保(有効利用)に向けた軽水炉核燃料サイクル技術開発は必要か？ ウラン資源の中で日本が利用可能な量と総量との関係は、2100年近くまで可能な見込みとして、国内濃縮事業が進むことを前提とすると、その規模は？技術開発としては tail-uranを0.1%まで落とす、回収ウラン再濃縮まで必要となるか？ 海水ウラン回収・利用に関する期待の向きもある。海外における軽水炉燃料用低濃縮ウラン濃縮度を7-8%として高燃焼度化志向が2050年またはそれ以降で実現するか？ 高燃焼度化に伴い照射後燃料中のPu同位体比の劣化・MA割合の大幅増加を伴う。フランスルサイクルとの関連。軽水炉利用志向は強いと予想されるので、不確かさは大きいものの将来シナリオ検討では想定が必要ではないか？	テイル濃度を0.1%まで落としての回収ウラン再濃縮は必要となるか？ 日本が2100年ごろまで利用可能なウラン資源の総量から必要とされる濃縮ウラン量は？ どのくらいまで高燃焼度化が可能か、あるいは追求すべきか？
六ヶ所再処理工場の仕様はプラント寿命中、不変でよいか？ 現行JNFL工場稼動後の予想として、40年から60年を想定。その間に回収工程の変更の可能性はあるか(スルーブットに変更があるか？、HLW減溶は実現可能か)？	JNFL六ヶ所再処理工場の操業期間中に、回収工程を変更することが可能か？
将来的な再処理工場の姿はどうあるべきか？ 現行JNFLの方式は、今世紀後半には革新する必要がある。HLWに含まれるMA最小化・減溶によるバックエンドコスト低減、有用物質回収・リサイクルによる原子力持続可能な技術・産業として社会経済に貢献できる姿を提案。そのための技術開発は、JNFLにHLW処理技術開発機能をカバーできるようにするなど民間との連携が不可欠。現行再処理方式に代わる乾式再処理技術は技術革新の候補。	現行JNFLで採用されているPUREX法再処理は、その改良や高度化した再処理法への置き換えは不要か？2100年頃までに、MA最小化・減容・有用物質回収等の革新技術に入れ替えることは可能か？また、これらの技術を導入する必要はあるか？
高速炉の導入は何を目的とするのか？ 役割の観点(Puバランスの観点、TRU燃料リサイクルの観、エネルギー生産以外の高速炉特有機能を活用する運用柔軟性をもつ炉・サイクルの施設建設への革新が期待される)、高速炉必要シナリオと準備インフラ構築シナリオをどのように創れるかも要点。技術選択としては観点の整理(Puのみ利用する従来型高速炉は、2100年までにはTRU燃料として扱える炉・サイクル技術組み合わせに置き換えることは必要。一方、2050年頃からの高速炉導入時期には、限られた規模の高速炉用酸化燃料(JNFL回収Pu利用)を利用することもあり得よう。)	Puバランス、TRU燃料リサイクルなど発電以外の柔軟な機能を有する高速炉の開発は可能か？開発を継続必要性はあるか？開発主体や予算をどこが確保するか？ 高速炉は必要か？必要となるシナリオはどのようなものか？そのためのインフラを整備する方策は？ 2050年頃からの高速炉導入初期にはJNFL回収Pu由来のMOXを利用するが、その後TRU燃料等に置き換える時期は？
高速炉の実用化に試験施設は必要か？ 2050年代とそれ以降の高速炉の実用化のために、燃料照射・高速炉燃料再処理・燃料製造のデモをすることは必要。常陽取り出し燃料・もんじゅ取り出し燃料・ふげん使用済み燃料の再処理・リサイクルをデモンストレーション・試験データの許認可への活用などを行うこと、「常陽」の活用は必要。 2025年以降の照射試験炉を作ること(たとえば照射炉用燃料の移動を少なくするため、国内東西二箇所に試験炉を設置)が期待される。再処理技術革新との組み合わせが要点。	2025年以降、照射試験炉を国内少なくとも2ヶ所に設置すべきではないか。 常陽取り出し燃料・もんじゅ取り出し燃料・ふげん使用済み燃料の再処理・リサイクルを実証し、試験データの許認可への活用などを行うため、「常陽」も活用すべきではないか。 2050年以降の高速炉実用化に先立ち、いつ頃までに燃料照射・高速炉燃料再処理・燃料製造を実証すべきか。
高速炉の実用化に国際協調は必要か？ Pu/TRU利用・取り扱い量が増加するので、原子力平和利用推進による国際貢献の目指すところへの試案づくりか？	Pu及びTRU利用に際しては国際貢献も目指すべきか。
異次元における学会・産業界・研究機関の核燃料サイクル関連研究の位置づけは？ 一時的または恒久的な原発ゼロ政策状況を想定するときのエネルギー確保政策・廃棄物政策や状況は「読めない状況」である。一方、放射線利用の継続・発展、発生廃棄物管理等の事業者責任継続はある。推進・規制の両分野で、社会の安全確保に重要度の高いと考える技術・研究項目抽出とその理由をまとめることから、基盤技術の抽出を行うことになるのか？	原子力が一時的または恒久的にゼロとなる可能性も踏まえ、社会の安全保障に向け重要度が高いと考えられる技術・研究項目抽出とその理由をまとめる必要があるのではないか？

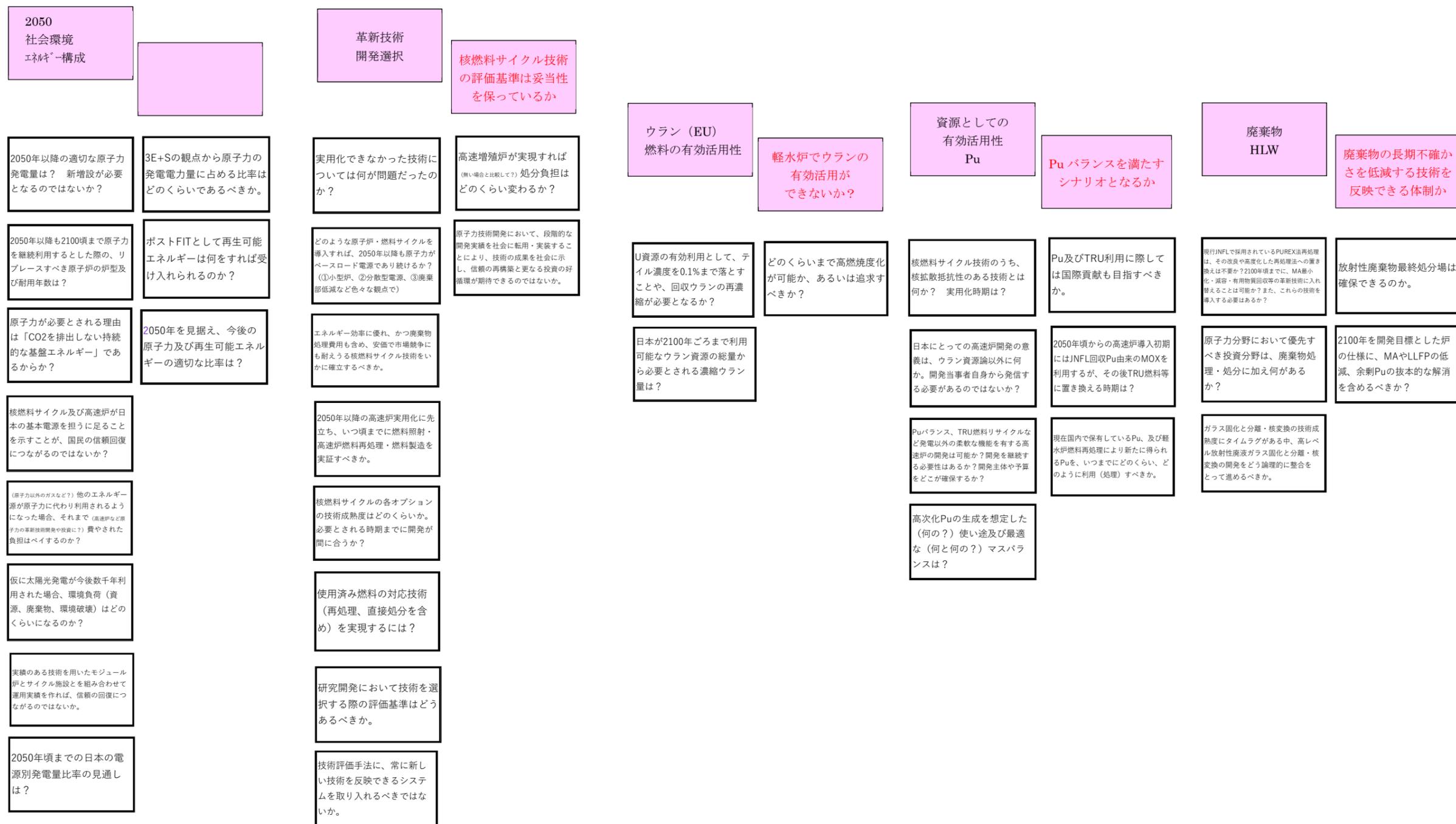


図 2.5-1 イシューのクラスタリング (1/2)



図 2.5-1 イシューのクラスタリング（2/2）

表 イシューのクラスタリング(1/3)

クラスターカード	イシュー	
合理性のある核燃料サイクルの政策の決定スキームが構築できるか	2050年断面での電源別発電量比率が2100年まで続いた場合、再処理は必要か？ いつ頃、どの程度？	
	必要とされる高速炉(の種類?)及び再処理技術の成熟を含め導入ロードマップ(実用化時期?)は？	
	2050年以降、どのような炉型を展開すべきか？	
	次期再処理工場の対象とすべき燃料仕様は、軽水炉ウラン、軽水炉MOX、高速炉燃料か？	
	2100年を開発目標とした炉は大型炉か、分散型か？	
	2100年をターゲットとしてどのような使用済み燃料処理及び炉を開発・実用化すべきか？	
	シナリオ想定期間は5年、10年、50年、100年またはそれ以上？ 燃料サイクルを議論するには、100年単位の長期視点も含める必要があると考える	
	最終処分場が決まらない中で、再処理(or核燃料サイクル全体？原子力？Puの問題?)をどう進める(扱う?)べきか。	
	ガラス固化と分離・核変換の技術成熟度にタイムラグがある中、高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発をどう論理的に整合をとって進めるべきか。	
	高速炉を自国開発する意義は何か。軽水炉のように実用化された炉を輸入し、改良するのではダメな理由は何か。	
	六ヶ所の燃料サイクル施設の運転/廃止の決定は国策に基づき国が判断するのか？	
	中国・インドの動向や米国(+ロシア、ブラジル、アルゼンチン...)の戦略も見る必要があるか？	
	電力の一般産業化、原子力への国家予算のこれまでのような投資が継続的に可能か。	
	核燃料サイクル技術の評価基準は妥当性を保っているか	福島第一原子力発電所の廃炉が今後の原子力(政策?動向?計画?)に、社会的受容性、立地、予算の側面からどう影響を及ぼすか。
		福島第一原子力発電所の廃棄物処理の行方が決まる前に、使用済み燃料や通常の放射性廃棄物処分を先に決めることを国民は納得・受容できるか。
日本の(核燃料サイクル?)政策を主体的に決定し推進力をえるような「国・政府・関係省庁」のあり方を構築すべきではないか。		
JNFL六ヶ所再処理工場の操業期間中に、回収工程を変更することが可能か？		
高速増殖炉が実現すれば(無い場合と比較して?)処分負担はどのくらい変わるか？		
どのような原子炉・燃料サイクルを導入すれば、2050年以降も原子力がベースロード電源であり続けるか？ (①小型炉②分散型電源③廃棄物低減など色々な観点で)		
核燃料サイクルの各オプションの技術成熟度はどのくらいか。必要とされる時期までに開発が間に合うか？		
原子力技術開発において、段階的な開発実績を社会に転用・実装することにより、技術の成果を社会に示し、信頼の再構築と更なる投資の好循環が期待できるのではないか。		
エネルギー効率に優れ、かつ廃棄物処理費用も含め、安価で市場競争にも耐えうる核燃料サイクル技術をいかに確立すべきか。		
技術評価手法に、常に新しい別の技術を反映できるシステムを取り入れるべきではないか。		
実用化できなかった技術については何が問題だったのか？		
研究開発において技術を選択する際の評価基準はどうあるべきか。		
使用済み燃料の対応技術(再処理 or 直接処分という意味か?)を実現するには？		
2050年以降の高速炉実用化に先立ち、いつ頃までに燃料照射・高速炉燃料再処理・燃料製造を実証すべきか。		

表2.5-2 イシューのクラスタリング(2/3)

クラスターカード	イシュー
Puバランスを満たすシナリオとなるか	現在国内で保有しているPu、及び軽水炉燃料再処理により新たに得られるPuを、いつまでにどのくらい、どのように利用（処理）すべきか。
	核燃料サイクル技術のうち、核拡散抵抗性のある技術とは何か？ 実用化時期は？
	高次化Puの生成を想定した（何の？）使い途及び最適な（何と何の？）マスバランスは？
	日本にとっての高速炉開発の意義は、ウラン資源論以外に何か？ 開発当事者自身から発信する必要があるのではないか？
	2050年頃からの高速炉導入初期にはJNFL回収Pu由来のMOXを利用するが、その後TRU燃料等に置き換える時期は？
	Puバランス、TRU燃料リサイクルなど発電以外の柔軟な機能を有する高速炉の開発は可能か？開発を継続する必要性はあるか？開発主体や予算をどこが確保するか？
	Pu及びTRU利用に際しては国際貢献も目指すべきか。
軽水炉でウランの有効活用ができないか？	U資源の有効利用として、テイル濃度を0.1%まで落とすことや、回収ウランの再濃縮が必要となるか？
	日本が2100年ごろまで利用可能なウラン資源の総量から必要とされる濃縮ウラン量は？
	どのくらいまで高燃焼度化が可能か、あるいは追求すべきか？
廃棄物の長期不確かさを低減する技術を反映できる体制か	2100年を開発目標とした炉の仕様に、MAやLLFPの低減、余剰Puの抜本的な解消を含めるべきか？
	ガラス固化と分離・核変換の技術成熟度にタイムラグがある中、高レベル放射性廃液ガラス固化と分離・核変換の開発をどう論理的に整合をとって進めるべきか。
	放射性廃棄物最終処分場は確保できるのか。
	原子力分野において優先すべき投資分野は、廃棄物処理・処分のほかには？
	現行JNFLで採用されているPUREX法再処理は、その改良や高度化した再処理法への置き換えは不要か？2100年頃までに、MA最小化・減容・有用物質回収等の革新技術に入れ替えることは可能か？また、これらの技術を導入する必要があるか？
開発→実用化まで一貫した体制と役割分担が見通せるか	(2100頃まで？) 廃棄物処理も含め競争環境下において、原子力の技術開発や設備投資を電力が自主的に継続できるか？
	技術開発から実用化までを連続させ、それぞれの主体に役割分担をさせていた従来体制がなぜ破綻したのか？
	今までは国策の名のもとに進めてきた。それが今後も通用するか。
	国の予算による研究（国プロ研究）に過剰な介入とならないような政府（役所）の本来の役割はどうあるべきか。
長期的に研究インフラの整備・廃止、人材の確保が可能か(1/2)	国内での技術維持・人材育成が困難なら、欧米以外も含めた海外での研究開発に参加するべきか。
	産官学で共同使用可能な照射後試験施設を（新たに？）設置し、再処理に必要な知見を維持すべきではないか。
	継続的な原子力利用及びそのための人材基盤維持のため、原子力（研究？）施設のスクラップ&ビルドを合理的なコストと期間で完了する必要があるのではないか。
	工学レベルの研究開発インフラの維持ができるか？
	原子力利用が(2050年以降も？)継続するには、所属や立場や個人的欲から離れ、原子力利用が将来の人類にとって必要不可欠と本心から思い、原子力技術の維持・革新にコツコツ取り組む人材が、2050年までの間に必要なのではないか。
	大学の研究・人材育成はどうあるべきか。
研究開発や事業が長期にわたるとき、技術を継承・維持するためには、人に属する暗黙知ではない（明文化した資料等？）有効な方法は何か？	

表2.5-2 イシューのクラスタリング(3/3)

クラスターカード	イシュー
長期的に研究インフラの整備・廃止、人材の確保が可能か(2/2)	原子力の将来像が不確実な時代、幅広い選択肢を選べる技術的なポテンシャル（人材とホット施設）を維持できるか。
	研究費が縮小する中、もんじゅを含めた多量・多種類の原子力研究施設の廃止措置計画をどのくらいの期間及び費用で実施すべきか。そのための人材をどう確保すべきか。
	高速炉は必要か？必要となるシナリオはどのようなものか？そのためのインフラを整備する方策は？
	2025年以降、照射試験炉を国内少なくとも2ヶ所に設置すべきではないか。
	常陽取り出し燃料・もんじゅ取り出し燃料・ふげん使用済み燃料の再処理・リサイクルを実証し、試験データの許認可への活用などを行うため、「常陽」も活用すべきではないか。
基礎基盤のR&D能力を維持・成長させられるか	(高速炉・核燃料サイクル分野において)協力・連携する国として、フランス以外にありえる国は？自国技術を育てる必要があるのではないか？
	我が国に多くある研究施設が有効に利用されず、多くの革新技術が未だに完成していない理由は何か？
	大学、研究機関の技術研究力、開発力の大幅な低下の原因追求と対策は？
	事業者の現場ニーズを大学のシーズと連携・共有していく必要があるのではないか。
	大学におけるどのような研究が、核燃料サイクル(の進展？拡大？個別技術の実用化？)に貢献できるか。ウランからキュリウムまでの凝縮系化学や、物理や量子計算による物性予測や、RIの医学利用、といった大学における各研究は、核燃料サイクル(の進展？拡大？)に貢献できるか。
2050年 原子力は社会に必要とされているか？	3E+Sの観点から原子力の発電電力量に占める比率はどのくらいであるべきか。
	ポストFITとして再生可能エネルギーは何をすれば受け入れられるのか？
	2050年を見据え、今後の原子力及び再生可能エネルギーの適切な比率は？
	2050年頃までの日本の電源別発電電力量比率の見通しは？
	(原子力以外のガスなど?)他のエネルギー源が原子力に代わり利用されるようになった場合、それまで(高速炉など原子力の革新技術開発や投資に?)費やされた負担はペイするのか？
	仮に太陽光発電が今後数千年利用された場合、環境負荷(資源、廃棄物、環境破壊)はどのくらいになるのか？
	2050年以降も2100頃まで原子力を継続利用するとした際の、リプレースすべき原子炉の炉型及び耐用年数は？
	核燃料サイクル及び高速炉が日本の基本電源を担うに足ることを示すことが、国民の信頼回復につながるのではないか？
	実績のある技術を用いたモジュール炉とサイクル施設とを組み合わせると運用実績を作れば、信頼の回復につながるのではないか。
	原子力が必要とされる理由は「CO2を排出しない持続的な基盤エネルギー」であるからか？
設定要	2030~2040年頃までに軽水炉サイクル+Puサーマルは成立しているか？
	核燃料サイクルの選択肢及びその結果(Puなどの諸量推移など?)を整理した上で、各選択肢の成立性を技術的、経済的に評価すべきではないか。
	これまでに国内外で起こった燃料サイクル関連の事故(旧ソ連での爆発や河川汚染、米国での土壌汚染、など)の原因究明及び再発防止策は出来ているのか。
	使用済み燃料を直接処分する際の本質的な課題は、コストか、被ばくか、そのほかか？
Wild Cards	20世紀に開発が開始された先進的再処理、新型炉、加速器などの革新技術が未だに実用化されない根源的な理由は？
	原子力が一時的または恒久的にゼロとなる可能性も踏まえ、社会の安全保障に向け重要度が高いと考えられる技術・研究項目抽出とその理由をまとめる必要があるのではないか？

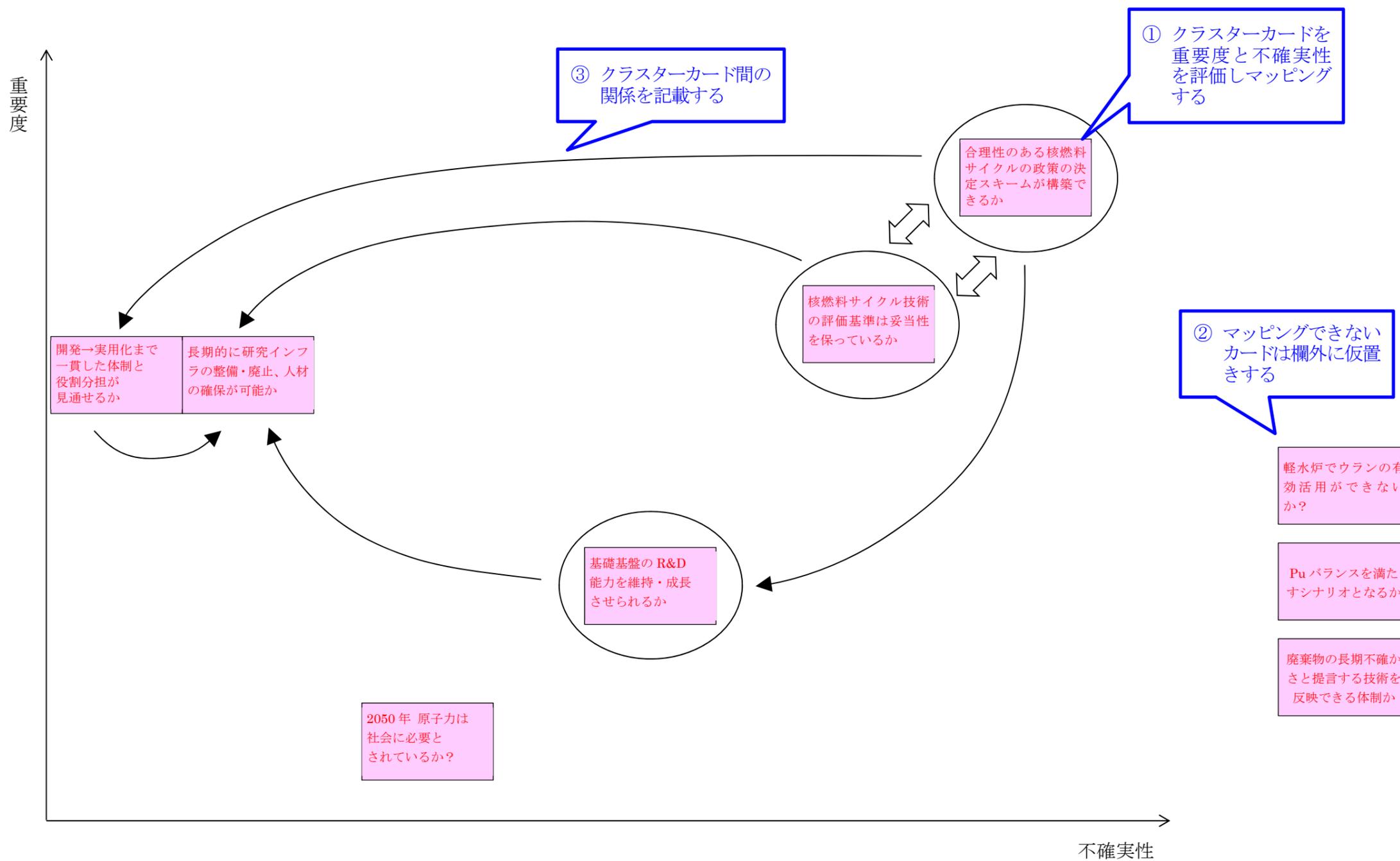


図 2.5-2 クラスタのマッピング (1/3)

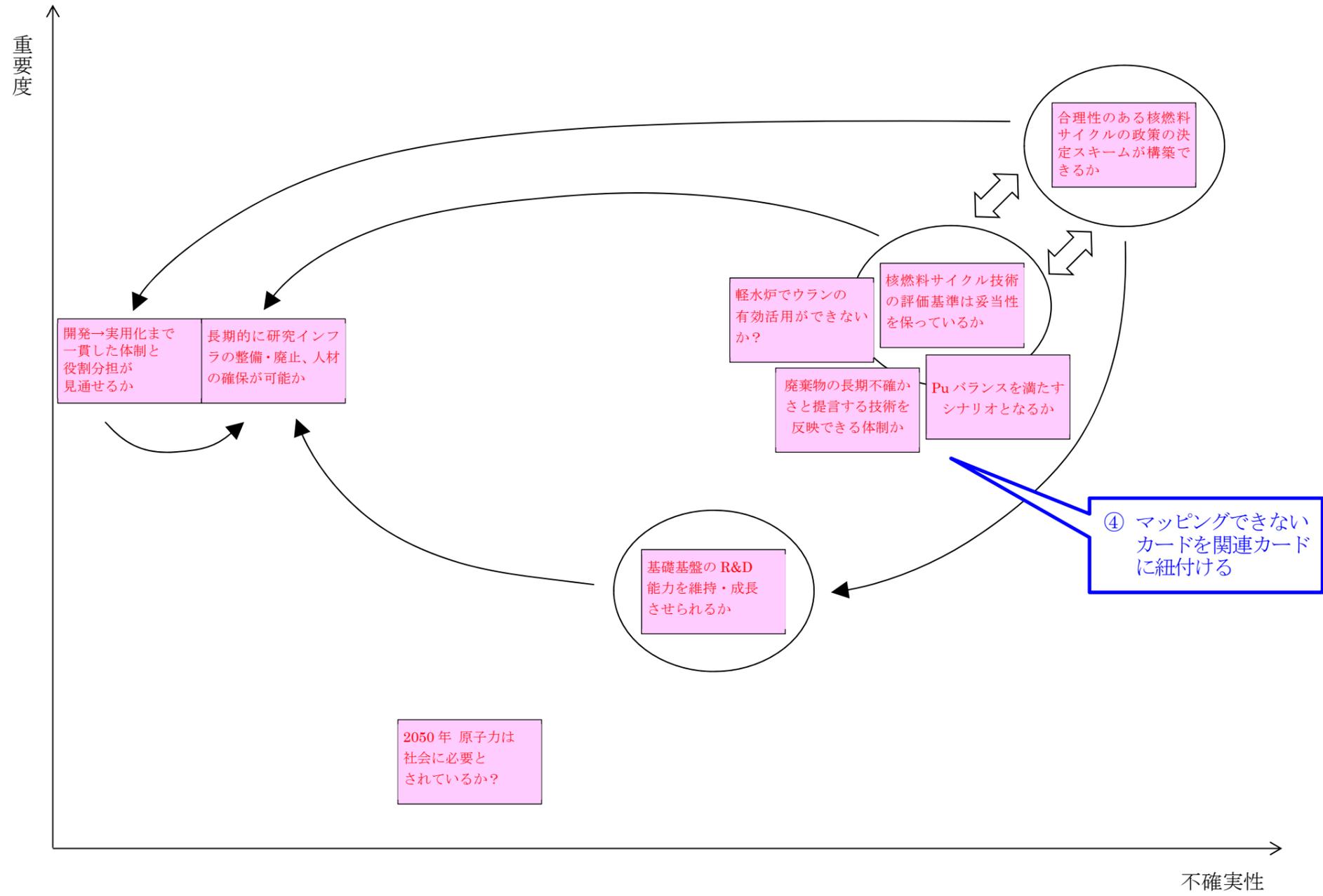


図 2.5-2 クラスターのマッピング(2/3)

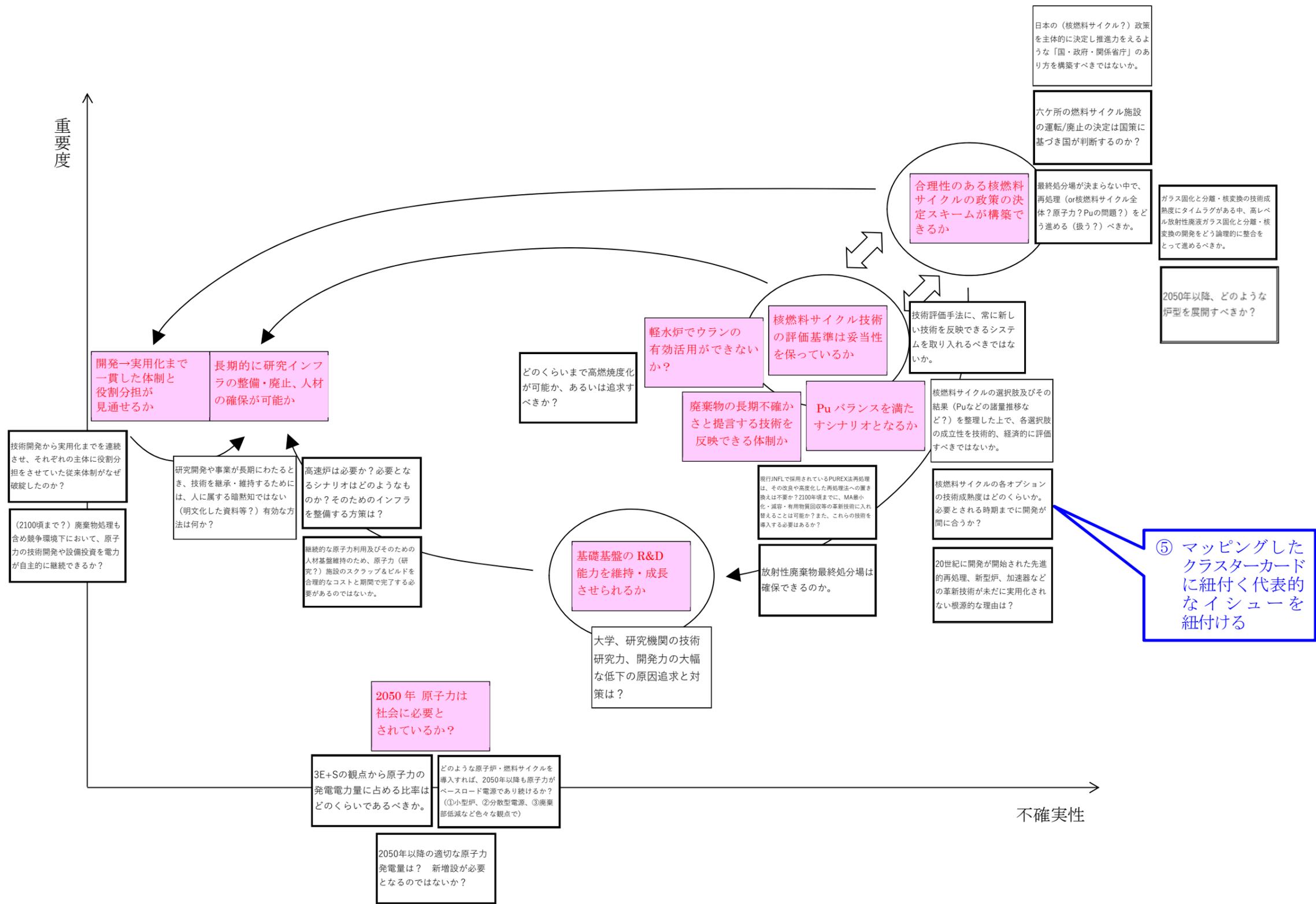


図 2.5-2 クラスターのマッピング(3/3)

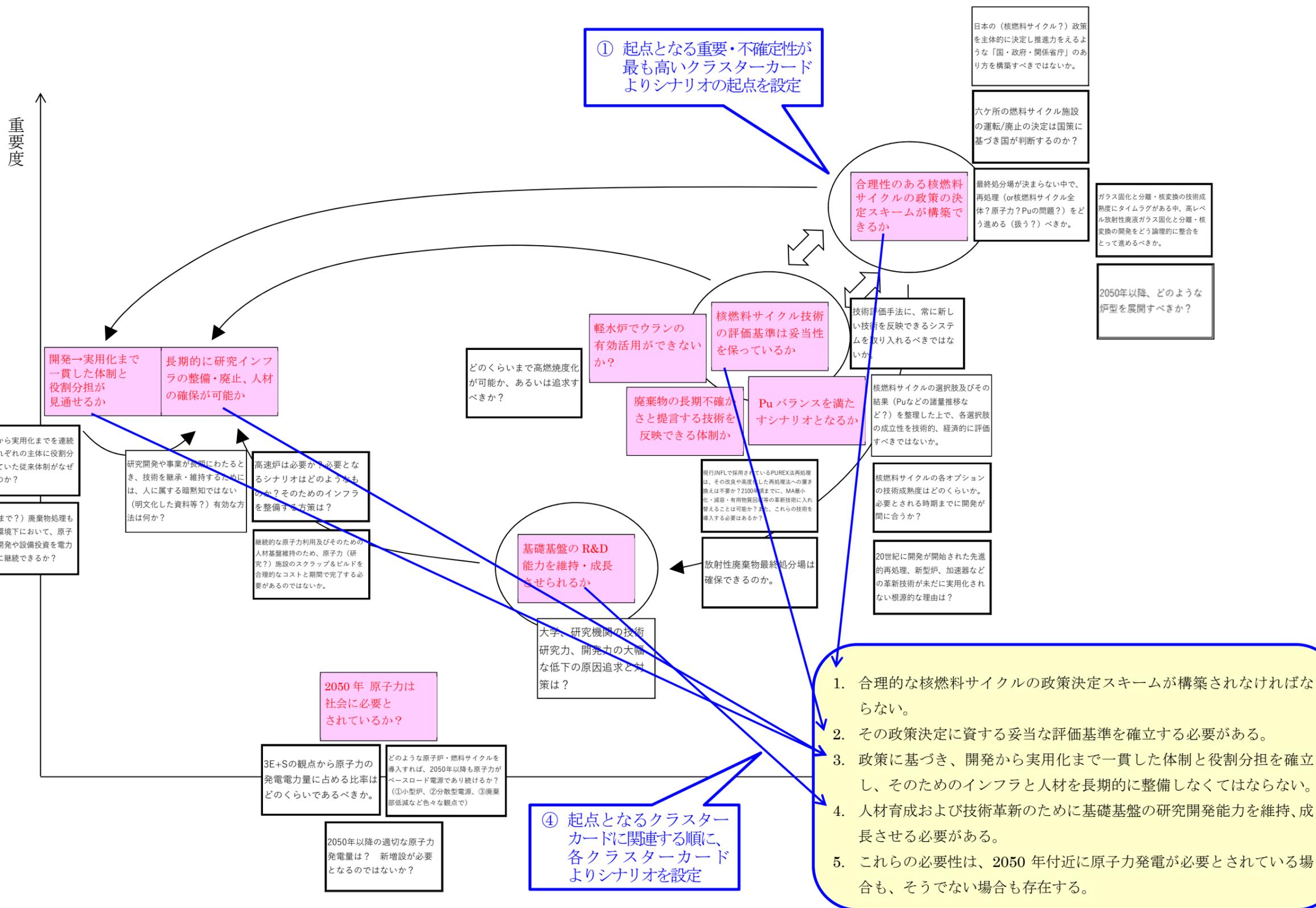


図 2.5-3 提言案基本構造作成及びインプリケーション抽出